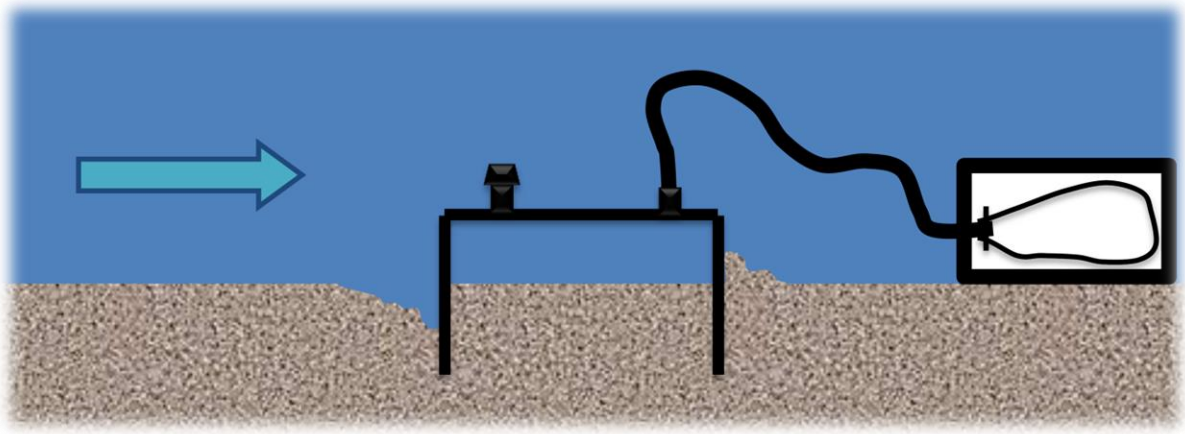
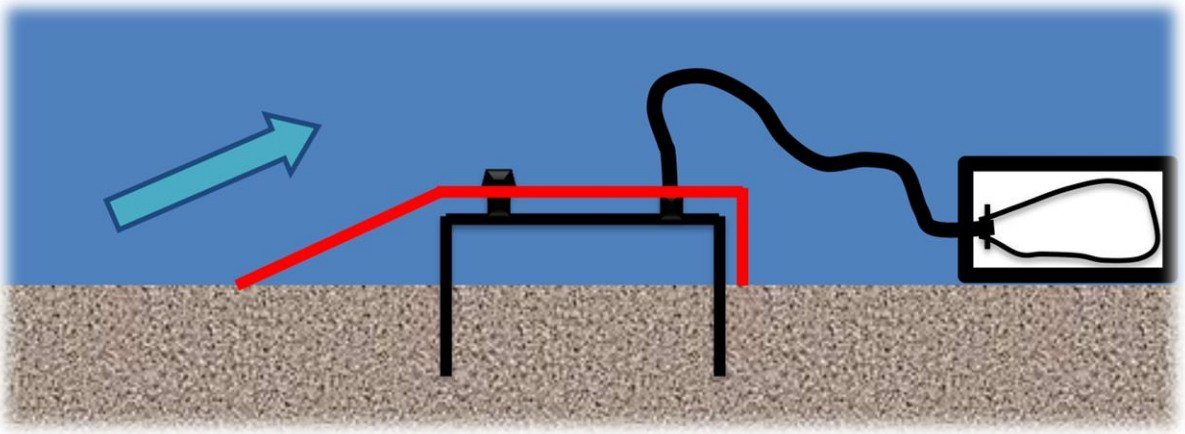
รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง





สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านทรัพยากรน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

กองทุนพัฒนาน้ำบาดาล
กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง

สัญญาเลขที่ ช 5/2560

เสนอต่อ

กองทุนพัฒนาน้ำบาดาล

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

จัดทำโดย

สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านทรัพยากรน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

รายงานฉบับสมบูรณ์		
ชื่อโครงการ	โครงการการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง	
ข้อมูลโครงการ	รหัสอ้างอิง: สัญญาเลขที่ ช 5/2560	
	วันเริ่มต้นโครงการ : 11 สิงหาคม 2560	
	ระยะเวลาดำเนินการ : 12 เดือน	
ผู้ให้การสนับสนุน	กองทุนพัฒนาน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล 26/83 ซอยงามวงศ์วาน 54 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900 ติดต่อ กองทุนพัฒนาน้ำบาดาล โทรศัพท์ 02-666-7195
ผู้ได้รับการสนับสนุน	มหาวิทยาลัยนเรศวร	สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โทรศัพท์ 055-963-964 ติดต่อ ดร.ภูริภัส สุนทรนนท์ หัวหน้าโครงการ/ นางสาวศรีรัตน์ ทองล้ำ ผู้ประสานงานโครงการ
รายชื่อบุคลากรหลัก	ดร.ภูริภัส สุนทรนนท์	หัวหน้าโครงการ
	ดร.วีรยุทธ ประทุมไชย	ผู้เชี่ยวชาญด้านทรัพยากรน้ำผิวดินและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
	รศ.ดร.สมบัติ ชื่นชูกลิ่น	ผู้เชี่ยวชาญด้านชลประทานน้ำบาดาล
	ผศ.ดร.ชัยวัฒน์ เอกวัฒน์พานิชย์	ผู้เชี่ยวชาญด้านแบบจำลองการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการ
	นายประยุทธ เสนชัย	ผู้เชี่ยวชาญด้านอุทกธรณีวิทยา
	Dr.Robert Carr	ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดสรรน้ำ
	อ.ภัคพงศ์ หอมเนียม	ผู้เชี่ยวชาญด้านการสำรวจภูมิประเทศ
	รศ.ดร.ศรินทร์ทิพย์ แทนธานี	ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
	ผศ.ดร.ดลเดช ตั้งตระการพงษ์	ผู้เชี่ยวชาญด้านการมีส่วนร่วม

รายงานฉบับสมบูรณ์		
รายชื่อบุคลากรสนับสนุน	นายธรรมรัตน์ กาญจนสุระกิจ	นักวิจัยด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ
	นายธีรพล คำพุฒ	
	นางสาวเครือวัลย์ ภูแท่งเพชร	นักวิจัยด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์
	นางสาวทิพย์ประภา ก้อนเพ็ชร	
	นางสาวศรีรัตน์ ทองล้ำ	ผู้ประสานงานโครงการ
	นายพิพัฒน์พล ธัญมณีเลิศสกุล	ผู้ช่วยนักวิจัยด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ
	นายสุพัฒน์ โพตคาม	
	นางสาวสุทธิญา เอื้อพัฒนาพานิชย์	ผู้ช่วยนักวิจัยด้านสนเทศภูมิศาสตร์
	นางสาวนิจวรีย์ กาญจนสุระกิจ	
รายชื่อคณะกรรมการตรวจสอบ	นายไฉน รินแก้ว	นักธรณีวิทยาชำนาญการ
	นางสาวชฎาพร บุษราคัม	นักธรณีวิทยาปฏิบัติการ
	นางสาวภาณุมาศ กุลบุตร	นักธรณีวิทยาปฏิบัติการ
	นางสาวนารีรัตน์ จันทรางกูล	นักวิเคราะห์นโยบายและแผน
ข้อมูลรายงานที่นำส่ง	จัดทำรายงานโดย : สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร	

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้เป็นครั้งแรกในพื้นที่ศึกษาที่ได้ใช้วิธีการเพื่อสร้างองค์ความรู้ความเชื่อมโยงระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน ได้แก่ (1) วิธีกำไร–ขาดทุนของอัตราการไหลในลำน้ำ โดยใช้ค่าความแตกต่างของอัตราการไหลในลำน้ำระหว่างสถานีตรวจวัด (2) วิธีการตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนด้วยเครื่องมือ Drum ซึ่งนับเป็นการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนโดยตรงจากการติดตั้งบนตะกอนท้องน้ำ และ (3) วิธีการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนโดยความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ ซึ่งถือเป็นการตรวจวัดอุณหภูมิความร้อนที่กระทำได้ง่ายไม่ซับซ้อนยุ่งยาก ในหลายกรณีข้อมูลที่จัดเก็บได้จากงานสนามมักมีจำนวนจำกัด จึงอาจทำให้ขาดภาพรวมและความรู้ความเข้าใจที่ดี แบบจำลองสามารถถูกนำมาใช้ในการทำให้เกิดภาพรวมและสร้างความรู้ความเข้าใจที่ชัดเจนยิ่งขึ้น จากการจำลองสถานการณ์ที่เกิดขึ้น การศึกษาในครั้งนี้ยังแสดงการใช้แบบจำลองสืบหาแหล่งกำเนิดของสารเคมีในน้ำบาดาล โดยไม่จำเป็นต้องทราบความเป็นมาของแหล่งกำเนิด

วิธีกำไร–ขาดทุนของอัตราการไหลในลำน้ำ แสดงการสูญเสียของน้ำในลำน้ำน่านมากกว่าลำน้ำยมประมาณสองเท่า โดยเฉพาะลำน้ำน่านบริเวณอำเภอเมืองพิจิตรลงมาจนถึงอำเภอบางมูลนาก และลำน้ำยมบริเวณอำเภอเมืองสุโขทัยลงมาจนถึงอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ราวเดือนธันวาคม–สิงหาคม การตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนโดยตรงช่วงเดือนตุลาคม 2560 – เมษายน 2561 แสดงค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่าง –4.32 ถึง 163 เซนติเมตรต่อวัน ในลำน้ำน่าน และ –1.90 ถึง 198 เซนติเมตรต่อวัน ในลำน้ำยม การตรวจวัดการแลกเปลี่ยนโดยความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ (8 เมตร) พบสัญญาณการตอบสนองทางความร้อนอย่างรวดเร็ว (Rapid Thermal Responses) ของตะกอนท้องน้ำในลำน้ำน่าน (~1.5 องศาเซลเซียส) ในช่วงเวลาตอนเช้าราว 7.00–10.00 น. ทั้งนี้อาจมีความเป็นไปได้ที่จะหมายถึงอัตราการซึมลงตะกอนท้องน้ำของน้ำในลำน้ำที่สูง แบบจำลองปฏิบัติการลำน้ำที่ผนวกการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยใช้โปรแกรม eWater Source แสดงศักยภาพได้เกือบใกล้เคียงกับโปรแกรม MIKE SHE ในขณะที่การป้อนข้อมูลมีความซับซ้อนน้อยกว่ามาก

การประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณโดยการใช้แบบจำลอง PMF และการวิเคราะห์หาคุณสมบัติอุทกธรณีเคมีโดยใช้แผนภูมิไปเปอร์แสดงแหล่งกำเนิดแรก คือ การผุพังสลายตัวของชั้นหิน (Bedrock Weathering) / ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหิน (Water–rock Interaction) เป็นประเภทแคลเซียม–แมกนีเซียม–ไบคาร์บอเนต–ซัลเฟต พบในน้ำบาดาลเกิดใหม่ (Fresh Formation Waters) บริเวณพื้นที่เติมน้ำ (Recharge Area) น้ำบาดาลชนิดนี้เป็นน้ำกระด้าง ซึ่งเป็นผลกระทบมาจากปริมาณแมกนีเซียม ซัลเฟต และคลอไรด์ แหล่งกำเนิดที่สอง คือ การละลายของแร่ธาตุจำพวกฟลูออไรด์ (F) เป็นประเภทโซเดียม–คลอไรด์–ไบคาร์บอเนต พบในน้ำบาดาลที่ไหลมาจากบริเวณพื้นที่เติมน้ำ ถือเป็นน้ำที่มีการเปลี่ยนสภาวะ (Transitional Waters) หมายถึง การวิวัฒนาการของน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาทางธรณีเคมี (Geochemical Reactions) กับตะกอนของชั้นน้ำบาดาล (Aquifer Sediments) หรือการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติธรณีเคมี

ของน้ำจากการผสมกับน้ำอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติธรณีเคมีต่างกันออกไป น้ำบาดาลชนิดนี้เป็นน้ำด่างและอาจมีการไหลโดยนำความเค็มมาด้วย และแหล่งกำเนิดที่สาม คือ การละลายของแร่ธาตุจำพวกเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) เป็นประเภทโพแทสเซียม–ไนเตรต–ซัลเฟต พบในน้ำบาดาลที่ไหลมาจากบริเวณพื้นที่เติมน้ำ ถือเป็นน้ำที่มีการเปลี่ยนสภาวะ (Transitional Waters) หมายถึง การวิวัฒนาการของน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาทางธรณีเคมี (Geochemical Reactions) กับตะกอนของชั้นน้ำบาดาล (Aquifer Sediments) หรือการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติธรณีเคมีของน้ำจากการผสมกับน้ำอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติธรณีเคมีต่างกันออกไป

เมื่อพิจารณาพื้นที่ของบ่อสังเกตการณ์บริเวณที่ปริมาณ Ca มีมากกว่า Mg เกิน 10 เท่า ซึ่งจัดเป็นกรณีการเติมน้ำโดยน้ำฝนที่มีอัตราสูง โดยเกิดจากสภาวะการไหลแบบเป็นช่องลงมาในสภาพความซึมน้ำสูง ทำให้การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหินจะมีน้อยลง และระยะเวลาพำนักจะสั้นลง พื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำบาดาล โดยน้ำฝนครอบคลุมบางพื้นที่ของอำเภอวังทรายพูน ทับคล้อ โพธิ์ประทับช้าง ในเขตจังหวัดพิจิตร อำเภอบางระกำและอำเภอพรหมพิราม ในเขตจังหวัดพิษณุโลก อำเภอเมืองและอำเภอสวรรคโลก ในเขตจังหวัดสุโขทัย อำเภอขาณุวรลักษบุรี คลองขลุง และพรานกระต่าย ในเขตจังหวัดกำแพงเพชร ทั้งนี้สามารถสร้างโครงสร้างเติมน้ำบาดาลแบบประดิษฐ์ อาทิ บ่อวงเติมน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเติมน้ำบาดาล การเพิ่มปริมาณน้ำในคลองส่งน้ำสายหลัก ในพื้นที่ชลประทานอย่างเต็มประสิทธิภาพของน้ำต้นทุนจะสามารถช่วยการเติมน้ำบาดาลได้ เนื่องจากระดับน้ำในคลองส่งน้ำสายหลักมักอยู่สูงกว่าระดับน้ำบาดาล ทำให้มีโอกาสสูงที่จะเกิดการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล การเจาะบ่อสังเกตการณ์ไม่ห่างนักจากคลองส่งน้ำสายหลักแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของน้ำในคลองส่งน้ำสายหลักที่มีต่อระดับน้ำบาดาล การลดการสูบน้ำบาดาลของเกษตรกรในช่วงเดือนกรกฎาคม–พฤศจิกายน ซึ่งปริมาณน้ำในคลองส่งน้ำสายหลักมีเต็มความจุและสามารถนำมาใช้งานได้ ซึ่งจัดเป็นการเติมน้ำบาดาลแบบ In-liu Recharge โดยเปิดโอกาสให้เกิดการเติม (Replenishing) ตามธรรมชาติ

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อ **ก**

สารบัญภาพ **ช**

สารบัญตาราง **ท**

บทที่ 1 บทนำ **1**

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 9

1.3 ขอบเขตการดำเนินงานโครงการ 10

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการ 12

1.5 ระยะเวลาดำเนินงานโครงการ 21

1.6 พื้นที่ดำเนินงานโครงการ 22

1.7 การประเมินผลโครงการ 23

1.8 ตัวชี้วัด 24

1.9 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 26

1.10 การรายงานผลการดำเนินโครงการต่อคณะกรรมการบริหารกองทุนพัฒนาน้ำบาดาล 27

บทที่ 2 ลักษณะและสภาพของปัจจัยแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน **28**

2.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ในขอบเขตของพื้นที่ศึกษา 28

2.1.1 ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา 28

2.1.2 สภาพธรณีวิทยา 30

2.1.3 สภาพอุทกธรณีวิทยา 35

2.1.4 คุณสมบัติของดิน 45

2.1.5 สภาพภูมิประเทศและรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน 59

2.2 สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา 63

2.2.1 น้ำฝน 63

2.2.2 น้ำท่า 71

2.2.3 สถานการณ์ทรัพยากรน้ำและการจัดสรรน้ำ 80

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

บทที่ 3 วิธีและขั้นตอนการดำเนินการและผลการดำเนินโครงการ....86

3.1 สถานการณ์ดำเนินโครงการ....86

3.2 การประมาณการปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน และผลการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน....88

3.2.1 (ก) วิธีกำไร–ขาดทุน (Gain-Loss Estimation Method) จากการทำบัญชีน้ำ....88

3.2.1 (ข) ผลการดำเนินการวิธีกำไร–ขาดทุน (Gain-Loss Estimation Method) จากการทำบัญชีน้ำ....89

3.2.2 (ก) วิธีการตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum....101

3.2.2 (ข) ผลการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล-น้ำผิวดินโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum....109

3.2.3 (ก) วิธีการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนโดยความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ....149

3.2.3 (ข) ผลการตรวจความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ....151

3.2.4 การสังเกตการณ์ระดับน้ำบาดาลเพื่อตรวจสอบความเชื่อมโยงของน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน....160

3.2.5 การสำรวจหน้าตัดลำน้ำในพื้นที่ศึกษา....165

3.3 การสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลร่วมกับแบบจำลองน้ำผิวดิน....169

3.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลร่วมกับแบบจำลองน้ำผิวดิน....169

3.3.2 แบบจำลองน้ำผิวดินและผลของแบบจำลองน้ำผิวดิน....172

3.3.3 แบบจำลองน้ำบาดาลและผลของแบบจำลองน้ำบาดาล....209

3.3.4 ข้อจำกัดของแบบจำลอง....248

3.4 การประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณโดยการใช้แบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF) ผลการการประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณโดยการใช้แบบจำลอง PMF....250

3.4.1 หลักการการประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณโดยการใช้แบบจำลอง PMF....250

3.4.2 วิธีการดำเนินการประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณโดยการใช้แบบจำลอง PMF....250

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

3.4.3 ผลการการประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณโดยการใช้แบบจำลอง PMF 252

3.5 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 267

3.5.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภาพฉายของสภาพภูมิอากาศโลก 267

3.5.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย 271

3.5.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้วยแบบจำลอง GCM.....272

3.6 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝนภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ....276

3.6.1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศ 276

3.6.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝน.....282

3.7 มวลชนสัมพันธ์และการมีส่วนร่วม.....287

3.7.1 การจัดประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้.....287

3.7.2 กลุ่มเป้าหมาย/ ผู้เข้าร่วมกิจกรรม.....292

3.7.3 กระบวนการประเมินผลเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ 302

บทที่ 4 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....310

4.1 สรุปผลการศึกษา.....311

4.1.1 ลักษณะและสภาพของปัจจัยแวดล้อมหลักที่มีผลกระทบต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน 311

4.1.2 การประมาณการปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน 320

4.1.3 แบบจำลองการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินโดยใช้โปรแกรม eWater Source 324

4.1.4 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 327

4.1.5 ผลกระทบของมลพิษจำพวกโลหะหนักและสารอาหารต่อทรัพยากรน้ำบาดาลโดยการประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณจากการใช้แบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF).....329

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

4.1.6 มวลชนสัมพันธ์และการมีส่วนร่วมเป็นการเปิดรับฟังและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่ 337

4.2 ข้อเสนอแนะ 344

4.2.1 การกำหนดนโยบายการลงทุนตามแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน....344

4.2.2 การเติมน้ำบาดาลตามแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน....346

เอกสารอ้างอิง **349**

ภาคผนวก ก. กลุ่มชุดดิน....**358**

ภาคผนวก ข. ข้อมูลสำรวจการใช้น้ำบาดาล....**367**

ภาคผนวก ค. ข้อมูลการตรวจวัดระดับน้ำและคุณภาพน้ำบาดาลและการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลเพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พื้นที่ลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง....**368**

ภาคผนวก ง. ข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล....**370**

ภาคผนวก จ. ข้อมูลรายละเอียดของบ่อสังเกตการณ์ 6 บ่อ ในพื้นที่ศึกษาและบ่อวัดอุณหภูมิ 2 บ่อ ในพื้นที่ศึกษา....**376**

ภาคผนวก ฉ. ข้อมูลความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำและบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ....**385**

ภาคผนวก ช. ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้ในแผนภูมิไปเปอร์ โปรแกรม PMF และ โปรแกรม PHREEQC....**416**

ภาคผนวก ซ. การสำรวจหน้าตัดลำน้ำในพื้นที่ศึกษา....**439**

ภาคผนวก ฌ. ตัวอย่างแบบสอบถามในการประชุมเชิงปฏิบัติการ....**455**

สารบัญภาพ

เรื่อง **หน้า**

รูปที่ 1.1-1 ลักษณะภูมิประเทศและพื้นที่ศึกษาของโครงการฯ (พื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง) 6

รูปที่ 1.1-2 พื้นที่เกษตรกรรมและขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่างในปี พ.ศ. 2554 7

รูปที่ 1.1-3 ศักยภาพน้ำบาดาลและบ่อสังเกตการณ์น้ำบาดาลบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง 8

รูปที่ 1.3-1 องค์ประกอบพื้นฐานของการสร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน 11

รูปที่ 1.4-1 ตัวอย่างเครื่องมือวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินจากวิธี Drum 13

รูปที่ 1.4-2 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน 13

รูปที่ 1.4-3 (ก) อุณหภูมิแปรผันไม่มากทั้งบริเวณผิวดินของลำน้ำและลึกลงไปใต้ดินเมื่อน้ำบาดาลไหลซึมเข้าลำน้ำ และ (ข) อุณหภูมิแปรผันค่อนข้างมากทั้งบริเวณผิวดินของลำน้ำและลึกลงไปใต้ดินเมื่อน้ำในลำน้ำไหลซึมออก (Zamora, 2008) 14

รูปที่ 1.4-4 การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินในลำน้ำของแบบจำลอง eWater Source 15

รูปที่ 1.4-5 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม eWater Source ในการสร้างแบบจำลอง (Jolly et al., 2010) 16

รูปที่ 1.4-6 แผนผังที่แสดงถึงแต่ละองค์ประกอบของแนวคิดในโปรแกรม MIKE SHE ร่วมกับ MIKE11 17

รูปที่ 1.4-7 ตัวอย่างแนวคิดที่แสดงถึงความผันแปรในบริเวณดินที่ไม่อิ่มตัวโดยใช้โปรแกรม MIKE SHE 17

รูปที่ 1.4-8 ตัวอย่างการจัดสรรที่มาในรูปร้อยละ (สี่เหลี่ยมสีแดง) จาก 2 แหล่งกำเนิด (น้ำฝนที่ชะล้างพื้นดินและน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน) ของ 9 มลพิษ ได้แก่ BOD_5, TSS, NH_3, TP, Cr, Cu, Pb, Ni และ Zn โดยใช้โปรแกรม EPA PMF 5.0 (US EPA, 2014) 19

รูปที่ 2.1.1-1 พื้นที่ศึกษาโครงการฯ 29

รูปที่ 2.1.2-1 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา 34

รูปที่ 2.1.3-1 การตรวจวัดระดับและคุณภาพน้ำบาดาล และเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล 37

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

รูปที่ 2.1.3-2 แผนที่แสดงตำแหน่งการตรวจวัดระดับและคุณภาพน้ำบาดาล และเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล 38

รูปที่ 2.1.3-3 แผนที่หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (ดัดแปลงจาก แผนที่น้ำบาดาลรายจังหวัด) 39

รูปที่ 2.1.3-4 ภาพตัดขวางหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาแนว A-A' B-B' และ C-C' (ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554) 40

รูปที่ 2.1.3-5 แสดงลำดับชั้นตะกอนและความสัมพันธ์ของน้ำผิวดินและน้ำบาดาลบริเวณสองฝั่งแม่น้ำน่านจากการตรวจวัดระดับน้ำบาดาล เมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม 2561 41

รูปที่ 2.1.3-6 แผนที่ศักยภาพน้ำบาดาล (ดัดแปลงจาก แผนที่น้ำบาดาลรายจังหวัด) 44

รูปที่ 2.1.4-1 แผนที่กลุ่มชุดดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556) 48

รูปที่ 2.1.4-2 Turf-Tec Infiltrometer 49

รูปที่ 2.1.4-3 การตรวจวัดอัตราการซึมลงดินของน้ำ (Infiltration Rates) 51

รูปที่ 2.1.4-4 ตำแหน่งของจุดตรวจวัดอัตราการซึมลงดินของน้ำ (Infiltration Rates) 52

รูปที่ 2.1.4-5 แผนภาพกล่อง (Box Plot) ของค่าอัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น (f_0) ค่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล (f_c) และค่าคงที่ของการซึม (k) ที่ได้รับในพื้นที่ศึกษา 58

รูปที่ 2.1.5-1 สภาพความลาดชันของพื้นที่ศึกษา 60

รูปที่ 2.1.5-2 พื้นที่เพาะปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษา 61

รูปที่ 2.1.5-3 พื้นที่พืชไร่ในพื้นที่ศึกษา 62

รูปที่ 2.2.1-1 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำฝนพื้นที่ศึกษา 67

รูปที่ 2.2.1-2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1, 3, 5 และ 7 วัน ที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆในพื้นที่ศึกษาโครงการฯ 68

รูปที่ 2.2.2-1 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา 76

รูปที่ 2.2.2-2 อัตราการไหลสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ 78

รูปที่ 2.2.3-1 พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากในเขตพื้นที่ศึกษา 82

รูปที่ 2.2.3-2 โครงข่ายผันน้ำระหว่างแม่น้ำยมและน่านในปัจจุบัน 84

รูปที่ 2.2.3-3 สัดส่วนการใช้น้ำผิวดินในแต่ละภาคส่วนในลุ่มน้ำยมและน่าน 85

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

รูปที่ 3.2.1-1 ผังน้ำในพื้นที่ศึกษาแสดงตำแหน่งของสถานี Y6, N60, N67,และ C2 ของสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน 91

รูปที่ 3.2.1-2 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยรวมของน้ำท่าระหว่างสถานี Y4–Y6, Y16–Y4, Y17–Y16, และ Y5–Y17 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2559 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 21 ปี 93

รูปที่ 3.2.1-3 ระดับน้ำในลำน้ำยมของสถานี Y16 อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556–2559 และระดับน้ำบาดาลในบ่อสังเกตการณ์ NT50/2, NT50/3, ... 94

รูปที่ 3.2.1-4 ระดับน้ำเฉลี่ยรายเดือนของสถานี N60 ลำน้ำน่าน อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556–2559 97

รูปที่ 3.2.1-5 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่าระหว่างสถานี N27A–N60, N5A–N27A, N7A–N5A, และ N8A–N7A ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2559 99

รูปที่ 3.2.2-1 ส่วนประกอบของเครื่องมือตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาล และน้ำผิวดิน..... 102

รูปที่ 3.2.2-2 รายละเอียดส่วนประกอบของเครื่องมือตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนระหว่าง น้ำบาดาล..... 102

รูปที่ 3.2.2-3 หลักการของเบอร์นูลี่ (Bernoulli's Principle) ที่ใช้อธิบายลักษณะของการตรวจวัด 104

รูปที่ 3.2.2-4 การกัดเซาะตะกอนทรายของท้องน้ำบริเวณด้านหน้าของเครื่องมือตรวจวัด 105

รูปที่ 3.2.2-5 การติดตั้งกระดอง (Carapace) เพื่อแก้ปัญหาการกัดเซาะตะกอนทรายของท้องน้ำบริเวณด้านหน้าของเครื่องมือตรวจวัด..... 105

รูปที่ 3.2.2-6 ภาพแสดงขั้นตอนของการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาล 107

รูปที่ 3.2.2-7 ภาพแสดงขั้นตอนของการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาล 108

รูปที่ 3.2.2-8 ภาพรวมตำแหน่งการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล-น้ำผิวดินโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum 112

รูปที่ 3.2.2-9 ตำแหน่งตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณสถานี Y6 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย บริเวณฝั่งซ้ายของลำน้ำยม (ตำแหน่ง Y6-L)..... 113

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

รูปที่ 3.2.2-10 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Drum บริเวณสถานี Y6 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย บริเวณฝั่งซ้ายของลำน้ำยม (ตำแหน่ง Y6-L)..... 114

รูปที่ 3.2.2-11 ตำแหน่งตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณสถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำน่าน (ตำแหน่ง N60-R) และด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำน่าน (ตำแหน่ง N60-L)..... 115

รูปที่ 3.2.2-12 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Drum บริเวณสถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำน่าน (ตำแหน่ง N60-L)..... 116

รูปที่ 3.2.2-13 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Drum บริเวณสถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (ตำแหน่ง N60-R)..... 117

รูปที่ 3.2.2-14 ตำแหน่งตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (ตำแหน่ง DR2.8N-R)..... 118

รูปที่ 3.2.2-15 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Drum บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (ตำแหน่ง DR2.8N-R)..... 119

รูปที่ 3.2.2 16 ตำแหน่งตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งขวาของลำน้ำยม (ตำแหน่ง DR2.8Y-R) และด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำยม (ตำแหน่ง DR2.8Y-L)..... 120

รูปที่ 3.2.2-17 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Drum บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งขวาของลำน้ำยม (ตำแหน่ง DR2.8Y-R)..... 121

รูปที่ 3.2.2-18 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Drum บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำยม (ตำแหน่ง DR2.8Y-L)..... 122

รูปที่ 3.2.2-19 สภาพพื้นที่ริมตลิ่งของลำน้ำยม บริเวณสถานี Y6 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย..... 144

รูปที่ 3.2.2-20 สภาพพื้นที่ริมตลิ่งของลำน้ำน่าน บริเวณสถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์..... 145

รูปที่ 3.2.2-21 การติดตั้ง Seepage Meters บริเวณฝั่งซ้ายของลำน้ำยม ณ สถานี Y6 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย..... 146

รูปที่ 3.2.2-22 การติดตั้ง Seepage Meters บริเวณฝั่งขวาของแม่น้ำน่าน ณ สถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์..... 147

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

รูปที่ 3.2.2-23 การติดตั้ง Seepage Meters บริเวณฝั่งซ้ายของแม่น้ำน่าน ณ สถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ 148

รูปที่ 3.2.3-1 องค์ประกอบเครื่องตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณพื้นดินใต้ลำน้ำ..... 150

รูปที่ 3.2.3-2 การตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณตำแหน่งผิวตะกอนท้องน้ำ 152

รูปที่ 3.2.3-3 ความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8N-R วันที่ 23–24 มกราคม 2561 เวลา 10.40–10.10 น.... 153

รูปที่ 3.2.3-4 ความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8Y-R วันที่ 25–26 มกราคม 2561 เวลา 11.51–3.11 น. 154

รูปที่ 3.2.3-5 ความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8Y-L วันที่ 27–28 มกราคม 2561 เวลา 11.15–10.15 น. ... 155

รูปที่ 3.2.3-6 การตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณตำแหน่งผิวตะกอนท้องน้ำและลึกลงไปใต้ผิวตะกอนท้องน้ำประมาณ 8.00 เมตร ณ ตำแหน่ง DR2.8Y-L (ก) และ DR2.8N-R (ข)..... 157

รูปที่ 3.2.3-7 ความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8Y-L วันที่ 17–19 กรกฎาคม 2561..... 158

รูปที่ 3.2.3-8 ความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8N-R วันที่ 23–25 กรกฎาคม 2561 เวลา 11.30–12.30 น. 159

รูปที่ 3.2.4-1 ตำแหน่งที่ตั้งของบ่อสังเกตการณ์ทั้ง 6 บ่อในพื้นที่ศึกษา 161

รูปที่ 3.2.4-2 ภาพลักษณะการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ทั้ง 6 บ่อในพื้นที่ศึกษา 163

รูปที่ 3.2.5-1 แผนที่แสดงตำแหน่งหน้าตัดลำน้ำ 166

รูปที่ 3.2.5-2 แสดงหน้าตัดลำน้ำบริเวณสะพานเทพนครไตรตรึงษ์..... 167

รูปที่ 3.2.5-3 แสดงหน้าตัดลำน้ำบริเวณสะพานหาดสองแคว (N60)..... 167

รูปที่ 3.2.5-4 แสดงหน้าตัดลำน้ำบริเวณ DR2.8Y-L..... 168

รูปที่ 3.2.5-5 แสดงหน้าตัดลำน้ำบริเวณ DR2.8N-R..... 168

รูปที่ 3.3.1-1 ความเชื่อมโยงของการใช้งานแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้..... 169

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

รูปที่ 3.3.2-1 แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE11 172

รูปที่ 3.3.2-2 แผนผังแสดงแนวทางการคำนวณของแบบจำลอง NAM 173

รูปที่ 3.3.2-3 โครงสร้างของแบบจำลอง RR Module (NAM) 174

รูปที่ 3.3.2-4 โครงสร้างของแบบจำลอง HD Module (Hydrodynamic Mode) 175

รูปที่ 3.3.2-5 โครงข่ายแม่น้ำในแบบจำลอง MIKE11 176

รูปที่ 3.3.2-6 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า C.2 (พ.ศ. 2550-2559) 177

รูปที่ 3.3.2-7 โครงข่ายแม่น้ำในแบบจำลอง MIKE11 178

รูปที่ 3.3.2-8 หน้าตัดการไหลแม่น้ำในแบบจำลอง MIKE11 179

รูปที่ 3.3.2-9 การเลือกผลลัพธ์ในการแสดงผลการจำลองโดย MIKE VIEW 180

รูปที่ 3.3.2-10 การเลือกผลลัพธ์ในการแสดงผลการจำลองเฉพาะแม่น้ำยมโดย MIKE VIEW 180

รูปที่ 3.3.2-11 การเปรียบเทียบของระดับน้ำในแม่น้ำยมระหว่างช่วงแล้ง (เม.ย.) กับช่วงน้ำมาก (ส.ค.) 181

รูปที่ 3.3.2-12 การแสดงผลรูปตัดตามของ 2 ลำน้ำเพื่อเปรียบเทียบกัน (แม่น้ำปิงกับแม่น้ำน่าน) 182

รูปที่ 3.3.2-13 การแสดงอนุกรมเวลาของระดับน้ำจากแบบจำลอง 183

รูปที่ 3.3.2-14 เปรียบเทียบผลการจำลองระดับน้ำและค่าจากการตรวจวัดของสถานี Y.4 (แม่น้ำยม อ.เมือง จ.สุโขทัย) 184

รูปที่ 3.3.2-15 เปรียบเทียบผลการจำลองระดับน้ำและค่าจากการตรวจวัดของสถานี Y.5 (แม่น้ำยม อ.โพทะเล จ.พิจิตร) 185

รูปที่ 3.3.2-16 เปรียบเทียบผลการจำลองระดับน้ำและค่าจากการตรวจวัดของสถานี N.5A (แม่น้ำน่าน อ.เมือง จ.พิษณุโลก) 186

รูปที่ 3.3.2-17 เปรียบเทียบผลการจำลองระดับน้ำและค่าจากการตรวจวัดของสถานี N.7A (แม่น้ำน่าน อ.เมือง จ.พิจิตร) 187

รูปที่ 3.3.2-18 หลักการทำงานของโปรแกรม eWater Source 188

รูปที่ 3.3.2-19 กระบวนการ (ก) น้ำบาดาลไหลออกเข้าสู่ลำน้ำ (ข) น้ำในลำน้ำเติมน้ำบาดาลโดยการเชื่อมโยงแบบอิ่มตัว (ค) น้ำในลำน้ำเติมน้ำบาดาลโดยการเชื่อมโยงแบบไม่อิ่มตัว และ (ง) การลดระดับลงของน้ำในลำน้ำจากการสูบน้ำบริเวณข้างเคียง (Rassam, 2013) 190

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

รูปที่ 3.3.2-20 กระบวนการ (ก) การเติมน้ำบาดาลแบบกระจายตัว (ข) น้ำท่วม/การเติมน้ำบริเวณริมตลิ่งของลำน้ำ (ค) การคายระเหยของน้ำบาดาล และ (ง) การกักเก็บน้ำบาดาลบริเวณริมตลิ่งของลำน้ำ (Rassam, 2013) 191

รูปที่ 3.3.2-21 ภาพแนวคิดการสร้างแบบจำลองของลำน้ำยมและน่านตอนล่าง 192

รูปที่ 3.3.2-22 (ก) กระบวนการสำหรับการเชื่อมโยงแบบอิ่มตัว (ข) กระบวนการสำหรับการเชื่อมโยงแบบไม่อิ่มตัว และ (ค) การจำลองการเชื่อมโยงของลำน้ำต้นน้ำและท้ายน้ำ 1 มิติ (Rassam, 2013) 194

รูปที่ 3.3.2-23 แผนผังของการสร้างแบบจำลองลำน้ำในพื้นที่ศึกษาโดยใช้ eWater Source 196

รูปที่ 3.3.2-24 การกำหนดค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน 197

รูปที่ 3.3.2-25 ลักษณะการใช้งานโปรแกรม eWater Source เพื่อการนำเข้าข้อมูลน้ำท่า 198

รูปที่ 3.3.2-26 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองลำน้ำบริเวณท้ายน้ำของสถานี N7A เปรียบเทียบกับสถานี N8A 199

รูปที่ 3.3.2-27 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองลำน้ำบริเวณท้ายน้ำของสถานี Y4 เปรียบเทียบกับสถานี Y6 200

รูปที่ 3.3.2-28 ลักษณะโครงสร้างของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-HMS 203

รูปที่ 3.3.2-29 ตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ในส่วนของลุ่มน้ำย่อย 204

รูปที่ 3.3.2-30 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าและการกำหนดวิธีการทางอุตุ-อุทกวิทยา 205

รูปที่ 3.3.2-31 ตัวอย่างข้อมูลฝนและอัตราการไหลที่ระบุไว้ในส่วนของ Time-Series Data 205

รูปที่ 3.3.2-32 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบซ้ำแบบจำลองด้วยโปรแกรม HEC-HMS 206

รูปที่ 3.3.2-33 โครงข่ายลำน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-RAS 208

รูปที่ 3.3.2-34 ตัวอย่างข้อมูลหน้าตัดขวางลำน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-RAS 208

รูปที่ 3.3.2-35 ตัวอย่างผลการคำนวณซึ่งแสดงผลหน้าข้างการไหลจากแบบจำลอง HEC-RAS 209

รูปที่ 3.3.3-1 แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE SHE 210

รูปที่ 3.3.3-2 ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง MIKE SHE กับ MIKE11 ผ่านหน้าตัดการไหล 216

รูปที่ 3.3.3-3 จุดคำนวณ (Node) ในแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินแบบ 3 มิติ 223

รูปที่ 3.3.3-4 ขอบเขตรูปแบบจำลองโดยวิธีผลต่างสืบเนื่องของน้ำใต้ดินแบบ 3 มิติ 223

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

รูปที่ 3.3.3-5 ผลการจำลองการระดับน้ำบาดาลในช่วงเดือนสิงหาคม-พฤศจิกายน พ.ศ. 2554 225

รูปที่ 3.3.3-6 ผลการจำลองการระดับน้ำบาดาลของหน้าตัดขวางที่ 1 และ 2 ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 226

รูปที่ 3.3.3-7 ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลอง MODFLOW.....229

รูปที่ 3.3.3-8 ฐานข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยาและระบบการจำลองการไหลของน้ำบาดาล 231

รูปที่ 3.3.3-9 การออกแบบกริด และขอบเขตของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์.....234

รูปที่ 3.3.3-10 การกระจายตัวของพื้นที่การเพิ่มเติมน้ำและอัตราการเพิ่มเติมน้ำเริ่มต้นสู่แหล่งน้ำบาดาล.....235

รูปที่ 3.3.3-11 ขอบเขตแม่น้ำ.....236

รูปที่ 3.3.3-12 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์และสภาพระดับแรงดันน้ำเริ่มต้นในแบบจำลอง (หน่วย ม.รทก.) 238

รูปที่ 3.3.3-13 การสำรวจการใช้น้ำบาดาล 239

รูปที่ 3.3.3-14 ตำแหน่งสำรวจการใช้น้ำบาดาล.....240

รูปที่ 3.3.3-15 ตำแหน่งบ่อสูบน้ำบาดาล 241

รูปที่ 3.3.3-16 การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านจากการปรับเทียบแบบจำลอง.....243

รูปที่ 3.3.3-17 การกระจายตัวของเส้นระดับแรงดันเท่ากันของน้ำบาดาล (หน่วย: ม.รทก.).....245

รูปที่ 3.4.2-1 รูปแบบการประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณจากการใช้แบบจำลอง Positive Matrix.....251

รูปที่ 3.4.3-1 Box Plots ของค่าความเข้มข้น (mg/L) ของ Cr, Cu, Fe, Zn, NH_4-N, และ TP ที่ตรวจวัดได้จาก 80 บ่อสังเกตการณ์.....257

รูปที่ 3.4.3-2 ปริมาณและการจัดสรรขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่ได้จากแหล่งกำเนิดที่ 1 น้ำเสียชุมชน (Sewage) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกฟลูออไรด์ (F)..... 259

รูปที่ 3.4.3-3 ปริมาณและการจัดสรรปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่ได้จากแหล่งกำเนิดที่ 2 สารเคมีการเกษตร (Agricultural Pollution) / การผุพังสลายตัวของชั้นหิน (Bedrock Weathering) / ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหิน (Water-rock Interaction) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) 260

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

รูปที่ 3.4.3 4 ปริมาณและการจัดสรรขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่ได้จากแหล่งกำเนิดที่ 1 การผุพังสลายตัวของชั้นหิน (Bedrock Weathering) / ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหิน (Water-rock Interaction)..... 261

รูปที่ 3.4.3-5 ปริมาณและการจัดสรรขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่ได้จากแหล่งกำเนิดที่ 2 น้ำเสียชุมชน (Sewage) / การละลายของแร่ธาตุจำพวก ฟลูออไรด์ (F)..... 262

รูปที่ 3.4.3-6 ปริมาณและการจัดสรรขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่ได้จากแหล่งกำเนิดที่ 3 สารเคมีการเกษตร (Agricultural Pollution) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) 263

รูปที่ 3.4.3-7 แผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำบาดาลแสดงความแตกต่างขององค์ประกอบไอออนหลัก 264

รูปที่ 3.4.3-8 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำบาดาล (หน่วย: Molality) จากการจำลองการผสมของสารละลายจาก 3 แหล่งกำเนิด 266

รูปที่ 3.5.1-1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโลก (IPCC, 2013) 267

รูปที่ 3.5.1-2 ความสัมพันธ์ของปริมาณ CO2 (เส้นสีน้ำเงิน, หน่วยเป็น ppm) และอุณหภูมิที่ Antarctica (เส้นสีแดง)..... 268

รูปที่ 3.5.1 3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ: CO_2 ในชั้นบรรยากาศในช่วง 5 ปีล่าสุด (รูปซ้าย) และ CO_2 ในชั้นบรรยากาศตั้งแต่เริ่มตรวจวัดจากเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 1974 ถึงปัจจุบัน (รูปขวา)..... 269

รูปที่ 3.5.1-4 สมมุติฐานการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศและการเพิ่มปริมาณรังสีที่พื้นผิวโลก 270

รูปที่ 3.5.1-5 แสดงวิวัฒนาการของการสร้างแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (GCM) และความละเอียดของแบบจำลอง (ที่มา: National Research Council, 2012) 271

รูปที่ 3.5.2-1 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ย (a) อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (b) และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (c) ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2494-2550 (ที่มา: กรรวี, 2550)..... 272

รูปที่ 3.5.3-1 การลดขนาดแบบจำลอง GCM 273

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

รูปที่ 3.5.3-2 ขั้นตอนการปรับแก้แบบจำลอง (Bias correction)..... 275

รูปที่ 3.6.1-1 การกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิรายปีเฉลี่ย พ.ศ. 2524-2543 (องศาเซลเซียส)..... 277

รูปที่ 3.6.1-2 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรายปีเฉลี่ยระหว่างอดีต (พ.ศ. 2524-2543) กับการคาดการณ์ในอนาคต (พ.ศ. 2564-2583)..... 278

รูปที่ 3.6.1-3 การกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิอากาศรายปีเฉลี่ย 20 ปีในอนาคตช่วงระหว่าง พ.ศ. 2564-2583 (ค.ศ. 2021-2040) ของแบบจำลอง MIROC-ESM-CHEM ภายใต้สถานการณ์จำลองการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำ (RCP2.6) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับกลาง (RCP4.5) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับสูง (RCP4.5) : หน่วยเป็นองศาเซลเซียส..... 279

รูปที่ 3.6.1-4 การกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิอากาศรายปีเฉลี่ย 20 ปีในอนาคตช่วงระหว่าง พ.ศ. 2564-2583 (ค.ศ. 2021-2040) ของแบบจำลอง HadGEM2-ES ภายใต้สถานการณ์จำลองการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำ (RCP2.6) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับกลาง (RCP4.5) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับสูง (RCP4.5) : หน่วยเป็นองศาเซลเซียส..... 280

รูปที่ 3.6.1-5 การกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิอากาศรายปีเฉลี่ย 20 ปีในอนาคตช่วงระหว่าง พ.ศ. 2564-2583 (ค.ศ. 2021-2040) ของแบบจำลอง GFDL-ESM2M ภายใต้สถานการณ์จำลองการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำ (RCP2.6) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับกลาง (RCP4.5) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับสูง (RCP4.5) : หน่วยเป็นองศาเซลเซียส..... 281

รูปที่ 3.6.2-1 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย พ.ศ. 2524-2543 (มม.)..... 282

รูปที่ 3.6.2-2 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยระหว่างอดีต (พ.ศ. 2524-2543) กับการคาดการณ์ในอนาคต (พ.ศ. 2564-2583)..... 283

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

รูปที่ 3.6.2-3 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 20 ปีในอนาคตช่วงระหว่าง พ.ศ. 2564-2583 (ค.ศ. 2021-2040) ของแบบจำลอง MIROC-ESM-CHEM ภายใต้สถานการณ์จำลองการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำ (RCP2.6) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับกลาง (RCP4.5) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับสูง (RCP4.5) : หน่วยเป็น มม. 284

รูปที่ 3.6.2-4 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 20 ปีในอนาคตช่วงระหว่าง พ.ศ. 2564-2583 (ค.ศ. 2021-2040) ของแบบจำลอง HadGEM2-ES ภายใต้สถานการณ์จำลองการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำ (RCP2.6) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับกลาง (RCP4.5) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับสูง (RCP4.5) : หน่วยเป็น มม. 285

รูปที่ 3.6.2-5 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 20 ปีในอนาคตช่วงระหว่าง พ.ศ. 2564-2583 (ค.ศ. 2021-2040) ของแบบจำลอง GFDL-ESM2M ภายใต้สถานการณ์จำลองการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำ (RCP2.6) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับกลาง (RCP4.5) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับสูง (RCP4.5) : หน่วยเป็น มม. 286

รูปที่ 3.7.1-1 บรรยากาศการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1 287

รูปที่ 3.7.1-2 บรรยากาศการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 2 288

รูปที่ 3.7.1-3 บรรยากาศการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 3 288

รูปที่ 3.7.1-4 บรรยากาศการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 4 289

รูปที่ 3.7.1-5 บรรยากาศการจัดฝึกอบรมวันแรก 290

รูปที่ 3.7.1-6 บรรยากาศการจัดฝึกอบรมวันที่สอง 291

รูปที่ 3.7.1-7 บรรยากาศการจัดฝึกอบรมวันที่สาม 292

รูปที่ 3.7.2-1 ผู้ตอบแบบสอบถามการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1 293

รูปที่ 3.7.2-2 รายงานการประเมินการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1 294

รูปที่ 3.7.2-3 ผู้ตอบแบบสอบถามการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 2 295

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

รูปที่ 3.7.2-4 รายงานการประเมินการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 2 296

รูปที่ 3.7.2-5 ผู้ตอบแบบสอบถามการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 3 297

รูปที่ 3.7.2-6 รายงานการประเมินการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 3 298

รูปที่ 3.7.2-7 ผู้ตอบแบบสอบถามการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 4 299

รูปที่ 3.7.2-8 รายงานการประเมินการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 4 300

รูปที่ 3.7.2-9 ผู้ตอบแบบสอบถามการเข้าร่วมฝึกอบรม 301

รูปที่ 3.7.2-10 รายงานการประเมินการเข้าร่วมฝึกอบรม 302

รูปที่ 3.7.3-1 แนวทางการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1 305

รูปที่ 3.7.3-2 แนวทางการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 2 306

รูปที่ 3.7.3-3 แนวทางการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 3 307

รูปที่ 3.7.3-4 แนวทางการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 4 308

รูปที่ 3.7.3-5 แนวทางการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในการเข้าร่วมฝึกอบรม 309

รูปที่ 4.1.4-1 กรอบงานของการบริหารจัดการน้ำผิวดินร่วมกับน้ำบาดาลภายใต้เงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (ที่มา: Jakeman et al., 2016) 327

รูปที่ 4.1.5-1 บริเวณพื้นที่กลุ่มชุดดินที่ 5, 6, 18, และ 33 ที่พบปริมาณ Ca มีมากกว่า Mg เกิน 10 เท่า 332

รูปที่ 4.1.6-1 ภาพฉายการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน (ปิงวัง ยม และน่าน) ในช่วงปี ค.ศ. 2026–2040 โดยใช้ 3 GCMs ภายใต้ 4 สถานการณ์จำลอง 343

สารบัญภาพ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

รูปที่ 4.1.6 2 ภาพฉายการเปลี่ยนแปลงของการเติมน้ำบาดาลจากน้ำฝนสะสมในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน (ปิง วัง ยม และน่าน) ในช่วงปี ค.ศ. 2026–2040 โดยใช้ 3 GCMs ภายใต้ 4 สถานการณ์จำลอง (รวม 12 Scenarios)..... 344

รูปที่ 4.2.2-1 ช่วงเวลาการสูญเสียน้ำในลำน้ำและการเติมน้ำในลำน้ำ..... 348

สารบัญตาราง

เรื่อง **หน้า**

ตารางที่ 1.4-1 รายละเอียดของวิธีการดำเนินการในแต่ละกิจกรรมและระยะเวลาดำเนินงาน....12

ตารางที่ 1.5-1 รายละเอียดของจำนวนระยะเวลาการดำเนินงานของโครงการ....21

ตารางที่ 1.7-1 สรุปรายละเอียดการประเมินโครงการแยกตามงวดงาน วิธีการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือการวิจัยสถานที่จัด ระยะเวลาที่ใช้ และกลุ่มเป้าหมาย....23

ตารางที่ 1.8-1 รายละเอียดตัวชี้วัดที่ใช้ในโครงการ....24

ตารางที่ 1.8-2 ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับพร้อมระยะเวลาดำเนินโครงการ....25

ตารางที่ 1.10-1 การรายงานผลการดำเนินโครงการต่อคณะกรรมการบริหารกองทุนพัฒนาน้ำบาดาล....27

ตารางที่ 2.1.1-1 พื้นที่ศึกษาโครงการโดยจำแนกเป็นรายอำเภอ....28

ตารางที่ 2.1.4-1 สรุปผลค่าอัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น (f_0) ค่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล (f_c) และค่าคงที่ของการซึม (k) ที่ได้รับจากการตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา....50

ตารางที่ 2.1.4-2 รายละเอียดตัวแปรที่ได้รับตาม Horton' Equation ($f = f_c + (f_0 - f_c)\, e^{-kt}$) จากจุดตรวจวัดปริมาณการซึมลงดินของน้ำ (Infiltration Rates) ในพื้นที่ศึกษา....53

ตารางที่ 2.2-1 สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปในพื้นที่ศึกษา....63

ตารางที่ 2.2.1-1 สถิติข้อมูลน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยในพื้นที่โครงการในช่วงปี พ.ศ. 2540–2559....66

ตารางที่ 2.2.2-1 ความสัมพันธ์ของน้ำฝน-น้ำท่า และสัมประสิทธิ์น้ำท่าของ 25 ลุ่มน้ำหลักในประเทศไทย....73

ตารางที่ 2.2.2-2 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา....77

ตารางที่ 2.2.2-3 สถิติข้อมูลน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยและรายฤดูกาลในพื้นที่ศึกษา....79

ตารางที่ 2.2.3-1 แหล่งน้ำผิวดินขนาดใหญ่ที่มีอิทธิพลต่อทรัพยากรน้ำในพื้นที่ศึกษา....83

ตารางที่ 3.2.1-1 ค่าเฉลี่ยรวมของน้ำท่าของฝั่งแม่น้ำยม ณ สถานี Y6, Y4, Y16, Y17, และ Y5 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2559 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 21 ปี....92

ตารางที่ 3.2.1-2 ข้อมูลระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์ สถานี NT50/2, NT50/3, และ NT51 ปี พ.ศ. 2559....95

ตารางที่ 3.2.1-3 ค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่ารายสัปดาห์ของฝั่งแม่น้ำยม ณ สถานี Y6, Y4, Y16, Y17, และ Y5....96

สารบัญตาราง (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

ตารางที่ 3.2.1-4 ค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่า ณ สถานี N60, N27A, N5A, N7A, และ N8A ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2559 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 21 ปี 98

ตารางที่ 3.2.1-5 ค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่ารายสัปดาห์ของฝั่งลำน้ำน่าน ณ สถานี N60, N27A, N5A, N7A, และ N8A 100

ตารางที่ 3.2.2 1 สรุปตำแหน่งตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา โดยรวมตำแหน่งที่ได้เพิ่มเติมภายหลัง 123

ตารางที่ 3.2.2 2 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) บริเวณสถานี Y6 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย ด้านฝั่งซ้าย (Y6-L) ของลำน้ำยม เดือนตุลาคม และกุมภาพันธ์–เมษายน 2561 124

ตารางที่ 3.2.2-3 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณสถานี Y6 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย ด้านฝั่งซ้าย (Y6-L) ของลำน้ำยม เดือนตุลาคมและกุมภาพันธ์–เมษายน 2561 125

ตารางที่ 3.2.2-4 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) 126

ตารางที่ 3.2.2-5 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณสถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ด้านฝั่งขวา (N60-R) และฝั่งซ้าย (N60-L) ของลำน้ำน่าน เดือนพฤศจิกายน 2560 127

ตารางที่ 3.2.2-6 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) 128

ตารางที่ 3.2.2-7 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (DR2.8N–R) เดือนมกราคม 2561 129

ตารางที่ 3.2.2-8 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์-เซนติเมตร) บริเวณ ปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (DR2.8Y–R) และ ฝั่งซ้าย (DR2.8Y–L) ของลำน้ำยม เดือนธันวาคม 2560–มกราคม 2561 130

สารบัญตาราง (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

ตารางที่ 3.2.2-9 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (DR2.8Y–R) และ ฝั่งซ้าย (DR2.8Y–L) ของลำน้ำยม เดือนธันวาคม 2560–มกราคม 2561 134

ตารางที่ 3.2.2-10 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) บริเวณสถานี N27A อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (N27A–R) เดือนมกราคม 2561 138

ตารางที่ 3.2.2-11 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณสถานี N27A อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (N27A–R) เดือนมกราคม 2561 139

ตารางที่ 3.2.2-12 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) บริเวณตำแหน่ง WTRN วัดท่าโรงตะวันตก อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (WTRN–R) ของลำน้ำน่าน เดือนมกราคม 2561 140

ตารางที่ 3.2.2-13 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณตำแหน่ง WTRN วัดท่าโรงตะวันตก อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (WTRN–R) ของลำน้ำน่าน เดือนมกราคม 2561 141

ตารางที่ 3.2.2-14 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) บริเวณสถานี N67 อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ ด้านฝั่งขวา (N67–R) และ ฝั่งซ้าย (N67–L) ของลำน้ำน่าน เดือนมกราคม 2561 142

ตารางที่ 3.2.2-15 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณสถานี N67 อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ ด้านฝั่งขวา (N67–R) และ ฝั่งซ้าย (N67–L) ของลำน้ำน่าน เดือนมกราคม 2561 143

ตารางที่ 3.2.3-1 สรุปค่าความแตกต่างของเฮดระหว่างตำแหน่งใต้ตะกอนท้องน้ำและตำแหน่งผิวน้ำในลำน้ำ 151

สารบัญตาราง (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

ตารางที่ 3.2.3-2 ตำแหน่งตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำลงไป 8.00 เมตร และบริเวณผิวของตะกอนท้องน้ำ..156

ตารางที่ 3.2.4-1 ข้อมูลรายละเอียดของบ่อสังเกตการณ์ทั้ง 6 บ่อในพื้นที่ศึกษาและบ่อตรวจวัดอุณหภูมิ 2 บ่อ ในพื้นที่ศึกษา..162

ตารางที่ 3.3.1-1 รายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง..170

ตารางที่ 3.3.2-1 แบบจำลองย่อยของแบบจำลองปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นโดยตรง..201

ตารางที่ 3.3.2-2 แบบจำลองย่อยของแบบจำลองการไหลพื้นฐาน..202

ตารางที่ 3.3.2-3 แบบจำลองย่อยของแบบจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำในลำน้ำ..202

ตารางที่ 3.3.3-1 การประเมินข้อมูลนำเข้าในการจำลองการไหลของน้ำบาดาล..241

ตารางที่ 3.3.3-2 ผลการปรับเทียบข้อมูลนำเข้าในการจำลองการไหลของน้ำบาดาลสภาวะไม่คงตัว..244

ตารางที่ 3.3.3-3 รายละเอียดผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของชุดข้อมูลนำเข้าแบบจำลองการไหล..247

ตารางที่ 3.3.4-1 การเปรียบเทียบข้อเด่นและข้อจำกัดของโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำบาดาล รวมถึงแบบจำลองคุณภาพน้ำบาดาล..249

ตารางที่ 3.4.3-1 ค่าทางสถิติของข้อมูลตัวอย่างองค์ประกอบทางเคมี 14 ชนิดตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554–2559 ในบ่อสังเกตการณ์ของพื้นที่ศึกษา และเกณฑ์อนุโลมสูงสุดตามมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค ..256

ตารางที่ 3.4.3-2 ปริมาณร้อยละการจัดสรรขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลจาก 2 และ 3 แหล่งกำเนิดที่ได้รับจากโปรแกรม EPA PMF 5.0..258

ตารางที่ 3.4.3-3 การแจกแจงกลุ่มของน้ำบาดาลหรือชนิดน้ำบาดาลจากแผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram)..264

ตารางที่ 3.4.3-4 ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมี (หน่วย: mg/L) จาก 3 แหล่งกำเนิดของ PMF ..265

ตารางที่ 3.7.2-1 จำนวนผู้เข้าร่วมประชุม ครั้งที่ 1..293

ตารางที่ 3.7.2-2 จำนวนผู้เข้าร่วมประชุม ครั้งที่ 2..295

ตารางที่ 3.7.2-3 จำนวนผู้เข้าร่วมประชุม ครั้งที่ 3..297

ตารางที่ 3.7.2-4 จำนวนผู้เข้าร่วมประชุม ครั้งที่ 4..299

สารบัญตาราง (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

ตารางที่ 3.7.2-5 จำนวนผู้เข้าร่วมฝึกอบรม 301

ตารางที่ 4.1.2-1 สรุปการเปรียบเทียบผลที่ได้และข้อดี–ข้อเสียของการประมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินโดยวิธีกำไร–ขาดทุนจากการทำบัญชีน้ำ การตรวจวัดโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum และการตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ.....322

ตารางที่ 4.1.3-1 การเปรียบเทียบข้อเด่นและข้อจำกัดของโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำบาดาล รวมถึงแบบจำลองคุณภาพน้ำบาดาล.....325

ตารางที่ 4.1.4-1 ภาพรวมของสาเหตุและปัญหาที่เกี่ยวเนื่องกับทรัพยากรน้ำในปัจจุบัน.....328

ตารางที่ 4.1.5-1 การเปรียบเทียบแนวทางการลดปริมาณของมลสารจำพวกโลหะหนักและสารอาหารในน้ำบาดาล.....336

ตารางที่ 4.1.6-1 แนวทางการปรับต่อเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ.....341

บทที่ 1
บทนำ

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

การระดมสรรพกำลังอย่างเต็มขีดความสามารถของประเทศเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจทั้งทางภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนการเติบโตของชุมชนเมือง ก่อให้เกิดปัญหาตามมาหลายอย่างทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อทรัพยากรน้ำ (Sethaputra et al., 2010) อาทิ ปัญหาน้ำท่วม ปัญหาภัยแล้ง และปัญหาน้ำเสีย ตลอดจนการซ้ำเติมปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ที่สำคัญมากก็คือ ภาวะที่โลกร้อนขึ้น ทั้งหลายทั้งมวลเหล่านี้เป็นปัจจัยที่กระตุ้นให้เกิดวิกฤตน้ำ ที่หนักหน่วงรุนแรงมากขึ้นจนกระทั่งไม่อาจคาดการณ์ถึงผลกระทบทั้งทางเศรษฐกิจและสังคมที่จะเกิดตามมาได้ ทรัพยากรน้ำนั้นจึงเริ่มดูประหนึ่งว่ามีปริมาณที่จำกัดหรือบางครั้งก็มีปริมาณที่เกินไปมากนอกจากนั้นมีการแปรผันเชิงพื้นที่ที่สูง ท้ายที่สุดน้ำอาจถูกเปรียบเป็นสินแร่หรือน้ำมันที่มีราคาสูง และยังอาจถูกเปรียบเป็นศาสตราวุธที่ทรงพลานุภาพในการทำลายล้างซึ่งผู้ใช้น้ำจากทุกภาคส่วนอาจต้องจ่ายเงินจึงจะสามารถใช้น้ำได้หรืออาจต้องจ่ายเงินเพื่อป้องกันน้ำเข้ามาทำลายทรัพย์สินในพื้นที่และให้น้ำออกไปจากพื้นที่ ในขณะที่ภาพรวมของการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศที่มีอยู่ในปัจจุบัน ยังเป็นไปในลักษณะแยกส่วนกันระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาล

แนวคิดการบริหารจัดการร่วมระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาล ได้ถูกนำมาปฏิบัติได้จริงในต่างประเทศ ดังเช่น มลรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นพื้นที่ซึ่งมีการดำเนินงานอย่างเป็นรูปธรรม โดยที่มลรัฐแคลิฟอร์เนียนี้ถึงกับกำหนดให้การบริหารจัดการร่วมและการกักเก็บน้ำบาดาล (Conjunctive Management and Groundwater Storage) เป็นยุทธศาสตร์สำคัญประการหนึ่ง ภายใต้ยุทธศาสตร์การจัดการทรัพยากร (Department of Water Resources, 2009) การบริหารจัดการร่วมกันหมายรวมถึงการวางแผนและประสานงานการใช้น้ำ อีกทั้งการบริหารจัดการทั้งทรัพยากรน้ำผิวดินและน้ำบาดาล เพื่อเพิ่มความพร้อมในการใช้งานและความน่าเชื่อถือของแหล่งน้ำในพื้นที่ เป็นการตอบสนองวัตถุประสงค์ของการบริหารจัดการที่หลากหลาย แหล่งน้ำผิวดินและน้ำบาดาลโดยมากจะมีความแตกต่างกัน ทั้งในด้านความพร้อมใช้งานคุณภาพ ความต้องการในการบริหารจัดการ รวมถึงค่าใช้จ่ายสำหรับการพัฒนาและการใช้งาน ทั้งนี้การบริหารจัดการทรัพยากรทั้งน้ำผิวดินและน้ำบาดาลร่วมกัน แทนที่จะแยกกันอย่างโดดเดี่ยวจะก่อให้เกิดการบริหารจัดการที่เป็นไปในลักษณะการดึงข้อได้เปรียบของทรัพยากรทั้งสองมารังสรรค์ให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด

การบริหารจัดการร่วมระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาลจำเป็นต้องทำให้เกิดศักยภาพในการบรรเทาภัยแล้งและภัยน้ำท่วมเพิ่มปริมาณการเติมแอ่งน้ำบาดาล ในขณะเดียวกันก็ยังปรับปรุงหน้าที่ของระบบนิเวศให้ดีขึ้น (Public Policy Institute of California, 2011) เพื่อเป็นการสร้างหลักประกันการมีน้ำใช้ อีกทั้งการลดระดับความเสี่ยงของการลดระดับน้ำบาดาลอย่างถาวร ตลอดจนยังเป็นการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประเทศไทยเองจำเป็นต้องมีหลายมาตรการด้านน้ำในรูปแบบแนวทางใหม่ เพื่อปรับปรุงความสามารถในการควบคุมน้ำ

สำหรับการบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำและน้ำท่วม รวมไปถึงการหลีกเลี่ยงการลดระดับลงอย่างมากของน้ำบาดาลในบางพื้นที่ ซึ่งปัญหาเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะเป็นภัยคุกคามอย่างร้ายแรงต่อคนไทย ด้วยลักษณะทางกายภาพของที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งเอื้อต่อการมีแอ่งน้ำบาดาลตามธรรมชาติในปริมาณพอควร หลายการศึกษาในประเทศไทยเองแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการใช้น้ำร่วมกัน (Pavelic et al., 2012) และมักแนะนำให้เน้นการใช้น้ำร่วมกันในพื้นที่เกษตรกรรม (Jampanil, 2003; Bejranonda et al., 2006) ในส่วนการศึกษาด้านการบริหารจัดการน้ำร่วมกันภายในประเทศได้มีการดำเนินโครงการจัดทำแผนบูรณาการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินทั่วประเทศ และการดำเนินการในพื้นที่นำร่อง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554) อย่างไรก็ตามเป็นการเน้นการตอบสนองความต้องการการใช้น้ำของแต่ละภาคส่วน ดังนั้นการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน เพื่อการแก้ไขและบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำและน้ำท่วมก็ยังเป็นแบบแยกส่วนออกจากกัน

อีกหลายการศึกษาที่ผ่านมาแล้วในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา โดยเฉพาะบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง ได้แสดงให้เห็นถึงความพยายามแก้ไขปัญหาระดับน้ำบาดาลลดลง เนื่องจากการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในปริมาณมาก Pholkern et al. (2011) ได้ดำเนินการศึกษาคัดเลือกพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำผ่านระบบสระน้ำในพื้นที่ จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และจังหวัดพิจิตร และคัดเลือกพื้นที่ทดลองก่อสร้างระบบเติมน้ำ ผลการศึกษาพบว่าลุ่มน้ำย่อยส่วนบริเวณบ้านหนองนา ตำบลหนองกุลา อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการก่อสร้างระบบเติมน้ำผ่านสระน้ำ โดยมีพื้นที่ทั้งหมด 4.1 ตารางกิโลเมตร พื้นที่กว่าร้อยละ 80 เป็นนาข้าวและไร่อ้อย แหล่งน้ำดิบหลักที่นำมาเติมในระบบเติมน้ำอยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่โดยเป็นคลองระบายน้ำที่ขุดขึ้นโดยเกษตรกร เพื่อใช้ระบายน้ำออกจากพื้นที่นาข้าวในช่วงฤดูฝน พื้นที่ที่ถูกคัดเลือกมีการใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งปรากฏว่ามีจำนวนบ่อน้ำบาดาลเพื่อทำการเกษตรประมาณ 90 บ่อ Pavelic et al. (2012) ยังได้อธิบายรายละเอียดการทดลองเติมน้ำลงสู่แอ่งน้ำบาดาลผ่านสระน้ำที่บ้านหนองนาไว้ว่า เป็นการดำเนินการทดลองปฏิบัติจริงที่สำคัญครั้งหนึ่ง ซึ่งเป็นการประเมินศักยภาพทั้งทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของแอ่งน้ำบาดาลใต้ดินจากการซึมของน้ำลงชั้นหินอุ้มน้ำตะกอน

เนื่องจากการใช้งานน้ำผิวดินของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยบริเวณบ้านหนองนาเป็นไปอย่างจำกัด ทั้งเชิงพื้นที่และระยะเวลาจึงเกิดการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เป็นปริมาณมากเพื่อการทำนาปรัง ส่งผลทำให้พื้นที่หลายส่วนต้องเผชิญปัญหาการลดลงของระดับน้ำบาดาลอย่างต่อเนื่อง จนเกินระดับที่เกษตรกรในพื้นที่จะสามารถใช้เครื่องสูบน้ำหอยโข่งได้ อีกทั้งบริเวณบ้านหนองนายังเป็นพื้นที่ต่ำและมักประสบปัญหาน้ำท่วมตามฤดูกาล ผลการศึกษาแสดงถึงอัตราการเติมน้ำ 0.5 และ 2.5 เมตรต่อวัน สำหรับการทดสอบที่ระยะเวลา 55 และ 1 วัน ตามลำดับ สาเหตุการลดต่ำลงของอัตราการเติมน้ำเมื่อระยะเวลา การทดสอบนานขึ้นเป็นเพราะการสะสมของตะกอนและดินเหนียวที่พื้นสระ ถ้ามีการแก้ไขโดยการกำจัดตะกอนและดินเหนียว อัตราการเติมน้ำอาจเพิ่มขึ้นถึง 40 เมตรต่อฤดูกาล ผลการศึกษาของ Uppasit et al. (2012) และ Uppasit et al.

(2013) เห็นพ้องตรงกันว่าระดับน้ำบาดาลที่ลดลงในพื้นที่บ้านหนองนา สามารถควบคุมได้จากการสร้างระบบการเติมน้ำบาดาลผ่านสระน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในปริมาณมาก

แนวคิดในเรื่องการบริหารจัดการร่วมและการกักเก็บน้ำบาดาล (Conjunctive Management and Groundwater Storage) ของมลรัฐแคลิฟอร์เนียได้ถูกนำเสนอในประเทศไทยหลายครั้งต่อหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบหลักด้านน้ำได้แก่ กรมทรัพยากรน้ำ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล และกรมชลประทาน โดยสถาบันมรดกธรรมชาติหรือ Natural Heritage Institute (NHI) ของประเทศสหรัฐอเมริกา และจากการหารือร่วมกันของหน่วยงานด้านน้ำทั้งสาม ได้มีความเห็นตรงกันว่าแนวทางการบริหารจัดการร่วมระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาลที่นำเสนอนี้ยังเป็นวิธีการใหม่ ควรแก่การสร้างเสริมให้เกิดความเข้าใจเพิ่มเติมมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับบริบทพื้นที่ในประเทศไทย ด้วยความเห็นชอบของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจึงได้มีคำสั่งแต่งตั้งคณะกรรมการอำนวยการโครงการบริหารจัดการน้ำผิวดินร่วมกับน้ำใต้ดิน ที่ 45/2557 วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2557 ประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญภาครัฐและตัวแทนสถาบันการศึกษา โดยมีอำนาจหน้าที่หลักเพื่อกำหนดกรอบแนวทางการดำเนินโครงการทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยคำนึงถึงการศึกษาและการนำไปทดลองปฏิบัติได้ในพื้นที่นำร่องก่อนและพื้นที่ที่เหมาะสมในวงกว้างต่อไป

การดำเนินการศึกษาวิจัยโครงการการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง จึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยการศึกษาวิจัยรากฐานที่สำคัญของความเชื่อมโยงระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงการเข้าใจความเชื่อมโยงของน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน สามารถนำไปสู่การพัฒนาวางแนวทางการบริหารจัดการร่วมระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการปรับตัวต่อผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต (Brodie et al., 2007; Ransley et al., 2007; Zhang, 2015) แบบจำลองเพื่อการหาทางเลือกที่ดีที่สุดถือเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินขณะเดียวกันน้ำบาดาลนั้น จะสามารถช่วยบรรเทาความตึงเครียดภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากการขาดแคลนน้ำผิวดินได้ก็ด้วยการนำขึ้นมาใช้เสริมกับน้ำผิวดิน แต่ก็เฉพาะพื้นที่ที่มีศักยภาพน้ำบาดาลเพียงพอ น้ำบาดาลยังมีคุณภาพที่ดีและความสามารถของการเติมน้ำบาดาลไม่ลดลงมากนัก การประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดของมลพิษในน้ำบาดาลจะทำให้ทราบแนวทางการบรรเทาการปนเปื้อนของมลพิษ และท้ายที่สุดผลการศึกษาจะสามารถกำหนดแนวทางการปรับตัวของเกษตรกรในพื้นที่ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและศักยภาพของทรัพยากรน้ำบาดาลในอนาคต

ตั้งแต่บริเวณภาคเหนือตอนล่างลงมาตามแม่น้ำเจ้าพระยา มักเกิดสภาวะน้ำท่วมขังเป็นประจำจนกระทั่งไหลออกสู่ทะเล และพบว่าภัยน้ำท่วมที่ส่งผลกระทบเป็นวงกว้างมักเกิดขึ้นราว 1 ครั้งในทุกๆ 4 ปี (Pavelic et al., 2012) เห็นได้จากเหตุการณ์ในปี พ.ศ. 2549 2552 และปี พ.ศ. 2554 กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณะภัย (2554) ได้ประมาณการตัวเลขความเสียหายจากอุทกภัยในระหว่างปี พ.ศ. 2532 ถึง พ.ศ. 2554 โดยรวมมีมูลค่าความเสียหายรวมกันถึงประมาณ 248,838 ล้านบาท หลังจากเหตุการณ์น้ำท่วม

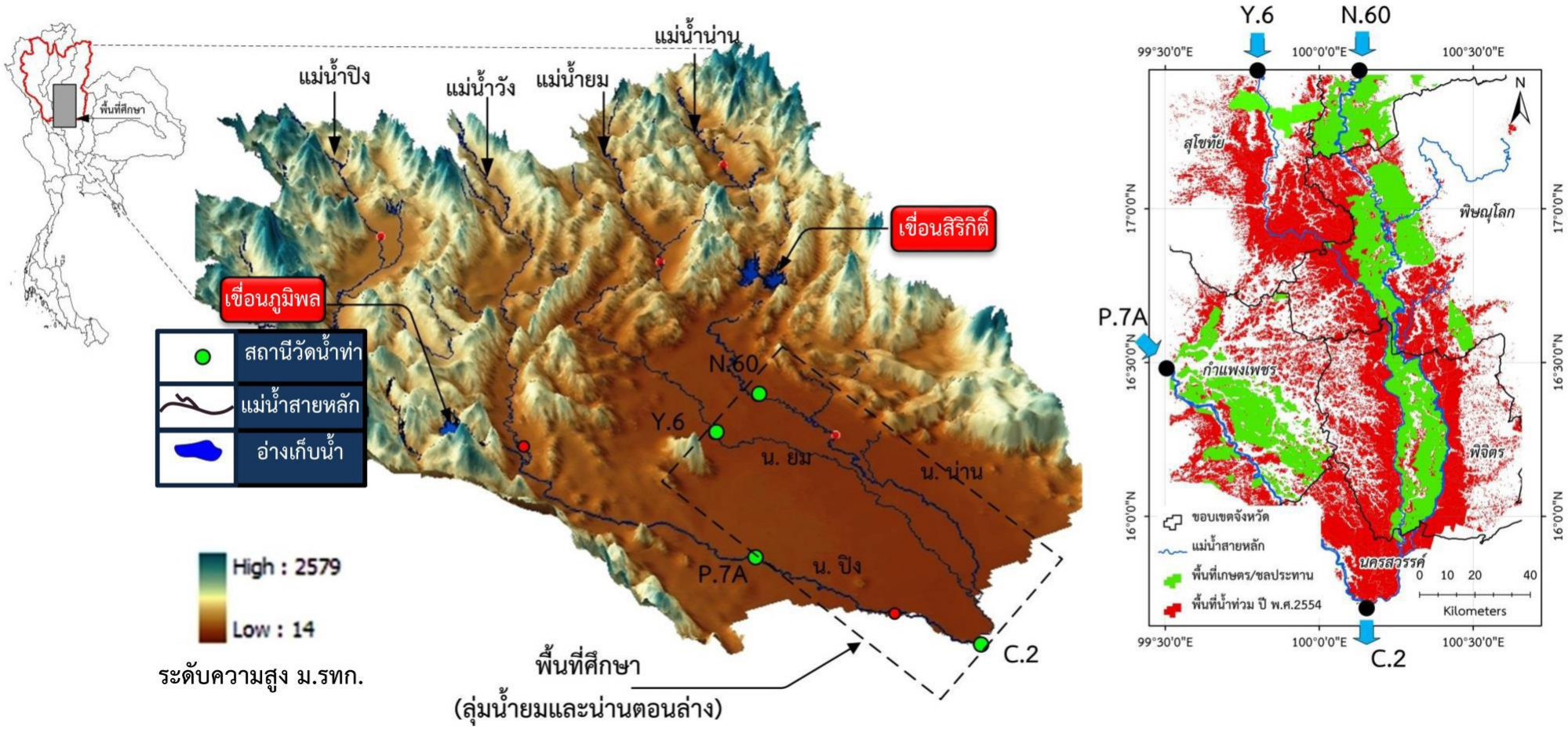
ผ่านไปแล้วต่อมาหลายพื้นที่ก็มักจะประสบปัญหาภัยแล้ง โดยเฉพาะพื้นที่ที่ตั้งอยู่ห่างไกลออกไปจากแหล่งน้ำและอยู่นอกเขตพื้นที่ชลประทาน พื้นที่ลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่างถือได้ว่าเป็นพื้นที่ที่ประสบกับปัญหาอุทกภัยและภัยแล้งเป็นประจำเกือบทุกปีมีพื้นที่น้ำท่วมตั้งแต่ 1,455 ตารางกิโลเมตร ถึง 9,490 ตารางกิโลเมตร ในฤดูน้ำหลาก (รูปที่ 1.1-1) ถือเป็นวัฏจักรอย่างนี้เรื่อยไป ถ้าหากยังไม่มีมาตรการหรือแนวทางบริหารจัดการใหม่ในการแก้ไขปัญหาหรือบรรเทาปัญหา Molle (2002) และ Pattanee (2006) ได้แสดงให้เห็นถึงความต้องการน้ำที่เพิ่มสูงขึ้นทุกภาคส่วนในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา และเมื่อคำนวณอัตราส่วนระหว่างปริมาณการใช้น้ำต่อปริมาณน้ำท่า R_{ws} พบว่ามีค่าค่อนข้างสูง (Pratoomchai et al., 2015a) โดยทั่วไปถ้าค่า $R_{ws} \geq 0.400$ (Oki et al., 2001) จะถือได้ว่าพื้นที่นั้นมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำและอาจสร้างความขัดแย้งขึ้นระหว่างชุมชนอันเนื่องจากความต้องการน้ำ

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2554ก; 2555) และ วจี รามณรงค์ และ สมชัย วงศ์สวัสดิ์ (2541) ได้ประเมินศักยภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่น้ำเจ้าพระยาตอนบนและทั่วทั้งประเทศไทย พบว่าเป็นทรัพยากรที่มีศักยภาพสามารถพัฒนานำขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้อีกมาก อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำใต้ดินในเขตพื้นที่ชลประทานใช้น้ำบาดาลภายในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสุโขทัย อำเภอสวรรคโลกและอำเภอศรีนครจังหวัดสุโขทัย พบว่าระดับน้ำใต้ดินมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่บริเวณอื่นภายนอกเขตชลประทานของจังหวัดสุโขทัย ที่อาศัยการสูบน้ำจากบ่อบาดาลน้ำตื้นปรากฏว่าบางบ่อน้ำบาดาลไม่สามารถสูบน้ำขึ้นมาใช้ได้เนื่องจากระดับน้ำลึกเกินกว่าระดับทำการของเครื่องสูบ (Pratoomchai et al., 2015b) ในขณะที่สัดส่วนการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลจากน้ำฝนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณร้อยละ 9.30 ของปริมาณน้ำฝน (Pratoomchai et al., 2015a) Pavelic et al. (2012) ได้อธิบายเพิ่มเติมว่าการที่จะทำให้เกิดความมั่นคงของการใช้น้ำบาดาลควรจะต้องมีระบบเติมน้ำบาดาล อาทิ ระบบการเติมน้ำบาดาลผ่านสระน้ำและระบบการเติมน้ำบาดาลผ่านบ่อแบบใช้แรงดัน

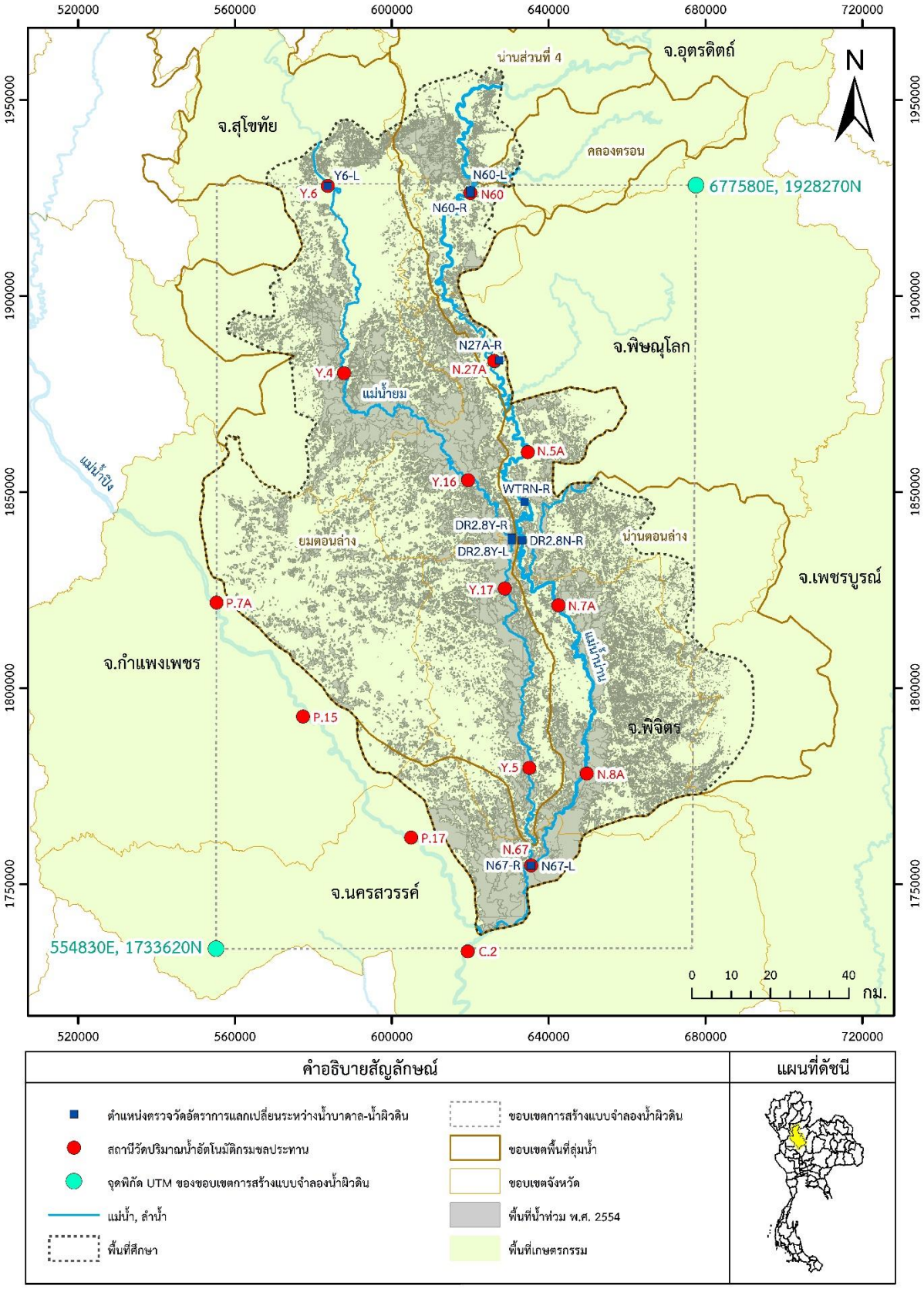
สภาพภูมิศาสตร์ของพื้นที่ลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่างเป็นที่ราบรองรับน้ำหลากจากพื้นที่ที่อยู่สูงกว่า (รูปที่ 1.1-1) ตลอดจนการระบายน้ำลงสู่พื้นที่ลุ่มต่ำกว่าต้องผ่านจังหวัดนครสวรรค์แต่ก็มีขีดจำกัดเนื่องเพราะลำน้ำมีลักษณะคล้ายคอขวดน้ำจึงมักเอ่อท่วมขังกินบริเวณกว้างในช่วงฤดูน้ำหลาก (Prajamwong and Suppataratarn, 2009; ชูเกียรติทรัพย์ไพศาล, 2557) งานศึกษาของ Kazama et al. (2007; 2009) ได้แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ของพื้นที่น้ำท่วมถึงกับปริมาณน้ำบาดาลในบริเวณลุ่มน้ำโขงตอนล่างในประเทศกัมพูชา พบว่าการลดลงของพื้นที่น้ำท่วมถึงจำนวนร้อยละ 19–44 ส่งผลให้เกิดการลดลงของปริมาณน้ำบาดาลจำนวนร้อยละ 31–42 ปริมาณการน้ำบาดาลที่ถูกเติมดังกล่าวจะไหลลงสู่แม่น้ำโขงในช่วงฤดูแล้งเพื่อหล่อเลี้ยงระบบนิเวศน์ในลำน้ำในขณะเดียวกันเกษตรกรที่อยู่ห่างไกลจากแม่น้ำโขงสามารถสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เพื่อทำการเกษตรได้ การควบคุมพื้นที่น้ำท่วมถึงแม้มีความจำเป็นอันสำคัญแต่ก็ควรพิจารณาถึงการลดลงของปริมาณน้ำบาดาลประกอบกันไปด้วย

การศึกษาโครงการการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่างนี้ ซึ่งมีพื้นที่ศึกษารวมทั้งสิ้นประมาณ 15,283 ตารางกิโลเมตร (รูปที่ 1.1-2 และ 1.1-3) นับได้ว่าเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง โดยสามารถอธิบายรายละเอียดหัวข้อของประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ได้ดังต่อไปนี้

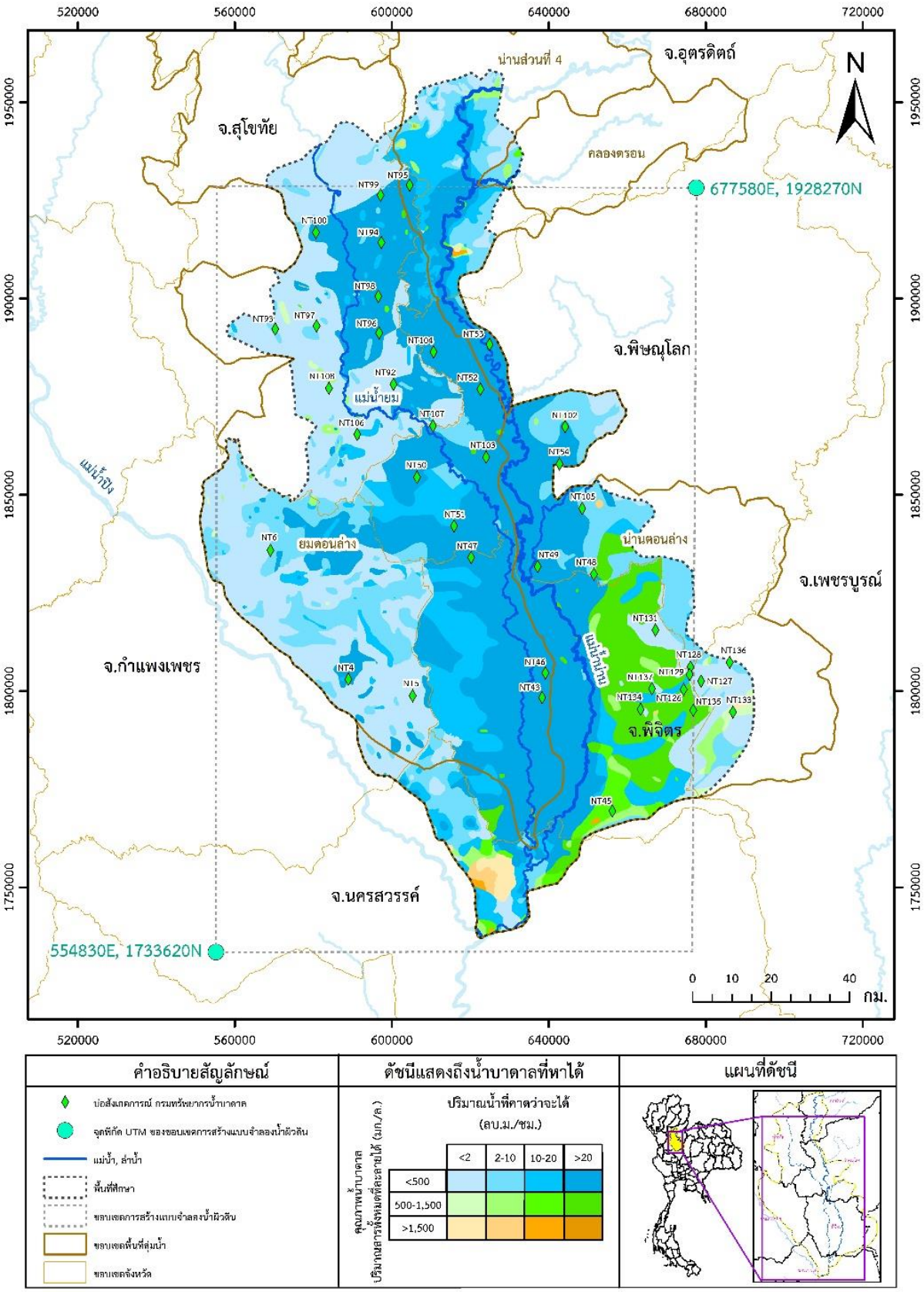
1) คุณลักษณะเฉพาะของความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึง–ระยะเวลา–ปริมาณน้ำบาดาล และปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน
2) ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินต่อทรัพยากรน้ำบาดาล
3) ผลกระทบของการควบคุมพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงต่อปริมาณน้ำบาดาล
4) ศักยภาพในการพัฒนาทรัพยากรน้ำบาดาลสำหรับพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลออกไปจากแม่น้ำและอยู่ภายนอกเขตชลประทาน
5) การศึกษาด้วยแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินจะช่วยให้ย่นระยะเวลาให้เข้าใจพฤติกรรมทางด้านกายภาพเมื่อยามเกิดสภาวะน้ำหลากท่วมหรือเกิดสภาวะน้ำแล้ง
6) ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อศักยภาพน้ำบาดาล ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน และนำเสนอแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
7) ผลกระทบของมลพิษจำพวกโลหะหนักและสารอาหารจากการทำเกษตรกรรมต่อศักยภาพทรัพยากรน้ำบาดาล
8) มาตรการจำเป็นที่ช่วยให้การใช้น้ำบาดาลมีความยั่งยืน ได้แก่ มาตรการการเติมน้ำบาดาลมาตรการการปรับตัวของเกษตรกรเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ



รูปที่ 1.1-1 ลักษณะภูมิประเทศและพื้นที่ศึกษาของโครงการฯ (พื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง)



รูปที่ 1.1-2 พื้นที่เกษตรกรรมและขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดจากภาพถ่ายดาวเทียมบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่างในปี พ.ศ. 2554 (ที่มาของข้อมูลพื้นที่น้ำท่วม ปี พ.ศ. 2554 :http://flood.gistda.or.th/)



รูปที่ 1.1-3 ศักยภาพน้ำบาดาลและบ่อสังเกตการณ์น้ำบาดาลบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง (ที่มาของข้อมูลศักยภาพน้ำบาดาล: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

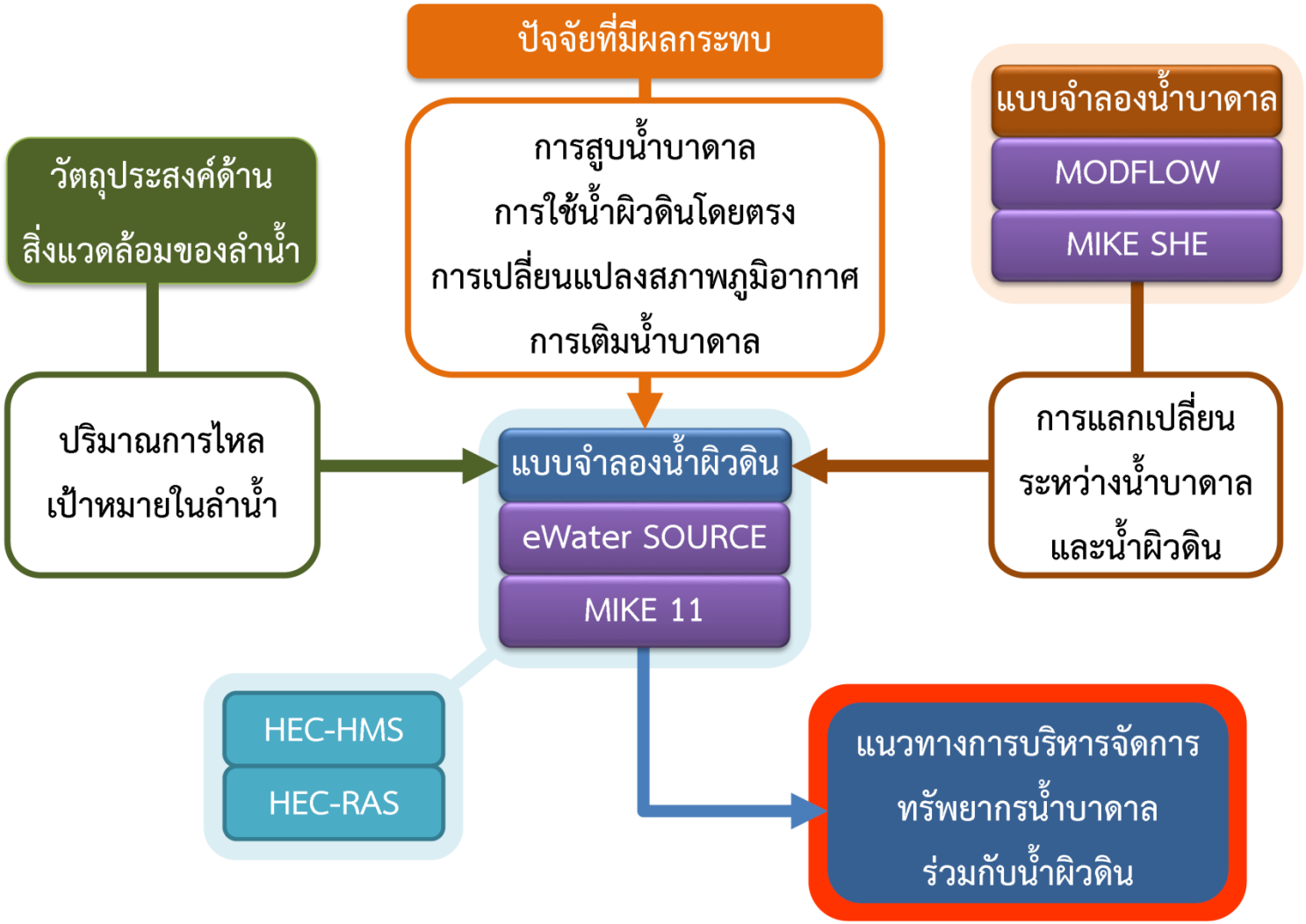
วัตถุประสงค์ของโครงการ “การวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง” มีดังต่อไปนี้

1) เพื่อศึกษาลักษณะและสภาพของปัจจัยแวดล้อมหลักที่มีผลกระทบต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินปริมาณน้ำฝน-น้ำท่า สภาพธรณีวิทยา ศักยภาพน้ำบาดาล คุณสมบัติของดิน อัตราการซึมลงดิน สภาพภูมิประเทศ รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและการจัดสรรน้ำ
2) เพื่อพัฒนาสร้างเครื่องมือตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินในลำน้ำ ซึ่งเป็นการตรวจวัดโดยตรงจากการใช้วิธี Drum รวมถึงการพิจารณาร่วมกับความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนที่บริเวณพื้นดินใต้ลำน้ำ อีกทั้งการวิเคราะห์บัญชีน้ำผิวดินเพื่อตรวจสอบปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินทั้งรายเดือน และรายฤดูกาล
3) เพื่อพัฒนาสร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินที่สามารถรองรับการใช้น้ำบาดาลจากบ่อสูบน้ำและการใช้น้ำผิวดินโดยตรงจากลำน้ำ เมื่อยามเกิดสภาวะน้ำหลากท่วมหรือเกิดสภาวะน้ำแล้ง รวมถึงการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลที่ได้รับจากแบบจำลองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรโดยการใช้โปรแกรม eWater Source ร่วมกับโปรแกรม MODFLOW และโปรแกรม MIKE SHE ร่วมกับโปรแกรม MIKE11 ตลอดจนพิจารณาเปรียบเทียบกับผลที่ได้รับกับการใช้โปรแกรม HEC-HMS โปรแกรม HEC-RAS ร่วมกับโปรแกรม MODFLOW
4) เพื่อประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อศักยภาพน้ำบาดาล ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินและนำเสนอแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน เพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
5) เพื่อศึกษาผลกระทบของมลพิษจำพวกโลหะหนักและสารอาหารต่อทรัพยากรน้ำบาดาลโดยการประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณจากการใช้แบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF) ซึ่งถือเป็นแบบจำลองประเภทหาแหล่งกำเนิดที่ส่งผลต่อปริมาณมลพิษที่ผู้ได้รับผลกระทบได้รับ (Receptor Models) และนำเสนอแนวทางการบรรเทาและฟื้นฟูการปนเปื้อนของมลพิษจำพวกโลหะหนักและสารอาหาร
6) เพื่อศึกษาเรื่องมวลชนสัมพันธ์และการมีส่วนร่วม เป็นการเปิดรับฟังและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่และนำเสนอแนวทางการปรับตัวของเกษตรกรในพื้นที่ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และศักยภาพของทรัพยากรน้ำบาดาลในอนาคต

1.3 ขอบเขตการดำเนินงานโครงการ

การกำหนดขอบเขตของการดำเนินงานได้พิจารณาจากระยะเวลาและงบประมาณโครงการการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่างนี้ ดำเนินการในระยะเวลาทั้งสิ้น 12 เดือน ขอบเขตการศึกษาสามารถกล่าวโดยสรุปเป็นรายละเอียดขั้นตอน (รูปที่ 1.3-1) ดังต่อไปนี้

- พื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่างเป็นพื้นที่ศึกษา
- คุณลักษณะเฉพาะของความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึง–ระยะเวลา–ปริมาณน้ำบาดาล และปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินโดยการตรวจวัดจริงและการประมาณการจากการคำนวณ
- ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินต่อทรัพยากรน้ำบาดาล
- การศึกษาด้วยแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินให้เข้าใจพฤติกรรมทางด้านกายภาพทั้งเมื่อยามเกิดสภาวะน้ำหลากท่วมหรือเกิดสภาวะน้ำแล้ง
- ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อศักยภาพน้ำบาดาล และผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน
- แนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
- ผลกระทบของมลพิษจำพวกโลหะหนักและสารอาหารจากการทำเกษตรกรรมต่อศักยภาพทรัพยากรน้ำบาดาล
- มาตรการจำเป็นที่ช่วยให้การใช้น้ำบาดาลมีความยั่งยืน ได้แก่ มาตรการการเติมน้ำบาดาล มาตรการการปรับตัวของเกษตรกรเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ



รูปที่ 1.3-1 องค์ประกอบพื้นฐานของการสร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน (ที่มา: จาก NHI (2010))

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงการ

กิจกรรมวิธีการดำเนินการ และระยะเวลาดำเนินงานของโครงการศึกษามีรายละเอียดเป็นหัวข้อแสดงได้ในตารางที่ 1.4-1

ตารางที่ 1.4-1 รายละเอียดของวิธีการดำเนินการในแต่ละกิจกรรมและระยะเวลาดำเนินงาน

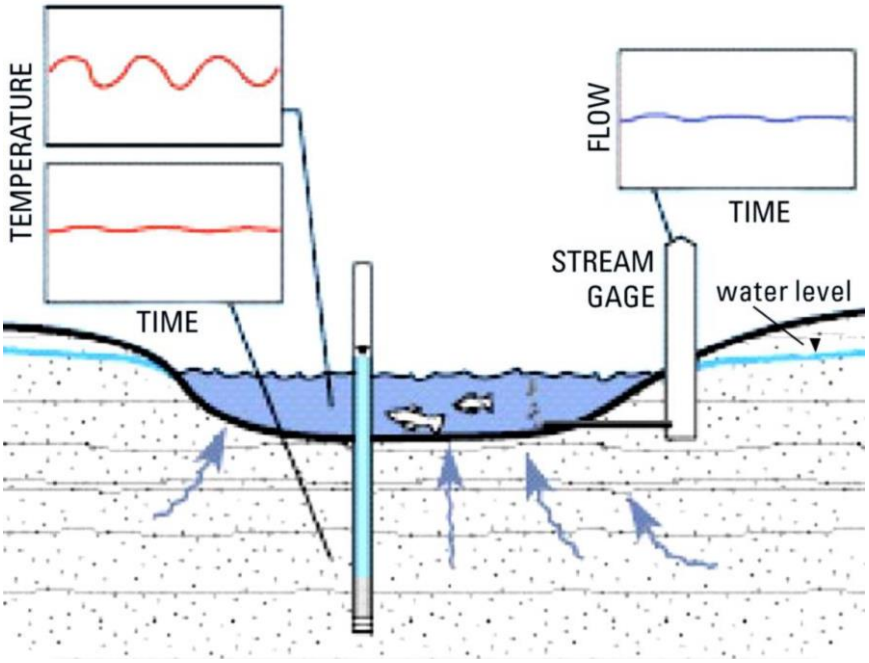
วิธีการดำเนินการ	ระยะเวลา (เดือน)
กิจกรรมที่ 1. การวิเคราะห์ลักษณะและสภาพของปัจจัยแวดล้อมหลักที่มีผลกระทบต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน	**1**
1.1 ทบทวนข้อมูลทุติยภูมิที่มีอยู่ในฐานข้อมูล ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน-น้ำท่า สภาพธรณีวิทยา ศักยภาพน้ำบาดาล คุณสมบัติของดิน อัตราการซึมลงดิน สภาพภูมิประเทศ รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการจัดสรรน้ำ 1.2 เก็บรวมรวมข้อมูลสนามเพิ่มเติม ได้แก่ ปริมาณน้ำท่า อัตราการซึมลงดิน สภาพภูมิประเทศ 1.3 เก็บรวบรวมและจัดระเบียบข้อมูลทั้งหมด ในรูปแบบฐานข้อมูลเบื้องต้น โดยเฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	
กิจกรรมที่ 2. การพัฒนาสร้างเครื่องมือตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน	**3**
2.1 ประมาณการปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินภายในลำน้ำโดยวิธีกำไร–ขาดทุน (Gain-Loss Estimation Method) จากการทำบัญชีน้ำ ซึ่งจะพิจารณาจากจุดที่มีการตรวจวัดอัตราการไหลบริเวณต้นน้ำถึงจุดที่มีการตรวจวัดอัตราการไหลบริเวณปลายน้ำ (Bartolino, 2014) เพื่อตรวจสอบปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินรายสัปดาห์และรายฤดูกาล 2.2 ตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินภายในลำน้ำโดยตรงด้วยวิธี Drum (รูปที่ 1.4-1 และ1.4-2) และจัดทำเครื่องมือวัดปริมาณน้ำซึมผ่าน 2 แบบ ได้แก่ เครื่องมือวัดปริมาณน้ำซึมผ่านแบบขนาดเล็ก (Small Seepage Meter) และเครื่องมือวัดปริมาณน้ำซึม ผ่านแบบขนาดใหญ่ (Large Seepage Meter) 2.3 ตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนที่บริเวณพื้นดินใต้ลำน้ำ (รูปที่ 1.4-3) เมื่อมีการสูญเสียของน้ำในลำน้ำจะพบว่ามีความแปรผันของอุณหภูมิที่มากกว่า ณ บริเวณจุดที่ตรวจวัดได้ทั้งผิวดินของลำน้ำและลึกลงไปใต้ดิน และเมื่อน้ำบาดาลไหลซึมเข้ามาในลำน้ำจะพบว่ามีความแปรผันของอุณหภูมิที่น้อยกว่า ณ บริเวณจุดที่ตรวจวัดได้ทั้งผิวดินของลำน้ำและลึกลงไปใต้ดิน	

วิธีการดำเนินการ	ระยะเวลา (เดือน)

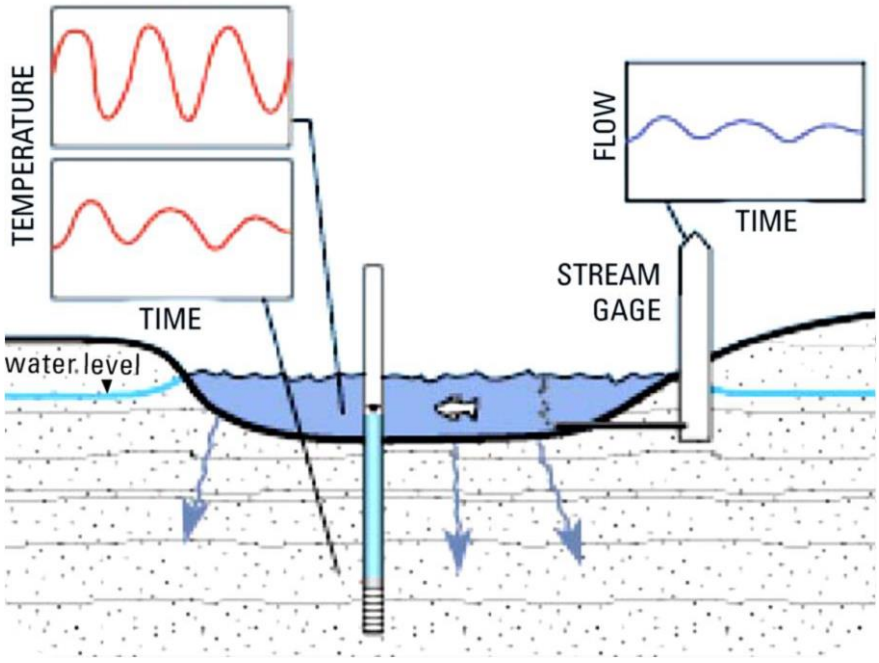
รูปที่ 1.4-1 ตัวอย่างเครื่องมือวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินจากวิธี Drum (Lee, 1977; Zamora, 2008)

รูปที่ 1.4-2 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (Zamora, 2008)

วิธีการดำเนินการ	ระยะเวลา (เดือน)



(ก)



(ข)

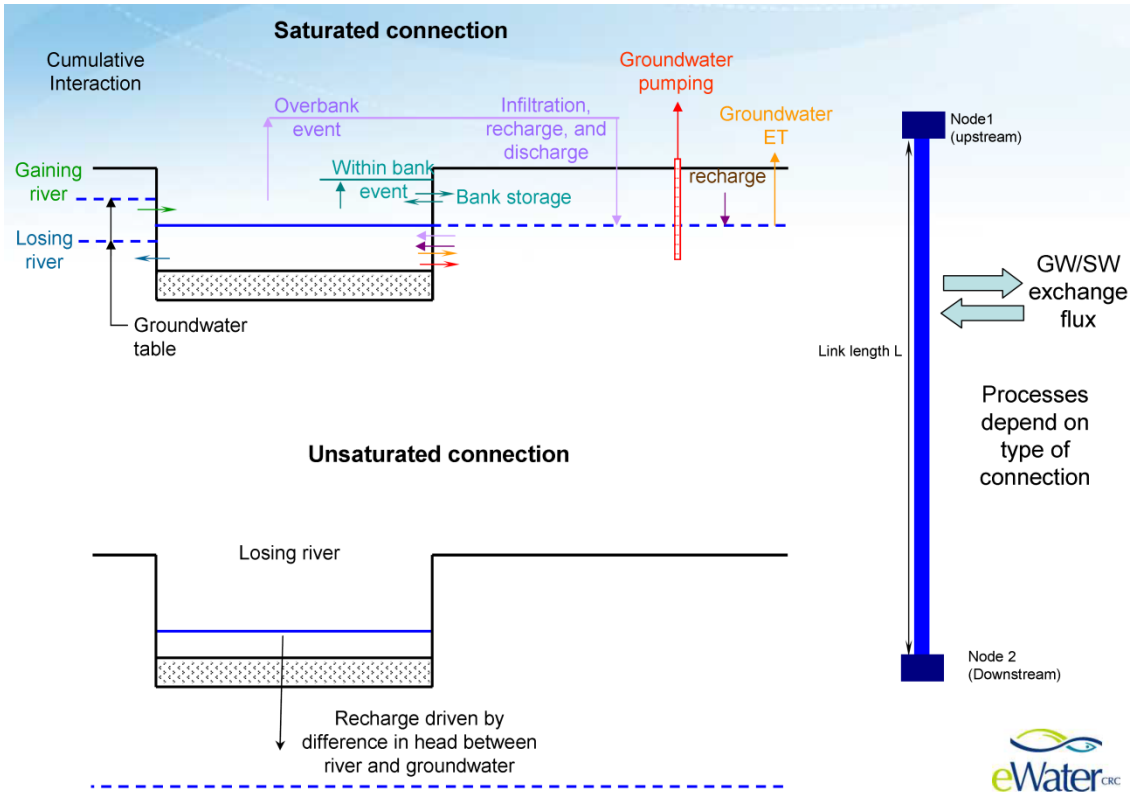
รูปที่ 1.4-3 (ก) อุณหภูมิแปรผันไม่มากทั้งบริเวณผิวดินของลำน้ำและลึกลงไปใต้ดินเมื่อน้ำบาดาลไหลซึมเข้าลำน้ำ และ (ข) อุณหภูมิแปรผันค่อนข้างมากทั้งบริเวณผิวดินของลำน้ำและลึกลงไปใต้ดินเมื่อน้ำในลำน้ำไหลซึมออก (Zamora, 2008)

วิธีการดำเนินการ	ระยะเวลา (เดือน)
กิจกรรมที่ 3. เพื่อการพัฒนาสร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินโดยการใช้โปรแกรม eWater Source ร่วมกับโปรแกรม MODFLOW และโปรแกรม MIKE SHE ร่วมกับโปรแกรม MIKE 11 ตลอดจนพิจารณาเปรียบเทียบกับผลที่ได้รับกับการใช้โปรแกรม HEC-HMS โปรแกรม HEC-RAS ร่วมกับโปรแกรม MODFLOW	3

3.1 จำลองสถานการณ์ที่สามารถรองรับการใช้น้ำจากบ่อสูบน้ำและการใช้น้ำโดยตรงจากลำน้ำ ทั้งเมื่อยามเกิดสภาวะน้ำหลากท่วมหรือเกิดสภาวะน้ำแล้ง รวมถึงการใช้ระบบเติมน้ำบาดาล (Jolly et al., 2010; NHI, 2010; Rassam et al., 2012) โดยการใช้โปรแกรม eWater Source (รูปที่ 1.3-1, 1.4-4, และ1.4-5) ร่วมกับโปรแกรม MODFLOW และการใช้โปรแกรม MIKE11 ร่วมกับโปรแกรม MIKE SHE (รูปที่ 1.4-6 และ 1.4-7) รวมถึงการใช้โปรแกรม HEC-HMS โปรแกรม HEC-RAS ร่วมกับโปรแกรม MODFLOW

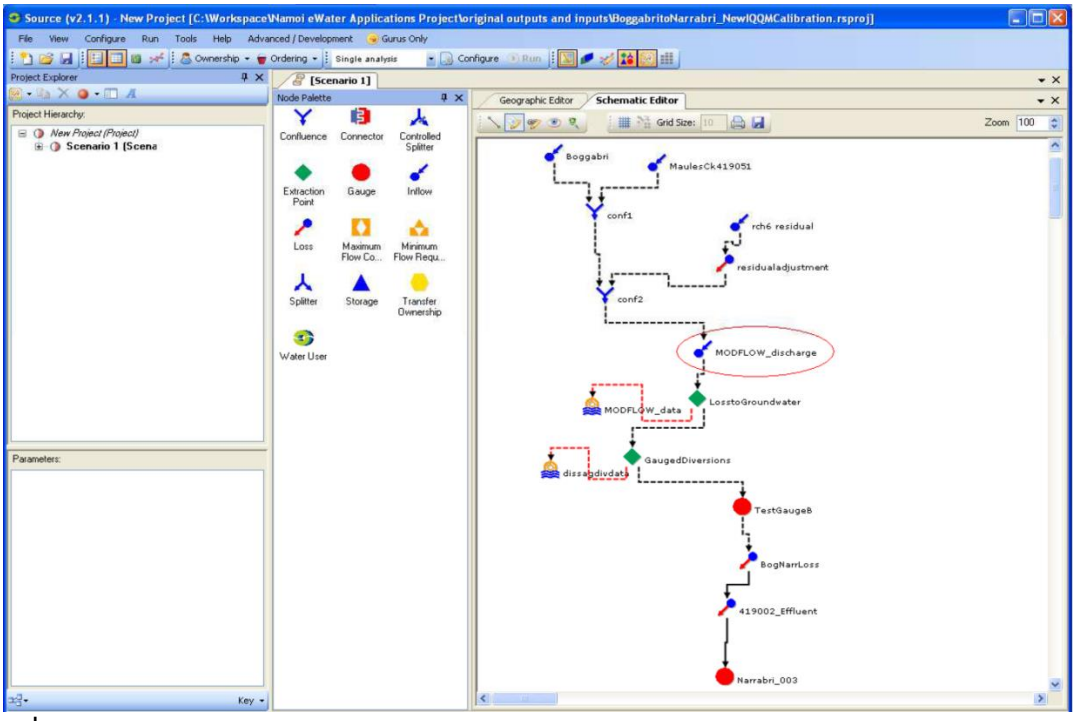
3.2 เปรียบเทียบผลที่ได้รับจากแบบจำลองในแต่ละวิธีและผลจากการตรวจวัดจริง

3.3 วิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลที่ได้รับจากแบบจำลองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร



รูปที่ 1.4-4 การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินในลำน้ำของแบบจำลอง eWater Source (Jolly et al., 2010)

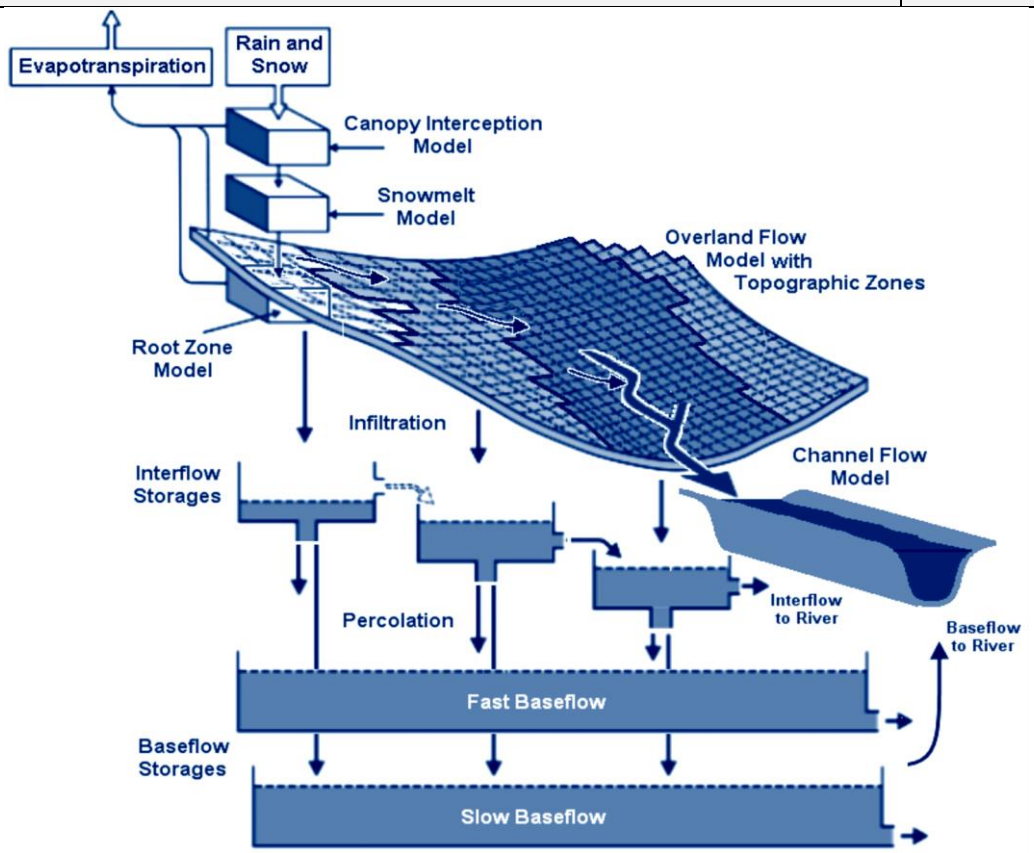
วิธีการดำเนินการ	ระยะเวลา (เดือน)



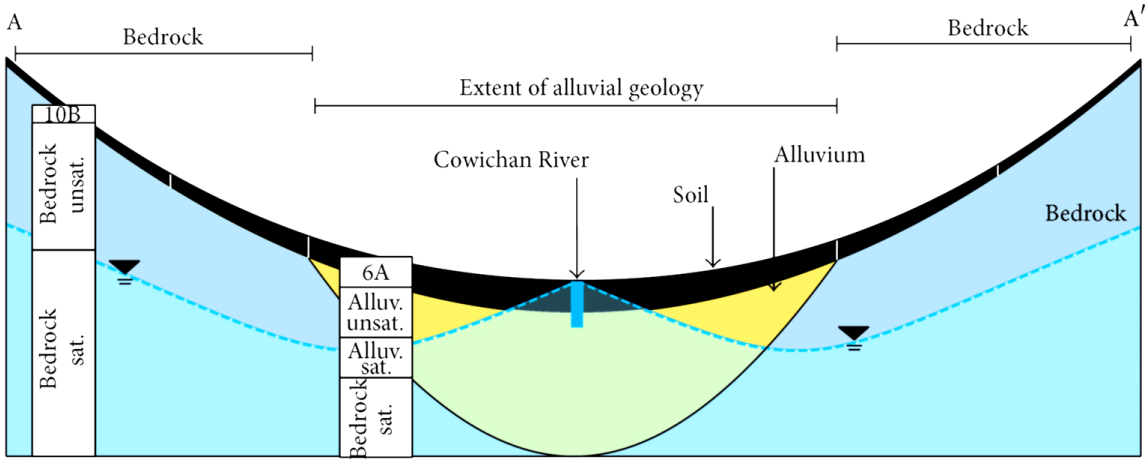
รูปที่ 1.4-5 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม eWater Source ในการสร้างแบบจำลอง (Jolly et al., 2010)

โปรแกรม eWater Source เป็นที่รู้จักและได้ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายรัฐของประเทศออสเตรเลีย เกิดจากการพัฒนาโดยความร่วมมือระหว่างภาคอุตสาหกรรมและสถาบันการศึกษาชั้นนำ เป็นฟรีแวร์ที่สามารถดาวน์โหลดมาใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย โปรแกรมน้ำแบบบูรณาการในพื้นที่เมือง พื้นที่ระบายน้ำและพื้นที่ลุ่มน้ำ ตลอดจนการพิจารณาอิทธิพลที่ส่งผลต่อมนุษย์และระบบนิเวศ รวมถึงการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสม (Optimization) และการพิจารณาส่วนได้–ส่วนเสีย (Trade-off Analysis) ทั้งยังสามารถนำมาใช้งานทางด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเชื่อมโยงระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน เมื่อใช้งานร่วมกับโปรแกรม Modular Ground-Water Flow Model (MODFLOW) ของสำนักงานสำรวจทางธรณีวิทยาประเทศสหรัฐอเมริกา (USGS, United Stated Geological Survey) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่จำลองการไหลของน้ำบาดาลที่เป็นที่รู้จักกันดี และถือเป็นฟรีแวร์เช่นเดียวกัน

วิธีการดำเนินการ	ระยะเวลา (เดือน)



รูปที่ 1.4-6 แผนผังที่แสดงถึงแต่ละองค์ประกอบของแนวคิดในโปรแกรม MIKE SHE ร่วมกับ MIKE11 (Foster and Allen, 2015; Graham and Butts, 2005; Prucha et al., 2016)

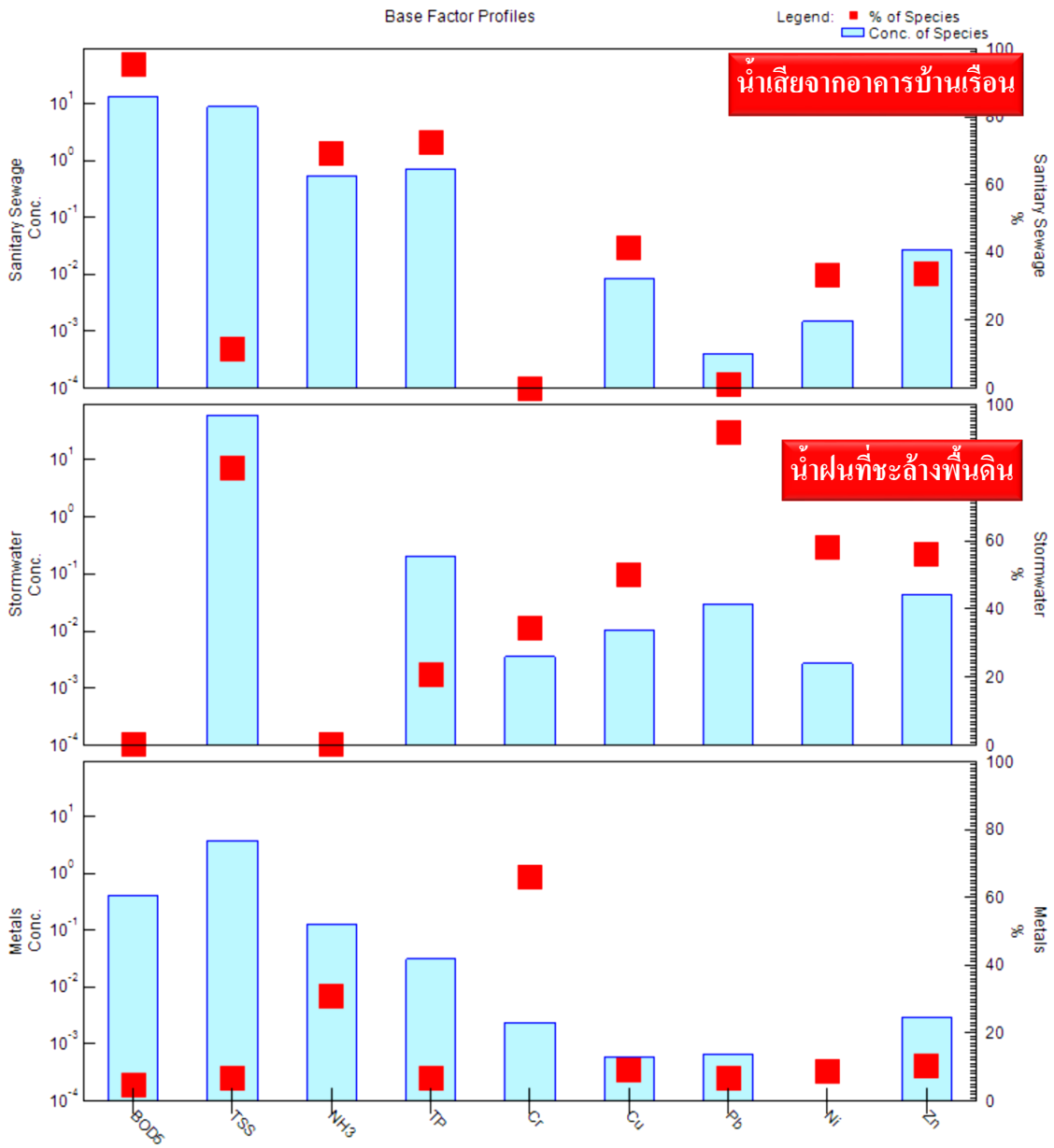


รูปที่ 1.4-7 ตัวอย่างแนวคิดที่แสดงถึงความผันแปรในบริเวณดินที่ไม่อิ่มตัวโดยใช้โปรแกรม MIKE SHE (Foster and Allen, 2015)

วิธีการดำเนินการ	ระยะเวลา (เดือน)
โปรแกรม HEC-HMS ได้ถูกพัฒนาโดย U.S. Army Corps of Engineers (USACE) เพื่อใช้จำลองกระบวนการทางอุทกวิทยา (Hydrologic Processes) ของระบบแขนงลำน้ำในลุ่มน้ำ สามารถนำมาใช้วิเคราะห์น้ำฝน–น้ำท่า (Rainfall-Runoff Analysis) ในขณะที่โปรแกรม HEC-RAS ได้ถูกพัฒนาโดย USACE เช่นเดียวกัน เพื่อจำลองกระบวนการทางชลศาสตร์ (Hydraulic Processes) ของลำน้ำ เช่น การไหลคงตัวแบบหนึ่งมิติ (One-dimensional Steady Flow) และการไหลแบบไม่คงตัวแบบสองมิติ (Two-dimensional Unsteady Flow) สามารถนำมาใช้วิเคราะห์พื้นที่น้ำท่วมถึง (Flood Inundation Area Analysis) โดยที่ทั้งสองจัดเป็นฟรีแวร์	
กิจกรรมที่ 4. การประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและวางแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	**3**
4.1 ประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อศักยภาพน้ำบาดาล 4.2 ประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน 4.3 นำเสนอแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	
กิจกรรมที่ 5. การศึกษาผลกระทบของมลพิษจำพวกโลหะหนักและสารอาหารต่อทรัพยากรน้ำบาดาล	**3**
5.1 สำรวจเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์หาปริมาณมลพิษจำพวกโลหะหนักและสารอาหาร 5.2 ประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณจากการใช้แบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF) (US EPA, 2014) ซึ่งถือเป็นแบบจำลองประเภทหาแหล่งกำเนิดที่ส่งผลต่อปริมาณมลพิษที่ผู้ได้รับผลกระทบได้รับ (Receptor Models) 5.3 นำเสนอแนวทางการบรรเทาและฟื้นฟูการปนเปื้อนของมลพิษจำพวกโลหะหนักและสารอาหารในทรัพยากรน้ำบาดาล	
แบบจำลอง PMF ได้ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดของมลพิษทางน้ำ สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมประเทศสหรัฐอเมริกา (US EPA, United States Environmental Protection Agency) ได้พัฒนาโปรแกรม EPA PMF ขึ้น เพื่อเป็นฟรีแวร์ที่สามารถดาวน์โหลดมาใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และปัจจุบันได้ถูกพัฒนาจนนับเป็นเวอร์ชั่นที่ 5 แล้ว US EPA (2014) ได้แสดงตัวอย่างการสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณของ 9 มลพิษ ได้แก่ BOD_5 (บีโอดี 5 วัน) TSS (ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด) NH_3 (แอมโมเนีย) TP (ฟอสฟอรัสทั้งหมด) Cr (โครเมี่ยม) Cu (ทองแดง) Pb (ตะกั่ว) Ni (นิกเกิล) และ Zn (สังกะสี) ในน้ำเสียรวม (น้ำฝนที่ชะล้างพื้นดิน+น้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน) ที่ล้นออกมาจากอุโมงค์ยักษ์กักเก็บน้ำเสียรวมใต้ดินยาว 31.4 กิโลเมตร ผลที่ได้จากแบบจำลอง	

วิธีการดำเนินการ	ระยะเวลา (เดือน)

(รูปที่ 1.4-8) แสดงให้เห็นว่า TSS, Cu, Ni, และ Zn มีที่มาจากน้ำฝนที่ชะล้างพื้นดิน ซึ่งทั้งหมดมีที่มาโดยตรงจากภาคการขนส่ง โดยที่ Cu และ Ni มาจากการสึกกร่อนของผ้าเบรกส่วน Zn มาจากการสึกกร่อนของยางรถยนต์ ในขณะเดียวกัน BOD_5, NH_3, และ TP มีที่มาจากน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน สาเหตุที่พบปริมาณฟอสฟอรัสในระดับสูงในน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนเพราะหลายเมืองในประเทศสหรัฐอเมริกาจะมีการเติมฟอสฟอรัสในน้ำประปาเพื่อป้องกันท่อประปาสึกกร่อน



รูปที่ 1.4-8 ตัวอย่างการจัดสรรที่มาในรูปร้อยละ (สี่เหลี่ยมสีแดง) จาก 2 แหล่งกำเนิด (น้ำฝนที่ชะล้างพื้นดินและน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน) ของ 9 มลพิษ ได้แก่ BOD_5, TSS, NH_3, TP, Cr, Cu, Pb, Ni และ Zn โดยใช้โปรแกรม EPA PMF 5.0 (US EPA, 2014)

วิธีการดำเนินการ	ระยะเวลา (เดือน)
กิจกรรมที่ 6. การศึกษาเรื่องมวลชนสัมพันธ์และการมีส่วนร่วม	**3**

6.1 จัดประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อรับฟังความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกลุ่มเป้าหมายในพื้นที่ เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ โดยการนำเสนอแนวทางการดำเนินงานการศึกษาผลที่ได้รับบางส่วนและผลที่คาดว่าจะได้รับ
(2 ครั้งๆ ละ ไม่ต่ำกว่า 15 คน)

6.2 จัดประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อรับฟังความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกลุ่มเป้าหมายในพื้นที่ เพื่อให้เกิดการ แลกเปลี่ยนองค์ความรู้ โดยการนำเสนอผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ
(2 ครั้งๆ ละ ไม่ต่ำกว่า 15 คน)

6.3 นำเสนอแนวทางการปรับตัวของเกษตรกรในพื้นที่ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและศักยภาพของทรัพยากรน้ำบาดาลในอนาคต

6.4 จัดฝึกอบรมการใช้แบบจำลองการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินให้บุคลากรของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำ และกรมชลประทาน
(1 ครั้งๆ ละ ไม่ต่ำกว่า 15 คน)

6.5 กลุ่มเป้าหมาย/ผู้เข้าร่วมกิจกรรม
(ก) เจ้าหน้าที่ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรน้ำบาดาล ทั้งจากส่วนกลางและ/หรือส่วนภูมิภาค
(ข) เจ้าหน้าที่ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรน้ำผิวดิน ทั้งจากส่วนกลางและ/หรือส่วนภูมิภาค
(ค) เจ้าหน้าที่ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการชลประทาน ทั้งจากส่วนกลางและ/หรือส่วนภูมิภาค
(ง) ตัวแทนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น
(จ) ตัวแทนกรรมการลุ่มน้ำ

1.5 ระยะเวลาดำเนินงานโครงการ

ระยะเวลาการดำเนินงานของโครงการมีทั้งสิ้น 12 เดือน มีรายละเอียดแสดงได้ดังตารางที่ 1.5-1

ตารางที่ 1.5-1 รายละเอียดของจำนวนระยะเวลาการดำเนินงานของโครงการ

กิจกรรม	เดือน											
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1. การวิเคราะห์ลักษณะและสภาพของปัจจัยแวดล้อมหลักที่มีผลกระทบต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน ปริมาณน้ำฝน-น้ำท่า สภาพธรณีวิทยาศักยภาพน้ำบาดาล คุณสมบัติของดิน อัตราการซึมลงดิน สภาพภูมิประเทศ รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและการจัดสรรน้ำ	↔											
2. นำส่งรายงานเบื้องต้น	↔											
3. การพัฒนาสร้างเครื่องมือตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินในลำน้ำ ซึ่งเป็นการตรวจวัดโดยตรงจากการใช้วิธี Drum รวมถึงการพิจารณาร่วมกับความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนที่บริเวณพื้นดินใต้ลำน้ำ อีกทั้งการวิเคราะห์บัญชีน้ำผิวดินเพื่อตรวจสอบปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินทั้งรายเดือน และรายฤดูกาล		↔	↔	↔								
4 การพัฒนาสร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน ที่สามารถรองรับการใช้น้ำบาดาลจากบ่อสูบน้ำและการใช้น้ำผิวดินโดยตรงจากลำน้ำ เมื่อยามเกิดสภาวะน้ำหลากท่วมหรือเกิดสภาวะน้ำแล้ง รวมถึงการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผล ที่ได้รับจากแบบจำลองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร โดยใช้โปรแกรม eWater Source					↔	↔	↔					
5. นำส่งรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1				↔								

ตารางที่ 1.5-1 รายละเอียดของจำนวนระยะเวลาการดำเนินงานของโครงการ **(ต่อ)**

กิจกรรม	เดือน											
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
6. การประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อศักยภาพน้ำบาดาล ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน และนำเสนอแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ								←	—	→		
7. นำส่งรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 2								↔				
8. การศึกษาผลกระทบของมลพิษจำพวกโลหะหนักและสารอาหารต่อทรัพยากรน้ำบาดาล โดยการประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณจากการใช้แบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF) ซึ่งถือเป็นแบบจำลองประเภทหาแหล่งกำเนิดที่ส่งผลต่อปริมาณมลพิษที่ผู้ได้รับผลกระทบได้รับ (Receptor Models) และนำเสนอแนวทางการบรรเทาและฟื้นฟูการปนเปื้อนของมลพิษจำพวกโลหะหนักและสารอาหาร								←	—	→		
9. การศึกษาเรื่องมวลชนสัมพันธ์ของการมีส่วนร่วมเป็นการเปิดรับฟังและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่ตลอดจนเป็นการนำเสนอแนวทางการปรับตัวของเกษตรกรในพื้นที่ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและศักยภาพของทรัพยากรน้ำบาดาลในอนาคต					↔					↔	↔	
10. นำส่งร่างรายงานฉบับสมบูรณ์										↔		
11. นำส่งรายงานฉบับสมบูรณ์												↔

1.6 พื้นที่ดำเนินงานโครงการ

พื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่างจำนวน 15,283 ตารางกิโลเมตร

1.7 การประเมินผลโครงการ

การประเมินโครงการแยกตามรายละเอียดงวดงาน วิธีการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัย สถานที่จัด ระยะเวลาที่ใช้ และกลุ่มเป้าหมายแสดงได้ในตารางที่ 1.7-1

ตารางที่ 1.7-1 สรุปรายละเอียดการประเมินโครงการแยกตามงวดงาน วิธีการถ่ายทอดเทคโนโลยี หรือผลการวิจัยสถานที่จัด ระยะเวลาที่ใช้ และกลุ่มเป้าหมาย

การส่งงาน	วิธีการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัย	สถานที่จัด	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	กลุ่มเป้าหมาย
ลงนามในสัญญารับเงินช่วยเหลือ	–	–	–	–
ส่งรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1 (ภายใน 4 เดือน)	เครื่องมือตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน	– ยังไม่ระบุ –	–	–
ส่งรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 2 (ภายใน 7 เดือน)	ประชุมเชิงปฏิบัติการรูปแบบและระดับการแลกเปลี่ยนน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน	–	5 X 3 = 15 ชั่วโมง	ตัวแทนหน่วยงานรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและกรรมการลุ่มน้ำ
ส่งร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ (ภายใน 10 เดือน)	ประชุมเชิงปฏิบัติการผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แนวทางบริหารจัดการ และผลกระทบจากมลพิษ	– ยังไม่ระบุ –	5 X 3 = 15 ชั่วโมง	ตัวแทนหน่วยงานรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและกรรมการลุ่มน้ำ
ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์ (ภายใน 12 เดือน)	ฝึกอบรมการใช้งานแบบจำลอง	– ยังไม่ระบุ –	5 ชั่วโมง	ตัวแทนหน่วยงานรัฐ

1.8 ตัวชี้วัด

ตัวชี้วัดที่ใช้ในโครงการ ผลผลิตที่ได้ตามมาของแต่ละตัวชี้วัดทั้งเชิงปริมาณ คุณภาพ เวลา และต้นทุน รวมถึงผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินงานโครงการ ดังแสดงในตารางที่ 1.8-1 และ 1.8-2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1.8-1 รายละเอียดตัวชี้วัดที่ใช้ในโครงการ

ผลผลิต	ตัวชี้วัด			
	เชิงปริมาณ	เชิงคุณภาพ	เวลา	ต้นทุน
1. เครื่องมือตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน	≥1	สามารถใช้งานและปรับปรุงได้ง่าย	ประหยัดเวลาลดความซับซ้อน	ลดค่าใช้จ่ายมากขึ้นจากการพัฒนาสร้างขึ้นมาใช้ได้เอง
2. รูปแบบและระดับการแลกเปลี่ยนกันระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน	≥ 1	เสริมสร้างองค์ความรู้และศักยภาพในการแก้ปัญหาน้ำบาดาล	ประหยัดเวลาเข้าใจได้ง่าย	ลดเวลาการศึกษาและทำความเข้าใจ
3. สถานการณ์จำลองเพื่อการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเมื่อยามเกิดสภาวะน้ำหลากท่วมหรือเกิดสภาวะน้ำแล้ง	>1	เสริมสร้างองค์ความรู้และศักยภาพในการแก้ปัญหาด้านน้ำ	การแก้ปัญหาด้านน้ำบาดาลเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว	ลดค่าใช้จ่ายมากขึ้น
4. ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบจากมลพิษที่มาจากการทำเกษตรกรรม	>1	เสริมสร้างองค์ความรู้และศักยภาพในการแก้ปัญหาด้านน้ำ	การแก้ปัญหาด้านน้ำบาดาลเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว	ลดค่าใช้จ่ายมากขึ้น
5. ความคิดเห็นและคำแนะนำของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียโดยมีกลุ่มเป้าหมายการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้	2	เสริมสร้างองค์ความรู้และศักยภาพในการแก้ปัญหาด้านน้ำ	การแก้ปัญหาด้านน้ำบาดาลเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว	ลดค่าใช้จ่ายมากขึ้นโดยอาศัยกรอบการศึกษาที่ตรงประเด็นปัญหา

ตารางที่ 1.8-2 ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับพร้อมระยะเวลาดำเนินโครงการ

ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ	เดือนใน 1 ปี					หมายเหตุ
	เดือน 1-3	เดือน 4-6	เดือน 7-9	เดือน 10-12	รวม	
1. เครื่องมือตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน	X				≥ 1	
2. รูปแบบและระดับการแลกเปลี่ยนกันระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน		X			≥ 1	เดือน |ฤดูกาล
3. สถานการณ์จำลองเพื่อการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเมื่อยามเกิดสภาวะน้ำหลากท่วมหรือเกิดสภาวะน้ำแล้ง			X		>1	
4. ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และผลกระทบจากมลพิษที่มาจากการทำเกษตรกรรม				X	>1	
5. ความคิดเห็นและคำแนะนำของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียโดยมีกลุ่มเป้าหมายการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้		X		X	2	ประชุมเชิงปฏิบัติการ
6. การแลกเปลี่ยนองค์ความรู้				X	1	การฝึกอบรมการใช้งานแบบจำลอง

1.9 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับพร้อมระยะเวลาที่จะได้รับในกรอบหนึ่งปี ระยะเวลา 12 เดือน หลังจากการดำเนินโครงการเป็นที่แล้วเสร็จสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) คุณลักษณะเฉพาะของความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึง–ระยะเวลา–ปริมาณน้ำบาดาล และปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน
2) ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินต่อทรัพยากรน้ำบาดาล
3) ผลกระทบของการควบคุมพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงต่อปริมาณน้ำบาดาล
4) ศักยภาพในการพัฒนาทรัพยากรน้ำบาดาลสำหรับพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลออกไปจากแม่น้ำและอยู่ภายนอกเขตชลประทาน
5) แบบจำลองเพื่อการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน จะช่วยให้ย่นระยะเวลาให้เข้าใจพฤติกรรมทางด้านกายภาพเมื่อยามเกิดสภาวะน้ำหลากท่วมหรือเกิดสภาวะน้ำแล้ง
6) ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อศักยภาพน้ำบาดาล ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน และนำเสนอแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
7) ผลกระทบของมลพิษจำพวกโลหะหนักและสารอาหารจากการทำเกษตรกรรมต่อศักยภาพทรัพยากรน้ำบาดาล
8) มาตรการจำเป็นที่ช่วยให้การใช้น้ำบาดาลมีความยั่งยืน ได้แก่ มาตรการเติมน้ำบาดาล มาตรการการปรับตัวของเกษตรกรเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

1.10 การรายงานผลการดำเนินโครงการต่อคณะกรรมการบริหารกองทุนพัฒนาน้ำบาดาล

รูปแบบการรายงานผลการดำเนินโครงการต่อคณะกรรมการบริหารกองทุนพัฒนาน้ำบาดาล และการเบิกจ่ายงบประมาณดำเนินโครงการแบ่งได้เป็นทั้งหมด 5 งวดงาน มีรายละเอียดแสดงได้ดังตารางที่ 1.10-1

ตารางที่ 1.10-1 การรายงานผลการดำเนินโครงการต่อคณะกรรมการบริหารกองทุนพัฒนาน้ำบาดาล และรายละเอียดการเบิกจ่ายงบประมาณดำเนินโครงการ

เดือน	การจ่ายเงิน (งวดงาน)	จำนวนเงิน (บาท)	จำนวนร้อยละ	การส่งงาน
0	งวดที่ 1	1,500,000	15	ลงนามในสัญญารับเงินช่วยเหลือ
1 2 3				ส่งรายงานเบื้องต้นภายใน 1 เดือน
4 5 6	งวดที่ 2	3,500,000	35	ส่งรายงานความก้าวหน้า ฉบับที่ 1
7 8 9	งวดที่ 3	2,000,000	20	ส่งรายงานความก้าวหน้า ฉบับที่ 2
10 11 12	งวดที่ 4 งวดที่ 5	2,000,000 1,000,000	20 10	ส่งร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์
หมายเหตุ: มีการนำเสนอผลการดำเนินโครงการต่อคณะกรรมการบริหารกองทุนพัฒนาน้ำบาดาล ตามที่ได้รับมอบหมายเป็นครั้งๆไป				

บทที่ 2
ลักษณะและสภาพของปัจจัยแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน

บทที่ 2

ลักษณะและสภาพของปัจจัยแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน

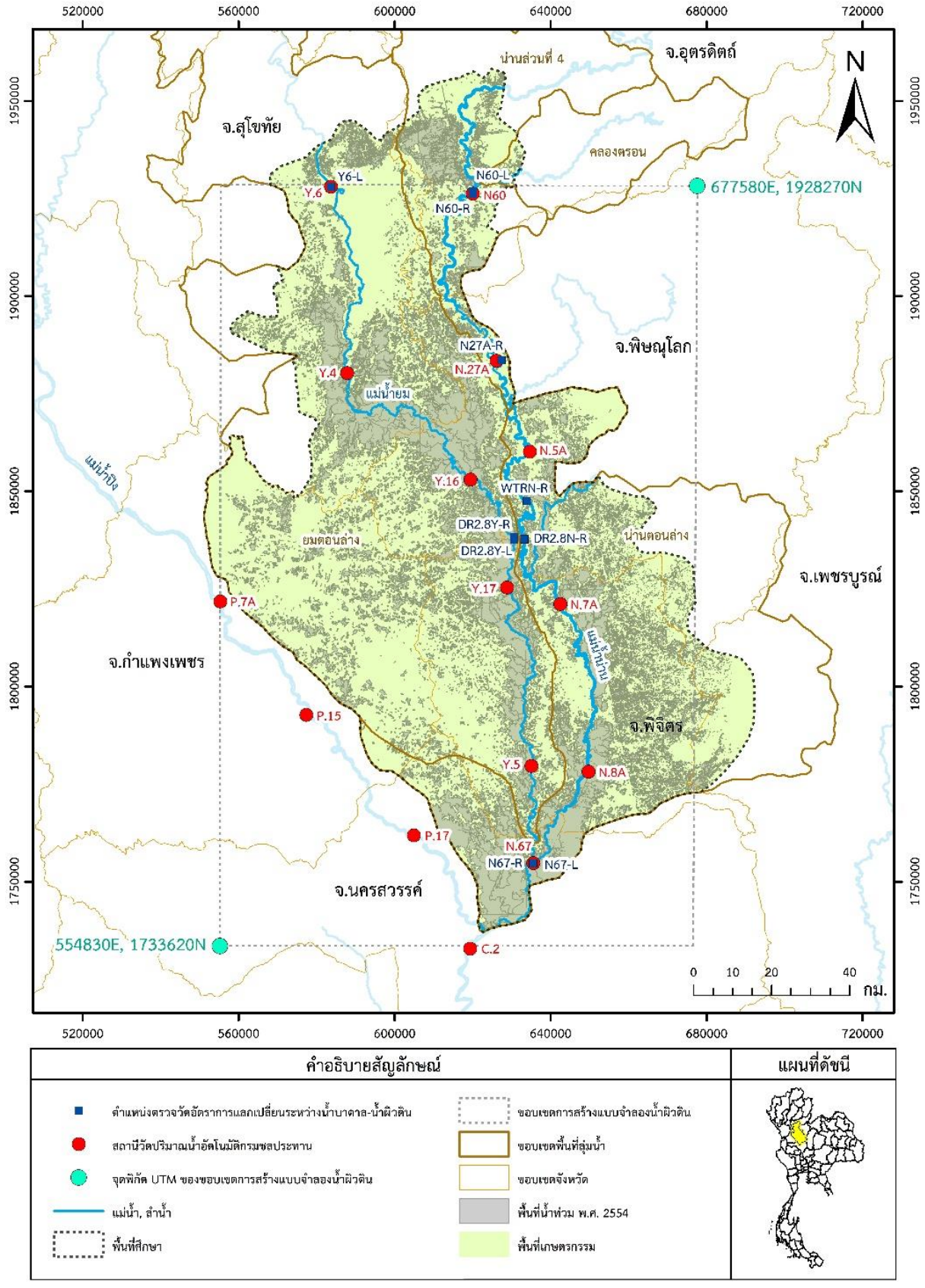
2.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ในขอบเขตของพื้นที่ศึกษา

2.1.1 ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาของโครงการตั้งอยู่ที่พิกัด UTM โซน 47 ณ 554830 E กับ 1733620 N ถึง 677580 E กับ 1928270 N รวมเป็นพื้นที่ประมาณ 15,283 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 7 จังหวัดในภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดสุโขทัย อุตรดิตถ์ พิษณุโลก กำแพงเพชร พิจิตร นครสวรรค์ และเพชรบูรณ์ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.1.1-1 พื้นที่ศึกษาของโครงการโดยส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำยมตอนล่าง ลุ่มน้ำน่านตอนล่าง ลุ่มน้ำน่านส่วนที่ 4 และลุ่มน้ำคลองตรอน แต่เมื่อพิจารณาตามกรอบพิกัดพื้นที่สำหรับกรอบงานการสร้างแบบจำลองพบว่ามีพื้นที่บางส่วนอยู่ในลุ่มน้ำปิง ลุ่มน้ำเจ้าพระยา และลุ่มน้ำสะแกกรัง

ตารางที่ 2.1.1-1 พื้นที่ศึกษาโครงการโดยจำแนกเป็นรายอำเภอ

จังหวัด	อำเภอ	พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)
อุตรดิตถ์	เมืองอุตรดิตถ์	262
	ตรอน	282
	พิชัย	488
	ลับแล	200
	ทองแสนขัน	26
นครสวรรค์	เมืองนครสวรรค์	74
	ชุมแสง	340
	บรรพตพิสัย	314
	เก้าเลี้ยว	134
กำแพงเพชร	เมืองกำแพงเพชร	396
	ไทรงาม	544
	ขาณุวรลักษบุรี	67
	คลองขลุง	93
	พรานกระต่าย	626
	ลานกระบือ	408
	ทรายทองวัฒนา	205
	บึงสามัคคี	277
สุโขทัย	เมืองสุโขทัย	473
	บ้านด่านลานหอย	54
	คีรีมาศ	353
	กงไกรลาศ	449
	ศรีสัชนาลัย	440
	ศรีสำโรง	385
	สวรรคโลก	594
	ศรีนคร	183
	ทุ่งเสลี่ยม	11
สุโขทัย	เมืองสุโขทัย	473
	บ้านด่านลานหอย	54
	คีรีมาศ	353
	กงไกรลาศ	449
	ศรีสัชนาลัย	440
	ศรีสำโรง	385
	สวรรคโลก	594
	ศรีนคร	183
	ทุ่งเสลี่ยม	11
พิษณุโลก	เมืองพิษณุโลก	702
	บางระกำ	968
	บางกระทุ่ม	353
	พรหมพิราม	479
	วัดโบสถ์	24
	วังทอง	351
	เนินมะปราง	172
พิจิตร	เมืองพิจิตร	547
	วังทรายพูน	256
	โพธิ์ประทับช้าง	404
	ตะพานหิน	442
	บางมูลนาก	364
	โพทะเล	524
	สามง่าม	364
	ทับคล้อ	409
	สากเหล็ก	175
	บึงนาราง	295
	ดงเจริญ	91
	วชิรบารมี	277
เพชรบูรณ์	วังโป่ง	142
	หนองแค	263
รวม		**15283**



รูปที่ 2.1.1-1 พื้นที่ศึกษาโครงการฯ

รูปที่ 2.1.1-1 แสดงขอบเขตในภาพรวมด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วยแม่น้ำสายหลัก 3 สาย ได้แก่ แม่น้ำน่าน แม่น้ำยม และแม่น้ำปิง ขอบเขตด้านบน (Upstream Boundary) ของแม่น้ำน่านเริ่มจากสถานีวัดน้ำท่า N.60 ซึ่งอยู่ที่ตำบลหาดสองแคว อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ยาวลงมาตามทิศทางการไหลของน้ำ (จากทิศเหนือลงใต้) จนมาถึงจดบรรจบแม่น้ำปิงที่อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ รวมเป็นระยะทางประมาณ 302 กิโลเมตร สำหรับแม่น้ำยมเริ่มที่สถานีวัดน้ำท่า Y.6 ตำบลแก่งหลวง อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย จนกระทั่งถึงจุดบรรจบแม่น้ำน่านที่อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ รวมเป็นระยะทางประมาณ 267 กิโลเมตร ส่วนแม่น้ำปิงเริ่มจากสถานีวัดน้ำท่า P.7A อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร ถึงสถานีวัดน้ำท่า C.2 (ท้ายจุดบรรจบแม่น้ำปิงและแม่น้ำน่านในที่นี้คือขอบเขตด้านล่างหรือ Downstream Boundary) ที่ตั้งอยู่ ณ ด้านท้ายสะพานเดชาติวงศ์ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์

เมื่อพิจารณาจากพื้นที่ศึกษาพบว่า ครอบคลุมทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำปิง เจ้าพระยาและสะแกกรังบางส่วนด้วย ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะเฉพาะด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์โดยเฉพาะในปีน้ำมาก เช่นปี พ.ศ. 2554 (ดูพื้นที่น้ำท่วมถึงในรูปที่ 2.1.1-1) ปริมาณน้ำที่ท่วมในลุ่มน้ำยมและน่านบางส่วนได้หลากจากลุ่มน้ำปิงผ่านเข้าไปในลุ่มน้ำยมและน่าน นอกจากนั้นการบริหารจัดการน้ำโดยเขื่อนเจ้าพระยาในฤดูน้ำหลากที่พยายามระบายน้ำลงสู่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างด้วยปริมาณที่ไม่สูงมากนัก เมื่อเทียบกับปริมาณน้ำเหนือ (อัตราการไหลของแม่น้ำปิงและน่านรวมกัน) เพื่อจำกัดพื้นที่น้ำท่วม ซึ่งอาจทำให้เกิดน้ำเท้อ (Backwater Effect) นั้นคือระดับน้ำยกตัวสูงขึ้นจากหน้าเขื่อนแล้วย้อนทิศทางการไหลของน้ำขึ้นมาสู่แม่น้ำปิงและน่าน ลักษณะเช่นนี้ส่งผลให้อัตราการระบายน้ำของแม่น้ำยมและน่านลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาลดลงและพื้นที่น้ำท่วมในลุ่มน้ำยมและน่านขยายตัวมากขึ้น จากเหตุผลข้างต้นการศึกษาด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ของน้ำผิวดินและน้ำบาดาลจึงได้กำหนดให้ขนาดพื้นที่น้ำท่วมของปี พ.ศ. 2554 (ซึ่งถือได้ว่าเป็นขนาดพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดเท่าที่มีการบันทึกมา) และอยู่ในขอบเขตของสถานีวัดน้ำท่า Y.6 (แม่น้ำยม) N.60 (แม่น้ำน่าน) P.7A (แม่น้ำปิง) และท้ายจุดบรรจบแม่น้ำปิงและแม่น้ำน่าน ณ สถานี C.2 (แม่น้ำเจ้าพระยา) โดยคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 18,396 ตารางกิโลเมตรเป็นขอบเขตการศึกษาจำลองในแบบจำลองคณิตศาสตร์

2.1.2 สภาพธรณีวิทยา

2.1.2 (ก) ธรณีวิทยาแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้าง

ธรณีวิทยาแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษาประกอบขึ้นด้วยหินฐานธรณีชาน-ไทยและหินฐานธรณีอินโดจีน ซึ่งต่างก็เคลื่อนที่เข้าหากันและเกิดการชนกันของหินฐานธรณีทั้งสอง ในบริเวณที่เป็นตอนกลางของพื้นที่ศึกษาในช่วงระยะเวลามหายุคพาลีโอโซอิกตอนปลาย จนถึงมีโซโซอิกตอนต้น หลังจากนั้นแผ่นเปลือกโลกอินเดียได้เคลื่อนเข้าชนกับแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตกส่งผลกระทบถึงหินฐานธรณีชาน-ไทย ในช่วงมหายุคมีโซโซอิกตอนปลายถึงมหายุคซีโนโซอิกตอนต้นทำให้เกิดแนวของ magmatic arc และ back-arc ทางด้านซีกตะวันตกของพื้นที่จากกระบวนการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานส่งผลให้เกิดลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่สำคัญ

ของพื้นที่ประกอบด้วยรอยคดโค้งของชั้นหินหรือชั้นหินคดโค้งกลุ่มรอยเลื่อนต่างๆ และรอยชั้นไม่ต่อเนื่อง โดยชั้นหินคดโค้งวางตัวประมาณแนวเหนือ-ใต้ ประกอบด้วย

1) กลุ่มแนวชั้นหินคดโค้งสุโขทัย ส่วนใหญ่เป็นชั้นหินคดโค้งแบบประทุนคว่ำและประทุนหงายสลับกัน เป็นแบบมุมแหลมตลบทับ และอสมมาตร
2) กลุ่มแนวชั้นหินคดโค้ง ส่วนใหญ่เป็นชั้นหินคดโค้งแบบประทุนคว่ำสลับประทุนหงายแบบอสมมาตร สลับกันไปโดยมีแนวแกนประทุนไม่แน่นอน แต่ส่วนใหญ่ประมาณแนวเหนือ-ใต้

จากการเกิดชั้นหินคดโค้งส่งผลให้เกิดกลุ่มรอยเลื่อนหลัก 2 กลุ่ม ได้แก่

1) กลุ่มรอยเลื่อนแพร่ วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้

2) กลุ่มรอยเลื่อนน้ำปาด วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้

นอกจากนั้นการเกิดกระบวนการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานยังผลให้เกิดรอยชั้นไม่ต่อเนื่องระหว่างชั้นหินในมหายุคต่างๆ (กรมทรัพยากรธรณี, 2544) ธรณีสัณฐานของพื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1) ที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood Plain) เป็นที่ราบที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่ถูกพัดพามาโดยแม่น้ำในฤดูน้ำหลาก แต่ละปีน้ำจากแม่น้ำจะไหลท่วมบริเวณนี้ และพัดพาเอาตะกอนมาทับถมทุกปี สภาพพื้นที่ประกอบด้วย สันดินร่วนลำน้ำ (Natural Levee) และจะค่อยๆ ลาดลงไปเป็นที่ราบลุ่มลำน้ำ (Back Swamp) มีบึงโค้งรูปแอก (Oxbow Lake) เป็นร่องน้ำเก่ากระจายอยู่เป็นระยะๆ พื้นที่โดยทั่วไปเป็นฝั่งพื้นที่ราบเรียบ ความลาดชันน้อยกว่าร้อยละ 1 พื้นที่ราบน้ำท่วมถึงนี้พบอยู่บริเวณสองของแม่น้ำน่านและแม่น้ำยม

2) ตะพักแม่น้ำกึ่งปัจจุบันและตะกอนรูปพัดต่อเนื่อง (Semi-Recent Terrace and Coalescing Alluvial Fans) เกิดจากกระแสน้ำที่ไหลมาจากภูเขาพัดพาเอาตะกอนต่างๆ มาด้วย เมื่อกระแสน้ำไหลผ่านพ้นหุบเขาหรือเชิงเขาซึ่งเป็นที่ราบ ทำให้กำลังของน้ำลดลง ตะกอนที่ถูกพัดพามาก็จะตกตะกอน มีลักษณะคล้ายรูปพัด ลักษณะพื้นที่เหล่านี้พบทางตะวันตกของพื้นที่เป็นตะกอนรูปพัดกำแพงเพชร (Alluvial Fan) และด้านตะวันออกของพื้นที่เกิดจากตะกอนที่พัดมาจากพื้นที่ในเขตจังหวัดเพชรบูรณ์ สภาพพื้นที่เป็นที่ราบเป็นลูกคลื่นเล็กน้อย โดยเป็นที่ราบสลับกับที่ลุ่มชั้นบนบางแห่ง มีตะกอนลำน้ำกึ่งปัจจุบันปิดทับอยู่ทางตอนบน ความลาดชันส่วนใหญ่ไม่เกินร้อยละ 3

3) ตะพักลำน้ำ (Alluvial Terrace) เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำเก่า พื้นที่มีอายุมากกว่าที่ราบน้ำท่วมถึงและตะพักแม่น้ำกึ่งปัจจุบันและตะกอนรูปพัดต่อเนื่อง พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในระดับสูง มีลักษณะเป็นพื้นที่ราบจนถึงเป็นลูกคลื่น ความลาดชันน้อยกว่าร้อยละ 3 บริเวณเหล่านี้ถือว่าในอดีตเคยเป็นที่ราบน้ำท่วมถึงมาก่อน และในปัจจุบันลำน้ำดังกล่าวกัดเซาะผิวดินลึกลงไปอีกระดับหนึ่ง ดังนั้นจึงอยู่สูงกว่าที่ราบน้ำท่วมถึง ในปัจจุบันบริเวณนี้โดยมากเกิดมาจากตะกอนลำน้ำเช่นกัน แต่มีลักษณะของเนื้อดินแตกต่างกันไป

ตามสภาพท้องที่และดินที่เกิดจากตะกอนเก่าของลำน้ำเหล่านี้มีระยะเวลานานพอที่จะพัฒนาชั้นดินต่าง ๆ ขึ้นมาให้เห็นอย่างชัดเจน

4) พื้นผิวที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน (Dissected Erosional Surface) เป็นบริเวณที่เป็นเนินเขาหรือเทือกเขามาก่อน แต่ผ่านกรรมวิธีปรับระดับอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากการกัดกร่อนมาแล้วในอดีต จนทำให้มีลักษณะพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นจนถึงเนินเขาเตี้ย มีความลาดชันร้อยละ 3-8 ดินที่พบในบริเวณนี้จะมีลักษณะผันแปรไปแล้วแต่ลักษณะของหินในบริเวณนั้นๆ และเป็นดินที่เกิดมาจากการสลายตัวของหินเดิม (Residual Soil) และเกิดจากการทับถมของเศษหินตะกอนเชิงเขา (Colluvium)

5) ภูเขา (Mountain and Hill) เป็นพื้นที่สูงชัน หินพื้นรองรับในระดับตื้นถึงโผล่พ้นผิวดิน มีลักษณะเป็นโครงสร้างของภูเขาโดดของหินแอนดีไซด์และไรโอไลต์เป็นส่วนใหญ่ แต่ในบริเวณด้านทิศตะวันออกของจังหวัดพิษณุโลก เป็นภูเขาสูงที่เป็นแนวต่อเนื่องมาจากจังหวัดเพชรบูรณ์ สภาพพื้นที่มีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 ดินที่พบในบริเวณนี้มีลักษณะผันแปรแล้วแต่ชนิดของหินในบริเวณนั้นๆ

2.1.2 (ข) ลำดับชั้นหิน (Stratigraphy)

พื้นที่ราบลุ่มมีวิวัฒนาการจากการขยายตัวของเปลือกโลกในยุคเทอร์เชียรี ต่อมาในสมัยไพลโอซีนตอนปลายถึงสมัยไพลสโตซีนตอนต้นได้เกิดรอยเลื่อนแบบบล็อกทำให้หินฐานรากในพื้นที่มีการเลื่อนขึ้นลงไปตามแนวของรอยเลื่อนส่วนที่เป็นขอบแอ่ง ทางด้านตะวันออกได้ยกตัวสูงขึ้นเป็นภูเขา ต่อมาเกิดการผุพังของหินฐานรากตะกอนจึงสะสมตัวอยู่บริเวณขอบแอ่ง ส่วนตะกอนที่สะสมตัวอยู่ตอนบนสุดหรือบริเวณตอนกลางของพื้นที่เป็นตะกอนที่เกิดจากการผุพังและสะสมตัวของช่วงน้ำหลากในสมัยปัจจุบัน ซึ่งลักษณะตะกอนวิทยาของหน่วยหินยุคต่างๆ (รูปที่ 2.1.2-1) สรุปได้ดังนี้

1) หินมหายุคพาลีโอโซอิกตอนล่าง (หินยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน, SD) ประกอบด้วยหินปูนสีเทา มีการตกผลึกใหม่ หินดินดานเนื้อทัฟฟ์ หินทราย และหินอ่อน สีขาว โผล่ให้เห็นตามบริเวณอำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร และเขาลูกเล็กๆ ทางตอนใต้ของจังหวัดกำแพงเพชร ด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา เรียกกลุ่มหินนี้ว่า กลุ่มหินดอนชัย

2) หินมหายุคพาลีโอโซอิกตอนบน (หินยุคเพอร์เมียน, Ps) ประกอบด้วยหินปูนชั้นหนาสีเทา หินดินดาน หินกรวดมน มีหินเชิร์ตเป็นกระเปาะ และมีชั้นของเถ้าภูเขาไฟแทรกสลับอยู่ด้วย โผล่ปรากฏบริเวณด้านเหนือของอำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย และด้านตะวันออกของอำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร

3) หินมหายุคมีโซโซอิก ในตอนต้นเป็นหินตะกอนภูเขาไฟแทรกสลับกับหินปูน ถูกปิดทับแบบไม่ต่อเนื่อง ด้วยลักษณะเนื้อหินปูนเม็ดไข่ปลาของหมวดหินพระธาตุ (TRpt) และชั้นหินสีแดงของกลุ่มหินโคราช ได้แก่ หมวดหินภูกระดึง (Jpk) หมวดหินพระวิหาร (JKpw) หมวดหินเสาขัว (Ksk) และหมวดหินภูพาน (Kpp) ส่วนใหญ่โผล่ปรากฏให้เห็นบริเวณด้านตะวันออกของจังหวัดพิษณุโลก

4) หินมหายุคซีโนโซอิก หินยุคนี้จะถูกปิดทับด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารี โดยแอ่งเทอร์เชียรี เช่น แอ่งพิษณุโลก มีรอยเลื่อนขนาบทั้ง 4 ด้าน และเกิดจากการทรุดตัวแบบกึ่งกราเบน ส่วนใหญ่ประกอบด้วย หินกรวดมน หินโคลน หินทราย ถ่านหิน กรวด ทราย และดินเหนียว

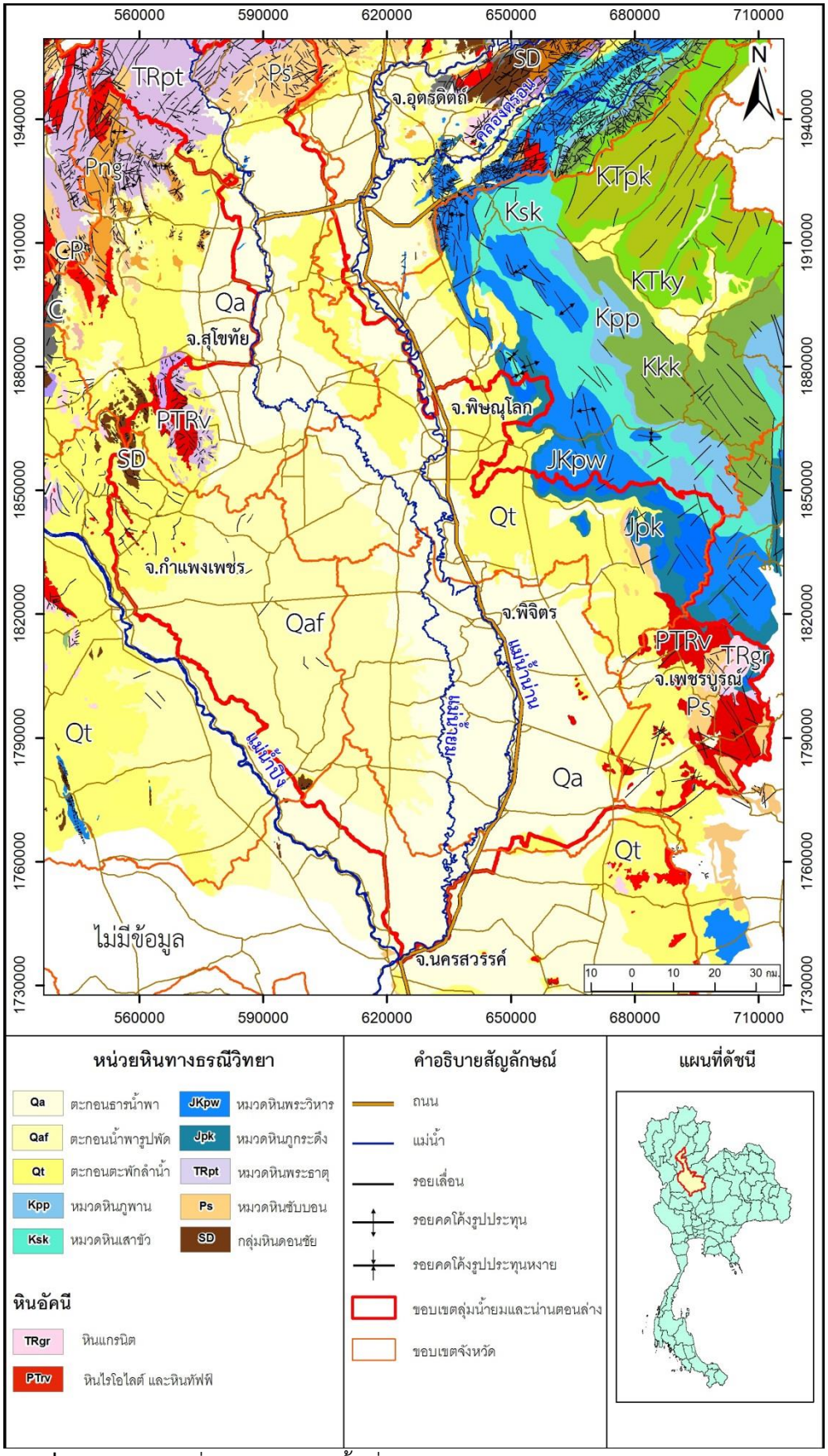
5) ตะกอนยุคควอเทอร์นารี เป็นตะกอนสมัยไพลโตซีน ประกอบด้วยกรวด ทรายหยาบ ดินโคลน หรือดินเหนียว ได้แก่ ตะกอนธารน้ำพา (Qa) ส่วนใหญ่พบอยู่ตามบริเวณที่ราบลุ่มสองฝั่งแม่น้ำยมและน่าน ตะกอนน้ำพารูปพัด (Qaf) ส่วนใหญ่พบกระจายตัวอยู่ทางฝั่งตะวันตกของแม่น้ำยม บริเวณจังหวัดกำแพงเพชร บางส่วนทางตะวันตกของจังหวัดพิจิตร อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก และตอนล่างของอำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ทางตะกอนตะพักลำน้ำ (Qt) พบกระจายตัวอยู่ทางฝั่งตะวันออกของจังหวัดพิษณุโลก และจังหวัดพิจิตร ขนานกับแม่น้ำน่าน อยู่ระหว่างแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน บริเวณอำเภอศรีสำโรง และอำเภอกงไกรลาศ จังหวดสุโขทัย และบริเวณอำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร

2.1.2 (ค) หินอัคนี (Igneous rocks)

พื้นที่ศึกษาประกอบด้วยหินอัคนีแทรกซอนและหินอัคนีพุ ที่กำเนิดจากปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา หินอัคนีจาก 2 ในช่วงยุคใหญ่ๆ ได้แก่

1. หินอัคนีพุยุคเพอร์โม-ไทรแอสซิก (PTrv) ประกอบด้วย หินภูเขาไฟชนิดไรโอไลต์ และหินทัฟฟ์ โผล่ปรากฏบริเวณด้านตะวันออกของอำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร และบางส่วนของจังหวัดเพชรบูรณ์

2. หินอัคนีแทรกซอนยุคไทรแอสซิก (TRgr) ประกอบด้วยหินแกรนิต โผล่ปรากฏบริเวณบางส่วนของจังหวัดเพชรบูรณ์



รูปที่ 2.1.2-1 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา (ดัดแปลงจากกรมทรัพยากรธรณี, 2544)

2.1.3 สภาพอุทกธรณีวิทยา

หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

พื้นที่โครงการฯ รองรับด้วยชั้นหินให้น้ำหินร่วน และชั้นหินอุ้มน้ำหินแข็ง (รูปที่ 2.1.3-3) รายละเอียดดังนี้

1) ชั้นหินอุ้มน้ำหน่วยหินร่วน มีลักษณะเป็นตะกอนจับตัวกันหลวมๆ ที่สะสมตัวบนที่ราบลุ่ม ประกอบด้วยตะกอนน้ำพายุคปัจจุบันของแม่น้ำยมและน่าน ตะกอนน้ำพายุคเก่าแบบลานตะพักระดับต่ำและสูง และตะกอนที่เกิดจากตะกอนรูปพัด มีความหนารวมกันตั้งแต่ 50-80 เมตรในบริเวณขอบแอ่ง จนถึงกว่า 500 เมตร บริเวณกลางแอ่ง มีรายละเอียดดังนี้

1.1) หน่วยตะกอนน้ำพายุคปัจจุบัน (Recent Flood Plain Deposits, Q_{fd}, หรือชั้นน้ำเจ้าพระยา, Q_{cp}) ประกอบด้วยชั้นของทรายและกรวดขนาดต่างๆ มีความมนปานกลาง มีการคัดขนาดปานกลางถึงดี แทรกสลับด้วยชั้นดินเหนียวสีเหลือง น้ำตาล และแดง พบตามสองฝั่งแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านในเขตลุ่มน้ำหลาก และในบริเวณร่องแคบๆของแม่น้ำสาขาทั้ง 2 นี้ ชั้นหินอุ้มน้ำอาจพบตั้งแต่ระดับผิวดินลงไป หรือมีดินเหนียวหนาไม่เกิน 5 เมตร.ปิดทับอยู่ ความหนาของชั้นทรายอยู่ที่ 30-35 เมตร

1.2) หน่วยตะกอนน้ำพารูปพัด (Alluvial Fan Deposits, Q_{af}) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยทรายสลับชั้นกรวดขนาดเล็ก สลับด้วยชั้นดินเหนียวปนลูกรัง ตะกอนน้ำพารูปพัดเกิดจากทางน้ำบนภูเขาฝั่งตะวันตกที่มีแม่น้ำไหลลงสู่ที่ราบภาคกลาง เมื่อตะกอนไหลลงมาตามความลาดชันของภูเขา ทำให้ความเร็วของน้ำเปลี่ยน ตะกอนที่ถูกน้ำพัดพามาจะแผ่กระจายออกทับถมกันบริเวณขอบที่ราบมีลักษณะคล้ายพัดที่กางออก

1.3) หน่วยตะกอนตะพักยุคใหม่หรือลานตะพักระดับต่ำ (Low Terrace Deposits, Q_{lt}, ชั้นน้ำเชียงราย, Q_{cr}) ประกอบด้วยชั้นดินเหนียว แป้งที่มีชั้นทรายและกรวดแทรกสลับ ชั้นหินอุ้มน้ำชั้นนี้วางตัวอยู่ใต้ชั้นน้ำตะกอนน้ำพายุคปัจจุบันโดยมีความหนาตั้งแต่ 10-60 เมตร และที่กลางแอ่ง ในเขตอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก และคลุมพื้นที่อำเภอสามง่าม อำเภอโพธิ์ประทับช้าง อำเภอบางมูลนาค จนถึงอำเภอตะพานหิน จังหวัดพิจิตร ความลึกของชั้นน้ำชั้นนี้อยู่ที่ 100 เมตร ชั้นน้ำนี้วางตัวถัดออกไปจากชั้นน้ำตะกอนน้ำพา (Q_{fd}) หรือชั้นน้ำเจ้าพระยา (Q_{cp}) ทั้ง 2 ฝั่งของแม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน เริ่มตั้งแต่อำเภอศรีสัชนาลัย ไปจนเข้าเขตจังหวัดพิษณุโลก และจังหวัดพิจิตร โดยมีระดับความสูงของผิวดินลาดเอียงจาก ระดับ 65 เมตร ในตอนเหนือลดระดับไปถึงประมาณ 40 เมตร ทางตอนใต้ ความลึกของชั้นน้ำอยู่ที่ 50-80 เมตร

1.4) หน่วยตะกอนตะพักน้ำยุคเก่าหรือลานตะพักระดับสูง (High Terrace Deposits, Q_{ht}, หรือชั้นน้ำเชียงใหม่, Q_{cm}) เป็นชั้นน้ำที่เกิดจากการสะสมตัวของกรวด ทราย เศษหินในเขตที่ราบระดับสูงเชิงเขา บางส่วนถูกกัดเซาะไปโดยสาขาของน้ำในปัจจุบันเป็นที่สูงเชิงเขา เขตอำเภอศรีสัชนาลัย ผ่านมาถึงอำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ด้านตะวันออกพบในเขตอำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก และแผ่เป็นบริเวณกว้างรองรับใต้ชั้นน้ำ Q_{lt}หรือ Q_{cr} โดยมีการสะสมตัวในแอ่งในช่วงไพลสโตซีน ชั้นน้ำประกอบด้วย กรวด ทราย เป็นส่วนใหญ่ แทรกสลับด้วยชั้นดินเหนียว จึงมีการเรียงตัวและความกลมมนของตะกอนค่อนข้างดี

2) ชั้นหินอุ้มน้ำหน่วยหินแข็ง เป็นแหล่งน้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในรอยแตกของหิน พบบริเวณขอบของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ด้านตะวันออกของจังหวัดพิจิตร จังหวัดพิษณุโลก บางส่วนของจังหวัดเพชรบูรณ์ ด้านตะวันตกของจังหวัดกำแพงเพชร และจังหวัดสุโขทัย ด้านเหนือของจังหวัดสุโขทัย และตอนล่างของจังหวัดแพร่

2.1) หน่วยหินกลุ่มหินโคราช (Khorat Group Aquifers) ประกอบด้วยหินทราย หินทรายแป้ง และหินดินดาน พบในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร อำเภอวังทอง อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก และบางส่วนของจังหวัดเพชรบูรณ์

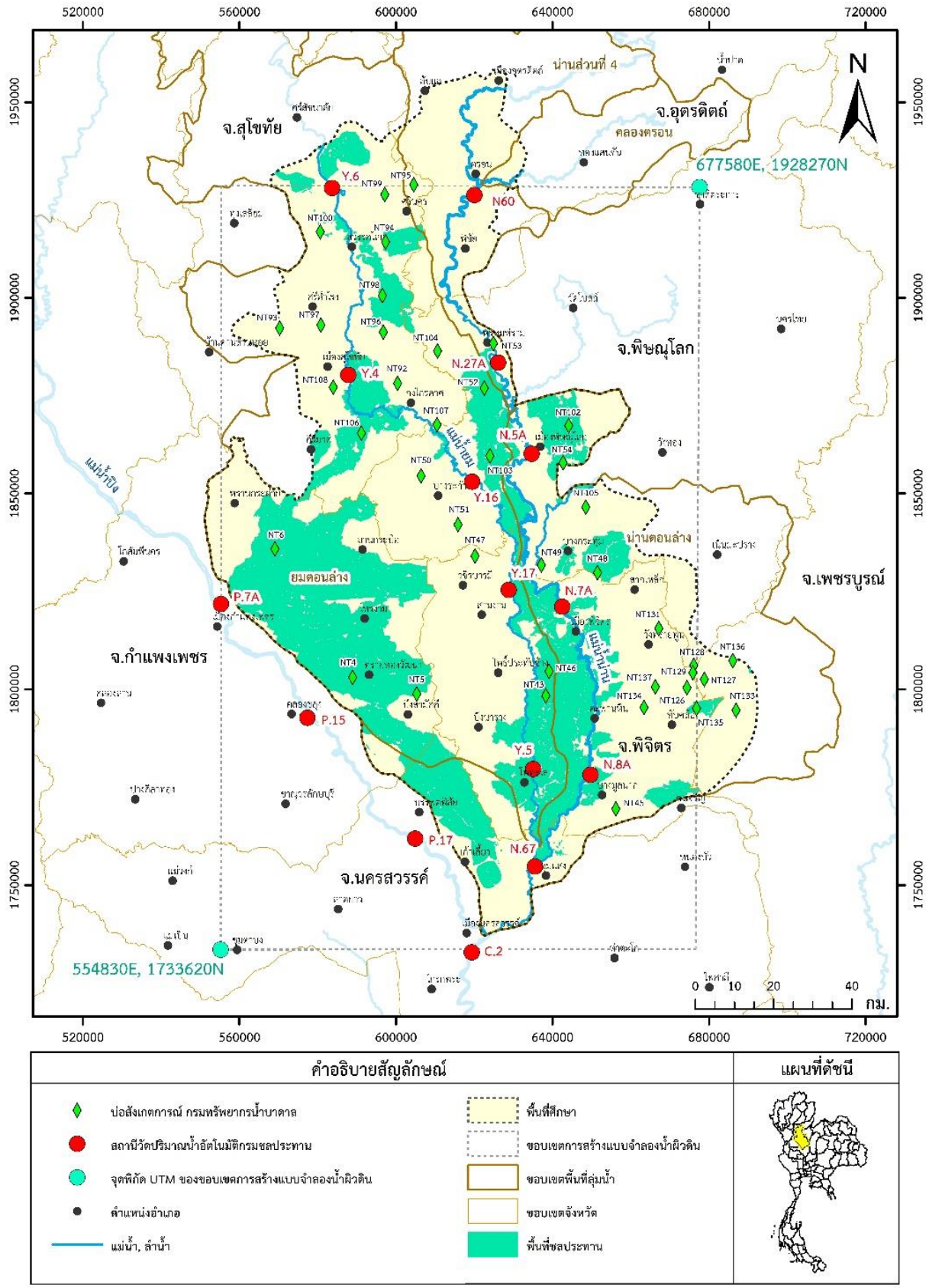
2.2) หน่วยหินปูน (Carbonate Aquifers) ในหลายๆ แห่งจะมีหินดินดานและหินทรายแทรกสลับทำให้เป็นแหล่งกักเก็บน้ำไม่ดี น้ำบาดาลหินปูนพบในพื้นที่อำเภอทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย และอำเภอบางกระทุ่ม อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก

2.3) หน่วยหินแปรและหินอัคนี (Metamorphic and Igneous Rock Aquifers) พบในบริเวณอำเภอทุ่งเสลี่ยม อำเภอศรีสัชนาลัย อำเภอด่านลานหอย อำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัยและอำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร

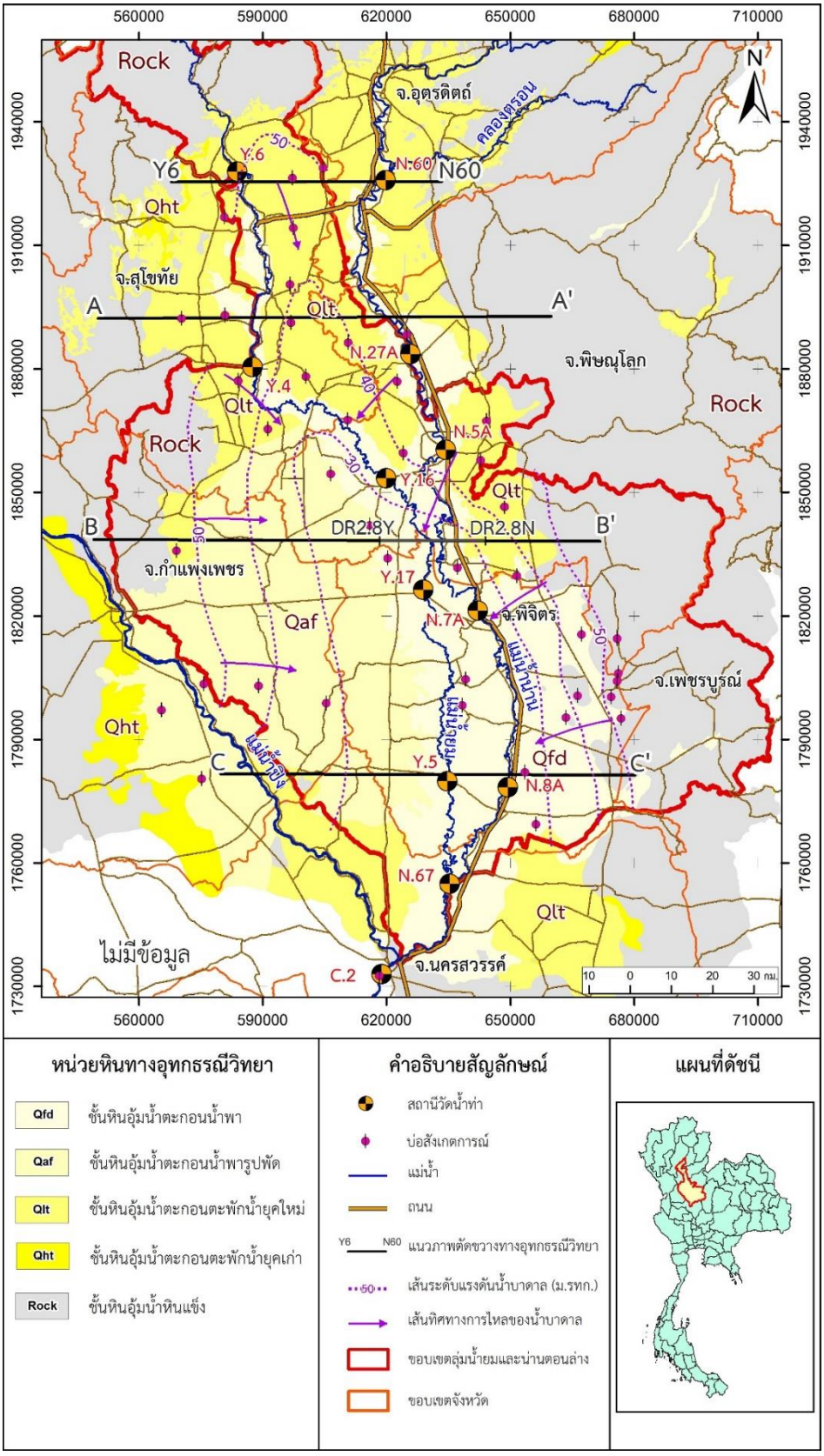
รูปแบบและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

การศึกษารูปแบบและระบบการไหลของน้ำบาดาลได้จากการศึกษาระดับน้ำบาดาลและคุณภาพน้ำบาดาลจากบ่อน้ำบาดาลเดิมของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล บ่อน้ำบาดาลที่ผลิตประปาในชุมชนประปา บ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร (รูปที่ 2.1.3-1 และ รูปที่ 2.1.3-2) แล้วนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา สร้างตาข่ายการไหลของน้ำบาดาล และจัดทำในรูปแผนที่อุทกธรณีวิทยา พบว่าพื้นที่ลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่างมีทั้งระบบการไหลบริเวณกว้างและเฉพาะแห่ง ลักษณะการไหลของน้ำบาดาล มีทิศทางการไหลหลักจากบริเวณพื้นที่รับน้ำที่เติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล ส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ทางด้านตอนเหนือ ตะวันออก และตะวันตก ที่มีระดับแรงดันน้ำบาดาลมากกว่า 30 ม.รทก. ไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนหินร่วนไปยังพื้นที่สูญเสียน้ำบาดาล บริเวณตอนกลางของพื้นที่ที่กระจายตัวตามที่ราบลุ่มของลำน้ำยมและน่าน และไหลออกไปทางด้านทิศใต้ของพื้นที่ศึกษาที่มีระดับแรงดันน้ำบาดาลน้อยกว่า 30 ม.รทก. (รูปที่ 2.1.3-3 ถึงรูปที่ 2.1.3-5) รูปที่ 2.1.3-5 แสดงลำดับชั้นของตะกอนทางน้ำบริเวณริมแม่น้ำน่าน จากข้อมูลของชั้นดินชั้นหินของบ่อสังเกตการณ์ที่เจาะใหม่ พบว่ามีชั้นดินเหนียวและดินเหนียวปนทรายวางตัวปิดทับชั้นตะกอนทรายและทรายปนกรวด และเนื่องจากเป็นฤดูฝนน้ำในแม่น้ำน่านมีระดับสูงกว่าระดับน้ำบาดาลที่ตรวจวัดได้ หลังจากทำการเจาะบ่อสังเกตการณ์ เมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม 2561 ส่งผลให้น้ำในแม่น้ำน่านไหลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลของตะกอนทรายและทรายปนกรวด ดังรูปที่ 2.1.3-5

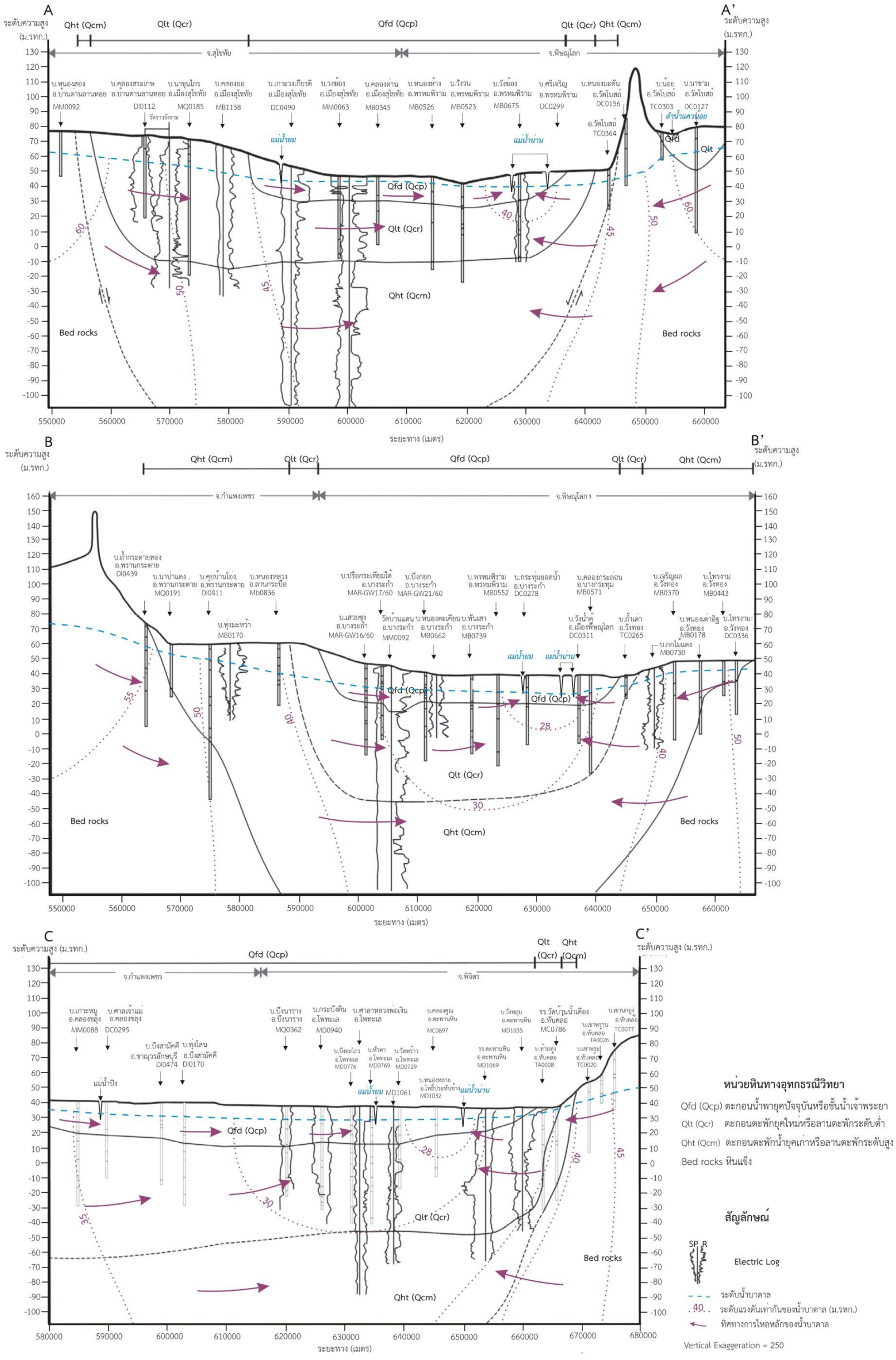
รูปที่ 2.1.3-1 การตรวจวัดระดับและคุณภาพน้ำบาดาล และเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล



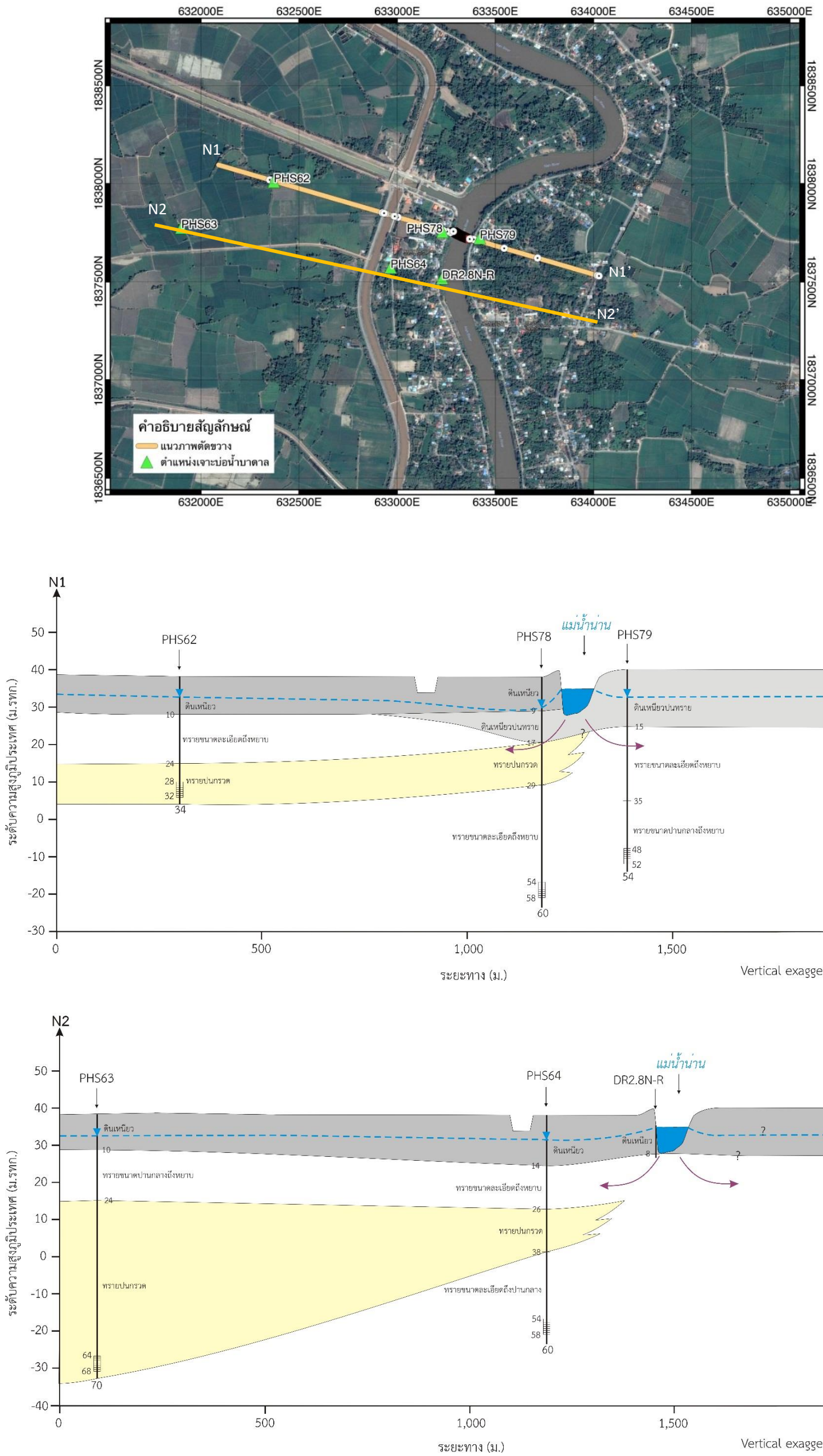
รูปที่ 2.1.3-2 แผนที่แสดงตำแหน่งการตรวจวัดระดับและคุณภาพน้ำบาดาล และเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล



รูปที่ 2.1.3-3 แผนที่หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา (ดัดแปลงจาก แผนที่น้ำบาดาลรายจังหวัด จาก Web site http://www.dgr.go.th/, 2558)



รูปที่ 2.1.3-4 ภาพตัดขวางหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาแนว A-A’ B-B’ และ C-C’ (ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554)



รูปที่ 2.1.3-5 แสดงลำดับชั้นตะกอนและความสัมพันธ์ของน้ำผิวดินและน้ำบาดาลบริเวณสองฝั่งแม่น้ำน่าน จากการตรวจวัดระดับน้ำบาดาล เมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม 2561

ศักยภาพน้ำบาดาล

พื้นที่ศึกษาถูกรองรับด้วยหินร่วนและหินแข็งศักยภาพของน้ำบาดาลจึงมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะของชั้นตะกอน และลักษณะทางโครงสร้างของชั้นหินอุ้มน้ำที่เป็นหินแข็ง (รูปที่ 2.1.3-6) โดยพื้นที่เพิ่มเติมน้ำ (Recharge area) สู่แหล่งน้ำบาดาลอยู่บริเวณขอบแอ่ง ซึ่งเป็นหน่วยหินอุ้มน้ำในหินแข็งและตะกอนหินร่วนที่สะสมตัวบนพื้นที่สูงใกล้เคียงทางทิศเหนือบริเวณจังหวัดอุตรดิตถ์ สุโขทัย แพร่ และกำแพงเพชรตอนบน ทางตะวันออกของพื้นที่บริเวณจังหวัดพิษณุโลก และพิจิตร และทางตะวันตกของพื้นที่บริเวณจังหวัดกำแพงเพชรตอนล่าง

1) แหล่งน้ำบาดาลในหินร่วน มีลักษณะเป็นตะกอนจับตัวกันหลวมๆที่สะสมตัวบนที่ราบลุ่มประกอบด้วยตะกอนน้ำพายุคปัจจุบันของแม่น้ำยมและน่าน มีรายละเอียดดังนี้

1.1) ชั้นน้ำตะกอนน้ำพายุคปัจจุบัน (recent flood plain deposits, Qfd, หรือชั้นน้ำเจ้าพระยา, Qcp) พบกระจายตัวอยู่ในเขตพื้นที่หลายแห่งของอำเภอศรีสำโรง อำเภอศรีสัชนาลัย อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย อำเภอพรหมพิราม อำเภอบางกระทุ่ม อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก และพื้นที่ลุ่มน้ำยม ลุ่มน้ำน่าน ลุ่มน้ำพิจิตร ในเขตจังหวัดพิจิตร มีศักยภาพการให้น้ำบาดาลสูง ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 15-25 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง เป็นแหล่งน้ำบาดาลระดับตื้นที่สำคัญต่อการทำเกษตรกรรมขนาดเล็กหรือเป็นแหล่งน้ำเสริมการเกษตรในช่วงฝนทิ้งช่วง พื้นที่เหล่านี้เป็นพื้นที่ระดับต่ำจึงมักถูกน้ำท่วมในช่วงที่มีฝนตกเกินเกณฑ์ปกติ

1.2) ชั้นน้ำตะกอนน้ำพารูปพัด (Alluvial fandeposits, Qaf) พบกระจายตัวบริเวณอำเภอไทรงาม อำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร และอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก หน่วยหินตะกอนน้ำพารูปพัดเป็นชั้นหินอุ้มน้ำที่ถูกปิดทับด้วยตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง ทำให้เป็นชั้นน้ำแบบมีแรงดันและกึ่งมีแรงดันความลึกถึงผิวบนของชั้นหินอุ้มน้ำซึ่งถูกปิดทับชั้นดินเหนียว โดยพบความลึกถึงชั้นน้ำที่น้อยกว่า 5 เมตร พบบริเวณตอนกลางของพื้นที่ที่เป็นเนินตะกอนน้ำพารูปพัดและตะกอนสะสมตัวในร่องน้ำตามขอบลำน้ำ นอกนั้นเป็นพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงมีความลึกมากกว่า 5 เมตร ลงไปมีศักยภาพการให้น้ำบาดาลสูง ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 5-25 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

1.3) ชั้นน้ำตะกอนตะพักยุคใหม่หรือลานตะพักระดับต่ำ (low terrace deposits, Qlt, ชั้นน้ำเชียงราย, Qcr) พบส่วนใหญ่กระจายตัวเป็นแนวเหนือใต้ขนานแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน ตั้งแต่อำเภอศรีสัชนาลัยลงมาถึงอำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย และฝั่งตะวันออกของแม่น้ำน่าน บริเวณอำเภอเมือง อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลกมีศักยภาพการให้น้ำบาดาลสูง ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 15-20 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง และคุณสมบัติการจ่ายน้ำจำเพาะมีค่าตั้งแต่ 0-40 ตารางเมตร/ชั่วโมง เนื่องจากมีดินเหนียวและทรายละเอียดแทรกสลับ

1.4) ชั้นน้ำตะกอนตะพักน้ำยุคเก่าหรือลานตะพักระดับสูง (high terrace deposits, Qht, หรือชั้นน้ำเชียงใหม่, Qcm) พบกระจายตัวบริเวณเขตอำเภอศรีสัชนาลัย อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย

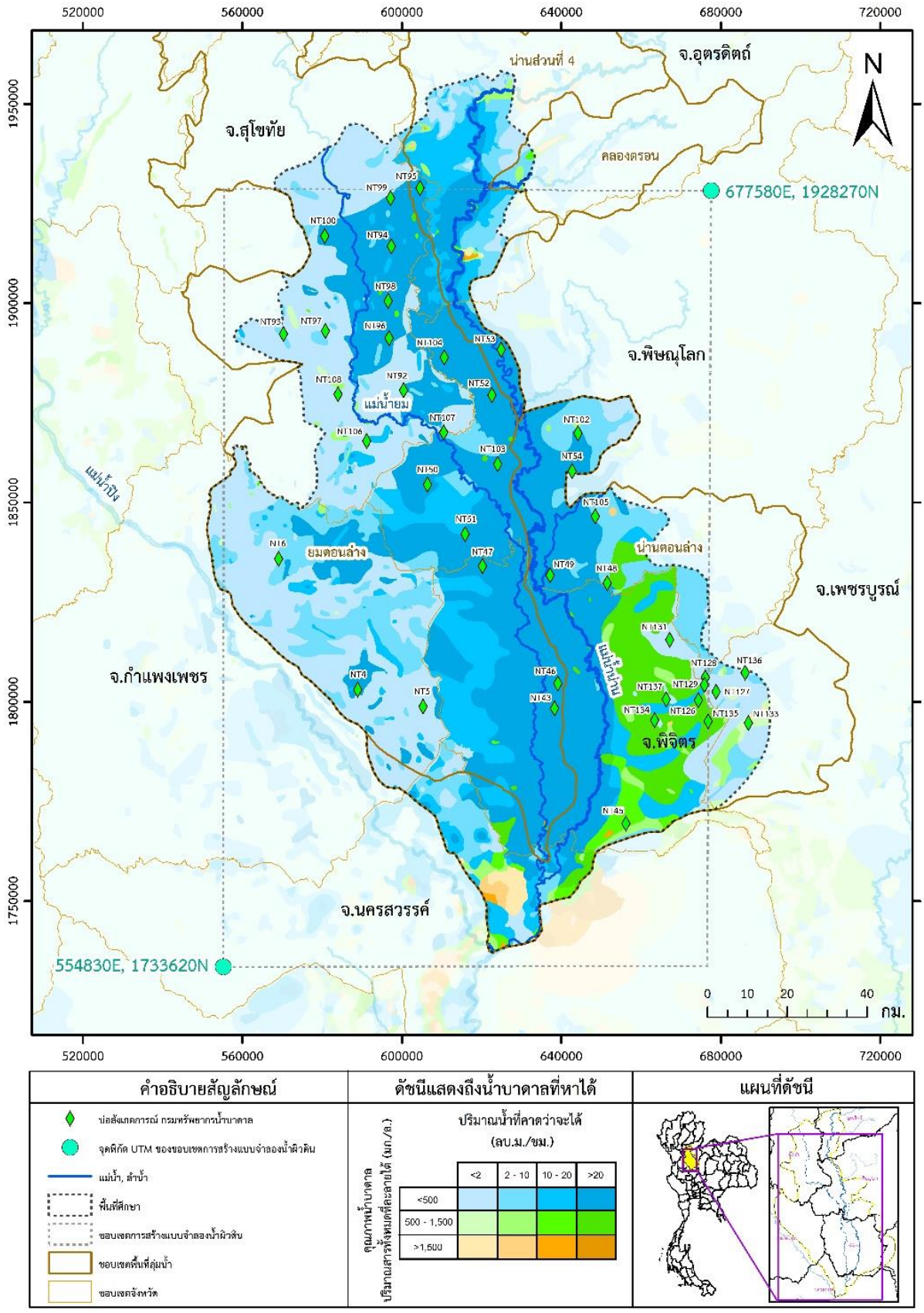
ศักยภาพการให้น้ำบาดาลสูง ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 30-50 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง บ่อบาดาลหลายพื้นที่สูบน้ำเพื่อทำการเกษตรกรรมขนาดใหญ่

2) แหล่งน้ำบาดาลในหินแข็งเป็นแหล่งน้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในรอยแตกของหิน พบบริเวณขอบของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ด้านตะวันออกของจังหวัดพิจิตร จังหวัดพิษณุโลก และจังหวัดเพชรบูรณ์ และด้านตะวันตกของจังหวัดกำแพงเพชร และจังหวัดสุโขทัย ด้านเหนือของจังหวัดสุโขทัย และด้านใต้ของจังหวัดแพร่ ศักยภาพการให้น้ำบาดาลค่อนข้างต่ำ

2.1) น้ำบาดาลในหินทราย หินทรายแป้ง และหินดินดาน (Khorat group aquifers) ศักยภาพการให้น้ำบาดาลต่ำ ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 1-5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ทำให้เป็นแหล่งกักเก็บน้ำไม่ดี พบในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร อำเภอวังทอง อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก

2.2) น้ำบาดาลในหินปูน (carbonate aquifers) ศักยภาพการให้น้ำบาดาลค่อนข้างต่ำ ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์มีเกณฑ์ให้น้ำ 3-5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ในหลายๆแห่งจะมีหินดินดานและหินทรายแทรกสลับทำให้เป็นแหล่งกักเก็บน้ำไม่ดี น้ำบาดาลหินปูนพบในพื้นที่อำเภอทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย และอำเภอบางกระทุ่ม อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก

2.3) น้ำบาดาลในหินแปรและหินอัคนี (metamorphic and igneous rock aquifers) ปริมาณการให้น้ำบาดาลค่อนข้างน้อย เนื่องจากรอยแตกของหินที่ไม่ต่อเนื่องแหล่งน้ำบาดาล พบได้เฉพาะพื้นที่ที่มีโครงสร้างที่เหมาะสมจริงๆ ศักยภาพการให้น้ำบาดาลต่ำ ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 1-5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง พบในบริเวณอำเภอทุ่งเสลี่ยม อำเภอศรีสัชนาลัย อำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัยและอำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร



รูปที่ 2.1.3-6 แผนที่ศักยภาพน้ำบาดาล (ดัดแปลงจาก แผนที่น้ำบาดาลรายจังหวัด จาก Web site http://www.dgr.go.th/, 2558)

2.1.4 คุณสมบัติของดิน

2.1.4 (ก) กลุ่มดินที่พบในพื้นที่ศึกษา

คุณสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษา ศึกษาจำแนกโดยใช้แผนที่กลุ่มชุดดินของแผนที่ดิน ที่กรมพัฒนาที่ดิน (2556) โดยการรวมชุดดินที่มีลักษณะ สมบัติ และศักยภาพในการเพาะปลูก รวมถึงการจัดการดินที่คล้ายคลึงกันมาไว้เป็นกลุ่มเดียวกัน (รูปที่ 2.1.4-1) จากการศึกษาสามารถแบ่งกลุ่มชุดดินได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. กลุ่มชุดดินที่พบในพื้นที่ลุ่ม ได้แก่

กลุ่มชุดดิน ประกอบด้วย ชุดดินหางดง (Hd) ชุดดินละงู (Lgu) และชุดดินพาน (Ph) กระจายตัวบริเวณพื้นที่อำเภอที่ 5 พรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร

กลุ่มชุดดินที่ 7 ประกอบด้วย ชุดดินเดิมบาง (Db) ชุดดินน่าน (Na) ชุดดินนครปฐม (Np) ชุดดินผักกาด (Pat) ชุดดินสุโขทัย (Skt) ชุดดินท่าตูม (Tt) ชุดดินอุตรดิตถ์ (Utt) และชุดดินระโนด (Ran) กระจายตัวบริเวณพื้นที่ อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร

กลุ่มชุดดินที่ 14 ประกอบด้วยชุดดินปัตตานี (Pti) ชุดดินระแงะ (Ra) และชุดดินต้นไทร (Ts) กระจายตัวเป็นแนวยาวขนานแม่น้ำยม บริเวณพื้นที่อำเภอศรีสัชนาลัย อำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ขนานแม่น้ำยมและน่าน บริเวณพื้นที่อำเภอตะพานหิน อำเภอบางมูลนาก อำเภอโพทะเล จังหวัดพิจิตร และอำเภอชุมแสง อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์

กลุ่มชุดดินที่ 25 ประกอบด้วยชุดดินกันตัง (Kat) ชุดดินอ้น (On) ชุดดินเพ็ญ (Pn) ชุดดินพะยอมงาม (Pym) ชุดดินสะท้อน (Stn) ชุดดินทุ่งค่าย (Tuk) และชุดดินย่านตาขาว (Yk) กระจายตัวเป็นพื้นที่กว้างและเป็นแนวยาวขนานแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน บริเวณพื้นที่อำเภอศรีนคร อำเภอเมืองสุโขทัย อำเภอคีรีมาศ อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย อำเภอเมืองพิษณุโลก อำเภอบางระกำ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก และอำเภอเมืองพิจิตร อำเภอสามง่าม อำเภอโพธิ์ประทับช้าง อำเภอโพทะเล อำเภอตะพานหิน อำเภอวังทรายพูน อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร

กลุ่มชุดดินที่ 5 7 14 และ 25 เป็นดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำ ($Ks < 5 \times 10^{-7}$ เมตร/วินาที) ประกอบด้วยดินเหนียวปนทราย Sandy Clay, Silty Clay การระบายน้ำของดินไม่ดี มักมีน้ำแช่ขังในฤดูฝน ไม่เหมาะสำหรับเพาะปลูกพืชไร่ ไม้ผล และไม้ยืนต้น

กลุ่มชุดดินที่ 18 ประกอบด้วยชุดดินชลบุรี (Cb) ชุดดินไชยา (Cya) ชุดดินโคกสำโรง (Ksr) และชุดดินเขาย้อย (Kyo) กระจายตัวบริเวณพื้นที่อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย และอำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร เป็นดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง ($5 \times 10^{-6} \leq Ks < 5 \times 10^{-7}$ เมตร/วินาที) ประกอบด้วย Loam, Silt, Silty Loam, Sandy Clay Loam, Clay Loam และ Silty Clay LoamClay (กรมชลประทาน, 2553 อ้างอิงถึง Farr and Henderson, 1986) การระบายน้ำของดินไม่ดี มักมีน้ำแช่ขังในฤดูฝน ไม่เหมาะสำหรับเพาะปลูกพืชไร่ ไม้ผล และไม้ยืนต้น

2. กลุ่มชุดดินที่พบในพื้นที่ดอน หมายถึง ดินที่ไม่มีน้ำแช่ขัง พบบริเวณที่เป็นเนินมีการระบายน้ำดี สภาพพื้นที่อาจเป็นที่ราบเรียบ เป็นลูกคลื่น หรือเนินเขา ใช้ปลูกพืชไร่ ไม้ผล และไม้ยืนต้น ซึ่งต้องการน้ำน้อย ไม่มีน้ำแช่ขัง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ

2.1 ดินในพื้นที่ดอนเขตดินแห้ง โดยทั่วไปเป็นเขตพื้นที่ที่มีฝนตกน้อยและตกกระจายไม่สม่ำเสมอ ปริมาณฝนตกเฉลี่ยน้อยกว่า 1,500 มิลลิเมตรต่อปี กลุ่มชุดดินที่พบได้แก่

กลุ่มชุดดินที่ 29 ประกอบด้วยชุดดินหินกอง (Hk) ชุดดินเกาะใหญ่ (Koy) ชุดดินลำปาง (Lp) ชุดดินพานทอง (Ptg) ชุดดินศรีเทพ (Sri) และชุดดินตากใบ (Ta) กระจายตัวบริเวณพื้นที่อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร และอำเภอวังทรายพูน อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร

กลุ่มชุดดินที่ 30 ประกอบด้วย ชุดดินเชียงแสน (Ce) และชุดดินดอยปุย (Dp) กระจายตัวบริเวณพื้นที่อำเภอเมืองสุโขทัย จังหวัดสุโขทัย อำเภอพรานกระต่าย อำเภอไทรงาม จังหวัดกำแพงเพชร และอำเภอสามง่าม อำเภอเมืองพิจิตร อำเภอตะพานหิน อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร

กลุ่มชุดดินที่ 29 และ 30 เป็นดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำ ($Ks < 5 \times 10^{-7}$ เมตร/วินาที) ประกอบด้วยดินเหนียวปนทราย Sandy Clay, Silty Clay (กรมชลประทาน, 2553 อ้างอิงถึง Farr and Henderson, 1986)

2.2 ดินในพื้นที่ดอนในเขตดินชื้น โดยทั่วไปเป็นเขตพื้นที่มีฝนตกชุกและกระจายสม่ำเสมอเกือบทั้งปี โดยทั่วไปมีปริมาณฝนตกเฉลี่ยมากกว่า 1,500 มิลลิเมตรต่อปี กลุ่มชุดดินที่พบ ได้แก่

กลุ่มชุดดินที่ 26 ประกอบด้วย ชุดดินอ่าวลึก (Ak) ชุดดินห้วยโป่ง (Hp) ชุดดินกระบี่ (Kbi) ชุดดินโคกกลอย (Koi) ชุดดินลำภูรา (Ll) ชุดดินปากจั่น (Pac) ชุดดินพังงา (Pga) ชุดดินภูเก็ต (Pk) ชุดดินปะทิว (Ptu) และชุดดินท้ายเหมือง (Tim) กระจายตัวบริเวณพื้นที่อำเภอศรีนคร จังหวัดสุโขทัย

กลุ่มชุดดินที่ 27 ประกอบด้วยชุดดินหนองบอน (Nb) และชุดดินท่าใหม่ (Ti) กระจายตัวขนานลุ่มแม่น้ำยม บริเวณพื้นที่ตอนล่างของจังหวัดแพร่และอำเภอศรีสัชนาลัย อำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีนคร อำเภอศรีสำโรง อำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย อำเภอลานกระบือ อำเภอไทรงาม จังหวัดกำแพงเพชร และขนานแม่น้ำน่านเป็นแนวแคบๆ ตั้งแต่อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก ลงมาถึงอำเภอตะพานหิน จังหวัดพิจิตร

กลุ่มชุดดินที่ 33 ประกอบด้วยชุดดินดงยางเอน (Don) ชุดดินกำแพงเพชร (Kp) ชุดดินกำแพงแสน (Ks) ชุดดินลำสนธิ (Ls) ชุดดินน้ำดุก (Nd) ชุดดินธาตุพนม (Tp) และชุดดินตะพานหิน (Tph) กระจายตัวบริเวณพื้นที่อำเภอวังทอง อำเภอบางกระทุ่ม อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลกและบางส่วนของจังหวัดเพชรบูรณ์

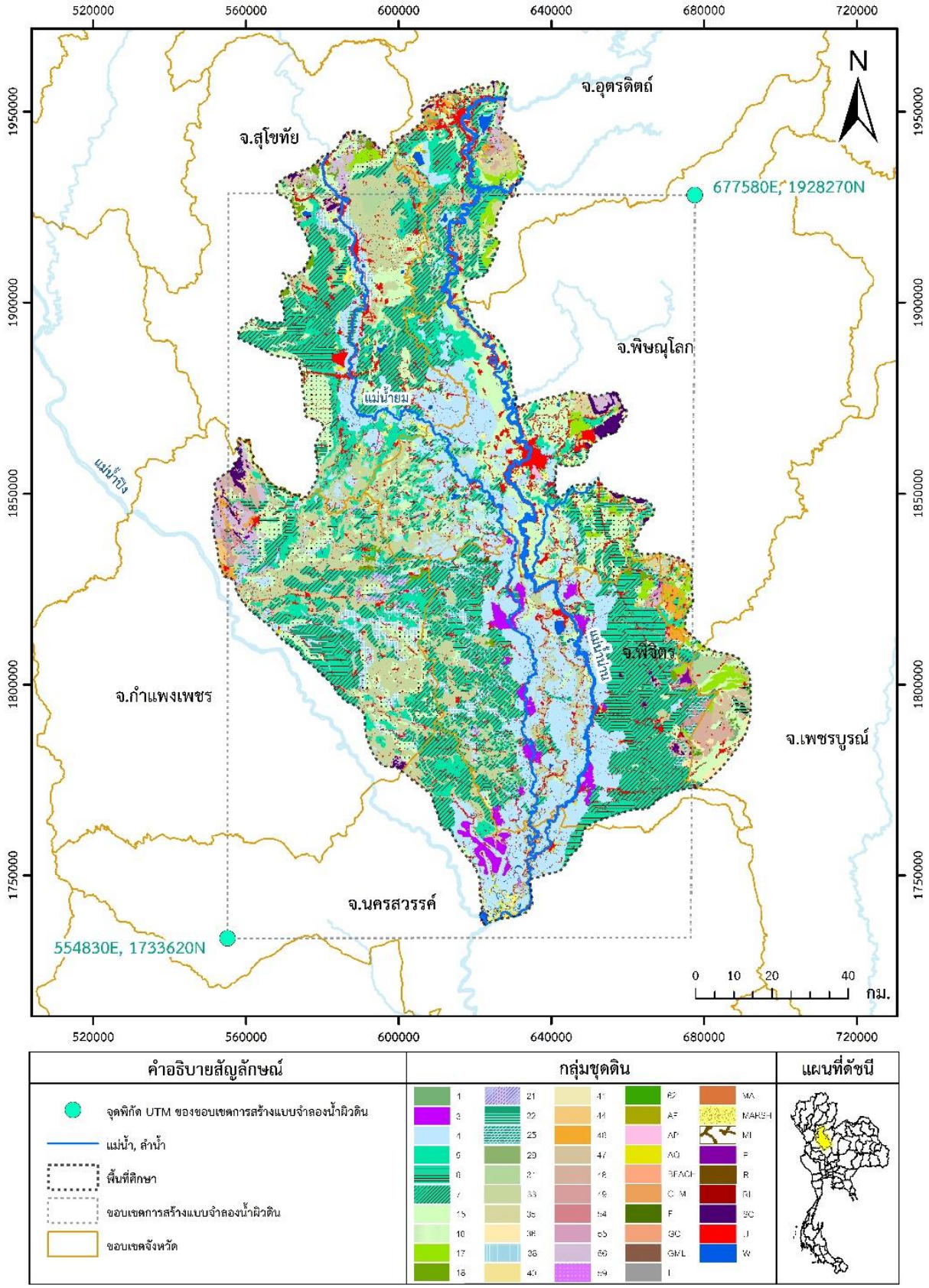
กลุ่มชุดดินที่ 26 27 และ 33 เป็นดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำ ($Ks < 5 \times 10^{-7}$เมตร/วินาที) ประกอบด้วยดินเหนียวปนทราย Sandy Clay, Silty Clay (กรมชลประทาน, 2553 อ้างอิงถึง Farr and Henderson, 1986)

กลุ่มชุดดินที่ 32 ประกอบด้วย ชุดดินลำแก่น (Lam) ชุดดินรือเสาะ (Ro) และชุดดินตาขุน (Tkn) กระจายตัวบริเวณพื้นที่ด้านตะวันออกของอำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร

กลุ่มชุดดินที่ 34 ประกอบด้วย ชุดดินฉลอง (Chl) ชุดดินฝั่งแดง (Fd) ชุดดินควนกาหลง (Kkl) ชุดดินคลองท่อม (Km) ชุดดินคลองนกกระทุง (Knk) ชุดดินละหาน (Lh) ชุดดินนาท่าม (Ntm) และชุดดินท่าแซะ (Te) กระจายตัวบริเวณพื้นที่อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร และอำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร

กลุ่มชุดดินที่ 32 และ 34 เป็นดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ปานกลาง ($5 \times 10^{-6} \leq Ks < 5 \times 10^{-7}$ เมตร/วินาที) ประกอบด้วย Loam, Silt, Silty Loam, Sandy Clay Loam, Clay Loam และ Silty Clay Loam Clay

กลุ่มชุดดินที่ 42 ประกอบด้วย ชุดดินบ้านทอน (Bh) กระจายตัวบริเวณพื้นที่ตอนล่างของจังหวัดแพร่ อำเภอศรีสัชนาลัย อำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก และบางส่วนของจังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้สูง ($Ks \geq 5 \times 10^{-6}$ เมตร/วินาที) ประกอบด้วย Sand, Loamy Sand และ Sandy Loam



รูปที่ 2.1.4-1 แผนที่กลุ่มชุดดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2556)

2.1.4 (ข) การซึมลงดินของน้ำในพื้นที่ศึกษา

การตรวจวัดค่าอัตราการซึมลงดินของน้ำ (Infiltration Rates) ของชุดดินแต่ละประเภทในพื้นที่ศึกษา จำนวนทั้งสิ้น 80 จุด โดยครอบคลุม 7 ชุดดินหลัก ที่ถือเป็นส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ 62 (พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน) 7 (สุโขทัย, พิจิตร) 33 (ตะพานหิน) 47 (ลี้, สบปราบ) 15 (ศรีสัชนาลัย) 4 (บางมูลนาก) และ 5 (หางดง, พาน) การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือตรวจวัด Turf-Tec Infiltrometer ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใน 6.03 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอก 10.8 เซนติเมตร มีน้ำหนักรวม 5.5 กิโลกรัม ระดับน้ำเริ่มต้นในส่วนวงใน 125 มิลลิเมตร และเครื่องมือจะถูกกดลึกลงไปในพื้นดิน 50 มิลลิเมตร (รูปที่ 2.1.4-2 และ 2.1.4-3) สมการของ Horton ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ มีรายละเอียดดังนี้

$$f = f_c + (f_0 - f_c)\, e^{-kt} \qquad (2.1.4\text{-}1)$$

โดยที่

f = ค่าอัตราการซึมลงดินของน้ำ (cm/hr)
f_c = ค่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล (cm/hr)
f_0 = ค่าอัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น (cm/hr)
k = ค่าคงที่ของการซึม (1/hr)
t = เวลา (hr)

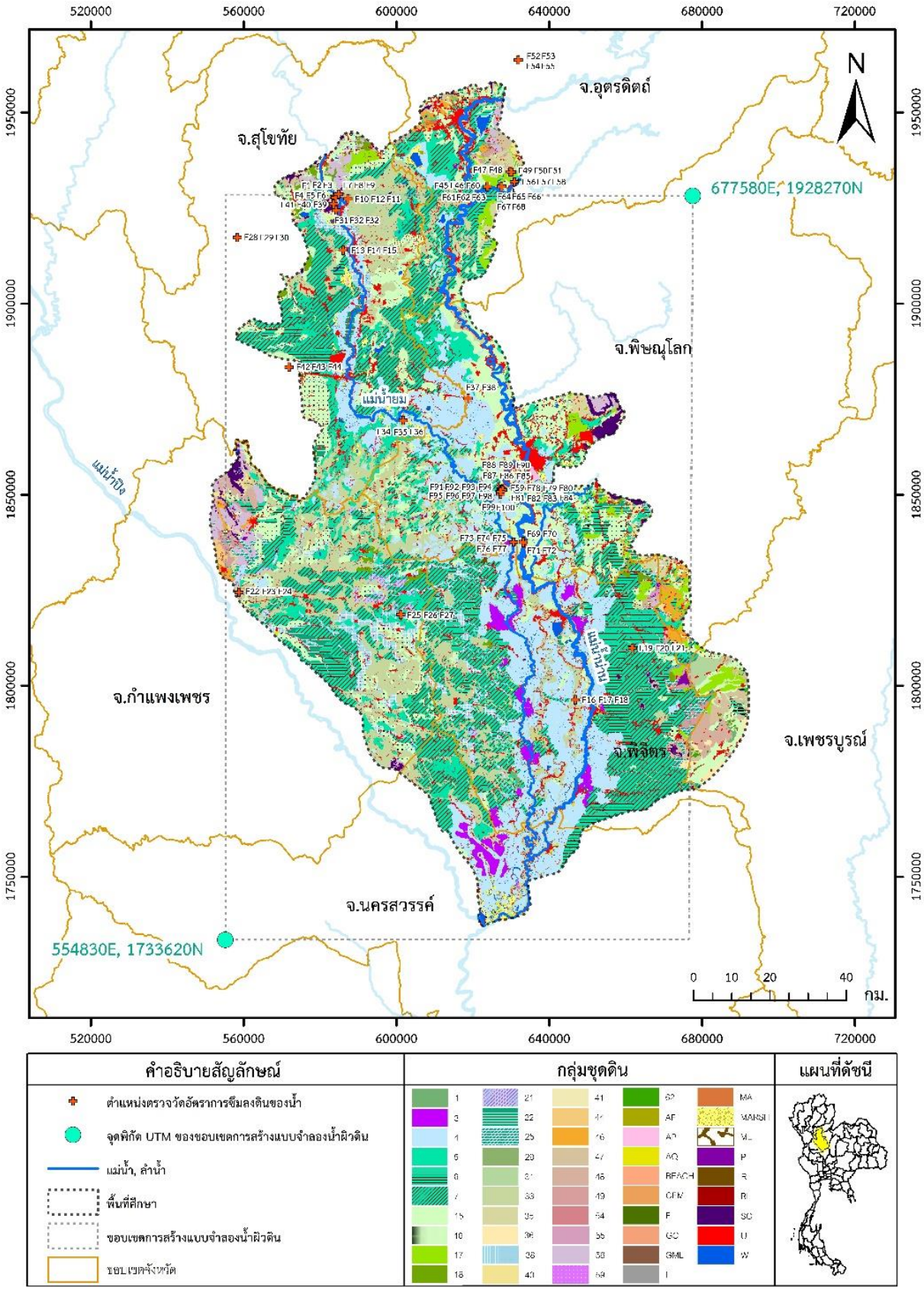
ตารางที่ 2.1.4-1 และ 2.1.4-2 แสดงผลการตรวจวัดอัตราการซึมลงดินของน้ำ ค่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล (f_c) และค่าคงที่ของการซึม (k) รวมถึงรายละเอียดของแต่ละจุดตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 2.1.4-4) และรูปที่ 2.1.4-5 แสดงแผนภาพกล่อง (Box Plot) ของทั้งสามค่าที่ได้รับจากการตรวจวัด

รูปที่ 2.1.4-2 Turf-Tec Infiltrometer

ตารางที่ 2.1.4-1 สรุปผลค่าอัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น (f_0) ค่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล (f_c) และค่าคงที่ของการซึม (k) ที่ได้รับจากการตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา

กลุ่มชุดดินหลักในพื้นที่	อัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น, f_0 (cm/hr)	อัตราการซึมที่สภาวะสมดุล, f_c (cm/hr)	ค่าคงที่ของการซึม, k (1/hr)
4 (บางมูลนาก)	46.3–52.5	2.68–3.73	0.233–1.99
5 (หางดง, พาน)	7.18	0.270	0.427
7 (สุโขทัย, พิจิตร)	0.212–154	0–1.77	0.11–2.50
15 (ศรีสัชนาลัย)	12.3–99.5	0–0.788	0.237–2.37
33 (ตะพานหิน)	12.7–195	0–10.2	0.133–3.06
35 (วาริน)	11.0–11.5	0.626–1.71	0.174–0.234
38 (ท่าม่วง, เชียงใหม่)	10.5–190	1.42–4.70	0.131–2.40
40 (สันป่าตอง)	10.2	1.09	0.905
47 (ลี้, สบปราบ)	2.91–13.8	1.11–1.92	0.140–0.449
48 (แม่ริม)	10.5–76.9	0–5.73	0.148–1.79
62 (พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน)	11.6–24.6	0.826–2.02	0.0907–0.334
U (ชุมชน)	13.7–32.5	0.225–0.498	0.373–0.547

รูปที่ 2.1.4-3 การตรวจวัดอัตราการซึมลงดินของน้ำ (Infiltration Rates)



รูปที่ 2.1.4-4 ตำแหน่งของจุดตรวจวัดอัตราการซึมลงดินของน้ำ (Infiltration Rates)

ตารางที่ 2.1.4-2 รายละเอียดตัวแปรที่ได้รับตาม Horton' Equation ($f = f_c + (f_0 - f_c)\, e^{-kt}$) จากจุดตรวจวัดปริมาณการซึมลงดินของน้ำ (Infiltration Rates) ในพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	จุดที่ตรวจวัด (เลขชุดดิน)	พิกัดตำแหน่ง			สถานที่ตรวจวัด (ตำบล อำเภอ และจังหวัด)	อัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น, f_0 (เซนติเมตร / ชั่วโมง)	อัตราการซึมที่สภาวะสมดุล, f_c (เซนติเมตร / ชั่วโมง)	ค่าคงที่ของการซึม, k (1 / ชั่วโมง)
		โซน	ตะวันออก	ตะวันตก				
1	F1 (38)	47Q	0583703	1928056	ต.หนองอ้อ อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	–	–	–
2	F2 (38)	47Q	0583698	1928060	ต.หนองอ้อ อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	90.4	1.43	2.40
3	F3 (38)	47Q	0583692	1928055	ต.หนองอ้อ อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	–	–	–
4	F4 (38)	47Q	0584030	1927804	ต.หนองอ้อ อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	190	1.90	2.40
5	F5 (38)	47Q	0584034	1927799	ต.หนองอ้อ อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	13.7	1.53	0.430
6	F6 (38)	47Q	0584036	1927796	ต.หนองอ้อ อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	–	–	–
7	F7 (15)	47Q	0584848	1928742	ต.หนองอ้อ อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	–	–	–
8	F8 (15)	47Q	0584845	1928747	ต.หนองอ้อ อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	–	–	–
9	F9 (15)	47Q	0584842	1928756	ต.หนองอ้อ อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	12.3	0.140	0.237
10	F10 (33)	47Q	0587310	1927507	ต.ท่าชัย อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	114	0.713	2.55
11	F11 (33)	47Q	0587316	1927499	ต.ท่าชัย อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	12.7	1.96	0.355
12	F12 (33)	47Q	0587313	1927491	ต.ท่าชัย อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	59.6	3.16	2.18
13	F13 (7)	47Q	0586011	1914067	ต.วังไม้ขอน อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย	97.0	0	0.132
14	F14 (7)	47Q	0586013	1914068	ต.วังไม้ขอน อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย	21.2	0	0.110
15	F15 (7)	47Q	0586017	1914068	ต.วังไม้ขอน อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย	27.1	1.73	0.386
16	F16 (33)	47Q	646812	1796412	ต.วังหว้า อ.ตะพานหิน จ.พิจิตร	67.8	0.775	0.166
17	F17 (33)	47Q	646827	1796420	ต.วังหว้า อ.ตะพานหิน จ.พิจิตร	–	–	–
18	F18 (33)	47Q	646804	1796403	ต.วังหว้า อ.ตะพานหิน จ.พิจิตร	24.7	0.214	0.260
19	F19 (7)	47Q	661755	1809911	ต.หนองปล้อง อ.วังทรายพูน จ.พิจิตร	46.0	1.02	0.490
20	F20 (7)	47Q	661760	1809910	ต.หนองปล้อง อ.วังทรายพูน จ.พิจิตร	45.8	0.928	0.197
21	F21 (7)	47Q	661761	1809913	ต.หนองปล้อง อ.วังทรายพูน จ.พิจิตร	–	–	–

ตารางที่ 2.1.4-2 รายละเอียดตัวแปรที่ได้รับตาม Horton' Equation ($f = f_c + (f_0 - f_c)\, e^{-kt}$) จากจุดตรวจวัดปริมาณการซึมลงดินของน้ำ (Infiltration Rates) ในพื้นที่ศึกษา **(ต่อ)**

ลำดับ	จุดที่ตรวจวัด (เลขชุดดิน)	พิกัดตำแหน่ง			สถานที่ตรวจวัด (ตำบล อำเภอ และจังหวัด)	อัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น, f_0 (เซนติเมตร / ชั่วโมง)	อัตราการซึมที่สภาวะสมดุล, f_c (เซนติเมตร / ชั่วโมง)	ค่าคงที่ของการซึม, k (1 / ชั่วโมง)
		โซน	ตะวันออก	ตะวันตก				
22	F22 (33)	47Q	0558788	1824528	ต.สระแก้ว อ.เมือง จ.กำแพงเพชร	–	–	–
23	F23 (33)	47Q	0558788	1824525	ต.สระแก้ว อ.เมือง จ.กำแพงเพชร	–	–	–
24	F24 (33)	47Q	0558788	1824521	ต.สระแก้ว อ.เมือง จ.กำแพงเพชร	–	–	–
25	F25 (38)	47Q	0601158	1818718	ต.หนองไม้กอง อ.ไทรงาม จ.กำแพงเพชร	10.6	4.70	0.189
26	F26 (38)	47Q	0601162	1818718	ต.หนองไม้กอง อ.ไทรงาม จ.กำแพงเพชร	10.5	2.70	0.131
27	F27 (38)	47Q	0601167	1818715	ต.หนองไม้กอง อ.ไทรงาม จ.กำแพงเพชร	11.2	1.42	0.177
28	F28 (47)	47Q	0558326	1917370	ต.ทุ่งเสลี่ยม อ.ทุ่งเสลี่ยม จ.สุโขทัย	2.91	1.11	0.312
29	F29 (47)	47Q	0558312	1917363	ต.ทุ่งเสลี่ยม อ.ทุ่งเสลี่ยม จ.สุโขทัย	13.8	1.92	0.449
30	F30 (47)	47Q	0558330	1917372	ต.ทุ่งเสลี่ยม อ.ทุ่งเสลี่ยม จ.สุโขทัย	5.32	1.65	0.140
31	F31 (62)	47Q	0584211	1924530	ต.ศรีสัชนาลัย อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	11.6	2.02	0.250
32	F32 (62)	47Q	0584213	1924523	ต.ศรีสัชนาลัย อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	24.6	0.826	0.0907
33	F33 (62)	47Q	0584219	1924520	ต.ศรีสัชนาลัย อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	12.7	1.43	0.334
34	F34 (5)	47Q	0601775	1869515	ต.กง อ.กงไกรลาศ จ.สุโขทัย	7.18	0.270	0.427
35	F35 (5)	47Q	0601773	1869510	ต.กง อ.กงไกรลาศ จ.สุโขทัย	–	–	–
36	F36 (5)	47Q	0601767	1869503	ต.กง อ.กงไกรลาศ จ.สุโขทัย	–	–	–
37	F37 (4)	47Q	0618745	1875260	ต.ท่าช้าง อ.พรมพิราม จ.พิษณุโลก	46.3	3.73	0.233
38	F38 (4)	47Q	0618747	1875273	ต.ท่าช้าง อ.พรมพิราม จ.พิษณุโลก	52.5	2.68	1.99
39	F39 (48)	47Q	0583555	1926158	ต.ศรีสัชนาลัย อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	21.0	1.00	0.854
40	F40 (48)	47Q	0583552	1926152	ต.ศรีสัชนาลัย อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	–	–	–
41	F41 (48)	47Q	0583551	1926150	ต.ศรีสัชนาลัย อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	–	–	–
42	F42 (40)	47Q	0571870	1883484	ต.เมืองเก่า อ.เมืองสุโขทัย จ.สุโขทัย	10.2	1.09	0.905
43	F43 (40)	47Q	0571875	1883485	ต.เมืองเก่า อ.เมืองสุโขทัย จ.สุโขทัย	–	–	–
44	F44 (40)	47Q	0571865	1883485	ต.เมืองเก่า อ.เมืองสุโขทัย จ.สุโขทัย	–	–	–

ตารางที่ 2.1.4-2 รายละเอียดตัวแปรที่ได้รับตาม Horton' Equation ($f = f_c + (f_0 - f_c)\, e^{-kt}$) จากจุดตรวจวัดปริมาณการซึมลงดินของน้ำ (Infiltration Rates) ในพื้นที่ศึกษา **(ต่อ)**

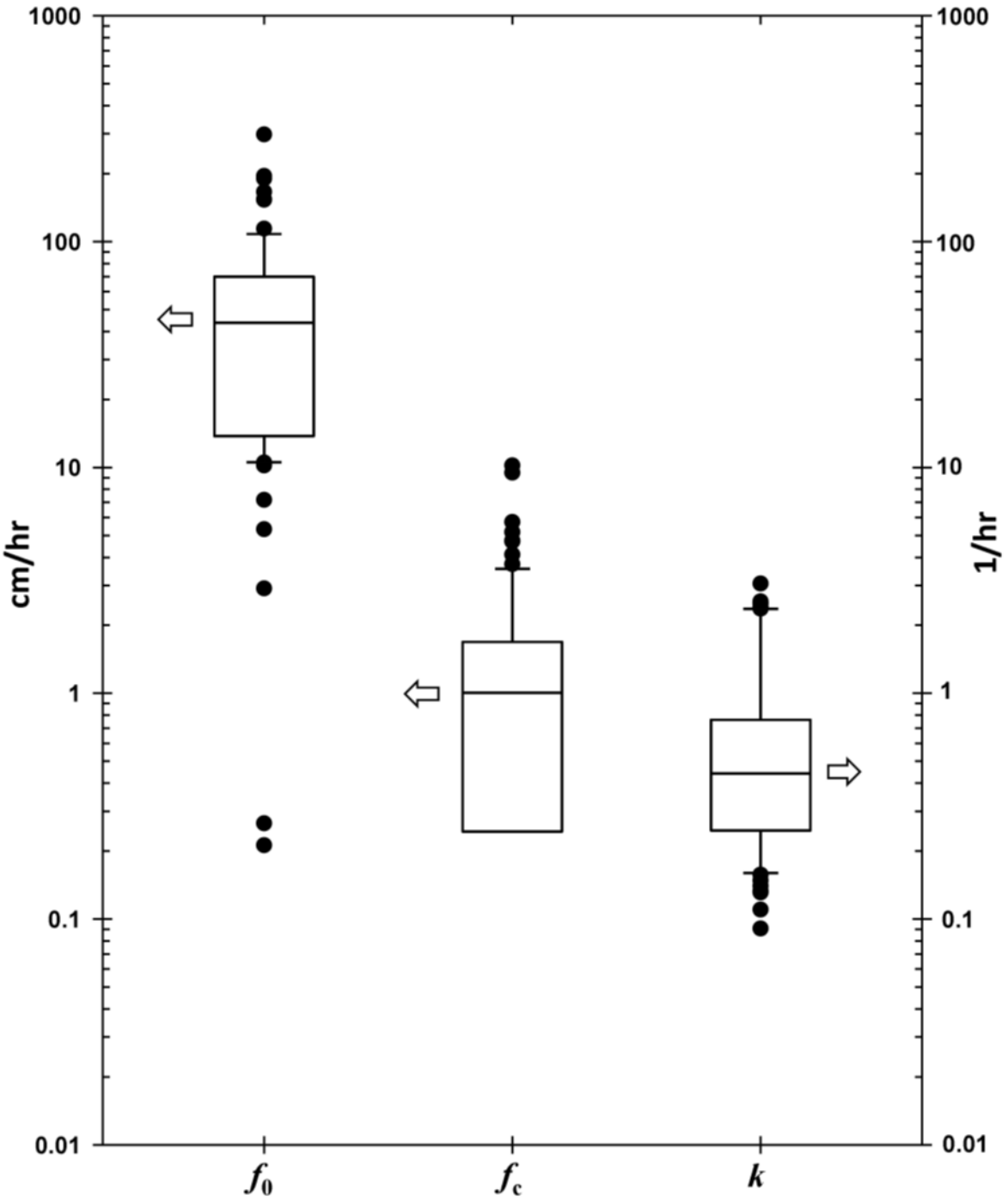
ลำดับ	จุดที่ตรวจวัด (เลขชุดดิน)	พิกัดตำแหน่ง			สถานที่ตรวจวัด (ตำบล อำเภอ และจังหวัด)	อัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น, f_0 (เซนติเมตร / ชั่วโมง)	อัตราการซึมที่สภาวะสมดุล, f_c (เซนติเมตร / ชั่วโมง)	ค่าคงที่ของการซึม, k (1 / ชั่วโมง)
		โซน	ตะวันออก	ตะวันตก				
45	F45 (7)	47Q	0623782	1930653	ต.บ้านแก่ง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	13.9	1.03	0.419
46	F46 (7)	47Q	0623782	1930654	ต.บ้านแก่ง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	11.8	0.563	0.214
47	F47 (17)	47Q	0629757	1934622	ต.น้ำอ่าง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	–	–	–
48	F48 (17)	47Q	0629758	1934623	ต.น้ำอ่าง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	–	–	–
49	F49 (35)	47Q	0630111	1934547	ต.น้ำอ่าง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	11.5	1.71	0.234
50	F50 (35)	47Q	0630115	1934549	ต.น้ำอ่าง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	11.0	0.626	0.174
51	F51 (48)	47Q	0630115	1934548	ต.วังดิน อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์	10.5	0.715	0.148
52	F52 (48)	47Q	0631892	1963902	ต.วังดิน อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์	28.6	1.07	0.423
53	F53 (48)	47Q	0631890	1963904	ต.วังดิน อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์	57	0	1.789
54	F54 (48)	47Q	0631927	1963820	ต.วังดิน อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์	76.9	5.17	0.324
55	F55 (48)	47Q	0631920	1963822	ต.วังดิน อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์	35.4	5.73	0.272
56	F56 (15)	47Q	0630885	1931968	ต.น้ำอ่าง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	56.8	0	1.785
57	F57 (15)	47Q	0630886	1931970	ต.น้ำอ่าง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	99.5	0.238	2.37
58	F58 (15)	47Q	0630884	1931969	ต.น้ำอ่าง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	33.8	0.788	0.593
59	F59 (7)	47Q	0627534	1851462	ต.บ้านแก่ง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	154	0.256	0.707
60	F60 (7)	47Q	0623771	1930693	ต.บ้านแก่ง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	0.212	0.212	2.50
61	F61 (7)	47Q	0623768	1930693	ต.บ้านแก่ง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	0.265	0.265	2.50
62	F62 (7)	47Q	0623770	1930690	ต.บ้านแก่ง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	103	0	2.39
63	F63 (7)	47Q	0623771	1930689	ต.บ้านแก่ง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	23.7	0	0.157
64	F64 (7)	47Q	0627528	1930762	ต.บ้านแก่ง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	44.1	1.68	0.459
65	F65 (7)	47Q	0627530	1930777	ต.บ้านแก่ง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	45.7	1.77	0.495
66	F66 (7)	47Q	0627520	1930754	ต.บ้านแก่ง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	38.0	1.01	0.295
67	F67 (7)	47Q	0627523	1930749	ต.บ้านแก่ง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์	44.6	0.943	0.459

ตารางที่ 2.1.4-2 รายละเอียดตัวแปรที่ได้รับตาม Horton' Equation ($f = f_c + (f_0 - f_c)\, e^{-kt}$) จากจุดตรวจวัดปริมาณการซึมลงดินของน้ำ (Infiltration Rates) ในพื้นที่ศึกษา **(ต่อ)**

ลำดับ	จุดที่ตรวจวัด	พิกัดตำแหน่ง			สถานที่ตรวจวัด	อัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น, f_0	อัตราการซึมที่สภาวะสมดุล, f_c	ค่าคงที่ของการซึม, k
	(เลขชุดดิน)	โซน	ตะวันออก	ตะวันตก	(ตำบล อำเภอ และจังหวัด)	(เซนติเมตร / ชั่วโมง)	(เซนติเมตร / ชั่วโมง)	(1 / ชั่วโมง)
68	F68 (33)	47Q	0627524	1930750	ต.บ้านไร่ อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก	13.7	0	0.362
69	F69 (33)	47Q	0633253	1837774	ต.บ้านไร่ อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก	32.5	0.496	0.545
70	F70 (33)	47Q	0633237	1837755	ต.บ้านไร่ อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก	38.8	4.11	0.351
71	F71 (33)	47Q	0633226	1837787	ต.บ้านไร่ อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก	44.8	10.2	0.232
72	F72 (33)	47Q	0633262	1837826	ต.บ้านไร่ อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก	57.3	4.74	0.457
73	F73 (33)	47Q	0630670	1837687	ต.บ้านไร่ อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก	87.3	1.09	0.846
74	F74 (33)	47Q	0630669	1837683	ต.บ้านไร่ อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก	55.3	9.47	0.190
75	F75 (33)	47Q	0630669	1837687	ต.บ้านไร่ อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก	95.9	0	0.133
76	F76 (33)	47Q	0630661	1837676	ต.บ้านไร่ อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก	195	0	0.222
77	F77 (33)	47Q	0630671	1837691	ต.บ้านไร่ อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก	166	1.79	3.06
78	F78 (U)	47Q	0627643	1851436	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	32.5	0.498	0.547
79	F79 (U)	47Q	0627644	1851428	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	14.0	0.246	0.388
80	F80 (U)	47Q	0627639	1851432	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	13.7	0.225	0.373
81	F81 (U)	47Q	0627467	1851525	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	28.5	1.59	0.433
82	F82 (U)	47Q	0627456	1851497	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	66.3	1.29	0.568
83	F83 (U)	47Q	0627456	1851495	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	108	0.115	0.484
84	F84 (U)	47Q	0627493	1851497	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	86.1	1.08	0.832
85	F85 (U)	47Q	0627459	1851492	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	86.1	1.08	0.832
86	F86 (U)	47Q	0627786	1851338	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	38.3	1.61	0.745
87	F87 (U)	47Q	0627793	1851338	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	47.8	1.60	0.537
88	F88 (U)	47Q	0627791	1851327	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	35.0	0.818	0.627
89	F89 (U)	47Q	0627727	1851310	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	153	1.36	0.997
90	F90 (U)	47Q	0627723	1851314	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	298	0.475	2.36

ตารางที่ 2.1.4-2 รายละเอียดตัวแปรที่ได้รับตาม Horton' Equation ($f = f_c + (f_0 - f_c)\, e^{-kt}$) จากจุดตรวจวัดปริมาณการซึมลงดินของน้ำ (Infiltration Rates) ในพื้นที่ศึกษา **(ต่อ)**

ลำดับ	จุดที่ตรวจวัด	พิกัดตำแหน่ง			สถานที่ตรวจวัด	อัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น, f_0	อัตราการซึมที่สภาวะสมดุล, f_c	ค่าคงที่ของการซึม, k
	(เลขชุดดิน)	โซน	ตะวันออก	ตะวันตก	(ตำบล อำเภอ และจังหวัด)	(เซนติเมตร / ชั่วโมง)	(เซนติเมตร / ชั่วโมง)	(1 / ชั่วโมง)
91	F91 (U)	47Q	0627713	1851316	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	108	0.503	0.641
92	F92 (U)	47Q	0627708	1851319	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	43.4	0.349	0.424
93	F93 (U)	47Q	0627721	1851329	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	58.4	0	0.426
94	F94 (U)	47Q	0627720	1851323	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	79.4	0.527	0.742
95	F95 (U)	47Q	0627279	1850869	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	55.3	3.04	0.401
96	F96 (U)	47Q	0627257	1850872	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	62.8	1.36	0.814
97	F97 (U)	47Q	0627261	1850273	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	76.2	0	0.694
98	F98 (U)	47Q	0627262	1850860	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	53.3	0.237	0.628
99	F99 (U)	47Q	0627249	1850856	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	32.1	0	0.523
100	F100 (U)	47Q	0627240	1850853	ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก	45.0	0	0.454

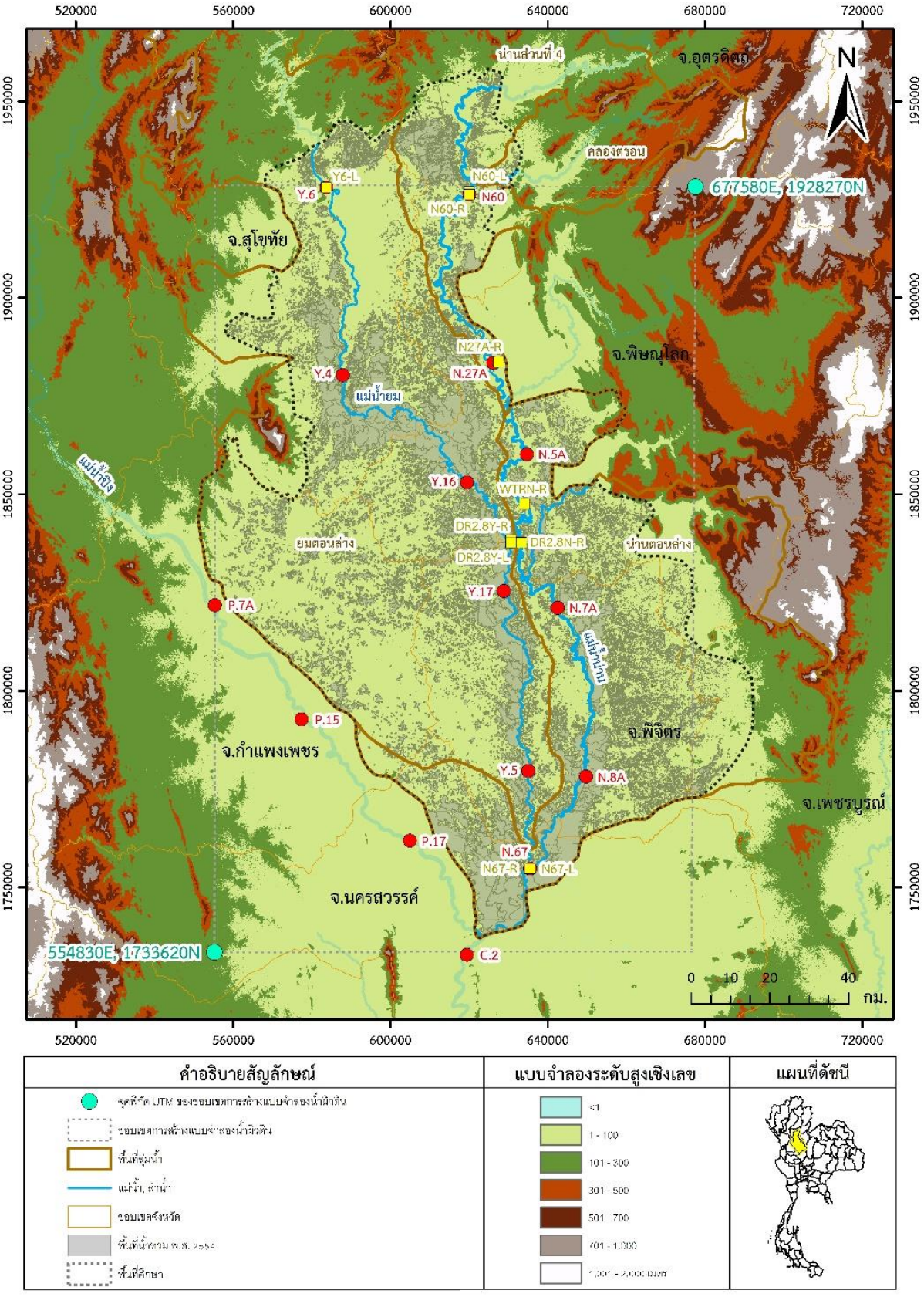


รูปที่ 2.1.4-5 แผนภาพกล่อง (Box Plot) ของค่าอัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น (f_0) ค่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล (f_c) และค่าคงที่ของการซึม (k) ที่ได้รับในพื้นที่ศึกษา

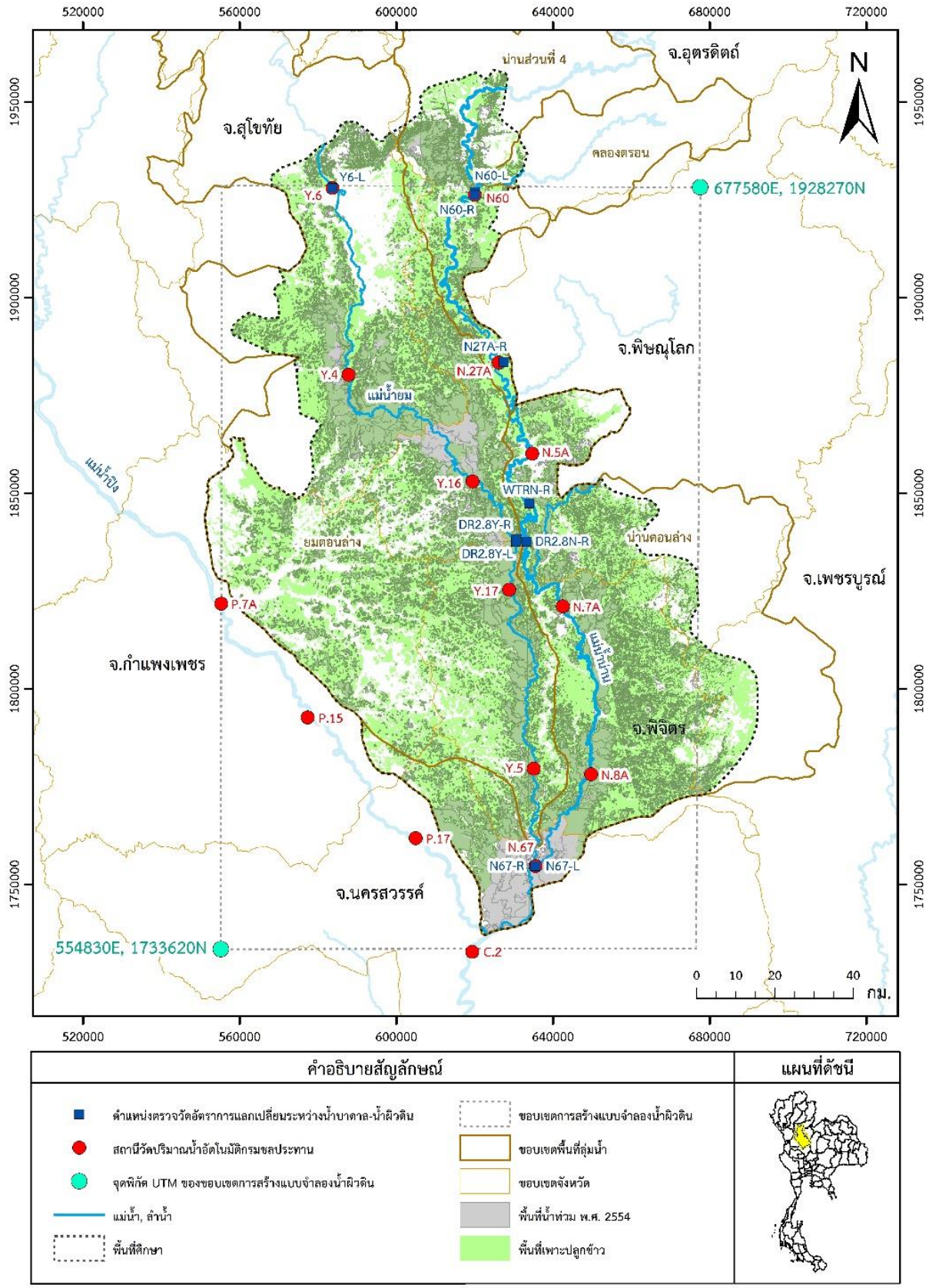
2.1.5 สภาพภูมิประเทศและรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษา เป็นพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำหรือที่ราบน้ำท่วมถึง เกิดจากการที่แม่น้ำพัดพาเอาตะกอน กรวด ทราย หิน มาทับถมพอกพูนเป็นระยะเวลานานหลายล้านปีขึ้นไป ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนทางด้านตะวันออกของจังหวัดสุโขทัย บางส่วนทางตอนใต้ของจังหวัดอุตรดิตถ์ บางส่วนทางด้านตะวันตกของจังหวัดพิษณุโลก ทั้งหมดของจังหวัดพิจิตร บางส่วนทางด้านตะวันออกของจังหวัดกำแพงเพชร บางส่วนทางตอนเหนือของจังหวัดนครสวรรค์ และบางส่วนทางด้านตะวันตกของจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งถือเป็นแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญของภาคเหนือตอนล่าง บริเวณสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติแม่น้ำยม Y6 ตั้งอยู่ ณ อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย อยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 70 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง และสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติแม่น้ำน่าน N60 ตั้งอยู่ ณ อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ของสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยากรมชลประทาน อยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 60 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง มีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาโดด ๆ ขนาดเล็กสลับกับพื้นที่ลอนลาดลูกเนินเตี้ย ๆ และเอียงเทลงสู่ที่ราบลุ่มภาคกลางทางตะวันตกของจังหวัดพิษณุโลก ลงมายังตะวันออกของจังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดพิจิตร จนกระทั่งบริเวณสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติแม่น้ำน่าน N67 ตั้งอยู่ ณ อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์และสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติแม่น้ำเจ้าพระยา C2 ตั้งอยู่ ณ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งทั้งสถานี N67 และ C2 อยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 30 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.1.5-1

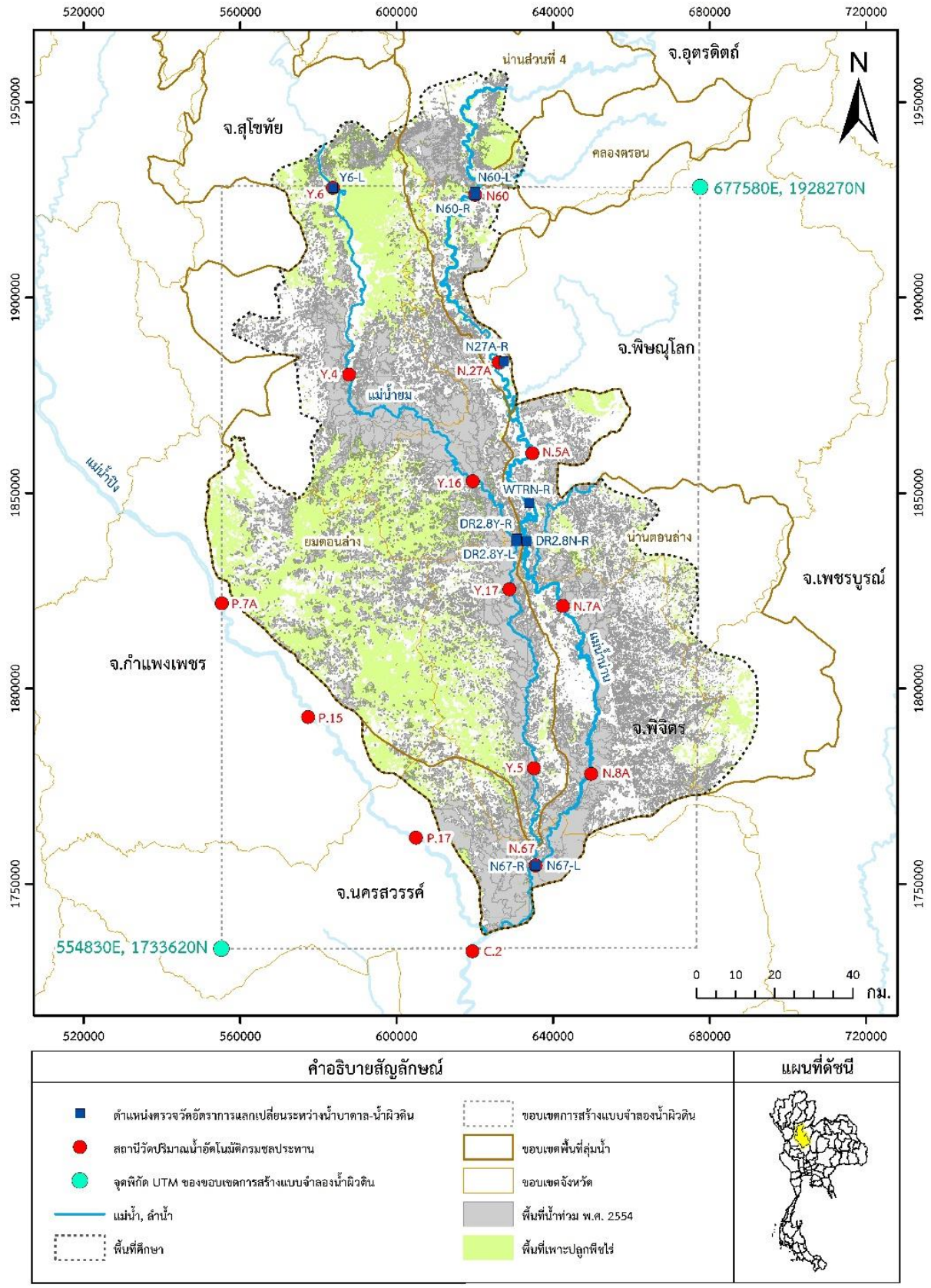
ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มาจากแผนที่การใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2559 เป็นการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในระดับ 2 ซึ่งจะเน้นพื้นที่เกษตรกรรม ได้แก่ พื้นที่นา พืชไร่ ไม้ยืนต้น ไม้ผล เกษตรกรรมอื่น ๆ การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษานั้น มีพื้นที่ส่วนใหญ่มากลำดับหนึ่งเป็นพื้นที่เพาะปลูกข้าว พบกระจายอยู่ทั่วทั้งบริเวณพื้นที่ศึกษา ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.1.5-2 และลำดับสองเป็นพื้นที่พืชไร่ พบการปลูกพืชไร่มากทางตอนใต้ของจังหวัดสุโขทัย ตะวันตกของจังหวัดพิษณุโลก ตะวันตกของจังหวัดพิจิตร และตะวันออกของจังหวัดกำแพงเพชร ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.1.5-3 โดยที่พื้นที่เพาะปลูกข้าวมีจำนวนมากกว่าพื้นที่พืชไร่ประมาณ 2 เท่า ยกเว้นจังหวัดพิจิตรที่พื้นที่เพาะปลูกข้าวมีจำนวนมากกว่าพื้นที่พืชไร่ประมาณ 10 กว่าเท่า



รูปที่ 2.1.5-1 สภาพความลาดชันของพื้นที่ศึกษา (ที่มาของข้อมูลสภาพความลาดชัน: กรมพัฒนาที่ดิน)



รูปที่ 2.1.5-2 พื้นที่เพาะปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษา (ที่มาของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน: กรมพัฒนาที่ดิน)



รูปที่ 2.1.5-3 พื้นที่พืชไร่ในพื้นที่ศึกษา (ที่มาของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน: กรมพัฒนาที่ดิน)

2.2 สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา

สำหรับภูมิอากาศในพื้นที่โครงการ พบว่าอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ยังมีพายุดีเปรสชั่นและพายุไต้ฝุ่น ซึ่งมาจากทะเลจีนใต้พัดผ่านเข้ามาเป็นครั้งคราว ซึ่งส่งผลทำให้เกิดฤดูกาลต่างๆ ได้แก่ ฤดูฝนจะเกิดในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ฤดูหนาวจะเกิดในช่วงปลายเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ และฤดูร้อนจะเกิดในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน ส่วนข้อมูลตัวแปรสภาพภูมิอากาศอื่นๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2-1

ตารางที่ 2.2-1 สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปในพื้นที่ศึกษา

ตัวแปรภูมิอากาศ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่าเฉลี่ยรายปี (พ.ศ.2516-2546)	ค่าเฉลี่ยรายปี (พ.ศ.2516-2546)
อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี	องศาเซลเซียส	25.3 - 28.2	26.9
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี	เปอร์เซ็นต์	70.4 - 75.3	73.2
ความเร็วลมเฉลี่ยรายปี	น๊อต	0.9 - 3.0	1.5
เมฆปกคลุมเฉลี่ยรายปี	0-10 อ๊อกต้า	5.1 - 5.8	5.4
ปริมาณการระเหยจากถาดเฉลี่ยรายปี	มิลลิเมตร	1,429.4 - 2,018.0	1,616.9

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (พ.ศ. 2548)

2.2.1 น้ำฝน

การศึกษาปริมาณฝนในพื้นที่โครงการ แบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ปริมาณฝนรายปีการผันแปรตามฤดูกาล การกระจายของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย และการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนสูงสุด 1 วัน 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน ที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆการวิเคราะห์น้ำฝนรายเดือน รายฤดูกาล และรายปี การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนรายปี หมายถึงการนำค่าข้อมูลน้ำฝนรายวันของแต่ละสถานีมารวมกันในแต่ละปี ค่าที่ได้จะกลายเป็นน้ำฝนรายปี แล้วดำเนินการเช่นเดียวกันนี้กับปีอื่นๆ โดยทั่วไปควรใช้สถิติข้อมูลไม่น้อยกว่า 30 ปี หรือยาวนานที่สุดเท่าที่มีการบันทึกข้อมูลไว้ อย่างไรก็ตามบางสถานีพึ่งเริ่มมีการเก็บข้อมูลได้ไม่นานนัก การที่จะมีข้อมูลยาวนานถึง 30 ปี จึงเป็นไปไม่ได้ หรือในบางกรณีถึงแม้สถานีจะมีการติดตั้งมานาน แต่การบันทึกข้อมูลกลับขาด ๆ หาย ๆ ไม่มีความสมบูรณ์ เป็นต้น สำหรับประเทศไทยข้อมูลมักไม่สมบูรณ์ ดังนั้นในการศึกษาจึงต้องดำเนินการคัดเลือกสถานีที่ข้อมูลไม่สมบูรณ์ออก ในกรณีที่ข้อมูลที่พึ่งเริ่มจะมีการจัดเก็บได้ไม่ถึง 15-20 ปี ก็ไม่ควรนำมาใช้ในการวิเคราะห์ การศึกษานี้ได้ใช้สถิติข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2540 ถึง พ.ศ. 2559 (20 ปี)

ในทำนองเดียวกันปริมาณน้ำฝนรายเดือนก็สามารถทำได้โดยการนำน้ำฝนรายวันของแต่ละสถานีมารวมกันในแต่ละเดือน ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ย คือปริมาณน้ำฝนของเดือนนั้น ๆ รวมกันทุกปีเช่น ถ้ามี 20 ปี

ก็จะมีน้ำฝนของแต่ละเดือนจำนวน 20 ค่า ค่าเฉลี่ยของทั้ง 20 ค่า ก็คือ ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ย ส่วนรายฤดูกาลนั้น บริเวณประเทศไทยตั้งแต่ภาคกลางขึ้นไปถึงภาคเหนือ มักกำหนดให้ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม เป็นช่วงฤดูฝน และจากเดือนพฤศจิกายนถึงมีนาคม เป็นช่วงฤดูแล้ง ดังนั้นผลรวมของปริมาณน้ำฝนในช่วงเดือนดังกล่าวก็คือปริมาณน้ำฝนรายฤดูกาล

การวิเคราะห์น้ำฝนสูงสุด 1, 3, 5 และ 7 วัน ที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ เมื่อกล่าวถึงคำว่าสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ (Return Period) นั้นหมายถึงว่า เป็นการศึกษาในเชิงทฤษฎีของความเป็นไปได้ (Probability Analysis) คำว่า Return Period หรือ Recurrence Interval ในภาษาไทยอาจมีอยู่หลายคำที่มีความหมายในลักษณะเดียวกัน ได้แก่ คาบพินิจ คาบการอุบัติ และรอบปีการเกิดซ้ำ เป็นต้น ซึ่งหมายถึงค่าในทางสถิติที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ เช่น ปริมาณฝนสูงสุด 1 วัน ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 50 ปี มีค่าเท่ากับ 150 มิลลิเมตร ตัวเลข 150 หมายถึงค่าในทางสถิติที่อยู่ในรอบของการเกิดขึ้น 50 ปี แต่ไม่ได้หมายความว่า ถ้าเกิดปริมาณน้ำฝนขนาด 150 มิลลิเมตร ขึ้นแล้วต้องรออีกถึง 50 ปี ถึงจะเกิดขึ้นได้อีกครั้ง ในทางตรงกันข้าม ฝนสูงสุด 1 วัน ขนาด 150 มิลลิเมตร อาจเกิดขึ้นติดต่อกันทุกปีก็ได้แต่ค่าต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 150 มิลลิเมตร หากฝนสูงสุด 1 วันที่เกิดขึ้นเท่ากับ 200 มิลลิเมตร (มากกว่า 150 มิลลิเมตร) ค่า 200 มิลลิเมตรนี้เมื่อวิเคราะห์แล้วจะต้องมีรอบปีการเกิดซ้ำมากกว่า 50 ปี เป็นต้น ส่วนฝนสูงสุด 3 วันนั้น หมายถึงการนำผลรวมของปริมาณน้ำฝน 3 วันที่ต่อเนื่องกันมาวิเคราะห์ทางสถิติ ส่วนฝนสูงสุด 5 วันและ 7 วัน ก็ทำในทำนองเดียวกัน

ทฤษฎีของความเป็นไปได้ที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์น้ำฝนและน้ำท่าสูงสุดโดยทั่วไปมีอยู่ 4 ทฤษฎีด้วย ได้แก่ ทฤษฎีกัมเบล (Gumbel Distribution) ทฤษฎีล็อกนอร์มอลแบบสองพารามิเตอร์ (Two-parameter Lognormal) ทฤษฎีเพียร์ซันประเภทสาม (Pearson Type III Distribution) และทฤษฎีล็อกเพียร์ซันประเภทสาม (Log Pearson Type III Distribution) สำหรับประเทศไทยได้มีการศึกษาทฤษฎีของความเป็นไปได้ด้านอุตุ-อุทกวิทยา โดยใช้ Kolmogorov-Smirnov Test และ Chi-square Test พบว่า ทฤษฎีความเป็นไปได้แบบกัมเบลมีความโดดเด่นที่สุด นั้นหมายถึงสามารถทำนาย (Fit) กับข้อมูลการตรวจวัดได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีอื่นๆ จุดเด่นอีกประการของทฤษฎีของกัมเบล คือ ต้องการพารามิเตอร์เพียง 2 ตัว ได้แก่ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และค่าเฉลี่ย (Mean) เท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การวิเคราะห์ความเป็นไปได้โดยทฤษฎีของกัมเบลเป็นที่นิยม สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนสูงสุดสมการกัมเบล (สมการที่ 2.2.1-1) สามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ดังนี้

$$R_{Tr} = \bar{R} - 0.45\,SD - 0.7797\,SD \ln\left[-\ln(1-\frac{1}{Tr})\right] \qquad (2.2.1\text{-}1)$$

เมื่อ R_{Tr} คือ ค่าสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำ (Tr) ใดๆ
Tr คือ รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี)
SD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$\bar{R}$ คือ ค่าเฉลี่ย

จากสมการที่ 2.2.1-1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนสูงสุดก็สามารถทำได้โดยง่าย เพราะสมการต้องการพารามิเตอร์เพียง 2 ตัว นั้นคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้โดยโปรแกรมพื้นฐาน เช่น MS Excel เป็นต้น ถ้าต้องการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1 วัน พารามิเตอร์ที่ต้องการก็คือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำฝนสูงสุดรายวัน สำหรับการศึกษาในโครงการนี้ได้ใช้ข้อมูลวิเคราะห์ 20 ปีนั้น คือแต่ละปีจะมีค่าน้ำฝนสูงสุดอยู่ 1 ค่า ฉะนั้นจะมีจำนวนข้อมูล (Sample) ที่ใช้วิเคราะห์อยู่ 20 ค่า เพื่อใช้สำหรับหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในกรณีของน้ำฝนสูงสุด 3 วัน ก็ทำในทำนองเดียวกัน เพียงแต่ต้องใช้ข้อมูลที่ต่อเนื่องสูงสุด 3 วัน มาทำการวิเคราะห์ เป็นต้น ส่วนรอบปีการเกิดซ้ำ ผู้วิเคราะห์สามารถกำหนดขึ้นมาเองได้ โดยทั่วไปก็จะกำหนดให้อยู่ในช่วง 1 ถึง 1,000 ปี อย่างไรก็ตามการพิจารณาเลือกใช้รอบปีการเกิดซ้ำนั้นโดยทั่วไปจะใช้ความสำคัญงานเป็นเกณฑ์ประกอบ เช่น น้ำฝนสูงสุดในงานระบายน้ำมักกำหนดที่ 2-10 ปี (พื้นที่ชุมชนทั่วไป) 10-25 ปี (สำหรับพื้นเศรษฐกิจ) หรืออาจเป็น 100 ปี สำหรับพื้นที่หรืออาคารมีความสำคัญมาก เช่น สนามบิน เขื่อน เป็นต้น

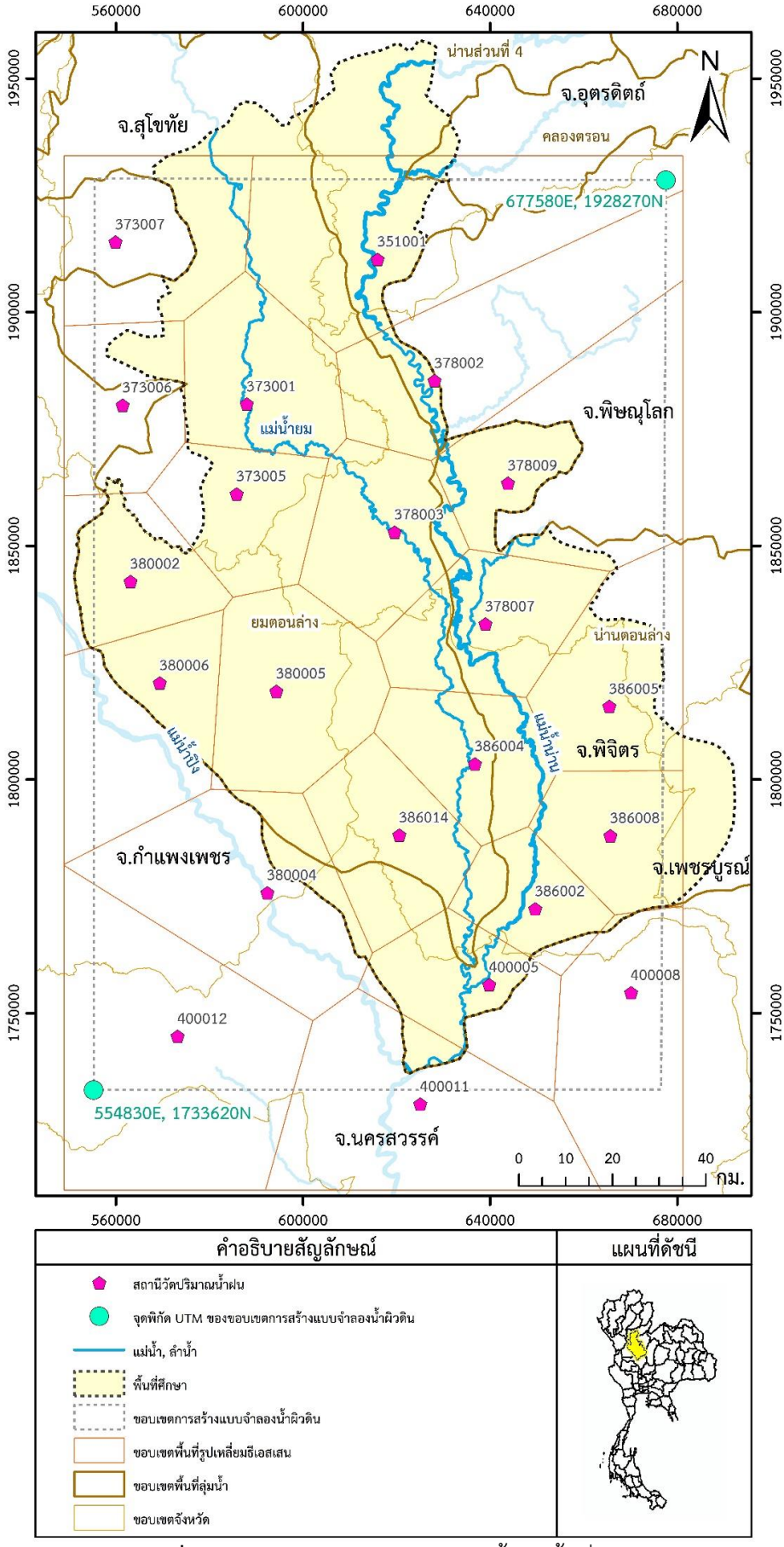
เนื่องจากน้ำฝนถือได้ว่าเป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) สำหรับการศึกษาด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ ดังนั้นการทำความเข้าใจในลักษณะเฉพาะของน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาจึงมีความสำคัญทั้งในด้านของผลลัพธ์และการอธิบายความหมาย ตลอดจนเพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับแบบจำลองคณิตศาสตร์ รูปที่ 2.2.1-1 แสดงตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำฝนโดยกรมอุตุนิยมวิทยา โครงการได้คัดเลือกสถานีตรวจวัดน้ำฝนจำนวน 22 สถานีที่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่ศึกษา ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.2.1-1 โดยทั่วไปการคัดเลือกสถานีที่ใช้ในการศึกษานั้นได้พิจารณาจาก 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ การกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ศึกษาและความสมบูรณ์ของข้อมูลที่มีการตรวจวัด จากสถิติของปริมาณน้ำฝนของทั้ง 22 สถานี สามารถสรุปข้อมูลลักษณะสำคัญได้ดังนี้

1) ในพื้นที่โครงการมีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 823-1,596 มิลลิเมตร/ปี โดยเป็นปริมาณฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) ประมาณร้อยละ 88-90 ของปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยและเป็นสัดส่วนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ประมาณร้อยละ 10)

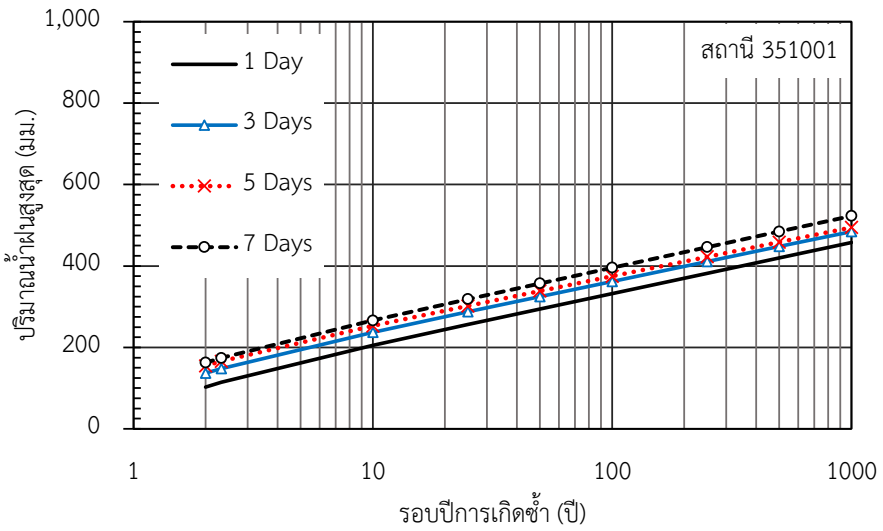
2) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1, 3, 5 และ 7 วัน ที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ (รูปที่ 2.2.1-2) สามารถบ่งชี้ลักษณะเฉพาะของน้ำฝนรายสถานีหรืออีกนัยหนึ่งก็คือการกระจายเชิงพื้นที่ (Spatial Distribution) ของน้ำฝนสูงสุด ตัวอย่างเช่นหากเส้นกราฟของปริมาณน้ำฝนสูงสุด 3 วัน และ 7 วัน ของสถานีที่กำลังพิจารณาไม่แตกต่างกันมากนั้น หมายถึงโอกาสที่ฝนจะตกติดต่อกันนานต่อเนื่องถึง 7 วัน มีค่าไม่มากหรือมีโอกาสน้อย เช่น ในกรณีของสถานี 351001 แต่ในทางตรงกันข้ามถ้า มีค่าห่างกันมากๆ นั้นแสดงให้เห็นว่าพื้นที่แห่งนั้นมีแนวโน้มที่ฝนมีพฤติกรรมที่จะตกติดต่อกันนานเกิน 3 วัน (เช่น สถานี 38002) เป็นต้น นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์นี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางหรือข้อมูลสำหรับประเมินปริมาณน้ำท่าที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ ได้

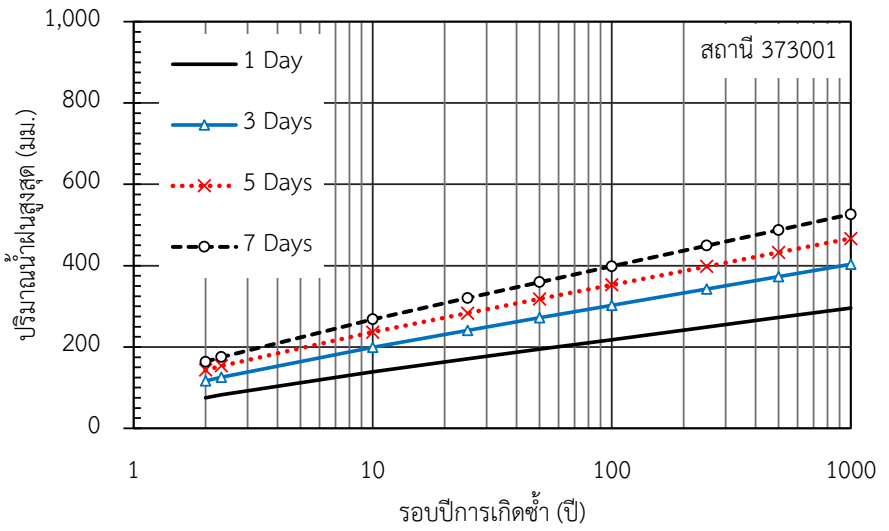
ตารางที่ 2.2.1-1 สถิติข้อมูลน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยในพื้นที่โครงการในช่วงปี พ.ศ. 2540–2559

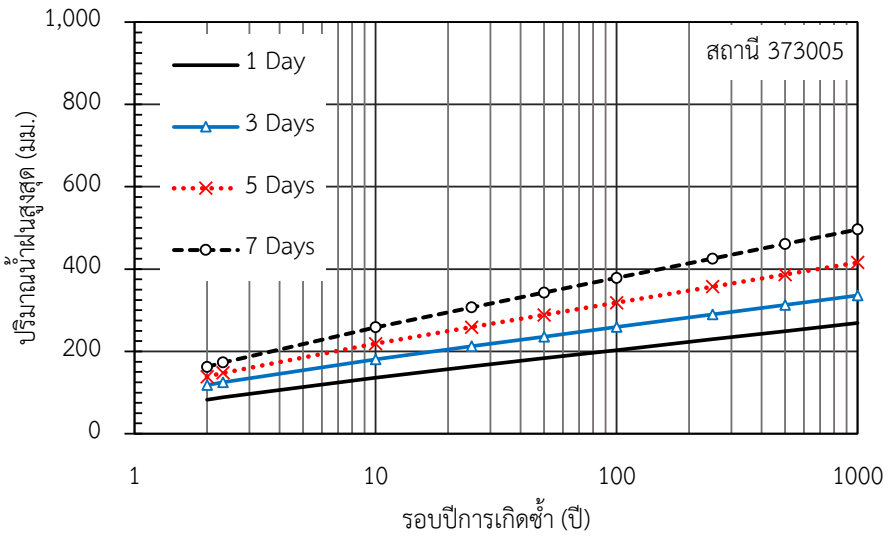
จังหวัด	สถานี	ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ย (มิลลิเมตร/ปี)												รายฤดูกาล		รายปี
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	
อุตรดิตถ์	**351001**	9.69	4.61	18.09	55.67	147.27	138.51	146.31	209.19	228.07	108.91	14.73	8.74	111.52	978.24	1,089.76
	373001	3.94	3.02	19.47	36.87	142.65	113.73	136.10	138.79	236.34	128.82	21.17	0.30	84.76	896.42	981.18
สุโขทัย	**373005**	6.53	7.65	36.07	58.03	160.02	141.42	161.42	177.03	276.22	170.20	24.49	8.24	140.99	1,086.30	1,227.29
	373006	10.80	7.81	25.02	63.60	195.74	140.31	142.56	158.77	272.02	155.09	38.51	9.15	154.88	1,064.49	1,219.36
	373007	12.85	22.14	51.82	92.65	203.68	151.81	125.95	135.51	210.55	153.74	27.08	5.50	212.02	981.23	1,193.25
	380002	6.69	8.06	27.21	46.05	142.64	135.28	200.49	170.33	227.24	139.46	24.86	2.11	114.97	1,015.44	1,130.41
กำแพงเพชร	**380004**	3.63	14.57	28.10	52.13	149.46	131.40	103.29	146.63	240.25	164.19	16.67	0.96	116.05	935.21	1,051.26
	380005	1.81	2.68	16.77	29.05	82.61	89.77	111.37	159.85	179.19	135.09	14.72	0.00	65.02	757.87	822.89
	380006	1.14	7.31	24.41	42.94	138.18	118.52	138.97	138.45	228.97	157.54	26.09	4.61	106.49	920.64	1,027.12
	386002	2.82	9.37	24.11	58.19	151.22	125.81	123.02	166.37	207.53	125.95	19.10	2.33	115.90	899.89	1,015.80
	386004	4.89	12.24	13.61	39.99	110.28	130.53	166.12	176.23	239.13	90.30	7.10	0.93	78.75	912.59	991.34
พิจิตร	**386005**	13.83	16.73	24.91	62.82	156.84	202.29	263.93	330.17	321.00	167.91	27.39	8.40	154.07	1,442.13	1,596.20
	386008	4.74	48.79	24.00	76.05	116.57	121.84	119.01	131.45	157.51	98.87	14.23	2.95	170.75	745.24	915.98
	386014	2.46	5.12	23.32	48.56	106.70	98.42	112.71	121.04	197.41	106.37	14.70	0.82	94.98	742.65	837.63
	400005	4.49	10.74	33.93	84.41	132.01	126.29	132.40	185.39	259.69	168.27	19.74	2.76	156.07	1,004.05	1,160.12
นครสวรรค์	**400008**	3.97	14.63	28.99	97.24	169.75	154.84	144.84	189.21	256.82	153.30	24.13	5.09	174.04	1,068.75	1,242.79
	400011	5.54	10.12	34.09	75.10	151.39	141.68	152.71	171.12	245.90	159.06	20.13	6.71	151.68	1,021.85	1,173.52
	400012	11.78	23.11	56.49	74.26	151.96	136.01	127.54	122.24	219.29	156.59	19.25	5.46	190.33	913.62	1,103.95
	378002	5.58	2.74	21.98	39.29	146.41	163.40	197.99	247.06	298.29	142.69	29.74	5.05	104.38	1,195.83	1,300.21
พิษณุโลก	**378003**	8.52	5.13	28.12	60.95	145.16	144.60	172.54	141.20	237.79	96.23	22.45	4.86	130.03	937.49	1,067.52
	378007	15.17	10.23	15.98	41.96	126.33	157.52	202.29	199.11	265.19	105.08	12.37	5.00	100.69	1,055.50	1,156.19
	378009	13.47	15.59	39.25	60.76	169.74	183.22	244.68	221.89	326.13	162.39	38.65	8.08	175.79	1,308.04	1,483.83
	ต่ำสุด	1.14	2.68	13.61	29.05	82.61	89.77	103.29	121.04	157.51	90.30	7.10	0.00	65.02	742.65	822.89
	เฉลี่ย	7.01	11.93	27.99	58.93	145.30	138.51	155.74	174.41	242.30	138.45	21.69	4.46	132.01	994.70	1,126.71
	สูงสุด	15.17	48.79	56.49	97.24	203.68	202.29	263.93	330.17	326.13	170.20	38.65	9.15	212.02	1,442.13	1,596.20

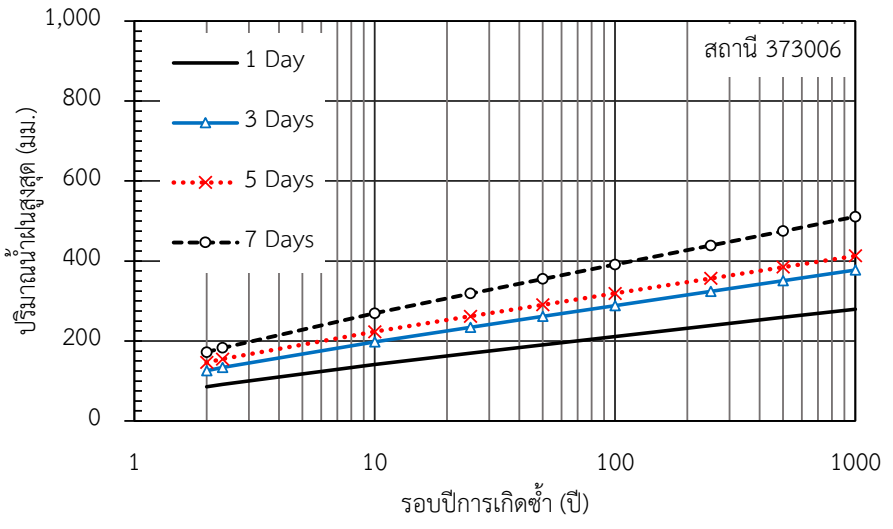


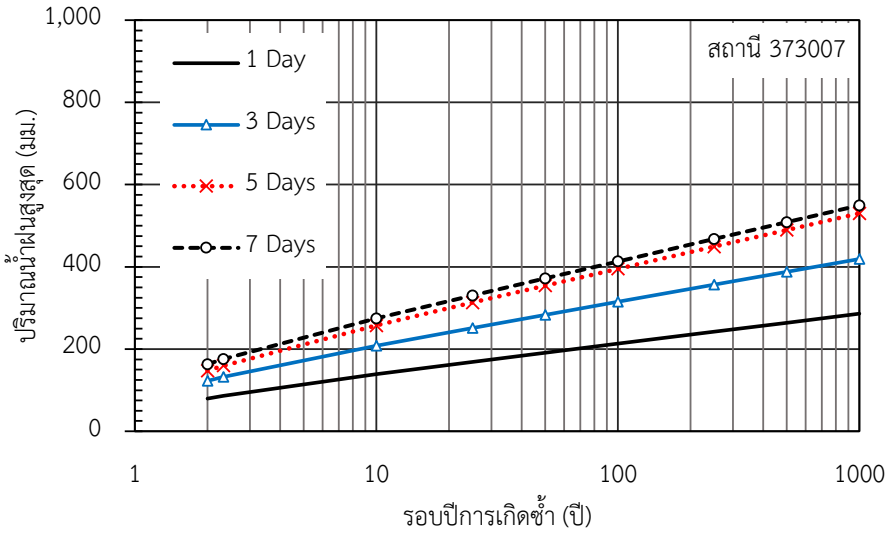
รูปที่ 2.2.1-1 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำฝนพื้นที่ศึกษา

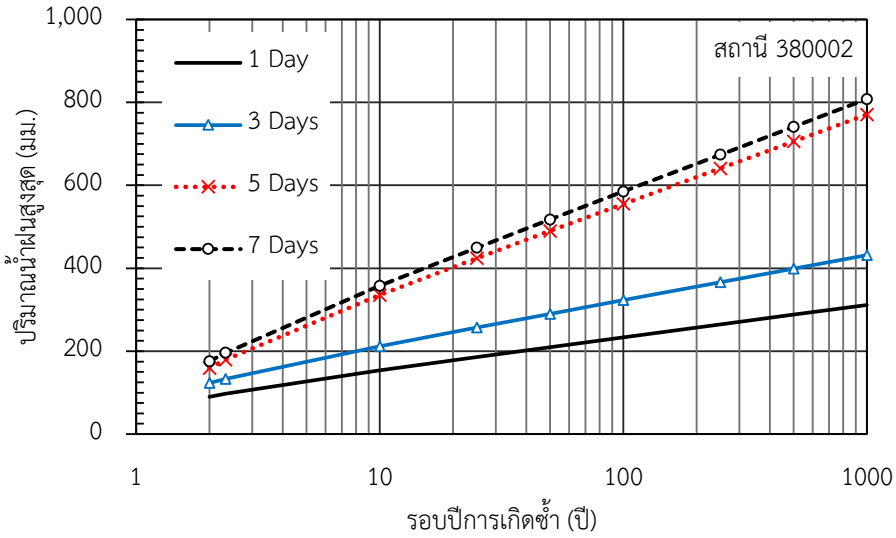


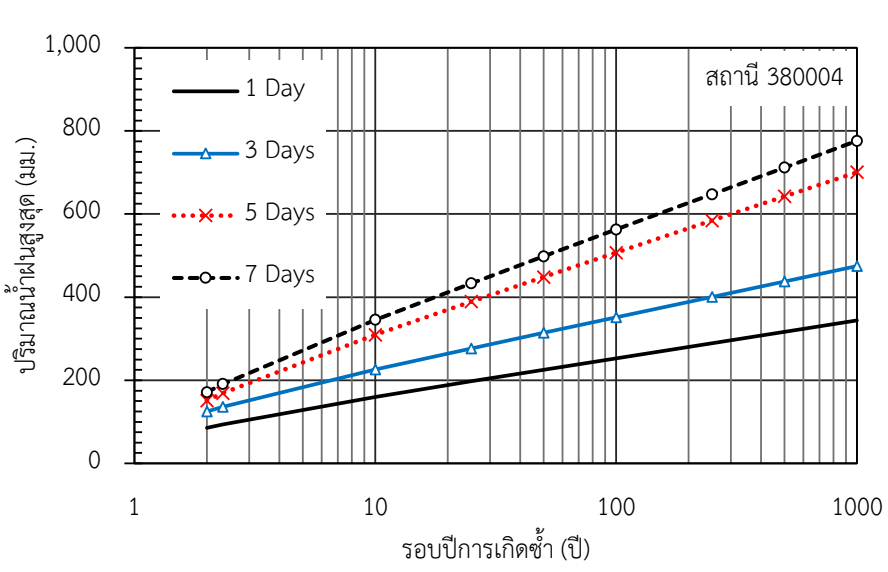


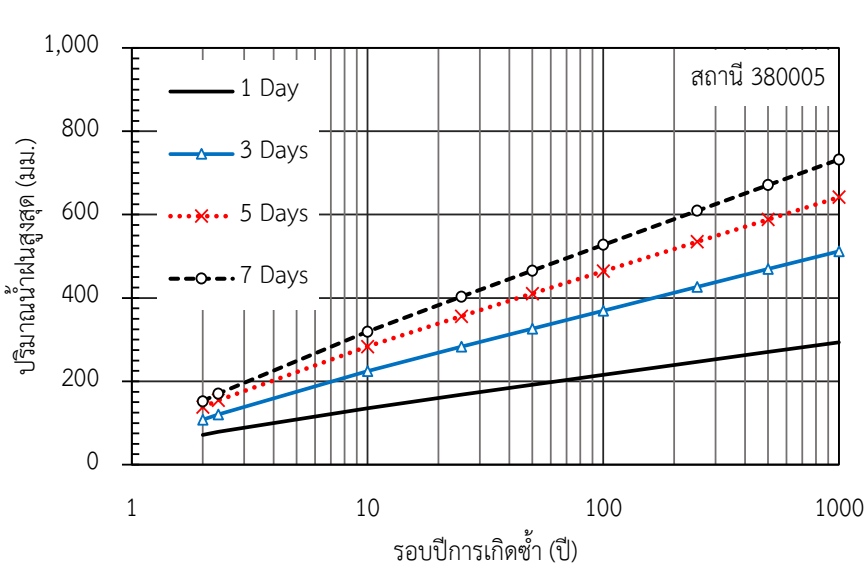




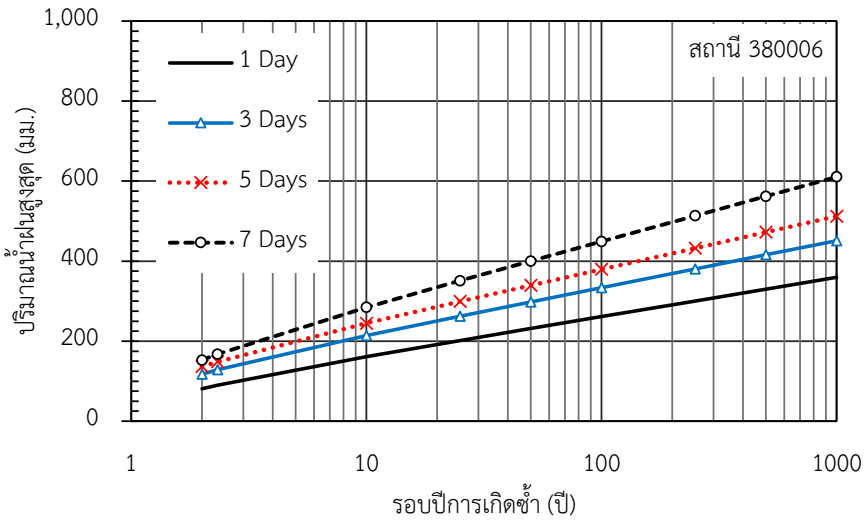


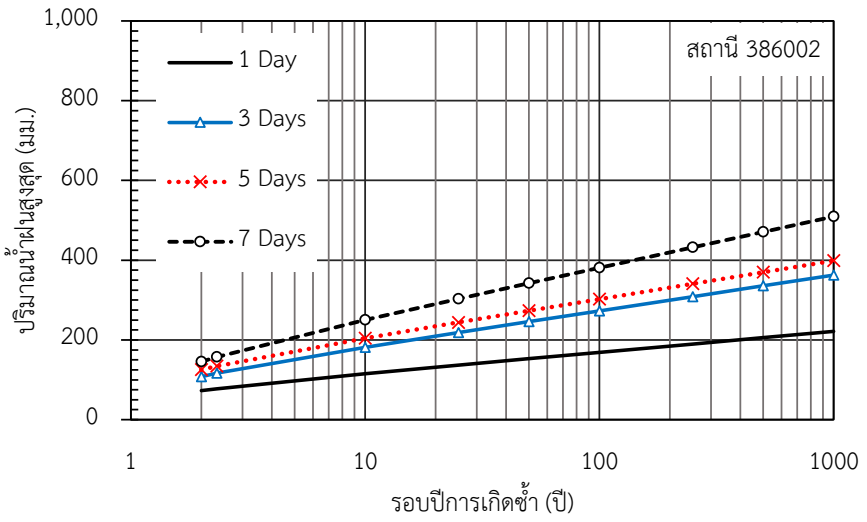


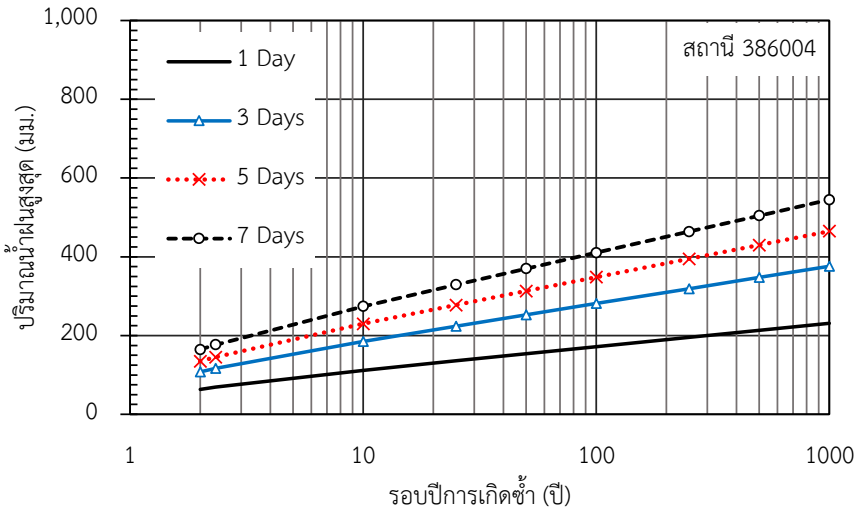


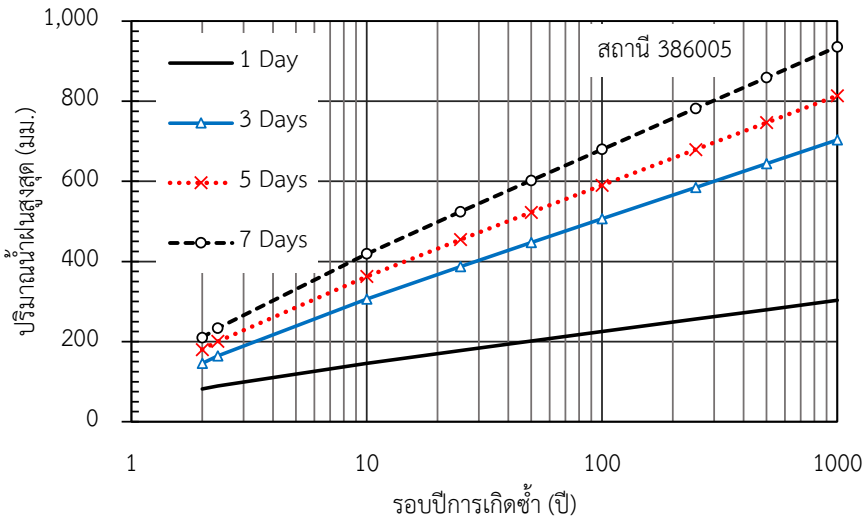


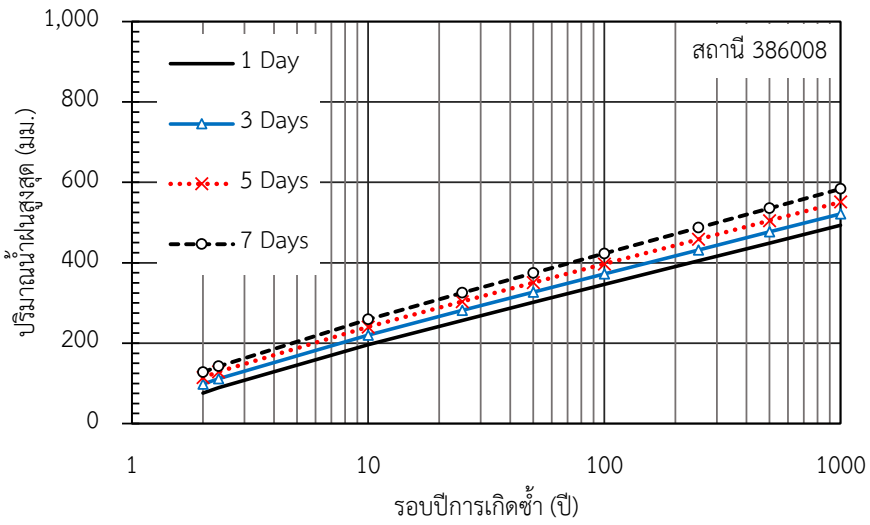
รูปที่ 2.2.1-2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1, 3, 5 และ 7 วัน ที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆในพื้นที่ศึกษาโครงการฯ

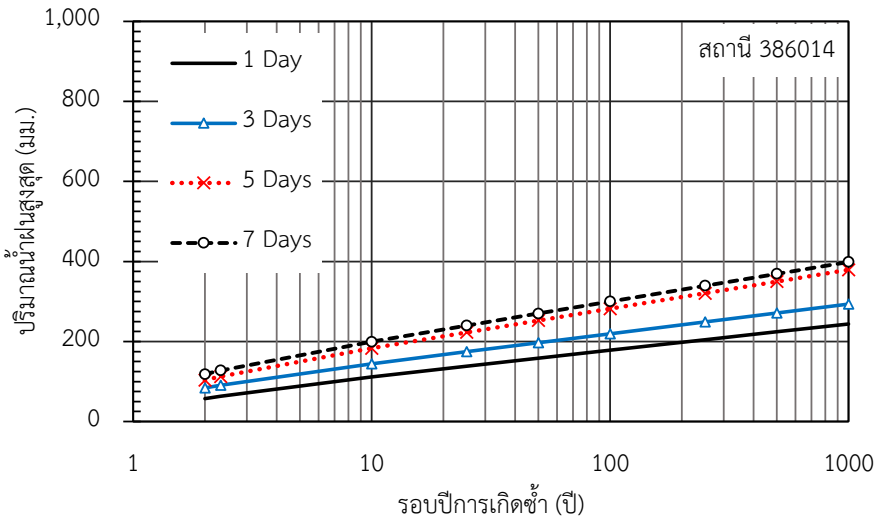


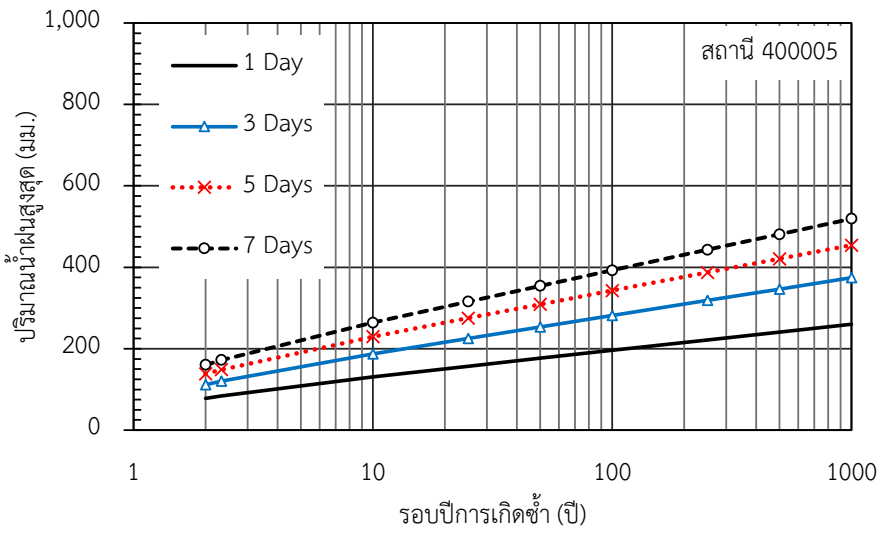


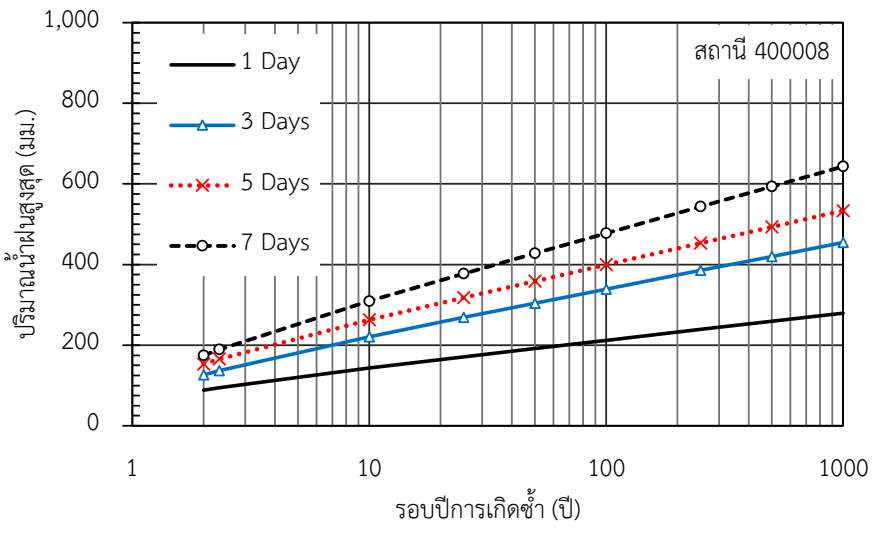




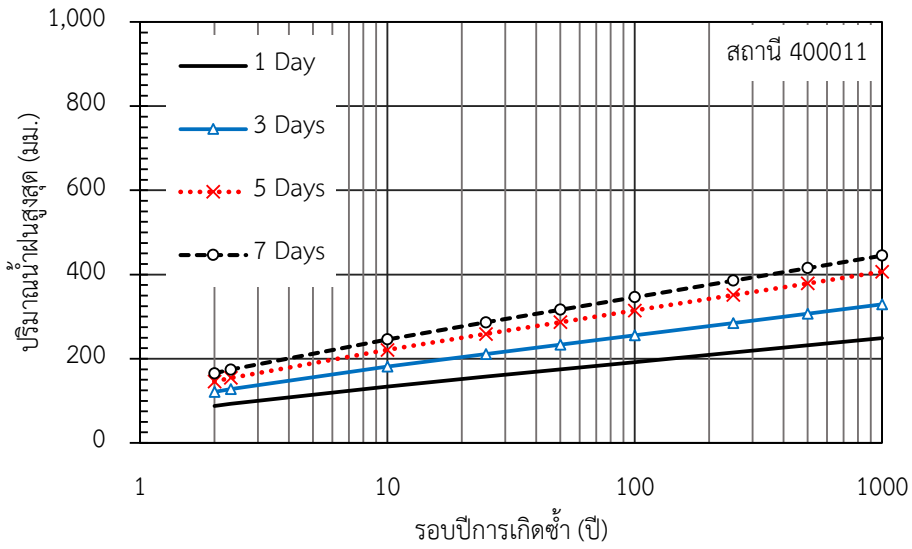


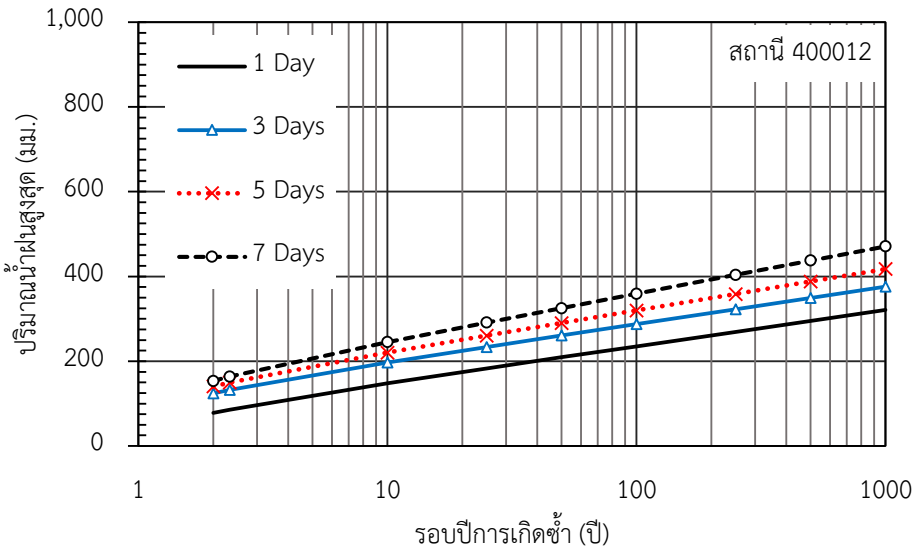


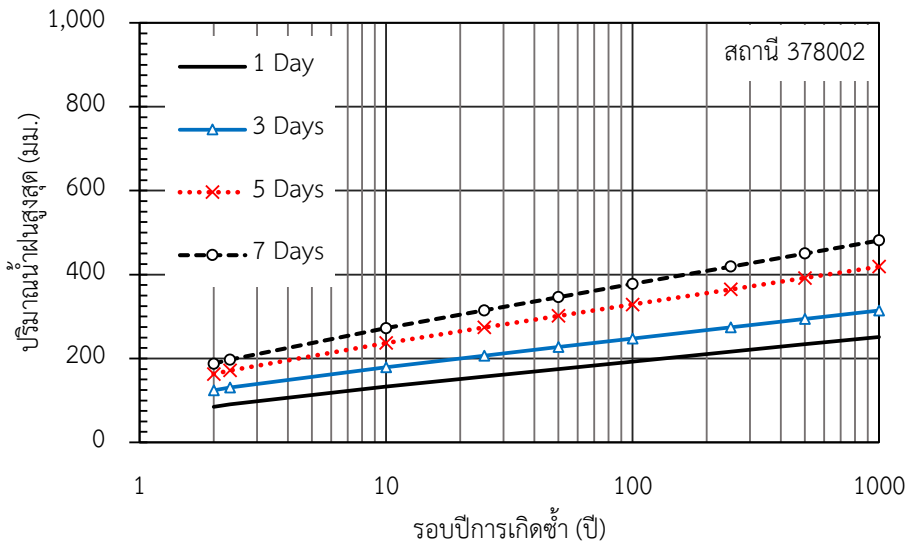


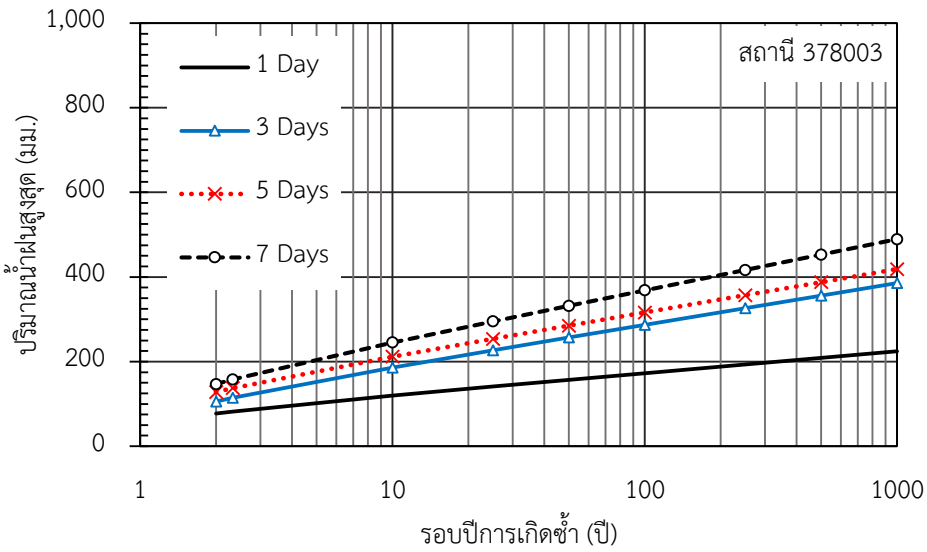


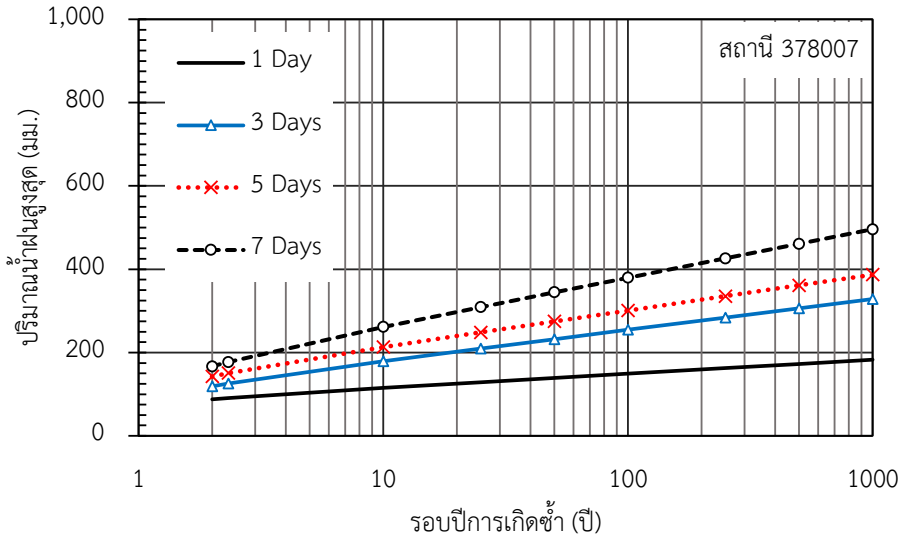
รูปที่ 2.2.1-2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1, 3, 5และ 7 วัน ที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆในพื้นที่ศึกษาโครงการฯ **(ต่อ)**

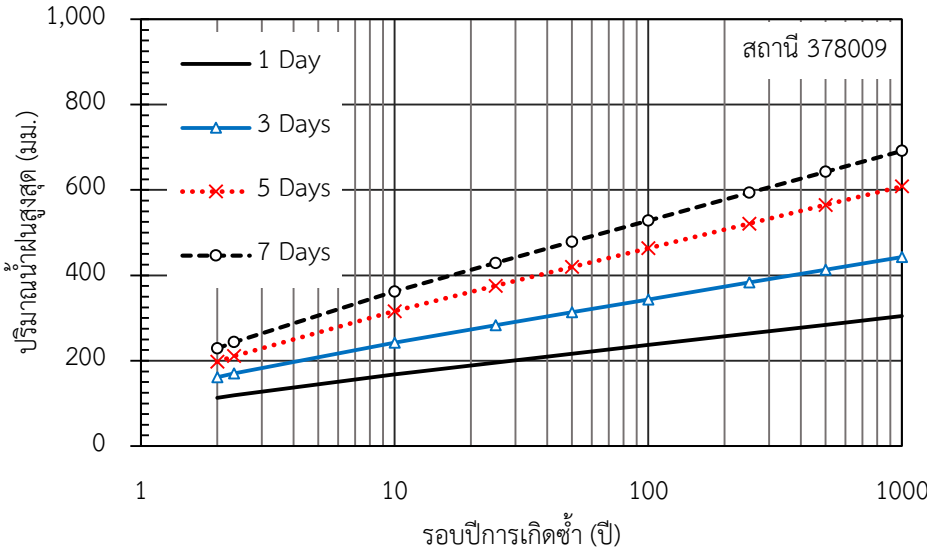












รูปที่ 2.2.1-2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1, 3, 5 และ 7 วัน ที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆในพื้นที่ศึกษาโครงการฯ **(ต่อ)**

2.2.2 น้ำท่า

น้ำท่า (Runoff) ในที่นี้หมายถึง น้ำท่าผิวดินที่เป็นแสดงข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Discharge) กับเวลา (Time) ซึ่งจริงๆ ก็คือ ข้อมูลอนุกรมเวลาของน้ำท่านั้นเอง แต่การศึกษาน้ำท่าส่วนมากเน้นไปที่งานป้องกันน้ำท่วม (Flood Protection) นั้นคือ ต้องการทราบค่าสูงสุดของเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง เพื่อที่จะได้นำค่าที่ได้นั้นไปออกแบบ เช่น อัตราการไหลสูงสุด (Maximum Discharge) เป็นต้น อัตราการไหลสูงสุดนั้น จะมีระยะเวลาเกิดขึ้นสั้นมากถ้าเทียบกับอัตราการไหลในช่วงน้ำน้อย (Low Flow) หรือการไหลในช่วงปกติ (Normal Flow)

ถ้าในกรณีที่จุดประสงค์ของการศึกษาเป็นภาพรวมของลุ่มน้ำ เช่น ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำท่ารายปีในแต่ละพื้นที่ (ลุ่มน้ำ) ซึ่งโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนเป็นสำคัญนั้นจะเรียกว่า การศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝน-น้ำท่า หรือสัมประสิทธิ์น้ำท่า ฝนที่ตกสู่พื้นดินเมื่อหักปริมาณการสูญเสียต่างๆ ออกแล้ว ที่เหลือจะเป็นน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) ในช่วงแรกๆ ที่ฝนเริ่มตกใหม่ๆ น้ำจะไหลเป็นแผ่นบางๆ ไปตามความลาดชันของผิวดินโดยพฤติกรรมนี้ในทางอุทกวิทยาเรียกว่า Overland Flow หรือการไหลบนผิวดิน เมื่อเวลาผ่านไปน้ำท่าจากที่ต่างๆ ก็จะไหลมารวมตัวกันในปริมาณมากขึ้นแล้วเริ่มกัดเซาะผิวหน้าดินให้กลายเป็นร่องน้ำเล็กๆ และถ้าฝนตกต่อเนื่องการกัดเซาะจากการไหลก็จะเพิ่มมากขึ้นกลายเป็นร่องน้ำขนาดใหญ่ขึ้นหรือลำน้ำ จากการไหลบนผิวดินก็จะกลายเป็นการไหลในลำน้ำ (Channel Flow)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่า ปริมาณของน้ำท่าและรูปร่างของกราฟน้ำท่านั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน ได้แก่

1) รูปร่างลุ่มน้ำต่อปริมาณน้ำท่า (Effect of Watershed Shape on the Runoff Flow) หมายถึง รูปทรงเรขาคณิตของลุ่มน้ำ (Watershed Geometry) ได้แก่ พื้นที่ รูปร่าง ความยาวของลำน้ำสายหลัก ความลาดชันเฉลี่ย ความหนาแน่นของการระบายน้ำ (Drainage Density) เป็นต้น ลุ่มน้ำหรือพื้นรับน้ำอาจมีลักษณะทางเรขาคณิตมากมายนับไม่ถ้วน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของภูมิประเทศ ถ้าลุ่มน้ำเป็นรูปทรงแคบและยาว กราฟน้ำท่าที่เกิดขึ้นจะมีรูปร่างค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับลุ่มน้ำที่มีลักษณะแคบตอนบนและผายออกตอนล่างคล้ายกับรูประฆัง เป็นต้น

2) ลักษณะทางกายภาพของดิน เช่น ชนิดของดิน การคละของเม็ดดิน (Grain-size Distribution) การยึดแน่นระหว่างเม็ดดิน (ความยากง่ายต่อการกัดเซาะ) ความหยาบของพื้นผิว

3) พืชปกคลุมดิน (Vegetation Cover) ได้แก่ ชนิดและการกระจายตัวของพืช ความหนาแน่น ฯลฯ ปัจจัยข้างต้นจะส่งผลกระทบต่อปริมาณการดัก การคายระเหย การซึม ฯลฯ

4) สภาพทางภูมิอากาศและอุทกวิทยา โดยทั่วไปหมายถึง อุณหภูมิ อัตราการซึม การระเหย ระดับน้ำบาดาล รวมถึงประเภทหรือรูปแบบการไหลในแม่น้ำ ได้แก่ แม่น้ำที่มีการไหลตลอดทั้งปี (Perennial River) แม่น้ำที่ไหลเฉพาะฤดูกาล (Intermittent River) หรือแม่น้ำที่จะมีการไหลเฉพาะในช่วงและหลังจากที่ฝนตกหนัก (Ephemeral River) เป็นต้น

5) สภาพทางธรณีวิทยา หมายถึง ความลึกของชั้นดินและโครงสร้างชั้นหิน (Bedrock) ถ้าดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้มากย่อมมีน้ำท่าน้อยเมื่อเทียบกันดินที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้น้อย แต่น้ำที่ซึมผ่านหน้าดินนั้นก็จะเป็นการไหลใต้ผิวดิน ซึ่งจะไหลออกสู่ลำน้ำในที่สุดแต่ใช้เวลานานซึ่งอาจจะเป็นหลายเดือนหรือหลายปีก็ได้

6) ลักษณะเฉพาะของพายุฝน ได้แก่ ตำแหน่งที่ฝนตกในลุ่มน้ำและทิศทางการเคลื่อนตัวของพายุ กล่าวคือ ถ้าฝนตกบริเวณใกล้ๆ ทางออกของลุ่มน้ำระยะเวลาที่จะเกิดอัตราการไหลสูงสุดก็จะสั้นและอัตราการไหลสูงสุดก็จะสูง ถ้าเทียบกับพายุฝนที่ตกบริเวณตอนบนของลุ่มน้ำ ส่วนทิศทางการเคลื่อนตัวของพายุกับทิศทางการไหลของน้ำ ถ้าทิศทางการเคลื่อนตัวของพายุฝนไปในทิศเดียวกันกับทิศของการไหล จะทำให้กราฟน้ำท่ามีอัตราการไหลสูงสุดสูงมาก เมื่อเทียบกับทิศการเคลื่อนที่ของพายุกับทิศการไหลที่สวนทางกัน

7) อิทธิพลจากมนุษย์ ปัจจุบันอาจกล่าวได้ว่า เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่สุดก็ว่าได้ เช่น การพัฒนาเมือง เปลี่ยนรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำลายป่าไม้ (Deforestation) หรือปลูกป่า (Afforestation) และที่สำคัญที่สุดคือการก่อสร้างโครงสร้างทางชลศาสตร์ที่สามารถควบคุมปริมาณน้ำท่าได้ เช่น ฝาย เขื่อน ฯลฯ

กรมชลประทานถือได้ว่าเป็นหน่วยงานหลักที่ดำเนินการศึกษาวิจัยและตรวจวัดข้อมูลน้ำท่าในประเทศไทย เนื่องจากฤดูกาลในแต่ละประเทศมีความแตกต่างกัน สำหรับประเทศไทย ได้ถือว่าวันที่ 1 เมษายน คือวันที่ 1 (วันเริ่มต้น) ของการเก็บข้อมูลน้ำท่าของปีนั้นและจะไปสิ้นสุดที่วันที่ 31 มีนาคม ของปีถัดไป ดังนั้นช่วงเวลาตั้งแต่ 1 เมษายน ถึง 31 มีนาคม ของปีถัดไป คือช่วงเวลาที่เราเรียกกันว่าปีน้ำ (Water Year) เมื่อเทียบการตรวจวัดน้ำฝนกับการตรวจวัดน้ำท่านั้น พบว่าการตรวจวัดน้ำท่ามีความลำบากมากเมื่อเทียบกับน้ำฝน แต่ปริมาณน้ำท่านั้นจะขึ้นอยู่กับน้ำฝนเป็นหลัก ด้วยเหตุนี้หากวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณทั้งสองนี้ออกมาได้ก็จะเป็นการสะดวกที่จะนำข้อมูลน้ำฝน (ตรวจวัดง่ายกว่า) มาแปลงเป็นน้ำท่า

สมชาย (2552) ได้รวบรวมข้อมูลน้ำฝนรายปีเฉลี่ยจำนวน 1,137 สถานี (จากกรมอุตุนิยมวิทยา 1,056 สถานี และจากกรมชลประทานอีก 81 สถานี) และข้อมูลน้ำท่ารายปีเฉลี่ยจำนวน 463 สถานี (399 สถานีจากกรมชลประทานและ 64 สถานีจากกรมทรัพยากรน้ำ) ที่มีการบันทึกทั่วทั้งประเทศตั้งแต่อดีตถึงปี พ.ศ. 2549 เพื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของน้ำฝน-น้ำท่า และสัมประสิทธิ์น้ำท่ารายลุ่มน้ำทั้ง 25 ลุ่มน้ำในประเทศไทย แสดงไว้ในตารางที่ 2.2.2-1 คือปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย (มิลลิเมตร) คือปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย (มิลลิเมตร) คือสัมประสิทธิ์น้ำท่า (%) และคือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Correlation - r)

ตารางที่ 2.2.2-1 ความสัมพันธ์ของน้ำฝน-น้ำท่า และสัมประสิทธิ์น้ำท่าของ 25 ลุ่มน้ำหลักในประเทศไทย

ลำดับที่	ลุ่มน้ำ	ความสัมพันธ์ของน้ำฝน-น้ำท่า	สัมประสิทธิ์น้ำท่า
01	สาละวิน	$\bar{Q} = 1.0146\bar{P} - 652.49$ $r = 0.8484$	$\bar{C} = 0.0554\bar{P} - 21.897$ $r = 0.8143$
02	โขง (อีสาน)	$\bar{Q} = 0.7574\bar{P} - 570.49$ $r = 0.8672$	$\bar{C} = 0.0236\bar{P} + 0.3785$ $r = 0.6521$
03	กก	$\bar{Q} = 0.6746\bar{P} - 416.22$ $r = 0.7013$	$\bar{C} = 0.0318\bar{P} - 3.6971$ $r = 0.6046$
04	ชี	$\bar{Q} = 0.8459\bar{P} - 782.02$ $r = 0.8823$	$\bar{C} = 0.0479\bar{P} - 39.513$ $r = 0.8459$
05	มูล	$\bar{Q} = 0.9631\bar{P} - 921.57$ $r = 0.8880$	$\bar{C} = 0.0533\bar{P} - 45.876$ $r = 0.8380$
06	ปิง	$\bar{Q} = 0.6587\bar{P} - 494.6$ $r = 0.8314$	$\bar{C} = 0.0455\bar{P} - 30.534$ $r = 0.7974$
07	วัง	$\bar{Q} = 0.7289\bar{P} - 658.11$ $r = 0.8587$	$\bar{C} = 0.0515\bar{P} - 43.609$ $r = 0.7997$
08	ยม	$\bar{Q} = 0.7025\bar{P} - 650.12$ $r = 0.6868$	$\bar{C} = 0.0481\bar{P} - 41.741$ $r = 0.6098$
09	น่าน	$\bar{Q} = 1.1372\bar{P} - 1113.7$ $r = 0.8600$	$\bar{C} = 0.0577\bar{P} - 41.001$ $r = 0.7737$
10	เจ้าพระยา	$\bar{Q} = 1.0556\bar{P} - 1059.3$ $r = 0.8892$	$\bar{C} = 0.0675\bar{P} - 64.166$ $r = 0.8218$
11	สะแกกรัง	$\bar{Q} = 0.5517\bar{P} - 443.42$ $r = 0.8407$	$\bar{C} = 0.0362\bar{P} - 25.746$ $r = 0.7876$
12	ป่าสัก	$\bar{Q} = 0.7440\bar{P} - 685.76$ $r = 0.8585$	$\bar{C} = 0.040\bar{P} - 31.00$ $r = 0.7629$
13	ท่าจีน	$\bar{Q} = 1.2061\bar{P} - 1264.7$ $r = 0.7842$	$\bar{C} = 0.0709\bar{P} - 69.694$ $r = 0.7138$
14	แม่กลอง	$\bar{Q} = 0.8876\bar{P} - 845.22$ $r = 0.9127$	$\bar{C} = 0.0382\bar{P} - 29.295$ $r = 0.8784$

ตารางที่ 2.2.2-1 ความสัมพันธ์ของน้ำฝน-น้ำท่า และสัมประสิทธิ์น้ำท่าของ 25 ลุ่มน้ำหลักในประเทศไทย **(ต่อ)**

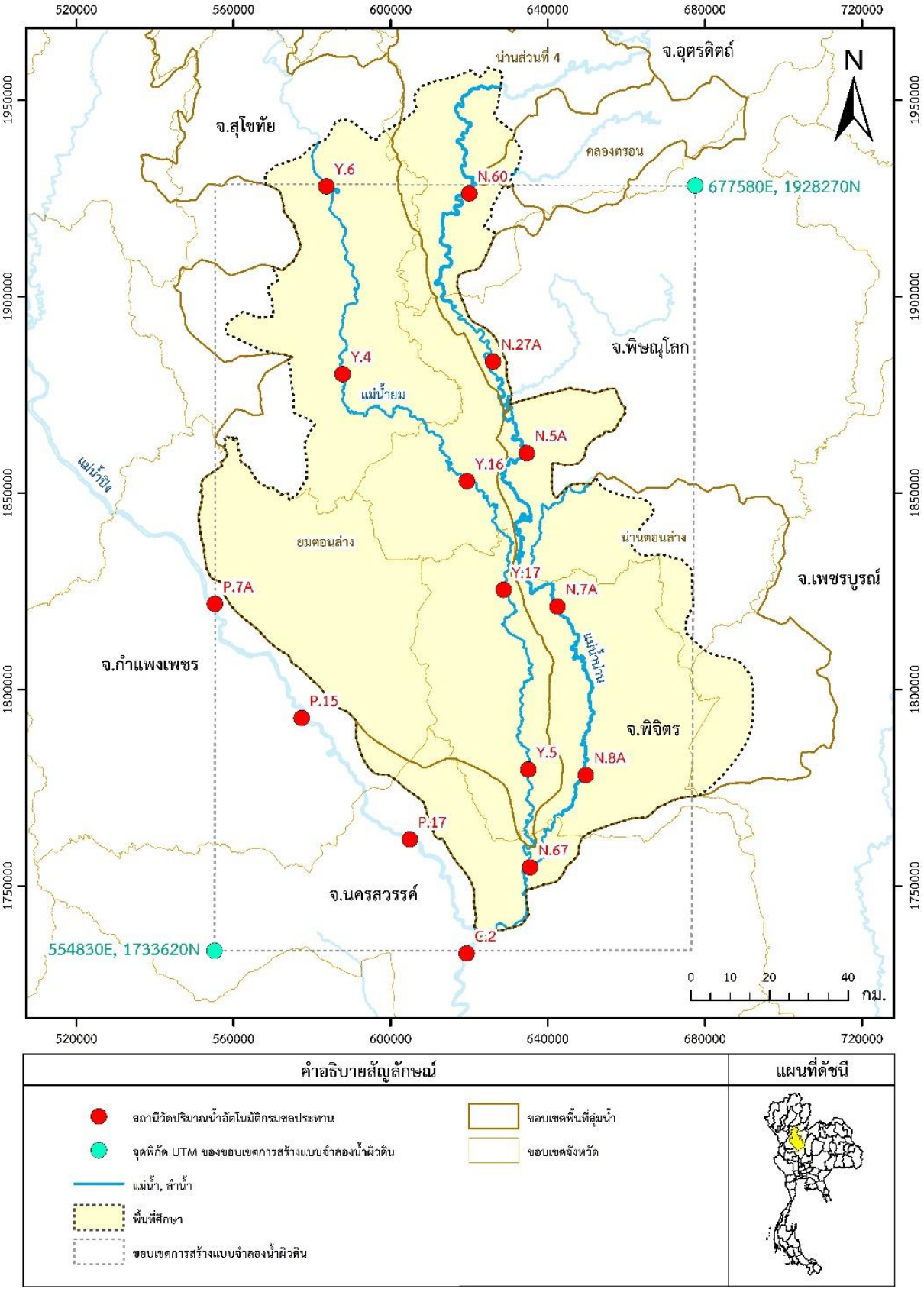
ลำดับที่	ลุ่มน้ำ	ความสัมพันธ์ของน้ำฝน-น้ำท่า	สัมประสิทธิ์น้ำท่า
15	ปราจีนบุรี	$\bar{Q} = 1.1351\bar{P} - 994.92$ $r = 0.9044$	$\bar{C} = 0.0400\bar{P} - 17.203$ $r = 0.7877$
16	บางปะกง	$\bar{Q} = 1.2665\bar{P} - 1274.1$ $r = 0.9273$	$\bar{C} = 0.0303\bar{P} - 12.829$ $r = 0.9532$
17	โตนเลสาป	$\bar{Q} = 1.5780\bar{P} - 1862.7$ $r = 0.8485$	$\bar{C} = 0.0644\bar{P} - 63.281$ $r = 0.7407$
18	ชายฝั่งทะเลตะวันออก	$\bar{Q} = 1.1046\bar{P} - 1076.5$ $r = 0.9435$	$\bar{C} = 0.0273\bar{P} - 6.6067$ $r = 0.8247$
19	เพชรบุรี	$\bar{Q} = -0.3636\bar{P} + 614.47$ $r = 0.6516$	$\bar{C} = -0.0442\bar{P} + 68.19$ $r = 0.7515$
20	ชายฝั่งทะเลตะวันตก	$\bar{Q} = 0.3773\bar{P} - 7.7781$ $r = 0.9721$	$\bar{C} = 0.0294\bar{P} - 5.8773$ $r = 0.7031$
21	ภาคใต้ฝั่งตะวันออก	$\bar{Q} = 1.2524\bar{P} - 1342.1$ $r = 0.9561$	$\bar{C} = 0.0288\bar{P} - 3.5061$ $r = 0.8922$
22	ตาปี	$\bar{Q} = 1.2418\bar{P} - 1470.9$ $r = 0.7404$	$\bar{C} = 0.0408\bar{P} - 35.312$ $r = 0.7785$
23	ทะเลสาบสงขลา	$\bar{Q} = 1.0743\bar{P} - 1221.5$ $r = 0.8675$	$\bar{C} = 0.0457\bar{P} - 42.626$ $r = 0.8573$
24	ปัตตานี	$\bar{Q} = 0.5803\bar{P} - 360.67$ $r = 0.6745$	$\bar{C} = -0.0189\bar{P} + 76.287$ $r = 0.8932$
25	ภาคใต้ฝั่งตะวันตก	$\bar{Q} = 0.9762\bar{P} - 1068.4$ $r = 0.8731$	$\bar{C} = 0.0176\bar{P} + 3.8355$ $r = 0.7533$

ที่มา: (สมชาย อิ่มอยู่, การศึกษาสัมประสิทธิ์น้ำท่า และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับพื้นที่ลุ่มน้ำ 25 ลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย , ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน, 2552)

ปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาโครงการ

รูปที่ 2.2.2-1 แสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำท่าหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำ ปิง ยม และน่าน รวมจำนวน 15 สถานี ซึ่งมีรายละเอียดของสถานีต่างๆ ในตารางที่ 2.2.2-2 จากข้อมูลที่มีการตรวจวัดนั้น สามารถนำมาแสดงเป็นปริมาณน้ำท่ารายเดือน รายปี ปริมาณน้ำท่าต่อหน่วยพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 2.2.2-3

จากข้อมูลในช่วงปี พ.ศ.2540–2559 พบว่าสถานีมีช่วงพิสัยของค่าปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่อยู่ระหว่าง 3.25–13.6 ลิตร/วินาที/ตารางกิโลเมตร โดยเดือนที่มีปริมาณน้ำท่าสูงสุด ได้แก่ เดือนกันยายน และเดือนที่มีปริมาณน้ำท่าต่ำสุดได้แก่ ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ และมีนาคม ดังแสดงในตารางที่ 2.1.2-3 อนึ่งถ้าการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าต่อหน่วยพื้นที่ได้ใช้ข้อมูลเฉพาะสถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำยมจะได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่อยู่ระหว่าง 3.25–7.75 ลิตร/วินาที/ตารางกิโลเมตร ทั้งนี้เพราะข้อมูลน้ำท่าของแม่น้ำน่านและแม่น้ำปิงอยู่ภายใต้การบริหารจัดการของเขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนภูมิพล การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าต่อหน่วยพื้นที่ควรใช้ข้อมูลที่ปราศจากหรือมีผลกระทบจากการบริหารจัดการน้ำโดยมนุษย์น้อยที่สุด และจากตารางเดียวกันพบว่า ปริมาณน้ำท่าจากสถานีที่ตรวจวัดในแม่น้ำยมมีสัดส่วนปริมาณน้ำท่าในฤดูฝน (พฤษภาคม–ตุลาคม) อยู่ระหว่างร้อยละ 67 ถึง 86 ส่วนที่เหลือเป็นสัดส่วนในฤดูแล้ง ส่วนปริมาณน้ำท่าในแม่น้ำน่านและแม่น้ำปิงนั้นอยู่ภายใต้การบริหารจัดการของเขื่อนสิริกิติ์และเขื่อนภูมิพล โดยจากสถิตพบว่า มีปริมาณน้ำท่าในฤดูฝนอยู่ระหว่างร้อยละ 46 ถึง 67 หรือสามารถที่จะกล่าวได้ว่า สัดส่วนของปริมาณน้ำท่าของสถานีที่อยู่ภายใต้เขื่อนใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกันมากระหว่างฤดูแล้งกับฤดูฝน และนี้เป็นอีกหลักฐานหนึ่งที่สามารถบ่งบอกบทบาทของเขื่อนขนาดใหญ่ที่สามารถจัดการน้ำระหว่างฤดูให้มีความสมดุลหรือเป็นความพยายามในการเอาชนะธรรมชาติ

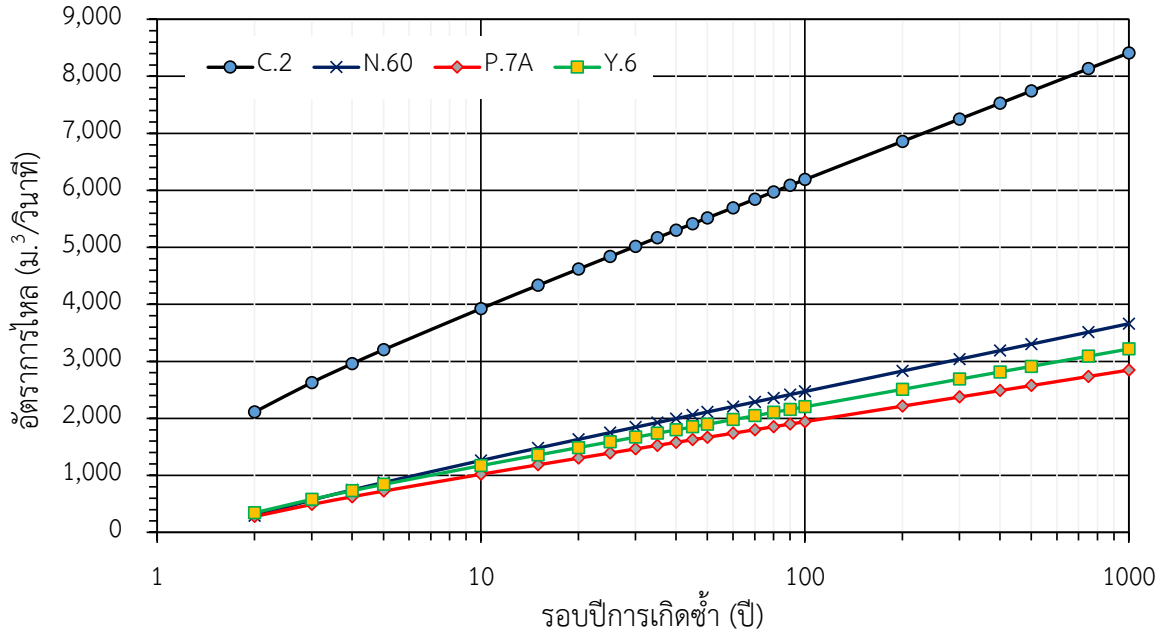


รูปที่ 2.2.2-1 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 2.2.2-2 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา

ลำดับที่	สถานี	พิกัด		อำเภอ	จังหวัด	ขนาดพื้นที่รับน้ำ	ลุ่มน้ำ	หมายเหตุ
		ละติจูด	ลองจิจูด			(ตร.กม.)		
1	Y.6	17.434	99.792	ศรีสัชนาลัย	สุโขทัย	12,769	ยม	ตรงข้ามอุทยานศรีสัชนาลัย
2	Y.4	17.005	99.825	เมือง	สุโขทัย	17,731	ยม	หน้าศาลากลางจังหวัด
3	Y.16	16.759	100.13	บางระกำ	พิษณุโลก	20,201	ยม	
4	Y.17	16.514	100.21	สามง่าม	พิจิตร	22,034	ยม	
5	Y.5	16.093	100.26	โพธิ์ทะเล	พิจิตร	22,344	ยม	
6	N.60	17.413	100.13	ตรอน	อุตรดิตถ์	18,447	น่าน	ท้ายจุดบรรจบคลองตรอนกับแม่น้ำน่าน
7	N.27A	17.031	100.18	พรหมพิราม	พิษณุโลก	19,360	น่าน	ท้ายเขื่อนนเรศวร
8	N.5A	16.821	100.26	เมือง	พิษณุโลก	25,039	น่าน	สะพานเอกาทศรถ
9	N.7A	16.467	100.34	เมือง	พิจิตร	27,897	น่าน	
10	N.8A	16.079	100.4	บางมูลนาก	พิจิตร	31,472	น่าน	
11	N.67	15.869	100.27	ชุมแสง	นครสวรรค์	57,384	น่าน	ท้ายจุดบรรจบแม่น้ำยมกับแม่น้ำน่าน
12	P.7A	16.477	99.518	เมือง	กำแพงเพชร	42,462	ปิง	
13	P.15	16.214	99.724	คลองคลุง	กำแพงเพชร	44,461	ปิง	
14	P.17	15.993	99.98	บรรพตพิสัย	นครสวรรค์	45,297	ปิง	
15	C.2	15.67	100.11	เมือง	นครสวรรค์	109,973	เจ้าพระยา	ท้ายสะพานเดชาติวงศ์ (ค่ายจิระประวัติ)

ในทำนองเดียวกันกับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ การวิเคราะห์อัตราการไหลสูงสุดหรือน้ำท่าสูงสุดก็สามารถที่จะใช้ทฤษฎีกัมเบลวิเคราะห์ได้เช่นเดียวกัน โดยพารามิเตอร์ที่ต้องการสำหรับวิเคราะห์ก็มีเพียง 2 ตัวเช่นกัน ได้แก่ อัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่าเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลสูงสุด รูปที่ 2.2.2-2 แสดงการวิเคราะห์อัตราการไหลสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ ของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้เป็นเงื่อนไขขอบเขตของการศึกษา ได้แก่ สถานี P.7A, Y.6, N.60 และ C.2 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าที่รอบการเกิดซ้ำน้อยกว่า 10 อัตราการไหลสูงสุด ณ สถานี P.7A, Y.6 และ N.60 ไม่แตกต่างกันมาก ส่วนสถานี C.2 ซึ่งตั้งอยู่ท้ายจุดบรรจบของแม่น้ำปิงและแม่น้ำน่าน (จุดบรรจบของน้ำเหนือ) จึงมีค่าสูง ปี พ.ศ. 2554 พบว่าอัตราการไหลสูงสุด ณ สถานี C.2 มีค่าเท่ากับ 4,690 ลูกบาศก์เมตร/วินาที เมื่อนำค่าดังกล่าวไปเทียบกับผลการวิเคราะห์กัมเบลในรูปที่ 2.2.2-2 พบว่าได้รอบการเกิดซ้ำที่อยู่ในช่วง 20 ถึง 25 ปี เท่านั้น



รูปที่ 2.2.2-2 อัตราการไหลสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ

ตารางที่ 2.2.2-3 สถิติข้อมูลน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยและรายฤดูกาลในพื้นที่ศึกษา

สถานี	อัตราการไหลรายเดือนเฉลี่ย (ลบ.ม./วินาที)												ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ.ม.)			น้ำท่า/หน่วยพื้นที่
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	รายปี	(ลิตร/วินาที/ตร.กม.)
Y.6	18.40	5.62	5.12	10.10	60.28	65.05	83.01	246.65	389.15	180.98	79.39	38.33	411.63	2,709.22	3,120.85	7.75
Y.4	16.76	2.46	1.07	15.87	49.53	40.24	68.72	113.18	144.73	109.67	74.09	51.72	425.85	1,394.47	1,820.33	3.26
Y.16	5.64	2.54	7.24	4.26	39.97	100.38	103.91	193.54	413.71	483.44	232.06	41.41	764.87	3,534.68	4,299.55	6.75
Y.17	12.38	11.17	17.38	7.15	43.20	89.73	98.03	180.04	358.65	410.74	188.08	46.95	739.25	3,125.99	3,865.24	5.56
Y.5	5.98	5.22	7.34	29.34	53.82	102.11	104.71	179.95	525.14	538.83	245.78	60.65	924.81	3,979.64	4,904.45	6.96
N.60	286.87	345.21	317.75	288.42	258.76	202.31	198.46	261.49	300.54	164.23	155.44	224.90	4,211.68	3,672.01	7,883.69	13.55
N.27A	157.98	197.04	184.71	174.02	171.97	141.64	127.15	198.40	302.19	158.21	102.75	129.17	2,460.39	2,909.63	5,370.02	8.80
N.5A	176.80	220.18	204.44	194.50	206.36	191.97	193.17	293.83	456.91	272.61	151.64	157.00	2,874.43	4,273.52	7,147.95	9.05
N.7A	218.68	266.33	248.27	235.12	265.99	290.27	314.12	465.01	785.56	624.11	304.77	209.27	3,858.82	7,266.80	11,125.61	12.65
N.8A	168.47	207.95	197.63	186.57	227.52	272.08	293.94	438.92	761.82	673.71	358.28	178.98	3,378.74	7,063.79	10,442.54	10.52
N.67	191.05	229.80	219.84	197.45	280.72	362.53	391.80	559.38	892.06	910.72	554.23	238.92	4,249.10	8,999.85	13,248.95	7.32
P.7A	230.62	264.70	242.93	222.36	242.72	186.07	156.15	190.17	340.59	396.46	238.67	190.97	3,618.88	4,008.73	7,627.61	5.70
P.15	293.71	329.20	311.61	291.54	338.76	274.92	221.13	253.38	491.84	539.81	297.76	241.34	4,596.24	5,617.25	10,213.50	7.28
P.17	223.06	257.08	236.95	205.38	281.38	230.31	173.10	236.43	475.32	496.82	298.10	189.98	3,671.64	5,015.33	8,686.97	6.08
C.2	367.56	433.96	416.95	371.01	496.49	557.01	553.04	756.63	1,365.42	1,782.01	1,074.18	430.37	8,057.93	14,608.36	22,666.29	6.54

หมายเหตุ: ข้อมูลน้ำท่าตรวจวัดโดยกรมชลประทานในช่วงปี พ.ศ. 2540-2559

2.2.3 สถานการณ์ทรัพยากรน้ำและการจัดสรรน้ำ

ในปัจจุบันสถานการณ์ด้านทรัพยากรน้ำมีปัญหาเกิดขึ้นมากและรุนแรงขึ้นโดยลำดับ เนื่องจากความเจริญเติบโตของประเทศที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างสิ้นเปลือง ทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วม น้ำแล้ง ดินถล่ม และการเกิดปัญหาด้านคุณภาพน้ำในพื้นที่ชุมชนเมือง พื้นที่อุตสาหกรรม และพื้นที่เกษตร โดยสรุปประเด็นปัญหา (ประเมินตามสภาวะปัจจุบัน) ในด้านต่างๆ มีดังนี้

1) พื้นที่ดำเนินการศึกษาของโครงการมีศักยภาพด้านทรัพยากรน้ำผิวดินมาก แต่ในลุ่มน้ำยมไม่มีแหล่งกักเก็บน้ำขนาดใหญ่ แนวโน้มด้านทรัพยากรน้ำมีความผันแปรสูง ความต้องการน้ำโดยส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 70 เพื่อการเกษตรกรรมและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

2) พื้นที่ต้นน้ำลำธารเสื่อมโทรม (ลุ่มน้ำยมและน่านตอนบน) จากการทำลายป่าต้นน้ำลำธาร เป็นเหตุให้พื้นที่ต้นน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดน้ำไม่มีป่าดูดซับน้ำหรือชะลอน้ำฝนให้ซึมลงไปเก็บกักไว้ในช่องว่างของดินได้มากเหมือนแต่ก่อน ต้นน้ำลำธารจึงไม่มีน้ำหล่อเลี้ยงลำน้ำในช่วงฤดูแล้ง

3) การบุกรุกแหล่งธรรมชาติเพื่อการเกษตรและที่อยู่อาศัยของชุมชน ทำให้ขาดแหล่งเก็บกักน้ำในการที่จะช่วยบรรเทาปัญหาน้ำท่วม เป็นแหล่งน้ำอุปโภคบริโภคและการเกษตรของชุมชน การปลูกบ้านเรือนกีดขวางทางน้ำทำให้เกิดอุทกภัยที่ทำให้เกิดความรุนแรงและเสียหายเป็นอันมาก

4) การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมของโลก ส่งผลทำให้เกิดความแห้งแล้งและบางปีฝนตกมากจนเกิดอุทกภัยรุนแรงทุกพื้นที่ในประเทศ

5) การขาดการจัดระเบียบและการกำหนดเขตการใช้ที่ดินประเภทต่างๆ (Zoning) ที่ชัดเจน เพื่อกำหนดกรอบการเจริญเติบโตที่เหมาะสม ทั้งพื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่อุตสาหกรรม พื้นที่อนุรักษ์ ส่งผลให้เกิดปัญหาการจราจร ปัญหามลภาวะจากโรงงานอุตสาหกรรม ปัญหาน้ำท่วม ปัญหาสภาวะแวดล้อมเสื่อมโทรม ปัญหาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

6) องค์กรบริหารจัดการทรัพยากรน้ำมีหน่วยงานเกี่ยวข้อง หลายหน่วยงานขาดเอกภาพและการบริหารจัดการร่วมกันแบบบูรณาการ ไม่มีหน่วยงานใดรับผิดชอบกำหนดทิศทางการบริหารจัดการให้เป็นเอกภาพและมีกรอบแผนที่ชัดเจน

7) กระบวนการจัดการที่ยังขาดประสิทธิภาพ ขาดองค์กรหลักในการกำหนดและประสานงานเพื่อให้มีการแก้ไขปัญหาแบบบูรณาการ เช่น การจัดสรรน้ำ การจัดหาน้ำเพื่อแก้ปัญหาภัยแล้ง การแก้ปัญหาอุทกภัยและปัญหาน้ำเสีย เป็นต้น

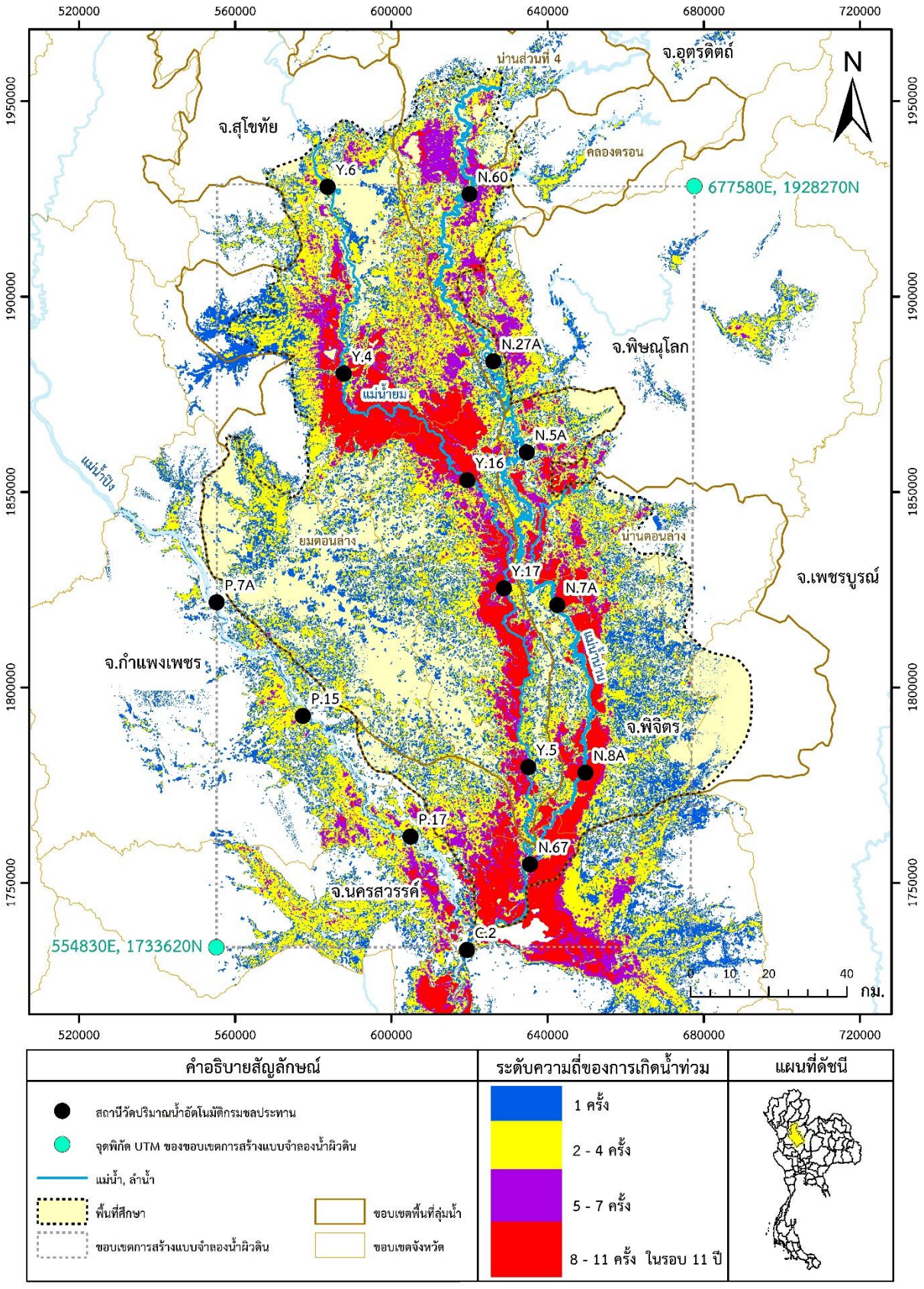
8) ปัญหาด้านกฎหมาย เนื่องมาจากบทบัญญัติของกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการใช้และอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างกระจัดกระจาย กฎหมายบางฉบับเกี่ยวข้องกับเรื่องน้ำโดยตรง แต่บางฉบับไม่ค่อยเกี่ยวข้องมากนัก จึงทำให้เกิดปัญหาและอุปสรรคทางกฎหมาย เป็นเหตุให้การจัดการทรัพยากรน้ำไม่บรรลุความสำเร็จตามเป้าหมาย

9) ขาดการวางแผนและการพัฒนาพื้นที่อย่างบูรณาการ การพัฒนาที่ผ่านมาขาดการบูรณาการแบบองค์รวม ทั้งความร่วมมือและการประสานงานระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนารวมทั้งกลุ่มจังหวัดในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากในแต่ละพื้นที่คำนึงถึงผลประโยชน์ของตนเอง ทำให้การพัฒนาโดยองค์รวมขาดความเชื่อมโยงและไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

สรุปว่าในการแก้ไขปัญหาด้านทรัพยากรน้ำทั้งในด้านน้ำแล้ง น้ำท่วม คุณภาพน้ำและการบริหารจัดการนั้น นอกจากมีข้อจำกัดด้านปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่อาจทำให้เกิดฝนตกรุนแรงหรือฝนตกน้อยกว่าปกติในบางปี ซึ่งทำให้เกิดปัญหาทรัพยากรน้ำในส่วนของการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่โครงการที่เป็นปัญหาเรื้อรัง คือ อุทกภัยกับภัยแล้ง ควรพิจารณาดังนี้

ด้านอุทกภัย ปัญหาอุทกภัยในพื้นที่เขตเศรษฐกิจชุมชนเมืองที่สำคัญ พื้นที่เกษตรกรรม รวมทั้งปัญหาน้ำหลากที่ก่อให้เกิดความเสียหายเป็นอันมาก (รูปที่ 2.2.3-1) มีแนวทางและมาตรการที่สำคัญในการแก้ไขปัญหาดังนี้

- การป้องกันและฟื้นฟูสภาพป่าให้คงสภาพนิเวศป่าให้สมบูรณ์ ซึ่งควรดำเนินการในพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบน เพื่อรักษาสภาพของพื้นที่ต้นน้ำลำธาร
- การฟื้นฟูแหล่งน้ำ ทางน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำ
- การพัฒนา ปรับปรุง แหล่งน้ำ ระบบระบายน้ำและโครงข่ายผันน้ำ (รูปที่ 2.2.3-2)
- การจัดการด้านการใช้ที่ดินและการป้องกันน้ำท่วมพื้นที่เศรษฐกิจที่สำคัญ
- การปรับปรุงรูปแบบการเกษตรและการใช้พื้นที่การเกษตรเป็นพื้นที่รับน้ำนอง (ปัจจุบันเริ่มดำเนินการและเริ่มเห็นผลเป็นรูปธรรมในกรณีของปี พ.ศ. 2560)
- การปรับปรุงพันธุ์พืชและช่วงเวลาการเพาะปลูก



รูปที่ 2.2.3-1 พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากในเขตพื้นที่ศึกษา

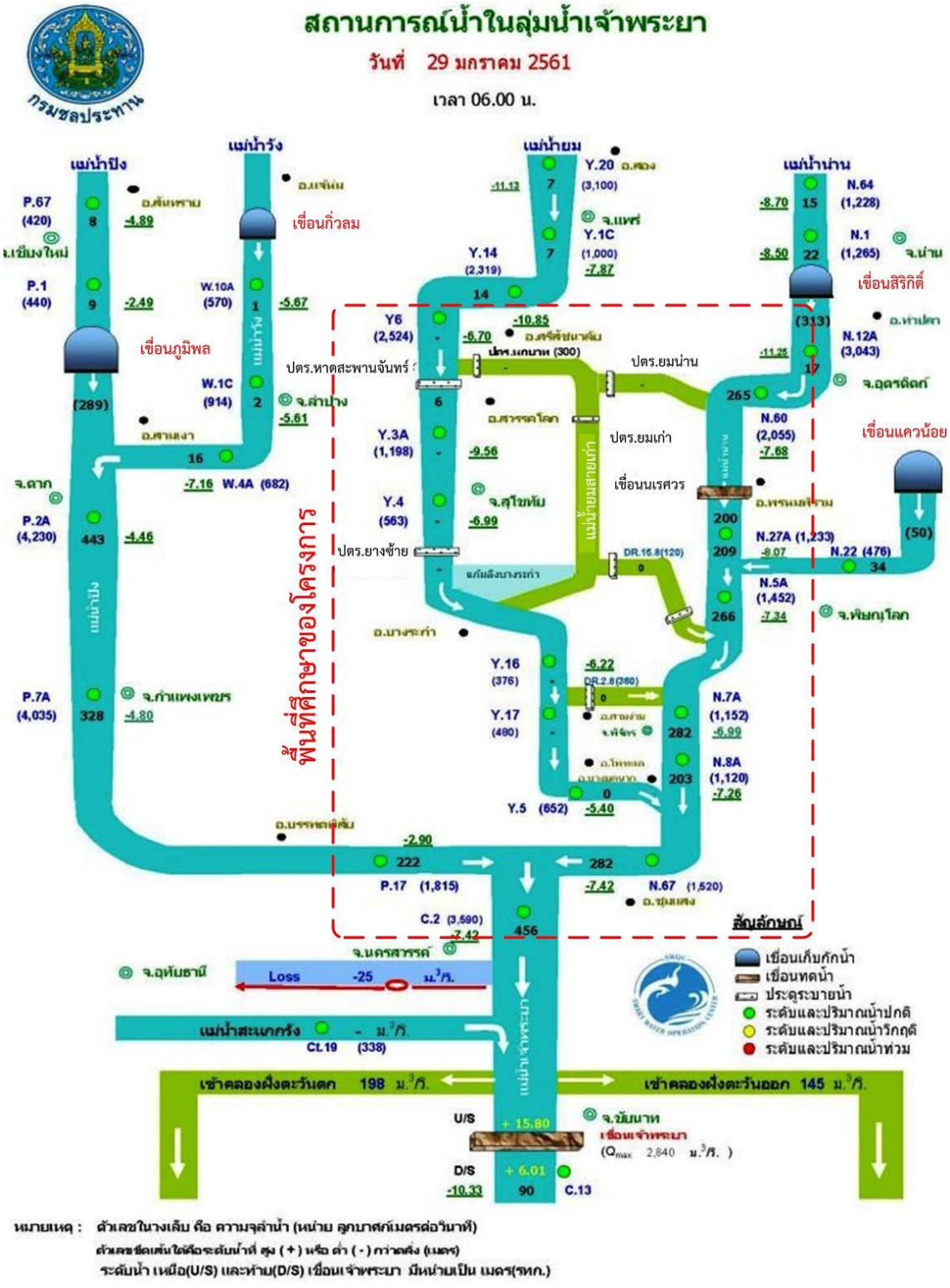
ด้านภัยแล้ง ปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค การท่องเที่ยว อุตสาหกรรมและการเกษตร มีแนวทางและมาตรการสำคัญที่ควรพิจารณาในการแก้ไขปัญหา ดังนี้

- การจัดหาน้ำสะอาดเพื่อการอุปโภคบริโภค ในระดับหมู่บ้านอย่างทั่วถึงและเพียงพอ (เช่น โครงการน้ำดื่มชุมชนและโรงเรียนของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล)
- การอนุรักษ์ฟื้นฟูป่าต้นน้ำ
- การปรับปรุงระบบชลประทานขนาดใหญ่และขนาดกลาง
- การจัดหาและพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลางและขนาดใหญ่เพื่อเก็บกักน้ำสำหรับการอุปโภคบริโภคในชุมชนเมืองขนาดใหญ่ รวมทั้งน้ำเพื่อการท่องเที่ยว
- การจัดหาและพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและการท่องเที่ยวในพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวทางภาคใต้ (เช่น ทุ่งทะเลหลวง แก้มลิงบางระกำ เป็นต้น)
- การเติมน้ำบาดาลในฤดูน้ำหลากเพื่อสูบใช้ในฤดูแล้ง
- การเพิ่มปริมาณน้ำต้นทุนในลุ่มน้ำหรือการบริหารจัดการน้ำผิวดินร่วมกับน้ำบาดาล

ตารางที่ 2.2.3-1 แหล่งน้ำผิวดินขนาดใหญ่ที่มีอธิพลต่อทรัพยากรน้ำในพื้นที่ศึกษา

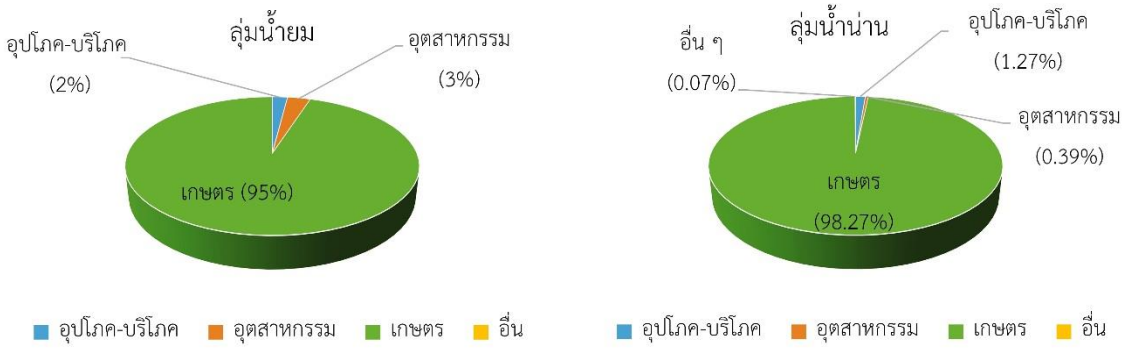
อ่างเก็บน้ำ	พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)	ปริมาณน้ำท่าเข้าอ่างเก็บน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)	ระดับเก็บกักปกติ (ม.รทก.)	พื้นที่ผิวน้ำ (ตร.กม.)	ความจุอ่างเก็บน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)			ความจุใช้งานต่อปริมาณน้ำท่า	ก่อสร้างแล้วเสร็จ (พ.ศ.)	หน่วยงานรับผิดชอบ
					ที่ระดับเก็บกักปกติ	ที่ระดับเก็บกักต่ำสุด	ใช้งานได้			
1. ภูมิพล	26,386	5,398.00	+260.00	316.00	13,462.00	3,800.00	9,662.00	1.79	2507	กฟผ.
2. สิริกิติ์	13,130	5,453.00	+162.00	260.00	9,510.00	2,850.00	6,660.00	1.22	2514	กฟผ.

ถึงแม้พื้นที่ศึกษาของโครงการจะไม่มีเขื่อนขนาดใหญ่ตั้งอยู่ในลำน้ำสายหลักและอยู่ในกรอบพื้นที่ศึกษา แต่การบริหารจัดการน้ำของเขื่อนภูมิพล (แม่น้ำปิง) และเขื่อนสิริกิติ์ (แม่น้ำน่าน) ซึ่งมีความจุเก็บกักใช้การรวมประมาณ 16,322 ล้านลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 2.2.3-1) ด้วยความจุเก็บกักข้างต้นและการบริหารจัดการน้ำของเขื่อนทั้งสอง จึงทำให้บางพื้นที่บางส่วน (พื้นที่ชลประทานในลุ่มน้ำปิงและน่าน) ได้รับผลประโยชน์เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ผิดกับลุ่มน้ำยมที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ในลุ่มน้ำ ดังนั้นปัญหาภัยแล้งจึงเกิดขึ้นเกือบทุกปี



รูปที่ 2.2.3-2 โครงข่ายผันน้ำระหว่างแม่น้ำยมและน่านในปัจจุบัน

ในด้านของการใช้น้ำในภาพรวม (รูปที่ 2.2.3-3) จากข้อมูลของกรมทรัพยากรน้ำ พบว่าการใช้น้ำส่วนใหญ่ในลุ่มน้ำกว่าร้อยละ 95 เป็นสัดส่วนสำหรับประกอบการเกษตร ส่วนปริมาณน้ำที่เหลือจะจัดสรรสำหรับการอุปโภค-บริโภค การอุตสาหกรรม รักษาระบบนิเวศ ท่องเที่ยว เป็นต้น อย่างไรก็ตามตัวเลขข้างต้นเป็นการใช้น้ำผิวดิน ส่วนการใช้น้ำบาดาลซึ่งจากการสำรวจพื้นที่ศึกษาพบว่า มีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เพื่อทำนาปรังรวมถึงการอุปโภค-บริโภคในหลายพื้นที่แต่ยังไม่ทราบปริมาณที่แน่ชัด ทั้งนั้นการศึกษาของโครงการนี้จะได้ประเมินสัดส่วนการใช้น้ำบาดาลด้วย



รูปที่ 2.2.3-3 สัดส่วนการใช้น้ำผิวดินในแต่ละภาคส่วนในลุ่มน้ำยมและน่าน

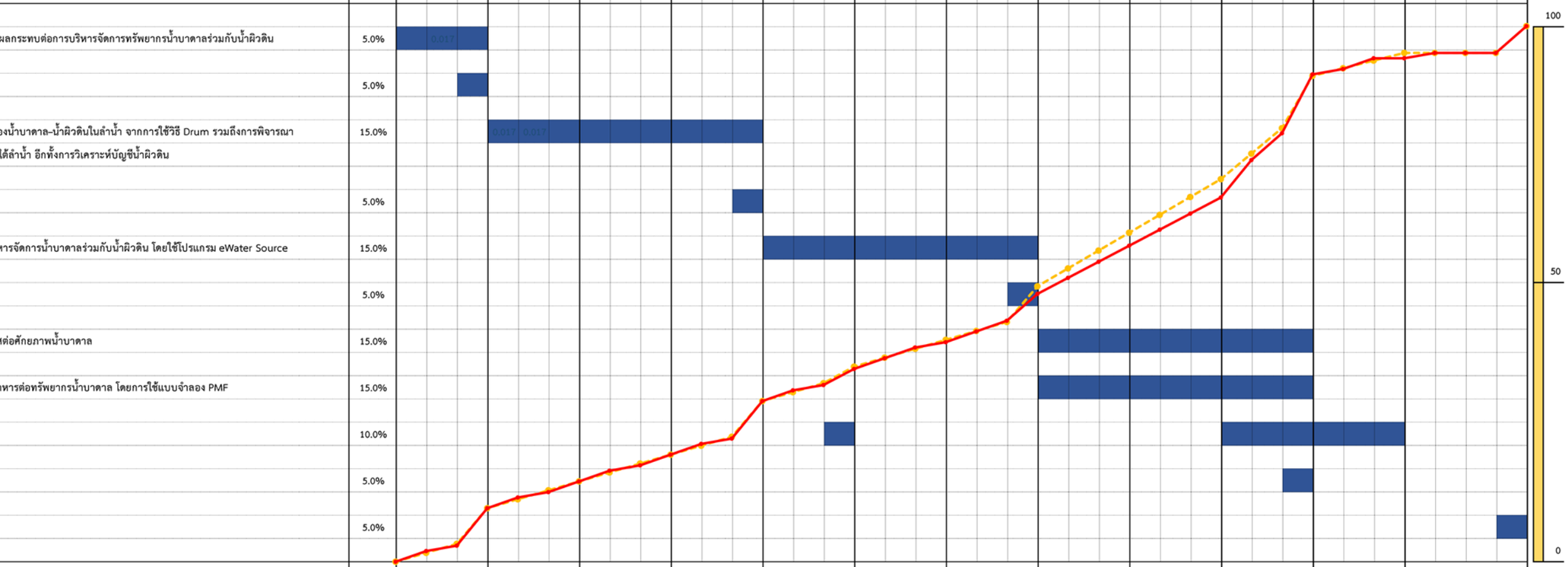
บทที่ 3
วิธีและขั้นตอนการดำเนินการ
และผลการดำเนินโครงการ

บทที่ 3
วิธีและขั้นตอนการดำเนินการ และผลการดำเนินโครงการ

3.1 สถานการณ์ดำเนินโครงการ

เส้นโค้งงานสะสมและตารางการดำเนินงานโครงการ (Gantt Chart) ในรูปที่ 3.1-1 แสดงงานสะสมที่ดำเนินการไปแล้วเป็นระยะเวลา 12 เดือน (11 สิงหาคม 2560–10 สิงหาคม 2561) ในปริมาณร้อยละ 100 ขณะที่ปริมาณงานสะสมตามเป้าหมายอยู่ที่ร้อยละ 100 เพราะฉะนั้นถือว่าการดำเนินงานโครงการศึกษาแล้วเสร็จสมบูรณ์

ลำดับ	กิจกรรม	ร้อยละงานกิจกรรม	ระยะเวลา 365 วัน (วันที่ 11 ส.ค. 2560 ถึง วันที่ 10 ส.ค. 2561)
			10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360 370
1	การวิเคราะห์ลักษณะและสภาพของปัจจัยแวดล้อมหลักที่มีผลกระทบต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน	5.0%	
2	นำส่งรายงานเบื้องต้น	5.0%	
3	การพัฒนาสร้างเครื่องมือตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล-น้ำผิวดินในลำน้ำ จากการใช้วิธี Drum รวมถึงการพิจารณาร่วมกับความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนที่บริเวณพื้นดินใต้ลำน้ำ อีกทั้งการวิเคราะห์บัญชีน้ำผิวดิน	15.0%	
4	นำส่งรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1	5.0%	
5	การพัฒนาสร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน โดยใช้โปรแกรม eWater Source	15.0%	
6	นำส่งรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 2	5.0%	
7	การประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อศักยภาพน้ำบาดาล	15.0%	
8	การศึกษาผลกระทบของมลพิษจำพวกโลหะหนักและสารอาหารต่อทรัพยากรน้ำบาดาล โดยการใช้แบบจำลอง PMF	15.0%	
9	การศึกษาเรื่องมวลชนสัมพันธ์และการมีส่วนร่วม	10.0%	
10	นำส่งร่างรายงานฉบับสมบูรณ์	5.0%	
11	นำส่งรายงานฉบับสมบูรณ์	5.0%	
	รวมร้อยละงาน	100%	2% 2% 7% 2% 2% 2% 2% 2% 2% 2% 2% 7% 2% 2% 3% 2% 2% 2% 2% 2% 7% 3% 3% 3% 3% 3% 3% 5% 5% 10% 1% 1% 1% 0% 0% 0% 5%
	รวมร้อยละงานสะสม (เป้าหมาย)	-	2% 3% 10% 12% 13% 15% 17% 18% 20% 22% 23% 30% 32% 33% 36% 38% 40% 41% 43% 45% 51% 55% 58% 61% 65% 68% 71% 76% 81% 91% 92% 94% 95% 95% 95% 95% 100%
	รวมร้อยละงานสะสม (ดำเนินการ)	-	2% 3% 10% 12% 13% 15% 17% 18% 20% 22% 23% 30% 32% 33% 36% 38% 40% 41% 43% 45% 50% 53% 56% 59% 62% 65% 68% 75% 80% 91% 92% 94% 94% 95% 95% 95% 100%



รูปที่ 3.1-1 เส้นโค้งงานสะสมและตารางการดำเนินงานโครงการ (Gantt Chart)

3.2 การประมาณการปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน และผลการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

3.2.1 (ก) วิธีกำไร–ขาดทุน (Gain-Loss Estimation Method) จากการทำบัญชีน้ำ

การประมาณการปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินภายในลำน้ำโดยวิธีกำไร–ขาดทุน (Gain-Loss Estimation Method) จากการทำบัญชีน้ำ ซึ่งจะพิจารณาจากจุดที่มีสถานีตรวจวัดอัตราการไหลบริเวณต้นน้ำถึงจุดที่มีสถานีตรวจวัดอัตราการไหลบริเวณปลายน้ำ (Bartolino, 2014) เพื่อตรวจสอบปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินรายสัปดาห์และรายฤดูกาล ขณะเดียวกันได้มีการกำหนดขอบเขตน้ำผิวดินด้านต้นน้ำ (Upstream Boundary) ในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึง (Inundated Agricultural Area) ของลุ่มน้ำยม–น่านตอนล่าง โดยจะถือเอาตั้งแต่สถานี Y6 ลำน้ำยม ตั้งอยู่ ณ อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย และสถานี N60 ลำน้ำน่าน ตั้งอยู่ ณ อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ลงมาจนถึงขอบเขตน้ำผิวดินด้านปลายน้ำ (Downstream Boundary) โดยจะถือเอาสถานี N67 ลำน้ำน่าน ตั้งอยู่ ณ อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ การประมาณการปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินโดยวิธีกำไร–ขาดทุน (Gain-Loss Estimation Method) ในรายงานฉบับนี้จะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าย้อนหลัง 21 ปี (ปี พ.ศ. 2538–2559) จากศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนล่างกรมชลประทาน

สมการคำนวณกำไร–ขาดทุน (Gain-Loss Estimation Method) ในที่นี้จะพิจารณาจากการวิเคราะห์หาผลผลิตของปริมาณน้ำท่า (กำไร) และการสูญหายของปริมาณน้ำท่า (ขาดทุน) ระหว่างสถานีปลายน้ำและต้นน้ำ ในหน่วยลูกบาศก์เมตร/วินาที แสดงได้ดังนี้

$$\Delta Q_{i+1,i} = Q_{i+1} - Q_i \qquad (3.2.1\text{-}1)$$

โดยที่

$\Delta Q_{i+1,i}$ = ค่ากำไร–ขาดทุนของค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่าระหว่างสถานีปลายน้ำ $i+1$ และสถานีต้นน้ำ i (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

Q_{i+1} = ค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่าณ สถานีปลายน้ำ $i+1$(ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

Q_i = ค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่าณ สถานีต้นน้ำ i (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

อีกทั้งยังสามารถคำนวณร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่าระหว่างสถานีปลายน้ำ $i+1$และ สถานีต้นน้ำ i ได้ดังนี้

$$\%\Delta Q_{i+1,i} = \frac{Q_{i+1} - Q_i}{Q_i} \times 100 \qquad (3.2.1\text{-}2)$$

3.2.1 (ข) ผลการดำเนินการวิธีกำไร–ขาดทุน (Gain-Loss Estimation Method) จากการทำบัญชีน้ำ

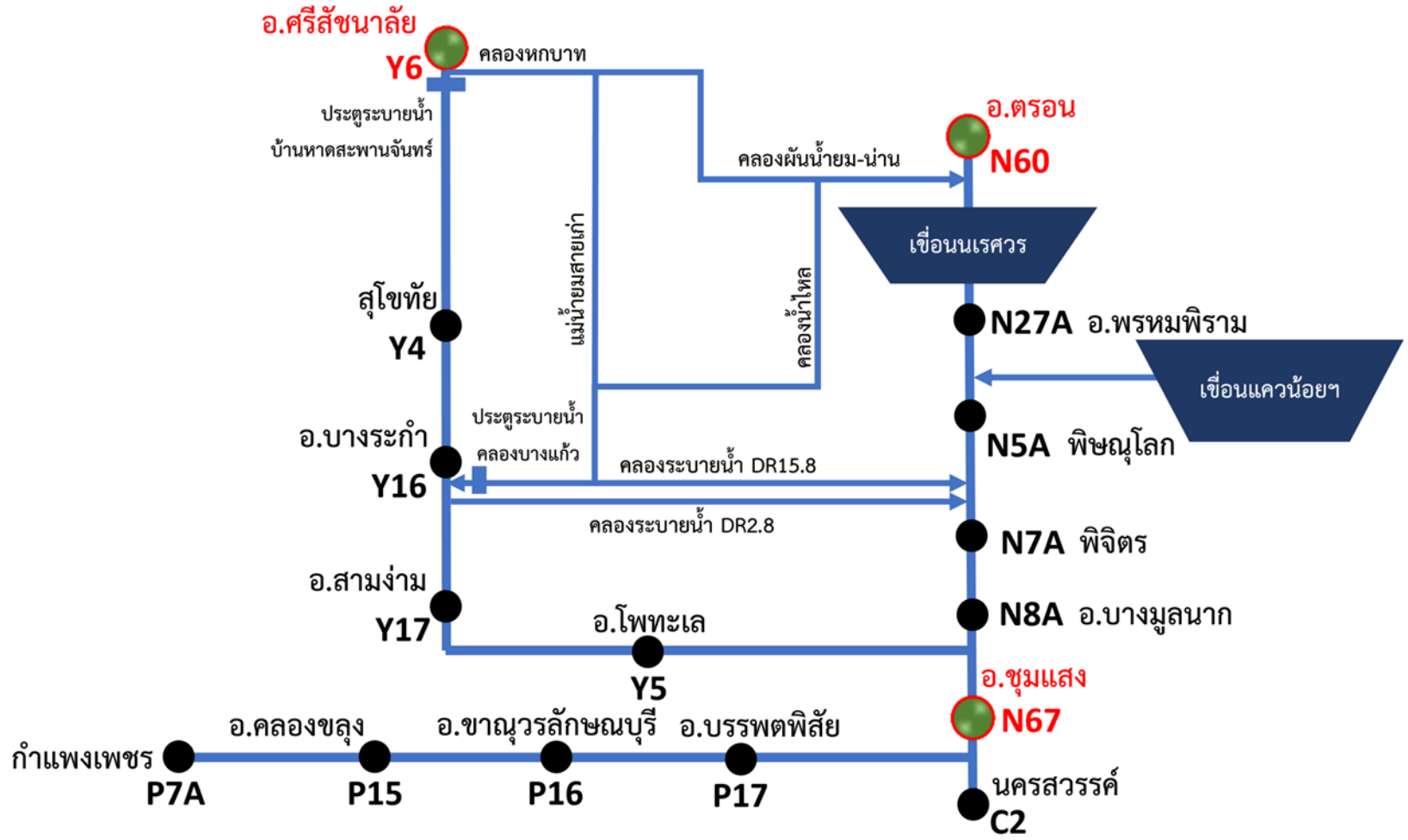
เมื่อพิจารณาร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่าระหว่างสถานี Y4–Y6 ($\%\Delta Q_{4,6}$), Y16–Y4 ($\%\Delta Q_{16,4}$), Y17–Y16 ($\%\Delta Q_{17,16}$), และ Y5–Y17 ($\%\Delta Q_{5,17}$) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2559 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 21 ปี (ตารางที่ 3.2.1-1; รูปที่ 3.2.1-1 และ 3.2.1-2) สามารถแสดงให้เห็นถึงการขาดทุนของปริมาณน้ำท่าระหว่างสถานี Y16–Y4 เป็นปริมาณถึงร้อยละ 37 (ธันวาคม) ร้อยละ 77 (มกราคม) 74 (กุมภาพันธ์) และ 81 (เมษายน) ซึ่งเป็นช่วงเข้าสู่ฤดูร้อน และเป็นจำนวนการขาดทุนที่ใกล้เคียงกัน (~25 ลูกบาศก์เมตร/วินาที) ทั้งยังสอดคล้องกับข้อมูลของระดับน้ำบาดาล (บ่อสังเกตการณ์ NT50/2, NT50/3, และ NT51) ในอดีตที่จะเริ่มลดลง จนกระทั่งต่ำกว่าระดับน้ำในลำน้ำยม (สถานี Y16) บริเวณพื้นที่อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก (ตารางที่ 3.2.1-2 และ รูปที่ 3.2.1-3) ในขณะที่เกิดการได้กำไรของปริมาณน้ำท่าระหว่างสถานี Y17–Y16 เป็นปริมาณถึงร้อยละ 168 (มกราคม) 376 (กุมภาพันธ์) และ 190 (มีนาคม) สาเหตุน่าจะมาจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาเพิ่มจากการผันน้ำผ่านแม่น้ำยมสายเก่าเหนือประตูระบายน้ำบ้านหาดสะพานจันทร์ ภาพรวมตลอดระยะเวลา 21 ปีที่ผ่านมา แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดการสูญเสียของน้ำในลำน้ำยมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลโดยเฉพาะลำน้ำยมบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ลงมาจนถึงอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ในช่วงเดือนธันวาคม–กุมภาพันธ์ และเดือนเมษายน ซึ่งน้ำในลำน้ำยมจะมีปริมาณไม่มากนัก และเกษตรกรมักนิยมสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้มากกว่าสูบน้ำจากลำน้ำโดยตรง ทั้งนี้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่ารายสัปดาห์ ณ สถานี Y6, Y4, Y16, Y17, และ Y5 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2559 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 21 ปี (ตารางที่ 3.2.1-3) แสดงภาพรวมที่คล้ายคลึงกัน

ส่วนลำน้ำน่านมีเขื่อนขนาดใหญ่ คือ เขื่อนสิริกิติ์ เป็นเครื่องมือหลักในการบริหารจัดการ และมีความจุ 9,510 ล้านลูกบาศก์เมตร อีกทั้งยังมีเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนที่มีความจุ 939 ล้านลูกบาศก์เมตร เนื่องจากมีน้ำต้นทุนอยู่ทำให้สามารถรักษาระดับน้ำในลำน้ำไว้ได้ในช่วงหลายเดือนและจะลดระดับลงเพียงไม่กี่เดือน (ตุลาคม และ พฤศจิกายน) เท่านั้น (รูปที่ 3.2.1-4) ทำให้การประมาณการปริมาณการแลกเปลี่ยนในลำน้ำไม่เห็นภาพที่ชัดเจนนัก การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่าระหว่างสถานี N27A–N60 ($\%\Delta Q_{27A,60}$), N5A–N27A ($\%\Delta Q_{5A,27A}$), N7A–N5A ($\%\Delta Q_{7A,5A}$), และ N8A–N7A ($\%\Delta Q_{8A,7A}$) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2559 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 21 ปี (ตารางที่ 3.2.1-4; รูปที่ 3.2.1-1 และ 3.2.1-5) เป็นที่น่าสังเกตได้จากการได้กำไรของปริมาณน้ำท่าระหว่างสถานี N5A–N27A ทั้ง 12 เดือน ซึ่งมีเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนฯตั้งอยู่ ในขณะที่เกิดการขาดทุนของปริมาณน้ำท่าระหว่างสถานี N27A–N60 เกือบทุกเดือน ยกเว้นเดือนตุลาคม เพราะมีเขื่อนนเรศวรซึ่งทำหน้าที่ทดน้ำในลำน้ำน่าน

เมื่อพิจารณาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่าระหว่างสถานี N8A–N7A ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่มีอาคารชลศาสตร์ขนาดใหญ่ตั้งอยู่ ในช่วงเดือนธันวาคม–เมษายน ปรากฏว่ามีปริมาณการขาดทุนของปริมาณน้ำท่าประมาณร้อยละ 21 และเป็นจำนวนการขาดทุนที่ใกล้เคียงกัน (~50 ลูกบาศก์เมตร/วินาที) ภาพรวมตลอดระยะเวลา 21 ปีที่ผ่านมา แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดการสูญเสียของน้ำในลำน้ำน่านลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยเฉพาะลำน้ำน่านบริเวณจังหวัดพิจิตร ตั้งแต่อำเภอเมืองพิจิตรลงมาจนถึงอำเภอบางมูลนาก

ทั้งนี้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่ารายสัปดาห์ ณ สถานี N60, N27A, N5A, N7A, และ N8A ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2559 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 21 ปี (ตารางที่ 3.2.1-5) แสดงภาพรวมที่คล้ายคลึงกันทั้งนี้ กล่าวโดยสรุปได้ว่า การประมาณการการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาล–น้ำผิวดินโดยวิธีกำไร–ขาดทุน (Gain-Loss Estimation Method) จากการทำบัญชีน้ำในพื้นที่ศึกษาแสดงให้เห็นถึง

1) การสูญเสียของน้ำในลำน้ำยมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลโดยเฉพาะลำน้ำยมบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ลงมาจนถึงอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ในช่วงเดือนธันวาคม–กุมภาพันธ์ และเดือนเมษายน
2) การสูญเสียของน้ำในลำน้ำน่านลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยเฉพาะลำน้ำน่าน บริเวณจังหวัดพิจิตรตั้งแต่อำเภอเมืองพิจิตรลงมาจนถึงอำเภอบางมูลนาก
3) มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำท่าที่เพิ่มขึ้นในบางพื้นที่ของลำน้ำยม แต่ยังไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าน้ำบาดาลมาเติมน้ำในลำน้ำยม เนื่องจากมีปัจจัยอื่นที่มาเกี่ยวข้อง ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาเพิ่มจากการผันน้ำผ่านแม่น้ำยมสายเก่าเหนือประตูระบายน้ำบ้านหาดสะพานจันทร์
4) มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำท่าที่เพิ่มขึ้นในบางพื้นที่ของลำน้ำน่าน แต่ยังไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าน้ำบาดาลมาเติมน้ำในลำน้ำน่าน เนื่องจากมีปัจจัยอื่นที่มาเกี่ยวข้อง ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาเพิ่มจากการปล่อยน้ำของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนฯ
5) การสูญเสียของน้ำในลำน้ำน่านลงสู่ชั้นน้ำบาดาลมีปริมาณมากเป็น 2 เท่าของการสูญเสียของน้ำในลำน้ำยมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล



รูปที่ 3.2.1-1 ผังน้ำในพื้นที่ศึกษาแสดงตำแหน่งของสถานี Y6, N60, N67,และ C2 ของสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน

ตารางที่ 3.2.1-1 ค่าเฉลี่ยรวมของน้ำท่าของฝั่งแม่น้ำยม ณ สถานี Y6, Y4, Y16, Y17, และ Y5 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2559 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 21 ปี

สถานี	ค่าเฉลี่ยรวมของน้ำท่า (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)												หมายเหตุ
	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	
Y6	10.8	60.1	61.7	77.6	260	402	183	81.2	37.6	19.0	6.06	5.57	–
Y4	36.2	120	71.2	106	240	313	205	120	89.3	33.6	14.6	6.16	–
Y16	7.02	50.3	109	100	190	441	512	237	56.3	7.58	3.83	10.0	–
Y17	13.7	66.3	108	102	180	386	429	202	59.9	20.3	18.2	29.0	–
Y5	49.3	86.1	112	113	209	529	603	294	84.3	33.5	34.4	48.6	–

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่าระหว่างสถานี Y16–Y4 ($\%\Delta Q_{16,4}$) :

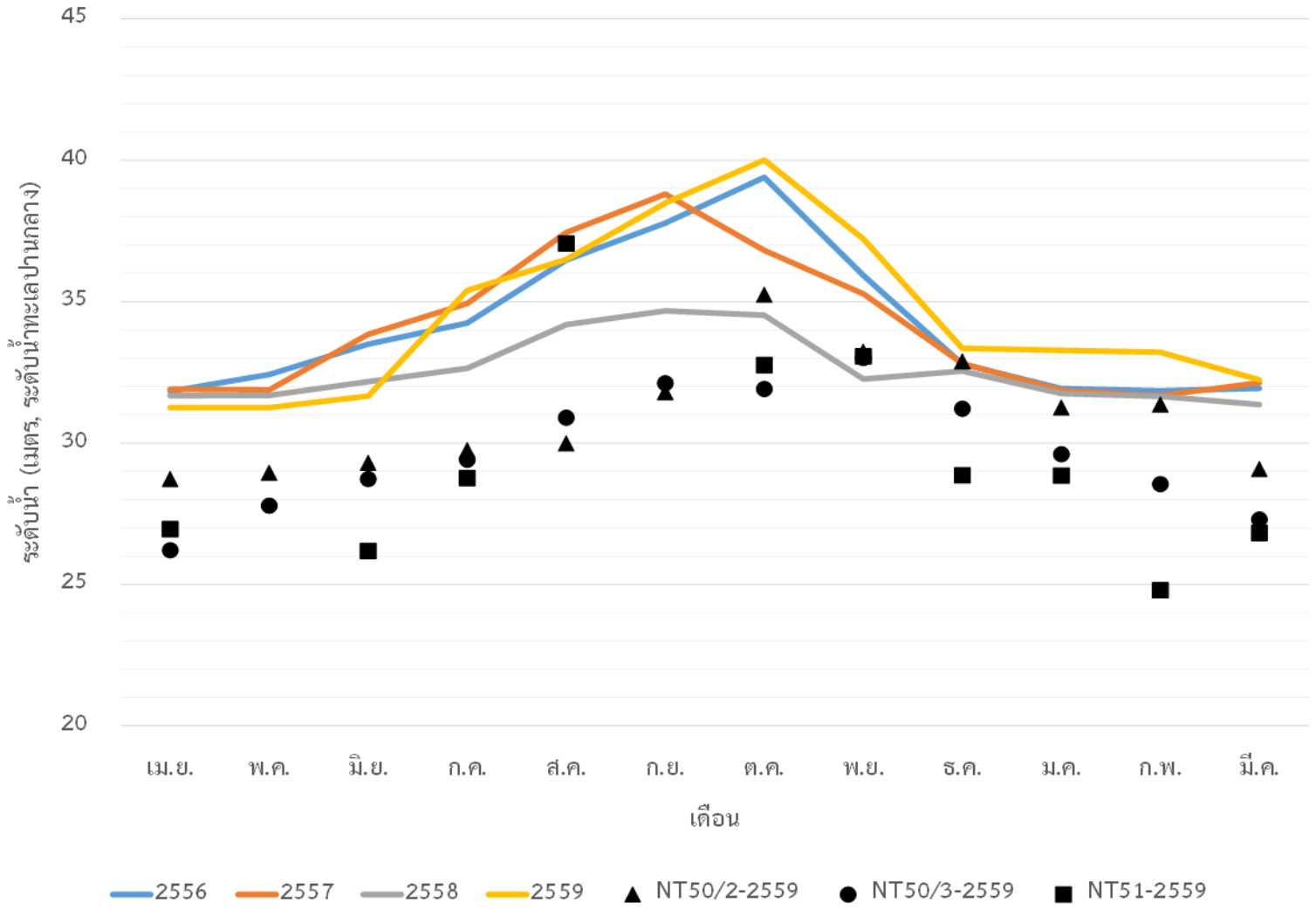
$\%\Delta Q_{16,4}$(ธันวาคม) = [(56.3 – 89.3) x 100] / 89.3 = 37%

$\%\Delta Q_{16,4}$(มกราคม) = [(7.58 – 33.6) x 100] / 33.6 = 77%

$\%\Delta Q_{16,4}$(กุมภาพันธ์) = [(3.83 – 14.6) x 100] / 14.6 = 74%

$\%\Delta Q_{16,4}$(เมษายน) = [(7.02 – 36.2) x 100] / 36.2 = 81%

รูปที่ 3.2.1-2 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยรวมของน้ำท่าระหว่างสถานี Y4–Y6, Y16–Y4, Y17–Y16, และ Y5–Y17 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2559 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 21 ปี



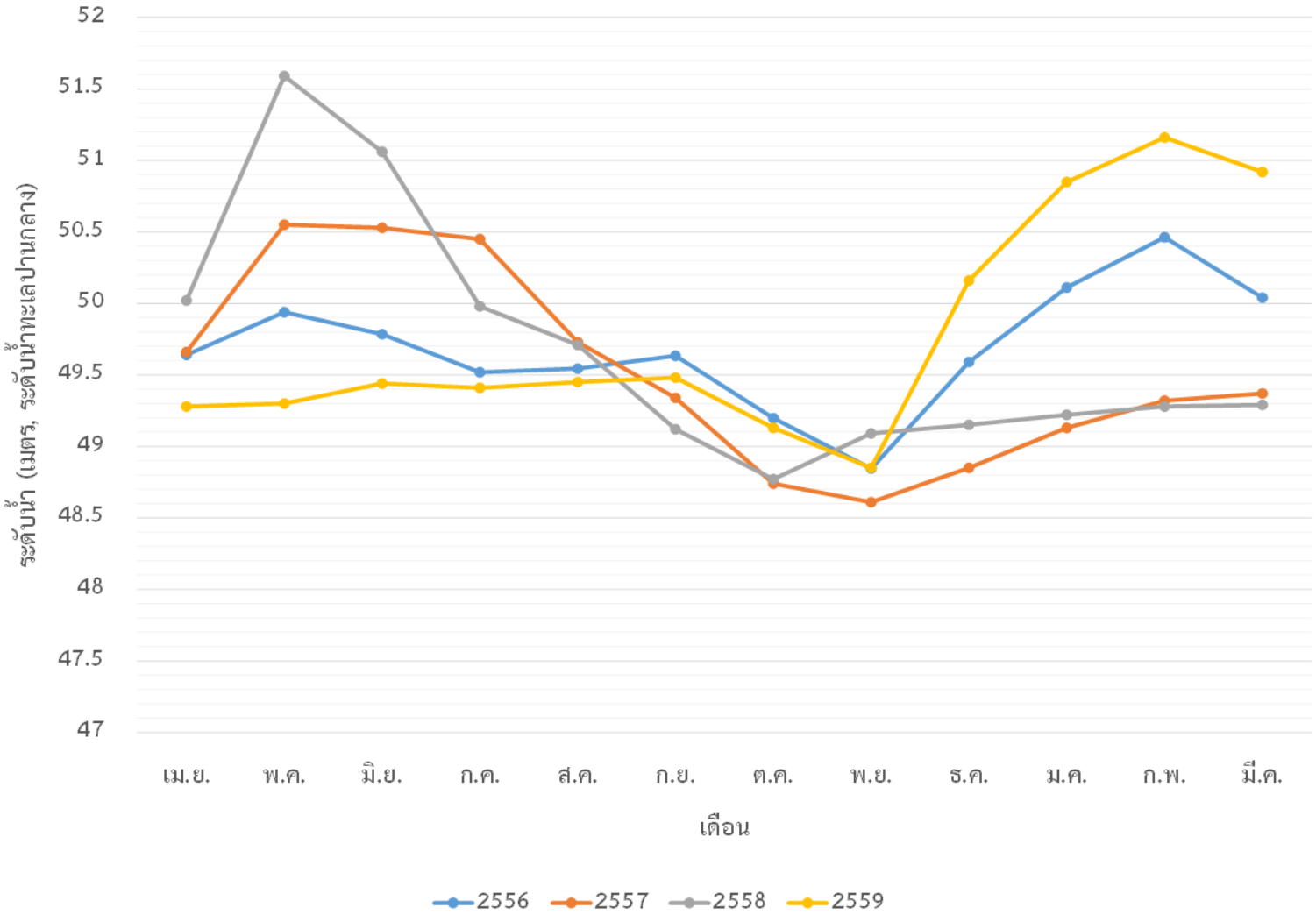
รูปที่ 3.2.1-3 ระดับน้ำในลำน้ำยมของสถานี Y16 อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556–2559 และระดับน้ำบาดาลในบ่อสังเกตการณ์ NT50/2, NT50/3, และ NT51 อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลกปี พ.ศ. 255

ตารางที่ 3.2.1-2 ข้อมูลระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์ สถานี NT50/2, NT50/3, และ NT51 ปี พ.ศ. 2559

สถานี	หมายเลขบ่อ	สถานที่	ความลึกบ่อ (เมตร)	เดือนที่ตรวจวัด	ระดับน้ำ (เมตร, ระดับน้ำทะเลปานกลาง)
NT50/2	GWA128	วัดแดน ตำบลชุมแสงสงคราม อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก	161	เมษายน	28.7
				พฤษภาคม	29.0
				มิถุนายน	29.3
				กรกฎาคม	29.8
				สิงหาคม	30.0
				กันยายน	31.8
				ตุลาคม	35.3
				พฤศจิกายน	33.2
				ธันวาคม	32.9
				มกราคม	31.3
				กุมภาพันธ์	31.4
				มีนาคม	29.1
NT50/3	GWA129	วัดแดน ตำบลชุมแสงสงคราม อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก	65	เมษายน	26.2
				พฤษภาคม	27.8
				มิถุนายน	28.7
				กรกฎาคม	29.4
				สิงหาคม	30.9
				กันยายน	32.1
				ตุลาคม	31.9
				พฤศจิกายน	33.0
				ธันวาคม	31.2
				มกราคม	29.6
				กุมภาพันธ์	28.6
				มีนาคม	27.3
NT51	จุฬา	วัดพันเสา ตำบลพันเสา อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก	80	เมษายน	27.0
				พฤษภาคม	–
				มิถุนายน	26.2
				กรกฎาคม	28.8
				สิงหาคม	37.1
				กันยายน	–
				ตุลาคม	32.8
				พฤศจิกายน	33.1
				ธันวาคม	28.9
				มกราคม	28.9
				กุมภาพันธ์	24.8
				มีนาคม	26.8

ตารางที่ 3.2.1-3 ค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่ารายสัปดาห์ของฝั่งแม่น้ำยม ณ สถานี Y6, Y4, Y16, Y17, และ Y5 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2559 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 21 ปี

สถานี–สัปดาห์	ค่าเฉลี่ยรวมของน้ำท่า (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)												หมายเหตุ
	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	
Y6–1	6.53	34.1	67.7	59.4	281	382	258	119	48.1	30.3	6.22	3.25	–
Y6–2	8.11	41.6	67.3	67.0	198	390	245	95.7	47.5	20.8	6.74	3.56	–
Y6–3	12.1	58.9	70.9	59.8	275	489	182	79.5	38.2	22.5	6.59	7.90	–
Y6–4	12.7	101	44.4	79.5	266	394	132	63.5	31.5	14.7	5.26	6.53	–
Y6–5	13.5	52.2	62.7	117	287	321	118	58.8	25.1	9.82	5.13	5.79	–
Y4–1	20.4	58.8	95.6	96.2	187	320	227	114	97.7	47.1	13.6	8.29	–
Y4–2	18.6	112	92.9	82.3	175	289	259	140	101	55.0	17.0	4.88	–
Y4–3	25.5	142	70.8	95.8	235	358	235	126	95.7	26.8	16.5	1.95	–
Y4–4	50.9	132	37.6	121	279	321	162	110	86.0	21.3	13.4	11.0	–
Y4–5	57.7	110	74.3	128	337	271	138	94.5	70.8	21.5	11.1	6.35	–
Y16–1	5.81	17.9	91.4	68.6	150	280	529	350	98.0	11.9	4.37	6.02	–
Y16–2	4.25	35.6	118	96.9	140	343	595	282	78.2	8.88	3.61	6.43	–
Y16–3	5.58	43.3	117	105	182	421	558	246	55.7	6.97	3.22	13.2	–
Y16–4	6.29	67.9	114	98	227	522	457	187	33.2	5.63	3.11	13.6	–
Y16–5	14.0	69.1	94.1	114	243	630	393	133	19.0	5.98	5.60	9.44	–
Y17–1	17.0	27.0	90.7	83.9	141	254	424	295	87.9	22.8	17.1	20.7	–
Y17–2	10.2	59.9	108	103	141	294	480	234	82.4	20.6	18.4	27.3	–
Y17–3	11.1	63.4	114	102	174	362	465	204	56.4	22.9	17.9	33.4	–
Y17–4	12.0	80.7	115	96.0	213	462	381	170	40.2	17.9	16.6	34.9	–
Y17–5	21.7	78.2	103	111	221	551	345	122	30.0	16.8	21.2	24.9	–
Y5–1	36.7	62.9	136	93.8	165	414	448	454	131	27.0	21.5	26.1	–
Y5–2	35.9	68.9	118	105	156	414	658	351	114	28.3	34.8	45.9	–
Y5–3	46.2	87.8	106	106	180	522	670	280	86.6	33.0	39.4	62.4	–
Y5–4	53.5	98.7	106	110	265	616	611	212	57.9	43.8	34.1	63.0	–
Y5–5	62.7	116	110	139	272	665	553	180	44.6	36.7	43.0	34.4	–



รูปที่ 3.2.1-4 ระดับน้ำเฉลี่ยรายเดือนของสถานี N60 ลำน้ำน่าน อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556–2559

ตารางที่ 3.2.1-4 ค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่า ณ สถานี N60, N27A, N5A, N7A, และ N8A ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2559 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 21 ปี

สถานี	ค่าเฉลี่ยรวมของน้ำท่า (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)												หมายเหตุ
	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	
N60	299	266	215	201	286	349	179	163	219	289	349	329	–
N27A	181	178	153	129	221	352	178	112	130	158	198	190	–
N5A	204	216	207	196	331	523	309	166	159	176	220	211	–
N7A	233	262	304	325	498	816	659	304	221	241	272	246	–
N8A	185	222	280	302	473	807	717	358	179	188	214	196	–

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่าระหว่างสถานีN8A–N7A ($\%\Delta Q_{8A,7A}$) :

$\%\Delta Q_{8A,7A}$ (ธันวาคม) = [(179 – 221) x 100] / 221 = 19%

$\%\Delta Q_{8A,7A}$ (มกราคม) = [(188 – 241) x 100] / 241 = 22%

$\%\Delta Q_{8A,7A}$ (กุมภาพันธ์) = [(214 – 272) x 100] / 272 = 21%

$\%\Delta Q_{8A,7A}$(มีนาคม) = [(196 – 246) x 100] / 246 = 20%

$\%\Delta Q_{8A,7A}$ (เมษายน) = [(185 – 233) x 100] / 233 = 21%

รูปที่ 3.2.1-5 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่าระหว่างสถานี N27A–N60, N5A–N27A, N7A–N5A, และ N8A–N7A ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2559 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 21 ปี

ตารางที่ 3.2.1-5 ค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณน้ำท่ารายสัปดาห์ของฝั่งลำน้ำน่าน ณ สถานี N60, N27A, N5A, N7A, และ N8A ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538–2559 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 21 ปี

สถานี–สัปดาห์	ค่าเฉลี่ยรวมของน้ำท่า(ลูกบาศก์เมตร/วินาที)												หมายเหตุ
	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	
N60–1	312	326	219	221	278	324	185	158	185	232	342	359	–
N60–2	304	272	223	217	249	380	214	150	194	276	341	347	–
N60–3	301	255	216	201	287	367	184	163	233	288	352	331	–
N60–4	297	269	212	178	314	342	148	166	238	307	360	308	–
N60–5	283	235	207	194	301	314	154	184	239	315	341	312	–
N27A–1	188	206	152	142	189	291	211	129	115	135	200	211	–
N27A–2	182	181	158	147	175	338	229	106	118	156	192	202	–
N27A–3	181	171	153	129	224	380	187	110	137	155	199	194	–
N27A–4	183	188	154	110	253	368	128	107	141	165	205	175	–
N27A–5	174	158	147	119	261	362	129	117	137	168	192	179	–
N5A–1	213	240	200	194	275	403	379	215	144	149	222	234	–
N5A–2	204	218	210	212	271	490	391	168	154	177	214	221	–
N5A–3	200	213	210	193	327	555	326	166	168	173	218	213	–
N5A–4	204	226	211	176	376	556	229	151	167	180	229	196	–
N5A–5	199	195	203	203	401	574	217	149	162	188	217	199	–
N7A–1	235	263	281	249	440	562	827	474	175	216	279	275	–
N7A–2	235	264	284	318	422	684	772	359	212	245	276	258	–
N7A–3	231	257	315	320	501	872	661	298	229	239	268	251	–
N7A–4	228	281	327	324	544	922	531	232	238	239	272	227	–
N7A–5	236	244	308	376	580	986	514	204	236	248	264	224	–
N8A–1	185	203	249	238	426	546	834	544	167	163	215	219	–
N8A–2	185	217	250	285	398	668	830	432	175	189	214	205	–
N8A–3	185	221	285	302	472	844	721	367	182	191	215	199	–
N8A–4	182	247	313	304	530	931	612	275	185	187	215	187	–
N8A–5	191	214	297	352	532	996	591	213	184	193	208	177	–

3.2.2 (ก) วิธีการตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum

3.2.2 (ก1) การพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum

การจัดทำเครื่องมือตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum จำนวนทั้งหมด 16 เครื่อง นั้นได้ดำเนินการแล้วเสร็จเป็นที่เรียบร้อย องค์ประกอบของเครื่องมือตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum (รูปที่ 3.2.2-1 และ 3.2.2-2) มีดังต่อไปนี้

1) ตัวเครื่องมือตรวจวัดทำจากสเตนเลสหรือเหล็กกล้าไร้สนิม มีลักษณะเป็นทรงกระบอก สูง 30 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางยาว 57 เซนติเมตร

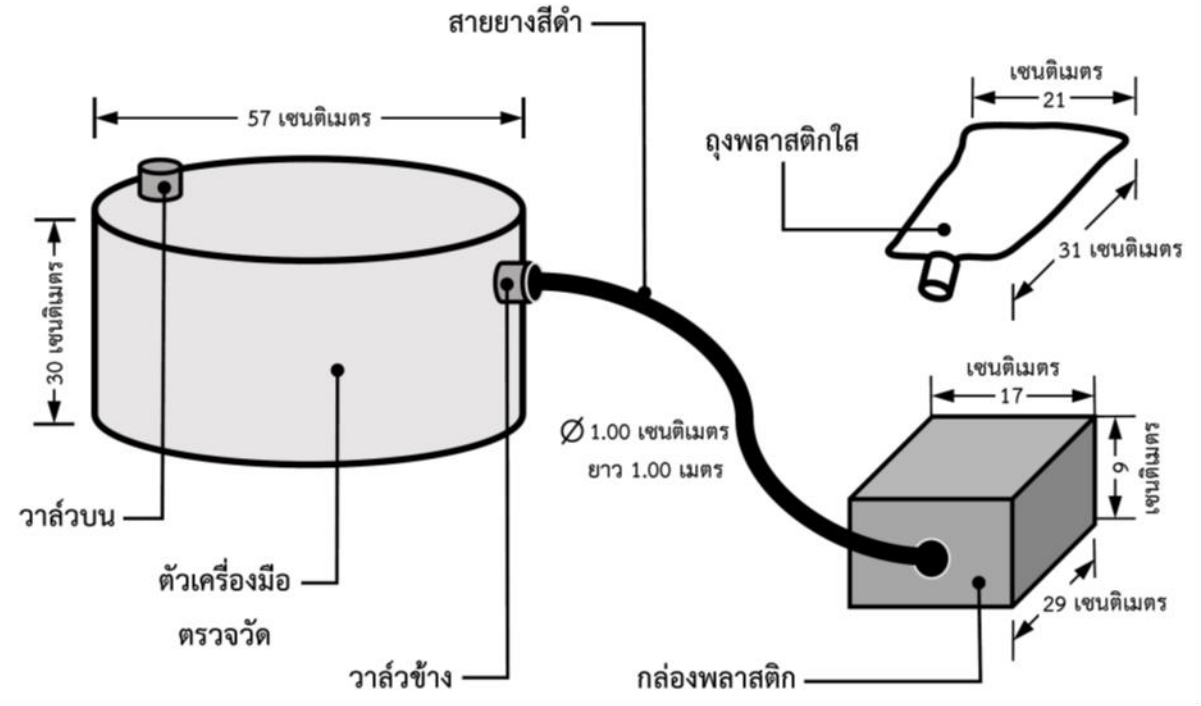
2) วาล์วที่สามารถเปิดและปิดได้จำนวน 2 วาล์ว วาล์วด้านบนมีไว้เพื่อไล่อากาศออกจากตัวเครื่องมือตรวจวัด และวาล์วด้านข้าง เพื่อเปิดให้น้ำไหลออกจากตัวเครื่องมือตรวจวัด

3) สายยางสีดำเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 เซนติเมตร ยาว 1.00 เมตร ใช้ติดตั้งที่วาล์วด้านข้าง เพื่อให้น้ำไหลออกจากตัวเครื่องมือตรวจวัด

4) ถุงพลาสติกใส ขนาด 21×31 เซนติเมตร เพื่อใช้ใส่น้ำที่ไหลออกจากตัวเครื่องมือตรวจวัด

5) กล่องพลาสติก ขนาด กว้าง17×ยาว29×สูง 9 เซนติเมตร เพื่อใช้บรรจุถุงพลาสติกใส

รูปที่ 3.2.2-1 ส่วนประกอบของเครื่องมือตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน โดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum



รูปที่ 3.2.2-2 รายละเอียดส่วนประกอบของเครื่องมือตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum

3.2.2 (ก2) หลักการประเมินหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum

หลักการคำนวณหาอัตราการแลกเปลี่ยนเชิงปริมาตร คือ ความแตกต่างของปริมาตรของน้ำในถุงพลาสติกใสต่อช่วงเวลาของการตรวจวัด โดยนับจากการเริ่มตรวจวัดจนกระทั่งการตรวจวัดสิ้นสุดลง และเมื่อนำค่าอัตราการแลกเปลี่ยนที่ได้มาหารด้วยค่าพื้นที่หน้าตัดของเครื่องมือตรวจวัดจะได้เป็นค่าฟลักซ์

$$Q_s = \frac{V_{t_2} - V_{t_1}}{t_2 - t_1} \qquad (3.2.2\text{-}1)$$

โดยที่

Q_s = อัตราการแลกเปลี่ยนเชิงปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

V_{t1}และ V_{t2} = ปริมาตรของน้ำในถุงตั้งต้น ณ เวลา t_1(วัน) และปริมาตรของน้ำในถุงสุดท้าย ณ เวลา t_2 (วัน)

$$q = \frac{Q}{A} \qquad (3.2.2\text{-}2)$$

โดยที่

Q = ค่าฟลักซ์แลกเปลี่ยน (เซนติเมตร/วัน)

A = พื้นที่หน้าตัดของเครื่องมือ Seepage Meter (2,552 ตารางเซนติเมตร)

การอธิบายลักษณะของการตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน โดยตรงจากการใช้หลักการของเบอร์นูลี่ (Bernoulli's Principle) ดังสมการข้างล่าง

$$h_{\mathrm{U}} = h_{\mathrm{bag}} + \frac{v^2}{2\mathrm{g}} \qquad (3.2.2\text{-}3)$$

โดยที่

h_{U} = เฮดทั้งหมดในลำน้ำ

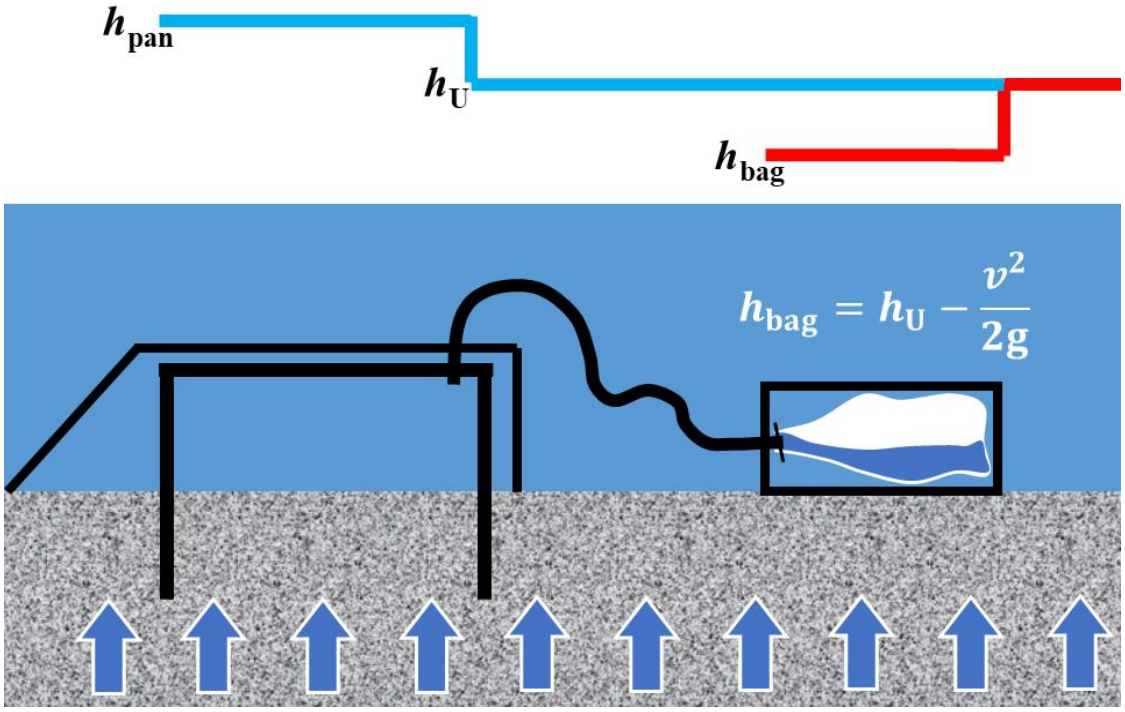
h_{bag} = เฮดทั้งหมดในถุง

$\frac{v^2}{2\mathrm{g}}$ = เฮดความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านบนตัวถุง

ดังนั้นเมื่อจัดเรียงตัวแปรในสมการใหม่จะได้เฮดทั้งหมดในถุงคือ

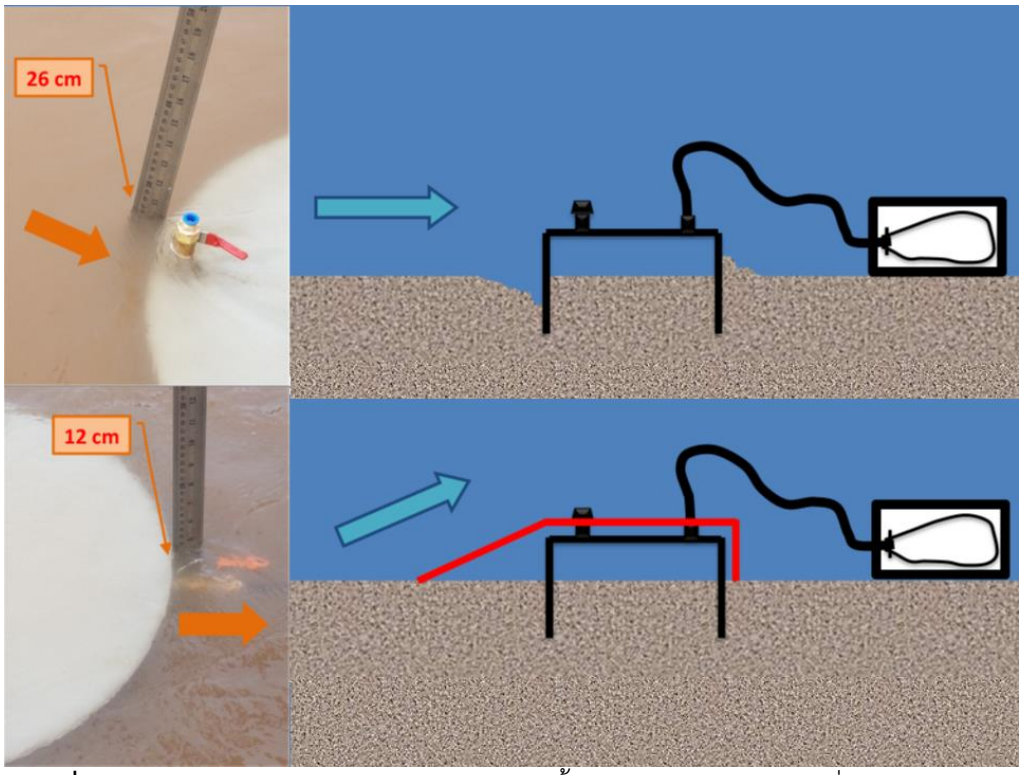
$$h_{\mathrm{bag}} = h_{\mathrm{U}} - \frac{v^2}{2\mathrm{g}} \qquad (3.2.2\text{-}4)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในสมการข้างบนแสดงให้เห็นได้ว่า เมื่อค่า $\frac{v^2}{2g}$ เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า h_{bag} ลดลง ในขณะที่ Q_s ก็จะเพิ่มมากขึ้น การที่น้ำไหลเข้าไปในถุงพลาสติกใสได้ เพราะเกิดจากความแตกต่างระหว่าง h_{pan} (เฮดทั้งหมดภายในตัวเครื่องมือตรวจวัด) และ h_{bag} ดังนั้นเมื่อค่า h_{bag} ลดลงเป็นอย่างมาก เพราะค่า $\frac{v^2}{2g}$ เพิ่มขึ้นสูง ก็จะส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าถุงพลาสติกใสหรือค่า Q_s มีปริมาณที่มากขึ้นจนเกินไป ทำให้ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นปริมาณการแลกเปลี่ยนที่แท้จริง การป้องกันไม่ให้ค่า $\frac{v^2}{2g}$ หรือค่าเฮดความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านบนตัวถุงพลาสติกใสเพิ่มมากขึ้นกระทำได้โดยการนำถุงพลาสติกใสใส่ในกล่องเพื่อไม่ให้ผิวของถุงพลาสติกใสสัมผัสโดยตรงกับน้ำที่ไหลในลำน้ำ (รูปที่ 3.2.2-3)



รูปที่ 3.2.2-3 หลักการของเบอร์นูลี่ (Bernoulli's Principle) ที่ใช้อธิบายลักษณะของการตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน โดยตรง

หลังจากการทดลองติดตั้งเครื่องมือ Drum เพื่อตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินในช่วงแรก ปรากฏว่าพบการกัดเซาะของตะกอนท้องน้ำในลำน้ำน่าน บริเวณด้านหน้าเครื่องมือตรวจวัดซึ่งเป็นด้านที่ปะทะกระแสน้ำโดยตรง และยังเกิดการพอกพูนของตะกอนท้องน้ำบริเวณด้านหลังเครื่องมือตรวจวัด ทั้งนี้ตะกอนท้องน้ำที่พบเป็นทราย (รูปที่ 3.2.2-4) หากการกัดเซาะด้านหน้าเครื่องมือตรวจวัดมีระดับลึกจนกระทั่งมากกว่าส่วนขอบด้านล่างของเครื่องมือตรวจวัด จะทำให้ค่าการแลกเปลี่ยนเกิดความคาดเคลื่อน จึงจำเป็นต้องปรับแต่งเครื่องมือตรวจวัดให้มีชิ้นส่วนกระดอง (Carapace) ที่สามารถใช้ป้องกันความเร็วของกระแสน้ำที่ไหล (รูปที่ 3.2.2-5) ส่วนลำน้ำยมไม่พบปัญหาของการกัดเซาะของตะกอนท้องน้ำบริเวณด้านหน้าของเครื่องมือตรวจวัดเนื่องจากตะกอนท้องน้ำมีลักษณะเป็นดินเหนียว ซึ่งได้ดำเนินการจัดทำชิ้นส่วนกระดองแล้วเสร็จเป็นจำนวนทั้งหมด 8 ตัว



รูปที่ 3.2.2-4 การกัดเซาะตะกอนทรายของท้องน้ำบริเวณด้านหน้าของเครื่องมือตรวจวัด

รูปที่ 3.2.2-5 การติดตั้งกระดอง (Carapace) เพื่อแก้ปัญหาการกัดเซาะตะกอนทรายของท้องน้ำบริเวณด้านหน้าของเครื่องมือตรวจวัด

3.2.2 (ก3) ขั้นตอนการตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum

ขั้นตอนของการติดตั้งเครื่องมือ Drum เพื่อตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (รูปที่ 3.2.2-6 และ 3.2.2-7) มีดังต่อไปนี้

1) เปิดวาล์วด้านบนและด้านข้างระหว่างการนำเครื่องมือตรวจวัดลงสู่ตะกอนท้องน้ำ และควรให้วาล์วด้านบนอยู่ในตำแหน่งที่สูงที่สุดเสมอ หรือวาล์วด้านข้างในกรณีที่ได้ติดตั้งชิ้นส่วนกระดองแล้ว เพื่อจะได้ไล่อากาศให้ออกจากตัวเครื่องมือตรวจวัด

2) วางและกดตัวเครื่องมือตรวจวัดลึกลงไปในตะกอนท้องน้ำอย่างช้าๆ โดยให้ได้ความลึกประมาณ 10 เซนติเมตร และต้องไม่ลืมว่าเครื่องมือตรวจวัดจะมีแรงลอยตัวโดยเฉพาะเมื่อได้ติดตั้งชิ้นส่วนกระดองแล้ว

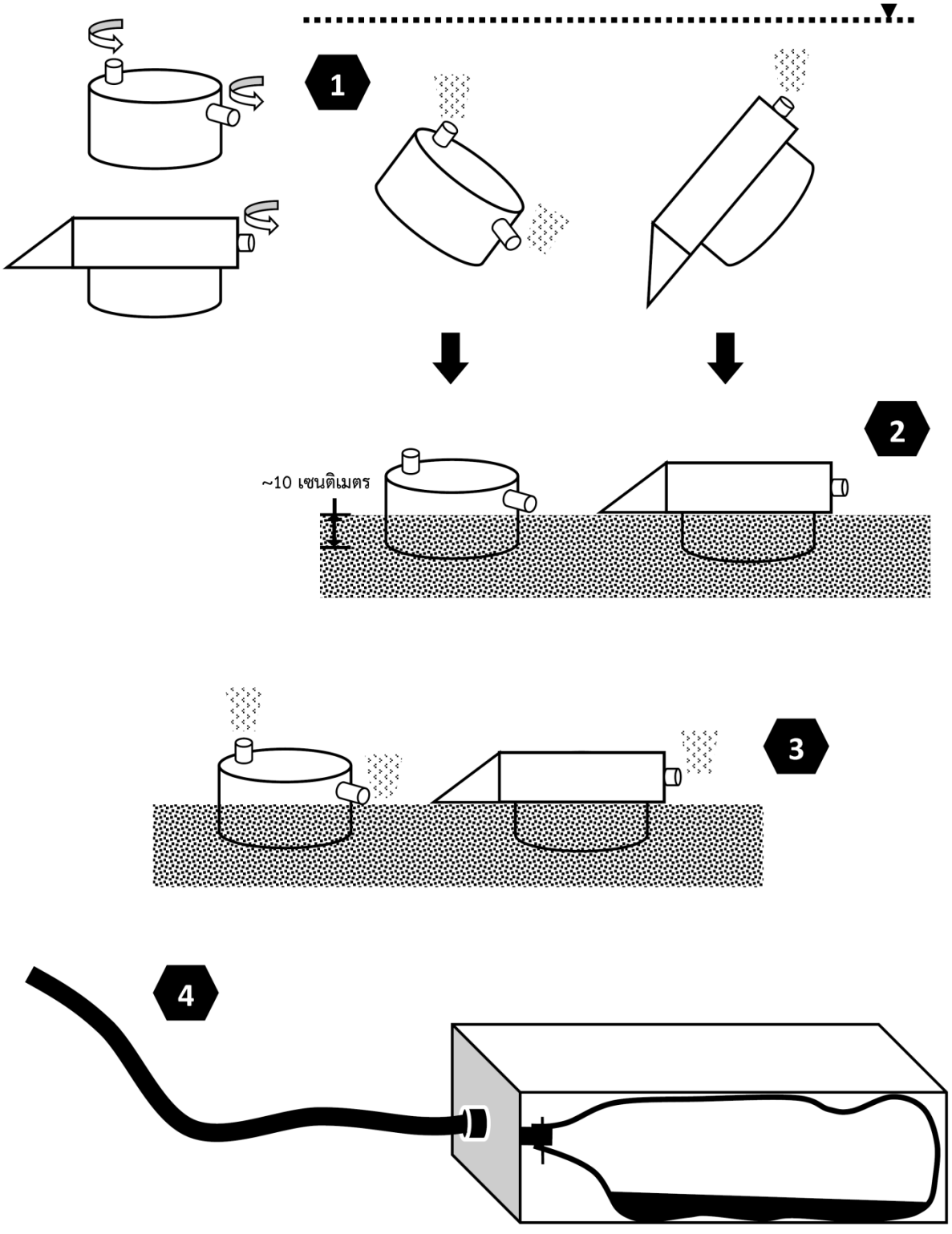
3) ปล่อยตัวเครื่องมือตรวจวัดที่วาล์วด้านบนและด้านข้างเปิดอยู่ ทิ้งไว้สักพักเพื่อให้เกิดภาวะคงตัวทางชลศาสตร์รวมทั้งเป็นการไล่อากาศที่ออกมาเพิ่มเติมจากตะกอนท้องน้ำ

4) ขณะรอให้ดำเนินการประกอบกล่องพลาสติกเข้ากับสายยางสีดำ รวมทั้งผูกถุงพลาสติกใสให้ติดกับปลายด้านหนึ่งของสายยางสีดำ ทั้งนี้ให้ใส่น้ำจำนวนไม่มากแต่รู้ปริมาตรลงไปในถุงพลาสติกใส และถือว่าเป็นปริมาตรน้ำตั้งต้น เมื่อเรียบร้อยให้ปิดฝากล่องพลาสติก

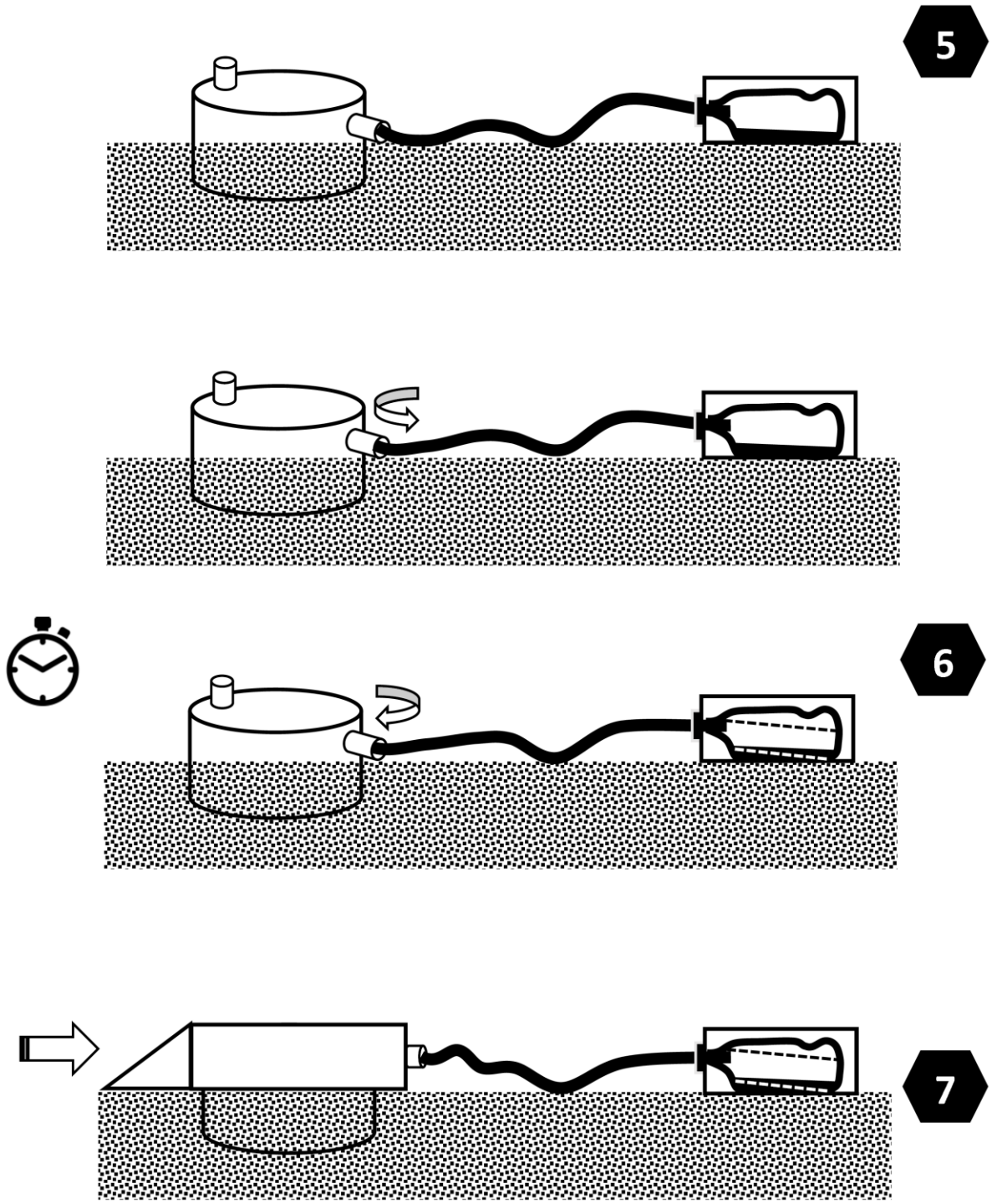
5) ปิดวาล์วด้านบนและด้านข้างของตัวเครื่องมือตรวจวัด แล้วเสียบปลายสายยางสีดำด้านที่ไม่มีกล่องพลาสติกให้เข้ากับวาล์วด้านข้างของตัวเครื่องมือตรวจวัด

6) เริ่มการตรวจวัดโดยการเปิดวาล์วด้านข้างไว้จนครบกำหนดเวลาของการตรวจวัด จึงปิดวาล์ว นำถุงพลาสติกใสออกมาบันทึกปริมาตรของน้ำที่ได้ ถ้าน้ำในถุงที่ได้มีปริมาตรมากกว่าปริมาตรตั้งต้น แสดงว่าน้ำบาดาลเข้ามาเติมน้ำในลำน้ำ แต่ถ้าน้ำในถุงที่ได้มีปริมาตรน้อยกว่าปริมาตรตั้งต้นแสดงว่าน้ำในลำน้ำสูญเสียลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

7) สำหรับทิศทางของการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดที่ได้ติดตั้งชิ้นส่วนกระดองแล้วนั้นให้ด้านแหลมกว่าเป็นด้านที่ปะทะกับกระแสน้ำ



รูปที่ 3.2.2-6 ภาพแสดงขั้นตอนของการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาล และน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1–4



รูปที่ 3.2.2-7 ภาพแสดงขั้นตอนของการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาล และน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5–7

3.2.2 (ก4) หลักเกณฑ์การพิจารณาคัดเลือกตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum

การพิจารณาเลือกตำแหน่งที่จะติดตั้งเครื่องมือ Drum เพื่อตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินจำเป็นต้องอาศัยหลักเกณฑ์สำคัญ ดังต่อไปนี้

1) ควรเลือกติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดบริเวณด้านพื้นที่ทับถมของตะกอนดินริมตลิ่งฝั่งตรงกันข้ามกับด้านร่องน้ำลึกและถ้าเป็นไปได้ควรเลือกพื้นที่ที่เป็นสันดอนทราย (Sandbar)

2) ควรเลือกติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดบริเวณด้านพื้นที่ทับถมของตะกอนดินริมตลิ่งที่มีสภาพไม่ลาดชันนัก ซึ่งจะทำให้สะดวกต่อการขนย้ายเครื่องมือตรวจวัด

3) ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดบริเวณตำแหน่งลาดชันของร่องน้ำ เนื่องจากเครื่องมือตรวจวัดที่ถูกติดตั้งอาจมีสภาพเอียงและถูกกระแสน้ำพัดลงลึกหายไปในร่องน้ำ

4) ไม่ควรติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดในบริเวณที่โดนกระแสน้ำไหลแรงพัดมาปะทะโดยตรง

5) ควรหาคนท้องถิ่นในพื้นที่เพื่อขอความช่วยเหลือขณะดำเนินการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดและช่วยดูแลเครื่องมือตรวจวัดที่ได้ติดตั้งแล้วปล่อยทิ้งไว้

3.2.2 (ข) ผลการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล-น้ำผิวดินโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum

ผลการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณสถานี Y6 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย ด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำยม ตำแหน่ง Y6–L (ตารางที่ 3.2.2-1; รูปที่ 3.2.2-8, 3.2.2-9 และ 3.2.2-10) มีสภาพของตะกอนท้องน้ำเป็นดินทรายปนหิน ในวันที่ 19 ตุลาคม 2560 ได้ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนที่ 1.41 เซนติเมตร/วัน แสดงถึงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเข้าสู่ตัวลำน้ำยม อย่างไรก็ตามสามารถดำเนินการตรวจวัดได้เพียง 1 ครั้ง เนื่องจากระหว่างเดือนกันยายน–พฤศจิกายน 2560 ระดับน้ำของลำน้ำยมอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 5.00 เมตร (รูปที่ 3.2.2-9 และ 3.2.2-10) ซึ่งเป็นผลมาจากการบริหารจัดการน้ำ เพื่อวัตถุประสงค์ทางการเกษตรกรรมของพื้นที่เหนือประตูระบายน้ำบ้านหาดสะพานจันทร์ ตำบลป่ากุมเกาะ อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย ต่อมาระหว่างเดือนกุมภาพันธ์–เมษายน 2561 ได้มีการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินอีก 24 ครั้ง รวมแล้วได้ค่าเฉลี่ยของอัตราการแลกเปลี่ยนอยู่ที่ 63.6 ± 13.1 เซนติเมตร/วัน (ตารางที่ 3.2.2-2 และ 3.2.2-3) แสดงถึงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเข้าสู่ตัวลำน้ำยม อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของอัตราการแลกเปลี่ยนของเดือนเมษายนอยู่ที่ 14.5 ± 4.59 เซนติเมตร/วัน มีปริมาณน้อยกว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการแลกเปลี่ยนของเดือนกุมภาพันธ์อยู่ถึงประมาณ 5 เท่า

ผลการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณสถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2560 สามารถดำเนินการตรวจวัดได้ในวันที่ 2, 16, และ 30 พฤศจิกายน 2560 จำนวน 10 ครั้ง บริเวณฝั่งขวาของลำน้ำน่านใกล้สะพานหาดสองแคว (ตำแหน่ง N60–R) และ 14 ครั้ง บริเวณฝั่งซ้ายของลำน้ำน่าน (ตำแหน่ง N60–L) ใกล้ปากคลองตรอน ซึ่งมีหาดทรายเป็นบริเวณกว้าง (ตารางที่ 3.2.2-1; รูปที่ 3.2.2-8, 3.2.2-11, 3.2.2-12, 3.2.2-13, 3.2.2-14, 3.2.2-15, และ 3.2.2-16)

รวมแล้วได้ค่าเฉลี่ยของอัตราการแลกเปลี่ยนอยู่ที่ 29.3 ± 2.95 เซนติเมตร/วัน (ตารางที่ 3.2.2-4 และ 3.2.2-5) แสดงถึงทิศทาง การไหลของน้ำบาดาลเข้าสู่ตัวลำน้ำน่าน อีกทั้งยังพบว่า ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อตรวจวัด เข้าใกล้ริมตลิ่ง

ผลการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านลำน้ำน่าน อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ช่วงเดือนมกราคม 2561 ในที่นี้ขอเรียกชื่อว่าตำแหน่ง DR2.8N ตั้งอยู่ในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพลายชุมพล มีการตรวจวัด 1 ตำแหน่งด้วยกัน คือ ตำแหน่ง DR2.8N–R ซึ่งหมายถึงตำแหน่งปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (รูปที่ 3.2.2-8, 3.2.2-14 และ 3.2.2-15) มีสภาพของตะกอนท้องน้ำเป็นดินเหนียวนุ่ม รวมแล้วได้ค่าเฉลี่ยของอัตราการแลกเปลี่ยนอยู่ที่ 17.5 ± 4.08 เซนติเมตร/วัน (ตารางที่ 3.2.2-6 และ 3.2.2-7) แสดงถึงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเข้าสู่ตัวลำน้ำน่าน อีกทั้งยังพบว่า ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อตรวจวัดเข้าใกล้ริมตลิ่ง

ผลการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านลำน้ำยม ระหว่างเดือนธันวาคม 2560–มกราคม 2561 ในที่นี้ขอเรียกชื่อว่าตำแหน่ง DR2.8Y ตั้งอยู่ในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพลายชุมพล มีการตรวจวัด 2 ตำแหน่งด้วยกัน คือ ตำแหน่ง DR2.8Y–R และ DR2.8Y–L ซึ่งหมายถึง ตำแหน่งปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งขวาของลำน้ำยม อำเภอสามง่าม จังหวัดพิจิตร และด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำยม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก (ตารางที่ 3.2.2-1; รูปที่ 3.2.2-8, 3.2.2-16, 3.2.2-17 และ 3.2.2-18) มีสภาพของตะกอนท้องน้ำเป็นทราย รวมแล้วได้ค่าเฉลี่ยของอัตราการแลกเปลี่ยนอยู่ที่ 34.1 ± 17.1 เซนติเมตร/วัน (ตารางที่ 3.2.2-8 และ 3.2.2-9) แสดงถึงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเข้าสู่ตัวลำน้ำยม อีกทั้งยังพบว่า ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อตรวจวัด เข้าใกล้ริมตลิ่ง อย่างไรก็ตามในช่วงปลายเดือนมกราคม 2561 ตำแหน่ง DR2.8Y–L ยังแสดงให้เห็นถึงปริมาณน้ำบาดาลที่เข้ามาเติมในลำน้ำที่น้อยกว่ามากและยังแปรผันค่อนข้างสูง เนื่องจากมีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ทำนาในพื้นที่บริเวณใกล้เคียงลำน้ำ

ผลการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณสถานี N27A อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก ช่วงเดือนมกราคม 2561 มีการตรวจวัด 1 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่ง N27A–R ซึ่งหมายถึง ตำแหน่งฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (ตารางที่ 3.2.2-1) มีสภาพของตะกอนท้องน้ำเป็นดินเหนียว รวมแล้วได้ค่าเฉลี่ยของอัตราการแลกเปลี่ยนอยู่ที่ 31.1 ± 11.2 เซนติเมตร/วัน (ตารางที่ 3.2.2-10 และ 3.2.2-11) แสดงถึงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเข้าสู่ตัวลำน้ำน่าน อย่างไรก็ตามข้อมูลมีค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ยค่อนข้างมากเกือบสองเท่าของค่าเฉลี่ย

ผลการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณวัดท่าโรงตะวันตก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ช่วงเดือนมกราคม 2561 ในที่นี้ขอเรียกชื่อว่าตำแหน่ง WTR-N มีการตรวจวัด 1 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่ง WTRN–R ซึ่งหมายถึง ตำแหน่งวัดท่าโรงตะวันตก ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน มีสภาพ

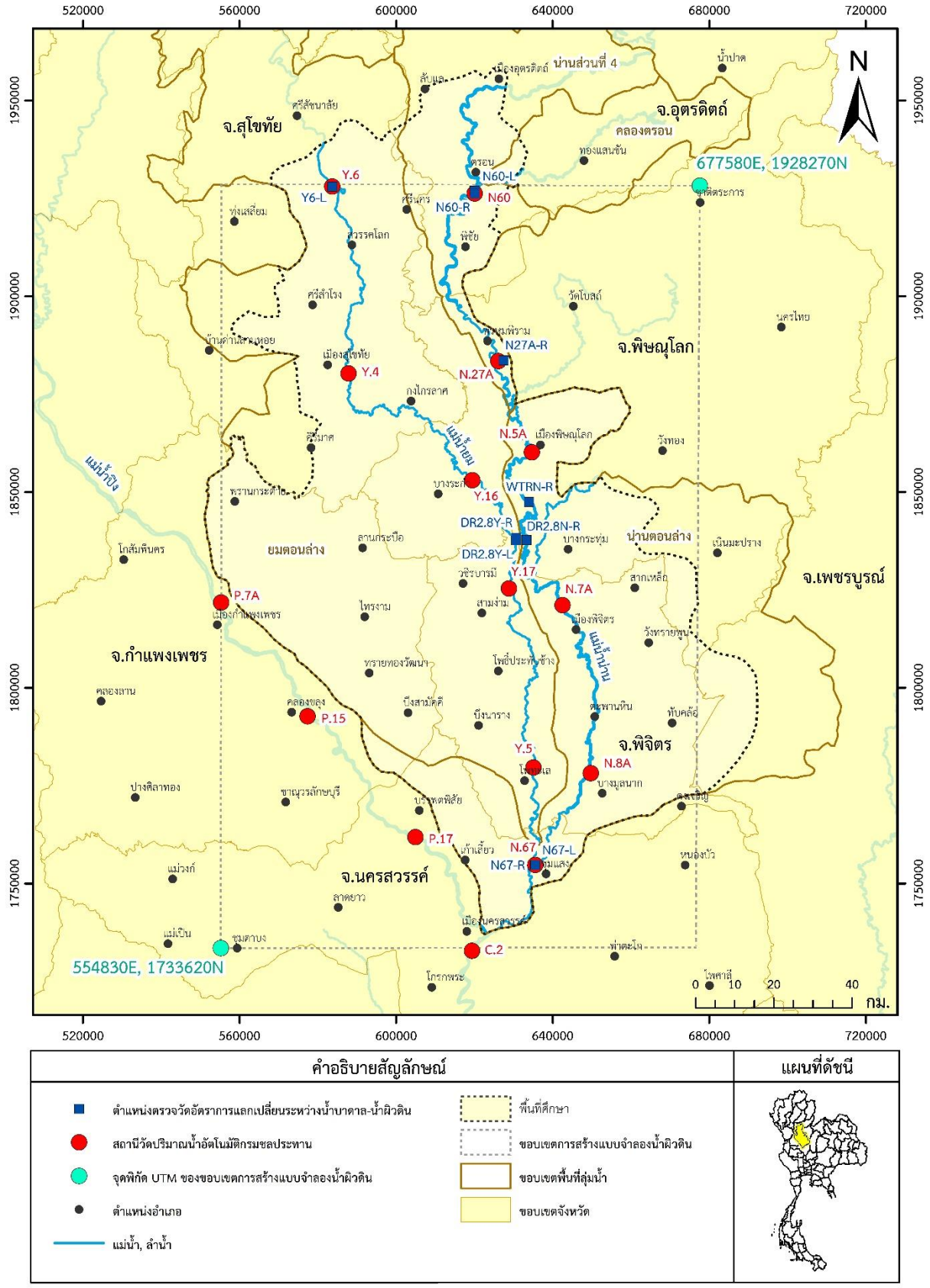
ของตะกอนท้องน้ำเป็นดินเหนียวนุ่ม รวมแล้วได้ค่าเฉลี่ยของอัตราการแลกเปลี่ยนอยู่ที่ 22.4 ± 3.36 เซนติเมตร/วัน (ตารางที่ 3.2.2-12 และ 3.2.2-13) แสดงถึงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเข้าสู่ตัวลำน้ำน่าน

ผลการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณสถานี N67 อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ ช่วงเดือนมกราคม 2561 มีการตรวจวัด 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่ง N67–R หมายถึง ตำแหน่งด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน มีสภาพของตะกอนท้องน้ำเป็นดินเหนียวนุ่ม และตำแหน่ง N67–L หมายถึง ตำแหน่งด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำน่าน มีสภาพของตะกอนท้องน้ำเป็นทรายปนดิน รวมแล้วได้ค่าเฉลี่ยของอัตราการแลกเปลี่ยนอยู่ที่ 56.5 ± 17.1 เซนติเมตร/วัน (ตารางที่ 3.2.2-14 และ 3.2.2-15) แสดงถึงทิศทางการไหลของน้ำบาดาลเข้าสู่ตัวลำน้ำน่าน อย่างไรก็ตามข้อมูลมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยค่อนข้างมากราว 9.00–26.0 เซนติเมตร/วัน และบางขณะแสดงถึงทิศทางการไหลของน้ำในลำน้ำน่านลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (–4.32 เซนติเมตร/วัน)

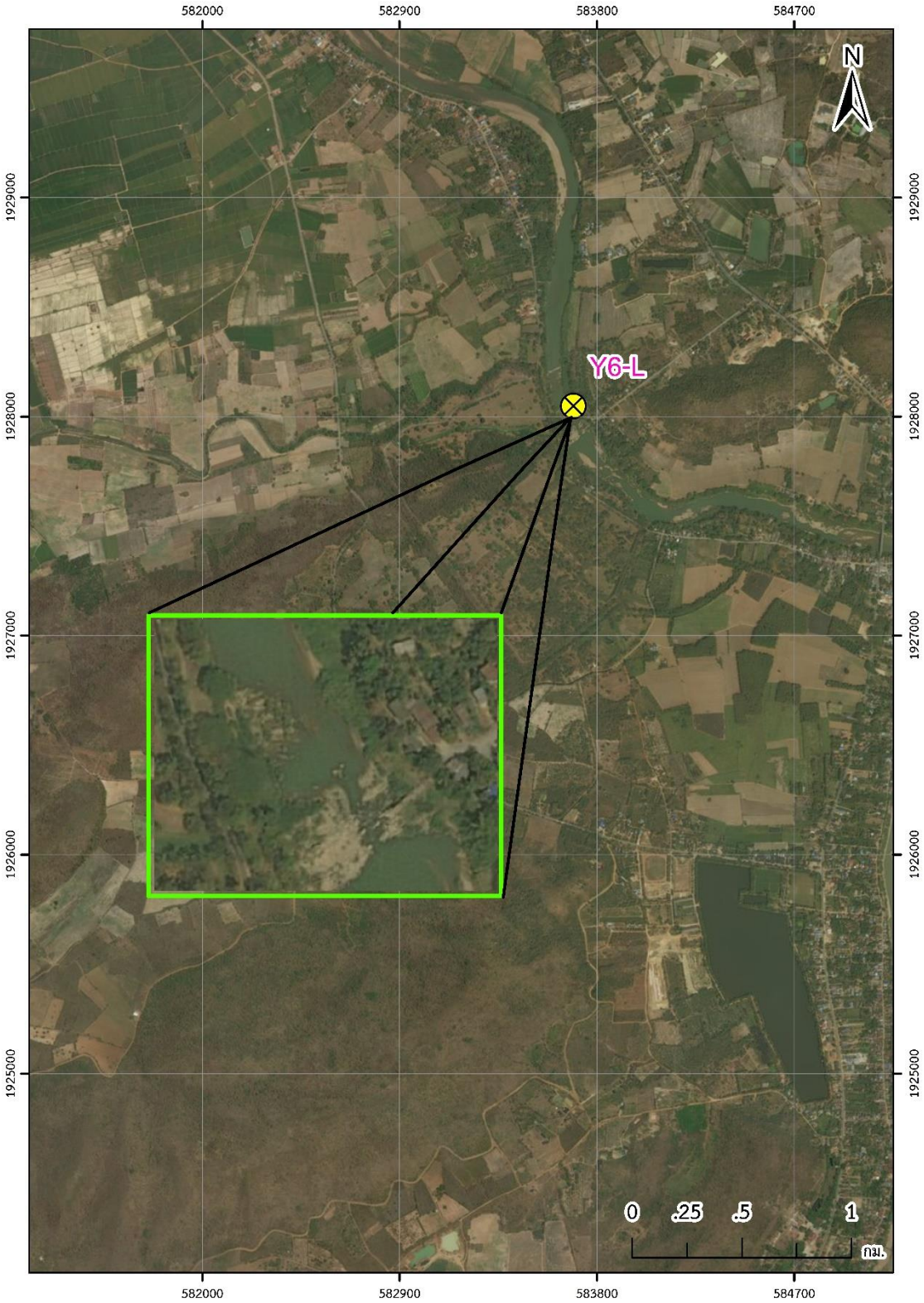
ในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินบริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำยม (DR2.8Y–L) ในหน่วย เซนติเมตร/วัน ซึ่งได้จากการตรวจวัดในวันที่ 22 ธันวาคม 2560 ตำแหน่งตรงกลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง (LM) (ตารางที่ 3.2.2-9) มีรายละเอียดดังนี้ (1) ปริมาตรน้ำในถุงมีปริมาณเท่ากับ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร (2) ช่วงระยะเวลาตรวจวัด 10 นาที และ (3) ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (q) จะสามารถคำนวณได้จากการหารปริมาตรน้ำในถุงด้วยพื้นที่หน้าตัดของตัวเครื่องมือ Drum ($0.25 \times \pi \times 57^2$) จากนั้นนำผลที่ได้มาหารอีกทีด้วยเวลา (10 นาที) แล้วเปลี่ยนเวลาจากนาทีเป็นวัน (24 x 60) เพราะฉะนั้นจะได้ q = 11.3 เซนติเมตร/วัน $[\{200 / (0.25 \times \pi \times 57^2)\} \times (1/10) \times (24 \times 60)]$

ปัญหาและอุปสรรคในการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum มีดังต่อไปนี้

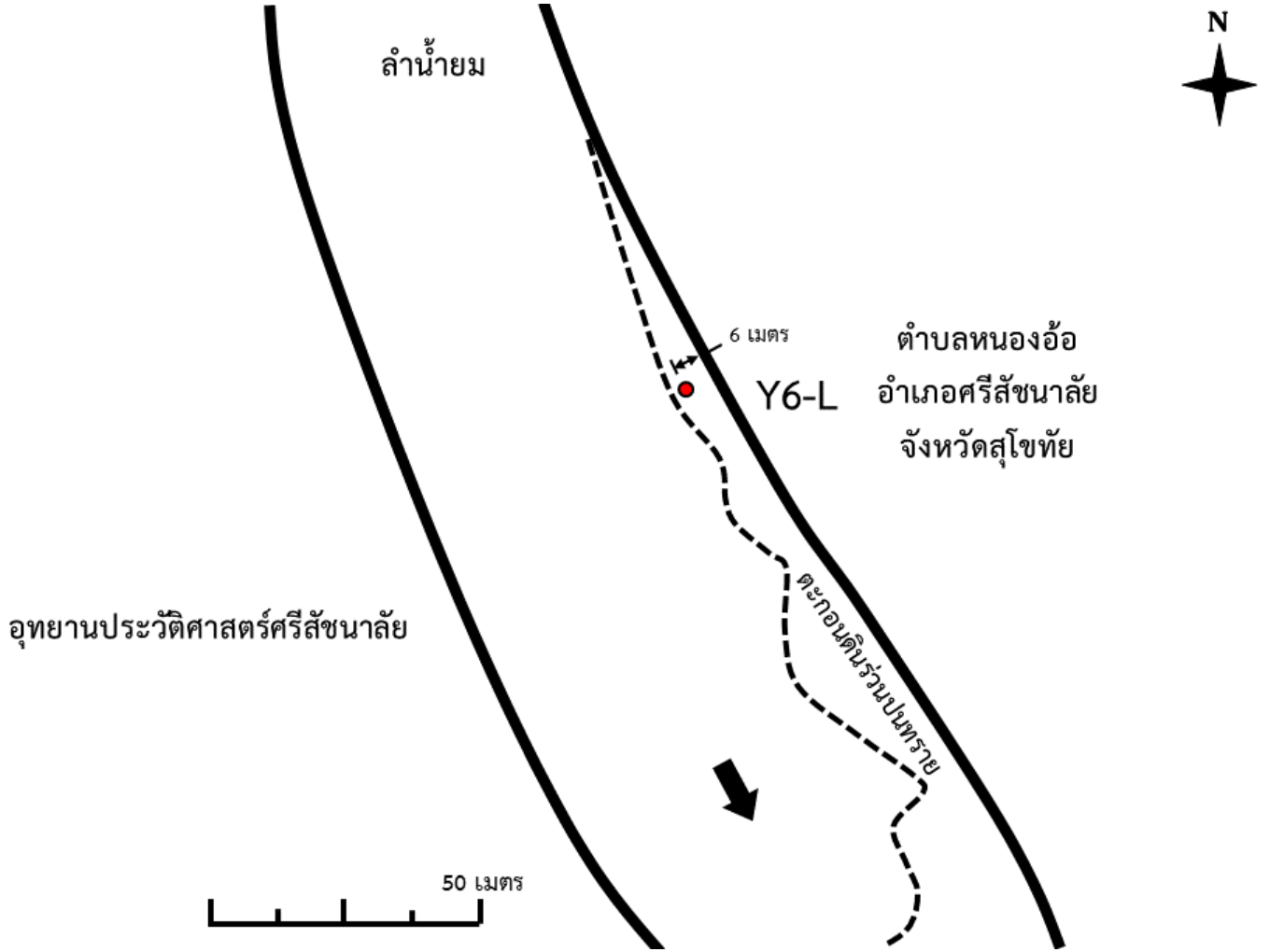
1) การกัดเซาะของตะกอนท้องน้ำที่เป็นทรายในลำน้ำบริเวณด้านหน้าเครื่องมือตรวจวัด ซึ่งเป็นด้านที่ปะทะกระแสน้ำโดยตรง และยังเกิดการพอกพูนของตะกอนท้องน้ำที่เป็นทรายบริเวณด้านหลังเครื่องมือตรวจวัด ซึ่งได้แก้ไขโดยการติดตั้งชิ้นส่วนกระดองเพิ่มเติมเพื่อเบี่ยงเบนทิศทางของกระแสน้ำ
2) ระดับน้ำที่สูงทำให้ทำงานไม่ได้ และระดับน้ำที่ขึ้นสูงอย่างรวดเร็วภายในหนึ่งวัน ทำให้ต้องรีบถอนเครื่องมือกลับ ซึ่งเป็นไปด้วยความยากลำบากและใช้เวลาพอสมควร
3) สภาพความลาดชันของท้องน้ำและเป็นดินโคลน ทำให้การทำงานติดตั้งเครื่องมือ Drum เป็นไปด้วยความยากลำบาก และใช้เวลาพอสมควร



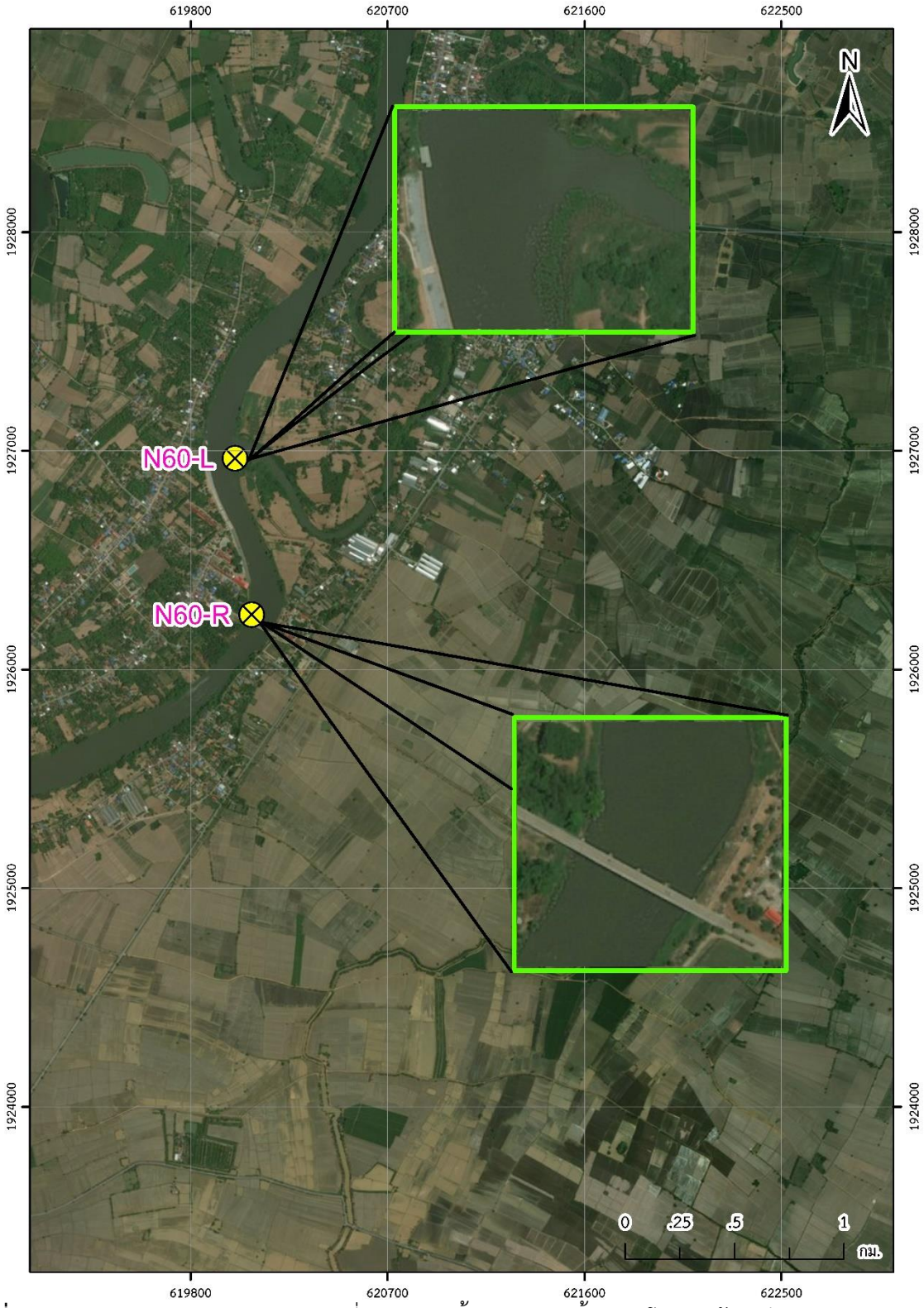
รูปที่ 3.2.2-8 ภาพรวมตำแหน่งการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล-น้ำผิวดินโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum



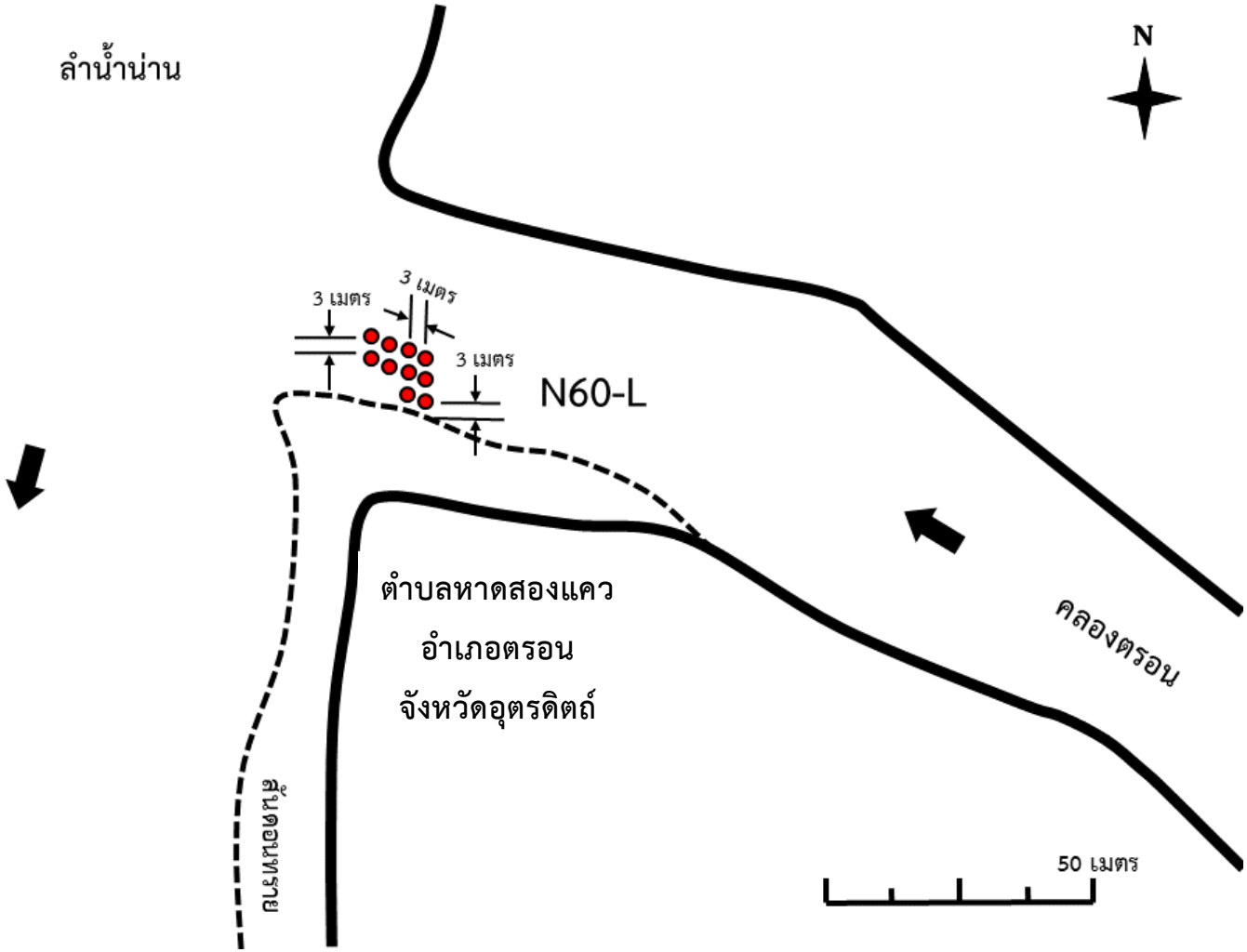
รูปที่ 3.2.2-9 ตำแหน่งตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณสถานี Y6 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย บริเวณฝั่งซ้ายของลำน้ำยม (ตำแหน่ง Y6-L)



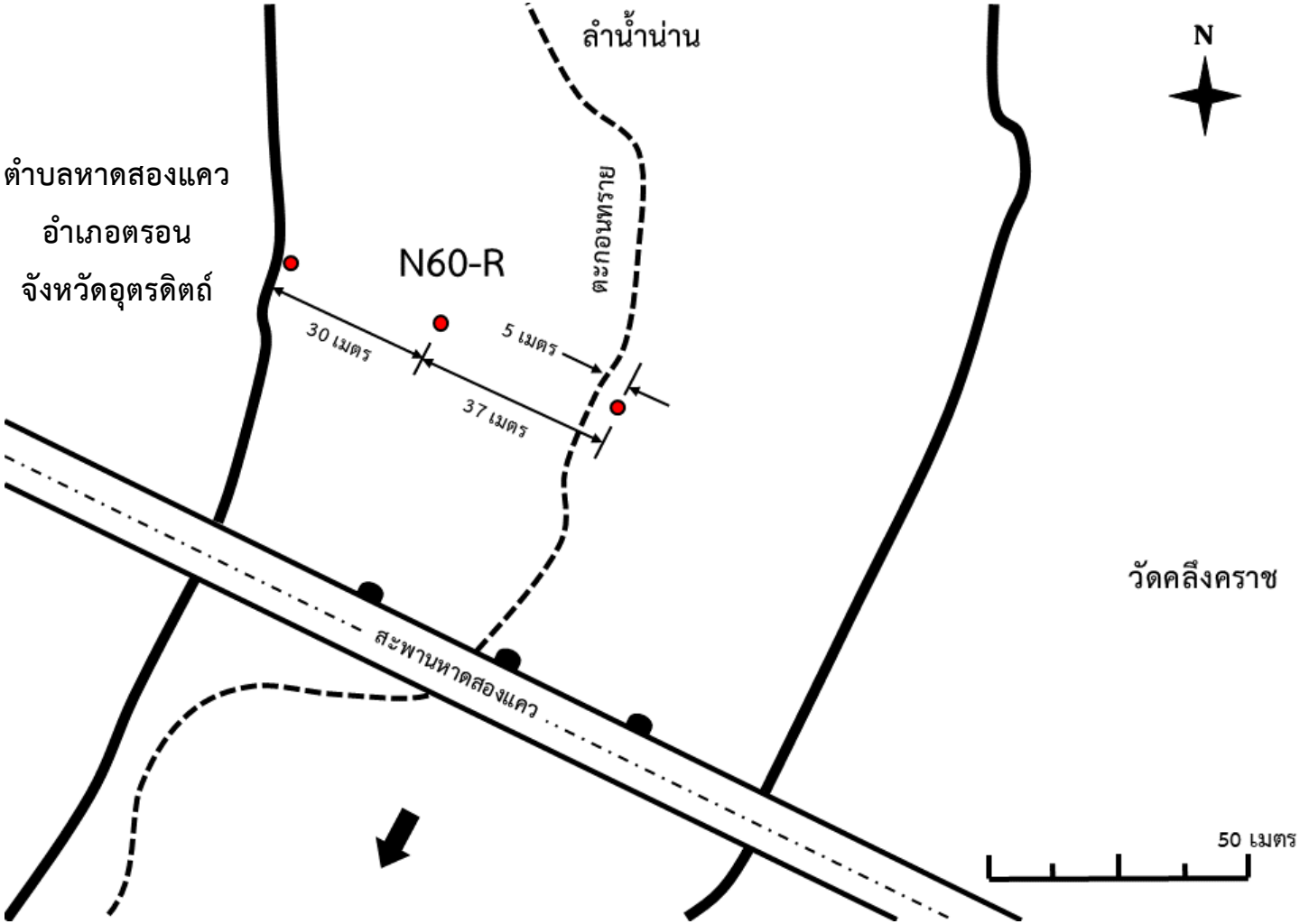
รูปที่ 3.2.2-10 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Drum บริเวณสถานี Y6 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย บริเวณฝั่งซ้ายของลำน้ำยม (ตำแหน่ง Y6-L)



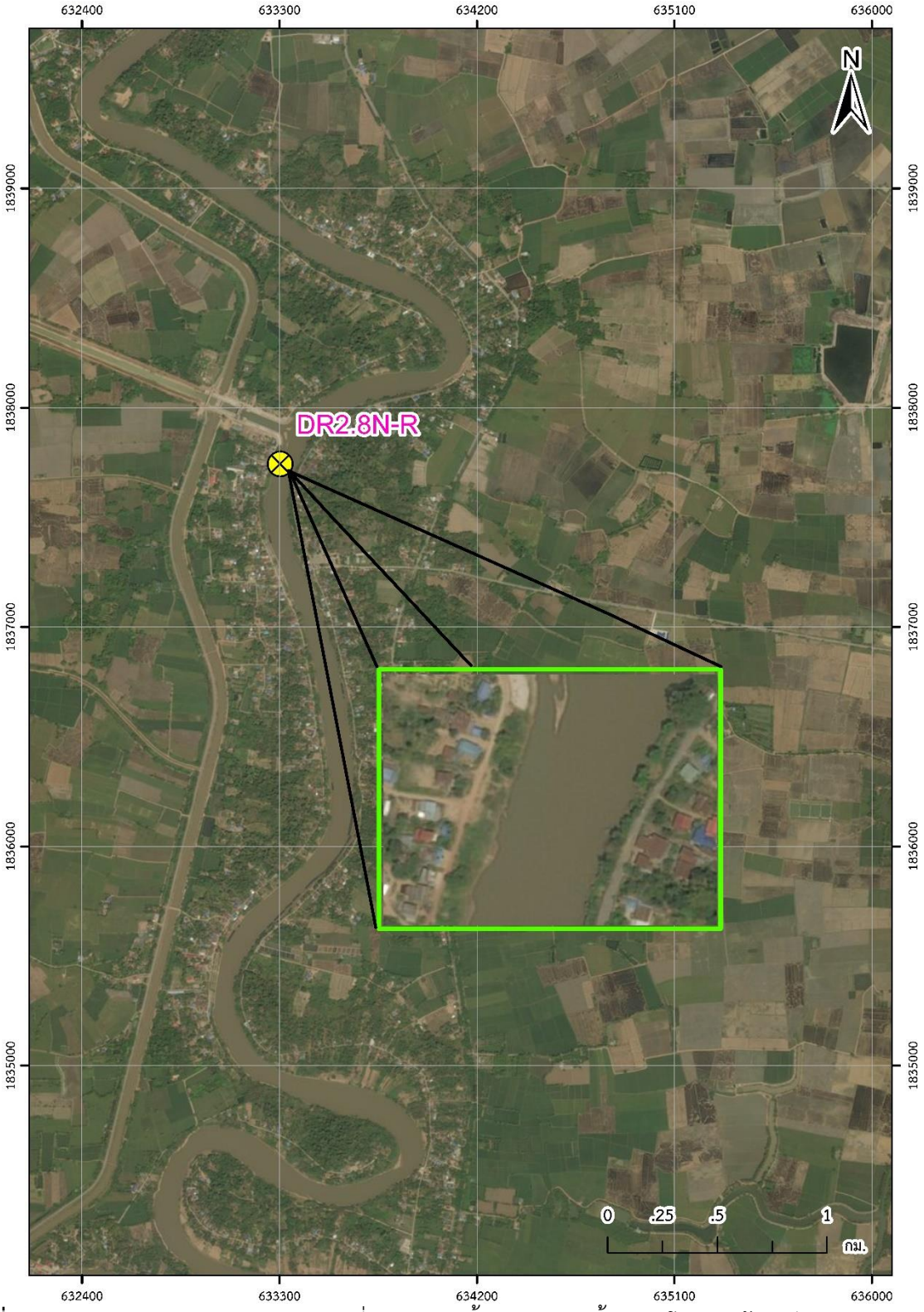
รูปที่ 3.2.2-11 ตำแหน่งตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณสถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (ตำแหน่ง N60-R) และด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำน่าน (ตำแหน่ง N60-L)



รูปที่ 3.2.2-12 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Drum บริเวณสถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำน่าน (ตำแหน่ง N60-L)

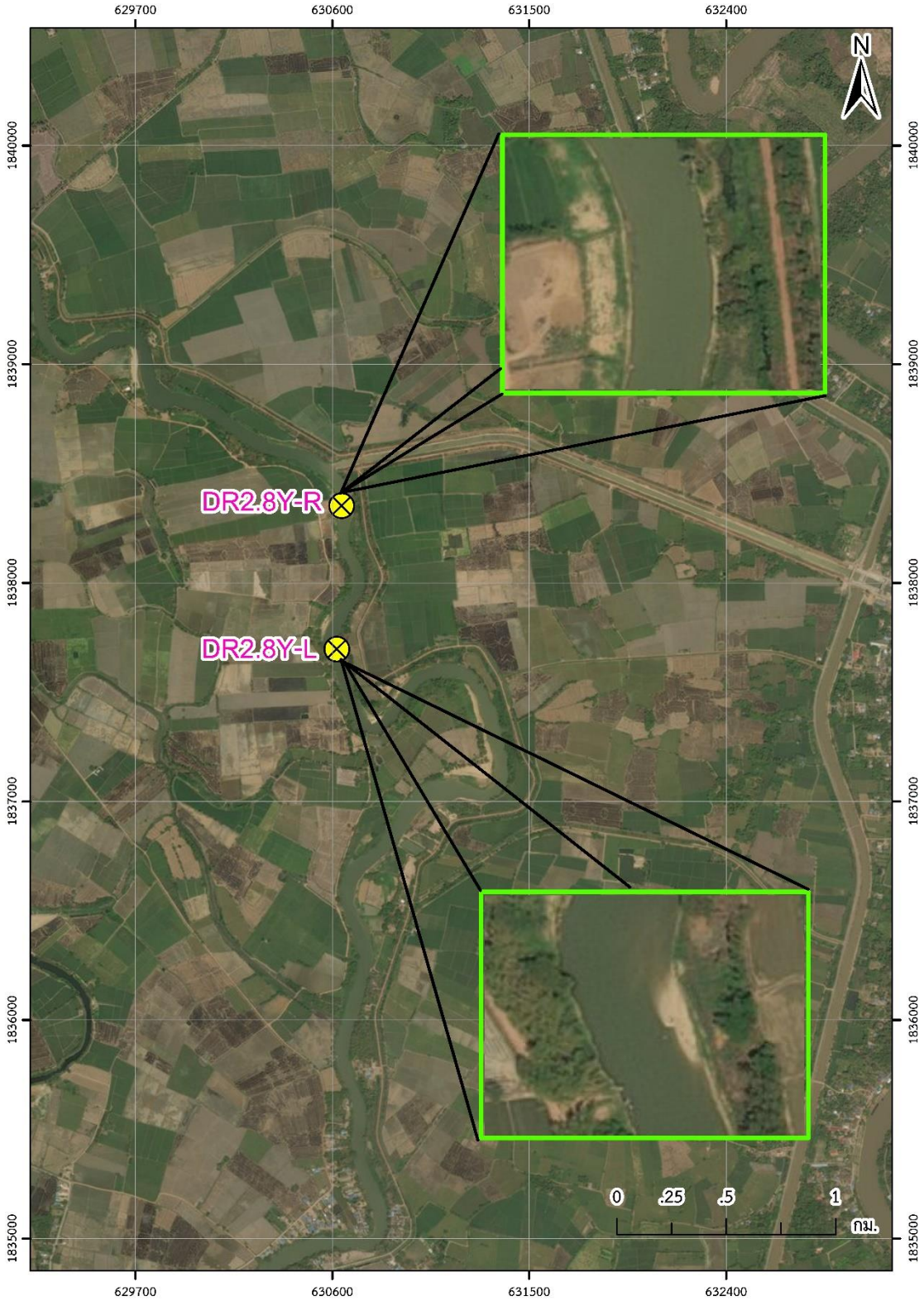


รูปที่ 3.2.2-13 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Drum บริเวณสถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (ตำแหน่ง N60-R)

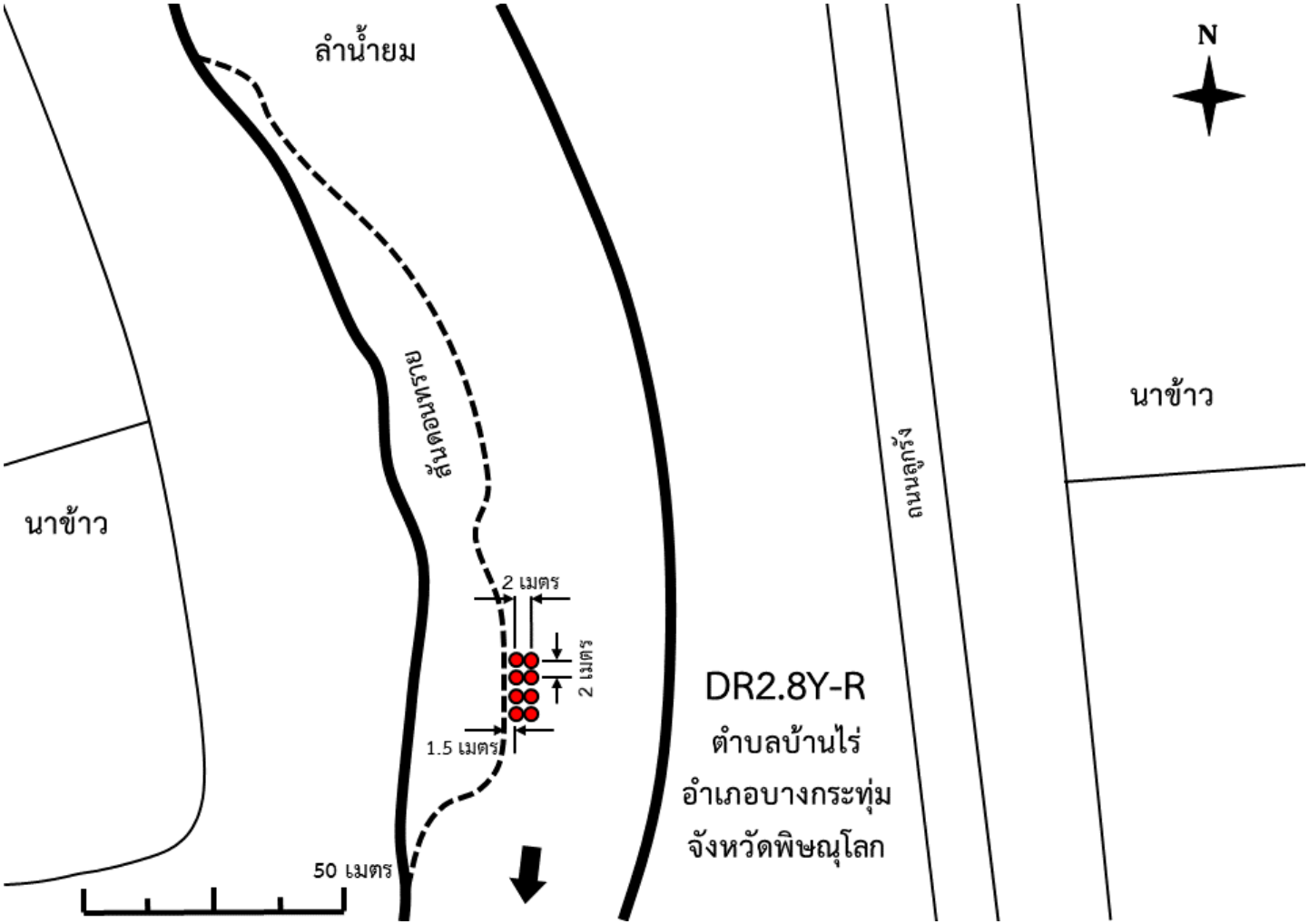


รูปที่ 3.2.2-14 ตำแหน่งตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (ตำแหน่ง DR2.8N-R)

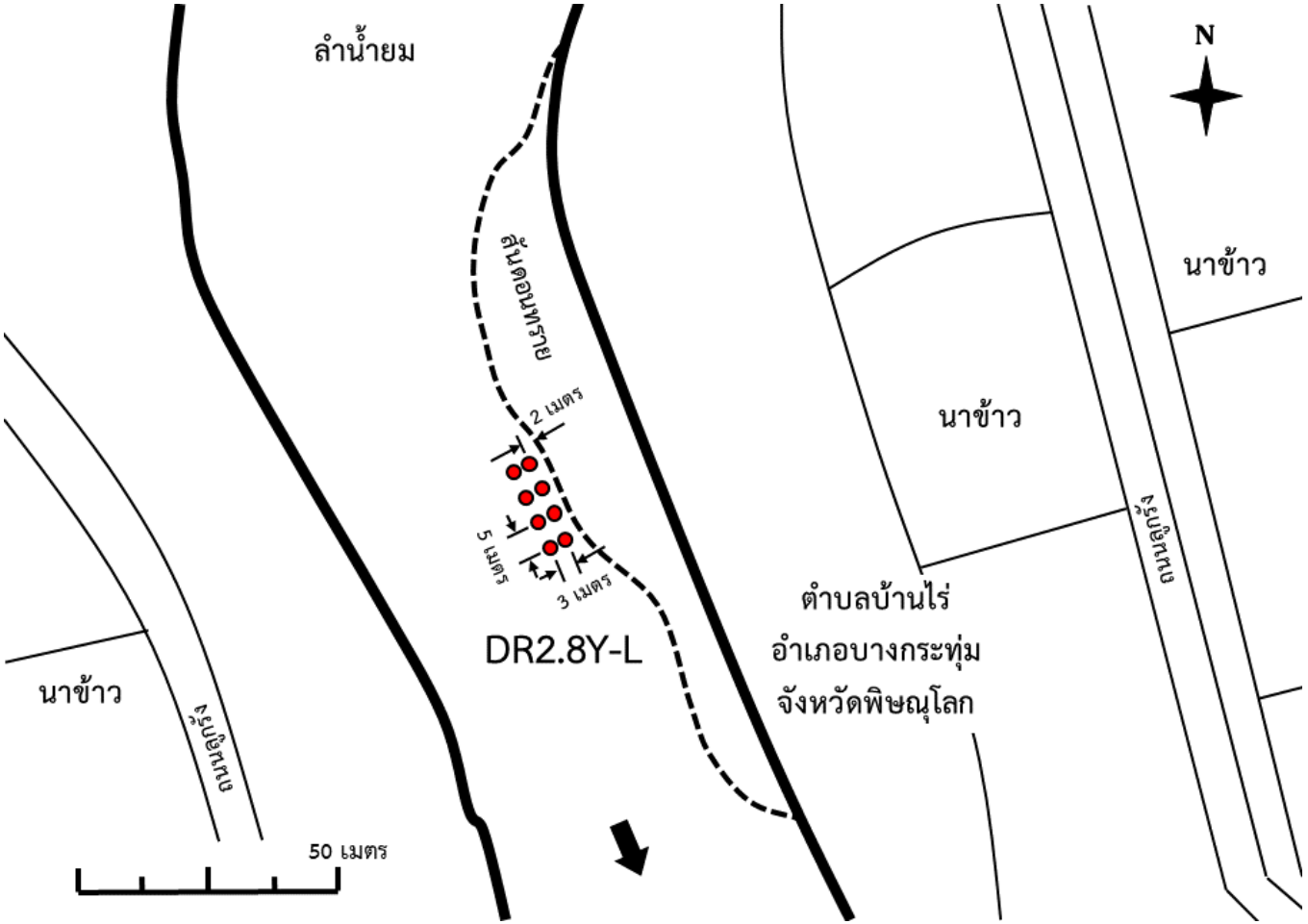
รูปที่ 3.2.2-15 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Drum บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (ตำแหน่ง DR2.8N-R)



รูปที่ 3.2.2-16 ตำแหน่งตรวจวัดการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยตรงด้วยวิธี Drum บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งขวาของลำน้ำยม (ตำแหน่ง DR2.8Y-R) และด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำยม (ตำแหน่ง DR2.8Y-L)



รูปที่ 3.2.2-17 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Drum บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งขวาของลำน้ำยม (ตำแหน่ง DR2.8Y-R)



รูปที่ 3.2.2-18 รายละเอียดตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือ Drum บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำยม (ตำแหน่ง DR2.8Y-L)

ตารางที่ 3.2.2-1 สรุปตำแหน่งตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา โดยรวมตำแหน่งที่ได้เพิ่มเติมภายหลัง

ลำดับ	ตำแหน่งตรวจวัด	ลำน้ำ	อัตราการแลกเปลี่ยน	อุณหภูมิ	ระดับน้ำบาดาล	รายละเอียดตำแหน่งตรวจวัด
1	Y6–L	ยม/ฝั่งซ้าย	X			ขอบเขตบน I ต.หนองอ้อ, อ.ศรีสัชนาลัย, จ.สุโขทัย
2	DR2.8Y–R	ยม/ฝั่งขวา	X	X	X	คลองระบายน้ำ 2.8 I ต.บ้านไร่, อ.บางกระทุ่ม, จ.พิษณุโลก
3	DR2.8Y–L	ยม/ฝั่งซ้าย				
4	N60–R	น่าน/ฝั่งขวา	X			ขอบเขตบน I ต.หาดสองแคว, อ.ตรอน, จ.อุตรดิตถ์
5	N60–L	น่าน/ฝั่งซ้าย				
6*	N27A–R	น่าน/ฝั่งขวา	X			ต.พรหมพิราม, อ.พรหมพิราม, จ.พิษณุโลก
7	DR2.8N–R	น่าน/ฝั่งขวา	X	X	X	คลองระบายน้ำ 2.8 I ต.บ้านไร่, อ.บางกระทุ่ม, จ.พิษณุโลก
8*	WTRN–R	น่าน/ฝั่งขวา	X			วัดท่าโรงตะวันตก, ต.วัดพริก, อ.เมือง, จ.พิษณุโลก
9*	N67–R	น่าน/ฝั่งขวา	X			ขอบเขตล่าง I ต.เกยไชย, อ.ชุมแสง, จ.นครสวรรค์
10*	N67–L	น่าน/ฝั่งซ้าย				

หมายเหตุ: * ตำแหน่งที่ได้เพิ่มเติมภายหลัง

ตารางที่ 3.2.2-2 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) บริเวณสถานี Y6 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย ด้านฝั่งซ้าย (Y6-L) ของลำน้ำยม เดือนตุลาคมและกุมภาพันธ์–เมษายน 2561

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
Y6-L ลำน้ำยม อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย							
19 ต.ค. 60	250 (100)						ขอบเขตน้ำลึกใหญ่ด้านต้นน้ำ
17 ก.พ. 61	500 (5)						
	250 (5)						
	900 (5)						
	1,150 (5)						
	650 (5)						
		900 (5)					
		750 (5)					
		500 (5)					
		900 (5)					
		470 (5)					
		950 (5)					
		1,750 (5)					
		150 (5)					
		500 (5)					
		400 (5)					
		600 (5)					
10 เม.ย. 61		0 (10)					
		50 (10)					
		150 (20)					
		310 (20)					
		550 (20)					
		700 (20)					
		900 (20)					
		1,350 (20)					

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บ คือ ระยะเวลาที่ตรวจวัดเป็นนาที

ตารางที่ 3.2.2-3 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณสถานี Y6 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย ด้านฝั่งซ้าย (Y6-L) ของลำน้ำยม เดือนตุลาคม และกุมภาพันธ์–เมษายน 2561

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
Y6-L ลำน้ำยม อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย							
19 ต.ค. 60	+1.41						ขอบเขตน้ำผิวดินด้านต้นน้ำ
17 ก.พ. 61	+56.4						
	+28.2						
	+102						
	+130						
	+73.3						
		+50.8					
		+84.6					
		+56.4					
		+102					
		+53.0					
		+107					
		+197					
		+16.9					
		+56.4					
		+45.1					
		+67.7					
10 เม.ย. 61		0					
		+2.82					
		+4.23					
		+9.87					
		+15.5					
		+19.7					
		+25.4					
		+38.1					
(ค่าเฉลี่ย)	**(+76.7)**	**(+50.4)**					**(63.6 ± 13.1)**

ตารางที่ 3.2.2-4 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) บริเวณสถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ด้านฝั่งขวา (N60-R) และฝั่งซ้าย (N60-L) ของลำน้ำน่าน เดือนพฤศจิกายน 2560

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
N60-R และ N60-L ลำน้ำน่าน อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์							
2 พ.ย. 60						850 (20)	ไม่พบน้ำในเขตน้ำตื้นฝั่งขวาและฝั่งซ้าย
					300 (20)		
					1,500 (20)		
					1,900 (20)		
16 พ.ย. 60					1,750 (20)		
					1,850 (20)		
				1,110 (20)			
				730 (20)			
				1,200 (20)			
				1,850 (20)			
30 พ.ย. 60	1,350 (30)						
	1,680 (30)						
		1,400 (30)					
		1,250 (30)					
			1,370 (30)				
			1,340 (30)				
			1,400 (30)				
			1,140 (30)				
			450 (30)				
			800 (30)				
			1,250 (30)				
			1,450 (30)				
			1,500 (30)				
			1,400 (30)				

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บ คือ ระยะเวลาที่ตรวจวัดเป็นนาที

ตารางที่ 3.2.2-5 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณสถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ด้านฝั่งขวา (N60-R) และฝั่งซ้าย (N60-L) ของลำน้ำน่าน เดือนพฤศจิกายน 2560

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
N60-R และ N60-L ลำน้ำน่าน อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์							
2 พ.ย. 60						+24.0	น้ำต้นเต็มตลิ่งปลายน้ำตอนล่าง
					+8.46		
					+42.3		
					+53.6		
16 พ.ย. 60					+49.4		
					+52.2		
				+32.0			
				+20.6			
				+33.9			
				+52.2			
30 พ.ย. 60	+25.4						
	+31.6						
		+26.3					
		+23.5					
			+25.8				
			+25.2				
			+26.3				
			+21.4				
			+8.46				
			+15.0				
			+23.5				
			+27.3				
			+28.2				
			+26.3				
ค่าเฉลี่ย	**+28.5**	**+24.9**	**+22.7**	**+34.7**	**+41.2**	**+24.0**	**(29.3 ± 2.95)**

ตารางที่ 3.2.2-6 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (DR2.8N–R) เดือนมกราคม 2561

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
DR2.8N–R ลำน้ำน่าน อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก							
23 ม.ค. 61						1,150(20)	
						1,550(20)	
						1,200(20)	
						700(20)	
						80(15)	
						450(15)	
						480(15)	
						310(15)	
						500(15)	
						1,230(15)	
						350(15)	
						200(15)	
					640(20)		
					400(20)		
					1,050(20)		
					160(20)		
					300(15)		
					600(15)		
					200(15)		
					100(15)		
					600(15)		
					400(15)		
					400(15)		
					250(15)		

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บ คือ ระยะเวลาที่ตรวจวัดเป็นนาที

ตารางที่ 3.2.2-7 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (DR2.8N–R) เดือนมกราคม 2561

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
DR2.8N–R ลำน้ำน่าน อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก							
23 ม.ค. 61						+31.7	
						+43.2	
						+33.1	
						+18.7	
						+2.88	
						+15.8	
						+17.3	
						+11.5	
						+18.7	
						+46.1	
						+13.0	
						+7.20	
					+17.3		
					+10.1		
					+28.8		
					+4.32		
					+10.1		
					+21.6		
					+7.20		
					+2.88		
					+21.6		
					+14.4		
					+14.4		
					+8.64		
(ค่าเฉลี่ย)					**(+13.4)**	**(+21.6)**	**(17.5)**

ตารางที่ 3.2.2-8 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (DR2.8Y–R) และฝั่งซ้าย (DR2.8Y–L) ของลำน้ำยม เดือนธันวาคม 2560–มกราคม 2561

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
DR2.8Y–R และ DR2.8Y–L ลำน้ำยม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก							
20 ธ.ค. 60					1250 (30)		
					1700 (30)		
21 ธ.ค. 60						850 (5)	
						770 (5)	
						225 (5)	
						225 (5)	
						800 (10)	
						1,500 (15)	
						1,575 (15)	
						850 (5)	
						1,350 (10)	
						1,450 (15)	
						1,300 (15)	
						1,500 (15)	
						1,100 (15)	
						1,000 (15)	
						1,210 (15)	
					210 (15)		
					230 (15)		
					650 (15)		
					160 (15)		
					800 (15)		
					1,350 (15)		
					1,180 (15)		
					1,445 (15)		
22 ธ.ค. 60	1,350 (10)						
	1,450 (10)						
	800 (10)						
	300 (10)						
	1,070 (10)						
	1,450 (10)						
	350 (10)						

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บ คือ ระยะเวลาที่ตรวจวัดเป็นนาที

ตารางที่ 3.2.2-8 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (DR2.8Y–R) และฝั่งซ้าย (DR2.8Y–L) ของลำน้ำยม เดือนธันวาคม 2560–มกราคม 2561 **(ต่อ)**

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
DR2.8Y–R และ DR2.8Y–L ลำน้ำยม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก							
22 ธ.ค. 60	0 (10)						
	200 (10)						
	1,750 (10)						
	450 (10)						
	1,000 (10)						
	170 (10)						
	1,130 (10)						
	1,400 (10)						
	1,180 (10)						
	1,250 (10)						
	320 (10)						
		200 (10)					
		1,400 (10)					
		800 (10)					
		900 (10)					
		600 (10)					
		680 (10)					
		850 (10)					
		1,060 (10)					
		1,250 (10)					
		1,250 (10)					
		170 (10)					
		1,050 (10)					
		190 (10)					
		400 (10)					
		750 (10)					
		320 (10)					
		80 (10)					
		120 (10)					
		710 (10)					
		220 (10)					
		790 (10)					

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บ คือ ระยะเวลาที่ตรวจวัดเป็นนาที

ตารางที่ 3.2.2-8 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (DR2.8Y–R) และฝั่งซ้าย (DR2.8Y–L) ของลำน้ำยม เดือนธันวาคม 2560–มกราคม 2561 **(ต่อ)**

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
DR2.8Y–R และ DR2.8Y–L ลำน้ำยม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก							
22 ธ.ค. 60		1,150 (10)					
		1,800 (10)					
		2,000 (10)					
25 ม.ค. 61	320 (20)					950 (15)	
	1,350 (20)					1,100 (15)	
	720 (20)					450 (15)	
	200 (20)					1,250 (15)	
	920 (15)					900 (15)	
	250 (15)					750 (15)	
	1,300 (15)					600 (15)	
	250 (15)					1,000 (15)	
	1,150 (15)					-50 (15)	
	150 (15)					500 (15)	
	1,250 (15)					1,370 (15)	
	240 (15)					900 (15)	
	300 (15)				1,200 (15)		
	400 (15)				550 (15)		
	0 (15)				1,200 (15)		
	250 (15)				980 (15)		
		750 (20)			100 (15)		
		40 (20)			1,020 (15)		
		-40 (20)			300 (15)		
		30 (20)			750(15)		
		650 (15)			800 (15)		
		20 (15)			800 (15)		
		70 (15)			450 (15)		
		300 (15)			250 (15)		
		150 (15)					
		-30 (15)					
		100 (15)					
		420 (15)					
		220 (15)					

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บ คือ ระยะเวลาที่ตรวจวัดเป็นนาที

ตารางที่ 3.2.2-8 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (DR2.8Y–R) และฝั่งซ้าย (DR2.8Y–L) ของลำน้ำยม เดือนธันวาคม 2560–มกราคม 2561 **(ต่อ)**

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
DR2.8Y–R และ DR2.8Y–L ลำน้ำยม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก							
25 ม.ค. 61		40 (15)					
		150 (15)					
		20 (15)					

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บ คือ ระยะเวลาที่ตรวจวัดเป็นนาที

ตารางที่ 3.2.2-9 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (DR2.8Y–R) และฝั่งซ้าย (DR2.8Y–L) ของลำน้ำยม เดือนธันวาคม 2560–มกราคม 2561

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
DR2.8Y–R และ DR2.8Y–L ลำน้ำยม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก							
20 ธ.ค. 60					+23.5		
					+32.0		
21 ธ.ค. 60						+95.9	
						+86.9	
						+25.4	
						+25.4	
						+45.1	
						+56.4	
						+59.2	
						+95.9	
						+76.2	
						+54.5	
						+48.9	
						+56.4	
						+41.4	
						+37.7	
						+45.5	
					+7.90		
					+8.60		
					+24.4		
					+6.00		
					+30.1		
					+50.8		
					+44.4		
					+54.3		
22 ธ.ค. 60	+76.2						
	+81.8						
	+45.1						
	+16.9						
	+60.4						

ตารางที่ 3.2.2-9 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (DR2.8Y–R) และฝั่งซ้าย (DR2.8Y–L) ของลำน้ำยม เดือนธันวาคม 2560–มกราคม 2561 **(ต่อ)**

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
DR2.8Y–R และ DR2.8Y–L ลำน้ำยม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก							
22 ธ.ค. 60	+81.8						
	+19.7						
	0						
	+11.3						
	+98.7						
	+25.4						
	+56.4						
	+9.60						
	+63.7						
	+79.0						
	+66.6						
	+70.5						
	+18.1						
		+11.3					
		+79.0					
		+45.1					
		+50.8					
		+33.8					
		+38.4					
		+47.9					
		+59.8					
		+70.5					
		+70.5					
		+9.60					
		+59.2					
		+10.7					
		+22.6					
		+42.3					
		+18.1					
		+4.50					

ตารางที่ 3.2.2-9 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (DR2.8Y–R) และฝั่งซ้าย (DR2.8Y–L) ของลำน้ำยม เดือนธันวาคม 2560–มกราคม 2561 **(ต่อ)**

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
DR2.8Y–R และ DR2.8Y–L ลำน้ำยม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก							
22 ธ.ค. 60		+6.80					
		+40.1					
		+12.4					
		+44.6					
		+64.9					
		+101.5					
		+113					
25 ม.ค. 61	+9.00					+35.7	
	+38.1					+41.4	
	+20.3					+17.0	
	+5.64					+47.0	
	+34.6					+33.8	
	+9.40					+28.2	
	+48.9					+22.6	
	+9.40					+37.6	
	+43.2					-1.90	
	+5.60					+18.8	
	+47.0					+51.5	
	+9.02					+33.8	
	+11.3				+45.1		
	+15.0				+20.7		
	0				+45.1		
	+9.40				+36.9		
		+21.1			+3.80		
		+1.13			+38.4		
		-1.13			+11.3		
		+0.85			+28.2		
		+24.4			+30.1		
		+1.33			+30.1		
		+4.70			+16.9		

ตารางที่ 3.2.2-9 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (DR2.8Y–R) และฝั่งซ้าย (DR2.8Y–L) ของลำน้ำยม เดือนธันวาคม 2560–มกราคม 2561 **(ต่อ)**

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
DR2.8Y–R และ DR2.8Y–L ลำน้ำยม อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก							
25 ม.ค. 61		+11.3			+9.40		
		+5.64					
		-1.13					
		+3.80					
		+15.8					
		+8.30					
		+1.50					
		+5.64					
		+0.80					
(ค่าเฉลี่ย)	**(+35.2)**	**(+29.0)**			**(+27.2)**	**(+45.0)**	**(34.1±17.1)**

ตารางที่ 3.2.2-10 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) บริเวณสถานี N27A อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (N27A–R) เดือนมกราคม 2561

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
N27A–R อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก							
28 ม.ค. 61						200 (5)	
						980 (5)	
						100 (5)	
						1,445 (5)	
						0 (5)	
						370 (5)	
						50 (5)	
						150 (5)	
						100 (5)	
						100 (5)	
						-2.00 (5)	
						550 (5)	
						0 (5)	
						200 (5)	
						1,000 (5)	
						100 (5)	

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บ คือ ระยะเวลาที่ตรวจวัดเป็นนาที

ตารางที่ 3.2.2-11 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณสถานี N27A อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (N27A–R) เดือนมกราคม 2561

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
N27A–R อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก							
28 ม.ค. 61						+21.6	
						+109	
						+11.5	
						+163	
						0	
						+40.3	
						+4.32	
						+15.8	
						+10.1	
						+10.1	
						0	
						+30.2	
						0	
						+21.6	
						+56.2	
						+4.32	
(ค่าเฉลี่ย)						**(+31.1)**	

ตารางที่ 3.2.2-12 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) บริเวณตำแหน่ง WTRN วัดท่าโรงตะวันตก อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (WTRN–R) ของลำน้ำน่าน เดือนมกราคม 2561

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
WTRN วัดท่าโรงตะวันตก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก							
24 ม.ค. 61						480 (20)	
						900 (20)	
						500 (20)	
						1,100 (20)	
						1,300 (15)	
						1,300 (15)	
						500 (15)	
						50 (15)	
						550 (15)	
						1,300 (15)	
						250 (150)	
						1,300 (15)	

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บ คือ ระยะเวลาที่ตรวจวัดเป็นนาที

ตารางที่ 3.2.2-13 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณตำแหน่ง WTRN วัดท่าโรงตะวันตก อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (WTRN–R) ของลำน้ำน่าน เดือนมกราคม 2561

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
WTRN วัดท่าโรงตะวันตก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก							
24 ม.ค. 61						+13.0	
						+25.4	
						+13.0	
						+30.2	
						+34.6	
						+34.6	
						+18.7	
						+1.44	
						+20.2	
						+34.6	
						+8.64	
						+34.6	
(ค่าเฉลี่ย)						**(+22.4)**	

ตารางที่ 3.2.2-14 ค่าปริมาตรการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร) บริเวณสถานี N67 อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ ด้านฝั่งขวา (N67–R) และฝั่งซ้าย (N67–L) ของลำน้ำน่าน เดือนมกราคม 2561

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
N67–R และ N67–L ลำน้ำน่าน อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์							
27 ม.ค. 61	300 (5)					450 (5)	ขอบเขตน้ำผิวดินด้านปลายน้ำ
	1,355 (5)					50 (5)	
	500 (5)					0 (5)	
	700 (5)					0 (5)	
		200 (5)				175 (5)	
		200 (5)				150 (5)	
		700 (5)				-50 (5)	
		345 (5)				0 (5)	
		0 (5)				180 (5)	
		700 (5)				70 (5)	
		350 (5)				1,200 (5)	
		347 (5)				0 (5)	
		500 (5)				0 (5)	
						-50 (5)	
					625 (5)		
					520 (5)		
					1,050 (5)		
					825 (5)		
					625 (5)		
					650 (5)		
					1,200 (5)		
					300 (5)		
					1,200 (5)		
					800 (5)		
					900 (5)		
					950 (5)		

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บ คือ ระยะเวลาที่ตรวจวัดเป็นนาที

ตารางที่ 3.2.2-15 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (เซนติเมตร/วัน) บริเวณสถานี N67 อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ ด้านฝั่งขวา (N67–R) และฝั่งซ้าย (N67–L) ของลำน้ำน่าน เดือนมกราคม 2561

วันที่ทำการตรวจวัด	ตำแหน่งที่ติดตั้งในลำน้ำแต่ละฝั่งตามทิศทางจากต้นน้ำไปปลายน้ำ						หมายเหตุ
	LN ซ้ายใกล้ตลิ่ง	LM กลางระหว่างซ้ายใกล้และซ้ายไกลตลิ่ง	LF ซ้ายไกลตลิ่ง	RF ขวาไกลตลิ่ง	RM กลางระหว่างขวาใกล้และขวาไกลตลิ่ง	RN ขวาใกล้ตลิ่ง	
N67–R และ N67–L ลำน้ำน่าน อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์							
27 ม.ค. 61	+33.1					+50.4	ขอบเขตน้ำผิวดินด้านปลายน้ำ
	+153					+4.32	
	+56.2					0	
	+77.8					0	
		+21.6				+18.7	
		+21.6				+15.8	
		+77.8				–4.32	
		+38.9				0	
		0				+20.2	
		+77.8				+7.2	
		+15.8				+135	
		+38.9				0	
		+56.2				0	
						–4.32	
					+69.1		
					+57.6		
					+118		
					+92.2		
					+69.1		
					+72		
					+135		
					+33.1		
					+135		
					+89.3		
					+101		
					+107		
(ค่าเฉลี่ย)	**(+79.9)**	**(+38.7)**			**(+90.0)**	**(+17.4)**	**(56.5 ± 17.1)**

รูปที่ 3.2.2-19 สภาพพื้นที่ริมตลิ่งของลำน้ำยม บริเวณสถานี Y6 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย

รูปที่ 3.2.2-20 สภาพพื้นที่ริมตลิ่งของลำน้ำน่าน บริเวณสถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์

รูปที่ 3.2.2-21 การติดตั้ง Seepage Meters บริเวณฝั่งซ้ายของลำน้ำยม ณ สถานี Y6 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย (วันที่ 19 ตุลาคม 2560)

รูปที่ 3.2.2-22 การติดตั้ง Seepage Meters บริเวณฝั่งขวาของแม่น้ำน่าน ณ สถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ (วันที่ 2 และ 16 พฤศจิกายน 2560)

รูปที่ 3.2.2-23 การติดตั้ง Seepage Meters บริเวณฝั่งซ้ายของแม่น้ำน่าน ณ สถานี N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ (วันที่ 30 พฤศจิกายน 2560)

3.2.3 (ก) วิธีการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนโดยความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ

3.2.3 (ก1) หลักการตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ

เมื่อมีการสูญเสียของน้ำในลำน้ำ จะพบว่ามีความแปรผันของอุณหภูมิที่มากกว่า ณ บริเวณจุดที่ตรวจวัดได้ทั้งผิวตะกอนท้องน้ำและลึกลงไปใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ และเมื่อน้ำบาดาลไหลซึมเข้ามาในลำน้ำ จะพบว่ามีความแปรผันของอุณหภูมิที่น้อยกว่า ณ บริเวณจุดที่ตรวจวัดได้ทั้งผิวตะกอนท้องน้ำและลึกลงไปใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ ขณะเดียวกันสามารถตรวจวัดควบคู่กับค่าความแตกต่างของเฮดระหว่างตำแหน่งใต้ผิวตะกอนท้องน้ำลึกลงไปและตำแหน่งผิวน้ำในลำน้ำ

3.2.3 (ก2) อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ

อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณตำแหน่งผิวตะกอนท้องน้ำและลึกลงไปใต้ผิวตะกอนท้องน้ำและค่าความแตกต่างของเฮดระหว่างตำแหน่งใต้ผิวตะกอนท้องน้ำลึกลงไป และตำแหน่งผิวน้ำในลำน้ำประกอบด้วย

1) เครื่องบันทึกอุณหภูมิ Lutron รุ่น TM-1947SD
2) Mini–piezometer ทำจากท่อพีวีซีใส เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตรความยาว 2.00 เมตร
3) ท่อเหล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.00 เซนติเมตรความยาว 2.20 เมตร
4) หัวเจาะเหล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.00 เซนติเมตรความยาว 12 เซนติเมตร
5) บ่อพีวีซีวัดอุณหภูมิ เส้นผ่านศูนย์กลาง 6.00 นิ้ว ความลึก 8 เมตร

3.2.3 (ก3) ขั้นตอนการตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ

ขั้นตอนการตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณตะกอนใต้ลำน้ำ (รูปที่ 3.2.3-1) มีดังต่อไปนี้

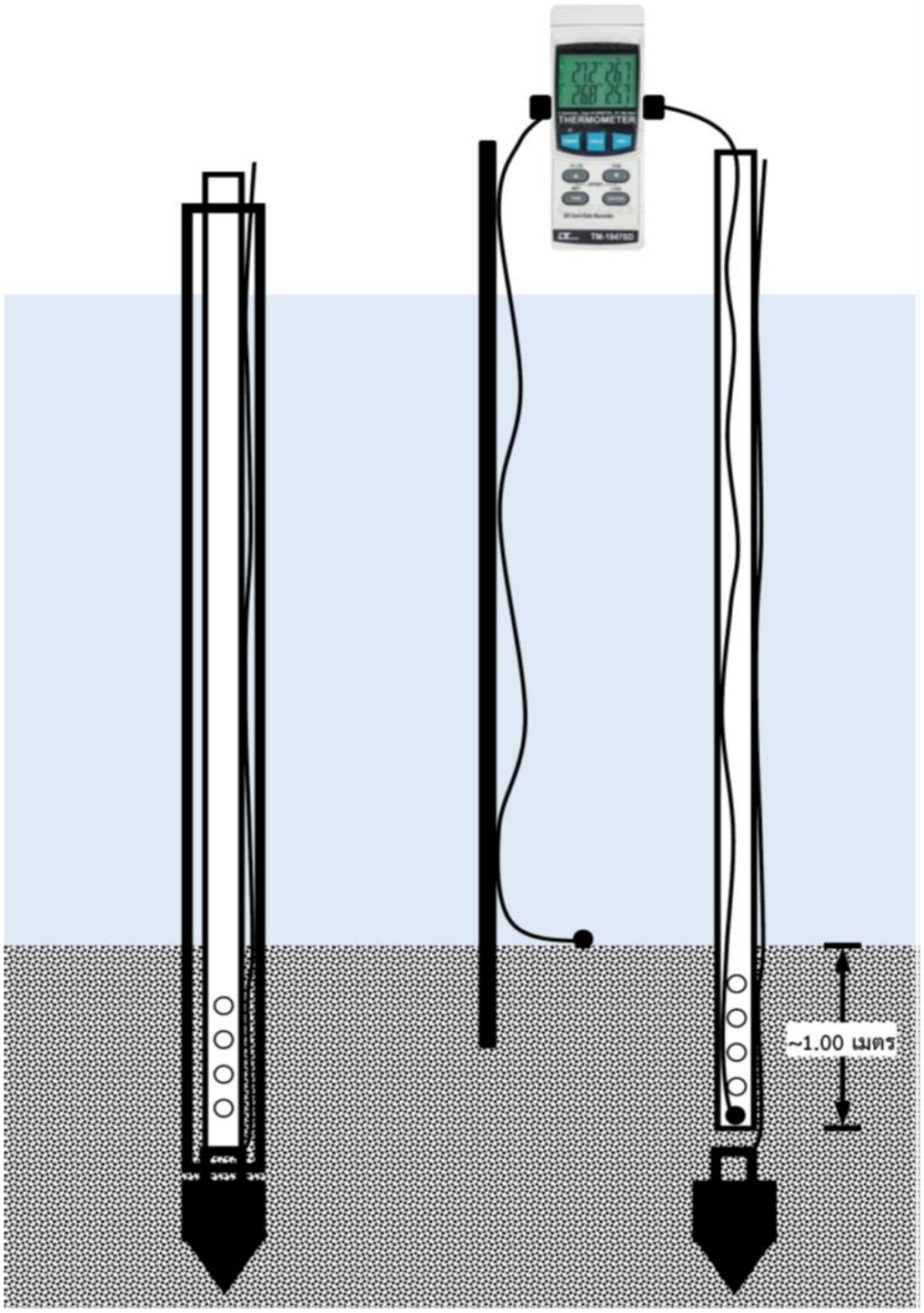
1) ประกอบท่อเหล็กและหัวเจาะเหล็กเข้าด้วยกัน โดยใช้เชือกรัดให้แน่น กดท่อเหล็ก และหัวเจาะเหล็กที่ประกอบเข้าด้วยกัน แล้วลงไปบนตะกอนท้องน้ำให้ลึกเกิน 1.00 เมตรเล็กน้อย

2) เสียบ Mini–piezometer ลงไปในท่อเหล็ก แล้วดึงท่อเหล็กออกขณะยังคงเสียบ Mini–piezometer ค้างไว้ จากนั้นดึง Mini–piezometer ขึ้นเล็กน้อยจนได้ความลึก 1.00 เมตรพอดี

3) หย่อนสายโพรบวัดอุณหภูมิ Thermocouples ลงข้างในท่อ Mini–piezometer จนสุดปลายท่อ แล้วใช้เชือกรัดสายโพรบวัดอุณหภูมิติดกับตัวท่อ จากนั้นเริ่มการตรวจวัดอุณหภูมิ

4) กรณีตรวจวัดจากบ่อพีวีซีขนาด 6 นิ้ว ลึก 8 เมตร จำเป็นต้องเจาะบ่อในลำน้ำก่อน แล้วจึงหย่อนสายโพรบวัดอุณหภูมิ Thermocouples ลงไปข้างในบ่อ และใช้เชือกรัดสายโพรบวัดอุณหภูมิติดกับตัวบ่อ จากนั้นเริ่มการตรวจวัดอุณหภูมิ

5) รัดสายโพรบวัดอุณหภูมิติดกับหลักชั่วคราวแล้วเสียบลงไปในตะกอนท้องน้ำให้แน่น เพื่อวัดอุณหภูมิบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ



รูปที่ 3.2.3-1 องค์ประกอบเครื่องตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณพื้นดินใต้ลำน้ำ

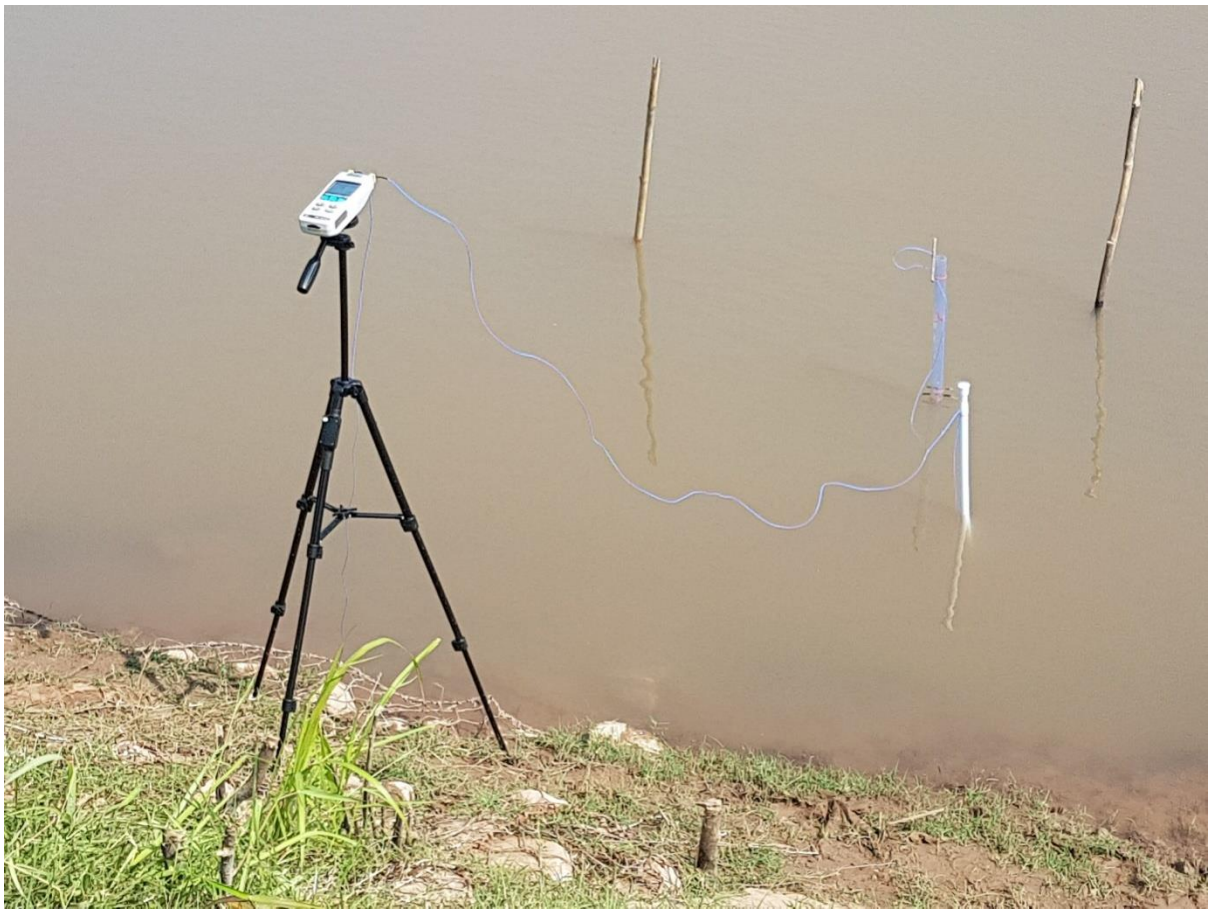
3.2.3 (ข) ผลการตรวจความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ

การตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนตำแหน่งใต้ตะกอนท้องน้ำที่ลึกลงไปประมาณ 1.00 เมตร และตำแหน่งผิวของตะกอนท้องน้ำ รวมถึงการตรวจวัดค่าความแตกต่างของความสูงของผิวน้ำในหน่วยของความยาว (เฮด) ระหว่างตำแหน่งใต้ผิวตะกอนท้องน้ำลึกลงไปประมาณ 1.00 เมตร และตำแหน่งผิวน้ำในลำน้ำ บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพลายชุมพล อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเป็นช่วงที่ระยะห่างระหว่างลำน้ำยมและน่านมีไม่มากนักราว 3 กิโลเมตรทั้งบริเวณด้านลำน้ำยมตำแหน่ง DR2.8Y-L และDR2.8Y-R บริเวณด้านลำน้ำน่านตำแหน่ง DR2.8N-R รูปที่ 3.2.3-2 ถึงรูปที่ 3.2.3-5 ค่าความแตกต่างของเฮดระหว่างตำแหน่งใต้ผิวตะกอนท้องน้ำลึกลงไปและตำแหน่งผิวน้ำในลำน้ำอยู่ที่ 0.20–1.50 เซนติเมตร

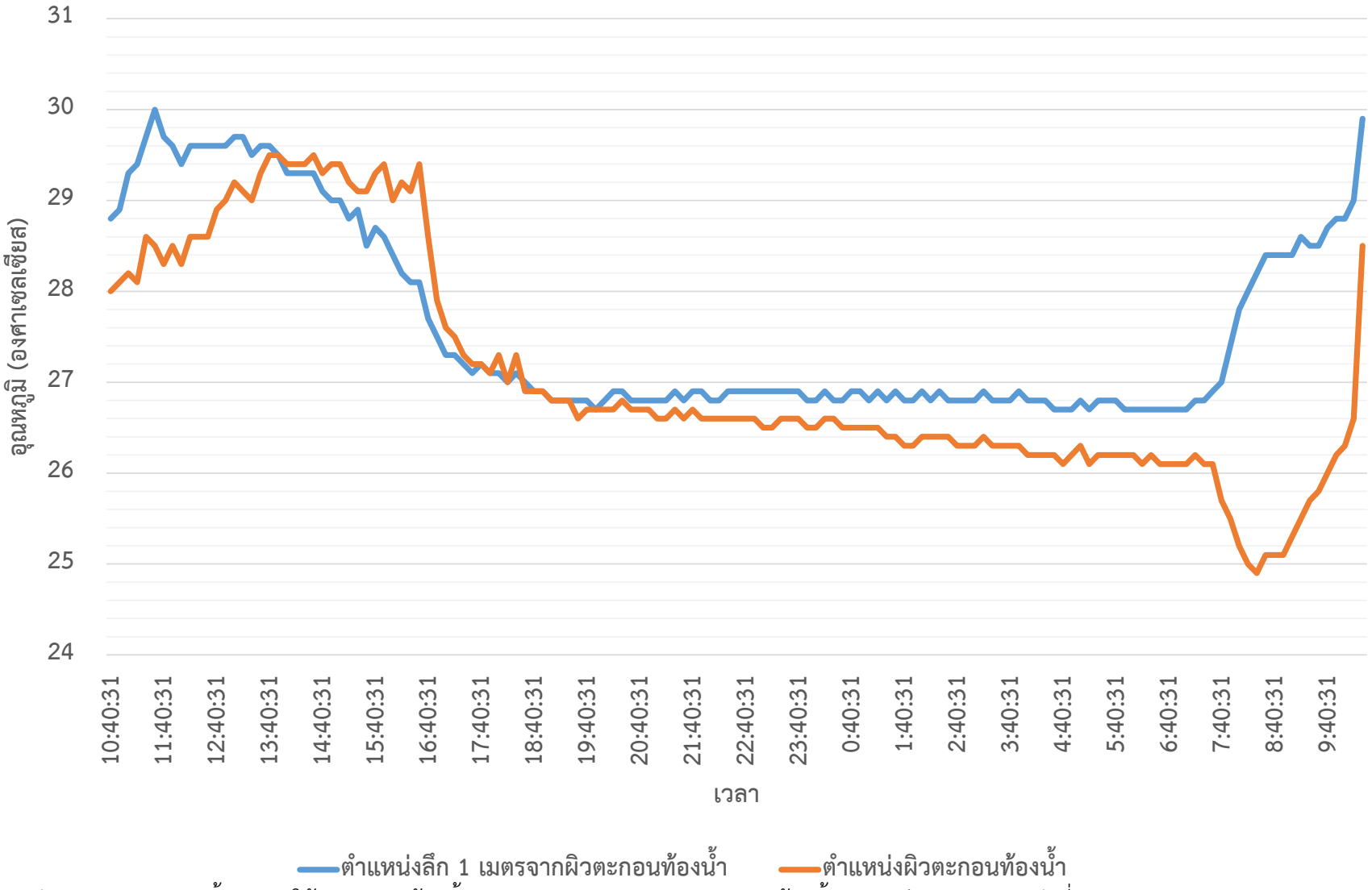
ความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำลงไป 1.00 เมตร และบริเวณผิวของตะกอนท้องน้ำ ณ ตำแหน่ง DR2.8N-R มีมากที่สุด แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าช่วงเวลา 14.00 น อุณหภูมิน้ำของบริเวณทั้งสองจะใกล้เคียงกันที่สุด น่าจะเกิดจากตะกอนท้องน้ำมีการคายความร้อนตั้งแต่ช่วงเช้าจนกระทั่ง 14.40 น. จากนั้นอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำจะลดลงต่ำกว่าจนราว 19.00 น. จะลงมาอยู่ในระดับใกล้เคียงกันกับอุณหภูมิน้ำบริเวณผิวของตะกอนท้องน้ำ แล้วอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำจะมาเพิ่มขึ้นมากกว่าอีกในช่วงเช้าราว 7.00 น. เมื่อพิจารณาความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ท้องน้ำ 1.00 เมตร และบริเวณผิวของตะกอนท้องน้ำ ณ ตำแหน่ง DR2.8Y-L ควบคู่กับค่าความแตกต่างของความสูงของผิวน้ำในหน่วยของความยาว (เฮด) ระหว่างตำแหน่งใต้ตะกอนท้องน้ำลึกลงไปและตำแหน่งผิวน้ำในลำน้ำ แสดงถึงแนวโน้มในการที่น้ำในลำน้ำสูญเสียให้ชั้นน้ำบาดาล ขณะที่ตำแหน่งที่เหลือมีทั้งแนวโน้มที่น้ำในลำน้ำสูญเสียให้ชั้นน้ำบาดาลและน้ำบาดาลมาเติมน้ำในลำน้ำ ในเวลาช่วงเช้าและบ่าย ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2.3-1 สรุปค่าความแตกต่างของเฮดระหว่างตำแหน่งใต้ตะกอนท้องน้ำและตำแหน่งผิวน้ำในลำน้ำ

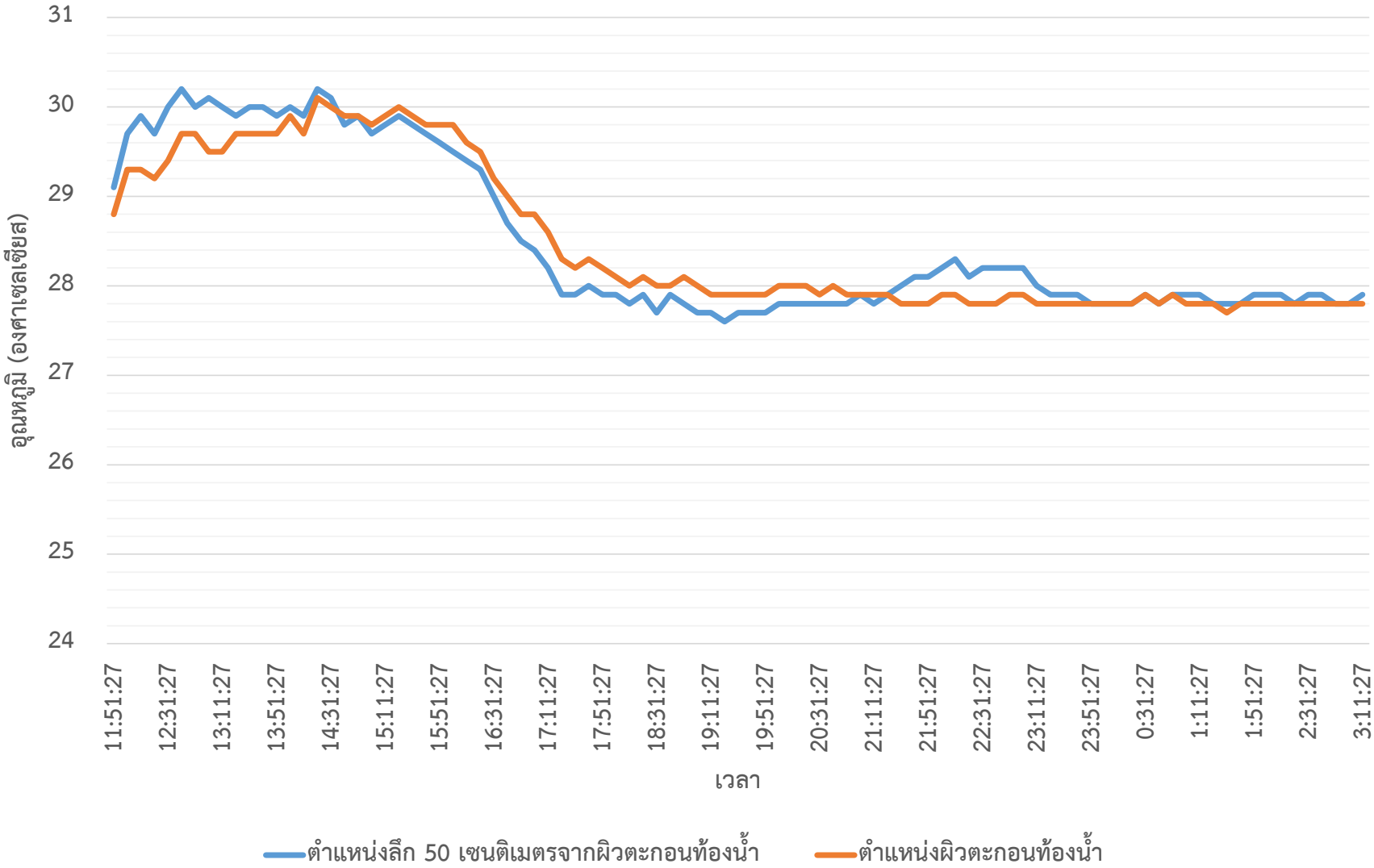
ตำแหน่งตรวจวัด	ความแตกต่างของเฮดระหว่างตำแหน่งใต้ตะกอนท้องน้ำลึกลงไปและตำแหน่งผิวน้ำในลำน้ำ Δh (เซนติเมตร)	ระดับความลึกของน้ำ (เซนติเมตร)	หมายเหตุ
DR2.8Y-L	0.20	74	ลึกจากผิวของตะกอนท้องน้ำ 1.00 เมตร
DR2.8Y-R	0.90	53	ลึกจากผิวของตะกอนท้องน้ำ 0.50 เมตร
DR2.8N-R	1.50	43	ลึกจากผิวของตะกอนท้องน้ำ 1.00 เมตร



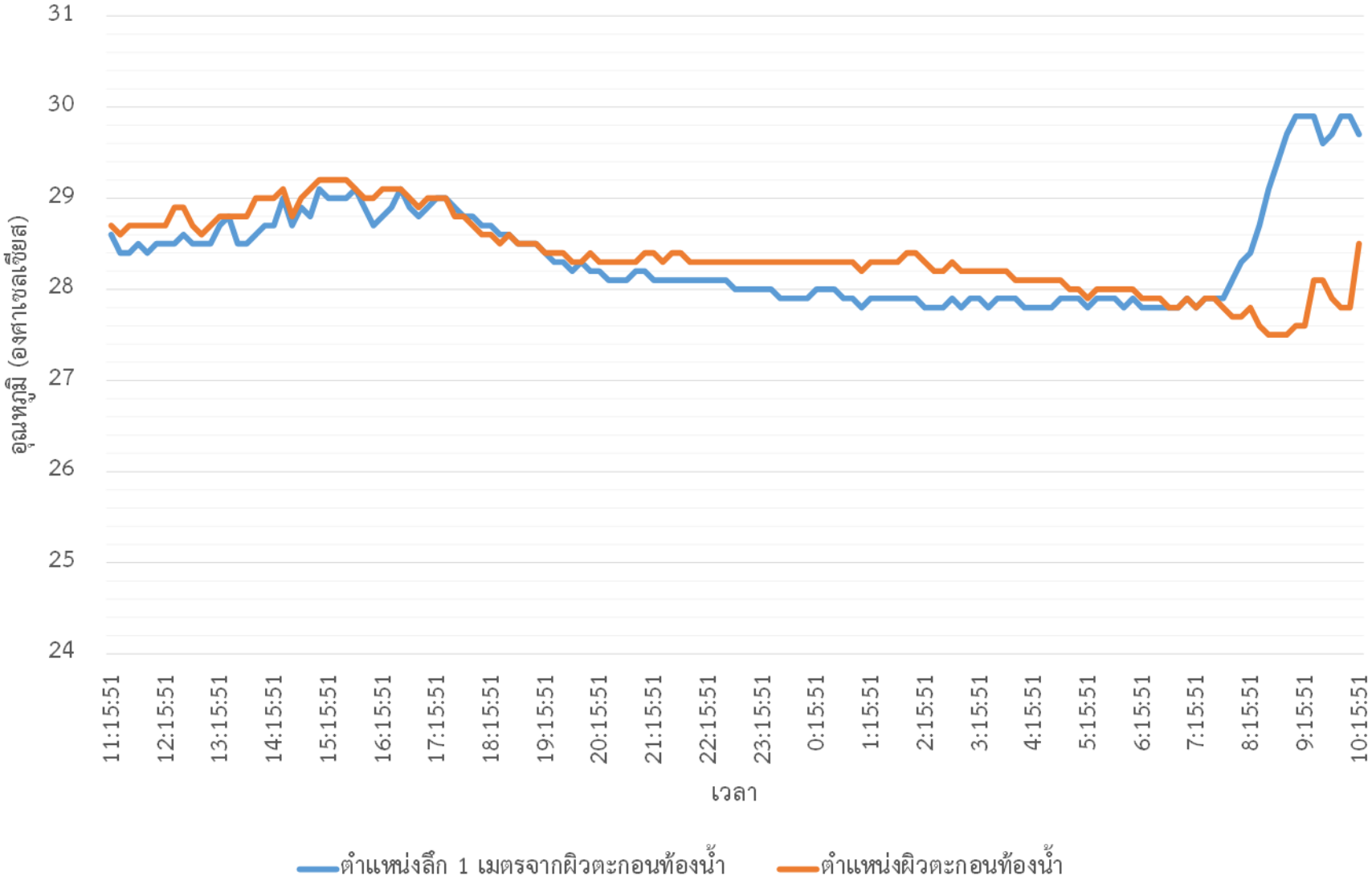
รูปที่ 3.2.3-2 การตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณตำแหน่งผิวตะกอนท้องน้ำ และลึกลงไปใต้ผิวตะกอนท้องน้ำประมาณ 1.00 เมตร ณ ตำแหน่ง DR2.8N-R



รูปที่ 3.2.3-3 ความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8N-R วันที่ 23–24 มกราคม 2561 เวลา 10.40–10.10 น



รูปที่ 3.2.3-4 ความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8Y-R วันที่ 25–26 มกราคม 2561 เวลา 11.51–3.11 น.



รูปที่ 3.2.3-5 ความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 เมตร และ บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8Y-L วันที่ 27–28 มกราคม 2561 เวลา 11.15–10.15 น.

ความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำลงไป 8.00 เมตร และบริเวณผิวของตะกอนท้องน้ำ ณ ตำแหน่ง DR2.8N-R มีมากที่สุด (รูปที่ 3.2.3-6) แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ณ ตำแหน่ง DR2.8Y–L อุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 เมตร จะสูงกว่าอุณหภูมิบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำอยู่ราว 1 องศาเซลเซียส ในขณะที่ ณ ตำแหน่ง DR2.8N–R อุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 เมตร จะต่ำกว่าอุณหภูมิบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำอยู่ราว 1.5 องศาเซลเซียส (รูปที่ 3.2.3-7 และ 3.2.3-8) มีความเป็นไปได้ที่ชั้นดินเหนียวจะสามารถทำหน้าที่รักษาอุณหภูมิของน้ำใต้ตะกอนท้องน้ำลงไป 8.00 เมตร ได้มากกว่าชั้นทราย (ตารางที่ 3.2.3-2) การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างตะกอนท้องน้ำและน้ำในลำน้ำจึงมีมากกว่าเมื่อผ่านชั้นทราย

รูปแบบการผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ณ ตำแหน่ง DR2.8Y-L วันที่ 17–19 กรกฎาคม 2561 เวลา 11.00–12.30 น. เป็นลักษณะคลื่น โดยเริ่มเพิ่มสูงขึ้นพร้อมกันตั้งแต่เวลา 7.00 น. จนถึงจุดสูงสุดราว 15.00 น. แล้วลดลงจนถึงระดับเดิมราว 20.00–22.00 น. ทั้งนี้อุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 เมตรจะลดลงถึงระดับเดิม (31 องศาเซลเซียส) ก่อนอุณหภูมิน้ำบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (30 องศาเซลเซียส) รวมถึงอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 เมตร แปรผันในรูปแบบที่ชัดเจนแน่นอนกว่าตามเวลา ผลการตรวจวัดยังแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มของอุณหภูมิอย่างกะทันหันจากการเกิดปลายยอดของเส้นกราฟอุณหภูมิที่สูงและชันเมื่อระดับน้ำในลำน้ำเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการสูญเสียของน้ำในลำน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลตั้งแต่เช้าของวันจนช่วงเวลาบ่ายสาม แล้วจะเกิดการไหลของน้ำในชั้นน้ำบาดาลเข้าสู่ลำน้ำตั้งแต่เวลาบ่ายสามจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลในช่วงเวลาสี่ทุ่มตอนกลางคืน รูปแบบการผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8N-R วันที่ 23–25 กรกฎาคม 2561 เวลา 11.30–12.30 น. แสดงให้เห็นถึงสัญญาณการตอบสนองทางความร้อนของบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำอย่างฉับพลัน ซึ่งมักบ่งชี้ถึงอัตราการซึมที่สูงโดยเฉพาะในช่วงเวลา 7.00–10.00 น. ทั้งนี้วงจรเวลาของการสูญเสียและเพิ่มเติมของน้ำในลำน้ำทั้งสองตำแหน่งมีความคล้ายคลึงกัน

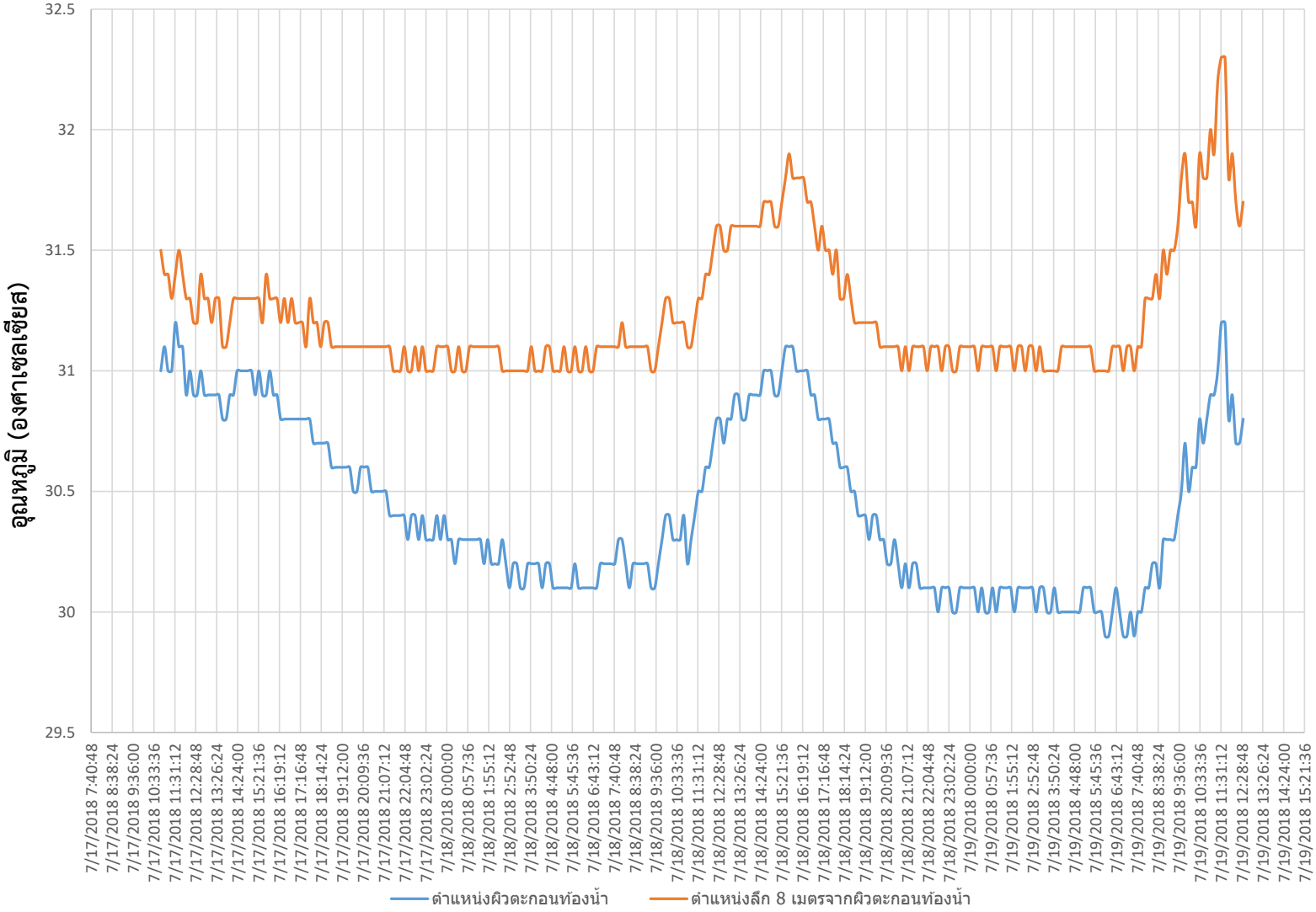
ตารางที่ 3.2.3-2 ตำแหน่งตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำลงไป 8.00 เมตร และบริเวณผิวของตะกอนท้องน้ำ

ลำดับ	รหัสบ่อ	ตำแหน่ง	ที่ตั้ง	ตัวอย่างดินที่พบ
1	DR2.8Y–L	ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	47Q 630812E 1837651N	1–5 เมตร ทราย 5–7 เมตร ดินเหนียว 7–8 เมตร ทราย
2	DR2.8N–R	ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	47Q 633229E 1837518N	1–8 เมตร ดินเหนียว 8–9 เมตร ทราย

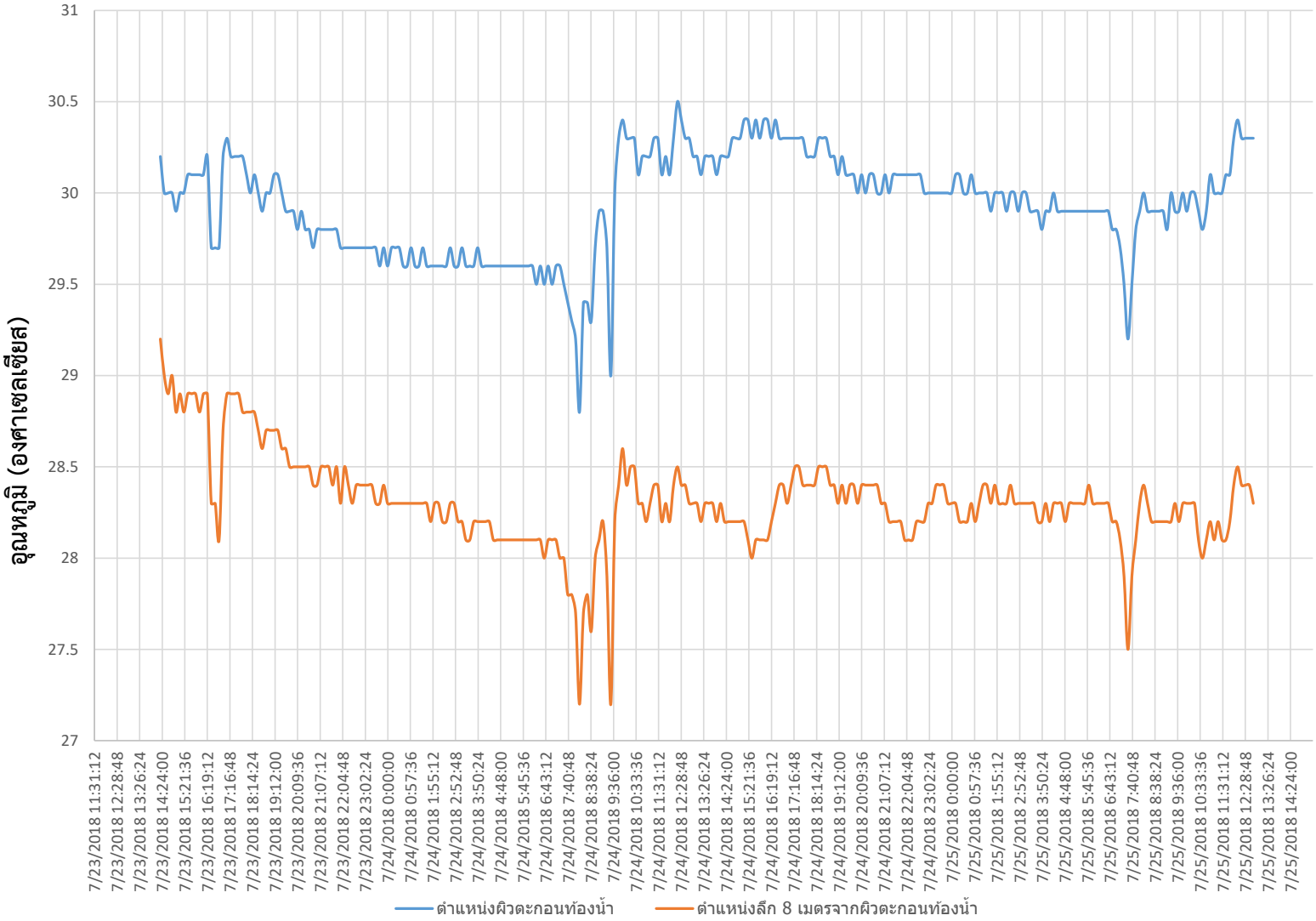
(ก) ตำแหน่ง DR2.8Y-L

(ข) ตำแหน่ง DR2.8N-R

รูปที่ 3.2.3-6 การตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณตำแหน่งผิวตะกอนท้องน้ำและลึกลงไปใต้ผิวตะกอนท้องน้ำประมาณ 8.00 เมตร ณ ตำแหน่ง DR2.8Y-L (ก) และ DR2.8N-R (ข)



รูปที่ 3.2.3-7 ความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8Y-L วันที่ 17–19 กรกฎาคม 2561 เวลา 11.00–12.30 น.



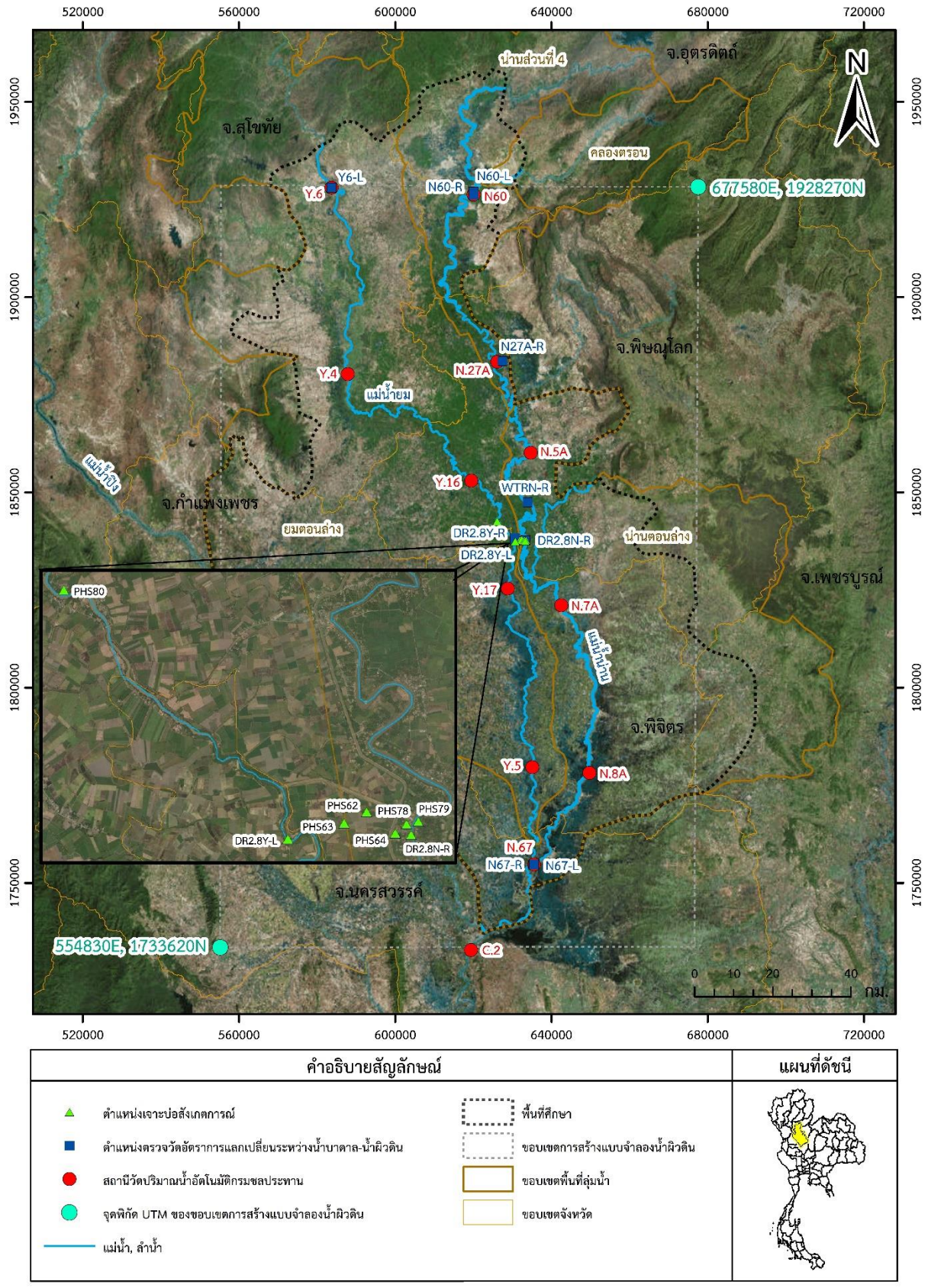
รูปที่ 3.2.3-8 ความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8N-R วันที่ 23–25 กรกฎาคม 2561 เวลา 11.30–12.30 น.

ปัญหาและอุปสรรคในการตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนตำแหน่งใต้ตะกอนท้องน้ำที่ลึกลงไปและตำแหน่งผิวของตะกอนท้องน้ำ มีดังต่อไปนี้

- สภาพตะกอนท้องน้ำที่แข็งทำให้การกดท่อเหล็กและหัวเจาะเหล็กลงไปไม่ได้ความลึกถึง 1.00 เมตร เช่น ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด DR2.8Y-R
- สภาพความลาดชันของท้องน้ำและลักษณะเป็นดินโคลนทำให้การทำงานเป็นไปด้วยความยากลำบาก เช่น ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด DR2.8N-R

3.2.4 การสังเกตการณ์ระดับน้ำบาดาลเพื่อตรวจสอบความเชื่อมโยงของน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

การศึกษาในครั้งนี้ได้ดำเนินการเจาะบ่อสังเกตการณ์ทั้งหมด 6 บ่อ เป็นบ่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ยาว 6 นิ้ว โดยมี 1 บ่อสังเกตการณ์ (PHS80) ตั้งอยู่บริเวณฝั่งซ้ายของแม่น้ำยมห่างจากริมตลิ่งของแม่น้ำยมประมาณ 150 เมตร มี 2 บ่อสังเกตการณ์ (PHS78 และ PHS79) ตั้งอยู่บริเวณฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของแม่น้ำน่านห่างจากริมตลิ่งของแม่น้ำน่านประมาณ 30 และ 50 เมตร ตามลำดับ มี 1 บ่อสังเกตการณ์ (PHS64) อยู่ห่างจากคลองชลประทานประมาณ 80 เมตร และมี 2 บ่อสังเกตการณ์สุดท้าย (PHS62 และ PHS63) ตั้งอยู่บริเวณตอนกลางระหว่างแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน ดังแสดงในรูปที่ 3.2.4-1 บ่อสังเกตการณ์ที่ PHS62, PHS63, PHS64, PHS78, และ PHS79 ตั้งอยู่ ณ ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก และบ่อสังเกตการณ์ที่ PHS80 ตั้งอยู่ ณ ตำบลวังอิทก อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก (รูปที่ 3.2.4-2) ทั้งนี้ความลึกรวมของบ่อสังเกตการณ์ 6 บ่อบนพื้นดินเท่ากับ 338 เมตร ในขณะที่ถ้ารวมบ่อตรวจวัดอุณหภูมิในน้ำ 2 บ่อ ที่มีความลึกรวม 16 เมตร ดังนั้นความลึกรวมของทั้ง 8 บ่อ เท่ากับ 354 เมตร รายละเอียดระดับความลึกเจาะ ระดับน้ำปกติหลังเจาะเสร็จ และความลึกของแต่ละชั้นดินแสดงในตารางที่ 3.2.4-1



รูปที่ 3.2.4-1 ตำแหน่งที่ตั้งของบ่อสังเกตการณ์ทั้ง 6 บ่อในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 3.2.4-1 ข้อมูลรายละเอียดของบ่อสังเกตการณ์ทั้ง 6 บ่อในพื้นที่ศึกษา และบ่อตรวจวัดอุณหภูมิ 2 บ่อ ในพื้นที่ศึกษา

รหัสบ่อสังเกตการณ์	สถานที่ตั้ง	ตำแหน่ง GPS	ระดับความลึกเจาะ (เมตร)	ระดับน้ำปกติหลังเจาะเสร็จ (เมตร)	ระดับความลึกชั้นดินแรก	ระดับความลึกชั้นดินที่ 2	ระดับความลึกชั้นดินที่ 3	ระดับความลึกชั้นดินที่ 4	ระดับความลึกชั้นดินที่ 5
PHS62	บ้านวัดใหม่ หมู่ที่ 6 ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	47Q 632371E 1838010N	34	28	1–10 เมตร (ดินเหนียว)	11–24 เมตร (ทรายสีแดง)	25–34 เมตร (ทรายปนกรวด)		
PHS63	บ้านวัดใหม่ หมู่ที่ 6 ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	47Q 631900E 1837776N	70	64	1–11 เมตร (ดินเหนียวสีเหลือง)	12–16 เมตร (ทรายสีแดง)	17–26 เมตร (ทรายปนกรวด)	27–41 เมตร (ทรายหยาบ)	42–70 เมตร (ทราย)
PHS64	บ้านวัดใหม่ หมู่ที่ 6 ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	47Q 632966E 1837573N	60	53	1–14 เมตร (ดินเหนียว)	15–26 เมตร (ทรายสีแดง)	27–38 เมตร (ทรายปนกรวด)	39–60 เมตร (ทรายละเอียด)	
PHS78	บ้านวัดใหม่ หมู่ที่ 6 ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	47Q 633231E 1837755N	60	52	1–6 เมตร (ดินเหนียว)	7–9 เมตร (ดินเหนียวสีเหลือง)	10–17 เมตร (ดินปนทราย)	18–29 เมตร (ทรายปนกรวด)	30–60 เมตร (ทรายหยาบปนละเอียด)
PHS79	บ้านวัดขวาง หมู่ที่ 7 ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	47Q 633421E 1837723N	54	46	1–15 เมตร (ทรายปนดินเหนียว)	16–35 เมตร (ทรายสีแดง)	36–54 เมตร (ทรายละเอียด)		
PHS80	บ้านวังใหญ่ หมู่ที่ 7 ตำบลวังอิทก อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก	47Q 620784E 1842603N	60	53	1–15 เมตร (ดินเหนียว)	16–20 เมตร (ทราย)	21–24 เมตร (กรวด)	25–60 เมตร (ทรายปนกรวด)	
DR2.8Y–L	ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	47Q 630812E 1837651N	8	---	1–5 เมตร (ทราย)	6–7 เมตร (ดินเหนียว)	8 เมตร (ทราย)		
DR2.8N–R	ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก	47Q 633229E 1837518N	8	---	1–7 เมตร (ดินเหนียว)	8 เมตร (ทราย)			

PHS62		
PHS63		
PHS64		

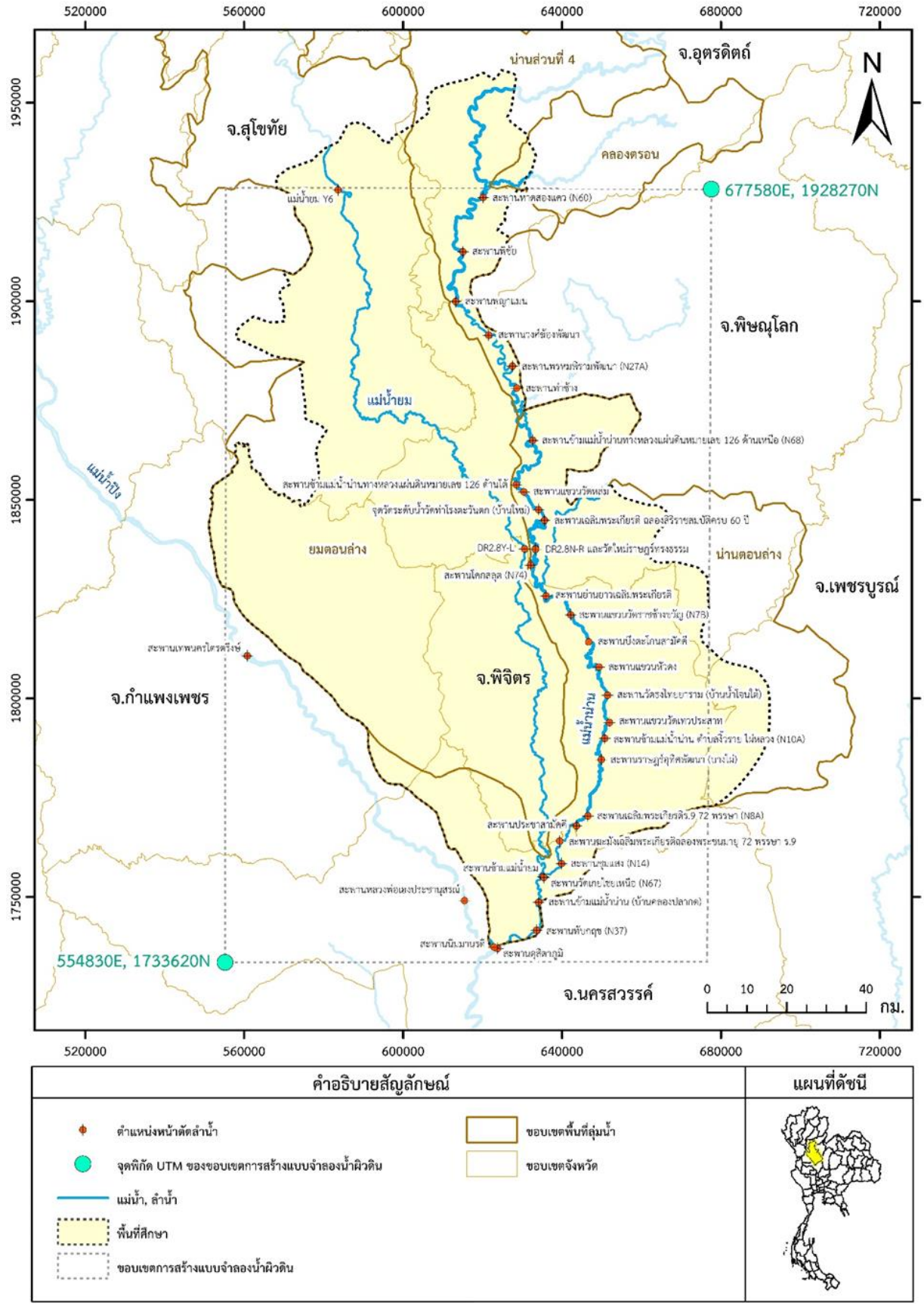
รูปที่ 3.2.4-2 ภาพลักษณะการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ทั้ง 6 บ่อในพื้นที่ศึกษา

PHS78		
PHS79		
PHS80		

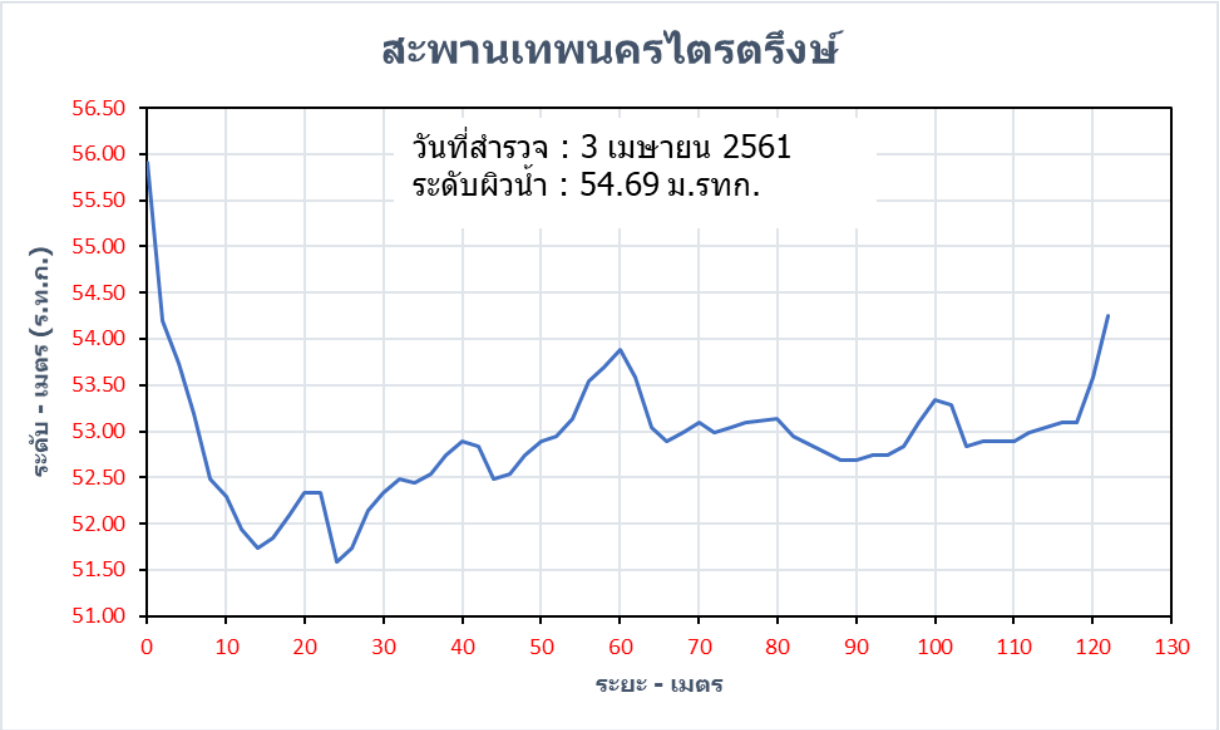
รูปที่ 3.2.4-2 ภาพลักษณะการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ทั้ง 6 บ่อในพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

3.2.5 การสำรวจหน้าตัดลำน้ำในพื้นที่ศึกษา

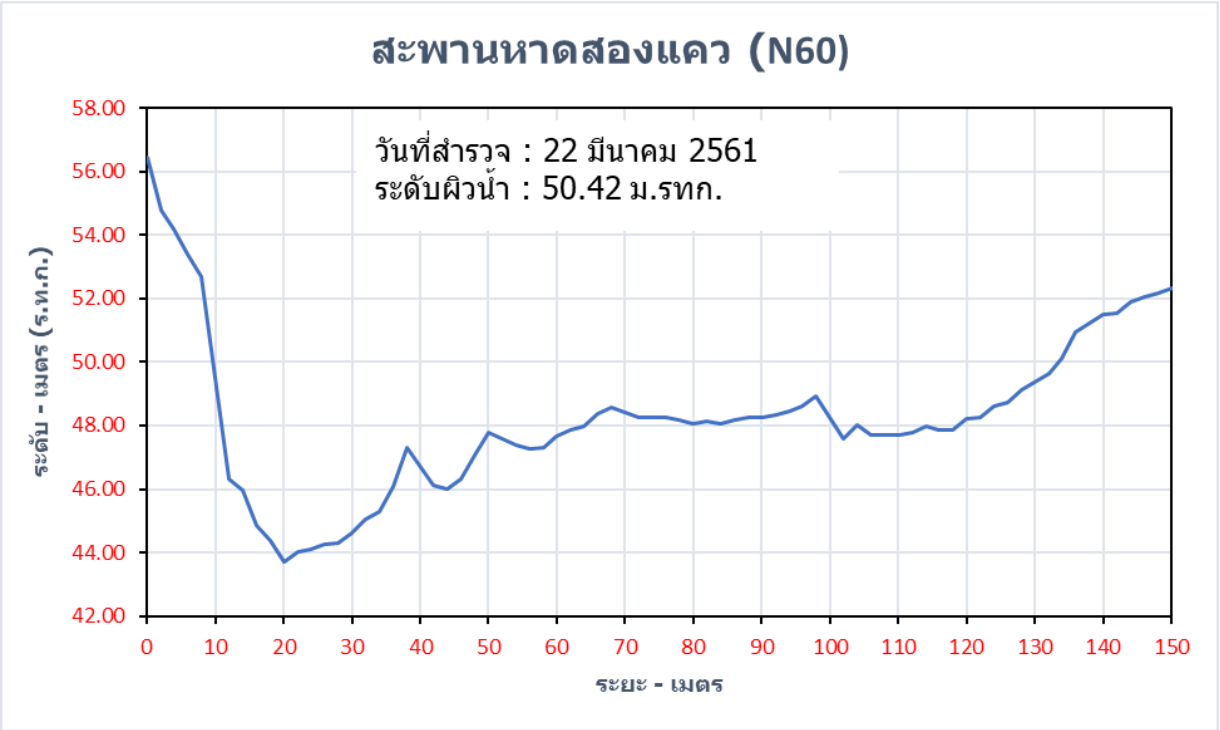
การสำรวจหน้าตัดลำน้ำในพื้นที่ศึกษาของโครงการฯ ได้ดำเนินการสำรวจไว้ทั้งหมด 36 หน้าตัด โดยทำการสำรวจหน้าตัดลำน้ำในแม่น้ำน่านบริเวณสะพานหาดสองแคว (N60), สะพานพิชัย, สะพานพญาแมน, สะพานวงศ์ฆ้องพัฒนา, สะพานพรหมพิรามพัฒนา (N27A), สะพานท่าช้าง, สะพานข้ามแม่น้ำน่าน ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 126 ด้านเหนือ N68, สะพานข้ามแม่น้ำน่าน ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 126 ด้านใต้, สะพานแขวนวัดหล่ม, สะพานเฉลิมพระเกียรติ ฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี, DR2.8N-R และ วัดใหม่ราษฎร์ทรงธรรม, สะพานโคกสลุต (N74), สะพานย่านยาวเฉลิมพระเกียรติ, สะพานแขวนวัดราชช้างขวัญ (N7B), สะพานบึงตะโกนสามัคคี, สะพานวัดหัวดง, สะพานวัดธงไทยยาราม (บ้านน้ำโจนใต้), สะพานแขวนวัดเทวปราสาท,สะพานแขวนข้ามแม่น้ำน่าน ตำบลงิ้วราย-ไผ่หลวง (N10A), สะพานราษฎร์อุทิศพัฒนา (บางไผ่), สะพานเฉลิมพระเกียรติ ร.9 72 พรรษา (N8A), สะพานฆะมังเฉลิมพระเกียรติฉลองพระชนมายุ 72 พรรษา ร.9, สะพานชุมแสง (N14), สะพานวัดเกยไชยเหนือ (N67), สะพานข้ามแม่น้ำน่าน (บ้านคลองปลากด), สะพานทับกฤช (N37), สะพานดุสิตาภูมิ ในส่วนของแม่น้ำยมได้ทำการสำรวจในบริเวณแม่น้ำยม Y6, DR2.8Y-L, สะพานข้ามแม่น้ำยม และบริเวณแม่น้ำปิงได้ทำการสำรวจในบริเวณสะพานเทพนครไตรตรึงษ์, สะพานหลวงพ่อเฮงประชานุสรณ์ และสะพานนิมมานรดี ดังแสดงในรูปที่ 3.2.5-1 ข้อมูลที่ได้จากกการสำรวจหน้าตัดลำน้ำแสดงไว้ในรูปที่ 3.2.5-2 ถึงรูปที่ 3.2.5-5



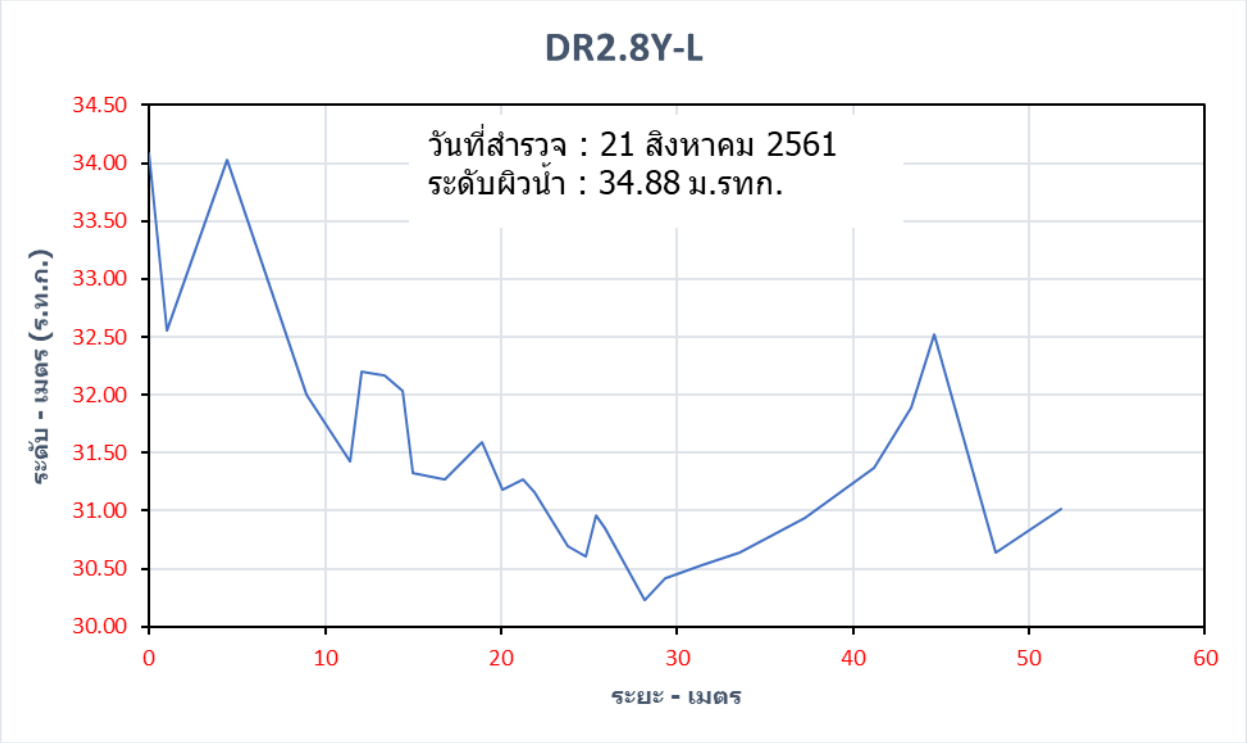
รูปที่ 3.2.5-1 แผนที่แสดงตำแหน่งหน้าตัดลำน้ำ



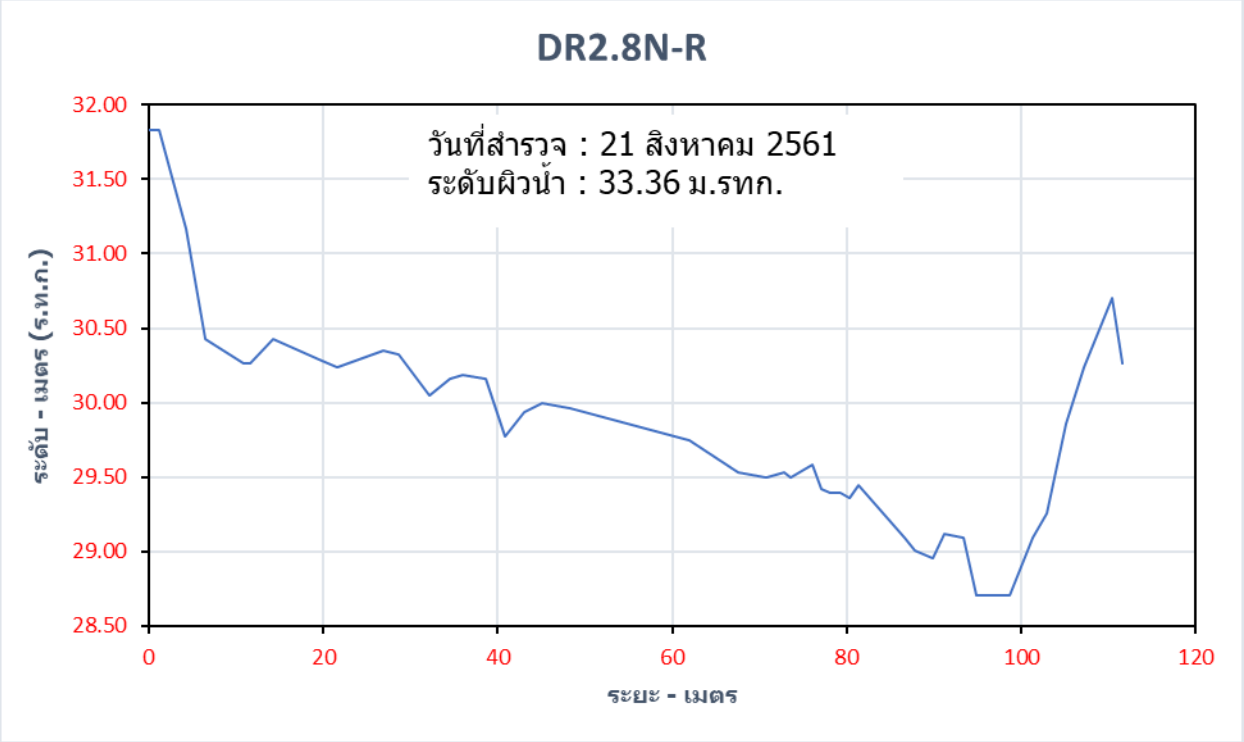
รูปที่ 3.2.5-2 แสดงหน้าตัดลำน้ำบริเวณสะพานเทพนครไตรตรึงษ์



รูปที่ 3.2.5-3 แสดงหน้าตัดลำน้ำบริเวณสะพานหาดสองแคว (N60)



รูปที่ 3.2.5-4 แสดงหน้าตัดลำน้ำบริเวณ DR2.8Y-L



รูปที่ 3.2.5-5 แสดงหน้าตัดลำน้ำบริเวณ DR2.8N-R

3.3 การสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลร่วมกับแบบจำลองน้ำผิวดิน

3.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลร่วมกับแบบจำลองน้ำผิวดิน

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีทั้งหมด 8 แบบจำลอง ทั้งนี้สามารถแยกออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

(1) แบบจำลองน้ำผิวดิน ประกอบด้วย

- แบบจำลอง MIKE11
- แบบจำลอง MIKESHE
- แบบจำลอง HEC-HMS
- แบบจำลอง HEC-RAS
- แบบจำลอง eWater Source

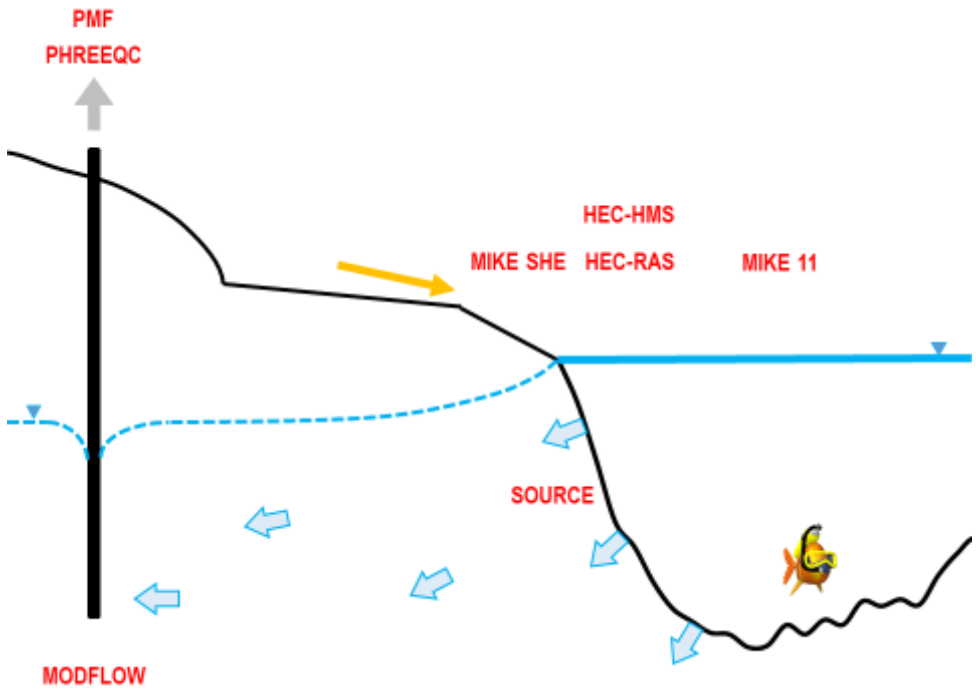
(2) แบบจำลองน้ำใต้ดิน ประกอบด้วย

- แบบจำลอง MODFLOW

(3) แบบจำลองสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย

- แบบจำลองจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดที่ผู้รับ (Receptor Model) คือ Positive Matrix Factorization (PMF)
- แบบจำลองธรณีเคมี (Geochemical Model) คือ PHREEQC

ความเชื่อมโยงของการใช้งานแบบจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 3.3.1-1 และตารางที่ 3.3.1-1 แสดงถึงรายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง



รูปที่ 3.3.1-1 ความเชื่อมโยงของการใช้งานแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้

ตารางที่ 3.3.1-1 รายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง

ลำดับ	ชนิดข้อมูล	กรอบระยะเวลาของข้อมูล	ที่มาของข้อมูล	ชนิดแบบจำลอง	การวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูล
1	น้ำท่า	2538–2559	–ศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนล่าง สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน	–Gain-Loss Estimation Method –eWater Source –MIKE11 –MIKE SHE –HEC-HMS –HEC-RAS	–การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำในลำน้ำและน้ำบาดาล –ปริมาณน้ำท่า –อัตราการไหล
2	ระดับน้ำ	2538–2559	–ศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนล่าง สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน –ศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคกลาง สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน	–MIKE11 –MIKE SHE –HEC-HMS –HEC-RAS	–ระดับน้ำ
3	คุณภาพน้ำบาดาล	2554–2559	–สำนักอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	–PMF –PHREEQC	–แหล่งกำเนิดและปริมาณ –คุณสมบัติอุทกธรณีเคมี
4	ระดับน้ำบาดาล	2550–2559	–สำนักอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	–MODFLOW	–ระดับน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์
5	ภาพตัดขวางอุทกธรณีวิทยา	2554	–กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	–MODEFLOW –MIKE SHE	–ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง
6	แผนที่อุทกธรณีวิทยา	2558	–กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	–MODEFLOW –MIKE SHE	–ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง

ตารางที่ 3.3.1-1 รายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง **(ต่อ)**

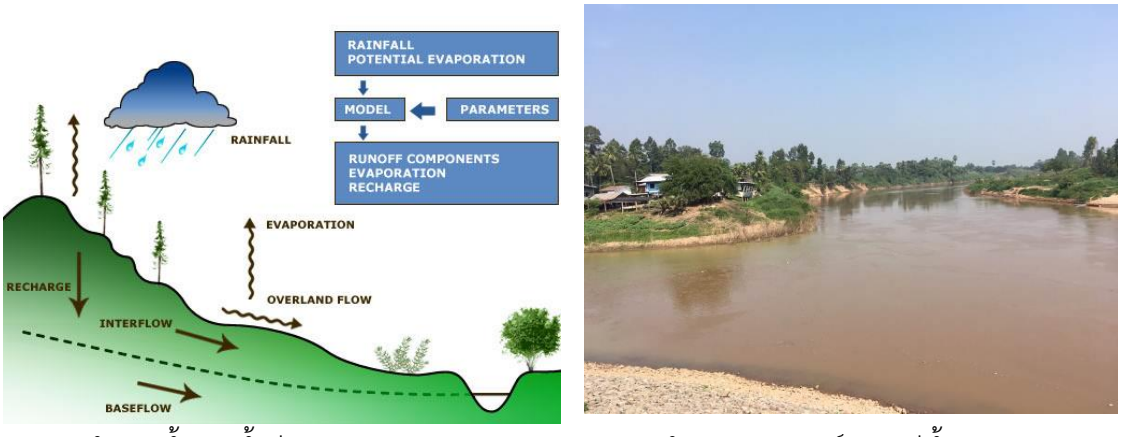
ลำดับ	ชนิดข้อมูล	กรอบระยะเวลาของข้อมูล	ที่มาของข้อมูล	ชนิดแบบจำลอง	การวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูล
7	หน้าตัดลำน้ำ	2561 และ 2548	–สำรวจใหม่ 4 หน้าตัดลำน้ำ –ศูนย์ป้องกันวิกฤติน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ	–MIKE11 –MIKE SHE –HEC-HMS –HEC-RAS	–ข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง
8	น้ำฝนและอุณหภูมิ	2540–2559	–กรมอุตุนิยมวิทยา	–MIKE11 –MIKE SHE –HEC-HMS –HEC-RAS	–ประเมินปริมาณน้ำท่าผิวดิน
9	ข้อมูลชุดดิน	2556	–กรมพัฒนาที่ดิน	–MODFLOW –MIKE SHE –HEC-HMS	–ประเมินปริมาณน้ำท่าผิวดิน –ประเมินอัตราการซึม
10	ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน	2559	–กรมพัฒนาที่ดิน	–MODFLOW –MIKE SHE –HEC-HMS	–ประเมินน้ำท่าผิวดิน –ประเมินอัตราการซึม
11	พื้นที่น้ำท่วม	2550–2559	–สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)	–MIKE SHE	–ตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลอง

3.3.2 แบบจำลองน้ำผิวดินและผลของแบบจำลองน้ำผิวดิน

3.3.2 (ก๑) โปรแกรม MIKE11

แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE11 (หรือโปรแกรม MIKE 11) ถูกพัฒนาขึ้นโดย Danish Hydraulic Institute (DHI) ประเทศเดนมาร์ก เป็นแบบจำลองชลศาสตร์ของแม่น้ำในหนึ่งมิติ (1 Dimensional Flow หรือ 1-D Hydrodynamics) ที่นิยมใช้กันทั่วโลกและถูกยอมรับให้ใช้ในหลายโครงการทั่วทุกทวีป ที่สำคัญแบบจำลองมีความยืดหยุ่นสามารถวิเคราะห์สภาพน้ำท่วมได้สะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ สำหรับประเทศไทย แบบจำลอง MIKE11 ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาหลายโครงการและหลายหน่วยงาน ได้แก่ กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต เป็นต้น

แบบจำลอง MIKE11 ประกอบด้วย 2 แบบจำลองย่อย ซึ่งเป็นส่วนประกอบในแบบจำลองหลัก MIKE11 (รูปที่ 3.3.2-1) ได้แก่ 1) แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (อุทกวิทยาของน้ำผิวดิน หรือ MIKE11 Rainfall-Runoff (RR) Module) และ 2) MIKE11 Hydrodynamics (HD) Module (ชลศาสตร์การไหลในแม่น้ำแบบ 1 มิติในทุกสภาพการไหล)



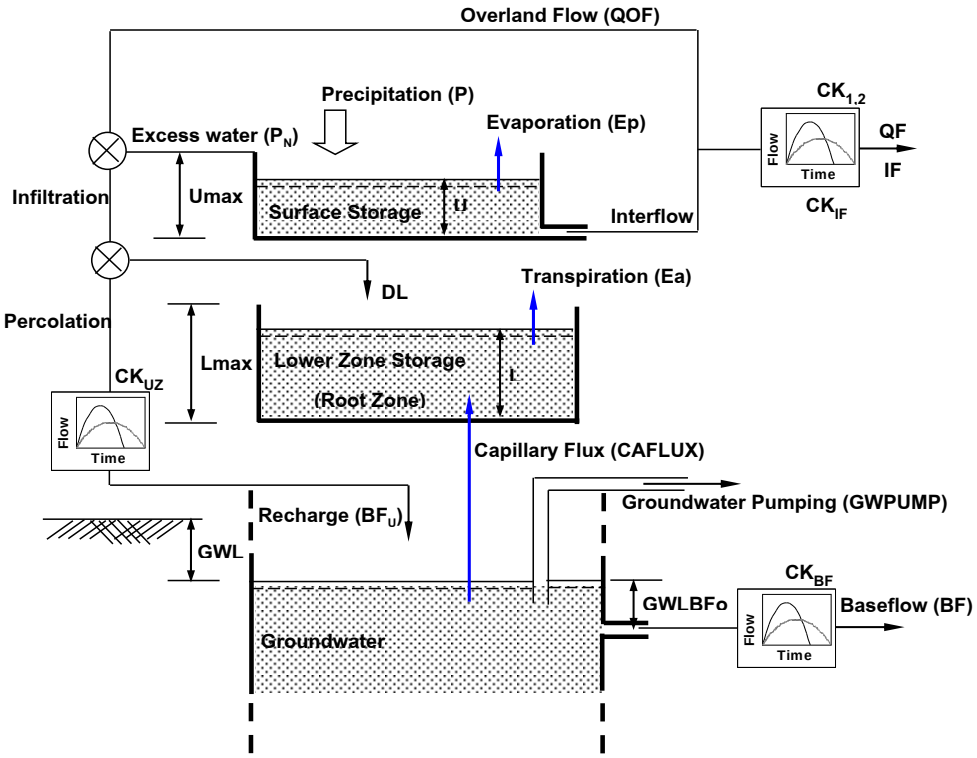
a) แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (RR Module) b) แบบจำลองชลศาสตร์ของแม่น้ำ (1-D HDModule)

รูปที่ 3.3.2-1 แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE11

1) MIKE11 Rainfall-Runoff Module (RR Module) ทฤษฎีที่นำมาใช้เรียกว่า “NAM Model” คือแบบจำลองความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า ที่ประยุกต์ลงบนพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งที่เป็นพื้นที่เดี่ยวหรือหลายพื้นที่ย่อยประกอบกันเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าไหลด้านข้างจากลุ่มน้ำย่อยลงสู่แม่น้ำสายหลัก (Side Flow) แบบจำลองใช้ทฤษฎีบทผสมกันระหว่าง Lump Model และ Conceptual Model คำนวณปริมาณน้ำที่เคลื่อนย้ายหรือหลากไปในแต่ละขบวนการในวัฏจักรของน้ำ

NAM Model ถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 โดย Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering ประเทศเดนมาร์กคำว่า NAM ย่อมาจากคำในภาษาเดนมาร์คว่า “NedbØr-AfstrØmnings-Model” ซึ่งแปลว่าแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model) NAM Model ถูกจำแนกเป็นแบบจำลองที่มีลักษณะผสมผสานทั้ง Deterministic, Conceptual และ Lumped สามารถคำนวณปริมาณน้ำท่า ณ จุดที่พิจารณา

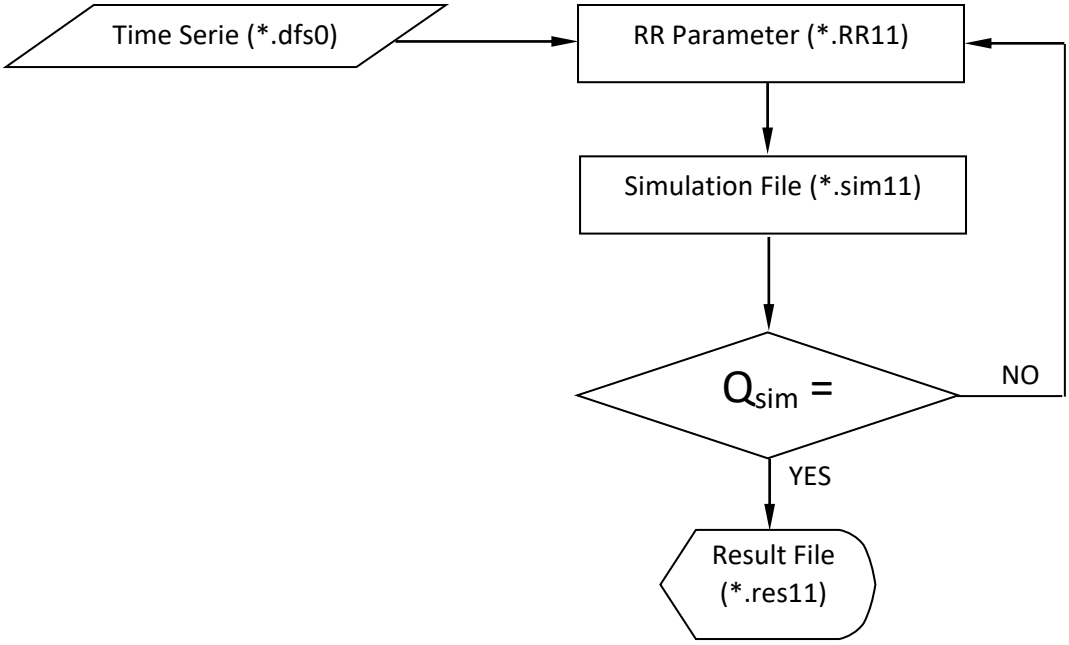
โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีต่างๆ ที่บันทึกไว้ ได้แก่ ปริมาณฝนและการระเหยส่วนค่าพารามิเตอร์ของ NAM Model หาได้จากขั้นตอนการปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง (Calibration and Validation Models)



รูปที่ 3.3.2-2 แผนผังแสดงแนวทางการคำนวณของแบบจำลอง NAM

แบบจำลอง NAM มีลักษณะเป็น Lumped Model จากสมมติฐานที่ให้แต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยจากการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ในแบบจำลองมีลักษณะเป็นหนึ่งหน่วยอุทกวิทยาค่าพารามิเตอร์ NAM ต่างๆ เป็นตัวแทนของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยนั้นๆ แนวคิดการคำนวณของแบบจำลองตามขบวนการของวัฏจักรน้ำแสดงในรูปที่ 3.3.2-2

ส่วนประกอบโครงสร้างการใช้งานของแบบจำลอง MIKE11 RR Module แสดงในรูปที่ 3.3.2-3 ที่อธิบายถึงข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series) ประกอบด้วยข้อมูลปริมาณฝน ข้อมูลการระเหยและข้อมูลปริมาณน้ำซึ่งจะถูกดึงค่าไปคำนวณในสมการข้างต้นที่อยู่ในแฟ้ม RR Parameters (*.RR11) โดยผู้ใช้จะสั่งให้คำนวณได้จากแฟ้ม Simulation File (*.sim11) ซึ่งการตั้งค่าช่วงเวลาคำนวณและความถี่ผลลัพธ์จะอยู่ในแฟ้มนี้และผลการคำนวณจะถูกเก็บไว้ในแฟ้มผลลัพธ์ Result File (*.res11)



รูปที่ 3.3.2-3 โครงสร้างของแบบจำลอง RR Module (NAM)

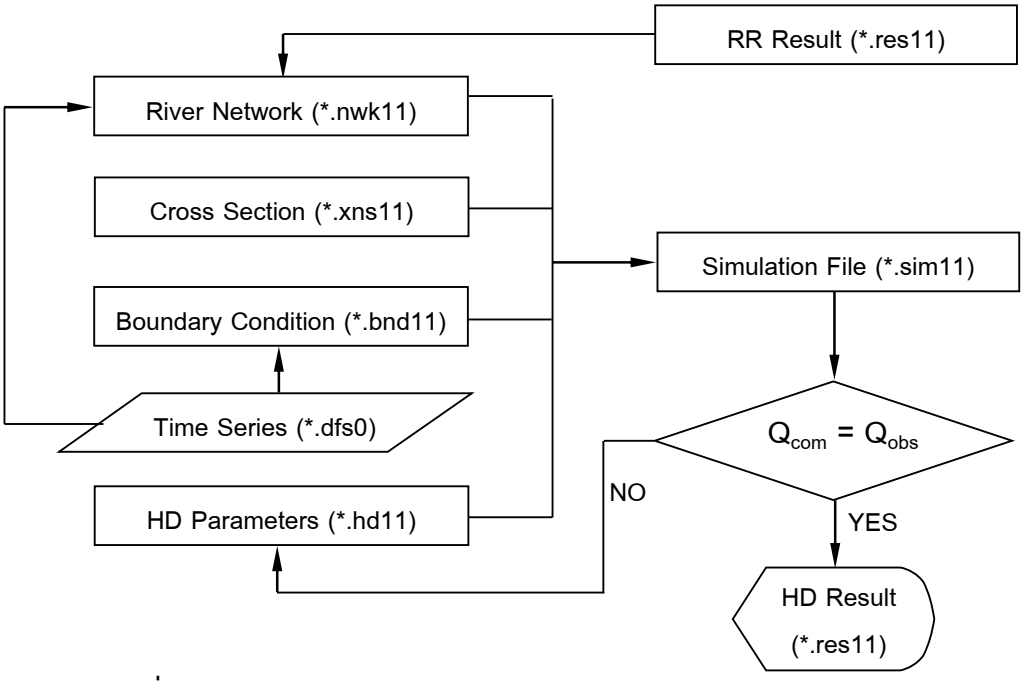
2) แบบจำลอง MIKE11 Hydrodynamics Module (HD Module) เป็นแบบจำลองการไหลในทางน้ำเปิดทั้งที่มีอยู่เดิมตามธรรมชาติ (เช่น แม่น้ำ) หรือที่มนุษย์สร้างขึ้น (คลองส่งน้ำ) ในหนึ่งมิติ (1-D Open Channel Flow) แบบจำลอง มีลักษณะพิเศษดังนี้

- จำลองลักษณะหรือสภาพการไหลได้ทุกรูปแบบ ได้แก่ การไหลแบบคงที่ (Steady Flow) การไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow) รวมถึงการไหลภายใต้สภาวะเหนือวิกฤติและใต้วิกฤติ (Super Critical and Sub-Critical Flows)
- แบบจำลองคำนวณคำตอบจากชุดสมการควบคุมโดยใช้วิธีผลต่างสืบเนื่องที่เรียกว่า Implicit-Finite Difference Scheme
- จำลองการไหลได้ทั้งในทางน้ำ (แม่น้ำ) และบริเวณปากแม่น้ำ (Estuary)
- แบบจำลองสามารถจำลองอาคารชลศาสตร์และการบริหารจัดการน้ำผ่านอาคารชลศาสตร์
- จำลองโครงข่ายลำน้ำทั้งแบบเป็นวงรอบ (Loop) และ Floodplain (ใช้สมการ Quasi-2D Flow) รวมถึงจำลองร่วมกับแบบจำลองอื่นๆ เช่น MIKE FLOOD (แบบจำลองน้ำท่วมซึ่งเป็นการไหลแบบ 2 ทิศทาง) แบบจำลอง MIKE SHE (แบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน) เป็นต้น

Hydrodynamics Model (HD) เป็นแบบจำลองที่ใช้คำนวณการไหลของน้ำต่อเนื่องจากน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากลุ่มน้ำย่อย (ผลคำนวณจาก NAM Module) ซึ่งสามารถคำนวณการไหลของน้ำในลำน้ำ (Main Channel) และที่ราบลุ่มริมแม่น้ำ (Flood Plain) นอกจากนั้นยังสามารถคำนวณการไหลของน้ำในบริเวณปากแม่น้ำที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลหนุนได้

การประยุกต์ใช้ Hydrodynamics Model จะต้องมีข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำ (Cross Sections) สภาพภูมิประเทศของร่องน้ำและที่ราบลุ่ม (Topography of River and Flood Plain) อาคารบังคับน้ำ และข้อมูลการดำเนินการ (เช่น อัตราการระบายน้ำหรือระดับควบคุมน้ำ) ตลอดจนสภาพสิ่งก่อสร้าง เช่น เขื่อน ฝายคลองระบายน้ำ เป็นต้น

ส่วนประกอบโครงสร้างการใช้งานของแบบจำลอง MIKE11 HD Module แสดงในรูปที่ 3.3.2-4 ซึ่งอธิบายการจำลอง (Simulation Files นามสกุล *.sim11) เป็นที่รวมแฟ้มประกอบต่างๆ เข้าด้วยกัน เพื่อคำนวณการไหลในทางน้ำผลการคำนวณถูกเก็บไว้ในแฟ้มผลลัพธ์ (HD Result นามสกุล *.res11) แฟ้มประกอบในแฟ้มการรันหรือการจำลองได้แก่ แฟ้มโครงข่ายลำน้ำ (River Network นามสกุล *.nwk11) แสดงภาพรวมของเส้นทางการไหล ตำแหน่งที่ตั้งลำน้ำทิศทางการไหลโครงสร้างในลำน้ำกำหนดกริดคำนวณ กำหนดจุดรับน้ำท่าที่คำนวณได้จาก NAM Model ตำแหน่งรูปตัดลำน้ำสำรวจและอื่นๆซึ่งการดูรายละเอียดของข้อมูลจะเปิดได้จากแฟ้มเฉพาะได้แก่ แฟ้มรูปตัดลำน้ำสำรวจ (Cross Section นามสกุล *.xns11) แฟ้มข้อมูลเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition นามสกุล *.bnd11) และแฟ้ม HD Parameter (*.hd11) เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง (Manning's n)

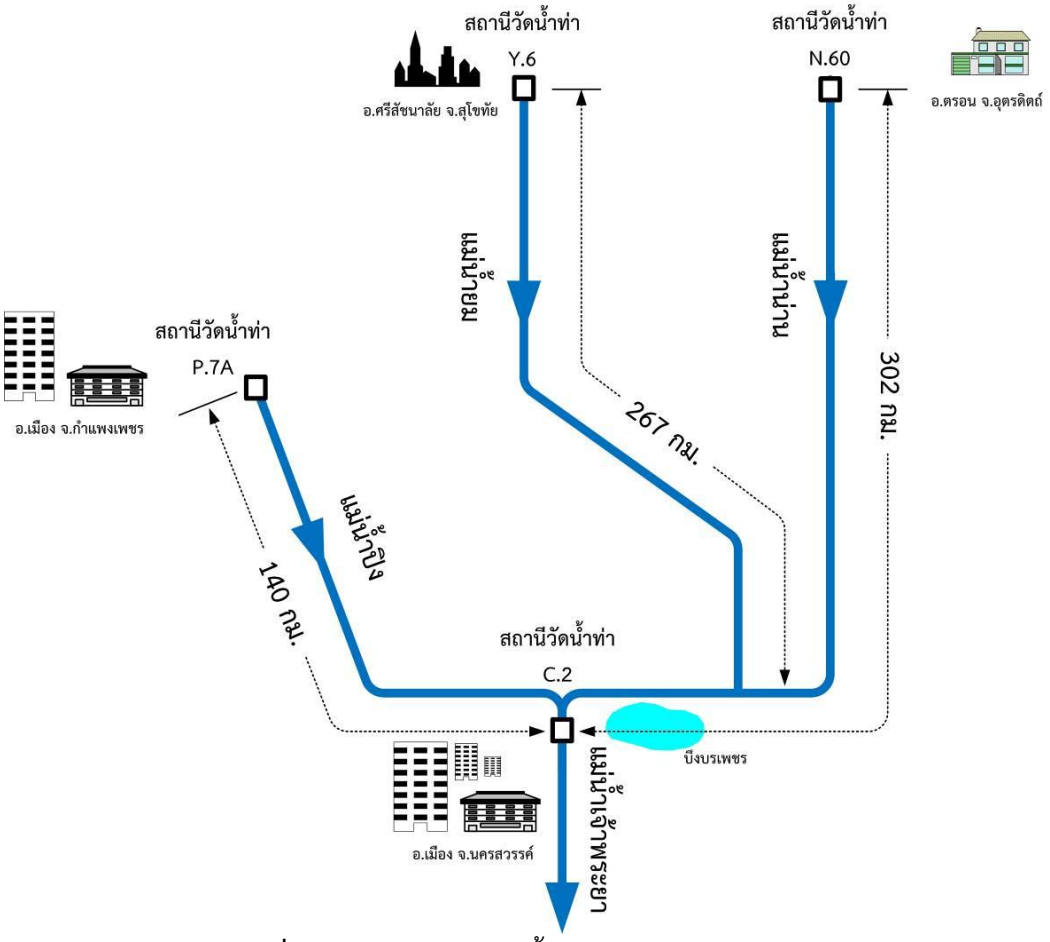


รูปที่ 3.3.2-4 โครงสร้างของแบบจำลอง HD Module (Hydrodynamic Mode)

3.3.2 (ข๑) ผลของโปรแกรม MIKE11

1) โครงข่ายของแม่น้ำ แบบจำลอง MIKE11 เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ของน้ำท่าผิวดินและชลศาสตร์ของแม่น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.3.2-5 ซึ่งเป็นเขบเขตทางด้านชลศาสตร์ของแม่น้ำในพื้นที่ศึกษา โดยประกอบด้วยแม่น้ำสายหลัก 3 สาย ได้แก่ แม่น้ำปิง เริ่มตั้งแต่อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร (สถานีวัดน้ำท่าของกรมชลประทาน P.7A) ถึงท้ายจุดบรรจบแม่น้ำปิงและแม่น้ำน่าน ณ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ บริเวณท้ายสะพานเดชาติวงศ์ (สถานีวัดน้ำท่าของกรมชลประทาน C.2) รวมเป็นความยาวของแม่น้ำปิงในแบบจำลอง MIKE11 ประมาณ 140 กิโลเมตร) แม่น้ำยม

เริ่มจากสถานีวัดน้ำท่า Y.6 (อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย) จนกระทั่งถึงจดบรรจบกับแม่น้ำน่าน ณ บ้านเกยชัย ตำบลเกยชัย อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งรวมเป็นความยาวของแม่น้ำในแบบจำลองประมาณ 267 กิโลเมตร ส่วนแม่น้ำน่าน ได้กำหนดให้เริ่มจากสถานีวัดน้ำท่า N.60 (อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์) ยาวลงมาตามทิศทางการไหลถึงท้ายจุดบรรจบกับแม่น้ำปิง ณ ด้านท้ายสะพานเดชาติวงศ์ (สถานีวัดน้ำท่า C.2) ซึ่งรวมเป็นความยาวของแม่น้ำน่านในแบบจำลองประมาณ 302 กิโลเมตร

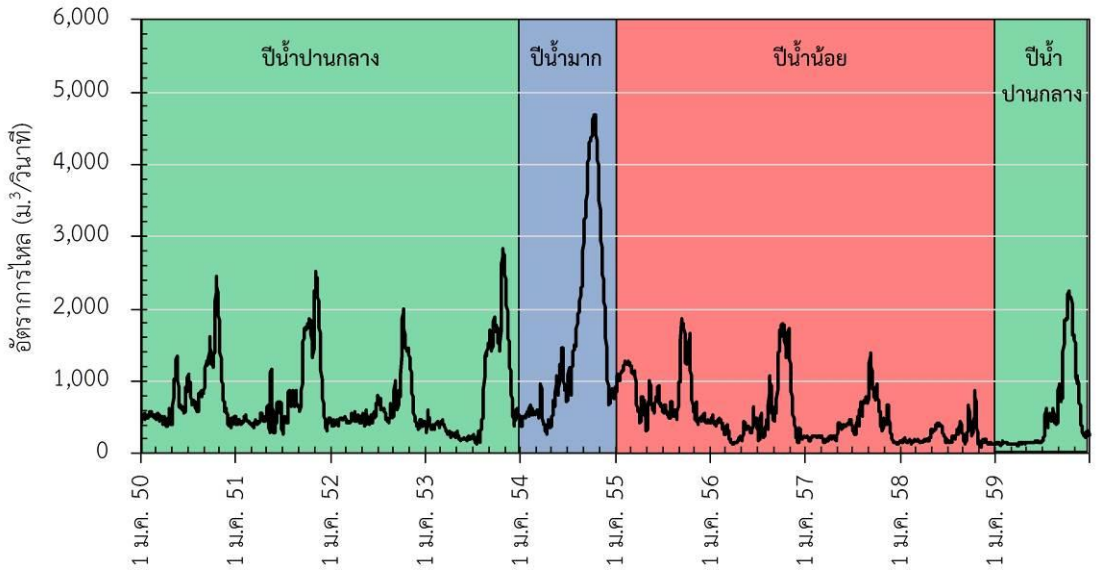


รูปที่ 3.3.2-5 โครงข่ายแม่น้ำในแบบจำลอง MIKE11

2) ช่วงเวลาของการจำลอง ทุกแบบจำลองก่อนที่จะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานได้นั้น จะต้องผ่านการสอบเทียบกับข้อมูลการตรวจวัดให้มีค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่เหมาะสมก่อน นั้นคือแบบจำลองต้องให้ผลการจำลองใกล้เคียงกับค่าการตรวจวัดในอดีต ดังนั้นการกำหนดช่วงเวลาของการจำลองจึงมักกำหนดตามข้อมูลการตรวจวัด (ระดับน้ำและอัตราการไหล) หรือช่วงเวลาที่มีข้อมูลอยู่ ซึ่งจากเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.3.2-5 นั้น ทั้ง 4 สถานี คือ P.7A, Y.6 และ N.60 (เงื่อนไขขอบเขตด้านบนหรือ Upstream Boundary Conditions) และสถานี C.2 (เงื่อนไขขอบเขตด้านล่างหรือ Downstream Boundary Conditions) ล้วนแต่เป็นสถานีวัดน้ำท่าหลักของกรมชลประทานที่ใช้ในการบริหารจัดการน้ำมาอย่างยาวนานจึงมีข้อมูลการตรวจวัดมาก (ดังแสดงข้อมูลในบทที่ 2) แต่เนื่องจากจุดประสงค์หลักของโครงการที่ต้องการศึกษาพฤติกรรมร่วมระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาล จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาข้อมูลการตรวจวัดระดับน้ำบาดาลประกอบ

และพบว่าในพื้นที่ศึกษาของโครงการเริ่มมีการจัดเก็บข้อมูลน้ำบาดาลอย่างเป็นระบบโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2547 แต่กว่าจะเริ่มได้ข้อมูลที่กระจายอยู่ในพื้นที่ศึกษาได้ค่อนข้างมากพอที่จะศึกษาพฤติกรรมระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาลได้ราว ๆ ปี พ.ศ. 2550 จากข้อจำกัดของข้อมูลข้างต้น ช่วงเวลาจำลองของแบบจำลองจึงได้กำหนดให้เริ่มตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2550 ถึงปี พ.ศ. 2559 (รวม 10 ปี)

ในช่วงระยะเวลาของการจำลองที่ได้กำหนดนั้น เมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับกราฟน้ำท่า ณ สถานี C.2 พบว่าครอบคลุมลักษณะเฉพาะของน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา นั้นคือรวมปีน้ำน้อย (ปี พ.ศ. 2557-2558) ช่วงของปีน้ำเฉลี่ย (พ.ศ. 2550-2553) และอยู่ในช่วงปีมหาอุทกภัย พ.ศ. 2554 (น้ำมาก) ด้วยเหตุนี้การจำลองในช่วงระยะเวลาดังกล่าวจะสามารถเห็นถึงพฤติกรรมร่วมระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาลภายใต้เงื่อนไขสภาพอุตุ-อุทกวิทยาที่แตกต่างกัน อีกทั้งในช่วงระยะเวลาดังกล่าวนั้นมีข้อมูลการตรวจวัดในพื้นที่สำหรับสอบเทียบแบบจำลองได้



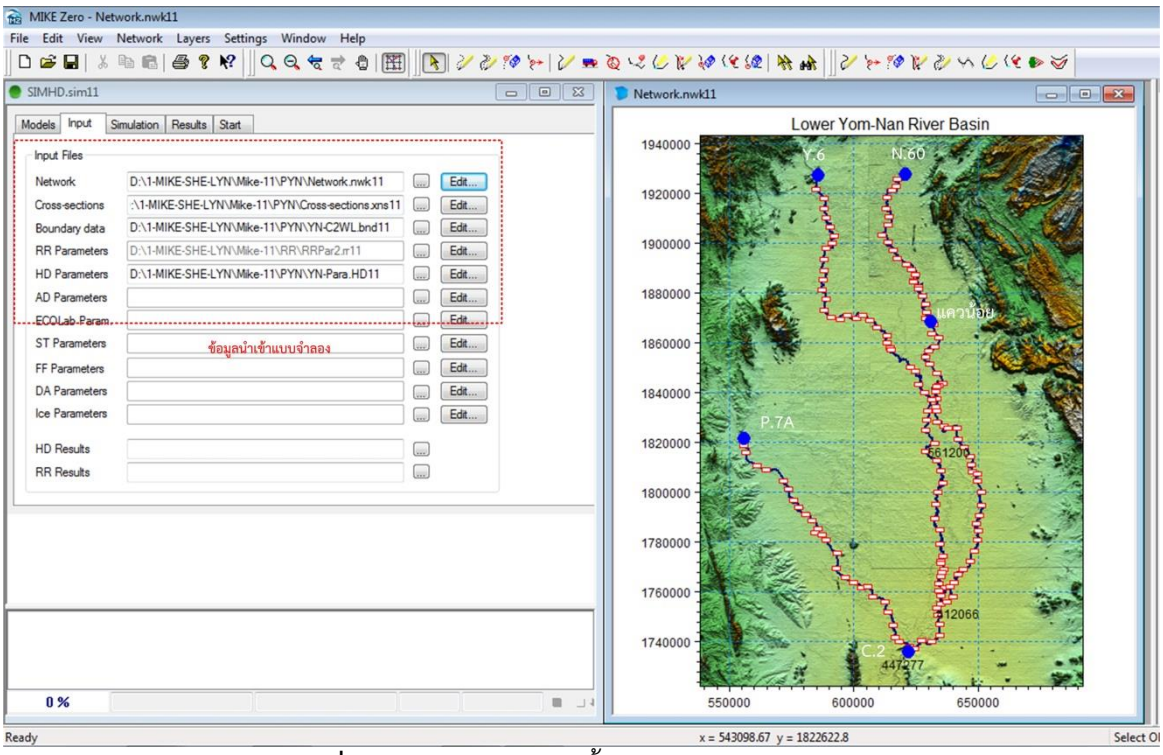
รูปที่ 3.3.2-6 กราฟน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่า C.2 (พ.ศ. 2550-2559)

3) แบบจำลอง MIKE11 และผลการจำลองในเบื้องต้น จากโครงข่ายลำน้ำที่ได้กล่าวถึงในข้อ 1 สามารถที่นำมาสร้างเป็นโครงข่ายลำน้ำในแบบจำลอง MIKE11 ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.3.2-7 ในรูปยังแสดงเมนูหลักของข้อมูลนำเข้า (Input) ที่จำเป็นสำหรับการจำลองการไหล (ระดับน้ำ และอัตราการไหล) ด้วยแบบจำลอง MIKE11 ซึ่งประกอบด้วย

1. โครงข่ายแม่น้ำ (Network) ในที่นี้คือ เส้นลำน้ำ 3 สาย ได้แก่ แม่น้ำปิง ยม และน่าน

2. หน้าตัดการไหล (Cross-sections) หน้าตัดการไหลเป็นข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการจำลองชลศาสตร์การไหลของแม่น้ำในทุกแบบจำลอง และเป็นข้อมูลที่มีความอ่อนไหวต่อผลลัพธ์ของแบบจำลองด้วย เพราะหน้าตัดการไหลจะมีผลที่จะทำให้พฤติกรรมของการไหลในช่วงหน้าตัดนั้นๆ ว่าอยู่ในสภาวะแบบใด เช่น เป็นการไหลแบบเหนือวิกฤติหรือใต้วิกฤติ เป็นต้น สำหรับประเทศไทยกรมชลประทานถือได้ว่าเป็นหน่วยงานหลักที่ดำเนินการสำรวจหน้าตัดของแม่น้ำ แต่เนื่องจากข้อจำกัดบางประการจึงทำให้การสำรวจจำกัด

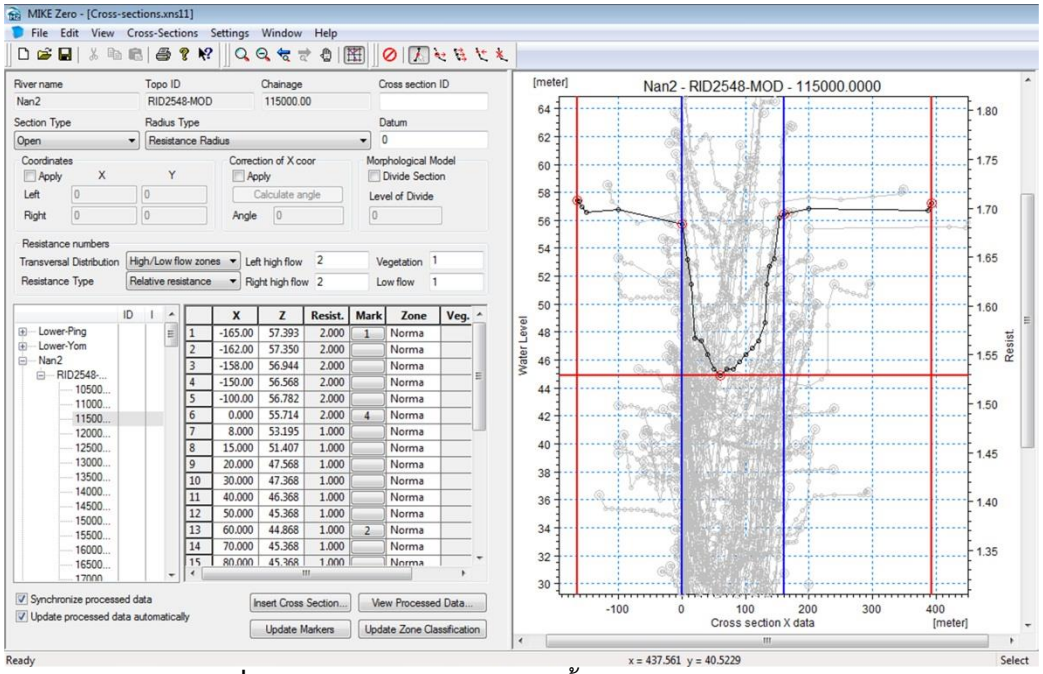
อยู่เฉพาะสถานีหลัก นั้นคือจากหน้าตัดหนึ่งไปยังอีกหน้าตัดหนึ่งห่างกันมากอาจจะ 50-100 กิโลเมตร แต่ในแบบจำลองมักต้องการความละเอียดมากกว่านั้น ในการศึกษานี้จึงได้ใช้ข้อมูลหน้าตัดการไหลที่ศึกษาในโครงการตั้งศูนย์ปฏิบัติการและข้อมูลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ พ.ศ. 2252 ดังแสดงในรูปที่ 3.3.2-8



รูปที่ 3.3.2-7 โครงข่ายแม่น้ำในแบบจำลอง MIKE11

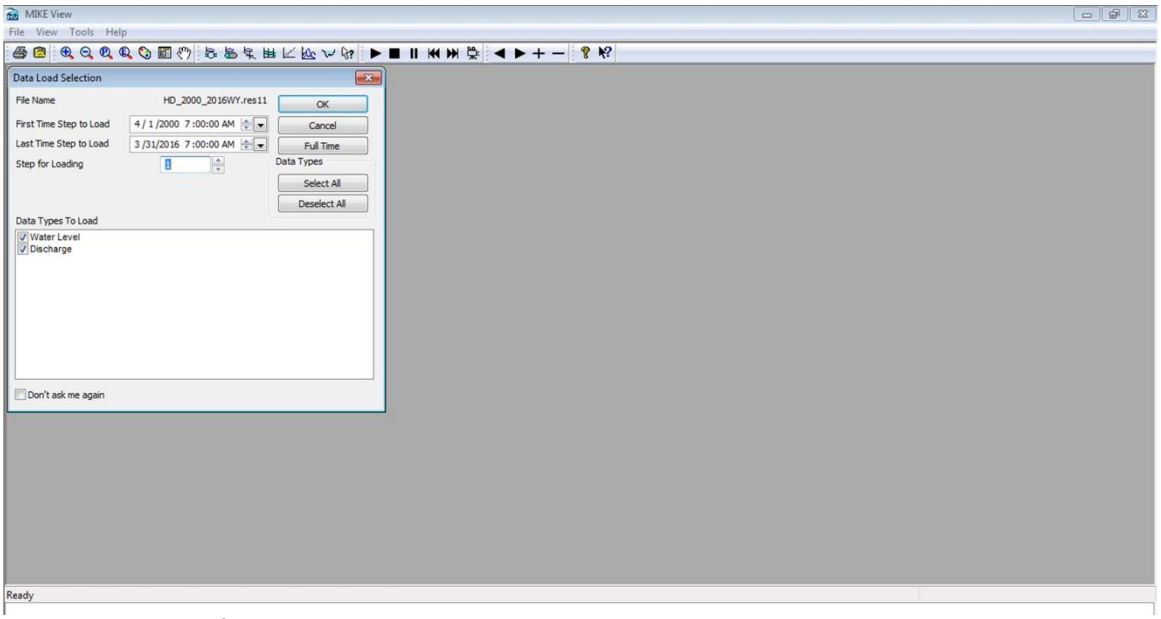
3. ข้อมูลเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Data) เงื่อนไขขอบเขตในที่นี้ได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ เงื่อนไขขอบเขตด้านบน นั้นคืออัตราการไหล ณ สถานีวัดน้ำท่า P.7A, Y.6 และ N.60 และเงื่อนไขขอบเขตด้านล่างในที่นี้คือระดับน้ำ ณ สถานีวัดน้ำท่า C.2 โดยข้อมูลอัตราการไหลและระดับน้ำทั้งหมดนั้นตรวจวัดโดยกรมชลประทาน

4. ข้อมูลพารามิเตอร์ด้านชลศาสตร์ (HD Parameters) พารามิเตอร์ด้านชลศาสตร์นั้นมีความแตกต่างกันไปในแต่ละแบบจำลอง แต่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ พารามิเตอร์ที่กำหนดใน Scheme ของการหาคำตอบเชิงตัวเลข (Numerical Scheme) และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหล พารามิเตอร์ชุดแรกมักถูกกำหนดโดย Default ของตัวโปรแกรม ส่วนชุดที่สองคือ พารามิเตอร์ที่ต้องทำการสอบเทียบ ซึ่งโดยปกติมักจะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบผิวของแมนนิ่ง (Manning's Roughness, n)

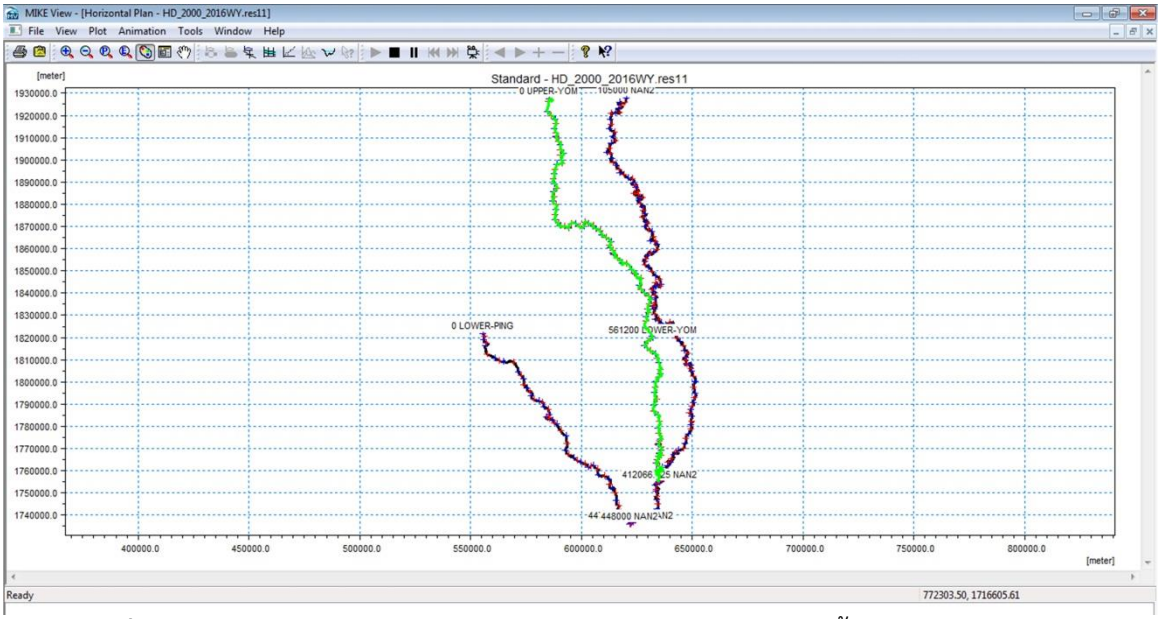


รูปที่ 3.3.2-8 หน้าตัดการไหลแม่น้ำในแบบจำลอง MIKE11

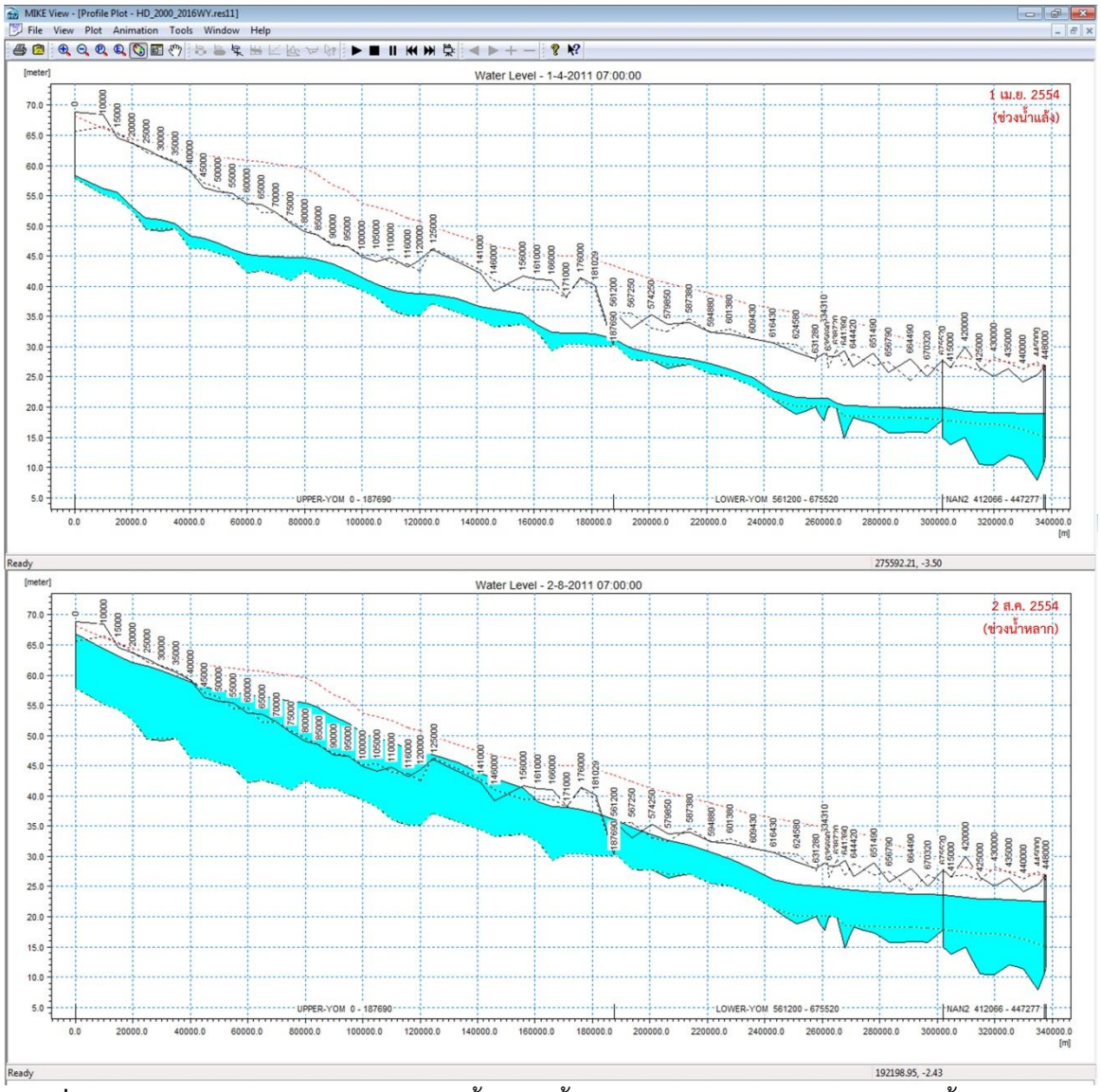
เมื่อกำหนดข้อมูลนำเข้าครบตามความต้องการของแบบจำลองแล้วก็สามารถจำลองระดับน้ำ อัตราการไหล ความเร็วของการไหล หรือตัวแปรอื่นๆ (หากต้องการทราบค่า เช่น สภาวะของการไหลในแต่ละช่วงของหน้าตัด เป็นต้น) แต่โดยทั่วไปการศึกษามักต้องการทราบค่าระดับน้ำกับอัตราการไหล การแสดงผลลัพธ์ดังกล่าวของแบบจำลอง MIKE11 จะแสดงผ่านโปรแกรมที่เรียกว่า MIKE VIEW ซึ่งมีองค์ประกอบในวินโดวส์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3.2-9 และรูปที่ รูปที่ 3.3.2-10 การแสดงผลผ่าน MIKE VIEW นั้นสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น แสดงในรูปของตัวเลข สร้างกราฟ รวมถึงการแสดงภาพเคลื่อนไหว (Animation) เป็นต้น รูปที่ 3.3.2-11 แสดงรูปตัดตามยาว (Profile) ของแม่น้ำยมและจากจุดบรรจบแม่น้ำน่านจนถึงจุดเงื่อนไขขอบเขตด้านล่าง (C.2) เพื่อเปรียบเทียบระดับน้ำของวันที่ 1 เมษายน 2254 (ช่วงน้ำน้อย) กับวันที่ 2 สิงหาคม 2554 (ช่วงที่น้ำได้ล้นตลิ่ง) ดังนั้นหากพิจารณาในด้านอนุกรมเวลา (Time Series) แล้ว แบบจำลองจะทำให้ทราบได้ว่าเริ่มเกิดน้ำล้นตลิ่งที่เวลาใดและตำแหน่งใดบ้าง แล้วกลับเข้าสู่สภาวะปกติที่เวลาไหน เป็นต้น



รูปที่ 3.3.2-9 การเลือกผลลัพธ์ในการแสดงผลการจำลองโดย MIKE VIEW



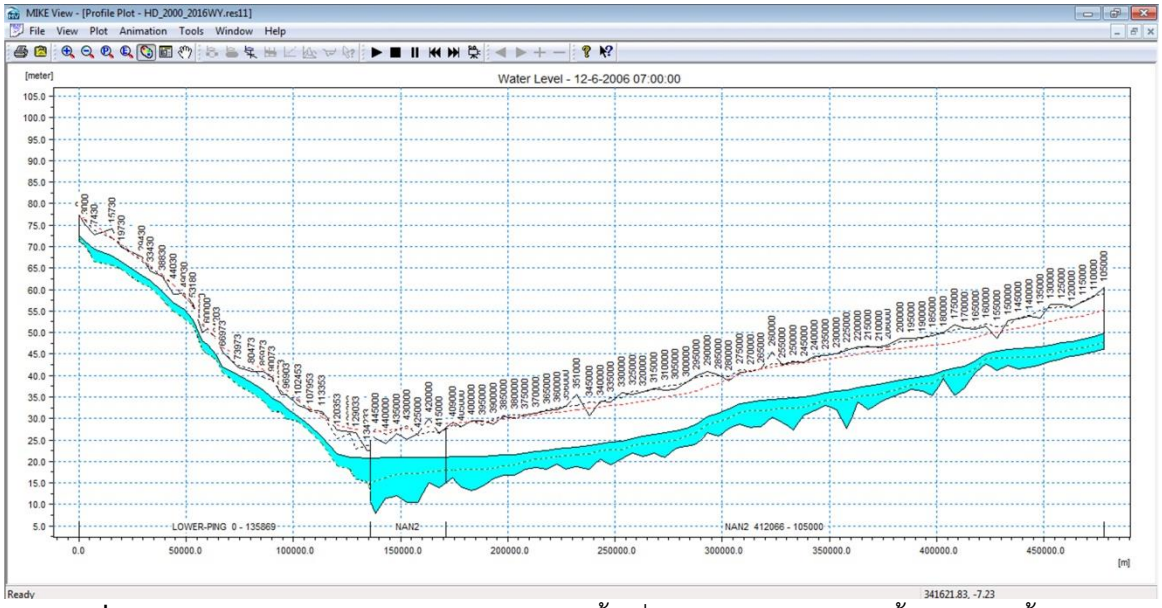
รูปที่ 3.3.2-10 การเลือกผลลัพธ์ในการแสดงผลการจำลองเฉพาะแม่น้ำยมโดย MIKE VIEW



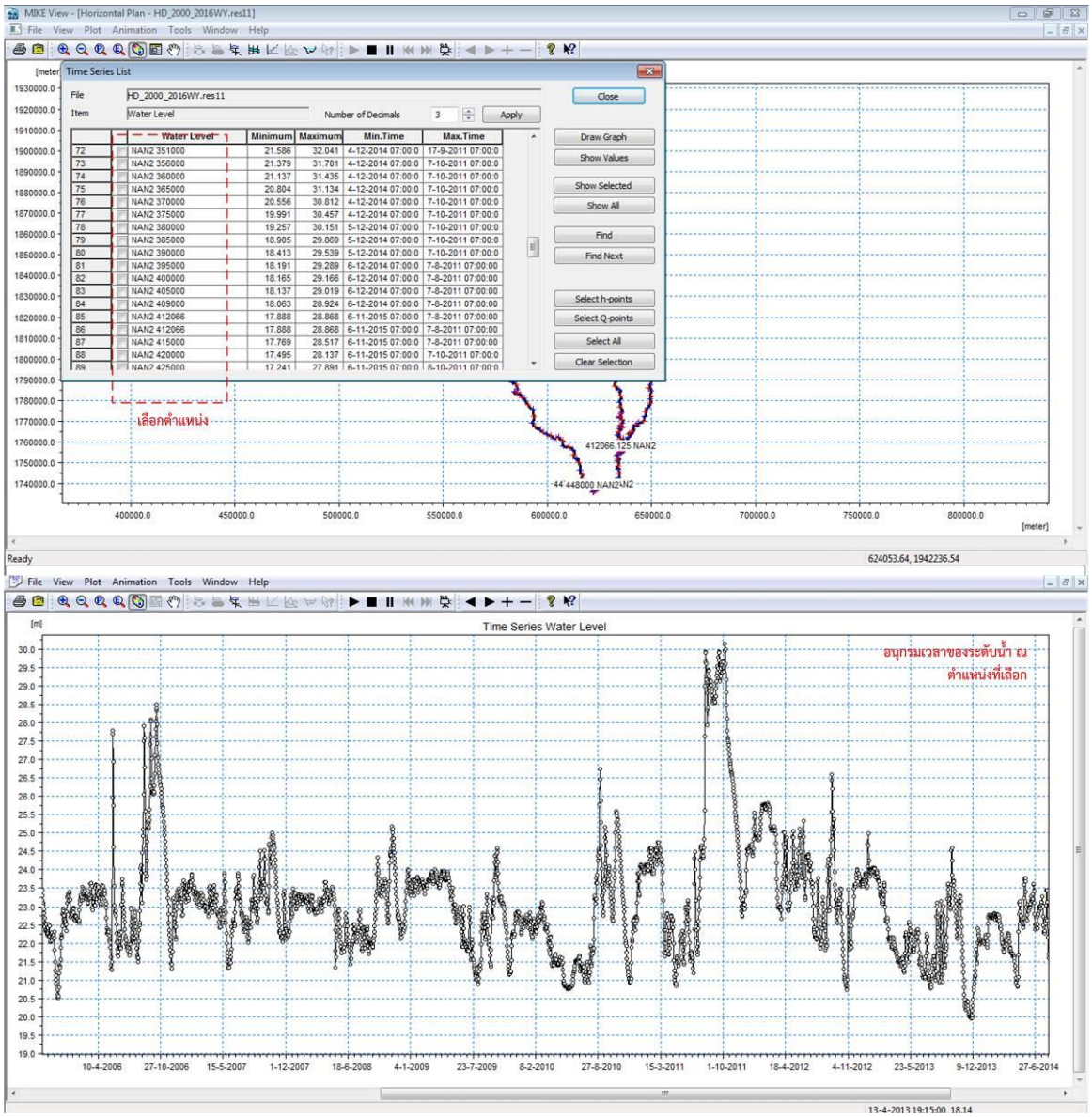
รูปที่ 3.3.2-11 การเปรียบเทียบของระดับน้ำในแม่น้ำยมระหว่างช่วงแล้ง (เม.ย.) กับช่วงน้ำมาก (ส.ค.)

รูปที่ 3.3.2-12 แสดงผลของการเลือกรูปตัดตามยาวของแม่น้ำปิงกับรูปตัดตามยาวของแม่น้ำน่าน เพื่อเปรียบเทียบกัน จากรูปแสดงให้เห็นว่าแม่น้ำปิงมีสัณฐานหรือความลาดชันที่สูงมากเมื่อเทียบกับแม่น้ำน่าน และเช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาดูจากภาพเคลื่อนไหวของผลการจำลองในช่วงน้ำหลาก (เดือนสิงหาคม ถึงเดือนตุลาคม) ระดับน้ำ ณ สถานีวัดน้ำท่า C.2 (เงื่อนไขขอบเขตด้านล่าง) จะมีระดับสูง ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากเขื่อนเจ้าพระยาที่จำกัดปริมาณน้ำระบายลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ทำให้เกิดน้ำเท้อ (Back Water Effect) นั้นคือระดับน้ำ ณ สถานี C.2 สูงขึ้น ระดับน้ำนี้จะเอ่อย้อนทิศทางการไหลขึ้นไปสู่แม่น้ำปิงและแม่น้ำน่าน แต่ด้วยความลาดชันของแม่น้ำปิงนั้นสูงกว่าแม่น้ำน่าน ดังนั้นอิทธิพลของน้ำเท้อดังกล่าวจึงส่งผลให้ระดับน้ำในแม่น้ำน่านเริ่มสูงขึ้นและย้อนทิศทางการไหลขึ้นไป และหากพิจารณาการไหลร่วมกับแม่น้ำยมซึ่งมีความลาดชันใกล้เคียงกันกับแม่น้ำน่าน จึงทำให้อัตราการระบายของแม่น้ำยมสู่แม่น้ำน่านลดลงแล้วส่งผลกระทบเป็นลูกโซ่ให้การระบายน้ำจากทุ่งน้ำท่วมของแม่น้ำยมเป็นไปอย่างช้าๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าการระบายน้ำกลับลงสู่แม่น้ำยมจากทุ่งน้ำท่วมเป็นไปอย่างช้าๆ จึงเกิดน้ำท่วมขังนาน

นอกจากการแสดงผลในรูปแบบภาพเคลื่อนไหวแล้ว แบบจำลองยังสามารถที่จะกำหนดตำแหน่งที่สนใจให้แสดงค่าเป็นกราฟของระดับน้ำ อัตราการไหล ความเร็วเฉลี่ยของการไหล ฯลฯ ดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 3.3.2-13 ซึ่งเป็นอนุกรมเวลาของระดับน้ำ ณ ด้านท้ายจุดบรรจบแม่น้ำยมกับแม่น้ำน่าน นอกจากนั้นแบบจำลองยังสามารถนำเข้าข้อมูลการตรวจวัด (Observed Data) เพื่อทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับการตรวจวัดว่ามีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด ถ้าหากไม่สอดคล้องก็ต้องปรับแก้พารามิเตอร์ของแบบจำลองก่อน โดยปกติมักเป็นการปรับค่าความหยาบผิวของแมนนิ่ง หากการสร้างความสัมพันธ์ในรูปแบบกราฟที่แสดงผลนั้นไม่สวยงามหรือตรงตามจุดประสงค์ของการนำเสนอ แบบจำลองสามารถส่งออกค่าของการจำลองให้อยู่ในรูปของตัวเลข (.txt) ที่สามารถจะนำไปเปิดกับโปรแกรมอื่นๆ ได้ เช่น MS Excel แล้วใช้ Excel ในการพล๊อตความสัมพันธ์หรือวิเคราะห์ด้านอื่นๆ ต่อไป

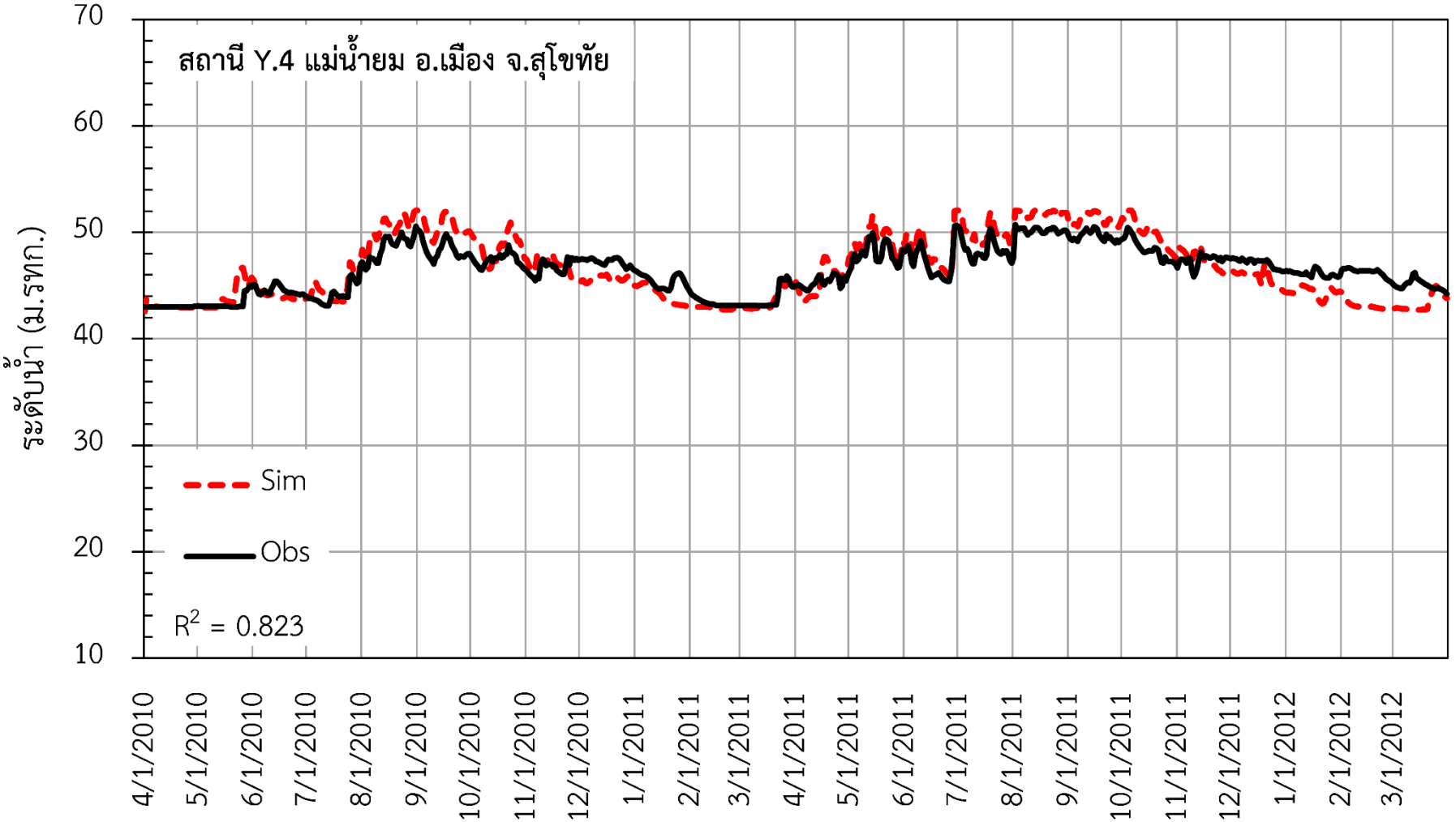


รูปที่ 3.3.2-12 การแสดงผลรูปตัดตามของ 2 ลำน้ำเพื่อเปรียบเทียบกัน (แม่น้ำปิงกับแม่น้ำน่าน)

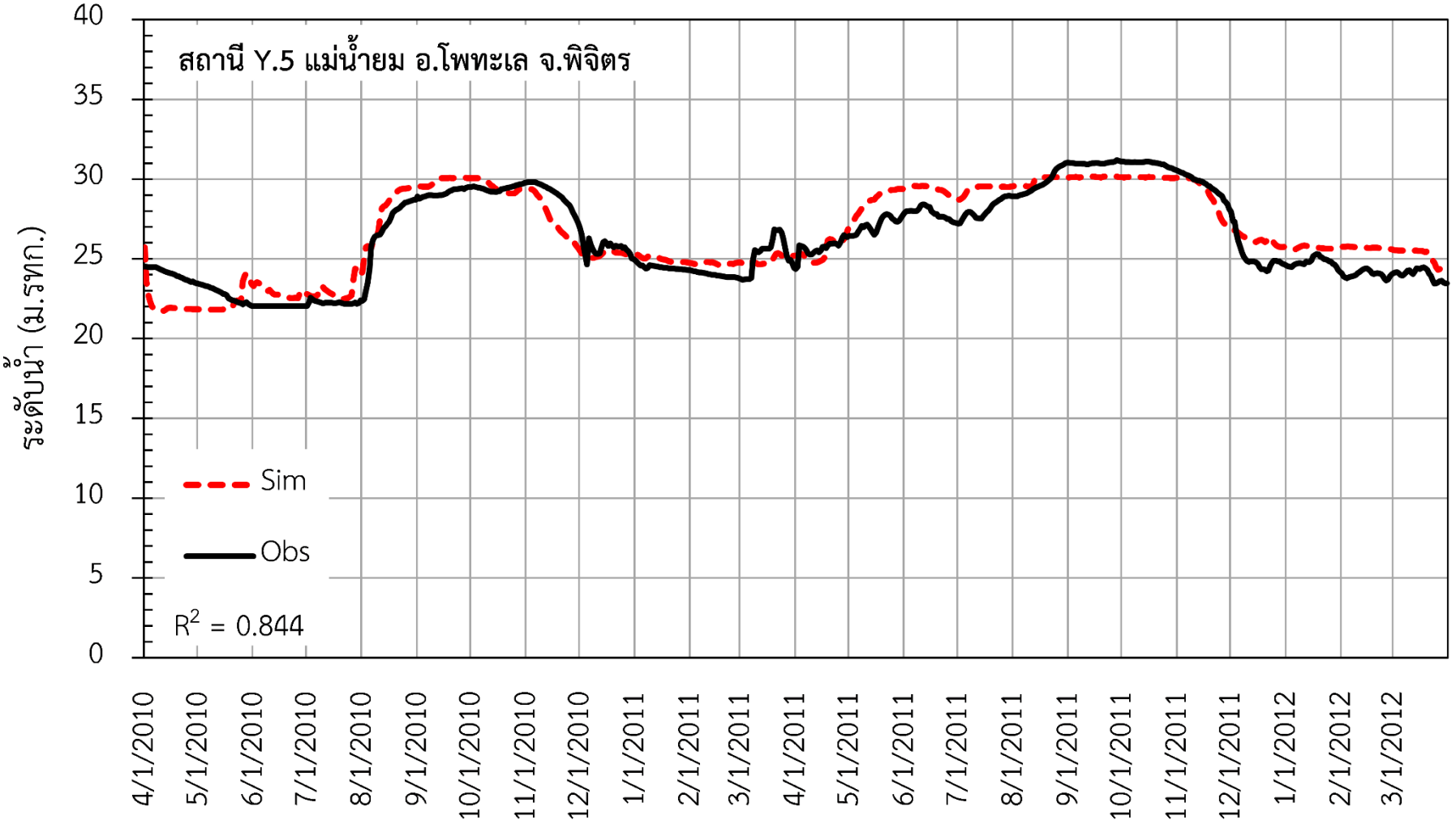


รูปที่ 3.3.2-13 การแสดงอนุกรมเวลาของระดับน้ำจากแบบจำลอง

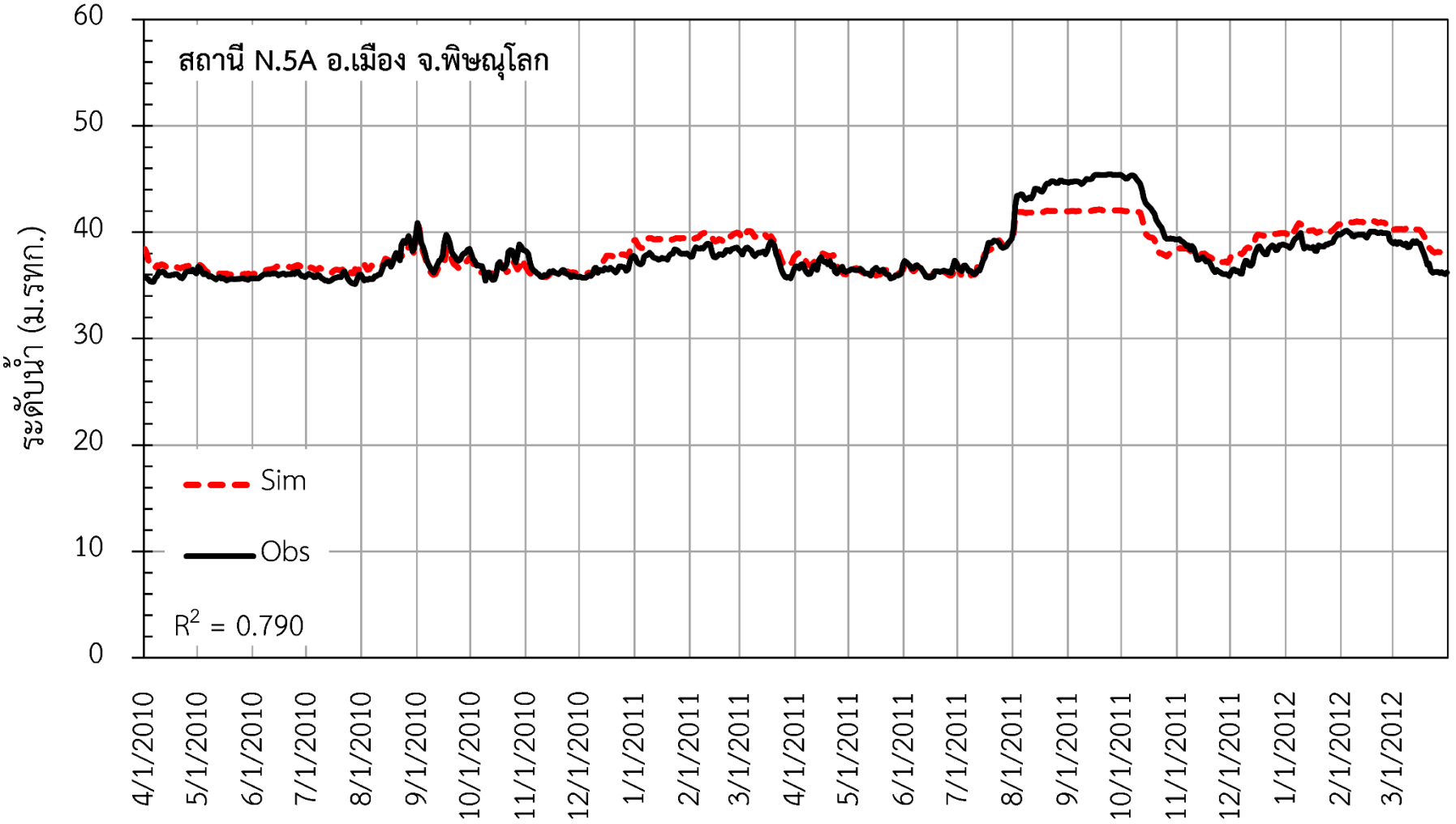
รูปที่ 3.3.2-14 ถึงรูปที่ 3.3.2-17 แสดงผลการปรับเทียบแบบจำลองชลศาสตร์ MIKE11 ของระดับน้ำ โดยมี 4 สถานีสอบเทียบแบบจำลอง ได้แก่ สถานี Y.4, Y.5, N.5A และ N.7A ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามารถเลียนแบบพฤติกรรมการไหลในแม่น้ำได้ดีในระดับหนึ่ง ทั้งนี้พิจารณาได้จากค่าสถิติต่างๆ ที่ได้แสดงในรูปและผลการเปรียบเทียบระดับน้ำระหว่างผลจากการจำลอง (เส้นทึบสีดำ) กับค่าการตรวจวัดของกรมชลประทาน (เส้นกราฟสีฟ้าอ่อน) ในภาพรวมพบว่า แบบจำลองให้ผลการศึกษาของระดับน้ำท่วมสูงสุดต่ำกว่าค่าการตรวจวัดอยู่ประมาณ 3-5% และเมื่อพิจารณาผลการศึกษาระหว่างแม่น้ำยมกับแม่น้ำน่าน พบว่า แบบจำลองสามารถจำลองพฤติกรรมการไหลในแม่น้ำยมได้ดีกว่าแม่น้ำน่าน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของระดับน้ำ ณ สถานีสอบเทียบพบว่า มีค่ามากกว่าร้อยละ 80 สำหรับแม่น้ำยม แต่มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 58-79 สำหรับแม่น้ำน่าน ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการจำลองที่สำคัญในส่วนนี้คือ หน้าตัดการไหล การจำลองได้ใช้หน้าตัดการไหลที่มีการสำรวจมาแล้วหลายสิบปี ซึ่งอาจทำให้ลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำเปลี่ยนไปไม่ตรงกับสภาพปัจจุบัน



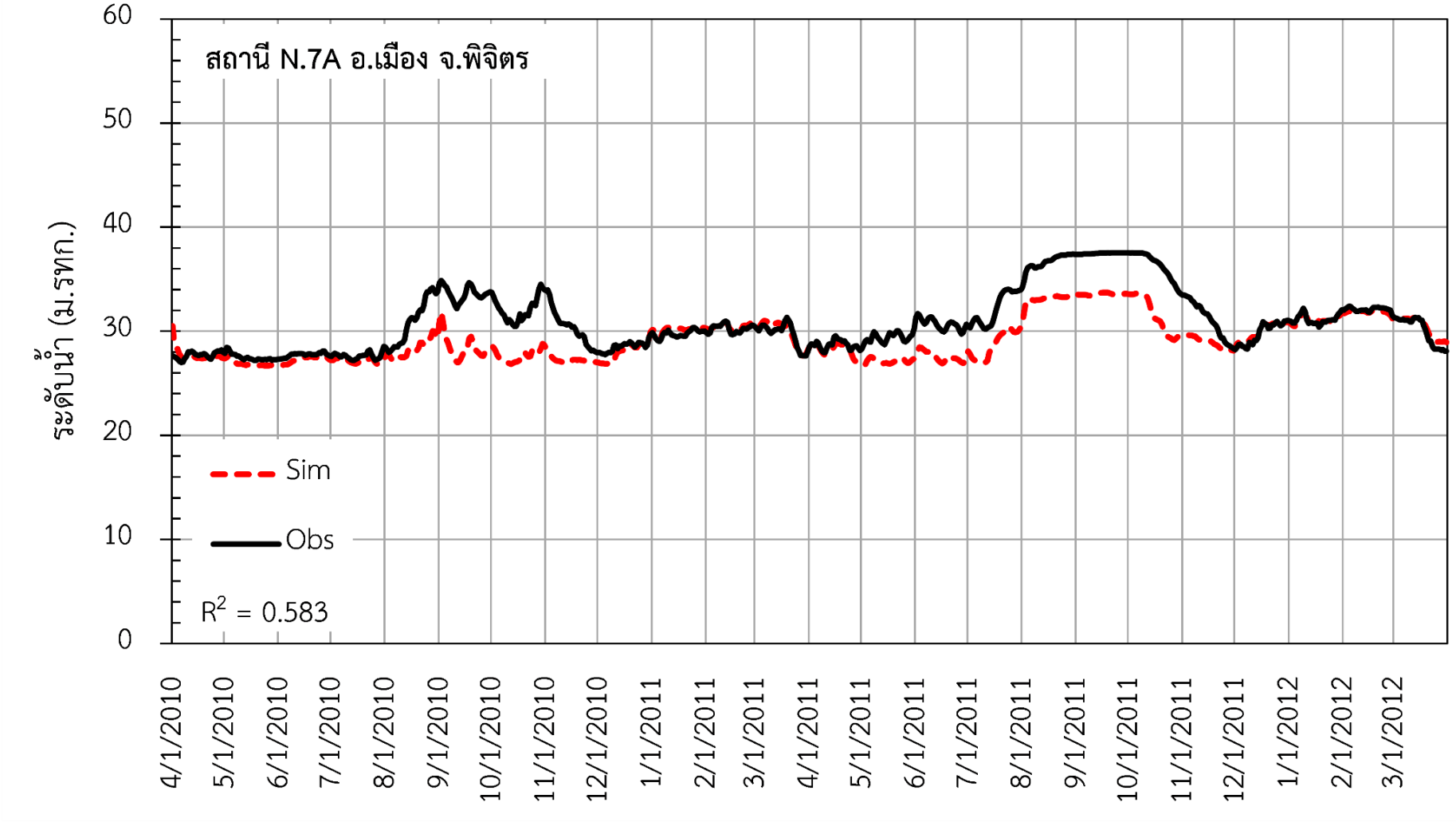
รูปที่ 3.3.2-14 เปรียบเทียบผลการจำลองระดับน้ำและค่าจากการตรวจวัดของสถานี Y.4 (แม่น้ำยม อ.เมือง จ.สุโขทัย)



รูปที่ 3.3.2-15 เปรียบเทียบผลการจำลองระดับน้ำและค่าจากการตรวจวัดของสถานี Y.5 (แม่น้ำยม อ.โพทะเล จ.พิจิตร)



รูปที่ 3.3.2-16 เปรียบเทียบผลการจำลองระดับน้ำและค่าจากการตรวจวัดของสถานี N.5A (แม่น้ำน่าน อ.เมือง จ.พิษณุโลก)



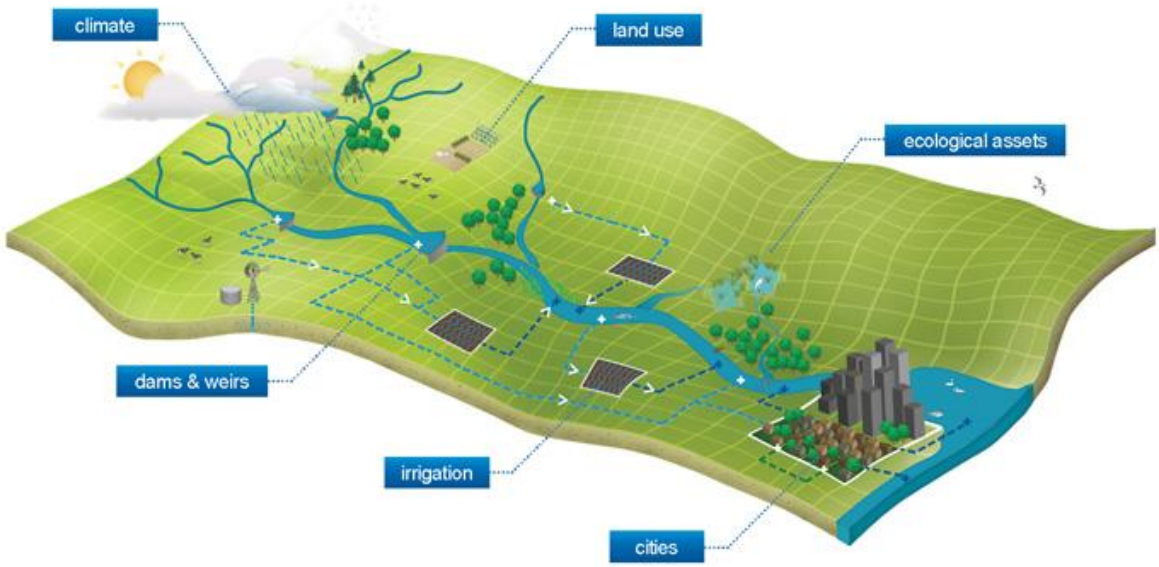
รูปที่ 3.3.2-17 เปรียบเทียบผลการจำลองระดับน้ำและค่าจากการตรวจวัดของสถานี N.7A (แม่น้ำน่าน อ.เมือง จ.พิจิตร)

3.3.2 (ก๒) โปรแกรม eWater SOURCE

แบบจำลอง eWater Source ได้รับการออกแบบโดย Australia's national hydrological modelling platform มีความสามารถในการจำลองสภาพทางอุทกวิทยาในหลายๆ ด้าน เพื่อนำมาใช้ในงานด้านการจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการ (Integrated Water Resources Management, IWRM) ได้แก่ การวางแผนการบริหารจัดการและการบำรุงรักษาระบบ เริ่มตั้งแต่พื้นที่รับน้ำไปจนถึงเส้นแม่น้ำรวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับประชากรและสภาพแวดล้อมในพื้นที่ศึกษาเป็นแบบจำลองที่สามารถรองรับ และประยุกต์ใช้ความหลากหลายของปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศภูมิประเทศ และนโยบายด้านการบริหารจัดการน้ำได้เป็นอย่างดี

ด้วยหลักการพื้นฐานของแบบจำลองที่มีความยืดหยุ่นทำให้ง่ายต่อการปรับแต่งและแก้ไขเพื่อให้เหมาะสมกับปัญหาหรือประเด็นที่สนใจคำสั่งฟังก์ชั่นต่างๆ มีการใช้งานที่ค่อนข้างง่ายโดยสามารถใช้งานผ่านทางปลั๊กอินที่พัฒนาขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการโดยเฉพาะซึ่งมีความครอบคลุมและเพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้งาน ในขณะเดียวกันผู้ใช้สามารถเลือกและเชื่อมโยงแบบจำลองในแต่ละโมเดลได้ตามต้องการ

สำหรับเวอร์ชั่นปัจจุบันที่ได้มีการเผยแพร่ให้ใช้งานได้ฟรีนั้น มีเครื่องสำหรับการใช้วิเคราะห์ทั้งสภาพทางอุทกวิทยาและคุณภาพน้ำอย่างครบถ้วน ทำให้สามารถทำการจำลองเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของน้ำในแม่น้ำสมดุลน้ำรวมถึงคุณภาพของน้ำในแม่น้ำได้ ทั้งรายวันจนถึงรายปี นอกจากนี้ยังจำลองการขนส่งทางน้ำและสิ่งปนเปื้อนเพื่อประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงในอนาคต โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ที่สนใจ



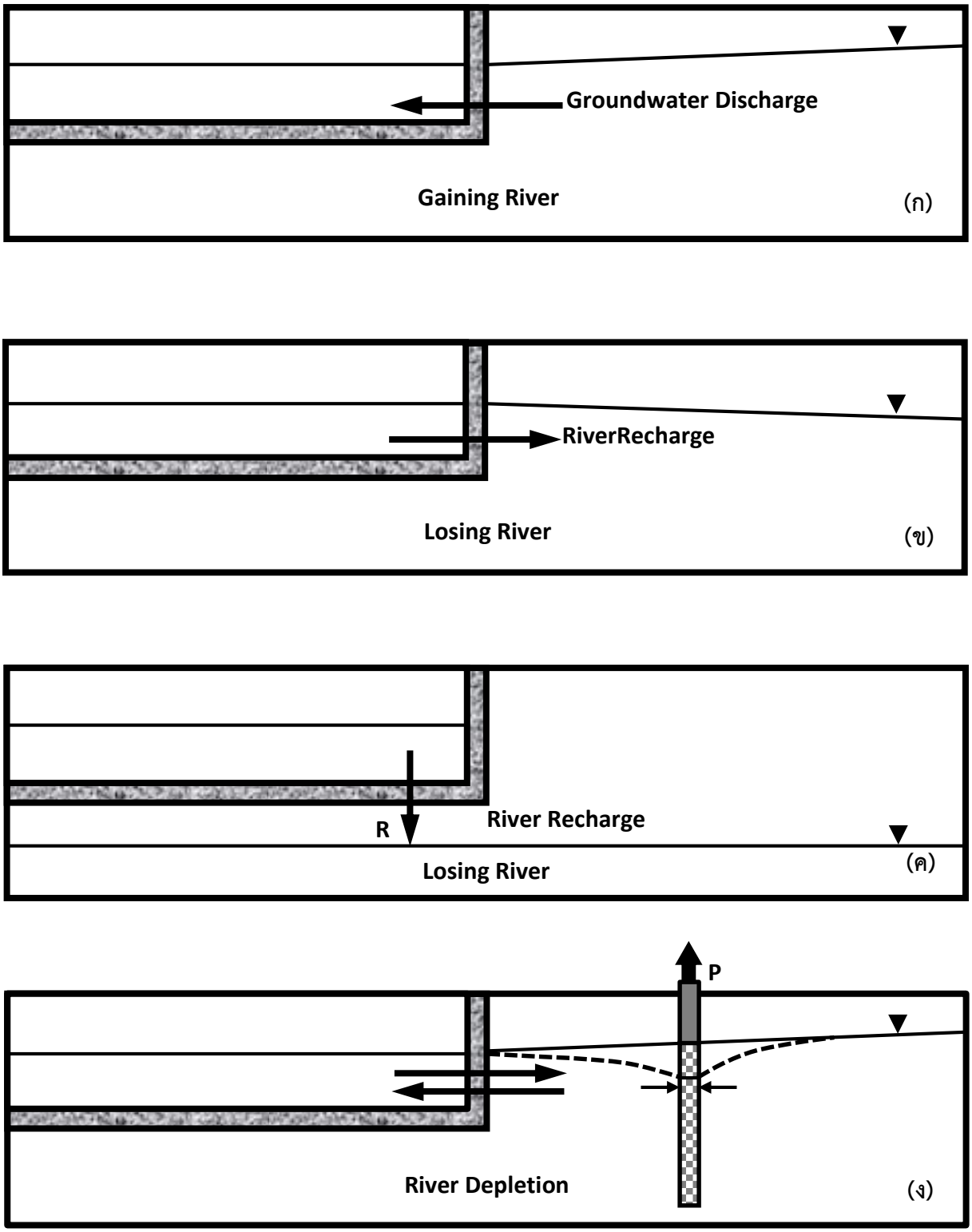
รูปที่ 3.3.2-18 หลักการทำงานของโปรแกรม eWater Source

หลักการสร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน โดยการใช้โปรแกรม eWater Source

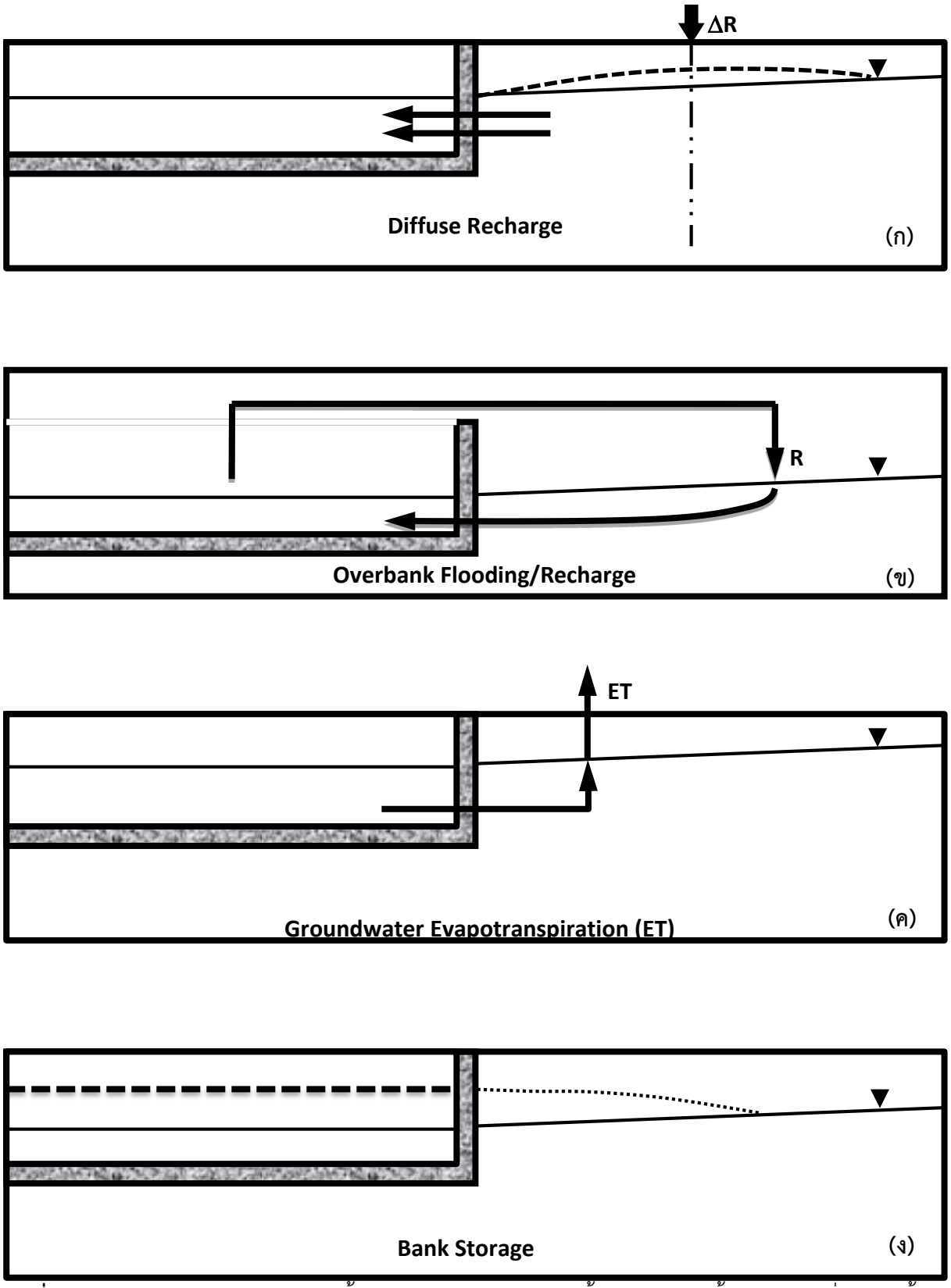
โปรแกรม eWater Source เป็นที่รู้จักและได้ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายรัฐของประเทศออสเตรเลีย เกิดจากการพัฒนาโดยความร่วมมือระหว่างภาคอุตสาหกรรมและสถาบันการศึกษาชั้นนำ เป็นฟรีแวร์ที่สามารถดาวน์โหลดมาใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย โปรแกรมถูกออกแบบมาเพื่อจำลองระบบทรัพยากรน้ำสำหรับรองรับการตัดสินใจทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบบูรณาการในพื้นที่เมือง พื้นที่ระบายน้ำ และพื้นที่ลุ่มน้ำ ตลอดจนการพิจารณาอิทธิพลที่ส่งผลต่อมนุษย์ และระบบนิเวศ รวมถึงการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสม (Optimization) และการพิจารณาส่วนได้–ส่วนเสีย (Trade-off Analysis) ทั้งยังสามารถนำมาใช้งานทางด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเชื่อมโยงระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน เมื่อใช้งานร่วมกับโปรแกรม Modular Ground-Water Flow Model (MODFLOW) ของสำนักงานสำรวจทางธรณีวิทยาประเทศสหรัฐอเมริกา (USGS, United Stated Geological Survey) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่จำลองการไหลของน้ำบาดาลที่เป็นที่รู้จักกันดี และถือเป็นฟรีแวร์เช่นเดียวกัน

การสร้างแบบจำลองการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน (GW-SW Interaction) เป็นการประมาณการปริมาณและทิศทางของฟลักซ์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน สถานะของการเชื่อมโยงกันระหว่างลำน้ำและชั้นหินอุ้มน้ำข้างใต้ลงมาจะเป็นตัวกำหนดกระบวนการของฟลักซ์ (Exchange Flux) การแลกเปลี่ยนกระบวนการของฟลักซ์การแลกเปลี่ยน มีได้ดังนี้

(1) น้ำบาดาลไหลออกเข้าสู่ลำน้ำ
(2) น้ำในลำน้ำเติมน้ำบาดาลโดยการเชื่อมโยงแบบอิ่มตัว
(3) น้ำในลำน้ำเติมน้ำบาดาลโดยการเชื่อมโยงแบบไม่อิ่มตัว
(4) การลดระดับลงของน้ำในลำน้ำจากการสูบน้ำบริเวณข้างเคียง
(5) การเติมน้ำบาดาลแบบกระจายตัว
(6) น้ำท่วม/การเติมน้ำบริเวณริมตลิ่งของลำน้ำ
(7) การคายระเหยของน้ำบาดาล
(8) การกักเก็บน้ำบาดาลบริเวณริมตลิ่งของลำน้ำ (รูปที่ 3.3.2-19 และ 3.3.2-20)



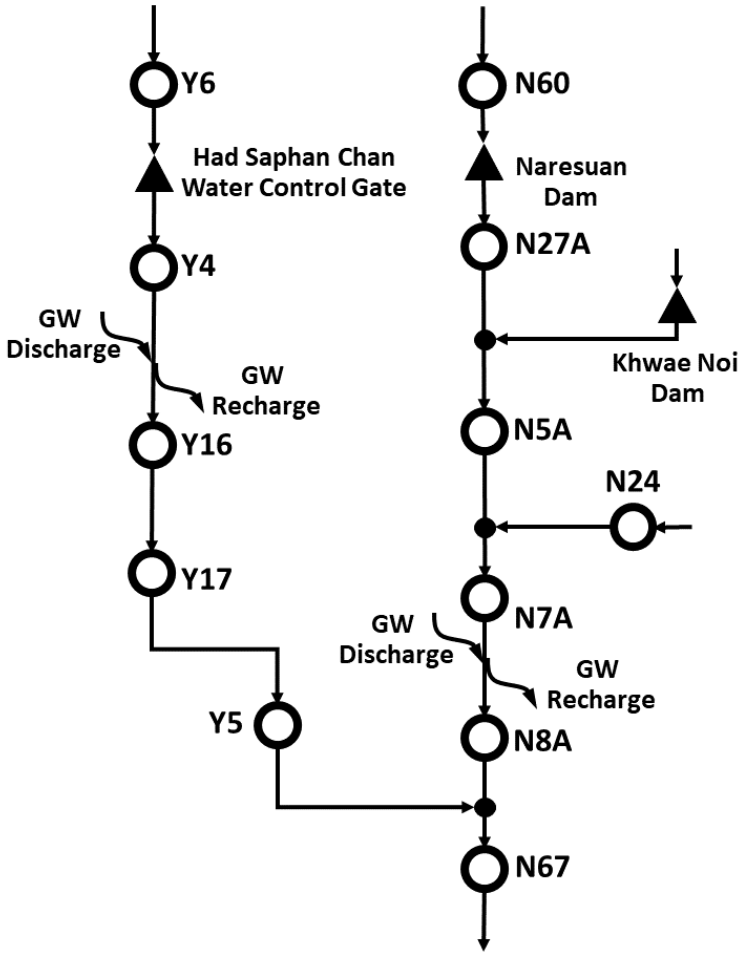
รูปที่ 3.3.2-19 กระบวนการ (ก) น้ำบาดาลไหลออกเข้าสู่ลำน้ำ (ข) น้ำในลำน้ำเติมน้ำบาดาลโดยการเชื่อมโยงแบบอิ่มตัว (ค) น้ำในลำน้ำเติมน้ำบาดาลโดยการเชื่อมโยงแบบไม่อิ่มตัว และ (ง) การลดระดับลงของน้ำในลำน้ำจากการสูบน้ำบริเวณข้างเคียง (Rassam, 2013)



รูปที่ 3.3.2-20 กระบวนการ (ก) การเติมน้ำบาดาลแบบกระจายตัว (ข) น้ำท่วม/การเติมน้ำบริเวณริมตลิ่งของลำน้ำ (ค) การคายระเหยของน้ำบาดาล และ (ง) การกักเก็บน้ำบาดาลบริเวณริมตลิ่งของลำน้ำ (Rassam, 2013)

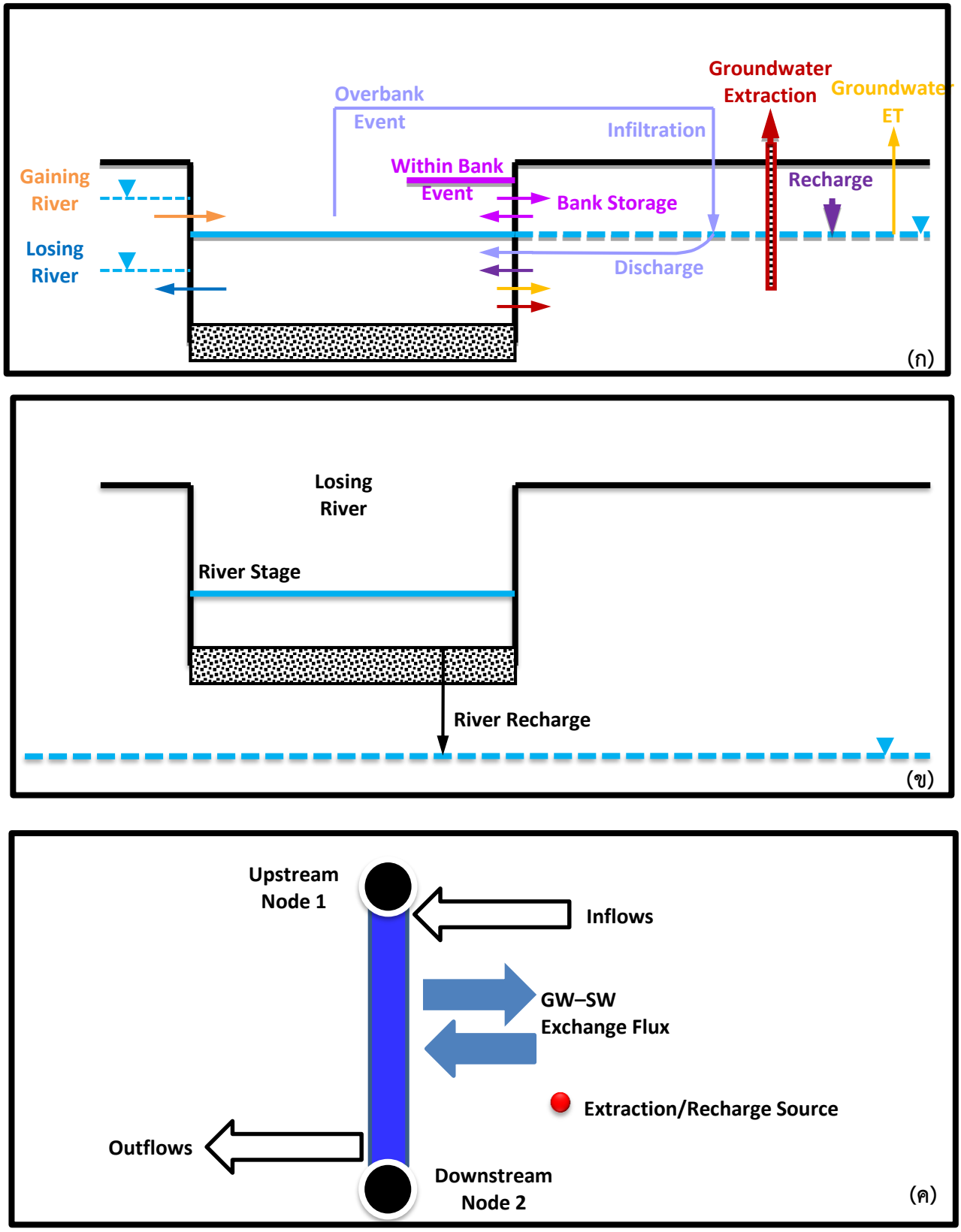
3.3.2 (ข๒) ผลของโปรแกรม eWater SOURCE

แบบจำลองของลำน้ำยมและน่านตอนล่างได้ถูกออกแบบขึ้นมาจากโปรแกรม eWater Source เพื่อบริหารจัดการทรัพยากรน้ำโดยสามารถรองรับการใช้น้ำ การประโยชน์ที่ดิน และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โปรแกรม eWater Source จะแยกระบบลำน้ำเป็นหลายเส้นเชื่อมโยงแบบมิติเดียว (1–Dimensional Links) ซึ่งมีทั้งระยะความยาว จุดต่อต้นน้ำ (Upstream Node) จุดต่อปลายน้ำ (Downstream Node) ทั้งนี้ระบบลำน้ำจำเป็นต้องมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้า (Inflow) เช่น ข้อมูลน้ำฝนที่ใช้ข้อมูลน้ำชลประทานไหลกลับ ข้อมูลการสูญเสียน้ำ (การไหลซึมออก หรือ การคายระเหย) ปริมาณน้ำที่ไหลเข้า (Inflow) สามารถใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่มีการตรวจวัดได้ และ/หรือ การประมาณการน้ำท่าจากน้ำฝน การศึกษาในครั้งนี้จะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนล่าง กรมชลประทาน ในขณะที่ข้อมูลการสูญเสียน้ำจะใช้ปริมาณการไหลซึมออก (Seepage) ของลำน้ำจากผลที่ได้รับบางส่วนของการศึกษาในครั้งนี้ แบบจำลองที่สร้างขึ้นจะพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลออกที่จุดต่อปลายน้ำ (Downstream Node) ในแต่ละสถานีตรวจวัดน้ำท่าอัตโนมัติของกรมชลประทาน ดังแสดงในรูปที่ 3.3.2-21



รูปที่ 3.3.2-21 ภาพแนวคิดการสร้างแบบจำลองของลำน้ำยมและน่านตอนล่าง

โปรแกรม eWater Source สามารถประมาณการค่าฟลักซ์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินตามแนวลำน้ำที่แสดงด้วยเส้นเชื่อมโยง โดยการใช้แนวคิดที่ว่ามีชั้นหินอุ้มน้ำอยู่ใต้แบบจำลองของลำน้ำยมและน่านตอนล่าง เมื่อกำหนดประเภทของการเชื่อมต่อระหว่างระบบน้ำบาดาลและระบบน้ำผิวดินกับชั้นหินอุ้มน้ำแล้วโปรแกรม eWater Source จะคำนวณค่าฟลักซ์การแลกเปลี่ยนรายวัน ดังนั้นการสร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินโดยการใช้โปรแกรม eWater Source มีรายละเอียดรูปแบบและองค์ประกอบแสดงได้ตามรูปที่ 3.3.2-22

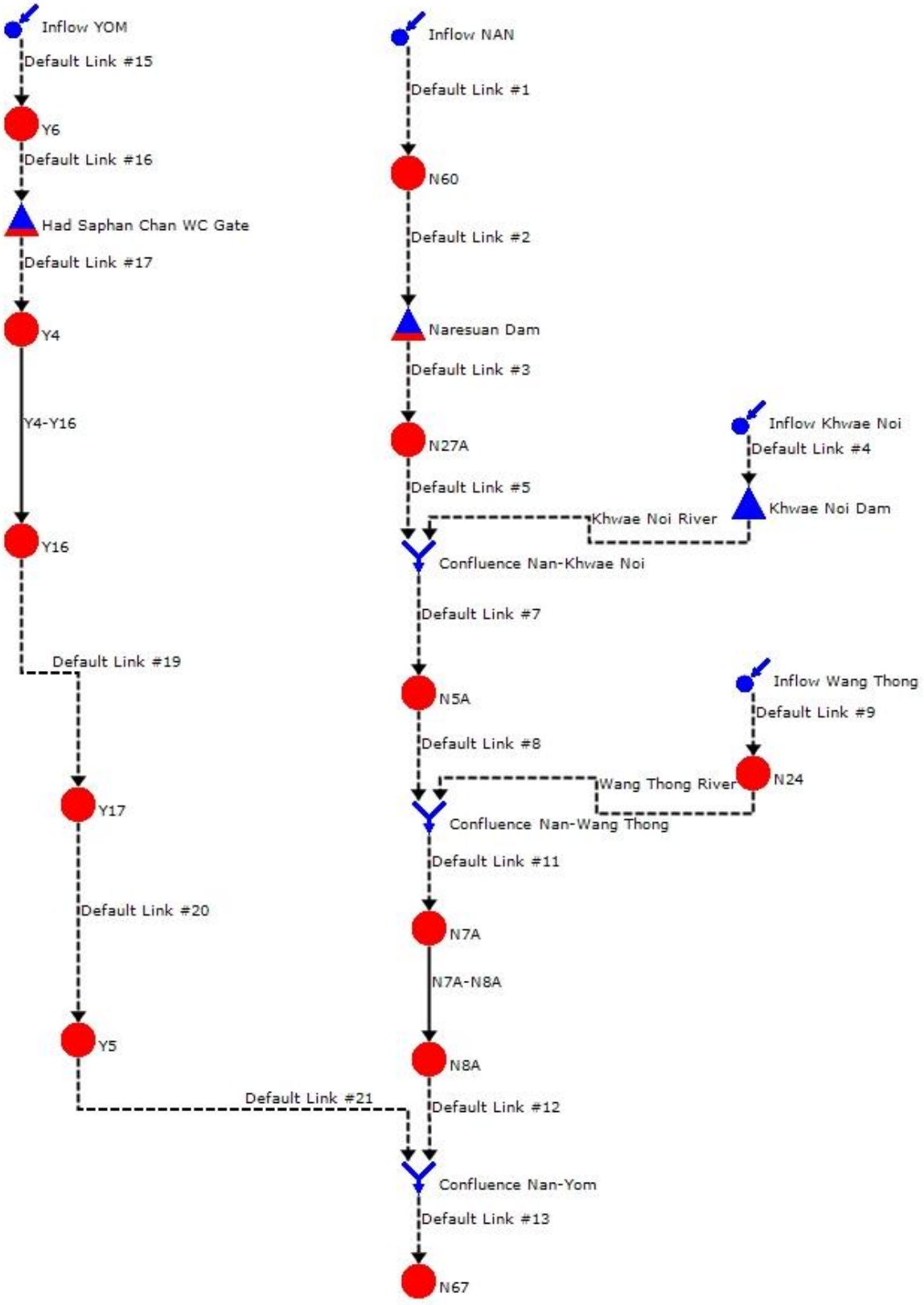


รูปที่ 3.3.2-22 (ก) กระบวนการสำหรับการเชื่อมโยงแบบอิ่มตัว (ข) กระบวนการสำหรับการเชื่อมโยงแบบไม่อิ่มตัว และ (ค) การจำลองการเชื่อมโยงของลำน้ำต้นน้ำและท้ายน้ำ 1 มิติ (Rassam, 2013)

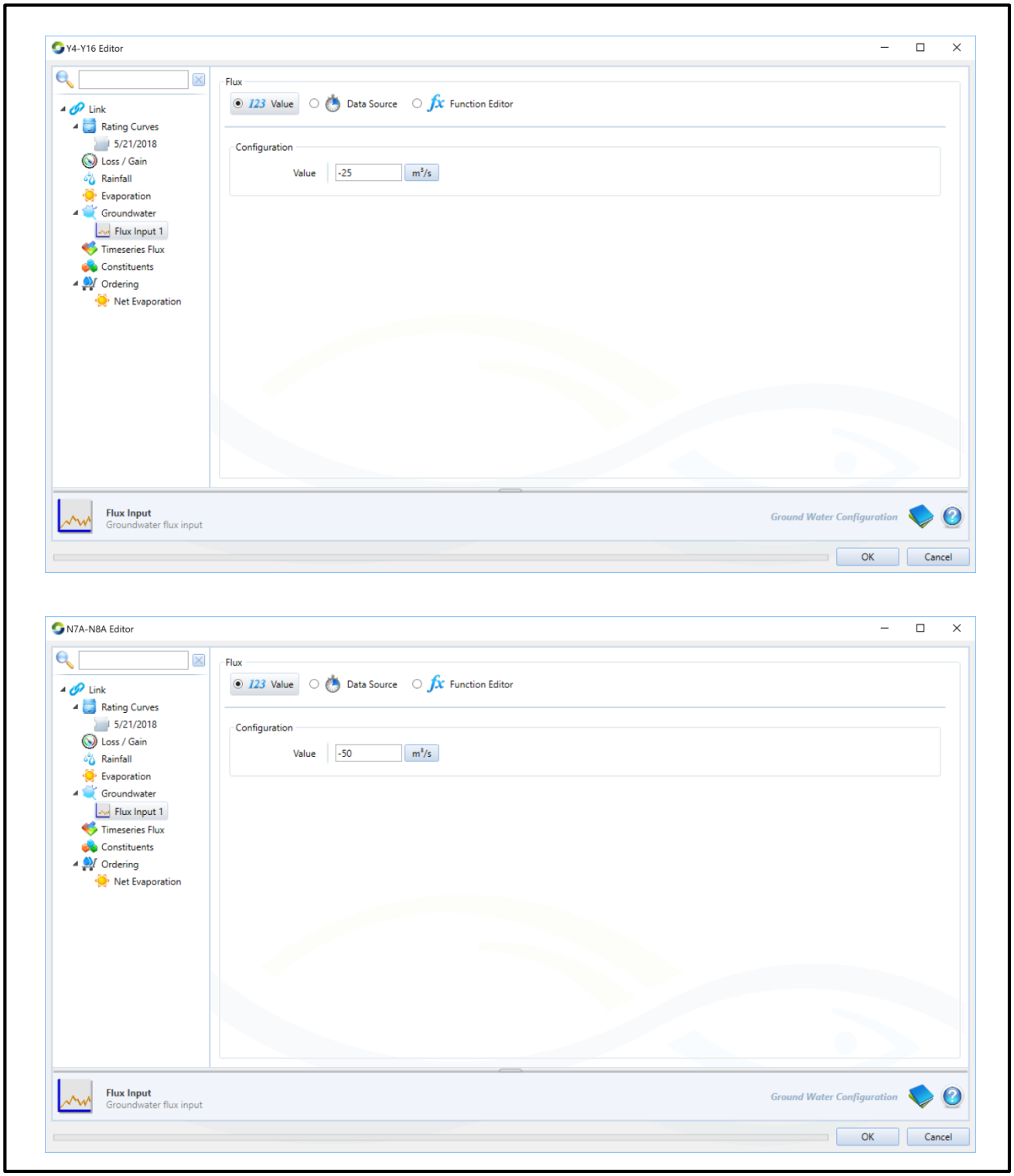
การสร้างแบบจำลองลำน้ำในพื้นที่ศึกษาโดยจะคำนึงถึงผลการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีกำไร–ขาดทุน (Gain-Loss Estimation Method) จากการทำบัญชีน้ำ โดยที่ลำน้ำยมสูญเสีย (~25 ลูกบาศก์เมตร/วินาที)บริเวณสถานี Y16 อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ลงมาจนถึงสถานี Y16 อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลกระหว่างเดือนธันวาคม–กุมภาพันธ์ และเมษายน และลำน้ำน่านสูญเสีย (~50 ลูกบาศก์เมตร/วินาที) บริเวณสถานี N7A อำเภอเมืองพิจิตร ลงมาจนถึงสถานี N8A อำเภอบางมูลนาก ระหว่างเดือนธันวาคม–เมษายน (รูปที่ 3.3.2-23) ซึ่งแบบจำลองจะประกอบด้วยจุดต่อ (Nodes) ที่เป็นสถานีวัดปริมาณน้ำท่าอัตโนมัติในลำน้ำยมของกรมชลประทาน (Y6, Y4, Y16, Y17, และ Y5) สถานีวัดปริมาณน้ำท่าอัตโนมัติในลำน้ำน่านของกรมชลประทาน (N60, N27A, N5A, N24, N7A, N8A, และ N67) ประตูระบายน้ำแม่น้ำยม (บ้านหาดสะพานจันทร์) เขื่อนนเรศวร และเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน ทั้งนี้จะสร้างให้บริเวณสถานี Y4–Y16 และสถานี N7A–N8A ทั้งคู่เป็นการเคลื่อนตัวของน้ำหลากแบบ Storage Routing ทำให้สามารถกำหนดค่าอัตราการแลกเปลี่ยนได้ (รูปที่ 3.3.2-24)

การนำเข้าข้อมูลน้ำท่าที่ตรวจวัดได้ของสถานี Y6, Y4, Y16, Y17, Y5, N60, N27A, N5A, N24, N7A, N8A, และ N67 ในที่นี้จะใช้ข้อมูลน้ำท่าปี พ.ศ. 2554–2555 จากศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนล่างและศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคกลางสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน โดยที่ พ.ศ. 2554 เป็นปีที่เกิดน้ำท่วมใหญ่ (รูปที่ 3.3.2-25) โดยที่ค่าเฉลี่ยน้ำท่าและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสถานี N60, N27A, N5A, N24, N7A, N8A, และ N67 เท่ากับ 357 ± 8.38, 222 ± 7.37, 294 ± 9.25, 456 ± 10.5, 420 ± 12.1, และ 485 ± 11.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับค่าเฉลี่ยน้ำท่าและค่าความความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสถานี Y6, Y4, Y16, Y17, และ Y5 เท่ากับ 155 ± 8.11, 165 ± 5.29, 225 ± 9.49, 188 ± 9.01, และ221 ± 13.0 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับซึ่งปริมาณน้ำท่าจากสถานีในลุ่มน้ำน่านมีมากกว่าปริมาณน้ำท่าจากสถานีในลุ่มน้ำยมอยู่ที่ประมาณสองเท่า

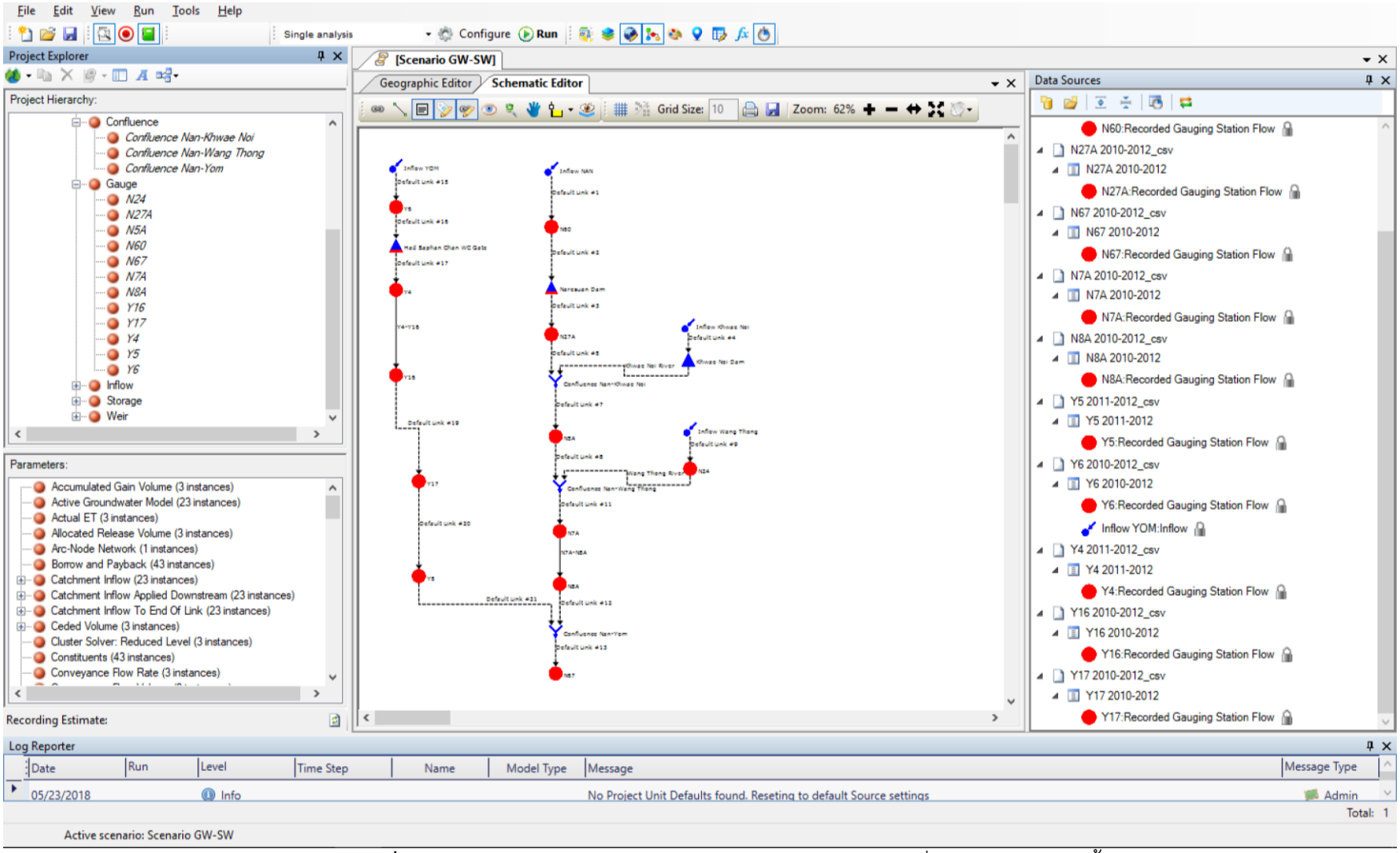
การดำเนินการแบบจำลองลำน้ำในโปรแกรม eWater Source ในที่นี้กำหนดระยะเวลาเท่ากับระยะเวลาของข้อมูลที่นำเข้าคือตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2554 ถึง วันที่ 31 ธันวาคม 2555 แสดงปริมาณน้ำท่าของสถานี N7A และ N8A พบว่าปริมาณน้ำท่าของสถานี 8A น้อยกว่าปริมาณน้ำท่าของสถานี 7A ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันตลอดทั้งสองปีประมาณ 50 ลูกบาศก์เมตร/วินาที เท่ากับปริมาณอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินที่ได้กำหนดค่าไว้ ในขณะที่ปริมาณน้ำท่าของสถานี Y16 น้อยกว่าปริมาณน้ำท่าของสถานี Y4 ในปริมาณที่คงที่ประมาณ 25 ลูกบาศก์เมตร/วินาที เท่ากับปริมาณอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินที่ได้กำหนดค่าไว้ อย่างไรก็ตามช่วงหน้าแล้ง (มกราคม–เมษายน) จะพบการสูญเสียในปริมาณที่ไม่มากนัก ดั้งนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ยามหน้าน้ำมากจนระดับน้ำในลำน้ำขึ้นสูงกว่าระดับน้ำบาดาลด้านข้างลำน้ำจะเกิดการสูญเสียของน้ำในลำน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในปริมาณที่มากกว่า



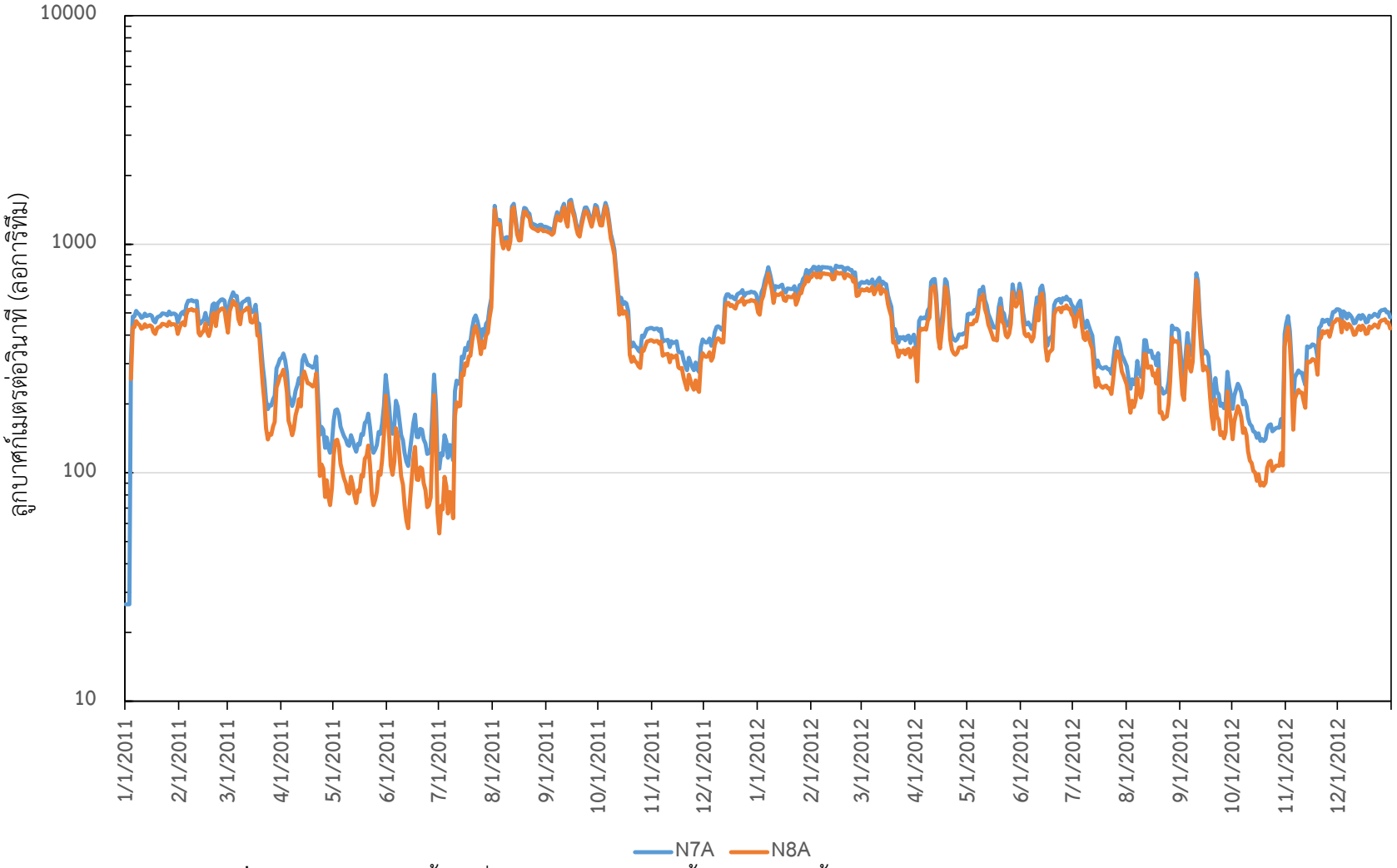
รูปที่ 3.3.2-23 แผนผังของการสร้างแบบจำลองลำน้ำในพื้นที่ศึกษาโดยใช้ eWater Source



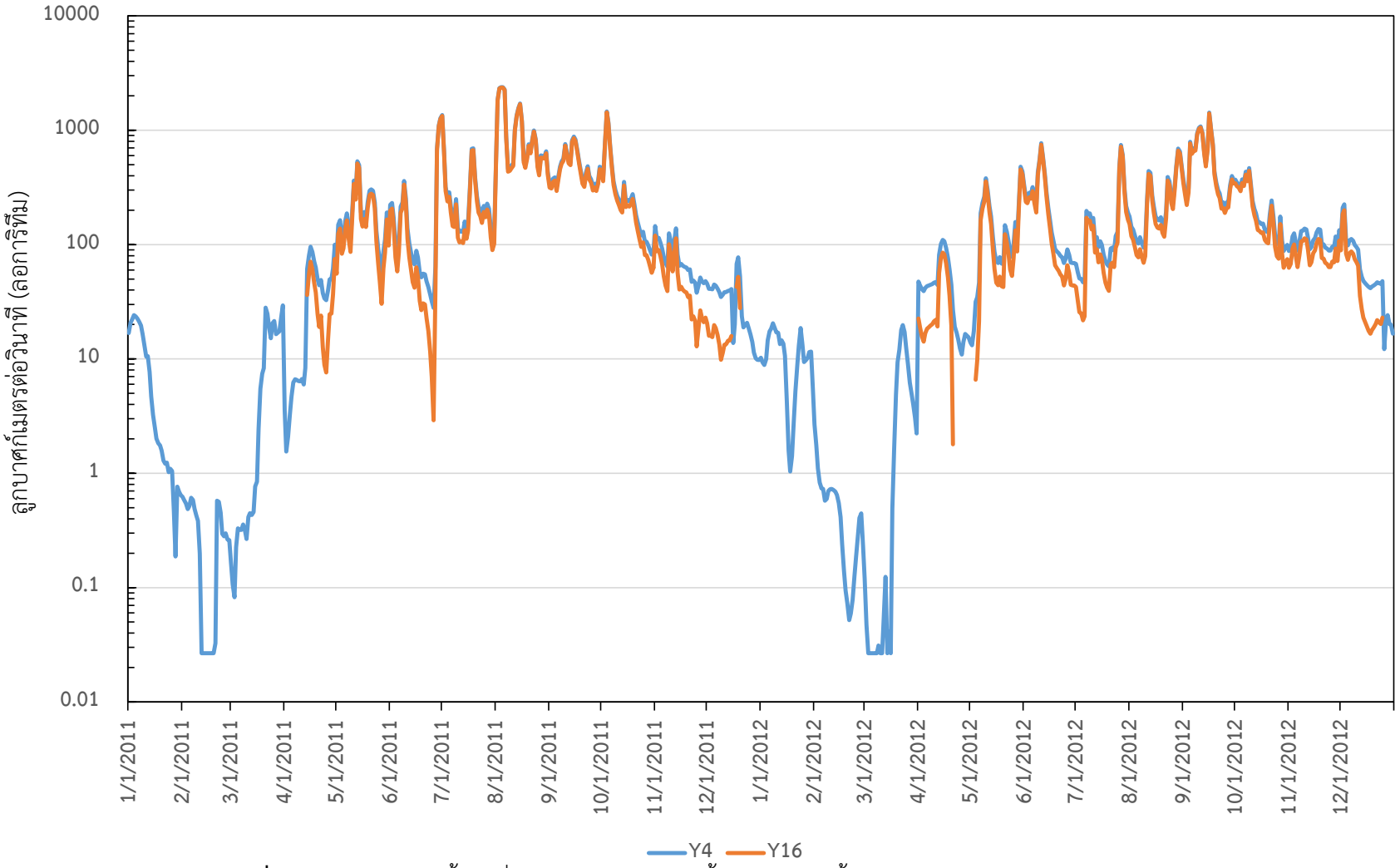
รูปที่ 3.3.2-24 การกำหนดค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน



รูปที่ 3.3.2-25 ลักษณะการใช้งานโปรแกรม eWater Source เพื่อการนำเข้าข้อมูลน้ำท่า



รูปที่ 3.3.2-26 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองลำน้ำบริเวณท้ายน้ำของสถานี N7A เปรียบเทียบกับสถานี N8A



รูปที่ 3.3.2-27 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองลำน้ำบริเวณท้ายน้ำของสถานี Y4 เปรียบเทียบกับสถานี Y6

3.3.2 (ก๓) โปรแกรม HEC-HMS

แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-HMS เป็นแบบจำลอง Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) ที่ได้พัฒนามาจาก Hydrologic Engineering Center (HEC) of U.S. Army Corps of Engineering ที่ได้จำลองกระบวนการของน้ำฝน-น้ำท่า และกระบวนการเคลื่อนตัวของน้ำทั้งในสภาพทั่วไปและสภาพที่มีการควบคุม ซึ่งมีพื้นฐานมาจากแบบจำลอง HEC-1 (Flood hydrograph package) โดยได้เพิ่มขีดความสามารถในการจำลองสภาพการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและระยะทาง (distribution model) และการจำลองสภาพการไหลแบบต่อเนื่อง (continuous simulation) นอกจากนี้ยังลดปัญหาความผิดพลาดจากการป้อนข้อมูลนำเข้า มีวิธีคำนวณให้เลือกมากและนำเสนอแบบ Graphical User Interface (GUI)

แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-HMS สามารถแบ่งได้เป็น 4 แบบจำลอง ได้แก่

1. แบบจำลองปริมาณน้ำท่า (Models that compute runoff volume) เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณการสูญเสียของปริมาณน้ำฝนในส่วนต่างๆ โดยที่ปริมาณฝนส่วนเกินในแบบจำลองจะถูกคำนวณซึ่งนำค่าปริมาณฝนทั้งหมด หักด้วยปริมาณสูญเสียของน้ำฝน ปริมาณการสูญเสียน้ำฝนประกอบด้วยปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับโดยพืช (interception) ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านผิวดิน (infiltration) ปริมาณน้ำที่ถูกเก็บกักบนแหล่งน้ำผิวดิน (depression storage) และปริมาณการระเหย (evaporation) หรืออัตราการคายระเหยของพืช (evapotranspiration)

2. แบบจำลองปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นโดยตรง (Direct runoff model) เป็นแบบจำลองย่อยที่ใช้ในการวิเคราะห์ 6 แบบจำลองย่อยดังตารางที่ 3.3.2-1

ตารางที่ 3.3.2-1 แบบจำลองย่อยของแบบ จำลองปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นโดยตรง

แบบจำลองย่อย	ประเภท
User-specified unit hydrograph (UH)	event, lumped, empirical, fitted parameter
Clark's UH	event, lumped, empirical, fitted parameter
Snyder's UH	event, lumped, empirical, fitted parameter
SCS UH	event, lumped, empirical, fitted parameter
ModClark	event, distributed, empirical, fitted parameter
Kinematic wave	event, lumped, conceptual, measured parameter

1. แบบจำลองการไหลพื้นฐาน (Base flow model) สามารถจำแนกแบบจำลองย่อยที่ใช้ในการวิเคราะห์ 3 แบบจำลองย่อยดังตารางที่ 3.3.2-2

ตารางที่ 3.3.2-2 แบบจำลองย่อยของแบบจำลองการไหลพื้นฐาน

แบบจำลองย่อย	ประเภท
Constant monthly	event, lumped, empirical, fitted parameter
Exponential recession	event, lumped, empirical, fitted parameter
Linear reservoir	event, lumped, empirical, fitted parameter

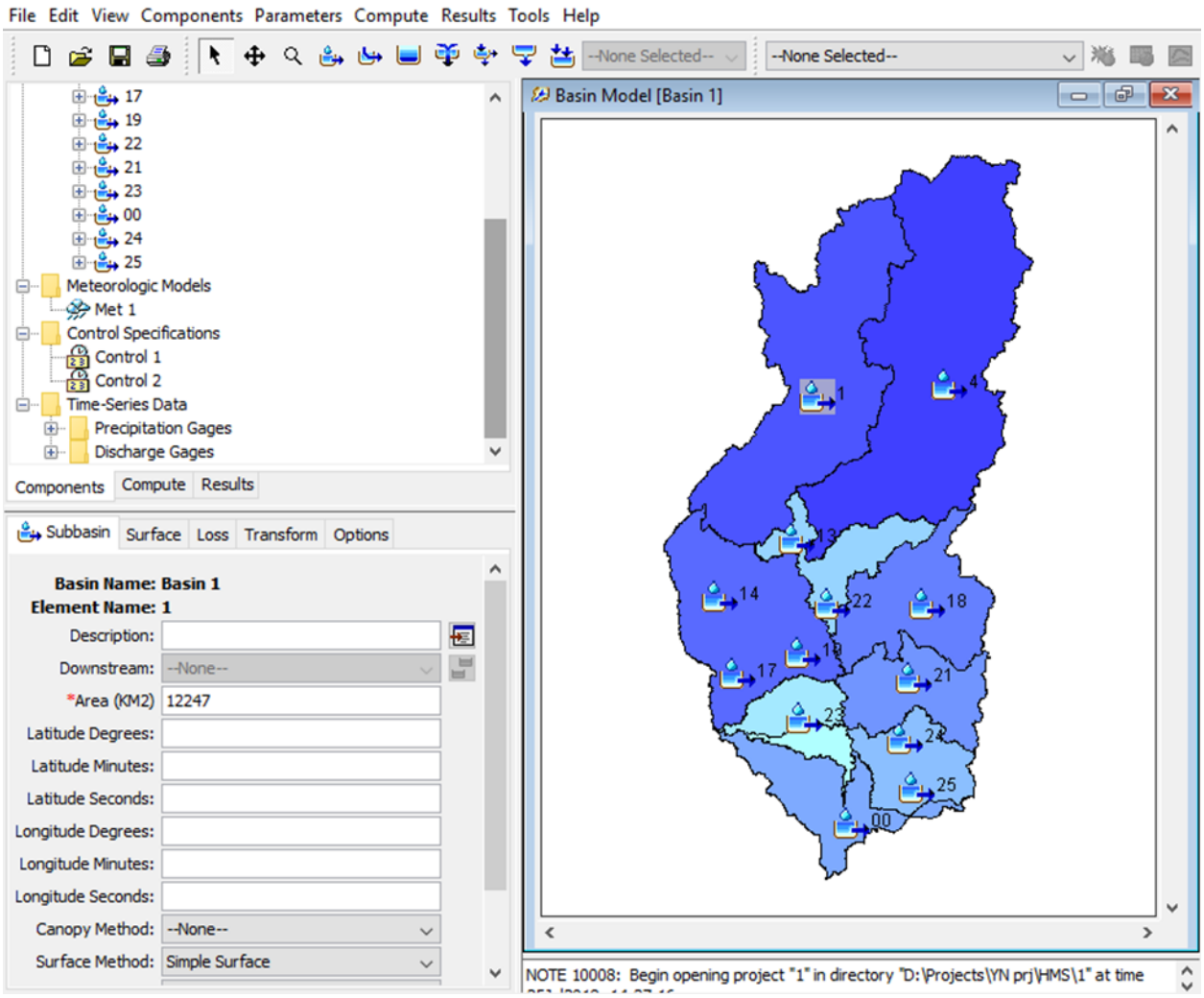
2. แบบจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำในลำน้ำ (Channel flow model) สามารถจำแนกแบบจำลองย่อยที่ใช้ในการวิเคราะห์ 8 แบบจำลองย่อยดังตารางที่ 3.3.2-3

ตารางที่ 3.3.2-3 แบบจำลองย่อยของแบบจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำในลำน้ำ

แบบจำลองย่อย	ประเภท
Kinematic wave	event, lumped, conceptual, measured parameter
Lag	event, lumped, empirical, fitted parameter
Modified Puls	event, lumped, empirical, fitted parameter
Muskingum	event, lumped, empirical, fitted parameter
Muskingum-Cunge StandardSection	event, lumped, quasi-conceptual, measured parameter
Muskingum-Cunge 8-point Section	event, lumped, quasi-conceptual, measured parameter
Confluence	event, lumped, quasi-conceptual, measured parameter
Bifurcation	event, lumped, quasi-conceptual, measured parameter

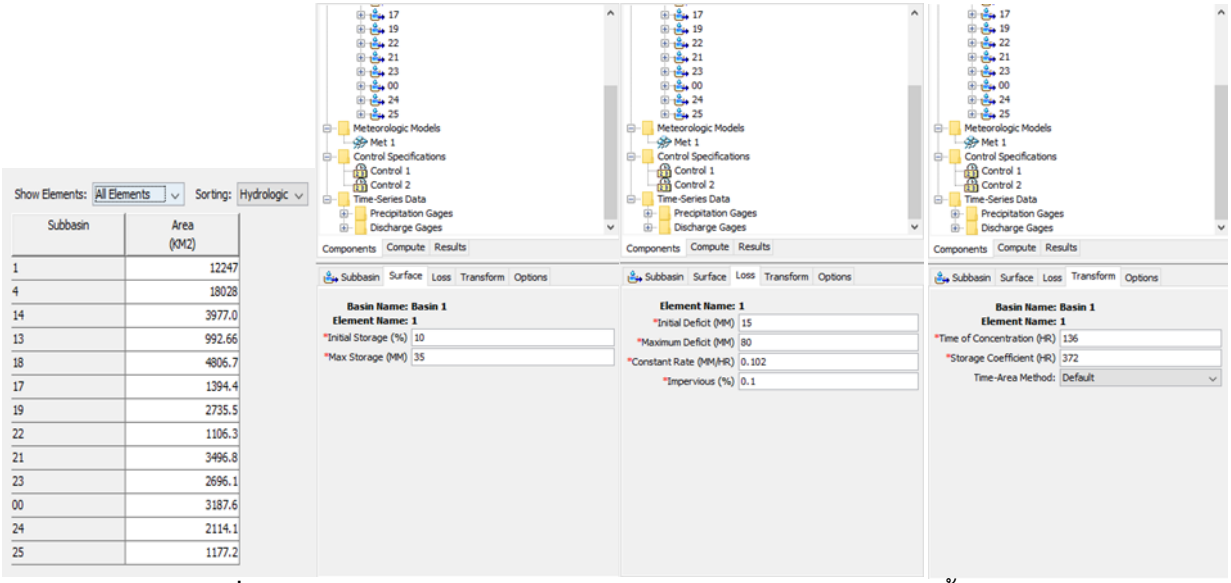
3.3.2 (ข๓) ผลของโปรแกรม HEC-HMS

รูปแบบการสร้างโครงข่ายลำน้ำสำหรับใช้ในการจำลองสภาพน้ำฝนน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาด้วยแบบจำลอง HEC-HMS แสดงดังรูปที่ 3.3.2-28 ซึ่งแบ่งพื้นที่ศึกษาในลุ่มน้ำยมและน่านออกเป็น 13 ลุ่มน้ำย่อย เพื่อการวิเคราะห์ปริมาณท่า นอกจากนี้ในภาพยังได้แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบสำคัญที่ใช้ในการกำหนดข้อมูลนำเข้ารวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็น ซึ่งประกอบด้วย



รูปที่ 3.3.2-28 ลักษณะโครงสร้างของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-HMS

1) Basin Models คือ ส่วนที่ใช้ในการกำหนดลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของลุ่มน้ำ ได้แก่ ขอบเขตและจุดทางออก (Outlet) ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย และลักษณะลำน้ำ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้จำลองการไหลโดยใช้วิธีการเคลื่อนตัวของน้ำหลากทางอุทกวิทยา แต่จะคำนวณการไหลในลำน้ำด้วยแบบจำลอง HEC-RAS ซึ่งจะกล่าวถัดไป ดังนั้นข้อมูลโครงสร้างทางกายภาพของลุ่มน้ำ จึงประกอบด้วย ลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำทั้ง 13 ลุ่มน้ำย่อยเท่านั้น นอกจากโครงสร้างทางกายภาพของลุ่มน้ำแล้ว ยังมีพารามิเตอร์และวิธีการทางอุทกวิทยาสำหรับคำนวณปริมาณน้ำท่าจากปริมาณฝน ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้แบบจำลองคำนวณการสูญเสีย (Loss model) การแปลงน้ำฝน-น้ำท่า (Transform model) และแบบจำลองผิวดิน (Surface model) ในการพัฒนาแบบจำลอง โดยอาศัยวิธีการคำนวณ Deficit loss and constant method, Clack unit-hydrograph method และ Simple surface method สำหรับการคำนวณ การสูญเสีย การแปลงน้ำฝน- น้ำท่า และแบบจำลองผิวดินตามลำดับ ตัวอย่างพารามิเตอร์ของแบบจำลอง แสดงดังรูปที่ 3.3.2-29



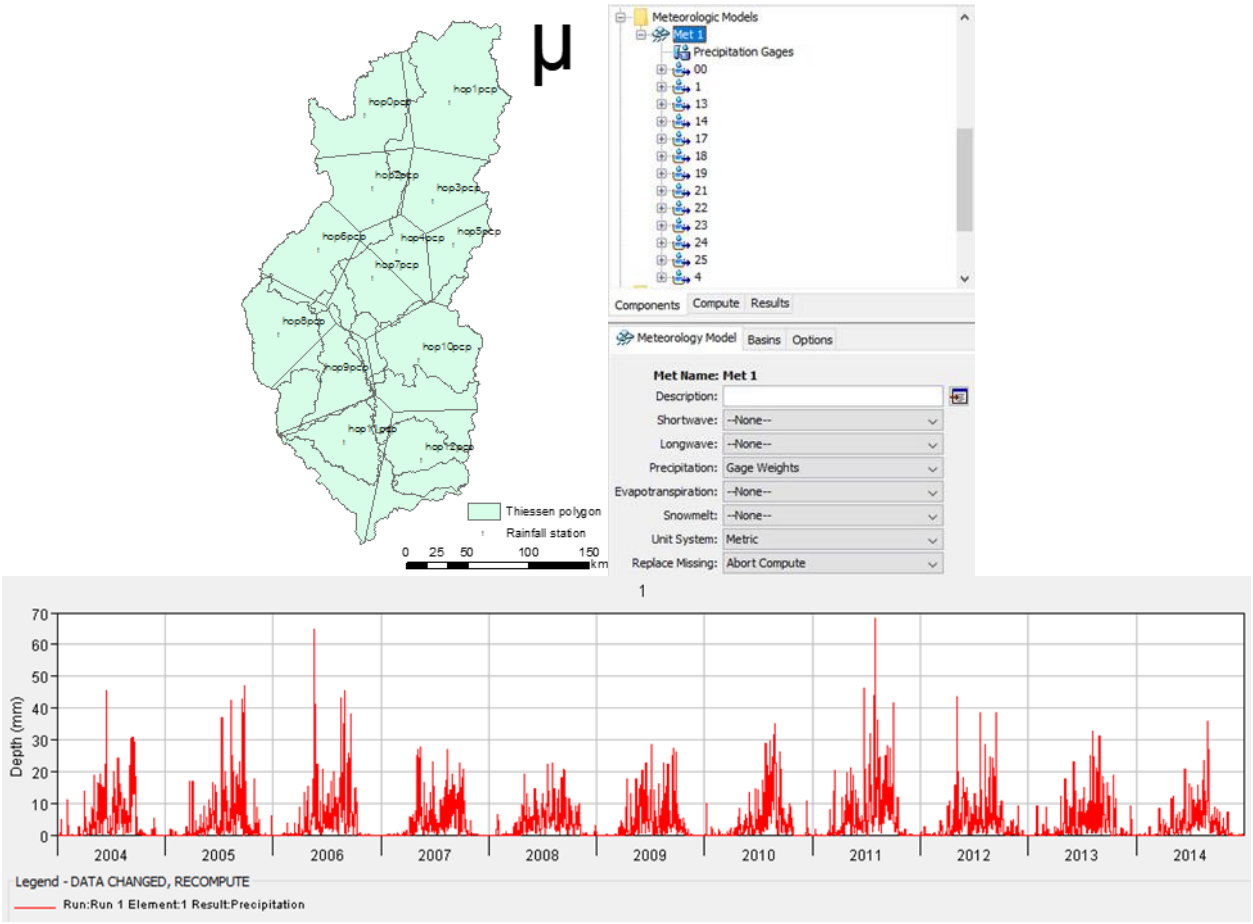
รูปที่ 3.3.2-29 ตัวอย่างการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ในส่วนของลุ่มน้ำย่อย

2) Meteorologic Models คือ ส่วนที่ใช้ในการกำหนดลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ปัจจัยหลักทางอุตุนิยมวิทยา คือ ปริมาณฝน โดยการระบุรายละเอียดต่างๆ เช่น ตำแหน่งของสถานีฝน ความถี่ของข้อมูล และวิธีการกระจายของข้อมูล สามารถทำได้ในส่วนนี้ ตัวอย่างการกำหนดของพื้นที่ศึกษานี้แสดงดังรูปที่ 3.3.2-30 โดยข้อมูลฝนที่นำมาใช้ในการศึกษาทั้งหมดมาจากสถานีตรวจวัดของกรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยา ในช่วงที่มีข้อมูลครบถ้วนและครอบคลุมลักษณะเฉพาะของน้ำท่า ในพื้นที่ศึกษาทั้งในปีน้ำมากและปีน้ำน้อย สำหรับนำมาใช้ในการศึกษาถึงพฤติกรรมร่วมระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาลภายใต้เงื่อนไขสภาพอุตุอุทกวิทยาที่แตกต่างกัน

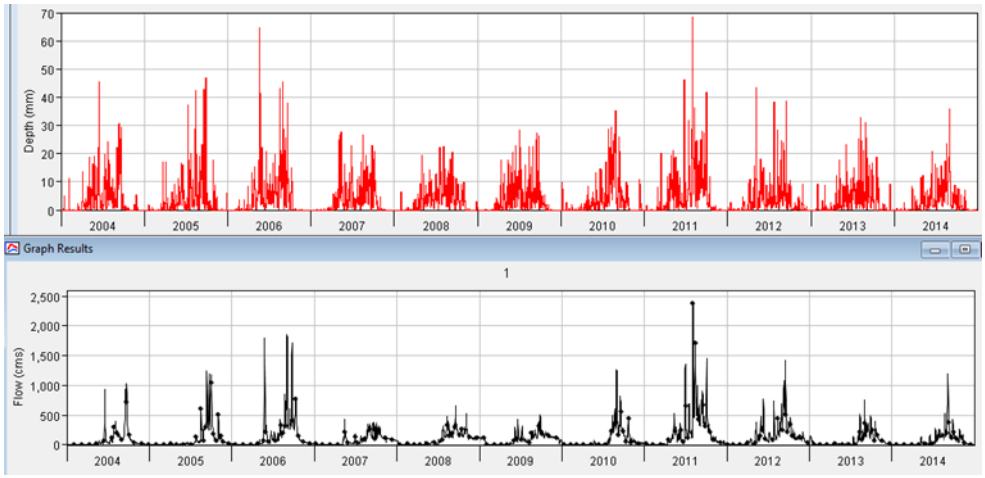
3) Control Spedifications คือ ส่วนที่ใช้ในการตั้งค่าการจำลอง ได้แก่ ระยะเวลาการจำลองวันที่เริ่มต้นและสิ้นสุด ในแต่ละกรณีศึกษา

4) Time-Series Data คือ ส่วนที่ระบุค่าและความถี่ของข้อมูลที่เป็นข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา ได้แก่ ข้อมูลฝนที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า และข้อมูลอัตราการไหลที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบผลการจำลองที่ได้กับค่าที่ได้จากการตรวจวัด ดังตัวอย่างของข้อมูลที่แสดงในรูปที่ 3.3.2-31

5) Paired Data คือ ส่วนที่ใช้ในการกำหนดข้อมูลการ Operation ของเขื่อน เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรเก็บกักกับอัตราการไหล (Storage-Discharge Functions) และความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและปริมาตรเก็บกัก (Elevation-Storage Functions)



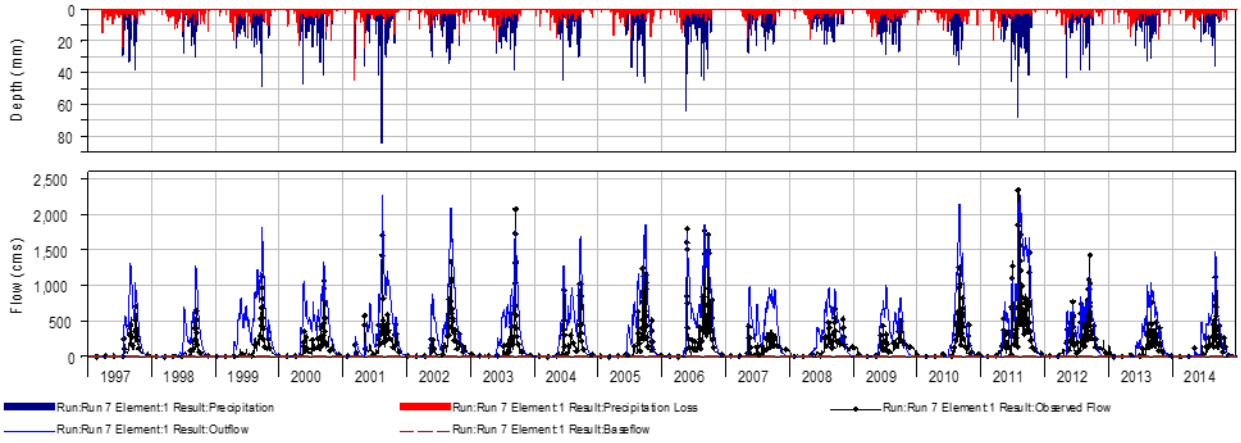
รูปที่ 3.3.2-30 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าและการกำหนดวิธีการทางอุตุ-อุทกวิทยา



รูปที่ 3.3.2-31 ตัวอย่างข้อมูลฝนและอัตราการไหลที่ระบุไว้ในส่วนของTime-Series Data

ผลจากการพัฒนาแบบจำลองโดยกำหนดสถานี Y.6 ในลุ่มน้ำยมเป็นสถานีสำหรับสอบเทียบและตรวจสอบซ้ำแบบจำลอง เพื่อนำพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบและตรวจสอบซ้ำไปใช้ประเมินปริมาณน้ำในแต่ละลุ่มน้ำ การสอบเทียบแบบจำลองใช้ข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่ปี 1997 จนถึง 2003 ส่วนการตรวจสอบ

ซ้ำแบบจำลองใช้ข้อมูลปี 2004 ถึง 2014 ผลการทดสอบดังรูปที่ 3.3.2-32 พบว่าค่า RMSE ของการจำลองตั้งแต่ปี 1997-2014 มีค่าอยู่ที่ 353 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที



รูปที่ 3.3.2-32 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบซ้ำแบบจำลองด้วยโปรแกรม HEC-HMS

3.3.2 (ก๔) โปรแกรม HEC-RAS

แบบจำลอง HEC-RAS เป็นแบบจำลองทางด้านชลศาสตร์ พัฒนาโดย Hydrologic Engineering Center: HEC, USA Army Corps of Engineers เพื่อใช้ในการคำนวณการไหลของน้ำในลำน้ำ โดยใช้วิธีการขั้นตอนมาตรฐาน (Standard Step Method) ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับพื้นผิวน้ำระหว่างรูปตัดที่ใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถคำนวณได้ทั้งการไหลแบบใต้วิกฤตและเหนือวิกฤต โดยแบบจำลอง HEC-RAS สามารถสร้างแบบจำลองการไหลได้ทั้งแบบ Steady Flow และ Unsteady Flow ทำให้สามารถนำไปใช้งานในการจำลองการไหลแบบ 1 มิติ การตรวจสอบสภาพการไหลแบบไฮโดรไดนามิกส์ (Hydrodynamics) หรือตรวจวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของน้ำท่วม (Flood Routing) รวมถึงสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับพื้นผิวน้ำ (Water surface elevation) ที่เป็นผลมาจากการก่อสร้างโครงสร้างทางด้านชลศาสตร์ เช่น ประตูน้ำ ฝาย หรือ สะพาน ได้

นอกจากนี้แบบจำลอง HEC-RAS ยังสามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรมทางด้านภูมิศาสตร์สารสนเทศ เช่น ArcGIS โดยมีโปรแกรมย่อยที่มีชื่อว่า HEC Geo-RAs สำหรับใช้ในการสร้างเส้นลำน้ำหรือระบุตำแหน่งที่ใช้ในการกำหนดลักษณะรูปตัดลำน้ำ (Cross section) ก่อนที่จะนำเข้าข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง HEC-RAS รวมถึงสามารถใช้ในการแสดงผลการจำลองที่ได้ เช่น ระดับความลึกน้ำหรือขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมได้ โดยมีหลักการตามทฤษฎีของการไหลของทางน้ำเปิดทั่วไปได้แก่ สมการสมดุลพลังงานระหว่างหน้าตัดการไหล สมการการไหลแบบสม่ำเสมอในทางน้ำเปิด สมการพลังงาน (Energy Equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum Equation) ซึ่งแสดงดังสมการที่ 1 ถึง 4 และรูปที่ ตามลำดับ

$$z_A + y_A + \frac{V_A^2}{2g} = z_B + y_B + \frac{V_B^2}{2g} + h_L \qquad (3.3.2\text{-}1)$$

เมื่อ z คือ ระดับท้องน้ำของทางน้ำเปิดเหนือระดับอ้างอิง (เมตร)

y คือ ความลึกของการไหล (เมตร)

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (เมตร/วินาที)

h_L คือ การสูญเสียพลังงานระหว่างหน้าตัด A และหน้าตัด B (เมตร)

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \qquad (3.3.2\text{-}2)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

S คือ ความลาดชันของเส้นระดับพลังงาน

L คือ ระยะทางระหว่างหน้าตัด A และหน้าตัด B (เมตร)

n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งของทางน้ำเปิด

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} \Delta t = -V_m \frac{\partial A}{\partial L} - A_m \frac{\partial V}{\partial L} \qquad (3.3.2\text{-}3)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดการไหล (ตารางเมตร)

V คือ ความเร็วการไหล (เมตร/วินาที)

L คือ ระยะทางการไหลจากจุดที่ 1 ไปยัง 2 (เมตร)

$$P_2 - P_1 + W_X - F_r = \rho AL[\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial t}] \qquad (3.3.2\text{-}4)$$

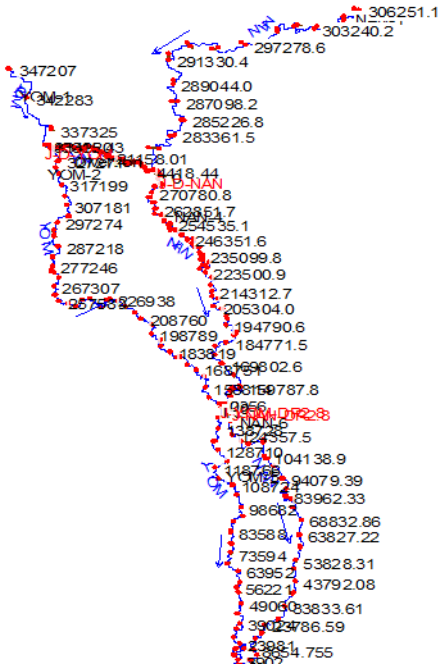
เมื่อ P คือ ค่า Hydrostatic pressure force ระหว่างหน้าที่ 1 และ 2

W_X คือ แรงเนื่องจากน้ำหนักน้ำในทิศทาง X

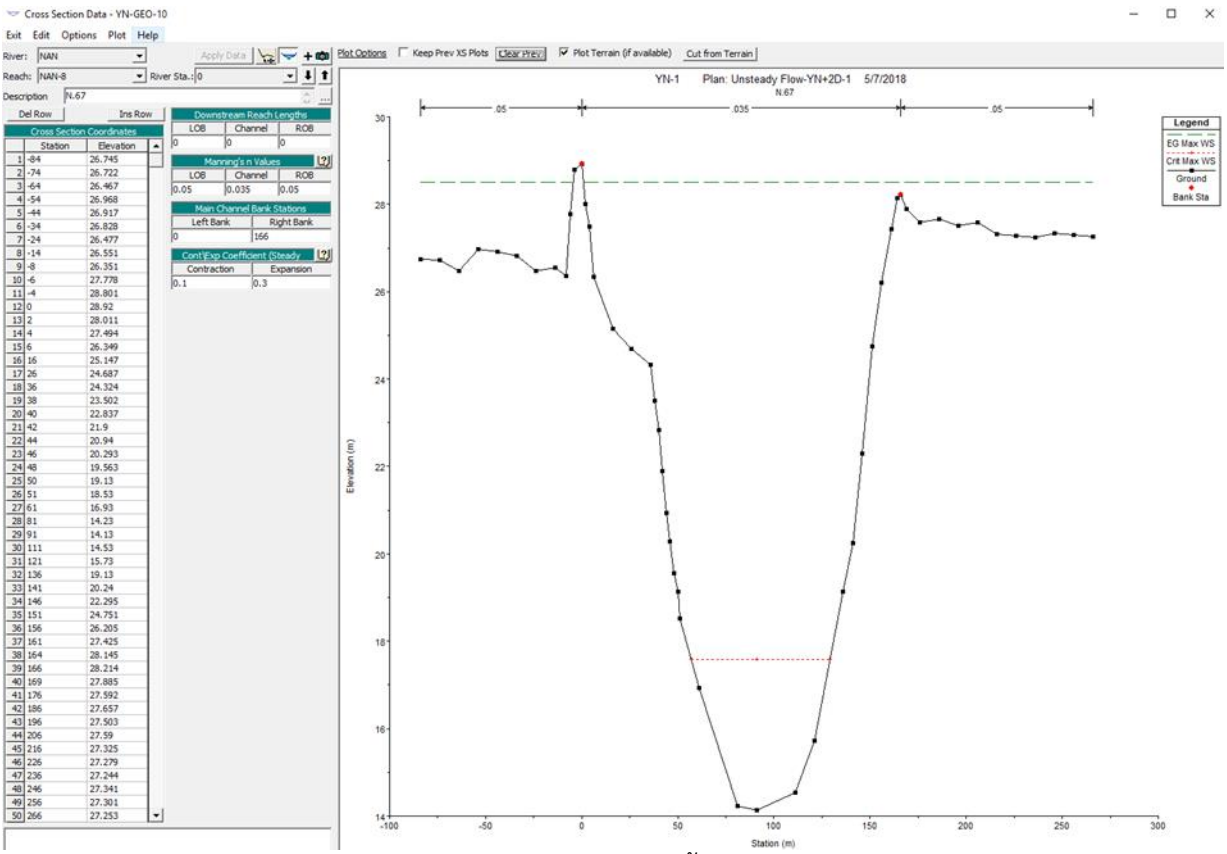
F_r คือ แรงเนื่องจากความเสียดทานการไหลจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2

3.3.2 (ก๔) ผลของโปรแกรม HEC-RAS

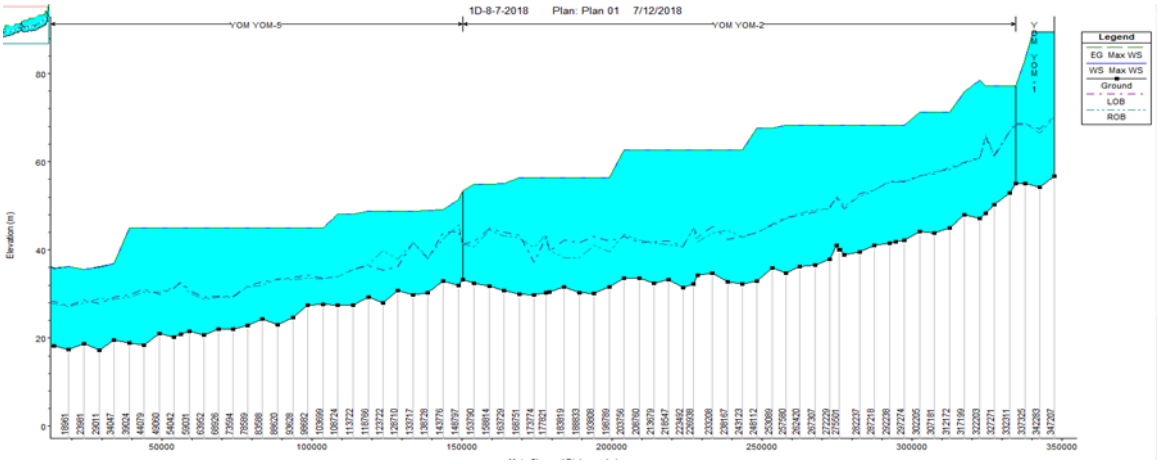
โครงข่ายลำน้ำของพื้นที่ศึกษาที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-RAS รวมทั้งหน้าตัดการไหลเป็นข้อมูลที่สำคัญในการคำนวนการไหลของน้ำตัวอย่างข้อมูลลักษณะหน้าตัดขวางของแม่น้ำ แสดงดังรูปที่ 3.3.2-33 ซึ่งผลจากการคำนวณโดยแบบจำลอง HEC-RAS ในเบื้องต้นแสดงผลการคำนวณหน้าข้างการไหลได้ดังรูปที่ 3.3.2-34 และ 3.3.2-35



รูปที่ 3.3.2-33 โครงข่ายลำน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-RAS



รูปที่ 3.3.2-34 ตัวอย่างข้อมูลหน้าตัดขวางลำน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-RAS



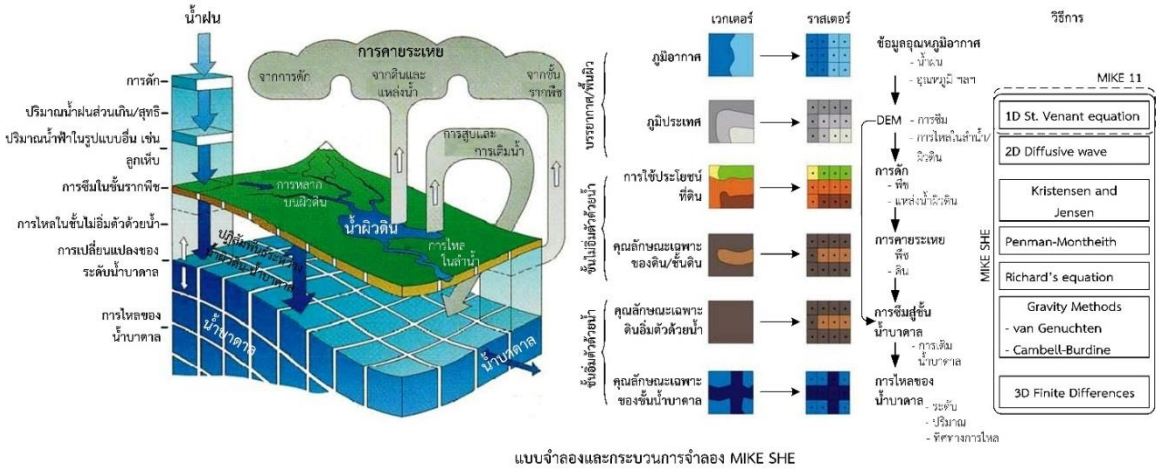
รูปที่ 3.3.2-35 ตัวอย่างผลการคำนวณซึ่งแสดงผลหน้าข้างการไหลจากแบบจำลอง HEC-RAS

3.3.3 แบบจำลองน้ำบาดาลและผลของแบบจำลองน้ำบาดาล

3.3.3 (ก๑) โปรแกรม MIKE SHE

โปรแกรมหรือแบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE SHE แบบจำลองนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Danish Hydraulic Institute (DHI) ประเทศเดนมาร์กเช่นเดียวกันกับ MIKE11 แต่เดิมแบบจำลองนี้ต้องทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการแบบ UNIX ต่อมาเนื่องจากระบบปฏิบัติการแบบ Windows ได้รับความนิยมมากและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นแบบจำลอง MIKE SHE จึงถูกพัฒนาให้ทำงานบนระบบ Windows ในปัจจุบัน DHI ถือได้ว่าเป็นหนึ่งในสถาบันที่มีชื่อเสียงและเป็นที่ยอมรับในด้านการวิจัยและพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับจำลองระบบทรัพยากรน้ำตั้งแต่น้ำในอากาศ (Atmospheric Water) บนผิวดิน (Surface water) และใต้ผิวดิน (Groundwater) และอื่นๆโดยแบบจำลองจะมีชื่อขึ้นต้นด้วยคำว่า“MIKE” ส่วนชื่อที่ต่อจากนั้นจะเป็นชื่อเฉพาะเจาะจงสำหรับแบบจำลองแต่ละประเภท

MIKE SHE (Système Hydrologique Européen) เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เริ่มพัฒนาขึ้นตั้งแต่ค.ศ. 1977 และได้รับการปรับปรุงมาอย่างต่อเนื่อง แบบจำลองมีขีดความสามารถจำลองกระบวนการต่างๆ ของลุ่มน้ำเกือบจะสมบูรณ์แบบ ได้แก่ กระบวนการอุทกวิทยาของน้ำผิวดิน (Hydrological Surface Processes หรือ Land Surface Processes) การไหลหลากบนผิวดิน (Overland Flow) การไหลในลำน้ำ (Channel Flow) การไหลใต้ผิวดินในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Flow) และการไหลในชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำหรือน้ำบาดาล (Groundwater Flow) ดังแสดงในรูปที่ 3.3.3-1 ไม่เพียงที่แบบจำลอง MIKE SHE จะจำลองระบบทรัพยากรน้ำในเชิงปริมาณ (Water Quantity หรือ Water Movement) เท่านั้น แต่แบบจำลองยังสามารถประยุกต์ใช้สำหรับการศึกษาในเชิงคุณภาพน้ำ (Water Quality) ได้ด้วย



แบบจำลองและกระบวนการจำลอง MIKE SHE

รูปที่ 3.3.3-1 แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE SHE

ดังแสดงในรูปที่ 3.3.3-1 แบบจำลอง MIKE SHE คือแบบจำลองที่บูรณาการกัน (Integrate) ระหว่างหลายแบบจำลองย่อย (Modules) รวมถึงสามารถพิจารณาผลกระทบจากการบริหารจัดการน้ำจากโครงสร้างทางชลศาสตร์ (Hydraulic Structures) เช่น ประตูระบายน้ำเขื่อนผันน้ำ เป็นต้น สำหรับการศึกษาในโครงการนี้แบบจำลอง MIKE SHE จะถูกนำมาประยุกต์ใช้เฉพาะการศึกษาเชิงปริมาณหรือ Water Movement เท่านั้น ซึ่งจะประกอบด้วย 5 แบบจำลองย่อย (Modules) โดยมีรายละเอียดต่างๆ ของแต่ละแบบจำลองย่อยดังนี้

1. แบบจำลองการคายระเหย (Evapotranspiration)

จากองค์ความรู้ด้านวัฏจักรของน้ำหรือวงจรของน้ำ (Water Cycle) การระเหย (Evaporation) และการคายน้ำ (Transpiration) ปริมาณทั้งสองตัวนี้มักจะถูกนำมารวมกันและเรียกว่า การคายระเหย (Evapotranspiration, ET) เมื่อกำหนดให้ขอบเขตปิดที่กำลังพิจารณาคือ ขอบเขตของลุ่มน้ำใดๆ หรืออาจเรียกว่า เป็นระบบปริมาณน้ำหลักที่เข้ามาสู่ระบบ (Input) คือน้ำฝนจะพบว่าปริมาณน้ำที่หายออกไปจากระบบ (Loss) กว่าร้อยละ 80 คือค่า ET ส่วนที่เหลือก็จะเป็นสัดส่วนของน้ำผิวดินน้ำในลำน้ำ ฯลฯ ดังนั้นการประเมินค่า ET จึงมีความสำคัญมาก

อย่างไรก็ตามความรู้ความเข้าใจที่จะประเมินปริมาณ ET ในปัจจุบันก็ยังไม่ถ่องแท้มากนัก โดยเฉพาะค่าการคายน้ำ โดยส่วนใหญ่คือ การคายน้ำของพืช ซึ่งมีปริมาณที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดของพืชพรรณ อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับเงื่อนไขทางด้านอุตุนิยมวิทยาอีกมาก ด้วยเหตุนี้การประเมินค่า ET จึงมีอยู่หลายแนวทาง แต่ทุกแนวทางก็มีการปรับปรุงให้มีความถูกต้องมากขึ้นเรื่อยๆ ตามขีดความสามารถด้านเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้น สำหรับตรวจวัดค่า ET สำหรับแบบจำลอง MIKE SHE การจำลองค่า ET จะตั้งอยู่บนพื้นฐานของ Kristensen and Jensen และTwo-Layer UZ/ET module โดยมีรายละเอียดดังนี้

วิธีของ Kristensen and Jensen

Kristensen and Jensen ได้ตั้งสมมติฐานสำหรับประเมินค่า การคายน้ำของพืชและการระเหยของน้ำจากความชื้นในดิน (เขตรากพืช) ให้มีค่าเท่ากับการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration) รวมกับ Leaf Area Index (LAI) ของพืชซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ก) น้ำที่ตกค้างอยู่ตามพืชปกคลุมดิน

ถ้ามีฝนตกลงมาในลุ่มน้ำ น้ำฝนส่วนหนึ่งจะเกาะติดอยู่ตามใบกิ่งลำต้น ฯลฯ ของพืชโดยกระบวนการนี้มักเรียกว่า การดัก หรือ Canopy Interception โดยปริมาณนี้จะขึ้นอยู่กับช่วงการเจริญเติบโตของพืชแต่ละประเภทและสามารถคำนวณได้จาก

$$I_{max} = C_{int} \times LAI \qquad (3.3.3\text{-}1)$$

เมื่อ Imax คือ ปริมาณน้ำที่ถูกดักหรือเก็บกักตามพืชปกคลุมดิน
Cint คือ สัมประสิทธิ์การดัก (มีค่าประมาณ 0.05มิลลิเมตร)
LAI คือ Leaf Area Index (มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 7)

อย่างไรก็ตามปริมาณการดักที่แท้จริง ยังขึ้นอยู่กับปริมาณฝนและระยะเวลาที่ฝนตก ดังนั้นสมการการดักของพืชปกคลุมดินจึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$I_{act} = \min(I_{max}, P \times \Delta t) \qquad (3.3.3\text{-}2)$$

เมื่อ I_{act} คือ ปริมาณน้ำที่ถูกดักที่แท้จริงโดยพืชปกคลุมดิน
P คือ ปริมาณฝน
Δt คือ ช่วงเวลาของการคำนวณ

ส่วนการระเหยของน้ำที่ถูกดักโดยพืชปกคลุมดินคำนวณได้จาก

$$E_{can} = \min(I_{act}, E_p \times \Delta t) \qquad (3.3.3\text{-}3)$$

เมื่อ Ecan คือ ปริมาณการระเหยของน้ำที่ถูกดัก (Canopy Evaporation)
EP คือ ปริมาณการระเหยของพืชอ้างอิง
Δt คือ ช่วงเวลาของการคำนวณ

ข) การคายระเหยของพืชที่แท้จริง

การคายระเหยที่แท้จริงของพืช (Actual Evapotranspiration, E_{act}) โดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ความหนาแน่นของพืช ปริมาณความชื้นในดินในเขตรากพืช และความหนาแน่นของรากพืช ซึ่งสามารถประมาณได้จาก

$$E_{act} = f_1(LAI) \cdot f_2(\theta) \cdot RDF \cdot E_p \qquad (3.3.3\text{-}4)$$

เมื่อ E_{act} คือ ปริมาณการคายระเหยที่แท้จริงของพืช

$f_1(LAI)$ คือ ฟังก์ชั่นที่ขึ้นอยู่กับ LAI

$f_2(\Theta)$ คือ ฟังก์ชั่นที่ขึ้นอยู่กับความชื้นในดิน

RDF คือ การกระจายตัวหรือความหนาแน่นของรากพืช

E_P คือ ปริมาณการระเหยของพืชอ้างอิง

ค) การระเหยจากชั้นดิน

การระเหยจากชั้นดิน (Soil Evaporation, E_s) ในที่นี้หมายถึง ความชื้นในดินที่ได้รับพลังงานและระเหยออกจากดินในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Zone) และประมาณค่าได้จาก

$$E_s = E_p \cdot f_3(\theta) + \left[E_p - E_{at} - E_p \cdot f_3(\theta)\right] \cdot f_4(\theta) \cdot \left[1 - f_1(LAI)\right] \qquad (3.3.3\text{-}5)$$

เมื่อ

$$f_3(\theta) = \begin{cases} c_2 \text{ for } \theta > \theta_w \\ c_2 \dfrac{\theta}{\theta_w} \text{ for } \theta_r \le \theta \le \theta_w \\ 0 \text{ for } \theta \le \theta_r \end{cases}$$

$$f_4(\theta) = \begin{cases} \dfrac{\theta - \dfrac{\theta_w + \theta_{FC}}{2}}{\theta_{FC} - \dfrac{\theta_w + \theta_{FC}}{2}} \text{ for } \theta \ge \dfrac{\theta_w + \theta_{FC}}{2} \\ 0 \text{ for } \theta < \dfrac{\theta_w + \theta_{FC}}{2} \end{cases}$$

Θ คือ ความชื้นในดิน

θ_w คือ ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร

θ_{FC} คือ ความชื้นที่จุดพืชสามารถใช้น้ำได้

วิธี Two-Layer UZ/ET หรือ Two-Layer Water Balance

วิธีนี้เป็นกระบวนการที่ใช้หลักการสมดุลน้ำ ในเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ในทางทฤษฎีถือว่าเป็นวิธีที่มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีของ Kristensen and Jensen นั้นหมายถึง การประมาณค่า ET ควรถูกต้องยิ่งขึ้นนอกเหนือจากปริมาณ ET การคำนวณยังได้ค่าปริมาณน้ำที่จะไหลลงไปเติมน้ำใต้ดิน (Recharge) ด้วยการคำนวณโดยวิธีนี้ประกอบไปด้วยหลักการต่างๆ ดังนี้

ก) น้ำที่ตกค้างอยู่ตามพืชปกคลุมดิน

ปริมาณการดักน้ำฝนส่วนหนึ่งจะเกาะติดอยู่ตามใบกิ่งลำต้น ฯลฯ ของพืช โดยกระบวนการนี้มักเรียกว่า การดัก หรือ Canopy Interception โดยปริมาณนี้จะขึ้นอยู่กับช่วงการเจริญเติบโตของพืชแต่ละประเภท ประมาณการของค่านี้จะใช้ตามแนวทางในวิธีของ Kristensen and Jensen

ข) ชั้นดิน

โดยปกติชั้นดินจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชั้นคือ ชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Zone) กับชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำหรือชั้นน้ำบาดาล (Saturated Zone) ซึ่งเส้นแบ่งระหว่างชั้นทั้งสอง คือระดับน้ำใต้ดิน (Groundwater Table) สำหรับทฤษฎีในที่นี้จะแบ่งชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำออกอีกเป็น 2 ชั้น คือชั้นบน (Upper Zone หรือ Layer) กับชั้นล่าง (Lower Layer) โดยชั้นบนคือ ความลึกตั้งแต่ผิวดินจนถึงระดับที่รากพืชสามารถดูดน้ำ เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของพืชเอง (Extinction Depth) ส่วนชั้นล่างคือ ระดับตั้งแต่ระดับรากพืช ไปจนถึงระดับน้ำบาดาลหรือจะกล่าวได้ว่า ระดับชั้นล่างจะมีได้ก็ต่อเมื่อระดับน้ำบาดาลอยู่ต่ำกว่าระดับรากพืช ในทำนองกลับกันหากระดับน้ำบาดาลอยู่สูง (อยู่ในเขตรากพืช) ชั้นล่างหรือ Lower Layer ก็จะไม่มี

ค) การซึม

การซึม หรือ Infiltration จะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณฝนที่ตกมากกว่าปริมาณการดัก โดยพืชปกคลุมด้น (Imax) โดยน้ำส่วนหนึ่งจะขังอยู่บนผิวดิน (doc) จากนั้นจะเริ่มซึมลงไปในชั้นดินโดยปริมาณการซึมได้นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ อัตราการซึมและความจุเก็บกักของชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยสมการต่อไปนี้

$$Inf_k = K_{inf} \cdot \Delta t \qquad (3.3.3\text{-}6)$$

เมื่อ Inf_k คือ ปริมาณการซึมที่เป็นไปได้

K_{inf} คือ อัตราการซึม (Infiltration Capacity)

Δt คือ ช่วงเวลาของการคำนวณ

$$Inf_v = (\theta_{sat} - \theta_{t-1}) \cdot Z_{wt} \quad (3.2.3\text{-}7)$$

เมื่อ Inf_v คือ ความจุเก็บกักของชั้นดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

θ_{sat} คือ ปริมาณความชื้นในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

θ_{t-1} คือ ปริมาณความชื้นในดินที่เวลา t-1

Z_{wt} คือ ความลึกของระดับน้ำใต้ดิน

ส่วนปริมาณการซึมที่แท้จริง (Inf_{act}) คำนวณจาก

$$Inf_{act} = \min(d_{oc}, Inf_k, Inf_v) \quad (3.3.3\text{-}8)$$

ง) การคายระเหยที่เกิดขึ้นจริง

การคายระเหยที่เกิดขึ้นจริง (Actual Evapotranspiration, E_a) จะขึ้นอยู่กับศักยภาพของการคายระเหย (Potential Evapotranspiration, E_p) โดย E_p จะประมาณค่าโดยสมการของ Penmann-Monteith อย่างไรก็ตาม ค่าการคายระเหยจริงยังขึ้นอยู่กับหลายเงื่อนไขตามขั้นตอนดังนี้

1) หาปริมาณการระเหยจากการดักโดยพืชปกคลุมดิน ในที่นี้ให้มีค่าเท่ากับ Ep ซึ่งก็คือกระบวนการระเหยจากพุ่มใบ (Canopy Evaporation) หรือ ET from the Canopy (Ecan)

2) ถ้าพื้นที่ที่กำลังพิจารณาได้รับพลังงานมากและน้ำจากการดัก โดยพืชปกคลุมดินไม่เพียงพอต่อการระเหย จะเกิดการระเหยจากน้ำส่วนที่ขังอยู่ตามผิวดิน กระบวนการนี้จะเรียกว่า ET from Ponded Water (Epon)

3) ถ้าน้ำทั้งจากส่วนที่ 1 และ 2 ไม่เพียงพอต่อการคายระเหย แบบจำลองจะดึงน้ำจากชั้นดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำมาเพิ่มจนกว่าจะพอกับการคายระเหย (แต่การดึงความชื้นนี้จะทำได้สูงสุด ที่จุดความชื้นในดินชั้นบนลดลงถึงจุดต่ำสุดเท่านั้น) กระบวนการนี้เรียกว่า ET from Unsaturated Zone (Euz)

4) หากปริมาณข้างต้นทั้งหมดยังไม่เพียงพอต่อการคายระเหยอีก แบบจำลองก็จะดึงความชื้นจากชั้นอิ่มตัวด้วยน้ำมาเพิ่มเป็นค่าการคายระเหย ซึ่งก็คือกระบวนการ ET from Saturated Zone (Esz)

ฉะนั้นการคายระเหยรวมทั้งหมดก็คือปริมาณการคายระเหยจากขั้นที่ 1 ถึง 4 รวมกันดังสมการ

$$E_a = E_{can} + E_{pon} + E_{uz} + E_{sz} \quad (3.3.3\text{-}9)$$

ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลหรือซึมลึกสู่ชั้นน้ำใต้ดิน (Recharge, Q_R) คำนวณได้จากสมการ

$$Q_R = \max\left[\left(\theta_{act} - \theta_{max}(z_d)\right) \cdot z_d, 0\right] \quad (3.3.3\text{-}10)$$

2. แบบจำลองการไหลของน้ำท่าผิวดิน (Overland Flow)

การไหลของน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff Flow หรือ Overland Flow) ก็คือ การไหลของน้ำฝนสุทธิ นั้นคือ ปริมาณน้ำฝนที่หักการสูญเสียจากการคายระเหยคืนสู่บรรยากาศและการซึมลงดินออกแล้ว แบบจำลองย่อยที่ใช้สำหรับคำนวณปริมาณและทิศทางการไหลบนผิวดินใน MIKE SHE จะใช้หลักการ Diffusive Wave Approximation ของสมการ Saint-Venant ซึ่งประกอบด้วย 2 สมการหลักได้แก่

สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation):

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(uh)+\frac{\partial}{\partial y}(vh)=i \qquad (3.3.3\text{-}11)$$

เมื่อ x, y คือ พิกัดหรือตำแหน่งของจุด (Node) ที่พิจารณาในแนวแกน x และ y ตามลำดับ
u, v คือ ความเร็วของการไหลในแนวแกน x และ y ตามลำดับ
h คือ ความลึกของการไหล
i คือ ปริมาณน้ำฝนสุทธิ

สมการความโมเมนตัม(Momentum Equation) ในแนวแกน x และ y:

$$S_{fx}=S_{ox}-\frac{\partial h}{\partial x}-\frac{u}{g}\frac{\partial u}{\partial x}-\frac{1}{g}\frac{\partial u}{\partial t}-\frac{qu}{gh} \qquad (3.3.3\text{-}12)$$

$$S_{fy}=S_{oy}-\frac{\partial h}{\partial y}-\frac{v}{g}\frac{\partial v}{\partial y}-\frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t}-\frac{qv}{gh} \qquad (3.3.3\text{-}13)$$

เมื่อ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
q คือ อัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง
S_{ox}, S_{oy} คือ ความลาดชันของภูมิประเทศในแนวแกน x และ y ตามลำดับ
S_{fx}, S_{fy} คือ ความลาดชันของเส้นลาดพลังงานในแนวแกน x และ y ตามลำดับ

3. แบบจำลองการไหลในพื้นที่น้ำท่วมและในลำน้ำ (Inundation and Channel Flows)

แบบจำลองย่อยสำหรับการไหลในลำน้ำจะเป็นแบบ 1 มิติ (One-dimensional Flow หรือ 1-D Flow) ระดับน้ำ ความเร็วการไหล อัตราการไหล ฯลฯ ในลำน้ำจะถูกคำนวณโดยแบบจำลอง MIKE11 ซึ่งเป็นแบบจำลองการไหลในแม่น้ำแบบ 1-D Hydrodynamic แต่ลักษณะพิเศษของ MIKE SHE ตรงส่วนนี้คือ แบบจำลองจะมีการพิจารณาการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำในแม่น้ำกับน้ำใต้ดินผ่านท้องน้ำ ซึ่งเป็นปฏิสัมพันธ์กันระหว่าง MIKE11 กับ MIKE SHE ดังแสดงในรูปที่ 3.3.3-2

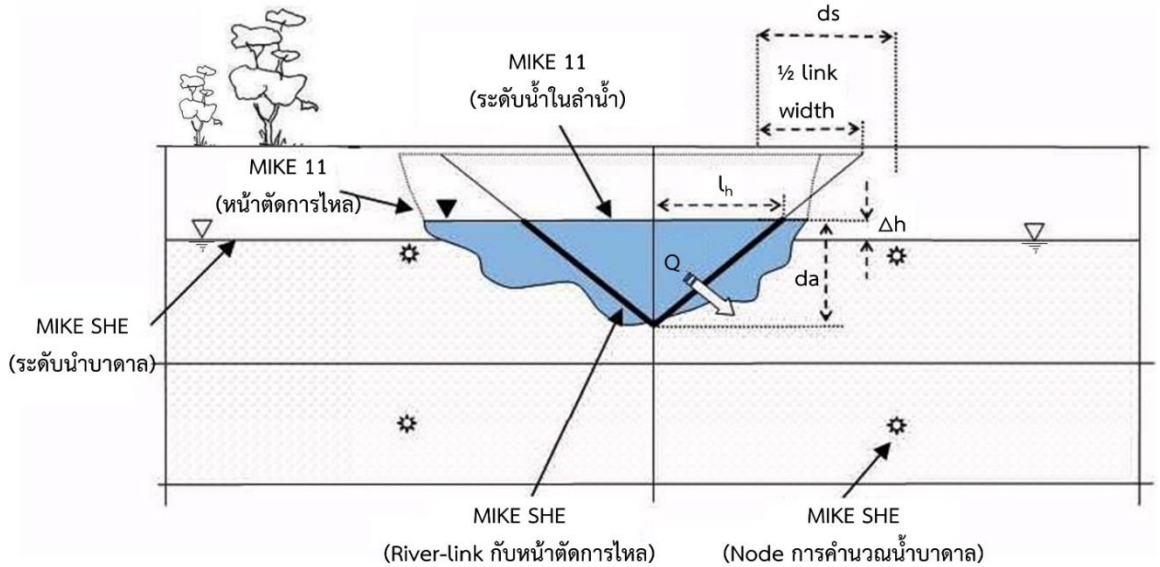
การแลกเปลี่ยนน้ำในลำน้ำกับชั้นน้ำใต้ดิน

แบบจำลอง MIKE SHE จะประมาณค่าการแลกเปลี่ยนน้ำในลำน้ำกับน้ำในชั้นน้ำใต้ดิน (River-Aquifer Exchange) ผ่านกริดเซลล์ โดยอัตราการไหล (Q_i) คำนวณได้จาก

$$Q_i = \Delta h_i \cdot C_{i,sz-river} \qquad (3.3.3\text{-}14)$$

เมื่อ Δh_i คือ ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำในลำน้ำกับระดับน้ำในกริดเซลล์ข้างลำน้ำ

$C_{i,sz-river}$ คือ ความนำทางชลศาสตร์ระหว่างท้องน้ำกับชั้นน้ำใต้ดิน (Hydraulic Conductivity)



รูปที่ 3.3.3-2 ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง MIKE SHE กับ MIKE11 ผ่านหน้าตัดการไหล

ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำในลำน้ำกับระดับน้ำในกริดเซลล์ข้างลำน้ำ (Head Difference) อาจเกิดขึ้นได้ 2 กรณี ได้แก่ 1) ระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงกว่าระดับน้ำในแม่น้ำและ 2) กรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำในแม่น้ำ ดังนั้น Δh_i จึงประมาณการได้จาก 2 สมการด้านล่างตามลำดับ

$$\Delta h_i = h_i - h_{riv} \qquad (3.3.3\text{-}15)$$

$$\Delta h_i = z_{bot} - h_{riv} \quad (3.3.3\text{-}16)$$

เมื่อ h_i คือ ระดับน้ำใต้ดินในกริดเซลล์ข้างลำน้ำ

h_{riv} คือ ระดับน้ำในแม่น้ำ

z_{bot} คือ ระดับต่ำสุดของท้องน้ำ (หน้าตัดการไหล)

ส่วนค่าความนำทางชลศาสตร์ระหว่างท้องน้ำกับชั้นน้ำใต้ดินจะถูกจำแนกออกเป็น 3 กรณีได้แก่

กรณีที่ 1 มีแรงต้านทานการไหลเฉพาะชั้นน้ำใต้ดิน สมมติให้ไม่มีการรั่วซึมจากท้องน้ำมีเพียงการแลกเปลี่ยนน้ำในลำน้ำกับกริดเซลล์ ค่า $C_{i,sz-river}$ จะประมาณการได้โดย

$$C_{i,sz-river} = \frac{C_i \cdot da_i \cdot dx}{ds} \quad (3.3.3\text{-}17)$$

เมื่อ C_i คือ ค่าความนำทางชลศาสตร์ในชั้นน้ำใต้ดิน

da_i คือ ความลึกของน้ำที่สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนได้

dx คือ ขนาดกริดเซลล์ของชั้นน้ำใต้ดิน

ds คือ ระยะทางของการไหลเฉลี่ย

กรณีที่ 2 มีการรั่วซึมผ่านท้องลำน้ำ ดังนั้นค่าความนำทางชลศาสตร์จะขึ้นอยู่กับชั้นน้ำใต้ดินและลักษณะเฉพาะของท้องน้ำดังแสดงในสมการ

$$C_{i,sz-river} = \frac{1}{\frac{ds}{C_i \cdot da_i \cdot dx} + \frac{1}{L_{ci} \cdot w_i \cdot dx}} \quad (3.3.3\text{-}18)$$

เมื่อ L_{ci} คือ สัมประสิทธิ์ของการรั่วซึมผ่านท้องน้ำ (1/T)

w_i คือ เส้นขอบเปียก

กรณีที่ 3 มีการรั่วซึมผ่านท้องลำน้ำ ดังนั้นค่าความนำทางชลศาสตร์จะขึ้นอยู่กับชั้นน้ำใต้ดินและลักษณะเฉพาะของท้องน้ำเช่นเดียวกันกับกรณีที่ 2 แต่วัสดุท้องน้ำมีค่าความนำทางชลศาสตร์ต่ำมากและชั้นน้ำใต้ดินเป็นวัสดุหยาบ ในกรณีนี้ค่า $C_{i,sz-river}$ จะประมาณการได้จาก

$$C_{i,sz-river} = L_{ci} \cdot w_i \cdot dx \qquad (3.3.3\text{-}19)$$

การไหลในพื้นที่น้ำท่วมขัง (2D Depth Average)

บางเหตุการณ์ระดับน้ำในแม่น้ำอาจเพิ่มขึ้นสูงมากจนล้นตลิ่ง แล้วแพร่ขยายออกท่วมขังในพื้นที่ลุ่มต่ำ เกิดเป็นพื้นที่น้ำท่วมขัง (Flood Inundation Area) พื้นที่ลักษณะนี้จะรวมถึงพื้นที่ชุ่มน้ำ ทะเลสาบ ห้วย หนองบึง ฯลฯ ความลึกของน้ำท่วมจะพิจารณาจากค่า H-point (ระดับน้ำจากแบบจำลอง) กับระดับภูมิประเทศ สำหรับแบบจำลอง MIKE SHE จะสมมติว่าการไหลเป็น 2 มิติเท่านั้น คือในทิศทาง x และ y ส่วนการไหลในแนวดิ่งหรือทิศทาง z (ตั้งฉากกับพื้นผิว) ถึงแม้ว่าในความเป็นจริงจะมีอยู่ แต่จะถือว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการไหลในแนวราบ (x และ y) นั้นคือเป็นการคำนวณแบบ Depth Average ดังนั้นสมการควบคุม (Governing Equations) ของการไหลจึงประกอบด้วยสมการความต่อเนื่องแบบ 2 มิติ และสมการโมเมนตัมในแนวแกน x และ y ตามลำดับดังนี้

สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation):

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \qquad (3.3.3\text{-}20)$$

สมการความโมเมนตัม(Momentum Equation) ในแนวแกน x และ y:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{pq}{h}\right) + gh\left(\frac{\partial \zeta}{\partial x}\right) + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 h} - \frac{1}{\rho_w}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(h\tau_{xx}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h\tau_{xy}\right)\right] - \Omega q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w}\frac{\partial}{\partial x}\left(p_a\right) = 0$$

(3.3.3-21)

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q^2}{h}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{pq}{h}\right) + gh\left(\frac{\partial \zeta}{\partial y}\right) + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 h} - \frac{1}{\rho_w}\left[\frac{\partial}{\partial y}\left(h\tau_{yy}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(h\tau_{xy}\right)\right] - \Omega p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w}\frac{\partial}{\partial y}\left(p_a\right) = 0 \qquad (3.3.3\text{-}22)$$

เมื่อ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

p, q	คือ อัตราการไหลต่อหนึ่งหน่วยความกว้างในทิศทาง x และ y ตามลำดับ
h	คือ ความลึกของการไหล $(\zeta - d)$
ζ	คือ ระดับผิวน้ำ
d	คือ ระดับภูมิประเทศ
C	คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Chezy
fV	คือ แรงเสียดทานจากกระแสลม
V_x, V_y	คือ ความเร็วลมในทิศทาง x และ y ตามลำดับ
$\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{xy}$	คือ แรงเสียดทานพื้นผิว
Ω	คือ พารามิเตอร์จากการหมุนของโลก (Coriolis Effect)
p_a	คือ ความดันบรรยากาศ
ρ_w	คือ ความหนาแน่นของน้ำ

การไหลในลำน้ำ (MIKE11)

ในกรณีที่การไหลจำกัดอยู่เฉพาะในแม่น้ำ รูปแบบการไหลจะถูกสมมติให้เป็นการไหลในหนึ่งมิติเท่านั้น (1D Flow หรือ 1 Dimensional Flow) โดยการไหลอาจเป็นแบบคงที่ (Steady Flow) หรือเป็นการไหลที่ไม่คงที่ นั้นคือแปรเปลี่ยนกับเวลา (Unsteady Flow) ก็ได้ แต่โดยส่วนใหญ่ในธรรมชาติแล้ว การไหลมักเป็นแบบ Unsteady Flow อย่างไรก็ตาม ไม่ว่ารูปแบบการไหลจะเป็นแบบใด MIKE11 มีขีดความสามารถจำลองการไหลได้ทุกรูปแบบ ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองคือ อัตราการไหล ความเร็วการไหล ความลึกการไหล ฯลฯ ณ หน้าตัดใดๆ ภายในช่วงขอบเขตเงื่อนไขของแบบจำลอง (ช่วงลำน้ำที่พิจารณา)

สมการควบคุมการไหลจะมีรูปแบบคล้ายๆ กับการไหลใน 2 มิติที่ได้กล่าวในหัวข้อก่อนหน้านี้ แต่เนื่องจากสมมติฐานของการไหลเป็นแบบ 1 มิติ เท่านั้น ดังนั้นสมการควบคุมจะลดรูปลงมาก ดังนี้

สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \qquad (3.3.3\text{-}23)$$

สมการความโมเมนตัม (Momentum Equation):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial\left(\alpha \frac{Q^2}{A}\right)}{\partial x} + gA\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \qquad (3.3.3\text{-}24)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหล

q คือ การไหลเข้าด้านข้างหรือการไหลเสริม

A คือ หน้าตัดการไหล

h คือ ความลึกการไหล

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

C คือ สัมประสิทธิ์ของ Chezy

R คือ รัศมีชลศาสตร์

α คือ สัมประสิทธิ์ปรับแก้โมเมนตัม

สำหรับการศึกษาการไหลในทางน้ำเปิด (Open Channel Flow) ไม่ว่าจะเป็นการไหลใน 1 มิติ หรือหลายมิติ ค่าสัมประสิทธิ์ของ Chezy (C) หรือความหยาบผิวของ Chezy สามารถที่จะเปลี่ยนเป็นค่า Manning's n ได้ โดยที่ n คือค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบผิวของ Manning ทั้งนี้ค่า C และ n มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} = MR^{1/6} \qquad (3.3.3\text{-}25)$$

4. แบบจำลองการไหลในเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Flow)

การไหลในเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ถือได้ว่าเป็นหนึ่งในแบบจำลองย่อยของ MIKE SHE ซึ่งเป็นกระบวนการคำนวณการไหลของน้ำในแนวดิ่งแบบหนึ่งมิติ และเป็นการคำนวณควบคู่กับการไหลของน้ำใต้ดิน ส่วนวิธีการคำนวณจะมีอยู่ 3 แนวทาง ได้แก่ Richards Equation, Gravity Flow และ Two-Layer Water Balance แรงที่ทำให้น้ำเกิดการเคลื่อนที่หรือไหลในแนวดิ่งในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำคือ Hydraulic Head (h) ซึ่งได้รับอิทธิพลจากแรงโน้มถ่วงและแรงดัน ดังแสดงความสัมพันธ์ดังนี้

$$h = z + \psi \qquad (3.3.3\text{-}26)$$

เมื่อ z คือ Gravity Head

ψ คือ Pressure Head หรือ Capillary Head

จากกฎของดาร์ซี่ (Darcy's Law)

$$q = -K(\theta) \cdot \nabla h \qquad (3.3.3\text{-}27)$$

เมื่อ q คือ อัตราการไหล

$K(\theta)$ คือ ความนำทางชลศาสตร์

∇h คือ ลาดชลศาสตร์

โดยการไหลในเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำซึ่งเป็นการไหลในแนวดิ่ง ดังนั้น ∇h จึงคำนวณได้จาก

$$\nabla h = \frac{\partial h}{\partial z} \tag{3.3.3-28}$$

และสมการความต่อเนื่องของการไหลในเขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำนี้ จะตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า อนุภาคดินหรือเม็ดดินมีสภาพบีบอัดได้ แต่ปริมาณของน้ำยังคงที่ ซึ่งจะได้สมการ

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{-\partial q}{\partial z} - S(z) \tag{3.3.3-29}$$

เมื่อ θ คือ ความชื้นในดิน

$S(z)$ คือ Root Extraction Sink

จากสมการที่ (3.3.3-26) ถึง (3.3.3-29) จะได้

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K(\theta)\frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} - S(z) \tag{3.3.3-30}$$

จากสมการที่ (3.3.3-30) ความสัมพันธ์ของ θ และ ψ คือ Soil Moisture Retention Curve (C) ซึ่งมีความชันของกราฟดังสมการ

$$C = \frac{\partial \theta}{\partial \psi} \tag{3.3.3-31}$$

และเมื่อแทนค่ากลับในสมการที่ (3.3.3-30) จะได้

$$C\frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K\frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} - S \tag{3.3.3-32}$$

สมการที่ (3.3.3-32) นี้เองที่เรียกว่า สมการของ Richards ซึ่งเป็นการให้เกียรติแด่ผู้พัฒนาสมการโดย L.A. Richards ในปี ค.ศ. 1931

ถ้าสมมติฐานรูปแบบการไหลในแนวดิ่งเป็นแบบภายใต้แรงโน้มถ่วง (Gravity Flow) นั้นคือ $\psi = 0$ และ $h = z \rightarrow \partial h / \partial z = 1$ จะได้

$$q = K(\theta) \qquad (3.3.3\text{-}33)$$

5. แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow)

การไหลของน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาลในที่นี้หมายถึง การไหลในเขตอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Zone) โดยลักษณะเฉพาะทางกายภาพ การไหลจะเป็นแบบ 3 มิติ MIKE SHE Saturated Zone Module (SZ) ที่พัฒนาขึ้นสำหรับจำลองการไหลในส่วนนี้ ประกอบด้วยสมการพื้นฐานที่ควบคุมพฤติกรรมของการไหลโดยทั่วไป เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) และเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Conditions) อีกทั้งยังสามารถพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการพัฒนาน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ด้วย

แบบจำลอง SZ จะประมาณค่าคำตอบของชุดสมการควบคุมโดยวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference) ของกริดเซลล์แบบ A Modular Three-Dimension Finite Difference Flow Model (รูปที่ 3.3.3-3) หรือที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายว่า MODFLOW เทคนิคนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย M.G. McDonald และ A.W. Herbaugh ในปี ค.ศ. 1988 โดยมีสมการควบคุมดังนี้

$$B_{h_{i-1,j,k}} + C_{h_{i,j+1,k}} + D_{h_{i+1,j,k}} + E_{h_{i,j-1,k}} + F_{h_{i,j,k+1}} + G_{h_{i,j,k-1}} + H_{h_{i,j,k}} = RSH_{i,jk} \qquad (3.3.3\text{-}34)$$

เมื่อ $h_{i,j,k}$ คือ แรงดันน้ำ (Head) ที่จุดคำนวณ i, j และ k

H คือ ฟังก์ชั่นของค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกัก

RSH คือ ฟังก์ชั่นของค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกักและการเติมน้ำ

B,C,D,E,F,G คือ ฟังก์ชั่นของค่าความนำทางชลศาสตร์ระหว่างจุดคำนวณ

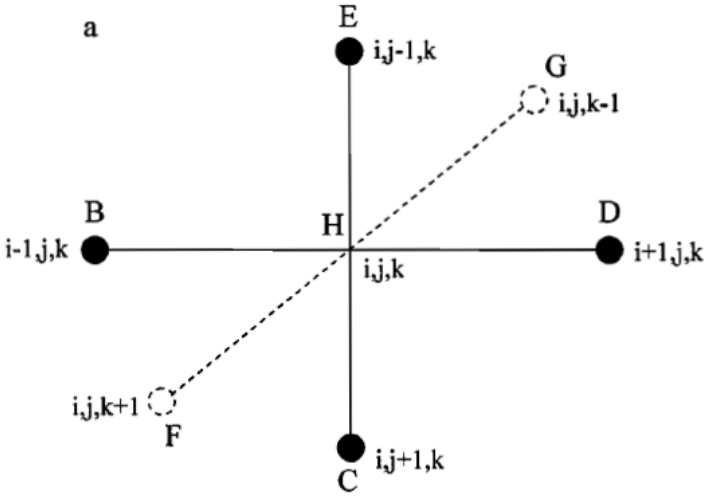
สมการที่ (3.3.3-34) สามารถเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$[A]\{h\} = \{f\} \qquad (3.3.3\text{-}35)$$

เมื่อ $[A]$ คือ Coefficient Matrix

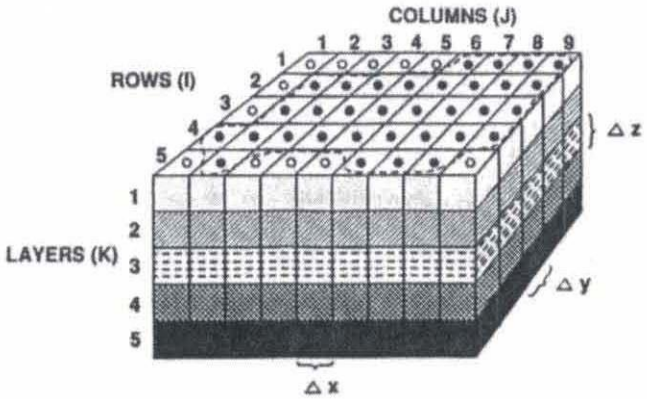
$\{h\}$ คือ Array of unknown heads

$\{f\}$ คือ Array of terms on the right-hand side (RHS)



รูปที่ 3.3.3-3 จุดคำนวณ (Node) ในแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินแบบ 3 มิติ

จุดหรือ Node คำนวณในรูปที่ 3.3.3-3 นั้นคือ ตัวแทนของรูปลูกบาศก์ที่มีขนาดเท่ากับ $\Delta x \Delta y \Delta z$ โดยค่า $\Delta x \Delta y \Delta z$ นี้จะมีขนาดเท่ากันหรือไม่ก็ได้ (รูปที่ 3.3.3-4) ทั้งนี้ขนาดของ $\Delta x \Delta y$ คือ ขนาดของกริดเซลล์ ซึ่งอาจกำหนดให้มีขนาดหยาบหรือละเอียดก็ได้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ เช่น ถ้าบริเวณกริดเซลล์นั้นเป็นส่วนหรืออยู่ในส่วนของแม่น้ำ ก็ควรกำหนดกริดเซลล์ให้มีขนาดเล็กพอที่จะจำลองส่วนของแม่น้ำได้ (น้อยกว่าหรือเท่ากับความกว้างของแม่น้ำ) ในกรณีที่ส่วนพื้นที่ที่พิจารณา แล้วเห็นว่าลักษณะของชั้นน้ำใต้ดินเป็นแบบหรือใกล้เคียงเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) นั้นคือคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นน้ำใต้ดินเหมือนกัน ก็ไม่จำเป็นต้องกำหนดขนาดกริดเซลล์ให้ละเอียด เพราะการกำหนดขนาดกริดเซลล์ที่ละเอียดมากนั้นหมายถึง จุดการคำนวณจะมากตามทำให้การหาคำตอบของชุดสมการควบคุมจะใช้หน่วยความจำและเวลาการคำนวณที่มากโดยไม่จำเป็น ส่วน Δz คือความลึกของกริดเซลล์ เช่นเดียวกันกับแนวราบการกำหนดขนาดของ Δz มักขึ้นอยู่กับความซับซ้อนและความหนาของชั้นน้ำใต้ดินเป็นหลัก



รูปที่ 3.3.3-4 ขอบเขตรูปแบบจำลองโดยวิธีผลต่างสืบเนื่องของน้ำใต้ดินแบบ 3 มิติ

3.3.3 (ข๑) ผลของโปรแกรม MIKE SHE

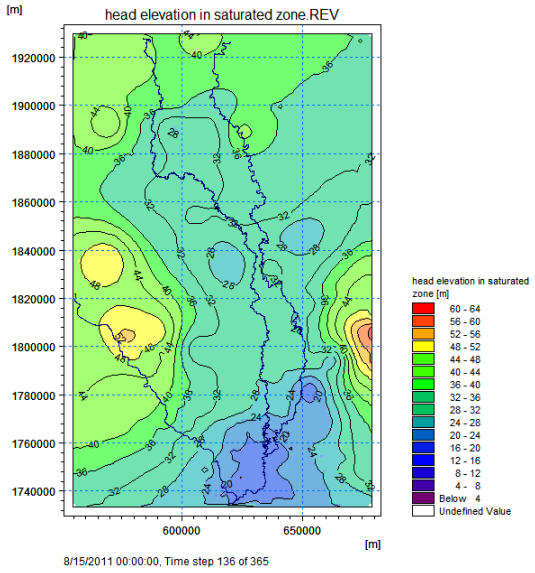
1) กรอบการศึกษาของแบบจำลอง (Model Framework) กรอบหรือพื้นที่จำลองของแบบจำลอง MIKE SHE ในกรณีนี้ยังคงเป็นเช่นเดียวกันกับกรอบของแบบจำลอง MIKE11 ที่ได้กล่าวแล้วก่อนหน้านี้ เพียงแต่ตรงส่วนนี้จะเป็นการจำลองการไหลของน้ำบาดาล ในแอ่งน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.3.3-5 การกำหนดขอบเขตแอ่งน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษานั้น กำหนดขึ้นมาจากขอบเขตภูมิประเทศร่วมกับลักษณะเฉพาะด้านอุทกธรณีวิทยา ประกอบกับขนาดพื้นที่น้ำท่วมสูงสุดของปี พ.ศ.2554 จากเงื่อนไขในข้างต้นจึงทำให้ได้ขอบเขตของแอ่งน้ำบาดาลในแบบจำลอง MIKE SHE (เส้นประสีแดง) รวมเป็นพื้นที่เท่ากับ 18,396 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 6 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดสุโขทัย อุตรดิตถ์ กำแพงเพชร พิษณุโลก พิจิตร และจังหวัดนครสวรรค์

2) ผลลัพธ์ของแบบจำลอง แบบจำลอง MIKE SHE เป็นแบบจำลองประเภทแบบจำลองกระจาย ทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา (Distributed Model) แบบ 3 มิติ ผลลัพธ์ของการจำลองมีอยู่หลายรูปแบบ แต่ที่นิยมนำมาแสดงผลมีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภทได้แก่ ระดับน้ำบาดาล (Groundwater Level) และทิศทางการไหล (Flow Direction)

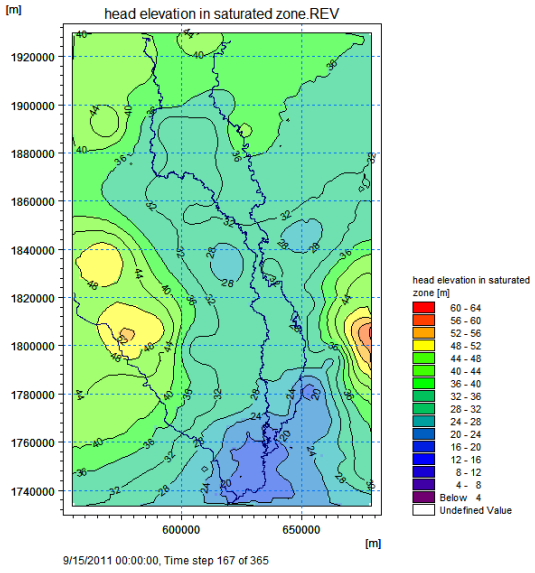
เนื่องจากแบบจำลองต้องการข้อมูลนำเข้าและมีพารามิเตอร์ของแบบจำลองเป็นจำนวนมาก ซึ่งบางข้อมูลก็ไม่มีการตรวจวัดอย่างชัดเจนหรือมีแต่ไม่สมบูรณ์ เช่น ค่าการนำทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาลในแต่ละชั้น ดั้งนั้นจึงจำเป็นที่ต้องสมมติหรืออ้างอิงจากผลการศึกษาอื่นๆ อย่างไรก็ตามแบบจำลองจะต้องถูกสอบเทียบเพื่อประเมินความเหมาะสมของพารามิเตอร์ ให้สามารถจำลองพฤติกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาได้อย่างเหมาะสม

ในเบื้องต้นของการศึกษาแบบจำลอง MIKE SHE ได้จำลองระดับน้ำบาดาลทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 ดังแสดงในรูปที่ 3.3.3-5 และ 3.3.3-6 รูปที่ 3.3.3-5 แสดงการเปลี่ยนแปลงหรือเปรียบเทียบเส้นระดับของน้ำบาดาล (Groundwater Level Contour) ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 ซึ่งถือได้ว่าเป็นปีน้ำมากและเป็นช่วงที่ฝนตกชุกจนหมดฝน จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่า ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาจะอยู่ที่ระดับ 20 ถึง 52 เมตร ระดับน้ำทะเลปานกลาง เพื่อเปรียบเทียบระดับน้ำบาดาลกับระดับภูมิประเทศ (ผิวดิน) ของช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 จึงได้สร้างภาพตัดขวางที่ 1 และภาพตัดขวางที่ 2 โดยภาพตัดขวางที่ 1 ได้ตัดผ่านจังหวัดกำแพงเพชรและจังหวัดพิจิตร ส่วนภาพตัดขวางที่ 2 อยู่บริเวณตอนล่างของพื้นที่ศึกษาโดยตัดผ่านจังหวัดนครสวรรค์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3.3-6 ซึ่งจากรูปภาพตัดดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นสภาพภูมิประเทศที่เป็นแอ่งได้อย่างชัดเจน โดยขอบด้านซ้ายและขวาของพื้นที่ศึกษาเป็นภูเขาสูง โดยบริเวณตอนกลางของแอ่งของภาพตัดที่ 1 พบว่าระดับน้ำบาดาลอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินอยู่ประมาณ 10 เมตร ในขณะที่ภาพตัดขวางที่ 2 ระดับน้ำบาดาลบริเวณตอนกลางของแอ่ง (แม่น้ำปิงและน่าน) ระดับน้ำบาดาลจะอยู่ตื้นมาก ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงดังกล่าวเป็นช่วงที่เกิดน้ำท่วมและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ก็จะอยู่ในทิศเดียวกันกับทิศทางการไหลของน้ำผิวดิน คือจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้ทำให้เกิดการสะสมของปริมาณน้ำบาดาล ในบริเวณนี้ยังผลให้ระดับน้ำบาดาลเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมทางกายภาพในพื้นที่

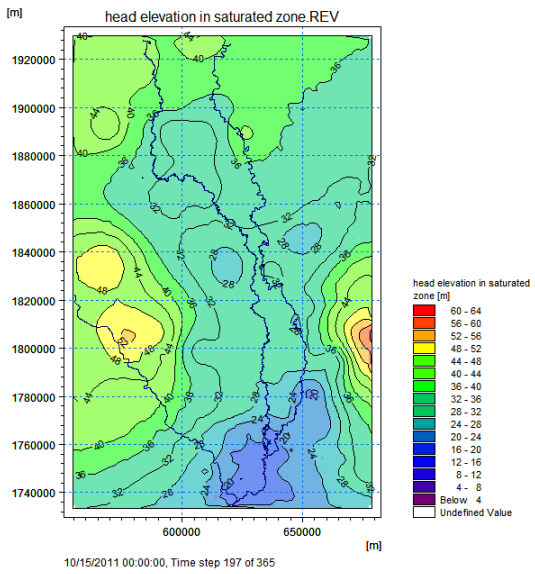
อย่างไรก็ตามการจำลองระดับน้ำบาดาลนั้น ถือได้ว่ามีความซับซ้อนมากเพราะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นน้ำบาดาล ที่เป็นแบบไม่สม่ำเสมอ (Nonhomogeneous) ปริมาณการเติมน้ำบาดาล (Groundwater Recharge) การสูบน้ำบาดาลในพื้นที่ (Groundwater Pumping) และอื่นๆ โดยปัจจัยหลักที่ได้กล่าวมาในข้างต้นนั้นโครงการฯ จะได้ดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ถึงอิทธิพลที่อาจมีต่อระดับน้ำบาดาลต่อไป



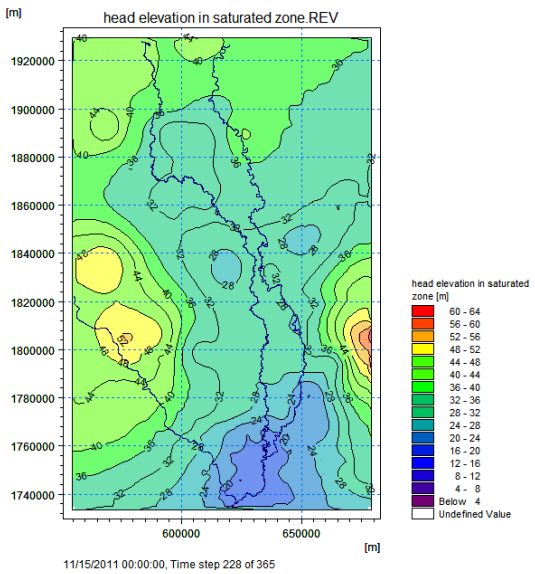
เดือนสิงหาคม



เดือนกันยายน

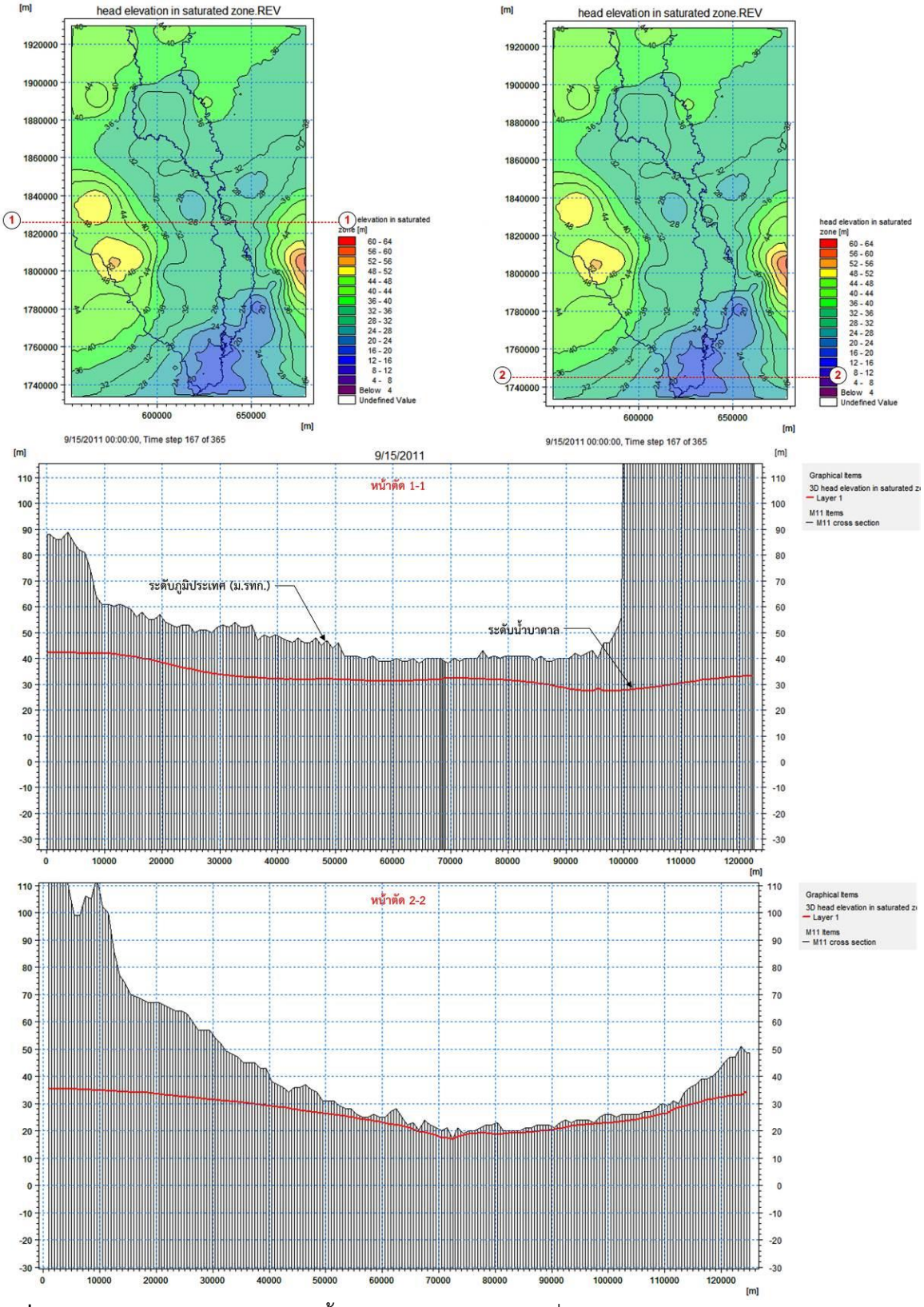


เดือนตุลาคม



เดือนพฤศจิกายน

รูปที่ 3.3.3-5 ผลการจำลองการระดับน้ำบาดาลในช่วงเดือนสิงหาคม-พฤศจิกายน พ.ศ. 2554



รูปที่ 3.3.3-6 ผลการจำลองการระดับน้ำบาดาลของหน้าตัดขวางที่ 1 และ 2 ในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2554

3.3.3 (ก๒) โปรแกรม MODFLOW

โปรแกรม Visual MODFLOW version 2011.1 Pro (Schlumberger Water Service, 2011) เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล โดยการจำลองใช้ข้อมูลที่ได้จากการประมวลข้อมูลสิ่งแวดล้อมทางอุทกธรณีวิทยาร่วมกับลักษณะทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำ ให้อยู่ในรูปของแผนที่อุทกธรณีวิทยาและภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา เป็นการจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ วิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาล แบบ 3 มิติ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อศักยภาพน้ำบาดาลและต่อการเปลี่ยนของน้ำบาดาล-น้ำผิวดินที่สภาวะต่างๆ โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล MODFLOW ปี ค.ศ. 2005 การจำลองมีขั้นตอนดังนี้ (รูปที่ 3.3.3-7)

1) การสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual Model) เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาต้องอาศัยข้อมูลภาคสนามเพื่อทำความเข้าใจสภาพพื้นที่ จากการรวบรวมข้อมูลทางธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา คุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยา สภาพการไหลของน้ำบาดาล ขอบเขตแหล่งน้ำบาดาลแล้วทำการแปลงปัญหาในสนามซึ่งมีความซับซ้อนให้อยู่ในรูปแบบที่จะสามารถทำการวิเคราะห์ได้ด้วยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

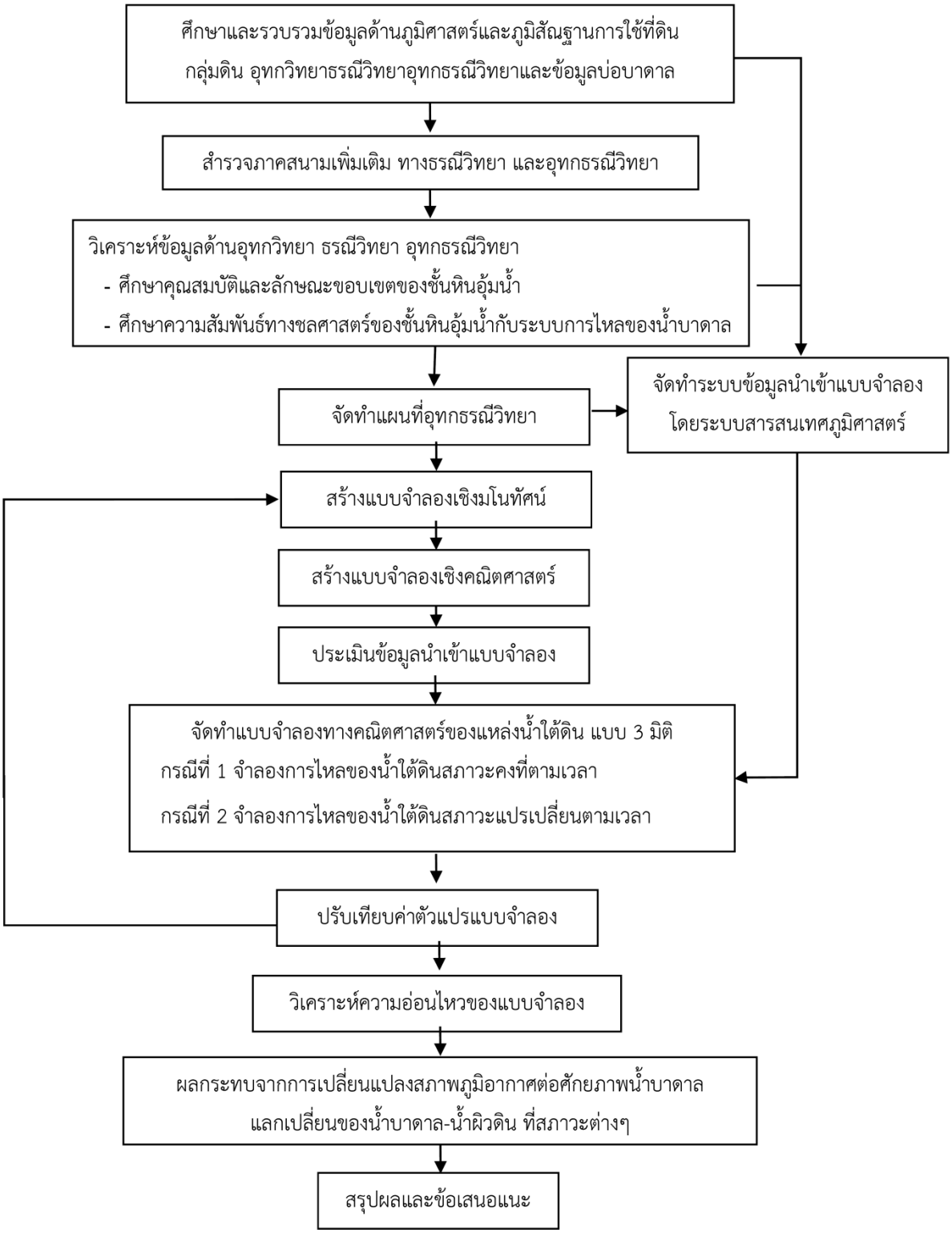
2) การสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ (Model Design) เป็นการจำลองจากสภาพกายภาพต่างๆ จะดำเนินการโดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นหน่วยเล็กๆ ออกแบบขนาดของพื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยม หรือกริดเซลล์ เลือกขั้นตอนของเวลา (Time Step) กำหนดขอบเขตของพื้นที่และค่าตัวแปรเบื้องต้น ในการเริ่มจำลอง เช่น คุณสมบัติชั้นหินอุ้มน้ำระดับน้ำบาดาล

3) การปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) มีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบแบบจำลอง และทำให้แบบจำลองมีความสามารถที่จะสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ ซึ่งผลการคำนวณจากแบบจำลอง เช่น ระดับน้ำหรือแรงดันของน้ำควรมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่วัดจริงในสนาม ณ สถานที่และเวลานั้นๆ เมื่อผลการคำนวณไม่ตรงกับข้อมูลที่วัดได้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการปรับค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าแน่นอน และเมื่อทำการปรับค่าตัวแปรแล้ว ควรมีการตรวจสอบแบบจำลองเพิ่มเติม เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองนั้นสามารถเป็นตัวแทนของระบบอุทกธรณีวิทยาได้อย่างถูกต้อง โดยการใช้แบบจำลองที่ปรับแก้ค่าตัวแปรแล้วทำการจำลองผลการตอบสนองของลักษณะอุทกธรณีวิทยาที่ทราบแน่นอนแล้ว ย้อนกลับไปดูผลของการจำลอง โดยทดสอบกับกลุ่มของข้อมูลในสนามอีกกลุ่มหนึ่ง หรือจำลองในสเกลที่ใหญ่ขึ้น แล้วตรวจสอบดูว่าผลจากข้อมูลสนามนั้น สอดคล้องกับผลที่ได้จากแบบจำลอง ถ้าความผิดพลาดระหว่างข้อมูลทั้งสองนั้นยอมรับได้ โดยไม่จำเป็นต้องทำการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ แสดงว่าแบบจำลองนั้นผ่านการตรวจสอบแล้ว และสามารถนำไปใช้ในการคาดคะเนผลได้

4) การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) เป็นการทดสอบผลของแบบจำลองและระดับการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรที่นำเข้าแบบจำลอง

5) การคาดคะเน (Prediction) เป็นการคาดคะเนผลของการคำนวณต่างๆ เช่น ระดับแรงดันของน้ำบาดาลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต โดยในขั้นตอนนี้จะทำการจำลองการไหลของน้ำบาดาลในสภาวะต่างๆ ที่อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต

6) การนำเสนอผลการคำนวณ (Presentation of Results) การเสนอผลการจำลองเป็นงานขั้นสุดท้าย ซึ่งเป็นการสื่อสารต่อผู้นำผลไปใช้เพื่อให้เข้าใจถึงวิธีการและข้อจำกัดต่างๆ รวมทั้งผลที่จำลองมีความถูกต้องและผิดพลาดอย่างไร ซึ่งจะแสดงผลทั้งการนำมาซึ่งข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลการออกแบบการปรับแก้ค่า การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร ผลการคำนวณในเชิงตัวเลข รูปภาพ คำอธิบายและข้อเสนอแนะ ซึ่งจะมุ่งเน้นที่ความชัดเจนและตรงประเด็นตามที่ได้กำหนดวัตถุประสงค์ไว้



รูปที่ 3.3.3-7 ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลอง MODFLOW

การจำลองทางคณิตศาสตร์วิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาล เพื่อปรับเทียบค่าตัวแปรต่างๆ ของชั้นหินอุ้มน้ำ ประกอบด้วยการจำลองในสภาวะคงตัว (steady state) และสภาวะไม่คงตัว (transient state) รายละเอียดดังนี้

1. การจำลองการไหลของน้ำบาดาลในสภาวะคงตัว

การจำลองกำหนดให้ระดับน้ำไม่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลหรือสภาวะคงตัว ใช้ข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 มีวัตถุประสงค์เพื่อ

(1) ตรวจสอบรูปแบบการไหลเปรียบเทียบกับแบบจำลองน้ำบาดาลเชิงมโนทัศน์

(2) ตรวจสอบความถูกต้องของการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง (boundary conditions)

(3) ปรับเทียบตัวแปรทางชลศาสตร์คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านอัตราการเพิ่มเติมน้ำเข้าสู่แหล่งน้ำบาดาล

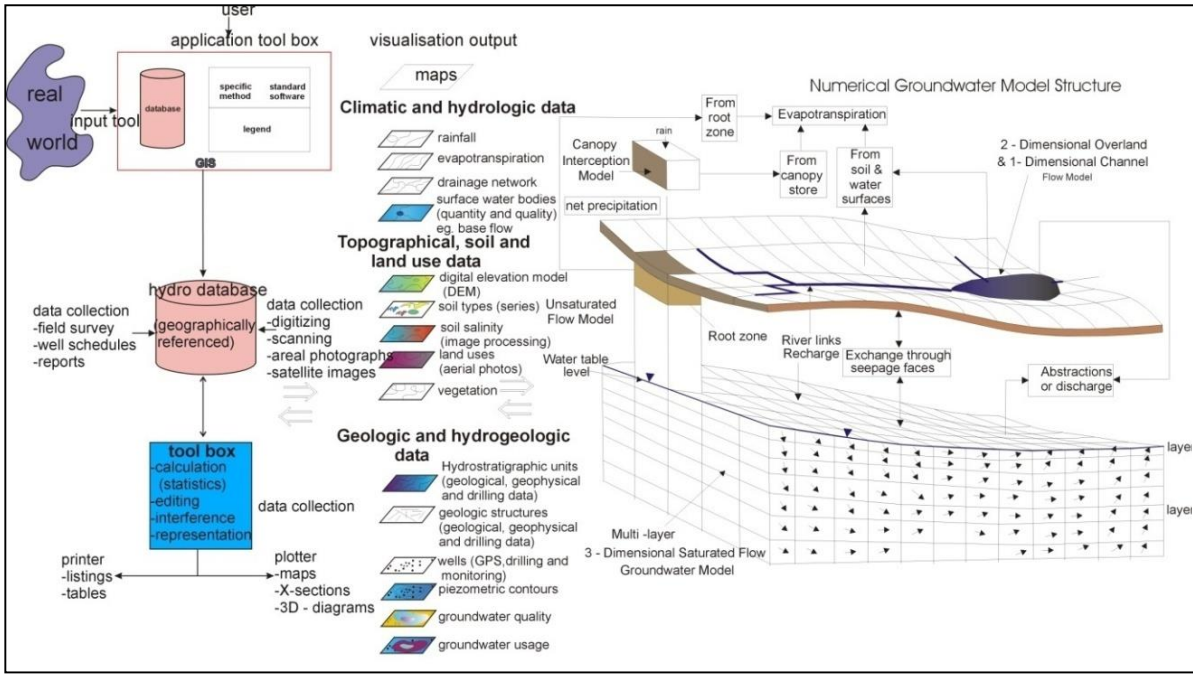
2. การจำลองการไหลของน้ำบาดาลในสภาวะไม่คงตัว

มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับเทียบแบบจำลองน้ำบาดาลของพื้นที่ตามระยะเวลาต่างๆ กับระดับน้ำที่ติดตามวัดจากภาคสนาม รวมทั้งตรวจสอบชุดข้อมูลที่ใช้ในการคาดคะเนการไหลของน้ำบาดาลในอนาคต ช่วงที่ทำการปรับเทียบพารามิเตอร์ของการจำลองใน 4 ปี ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 การจำลองคล้ายกับสภาวะคงตัวแต่มีการเพิ่มเติม ดังนี้

(1) พารามิเตอร์ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา ช่วงเวลาการจำลองแบ่งเป็นรายเดือน

(2) มีการปรับพารามิเตอร์เพิ่มเติม ได้แก่ อัตราการเพิ่มเติมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ เพื่อให้ระดับแรงดันของน้ำบาดาลมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่ตรวจวัดจากบ่อสังเกตการณ์ในภาคสนาม

ข้อมูลสำคัญที่ต้องทำการประเมินเพื่อนำเข้าแบบจำลองการไหลคือ ภูมิอากาศ ภูมิประเทศ การกระจายตัวของชั้นหินอุ้มน้ำ ระดับน้ำผิวดิน ระดับน้ำบาดาล และกำหนดเขตพื้นที่หรือโซนการเพิ่มเติมน้ำ (recharge zone) โดยกำหนดเป็นโซนต่างกัน โดยใช้ข้อมูลการใช้ที่ดิน ดิน และภูมิประเทศ ในการแบ่งโซน แล้วจำลองกระบวนการเพิ่มเติมน้ำบาดาลโดย แบบจำลอง HELP และใช้ผลการประเมินอัตราการเพิ่มเติมน้ำบาดาล ได้แก่ Recharge Rate ของแต่ละ Recharge Zone เป็นข้อมูลนำเข้าในการจำลองการไหลของน้ำบาดาล (รูปที่ 3.3.3-8)



รูปที่ 3.3.3-8 ฐานข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยาและระบบการจำลองการไหลของน้ำบาดาล ดัดแปลงจาก เกรียงศักดิ์ ศรีสุข (2543)

3.3.3 (ข๒) ผลของโปรแกรม MODFLOW

แบบจำลองเชิงมโนทัศน์

แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ คือสิ่งที่สร้างขึ้นจากการประเมินข้อมูลอุทกธรณีวิทยา เป็นตัวแทนของระบบอุทกธรณีวิทยาในสภาพจริง องค์ประกอบที่สำคัญของแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ คือลักษณะโครงร่างทางอุทกธรณีวิทยา (Hydrogeologic Framework) ได้จากการสำรวจธรณีวิทยา อุทกวิทยา สภาพภูมิประเทศ และการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ โดยทั่วไปข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จะอยู่ในรูปของ Block Diagram ภาพตัดขวาง ที่แสดงลักษณะรูปร่าง ความหนา และคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นหินอุ้มน้ำหลัก การกระจายตัวของระดับน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำ และการกระจายตัวของอัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาล แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ใช้กำหนดขนาดและขอบเขตของแบบจำลองเชิงตัวเลขและใช้ในการออกแบบกริด การสร้างแบบจำลองให้สมบูรณ์เหมือนสภาพจริงนั้นไม่สามารถทำได้ ดังนั้นการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ จะช่วยทำให้ระบบมีความง่ายขึ้นและจัดระบบของข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ให้อยู่ในรูปที่พร้อมจะวิเคราะห์ได้ (ทัศนีย์ เนตรทัศน์, 2545)

สำหรับระบบอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา มีลักษณะเป็นแอ่งน้ำบาดาลแบบปิดด้านทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ส่วนด้านทิศใต้ เป็นแบบเปิดที่มีน้ำบาดาลไหลออกจากพื้นที่ศึกษา ระดับความลึกไม่เกิน 60 เมตร จากผิวดิน ภูเขาที่อยู่ขอบพื้นที่ด้านทิศเหนือ รวมทั้งภูเขาและสันเนินด้านทิศตะวันออกและด้านทิศตะวันตกเป็นพื้นที่เพิ่มเติมน้ำบาดาล (Recharge Zone) และเป็นขอบเขตของแอ่ง (Groundwater Basin Boundary) ที่ราบลุ่มแม่น้ำยมและน่านตอนกลางของพื้นที่ เป็นพื้นที่สูญเสียน้ำบาดาล (Discharge Area)

ลักษณะการไหลของน้ำบาดาลมีทิศทางการไหลหลักเริ่มต้นจากพื้นที่เพิ่มเติมน้ำ ที่อยู่บริเวณขอบแอ่ง ซึ่งเป็นหน่วยหินอุ้มน้ำในหินแข็ง และตะกอนที่สะสมตัวบนพื้นที่สูงใกล้เคียงทางทิศเหนือ บริเวณจังหวัดอุตรดิตถ์ จังหวัดสุโขทัย และจังหวัดกำแพงเพชรตอนบน ทางตะวันออกของพื้นที่บริเวณจังหวัดพิษณุโลก และจังหวัดพิจิตร และทางตะวันตกของพื้นที่บริเวณจังหวัดกำแพงเพชรตอนล่าง น้ำบาดาลจากพื้นที่รับน้ำจะไหลเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำแบบหินร่วนที่เป็นตะกอนทรายและกรวดไปยังตอนกลางของพื้นที่ศึกษา แต่ละชั้นหินอุ้มน้ำแบบหินร่วนแทรกด้วยชั้นดินเหนียว ทำให้เป็นชั้นหินอุ้มน้ำแบบกึ่งมีแรงดันและแบบมีแรงดัน ในบริเวณถัดจากขอบแอ่งและในชั้นหินอุ้มน้ำระดับลึก และไหลออกจากพื้นที่ศึกษาบริเวณที่ลุ่มด้านทิศใต้ บริเวณจังหวัดนครสวรรค์ การจำลองได้ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับระบบอุทกธรณีวิทยาที่มีผลต่อการจำลองเชิงตัวเลข ดังนี้

1) ชั้นหินอุ้มน้ำเป็นตัวกลางแบบมีรูพรุน (Equivalent Porous Media)

2) ชั้นหินอุ้มน้ำทั้ง 3 ชั้น มีความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneity) และมีคุณสมบัติทางชลศาสตร์ทั้ง 3 ทิศทางแตกต่างกัน (Anisotropy) โดยชนิดชั้นหินอุ้มน้ำชั้นที่ 1 เป็นชั้นหินอุ้มน้ำหินร่วนแบบกึ่งมีแรงดัน (Semi-confined Aquifer) และชั้นที่ 2 และ 3 เป็นชั้นหินอุ้มน้ำแบบมีแรงดัน (Confined Aquifer) ซึ่งเป็นชั้นน้ำบาดาลที่เป็นตะกอนทรายและกรวด และแทรกสลับด้วยดินเหนียว

การออกแบบแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ 3 มิติ

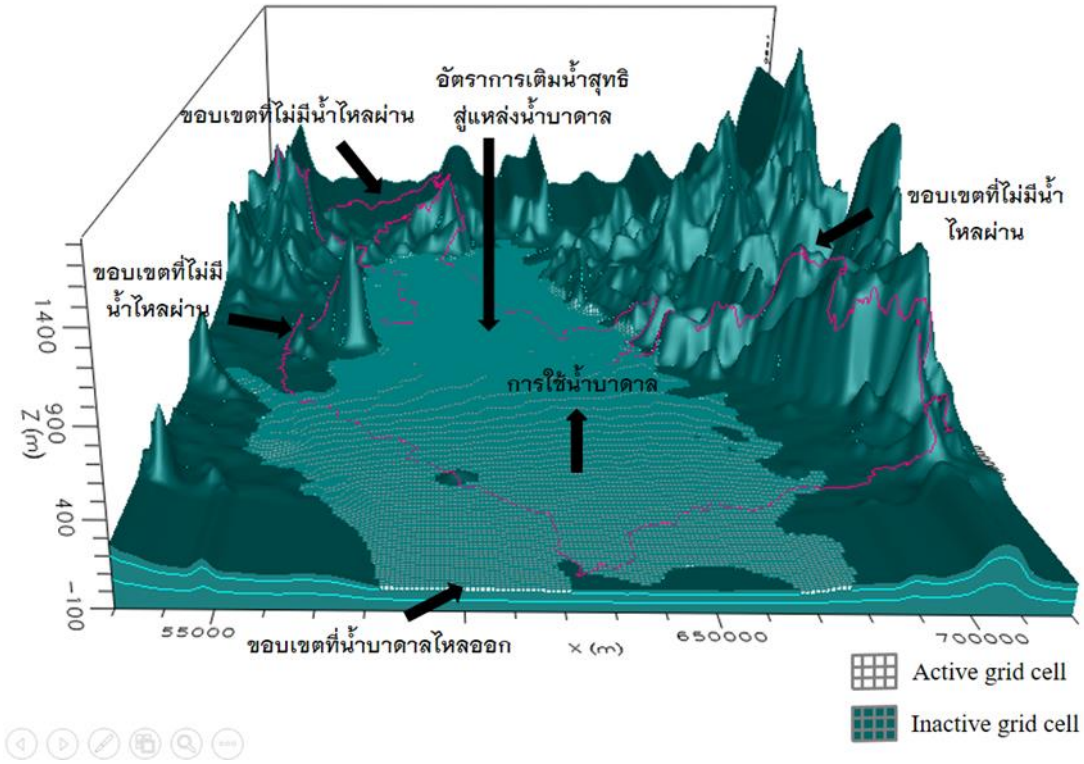
การออกแบบกริด

แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์แบบ 3 มิติ เป็นการจำลองการไหลของน้ำบาดาลทั้งในแนวระนาบและแนวดิ่ง (แกน x, y และ z) โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ (discretization) ระหว่างพิกัด UTM 530,000 เมตร ตะวันออก ถึง 730,000 เมตร ตะวันออก และ 1,730,000 เมตรเหนือ ถึง 2,030,000 เมตรเหนือ มีการออกแบบการจำลองดังนี้ กำหนดให้แกน x อยู่ในแนวตะวันตก-ตะวันออก แบ่งออกเป็น 200 สดมภ์ มีความกว้างแต่ละสดมภ์ 1,000 เมตร และแกน y อยู่ในแนวเหนือ-ใต้ แบ่งออกเป็น 300 แถว มีความกว้างแต่ละแถว 1,000 เมตร แกน z คือความหนาของแบบจำลอง ประมาณ 250 เมตรจากระดับ -100 ถึง 150 เมตร จำนวนชั้นแปรเปลี่ยนตามรูปร่างของชั้นน้ำ มีจำนวน 3 ชั้นแสดงดังรูปที่ 3.3.3-9

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

สภาพขอบเขตของแบบจำลองกำหนดโดยอาศัยลักษณะทางกายภาพ (physical boundaries) พิจารณาจากแม่น้ำและขอบเขตทางอุทกวิทยา (Hydrological Boundaries) ได้แก่ แนวสันปันน้ำ (Groundwater Divides) และเส้นแสดงทิศทางการไหลของน้ำบาดาล และทำการจำลองน้ำบาดาลเฉพาะในบริเวณที่มีชั้นน้ำเป็นตะกอนหินร่วน ส่วนในบริเวณที่เป็นภูเขาหรือบริเวณที่เป็นชั้นหินอุ้มน้ำหินแข็ง ที่มีการสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านได้น้อยกว่ามากกำหนดให้เป็นขอบเขตที่ไม่มีการไหลของน้ำบาดาล แต่ละด้านของแบบจำลองกำหนดให้มีสภาพขอบเขต ดังนี้

ทิศเหนือ	เป็นแนวสันปันน้ำ กำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน (No Flow Boundary)
ทิศตะวันออก	เป็นแนวสันปันน้ำ กำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน (No Flow Boundary)
ทิศตะวันตก	เป็นแนวสันปันน้ำ กำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน (No Flow Boundary)
ทิศใต้	ส่วนทางด้านตะวันออกเป็นแนวสันปันน้ำ กำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน (No Flow Boundary) ส่วนทางด้านตะวันออกของแบบจำลองชั้นที่ 1 กำหนดเป็นขอบเขตแบบกำหนดอัตราการไหลออกของน้ำบาดาลโดยประยุกต์ใช้ Well Package และแบบจำลองชั้นที่ 2 และ 3 กำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน
ด้านบน	เป็นขอบเขตที่มีการเพิ่มเติมน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามฤดูกาลจากตัวแปรต่างๆ เช่น การเพิ่มเติมน้ำบาดาล การคายระเหย การสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ และการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแม่น้ำและแหล่งน้ำต่างๆ
ด้านล่าง	สิ้นสุดที่ชั้นดินเหนียวที่รองรับชั้นหินอุ้มน้ำชั้นที่ 3 กำหนดเป็นขอบเขตที่น้ำไม่ไหลผ่าน



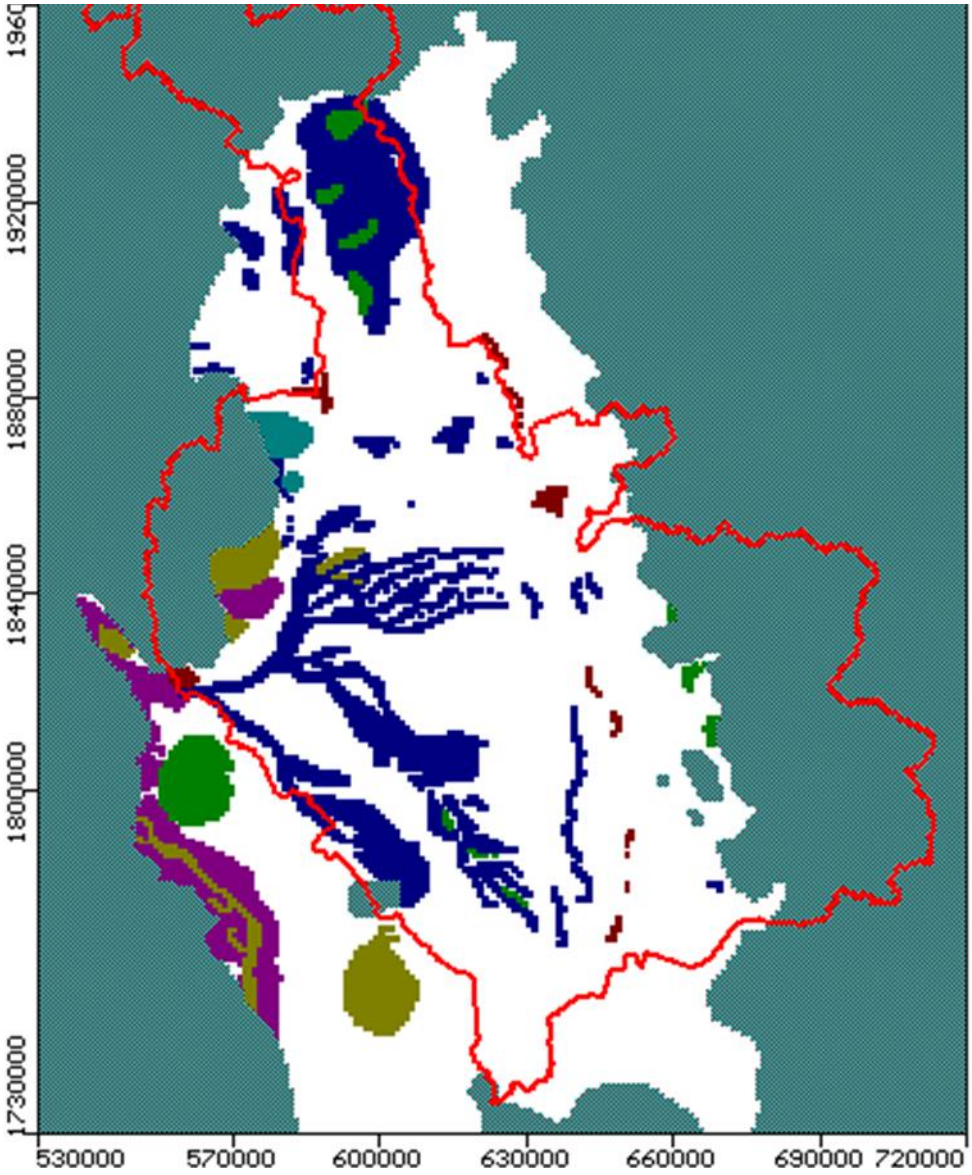
รูปที่ 3.3.3-9 การออกแบบกริด และขอบเขตของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

การประเมินข้อมูลนำเข้าสำหรับการจำลองการไหลของน้ำบาดาล

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง รวบรวมข้อมูลจากรายงานการศึกษาจากหน่วยงานต่างๆ การสำรวจเพิ่มเติมภาคสนาม และทั้งข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์จากหนังสือที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตและค่าตัวแปรในแบบจำลอง ได้แก่

1. อัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาล (Recharge Boundary)

ขอบเขตการเพิ่มเติมน้ำในการศึกษาครั้งนี้ใช้การเพิ่มเติมน้ำสุทธิเข้าสู่ระบบน้ำบาดาล (net recharge, R) ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า การคายระเหย ลักษณะความลาดชันของพื้นที่ การใช้ที่ดิน ชนิดของดิน ลักษณะพื้นที่เป็นพื้นที่รับน้ำหรือพื้นที่สูญเสียน้ำ ความลึกของระดับน้ำบาดาลและพื้นที่ชลประทาน จากนั้นกำหนดเขตพื้นที่หรือโซนของการเพิ่มเติมน้ำ (recharge zone) ทั้งลุ่มน้ำ โดยกำหนดเป็นโซนต่างกัน โดยใช้ข้อมูลการใช้ที่ดิน ดิน และภูมิประเทศ ในการแบ่งโซน สามารถจำแนกได้เป็น 7 พื้นที่ ดังรูปที่ 3.3.3-10 แล้วจำลองกระบวนการเพิ่มเติมน้ำบาดาลโดย แบบจำลอง HELP (Schroeder et al., 1994) ดังนี้



พื้นที่	สัญลักษณ์	คำอธิบาย	ค่าเริ่มต้นของอัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาล (ร้อยละของปริมาณน้ำฝน)
1		พื้นที่นาข้าว-ดินซึมช้า	28.00
2		พื้นที่นาข้าว-ดินซึมปานกลาง	31.33
3		พื้นที่พืชไร่-ดินซึมช้า	33.25
4		พื้นที่พืชไร่-ดินซึมปานกลาง	42.33
5		พื้นที่ชุมชน-ดินซึมช้า	30.42
6		พื้นที่ไม้ผล-ดินซึมปานกลาง	33.42
7		พื้นที่ป่าไม้-ดินซึมเร็ว	41.75

รูปที่ 3.3.3-10 การกระจายตัวของพื้นที่การเพิ่มเติมน้ำและอัตราการเพิ่มเติมน้ำเริ่มต้นสู่แหล่งน้ำบาดาล

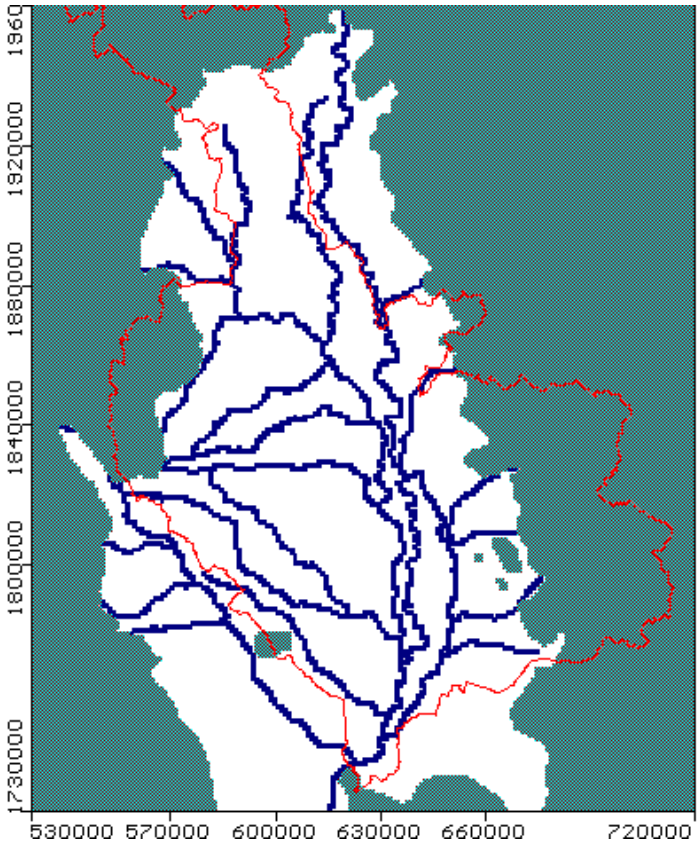
ขอบเขตแม่น้ำ (River Boundary)

ข้อมูลแม่น้ำที่ใช้ในการจำลอง ได้แก่ ระดับท้องน้ำ ระดับน้ำ ความกว้าง ความยาว ความหนาของตะกอนท้องน้ำ และค่าความนำของตะกอนท้องน้ำ (Conductance, C) โดยความนำของตะกอนท้องน้ำ (conductance, C) คำนวณได้จากสมการ

$$C = KLW/M \qquad (3.3.3\text{-}36)$$

เมื่อ K เป็น ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของตะกอนท้องน้ำ (เมตร/วินาที)
L เป็น ความยาวของแม่น้ำ (เมตร)
W เป็น ความกว้างของแม่น้ำ (เมตร)
M เป็น ความหนาของตะกอนท้องน้ำ (เมตร)

การจำลอง กำหนดให้แม่น้ำยม แม่น้ำน่าน และแม่น้ำสาขาที่มีลำดับน้ำที่ 3 ขึ้นไป เป็นขอบเขตแม่น้ำ ความหนาของตะกอนท้องน้ำ 2 เมตร สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของตะกอนท้องน้ำในแนวดิ่ง เป็นดินเหนียว ดินเหนียวปนทราย มีค่า $1x\ 10^{-8}$ เมตร/วินาที (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554) แสดงดังรูปที่ 3.3.3-11



รูปที่ 3.3.3-11 ขอบเขตแม่น้ำ

ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity, K)

ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบ (Kh หรือ Kx, Ky) และค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวดิ่ง (Kv หรือ Kz) ประเมินจาก

1) ลักษณะของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา จากการเผยแพร่ผลการทดลองในอดีตของงานที่เกี่ยวข้อง (spitz and moreno, 1996)

2) รายงานการศึกษาเดิมที่มีอยู่จากการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบมีค่าอยู่ในช่วง $1.10x10^{-4}$ ถึง $4.25x10^{-3}$ เมตรต่อวินาที (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554) กำหนดให้ชั้นหินมีคุณสมบัติเป็น anisotropy มีอัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ในแนวดิ่งต่อแนวราบมีอัตราส่วน 1:10 การกระจายตัวของสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน พิจารณาจากลักษณะของตะกอนหินร่วน ของชั้นน้ำบาดาลทั้ง 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นบนสุดเป็นชั้นน้ำเจ้าพระยา ประกอบด้วยตะกอนกรวด และทราย ชั้นที่ 2 เป็นชั้นน้ำเชียงราย ประกอบด้วยตะกอนกรวดและมีดินเหนียวแทรกสลับ และชั้นที่ 3 เป็นชั้นน้ำเชียงใหม่ ประกอบด้วยตะกอนทรายและกรวด

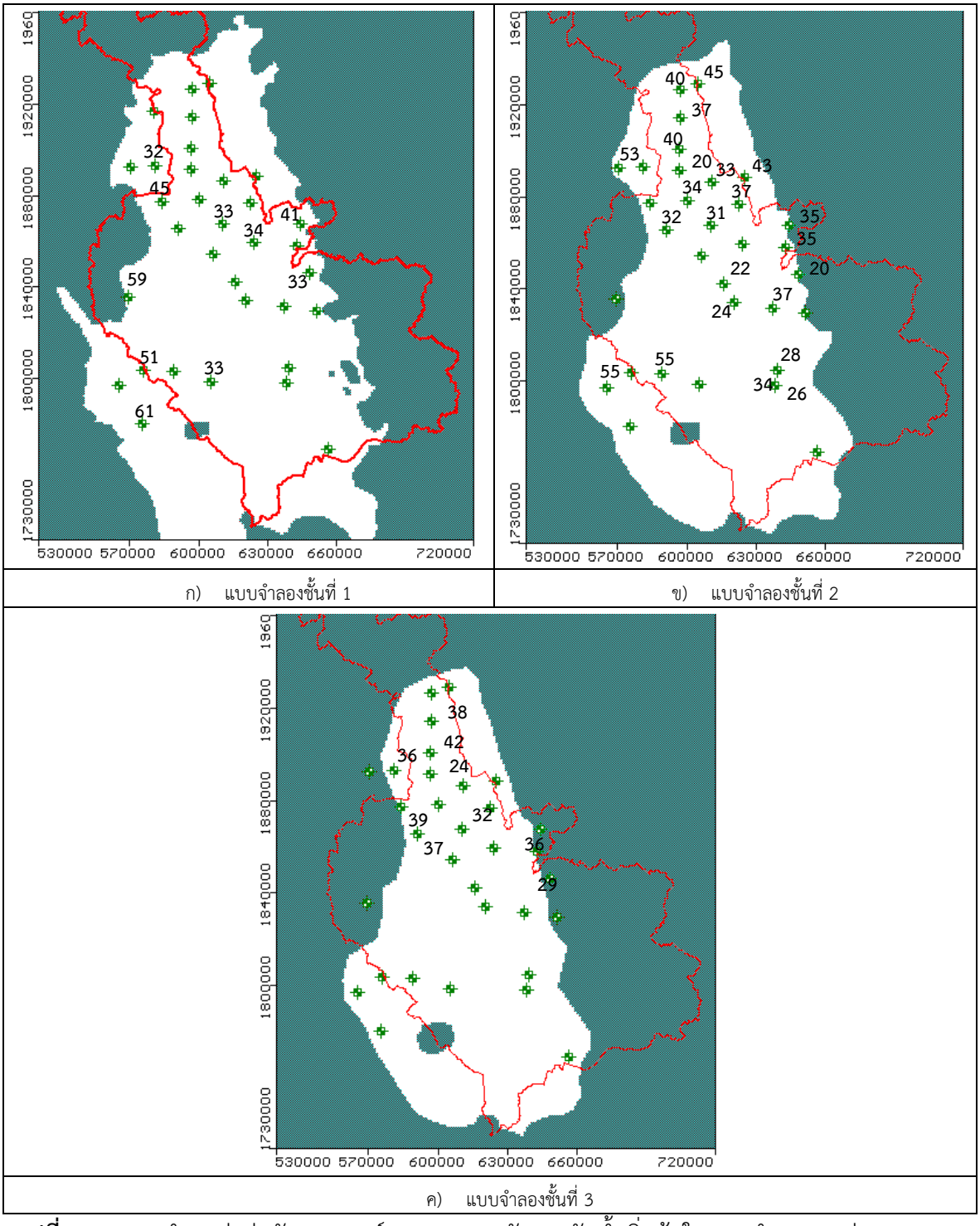
ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storativity)

ประเมินจาก 1) ลักษณะของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา จากการเผยแพร่ผลการทดลองในอดีตของงานที่เกี่ยวข้อง (spitz and moreno, 1996) และ 2) รายงานการศึกษาเดิมที่มีอยู่ จากการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบมีค่าอยู่ในช่วง $2.71x10^{-4}$ ถึง $5.92x10^{-2}$ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554) การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ พิจารณาจากลักษณะของตะกอนหินร่วนของชั้นน้ำบาดาลทั้ง 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นบนสุดเป็นชั้นน้ำเจ้าพระยา ประกอบด้วยตะกอนกรวด และทราย ชั้นที่ 2 เป็นชั้นน้ำเชียงราย ประกอบด้วยตะกอนกรวดและมีดินเหนียวแทรกสลับ และชั้นที่ 3 เป็นชั้นน้ำเชียงใหม่ ประกอบด้วยตะกอนทรายและกรวด

ข้อมูลระดับน้ำบาดาล

ตำแหน่งและข้อมูลระดับน้ำบาดาล (Head Observation Wells) ได้จากข้อมูลการสำรวจของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (พ.ศ. 2558-2560) และจากการสำรวจเพิ่มเติมภาคสนาม ได้จากการสำรวจเพิ่มเติมภาคสนาม จากบ่อบาดาลเดิมที่มีอยู่แล้วในพื้นที่ศึกษา โดยข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดระดับน้ำบาดาล ในเดือนกุมภาพันธ์ 2558 ที่คัดเลือกเป็นตัวแทนชั้นน้ำบาดาลแต่ละชั้น จำนวน 65 บ่อ ต้องเปลี่ยนให้เป็นระดับแรงดันน้ำบาดาล เพื่อใช้เป็นสภาพระดับแรงดันน้ำเริ่มต้น (intial head; หน่วย ม.รทก.) ในแต่ละชั้นของแบบจำลอง (รูปที่ 3.3.3-12) และระดับแรงดันน้ำบาดาลสามารถหาได้จากสมการ

ระดับแรงดันน้ำบาดาล = ระดับความสูงภูมิประเทศ-ระดับน้ำบาดาล



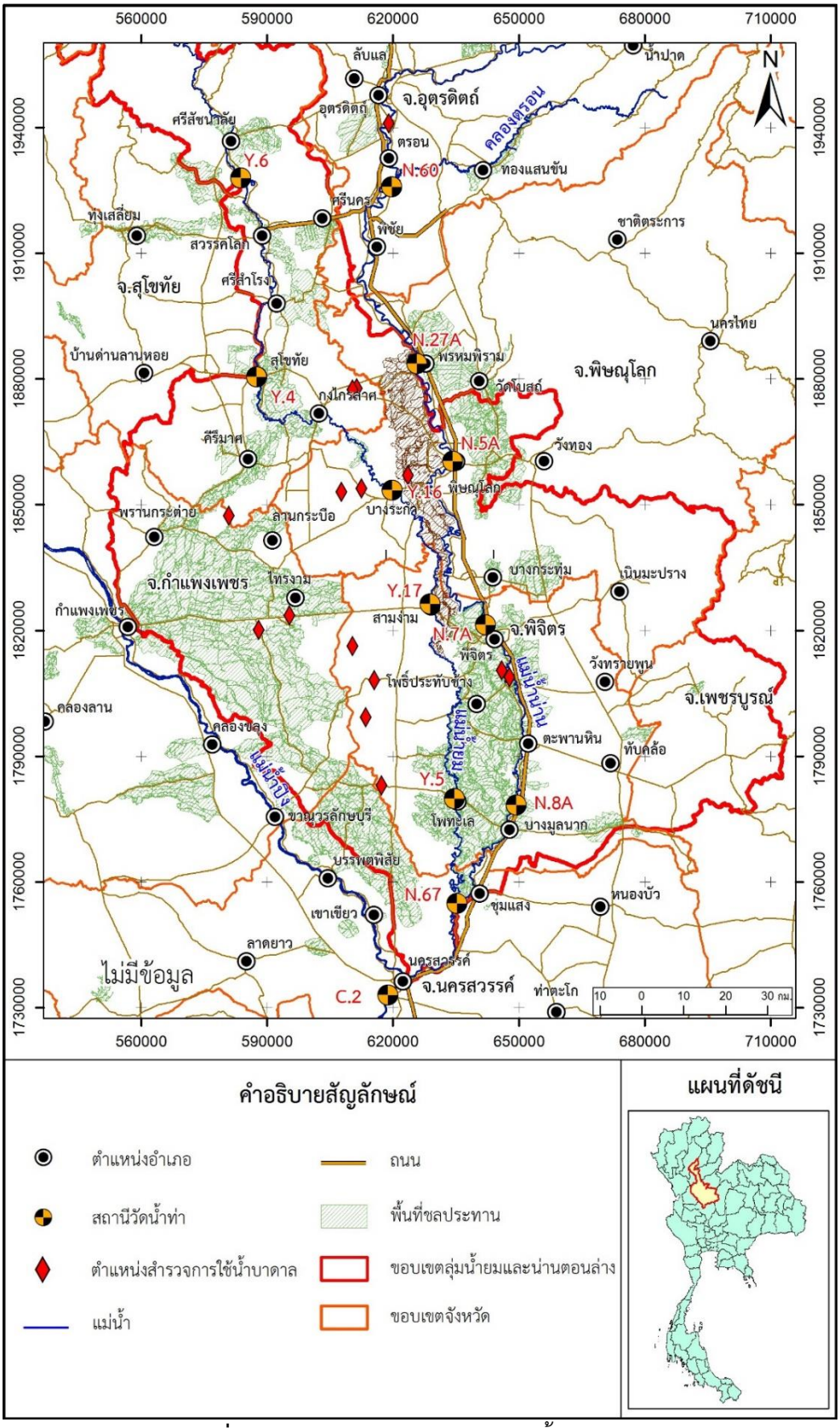
รูปที่ 3.3.3-12 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์และสภาพระดับแรงดันน้ำเริ่มต้นในแบบจำลอง (หน่วย ม.รทก.)

อัตราการใช้น้ำบาดาล (Groundwater Usage)

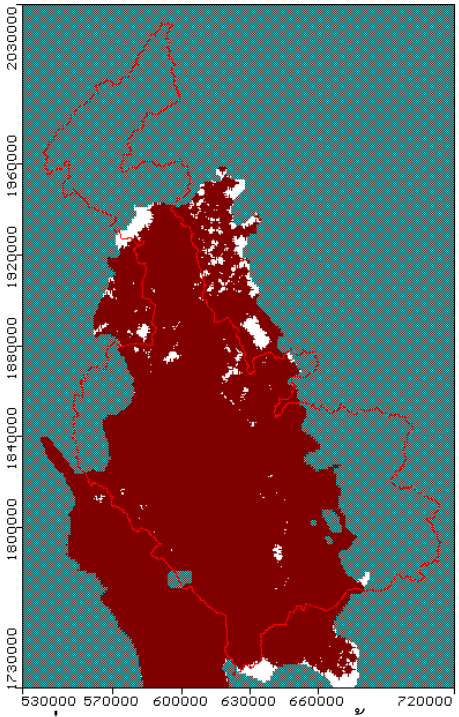
จากการศึกษาจากรายงานการศึกษาเดิมของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2554) และสำรวจเพิ่มเติมในภาคสนาม พบว่าพื้นที่ศึกษามีการใช้น้ำบาดาลหลายส่วน เช่น การใช้น้ำบาดาลเพื่อการชลประทานที่จังหวัดสุโขทัย การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค และการใช้น้ำเพื่อการเกษตร (รูปที่ 3.3.3-13 และรูปที่ 3.3.3-14) ปริมาณการใช้น้ำบาดาลขึ้นกับการใช้ประโยชนพื้นที่ ปริมาณการใช้น้ำของบ่อน้ำบาดาลชลประทาน

ทั้งหมด 204 บอ มีการสูบใช้น้ำ 1 ป ประมาณ 40 ล้าน ลบ.ม. ดังนั้นจึงมีการสูบด้วยอัตรา 537 ลูกบาศก์เมตร/วัน/บอ บ่อน้ำบาดาลที่ใช้ในการอุปโภคบริโภคในพื้นที่ใช้ประมาณ 80 ลูกบาศก์เมตร/วัน/บอ การใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตร แบ่งออกเป็นบ่อน้ำบาดาลในการปลูกข้าวในเขตพื้นที่ชลประทาน ฤดูแล้ง 45-180 ลูกบาศก์เมตร/เดือน/ไร่ ฤดูฝน 0-90 ลูกบาศก์เมตร/เดือน/ไร่ และนอกพื้นที่ชลประทาน ฤดูแล้ง 90-240 ลูกบาศก์เมตร/เดือน/ไร่ ฤดูฝน 0-120 ลูกบาศก์เมตร/เดือน/ไร่ รายละเอียดการใช้น้ำบาดาลแสดงดังภาคผนวก ค. และตำแหน่งบ่อสูบทั้งพื้นที่จำลองมีจำนวน 22,832 บ่อ แสดงดังรูปที่ 3.3.3-15 โดยใช้ข้อมูลการใช้น้ำบาดาลจากรายงานการศึกษาเดิมและที่สำรวจเพิ่มเติมภาคสนาม ประเมินปริมาณการใช้น้ำบาดาลเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองของพื้นที่ศึกษา

รูปที่ 3.3.3-13 การสำรวจการใช้น้ำบาดาล



รูปที่ 3.3.3-14 ตำแหน่งสำรวจการใช้น้ำบาดาล



รูปที่ 3.3.3-15 ตำแหน่งบ่อสูบน้ำบาดาล

โดยค่าที่ได้จากการประเมินข้อมูลนำเข้าเบื้องต้นก่อนนำเข้าแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล สรุปได้ดังตารางที่ 3.3.3-1

ตารางที่ 3.3.3-1 การประเมินข้อมูลนำเข้าในการจำลองการไหลของน้ำบาดาล

ข้อมูลนำเข้า	ค่าเริ่มต้น	คำอธิบาย
1) อัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาล (ร้อยละของปริมาณน้ำฝน)	28.00	1. พื้นที่นาข้าว-ดินซึมช้า
	31.33	2. พื้นที่นาข้าว-ดินซึมปานกลาง
	33.25	3. พื้นที่พืชไร่-ดินซึมช้า
	42.33	4. พื้นที่พืชไร่-ดินซึมปานกลาง
	30.42	5. พื้นที่ชุมชน-ดินซึมช้า
	33.42	6. พื้นที่ไม้ผล-ดินซึมปานกลาง
	41.75	7. พื้นที่ป่าไม้-ดินซึมเร็ว
2) แหล่งน้ำผิวดิน (ม.รทก.)	18.00-84.00	- ระดับน้ำ (river stage)
	15.00-80.00	- ระดับท้องน้ำ (river bottom)

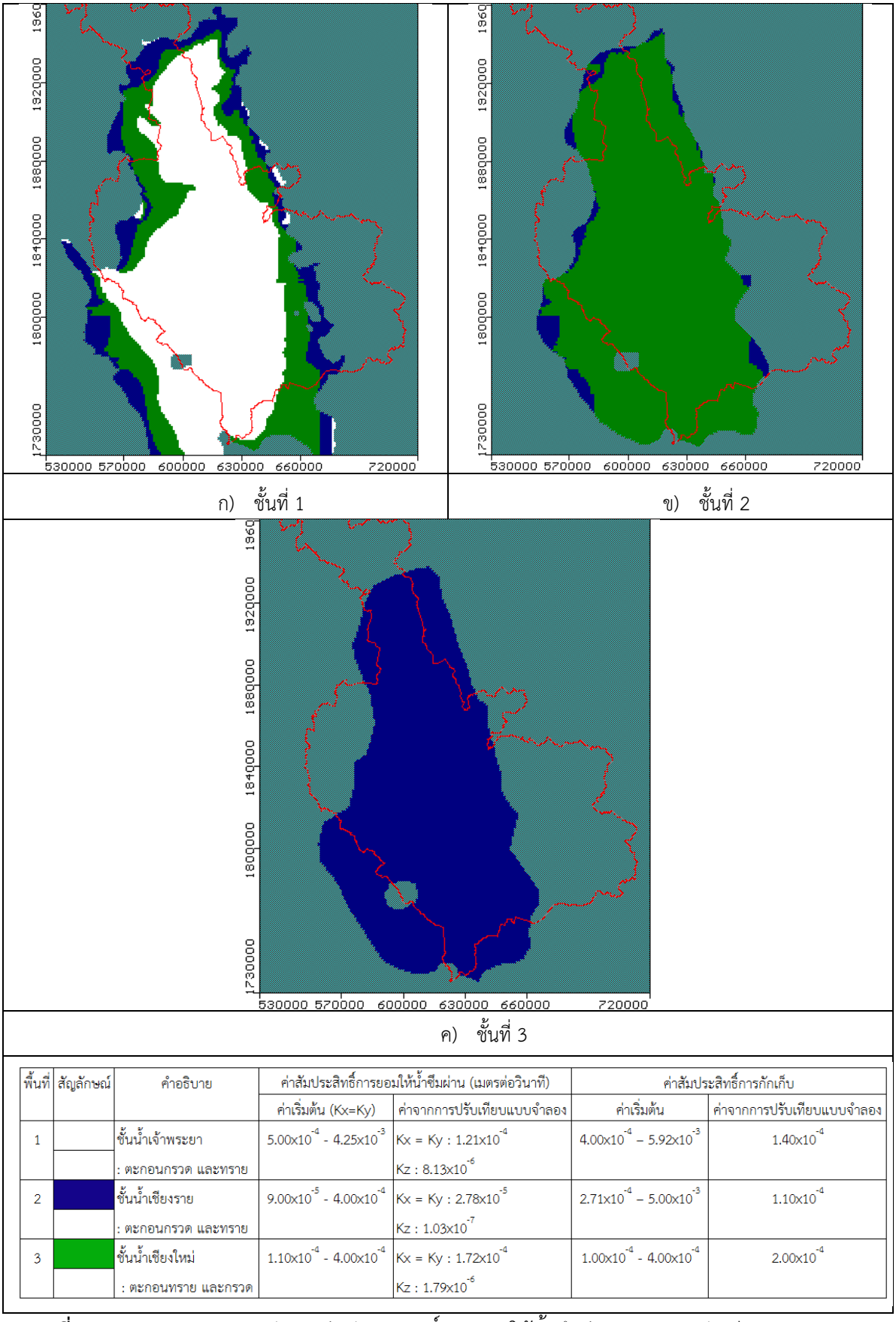
ตารางที่ 3.3.3-1 การประเมินข้อมูลนำเข้าในการจำลองการไหลของน้ำบาดาล (ต่อ)

ข้อมูลนำเข้า	ค่าเริ่มต้น	คำอธิบาย
3) ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ	$4.00x10^{-4}$ – $5.92x10^{-3}$ $2.71x10^{-4}$ – $5.00x10^{-3}$ $1.00x10^{-4}$ - $4.00x10^{-4}$	- แบบจำลองพื้นที่ที่ 1 - แบบจำลองพื้นที่ที่ 2 - แบบจำลองพื้นที่ที่ 3
4) ระดับแรงดันน้ำบาดาล (ม.รทก.) ที่ตรวจวัดระดับจากบ่อน้ำบาดาล	32.24-61.11 20.20-55.25 20.63-55.21	- แบบจำลองพื้นที่ที่ 1 - แบบจำลองพื้นที่ที่ 2 - แบบจำลองพื้นที่ที่ 3
5) การใช้น้ำบาดาล (ลบ.ม./วัน)	0-3,420	- ประเมินจากอัตราการใช้น้ำของรายงานการศึกษาเดิมและสำรวจเพิ่มเติมภาคสนาม

การปรับเทียบแบบจำลองและผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาล

การจำลองการไหลของน้ำบาดาลหลังจากที่ทำการนำเข้าข้อมูลและทำการประมวลผลแล้ว ต้องทำการปรับเทียบข้อมูลนำเข้าของการจำลอง ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (รูปที่ 3.3.3-16 และตารางที่ 3.3.3-1 และอัตราการเพิ่มเติมน้ำตารางที่ 3.3.3-2) โดยการปรับเทียบจะต้องทำการปรับจนค่าระดับแรงดันน้ำบาดาล ที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองและค่าที่วัดจากสนามมีความสอดคล้องกันอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ ผลการจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนของระดับแรงดันน้ำบาดาล เฉลี่ยสัมบูรณ์ต่ำสุดไม่เกิน 5 เมตร ในการปรับเทียบใช้ข้อมูลระดับแรงดันน้ำบาดาลที่ได้จากการตรวจวัดระดับน้ำบาดาล จากบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการคัดเลือกจำนวน 65 บ่อ ให้อยู่ในช่วงค่าที่เป็นไปได้ของข้อมูลนำเข้านั้นๆ โดยปรับข้อมูลนำเข้าทีละชุดให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง (Trial and error) จากค่าที่ประมาณไว้ในเบื้องต้น จากนั้นปรับแบบละเอียดโดยใช้ PEST จนระดับแรงดันน้ำบาดาลที่วัดในสนามและจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันที่สุดผลการจำลอง แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของระดับแรงดันน้ำบาดาลเฉลี่ยสัมบูรณ์ต่ำสุดที่ 4.07 เมตร (รูปที่ 3.3.3-17)

จากการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลด้วยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ 3 มิติ ระดับน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ที่ได้จากการคำนวณ มีความสอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ โดยทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาลมีทิศทางการไหลหลักจากบริเวณพื้นที่รับน้ำ ที่เติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล ส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ขอบแอ่งลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง ทางด้านทิศเหนือ ตะวันออกและตะวันตกของพื้นที่ ไหลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำไปยังพื้นที่สูญเสียน้ำบาดาล ที่กระจายตัวตามที่ราบลุ่มของแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน แสดงดังรูปที่ 3.3.3-17



ก) ชั้นที่ 1

ข) ชั้นที่ 2

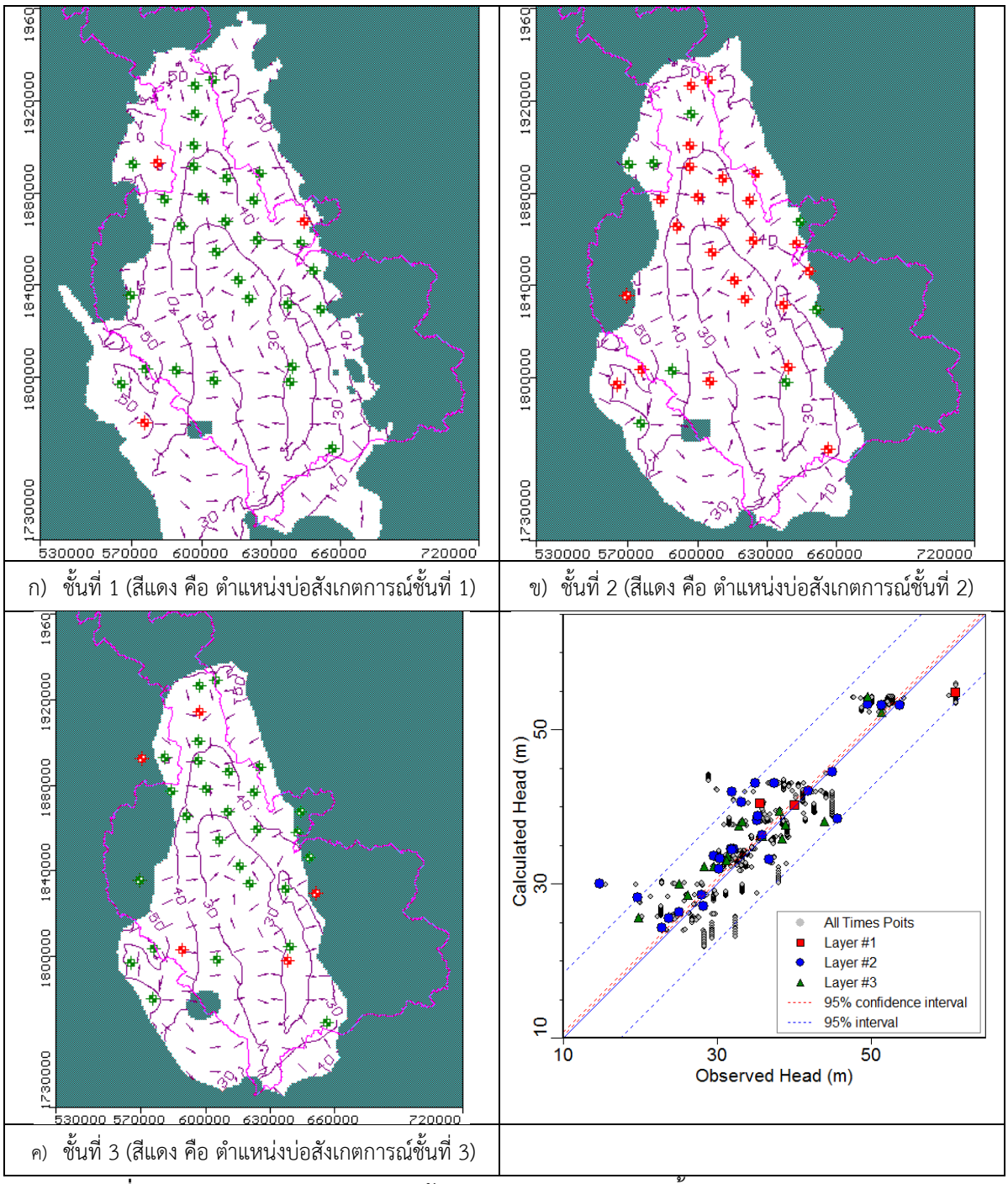
ค) ชั้นที่ 3

พื้นที่	สัญลักษณ์	คำอธิบาย	ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (เมตรต่อวินาที)		ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ	
			ค่าเริ่มต้น (Kx=Ky)	ค่าจากการปรับเทียบแบบจำลอง	ค่าเริ่มต้น	ค่าจากการปรับเทียบแบบจำลอง
1		ชั้นน้ำเจ้าพระยา : ตะกอนกรวด และทราย	5.00×10^{-4} - 4.25×10^{-3}	Kx = Ky : 1.21×10^{-4} Kz : 8.13×10^{-6}	4.00×10^{-4} – 5.92×10^{-3}	1.40×10^{-4}
2		ชั้นน้ำเชียงราย : ตะกอนกรวด และทราย	9.00×10^{-5} - 4.00×10^{-4}	Kx = Ky : 2.78×10^{-5} Kz : 1.03×10^{-7}	2.71×10^{-4} – 5.00×10^{-3}	1.10×10^{-4}
3		ชั้นน้ำเชียงใหม่ : ตะกอนทราย และกรวด	1.10×10^{-4} - 4.00×10^{-4}	Kx = Ky : 1.72×10^{-4} Kz : 1.79×10^{-6}	1.00×10^{-4} - 4.00×10^{-4}	2.00×10^{-4}

รูปที่ 3.3.3-16 การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านจากการปรับเทียบแบบจำลอง โดยใช้ Trial and error และ PEST

ตารางที่ 3.3.3-2 ผลการปรับเทียบข้อมูลนำเข้าในการจำลองการไหลของน้ำบาดาลสภาวะไม่คงตัว

ข้อมูลนำเข้า	ค่าเริ่มต้น	ค่าจากการปรับเทียบแบบจำลอง	คำอธิบาย
1)อัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาล (ร้อยละของปริมาณน้ำฝน)	28.00 31.33 33.25 42.33 30.42 33.42 41.75	ฤดูแล้ง 13.08 : ฤดูฝน 14.42 ฤดูแล้ง 28.91 : ฤดูฝน 32.08 ฤดูแล้ง 31.75 : ฤดูฝน 53.00 ฤดูแล้ง 13.25 : ฤดูฝน 19.41 ฤดูแล้ง 2.67 : ฤดูฝน 11.67 ฤดูแล้ง 14.91 : ฤดูฝน 55.00 ฤดูแล้ง 35.58 : ฤดูฝน 44.17	1. พื้นที่นาข้าว-ดินซึมช้า 2. พื้นที่นาข้าว-ดินซึมปานกลาง 3. พื้นที่พืชไร่-ดินซึมช้า 4. พื้นที่พืชไร่-ดินซึมปานกลาง 5. พื้นที่ชุมชน-ดินซึมช้า 6. พื้นที่ไม้ผล-ดินซึมปานกลาง 7. พื้นที่ป่าไม้-ดินซึมเร็ว
2)ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบ (Kx = Ky) และแนวดิ่ง (Kz) (เมตรต่อวินาที)	5.00×10^{-4} - 4.25×10^{-3} 9.00×10^{-5} - 4.00×10^{-4} 1.10×10^{-4} - 4.00×10^{-4}	Kx = Ky : 1.21×10^{-4} Kz : 8.13×10^{-6} Kx = Ky : 2.78×10^{-5} Kz : 1.03×10^{-7} Kx = Ky : 1.72×10^{-4} Kz : 1.79×10^{-6}	- ชั้นน้ำเจ้าพระยา ประกอบด้วยตะกอนกรวด และทราย (แบบจำลองพื้นที่ที่ 1) - ชั้นน้ำเชียงราย ประกอบด้วยตะกอนกรวดและมีดินเหนียวแทรกสลับ (แบบจำลองพื้นที่ที่ 2) - ชั้นน้ำเชียงใหม่ ประกอบด้วยตะกอนทราย และกรวด (แบบจำลองพื้นที่ที่ 3)
3)ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ	4.00×10^{-4} – 5.92×10^{-3} 2.71×10^{-4} – 5.00×10^{-3} 1.00×10^{-4} - 4.00×10^{-4}	1.40×10^{-4} 1.10×10^{-4} 2.00×10^{-4}	- แบบจำลองพื้นที่ที่ 1 - แบบจำลองพื้นที่ที่ 2 - แบบจำลองพื้นที่ที่ 3



ก) ชั้นที่ 1 (สีแดง คือ ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ชั้นที่ 1)

ข) ชั้นที่ 2 (สีแดง คือ ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ชั้นที่ 2)

ค) ชั้นที่ 3 (สีแดง คือ ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ชั้นที่ 3)

รูปที่ 3.3.3-17 การกระจายตัวของเส้นระดับแรงดันเท่ากันของน้ำบาดาล (หน่วย: ม.รทก.) และทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาล

สมดุลน้ำบาดาล

สมดุลของน้ำบาดาลในช่วง 1 ปี ที่ได้จากการจำลองการไหลของน้ำบาดาล พบว่ามีปริมาณการเติมน้ำสู่ชั้นหินอุ้มน้ำ ได้แก่ จากน้ำฝนประมาณ 3,855 ล้านลูกบาศก์เมตร จากการรั่วซึมของแม่น้ำ 406 ล้านลูกบาศก์เมตร ส่วนน้ำบาดาลที่สูญเสีย จากระบบน้ำบาดาลหรือออกจากชั้นหินอุ้มน้ำ ได้แก่ จากการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ประมาณ 4,533 ล้านลูกบาศก์เมตร และจากการรั่วซึมจากชั้นหินอุ้มน้ำสู่แม่น้ำประมาณ 255 ล้านลูกบาศก์เมตร

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง คือ การวิเคราะห์ว่าแบบจำลองมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่นำเข้าอย่างไร โดยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองหลังจากปรับเทียบค่าแล้ว หากการเปลี่ยนข้อมูลนำเข้าใดทำให้ผลการจำลองเปลี่ยนแปลงมาก แสดงว่าข้อมูลนำเข้านั้นมีความอ่อนไหวมากหรือมีอิทธิพลมากต่อแบบจำลอง เมื่อทราบว่าข้อมูลนำเข้าใดมีผลต่อแบบจำลองมาก จะทำให้สามารถกำหนดแนวทางในการเก็บข้อมูลภาคสนามเพิ่มเติม หรือใช้ในการปรับเทียบเมื่อต้องการปรับปรุงแบบจำลอง เมื่อสภาพอุทกธรณีวิทยาในอนาคตมีการเปลี่ยนแปลง เป็นการปรับชุดข้อมูลนำเข้าในขั้นละเอียดที่ทำให้แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนลดลง และเป็นการยืนยันความถูกต้องของข้อมูลนำเข้าก่อนที่จะพัฒนาแบบจำลองในขั้นตอนต่อไป

ในการศึกษานี้ได้วิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในสภาวะคงที่ ด้วยการใช้ Parameter Optimization (PEST) โดยทำการวิเคราะห์ทุกพื้นที่ (zone) ของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบ (Kh หรือ Kx และ Ky) การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบ (Kv หรือ Kz) อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (Recharge rate) ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน (Sy) และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน (Ss) เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของข้อมูลนำเข้าแต่ละชุดที่แต่ละพื้นที่มีค่าแตกต่างกัน รายละเอียดผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.3.3-3 และจากการวิเคราะห์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของโซนที่ 3 ในแบบจำลอง ที่เป็นตัวแทนของชั้นน้ำที่ 2 มีความอ่อนไหวมากที่สุดต่อแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

ตารางที่ 3.3.3-3 รายละเอียดผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของชุดข้อมูลนำเข้าแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในสภาวะไม่คงที่ด้วย PEST

OPTIMISATION ITERATION NO. 1 ----->				
Parameter name	Group	Current value	Sensitivity	Rel. Sensitivity
Kx_1	cndct	2.23E-04	0.00840	0.03069
ky_1	cndct	1.80E-04	0	0
kz_1	cndct	6.57E-05	0.00036	0.00152
kx_2	cndct	3.05E-06	0.00418	0.02310
ky_2	cndct	1.00E-05	0	0
kz_2	cndct	9.51E-07	0.00495	0.02983
kx_3	cndct	2.06E-04	0.06883	0.25366
ky_3	cndct	2.00E-04	0	0
kz_3	cndct	2.00E-06	0.00107	0.00612
par001	grp001	0.988083	0.03786	0.03741
par002	grp002	0.978126	0.02841	0.02779
par003	grp003	1.02523	0.03815	0.03911
par004	grp004	1.1098	0.00218	0.00242
par005	grp005	1.23298	0.00045	0.00055
par006	grp006	1.15413	0.00444	0.00512
par007	grp007	0.954359	0.00039	0.00038
Ss _1	Ss	1.00E-04	0	0
Ss _2	Ss	3.14E-04	0.01949	0.06826
Ss _3	Ss	2.23E-04	0.03472	0.12678
Sy _1	Sy	0.200192	0.26207	0.18307
Sy _2	Sy	0.238237	0.00008	0.00005
Sy _3	Sy	0.2	0	0

หมายเหตุ cndct คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (เมตรต่อวินาที)

Grp คือ อัตราการเพิ่มเติมน้ำ (มิลลิเมตรต่อปี)

Ss คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน

Sy คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน

3.3.4 ข้อจำกัดของแบบจำลอง

การเปรียบเทียบข้อเด่นและข้อจำกัดของโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำบาดาลรวมถึงแบบจำลองคุณภาพน้ำบาดาล

รูปแบบข้อเด่นและข้อจำกัดของโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำบาดาล รวมถึงแบบจำลองคุณภาพน้ำบาดาล ได้พิจารณาจากหลักเกณฑ์ทั้งหมด 13 ข้อ แยกตามความสามารถของทั้ง 8 โปรแกรม 12 ข้อ และความเกี่ยวข้องกับกรรมสิทธิ์การถือครอง 1 ข้อ มีดังต่อไปนี้

(1) ความสามารถจำลองการไหลของน้ำบาดาล (ระดับน้ำและอัตราการไหล)
(2) ความสามารถจำลองการแลกเปลี่ยนระหว่างลำน้ำและชั้นน้ำบาดาลแบบสองทางได้
(3) ความสามารถประเมินน้ำต้นทุน
(4) ความสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลในรูปแบบกริด
(5) ความสามารถจำลองเหตุการณ์ฝนแบบไม่ต่อเนื่องและเหตุการณ์ฝนแบบต่อเนื่องหลายปี
(6) ความสามารถจำลองโครงสร้างชลศาสตร์โดยทั่วไปพร้อมกับการควบคุมที่เหมาะสม (ฝาย, ประตูระบายน้ำ, เครื่องสูบน้ำ ฯลฯ)
(7) ความสามารถจำลองเชิงเรขาคณิตของลำน้ำพร้อมรูปแบบกริด
(8) ความสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกับระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (DSS)
(9) ความมีส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ซึ่งมีคุณสมบัติครอบคลุมทั้งก่อนและหลังการประมวลผล
(10) ความสามารถจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารเคมีที่พบในน้ำบาดาล
(11) ความสามารถวิเคราะห์ธรณีเคมี
(12) ความสามารถในการประมาณการปริมาณสารเคมีที่พบในน้ำบาดาล ณ แหล่งกำเนิดโดยไม่จำเป็นต้องทราบความเป็นมา
(13) ความเกี่ยวข้องกับกรรมสิทธิ์การถือครอง

ตารางที่ 3.3.4-1 แสดงการเปรียบเทียบข้อเด่นและข้อจำกัดของโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำบาดาล รวมถึงแบบจำลองคุณภาพน้ำบาดาล โปรแกรม MIKE11 / MIKE SHE มีจำนวนความสามารถทั้งหมด 8 จาก 12 ซึ่งเป็นจำนวนมากที่สุด มีความสามารถจำลองการไหลของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน แต่ไม่มีความสามารถในการวิเคราะห์จำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารเคมีที่พบในน้ำบาดาล รวมถึงการวิเคราะห์ธรณีเคมี อีกทั้งจำเป็นต้องจ่ายเงินในปริมาณสูงเพื่อกรรมสิทธิ์การถือครอง โปรแกรม eWater Source มีจำนวนความสามารถทั้งหมด 7 จาก 12 ซึ่งเป็นจำนวนลำดับรองลงมาแต่มีความสามารถหลายอย่างใกล้เคียงโปรแกรม MIKE11 / MIKE SHE ยกเว้นความสามารถจำลองการไหลของน้ำบาดาลและความสามารถจำลองเชิงเรขาคณิตของลำน้ำพร้อมรูปแบบกริด ซึ่งสามารถทดแทนจากการใช้คู่กับโปรแกรม MODFLOW และ HEC-HMS / HEC-RAS ได้

ตารางที่ 3.3.4-1 การเปรียบเทียบข้อเด่นและข้อจำกัดของโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำบาดาล รวมถึงแบบจำลองคุณภาพน้ำบาดาล

ลำดับ	ข้อเด่นและข้อจำกัด	โปรแกรม					
		MIKE11 / MIKE SHE	HEC-HMS / HEC-RAS	MODFLOW	eWater SOURCE	Positive Matrix Factorization (PMF)	PHREEQC
1	สามารถจำลองการไหลของน้ำบาดาล (ระดับน้ำและอัตราการไหล)	●		●			
2	สามารถจำลองการแลกเปลี่ยนระหว่างลำน้ำและชั้นน้ำบาดาลแบบสองทางได้	●		●	●		
3	สามารถประเมินน้ำต้นทุน	●	●		●		
4	สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลในรูปแบบกริด	●		●	●		
5	สามารถจำลองเหตุการณ์ฝนแบบไม่ต่อเนื่องและเหตุการณ์ฝนแบบต่อเนื่องหลายปี	●	●		●		
6	สามารถจำลองโครงสร้างชลศาสตร์โดยทั่วไปพร้อมกับการควบคุมที่เหมาะสม (ฝาย, ประตูระบายน้ำ, เครื่องสูบน้ำ ฯลฯ)	●	●		●		
7	สามารถจำลองเชิงเรขาคณิตของลำน้ำพร้อมรูปแบบกริด	●	●				
8	สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกับระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (DSS)		●		●		
9	มีส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ซึ่งมีคุณสมบัติครอบคลุมทั้งก่อนและหลังการประมวลผล	●	●	●	●	●	●
10	สามารถจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารเคมีที่พบในน้ำบาดาล					●	
11	สามารถวิเคราะห์ธรณีเคมี						●
12	ประมาณการปริมาณสารเคมีที่พบในน้ำบาดาล ณ แหล่งกำเนิดโดยไม่จำเป็นต้องทราบความเป็นมา					●	
13	เกี่ยวกับกรรมสิทธิ์การถือครอง	●					

3.4 การประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณโดยการใช้แบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF) ผลการการประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณโดยการใช้แบบจำลอง PMF

3.4.1 หลักการการประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณโดยการใช้แบบจำลอง PMF

การประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำบาดาลโดยการใช้แบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF) ซึ่งถือเป็นแบบจำลองประเภทหาแหล่งกำเนิดที่ส่งผลต่อปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่ผู้ได้รับผลกระทบได้รับ (Receptor Models) จัดอยู่ในแบบจำลองทางสถิติประเภทที่เกี่ยวข้องกับหลายค่าตัวแปร (Multivariate Models) และเป็นที่นิยม ในประเทศสหรัฐอเมริกา ข้อที่ดีกว่าของแบบจำลอง PMF คือ ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลปริมาณขององค์ประกอบทางเคมี ณ แหล่งกำเนิดโดยตรง หรืออาจเรียกได้ว่าไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำบาดาลมากนัก ตั้งแต่แรกเริ่มแบบจำลอง PMF ถูกพัฒนาเพื่อนำมาใช้กับมลพิษทางอากาศก่อน (Vargas et al., 2012) ในขณะเดียวกันยังได้มีการนำมาใช้กับมลพิษทางน้ำอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสืบหาแหล่งกำเนิดของมลพิษในน้ำเสียจากระบบท่อระบายน้ำรวม (Combined Sewer System) ซึ่งพบว่ามีแหล่งกำเนิดหลักมาจากน้ำเสียชุมชน (Sanitary Sewage) น้ำฝนที่ชะล้างผิวดิน (Stormwater Runoff) และน้ำบาดาล (Groundwater) (US EPA, 2014) และจนถึงปัจจุบันยังได้มีการนำมาใช้กับองค์ประกอบทางเคมีในน้ำบาดาล (Guo et al., 2017)

3.4.2 วิธีการดำเนินการประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณโดยการใช้แบบจำลอง PMF

การศึกษาในครั้งนี้จะใช้โปรแกรมของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency, US EPA) ชื่อโปรแกรม EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 ซึ่งจัดเป็นฟรีแวร์ที่สามารถดาวน์โหลดมาใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย (https://www.epa.gov/air-research/positive-matrix-factorization-model-environmental-data-analyses) ทั้งนี้โปรแกรม PMF ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Dr. Pentti Paatero แห่ง University of Helsinki ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 1990–1999 และมีสมการควบคุม (Governing Equation) (รูปที่ 3.4.2-1) คือ

$$X = GF + E \qquad (3.4.2\text{-}1)$$

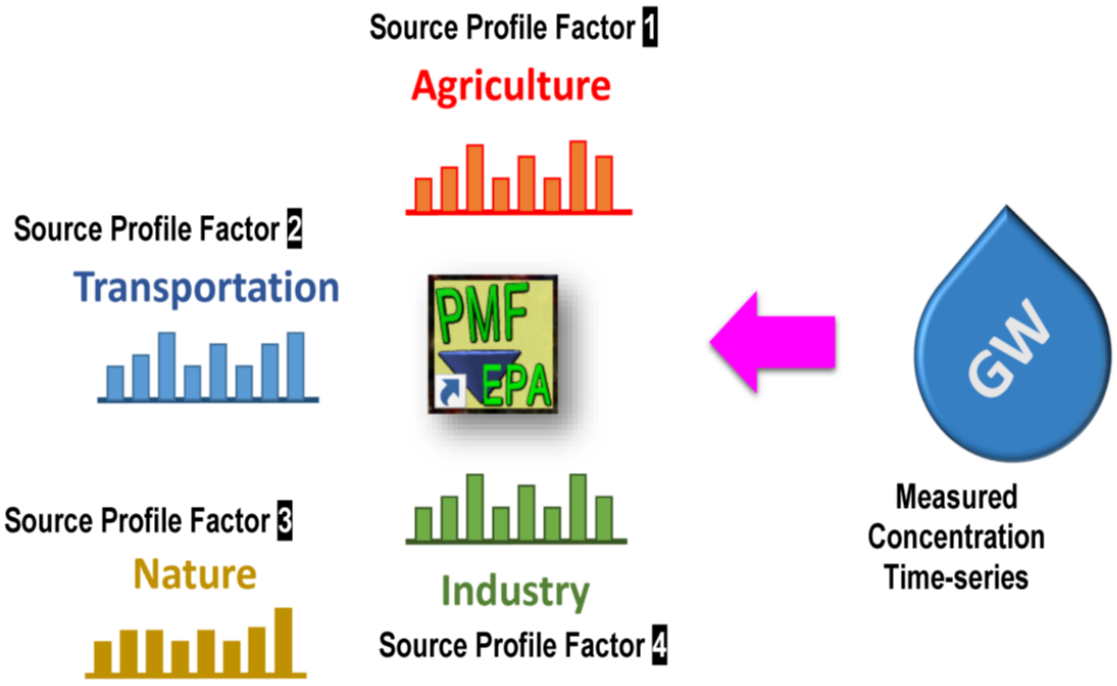
โดยที่ X = เมทริกซ์ข้อมูลปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำบาดาลที่ตรวจวัดได้ $[n \times m]$
ซึ่งประกอบด้วยจำนวน nตัวอย่าง และจำนวน mองค์ประกอบทางเคมี

G = เมทริกซ์ข้อมูลปริมาณขององค์ประกอบทางเคมี ณ แหล่งกำเนิด $[n \times p]$

F = เมทริกซ์ข้อมูลการจัดสรรปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีจากแหล่งกำเนิด $[p \times m]$

E = เมทริกซ์ค่าความคลาดเคลื่อน $[n \times m]$

p = จำนวนของแหล่งกำเนิดขององค์ประกอบทางเคมีในน้ำบาดาล



รูปที่ 3.4.2-1 รูปแบบการประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณจากการใช้แบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF)

แบบจำลอง PMF จะดำเนินการแยกตัวประกอบของเมทริกซ์ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่ตรวจวัดได้ $[X]$ ออกให้เป็นเมทริกซ์ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่แหล่งกำเนิด $[G]$ เมทริกซ์ข้อมูลการจัดสรรองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลจากแหล่งกำเนิด $[F]$ เมทริกซ์ค่าความคลาดเคลื่อน $[E]$ โดยการพยายามทำให้ค่าของสมการเป้าหมาย (Objective Function) ลดลงจนน้อยที่สุดบนพื้นฐานของความไม่แน่นอน (Uncertainties) ของข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่ตรวจวัดได้ เพื่อให้ได้รับผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด ซึ่งสมการเป้าหมายของแบบจำลอง PMF คือ สมการผลรวมค่ายกกำลังของสัดส่วนระหว่างแต่ละสมาชิกในเมทริกซ์ค่าความคลาดเคลื่อนและเมทริกซ์ความไม่แน่นอน แสดงได้ดังนี้

$$Q = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\frac{E_{ij}}{\sigma_{ij}}\right)^2 \qquad (3.4.2\text{-}2)$$

โดยที่ σ_{ij} = ค่าประมาณการของความไม่แน่นอน ของตัวอย่างที่ i และองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลตัวที่ j (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือ เมทริกซ์ความไม่แน่นอน)

3.4.3 ผลการการประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณโดยการใช้แบบจำลอง PMF

ข้อมูลปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่ตรวจวัดได้จำนวนรวมทั้งหมด 14 ชนิด มีธาตุโลหะ (Metals) จำนวน 5 ตัว ได้แก่ แคลเซียม (Calcium, Ca) แมกนีเซียม (Magnesium, Mg) โซเดียม (Sodium, Na) เหล็ก (Iron, Fe) แมงกานีส (Manganese, Mn) มีธาตุอาหาร (Nutrients) จำนวน 3 ตัว ได้แก่ โพแทสเซียม (Potassium, K) ซัลเฟต (Sulfate, SO_4) และไนเตรต (Nitrate, NO_3) ตลอดจนองค์ประกอบทางเคมีประเภทอื่นๆอีก 5 ตัว ได้แก่ คลอไรด์ (Chloride, Cl) ไบคาร์บอเนต (Bicarbonate, HCO_3) ฟลูออไรด์ (Fluoride, F) ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness, TH) และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS) อีกทั้งคุณสมบัติการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) โดยมีการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจำนวนทั้งหมด 405 ตัวอย่าง จากสถานีบ่อสังเกตการณ์จำนวน 88 สถานี ครอบคลุม 7 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดอุตรดิตถ์ สุโขทัย พิษณุโลก พิจิตร กำแพงเพชร นครสวรรค์ และจังหวัดเพชรบูรณ์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554–2559 ระยะเวลาทั้งหมด 6 ปี

เมื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติของข้อมูลปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่ตรวจวัดได้กับเกณฑ์อนุโลมสูงสุดของมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2551 และเกณฑ์อนุโลมสูงสุดขององค์การอนามัยโลก (ตารางที่ 3.4.3-1) พบว่าค่าเฉลี่ยของเหล็ก (Fe) อยู่ที่ 4.45 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าเฉลี่ยของแมงกานีส (Mn) อยู่ที่ 0.518 มิลลิกรัมต่อลิตร และทั้งสององค์ประกอบทางเคมีมีค่าเกินเกณฑ์อนุโลมสูงสุดของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและองค์การอนามัยโลก ในขณะที่ค่าสูงสุดของคลอไรด์ (Cl) อยู่ที่ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสูงสุดของฟลูออไรด์ (F) อยู่ที่ 5.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสูงสุดของความกระด้างทั้งหมด (TH) อยู่ที่ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าสูงสุดของของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) อยู่ที่ 3,830 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งสี่องค์ประกอบทางเคมี มีค่าเกินเกณฑ์อนุโลมสูงสุดของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและองค์การอนามัยโลก ส่วนค่าสูงสุดของซัลเฟตอยู่ที่ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเกินเกณฑ์อนุโลมสูงสุดตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2551

การเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลจาก 80 บ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 2.1.3-1) ในวันที่ 18–23 มิถุนายน 2561 และได้นำมาวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของโครเมียม (Cr), ทองแดง (Cu), เหล็ก (Fe), สังกะสี (Zn), แคดเมียม (Cd), ตะกั่ว (Pb), แอมโมเนียมไนโตรเจน (NH_4-N), และฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) มีค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่ามัธยฐาน (Median) ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 5 (5^{th} Percentile) ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 95 (95^{th} Percentile) และค่าผิดปกติ (Outlier) แสดงในรูปที่ 3.4.3-1 ส่วนปริมาณความเข้มข้นของ Cd และ Pb นั้นตรวจไม่พบที่ค่า Detection Limit เท่ากับ 0.0004 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ปริมาณความเข้มข้นของ Cu, Fe, และ Zn มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์อนุโลมสูงสุดตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2551 (1.50, 1.00, และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ)

ค่าเฉลี่ยของสัดส่วน Mg/Ca (หน่วยเป็น มิลลิอิควิวาเลนท์ต่อลิตร, meq/L) อยู่ที่ 0.829 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของสัดส่วนสูงสุดเท่ากับ 8.08 ในปี พ.ศ. 2559 ณ สถานี NT106/2 ตำบลท่าฉนวน อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย มีความลึกเจาะ 68 เมตร ชั้นน้ำบาดาลระดับชั้นทราย และค่าเฉลี่ยของสัดส่วนต่ำสุดเท่ากับ 0.00388 ในปี พ.ศ. 2559 ณ สถานี NT135 ตำบลเขาทราย อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร มีความลึกเจาะ 44 เมตร ชั้นน้ำบาดาลระดับหินไรโอไลท์/หินแอนดีไซต์ (Rhyolite/Andesite) โดยค่าสัดส่วน Mg/Ca ที่พบส่วนใหญ่จะเพิ่มขึ้นในน้ำบาดาลที่มีระดับลึกลงไป ค่าสัดส่วน Mg/Ca ยังสามารถแสดงถึงวิวัฒนาการของของไหล (Evolution of Fluid) ค่าสัดส่วน Mg/Ca ที่มากเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหิน (Water–rock Interaction) หรือปฏิกิริยาการละลายของแร่ธาตุ (Mineral-solution Reaction) ที่มีสูงมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสภาวะการไหลแบบแพร่กระจายในสภาพความซึมน้ำต่ำ (Low-permeability Diffuse) และระยะเวลาพำนัก (Residence Time) ที่ยาวนานขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งในช่วงเวลาของการเติมน้ำโดยน้ำฝน (Rainfall–Recharge) ที่มีอัตราสูงจะเกิดจากสภาวะการไหลแบบเป็นช่องลงมาในสภาพความซึมน้ำสูง (High-permeability Conduit Flow) ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหินจะมีน้อยลง และระยะเวลาพำนักจะสั้นลง

ผลการวิเคราะห์จากการใช้โปรแกรม EPA PMF 5.0 (n = 405 และ m = 12) โดยการกำหนดให้ดำเนินการจำนวน 100 ครั้ง แหล่งกำเนิด (Factors) มีจำนวน 2 แหล่ง และใช้ Base Run (ตารางที่ 3.4.3-2, รูปที่ 3.4.3-1, และรูปที่ 3.4.3-2) แสดงถึงแหล่งกำเนิดแรก คือ การละลายของแร่ธาตุจำพวกฟลูออไรด์ (F) โดยมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นน้ำเสียชุมชน (Sewage) รวมอยู่ด้วย มีค่าสัดส่วนร้อยละของไหลประมาณการเท่ากับ 45 และแหล่งกำเนิดที่สอง คือ การผุพังสลายตัวของชั้นหิน (Bedrock Weathering) / ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหิน (Water–rock Interaction) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) โดยมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นสารเคมีการเกษตร (Agricultural Pollution) รวมอยู่ด้วย มีค่าสัดส่วนร้อยละของไหลประมาณการเท่ากับ 55 ทั้งนี้แหล่งกำเนิดแรกจะให้ค่าร้อยละการจัดสรรของ โซเดียม (Na) คลอไรด์ (Cl) และไบคาร์บอเนต (HCO_3) ในปริมาณที่มากกว่า ส่วนแหล่งกำเนิดที่สองจะให้ค่าร้อยละการจัดสรรของแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ซัลเฟต (SO_4) ไนเตรต (NO_3) และความกระด้างทั้งหมด (TH) ในปริมาณที่มากกว่า ในกรณีเดียวกันนี้เมื่อสภาพแวดล้อมมีปริมาณไนเตรต (NO_3) อยู่มากจะส่งผลให้เกิดการละลายของแร่ธาตุทำให้ปริมาณเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) มีเพิ่มมากขึ้น

ผลการวิเคราะห์จากการใช้โปรแกรม EPA PMF 5.0 (n = 405 และ m = 12) โดยการกำหนดให้ดำเนินการจำนวน 100 ครั้ง แหล่งกำเนิด (Factors) มีจำนวน 3 แหล่ง และใช้ Base Run (ตารางที่ 3.4.3-2 รูปที่ 3.4.3-3 รูปที่ 3.4.3-4 และรูปที่ 3.4.3-5) แสดงถึงแหล่งกำเนิดแรก คือ การผุพังสลายตัวของชั้นหิน (Bedrock Weathering) / ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหิน (Water–rock Interaction) มีค่าสัดส่วนร้อยละของไหลประมาณการเท่ากับ 31 แหล่งกำเนิดที่สอง คือ การละลายของแร่ธาตุจำพวกฟลูออไรด์ (F) โดยมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นน้ำเสียชุมชน (Sewage) รวมอยู่ด้วย มีค่าสัดส่วนร้อยละของไหลประมาณการเท่ากับ 30 และแหล่งกำเนิดที่สาม คือ การละลายของแร่ธาตุจำพวกเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)

โดยมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นสารเคมีการเกษตร (Agricultural Pollution) รวมอยู่ด้วย มีค่าสัดส่วนร้อยละของไหลประมาณการเท่ากับ 39 ทั้งนี้แหล่งกำเนิดแรกจะให้ค่าร้อยละการจัดสรรของแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) แมงกานีส (Mn) ซัลเฟต (SO_4) ไนเตรต (NO_3) และความกระด้างทั้งหมด (TH) ในปริมาณที่มากกว่า แหล่งกำเนิดที่สองจะให้ค่าร้อยละการจัดสรรของคลอไรด์ (Cl) ในปริมาณที่มากกว่า ส่วนแหล่งกำเนิดที่สามจะให้ค่าร้อยละการจัดสรรของโซเดียม (Na) เหล็ก (Fe) ไบคาร์บอเนต (HCO_3) และฟลูออไรด์ (F) ในปริมาณที่มากกว่า

การประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณโดยการใช้แบบจำลอง PMF ซึ่งถือเป็นแบบจำลองทางสถิติประเภทที่เกี่ยวข้องกับหลายค่าตัวแปร (Multivariate Models) ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ผลที่ดีที่สุด (Optimization) โดยใช้สมการเป้าหมาย (Objective Function) จึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หาคุณสมบัติอุทกธรณีเคมี (Hydrogeochemical Characteristics) ในตัวอย่างของน้ำบาดาลที่ตรวจวัดได้เพื่อประกอบการพิจารณาประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดำเนินการเสริมโดยใช้แผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram) ที่สามารถวิเคราะห์หาคุณสมบัติอุทกธรณีเคมี (เช่น ไอออนขององค์ประกอบทางเคมี) ได้โดยตรง ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติอุทกธรณีเคมี (Hydrogeochemical Characteristics) ของตัวอย่างน้ำบาดาลจำนวน 405 ตัวอย่าง โดยใช้แผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram) แสดงได้ดังรูปที่ 3.4.3-6 โดยการแยกเป็น 5 ประเภทตามระดับชั้นน้ำบาดาล ได้แก่

(1) เจ้าพระยาตอนล่างตะกอนชั้นที่ 2 (LCP–S2)
(2) เจ้าพระยาตอนบนหินแข็ง <100m (NCP–HS100)
(3) เจ้าพระยาตอนบนตะกอนชั้นที่ 1 (NCP–S1)
(4) เจ้าพระยาตอนบนตะกอนชั้นที่ 2 (NCP–S2)
(5) เจ้าพระยาตอนบนตะกอนชั้นที่ 3 (NCP-S3)

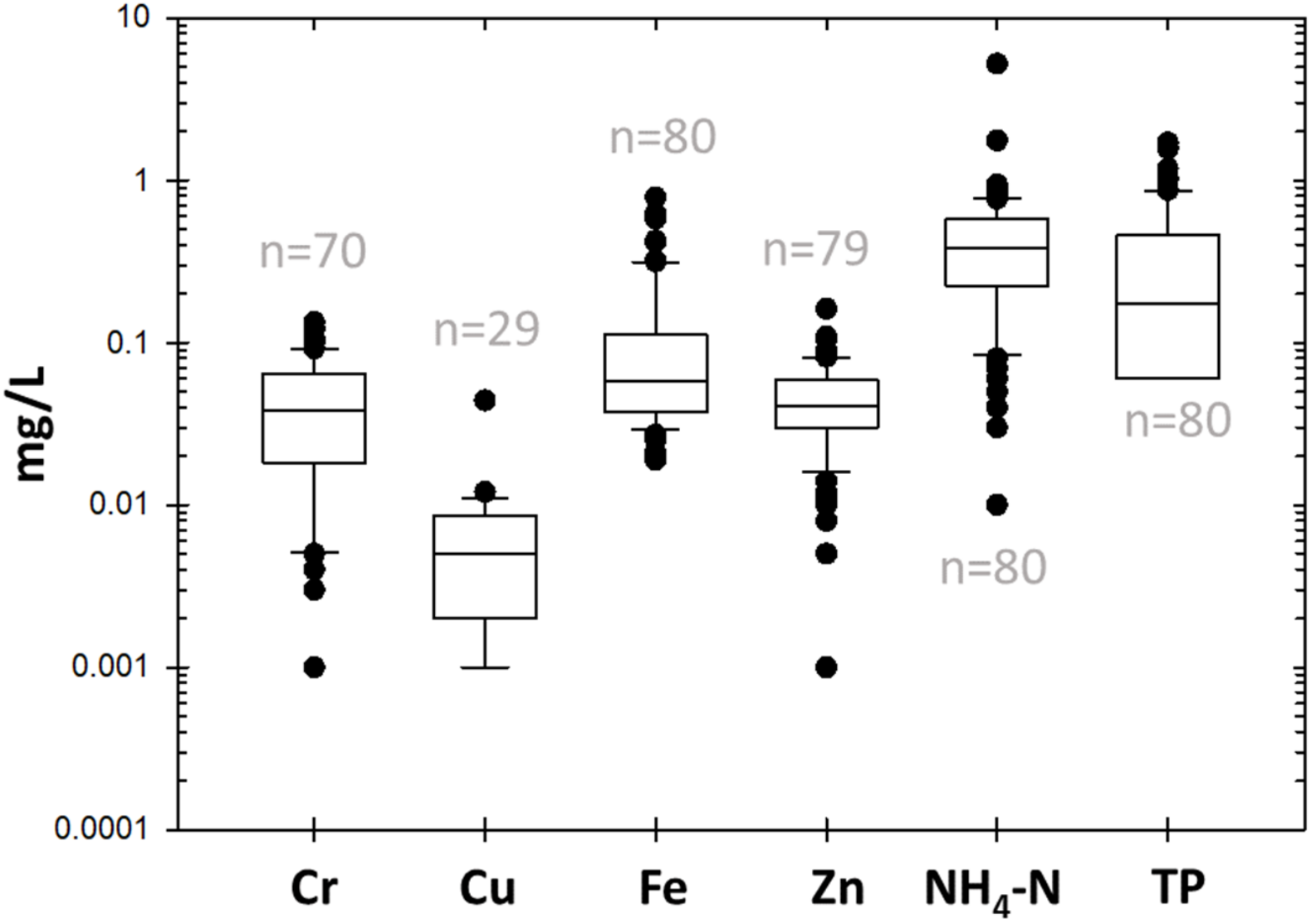
สามารถจัดประเภทน้ำบาดาล (ตารางที่ 3.4.3-3) ได้ดังต่อไปนี้

(1) G1: แคลเซียม–แมกนีเซียม–ไบคาร์บอเนต–ซัลเฟต พบในน้ำบาดาลเกิดใหม่ (Fresh Formation Waters) บริเวณพื้นที่เติมน้ำ (Recharge Area) น้ำบาดาลชนิดนี้เป็นน้ำกระด้างซึ่งเป็นผลกระทบมาจากปริมาณแมกนีเซียม ซัลเฟต และคลอไรด์
(2) G2: โซเดียม–คลอไรด์–ไบคาร์บอเนต พบในน้ำบาดาลที่ไหลมาจากบริเวณพื้นที่เติมน้ำ ถือเป็นน้ำที่มีการเปลี่ยนสภาวะ (Transitional Waters) หมายถึงการวิวัฒนาการของน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาทางธรณีเคมี (Geochemical Reactions) กับตะกอนของชั้นน้ำบาดาล (Aquifer Sediments) หรือการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติธรณีเคมีของน้ำจากการผสมกับน้ำอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติธรณีเคมีต่างกันออกไป น้ำบาดาลชนิดนี้เป็นน้ำด่างและอาจมีการไหลโดยนำความเค็มมาด้วย ซึ่งเป็นไปได้ทั้งทางธรรมชาติและการปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากน้ำเสียชุมชน

(3) G3: โพแทสเซียม–ไนเตรต–ซัลเฟต พบในน้ำบาดาลที่ไหลมาจากบริเวณพื้นที่เติมน้ำ ถือเป็นน้ำที่มีการเปลี่ยนสภาวะ (Transitional Waters) หมายถึง การวิวัฒนาการของน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาทางธรณีเคมี (Geochemical Reactions) กับตะกอนของชั้นน้ำบาดาล (Aquifer Sediments) หรือการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติธรณีเคมีของน้ำจากการผสมกับน้ำอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติธรณีเคมีต่างกันออกไป น้ำบาดาลชนิดนี้เป็นน้ำผสมเกิดขึ้นโดยธรรมชาติจากการละลายของแร่ธาตุจำพวกเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) และการปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากสารเคมีการเกษตร (Agricultural Pollution)

ตารางที่ 3.4.3-1 ค่าทางสถิติของข้อมูลตัวอย่างองค์ประกอบทางเคมี 14 ชนิดตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554–2559 ในบ่อสังเกตการณ์ของพื้นที่ศึกษา และเกณฑ์อนุโลมสูงสุดตามมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค

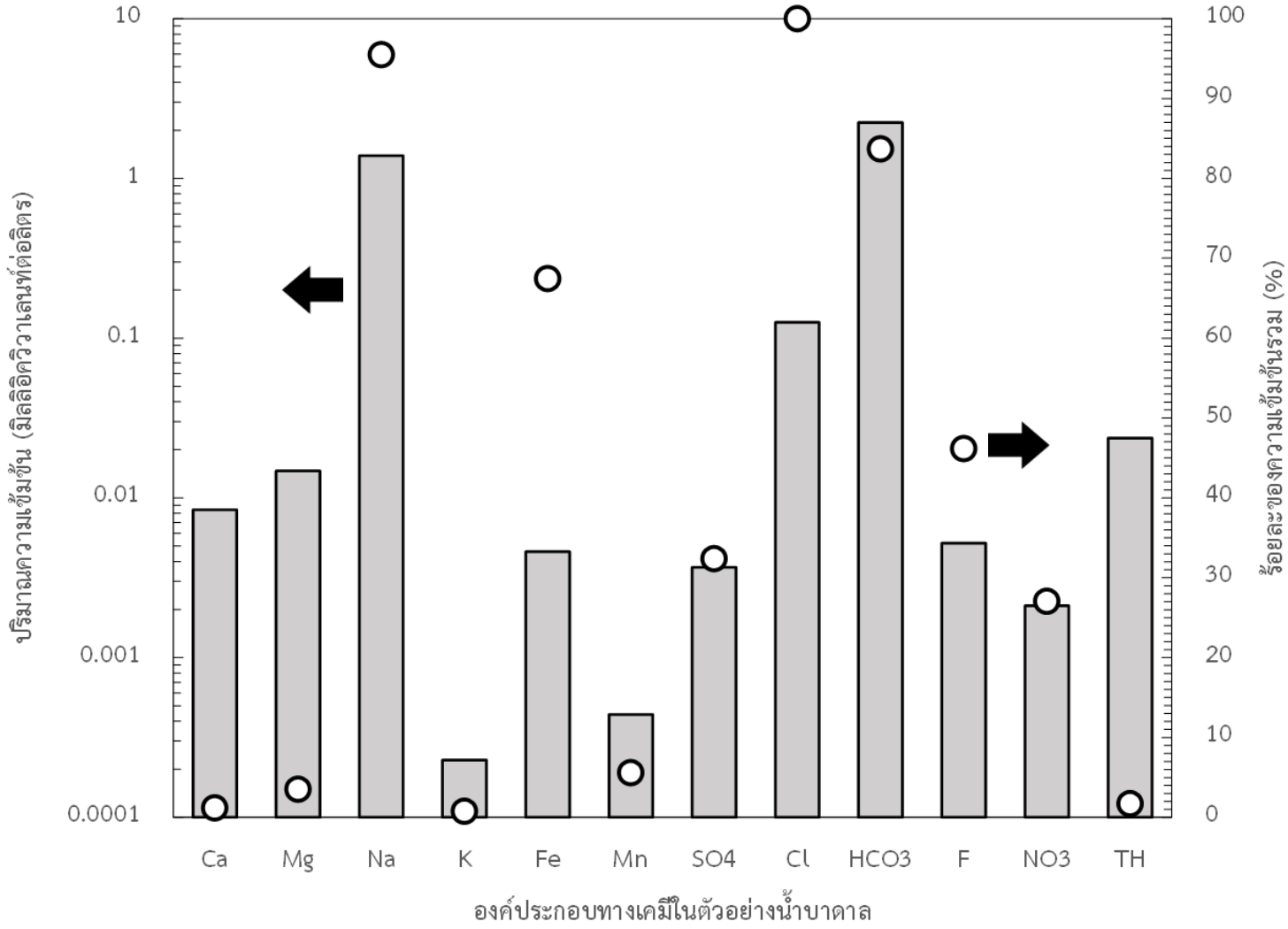
มลพิษ	หน่วย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่ามัธยฐาน	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย	เกณฑ์อนุโลมสูงสุดตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมพ.ศ. 2551	เกณฑ์อนุโลมสูงสุดขององค์การอนามัยโลก
การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC)	โมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (µS/cm)	45.0	5,890	488	322	24.3	–	–
แคลเซียม (Calcium, Ca)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	1.00	210	25.6	21.0	1.16	–	–
แมกนีเซียม (Magnesium, Mg)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	0.100	90.0	9.20	7.00	0.433	–	–
โซเดียม (Sodium, Na)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	2.00	950	67.2	37.0	4.36	–	200
โพแทสเซียม (Potassium, K)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	0.200	15.0	2.41	1.80	0.106	–	–
เหล็ก (Iron, Fe)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	0.100	130	4.45	0.700	0.637	1.00	0.300
แมงกานีส (Manganese, Mn)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	0.100	5.60	0.518	0.400	0.0254	0.500	0.100
ซัลเฟต (Sulfate, SO_4)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	0.500	300	11.2	1.00	1.67	250	500
คลอไรด์ (Chloride, Cl)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	0.750	2,000	49.1	8.00	7.69	600	250
ไบคาร์บอเนต (Bicarbonate, HCO_3)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	0.200	947	203	162	7.58	–	–
ฟลูออไรด์ (Fluoride, F)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	0.100	5.60	0.399	0.200	0.0225	1.00	1.50
ไนเตรต (Nitrate, NO_3)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	0.390	36.0	2.24	0.450	0.197	45.0	50.0
ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness, TH)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	2.50	800	101	81.0	4.02	500	500
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	29.0	3,830	318	209	15.8	1,200	1,000



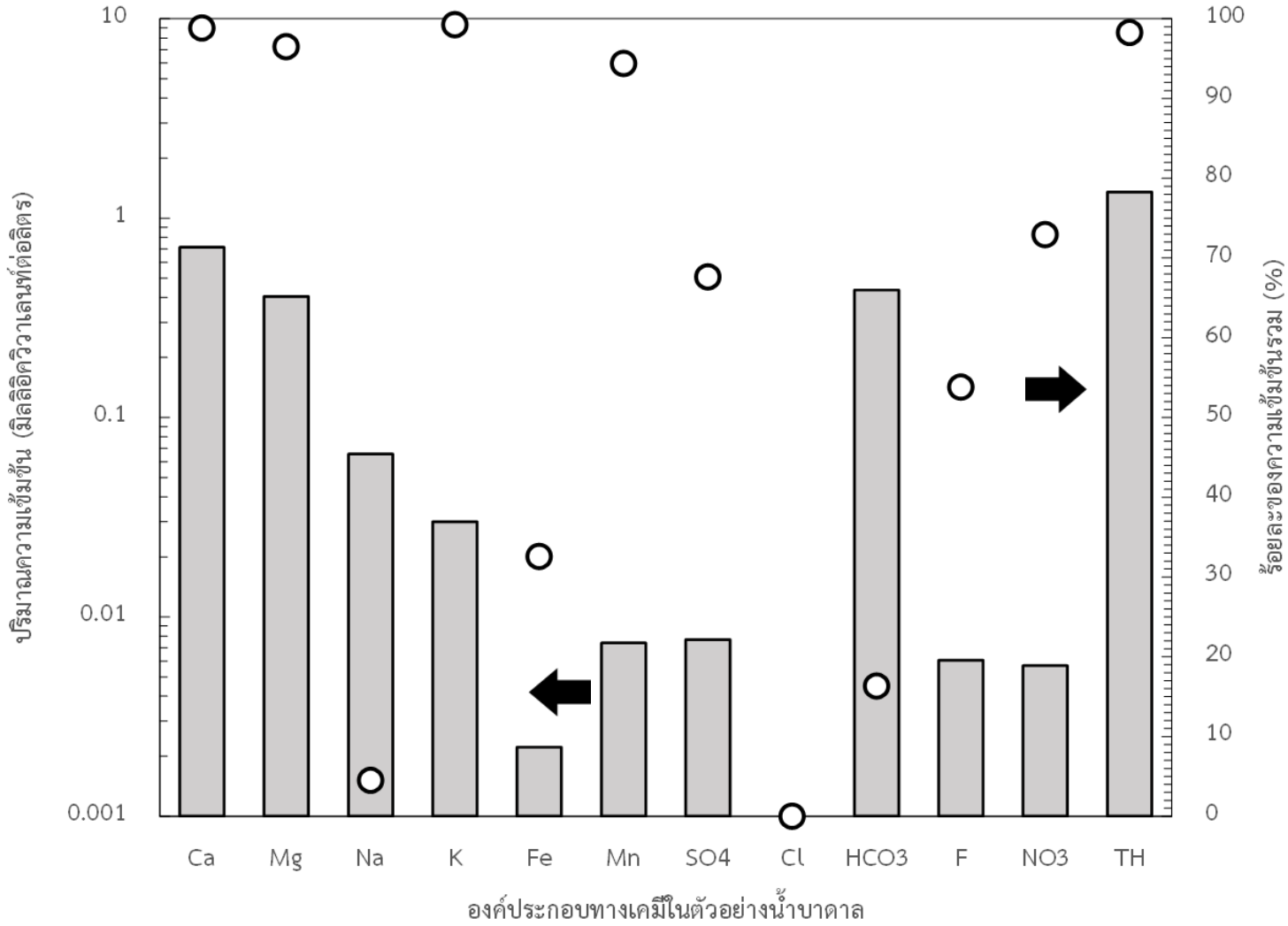
รูปที่ 3.4.3-1 Box Plots ของค่าความเข้มข้น (mg/L) ของ Cr, Cu, Fe, Zn, NH_4-N, และ TP ที่ตรวจวัดได้จาก 80 บ่อสังเกตการณ์

ตารางที่ 3.4.3-2 ปริมาณร้อยละการจัดสรรขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลจาก 2 และ 3 แหล่งกำเนิดที่ได้รับจากโปรแกรม EPA PMF 5.0

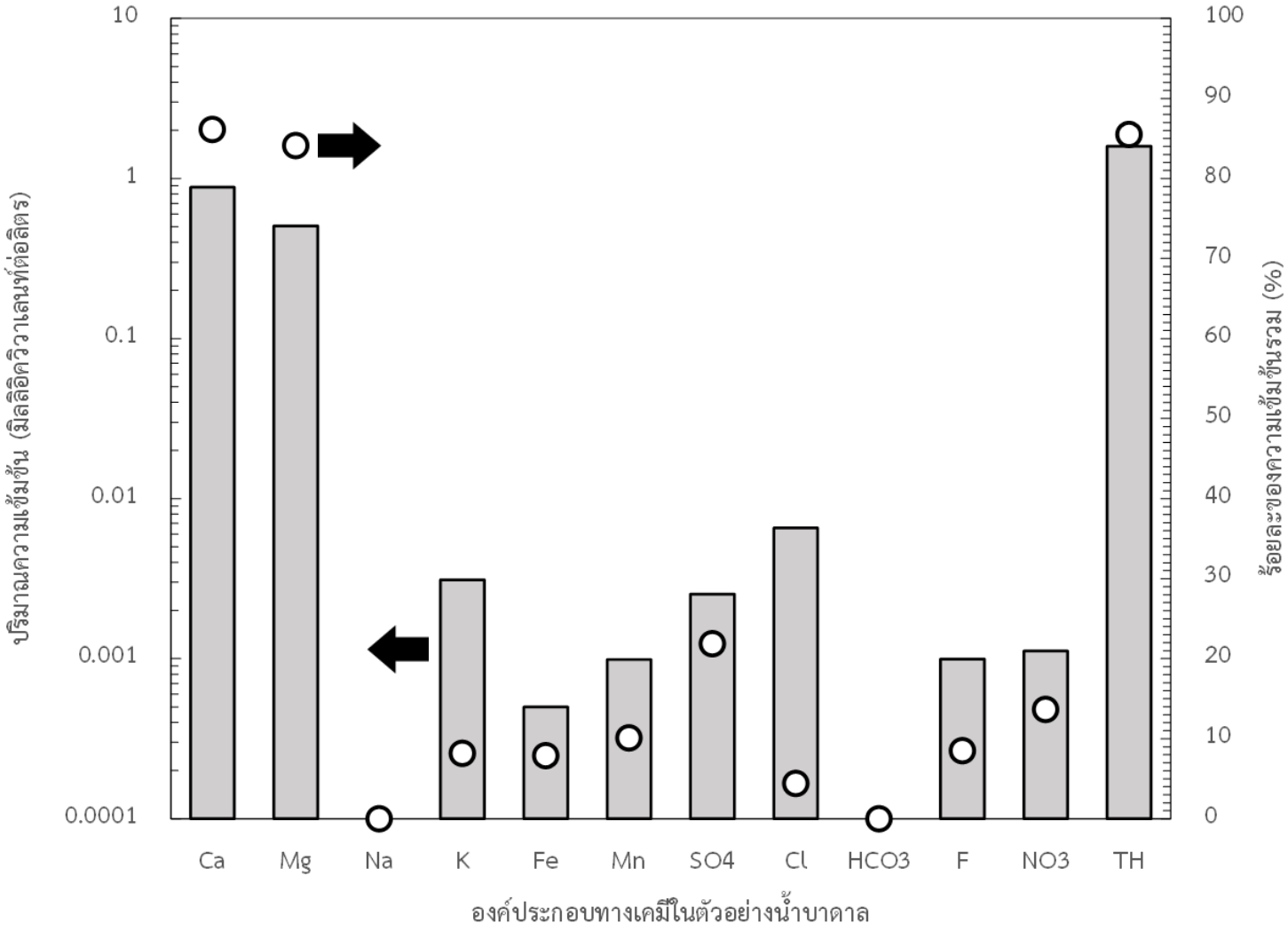
องค์ประกอบทางเคมีในน้ำบาดาล	**ร้อยละการจัดสรรจาก 2 แหล่งกำเนิด**		**ร้อยละการจัดสรรจาก 3 แหล่งกำเนิด**		
	น้ำเสียชุมชน (Sewage) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกฟลูออไรด์ (F)	สารเคมีการเกษตร (Agricultural Pollution) / การผุพังสลายตัวของชั้นหิน (Bedrock Weathering) / ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหิน (Water–rock Interaction) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)	การผุพังสลายตัวของชั้นหิน (Bedrock Weathering) / ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหิน (Water–rock Interaction)	น้ำเสียชุมชน (Sewage) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกฟลูออไรด์ (F)	สารเคมีการเกษตร (Agricultural Pollution) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)
Ca	1	99	86	0	14
Mg	4	96	84	7	8
Na	95	5	0	88	12
K	1	99	8	0	92
Fe	67	33	8	54	38
Mn	6	94	10	2	87
SO_4	32	68	22	21	57
Cl	100	0	4	96	0
HCO_3	84	16	0	81	19
F	46	54	9	38	53
NO_3	27	73	14	18	68
TH	2	98	85	2	13
สัดส่วนร้อยละของไหลประมาณการ	45	55	31	30	39



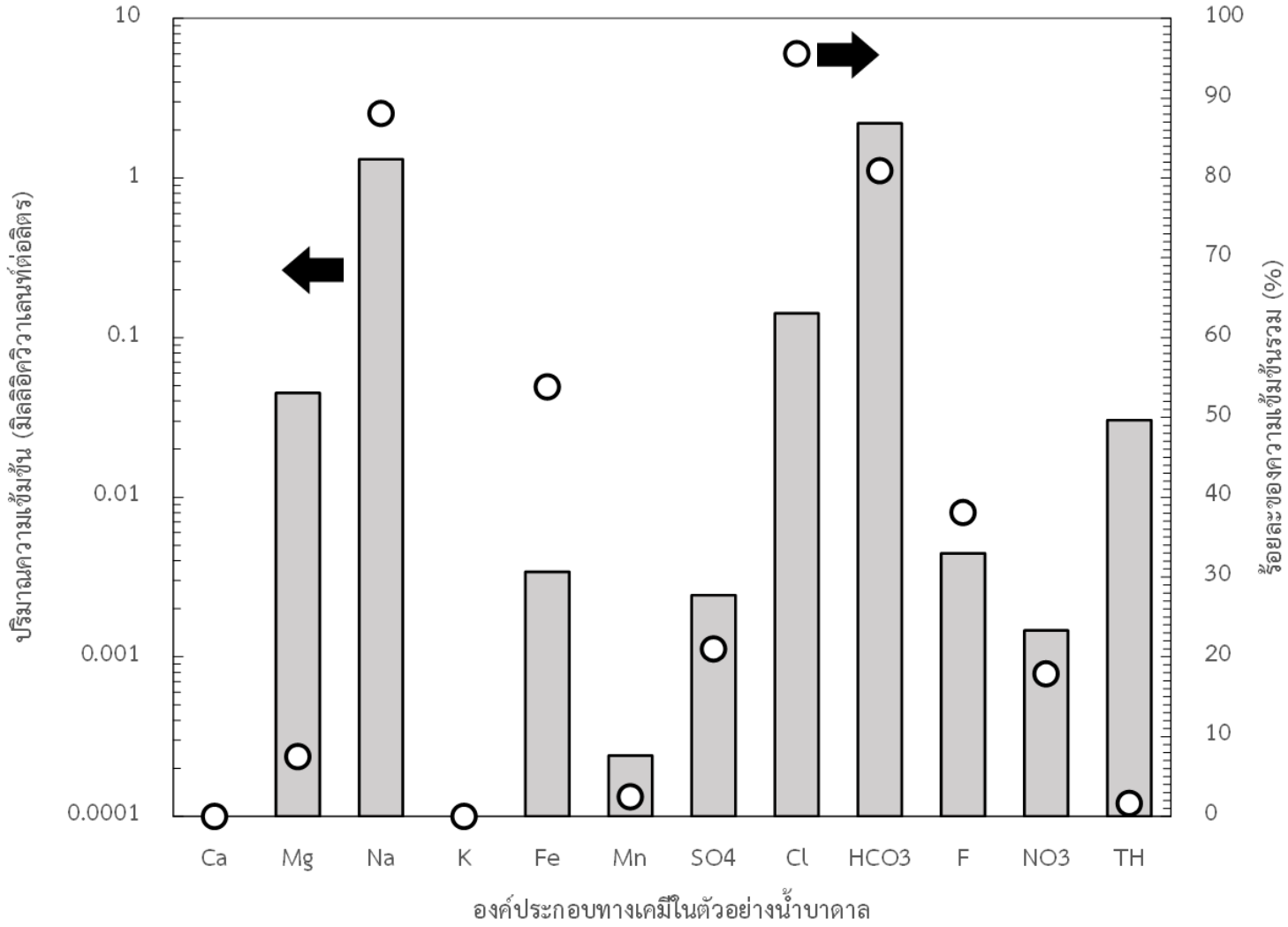
รูปที่ 3.4.3-2 ปริมาณและการจัดสรรขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่ได้จากแหล่งกำเนิดที่ 1 น้ำเสียชุมชน (Sewage) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกฟลูออไรด์ (F)



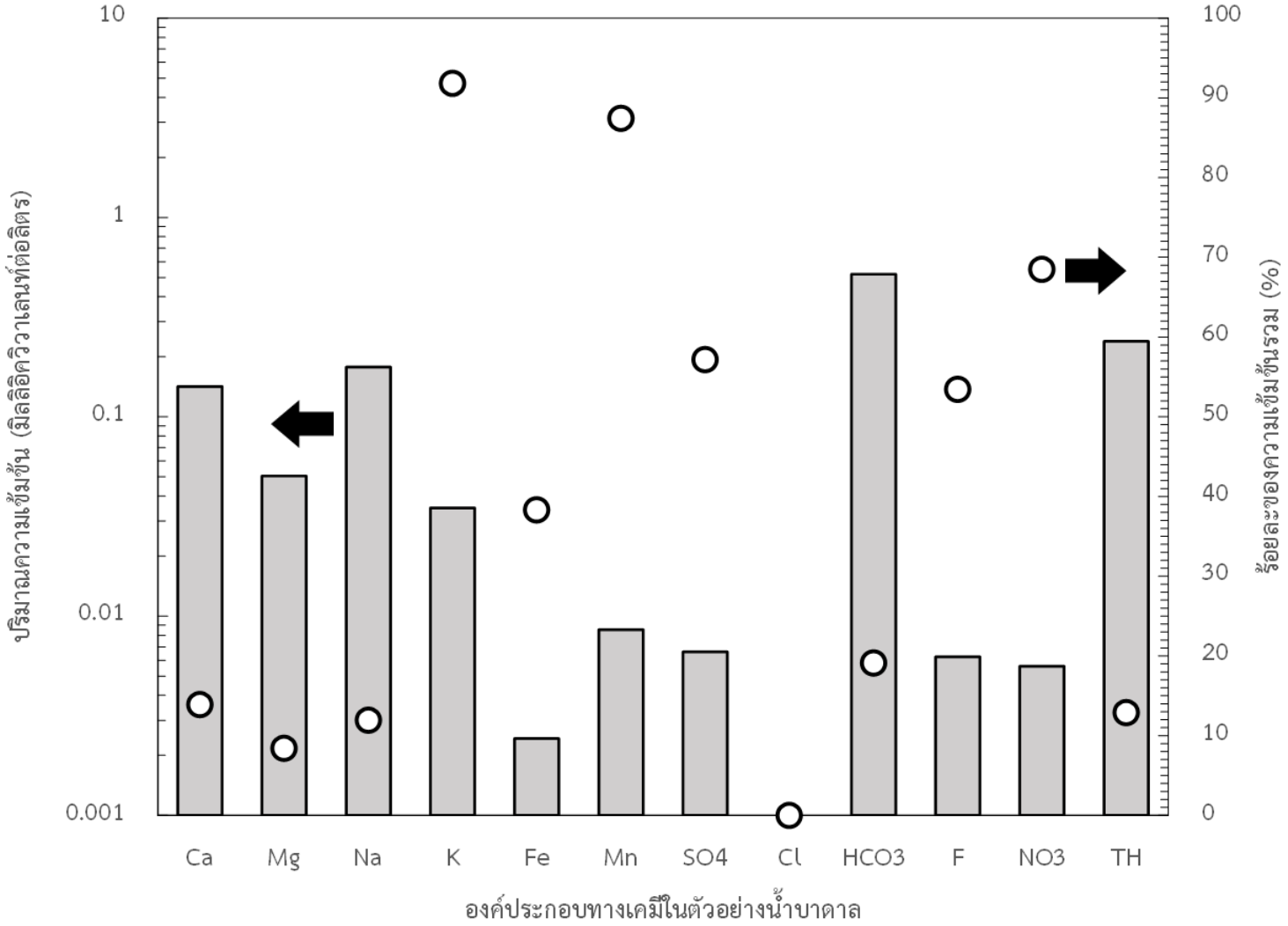
รูปที่ 3.4.3-3 ปริมาณและการจัดสรรปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่ได้จากแหล่งกำเนิดที่ 2 สารเคมีการเกษตร (Agricultural Pollution) / การผุพังสลายตัวของชั้นหิน (Bedrock Weathering) / ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหิน (Water–rock Interaction) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)



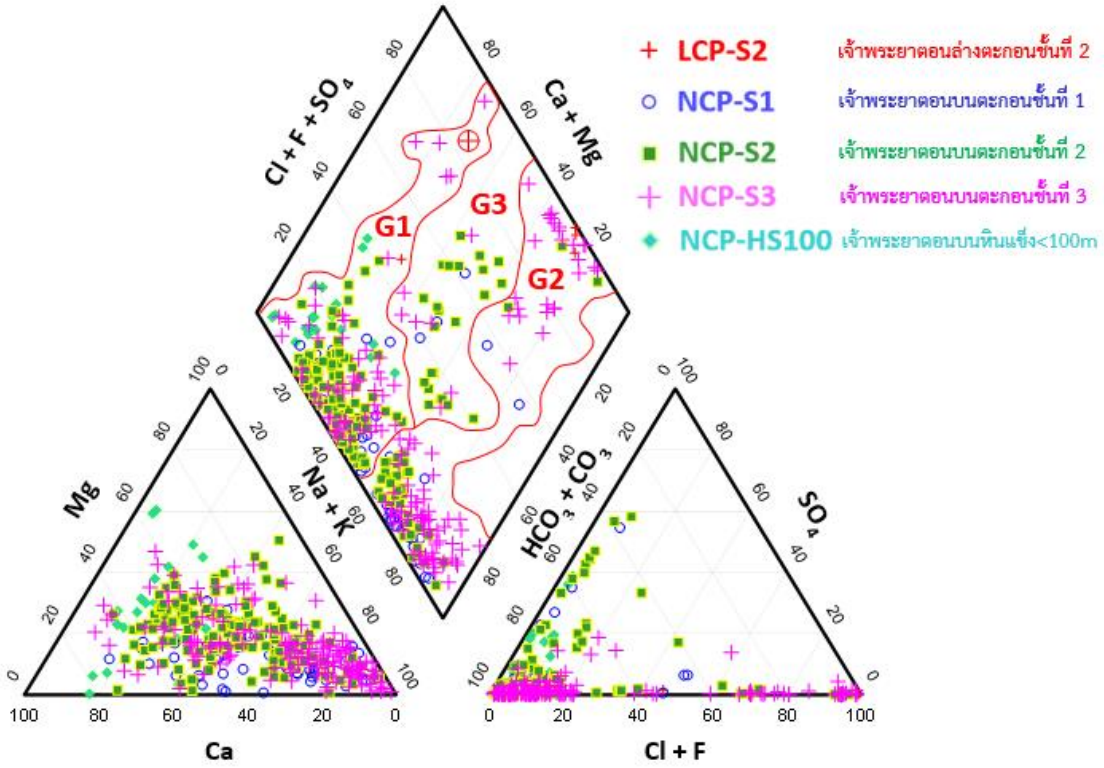
รูปที่ 3.4.3 4 ปริมาณและการจัดสรรขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่ได้จากแหล่งกำเนิดที่ 1 การผุพังสลายตัวของชั้นหิน (Bedrock Weathering) / ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหิน (Water–rock Interaction)



รูปที่ 3.4.3-5 ปริมาณและการจัดสรรขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่ได้จากแหล่งกำเนิดที่ 2 น้ำเสียชุมชน (Sewage) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกฟลูออไรด์ (F)



รูปที่ 3.4.3-6 ปริมาณและการจัดสรรขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำบาดาลที่ได้จากแหล่งกำเนิดที่ 3 สารเคมีการเกษตร (Agricultural Pollution) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)



รูปที่ 3.4.3-7 แผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram) จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำบาดาลแสดงความแตกต่างขององค์ประกอบไอออนหลัก

ตารางที่ 3.4.3-3 การแจกแจงกลุ่มของน้ำบาดาลหรือชนิดน้ำบาดาลจากแผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram) โดยเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดขององค์ประกอบทางเคมีจากแบบจำลอง PMF

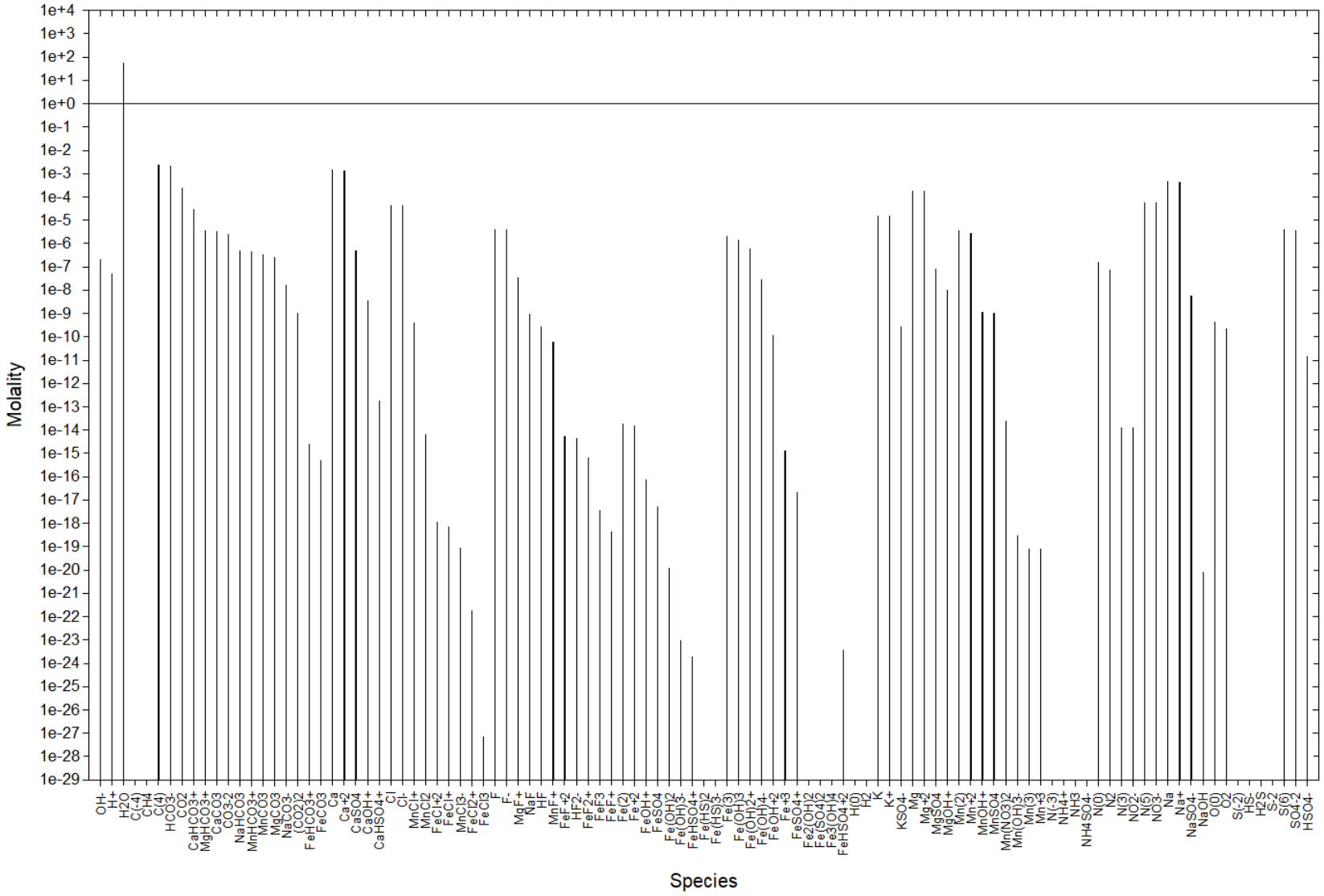
ชนิดน้ำบาดาล (แผนภูมิไปเปอร์)			แหล่งกำเนิด (PMF)
G1	แคลเซียม–แมกนีเซียม–ไบคาร์บอเนต–ซัลเฟต	Ca–Mg–SO_4	การผุพังสลายตัวของชั้นหิน (Bedrock Weathering) / ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหิน (Water–rock Interaction)
G2	โซเดียม–คลอไรด์–ไบคาร์บอเนต	Na–Cl–HCO_3	น้ำเสียชุมชน (Sewage) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกฟลูออไรด์ (F)
G3	โพแทสเซียม–ไนเตรต–ซัลเฟต	K–NO_3–SO_4	สารเคมีการเกษตร (Agricultural Pollution) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)

การวิเคราะห์ธรณีเคมี (Geochemical Simulation) จากการผสมกันของสารละลาย (Solution Mixing) โดยใช้โปรแกรม Phreeqc Interactive 3.4.0 ซึ่งตัวโปรแกรมนี้สามารถดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ของสำนักงานสำรวจธรณีวิทยาของสหรัฐอเมริกา (US Geological Survey) และนำมาใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย ทั้งนี้การวิเคราะห์ธรณีเคมี (Geochemical Simulation) โดยการจำลองการผสมกันขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำจากแหล่งกำเนิดขององค์ประกอบทางเคมีที่ได้รับจากแบบจำลอง PMF และแผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram) ทั้งนี้จะใช้ชุดโปรไฟล์ความเข้มข้นของทั้งสามแหล่งกำเนิดมาวิเคราะห์การผสมกันในโปรแกรม Phreeqc ดังตารางที่ 3.4.3-4

ตารางที่ 3.4.3-4 ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมี (หน่วย: mg/L) จาก 3 แหล่งกำเนิดของ PMF

ลำดับ	องค์ประกอบทางเคมี	แหล่งกำเนิดที่ 1 G1 (mg/L)	แหล่งกำเนิดที่ 2 G2 (mg/L)	แหล่งกำเนิดที่ 3 G3 (mg/L)
1	Ca	35.3	0	5.69
2	Mg	12.3	1.09	1.23
3	Na	0	30.1	4.08
4	K	0.122	0	1.36
5	Fe	0.0279	0.191	0.136
6	Mn	0.0543	0.0132	0.470
7	SO_4	0.243	0.233	0.636
8	Cl	0.233	5.04	0
9	F	0.0189	0.0846	0.119
10	NO_3–N	0.307	0.401	1.54

ผลการจำลองการผสมกันขององค์ประกอบทางเคมีของน้ำจาก 3 แหล่งกำเนิด โดยใช้โปรแกรม Phreeqc มีความสอดคล้องกันกับผลการจำแนกคุณลักษณะทางเคมีของตัวอย่างน้ำบาดาลทั้ง 405 ตัวอย่างโดยใช้แผนภูมิเชิงเส้นแกนสามเหลี่ยม (Trilinear Diagram) หรือแผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram) องค์ประกอบทางเคมีของน้ำที่ผสมกัน (รูปที่ 3.4.3-8) ที่มีปริมาณมากโดดเด่น ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม ไบคาร์บอเนต แคลเซียมไบคาร์บอเนต แมกนีเซียมไบคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต แคลเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนต แคลเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต โซเดียมซัลเฟต โพแทสเซียมซัลเฟต คลอไรด์ และฟลูโอไรด์ โดยสามารถเปรียบเทียบกับผลที่แสดงในตารางที่ 3.4.3-3 ได้ ในขณะเดียวกันผลที่ได้จากการจำลองการผสมของน้ำยังได้แสดงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีตัวอื่นๆ ที่มีปริมาณโดดเด่น ได้แก่ แมงกานีส แมงกานีสคาร์บอเนต แมงกานีสไบคาร์บอเนต และแมงกานีสซัลเฟต

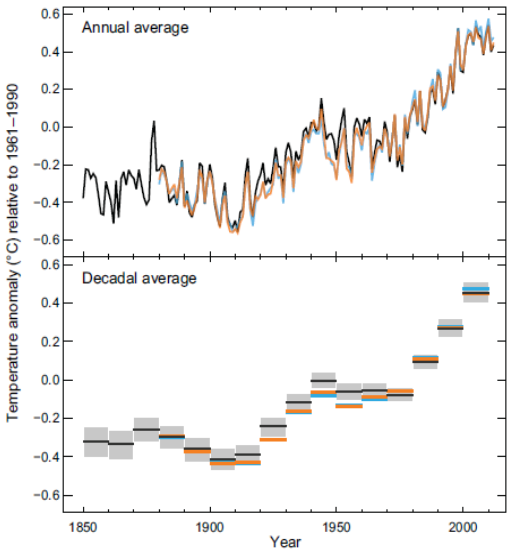


รูปที่ 3.4.3-8 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำบาดาล (หน่วย: Molality) จากการจำลองการผสมของสารละลายจาก 3 แหล่งกำเนิด

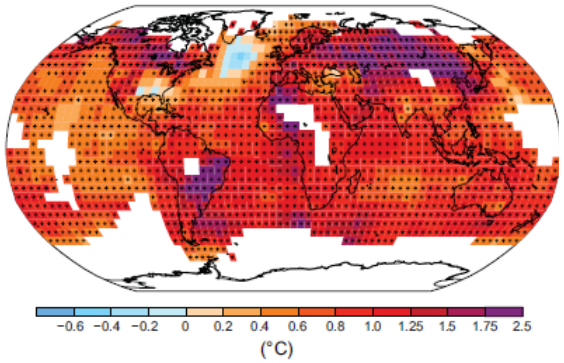
3.5 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

3.5.1 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภาพฉายของสภาพภูมิอากาศโลก

เป็นที่ประจักษ์ในทางวิทยาศาสตร์ (Scientific consensus) ว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกนั้นเป็นเรื่องจริง ตัวอย่างที่เด่นชัด คือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนรวมถึงการเกิดขึ้นของวิกฤติสภาพภูมิอากาศที่รุนแรง (Extreme climate events) เช่น ภัยแล้งและน้ำท่วม ทั้งในด้านความถี่และขนาดความรุนแรงที่สูงขึ้น เหตุการณ์ข้างต้นล้วนแล้วแต่เป็นผลกระทบด้านลบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์สถิติข้อมูลและการสังเกตการณ์ (IPCC, 2013) รูปที่ 3.5.1-1 แสดงข้อมูลการตรวจวัดของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจากค่าเฉลี่ยหรือ Anomaly โดยเป็นค่าเฉลี่ยจากทั่วโลก จากรูปพบว่า แนวโน้มโดยทั่วไปอุณหภูมิโลกมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ นั้นคือการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะเป็นพลวัต (Dynamics) และเป็นวัฏจักร (Cycle)



a) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโลกเฉลี่ย (Anomaly) ในช่วงปี ค.ศ. 1850-2012



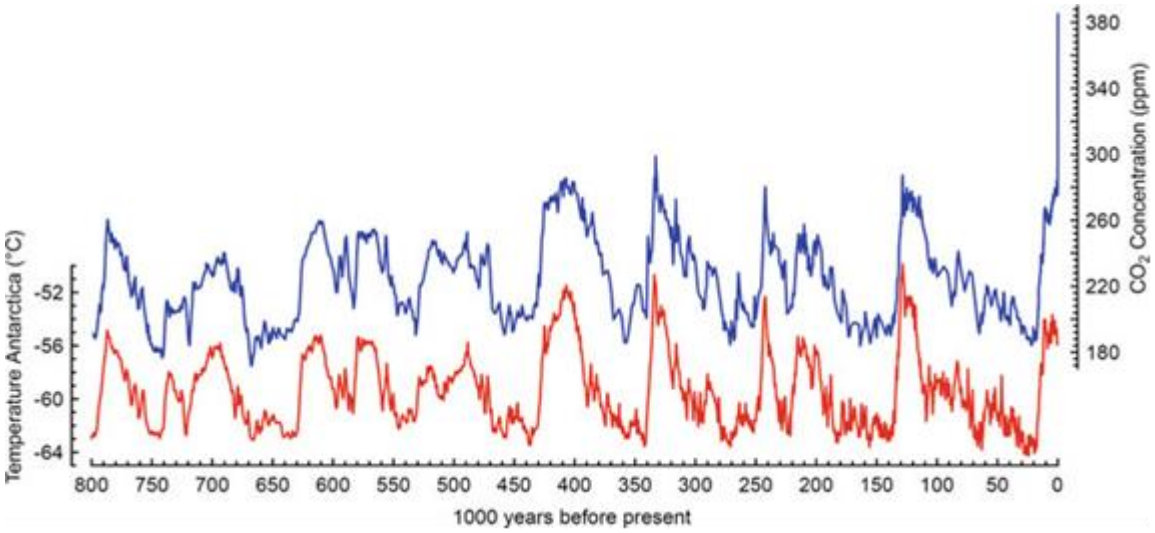
b) การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิพื้นผิวโลกในช่วงปี ค.ศ.1901-2012

รูปที่ 3.5.1-1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโลก (IPCC, 2013)

อย่างไรก็ตามในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เริ่มมีการปฏิวัติอุตสาหกรรมประมาณปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมา อุณหภูมิของโลกมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและเด่นชัด อีกทั้งเป็นที่ผิดสังเกตว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นผิดแปลกไปจากสภาพธรรมชาติ (สูงหรือต่ำกว่าค่าที่มีการบันทึกหรือสังเคราะห์ได้) ด้วยเหตุนี้เอง IPCC หรือ Intergovernmental Panel on Climate Change จึงได้กำหนดนิยามของการเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเวลาประมาณ 7 ทศวรรษ

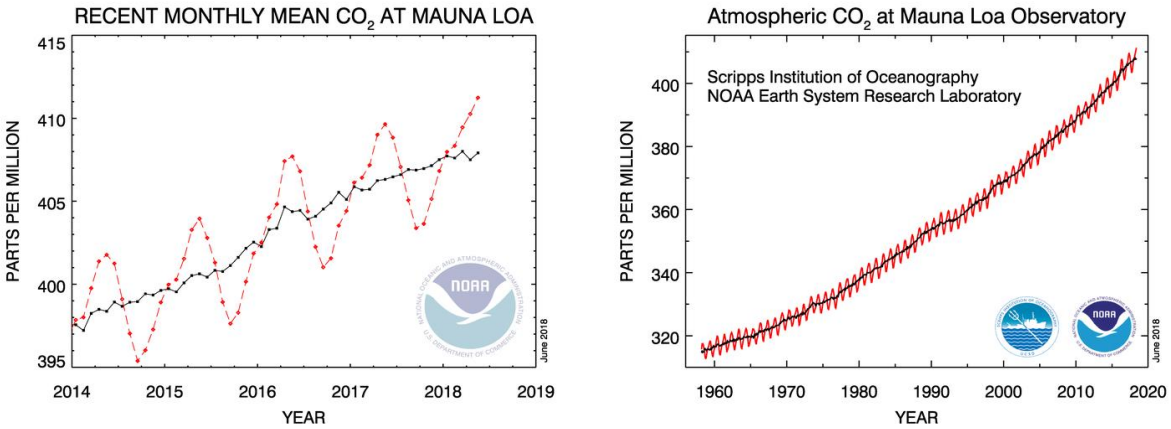
หลังสุดนี้ว่าเกิดการกิจกรรมของมนุษย์ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปทางในวิชาการว่า Anthropogenic Climate Change (การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของมนุษย์)

การเพิ่มขึ้นของประชากรโลก ความต้องการอาหารที่มากขึ้น มลภาวะอันเนื่องมาจากกิจกรรมทางอุตสาหกรรมรวมถึงการใช้ชีวิต เช่น การเดินทางที่ต้องใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง การใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่เปลี่ยนไป (Land use land cover change) การขยายตัวของเมือง (Urbanization) ฯลฯ ทั้งนี้เพื่อเอื้ออำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันของมนุษย์เอง แต่องค์ประกอบข้างต้นกลับเป็นหนึ่งในปัจจัยที่เร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและส่งผลกระทบในทางลบต่อมนุษย์ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 3.5.1-2 ความสัมพันธ์ของปริมาณ CO2 (เส้นสีน้ำเงิน, หน่วยเป็น ppm) และอุณหภูมิที่ Antarctica (เส้นสีแดง)

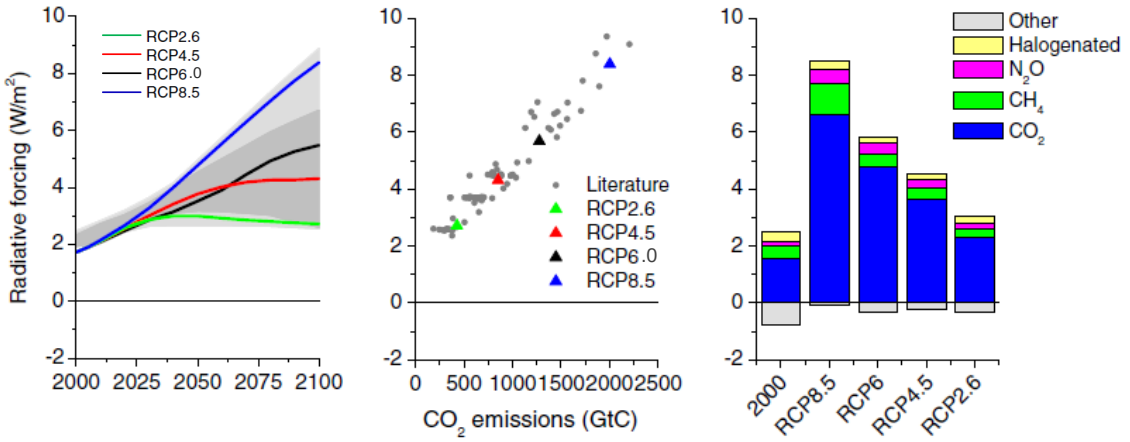
ในความเป็นจริงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นเรื่องที่ซับซ้อนมาก แต่เนื่องจากการขาดองค์ความรู้ที่ชัดแจ้งในกระบวนการและวิวัฒนาการของโลก (Geophysics of earth systems and processes) เพราะอาจจะเนื่องด้วยข้อมูลที่มีอยู่อย่างจำกัด รวมถึงสถานการณ์ในอนาคตซึ่งเต็มไปด้วยความไม่แน่นอนและยังไม่มีแบบจำลองหรือวิธีการใดๆ ที่สามารถบ่งชี้อนาคต (ทำนายหรือคาดการณ์) ได้แม่นยำและเป็นที่ยอมรับ แต่สำหรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นักวิทยาศาสตร์ได้พบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (ตัวแปรที่มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนที่สุด) มีความสัมพันธ์กันกับปริมาณก๊าซเรือนกระจก (GHGs) ในชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือ CO_2 ดังแสดงในรูปที่ 3.5.1-2 ปัจจุบันคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นหนึ่งในองค์ประกอบที่สำคัญของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นทะลุ 400 ppm (หนึ่งส่วนในล้านส่วน) จากข้อมูลการตรวจวัด CO_2 ในชั้นบรรยากาศโดยหน่วยงาน NOAA (Earth System Research Laboratory: Global Monitoring Division) พบว่ามี CO_2 ในชั้นบรรยากาศมากถึง 411.25 ppm ดังแสดงในรูปที่ 3.5.1-3 นั้นแสดงให้เห็นว่ามาตรการรวมถึงข้อตกลงต่างๆ ร่วมกันของแต่ละประเทศที่จะพยายามลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นยังไม่สัมฤทธิ์ผลหรือไม่ประสบความสำเร็จ



รูปที่ 3.5.1-3 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ: CO_2 ในชั้นบรรยากาศในช่วง 5 ปี ล่าสุด (รูปซ้าย) และ CO_2 ในชั้นบรรยากาศตั้งแต่เริ่มตรวจวัดจากเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 1974 ถึงปัจจุบัน (รูปขวา) (ที่มา: https://www.esrl.noaa.gov/)

อนึ่งถึงแม้ว่าจะสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่างๆ ออกสู่ชั้นบรรยากาศได้เท่ากับศูนย์ (Emissions fell to zero) ระบบของบรรยากาศจะต้องใช้ระยะเวลาอย่างมีนัยสำคัญสำหรับปรับระบบบรรยากาศและภูมิอากาศให้สมดุล จากรายงานทางวิชาการของ IPCC (2013) พบว่าในช่วงปี ค.ศ. 2100 อุณหภูมิโลกอาจเพิ่มสูงขึ้นอีกประมาณ 4 °C นั้นหมายความว่า การตั้งความหวังกับมาตรการในส่วนที่เรียกว่า Mitigations (มุ่งเน้นที่จะลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก) เพียงด้านเดียวนั้นคงไม่เหมาะสมหรืออาจจะไม่ทันการ ด้วยเหตุนี้จึงได้เกิดมาตรการอีกด้านหนึ่งที่เรียกว่า การปรับตัว (Adaptations) เพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือสร้าง หรือพัฒนาขีดความสามารถ หรือภูมิคุ้มกันให้สามารถอยู่ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศได้

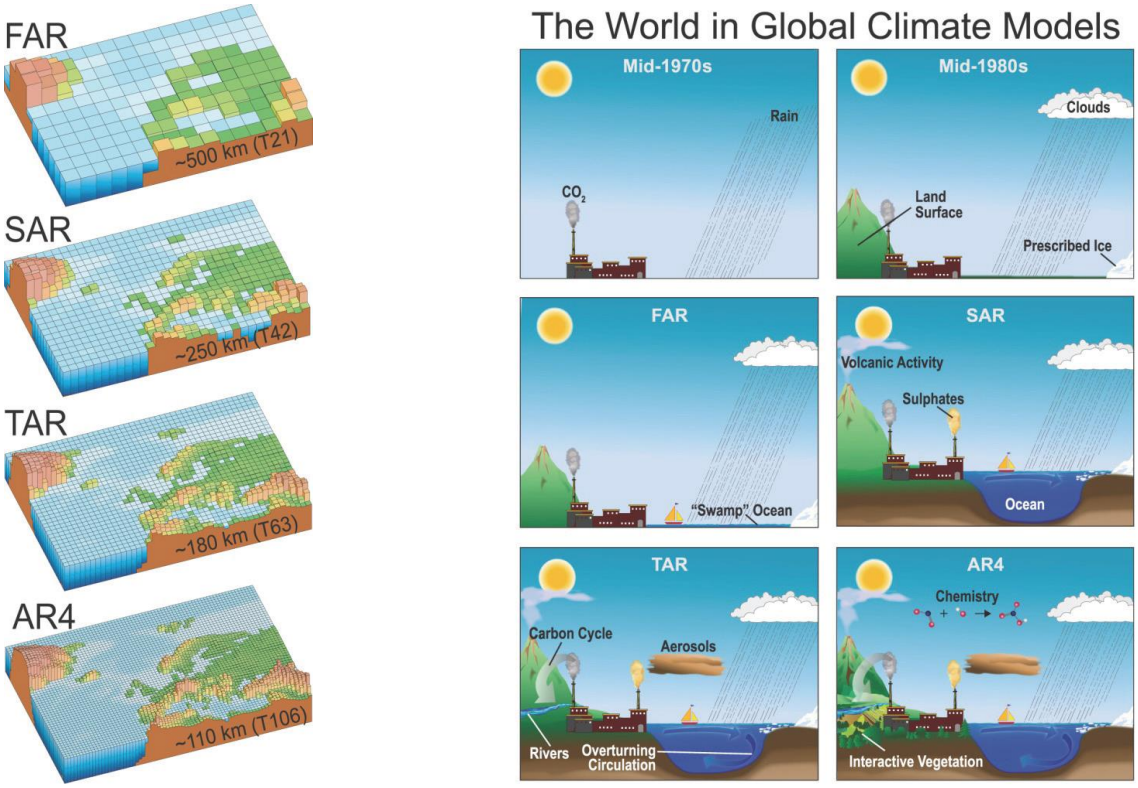
ในด้านของการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ จากลักษณะความสัมพันธ์ก๊าซเรือนกระจกกับอุณหภูมิ นักวิทยาศาสตร์จึงได้สร้างภาพฉายหรือแนวโน้มของสถานการณ์ (Scenarios) ในอนาคตโดยใช้ปริมาณการสะสมก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศเป็นสมมติฐาน โดยตลอดระยะเวลาประมาณ 25 ปีที่ผ่านมานับตั้งแต่ที่ IPCC ได้ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1988 จนถึงปัจจุบัน (Jones, 2013) ได้มีการสร้างภาพฉายสถานการณ์ของสภาพภูมิอากาศในอนาคตขึ้นมามากมาย จนกระทั่งปัจจุบันที่เรียกว่า RCP Scenarios (Representative Concentration Pathways) ที่นักวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศใช้กันทั่วโลก ทั้งนี้ก็เพื่อต้องการนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบซึ่งกันและกัน ภาพฉายหรือสถานการณ์สมมุติ หรือ RCP Scenarios นี้ได้แสดงในรูปที่ 3.5.1-4 ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 4 สถานการณ์ นั้นคือ RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 และ RCP8.5 ตามลำดับ โดยที่ตัวเลขกำกับ 2.6, 4.5, 6.0 และ 8.5 หมายถึงคลื่นรังสี (W/m^2) ที่จะเพิ่มขึ้น ณ พื้นผิวโลกโดยเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาสิ้นสุดศตวรรษนี้ (ค.ศ. 2100)



รูปที่ 3.5.1-4 สมมุติฐานการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศและการเพิ่มปริมาณรังสีที่ พื้นผิวโลก (ที่มา: van Vuuren et al., 2011)

ถึงแม้ว่าการวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะใช้ข้อสมมุติฐานหรือ Scenarios เดียวกัน แต่การที่จะแปลงกระบวนการของโลก (Lithosphere-Hydrosphere-Biosphere-Atmosphere-Interactions) ให้อยู่ในรูปจำลองคณิตศาสตร์ (สมการของความสัมพันธ์ต่างๆ) นั้นไม่ใช่เรื่องง่าย เพราะกระบวนการที่เกิดขึ้นจริงในโลกมีความซับซ้อนมาก (รูปที่ 3.5.1-5) หน่วยงานวิจัยต่างๆ ทั่วโลกยังไม่อาจจะจำลองกระบวนการที่เกิดขึ้นจริงในโลกให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ได้อย่างสมบูรณ์ หลายกระบวนการถูกทำให้ง่ายเท่าที่จะเป็นไปได้ และต่างหน่วยงานวิจัยก็มีสมมติฐานเป็นของตัวเอง ในการที่จะแปลงกระบวนการของโลกให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์แล้วจำลองบนระบบคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ (Super-computer) ทำให้แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (General Climate Model, GCM) ของแต่ละหน่วยงานให้ผลลัพธ์ทั้งเหมือนกันและแตกต่างกันทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา (Space and Time หรือ Spatial and Temporal Distributions)

สำหรับประเทศไทยเองยังไม่มีหน่วยงานวิจัยใดที่ได้พัฒนาไปมากถึงที่จะสร้างแบบจำลอง GCM ขึ้นมาใช้เอง แต่ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อประเทศอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ด้วยเหตุนี้หากต้องการที่จะจำลองสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ที่อาจมีผลกระทบต่อประเทศไทย จึงจำเป็นต้องเลือกใช้แบบจำลอง GCM ของหน่วยงานวิจัยจากต่างประเทศ สิ่งที่พึงตระหนักไว้ประการหนึ่งคือ ไม่มีแบบจำลอง GCM ใดที่ได้รับการยอมรับว่ามีความถูกต้องหรือมีความโดดเด่นมากที่สุด ดังนั้นการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง GCM จึงต้องใช้แบบจำลองมากกว่าหนึ่งแบบจำลองทั้งนี้เพื่อจะได้ทราบช่วงของการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นได้

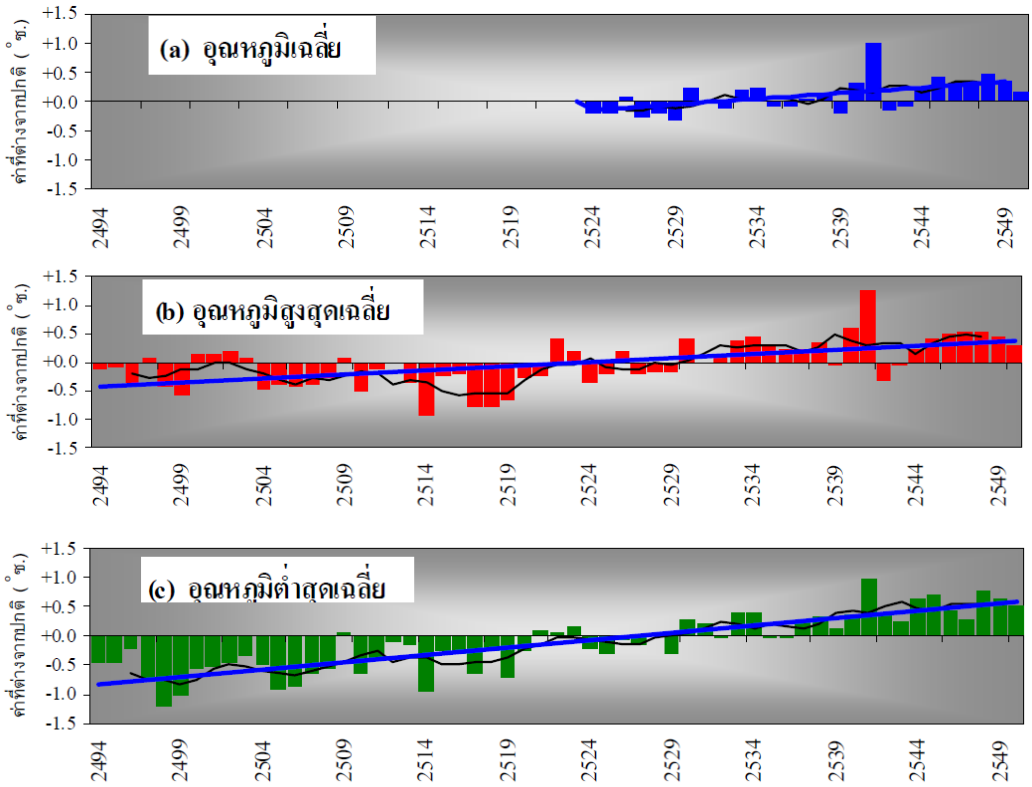


รูปที่ 3.5.1-5 แสดงวิวัฒนาการของการสร้างแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (GCM) และความละเอียดของแบบจำลอง (ที่มา: National Research Council, 2012)

3.5.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย

โดยทั่วไปสภาพภูมิอากาศนั้นมีอยู่หลายตัวแปร เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ฯลฯ ในบรรดาตัวแปรต่างๆ ข้างต้น อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนเป็นตัวแปรที่ถูกกล่าวถึงและนำมาพิจารณามากที่สุด ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด รูปที่ 3.5.2-1 ได้ชี้ให้เห็นว่า ประเทศไทยมีแนวโน้มที่อุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี ผลลัพธ์ที่ต่อเนื่องจากปรากฏการณ์ดังกล่าวคือ อัตราการระเหยของน้ำที่จะเพิ่มสูงขึ้นตามแนวโน้มของอุณหภูมิ โดยการเปลี่ยนแปลงนี้มีแนวโน้มสอดคล้องกันกับสถานการณ์ของโลกในปัจจุบัน

สำหรับปริมาณน้ำฝนในภาพรวมยังไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจนมากนัก กล่าวคือ บางสถานีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่บางสถานีก็มีแนวโน้มลดลงหรือไม่เปลี่ยนอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับการศึกษาของโครงการนี้ที่มีพื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณภาคเหนือตอนล่าง พบว่า มีค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนรายปีอยู่ที่ 1,170 มม. แนวโน้มโดยทั่วไปพบว่ามีทิศทางเพิ่มขึ้นในอัตรา 6.8 มม./ปี จากตัวเลขที่พบข้างต้นนั้นบ่งชี้ว่าพื้นที่ศึกษาได้เคลื่อนตัวเข้าสู่ลักษณะเงื่อนไขลุ่มน้ำที่ชุ่มชื้น (Leading Towards Wetter Conditions) อย่างไรก็ตามประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำฝนที่ตกจะระเหยกลับสู่บรรยากาศ และสัดส่วนของปริมาณน้ำที่ระเหยกลับก็มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ ลักษณะเช่นนี้จะทำให้พื้นที่อาจต้องประสบกันทั้งปัญหาภัยแล้งและน้ำท่วม



รูปที่ 3.5.2-1 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ย (a) อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (b) และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (c) ของประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2494-2550 (ที่มา: กรรวี, 2550)

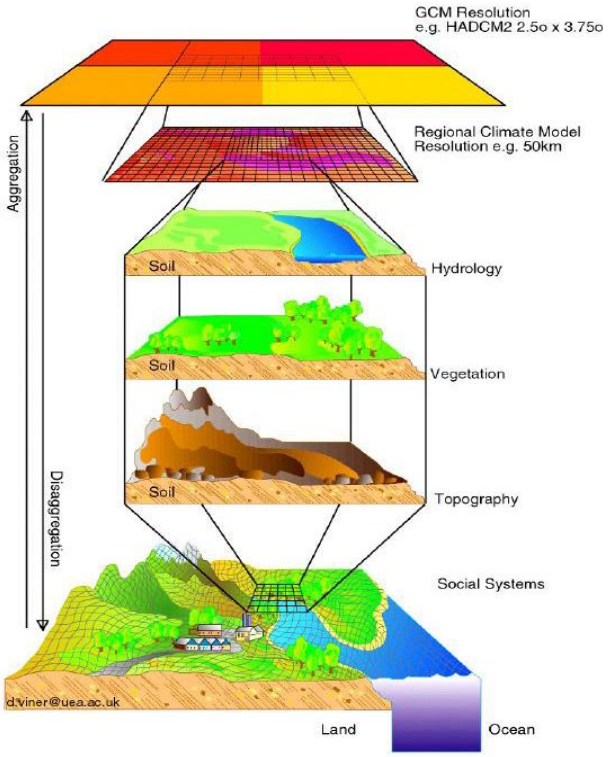
3.5.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้วยแบบจำลอง GCM

1) การลดขนาดและปรับแก้แบบจำลอง GCM ให้เป็นแบบจำลองเชิงภูมิภาค

แบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCM) โดยทั่วไปจะมีขนาดกริดใหญ่มากกว่า 100 กม. × 100 กม. ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ศึกษาในระดับลุ่มน้ำ ดังนั้นการศึกษาในระดับลุ่มน้ำและเป็นลุ่มน้ำย่อยจึงจำเป็นที่จะต้องลดขนาดกริดของแบบจำลองและปรับแก้ให้เป็นแบบจำลองเชิงท้องถิ่นก่อนหรือที่รู้จักและนิยมเรียกว่า downscaling and bias correction ซึ่งในที่นี้กำหนดให้กริดมีขนาดเท่ากับ 10 กม. × 10 กม. อย่างไรก็ตามการลดขนาดและปรับแก้แบบจำลองก็มีอยู่หลายวิธีด้วยกันแต่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ วิธีเชิงสถิติ (statistics) และวิธีเชิงพลศาสตร์ (dynamics) โดยทั้ง 2 วิธี มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป แต่โดยหลักใหญ่ๆ คือ วิธีทางพลศาสตร์ถือได้ว่าเป็นวิธีที่น่าจะมีความถูกต้องมากกว่าวิธีทางสถิติในทางทฤษฎี เพราะเป็นการใช้กระบวนการการจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน เช่นเดียวกันกับแบบจำลอง GCM เพียงแต่ขอบเขตของการจำลองเฉพาะเจาะจงในพื้นที่ไม่ใหญ่เหมือนแบบจำลอง GCM ที่จำลองทั้งโลก โดยขอบเขตของการจำลองนั้นก็จะใช้ผลลัพธ์จากแบบจำลอง GCM เป็นเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) ดังนั้นการที่จะใช้วิธีทางพลศาสตร์ได้จึงจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงและหน่วยความจำที่มาก (mini-super computer เป็นอย่างต่ำ) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การศึกษาโดยวิธีทางพลศาสตร์มีข้อจำกัด (เป็นที่นิยมเฉพาะในหน่วยงานวิจัยด้านภูมิอากาศชั้นสูง) ในกรณีวิธีทางด้านสถิติ

จะอาศัยข้อมูลภูมิอากาศที่ได้บันทึกไว้ในอดีตเป็นข้อมูลหลักสำหรับสร้างข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (ข้อมูลใหม่) ที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ วิธีนี้มีความซับซ้อนน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธีแรก และที่สำคัญวิธีนี้สามารถที่จะศึกษาได้กับหลายๆ แบบจำลอง GCMs ดังนั้นจึงสามารถที่จะนำผลการคาดการณ์ของแต่ละแบบจำลอง GCM มาเปรียบเทียบกันได้ โดยการศึกษาของโครงการนี้ก็ได้ใช้วิธีทางสถิติที่เรียกกว่า Shifting and Scaling method ในการปรับแก้แบบจำลอง

จุดประสงค์หลักที่จำเป็นของการลดขนาดแบบจำลอง GCM ให้มีขนาดกริดที่เล็กลงก็เนื่องด้วยความไม่เหมาะสมหรือความไม่สอดคล้องของขนาดกริดข้อมูลของแบบจำลอง GCM เดิม ซึ่งมีขนาดใหญ่มากๆ โดยขนาดกริดข้อมูลดังกล่าวไม่สามารถที่จะนำมาประเมินผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในระดับท้องถิ่น (local) หรือในระดับลุ่มน้ำได้ รูปที่ 3.5.3-1 ได้แสดงภาพรวมถึงความจำเป็นที่จะต้องลดขนาดแบบจำลอง GCM ให้มีขนาดเล็กลง (เหมาะสมสำหรับประเมินผลกระทบในพื้นที่ศึกษาที่สนใจ)



รูปที่ 3.5.3-1 การลดขนาดแบบจำลอง GCM

(ที่มา: http://www.cru.uea.ac.uk/documents/421974/1295957/Info+sheet+%238.pdf/a5a16591-36da-42f0-8c23-6e35e549d92e)

การลดขนาดแบบจำลองด้วยวิธีทางสถิติ เป็นแนวทางที่ค่อนข้างง่ายหากเปรียบเทียบกับแนวทางพลศาสตร์ อย่างไรก็ตามการลดขนาดด้วยวิธีการทางสถิติก็ยังมีวิธีการย่อยๆ อยู่หลายแนวทาง แต่หลักการโดยทั่วไปคือ การเทียบบรรยัดไตรยางค์ (Interpolation) ค่าจากแบบจำลอง GCM เดิม (กริดขนาดใหญ่) ให้มีกริดขนาดเล็กตามที่ต้องการ กระบวนการถัดมาคือ จะต้องมีการปรับแก้ข้อมูลที่ Interpolate มาก่อนหน้านี้ด้วยข้อมูลภูมิอากาศท้องถิ่น โดยกระบวนการนี้เรียกว่า Bias correction (การลดขนาดแบบจำลองด้วยวิธีพลศาสตร์

จะไม่มีกระบวนการ Bias correction) จุดเด่นอีกประการของวิธีการลดขนาดด้วยวิธีการทางสถิติคือ ง่ายไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ และที่สำคัญที่สุดคือ วิธีการนี้สามารถนำแบบจำลอง GCM หลายๆ แบบจำลอง และหลายๆ สถานการณ์จำลอง (Scenarios) มาเปรียบเทียบกันได้ ซึ่งจะทำให้ผลการศึกษาสามารถประเมินโอกาสการเกิด (Probability ranges) ของเหตุการณ์ได้อย่างครอบคลุมเมื่อเทียบกับการลดขนาดด้วยวิธีการทางพลศาสตร์ โครงการศึกษาวิจัยนี้ได้ใช้การลดขนาดด้วยวิธีการทางสถิติโดยใช้เทคนิค Linear-4-neighbor-pont interpolation ในการ interpolate ข้อมูล GCM เดิม ให้มีขนาด 10 กม. × 10 กม. ครอบคลุมพื้นศึกษา จากนั้นจะปรับแก้ค่า (Bias correction) ด้วยวิธี Shifting-and-scaling method

2) การปรับแก้ค่าโดยวิธี Shifting and Scaling method

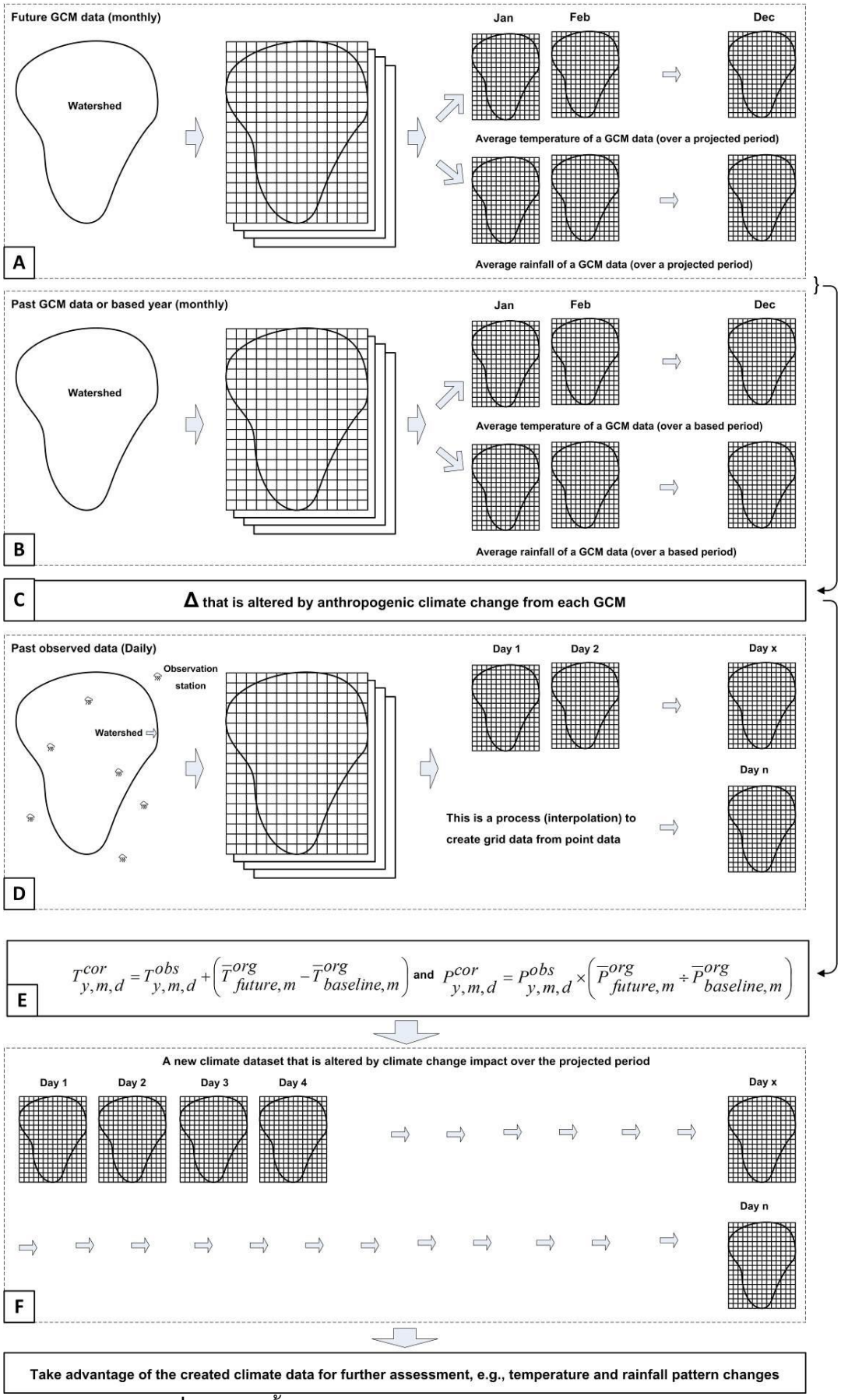
Shifting and Scaling method เป็นหนึ่งวิธีการทางสถิติที่นิยมใช้ในการปรับแก้ค่าแบบจำลองสำหรับศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Alcamo et al., 2007; Hanasaki et al., 2013) โดยหลักการนี้สามารถใช้ปรับแก้ข้อมูลได้ทั้งข้อมูลน้ำฝนและอุณหภูมิ ดังแสดงในสมการที่ 3.5.3-1 และ 3.5.3-2 ตามลำดับ

$$T^{cor}_{y,m,d} = T^{obs}_{y,m,d} + \left(\overline{T}^{org}_{future,m} - \overline{T}^{org}_{baseline,m} \right) \quad (3.5.3\text{-}1)$$

$$P^{cor}_{y,m,d} = P^{obs}_{y,m,d} \times \left(\overline{P}^{org}_{future,m} \div \overline{P}^{org}_{baseline,m} \right) \quad (3.5.3\text{-}2)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิ P คือ ปริมาณน้ำฝน Obs คือ ข้อมูลการบันทึกจริงในพื้นที่ศึกษาโดยทั่วไปจะใช้ 30 ปี หรือยาวนานที่สุดเท่าจะหาได้ Baseline คือข้อมูลที่มีจากแบบจำลองในอดีต 30 ปี ส่วน Future คือข้อมูลที่ได้จาก GCM ในช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา

รูปที่ 3.5.3-2 แสดงขั้นตอนการปรับแก้แบบจำลอง GCM ให้มีขนาด 10 กม. × 10 กม. สำหรับประเมินผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่ออุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนในพื้นที่โครงการฯ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 6 ขั้นตอน (A – F) ขั้นตอน A และ B เป็นการหาค่าเฉลี่ยรายเดือนของข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศที่ต้องการปรับแก้ในอนาคต (ช่วงปีที่ต้องการประเมินผลกระทบ) และในอดีต (ปีฐาน) ในขั้นตอน C เป็นการหาผลต่าง (Δ) รายเดือนระหว่างค่าในอนาคตและค่าในอดีต ในขั้นตอน D เป็นการ Interpolate ข้อมูลจากข้อมูลแบบจุด (point data) ให้เป็นข้อมูลแบบกริดขนาด 10 กม. × 10 กม. (เท่ากับขนาดที่ลดขนาดแบบจำลอง GCM) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงในพื้นที่ (local climate) โดยขั้นตอนนี้จะใช้ข้อมูลรายวัน ถัดมาในขั้นตอน E จะเป็นการปรับแก้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Δ) ให้เข้ากับข้อมูลภูมิอากาศท้องถิ่น ซึ่งจะมีสมการการคำนวณที่แตกต่างกันไปสำหรับปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอน E ก็คือข้อมูลภูมิอากาศ (ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ) รายวันที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามสมมุติฐานของแต่และ GCM และสถานการณ์จำลอง (Scenario) นั้น ๆ ดังแสดงในขั้นตอน F ซึ่งจะถูกนำไปใช้ศึกษาวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.5.3-2 ขั้นตอนการปรับแก้แบบจำลอง (Bias correction)

3.6 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝนภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศเป็นตัวแปรที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มพลศาสตร์ (Dynamics) นั้น คือการแปรผันอยู่เสมอ ไม่คงที่ ทั้งในเชิงพื้นที่และเวลาหรือมักเรียกทับศัพท์ว่า Stochastic Variables อย่างไรก็ตามการแปรผันหรือการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา พบว่ามีรูปแบบที่ผิดจากกระบวนการทางธรรมชาติ IPCC ได้นิยามลักษณะของการเปลี่ยนแปลงนี้ว่าเกิดขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic Climate Change) และด้วยข้อจำกัดที่เรามิอาจจะควบคุมสภาพภูมิอากาศได้แต่สิ่งที่เราอาจทำได้คือเข้าใจหรือพยายามคาดการณ์แนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในอนาคตให้ใกล้เคียงความเป็นจริงได้ แล้วจะทำให้เราสามารถวางแผนสำหรับรับมือหรือป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม

อุณหภูมิอากาศ (Surface Air Temperature) และปริมาณน้ำฝน (Rainfall) เป็น 2 ตัวแปรหลักที่มีการตรวจวัดทั่วไปและได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 การศึกษาเพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศนั้นซับซ้อนมาก แต่นักวิทยาศาสตร์ก็พยายามที่จะเอาชนะความซับซ้อนนั้นโดยการสร้างแบบจำลองภูมิอากาศโลกขึ้น (Global Climate Models, GCMs) ในการศึกษาของโครงการนี้ได้ใช้แบบจำลอง GCM จำนวน 3 แบบจำลองจากหน่วยงานวิจัยด้านภูมิอากาศโลกที่มีชื่อเสียงเป็นที่ยอมรับ ได้แก่

1) แบบจำลอง MIROC-ESM พัฒนาโดย National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marin-Earth Science and Technology ประเทศญี่ปุ่น

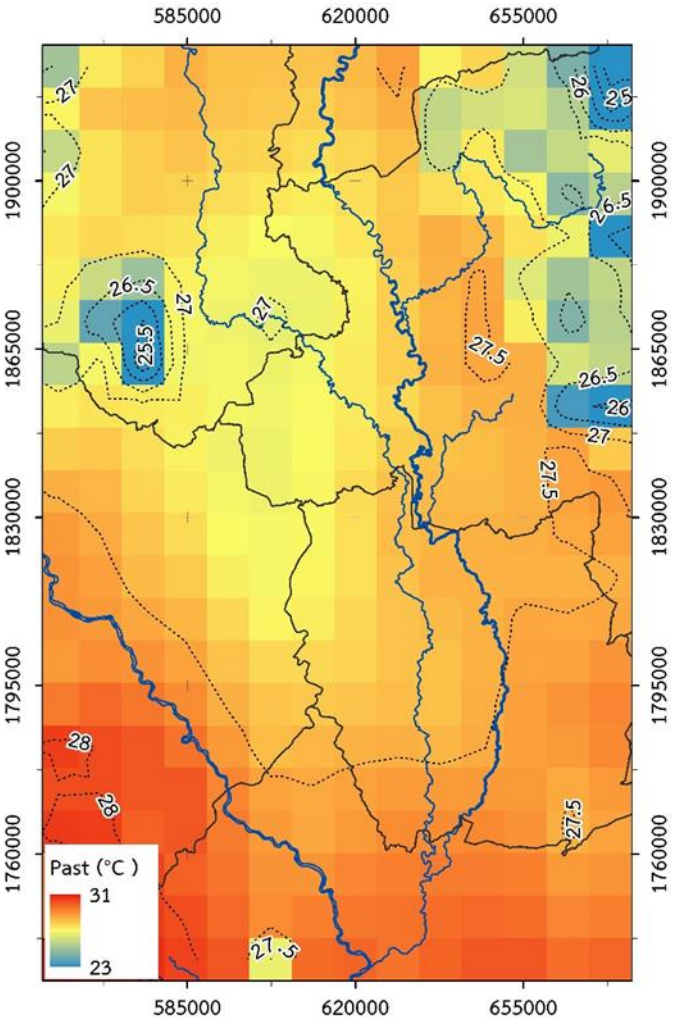
2) แบบจำลอง GFDL-ESM ที่พัฒนาโดย Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (NOAA) ประเทศสหรัฐอเมริกา

3) แบบจำลอง HadGEM ที่พัฒนาโดย Met Office Hadley Centre สหราชอาณาจักร การเลือกแบบจำลองที่แตกต่างกันจากหลายสถาบันการวิจัย ก็เพื่อจะได้ให้ผลการคาดการณ์ครอบคลุมช่วงของการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นได้ นอกจากนั้นการศึกษาของโครงการวิจัยนี้ก็ยังเลือกสถานการณ์จำลองให้ครอบคลุมพฤติกรรมต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น ได้แก่ สถานการณ์ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำ (RCP2.6) สถานการณ์ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับกลาง (RCP4.5) และสถานการณ์ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับสูง (RCP8.5) รวม 3 สถานการณ์จำลองด้วยกัน โดยมีผลการศึกษาดังนี้

3.6.1 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศ

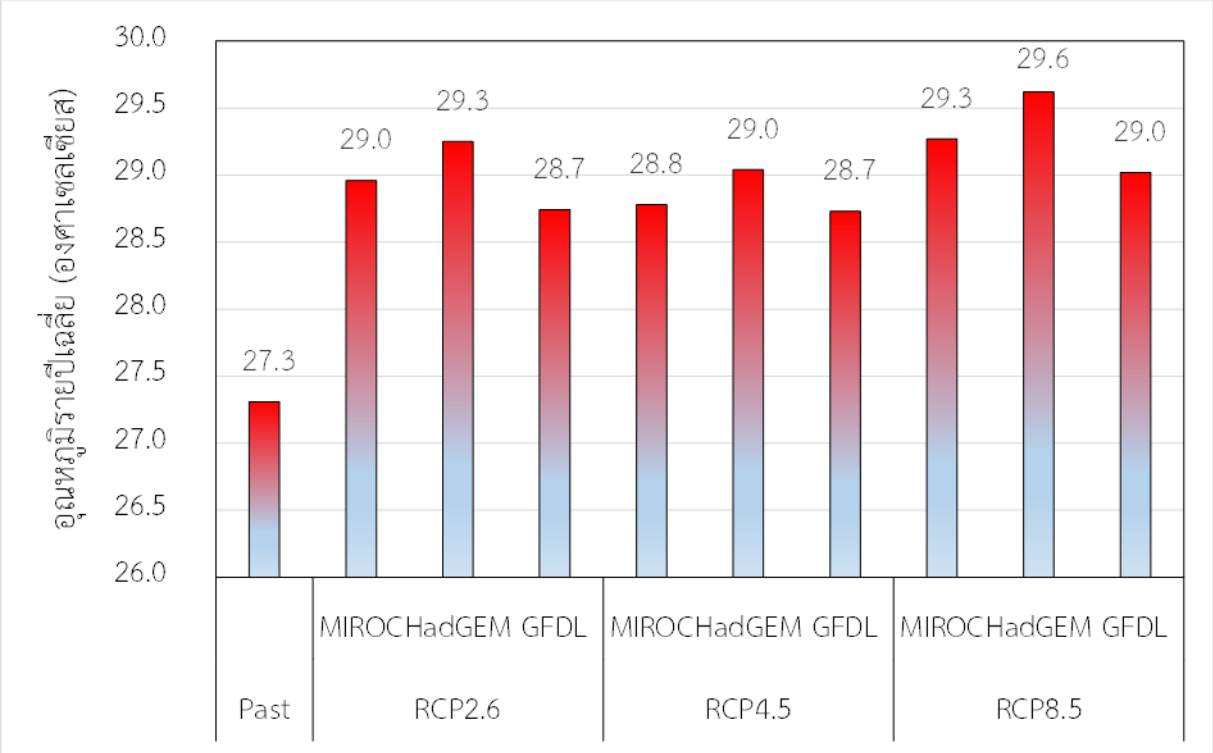
รูปที่ 3.6.1-1 แสดงการกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิรายปีเฉลี่ย 20 ปี ในช่วง พ.ศ. 2524-2543 (ค.ศ. 1981-2000) ในที่นี้ได้กำหนดให้เป็นปีฐานสำหรับเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นภายใต้ 3 แบบจำลอง GCM และ 3 สถานการณ์จำลองในอนาคตช่วง 20 ปี ข้างหน้า พ.ศ. 2564-2583 (ค.ศ. 2021-2040) จากการคำนวณพบว่า อุณหภูมิรายปีเฉลี่ยบริเวณพื้นที่ศึกษาในอดีตมีค่าเฉลี่ย

เท่ากับ 27.3 องศาเซลเซียส บริเวณตอนบนด้านตะวันออกเฉียงเหนือ (จังหวัดพิษณุโลกและอุตรดิตถ์) ซึ่งเป็นแนวเทือกเขาพบว่า มีอุณหภูมิอากาศต่ำกว่าบริเวณอื่น ๆ โดยมีช่วงของการแปรผันเชิงพื้นที่อยู่ระหว่าง 23.9-28.2 องศาเซลเซียส

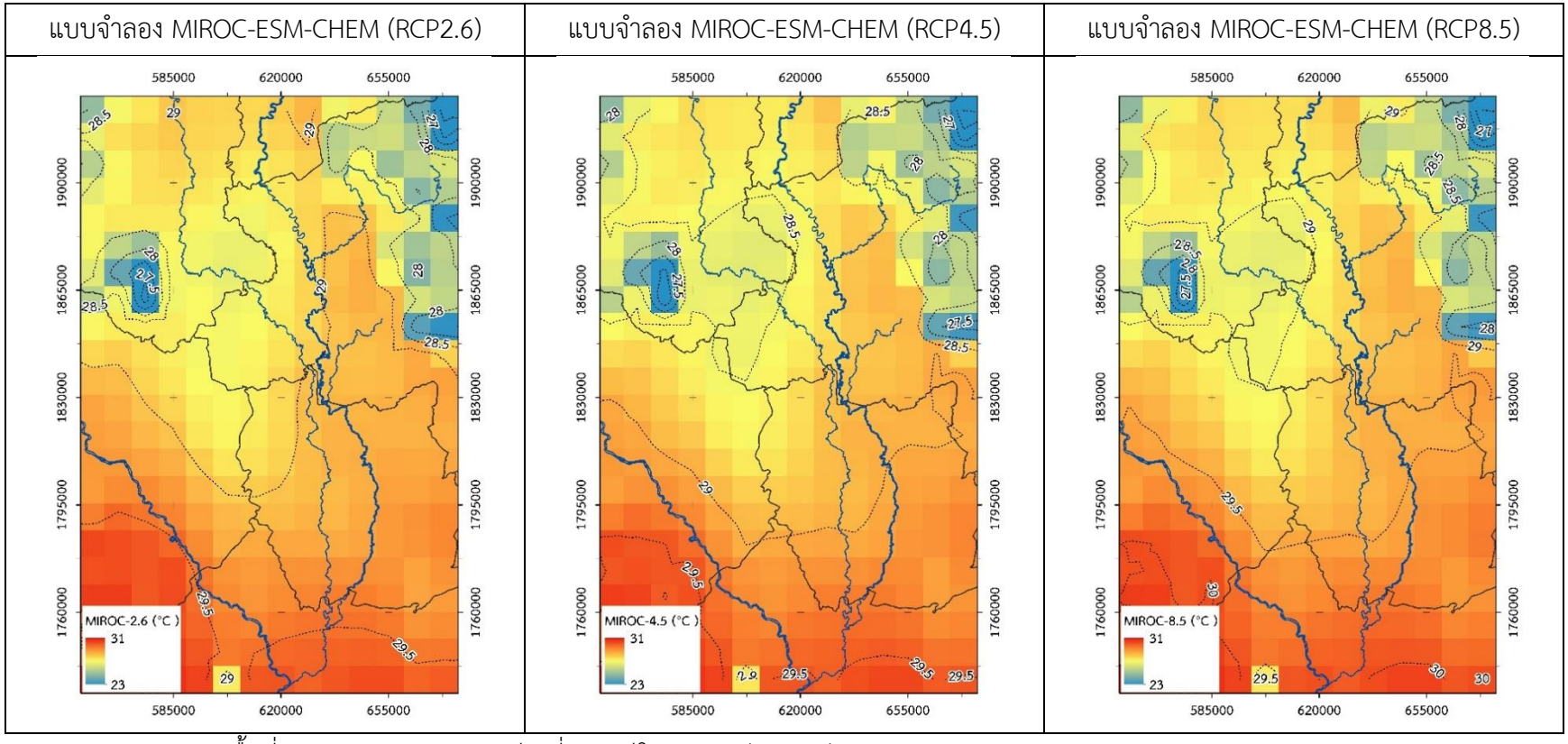


รูปที่ 3.6.1-1 การกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิรายปีเฉลี่ย พ.ศ. 2524-2543 (องศาเซลเซียส)

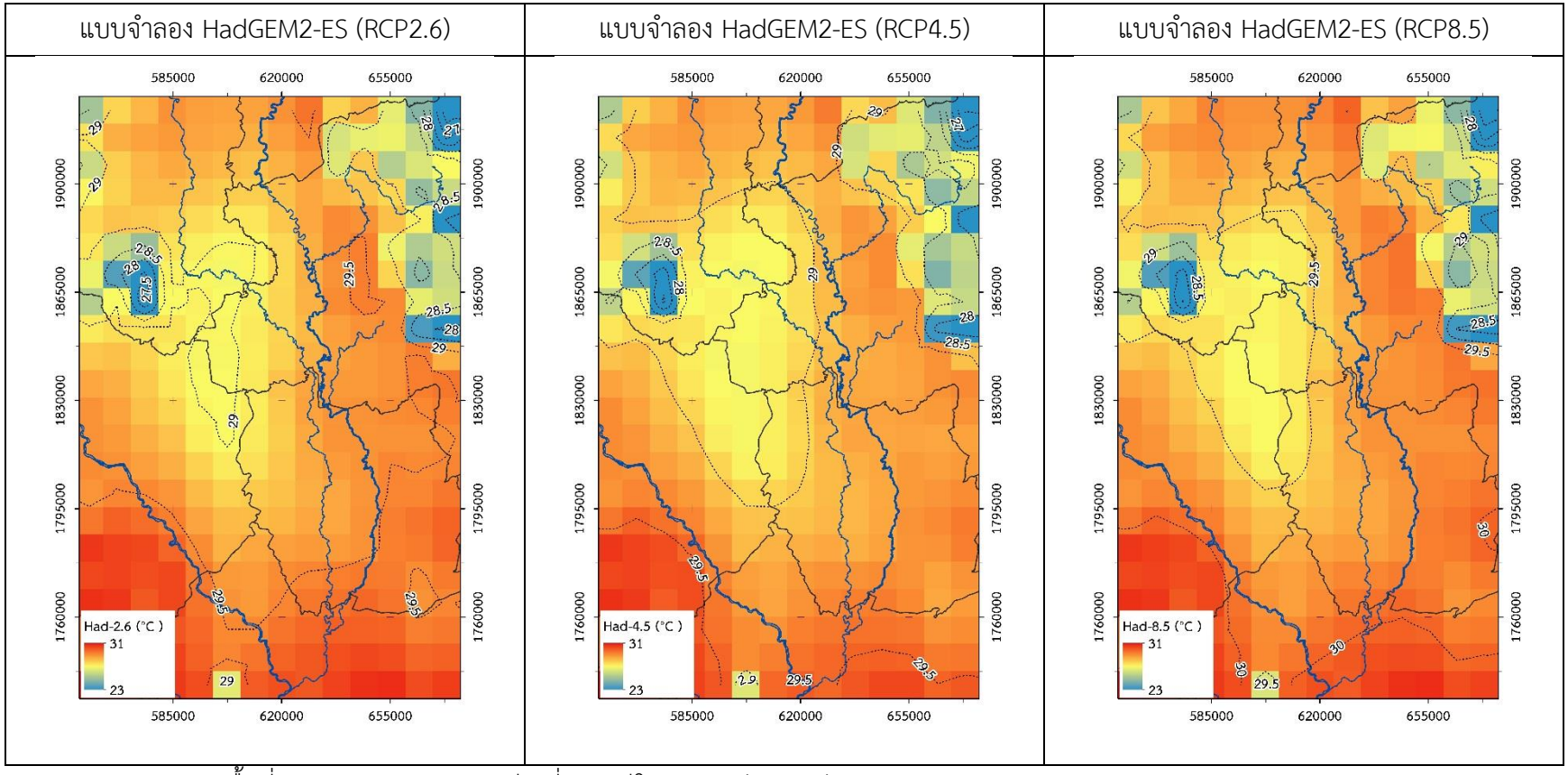
สำหรับการคาดการณ์ในอนาคตช่วงปี พ.ศ. 2564-2583 พบว่าโดยทั่วไปมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับอดีตดังแสดงผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 3.6.1-2 ทุกแบบจำลองและทุกสถานการณ์จำลองบ่งชี้ว่าอุณหภูมิอากาศจะเพิ่มสูงขึ้นระหว่าง 28.7-29.6 องศาเซลเซียส หรือเปลี่ยนแปลงระหว่าง 1.4-2.3 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับช่วงฐานเวลาของการศึกษา (พ.ศ. 2524-2543) ความสอดคล้องกันจากทุกแบบจำลองเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สามารถบ่งชี้ระดับความมั่นใจในทิศทางของการเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นปัจจัยอื่นที่เกี่ยวเนื่องกับอุณหภูมิก็สามารถที่จะคาดการณ์ได้ เช่น อัตราการคายระเหยที่จะเพิ่มสูงขึ้นในอนาคตเนื่องจากอุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้น เป็นต้น สำหรับการกระจายเชิงพื้นที่ของการคาดการณ์อุณหภูมิรายปีเฉลี่ย 20 ปี ของทั้ง 3 แบบจำลองและ 3 สถานการณ์จำลองได้แสดงในรูปที่ 3.6.1-3 ถึงรูปที่ 3.6.1-5



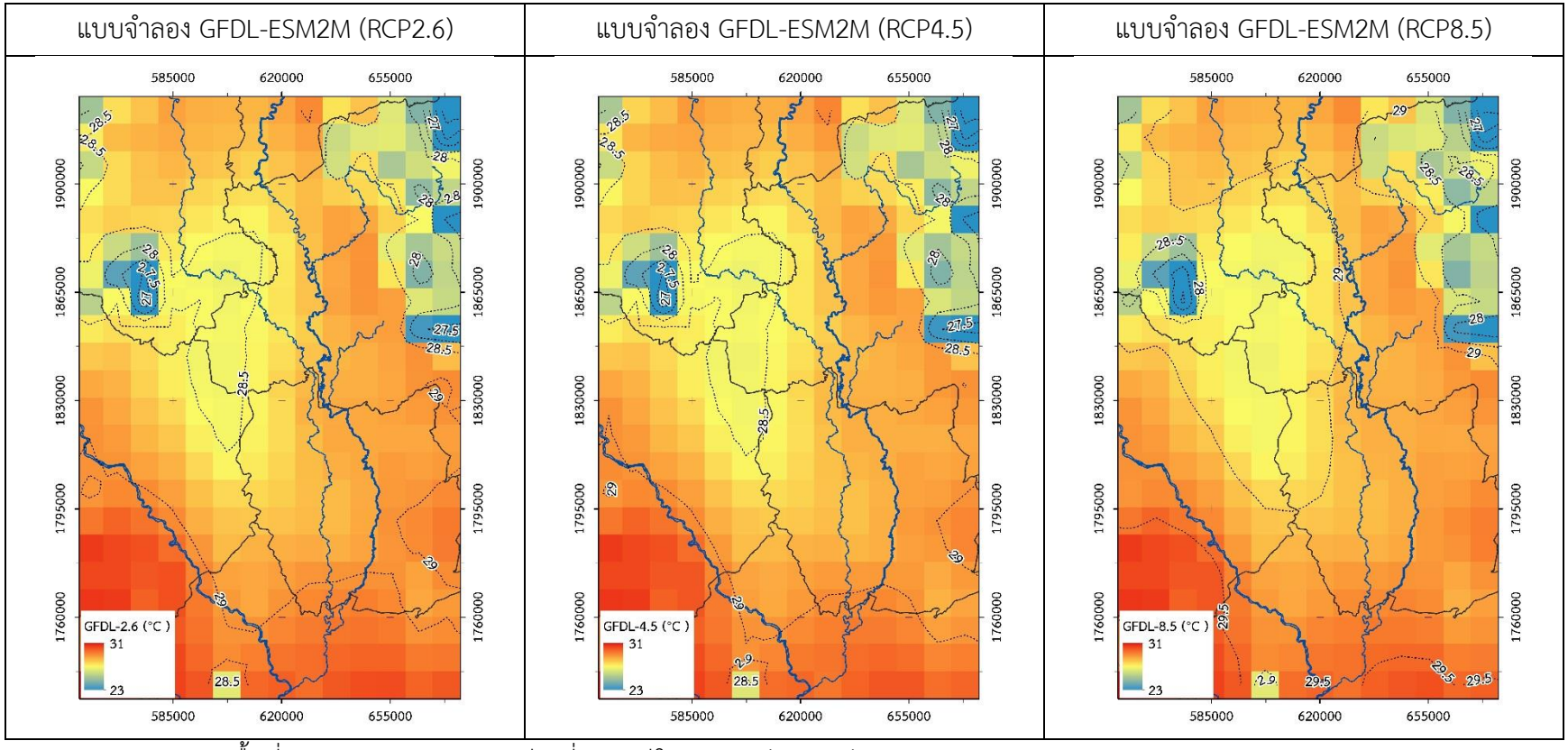
รูปที่ 3.6.1-2 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรายปีเฉลี่ยระหว่างอดีต (พ.ศ. 2524-2543) กับการคาดการณ์ในอนาคต (พ.ศ. 2564-2583)



รูปที่ 3.6.1-3 การกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิอากาศรายปีเฉลี่ย 20 ปีในอนาคตช่วงระหว่าง พ.ศ. 2564-2583 (ค.ศ. 2021-2040) ของแบบจำลอง MIROC-ESM-CHEM ภายใต้สถานการณ์จำลองการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำ (RCP2.6) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับกลาง (RCP4.5) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับสูง (RCP4.5) : หน่วยเป็น องศาเซลเซียส



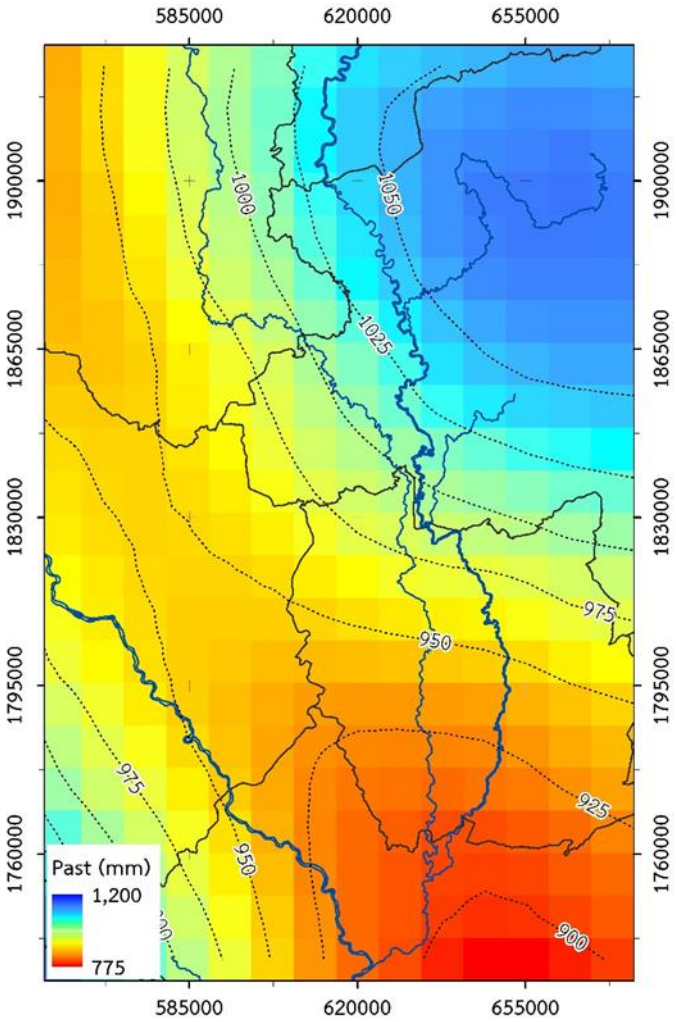
รูปที่ 3.6.1-4 การกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิอากาศรายปีเฉลี่ย 20 ปีในอนาคตช่วงระหว่าง พ.ศ. 2564-2583 (ค.ศ. 2021-2040) ของแบบจำลอง HadGEM2-ES ภายใต้สถานการณ์จำลองการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำ (RCP2.6) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับกลาง (RCP4.5) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับสูง (RCP4.5) : หน่วยเป็น องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.6.1-5 การกระจายเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิอากาศรายปีเฉลี่ย 20 ปีในอนาคตช่วงระหว่าง พ.ศ. 2564-2583 (ค.ศ. 2021-2040) ของแบบจำลอง GFDL-ESM2M ภายใต้สถานการณ์จำลองการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำ (RCP2.6) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับกลาง (RCP4.5) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับสูง (RCP4.5) : หน่วยเป็น องศาเซลเซียส

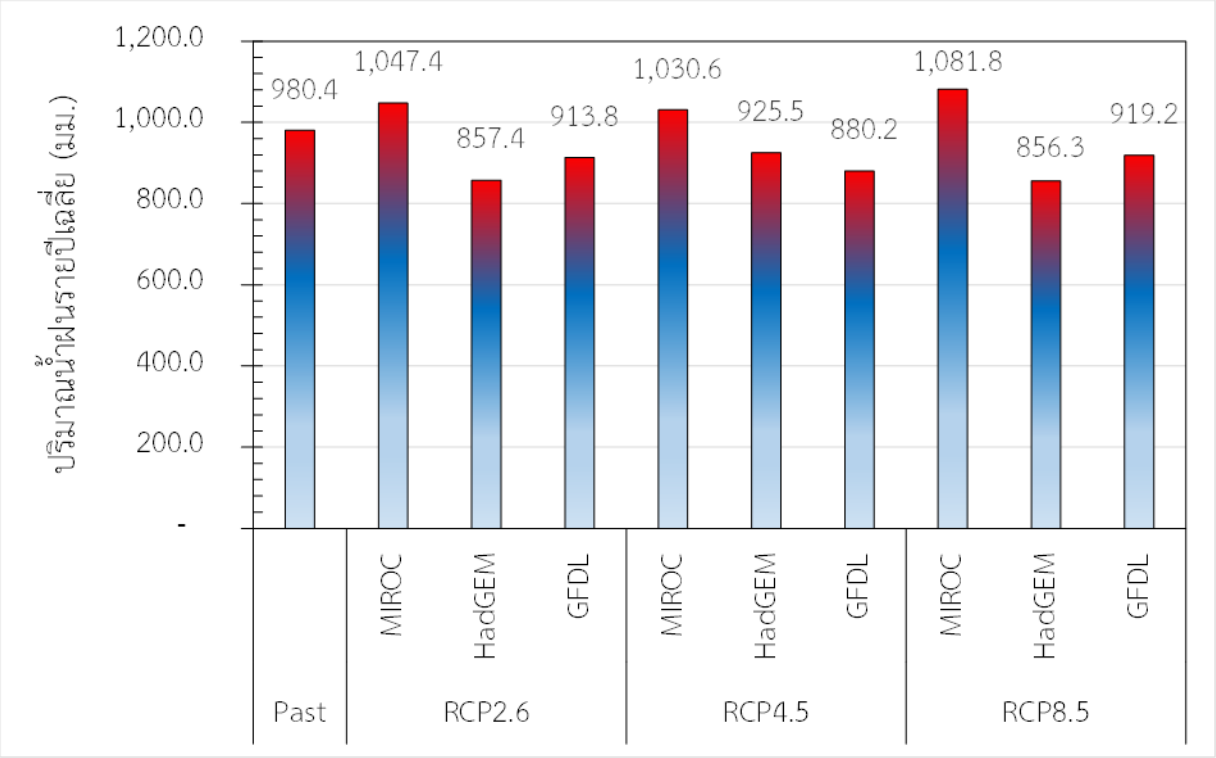
3.6.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนก็ใช้หลักการเช่นเดียวกันกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศ รูปที่ 3.6.2-1 แสดงการกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 20 ปี ในช่วง พ.ศ. 2524-2543 (ค.ศ. 1981-2000) ในที่นี้ได้กำหนดให้เป็นปีฐานสำหรับเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นภายใต้ 3 แบบจำลอง GCM และ 3 สถานการณ์จำลองในอนาคตช่วง 20 ปี ข้างหน้า พ.ศ. 2564-2583 (ค.ศ. 2021-2040) จากการคำนวณพบว่า ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยบริเวณพื้นที่ศึกษาในอดีตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 980 มม. การกระจายเชิงของพื้นของน้ำฝนสูงสุด พบว่าอยู่บริเวณลุ่มน้ำน่านบริเวณจังหวัดพิษณุโลกและจังหวัดอุตรดิตถ์ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1,025-1,200 มม. ส่วนพื้นที่บริเวณระหว่างแม่น้ำยมและแม่น้ำปิง พบว่าเป็นพื้นที่ที่มีฝนตกเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ มีค่าอยู่ระหว่าง 950-1,000 มม. ส่วนบริเวณด้านขวาของแม่น้ำปิงฝนจะเริ่มสูงขึ้นจาก 975-1,000 มม.

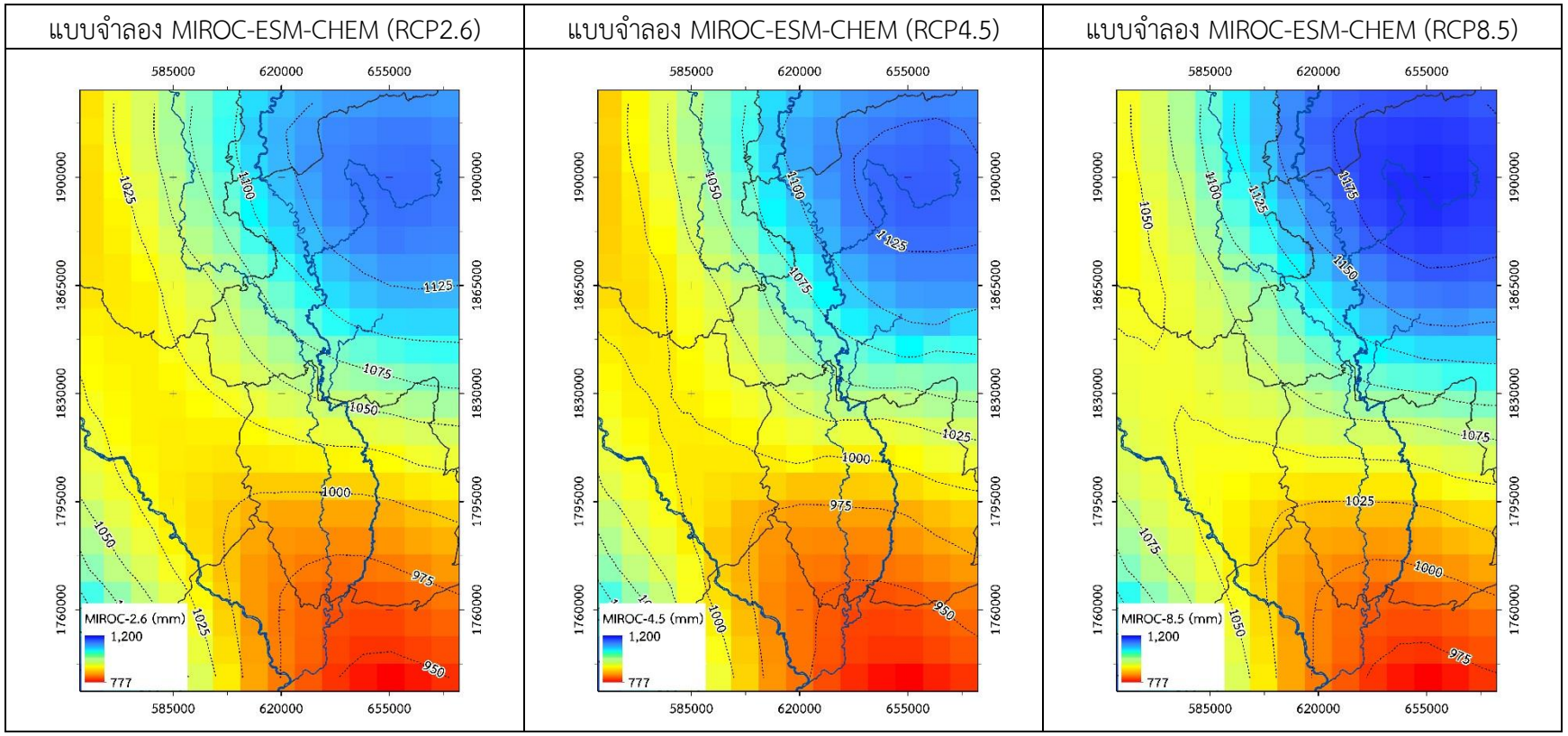


รูปที่ 3.6.2-1 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย พ.ศ. 2524-2543 (มม.)

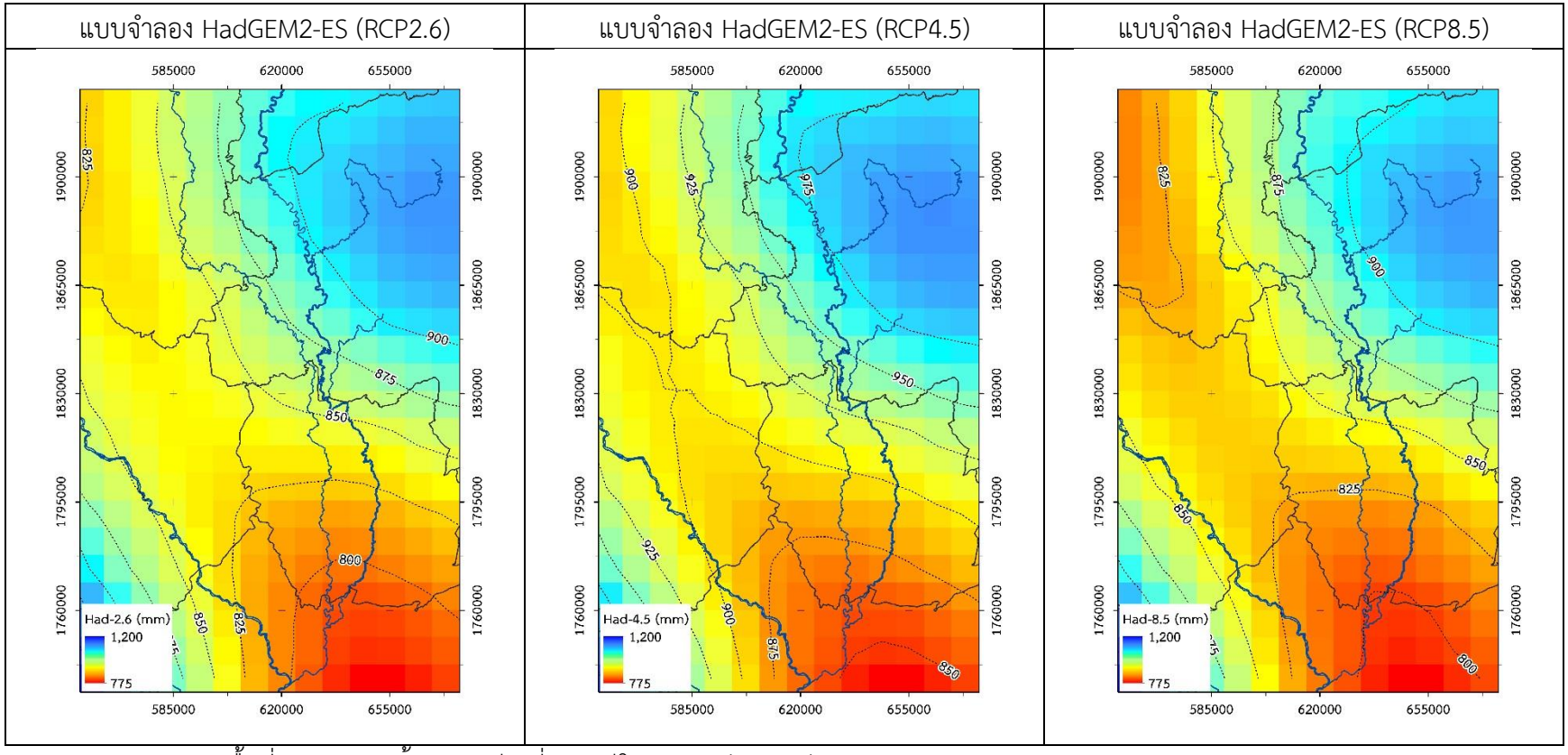
สำหรับการคาดการณ์ในอนาคตช่วงปี พ.ศ. 2564-2583 พบว่ามีความไม่สอดคล้องกันระว่างแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง นั้นคือแบบจำลอง MIROC คาดการณ์ว่าฝนจะเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่แบบจำลอง HadGEM และแบบจำลอง GFDL คาดการณ์ว่าฝนมีแนวโน้มที่จะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 3.6.2-2 เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เมื่อเทียบกับอุณหภูมิอากาศจึงทำให้ตัวแปรนี้มักมีความไม่แน่นอนสูง อย่างไรก็ตามช่วงของการเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการศึกษานี้อยู่ระหว่าง 856.3-1,081.8 มม. หรือเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่างร้อยละ 12.6 (ลดลง) ถึง 10.3 (เพิ่มขึ้น) สำหรับการกระจายเชิงพื้นที่ของการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 20 ปี ของทั้ง 3 แบบจำลอง และ 3 สถานการณ์จำลองได้แสดงในรูปที่ 3.6.2-3 ถึงรูปที่ 3.6.2-5



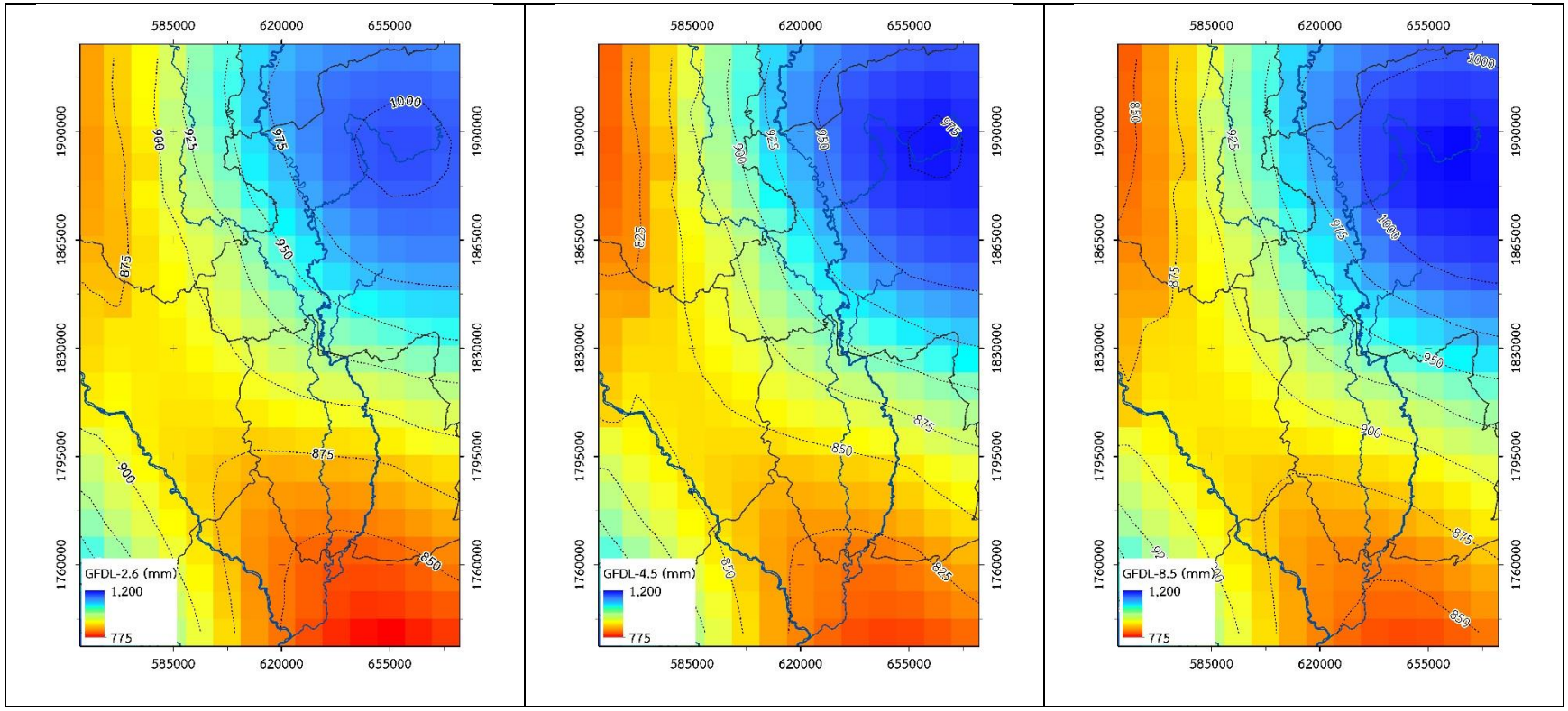
รูปที่ 3.6.2-2 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยระหว่างอดีต (พ.ศ. 2524-2543) กับการคาดการณ์ในอนาคต (พ.ศ. 2564-2583)



รูปที่ 3.6.2-3 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 20 ปีในอนาคตช่วงระหว่าง พ.ศ. 2564-2583 (ค.ศ. 2021-2040) ของแบบจำลอง MIROC-ESM-CHEM ภายใต้สถานการณ์จำลองการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำ (RCP2.6) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับกลาง (RCP4.5) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับสูง (RCP4.5) : หน่วยเป็น มม.



รูปที่ 3.6.2-4 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 20 ปีในอนาคตช่วงระหว่าง พ.ศ. 2564-2583 (ค.ศ. 2021-2040) ของแบบจำลอง HadGEM2-ES ภายใต้สถานการณ์จำลองการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำ (RCP2.6) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับกลาง (RCP4.5) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับสูง (RCP4.5) : หน่วยเป็น มม.



รูปที่ 3.6.2-5 การกระจายเชิงพื้นที่ของปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 20 ปีในอนาคตช่วงระหว่าง พ.ศ. 2564-2583 (ค.ศ. 2021-2040) ของแบบจำลอง GFDL-ESM2M ภายใต้สถานการณ์จำลองการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับต่ำ (RCP2.6) การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับกลาง (RCP4.5) และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับสูง (RCP4.5) : หน่วยเป็น มม.

3.7 มวลชนสัมพันธ์และการมีส่วนร่วม

3.7.1 การจัดประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้

การจัดประชุมเชิงปฏิบัติการมีจำนวน 4 ครั้ง ใน 4 จังหวัด ได้แก่ สุโขทัย อุตรดิตถ์ พิษณุโลก และพิจิตร และการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ 1 ครั้ง ในกรุงเทพมหานคร

โครงการการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาล และน้ำผิวดินในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง จัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1 เมื่อวันศุกร์ที่ 26 มกราคม 2561 เวลา 09.00 – 16.00 น. ณ ห้อง EN 617 อาคารเรียนรวม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยมี ดร.ภูริภัส สุนทรนนท์ หัวหน้าหัวหน้าโครงการ กล่าวรายงาน และรองศาสตราจารย์ ดร.ศรินทร์ทิพย์ แทนธานี คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นประธานกล่าวเปิดการประชุม ผู้เข้าร่วมประชุมประกอบด้วยผู้แทนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ จำนวนทั้งสิ้น 25 คน บรรยากาศในการประชุมแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.1-1

รูปที่ 3.7.1-1 บรรยากาศการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1

โครงการการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาล และน้ำผิวดินในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง จัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 2 เมื่อวันศุกร์ที่ 18 พฤษภาคม 2561 เวลา 08.30-16.00 น. ณ ห้องประชุมสำนักงานส่งเสริมการปกครองท้องถิ่นจังหวัดพิจิตร ศาลากลางจังหวัดพิจิตร (ใหม่) ชั้น 3 โดยมี ดร.ภูริภัส สุนทรนนท์ หัวหน้าโครงการ กล่าวรายงานและกล่าวเปิดการประชุม ผู้เข้าร่วมประชุมประกอบด้วยผู้แทนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ จำนวนทั้งสิ้น 26 คน บรรยากาศในการประชุมแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.1-2

รูปที่ 3.7.1-2 บรรยากาศการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 2

โครงการการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาล และน้ำผิวดินในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง จัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 3 เมื่อวันศุกร์ที่ 22 มิถุนายน 2561 เวลา 08.30-16.00 น. ณ ห้องประชุมสำนักงานสหกรณ์จังหวัดสุโขทัย อาคาร 3 ชั้น 2 ศาลากลางจังหวัดสุโขทัย โดยมี พระครูวิจิตรธรรมนิเทศน์ ผู้ทรงคุณวุฒิ คณะกรรมการลุ่มน้ำยม กล่าวรายงานและกล่าวเปิดการประชุม ผู้เข้าร่วมประชุมประกอบด้วยผู้แทนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ จำนวนทั้งสิ้น 22 คน บรรยากาศในการประชุมแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.1-3

รูปที่ 3.7.1-3 บรรยากาศการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 3

โครงการการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาล และน้ำผิวดินในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง จัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 4 เมื่อวันจันทร์ที่ 25 มิถุนายน 2561 เวลา 08.30-16.00 น. ณ ห้องประชุมศิลาอาสน์ ชั้น 5 ศาลากลางจังหวัดอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยมี นายเชวง ไชยหลาก ผู้อำนวยการสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดอุตรดิตถ์ กล่าวรายงาน และกล่าวเปิดการประชุม ผู้เข้าร่วมประชุมประกอบด้วยผู้แทนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ จำนวนทั้งสิ้น 28 คน บรรยากาศในการประชุมแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.1-4

รูปที่ 3.7.1-4 บรรยากาศการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 4

การจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ โครงการการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง ได้มีการจัดการฝึกอบรม ในวันอังคารที่ 7 สิงหาคม 2561 เวลา 09.00-15.30 น. ณ ห้องสัมมนา Orchid 4 ชั้น 11 โรงแรมจัสมิน สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร โดยมี ดร.ภูริภัส สุนทรนนท์ หัวหน้าโครงการ กล่าวรายงาน และนายจิตรกร สุวรรณเลิศ ผู้อำนวยการสำนักสำรวจและประเมินศักยภาพน้ำบาดาล เป็นประธานกล่าวเปิดการฝึกอบรม มีผู้เข้าร่วมฝึกอบรมประกอบด้วย เจ้าหน้าที่ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล / สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ / กรมทรัพยากรน้ำ / กรมชลประทาน และอื่นๆ จำนวนทั้งสิ้น 36 คน บรรยากาศในการจัดฝึกอบรมแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.1-5

รูปที่ 3.7.1-5 บรรยากาศการจัดฝึกอบรมวันแรก

โครงการการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง ได้มีการจัดการฝึกอบรม ในวันพุธที่ 8 สิงหาคม 2561 เวลา 09.00-15.30 น. ณ ห้องสัมมนา Orchid 4 ชั้น 11 โรงแรมจัสมิน สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร โดยมีผู้เข้าร่วมฝึกอบรมประกอบด้วย เจ้าหน้าที่ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล / สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ / กรมทรัพยากรน้ำ / กรมชลประทาน และอื่นๆ จำนวนทั้งสิ้น 26 คน บรรยากาศในการจัดฝึกอบรมแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.1-6

รูปที่ 3.7.1-6 บรรยากาศการจัดฝึกอบรมวันที่สอง

โครงการการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง ได้มีการจัดการฝึกอบรม ในวันพฤหัสบดีที่ 9 สิงหาคม 2561 เวลา 09.00-15.30 น. ณ ห้องสัมมนา Orchid 4 ชั้น 11 โรงแรมจัสมิน สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร โดยมีผู้เข้าร่วมฝึกอบรมประกอบด้วย เจ้าหน้าที่ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล / สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ / กรมทรัพยากรน้ำ / กรมชลประทาน และอื่นๆ จำนวนทั้งสิ้น 26 คน บรรยากาศในการจัดฝึกอบรมแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.1-7

รูปที่ 3.7.1-7 บรรยากาศการจัดฝึกอบรมวันที่สาม

3.7.2 กลุ่มเป้าหมาย/ ผู้เข้าร่วมกิจกรรม

ในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1 เมื่อวันศุกร์ที่ 26 มกราคม 2561 ที่จังหวัดพิษณุโลก มีจำนวนผู้เข้าประชุมทั้งหมดจำนวน 24 คน ดังตารางที่ 3.7.2-1 และมีผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 23 ชุด แบบสอบถามผู้เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการประกอบด้วยคำถาม 4 ส่วน คือ

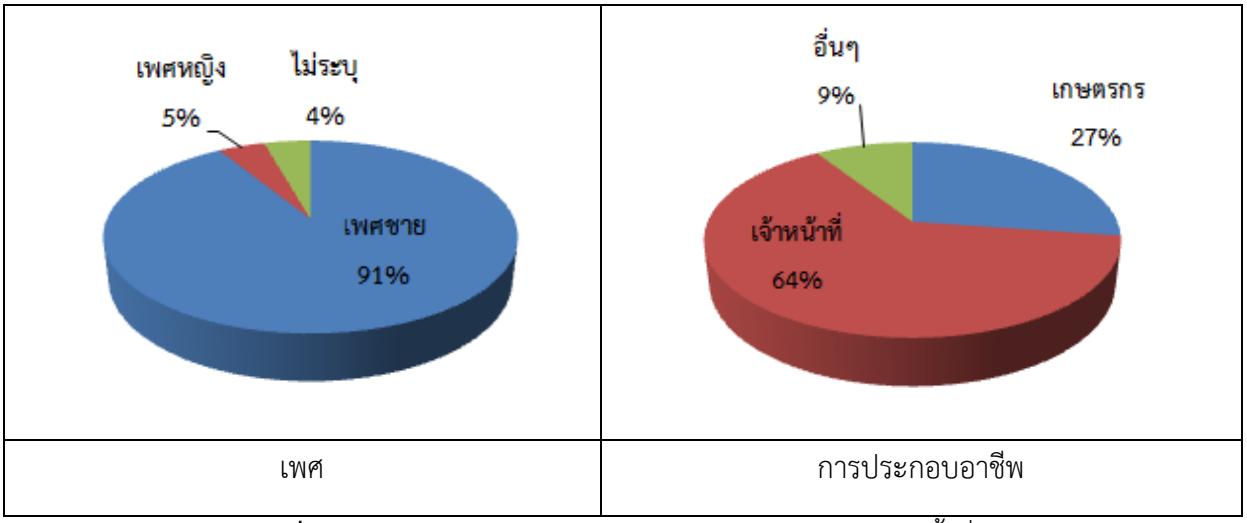
1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
2. รายการประเมินการประชุมเชิงปฏิบัติการ
3. แนวทางการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน
4. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดประชุมในครั้งต่อไป

ตารางที่ 3.7.2-1 จำนวนผู้เข้าร่วมประชุม ครั้งที่ 1

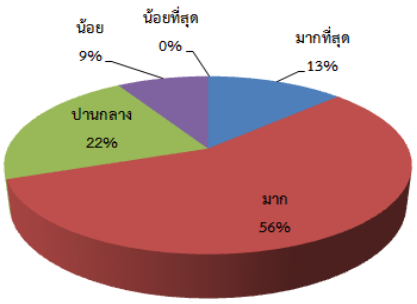
	หน่วยงานที่เข้าประชุม	จำนวนที่เข้าร่วมประชุม
1	เจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	3
2	เจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำ	6
3	เจ้าหน้าที่กรมชลประทาน	12
4	กรรมการลุ่มน้ำ	2
5	สำนักงานเจ้าท่าภูมิภาค	1
รวม		**24**

สรุปความคิดเห็นของประชาชนที่เข้าร่วมประชุมปฐมนิเทศจากแบบสอบถาม สามารถสรุปได้ดังนี้

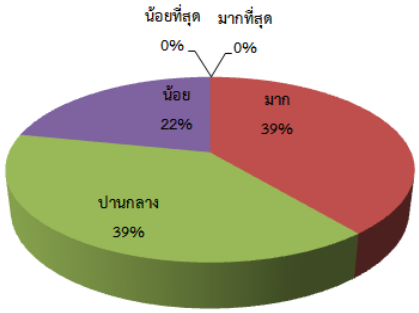
ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชาย การประกอบอาชีพส่วนใหญ่เป็นเจ้าหน้าที่รัฐ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความเข้าใจเกี่ยวกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายการประชุมครั้งนี้ได้อย่างมาก คิดเป็นร้อยละ 56 ซึ่งในการประชุมครั้งนี้ผู้ตอบแบบสอบถามได้ให้ระดับความพึงพอใจเกี่ยวกับเอกสารประกอบการประชุม ในระดับมากและปานกลางในปริมาณเท่ากัน คิดเป็นร้อยละ 39 ในการประชุมครั้งนี้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลและแสดงความคิดเห็นได้อย่างเหมาะสมในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 56 โดยในการประชุมครั้งนี้มีระยะเวลาในการจัดการประชุมเชิงปฏิบัติการอย่างเหมาะสมในระดับที่มาก คิดเป็นร้อยละ 52 จากภาพรวมของสถานที่จัดการประชุมและอาหารผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 74 และผู้ตอบแบบสอบถามมีความยินดีอย่างมาก ที่จะเข้าร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการในครั้งต่อไป คิดเป็นร้อยละ 61 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.2-1 และรูปที่ 3.7.2-2



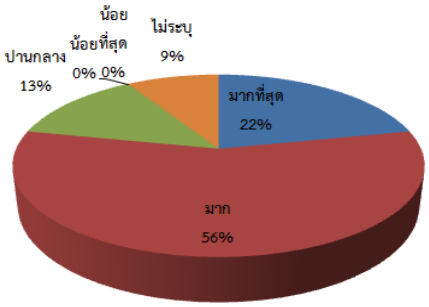
รูปที่ 3.7.2-1 ผู้ตอบแบบสอบถามการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1



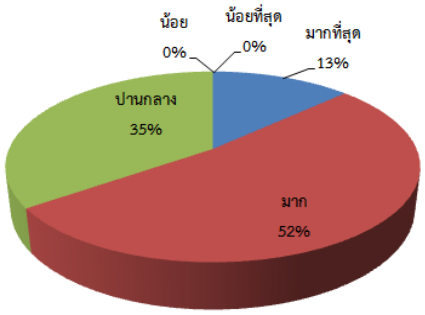
ความเข้าใจวัตถุประสงค์และเป้าหมาย



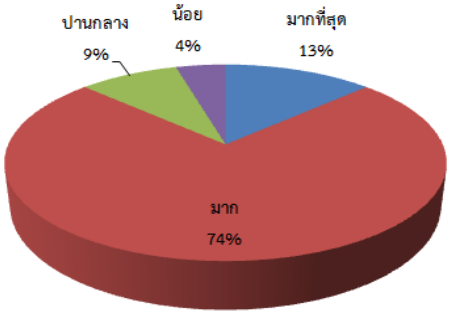
เอกสารประกอบการประชุม



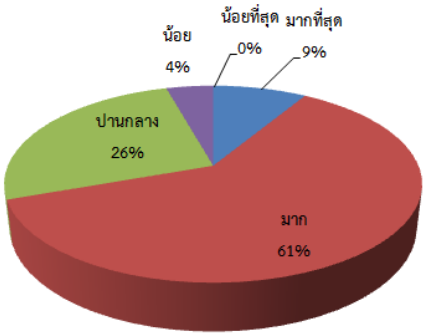
การแลกเปลี่ยนข้อมูลและแสดงความคิดเห็น



ระยะเวลาในการจัดการประชุม



สถานที่จัดการประชุมและอาหาร



ยินดีเข้าร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการในครั้งต่อไป

รูปที่ 3.7.2-2 รายงานการประเมินการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1

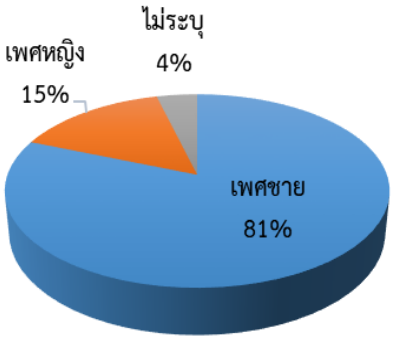
ในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 2 เมื่อวันศุกร์ที่ 18 พฤษภาคม 2561 ที่จังหวัดพิจิตร มีจำนวนผู้เข้าประชุมทั้งหมดจำนวน 26 คน ดังตารางที่ 3.7.2-2 และมีผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 26 ชุด โดยสรุปความคิดเห็นของประชาชนที่เข้าร่วมประชุม ปฐมนิเทศจากแบบสอบถาม สามารถสรุปได้ดังนี้

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชาย การประกอบอาชีพส่วนใหญ่เป็นเจ้าหน้าที่รัฐ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความเข้าใจเกี่ยวกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายการประชุมครั้งนี้ได้อย่างมาก คิดเป็นร้อยละ 62 ซึ่งในการประชุมครั้งนี้ ผู้ตอบแบบสอบถามได้ให้ระดับความพึงพอใจเกี่ยวกับเอกสารประกอบการประชุมในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 58 ในการประชุมครั้งนี้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูล และแสดงความคิดเห็นได้อย่างเหมาะสมในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 65 โดยในการประชุมครั้งนี้มีระยะเวลาในการจัดการประชุมเชิงปฏิบัติการอย่างเหมาะสมในระดับที่มาก คิดเป็นร้อยละ 46 จากภาพรวมของสถานที่จัดการประชุม และอาหาร ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 58 และผู้ตอบแบบสอบถามมีความยินดี

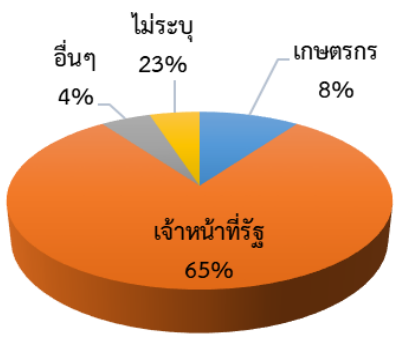
อย่างมากที่จะเข้าร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการในครั้งต่อไป คิดเป็นร้อยละ 58 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.2-3 และรูปที่ 3.7.2-4

ตารางที่ 3.7.2-2 จำนวนผู้เข้าร่วมประชุม ครั้งที่ 2

	หน่วยงานที่เข้าประชุม	จำนวนที่เข้าร่วมประชุม
1	เจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
2	เจ้าหน้าที่กรมชลประทาน	14
3	กรรมการลุ่มน้ำ	4
4	สำนักงานทรัพยากรน้ำ	6
รวม		**26**

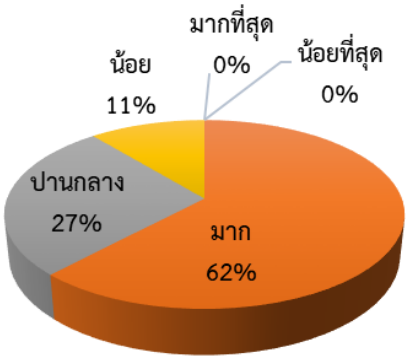


เพศ

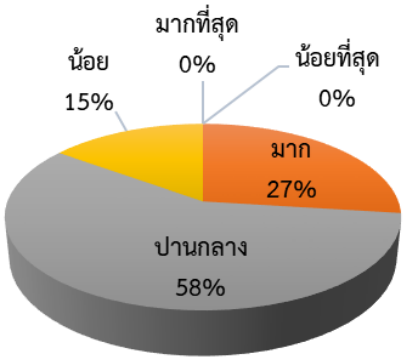


การประกอบอาชีพ

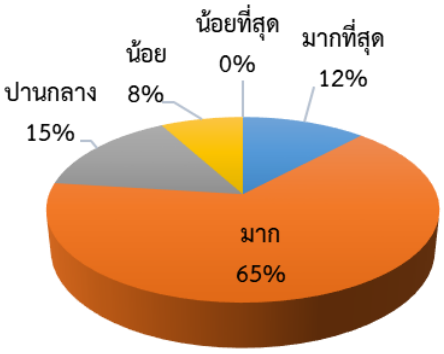
รูปที่ 3.7.2-3 ผู้ตอบแบบสอบถามการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 2



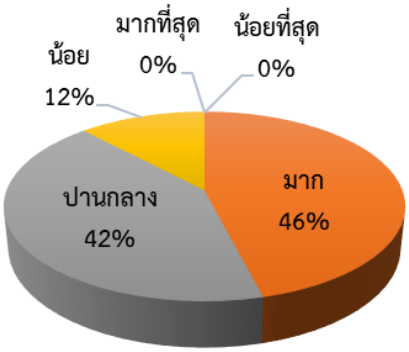
ความเข้าใจวัตถุประสงค์และเป้าหมาย



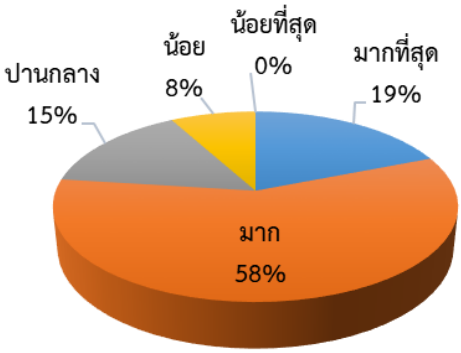
เอกสารประกอบการประชุม



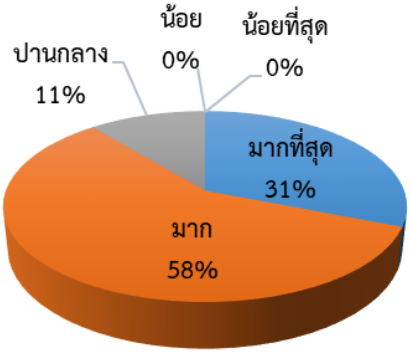
การแลกเปลี่ยนข้อมูลและแสดงความคิดเห็น



ระยะเวลาในการจัดการประชุม



สถานที่จัดการประชุมและอาหาร



ยินดีเข้าร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการในครั้งต่อไป

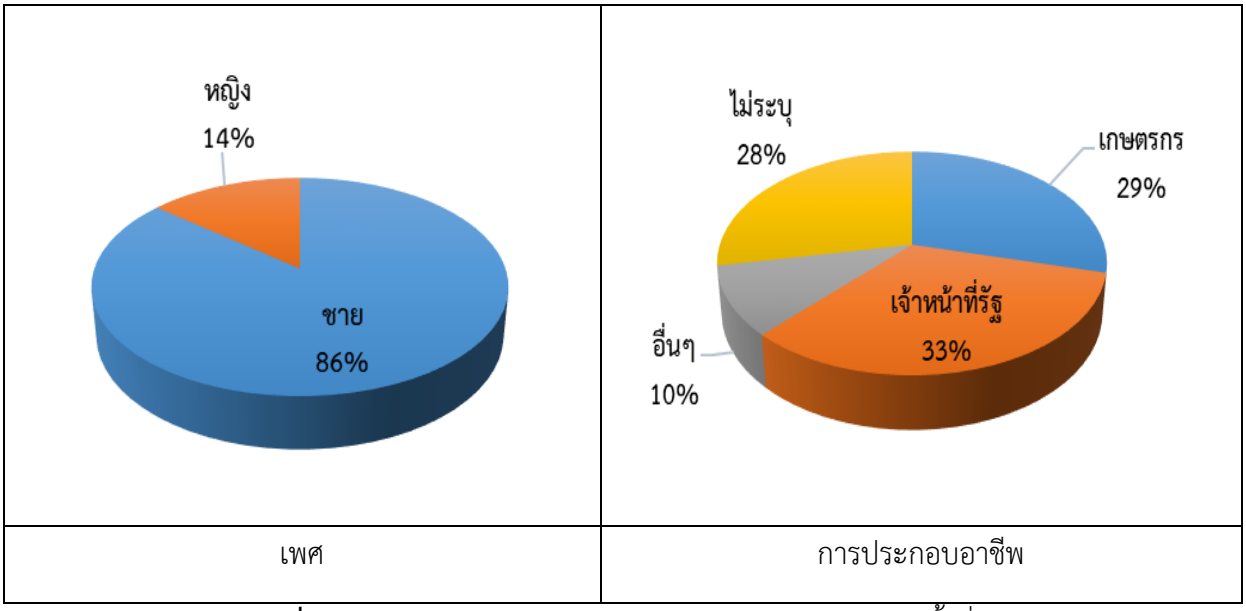
รูปที่ 3.7.2-4 รายงานการประเมินการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 2

ในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 3 เมื่อวันศุกร์ที่ 22 มิถุนายน 2561 ที่จังหวัดสุโขทัย มีจำนวนผู้เข้าประชุมทั้งหมดจำนวน 22 คน ดังตารางที่ 3.7.2-3 และมีผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 21 ชุด โดยสรุปความคิดเห็นของประชาชนที่เข้าร่วมประชุมปฐมนิเทศจากแบบสอบถาม สามารถสรุปได้ดังนี้

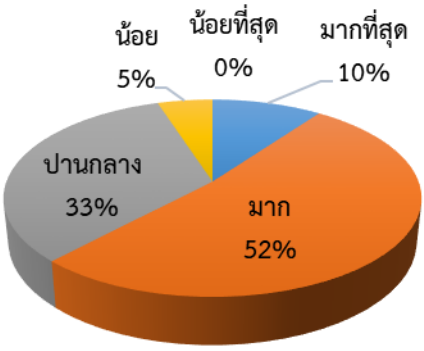
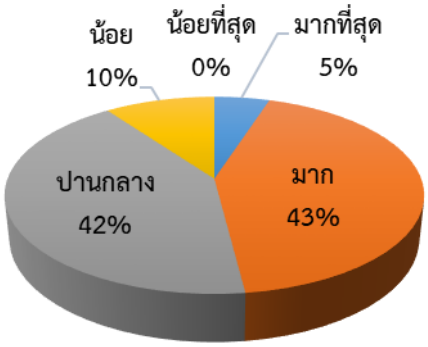
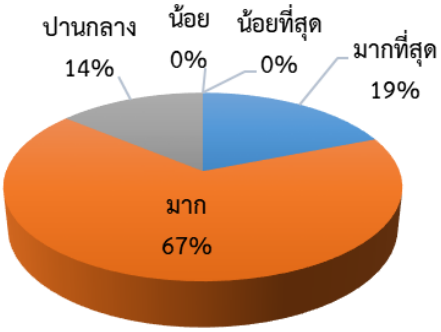
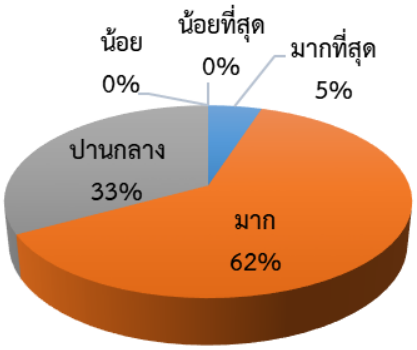
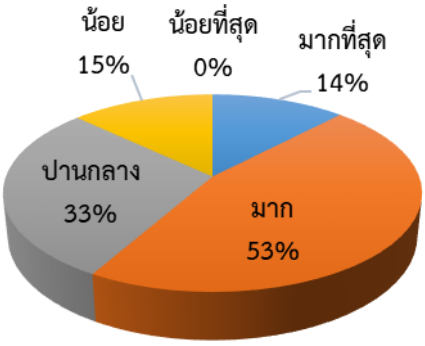
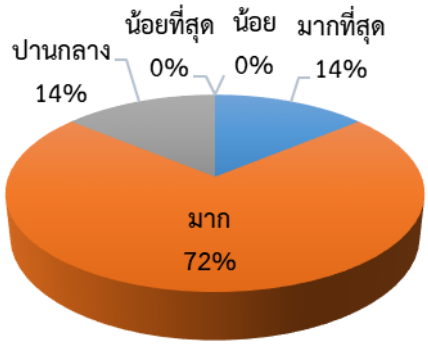
ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชาย การประกอบอาชีพส่วนใหญ่เป็นเจ้าหน้าที่รัฐ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความเข้าใจเกี่ยวกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายการประชุมครั้งนี้ได้อย่างมาก คิดเป็นร้อยละ 52 ซึ่งในการประชุมครั้งนี้ผู้ตอบแบบสอบถามได้ให้ระดับความพึงพอใจเกี่ยวกับเอกสารประกอบการประชุมในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 43 ในการประชุมครั้งนี้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูล และแสดงความคิดเห็นได้อย่างเหมาะสมในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 67 โดยในการประชุมครั้งนี้มีระยะเวลาในการจัดการประชุมเชิงปฏิบัติการอย่างเหมาะสมในระดับที่มาก คิดเป็นร้อยละ 62 จากภาพรวมของสถานที่จัดการประชุม และอาหาร ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 53 และผู้ตอบแบบสอบถามมีความยินดีอย่างมากที่จะเข้าร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการในครั้งต่อไป คิดเป็นร้อยละ 72 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.2-5 และรูปที่ 3.7.2-6

ตารางที่ 3.7.2-3 จำนวนผู้เข้าร่วมประชุม ครั้งที่ 3

	หน่วยงานที่เข้าประชุม	จำนวนที่เข้าร่วมประชุม
1	เจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
2	เจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำ	2
3	เจ้าหน้าที่กรมชลประทาน	3
4	กรรมการลุ่มน้ำ	15
รวม		**22**



รูปที่ 3.7.2-5 ผู้ตอบแบบสอบถามการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 3

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>ความเข้าใจวัตถุประสงค์และเป้าหมาย</td><td>เอกสารประกอบการประชุม</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>การแลกเปลี่ยนข้อมูลและแสดงความคิดเห็น</td><td>ระยะเวลาในการจัดการประชุม</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>สถานที่จัดการประชุมและอาหาร</td><td>ยินดีเข้าร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการในครั้งต่อไป</td></tr>
</table>

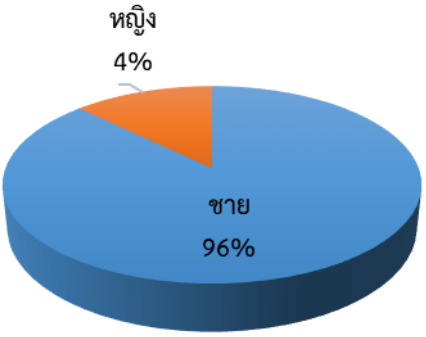
รูปที่ 3.7.2-6 รายงานการประเมินการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 3

ในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 4 เมื่อวันจันทร์ที่ 25 มิถุนายน 2561 ที่จังหวัดอุตรดิตถ์ มีจำนวนผู้เข้าประชุมทั้งหมดจำนวน 28 คน ดังตารางที่ 3.7.2-4 และมีผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 28 ชุด โดยสรุปความคิดเห็นของประชาชนที่เข้าร่วมประชุมปฐมนิเทศจากแบบสอบถาม สามารถสรุปได้ดังนี้

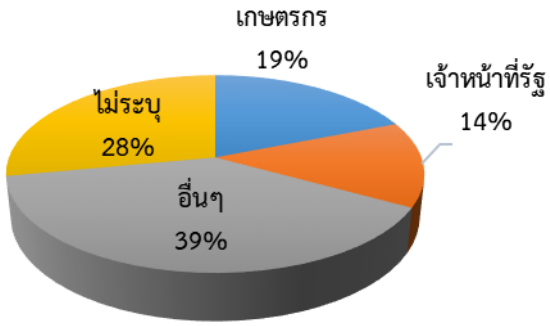
ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชาย การประกอบอาชีพส่วนใหญ่ไม่เป็นเจ้าหน้าที่รัฐและเกษตรกร ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความเข้าใจเกี่ยวกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายการประชุมครั้งนี้ได้อย่างมาก คิดเป็นร้อยละ 67 ซึ่งในการประชุมครั้งนี้ผู้ตอบแบบสอบถามได้ให้ระดับความพึงพอใจเกี่ยวกับเอกสารประกอบการประชุมในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 68 ในการประชุมครั้งนี้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูล และแสดงความคิดเห็น ได้อย่างเหมาะสมในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 67 โดยในการประชุมครั้งนี้มีระยะเวลาในการจัดการประชุมเชิงปฏิบัติการอย่างเหมาะสมในระดับที่มาก คิดเป็นร้อยละ 64 จากภาพรวมของสถานที่จัดการประชุมและอาหารผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 61 และผู้ตอบแบบสอบถามมีความยินดีอย่างมากที่จะเข้าร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการในครั้งต่อไป คิดเป็นร้อยละ 57 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.2-7 และรูปที่ 3.7.2-8

ตารางที่ 3.7.2-4 จำนวนผู้เข้าร่วมประชุม ครั้งที่ 4

	หน่วยงานที่เข้าประชุม	จำนวนที่เข้าร่วมประชุม
1	เจ้าหน้าที่กรมชลประทาน	3
2	กรรมการลุ่มน้ำ	20
3	องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น	5
รวม		**28**

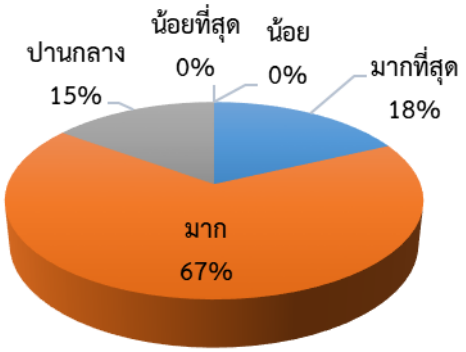


เพศ

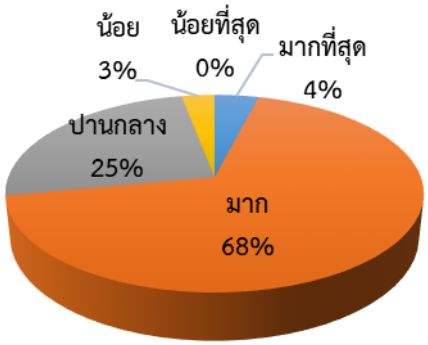


การประกอบอาชีพ

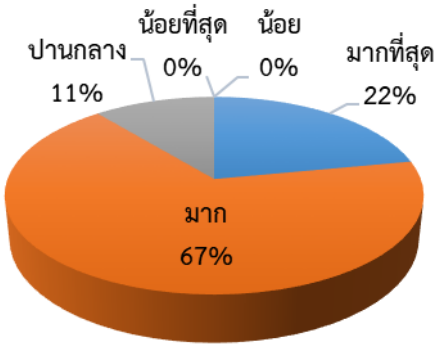
รูปที่ 3.7.2-7 ผู้ตอบแบบสอบถามการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 4



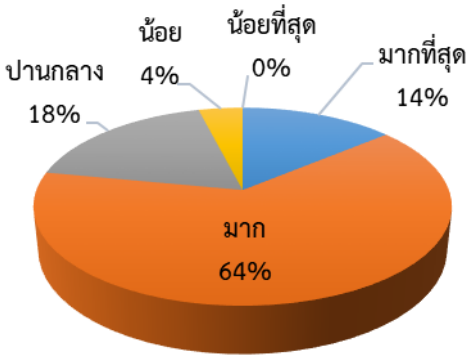
ความเข้าใจวัตถุประสงค์และเป้าหมาย



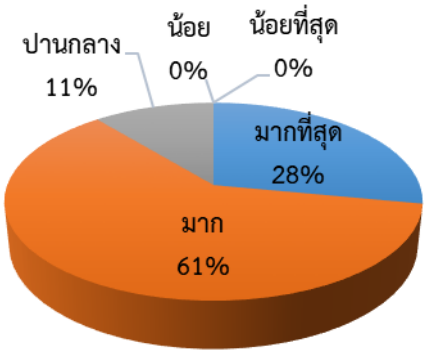
เอกสารประกอบการประชุม



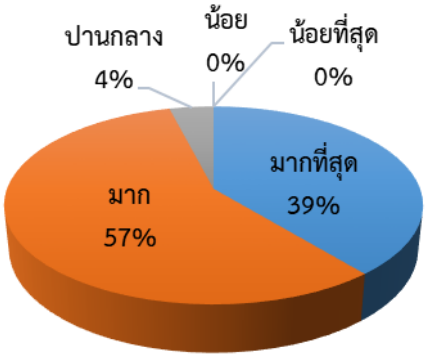
การแลกเปลี่ยนข้อมูลและแสดงความคิดเห็น



ระยะเวลาในการจัดการประชุม



สถานที่จัดการประชุมและอาหาร



ยินดีเข้าร่วมการประชุมเชิงปฏิบัติการในครั้งต่อไป

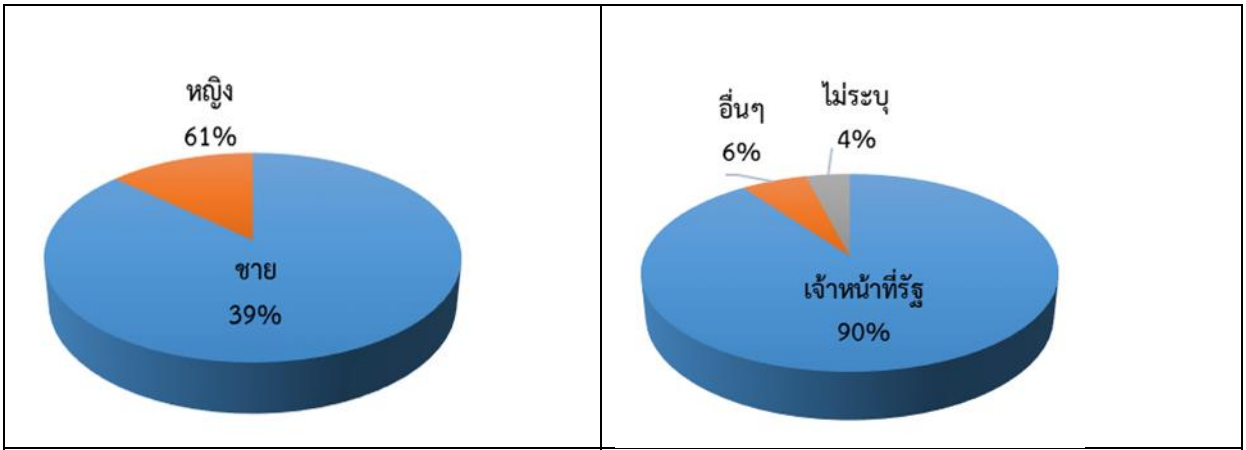
รูปที่ 3.7.2-8 รายงานการประเมินการประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 4

ในการจัดการฝึกอบรม ในวันที่ 7 – 9 สิงหาคม 2561 ที่กรุงเทพมหานคร มีจำนวนผู้เข้าประชุมทั้งหมดจำนวน 36 คน ดังตารางที่ 3.7.2-5 และมีผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 31 ชุด โดยสรุปความคิดเห็นของประชาชนที่เข้าร่วมฝึกอบรมจากแบบสอบถาม สามารถสรุปได้ดังนี้

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง การประกอบอาชีพส่วนใหญ่เป็นเจ้าหน้าที่รัฐ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความเข้าใจเกี่ยวกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายการจัดการฝึกอบรมครั้งนี้ได้อย่างมาก คิดเป็นร้อยละ 64 ซึ่งในการประชุมครั้งนี้ ผู้ตอบแบบสอบถามได้ให้ระดับความพึงพอใจเกี่ยวกับเอกสารประกอบการฝึกอบรมในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 39 ในการจัดการฝึกอบรมครั้งนี้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูล และแสดงความคิดเห็นได้อย่างเหมาะสมในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 71 โดยในการจัดการฝึกอบรมครั้งนี้มีระยะเวลาในการจัดการประชุมเชิงปฏิบัติการอย่างเหมาะสมในระดับที่มาก คิดเป็นร้อยละ 61 จากภาพรวมของสถานที่จัดการฝึกอบรมและอาหารผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 54 และผู้ตอบแบบสอบถามมีความยินดีอย่างมากที่จะเข้าร่วมกิจกรรมการฝึกอบรมในครั้งต่อไป คิดเป็นร้อยละ 55 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.2-9 และรูปที่ 3.7.2-10

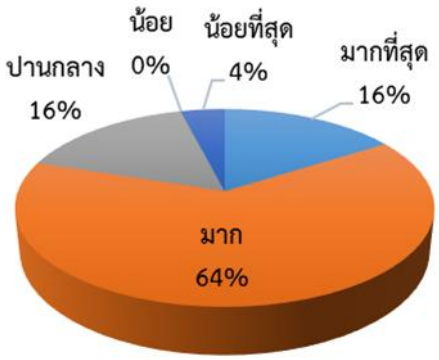
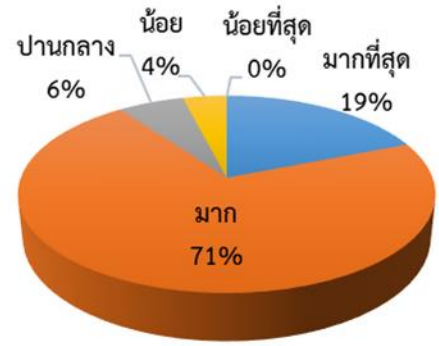
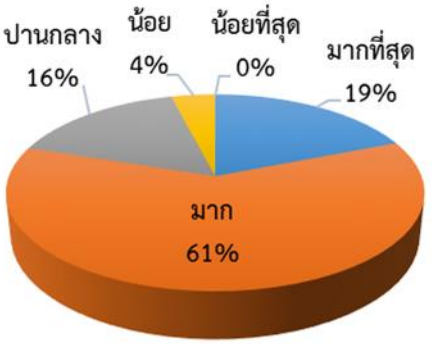
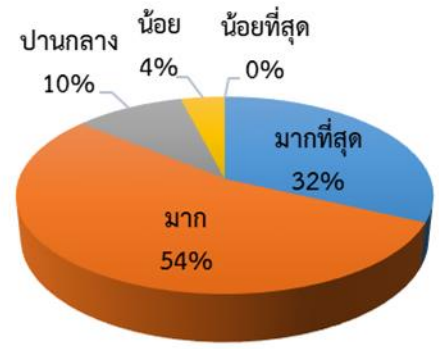
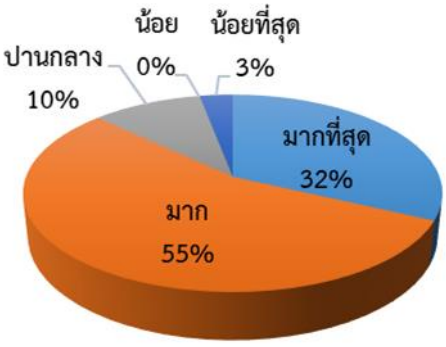
ตารางที่ 3.7.2-5 จำนวนผู้เข้าร่วมฝึกอบรม

	หน่วยงานที่เข้าร่วมฝึกอบรม	**จำนวนที่เข้าร่วมฝึกอบรม**
1	เจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	20
2	เจ้าหน้าที่สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ	1
3	เจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำ	1
4	เจ้าหน้าที่กรมชลประทาน	8
5	อื่นๆ	6
รวม		**36**



เพศ | การประกอบอาชีพ

รูปที่ 3.7.2-9 ผู้ตอบแบบสอบถามการเข้าร่วมฝึกอบรม

<table>
<tr><td> 
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>ความเข้าใจวัตถุประสงค์และเป้าหมาย</td><td>เอกสารประกอบการฝึกอบรม</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>การแลกเปลี่ยนข้อมูลและแสดงความคิดเห็น</td><td>ระยะเวลาในการจัดการฝึกอบรม</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>สถานที่จัดการฝึกอบรมและอาหาร</td><td>ยินดีเข้าร่วมการฝึกอบรมในครั้งต่อไป</td></tr>
</table>

รูปที่ 3.7.2-10 รายงานการประเมินการเข้าร่วมฝึกอบรม

3.7.3 กระบวนการประเมินผลเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้

ในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รู้จักการจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในระดับปานกลางคิดเป็นร้อยละ 57 โดยเชื่อว่าการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินอย่างมีประสิทธิภาพเป็นทางออกในการบรรเทาและแก้ไขปัญหาทรัพยากรน้ำในพื้นที่ คิดเป็นร้อยละ 56 เชื่อว่าแบบจำลองคอมพิวเตอร์สามารถช่วยให้การวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเป็นไปได้ คิดเป็นร้อยละ 44 และคิดว่าน้ำบาดาลและน้ำผิวดินมีการแลกเปลี่ยนกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึง คิดเป็นร้อยละ 45 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่คิดว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบต่อศักยภาพน้ำบาดาล คิดเป็นร้อยละ 69

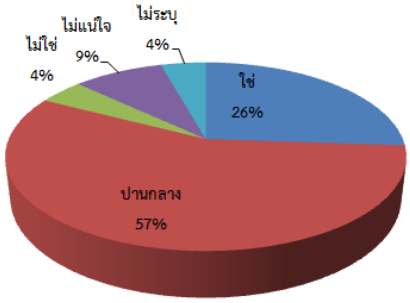
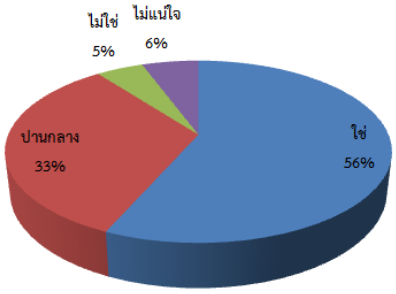
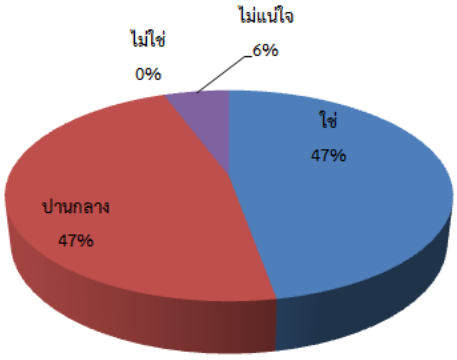
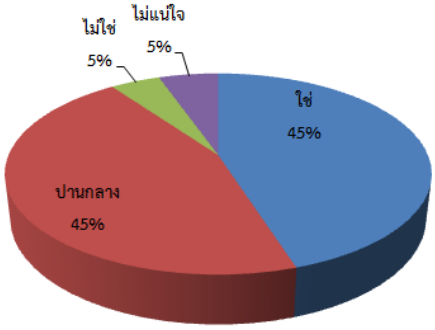
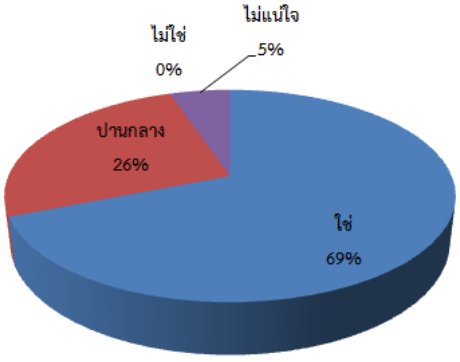
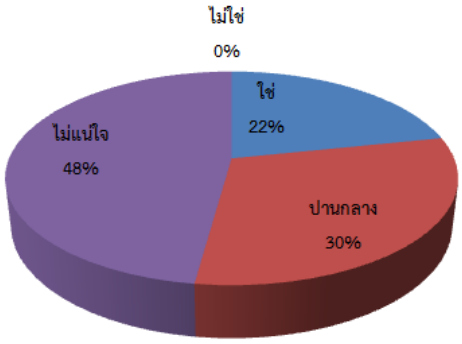
และผู้ตอบแบบสอบถามไม่แน่ใจว่าพื้นที่ของตนกำลังประสบปัญหามลพิษในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้ คิดเป็นร้อยละ 48 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.3-1

ในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 2 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รู้จักการจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 57 โดยเชื่อว่าการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินอย่างมีประสิทธิภาพเป็นทางออกในการบรรเทา และแก้ไขปัญหาทรัพยากรน้ำในพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 65 เชื่อว่าแบบจำลองคอมพิวเตอร์สามารถช่วยให้การวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเป็นไปได้ คิดเป็นร้อยละ 54 และคิดว่าน้ำบาดาลและน้ำผิวดินมีการแลกเปลี่ยนกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึง คิดเป็นร้อยละ 54 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่คิดว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มีผลกระทบต่อศักยภาพน้ำบาดาลคิดเป็นร้อยละ 65 และผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เชื่อว่าพื้นที่ของตนกำลังประสบปัญหามลพิษในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้ในระดับปานกลางคิดเป็นร้อยละ 46 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.3-2

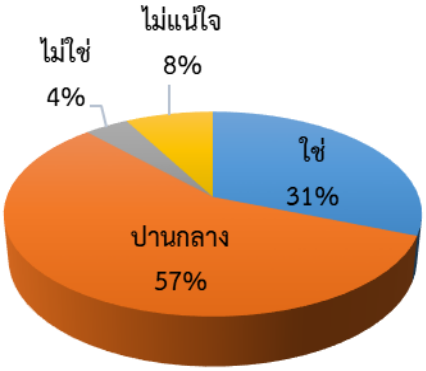
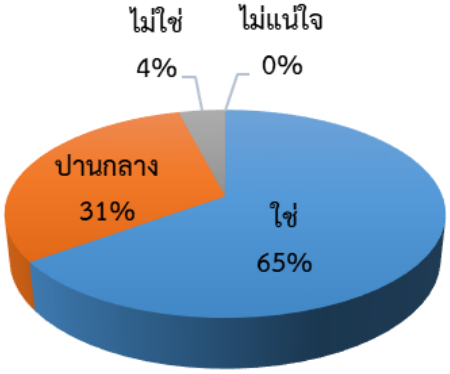
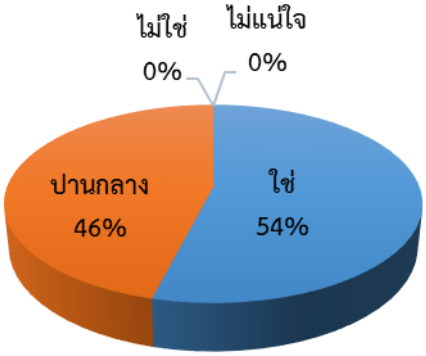
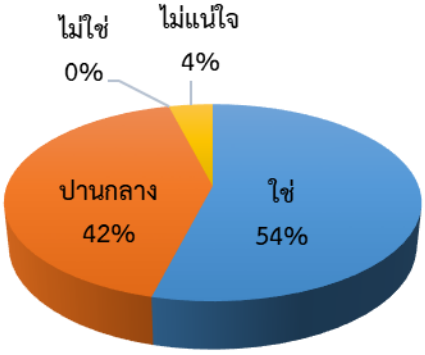
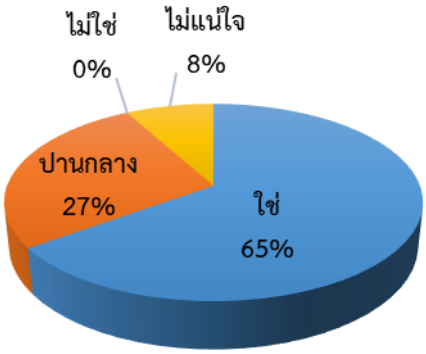
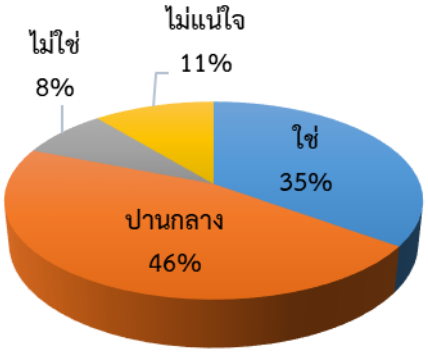
ในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 3 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รู้จักการจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 57 โดยเชื่อว่าการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินอย่างมีประสิทธิภาพเป็นทางออกในการบรรเทาและแก้ไขปัญหาทรัพยากรน้ำในพื้นที่ คิดเป็นร้อยละ 67 เชื่อว่าแบบจำลองคอมพิวเตอร์สามารถช่วยให้การวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเป็นไปได้ คิดเป็นร้อยละ 52 และคิดว่าน้ำบาดาลและน้ำผิวดินมีการแลกเปลี่ยนกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึง คิดเป็นร้อยละ 66 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่คิดว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มีผลกระทบต่อศักยภาพน้ำบาดาล คิดเป็นร้อยละ 81 และผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เชื่อว่าพื้นที่ของตนกำลังประสบปัญหามลพิษในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้ ในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 38 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.3-3

ในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 4 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รู้จักการจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 72 โดยเชื่อว่าการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินอย่างมีประสิทธิภาพเป็นทางออกในการบรรเทาและแก้ไขปัญหาทรัพยากรน้ำในพื้นที่ คิดเป็นร้อยละ 61 เชื่อว่าแบบจำลองคอมพิวเตอร์สามารถช่วยให้การวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเป็นไปได้ คิดเป็นร้อยละ 64 และคิดว่าน้ำบาดาลและน้ำผิวดินมีการแลกเปลี่ยนกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึง คิดเป็นร้อยละ 75 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่คิดว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบต่อศักยภาพน้ำบาดาล คิดเป็นร้อยละ 89 และผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เชื่อว่าพื้นที่ของตนกำลังประสบปัญหามลพิษในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้ในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 39 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.3-4

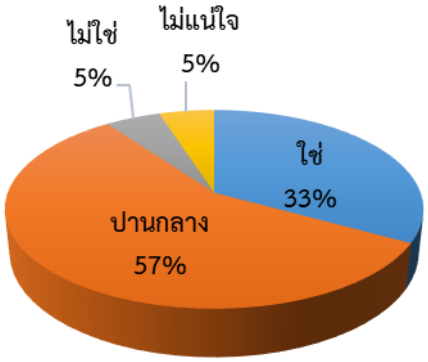
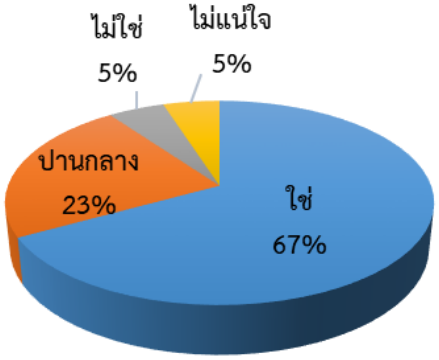
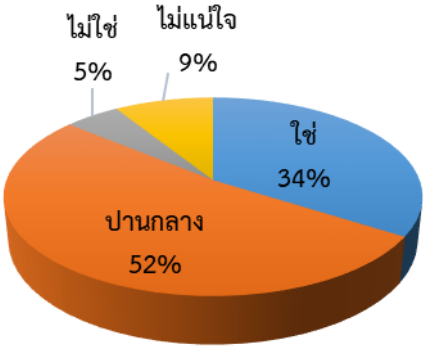
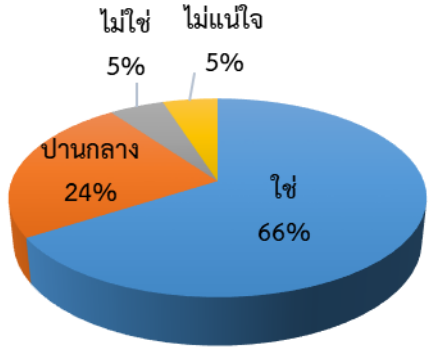
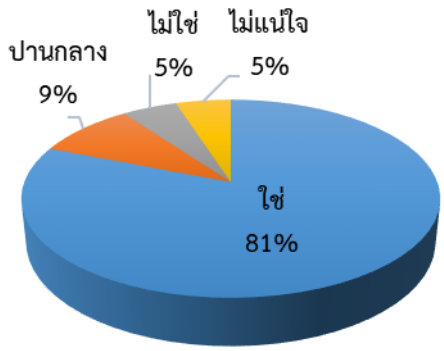
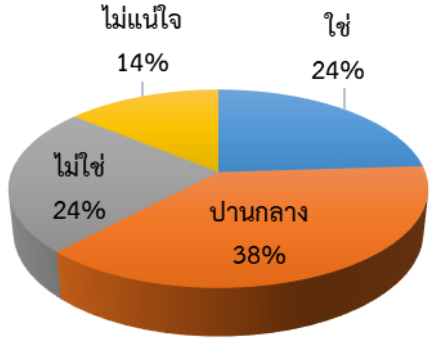
ในการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ ในวันที่ 7 – 9 สิงหาคม 2561 ที่กรุงเทพมหานคร มีผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รู้จักการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน คิดเป็นร้อยละ 55 โดยเชื่อว่าการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินอย่างมีประสิทธิภาพเป็นทางออกในการบรรเทาและแก้ไขปัญหาทรัพยากรน้ำ ในพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 84 เชื่อว่าแบบจำลองคอมพิวเตอร์สามารถช่วยให้การวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน เป็นไปได้คิดเป็นร้อยละ 68 และคิดว่าน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน มีการแลกเปลี่ยนกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงคิดเป็นร้อยละ 84 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ คิดว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบต่อศักยภาพน้ำบาดาลคิดเป็นร้อยละ 74 และผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่คิดว่าพื้นที่ของตนกำลังประสบปัญหามลพิษในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้ในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 39 ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.7.3-5

	
รู้จักการจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน	เชื่อว่าการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินอย่างมีประสิทธิภาพเป็นทางออกในการบรรเทาปัญหาทรัพยากรน้ำในพื้นที่
	
เชื่อว่าแบบจำลองคอมพิวเตอร์สามารถช่วยให้การวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเป็นไปได้	คิดว่าน้ำบาดาลและน้ำผิวดินมีการแลกเปลี่ยนกัน
	
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบต่อศักยภาพน้ำบาดาล	ประสบปัญหามลพิษในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้

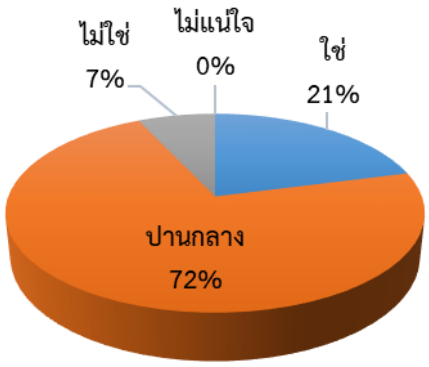
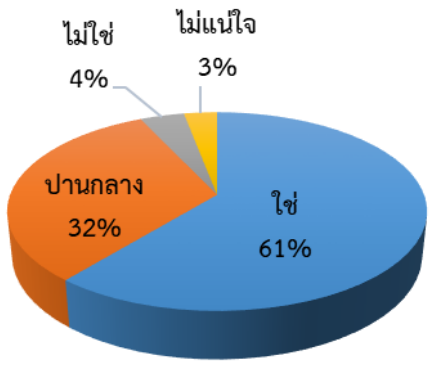
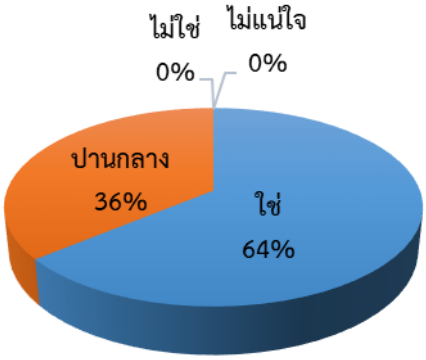
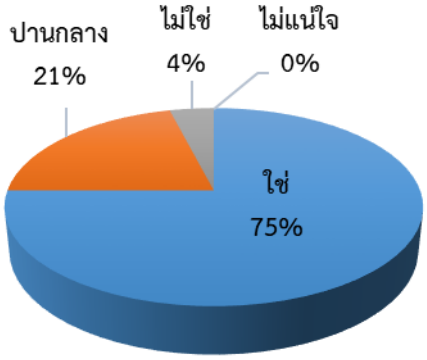
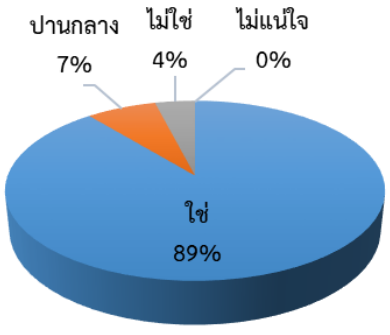
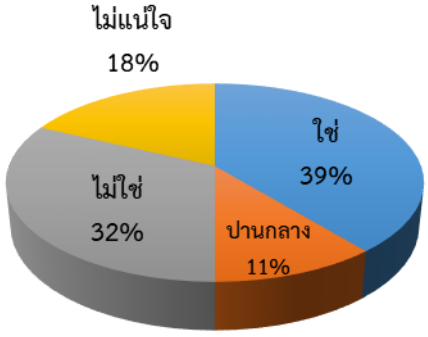
รูปที่ 3.7.3-1 แนวทางการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน ในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1

	
รู้จักการจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน	เชื่อว่าการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินอย่างมีประสิทธิภาพเป็นทางออกในการบรรเทาปัญหาทรัพยากรน้ำในพื้นที่
	
เชื่อว่าแบบจำลองคอมพิวเตอร์สามารถช่วยให้การวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเป็นไปได้	คิดว่าน้ำบาดาลและน้ำผิวดินมีการแลกเปลี่ยนกัน
	
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบต่อศักยภาพน้ำบาดาล	ประสบปัญหามลพิษในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้

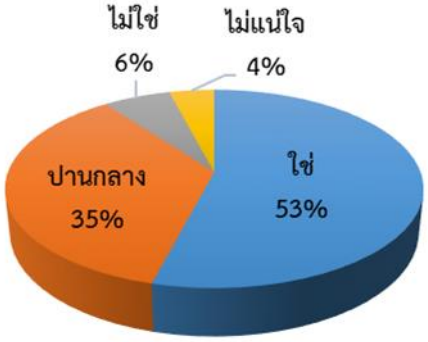
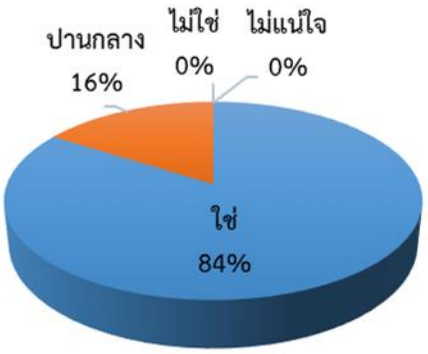
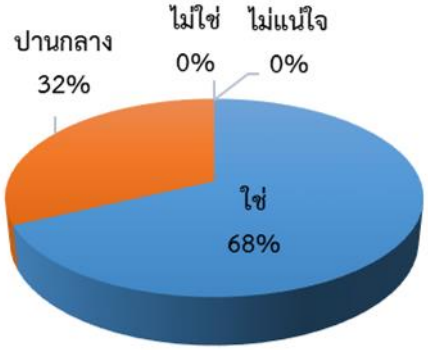
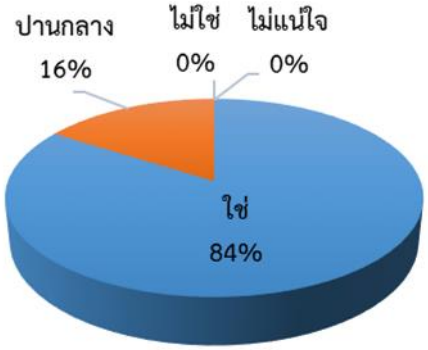
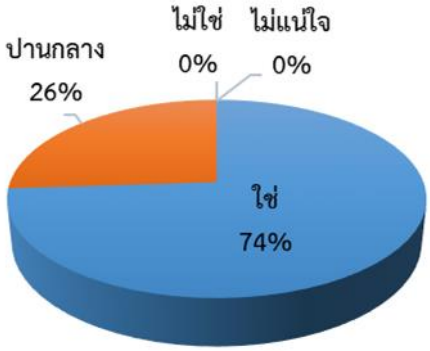
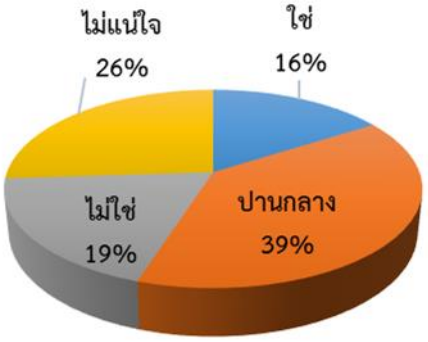
รูปที่ 3.7.3-2 แนวทางการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน ในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 2

	
รู้จักการจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน	เชื่อว่าการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินอย่างมีประสิทธิภาพเป็นทางออกในการบรรเทาปัญหาทรัพยากรน้ำในพื้นที่
	
เชื่อว่าแบบจำลองคอมพิวเตอร์สามารถช่วยให้การวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเป็นไปได้	คิดว่าน้ำบาดาลและน้ำผิวดินมีการแลกเปลี่ยนกัน
	
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบต่อศักยภาพน้ำบาดาล	ประสบปัญหามลพิษในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้

รูปที่ 3.7.3-3 แนวทางการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 3

	
รู้จักการจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน	เชื่อว่าการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินอย่างมีประสิทธิภาพเป็นทางออกในการบรรเทาปัญหาทรัพยากรน้ำในพื้นที่
	
เชื่อว่าแบบจำลองคอมพิวเตอร์สามารถช่วยให้การวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเป็นไปได้	คิดว่าน้ำบาดาลและน้ำผิวดินมีการแลกเปลี่ยนกัน
	
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบต่อศักยภาพน้ำบาดาล	ประสบปัญหามลพิษในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้

รูปที่ 3.7.3-4 แนวทางการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 4

	
รู้จักการจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน	เชื่อว่าการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินอย่างมีประสิทธิภาพเป็นทางออกในการบรรเทาปัญหาทรัพยากรน้ำในพื้นที่
	
เชื่อว่าแบบจำลองคอมพิวเตอร์สามารถช่วยให้การวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเป็นไปได้	คิดว่าน้ำบาดาลและน้ำผิวดินมีการแลกเปลี่ยนกัน
	
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบต่อศักยภาพน้ำบาดาล	ประสบปัญหามลพิษในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้

รูปที่ 3.7.3-5 แนวทางการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในการเข้าร่วมฝึกอบรม

บทที่ 4

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

บทที่ 4

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลและทรัพยากรน้ำผิวดินถูกพิจารณาแบบแยกส่วนกันมาตลอด ในขณะที่ความจริงทุกคนตระหนักดีว่าทรัพยากรน้ำบาดาลและทรัพยากรน้ำผิวดินเป็นทรัพยากรน้ำแหล่งเดียวที่มีความเชื่อมโยงถึงกัน ทั้งนี้ความสูญเสียของทรัพยากรอันหนึ่งจะส่งผลกระทบทางตรงต่อทรัพยากรอีกอันหนึ่ง การทำความเข้าใจความเชื่อมโยงระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินจึงมีความจำเป็น อย่างไรก็ตามเป็นการดำเนินการที่มีความซับซ้อนและยุ่งยาก ปฏิสัมพันธ์ทางอุทกวิทยาระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินยังมีนัยสำคัญต่อปริมาณและคุณภาพน้ำ การไหลของน้ำบาดาลเข้ามาเติมในลำน้ำนั้นมีความสำคัญในการรักษาระดับน้ำในลำน้ำขณะช่วงที่มีความแห้งแล้งยาวนาน ส่วนการสูบน้ำจากชั้นน้ำบาดาลที่อยู่ใกล้ชิดลำน้ำสามารถลดระดับการไหลพื้นฐานของลำน้ำ เพิ่มการเติมชั้นน้ำบาดาลโดยน้ำในลำน้ำ และเกิดการแลกเปลี่ยนที่มีความผันแปรค่อนข้างสูง

ปฏิสัมพันธ์ทางอุทกวิทยาระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน จัดเป็นรากฐานสำคัญของการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน ที่ถือเป็นเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนงานและการวางแผนเชิงนโยบายในระดับลุ่มน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต สร้างความเท่าเทียมทางเศรษฐกิจ และเกิดความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม โดยยึดถือหลักคิดที่ว่า “ตระหนักถึงความเชื่อมโยงระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน และระบบที่เชื่อมโยงถึงกันนี้ควรมีการจัดการโดยถือเป็นทรัพยากรเดียว” การที่จะเข้าใจถึงความเชื่อมโยงระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินจำต้องอาศัยองค์ความรู้ ดังต่อไปนี้

(1) ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลและการเชื่อมโยงกับลำน้ำ
(2) อัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำในลำน้ำ
(3) กลไกที่ก่อเกิดความผันแปรเชิงพื้นที่และเชิงเวลาในกระบวนการ การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำในลำน้ำ

ในหลายต่อหลายกรณี การจัดเก็บข้อมูลในสนามมักมีจำนวนจำกัดจึงอาจทำให้ขาดภาพรวมและความรู้ความเข้าใจ แบบจำลองสามารถถูกนำมาใช้ในการทำให้เห็นภาพรวมและสร้างความรู้ความเข้าใจจากการจำลองการเกิดขึ้นของสถานการณ์และการพยากรณ์ผลลัพธ์ที่ได้

การศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้วิธีการหลักเพื่อสร้างองค์ความรู้ทั้งสามดังกล่าวข้างต้น ได้แก่

(1) วิธีกำไร–ขาดทุนของอัตราการไหลในลำน้ำ
(2) วิธีการตรวจวัดปริมาณการแลกเปลี่ยนโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum
(3) วิธีการตรวจวัดการแลกเปลี่ยนโดยความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ

ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงการเติมน้ำลงชั้นน้ำบาดาลตามธรรมชาติทั้งโดยตัวลำน้ำและการซึมลงไปในดินของน้ำฝน ในขณะเดียวกันในหลายพื้นที่มีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในปริมาณมากเกินปริมาณการเติมน้ำบาดาลโดยธรรมชาติ โจทย์ที่สำคัญคือ การกำหนดแนวทางการสูบน้ำจากบ่อน้ำบาดาลเสริมการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน แต่ผลผลิตที่ได้ไม่ลดลงและไม่เกิดความเสี่ยงต่อการลดระดับของน้ำบาดาลอย่างถาวร การพิจารณาลดการสูบน้ำลงเมื่อการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินพึงกระทำได้ รวมไปถึงการบริหารจัดการน้ำในเขตชลประทานให้เหมาะสมกับช่วงเวลาที่มีการเติมน้ำบาดาลโดยธรรมชาติ มาตรการทางโครงสร้างทั้งฝายชะลอน้ำ ตลอดจนโครงสร้างเติมน้ำบาดาลแบบประดิษฐ์

4.1 สรุปผลการศึกษา

4.1.1 ลักษณะและสภาพของปัจจัยแวดล้อมหลักที่มีผลกระทบต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน

พื้นที่ศึกษาของโครงการ 15,283 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำยมตอนล่าง ลุ่มน้ำน่านตอนล่าง ลุ่มน้ำน่านส่วนที่ 4 และลุ่มน้ำคลองตรอน และพื้นที่ 7 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดสุโขทัย อุตรดิตถ์ พิษณุโลก กำแพงเพชร พิจิตร นครสวรรค์ และเพชรบูรณ์ ขอบเขตด้านบน (Upstream Boundary) ของแม่น้ำน่านเริ่มจากสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติ N60 อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ยาวลงมาตามทิศทางการไหลของน้ำ (จากทิศเหนือลงใต้) ผ่านเขื่อนนเรศวร จนถึงสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติ N27A อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก ลงมาผ่านจุดบรรจบของแม่น้ำแควน้อย จนถึงสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติ N5A อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ผ่านปากคลองระบายน้ำ 2.8 แล้วลงมาผ่านจุดบรรจบของแม่น้ำวังทอง จนถึงสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติ N7A อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร ลงมาจนถึงสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติ N8A อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร แล้วลงมาจนถึงสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติ N67 อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งเป็นจุดบรรจบของแม่น้ำยม และเป็นขอบเขตด้านล่าง (Downstream Boundary) กรณีพิจารณาอิทธิพลของแม่น้ำปิงขอบเขตด้านล่างจะถูกเลื่อนลงมาจนถึงสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติ C2 อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ (จุดบรรจบของแม่น้ำปิง)

ขอบเขตด้านบน (Upstream Boundary) ของแม่น้ำยม เริ่มจากสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติ Y6 อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย ยาวลงมาตามทิศทางการไหลของน้ำ (จากทิศเหนือลงใต้) ผ่านประตูระบายน้ำบ้านหาดสะพานจันทร์ จนถึงสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติ Y4 อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย แล้วลงมาจนถึงสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติ Y16 อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ผ่านปากคลองบางแก้ว ต่อลงมาจนถึงสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติ Y17 อำเภอสามง่าม จังหวัดพิจิตร ลงมาจนถึงสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติ Y5 อำเภอโพทะเล จังหวัดพิจิตร จนสุดท้ายบรรจบกับแม่น้ำน่านที่สถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติ N67 อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์

สภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาของโครงการพบว่าอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนี้ยังมีพายุดีเปรสชั่นและพายุไต้ฝุ่น ซึ่งมาจากทะเลจีนใต้พัดผ่านเข้ามาเป็นครั้งคราว ซึ่งส่งผลทำให้เกิดฤดูกาลต่างๆ ได้แก่ ฤดูฝนจะเกิดในช่วงเดือนพฤษภาคม–ตุลาคม ฤดูหนาวจะเกิดในช่วงปลายเดือนตุลาคม–กุมภาพันธ์ และฤดูร้อนจะเกิดในช่วงเดือนมีนาคม–เมษายน ส่วนข้อมูลตัวแปรสภาพภูมิอากาศอื่นๆ ในช่วงระหว่าง ปี พ.ศ. 2516–2546 ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 25.3–28.2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 70.4–75.3 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณการระเหยจากถาดเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 1,429–2,018 มิลลิเมตร พื้นที่ศึกษาของโครงการมีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 823–1,596 มิลลิเมตรต่อปี โดยเป็นปริมาณฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม–ตุลาคม) ประมาณร้อยละ 88–90 ของปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยและเป็นสัดส่วนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน–เมษายน) เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ประมาณร้อยละ 10)

ธรณีสัณฐานของพื้นที่ศึกษาของโครงการ แบ่งออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

(1) ที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood Plain) เป็นที่ราบที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่ถูกพัดพามาโดยแม่น้ำในฤดูน้ำหลาก แต่ละปีน้ำจากแม่น้ำจะไหลท่วมบริเวณนี้ และพัดพาเอาตะกอนมาทับถมทุกปี พื้นที่โดยทั่วไปเป็นฝั่งพื้นที่ราบเรียบ ความลาดชันน้อยกว่าร้อยละ 1 พื้นที่ราบน้ำท่วมถึงนี้พบอยู่บริเวณสองฝั่งของแม่น้ำน่านและแม่น้ำยม

(2) ตะพักแม่น้ำกึ่งปัจจุบันและตะกอนรูปพัดต่อเนื่อง (Semi-Recent Terrace and Coalescing Alluvial Fans) เกิดจากกระแสน้ำที่ไหลมาจากภูเขาพัดพาเอาตะกอนต่างๆ มาด้วย เมื่อกระแสน้ำไหลผ่านพ้นหุบเขาหรือเชิงเขาซึ่งเป็นที่ราบ ทำให้กำลังของน้ำลดลง ตะกอนที่ถูกพัดพามาก็จะตกตะกอน มีลักษณะคล้ายรูปพัด ลักษณะพื้นที่เหล่านี้พบทางตะวันตกของพื้นที่เป็นตะกอนรูปพัดกำแพงเพชร (Alluvial Fan) และด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษาเกิดจากตะกอนที่พัดมาจากพื้นที่ในเขตจังหวัดเพชรบูรณ์ สภาพพื้นที่เป็นที่ราบเป็นลูกคลื่นเล็กน้อยโดยเป็นที่ราบสลับกับที่ลุ่มชั้นบน บางแห่งมีตะกอนลำน้ำกึ่งปัจจุบันปิดทับอยู่ทางตอนบน ความลาดชันส่วนใหญ่ไม่เกินร้อยละ 3

(3) ตะพักลำน้ำ (Alluvial Terrace) เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำเก่าพื้นที่มีอายุมากกว่าที่ราบน้ำท่วมถึงและตะพักแม่น้ำกึ่งปัจจุบันและตะกอนรูปพัดต่อเนื่อง พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในระดับสูง มีลักษณะเป็นพื้นที่ราบจนถึงเป็นลูกคลื่น ความลาดชันน้อยกว่าร้อยละ 3 บริเวณเหล่านี้ถือว่าในอดีตเคยเป็นที่ราบน้ำท่วมถึงมาก่อน และในปัจจุบันลำน้ำดังกล่าวกัดเซาะผิวดินลึกลงไปอีกระดับหนึ่ง ดังนั้นจึงอยู่สูงกว่าที่ราบน้ำท่วมถึงในปัจจุบันบริเวณนี้ โดยมากเกิดมาจากตะกอนลำน้ำเช่นกัน แต่มีลักษณะของเนื้อดินแตกต่างกันไปตามสภาพท้องที่และดินที่เกิดจากตะกอนเก่าของลำน้ำเหล่านี้มีระยะเวลานานพอที่จะพัฒนาชั้นดินต่าง ๆ ขึ้นมาให้เห็นอย่างชัดเจน

(4) พื้นผิวที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน (Dissected Erosional Surface) เป็นบริเวณที่เป็นเนินเขาหรือเทือกเขามาก่อน แต่ผ่านกรรมวิธีปรับระดับอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากการกัดกร่อนมาแล้วในอดีตจนทำให้มีลักษณะพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นจนถึงเนินเขาเตี้ย มีความลาดชันร้อยละ 3–8 ดินที่พบในบริเวณนี้จะมีลักษณะผันแปรไปแล้วแต่ลักษณะของหินในบริเวณนั้นๆ และเป็นดินที่เกิดมาจากการสลายตัวของหินเดิม (Residual Soil) และเกิดจากการทับถมของเศษหินตะกอนเชิงเขา (Colluvium)

(5) ภูเขา (Mountain and Hill) เป็นพื้นที่สูงชัน หินพื้นรองรับในระดับตื้นถึงโผล่พ้นผิวดิน มีลักษณะเป็นโครงสร้างของภูเขาโดดของหินแอนดีไซต์และไรโอไลต์เป็นส่วนใหญ่ แต่ในบริเวณด้านทิศตะวันออกของจังหวัดพิษณุโลก เป็นภูเขาสูงที่เป็นแนวต่อเนื่องมาจากจังหวัดเพชรบูรณ์ สภาพพื้นที่มีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 ดินที่พบในบริเวณนี้มีลักษณะผันแปรแล้วแต่ชนิดของหินในบริเวณนั้นๆ

ตะกอนยุคควอเทอร์นารี เป็นตะกอนสมัยไพลโตซีน ประกอบด้วยกรวด ทรายหยาบ ดินโคลน หรือดินเหนียว ได้แก่ ตะกอนธารน้ำพา (Qa) ส่วนใหญ่พบอยู่ตามบริเวณที่ราบลุ่มสองฝั่งแม่น้ำยมและน่าน ตะกอนน้ำพารูปพัด (Qaf) ส่วนใหญ่พบกระจายตัวอยู่ทางฝั่งตะวันตกของแม่น้ำยม บริเวณจังหวัดกำแพงเพชร บางส่วนทางตะวันตกของจังหวัดพิจิตร อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก และตอนล่างของอำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย ทางตะกอนตะพักลำน้ำ (Qt) พบกระจายตัวอยู่ทางฝั่งตะวันออกของจังหวัดพิษณุโลก และจังหวัดพิจิตร ขนานกับแม่น้ำน่าน อยู่ระหว่างแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน บริเวณอำเภอศรีสำโรง และอำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย และบริเวณอำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร

ชั้นหินอุ้มน้ำหน่วยหินร่วน มีลักษณะเป็นตะกอนจับตัวกันหลวมๆ ที่สะสมตัวบนที่ราบลุ่ม ประกอบด้วยตะกอนน้ำพายุคปัจจุบันของแม่น้ำยมและน่าน ตะกอนน้ำพายุคเก่าแบบลานตะพักระดับต่ำและสูง และตะกอนที่เกิดจากตะกอนรูปพัด มีความหนารวมกันตั้งแต่ 50–80 เมตร ในบริเวณขอบแอ่งจนถึงกว่า 500 เมตร บริเวณกลางแอ่ง มีรายละเอียดดังนี้

(1) หน่วยตะกอนน้ำพายุคปัจจุบัน (Recent Flood Plain Deposits, Qfd หรือ ชั้นน้ำเจ้าพระยา, Qcp) ประกอบด้วยชั้นของทรายและกรวดขนาดต่างๆ มีความมนปานกลาง มีการคัดขนาดปานกลางถึงดี แทรกสลับด้วยชั้นดินเหนียวสีเหลือง น้ำตาล และแดง พบตามสองฝั่งแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านในเขตลุ่มน้ำหลากและในบริเวณร่องแคบๆของแม่น้ำสาขาทั้ง 2 นี้ ชั้นหินอุ้มน้ำอาจพบตั้งแต่ระดับผิวดินลงไป หรือมีดินเหนียวหนาไม่เกิน 5 เมตร ปิดทับอยู่ ความหนาของชั้นทรายอยู่ที่ 30–35 เมตร

(2) หน่วยตะกอนน้ำพารูปพัด (Alluvial Fan Deposits, Qaf) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยทรายสลับชั้นกรวดขนาดเล็ก สลับด้วยชั้นดินเหนียวปนลูกรัง ตะกอนน้ำพารูปพัดเกิดจากทางน้ำบนภูเขาฝั่งตะวันตกที่มีแม่น้ำไหลลงสู่ที่ราบภาคกลาง เมื่อตะกอนไหลลงมาตามความลาดชันของภูเขา ทำให้ความเร็วของน้ำเปลี่ยน ตะกอนที่ถูกน้ำพัดพามาจะแผ่กระจายออกทับถมกันบริเวณขอบที่ราบมีลักษณะคล้ายพัดที่กางออก

(3) หน่วยตะกอนตะพักยุคใหม่หรือลานตะพักระดับต่ำ (Low Terrace Deposits, Qlt หรือ ชั้นน้ำเชียงราย, Qcr) ประกอบด้วยชั้นดินเหนียว แป้งที่มีชั้นทรายและกรวดแทรกสลับ ชั้นหินอุ้มน้ำชั้นนี้วางตัวอยู่ใต้ชั้นน้ำตะกอนน้ำพายุคปัจจุบันโดยมีความหนาตั้งแต่ 10–60 เมตร และที่กลางแอ่ง ในเขตอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก และคลุมพื้นที่อำเภอสามง่าม อำเภอโพธิ์ประทับช้าง อำเภอบางมูลนาค จนถึงอำเภอตะพานหิน จังหวัดพิจิตร ความลึกของชั้นน้ำชั้นนี้อยู่ที่ 100 เมตร ชั้นน้ำนี้วางตัวถัดออกไปจากชั้นน้ำตะกอนน้ำพา (Qfd) หรือ ชั้นน้ำเจ้าพระยา (Qcp) ทั้งสองฝั่งของแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน เริ่มตั้งแต่อำเภอศรีสัชนาลัยไปจนเข้าเขตจังหวัดพิษณุโลก และจังหวัดพิจิตร โดยมีระดับความสูงของผิวดินลาดเอียงจากระดับ 65 เมตรในตอนเหนือลดระดับไปถึงประมาณ 40 เมตร ทางตอนใต้ ความลึกของชั้นน้ำอยู่ที่ 50–80 เมตร

(4) หน่วยตะกอนตะพักน้ำยุคเก่าหรือลานตะพักระดับสูง (High Terrace Deposits, Qht หรือ ชั้นน้ำเชียงใหม่, Qcm) เป็นชั้นน้ำที่เกิดจากการสะสมตัวของกรวด ทราย เศษหินในเขตที่ราบระดับสูงเชิงเขา บางส่วนถูกกัดเซาะไปโดยสาขาของน้ำในปัจจุบันเป็นที่สูงเชิงเขา เขตอำเภอศรีสัชนาลัย ผ่านมาถึงอำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ด้านตะวันออกพบในเขต อำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก และแผ่เป็นบริเวณกว้างรองรับใต้ชั้นน้ำ Qlt หรือ Qcr โดยมีการสะสมตัวในแอ่งในช่วงไพลสโตซีน ชั้นน้ำประกอบด้วย กรวด ทราย เป็นส่วนใหญ่ แทรกสลับด้วยชั้นดินเหนียว จึงมีการเรียงตัวและความกลมมนของตะกอนค่อนข้างดี

ชั้นหินอุ้มน้ำหน่วยหินแข็งเป็นแหล่งน้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในรอยแตกของหิน พบบริเวณขอบของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ด้านตะวันออกของจังหวัดพิจิตร จังหวัดพิษณุโลก บางส่วนของจังหวัดเพชรบูรณ์ ด้านตะวันตกของจังหวัดกำแพงเพชร และจังหวัดสุโขทัย ด้านเหนือของจังหวัดสุโขทัย และตอนล่างของจังหวัดแพร่ ประกอบด้วย

(1) หน่วยหินกลุ่มหินโคราช (Khorat Group Aquifers) ประกอบด้วยหินทราย หินทรายแป้งและหินดินดาน พบในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร อำเภอวังทอง อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก และบางส่วนของจังหวัดเพชรบูรณ์

(2) หน่วยหินปูน (Carbonate Aquifers) ในหลายๆ แห่งจะมีหินดินดานและหินทรายแทรกสลับทำให้เป็นแหล่งกักเก็บน้ำไม่ดี น้ำบาดาลหินปูนพบในพื้นที่ อำเภอทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย และอำเภอบางกระทุ่ม อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก

(3) หน่วยหินแปรและหินอัคนี (Metamorphic and Igneous Rock Aquifers) พบในบริเวณอำเภอทุ่งเสลี่ยม อำเภอศรีสัชนาลัย อำเภอด่านลานหอย อำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัยและอำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร

พื้นที่ศึกษาของโครงการถูกรองรับด้วยหินร่วนและหินแข็ง ศักยภาพของน้ำบาดาลจึงมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะของชั้นตะกอน และลักษณะทางโครงสร้างของชั้นหินอุ้มน้ำที่เป็นหินแข็ง โดยพื้นที่เติมน้ำ (Recharge Area) สู่แหล่งน้ำบาดาลอยู่บริเวณขอบแอ่ง ซึ่งเป็นหน่วยหินอุ้มน้ำในหินแข็ง และตะกอนหินร่วนที่สะสมตัวบนพื้นที่สูงใกล้เคียงทางทิศเหนือบริเวณจังหวัดอุตรดิตถ์ สุโขทัย แพร่ และกำแพงเพชรตอนบน ทางตะวันออกของพื้นที่บริเวณจังหวัดพิษณุโลก และพิจิตร และทางตะวันตกของพื้นที่บริเวณจังหวัดกำแพงเพชรตอนล่าง

(1) แหล่งน้ำบาดาลในหินร่วนมีลักษณะเป็นตะกอนจับตัวกันหลวมๆที่สะสมตัวบนที่ราบลุ่มประกอบด้วยตะกอนน้ำพายุคปัจจุบันของแม่น้ำยมและน่าน มีรายละเอียดดังนี้

ชั้นน้ำตะกอนน้ำพายุคปัจจุบัน (Recent Flood Plain Deposits, Qfd หรือ ชั้นน้ำเจ้าพระยา, Qcp) พบกระจายตัวอยู่ในเขตพื้นที่หลายแห่งของอำเภอศรีสำโรง อำเภอศรีสัชนาลัย อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย อำเภอพรหมพิราม อำเภอบางกระทุ่ม อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก และพื้นที่ลุ่มน้ำยม ลุ่มน้ำน่าน ลุ่มน้ำพิจิตร ในเขตจังหวัดพิจิตร มีศักยภาพการให้น้ำบาดาลสูง ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 15–25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เป็นแหล่งน้ำบาดาลระดับตื้นที่สำคัญต่อการทำเกษตรกรรมขนาดเล็กหรือเป็นแหล่งน้ำเสริมการเกษตรในช่วงฝนทิ้งช่วง พื้นที่เหล่านี้เป็นพื้นที่ระดับต่ำจึงมักถูกน้ำท่วมในช่วงที่มีฝนตกเกินเกณฑ์ปกติ

ชั้นน้ำตะกอนน้ำพารูปพัด (Alluvial Fan Deposits, Qaf) พบกระจายตัวบริเวณอำเภอไทรงาม อำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร และอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก หน่วยหินตะกอนน้ำพารูปพัดเป็นชั้นหินอุ้มน้ำที่ถูกปิดทับด้วยตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึงทำให้เป็นชั้นน้ำแบบมีแรงดันและกึ่งมีแรงดันความลึกถึงผิวบนของชั้นหินอุ้มน้ำซึ่งถูกปิดทับชั้นดินเหนียว โดยพบความลึกถึงชั้นน้ำที่น้อยกว่า 5 เมตร พบบริเวณตอนกลางของพื้นที่ที่เป็นเนินตะกอนน้ำพารูปพัดและตะกอนสะสมตัวในร่องน้ำตามขอบลำน้ำ นอกนั้นเป็นพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงมีความลึกมากกว่า 5 เมตร ลงไปมีศักยภาพการให้น้ำบาดาลสูง ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 5–25 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ชั้นน้ำตะกอนตะพักยุคใหม่ หรือลานตะพักระดับต่ำ (Low Terrace Deposits, Qlt หรือ ชั้นน้ำเชียงราย, Qcr) พบส่วนใหญ่กระจายตัวเป็นแนวเหนือใต้ขนานแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน ตั้งแต่อำเภอศรีสัชนาลัยลงมาถึงอำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย และฝั่งตะวันออกของแม่น้ำน่าน บริเวณอำเภอเมือง อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก มีศักยภาพการให้น้ำบาดาลสูง ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 15–20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และคุณสมบัติการจ่ายน้ำจำเพาะมีค่าตั้งแต่ 0–40 ตารางเมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากมีดินเหนียวและทรายละเอียดแทรกสลับ

ชั้นน้ำตะกอนตะพักน้ำยุคเก่า หรือลานตะพักระดับสูง (High Terrace Deposits, Qht หรือ ชั้นน้ำเชียงใหม่, Qcm) พบกระจายตัวบริเวณเขตอำเภอศรีสัชนาลัย อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย

ศักยภาพการให้น้ำบาดาลสูง ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 30–50 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บ่อน้ำบาดาลหลายพื้นที่สูบน้ำเพื่อทำการเกษตรกรรมขนาดใหญ่

(2) แหล่งน้ำบาดาลในหินแข็งเป็นแหล่งน้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในรอยแตกของหินพบบริเวณขอบของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ด้านตะวันออกของจังหวัดพิจิตร จังหวัดพิษณุโลก และจังหวัดเพชรบูรณ์ และด้านตะวันตกของจังหวัดกำแพงเพชร และจังหวัดสุโขทัย ด้านเหนือของจังหวัดสุโขทัย และด้านใต้ของจังหวัดแพร่ ศักยภาพการให้น้ำบาดาลค่อนข้างต่ำ มีรายละเอียดดังนี้

น้ำบาดาลในหินทราย หินทรายแป้ง และหินดินดาน (Khorat Group Aquifers) ศักยภาพการให้น้ำบาดาลต่ำ ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 1–5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ทำให้เป็นแหล่งกักเก็บน้ำไม่ดี พบในพื้นที่อำเภอทับคล้อ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร อำเภอวังทอง อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก

น้ำบาดาลในหินปูน (Carbonate Aquifers) ศักยภาพการให้น้ำบาดาลค่อนข้างต่ำ ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 3–5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ในหลายๆแห่งจะมีหินดินดานและหินทรายแทรกสลับ ทำให้เป็นแหล่งกักเก็บน้ำไม่ดี น้ำบาดาลหินปูนพบในพื้นที่อำเภอทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย และอำเภอบางกระทุ่ม อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก

น้ำบาดาลในหินแปรและหินอัคนี (Metamorphic and Igneous Rock Aquifers) ปริมาณการให้น้ำบาดาลค่อนข้างน้อย เนื่องจากรอยแตกของหินที่ไม่ต่อเนื่อง แหล่งน้ำบาดาลพบได้เฉพาะพื้นที่ที่มีโครงสร้างที่เหมาะสมจริงๆ ศักยภาพการให้น้ำบาดาลต่ำ ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 1–5 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบในบริเวณอำเภอทุ่งเสลี่ยม อำเภอศรีสัชนาลัย อำเภอคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย และอำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร

กลุ่มชุดดินหลักที่พบมากในพื้นที่ศึกษาของโครงการ ได้แก่

(1) กลุ่มชุดดินที่ 4 (บางมูลนาก) เกิดจากตะกอนลำน้ำ พบบริเวณที่ราบตะกอนน้ำพา พื้นที่เป็นที่ราบลุ่มหรือราบเรียบ เป็นดินลึกมีการระบายน้ำเลวหรือค่อนข้างเลว เนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวจัด สีดำหรือสีเทาเข้ม ดินล่างสีเทา น้ำตาล น้ำตาลอ่อน หรือเทาปนเขียวมะกอก มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลือง เหลือง หรือแดง อาจพบก้อนปูน หรือก้อนเคมีสะสมของเหล็กและแมงกานีสในดินล่าง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

(2) กลุ่มชุดดินที่ 5 (หางดง, พาน) เกิดจากตะกอนลำน้ำ ในบริเวณพื้นที่ราบตะกอนน้ำพา พื้นที่เป็นที่ราบลุ่มหรือราบเรียบ เป็นดินลึกมีการระบายน้ำเลว ดินบนเป็นดินร่วนเหนียว หรือดินเหนียว สีเทาแก่ ดินล่างเป็นดินเหนียวสีน้ำตาลอ่อนหรือเทา มีจุดประสีน้ำตาล เหลือง หรือแดงตลอดชั้นดิน มักพบก้อนเคมีสะสมของเหล็กและแมงกานีสปะปนอยู่ และในดินล่างลึกๆ อาจพบก้อนปูน ความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างต่ำ–ปานกลาง

(3) กลุ่มชุดดินที่ 6 (เชียงราย, มโนรมย์) เกิดจากตะกอนลำน้ำ ในบริเวณพื้นที่ราบตะกอนน้ำพา พื้นที่เป็นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ เป็นดินลึกมีการระบายน้ำเลวหรือค่อนข้างเลว ดินบนเป็นดินร่วนเหนียว หรือดินเหนียว สีเทาแก่ ดินล่างเป็นดินเหนียวสีน้ำตาลอ่อนหรือเทา มีจุดประสีน้ำตาล เหลือง หรือแดงตลอดชั้นดิน บางแห่งมีศิลาแลงอ่อน หรือก้อนเคมีสะสมของเหล็กและแมงกานีส ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำหรือค่อนข้างต่ำ

(4) กลุ่มชุดดินที่ 7 (สุโขทัย, พิจิตร) เกิดจากตะกอนลำน้ำ ในบริเวณพื้นที่ราบตะกอนน้ำพา พื้นที่เป็นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบ เป็นดินลึกมีการระบายน้ำเลวหรือค่อนข้างเลว ดินบนเป็นดินร่วนเหนียวหรือดินเหนียว สีเทาแก่ ดินล่างเป็นดินเหนียวสีน้ำตาลอ่อน เทา หรือ น้ำตาลปนเทา มีจุดประสีน้ำตาล เหลือง หรือแดงตลอดชั้นดิน ดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

(5) กลุ่มชุดดินที่ 15 (ศรีสัชนาลัย) เกิดจากตะกอนน้ำ พบบริเวณที่ราบตะกอนน้ำพา เป็นดินลึกที่มีการระบายน้ำค่อนข้างเลวหรือเลว เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวหรือดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินบนสีน้ำตาลปนเทา ดินล่างสีน้ำตาลหรือเทาปนชมพู พบจุดประสีเหลืองหรือน้ำตาลปนเหลืองตลอดหน้าตัดดิน ในดินล่างมักพบก้อนสารเคมีสะสมพวกเหล็กและแมงกานีส ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ–ปานกลาง

(6) กลุ่มชุดดินที่ 18 (ชลบุรี, โคกสำโรง) เกิดจากตะกอนลำน้ำ หรือวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อหยาบ เป็นดินลึกที่มีการระบายน้ำค่อนข้างเลว ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วน ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายหรือดินร่วนเหนียวสีน้ำตาลอ่อนถึงสีเทา มีจุดประสีน้ำตาล เหลือง หรือแดง บางแห่งพบศิลาแลงอ่อนหรือก้อนสารเคมีสะสมพวกเหล็กและแมงกานีสในดินล่าง มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ชั้นดินบนมักมีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง

(7) กลุ่มชุดดินที่ 33 (ตะพานหิน) เกิดจากตะกอนลำน้ำ บริเวณสันดินริมน้ำเก่า เนินตะกอนรูปพัดหรือที่ราบตะกอนน้ำพา เป็นดินลึกมาก มีการระบายน้ำดี–ดีปานกลาง เนื้อดินเป็นพวกดินทรายแป้งหรือดินร่วนละเอียด สีน้ำตาลหรือน้ำตาลปนแดง ในดินล่างลึกๆ อาจพบจุดประสีเทาและน้ำตาล อาจพบแร่ไมกาหรือก้อนปูนปนอยู่ด้วย ดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

(8) กลุ่มชุดดินที่ 35 (วาริน) เกิดจากตะกอนลำน้ำ หรือวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อหยาบที่ส่วนใหญ่มาจากหินตะกอน พบบริเวณที่ดอนเป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี–ดีปานกลาง เนื้อดินเป็นพวกดินร่วนละเอียดที่มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ส่วนดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาล เหลือง หรือแดง ดินล่างอาจพบจุดประสีต่างๆ ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

(9) กลุ่มชุดดินที่ 38 (ท่าม่วง, เชียงใหม่) เกิดจากตะกอนลำน้ำ มีลักษณะการทับถมเป็นชั้นๆ ของตะกอนในแต่ละช่วงเวลา พบบนสันดินริมน้ำ หรือที่ราบตะกอนน้ำพา เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี

ถึงดีปานกลาง เนื้อดินเป็นพวกดินร่วนหรือดินร่วนหยาบ สีน้ำตาลอ่อน อาจพบจุดประสีเทาและสีน้ำตาลในชั้นดินล่าง บางบริเวณพบไมกาและก้อนปูนปะปน ดินมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

(10) กลุ่มชุดดินที่ 40 (สันป่าตอง) เกิดจากตะกอนลำน้ำ หรือวัตถุต้นกำเนิดที่ผุพังสลายตัวอยู่กับที่หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาทับถมของวัสดุเนื้อหยาบ ลักษณะดินเป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี เนื้อดินเป็นพวกดินร่วนหยาบ สีดินเป็นสีน้ำตาล เหลืองหรือแดง อาจพบจุดประสีต่างๆ ในชั้นดินล่าง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

(11) กลุ่มชุดดินที่ 47 (ลี้, สบปราบ) เป็นกลุ่มชุดดินที่เกิดจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมาในระยะทางไม่ไกลนักของวัสดุเนื้อละเอียดที่มาจากทั้งหินตะกอน หรือหินอัคนี เป็นดินตื้น มีการระบายน้ำดี เนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินร่วนที่มีเศษหินปะปนมาก มักพบชั้นหินพื้นตื้นกว่า 50 เซนติเมตร สีดินเป็นสีน้ำตาล เหลืองหรือแดง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ–ปานกลาง

(12) กลุ่มชุดดินที่ 48 (แม่ริม) เป็นกลุ่มชุดดินที่เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกตะกอนลำน้ำหรือจากการผุพังสลายตัวอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วเคลื่อนย้ายมา ในระยะทางไม่ไกลนักของวัสดุเนื้อค่อนข้างหยาบ ที่มาจากหินตะกอน หรือหินแปร เป็นดินตื้น มีการระบายน้ำดี เนื้อดินบนส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย ส่วนดินล่างเป็นดินปนเศษหินหรือปนกรวด กรวดส่วนใหญ่เป็นหินกลมมน หรือเศษหินต่างๆ ถ้าเป็นดินปนเศษหิน มักพบชั้นหินพื้นตื้นกว่า 50 เซนติเมตร สีดินเป็นสีน้ำตาล เหลืองหรือแดง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ–ปานกลาง

(13) กลุ่มชุดดินที่ 62 (พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน) ประกอบด้วยพื้นที่ภูเขาและเทือกเขา ซึ่งมีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 ลักษณะและสมบัติของดินที่พบไม่แน่นอน มีทั้งดินลึกและดินตื้น มีความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของวัตถุต้นกำเนิด มักมีเศษหินหรือก้อนหินโผล่กระจัดกระจายทั่วไป ส่วนใหญ่ยังปกคลุมด้วยป่าไม้ต่างๆ

การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือตรวจวัด Turf-Tec Infiltrometer เพื่อตรวจวัดอัตราการซึมลงดินของน้ำ (Infiltration Rates) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใน 6.03 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอก 10.8 เซนติเมตร มีน้ำหนักรวม 5.50 กิโลกรัม ระดับน้ำเริ่มต้นในส่วนวงใน 125 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือจะถูกกดลึกลงไปในพื้นดิน 50 มิลลิเมตร สมการของ Horton' Equation [$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$] ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อแสดงผลการตรวจวัดอัตราการซึมลงดินของน้ำของ 100 จุดตรวจวัดในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ อัตราการซึมที่เวลาเริ่มต้น (f_0) ≅ 30 เซนติเมตรต่อชั่วโมง ค่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล (f_c) ≅ 1 เซนติเมตรต่อชั่วโมง และค่าคงที่ของการซึม (k) ≅ 0.400 นาที$^{-1}$ ดังนั้นภาพรวมของพื้นที่ศึกษามีอัตราการซึมลงดินของน้ำอยู่ที่ประมาณ 60 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษาของโครงการเป็นพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำหรือที่ราบน้ำท่วมถึงเกิดจากการที่แม่น้ำพัดพาเอาตะกอน กรวด ทราย หิน มาทับถมพอกพูนเป็นระยะเวลานานหลายล้านปีขึ้นไป

ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนทางด้านตะวันออกของจังหวัดสุโขทัย บางส่วนทางตอนใต้ของจังหวัดอุตรดิตถ์ บางส่วนทางด้านตะวันตกของจังหวัดพิษณุโลก ทั้งหมดของจังหวัดพิจิตร บางส่วนทางด้านตะวันออกของจังหวัดกำแพงเพชร บางส่วนทางตอนเหนือของจังหวัดนครสวรรค์ และบางส่วนทางด้านตะวันตกของจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งถือเป็นแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญของภาคเหนือตอนล่าง บริเวณสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติแม่น้ำยม Y6 ตั้งอยู่ ณ อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัยอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 70 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง และสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติแม่น้ำน่าน N60 ตั้งอยู่ ณ อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์ ของสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน อยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 60 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง มีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาโดดๆ ขนาดเล็กสลับกับพื้นที่ลอนลาด ลูกเนินเตี้ยๆ และเอียงเทลงสู่ที่ราบลุ่มภาคกลางทางตะวันตกของจังหวัดพิษณุโลก ลงมายังตะวันออกของจังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดพิจิตร จนกระทั่งบริเวณสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติแม่น้ำน่าน N67 ตั้งอยู่ ณ อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ และสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติแม่น้ำเจ้าพระยา C2 ตั้งอยู่ ณ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งทั้งสถานี N67 และ C2 อยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 30 เมตร เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มาจากแผนที่การใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2559 เป็นการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในระดับ 2 ซึ่งจะเน้นพื้นที่เกษตรกรรม ได้แก่ พื้นที่นา พืชไร่ ไม้ยืนต้น ไม้ผล เกษตรกรรมอื่นๆ การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษานั้นมีพื้นที่ส่วนใหญ่มากลำดับหนึ่งเป็นพื้นที่เพาะปลูกข้าว พบกระจายอยู่ทั่วทั้งบริเวณพื้นที่ศึกษา และลำดับสองเป็นพื้นที่พืชไร่ พบการปลูกพืชไร่มากทางตอนใต้ของจังหวัดสุโขทัย ตะวันตกของจังหวัดพิษณุโลก ตะวันตกของจังหวัดพิจิตร และตะวันออกของจังหวัดกำแพงเพชร โดยที่พื้นที่เพาะปลูกข้าวมีจำนวนมากกว่าพื้นที่พืชไร่ประมาณ 2 เท่า ยกเว้นจังหวัดพิจิตรที่พื้นที่เพาะปลูกข้าวมีจำนวนมากกว่าพื้นที่พืชไร่ประมาณ 10 กว่าเท่า

ข้อมูลในช่วงปี พ.ศ.2540–2559 พบว่าสถานีวัดปริมาณน้ำอัตโนมัติในพื้นที่ศึกษาของโครงการมีช่วงพิสัยของค่าปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่อยู่ระหว่าง 3.25–13.6 ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร โดยเดือนที่มีปริมาณน้ำท่าสูงสุดได้แก่ เดือนกันยายน และเดือนที่มีปริมาณน้ำท่าต่ำสุด ได้แก่ ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนมีนาคม อนึ่งถ้าการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าต่อหน่วยพื้นที่ได้ใช้ข้อมูลเฉพาะสถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำยมจะได้ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่อยู่ระหว่าง 3.25–7.75 ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร ทั้งนี้เพราะข้อมูลน้ำท่าของแม่น้ำน่านและแม่น้ำปิงอยู่ภายใต้การบริหารจัดการของเขื่อนสิริกิติ์ เขื่อนภูมิพล การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าต่อหน่วยพื้นที่ควรใช้ข้อมูลที่ปราศจากหรือมีผลกระทบจากการบริหารจัดการน้ำโดยมนุษย์น้อยที่สุด และจากตารางเดียวกันพบว่าปริมาณน้ำท่าจากสถานีที่ตรวจวัดในแม่น้ำยมมีสัดส่วนปริมาณน้ำท่าในฤดูฝน (พฤษภาคม–ตุลาคม) อยู่ระหว่างร้อยละ 67–86 ส่วนที่เหลือเป็นสัดส่วนในฤดูแล้ง ส่วนปริมาณน้ำท่าในแม่น้ำน่านและแม่น้ำปิงนั้นอยู่ภายใต้การบริหารจัดการของเขื่อนสิริกิติ์และเขื่อนภูมิพล โดยจากสถิตพบว่ามีปริมาณน้ำท่าในฤดูฝนอยู่ระหว่างร้อยละ 46–67 หรือสามารถที่จะกล่าวได้ว่าสัดส่วนของปริมาณน้ำท่าของสถานีที่อยู่ภายใต้เขื่อนใหญ่มีค่าไม่แตกต่างกันมาก นัก

ระหว่างฤดูแล้งกับฤดูฝน และเป็นอีกหลักฐานหนึ่งที่สามารถบ่งบอกบทบาทของอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ที่สามารถจัดการน้ำระหว่างฤดูกาลให้มีความสมดุลได้ การใช้น้ำในพื้นที่ศึกษาโดยภาพรวมพบว่า การใช้น้ำผิวดินส่วนใหญ่ในลุ่มน้ำกว่าร้อยละ 95 เป็นสัดส่วนสำหรับประกอบการเกษตร ส่วนปริมาณน้ำที่เหลือจะจัดสรรสำหรับการอุปโภค–บริโภค การอุตสาหกรรม รักษาระบบนิเวศ ท่องเที่ยว เป็นต้น ส่วนการใช้น้ำบาดาลซึ่งจากการสำรวจพื้นที่ศึกษาพบว่า มีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เพื่อทำนาปรังรวมถึงการอุปโภค-บริโภคในหลายพื้นที่

4.1.2 การประมาณการปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน

ผลการดำเนินการประมาณปริมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินโดยวิธีกำไร–ขาดทุนจากการทำบัญชีน้ำ (ข้อมูลน้ำท่า ปี พ.ศ. 2538–2559 รวมระยะเวลา 21 ปี) แสดงถึงการสูญเสียของน้ำในลำน้ำยมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในช่วงเดือนธันวาคม–กุมภาพันธ์ และเดือนเมษายน เป็นจำนวนประมาณ 25 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยเฉพาะลำน้ำยมบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ลงมาจนถึงอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ขณะเดียวกันก็พบการสูญเสียของน้ำในลำน้ำน่านลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในช่วงเดือนธันวาคม–เมษายน เป็นจำนวนประมาณ 50 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยเฉพาะลำน้ำน่านบริเวณจังหวัดพิจิตร ตั้งแต่อำเภอเมืองพิจิตรลงมาจนถึงอำเภอบางมูลนาก ดังนั้นการสูญเสียของน้ำในลำน้ำน่านมีจำนวนมากกว่าการสูญเสียของน้ำในลำน้ำยมราว 2 เท่า อย่างไรก็ตามไม่สามารถชี้ชัดถึงกรณีที่น้ำบาดาลมาเติมน้ำในลำน้ำ เนื่องจากมีปัจจัยแทรกซ้อนอาทิ การผันน้ำมาเติม และการปล่อยน้ำจากเขื่อน ในขณะที่ผลการตรวจวัดโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum บริเวณปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (DR2.8Y–R) และด้านฝั่งซ้าย (DR2.8Y–L) ของลำน้ำยม ช่วงเดือนธันวาคม–มกราคม 2561 ปรากฏว่าช่วงปลายเดือนมกราคมปริมาณการแลกเปลี่ยนมีปริมาณน้อยลงและผันแปรค่อนข้างมาก ตลอดจนมีบางส่วนของข้อมูลบ่งชี้ว่าเป็นการสูญเสียของน้ำในถุงของเครื่องมือตรวจวัด

ผลการตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิในน้ำทั้งสองแบบ คือ (ก) บริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำลงไป 1.00 เมตร และผิวของตะกอนท้องน้ำ และบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำลงไป 8.00 เมตร และผิวของตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่งปากคลองระบายน้ำ 2.8 ฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (DR2.8N–R) และตำแหน่งปากคลองระบายน้ำ 2.8 ฝั่งซ้ายของลำน้ำยม (DR2.8Y–L) มีวงจรเวลาของการสูญเสียและเพิ่มเติมของน้ำในลำน้ำที่คล้ายคลึงกัน โดยมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการสูญเสียของน้ำในลำน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ตั้งแต่เวลาเจ็ดโมงเช้าของวันจนกระทั่งราวบ่ายสามโมง แล้วจะเกิดการไหลของน้ำในชั้นน้ำบาดาลในทิศทางเข้าสู่ลำน้ำตั้งแต่เวลาบ่ายสามโมงจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลในช่วงเวลาสี่ทุ่มตอนกลางคืน สภาวะสมดุลหมายถึงช่วงเวลาที่อุณหภูมิบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำและผิวของตะกอนท้องน้ำคงที่ รวมถึงการตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิในลำน้ำน่านยังแสดงให้เห็นถึงสัญญาณการตอบสนองทางความร้อนของบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำลึก 8 เมตรอย่างฉับพลัน ซึ่งมักบ่งชี้ถึงอัตราการซึมที่สูงโดยเฉพาะในช่วงเวลาเช้า 7.00–10.00 น. ตารางที่ 4.1.2–1 แสดงข้อสรุปการเปรียบเทียบผลที่ได้และข้อดี–ข้อเสียของการประมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดิน

โดยวิธีกำไร–ขาดทุนจากการทำบัญชีน้ำ การตรวจวัดโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum และการตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ (1 และ 8 เมตร)

ตารางที่ 4.1.2-1 สรุปการเปรียบเทียบผลที่ได้และข้อดี–ข้อเสียของการประมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินโดยวิธีกำไร–ขาดทุนจากการทำบัญชีน้ำ การตรวจวัดโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum และการตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ

วิธีการ	ช่วงเวลาของข้อมูลที่ใช้/การตรวจวัด	ผลที่ได้รับ	ข้อดีของการใช้งาน	ข้อเสียของการใช้งาน	ข้อแนะนำการใช้งาน
กำไร–ขาดทุนจากการทำบัญชีน้ำ	ข้อมูลน้ำท่า ปี พ.ศ. 2538–2559	○ ลำน้ำยมสูญเสีย (~25 ลูกบาศก์เมตร/วินาที), อำเภอเมืองจังหวัดสุโขทัย ลงมาจนถึงอำเภอบางระกำจังหวัดพิษณุโลก, ธันวาคม–กุมภาพันธ์ และเมษายน ○ ลำน้ำน่านสูญเสีย (~50 ลูกบาศก์เมตร/วินาที),อำเภอเมืองพิจิตร ลงมาจนถึง อำเภอบางมูลนาก, ธันวาคม–เมษายน	○ มีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ○ การคำนวณไม่ซับซ้อน	ขาดข้อมูลการสูบน้ำโดยตรงจากลำน้ำอาจทำให้การคำนวณเกิดความคลาดเคลื่อน	○ เหมาะสมที่สุดกับลำน้ำที่ไม่คดมากและพื้นที่หน้าตัดลำน้ำมีขนาดใกล้เคียงกัน ○ สามารถประมาณปริมาณการสูบโดยตรงจากลำน้ำได้
การตรวจวัดโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum	19 ตุลาคม 2560, 17 กุมภาพันธ์ 2561, 10 เมษายน 2561 2, 16, 30 พฤศจิกายน 2560 23 มกราคม 2561 20–22 ธันวาคม 2560, 25 มกราคม 2561 24, 27–28 มกราคม 2561	ปริมาณการแลกเปลี่ยนมีปริมาณน้อยลงและผันแปรค่อนข้างมาก ตลอดจนมีบางส่วนของข้อมูลบ่งชี้ว่าเป็นการสูญเสียของน้ำในถุงของเครื่องมือตรวจวัด (การสูญเสียของน้ำในลำน้ำ), ปากคลองระบายน้ำ 2.8 อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก ด้านฝั่งขวา (DR2.8Y–R) และด้านฝั่งซ้าย (DR2.8Y–L) ของลำน้ำยม, ธันวาคม 2560–มกราคม 2561	○ องค์ประกอบเครื่องมือไม่มีความซับซ้อน ○ สามารถเคลื่อนย้ายได้ ○ การใช้งานไม่ยุ่งยากนัก	○ ไม่ใช่การตรวจวัดแบบต่อเนื่อง ○ สภาพแวดล้อมมีผลต่อการติดตั้งและค่าที่อ่านได้ ○ ค่าที่อ่านได้มักมีความแปรผันค่อนข้างสูง	ควรเลือกสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเช่น ความลาดชันของท้องน้ำ พื้นที่ฝั่งด้านที่มีการทับถมของตะกอนความลึกของน้ำ

ตารางที่ 4.1.2–1 สรุปการเปรียบเทียบผลที่ได้และข้อดี–ข้อเสียของการประมาณการแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาล–น้ำผิวดินโดยวิธีกำไร–ขาดทุนจากการทำบัญชีน้ำ การตรวจวัดโดยตรงด้วยเครื่องมือ Drum และการตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ **(ต่อ)**

วิธีการ		ช่วงเวลาของข้อมูลที่ใช้/การตรวจวัด	ผลที่ได้รับ	ข้อดีของการใช้งาน	ข้อเสียของการใช้งาน	ข้อแนะนำการใช้งาน
การตรวจวัดความผันแปรของอุณหภูมิความร้อนบริเวณใต้ตะกอนท้องน้ำ	Mini-piezometer	23–28 มกราคม 2561	ลำน้ำยมสูญเสียช่วงเข้าถึงบ่าย, ปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำยม (DR2.8Y–L), 27–28 มกราคม 2561	○ องค์ประกอบเครื่องมือไม่มีความซับซ้อน ○ สามารถเคลื่อนย้ายได้ ○ ตรวจวัดได้แบบต่อเนื่อง	○ ทำการตรวจวัดได้ในระดับที่ไม่ลึกมากนัก ○ ความผันแปรของอุณหภูมิอาจไม่ชัดเจนเพราะระดับความลึกยังไม่เพียงพอ	ควรเลือกสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมเช่นลักษณะความแข็งของตะกอนท้องน้ำ ความลึกของน้ำ
	บ่อสังเกตกาณ์ในลำน้ำลึก ~8 เมตร	17–19 กรกฎาคม 2561 23–25 กรกฎาคม 2561	○ ลำน้ำยมสูญเสียช่วงเข้าถึงบ่าย, ปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำยม (DR2.8Y–L), 17–19 กรกฎาคม 2561 ○ ลำน้ำน่านสูญเสียช่วงเข้าถึงบ่าย , ปากคลองระบายน้ำ 2.8 ด้านฝั่งขวาของลำน้ำน่าน (DR2.8N–R), 23–25 กรกฎาคม 2561	○ ทำการตรวจวัดได้ในระดับที่ลึกได้ ○ ความผันแปรของอุณหภูมิสามารถถูกแจกแจงได้ชัดเจนมากขึ้น	○ ต้องเจาะบ่อสังเกตการณ์ในลำน้ำทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง ○ ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้	สามารถเลือกตำแหน่งการติดตั้งให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ในลำน้ำแต่ไม่ห่างจากตลิ่งมากนัก

4.1.3 แบบจำลองการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินโดยใช้โปรแกรม eWater Source

ผลการสร้างแบบจำลองน้ำผิวดินร่วมกับแบบจำลองน้ำบาดาล รูปแบบข้อเด่นและข้อจำกัดของโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำบาดาล รวมถึงแบบจำลองคุณภาพน้ำบาดาล ได้พิจารณาจากหลักเกณฑ์ทั้งหมด 13 ข้อ แยกตามความสามารถของทั้ง 8 โปรแกรม 12 ข้อ และความเกี่ยวข้องกับกรรมสิทธิ์การถือครอง 1 ข้อ มีดังต่อไปนี้

(1) ความสามารถจำลองการไหลของน้ำบาดาล (ระดับน้ำและอัตราการไหล)
(2) ความสามารถจำลองการแลกเปลี่ยนระหว่างลำน้ำและชั้นน้ำบาดาลแบบสองทางได้
(3) ความสามารถประเมินน้ำต้นทุน
(4) ความสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลในรูปแบบกริด
(5) ความสามารถจำลองเหตุการณ์ฝนแบบไม่ต่อเนื่องและเหตุการณ์ฝนแบบต่อเนื่องหลายปี
(6) ความสามารถจำลองโครงสร้างชลศาสตร์โดยทั่วไปพร้อมกับการควบคุมที่เหมาะสม (ฝาย, ประตูระบายน้ำ, เครื่องสูบน้ำ ฯลฯ)
(7) ความสามารถจำลองเชิงเรขาคณิตของลำน้ำพร้อมรูปแบบกริด
(8) ความสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกับระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (DSS)
(9) ความมีส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ซึ่งมีคุณสมบัติครอบคลุมทั้งก่อนและหลังการประมวลผล
(10) ความสามารถจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารเคมีที่พบในน้ำบาดาล
(11) ความสามารถวิเคราะห์ธรณีเคมี
(12) ความสามารถในการประมาณการปริมาณสารเคมีที่พบในน้ำบาดาล ณ แหล่งกำเนิดโดยไม่จำเป็นต้องทราบความเป็นมา
(13) ความเกี่ยวข้องกับกรรมสิทธิ์การถือครอง

ตารางที่ 4.1.3-1 แสดงการเปรียบเทียบข้อเด่นและข้อจำกัดของโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำบาดาล รวมถึงแบบจำลองคุณภาพน้ำบาดาล โปรแกรม MIKE11 / MIKE SHE มีจำนวนความสามารถทั้งหมด 8 จาก 12 ซึ่งเป็นจำนวนมากที่สุด มีความสามารถจำลองการไหลของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน แต่ไม่มีความสามารถในการวิเคราะห์จำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารเคมีที่พบในน้ำบาดาล รวมถึงการวิเคราะห์ธรณีเคมี อีกทั้งจำเป็นต้องจ่ายเงินในปริมาณสูงเพื่อกรรมสิทธิ์การถือครอง โปรแกรม eWater Source มีจำนวนความสามารถทั้งหมด 7 จาก 12 ซึ่งเป็นจำนวนลำดับรองลงมา แต่มีความสามารถหลายอย่างใกล้เคียงโปรแกรม MIKE11 / MIKE SHE ยกเว้นความสามารถจำลองการไหลของน้ำบาดาลและความสามารถจำลองเชิงเรขาคณิตของลำน้ำพร้อมรูปแบบกริด ซึ่งสามารถทดแทนจากการใช้คู่กับโปรแกรม MODFLOW และ HEC-HMS / HEC-RAS ได้

ตารางที่ 4.1.3-1 การเปรียบเทียบข้อเด่นและข้อจำกัดของโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำบาดาล รวมถึงแบบจำลองคุณภาพน้ำบาดาล

ลำดับ	ข้อเด่นและข้อจำกัด	โปรแกรม					
		MIKE11 / MIKE SHE	HEC-HMS / HEC-RAS	MODFLOW	eWater SOURCE	Positive Matrix Factorization (PMF)	PHREEQC
1	สามารถจำลองการไหลของน้ำบาดาล (ระดับน้ำและอัตราการไหล)	●		●			
2	สามารถจำลองการแลกเปลี่ยนระหว่างลำน้ำและชั้นน้ำบาดาลแบบสองทางได้	●		●	●		
3	สามารถประเมินน้ำต้นทุน	●	●		●		
4	สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลในรูปแบบกริด	●		●	●		
5	สามารถจำลองเหตุการณ์ฝนแบบไม่ต่อเนื่องและเหตุการณ์ฝนแบบต่อเนื่องหลายปี	●	●		●		
6	สามารถจำลองโครงสร้างชลศาสตร์โดยทั่วไปพร้อมกับการควบคุมที่เหมาะสม (ฝาย, ประตูระบายน้ำ, เครื่องสูบน้ำ ฯลฯ)	●	●		●		
7	สามารถจำลองเชิงเรขาคณิตของลำน้ำพร้อมรูปแบบกริด	●	●				
8	สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกับระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (DSS)		●		●		
9	มีส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ซึ่งมีคุณสมบัติครอบคลุมทั้งก่อนและหลังการประมวลผล	●	●	●	●	●	●
10	สามารถจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารเคมีที่พบในน้ำบาดาล					●	
11	สามารถวิเคราะห์ธรณีเคมี						●
12	ประมาณการปริมาณสารเคมีที่พบในน้ำบาดาล ณ แหล่งกำเนิดโดยไม่จำเป็นต้องทราบความเป็นมา					●	
13	เกี่ยวกับกรรมสิทธิ์การถือครอง	●					
จำนวน		**8**	**6**	**4**	**7**	**3**	**2**

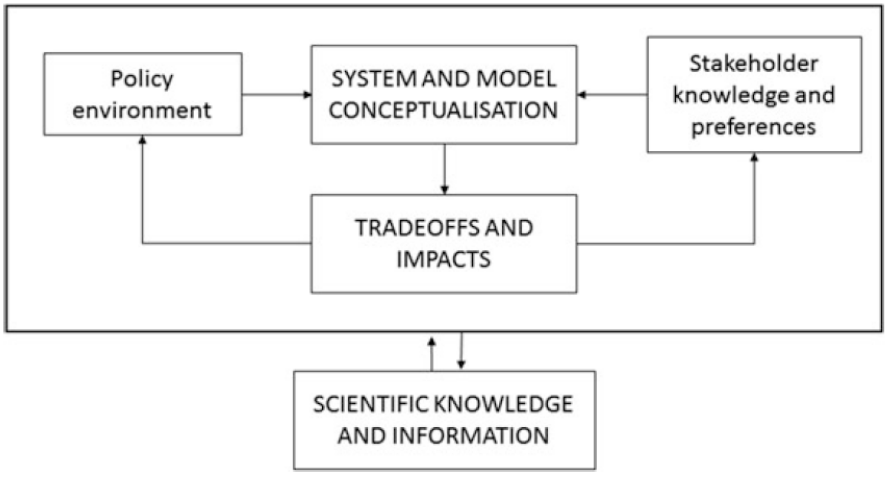
การสร้างแบบจำลองลำน้ำในพื้นที่ศึกษาโดยจะคำนึงถึงผลการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีกำไร–ขาดทุน (Gain-Loss Estimation Method) จากการทำบัญชีน้ำ โดยที่ลำน้ำยมสูญเสีย (~25 ลูกบาศก์เมตร/วินาที) บริเวณสถานี Y16 อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ลงมาจนถึงสถานี Y16 อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลกระหว่างเดือนธันวาคม–กุมภาพันธ์ และเมษายน และลำน้ำน่านสูญเสีย (~50 ลูกบาศก์เมตร/วินาที) บริเวณสถานี N7A อำเภอเมืองพิจิตร ลงมาจนถึงสถานี N8A อำเภอบางมูลนากระหว่างเดือนธันวาคม–เมษายน ซึ่งแบบจำลองจะประกอบด้วยจุดต่อ (Nodes) ที่เป็นสถานีวัดปริมาณน้ำท่าอัตโนมัติในลำน้ำยมของกรมชลประทาน (Y6, Y4, Y16, Y17, และ Y5) สถานีวัดปริมาณน้ำท่าอัตโนมัติในลำน้ำน่านของกรมชลประทาน (N60, N27A, N5A, N24, N7A, N8A, และ N67) ประตูระบายน้ำแม่น้ำยม (บ้านหาดสะพานจันทร์) เขื่อนนเรศวร และเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน ทั้งนี้จะสร้างให้บริเวณสถานี Y4–Y16 และสถานี N7A–N8A ทั้งคู่เป็นการเคลื่อนตัวของน้ำหลากแบบ Storage Routing ทำให้สามารถกำหนดค่าอัตราการแลกเปลี่ยนได้

การนำเข้าข้อมูลน้ำท่าที่ตรวจวัดได้ของสถานี Y6, Y4, Y16, Y17, Y5, N60, N27A, N5A, N24, N7A, N8A, และ N67 ในที่นี้จะใช้ข้อมูลน้ำท่าปี พ.ศ. 2554–2555 จากศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนล่าง และศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคกลางสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน โดยที่ พ.ศ. 2554 เป็นปีที่เกิดน้ำท่วมใหญ่ โดยที่ค่าเฉลี่ยน้ำท่าและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสถานี N60, N27A, N5A, N24, N7A, N8A, และ N67 เท่ากับ 357 ± 8.38, 222 ± 7.37, 294 ± 9.25, 456 ± 10.5, 420 ± 12.1, และ 485 ± 11.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับค่าเฉลี่ยน้ำท่าและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสถานี Y6, Y4, Y16, Y17, และ Y5 เท่ากับ 155 ± 8.11, 165 ± 5.29, 225 ± 9.49, 188 ± 9.01, และ221 ± 13.0 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งปริมาณน้ำท่าจากสถานีในลุ่มน้ำน่านมีมากกว่าปริมาณน้ำท่าจากสถานีในลุ่มน้ำยมอยู่ที่ประมาณสองเท่า

การดำเนินการแบบจำลองลำน้ำในโปรแกรม eWater Source ในที่นี้กำหนดระยะเวลาเท่ากับระยะเวลาของข้อมูลที่นำเข้าคือตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2554 ถึง วันที่ 31 ธันวาคม 2555 แสดงปริมาณน้ำท่าของสถานี N7A และ N8A พบว่าปริมาณน้ำท่าของสถานี 8A น้อยกว่าปริมาณน้ำท่าของสถานี 7A ในปริมาณที่ใกล้เคียงกันตลอดทั้งสองปีประมาณ 50 ลูกบาศก์เมตร/วินาที เท่ากับปริมาณอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินที่ได้กำหนดค่าไว้ ในขณะที่ปริมาณน้ำท่าของสถานี Y16 น้อยกว่าปริมาณน้ำท่าของสถานี Y4 ในปริมาณที่คงที่ประมาณ 25 ลูกบาศก์เมตร/วินาที เท่ากับปริมาณอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินที่ได้กำหนดค่าไว้ อย่างไรก็ตามช่วงหน้าแล้ง (มกราคม–เมษายน) จะพบการสูญเสียในปริมาณที่ไม่มากนัก ดั้งนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ยามหน้าน้ำมากจนระดับน้ำในลำน้ำขึ้นสูงกว่าระดับน้ำบาดาล ด้านข้างลำน้ำจะเกิดการสูญเสียของน้ำในลำน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในปริมาณที่มากกว่า

4.1.4 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ภาพรวมของการบริหารจัดการในที่นี้ได้หมายรวมถึงแนวทางการบรรเทาปัญหาหรืออยู่ร่วมกับปัญหาได้อย่างเหมาะสมตามบริบทของสถานการณ์ต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้กลายเป็นปัจจัยหนึ่งในปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดความไม่แน่นอนด้านทรัพยากรน้ำ กรอบงาน (Framework) ของการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำผิวดินร่วมกับน้ำบาดาล (รูปที่ 4.1.4-1) แสดงถึงนโยบาย (Policy) และผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder) นั้นคือปัจจัยหลักที่ทำให้ระบบ (System) ในที่นี้หมายถึง ทรัพยากรน้ำผิวดินและน้ำบาดาลเกิดเป็นมูลค่าขึ้นมา แต่ไม่มีการพัฒนาใดๆ ในด้านของรูปธรรมหรือสิ่งที่จับต้องได้ไม่มีข้อเสีย แต่อาจจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับสิ่งที่พัฒนานั้นๆ การใช้ทรัพยากรน้ำก็เช่นกัน คือจะต้องเกิดเป็นมูลค่าขึ้นมาพร้อมๆกับผลกระทบ (Tradeoffs and Impacts) และแน่นอนว่าการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศนั้นได้ก่อให้เกิดปัจจัยผลักดันต่างๆ ทั้งโดยตรงและโดยอ้อมต่อทรัพยากรน้ำดังแสดงในตารางที่ 4.1.4-1 การใช้ทรัพยากรจากระบบย่อยสองส่วนหลัก คือน้ำผิวดินและน้ำบาดาลจึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในเมื่อมีการทรัพยากรเพิ่มขึ้นสิ่งที่มิอาจหลีกเลี่ยงได้คือ ผลกระทบด้านลบหรือ Impacts ทั้งนี้ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจะสามารถบรรเทาลงได้หากมีข้อมูลองค์ความรู้ที่ถ่องแท้ (Scientific Knowledge and Information)



รูปที่ 4.1.4-1 กรอบงานของการบริหารจัดการน้ำผิวดินร่วมกับน้ำบาดาลภายใต้เงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (ที่มา: Jakeman et al., 2016)

ตารางที่ 4.1.4-1 ภาพรวมของสาเหตุและปัญหาที่เกี่ยวเนื่องกับทรัพยากรน้ำในปัจจุบัน

ปัจจัยผลักดัน	แรงกดดัน	สถานการณ์ปัจจุบัน	ผลกระทบ
การเพิ่มขึ้นของประชากร อาชีพและสภาพความเป็นอยู่ภายใต้การแข่งขัน	ความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคเพิ่มสูงขึ้น ความต้องการอาหารเพิ่มขึ้น	น้ำผิวดินไม่เพียงพอในบางช่วงเวลาส่งผลให้ต้องหาน้ำจากแหล่งอื่น เช่น สูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ทดแทน	ปริมาณน้ำท่าไม่สมดุลและปริมาณน้ำบาดาลลดลง
การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ/โลกร้อน	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ฯลฯ	ขาดความสมดุลของแหล่งน้ำ การกระจายตัวเชิงพื้นที่มีความผิดปกติ การสูญเสียน้ำสู่ชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น (การคายระเหย) ในขณะที่อัตราการเติมน้ำบาดาลลดลง (Reducing Groundwater Recharge)	ปริมาณน้ำท่าไม่สมดุลและปริมาณน้ำบาดาลลดลง
การขยายตัวของความเป็นเมือง/เขตเมือง	ความต้องการน้ำเพิ่มสูงขึ้น	เกิดโดมความร้อนในเขตเมือง (Urban Heat Island) พื้นที่ทึบน้ำปกคลุมพื้นผิวเพิ่มมากขึ้น (ถนน ลานคอนกรีต ฯลฯ) ความต้องการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้น ปัญหาคุณภาพน้ำ	น้ำท่าผิวดินเพิ่มสูงขึ้น (แต่อยู่ในรูปแบบมาเร็วไปเร็ว) การปนเปื้อนทั้งในน้ำผิวดินและน้ำบาดาล (คุณภาพน้ำไม่เหมาะสมต่อการอุปโภค-บริโภค)
อื่นๆ องค์ความรู้และความเข้าใจที่ถูกต้อง/ความไม่ชัดเจนขององค์กรหรือหน่วยงานที่รับผิดชอบ	ขาดการตระหนักถึงสถานการณ์สิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไป รวมถึงการใช้ทรัพยากรมากเกินขีดจำกัดของธรรมชาติ	ขาดการบูรณาการร่วมในด้านการบริหารจัดการทรัพยากรให้มีความเหมาะสมและได้ประโยชน์สูงสุด	เร่งให้เกิดผลกระทบด้านลบทั้งต่อน้ำผิวดินและน้ำบาดาล รวมถึงด้านปริมาณและคุณภาพ

4.1.5 ผลกระทบของมลพิษจำพวกโลหะหนักและสารอาหารต่อทรัพยากรน้ำบาดาลโดยการประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณจากการใช้แบบจำลอง Positive Matrix Factorization (PMF)

ผลการวิเคราะห์จากการใช้โปรแกรม EPA PMF 5.0 (n = 405 และ m = 12) โดยการกำหนดให้ดำเนินการจำนวน 100 ครั้ง แหล่งกำเนิด (Factors) มีจำนวน 2 แหล่ง และใช้ Base Run แสดงถึงแหล่งกำเนิดแรก คือ การละลายของแร่ธาตุจำพวกฟลูออไรด์ (F) โดยมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นน้ำเสียชุมชน (Sewage) รวมอยู่ด้วย มีค่าสัดส่วนร้อยละของไหลประมาณการเท่ากับ 45 และแหล่งกำเนิดที่สอง คือ การผุพังสลายตัวของชั้นหิน (Bedrock Weathering) / ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหิน (Water–rock Interaction) / การละลายของแร่ธาตุจำพวกเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) โดยมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นสารเคมีการเกษตร (Agricultural Pollution) รวมอยู่ด้วย มีค่าสัดส่วนร้อยละของไหลประมาณการเท่ากับ 55 ทั้งนี้แหล่งกำเนิดแรกจะให้ค่าร้อยละการจัดสรรของโซเดียม (Na) คลอไรด์ (Cl) และไบคาร์บอเนต (HCO_3) ในปริมาณที่มากกว่า ส่วนแหล่งกำเนิดที่สองจะให้ค่าร้อยละการจัดสรรของแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ซัลเฟต (SO_4) ไนเตรต (NO_3) และความกระด้างทั้งหมด (TH) ในปริมาณที่มากกว่า ในกรณีเดียวกันนี้ เมื่อสภาพแวดล้อมมีปริมาณไนเตรต (NO_3) อยู่มากจะส่งผลให้เกิดการละลายของแร่ธาตุทำให้ปริมาณเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) มีเพิ่มมากขึ้น

ผลการวิเคราะห์จากการใช้โปรแกรม EPA PMF 5.0 (n = 405 และ m = 12) โดยการกำหนดให้ดำเนินการจำนวน 100 ครั้ง แหล่งกำเนิด (Factors) มีจำนวน 3 แหล่ง และใช้ Base Run แสดงถึงแหล่งกำเนิดแรก คือ การผุพังสลายตัวของชั้นหิน (Bedrock Weathering) / ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหิน (Water–rock Interaction) มีค่าสัดส่วนร้อยละของไหลประมาณการเท่ากับ 31 แหล่งกำเนิดที่สอง คือ การละลายของแร่ธาตุจำพวกฟลูออไรด์ (F) โดยมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นน้ำเสียชุมชน (Sewage) รวมอยู่ด้วย มีค่าสัดส่วนร้อยละของไหลประมาณการเท่ากับ 30 และแหล่งกำเนิดที่สาม คือ การละลายของแร่ธาตุจำพวกเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) โดยมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นสารเคมีการเกษตร (Agricultural Pollution) รวมอยู่ด้วย มีค่าสัดส่วนร้อยละของไหลประมาณการเท่ากับ 39 ทั้งนี้แหล่งกำเนิดแรกจะให้ค่าร้อยละการจัดสรรของแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) แมงกานีส (Mn) ซัลเฟต (SO_4) ไนเตรต (NO_3) และความกระด้างทั้งหมด (TH) ในปริมาณที่มากกว่า แหล่งกำเนิดที่สองจะให้ค่าร้อยละการจัดสรรของคลอไรด์ (Cl) ในปริมาณที่มากกว่า ส่วนแหล่งกำเนิดที่สามจะให้ค่าร้อยละการจัดสรรของโซเดียม (Na) เหล็ก (Fe) ไบคาร์บอเนต (HCO_3) และฟลูออไรด์ (F) ในปริมาณที่มากกว่า

การประเมินสืบหาแหล่งกำเนิดและปริมาณโดยการใช้แบบจำลอง PMF ซึ่งถือเป็นแบบจำลองทางสถิติประเภทที่เกี่ยวข้องกับหลายค่าตัวแปร (Multivariate Models) ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ผลที่ดีที่สุด (Optimization) โดยใช้สมการเป้าหมาย (Objective Function) จึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หาคุณสมบัติอุทกธรณีเคมี (Hydrogeochemical Characteristics) ในตัวอย่างของน้ำบาดาลที่ตรวจวัดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีนี้เมื่อพื้นที่ที่เก็บตัวอย่างน้ำบาดาลมีขนาดใหญ่มาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดำเนินการเสริมโดยใช้แผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram) ที่สามารถวิเคราะห์หาคุณสมบัติอุทกธรณีเคมี (เช่น ไอออนขององค์ประกอบทางเคมี)

ได้โดยตรง ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติอุทกธรณีเคมี (Hydrogeochemical Characteristics) ของตัวอย่างน้ำบาดาลจำนวน 405 ตัวอย่าง โดยใช้แผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram) จากการแยกตัวอย่างตามระดับชั้นน้ำบาดาล ได้แก่ (1) เจ้าพระยาตอนล่างตะกอนชั้นที่ 2 (LCP–S2) (2) เจ้าพระยาตอนบนหินแข็ง <100m (NCP–HS100) (3) เจ้าพระยาตอนบนตะกอนชั้นที่ 1 (NCP–S1) (4) เจ้าพระยาตอนบนตะกอนชั้นที่ 2 (NCP–S2) และ (5) เจ้าพระยาตอนบนตะกอนชั้นที่ 3 (NCP-S3) สามารถจัดประเภทน้ำบาดาล ได้ดังต่อไปนี้

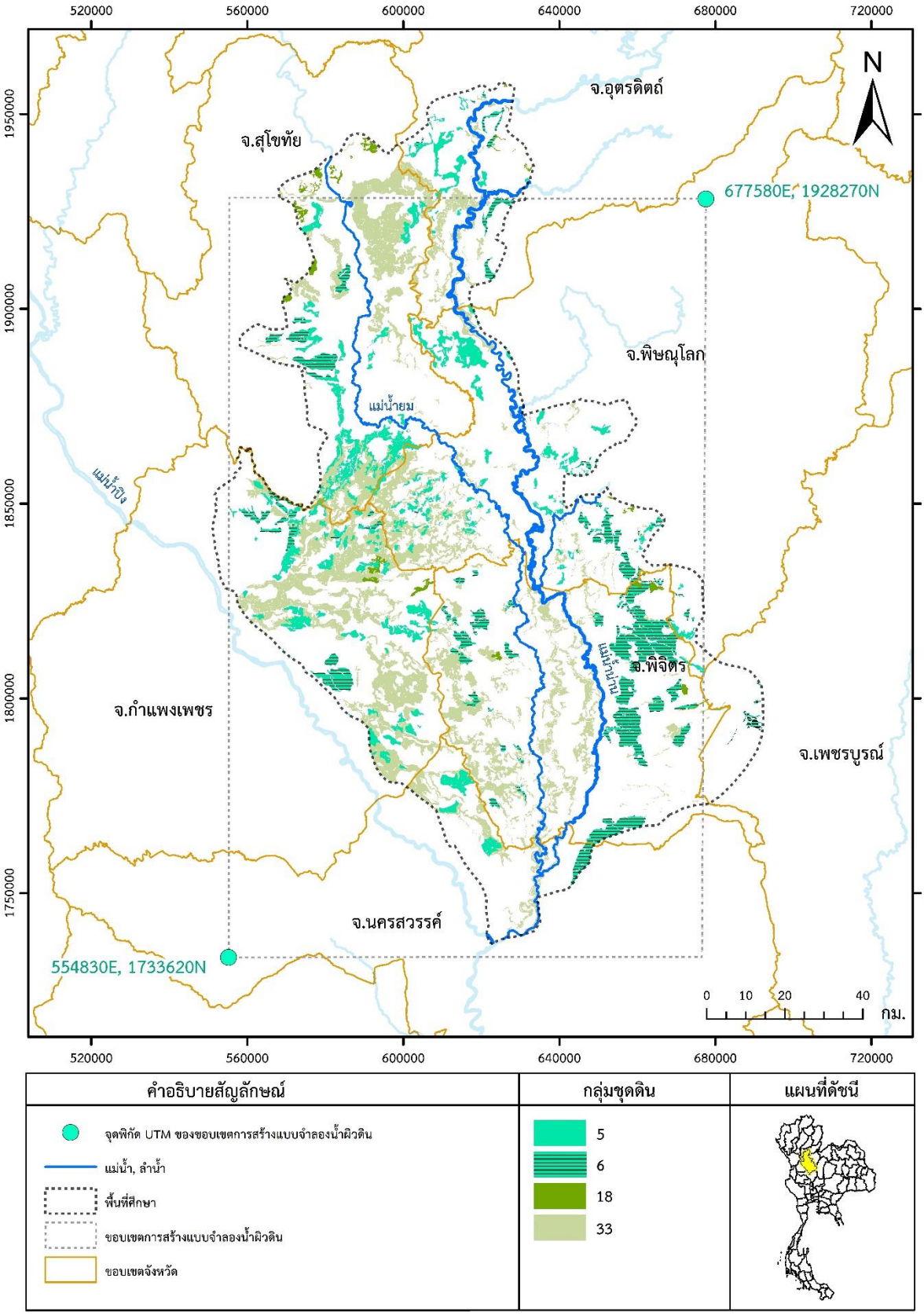
(1) G1: แคลเซียม–แมกนีเซียม–ไบคาร์บอเนต–ซัลเฟต พบในน้ำบาดาลเกิดใหม่ (Fresh Formation Waters) บริเวณพื้นที่เติมน้ำ (Recharge Area) น้ำบาดาลชนิดนี้เป็นน้ำกระด้าง ซึ่งเป็นผลกระทบมาจากปริมาณแมกนีเซียม ซัลเฟต และคลอไรด์

(2) G2: โซเดียม–คลอไรด์–ไบคาร์บอเนต พบในน้ำบาดาลที่ไหลมาจากบริเวณพื้นที่เติมน้ำ ถือเป็นน้ำที่มีการเปลี่ยนสภาวะ (Transitional Waters) หมายถึง การวิวัฒนาการของน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาทางธรณีเคมี (Geochemical Reactions) กับตะกอนของชั้นน้ำบาดาล (Aquifer Sediments) หรือการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติธรณีเคมีของน้ำจากการผสมกับน้ำอื่นๆที่มีคุณสมบัติธรณีเคมีต่างกันออกไป น้ำบาดาลชนิดนี้เป็นน้ำด่างและอาจมีการไหลโดยนำความเค็มมาด้วย

(3) G3: โพแทสเซียม–ไนเตรต–ซัลเฟต พบในน้ำบาดาลที่ไหลมาจากบริเวณพื้นที่เติมน้ำ ถือเป็นน้ำที่มีการเปลี่ยนสภาวะ (Transitional Waters) หมายถึง การวิวัฒนาการของน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาทางธรณีเคมี (Geochemical Reactions) กับตะกอนของชั้นน้ำบาดาล (Aquifer Sediments) หรือการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติธรณีเคมีของน้ำจากการผสมกับน้ำอื่นๆที่มีคุณสมบัติธรณีเคมีต่างกันออกไป น้ำบาดาลชนิดนี้อาจเป็นน้ำผสมที่สามารถเกิดขึ้นโดยธรรมชาติจากการละลายของแร่ธาตุจำพวกเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn)

ค่าเฉลี่ยของสัดส่วน Mg/Ca (หน่วยเป็น มิลลิอิควิวาเลนท์ต่อลิตร, meq/L) อยู่ที่ 0.829 ซึ่งมีค่าสัดส่วนสูงสุดเท่ากับ 8.08 ในปี พ.ศ. 2559 ณ สถานี NT106/2 ตำบลท่าฉนวน อำเภอกงไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย มีความลึกเจาะ 68 เมตร ชั้นน้ำบาดาลระดับชั้นทราย และค่าสัดส่วนต่ำสุดเท่ากับ 0.00388 ในปี พ.ศ. 2559 ณ สถานี NT135 ตำบลเขาทราย อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร มีความลึกเจาะ 44 เมตร ชั้นน้ำบาดาลระดับหินไรโอไลท์/หินแอนดีไซต์ (Rhyolite/Andesite) โดยค่าสัดส่วน Mg/Ca ที่พบส่วนใหญ่จะเพิ่มขึ้นในน้ำบาดาลที่มีระดับลึกลงไป ค่าสัดส่วน Mg/Ca ยังสามารถแสดงถึงวิวัฒนาการของของไหล (Evolution of Fluid) ค่าสัดส่วน Mg/Ca ที่มาก เป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหิน (Water–rock Interaction) หรือปฏิกิริยาการละลายของแร่ธาตุ (Mineral-solution Reaction) ที่มีสูงมากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสภาวะการไหลแบบแพร่กระจายในสภาพความซึมน้ำต่ำ (Low-permeability Diffuse) และระยะเวลาพำนัก (Residence Time) ที่ยาวนานขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งในช่วงเวลาของการเติมน้ำโดยน้ำฝน (Rainfall–Recharge) ที่มีอัตราสูงจะเกิดจากสภาวะการไหลแบบเป็นช่องลงมาในสภาพความซึมน้ำสูง (High-permeability Conduit Flow) ทำให้การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหินจะมีน้อยลง และระยะเวลาพำนักจะสั้นลง

เมื่อพิจารณาเฉพาะค่าสัดส่วน Mg/Ca ≤ 0.100 โดยที่ปริมาณ Ca มีมากกว่า Mg เกิน 10 เท่า ซึ่งจัดเป็นกรณีการเติมน้ำโดยน้ำฝนที่มีอัตราสูง เกิดจากสภาวะการไหลแบบเป็นช่องลงมาในสภาพความซึมน้ำสูง ทำให้การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับหินจะมีน้อยลง และระยะเวลาพำนักจะสั้นลง พบที่บริเวณพื้นที่ของอำเภอวังทรายพูน ทับคล้อ โพธิ์ประทับช้าง ในเขตจังหวัดพิจิตร อำเภอบางระกำและอำเภอพรหมพิราม ในเขตจังหวัดพิษณุโลก อำเภอเมือง และอำเภอสวรรคโลก ในเขตจังหวัดสุโขทัย อำเภอขาณุวรลักษบุรี คลองขลุง และพรานกระต่าย ในเขตจังหวัดกำแพงเพชร ที่เป็นกลุ่มชุดดินที่ 5 (หางดง, พาน), 6 (เชียงราย, มโนรมย์), 18 (ชลบุรี, โคกสำโรง), และ 33 (ตะพานหิน) มีระดับชั้นน้ำบาดาลตะกอนชั้นที่ 1 (10–60 เมตร) ชั้นที่ 2 (60–120 เมตร) และขั้นหินแข็ง (<100 เมตร) ในแอ่งเจ้าพระยาตอนบน รูปที่ 4.1.5-1 แสดงบริเวณพื้นที่ที่พบว่า Mg/Ca ≤ 0.100 ทั้งนี้สามารถพิจารณาได้ว่าพื้นที่เหล่านี้เป็นพื้นที่ที่มีศักภาพการเติมน้ำบาดาลโดยน้ำฝน



รูปที่ 4.1.5-1 บริเวณพื้นที่กลุ่มชุดดินที่ 5, 6, 18, และ 33 ที่พบปริมาณ Ca มีมากกว่า Mg เกิน 10 เท่า

แนวทางการบรรเทาและฟื้นฟูการปนเปื้อนของมลพิษจำพวกโลหะหนักและสารอาหาร โดยการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อลดการปนเปื้อนของมลสารจำพวกโลหะหนักและสารอาหาร โดยทั่วไปมีวิธีการสำคัญดังต่อไปนี้

การดูดซับ (Adsorption) การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) โดยที่ถ่านกัมมันต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบทางธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีลักษณะเป็นรูพรุน มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ และมีพื้นที่ผิวสูง ถ่านกัมมันต์สามารถผลิตได้จากกากชานอ้อย เปลือกถั่ว กะลามะพร้าว ขี้เลื่อย ไม้ยูคาลิปตัส ไม้ยางพารา และไม้มะขาม มีคุณสมบัติสามารถดูดซับสารต่างๆ ได้ดี เช่น สี กลิ่น สารอินทรีย์ โลหะหนัก ยาฆ่าแมลง และสารเคมีต่างๆ ความสามารถถ่านกัมมันต์ในการดูดซับไอออนประจุบวกเรียงจากมากไปน้อย ไฮโดรเจน (H^+) > อลูมิเนียม (Al^{3+}) > แคลเซียม (Ca^{2+}) > ลิเทียม (Li^+) > โซเดียม (Na^+) > โพแทสเซียม (K^+) และไอออนประจุลบ ไนเตรต (NO_3^-) > คลอไรด์ (Cl^-) ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักเรียงจากมากไปน้อย แคดเมียม (Cd) > โครเมียม (Cr) > สังกะสี (Zn) > ตะกั่ว (Pb) > ปรอท (Hg) > ทองแดง (Cu) > คูเรียม (Cm) การดูดซับสารอินทรีย์ของถ่านกัมมันต์จะดีมากขึ้นเมื่อสารอินทรีย์นั้นละลายน้ำได้ดี และสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่จะถูกดูดซับด้วยแรงที่มากกว่าโมเลกุลเล็ก (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551; กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555; Hashim et al., 2011)

การกรอง (Infiltration) การกรองโดยใช้แผ่นเยื่อกรอง (Membrane Infiltration) กระบวนการกรองผ่านแผ่นเยื่อกรองเป็นกระบวนการที่ทำหน้าที่ดักมลสารที่ละลายออกจากน้ำ ดังนั้นระบบนี้จะมีราคาค่อนข้างสูงกว่าระบบบำบัดอื่นๆ แผ่นเยื่อกรองจะยอมให้โมเลกุลของน้ำหรือตัวทำละลายเท่านั้นที่ซึมผ่านได้ ส่วนโมเลกุลของตัวถูกละลายไม่สามารถซึมผ่านได้ วัสดุที่ใช้ทำแผ่นเยื่อกรองมีหลายชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน และมีระบบแผ่นเยื่อกรอง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555) ดังนี้

(1) ระบบกรองทรายทั่วไป (ขนาดของมลสาร > 1.0 μm) สามารถกรองตะกอนแขวนลอย ผงฝุ่น ผงแป้ง ยีสต์ แบคทีเรียบางชนิด สีบางชนิด และเส้นผม

(2) ระบบ Microfiltration (ขนาดของมลสาร 0.05–3.0 μm) สามารถกรองพวกใยหินเล็กๆ ได้ สีได้หมด ควันบุหรี่ แบคทีเรียได้หมด ผงฝุ่นถ่านหินเล็กๆ ได้หมด และไวรัสได้บางส่วน

(3) ระบบ Ultrafiltration (ขนาดของมลสาร 0.003–0.10 μm) สามารถกรองไวรัสได้หมด คาร์บอนดำได้หมด ควันบุหรี่ได้หมด ผงเล็กๆของใยหินได้หมด และพวก Toxin ได้หมด

(4) ระบบ Nanofiltration (ขนาดของมลสาร 0.001–0.006 μm) สามารถกรองเกลือที่ละลายน้ำแล้วได้บ้าง น้ำตาลละลายน้ำได้ สีสังเคราะห์ได้หมด สารกำจัดศัตรูพืชได้ และพวก Toxin ได้หมด

(5) ระบบ Hyperfiltration หรือ ระบบ Reverse Osmosis (ขนาดของมลสาร < 0.001 μm) สามารถกรองเกลือละลายน้ำได้หมด โลหะที่ละลายน้ำได้หมด น้ำตาลได้หมด สีสังเคราะห์ต่างๆ ได้หมด และสารกำจัดศัตรูพืชได้หมด

การกรองสนิมเหล็กในน้ำบาดาลสามารถใช้สารกรองแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) การเตรียมสารกรองจากการเคลือบด่างทับทิมบนผิวของเมล็ดทราย และคั่วเมล็ดทรายจนด่างทับทิมสลายตัวกลายเป็น แมงกานีสไดออกไซด์ โดยมีปฏิกิริยาเคมีดังแสดงข้างล่าง

$$3Fe^{+2} + MnO_4^{-1} + 4H^+ \rightarrow MnO_2 + 3Fe^{+3} + 2H_2O$$

การเติมอากาศ (Aeration) น้ำบาดาลจะมีไบคาร์บอเนตละลายอยู่มาก เหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำส่วนใหญ่จึงมักอยู่ในรูปของเหล็ก ไบคาร์บอเนตซึ่งมีความสามารถละลายน้ำได้ดีและไม่มีสี เมื่อออกซิเจนในอากาศไปออกซิไดซ์จะเปลี่ยนเหล็ก ไบคาร์บอเนตเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์หรือเหล็กออกไซด์ และแมงกานีสออกไซด์ซึ่งจะตกตะกอนเพราะมีคุณสมบัติการละลายน้ำที่ต่ำมาก การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กและการเคลื่อนที่ของ Mn^{2-} โดยการเติมออกซิเจนจะทำให้เกิดการตกตะกอน (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) ดังสมการข้างล่าง

$$4Fe(HCO_3)_2 + 2O_2 + H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3\downarrow + 8CO_2$$

$$2Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3\downarrow + 3H_2O$$

$$Mn(HCO_3)_2 \rightarrow Mn^{2+} + 2HCO_3^-$$

$$Mn^{2+} + \frac{1}{2}O_2 + H_2O \rightarrow MnO_2\downarrow + 2H^+$$

ปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับเหล็กและแมงกานีสจะขึ้นอยู่กับค่า pH โดยการเติมอากาศจะได้ผลในการกำจัดเหล็กที่ดี การออกซิไดซ์จะต้องเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและแล้วเสร็จที่ค่า pH ≥ 7.2 ปฏิกิริยาจะเกิดช้าลงเมื่อค่า pH น้อยกว่า อย่างไรก็ตามกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555) แนะนำให้มีการปรับค่า pH ให้เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาสำหรับการกำจัดแมงกานีส โดยมีค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 8.5–9.0

การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange) การบำบัดน้ำโดยการแลกเปลี่ยนไอออนเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนต่างๆ ในน้ำกับไอออนของเรซิน ซึ่งจะส่งผลให้ไอออนของสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำถูกดูดซับลงบนผิวของเรซิน เรซินที่ใช้ในการดักจับเหล็กและแมงกานีสอยู่ในรูป NaR ต้องระวังไม่ให้อากาศรั่วไหลเข้ามาสัมผัสกับน้ำบาดาลเพราะอากาศจะทำให้ออกซิเจนไปออกซิไดซ์เหล็กและแมงกานีสให้เป็นเหล็กไฮดรอกไซด์และแมงกานีสออกไซด์ซึ่งจะเคลือบผิวหน้าของเรซินให้เสียหายใช้การไม่ได้ การฟื้นฟูปรับสภาพเรซินยุ่งยากและมีราคาแพง อีกทั้งน้ำบาดาลที่ผ่านเรซิน ควรมีปริมาณเหล็กและแมงกานีสไม่สูงมากนัก การดักจับเหล็กและแมงกานีสมีสมการดังแสดงข้างล่าง

$$2NaR + Fe(HCO_3)_2 \rightarrow FeR_2 + 2NaHCO_3$$

$$2NaR + Mn(HCO_3)_2 \rightarrow MnR_2 + 2NaHCO_3$$

การเติมสารเคมี การกำจัดเหล็กและแมงกานีสโดยการเติมสารเคมีจะเกิดปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนและมีการปฏิสัมพันธ์กันระหว่างสารที่ทำให้เกิดออกซิเดชัน (ตัวออกซิไดซ์) และสารที่ทำให้เกิดรีดักชัน (ตัวรีดิวซ์) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีการสูญเสียอิเล็กตรอนและปฏิกิริยารีดักชันจะมีการเพิ่มอิเล็กตรอน กรณีการกำจัดเหล็ก Fe^{2+} จะถูกเปลี่ยนเป็น Fe^{3+} และการกำจัดแมงกานีส Mn^{2+} จะถูกเปลี่ยนเป็น Mn^{3+} ซึ่งเป็นการสูญเสียอิเล็กตรอนทั้งคู่จึงถือเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทั้งนี้จำเป็นต้องมีตัวออกซิไดซ์มารับอิเล็กตรอน ที่เกิดขึ้นโดยอาจเป็นได้ทั้งโมเลกุลและไอออน การกำจัดเหล็กและแมงกานีสด้วยวิธีนี้จะต้องมีถังปฏิกิริยาและถังตกตะกอนแล้วตามด้วยการกรอง สารเคมีที่นิยมใช้ในการเติม คือ คลอรีน (NaOCl) และ ด่างทับทิม ($KMnO_4$) ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงกว่าออกซิเจน ดังนั้นปฏิกิริยาออกซิไดซ์ของเหล็กและแมงกานีสจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังแสดงข้างล่าง

$$2Fe^{2+} + Cl_2 + 6H_2O \xrightarrow{pH > 7} 2Fe(OH)_3\downarrow + 2Cl^- + 6H^+$$

$$Mn^{2+} + Cl_2 + 2H_2O \xrightarrow{pH > 8.5} MnO_2\downarrow + 2Cl^- + 4H^+$$

$$3Fe^{2+} + KMnO_4 + 7H_2O \xrightarrow{pH > 7} 3Fe(OH)_3\downarrow + MnO_2 + K^+ + 5H^+$$

$$3Mn^{2+} + 2KMnO_4 + 2H_2O \xrightarrow{pH > 7} 5MnO_2\downarrow + 2K^+ + 4H^+$$

ตารางที่ 4.1.5-1 อธิบายรายละเอียดการเปรียบเทียบแนวทางการลดปริมาณของมลสารจำพวกโลหะหนักและสารอาหารในน้ำบาดาล ทั้งข้อดีและข้อด้อย รวมถึงกลไกและกระบวนการ

ตารางที่ 4.1.5- 1 การเปรียบเทียบแนวทางการลดปริมาณของมลสารจำพวกโลหะหนักและสารอาหารในน้ำบาดาล

แนวทางการลดปริมาณ	ชนิดโลหะหนักและสารอาหาร	ประเภทของแนวทางการลดปริมาณ	ข้อดี	ข้อด้อย	กลไกและกระบวนการ
การดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์	สารหนู ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม นิกเกิล สังกะสี และฟลูออไรด์	เคมีกายภาพ	พื้นผิวของการดูดซับสูง และสารลดแรงตึงผิวจะกลายเป็นพื้นที่ดูดซับไอออนที่มีประจุบวก	มีประสิทธิภาพต่ำสำหรับการกำจัดสารแอมโมเนีย และมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนหรือทำการฟื้นฟูปรับสภาพถ่านกัมมันต์อยู่บ่อยครั้ง	ถ่านกัมมันต์จะถูกกระตุ้นโดยสารเคมี เช่น สังกะสีคลอไรด์ กรดฟอสฟอริก และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พื้นผิวของการดูดซับสูงสำหรับไอออนที่มีประจุบวก
การกรองโดยใช้แผ่นเยื่อกรอง	ทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียม ปรอท สังกะสี สารหนู และไนเตรต	เคมีกายภาพ	ประสิทธิภาพการกำจัดสูง	เยื่อกรองตัน และมีความจำเป็นต้องเติมประจุหรือทำการฟื้นฟูปรับสภาพแผ่นเยื่อกรอง	เยื่อกรองแต่ประเภทมีกลไกภายในแตกต่างกันไป เช่น การดักจับแบบไฟฟ้าสถิตย์ การทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน การแพร่ผ่านเยื่อ และการดักจับโดยไมเซลล์
การกรองโดยใช้สารกรอง	เหล็ก	เคมีกายภาพ	สามารถผลิตสารกรองได้เองในราคาไม่แพง	มีของเสียแข็งจากระบบ รวมถึงต้องมีการดูแลและบำรุงรักษา	การกรองโดยใช้ทรายที่เคลือบแมงกานีสไดออกไซด์แล้วให้เกิดการตกตะกอน
การเติมอากาศ	เหล็ก และแมงกานีส	เคมีกายภาพ	สะดวกและค่าใช้จ่ายต่ำ	การกำจัดแมงกานีสจำเป็นต้องปรับสภาพ pH ให้เหมาะสมก่อน	การตกตะกอนจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กและการเคลื่อนที่ของแมงกานีสไอออนโดยการเติมออกซิเจน
การแลกเปลี่ยนประจุ	โลหะหนักทั่วไป ไนเตรต และความกระด้าง	เคมี	บำบัดได้แม้ปริมาณจะไม่มาก และแม้อยู่ท่ามกลางสภาะที่มีปริมาณสารอื่นๆจากธรรมชาติอยู่สูง	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง และมีความจำเป็นต้องทำการฟื้นฟูปรับสภาพสารตัวกลางอยู่บ่อยครั้ง	การสกัดของเหลวด้วยของเหลว และการแลกเปลี่ยนประจุที่มีความเกี่ยวข้องกับการแยกสถานะของแข็ง
การเติมสารเคมี	เหล็ก และแมงกานีส	เคมี	สามารถลดปริมาณเหล็กลงได้มาก และค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก	ต้องมีถังปฏิกิริยาและถังตกตะกอน	ปฏิกิริยารีดอกซ์โดยสารออกซิไดส์รุนแรง เช่น คลอรีน ด่างทับทิม

4.1.6 มวลชนสัมพันธ์และการมีส่วนร่วมเป็นการเปิดรับฟังและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่

โครงการฯได้มีการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการจำนวน 7 ครั้ง ใน 5 จังหวัด มีรายละเอียดดังนี้

(1) ประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1 วันศุกร์ที่ 26 มกราคม 2561 เวลา 09.00-16.00น. ณ ห้อง EN 617 อาคารเรียนรวม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก มีผู้เข้าร่วมจำนวนทั้งสิ้น 25 คน

(2) ประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 2 วันศุกร์ที่ 18 พฤษภาคม 2561 เวลา 08.30–16.00 น. ณ ห้องประชุมสำนักงานส่งเสริมการปกครองท้องถิ่นจังหวัดพิจิตร ชั้น 3 ศาลากลางจังหวัดพิจิตร มีผู้เข้าร่วมจำนวนทั้งสิ้น 26 คน

(3) ประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 3 วันศุกร์ที่ 22 มิถุนายน 2561 เวลา 08.30–16.00 น. ณ ห้องประชุมสำนักงานสหกรณ์จังหวัดสุโขทัย อาคาร 3 ชั้น 2 ศาลากลางจังหวัดสุโขทัย มีผู้เข้าร่วมจำนวนทั้งสิ้น 22 คน

(4) ประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 4 วันจันทร์ที่ 25 มิถุนายน 2561 เวลา 08.30–16.00 น. ณ ห้องประชุมศิลาอาสน์ ชั้น 5 ศาลากลางจังหวัดอุตรดิตถ์ มีผู้เข้าร่วมจำนวนทั้งสิ้น 28 คน

(5) ประชุมอบรมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1 ในวันอังคารที่ 7 สิงหาคม 2561 เวลา 09.00–15.30 น. ณ ห้องสัมมนา Orchid 4 ชั้น 11 โรงแรมจัสมิน สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร มีผู้เข้าร่วมจำนวนทั้งสิ้น 36 คน

(6) ประชุมอบรมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 2 ในวันอังคารที่ 8 สิงหาคม 2561 เวลา 09.00–15.30 น. ณ ห้องสัมมนา Orchid 4 ชั้น 11 โรงแรมจัสมิน สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร มีผู้เข้าร่วมจำนวนทั้งสิ้น 26 คน

(7) ประชุมอบรมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 3 วันพฤหัสบดีที่ 9 สิงหาคม 2561 เวลา 09.00–15.30 น. ณ ห้องสัมมนา Orchid 4 ชั้น 11 โรงแรมจัสมิน สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร มีผู้เข้าร่วมจำนวนทั้งสิ้น 26 คน

ผู้เข้าร่วมประชุมเชิงปฏิบัติการจำนวน 7 ครั้ง ใน 5 จังหวัด มีจำนวนทั้งสิ้น 189 คน มาจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำ กรมชลประทาน กรรมการลุ่มน้ำ และกรมเจ้าท่า โดยสามารถสรุปสาระสำคัญที่ได้รับโดยรวมได้ดังต่อไปนี้

(1) ผู้เข้าร่วมการประชุมจากส่วนภูมิภาคเกินกึ่งหนึ่งยังไม่ค่อยรู้จักแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน

(2) ผู้เข้าร่วมการประชุมเกินกึ่งหนึ่งเชื่อว่าการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินอย่างมีประสิทธิภาพเป็นทางออกในการบรรเทาปัญหาทรัพยากรน้ำในพื้นที่

(3) ผู้เข้าร่วมการประชุมเกินกึ่งหนึ่งเชื่อว่าแบบจำลองคอมพิวเตอร์สามารถช่วยให้การวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเป็นไปได้

(4) ผู้เข้าร่วมการประชุมเกินกึ่งหนึ่งทราบว่าน้ำบาดาลและน้ำผิวดินมีการแลกเปลี่ยนกัน

(5) ผู้เข้าร่วมการประชุมเกินกึ่งหนึ่งเชื่อว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบต่อศักยภาพน้ำบาดาล

(6) ผู้เข้าร่วมการประชุมเกินกึ่งหนึ่งไม่ค่อยแน่ใจว่าตนเองประสบปัญหามลพิษในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้งาน แต่ก็มีเกษตรกรบางท่านแสดงความคิดเห็นว่าประสบปัญหาสนิมเหล็กในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้งาน

แนวทางการปรับตัวของเกษตรกรในพื้นที่ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและศักยภาพของทรัพยากรน้ำบาดาลในอนาคต สาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศคือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และการเพิ่มขึ้นนี้ก็เป็นผลสืบเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ หรือที่นิยมเรียกกันว่า Anthropogenic Climate Change แต่ถึงแม้ว่าจะสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่างๆ ออกสู่ชั้นบรรยากาศได้เท่ากับศูนย์ (Emissions fell to zero) ระบบของบรรยากาศจะต้องใช้ระยะเวลาอย่างมีนัยสำคัญสำหรับปรับระบบบรรยากาศและภูมิอากาศให้สมดุล จากรายงานทางวิชาการโดย IPCC (2013) พบว่าในช่วงปี ค.ศ. 2100 อุณหภูมิโลกเฉลี่ยอาจเพิ่มสูงขึ้นอีกประมาณ 4 °C นั้นหมายความว่าการตั้งความหวังกับมาตรการในส่วนที่เรียกว่าการลดผลกระทบ (Mitigations หรือการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ) เพียงด้านเดียวนั้น คงไม่เหมาะสมหรืออาจเป็นไปได้ยาก เนื่องด้วยโลกปัจจุบันนี้ถูกขับเคลื่อนด้วยการแข่งขันอย่างรุนแรงด้านเศรษฐกิจซึ่งต้องมีตัว Input (ทรัพยากร) ในขณะเดียวกันผลกระทบที่ตามมาอย่างแน่นอนคือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ Input นั้น (ไม่ว่าจะเกิดขึ้นโดยตรงหรือโดยอ้อม) ด้วยเหตุนี้จึงได้เกิดมาตรการอีกด้านหนึ่งควบคู่กันกับการลดผลกระทบที่เรียกว่า การปรับตัว (Adaptations) เพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือสร้างหรือพัฒนาขีดความสามารถหรือภูมิคุ้มกันให้สามารถอยู่ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศได้ มาตรการหลังนี้ความเป็นไปได้สูงในทางปฏิบัติแต่ต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจ ความร่วมมือ ความจริงจัง และต่อเนื่องจากหลายหน่วยงาน การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศอาจมีผลกระทบต่อผลผลิตการเกษตร ดังนี้

(1) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (โดยภาพรวมพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น) ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช สำหรับประเทศไทยพืชเศรษฐกิจหลักคือ ข้าว อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวคือ 25–33 °C ทั้งนี้หากอุณหภูมิต่ำกว่า 15 °C หรือสูงกว่า 35 °C จะส่งผลกระทบต่อการงอกของเมล็ด การเจริญเติบโตของใบ การแตกกอ การสร้างดอกอ่อน การผสมเกสร นั้นคือส่งผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณผลผลิต ในด้านอุทกวิทยาคือ ดินแห้ง ระดับน้ำบาดาลลดลง อัตราการคายระเหย เพิ่มสูงขึ้น รวมความแล้วคือเกิดปริมาณน้ำที่สูญเสียมากขึ้น

(2) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝน ทิศทางการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรนี้มีความแปรผันไม่แน่นอนเช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กล่าวคือ บางพื้นที่อาจมีปริมาณน้ำฝนเพิ่มสูงขึ้น แต่ในบางพื้นที่อาจมีปริมาณน้ำฝนที่ลดลง ผลกระทบหลักต่อด้านการเกษตรคือ การบริหารจัดการน้ำสำหรับการเพาะปลูกในพื้นที่ชลประทานมีความยากลำบากมากยิ่งขึ้น สำหรับพื้นที่เกษตรน้ำฝน จะยิ่งมีความลำบากต่อเกษตรกร

เช่น อาจเกิดฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานานแล้วกลับเกิดฝนตกหนักอีกทีหนึ่ง บางพื้นที่อาจประสบทั้งปัญหาภัยแล้งและน้ำท่วม รวมความคือ ความไม่สมดุลของน้ำในเชิงพื้นที่และเวลา

(3) ภัยพิบัติธรรมชาติที่รุนแรง ภัยแล้ง น้ำท่วม และดินถล่ม เป็น 3 รูปแบบหลักของภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นเป็นปกติในประเทศไทย ในพื้นที่ศึกษาของโครงการฯ ลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง น้ำท่วมและภัยแล้งถือได้ว่าเป็นปัญหาหลักในพื้นที่ จากการศึกษาพบว่า ภัยพิบัติธรรมชาติที่รุนแรงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นทั้งในด้านความถี่และความรุนแรง (Pratoomchai et al., 2014 และ Watanabe et al., 2014)

ตารางที่ 4.1.6-1 แสดงตัวอย่างแนวทางการปรับตัวเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามกฎธรรมชาติ แล้วทุกสิ่งอย่างในโลกนี้สามารถปรับตัวเองให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไปได้โดยธรรมชาติ แต่การปรับตัวที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาตินั้นต้องอาศัยระยะเวลาที่ยาวนานมาก ทั้งนี้คงไม่ทันกับการเปลี่ยนแปลงที่มีสาเหตุหลักจากการเร่งของมนุษย์ เพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์หรือมีประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น การปรับตัวก็ควรเป็นแบบบูรณาการแทนที่จะพิจารณาแต่ละภาคส่วนเป็นเอกเทศ สำหรับทางด้านเกษตรกรรมแล้วอาจสามารถจำแนกภาคส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

1) ภาคส่วนเกษตรกร

2) ภาคส่วนอุตสาหกรรม

3) ภาคส่วนราชการ

จากข้างต้นพบว่าภาคส่วนที่ 1 หรือเกษตรกร คือกลุ่มที่จะได้รับผลกระทบที่รุนแรงที่สุดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ที่ยังขาดการพัฒนา เช่น พื้นที่นอกเขตชลประทาน เป็นต้น ภาคส่วนที่ 2 คือกลุ่มคนกลางหรือส่วนอุตสาหกรรม ภาคส่วนนี้มีความเสี่ยงน้อยเมื่อเทียบกับกลุ่มแรก อีกทั้งในสภาพที่เป็นอยู่ปัจจุบันโดยส่วนใหญ่มักจะผลักดันความเสี่ยงต่าง ๆ ให้ถูกแบบรับโดยกลุ่มเกษตรกรเกือบทั้งหมด อย่างไรก็ตามความเสี่ยงสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมนี้ก็ยังคงมีอยู่ เช่น ภัยธรรมชาติขนาดใหญ่ (น้ำท่วม) ซึ่งอาจทำให้โรงงานได้รับความเสียหายดังเช่น เหตุการณ์น้ำท่วมปี พ.ศ. 2554 เป็นต้น ส่วนกลุ่มสุดท้ายคือส่วนราชการ ในที่นี้รวมถึงสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัย ฯลฯ ส่วนนี้มีความเสี่ยงน้อยที่สุด แต่บทบาทหน้าที่สำหรับการปรับตัวนั้นถือว่าสำคัญมาก เพราะต้องเป็นกลุ่มคนกลางระหว่าง 2 กลุ่มแรก หน้าที่หลักของแต่ละภาคส่วนที่ควรดำเนินการเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อธิบายไว้ในตารางที่ 4.1.6-1 แนวคิดหลักในข้อเสนอนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่าทุกภาคส่วนต้องอยู่รอดและพัฒนาไปด้วยกันแบบยั่งยืน

ตัวอย่างการปรับตัวที่เกิดขึ้นแล้วและกำลังอยู่ในช่วงของการประเมินผลสำเร็จ คือ การปรับเปลี่ยนปฏิทินการเพาะปลูกข้าวฤดูนาปีในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และจังหวัดพิจิตร จากเดิมมักจะเริ่มเพาะปลูกประมาณเดือนมิถุนายนซึ่งจะได้เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกันยายน แต่เนื่องจากช่วงเดือนกันยายนถึงตุลาคมมักจะเกิดน้ำล้นตลิ่งแม่น้ำปิง ยม และน่านบ่อยครั้ง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าความถี่ของการเกิดน้ำท่วมภายใต้เงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น หากไม่ปรับตัวในด้านของเวลาเริ่มเพาะปลูกโอกาสที่จะได้เก็บเกี่ยวผลผลิตอย่างเต็มเม็ดเต็มหน่วยคงมีความเสี่ยงเพิ่มสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้

พื้นที่ดังกล่าวจึงได้ขยับเวลาการเพาะปลูกเร็วขึ้น ซึ่งเริ่มในเดือนเมษายนแทนโดยคาดหวังว่าจะสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตทันก่อนที่จะเกิดน้ำหลาก การปรับตัวข้างต้นสามารถทำได้กับพื้นที่ที่อยู่ในเขตชลประทานเท่านั้น เพราะการเพาะปลูกในเดือนเมษายน (ซึ่งถือว่าเป็นเดือนที่แล้งมาก) จะต้องใช้น้ำเตรียมแปลงและอื่น ๆ เป็นปริมาณที่มากจึงทำให้เกิดข้อจำกัดขึ้น สำหรับพื้นที่นอกเขตชลประทาน ปริมาณน้ำเตรียมแปลงข้าวอาจต้องพัฒนาขึ้นมาได้จากน้ำบาดาลแต่ก็จำกัดอยู่เฉพาะในพื้นที่ที่มีศักยภาพเท่านั้น

การรวมกลุ่มของเกษตรกรเพื่อวางแผนการเพาะปลูกทั้งในด้านเวลาและชนิดของพืชที่จะเพาะปลูก การกำหนดรอบเวรการใช้น้ำ รวมถึงการมีส่วนร่วมจากภาคส่วนราชการ ได้ดำเนินการมาแล้วเป็นระยะเวลาพอสมควรในพื้นที่ชลประทานน้ำบาดาลจังหวัดสุโขทัย ด้วยแนวทางดังกล่าวเกษตรกรในพื้นที่มีความเข้มแข็งและมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ข้อสรุปข้างต้นได้จากการสอบถามผ่านกระบวนการมวลชนสัมพันธ์และการมีส่วนร่วมของโครงการศึกษาครั้งนี้

ในด้านความร่วมมือระหว่างภาคอุตสาหกรรม (โรงงานและห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่) กับกลุ่มเกษตรกร ตัวอย่างที่สามารถใช้เป็นแนวทางขยายผลได้คือ การปลูกผักหลากหลายชนิด ในพื้นที่อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ เพื่อส่งให้กับห้างสรรพสินค้า ด้วยการปรับตัวและความร่วมมือนี้กลุ่มเกษตรกรและกลุ่มอุตสาหกรรมจะร่วมกันกำหนดราคาพืชผัก ทั้งสองกลุ่มมีส่วนรับผิดชอบในเรื่องของค่าขนส่งจากแปลงผักสู่โรงงานหรือห้างสรรพสินค้า ด้านห้างสรรพสินค้าก็ถ่ายทอดความรู้แก่เกษตรกร ในเรื่องของการแพคหรือบรรจุสินค้า รวมถึงเรื่องการใช้สารเคมีที่ต้องไม่เกินค่ามาตรฐานที่สินค้า (พืชผัก) นั้นจะสามารถวางขายในห้างสรรพสินค้าได้ ส่วนเกษตรกรจะต้องรักษากระบวนการและคุณภาพผลผลิตของตัวเองให้ได้มาตรฐาน

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาประเทศไทยได้ใช้ปุ๋ยและสารเคมีเป็นจำนวนมากเพื่อควบคุมศัตรูพืชและเพิ่มผลผลิต ผลกระทบที่ตามมาและเริ่มมีความรุนแรงมากขึ้นคือจำนวนผู้ป่วย (เกษตรกร) ที่ได้รับสารอันตรายเพิ่มสูงขึ้น เป็นที่ทราบว่าการใช้ปุ๋ยเคมีนั้นจะเร่งให้ดินเสื่อมคุณภาพ ดังนั้นแนวทางที่ควรทำคือปรับปรุงคุณภาพดินให้ดีขึ้นสำหรับการเพาะปลูกโดยแนวทางธรรมชาติ การปลูกปอเทืองในจังหวัดอุตรดิตถ์ สุโขทัย หลังการเก็บเกี่ยวสามารถพิสูจน์ให้เห็นได้ว่าคุณภาพของดินดีขึ้นและอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีก็ลดลงและผลผลิตในฤดูถัดไปก็เพิ่มสูงขึ้น แต่การจูงใจให้เกษตรส่วนใหญ่ปรับปรุงดินนั้นยังมีข้อจำกัดอยู่ เนื่องจากไม่อยากเสียเวลามาปรับปรุงดิน ในทางตรงกันข้ามอยากนำเวลานั้นไปเพาะปลูกพืชอื่น ๆ ที่มีราคาต่อหน่วยสูงแทน

จากข้างต้นได้แสดงให้เห็นแล้วว่าเกษตรกรในพื้นที่ศึกษาของโครงการได้มีการปรับตัวเพื่อให้มีชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นแล้วบางส่วน การขยายผลในภาพใหญ่และความสำเร็จมากน้อยเพียงใดนั้นจะขึ้นอยู่กับการยอมรับแนวทางร่วมกันและความเข้มแข็งของทั้ง 3 ภาคส่วน เพราะความไม่แน่นอนและการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศนั้นไม่ใช่ปัญหาเฉพาะจุดพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งแต่เป็นปัญหาและภัยคุกคามระดับภูมิภาคหรือระดับโลก

ตารางที่ 4.1.6-1 แนวทางการปรับต่อเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ภาคส่วน/กลุ่ม	การปรับตัว/กิจกรรม
เกษตรกร/ผู้ที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ กลุ่มผู้ผลิตหรือเกษตรกรคือกลุ่มที่จะได้รับผลกระทบ (อาจเป็นด้านบวกหรือลบ) จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรุนแรงที่สุด เนื่องจากต้องแบกรับความเสี่ยงเองทั้งหมดไม่ว่าจะดำเนินการปรับตัวหรือไม่ปรับตัว	o การรวมกลุ่ม การรวมกลุ่มจะช่วยลดความเปราะบาง เช่น ความเปราะบางด้านเงินทุน และทันทีที่มีการรวมกลุ่มอย่างเข้มแข็ง อำนาจการต่อรองก็จะเพิ่มมากขึ้น o การใช้เมล็ดพันธุ์ที่ดีและหมุนเวียน ปัจจุบันมีหน่วยงานราชการที่ให้ความรู้เรื่องเมล็ดพันธุ์ที่ดีให้ผลผลิตสูงและอาจทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (แต่มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้น) เกษตรกรไม่ควรใช้เมล็ดพันธุ์เดิมและเพาะปลูกซ้ำ ๆ การทำเช่นนี้มักทำให้เกิดโรคระบาด o ปรับเปลี่ยนปฏิทินการเพาะปลูก เช่น เริ่มการเพาะปลูกเร็วขึ้นเพื่อให้สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตก่อนที่ช่วงอุทกภัยจะเกิดขึ้น o วิเคราะห์ความเหมาะสมของดินและน้ำหรือต้องทราบการบริหารจัดการพื้นที่เกษตรกรรมของตัวเอง ดินในแต่ละพื้นที่ย่อยมีความเหมาะสมกับพืชแต่ละชนิดแตกต่างกันไป การตรวจดิน (มีหน่วยราชการช่วยเหลือ) จะทำให้ทราบลักษณะสมบัติทางเคมีของดินและทราบแนวทางที่เหมาะสมที่จะปรับปรุง ทั้งในด้านการใช้ปุ๋ยเคมีหรือการปลูกพืชเพื่อสร้างแร่ธาตุ เช่น การปลูกปอเทืองบำรุงดิน เป็นต้น ส่วนการจัดการน้ำเกษตรกรต้องมีความรู้ว่าพืชที่เพราะปลูกต้องการน้ำมากน้อยเพียงใด โดยอาจต้องลงทุนปรับปรุงระบบให้น้ำให้มีความเหมาะสม o บูรณาการใช้น้ำร่วมกันระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาล (สำหรับพื้นที่ที่มีศักยภาพ) o ปรับทัศนคติของเกษตรกรเองให้ตระหนักรู้และยึดถือนโยบายของการพัฒนาที่ยั่งยืน ไม่ยินดีต่อแนวทางที่ฉาบฉวย รู้จักวางแผนรวมถึงติดตามข้อมูลจากภาคส่วนที่เกี่ยวข้องอยู่เสมอ
ภาคส่วนอุตสาหกรรม กลุ่มนี้คือส่วนกลางระหว่างเกษตรกรหรือผู้มีส่วนได้เสียโดยตรงกับผู้ใช้ผลผลิต (ผู้บริโภค) โดยปกติคือภาคส่วนที่แสวงหาผลกำไร	o ภาคอุตสาหกรรมควรให้การส่งเสริมหรือลงทุนร่วมกับภาคการผลิต (กลุ่มเกษตรกร) o สนับสนุนด้านการขนส่ง o วิเคราะห์ความต้องการผลผลิตของตลาดและการขาย o ลงทุนด้านกระบวนการและการแปรรูป และบางกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนควรส่งเสริมให้เกษตรกรทำเองเพื่อจะได้เป็นรายได้สู่เกษตรกรอีกทางหนึ่ง
ภาคส่วนสาธารณะ/ส่วนสนับสนุน และอื่น ๆ กลุ่มนี้ประกอบด้วยส่วนราชการที่เกี่ยวข้องและรวมถึงมหาวิทยาลัย สถาบันวิจัย ฯลฯ โดยมีหน้าที่สร้างความรู้พร้อมเผยแพร่สู่สาธารณะ สาธิตผลการทดลอง ออกกฎระเบียบ ข้อบังคับ แนวปฏิบัติที่เอื้ออำนวยต่อการปรับตัว	o ปรับปรุงกฎ ระเบียบ ข้อบังคับ แนวปฏิบัติ นโยบาย ฯลฯ ที่เหมาะสมและเอื้ออำนวยความสะดวกแก่เกษตรกรรวมถึงควบคุมการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน o พัฒนางานวิจัย เครื่องมือ และเผยแพร่สู่สาธารณะอย่างต่อเนื่อง

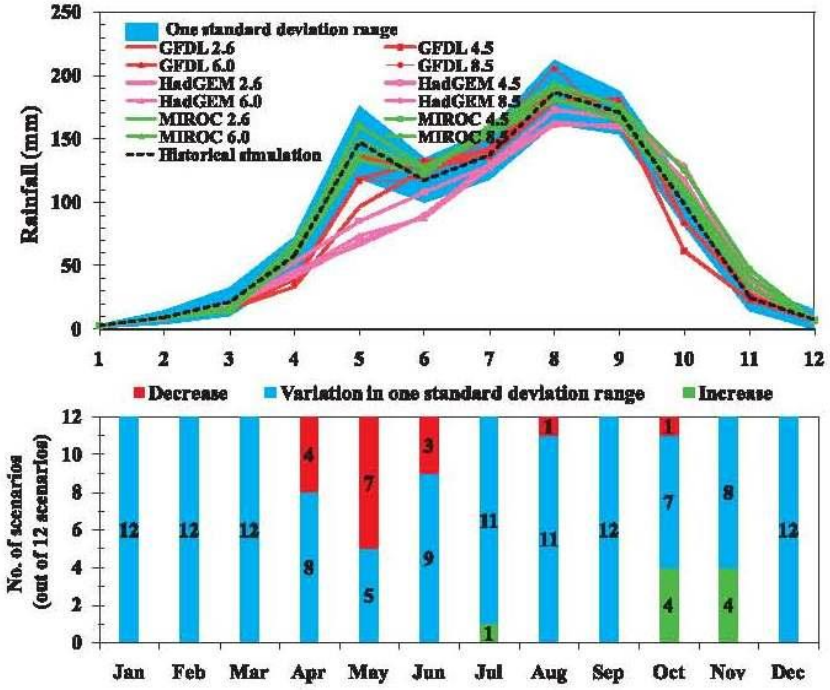
น้ำฝนถือว่าเป็นตัว Input ของระบบอุทกวิทยา เมื่อหักปริมาณน้ำที่สูญเสียออกจากระบบ (การระเหย การคายระเหย การดัก การซึม ฯลฯ) น้ำที่เหลือจะกลายเป็นน้ำผิวดินหรือน้ำท่าผิวดิน (Runoff) น้ำท่าผิวดินจะไหลรวมตัวกันกลายเป็นลำน้ำหรือแควสาขาเล็ก ๆ และเมื่อมาก ๆ เข้าก็จะกลายเป็นลำน้ำสายใหญ่ ซึ่งลำน้ำสายใหญ่นี้เองที่เปรียบเสมือนหลอดเลือดใหญ่ที่หล่อเลี้ยงสรรพชีวิตในลุ่มน้ำ โดยในพื้นที่ศึกษานี้ก็คือแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าภายใต้สมมติฐานของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น เพราะปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าย่อมเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอเนื่องจากปริมาณทั้งสองอยู่ในกระบวนการที่เป็นพลศาสตร์ (Dynamics) ทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา (Temporal and Spatial Distributions) เช่น บางพื้นที่หรือบางลุ่มน้ำย่อยอาจมีน้ำท่ามากเกินความจำเป็นหรือเกินที่ต้องการหรือเกินกว่าขีดความสามารถที่จะบริหารจัดการได้ แล้วท้ายที่สุดก่อให้เกิดน้ำท่วม และในพื้นที่เดียวกันแต่อีกช่วงเวลาหนึ่งปริมาณน้ำท่าอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการ เป็นต้น

เพื่อเป็นแนวทางสำหรับประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อทรัพยากรน้ำผิวดิน โครงการจึงได้สร้างภาพฉายสถานการณ์ของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าในช่วงปี ค.ศ. 2026-2040 (อนาคตอันใกล้) ปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าที่ได้จากหลายแบบจำลอง GCMs และหลายสถานการณ์จำลอง (RCPs) สามารถช่วยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปเป็นแนวทางกำหนดเป็นนโยบายหรือเฝ้าระวังติดตามเพื่อหาทางบรรเทาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้

จากรูปที่ 4.1.6-1 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนภายใต้สถานการณ์จำลองที่หลากหลายในพื้นที่ศึกษาของโครงการได้ชี้ให้เห็นว่าในช่วงเวลาที่คาดการณ์ (ค.ศ. 2026–2040) ปริมาณน้ำฝนมีความแปรผันแต่โดยส่วนใหญ่จะแปรผันอยู่ในช่วงหรือกรอบ 1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (1–Standard Deviation Range) หรืออาจตีความว่าการเปลี่ยนแปลงยังไม่มีแนวโน้มที่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาดูเฉพาะในช่วงเดือนเมษายน–พฤษภาคม

พบว่าแบบจำลองเริ่มแสดงให้เห็นว่าน้ำฝนมีแนวโน้มลดลง การลดลงของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลานี้อาจส่งผลกระทบเป็นอย่างยิ่งต่อการทำเกษตรกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกข้าวนาปี เพราะหมายถึงปริมาณน้ำเตรียมแปลงจากน้ำฝนมีแนวโน้มลดลงอย่างไรก็ตามเกษตรกรจำเป็นต้องเริ่มเพาะปลูกในช่วงเวลาดังกล่าว ทั้งนี้อาจจะเนื่องจากความคุ้นเคยหรือมีปัจจัยแวดล้อมอื่นที่บังคับและจากแนวทางการปรับตัวที่ได้กล่าวแล้วก่อนหน้านี้ การนำน้ำจากแม่น้ำ (สูบ) สำหรับพื้นที่ที่อยู่ติดลำน้ำมักเป็นหนึ่งในทางเลือก ผลกระทบที่อาจตามมาคือการลดลงของปริมาณน้ำในแม่น้ำ ส่วนพื้นที่ที่ไม่สามารถใช้น้ำจากลำน้ำได้ย่อมหาน้ำจากแหล่งอื่น เช่น สูบน้ำบาดาลแทน เป็นต้น

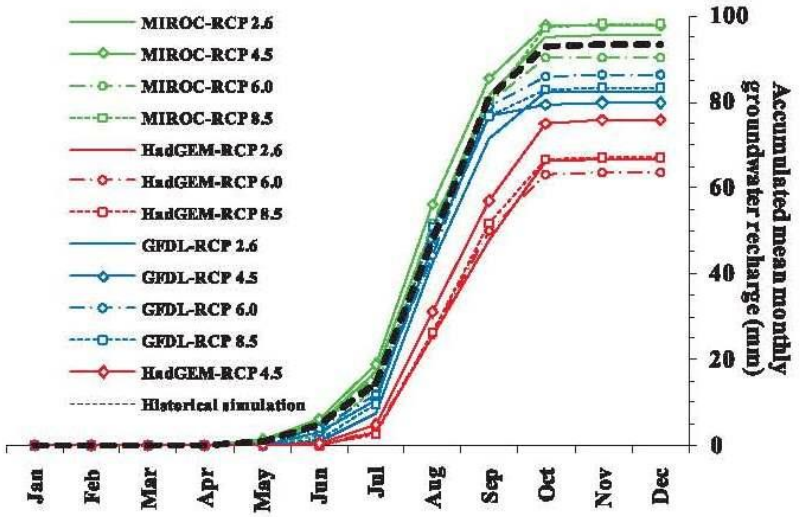


รูปที่ 4.1.6-1 ภาพฉายการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน (ปิง วัง ยม และน่าน) ในช่วงปี ค.ศ. 2026–2040 โดยใช้ 3 GCMs ภายใต้ 4 สถานการณ์จำลอง

แต่เนื่องจากมีแผนการหน่วงน้ำท่วมในพื้นที่จังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร (โครงการบางระกำ 60) ปริมาณน้ำท่วมที่ถูกหน่วงเอาไว้นี้ส่วนหนึ่งจะกลายเป็นปริมาณน้ำที่เติมกลับสู่ชั้นน้ำบาดาลที่ถูกสูบขึ้นมาใช้ก่อนหน้านี้ Pavelic et al. (2012) พบว่าลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่มักเกิดน้ำท่วมขนาดใหญ่เฉลี่ยประมาณ 1 ครั้งในรอบ 4 ปี หากตัดยอดน้ำท่วมหรือควบคุมอัตราการไหล ณ สถานี C2 จังหวัดนครสวรรค์ ให้มีค่าสูงสุดประมาณ 3,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยให้น้ำส่วนเกินถูกหน่วงไว้ในพื้นที่หน่วงน้ำประมาณ 400 ตารางกิโลเมตร จะช่วยให้สามารถแก้ปัญหาน้ำท่วมในพื้นที่ภาคกลางและเพิ่มหรือขยายพื้นที่ชลประทานน้ำบาดาลฤดูแล้งในพื้นที่หน่วงน้ำได้ ส่วนปริมาณน้ำบาดาลที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้จะถูกเติมกลับซึ่งเป็นการแก้ปัญหาในระยะยาวอย่างเหมาะสม

ในความเป็นจริงแล้วทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาลก็คือน้ำอันเดียวกัน กล่าวคือการเปลี่ยนแปลงของน้ำผิวดินย่อมส่งผลกระทบโดยตรงต่อน้ำบาดาล เพียงแต่ระยะเวลาที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อน้ำบาดาลนั้นจะแสดงผลช้ากว่าน้ำผิวดิน (Storage Effect) และที่จำแนกเป็นน้ำผิวดินกับน้ำบาดาลก็เพื่อความสะดวกในการศึกษาเท่านั้น สำหรับน้ำบาดาลตัวแปรหรือปริมาณหนึ่งที่นิยมนำมาประเมินผลกระทบ (Indicator) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศต่อน้ำบาดาลคือปริมาณการเติมน้ำ (Recharge หรือ Groundwater Recharge) หากปริมาณน้ำฝนคือ Input สำหรับน้ำผิวดินแล้วปริมาณการเติมน้ำบาดาลก็คือ Input สำหรับน้ำบาดาล

ปริมาณของน้ำบาดาลจะมากหรือน้อยย่อมขึ้นอยู่กับปริมาณการเติมน้ำบาดาลและปริมาณน้ำบาดาลที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้ นั้นคือขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนเช่นเดียวกันกับปริมาณน้ำท่า จากการศึกษาของ Pratoomchai et al. (2014) พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วปริมาณการเติมน้ำบาดาลส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำฝน พบว่ายังไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน แต่ปริมาณการเติมน้ำบาดาลกลับมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการต่าง ๆ ก่อนที่น้ำฝนที่ซึมผ่านผิวดินและซึมลึกลงไปถึงชั้นน้ำบาดาลและกลายเป็นปริมาณการเติมน้ำบาดาลนั้นซับซ้อน ที่สำคัญมีกระบวนการคายระเหยที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามแนวโน้มของอุณหภูมิที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการเติมน้ำ อย่างไรก็ตามผลการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณการเติมน้ำบาดาลจากน้ำฝนจะแปรผันอยู่ระหว่าง 64-93 มม./ปี หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 9.3 ของปริมาณน้ำฝนรายปี



รูปที่ 4.1.6-2 ภาพฉายการเปลี่ยนแปลงของการเติมน้ำบาดาลจากน้ำฝนสะสมในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน (ปิง วัง ยม และน่าน) ในช่วงปี ค.ศ. 2026–2040 โดยใช้ 3 GCMs ภายใต้ 4 สถานการณ์จำลอง (รวม 12 Scenarios)

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 การกำหนดนโยบายการลงทุนตามแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์มีคุณลักษณะที่จำเป็นเพื่อพิจารณาการใช้น้ำในลุ่มน้ำตามจังหวะช่วงเวลา มีทางเลือกในการจัดสรรงบประมาณลงทุนอันจำกัดที่ขึ้นอยู่กับการจัดการน้ำของลุ่มน้ำ เรามักกำหนดให้น้ำในลุ่มน้ำต้องได้รับการจัดการโดยใช้นโยบายที่เหมาะสมที่สุดโดยเป็นการทำให้ค่าความคาดหวังมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Expected Net Present Value) เพิ่มขึ้นอย่างสูงสุด ความสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่างแต่ละทางเลือกของการจัดสรรงบประมาณลงทุนในลุ่มน้ำที่ดำเนินการภายใต้แนวทางการจัดการน้ำร่วมกันระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินนั้นถูกพิจารณาบนพื้นฐานของ 3 ส่วนหลักสำหรับการพัฒนาทรัพยากรน้ำอันเป็นหนึ่งเดียวซึ่งมีความแปรผันค่อนข้างสูง ดังต่อไปนี้

(1) การกักเก็บของน้ำผิวดิน (Surface Water Storage)

(2) ระบบกระจายน้ำผิวดิน (Surface Water Distribution System)

(3) การเติมน้ำลงแหลงน้ำบาดาลโดยมนุษย์ (Artificial Recharge)

การกักเก็บของน้ำผิวดินจะสามารถดักน้ำปริมาณมากไว้เมื่อน้ำไม่สามารถถูกใช้เพื่อการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากความต้องการน้ำชลประทานที่ต่ำหรือความจุของคลองชลประทานมีจำกัด เป็นการจัดเก็บน้ำที่ถูกดักไว้จนกว่าจะสามารถใช้ประโยชน์ได้ในเชิงเศรษฐกิจ แม้การเพิ่มปริมาณและความจุของอ่างเก็บน้ำจะสามารถทำให้ดักน้ำได้มากขึ้นและยังนำน้ำมาใช้ได้เมื่อน้ำมีมูลค่าทางเศรษฐกิจที่สูงขึ้น แต่กระทำได้ยากในปัจจุบัน เนื่องจากความกังวลต่อผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม แนวทางการจัดการน้ำร่วมกันระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดินโดยการเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาลโดยมนุษย์ การบำรุงรักษาศักยภาพความจุของคลองชลประทาน ควรจะสามารถอย่างน้อยที่สุดทดแทนการเพิ่มปริมาณและความจุของอ่างเก็บน้ำได้

ระบบคลองชลประทานเพื่อการกระจายน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะช่วยให้เพิ่มพื้นที่ชลประทานน้ำผิวดินและเป็นช่องทางอันมีประสิทธิภาพสำหรับการเพิ่มปริมาณน้ำในช่วงฤดูชลประทาน น้ำสามารถใช้งานได้เมื่ออยู่ในคลองชลประทานและไม่จำเป็นต้องเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานเพื่อเหตุผลทางเศรษฐกิจ การใช้น้ำผิวดินในช่วงฤดูกาลที่ยังสามารถใช้งานได้และการพึ่งพาน้ำบาดาลได้ในช่วงฤดูแล้งเมื่อปริมาณน้ำผิวดินไม่เพียงพอ การเติมน้ำลงแหล่งน้ำบาดาลโดยมนุษย์คือ ช่องทางการทดแทนเงินงบประมาณลงทุนได้ทั้งจากการกักเก็บของน้ำผิวดินและระบบกระจายน้ำผิวดิน เนื่องจากแหล่งน้ำบาดาลสามารถถูกเติมใหม่ได้เมื่อมีน้ำผิวดินเพียงพอและถูกดึงออกมาใช้งานภายหลังในฤดูกาลที่จำเป็นต้องใช้น้ำ

อย่างไรก็ตาม ทั้งสามส่วนสำหรับการพัฒนาทรัพยากรน้ำ ไม่สามารถชดเชยหรือทดแทนกันได้อย่างสมบูรณ์ การจัดหาน้ำตามจังหวะเวลา สามารถดำเนินการพัฒนาในลักษณะผสมกันของทั้งสามช่องทางโดยงบประมาณลงทุน (อาทิ การขุดสระเก็บน้ำในไร่นา และการสร้างฝายขนาดเล็ก) คำถามเชิงเศรษฐศาสตร์ก็คือควรพัฒนาแต่ละช่องทาง การพัฒนาในระดับใด เพื่อให้เป็นไปตามนิยามของนโยบายการลงทุนที่เหมาะสมที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเราต้องการเพิ่มผลประโยชน์สุทธิให้สูงสุด ในขณะที่การจัดสรรงบประมาณลงทุนเพื่อการพัฒนามีจำนวนจำกัด

ผลประโยชน์สุทธิที่คาดหวังมาจากทั้งสามส่วนหลักสำหรับการพัฒนาทรัพยากรน้ำ: การกักเก็บของน้ำผิวดิน ระบบกระจายน้ำผิวดิน และการเติมน้ำลงแหลงน้ำบาดาลโดยมนุษย์ วัตถุประสงค์ของนโยบายการลงทุนเพื่อบรรลุจุดสูงสุดของสามส่วนหลักสำหรับการพัฒนาทรัพยากรน้ำเท่าที่จะเป็นไปได้ด้วยงบประมาณอันจำกัด ผลประโยชน์สุทธิที่คาดหวังนี้จะถูกให้คำจำกัดความได้ว่าเป็นนโยบายการลงทุนที่เหมาะสมที่สุด ปัจจัยเสริมสำคัญคือ ศักยภาพการสูบน้ำบาดาลและการจัดการศักยภาพการสูบน้ำบาดาลเชิงพื้นที่ อย่างไรก็ตามปัจจัยเสริมที่กล่าวถึงนี้โดยปกติมักถูกตัดสินใจโดยภาคเอกชนหรือส่วนบุคคลไม่ใช่หน่วยงานภาครัฐ หากการตัดสินใจของภาคเอกชนหรือส่วนบุคคลสามารถถูกวางไว้ให้เชื่อมโยงกับสามส่วนหลัก

สำหรับการพัฒนาทรัพยากรน้ำอันเป็นหนึ่งเดียว นโยบายการลงทุนด้านทรัพยากรน้ำจากภาครัฐจะสามารถถูกกำหนดให้มีเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของภาคเอกชนหรือส่วนบุคคล

ความน่าสนใจอยู่ที่การจัดสรรน้ำตามเวลาอย่างไรภายใต้ระดับและรูปแบบการพัฒนาหนึ่งๆ บางส่วนของน้ำที่ถูกจัดหาในหลายลุ่มน้ำมีความแน่นอนแต่อีกหลายส่วนของน้ำที่ถูกจัดหาเป็นไปอย่างไม่มีความแน่นอนทำให้ภาพรวมของการจัดหาน้ำไม่ชัดเจนนัก ทั้งนี้การตัดสินใจร่วมกันของน้ำบาดาลและน้ำผิวดินมีความซับซ้อนจากความจริงที่ว่าช่วงเวลาของการตัดสินใจมีความแตกต่างกันในแต่ละการใช้น้ำ การกักเก็บน้ำผิวดินถูกพิจารณาด้วยการตัดสินใจภายในปีปฏิทิน ส่วนการกักเก็บน้ำบาดาลถูกพิจารณาด้วยการตัดสินใจเป็นวัฏจักรหรือระหว่างปีปฏิทิน หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าช่วงระยะเวลาที่มีเหตุผลสำหรับการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการกักเก็บน้ำบาดาลยาวนานเป็นปีหรืออาจจะมากกว่านั้น ในขณะที่การตัดสินใจเกี่ยวข้องกับการกักเก็บน้ำผิวดินมีช่วงระยะเวลาแค่หนึ่งเดือนหรืออาจจะน้อยกว่านั้น

ยังมีความซับซ้อนเพิ่มเติมที่เกิดจากลักษณะตามธรรมชาติของฤดูกาลในการผลิตทางการเกษตร ปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะใช้ในระหว่างปีจึงต้องสามารถระบุได้ในช่วงต้นปี เพื่อให้สามารถวางแผนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และถ้าเป็นไปได้ควรคาดการณ์ปริมาณความต้องการน้ำรายปีก่อนเป็นเวลาหลายปีล่วงหน้า ในแง่หนึ่งการตัดสินใจที่ว่าจะใช้น้ำปริมาณเท่าไรในช่วงเวลาที่กำลังจะมาถึงสามารถกระทำได้โดยการรอจนกว่าจะถึงจุดเริ่มต้นของช่วงเวลานั้นแล้วพิจารณาข้อมูลสภาพการกักเก็บน้ำที่ได้รับ ผลประโยชน์สุทธิที่เพิ่มมากขึ้นสามารถดำเนินการให้เกิดขึ้นได้โดยการวางแผนการใช้น้ำล่วงหน้ารวมถึงการจัดการการผลิต

โดยทั่วไปเราต้องการแนวทางจัดการน้ำผิวดินที่ระบุโดยช่วงเวลาสั้นๆ แต่ต้องการแนวทางจัดการน้ำบาดาลที่กำหนดโดยระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นอาจถึงสี่ปี นโยบายการจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินสามารถจัดทำขึ้นเพื่อให้ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องนำมาใช้เป็นประจำทุกปีถูกกำหนดไว้โดยระยะเวลารวมทุกๆ สี่ปี ปริมาณการสูบน้ำบาดาลเป็นรายปีและปริมาณการใช้น้ำผิวดินเป็นรายเดือน มีแนวทางจัดการน้ำบาดาลโดยกำหนดปริมาณน้ำบาดาลทั้งหมดที่จะใช้เป็นประจำทุกปีในทุกๆสี่ปี การตัดสินใจหลักขึ้นกับการพิจารณาปริมาณน้ำบาดาลที่มีอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำในช่วงเริ่มต้นของช่วงระยะเวลาสี่ปี ส่วนแนวทางจัดการน้ำผิวดินนั้นกำหนดปริมาณน้ำผิวดินทั้งหมดที่จะใช้เป็นประจำทุกเดือน การตัดสินใจหลักขึ้นกับการพิจารณาปริมาณน้ำในแหล่งน้ำผิวดินในช่วงเริ่มต้นของช่วงระยะเวลาหนึ่งเดือน จึงสามารถสรุปได้ว่านโยบายการจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน เพื่อการกำหนดปริมาณน้ำที่กักเก็บไว้ในลุ่มน้ำ การควบคุมการจัดสรรน้ำที่มีอยู่ในปัจจุบันและการกักเก็บไว้แล้วนำมาใช้งานในอนาคต

4.2.2 การเติมน้ำบาดาลตามแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน

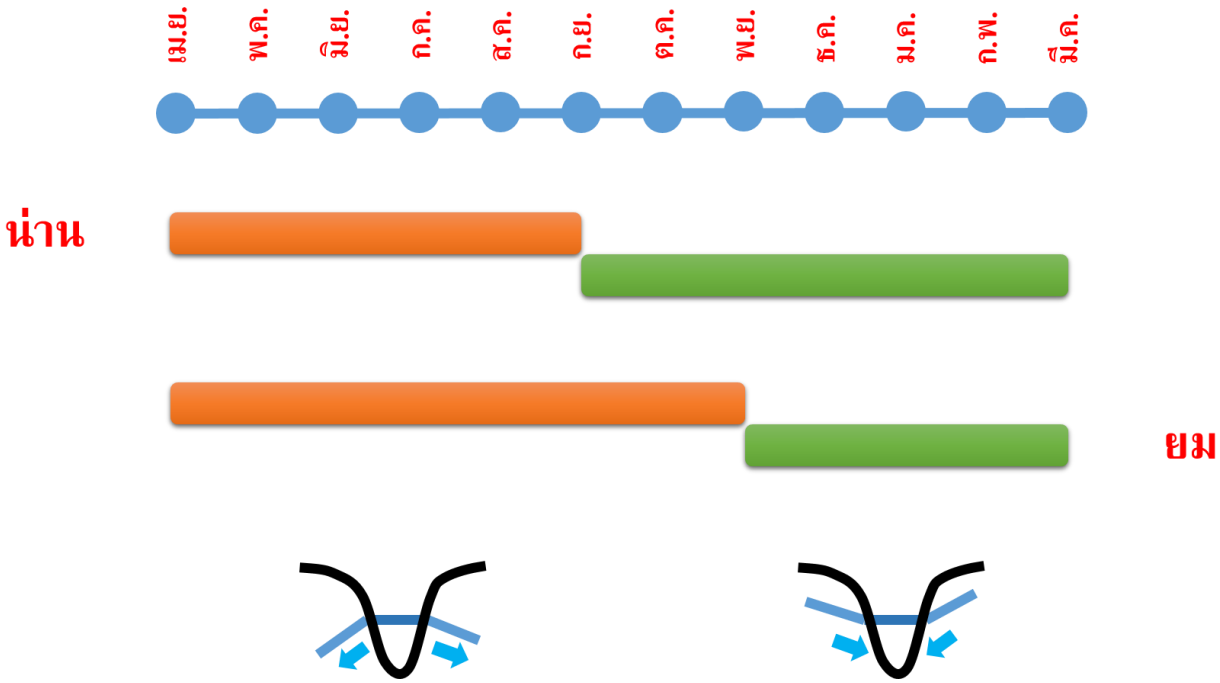
ผลการศึกษาครั้งนี้สามารถอธิบายแนวทางการเติมน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาโดยอาศัยสามหลักการของการพัฒนาทรัพยากรน้ำอันเป็นหนึ่งเดียวที่อธิบายไว้ข้างต้น ได้ดังต่อไปนี้

(1) การกักเก็บของน้ำผิวดิน: การสร้างฝายขนาดเล็กกั้นลำน้ำ โดยเฉพาะลำน้ำยมบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ลงมาจนถึงอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเป็นบริเวณที่พบการสูญเสียของน้ำในลำน้ำยมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ในกรณีที่สามารถสร้างฝายกั้นลำน้ำน่านได้บริเวณอำเภอเมืองพิจิตรลงมาจนถึงอำเภอบางมูลนาก ซึ่งเป็นบริเวณที่พบการสูญเสียของน้ำในลำน่านลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

(2) การเติมน้ำลงแหลงน้ำบาดาลโดยมนุษย์: พื้นที่ที่ศักยภาพในการเติมน้ำบาดาลโดยน้ำฝน ได้แก่ พื้นที่ที่มีกลุ่มชุดดินที่ 5 (หางดง, พาน), 6 (เชียงราย, มโนรมย์), 18 (ชลบุรี, โคกสำโรง), และ 33 (ตะพานหิน) ซึ่งครอบคลุมบางพื้นที่ของอำเภอวังทรายพูน ทับคล้อ โพธิ์ประทับช้าง ในเขตจังหวัดพิจิตร อำเภอบางระกำ และพรหมพิราม ในเขตจังหวัดพิษณุโลก อำเภอเมืองและสวรรคโลก ในเขตจังหวัดสุโขทัย อำเภอขาณุวรลักษบุรี คลองขลุง และพรานกระต่าย ในเขตจังหวัดกำแพงเพชร ทั้งนี้สามารถสร้างโครงสร้างเติมน้ำบาดาลแบบประดิษฐ์ อาทิ บ่อวงเติมน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเติมน้ำบาดาล

(3) ระบบกระจายน้ำผิวดิน: เมื่อพิจารณาเฉพาะพื้นที่ชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพลายชุมพล งานศึกษาของ Aye (2018) แสดงให้เห็นถึงระดับน้ำบาดาล ว่าจะอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำในลำน้ำน่านช่วงเดือนเมษายน–กันยายน และระดับน้ำบาดาลจะอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำในลำน้ำยมช่วงเดือนเมษายน–พฤศจิกายน ช่วงเวลาที่ระดับน้ำบาดาลจะอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำในลำน้ำ สามารถแสดงถึงโอกาสการเกิดการสูญเสียของน้ำในลำน้ำ หรือการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ระดับน้ำในลำน้ำน่านจะอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำบาดาลช่วงเดือนกันยายน–มีนาคม และ ระดับน้ำในลำน้ำยมจะอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำบาดาลช่วงเดือนพฤศจิกายน–มีนาคม ช่วงเวลาที่ระดับน้ำบาดาลจะอยู่สูงกว่าระดับน้ำในลำน้ำ สามารถแสดงถึงโอกาสการเกิดการเติมน้ำในลำน้ำ หรือการเติมน้ำจากชั้นน้ำบาดาลเข้าสู่ลำน้ำ รูปที่ 4.2.2-1 อธิบายช่วงเวลาการสูญเสียน้ำในลำน้ำและการเติมน้ำในลำน้ำ แถบสีส้มแสดงถึงช่วงเวลาที่ระดับน้ำในลำน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำบาดาล ซึ่งมีโอกาสเกิดการสูญเสียของน้ำในลำน้ำ หรือการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ในขณะที่แถบสีเขียว แสดงถึงช่วงเวลาที่ระดับน้ำในลำน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำบาดาล ซึ่งมีโอกาสเกิดการเติมน้ำในลำน้ำ หรือการเติมน้ำจากชั้นน้ำบาดาลเข้าสู่ลำน้ำ

การเพิ่มปริมาณน้ำในคลองส่งน้ำสายหลักอย่างเต็มประสิทธิภาพของน้ำต้นทุนจะสามารถช่วยการเติมน้ำบาดาลได้ เนื่องจากระดับน้ำในคลองส่งน้ำสายหลักมักอยู่สูงกว่าระดับน้ำบาดาล ทำให้มีโอกาสสูงที่จะเกิดการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล การเจาะบ่อสังเกตการณ์ (PHS64) ห่างจากคลองส่งน้ำสายหลักประมาณ 80 เมตร แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของน้ำในคลองส่งน้ำสายหลักที่มีต่อระดับน้ำบาดาล การลดการสูบน้ำบาดาลของเกษตรกรในช่วงเดือนกรกฎาคม–พฤศจิกายน ซึ่งปริมาณน้ำในคลองส่งน้ำสายหลักมีเต็มความจุและสามารถนำมาใช้งานได้ ซึ่งจัดเป็นการเติมน้ำบาดาลแบบ In-liu Recharge โดยเปิดโอกาสให้เกิดการเติม (Replenishing) ตามธรรมชาติ



รูปที่ 4.2.2-1 ช่วงเวลาการสูญเสียน้ำในลำน้ำและการเติมน้ำในลำน้ำ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

เกรียงศักดิ์ ศรีสุข. 2543. น้ำบาดาล-แบบจำลอง-การปนเปื้อน (Groundwater-Model-Contamination). ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยีธรณี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

กรมทรัพยากรธรณี, 2544. ธรณีวิทยาประเทศไทย, เฉลิมพระเกียรติพระบาทมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเนื่องในโอกาสพระราชพิธีมหามงคลเฉลิมพระชนพรรษา 6 รอบ 5 ธันวาคม 2542, กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณีกระทรวงอุตสาหกรรม, หน้า 199.

กรมทรัพยากรน้ำ, 2548. โครงการจัดตั้งศูนย์ปฏิบัติการป้องกันและบรรเทาวิกฤตน้ำ (Water Operation Center). รายงานฉบับสุดท้าย เล่มที่ 3 รายงานการศึกษาด้านน้ำแล้ง. กรมทรัพยากรน้ำ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, พญาไท, กรุงเทพมหานคร.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551). การปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล. รายงานวิชาการ ฉบับที่ กวน. 1/2551, กองวิเคราะห์น้ำบาดาล, กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, เขตราชเทวี, กรุงเทพมหานคร.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555). โครงการศึกษาเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล. รายงานฉบับสมบูรณ์, กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, เขตราชเทวี, กรุงเทพมหานคร.

กรมอุตุนิยมวิทยา, 2548, สภาพภูมิอากาศ, สืบค้นเมื่อวันที่ 19 มกราคม 2561, จาก Website https://www.tmd.go.th

กรมชลประทาน,2553. โครงการศึกษา Hydrogeological Model เพื่อการคาดคะเนการกระจายดินเค็มและน้ำเค็มระยะยาว โครงการ โขง-ชี-มูล, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554, โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554ก. การศึกษาสำรวจและจัดทำแผนที่น้ำบาดาลขั้นรายละเอียดมาตราส่วน 1:50,000 พื้นที่แอ่งน้ำเจ้าพระยาตอนบน พื้นที่ที่ III. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล,กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, บางเขน, กรุงเทพมหานคร.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554ข. โครงการจัดทำแผนบูรณาการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินทั่วประเทศและนำร่องการจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน. รายงานฉบับสมบูรณ์กรมทรัพยากรน้ำบาดาล,กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, บางเขน, กรุงเทพมหานคร.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555.การศึกษาสำรวจและจัดทำแผนที่น้ำบาดาลขั้นรายละเอียดมาตราส่วน 1:50,000 พื้นที่แอ่งน้ำเจ้าพระยาตอนบน พื้นที่ที่ I. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, บางเขน, กรุงเทพมหานคร.

กรมพัฒนาที่ดิน, 2556, แผนที่กลุ่มชุดดินจังหวัดกำแพงเพชร,สืบค้นเมื่อวันที่ 17 มกราคม 2561, จาก Web sitehttp://www.ldd.go.th/

กรมพัฒนาที่ดิน, 2556, แผนที่กลุ่มชุดดินจังหวัดตาก, สืบค้นเมื่อวันที่ 17 มกราคม 2561, จาก Web sitehttp://www.ldd.go.th/

กรมพัฒนาที่ดิน, 2556, แผนที่กลุ่มชุดดินจังหวัดนครสวรรค์, สืบค้นเมื่อวันที่ 17 มกราคม 2561, จาก Web sitehttp://www.ldd.go.th/

กรมพัฒนาที่ดิน, 2556, แผนที่กลุ่มชุดดินจังหวัดพิจิตร,สืบค้นเมื่อวันที่ 17 มกราคม 2561, จาก Web sitehttp://www.ldd.go.th/

กรมพัฒนาที่ดิน, 2556, แผนที่กลุ่มชุดดินจังหวัดพิษณุโลก,สืบค้นเมื่อวันที่ 17 มกราคม 2561, จาก Web sitehttp://www.ldd.go.th/

กรมพัฒนาที่ดิน, 2556, แผนที่กลุ่มชุดดินจังหวัดสุโขทัย, สืบค้นเมื่อวันที่ 17 มกราคม 2561, จาก Web sitehttp://www.ldd.go.th/

กรมพัฒนาที่ดิน, 2556, แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดอุตรดิตถ์, สืบค้นเมื่อวันที่ 17 มกราคม 2561, จาก Web sitehttp://www.ldd.go.th/

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2558, แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดกำแพงเพชร, สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2561, จาก Web site http://www.dgr.go.th/

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2558, แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดตาก,สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2561, จาก Web site http://www.dgr.go.th/

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2558, แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดนครสวรรค์, สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2561, จาก Web site http://www.dgr.go.th/

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2558, แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดพิจิตร, สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2561, จาก Web site http://www.dgr.go.th/

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2558, แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดพิษณุโลก,สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2561, จาก Web site http://www.dgr.go.th/

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2558, แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดสุโขทัย,สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2561, จาก Web site http://www.dgr.go.th/

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2558, แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดอุตรดิตถ์, สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2561, จาก Web site http://www.dgr.go.th/

ชูเกียรติทรัพย์ไพศาล, 2557.อุทกภัยในลุ่มน้ำเจ้าพระยาและมาตรการแก้ไขเร่งด่วนที่จำเป็น.วิศวกรรมสาร ปีที่67, ฉบับที่ 4, หน้าที่ 22-35.

ทัศนีย์ เนตรทัศน์, 2545. การศึกษาสมดุลของน้ำบาดาลในพื้นที่ตำบลท่าพระอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น และพื้นที่ใกล้เคียง [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น: ISBN 974-367-175-7], บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วจี รามณรงค์ และ สมชัย วงศ์สวัสดิ์, 2541. ศักยภาพน้ำบาดาลในประเทศไทย.วารสารชมรมนักอุทกวิทยา2, หน้า 240-276.

สมชาย อิ่มอยู่,การศึกษาสัมประสิทธิ์น้ำท่า และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับพื้นที่ลุ่มน้ำ 25 ลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย, ส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน, 2552

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ(องค์การมหาชน), 2554, ข้อมูลพื้นที่น้ำท่วม, สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2560, จาก Web sitehttp://flood.gistda.or.th/

Aye, P. P., 2018. Surface Water and Groundwater Interaction Mechanism: Plaichumphol Irrigation Project (PIP) as a case study. Master's Thesis, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Pathum Wan, Bangkok, Thailand

Bartolino, J. R., 2014. Stream seepage and groundwater levels, Wood River Valley, South-Central Idaho, 2012–13. Scientific Investigations Report 2014–5151. U.S. Geological Survey (USGS), Reston, Virginia, USA.

Bejranonda, W., Koontanakulvong, S., Koch, M. and Suthidhummajit, C., 2006. Groundwater modeling for conjunctive use patterns investigation in the Upper Central Plain of Thailand. In: Proceedings of *Aquifers Systems Management*, IAH and BRGM, May 30 – June 1, Dijon, France.

Brodie, R., Sundaram, B., Tottenham, R., Hostetler, S., Ransley, T., 2007.*An Overview of Tools for Assessing Groundwater-Surface Water Connectivity*. Bureau of Rural Sciences, Canberra.

Department of Water Resources, 2009. *Integrated Water Management*. California Water Plan Update 2009 Volume 2–Resource Management Strategies. Department of Water Resources, California Natural Resources Agency, California, USA.

Farr, E., Henderson, W.C. 1986. Land Drainage. Longman Group Limited. New York.

Foster, S. B., Allen, D. M., 2015. Groundwater—Surface Water Interactions ina Mountain-to-Coast Watershed: Effects of ClimateChange and Human Stressors. *Advances in Meteorology* 2015, 1–22.

Graham, D. N., Butts, M., 2005. *Flexible, Integrated Watershed Modelling with MIKE SHE. In Watershed Models*. Eds. Singh, V. P.; Frevert, D. K., CRC Press, 245–272.

Guo, X., Zuo, R., Shan, D., Cao, Y., Wang, J., Teng, Y., Fu, Q., Zheng, B., 2017. Source Apportionment of Pollution in Groundwater Source Area using Factor Analysis and Positive Matrix Factorization Methods. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, *23*(6), 1417–1436.

Hashim, M. A., Mukhopadhyay, S., Sahu, J. N., Sengupta, B., 2011. Remediation Technologies for Heavy Metal Contaminated Groundwater. Journal of Environmental Management, 92, 2355–2388.

Jampanil, D., 2003. *Water Allocation Planning under Conjunctive Use in the Chanasutr irrigation Project Area*. Dissertation for the Master Degree. Bangkok: Chulalongkorn University (in Thai).

Jolly, I., Rassam, D., Pickett, T., Gilfedder, M., Stenson, M., 2010. Modelling Groundwater–Surface Water Interactions in the New Generation of River Systems Models for Australia. In: Proceedings of *Groundwater2010*, The Challenge of Sustainable Management, October31–November 4, National Convention Centre, Canberra, Australia.

Kazama,S., Hagiwara, T., Ranjan, P., Sawamoto, M., 2007. Evaluation of Groundwater Resources in Wide Inundation Areas of the Mekong River Basin. *Journal of Hydrology*340, 233–243.

Kazama, S., Kono, T., Kakiuchi, K., Sawamoto, M., 2009. Evaluation of Flood Control and Inundation Conservation in Cambodia using Flood and Economic Growth Models.*Hydrological Processes*23(4), 623–632.

Lee, D.R., 1977. A Device for Measuring Seepage Flux in Lakes and Estuaries. *Limnology and Oceanography* 22, 140–147.

Molle, F., 2002. The Closure of the Chao Phraya River Basin in Thailand: Its Causes, Consequences and Policy Implications. In: Proceedings of *Asian Irrigation in Transition-Responding to the Challenges Ahead*, Workshop, April 22–23, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Natural Heritage Institute (NHI), 2010. *Potential Future Coordinated Operation of Sacramento Valley Groundwater Aquifers with California's State Water Project and the Federal Central Valley Project*. Sacramento Valley ConjunctiveWater Management TechnicalInvestigation Modeling Report. San Francisco, California, USA.

Oki, T., Agata Y., Kanae, S., Saruhashi, T., Yang, D., Musiake, K., 2001. Global Assessment of Current Water Resources using Total Runoff Integrating Pathways.*Hydrological Sciences Journal*46, 983–996.

Pattanee, S., 2006. Challenges in Managing the Chao Phraya's water. In: Proceedings of *9th International RiverSymposium*, September 4–7, Brisbane, Australia.

Pavelic, P., Srisuk, K., Saraphirom, P., Nadee, S., Pholkern, K., Chusanathas, S., Munyou, S., Tangsutthinon, T. and Intarasut, T., 2012. Balancing-out floods and droughts: Opportunities to utilize floodwater harvesting and groundwater storage for agricultural development in Thailand. *Journal of Hydrology* 470–471, 55–64.

Pholkern, K., Chusanatus, S., Munyou, S.,Archwichai, L.,Uppasit, S., Nadee, S., Sarapirom, P., Boonsongka, P., Phongsatitpat, A., Srisuk, K., 2011. Selection of Suitable Areas for Managed Aquifer Recharge Using Ponding Recharge System in Phitsanulok, Sukhothai and Phichit Provinces, Thailand.In: Proceedings of *the International Conference on Geology, Geotechnology and Mineral Resources of Indochina*, GEOINDO 2011, December 1–3, KhonKaen, Thailand.

Prajamwong, S., Suppataratarn, P., 2009. Integrated Flood Mitigation Management in the Lower Chao Phraya River Basin. Expert group meeting on innovative strategies towards flood resilient cities in Asia-Pacific.

Pratoomchai, W., Kazama, S., Ekkawatpanit, C., Komori D., 2015a. Opportunities and Constraints in Adapting to Flood and Drought Conditions in the Upper Chao Phraya River Basin in Thailand. *International Journal of River Basin Management* 13, 413–427.

Pratoomchai, W., Kazama, S., Manandhar, S., Ekkawatpanit, C., Saphaokham, S., Komori, D., Tongduang, J., 2015b. Sharing of People's Perceptions of Past and Future Hydro-meteorological Changes in the Groundwater Use Area. *Water Resources Management* 29, 3807–3821.

Prucha, B.,Graham, D.Watson, M., Avenant, M.,Esterhuyse, S.,Joubert, A., Kemp, M.,King, J.,le Roux, P.,Redelinghuys, N.,Rossouw, L.,Rowntree, K.,Seaman, M., Sokolic, F., van Rensburg, L., van der Waal, B., van Tol, J., Vos, T., 2016. MIKE–SHE Integrated Groundwater and Surface Water Model usedto Simulate Scenario Hydrology for Input to DRIFT–ARID: the MokoloRiver Case Study. *Water SA*42(3), 384–298.

Public Policy Institute of California, 2011. *Managing California's Water From Conflict to Reconciliation*.Public Policy Institute of California, San Francisco, California, USA.

Ransley, T., Tottenham, R., Baskaran, S., Brodie, R., 2007. *Development of method to map potential stream-aquifer connectivity: a case study in the Border Rivers Catchment*. Bureau of Rural Sciences, Canberra.

Rassam, D. W., Jolly, I., Pickett, T., 2012. Guidelines for Modelling Groundwater-Surface Water Interactions in eWater Source: Towards Best Practice Model Application.

Rassam, D., 2013. Incorporating Surface-groundwater Interactions into River Modelling "Keeping Low Flows in Mind". Presentation Slides for CSIRO's Water for a Healthy Country Flagship, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Canberra, Australia.

Schlumberger Water Service, 2011, Visual MODFLOW version 2011.1 Pro, Ontario, Canada.

Schroeder, P. R., Lloyd, C.M., and Zappi, P.A. 1994. The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP3) Model, Risk Reduction Engineering Laboratory Office ofResearch and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati,OHIO, USA.

Sethaputra, S., Thanopanuwat, S., Kumpa, L., Pattanee, S., 2001. Thailand's water vision: a case study. In: Huu Ti, L., Facon, T., editors. From vision to action, a synthesis of experiences in Southeast Asia: FAO/ESCAP. P. 71–98.

Spitz, K. and Moreno, J., 1996. A practical guide to groundwater and solute modeling. John Wiley and Sons, Inc, 441p.

Uppasit, S., Srisuk, K., Sarapirom, P., Pavelic, P., 2012. Assessment of the Groundwater Quantity Resulting fromArtificial Recharge by Ponds at Ban Nong Na, PhitsanulokProvince, Thailand. *International Journal of Environmental and Rural Development*3–1, 196–201.

Uppasit, S., Silaratana, N., Fuangswasdi, A., Chusanatus, S., Pavelic, P.,Srisuk, K.,2013. Managed Aquifer Recharge Using Infiltration Pond: CaseStudy of Ban Nong Na, Phitsanulok, Thailand. *Journal of Earth Science and Engineering* 1, 14–22.

U.S. Environmental Protection Agency (US EPA), 2014. EPA Positive MatrixFactorization (PMF) 5.0Fundamentals andUser Guide. U.S. Environmental Protection Agency (US EPA), Office of Research and Development, Washington, DC, USA.

Vargas, F. A., Rojas, N. Y., Pachon, J. E., Russell, A. G., 2012. PM_{10} Characterization and Source Apportionment at Two Residential Areas in Bogota. Atmospheric Pollution Research, 3(2012), 72–80.

Zamora, C., 2008.*Estimating Water Fluxes across the Sediment–Water Interface in the Lower Merced River, California*. Scientific Investigations Report 2007–5216, U.S. Geological Survey (USGS), Reston, Virginia, USA.

Zhang, X., 2015. Conjunctive Surface Water and Groundwater Management under Climate Change. *frontiers in Environmental Science* 3(59), 1–10.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. กลุ่มชุดดิน

กลุ่มชุดดินที่ 5

ชุดดิน ชุดดินหางดง (Hd) ชุดดินละงู (Lgu) และชุดดินพาน (Ph)

ลักษณะเด่น กลุ่มดินเหนียวลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกิริยาดินเป็นกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง

ปัญหา บางพื้นที่ขาดแคลนน้ำ มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

แนวทางการจัดการ

ปลูกข้าว ไถพรวนขณะที่ดินมีความชื้นที่เหมาะสม ไถกลบตอซัง ปล่อยไว้ 3-4 สัปดาห์ หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด (หว่านโสนอัฟริกันหรือโสนอินเดีย 4-6 กิโลกรัม/ไร่ ไถกลบเมื่ออายุ 50-70 วัน ปล่อยทิ้งไว้ 1-2 สัปดาห์) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ใส่ปุ๋ยแต่งหน้าหลังปักดำ 35-40 วัน พัฒนาแหล่งน้ำไว้ใช้ในช่วงที่ข้าวขาดน้ำหรือทำนาครั้งที่ 2 หรือใช้ปลูกพืชไร่หรือพืชผักหลังเก็บเกี่ยวข้าว โดยทำร่องแบบเตี้ย ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 1-2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ

ปลูกพืชผักหรือไม้ผล ยกร่องกว้าง 6-8 เมตร คูน้ำกว้าง 1.0-1.5 เมตร ลึก 0.5-1.0 เมตร ร่องแปลงปลูกอยู่สูงจากระดับน้ำที่เคยท่วม ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 1-2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือขุดหลุมปลูกขนาด 50x50x50 เซนติเมตร ปรับปรุงหลุมปลูกด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 15-25 กิโลกรัม/หลุม ในช่วงเจริญเติบโต ก่อนเก็บผลผลิตและภายหลังเก็บผลผลิต ใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำตามชนิดพืชที่ปลูก พัฒนาแหล่งน้ำ และจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

กลุ่มชุดดินที่ 6

ชุดดิน ชุดดินบางนารา (Ba) ชุดดินเชียงราย (Cr) ชุดดินสุไหงโกลก (Gk) ชุดดินแกลง (Kl) ชุดดินคลองขุด (Kut) ชุดดินมโนรมย์ (Mn) ชุดดินนครพนม (Nn) ชุดดินปากท่อ (Pth) ชุดดินพะวง (Paw) ชุดดินพัทลุง (Ptl) ชุดดินสตูล (Stu) ชุดดินท่าศาลา (Tsl) และชุดดินวังตง (Wat)

ลักษณะเด่น กลุ่มดินเหนียวลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงเป็นกรดจัด การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ปัญหา ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่ดินเป็นกรดจัดมาก ขาดแคลนน้ำและน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

แนวทางการจัดการ

ปลูกข้าว ไถพรวนขณะที่ดินมีความชื้นที่เหมาะสม ไถกลบตอซัง ปล่อยไว้ 3-4 สัปดาห์ หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด (หว่านโสนอัฟริกันหรือโสนอินเดีย 4-6 กิโลกรัม/ไร่ ไถกลบเมื่ออายุ 50-70 วัน ปล่อยทิ้งไว้ 1-2 สัปดาห์) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ใส่ปุ๋ยแต่งหน้าหลังปักดำ 35-40 วัน

ในพื้นที่ที่เป็นกรดจัดมาก ใช้วัสดุปูน 200-300 กิโลกรัม/ไร่ เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน พัฒนาแหล่งน้ำไว้ใช้ในช่วงที่ข้าวขาดน้ำหรือทำนาครั้งที่ 2 หรือใช้ปลูกพืชไร่หรือพืชผักหลังเก็บเกี่ยวข้าว โดยทำร่องแบบเตี้ย ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 1-2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ

ปลูกพืชผักหรือไม้ผล ยกร่องกว้าง 6-8 เมตร คูน้ำกว้าง 1.0-1.5 เมตร ลึก 0.5-1.0 เมตร ร่องแปลงปลูกอยู่สูงจากระดับน้ำที่เคยท่วม ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 1-2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือขุดหลุมปลูกขนาด 50x50x50 เซนติเมตร ปรับปรุงหลุมปลูกด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 15-25 กิโลกรัม/หลุม ในช่วงเจริญเติบโต ก่อนเก็บผลผลิตและภายหลังเก็บผลผลิต ใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำตามชนิดพืชที่ปลูกในพื้นที่ที่ดินเป็นกรดจัดมาก ใช้วัสดุปูน 200-300 กิโลกรัม/ไร่ หรือ 0.5-1.0 กิโลกรัม/หลุม เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

กลุ่มชุดดินที่ 7

ชุดดิน ชุดดินเดิมบาง (Db) ชุดดินน่าน (Na) ชุดดินนครปฐม (Np) ชุดดินผักกาด (Pat) ชุดดินสุโขทัย (Skt) ชุดดินท่าตูม (Tt) ชุดดินอุตรดิตถ์ (Utt) และชุดดินระโนด (Ran)

ลักษณะเด่น กลุ่มดินเหนียวลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกิริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่าง การระบายน้ำค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

ปัญหา โครงสร้างแน่นทึบ ดินแห้งแข็ง ทำให้ไถพรวนยาก ขาดแคลนน้ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

แนวทางการจัดการ

ปลูกข้าว ไถพรวนขณะที่ดินมีความชื้นที่เหมาะสม ไถกลบตอซัง ปล่อยไว้ 3-4 สัปดาห์ หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด (หว่านโสนอัฟริกันหรือโสนอินเดีย 4-6 กิโลกรัม/ไร่ ไถกลบเมื่ออายุ 50-70 วัน ปล่อยทิ้งไว้ 1-2 สัปดาห์) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ใส่ปุ๋ยแต่งหน้าหลังปักดำ 35-40 วัน พัฒนาแหล่งน้ำไว้ใช้ในช่วงที่ข้าวขาดน้ำหรือทำนาครั้งที่ 2 หรือใช้ปลูกพืชไร่หรือพืชผักหลังเก็บเกี่ยวข้าว โดยทำร่องแบบเตี้ย ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 1-2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ

ปลูกพืชผักหรือไม้ผล ยกร่องกว้าง 6-8 เมตร คูน้ำกว้าง 1.0-1.5 เมตร ลึก 0.5-1.0 เมตร ร่องแปลงปลูกอยู่สูงจากระดับน้ำที่เคยท่วม ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 1-2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือขุดหลุมปลูกขนาด 50x50x50 เซนติเมตร ปรับปรุงหลุมปลูกด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 15-25 กิโลกรัม/หลุม ในช่วงเจริญเติบโต ก่อนเก็บผลผลิตและภายหลังเก็บผลผลิต ใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำตามชนิดพืชที่ปลูก พัฒนาแหล่งน้ำ และจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

กลุ่มชุดดินที่ 9

ชุดดิน ชุดดินชะอำ (Ca)

ลักษณะเด่น กลุ่มดินเหนียวลึกมากที่เกิดจากตะกอนน้ำทะเลที่เป็นดินเค็มและเปรี้ยวจัด ดินบนปฏิกิริยาเป็นกรดรุนแรงมาก ดินล่างปฏิกิริยาเป็นกลางถึงเป็นด่าง การระบายน้ำเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง

ปัญหา ดินเป็นกรดรุนแรงมากและมีเกลือสะสมสูง โครงสร้างดินแน่นทึบ ทำให้ไถพรวนยาก บางพื้นที่อาจมีน้ำทะเลท่วมถึง ขาดแคลนแหล่งน้ำจืด และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

แนวทางการจัดการ

<u>ปลูกข้าว</u> ไถพรวนดินในขณะที่ดินมีความชื้นที่เหมาะสม ลดและควบคุมความเป็นกรดรุนแรงมากของดินด้วยวัสดุปูน 1,000-2,000 กิโลกรัม/ไร่ โดยหว่านให้ทั่วแปลงปลูก ปล่อยให้มีน้ำขัง ล้างเอากรดและเกลือออกไปจากแปลงปลูก ปรับปรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ เช่น ไถกลบตอซัง ปล่อยไว้ 3-4 สัปดาห์ หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด (หว่านเมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสด โสนอัฟริกันหรือโสนอินเดีย 4-6 กิโลกรัม/ไร่ ไถกลบเมื่ออายุ 50-70 วัน ปล่อยไว้ 1-2 สัปดาห์) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ใส่ปุ๋ยแต่งหน้าหลังปักดำ 35-45 วัน พัฒนาแหล่งน้ำไว้ใช้ในช่วงที่ข้าวขาดน้ำ ควบคุมและล้างเกลือออกไปจากพื้นที่

<u>ปลูกพืชผักหรือไม้ผล</u> ยกร่องกว้าง 6-8 เมตร คูน้ำกว้าง 1.0-1.5 เมตร ลึก 0.5-1.0 เมตร หรือถึงชั้นดินเลนของตะกอนน้ำทะเล มีคันดินอัดแน่นล้อมรอบ ก่อนยกร่องควรแยกหน้าดินมาทับบนที่ขุดมาจากร่องคูน้ำ หว่านวัสดุปูนบนสันร่องและร่องคูน้ำ 1,000-2,000 กิโลกรัม/ไร่ ล้างเกลือหรือปล่อยทิ้งไว้ให้ฝนชะล้างเอาเกลือลงไปในร่องแล้วระบายออกไป ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 2-3 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือขุดหลุมปลูกขนาด 50x50x50 เซนติเมตร ปรับปรุงหลุมปลูกด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 20-35 กิโลกรัม/หลุม ร่วมกับวัสดุปูน 7 กิโลกรัม/หลุม ในช่วงเจริญเติบโตก่อนเก็บผลผลิตและภายหลังเก็บผลผลิต ใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำตามชนิดพืชที่ปลูก เมื่อดินเกิดกรดเพิ่มขึ้น หว่านด้วยวัสดุปูน 1,000-2,000 กิโลกรัม/ไร่ พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก เพื่อใช้ล้างความเป็นกรดและเกลือในดิน และควบคุมไม่ให้ดินกรดเพิ่มขึ้น

กลุ่มชุดดินที่ 14

ชุดดิน ชุดดินปัตตานี (Pti) ชุดดินระแงะ (Ra) และชุดดินต้นไทร (Ts)

ลักษณะเด่น กลุ่มดินเปรี้ยวจัดลึกปานกลาง และมีชั้นดินเลนที่มีศักยภาพก่อให้เกิดเป็น ดินเปรี้ยวจัด หรือดินกรดกำมะถันภายในความลึก 150 ซม. จากผิวดิน ดินบนปฏิกิริยาเป็นกรดจัดมาก และดินล่างมีปฏิกิริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่าง การระบายน้ำเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ปัญหา ดินเป็นกรดจัดมากหรือเป็นดินเปรี้ยวจัดลึกปานกลาง ดินชั้นล่างเป็นดินเลนที่มีศักยภาพก่อให้เกิดเป็นดินกรดกำมะถัน เกิดการตรึงของธาตุอาหารและมีสารที่เป็นพิษต่อพืชที่ปลูก คุณภาพน้ำเป็นกรดจัดมาก ขาดแคลนแหล่งน้ำจืด และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

แนวทางการจัดการ

ปลูกข้าว ไถพรวนดินในขณะที่ดินมีความชื้นที่เหมาะสม ลดและควบคุมความเป็นกรดรุนแรงมากของดินด้วยวัสดุปูน 500-1,000 กิโลกรัม/ไร่ โดยหว่านให้ทั่วแปลงปลูก ไถกลบตอซัง ปล่อยไว้ 3-4 สัปดาห์ หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด (หว่านเมล็ดพันธุ์พืชปุ๋ยสด โสนอัฟริกันหรือโสนอินเดีย 4-6 กิโลกรัม/ไร่ ไถกลบเมื่ออายุ 50-70 วัน ปล่อยไว้ 1-2 สัปดาห์) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 ใส่ปุ๋ยแต่งหน้าหลังปักดำ 35-45 วัน พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในช่วงที่ข้าวขาดน้ำหรือใช้ทำนาครั้งที่ 2

ปลูกพืชไร่ พืชผัก หรือไม้ผล ยกร่องกว้าง 6-8 เมตร คูน้ำกว้าง 1.0-1.5 เมตร ลึก 0.5-1.0 เมตร หรือถึงชั้นดินเลนของตะกอนน้ำทะเล มีคันดินอัดแน่นล้อมรอบ ก่อนยกร่อง ควรแยกหน้าดินมาทับบนดินที่ขุดมาจากร่องคูน้ำ หว่านวัสดุปูนบนสันร่องและร่องคูน้ำ 500-1,000 กิโลกรัม/ไร่ ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 2-3 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือขุดหลุมปลูกขนาด 50x50x50 ซม. ปรับปรุงหลุมปลูกด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 20-35 กิโลกรัม/หลุม ร่วมกับวัสดุปูน 6 กิโลกรัม/หลุม ในช่วงเจริญเติบโต ก่อนเก็บผลผลิตและภายหลังเก็บผลผลิต ใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำตามชนิดพืชที่ปลูก เมื่อดินเกิดกรดเพิ่มขึ้น หว่านด้วยวัสดุปูน 500-1,000 กิโลกรัม/ไร่ พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก เพื่อใช้ล้างและควบคุมไม่ให้ดินกรดเพิ่มขึ้น

กลุ่มชุดดินที่ 16

ชุดดิน ชุดดินหินกอง (Hk) ชุดดินเกาะใหญ่ (Koy) ชุดดินลำปาง (Lp) ชุดดินพานทอง (Ptg) ชุดดินศรีเทพ (Sri) และชุดดินตากใบ (Ta)

ลักษณะเด่น กลุ่มดินทรายแป้งลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ปัญหา หน้าดินแน่นทึบ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่ดินเป็นกรดจัดมาก ขาดแคลนน้ำและน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

แนวทางการจัดการ

ปลูกข้าว ในพื้นที่ที่เป็นกรดจัดมาก หว่านวัสดุปูน 200-300 กิโลกรัม/ไร่ เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน ไถกลบตอซัง ปล่อยทิ้งไว้ 3-4 สัปดาห์ หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด (โสนอัฟริกันหรือโสนอินเดีย 6-8 ตัน/ไร่ ไถกลบก่อนออกดอก 1-2 สัปดาห์) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ใส่ปุ๋ยแต่งหน้าหลังปักดำ 35-45 วัน การปักดำข้าวควรเพิ่มจำนวนต้นต่อกอให้มากขึ้น พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในช่วงที่ข้าวขาดน้ำหรือใช้ทำนาครั้งที่ 2 หรือปลูกพืชไร่ พืชผักหรือพืชตระกูลถั่ว

หลังเก็บเกี่ยวข้าว โดยทำร่องแบบเตี้ย ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 2-3 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ

ปลูกพืชไร่ พืชผัก หรือไม้ผล ยกร่องกว้าง 6-8 เมตร คูน้ำกว้าง 1.0-1.5 เมตร ลึก 0.5-1.0 เมตร และมีคันดินอัดแน่นล้อมรอบ ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 2-3 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือขุดหลุมปลูกขนาด 50x50x50 เซนติเมตร พร้อมปรับปรุงหลุมปลูกด้วยอินทรียวัตถุ ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 25-50 กิโลกรัม/หลุม ในช่วงเจริญเติบโต ก่อนเก็บผลผลิตและภายหลังเก็บผลผลิต ใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ตามชนิดพืชที่ปลูก เพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน ควรมีการใช้วัสดุปูน 200-300 กิโลกรัม/ไร่ พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

กลุ่มชุดดินที่ 18

ชุดดิน ชุดดินชลบุรี (Cb) ชุดดินไชยา (Cya) ชุดดินโคกสำโรง (Ksr) และชุดดินเขาย้อย (Kyo)

ลักษณะเด่น กลุ่มดินร่วนละเอียดลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกิริยาดินกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง

ปัญหา ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่ขาดแคลนน้ำนาน และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

ทางการจัดการ

ปลูกข้าว ไถกลบตอซัง ปล่อยทิ้งไว้ 3-4 สัปดาห์ หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด (หว่านโสนอัฟริกันหรือโสนอินเดีย 4-6 กิโลกรัม/ไร่ ไถกลบเมื่ออายุ 50-70 วัน ปล่อยไว้ 1-2 สัปดาห์) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำหรือปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 ใส่ปุ๋ยแต่งหน้าหลังปักดำ 35-45 วัน พัฒนาแหล่งน้ำไว้ใช้ในช่วงที่ข้าวขาดน้ำหรือใช้ทำนาครั้งที่ 2 หรือปลูกพืชไร่ พืชผักหรือพืชตระกูลถั่วหลังเก็บเกี่ยวข้าว โดยทำร่องแบบเตี้ย ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 2-3 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ

ปลูกพืชไร่ พืชผักหรือไม้ผล ยกร่องกว้าง 6-8 เมตร คูน้ำกว้าง 1.0-1.5 เมตร ลึก 0.5-1.0 เมตร และมีคันดินอัดแน่นล้อมรอบ เพื่อป้องกันน้ำท่วมขัง ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 2-3 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ หรือขุดหลุมปลูกขนาด 50x50x50 เซนติเมตร ปรับปรุงหลุมปลูกด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 20-35 กิโลกรัม/หลุม ในช่วงเจริญเติบโต ก่อนเก็บผลผลิตและภายหลังเก็บผลผลิต มีการใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

กลุ่มชุดดินที่ 27

ชุดดิน ชุดดินหนองบอน (Nb) และชุดดินท่าใหม่ (Ti)

ลักษณะเด่น กลุ่มดินเหนียวจัดสีแดงลึกมากที่เกิดจากหินภูเขาไฟ มีปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

ปัญหา ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ ขาดแคลนน้ำ และเกิดการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินในพื้นที่ที่มีความลาดชัน

แนวทางการจัดการ

ปลูกพืชไร่หรือพืชผัก เลือกพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ จัดระบบการปลูกพืชหมุนเวียนให้มีการปลูกพืชบำรุงดินร่วมอยู่ด้วย ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 1-2 ตัน/ไร่ หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด (หว่านเมล็ดถั่วพร้า 8-10 กิโลกรัม/ไร่ เมล็ดถั่วพุ่ม 6-8 กิโลกรัม/ไร่ หรือปอเทือง 4-6 กิโลกรัม/ไร่ ไถกลบระยะออกดอกปล่อยไว้ 1-2 สัปดาห์) ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ไถพรวนและปลูกพืชตามแนวระดับ มีวัสดุคลุมดิน ปลูกพืชหมุนเวียน ปลูกพืชสลับเป็นแถบ หรือทำแนวรั้วหญ้าแฝก พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

ปลูกไม้ผล ขุดหลุมปลูกขนาด 50x50x50 เซนติเมตร ปรับปรุงหลุมปลูกด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก15-25 กิโลกรัม/หลุม มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ เช่น ปลูกพืชคลุมดิน มีวัสดุคลุมดินปลูกพืชแซม สร้างคันดิน ทำขั้นบันได ทำแนวรั้วหรือทำฐานหญ้าแฝกเฉพาะต้น ในช่วงเจริญเติบโต ก่อนเก็บผลผลิตและภายหลังเก็บผลผลิต ใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำตามชนิดพืชที่ปลูก พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

กลุ่มชุดดินที่ 29

ชุดดิน ชุดดินหินกอง (Hk) ชุดดินเกาะใหญ่ (Koy) ชุดดินลำปาง (Lp) ชุดดินพานทอง (Ptg) ชุดดินศรีเทพ (Sri) และชุดดินตากใบ (Ta)

ลักษณะเด่น กลุ่มดินทรายแป้งลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ปัญหา หน้าดินแน่นทึบ ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางพื้นที่ดินเป็นกรดจัดมาก ขาดแคลนน้ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝน ทำความเสียหายกับพืชที่ไม่ชอบน้ำ

กลุ่มชุดดินที่ 30

ชุดดิน ชุดดินเชียงแสน (Ce) และชุดดินดอยปุย (Dp)

ลักษณะเด่น กลุ่มดินเหนียวลึกถึงลึกมากที่พบในพื้นที่ภูเขา ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

ปัญหา สภาพพื้นที่มีความลาดชันสูง ง่ายต่อการชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดินและขาดแคลนน้ำ

แนวทางการจัดการ

ปลูกพืชไร่หรือพืชผัก เลือกพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 1-2 ตัน/ไร่ หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด (หว่านเมล็ดถั่วพร้า 8-10 กิโลกรัม/ไร่ เมล็ดถั่วพุ่ม 6-8 กิโลกรัม/ไร่ หรือปอเทือง 4-6 กิโลกรัม/ไร่ ไถกลบระยะออกดอกปล่อยไว้ 1-2 สัปดาห์) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ เช่น ไถพรวนและปลูกพืชตามแนวระดับ มีวัสดุคลุมดิน ปลูกพืชหมุนเวียน หรือปลูกพืชสลับเป็นแถบ พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

ปลูกไม้ผล ขุดหลุมปลูกขนาด 50x50x50 เซนติเมตร ปรับปรุงหลุมปลูกด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 15-25 กิโลกรัม/หลุม มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ เช่น การสร้างคันดิน ทำขั้นบันได ปลูกพืชคลุมดิน มีวัสดุคลุมดิน ปลูกพืชแซม ทำแนวรั้วหรือฐานหญ้าแฝกเฉพาะต้น ในช่วงเจริญเติบโต ก่อนเก็บผลผลิตและภายหลังเก็บผลผลิต ใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำตามชนิดพืชที่ปลูก พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

กลุ่มชุดดินที่ 32

ชุดดิน ชุดดินลำแก่น (Lam) ชุดดินรือเสาะ (Ro) และชุดดินตาขุน (Tkn)

ลักษณะเด่น กลุ่มดินร่วนหรือดินทรายแป้งละเอียดลึกมากที่เกิดจากตะกอนริมแม่น้ำ ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

ปัญหา ขาดแคลนน้ำ บางพื้นที่อาจมีน้ำไหลบ่าท่วมขังฉับพลันในระยะที่มีฝนตกหนัก

แนวทางการจัดการ

ปลูกพืชไร่หรือพืชผัก จัดระบบการปลูกพืชหมุนเวียนตลอดทั้งปี โดยให้มีการปลูกพืชบำรุงดินอยู่ด้วย ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 2-3 ตัน/ไร่ หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด (หว่านเมล็ดถั่วพร้า 8-10 กิโลกรัม/ไร่ เมล็ดถั่วพุ่ม 6-8 กิโลกรัม/ไร่ หรือปอเทือง 4-6 กิโลกรัม/ไร่ ไถกลบระยะออกดอกปล่อยไว้ 1-2 สัปดาห์) ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ไถพรวนและปลูกพืชตามแนวระดับ มีวัสดุคลุมดิน หรือทำแนวรั้วหญ้าแฝก มีการใช้ปุ๋ยเคมีตามชนิดพืชที่ปลูก เพื่อรักษาความสามารถในการผลิตของดินไว้ไม่ให้เสื่อมโทรมลงและช่วยเพิ่มผลผลิต พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

ปลูกไม้ผล ขุดหลุมปลูกขนาด 50x50x50 เซนติเมตร ปรับปรุงหลุมปลูกด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 20-35 กิโลกรัม/หลุม มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ เช่น มีวัสดุคลุมดิน ปลูกพืชคลุมดิน ปลูกพืชแซม ทำแนวรั้วหรือทำฐานหญ้าแฝกเฉพาะต้น ในช่วงเจริญเติบโต ก่อนเก็บผลผลิตและภายหลังเก็บผลผลิต ใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำตามชนิดพืชที่ปลูก พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

กลุ่มชุดดินที่ 33

ชุดดิน ชุดดินดงยางเอน (Don) ชุดดินกำแพงเพชร (Kp) ชุดดินกำแพงแสน (Ks) ชุดดินลำสนธิ (Ls) ชุดดินน้ำดุก (Nd) ชุดดินธาตุพนม (Tp) และชุดดินตะพานหิน (Tph)

ลักษณะเด่น กลุ่มดินทรายแป้งละเอียดหรือดินร่วนละเอียดลึกมากที่เกิดจากตะกอนแม่น้ำหรือตะกอนน้ำพารูปพัด ปฏิกิริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง

ปัญหา ขาดแคลนน้ำในระยะที่ฝนทิ้งช่วงนาน บางพื้นที่อาจพบชั้นดานแข็งที่เกิดจากการเกษตรกรรม

แนวทางการจัดการ

ปลูกพืชไร่หรือพืชผัก ไถพรวนขณะที่ดินมีความชื้นที่เหมาะสมและที่ความแตกต่างกันในแต่ละปี เพื่อทำลายชั้นดานและป้องกันการเกิดชั้นดาน จัดระบบการปลูกพืชหมุนเวียนให้มีการปลูกพืชบำรุงดินอยู่ด้วย ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 2-3 ตัน/ไร่ หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด (หว่านเมล็ดถั่วพร้า 8-10 กิโลกรัม/ไร่ เมล็ดถั่วพุ่ม 6-8 กิโลกรัม/ไร่ หรือปอเทือง4-6 กิโลกรัม/ไร่ ไถกลบระยะออกดอกปล่อยไว้ 1-2 สัปดาห์) ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ มีวัสดุคลุมดิน หรือทำแนวรั้วหญ้าแฝก มีการใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำตามชนิดพืชที่ปลูก เพื่อรักษาความสามารถในการผลิตของดินไว้ไม่ให้เสื่อมโทรมลง พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

ปลูกไม้ผล ขุดหลุมปลูกขนาด 50x50x50 เซนติเมตร ปรับปรุงหลุมปลูกด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 20-35 กิโลกรัม/หลุม มีวัสดุคลุมดิน ปลูกพืชคลุมดิน ปลูกพืชแซม ทำแนวรั้วหรือฐานหญ้าแฝกเฉพาะต้นในช่วงเจริญเติบโต ก่อนเก็บผลผลิตและภายหลังเก็บผลผลิต ใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ตามชนิดพืชที่ปลูก เพื่อรักษาความสามารถในการผลิตของดินไว้ไม่ให้เสื่อมโทรมลง พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในพื้นที่ปลูก

กลุ่มชุดดินที่ 34

ชุดดิน ชุดดินฉลอง (Chl) ชุดดินฝั่งแดง (Fd) ชุดดินควนกาหลง (Kkl) ชุดดินคลองท่อม (Km) ชุดดินคลองนกกระทุง (Knk) ชุดดินละหาน (Lh) ชุดดินนาท่าม (Ntm) และชุดดินท่าแซะ (Te)

ลักษณะเด่น กลุ่มดินร่วนละเอียดลึกถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อหยาบ ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ปัญหา ดินปนทราย ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ขาดแคลนน้ำในระยะที่ฝนทิ้งช่วงนาน และในพื้นที่ที่มีความลาดชันง่ายต่อการถูกชะล้างพังทลายสูญเสียหน้าดิน

แนวทางการจัดการ

ปลูกพืชไร่หรือพืชผัก เลือกพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ จัดระบบการปลูกพืชหมุนเวียนตลอดทั้งปี ให้มีการปลูกพืชบำรุงดินร่วมอยู่ด้วย ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 2-3 ตัน/ไร่ หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด (หว่านเมล็ดถั่วพร้า 8-10 กิโลกรัม/ไร่ เมล็ดถั่วพุ่ม 6-8 กิโลกรัม/ไร่ หรือปอเทือง 4-6 กิโลกรัม/ไร่

ไถกลบระยะออกดอก ปล่อยไว้ 1-2 สัปดาห์) ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ไถพรวนและปลูกพืชตามแนวระดับ มีวัสดุคลุมดิน ปลูกพืชหมุนเวียน ปลูกพืชสลับเป็นแถบ ทำแนวรั้วหญ้าแฝก พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

ปลูกไม้ผล ขุดหลุมปลูกขนาด 50x50x50 เซนติเมตร ปรับปรุงหลุมปลูกด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 20-35 กิโลกรัม/หลุม มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ เช่น ปลูกพืชคลุมดิน มีวัสดุคลุมดิน ขั้นบันได คันดิน ทำแนวรั้วหญ้าแฝกหรือทำฐานเฉพาะต้น ในช่วงเจริญเติบโต ก่อนเก็บผลผลิตและภายหลังเก็บผลผลิต ใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ตามชนิดพืชที่ปลูก พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

กลุ่มชุดดินที่ 42

ชุดดิน ชุดดินบ้านทอน (Bh)

ลักษณะเด่น กลุ่มดินทรายที่มีชั้นดานอินทรีย์ภายในความลึก 100 เซนติเมตรจากผิวดิน ปฏิกิริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง การระบายน้ำค่อนข้างมากอยู่บนชั้นดินที่มีการระบายน้ำดีปานกลางถึงค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

ปัญหา ดินทรายที่มีชั้นดานอินทรีย์ภายในความลึก 100 เซนติเมตร ที่มีชั้นทรายสีขาวหนาที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำมาก ขาดแคลนน้ำ และในช่วงฝนตกหนักจะมีน้ำขังอยู่บริเวณผิวหน้าดิน

แนวทางการจัดการ

ปลูกพืชไร่หรือพืชผัก เลือกชนิดพืชที่ใช้ปลูกให้เหมาะสมกับศักยภาพของดิน ปรับปรุงดินด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 3-4 ตัน/ไร่ หรือไถกลบพืชปุ๋ยสด (หว่านถั่วพร้า 10-12 กิโลกรัม/ไร่ ถั่วพุ่ม 8-10 กิโลกรัม/ไร่ หรือปอเทือง6-8 กิโลกรัม/ไร่ ไถกลบก่อนออกดอก ปล่อยทิ้งไว้ 1-2 สัปดาห์) ร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ปลูกพืชคลุมดินหรือมีวัสดุคลุมดิน พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูก

ปลูกไม้ผล ขุดหลุมปลูกขนาด 75x75x75 เซนติเมตร และทำลายชั้นดานอินทรีย์ ปรับปรุงหลุมปลูกด้วยปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอก 35-50 กิโลกรัม/หลุม ปลูกพืชคลุมดิน มีวัสดุคลุมดิน ทำคันดินร่วมกับปลูกหญ้าแฝกในช่วงการเจริญเติบโต ก่อนเก็บผลผลิตและภายหลังเก็บผลผลิต ใช้ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำ ตามชนิดพืชที่ปลูก พัฒนาแหล่งน้ำและจัดระบบการให้น้ำในแปลงปลูกในพื้นที่ลุ่ม ทำทางระบายน้ำเพื่อป้องกันการแช่ขังของน้ำในช่วงที่มีฝนตกหนัก

ภาคผนวก ข. ข้อมูลสำรวจการใช้น้ำบาดาล

ลำดับ	วันที่	ชื่อผู้ให้ข้อมูล	บ้าน	หมู่ที่	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พิกัด X	พิกัด Y	ความลึกบ่อ (ม.)	ความลึกทรุดบ่อ (ม.)	ปริมาณการให้น้ำ (ลบ.ม./ชม.)	จำนวนวันที่สูบน้ำต่อเดือน ฤดูแล้ง	จำนวนวันที่สูบน้ำต่อเดือน ฤดูฝน	จำนวนชั่วโมงสูบต่อวัน	ปริมาณการใช้น้ำฤดูแล้ง (ลบ.ม./เดือน)	ปริมาณการใช้น้ำฤดูฝน (ลบ.ม./เดือน)	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	ปริมาณการใช้น้ำฤดูแล้ง (ลบ.ม./เดือน/ไร่)	ปริมาณการใช้น้ำฤดูฝน (ลบ.ม./เดือน/ไร่)	ชนิดของพืช	หมายเหตุ
1	19/06/61	นายวัยวร พรวรรณะ	หนองโสน	20	หนองโสน	สามง่าม	พิจิตร	610386	1816287	12	4	20	20	10	24	9,600	4,800	40	240	120	ข้าว	นอกเขตชลประทาน
2	19/06/61	นายประทีป วงษ์กัณหา	ยางแขวนอู่	6	บางระกำ	บางระกำ	พิษณุโลก	612506	1853963	80	5	25	15	0	24	9,000	0	30	225	0	ข้าว	นอกเขตชลประทาน
3	19/06/61	นายสมนึก แก้ววิชิต	หนองยาว	7	ชุมแสงสงคราม	บางระกำ	พิษณุโลก	607722	1853157	80	5	20	15	10	24	7,200	4,800	25	180	120	ข้าว	นอกเขตชลประทาน
4	19/06/61	นายภูวนัย แก้วโยธา 089-7042685 ขอผลการวิเคราะห์	บ้านบึงสนม	6	หนองจิก	คีรีมาศ	สุโขทัย	580945	1847454	120						2,500	2,500		63	63	ประปา	นอกเขตชลประทาน
5	20/06/61	นายชาญ จีนทั่ง	ฟ้าเรือง	1	ไร่อ้อย	พิชัย	อุตรดิตถ์	619025	1941053	30	2	15	5	0	24	1,800	0	5	45	0	ข้าว	ในเขตชลประทาน
6	20/06/61	นายแหนง สุขสวัสดิ์	โป่งหม้อข้าว	4	ท่านางงาม	บางระกำ	พิษณุโลก	623625	1857092	60	5	20	15	0	24	7,200	0	10	180	0	ข้าว	ในเขตชลประทาน
7	20/06/61	นายอรรถกร อินทร์เกิด	ไผ่ขอดอน	1	ไผ่ขอดอน	เมือง	พิษณุโลก	611425	1877832	30	6	15	12	2	24	4,320	720	20	108	18	ข้าว	ในเขตชลประทาน
8	20/06/61	นายทอง จันเกษม	กกแรต	4	กกแรต	กงไกรลาศ	สุโขทัย	610427	1877545	36	12	25	12	0	24	7,200	0	25	180	0	ข้าว	ในเขตชลประทาน
9	21/06/61	นายจำลอง ทองอยู่	สวนแตง	6	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	645978	1810498	75	5	15	15	10	24	5,400	3,600	30	135	90	ข้าว	ในเขตชลประทาน
10	21/06/61	นายอำพล มารุมาศ	บางเพียร	4	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	647787	1808932	32	4	10	20	10	24	4,800	2,400	25	120	60	ข้าว	ในเขตชลประทาน
11	21/06/61	นายบุญสม อัมพฤกษ์	นา	3	ไทรงาม	ไทรงาม	กำแพงเพชร	595313	1823613	65	3	20	15	5	24	7,200	2,400	25	180	60	ข้าว	ในเขตชลประทาน
12	22/06/61	นายสมนึก กรประเสริฐ	เกาะมะพร้าว	1	หนองคล้า	ไทรงาม	กำแพงเพชร	588025	1820215	60	2	15	20	8	24	7,200	2,880	30	180	72	ข้าว	ในเขตชลประทาน
13	22/06/61	นายบรรจง ครุฑสังข์	ทุ่งทอง	3	โพธิ์ไทรงาม	บึงนาราง	พิจิตร	617332	1783110	80	5	10	15	5	24	3,600	1,200	40	90	30	ข้าว	นอกเขตชลประทาน
14	22/06/61	นายเกรียงไกร ราชชมภู	ห้วยคันเบ็ด	3	ทุ่งใหญ่	โพธิ์ประทับช้าง	พิจิตร	613545	1799322	120	7	15	15	7	24	5,400	2,520	15	135	63	ข้าว	นอกเขตชลประทาน
15	22/06/61	นายรังสิต โพธิ	สุขสำราญ	6	หนองโสน	สามง่าม	พิจิตร	615552	1808224	90	7	15	18	10	24	6,480	3,600	20	162	90	ข้าว	นอกเขตชลประทาน

ภาคผนวก ค. ข้อมูลการตรวจวัดระดับน้ำและคุณภาพน้ำบาดาล และการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พื้นที่ลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง

จำนวน	วันที่	สถานี	ตะวันออก	เหนือ	สถานที่	หมู่	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ความลึกเจาะ (เมตร)	ระยะท่อกรอง (เมตร)	ระดับน้ำปกติ (เมตร)	EC (us/cm)	TDS (mg/l)	T (°C)
1	18/06/61	AG01	630840	2E+06	ชลประทานพลายชุมพล ใกล้ปากคลองระบายน้ำ 2.8								216	108	28.90
2	18/06/61	AG02	630850	2E+06	ชลประทานพลายชุมพล ใกล้ปากคลองระบายน้ำ 2.8								223	111	30.40
3	19/06/61	NT127	678818	2E+06	บ้านเลขที่ 3	8	ท้ายดง	วังโป่ง	เพชรบูรณ์	62	open hole	7.14	1037	518	30.10
4	19/06/61	NT133	686931	2E+06	บ้านเขาดิน	11	ท่าข้าม	ชนแดน	เพชรบูรณ์	65	open hole	6.15	421	211	31.10
5	20/06/61	NT4/2	588961	2E+06	วัดใหม่ทรายทองวัฒนา	11	ทุ่งทราย	ทรายทองวัฒน	กำแพงเพชร	114	102-108	7.92	169	95	29.70
6		NT45	656224	2E+06	วัดห้วยเรียงใต้	1	วังกรด	บางมูลนาก	พิจิตร	80	60-80	26.83	129	64	31.10
7	19/06/61	NT46/2	639145	2E+06	วัดหนองตันไทร	7	โพธิ์ประทับช้าง	โพธิ์ประทับช้า	พิจิตร	150	124-136	5.86	-	-	-
8	20/06/61	NT47/1	620234	2E+06	วัดหนองหลุม	5	หนองหลุม	วชิรบารมี	พิจิตร	312	288-294	9.28	2246	1140	28.70
9	19/06/61	NT134	663418	2E+06	บ้านเขาบรเพ็ด	8	วังหลุม	ตะพานหิน	พิจิตร	56	open hole	-	766	384	31.50
10		NT102/1	644191	2E+06	โรงเรียนดอนทองวิทยา	1	ดอนทอง	เมือง	พิษณุโลก	150	132-144	2.96	205	101	30.40
11		NT97/3	580845	2E+06	วัดโคกกระทือ	9	วังใหญ่	ศรีสำโรง	สุโขทัย	22	19-21	17.37	538	259	31.10
12		NT93	570333	2E+06	วัดราวรังงาม	4	วัดทองแดง	เมือง	สุโขทัย	110	96-104	12.57	568	285	30.80
13		NT94/1	597364	2E+06	วัดทุ่งมหาชัย	3	คลองมะพลับ	ศรีนคร	สุโขทัย	150	122-130	20.70	487	238	29.80
14	19/06/61	AG03	647362	2E+06	บ้านแม่เทียบ	1	บางกระทุ่ม	บางกระทุ่ม	พิษณุโลก				333	166	28.90
15	19/06/61	AG04	665813	2E+06	บ้านดงหมอนทอง	13	หนองพระ	วังทรายพูน	พิจิตร				446	223	29.60
16	19/06/61	AG05	672445	2E+06	บ้านวังหินแรง	3	วังหินแรง	ดงเจริญ	พิจิตร				757	379	31.20
17	19/06/61	AG06	669556	2E+06	บ้านสำนักขุนเณร	1	สำนักขุนเณร	ดงเจริญ	พิจิตร				759	379	30.40
18	19/06/61	AG07	631926	2E+06	บ้านท้ายน้ำ	8	ท้ายน้ำ	โพทะเล	พิจิตร				338	168	29.80
19	20/06/61	DGR01	609380	2E+06	บ้านหนองชุมแสง	21	หนองกุลา	บางระกำ	พิษณุโลก	80		12.96	255	126	30.10
20	20/06/61	DGR02	604570	2E+06	บ้านช่องลม	1	ช่องลม	ลานกระบือ	กำแพงเพชร				264	132	29.40
21	20/06/61	DGR03	595313	2E+06	บ้านนา	3	ไทรงาม	ไทรงาม	กำแพงเพชร				192	96	29.70
22	20/06/61	DGR04	588488	2E+06	บ้านหนองคล้า	1	ไทรงาม	ไทรงาม	กำแพงเพชร	54			126	63	28.80
23	20/06/61	DGR05	588287	2E+06	บ้านเกาะมะพร้าว	1	หนองคล้า	ไทรงาม	กำแพงเพชร				157	78	30.80
24	20/06/61	AG08	613783	2E+06	บ้านเนินพยอม		หนองตางู	บรรพตพิสัย	นครสวรรค์				411	206	29.60
25	20/06/61	DGR06	617832	2E+06	บ้านทุ่งทอง	3	โพธิ์ไทรงาม	บึงนาราง	พิจิตร				375	188	31.30
26	20/06/61	DGR07	619563	2E+06	บ้านบึงน้อย	10	บึงนาราง	บึงนาราง	พิจิตร				466	233	32.90
27	20/06/61	DGR08	612779	2E+06	บ้านเนินสำราญ	11	แหลมรัง	บึงนาราง	พิจิตร				289	146	31.40
28	20/06/61	DGR09	615018	2E+06	บ้านแหลมรัง	1	แหลมรัง	บึงนาราง	พิจิตร				315	151	28.20
29	20/06/61	DGR10	613676	2E+06	บ้านห้วยคันเบ็ด	3	ทุ่งใหญ่	โพธิ์ประทับช้า	พิจิตร				368	175	28.50
30	20/06/61	AG09	615137	2E+06	บ้านสุขสำราญ	6	หนองโสน	สามง่าม	พิจิตร				266	128	29.30
31	20/06/61	DGR11	612385	2E+06	วัดบ้านสุขสำราญ	6	หนองโสน	สามง่าม	พิจิตร				242	115	29.40
32	20/06/61	DGR12	607883	2E+06	วัดบ้านบึงบ้าน	7	บึงสามัคคี	บึงสามัคคี	พิจิตร				349	173	30.20
33	20/06/61	DGR13	603782	2E+06	บ้านหนองสรวง	6	บึงสามัคคี	บึงสามัคคี	พิจิตร				542	261	29.20
34	20/06/61	DGR14	603567	2E+06	บ้านหนองลวก	8	หนองแม่แตง	ไทรงาม	กำแพงเพชร				230	112	29.80
35	20/06/61	DGR15	608345	2E+06	โรงเรียนบ้านป่าแซง	3	หนองโสน	สามง่าม	พิจิตร				187	90	30.00
36	20/06/61	AG10	610386	2E+06	บ้านหนองโสน	20	หนองโสน	สามง่าม	พิจิตร				264	128	29.20
37	20/06/61	DGR16	611853	2E+06	บ้านหนองโสน	20	หนองโสน	สามง่าม	พิจิตร				325	157	30.00
38	21/06/61	DGR17	612506	2E+06	บ้านยางแขวนอู่	6	บางระกำ	บางระกำ	พิษณุโลก				316	157	29.90
39	21/06/61	DGR18	607722	2E+06	บ้านหนองยาว	7	ชุมแสงสงคราม	บางระกำ	พิษณุโลก				318	154	30.10
40	21/06/61	DGR19	599166	2E+06	บ้านนิคมพัฒนา	5	นิคมพัฒนา	บางระกำ	พิษณุโลก				349	166	32.70

41	21/06/61	DGR20	595889	2E+06	บ้านหนองแขม	4	ลานกระบือ	ลานกระบือ	กำแพงเพชร				195	93	29.70
42	21/06/61	DGR21	586743	2E+06	บ้านหนองหลวง	5	หนองหลวง	ลานกระบือ	กำแพงเพชร				197	93	31.30
43	21/06/61	DGR22	580945	2E+06	บ้านบึงสนม	6	หนองจิก	คีรีมาศ	สุโขทัย				205	104	32.40
44	21/06/61	5407A33	591165	2E+06	โรงเรียนวัดหางตลาด	3	ท่าฉนวน	กงไกรลาศ	สุโขทัย	68	56-64	20.40	418	198	31.70
45	21/06/61	DGR23	588749	2E+06	วัดบ้านใหม่บางหว่าน	2	บางซ้าย	เมือง	สุโขทัย				552	274	30.60
46	21/06/61	5307C024	597364	2E+06	วัดทุ่งมหาชัย	3	คลองมะพลับ	ศรีนคร	สุโขทัย	134	122-130	20.94	1043	523	28.80
47	22/06/61	DGR24	623702	2E+06	โรงเรียนบ้านโป่งหม้อข้าว	4	ท่านางงาม	บางระกำ	พิษณุโลก	66			388	193	28.10
48	22/06/61	DGR25	622420	2E+06	วัดหนองปลิง	7	ท่านางงาม	บางระกำ	พิษณุโลก			17.30 (ขณะสูบ)	308	154	28.10
49	22/06/61	5407G022	624052	2E+06	วัดหนองหัวยาง	9	ท่าทอง	เมือง	พิษณุโลก	138	123-135	8.02	462	230	30.00
50	22/06/61	DGR26	611630	2E+06	อบต.ไผ่ขอดอน	1	ไผ่ขอดอน	เมือง	พิษณุโลก	60			228	113	30.70
51	22/06/61	DGR27	610777	2E+06	วัดบ้านกกแรต	4	กกแรต	กงไกรลาศ	สุโขทัย				276	138	29.50
52	22/06/61	DGR28	613369	2E+06	โรงเรียนบ้านคลองทำเนียบ	6	วังวน	พรหมพิราม	พิษณุโลก				196	96	31.60
53	22/06/61	5407F035	610652	2E+06	สำนักสงฆ์หนองห้างศรัทธาราม	3	วังวน	พรหมพิราม	พิษณุโลก	132	124-130	12.66	215	107	29.90
54	22/06/61	DGR29	606066	2E+06	บ้านบึงแวง	2	ตลุกเทียม	พรหมพิราม	พิษณุโลก				287	143	28.60
55	22/06/61	DGR30	617146	2E+06	วัดบ้านใหม่โพธิ์ทอง	6	บ้านใหม่สุขเกษ	กงไกรลาศ	สุโขทัย				266	133	29.60
56	22/06/61	DGR31	653737	2E+06	โรงเรียนบ้านเจริญผล	4	หนองพระ	วังทอง	พิษณุโลก	60		10.69	140	71	29.50
57	22/06/61	DGR32	655418	2E+06	บ้านหนองม่วง	8	วัดตายม	บางกระทุ่ม	พิษณุโลก				186	92	29.80
58	22/06/61	DGR33	656730	2E+06	บ้านเนินจิ้ว	3	สากเหล็ก	สากเหล็ก	พิจิตร				543	272	29.40
59	22/06/61	DGR34	654320	2E+06	บ้านเกาะแก้ว	2	สากเหล็ก	สากเหล็ก	พิจิตร	81			859	429	23.86
60	22/06/61	DGR35	553019	2E+06	บ้านเกาะแก้ว	2	สากเหล็ก	สากเหล็ก	พิจิตร				661	328	29.30
61	23/06/61	DGR36	647255	2E+06	วัดเปียมเจริญราษฎร์ บ้านหนองหนู หมู่	10	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	48			499	251	28.80
62	23/06/61	DGR37	647071	2E+06	บ้านสวนแตง	6	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	40	20-22	7.27	317	158	29.30
63	23/06/61	DGR38	647156	2E+06	บ้านสวนแตง	6	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	26	20-22	7.50	197	98	29.30
64	23/06/61	DGR39	647356	2E+06	บ้านสวนแตง	6	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	24	20-22	7.95	250	125	30.40
65	23/06/61	DGR40	646953	2E+06	บ้านสวนแตง	6	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	38	35-37	7.95	309	153	31.10
66	23/06/61	DGR41	647496	2E+06	บ้านสวนแตง	6	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	25	20-22	7.67	348	174	29.60
67	23/06/61	DGR42	646824	2E+06	บ้านบางเพียร	5	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	26	22-24	7.17	242	119	30.80
68	23/06/61	DGR43	647068	2E+06	บ้านฆะมัง	2	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	20	17-19	6.92	228	118	30.60
69	23/06/61	DGR44	647083	2E+06	บ้านฆะมัง	2	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	32	29-31	6.95	210	104	29.90
70	23/06/61	DGR45	647373	2E+06	บ้านหัวดง	8	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	38	29-31	6.97	190	96	29.60
71	23/06/61	DGR46	647509	2E+06	บ้านฆะมัง	2	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	20	17-19	7.21	252	124	31.60
72	23/06/61	DGR47	647256	2E+06	บ้านฆะมัง	2	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	40	28-30	7.55	224	112	30.40
73	23/06/61	DGR48	647793	2E+06	บ้านวังฟ้าผ่า	1	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	28	18-20	6.55	218	106	31.10
74	23/06/61	DGR49	648607	2E+06	บ้านวังฟ้าผ่า	1	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	24	14-16	7.32	301	153	31.00
75	23/06/61	DGR50	647787	2E+06	บ้านบางเพียร	4	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	20	17-19	7.30	244	120	30.60
76	23/06/61	DGR51	647968	2E+06	บ้านวังฟ้าผ่า	3	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	33	30-32	6.94	183	91	30.50
77	23/06/61	DGR52	647359	2E+06	บ้านบางเพียร	4	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	40	35-37	7.43	240	118	30.70
78	23/06/61	DGR53	646527	2E+06	บ้านสวนแตง	7	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	32	28-30	6.73	237	120	29.90
79	23/06/61	DGR54	647554	2E+06	บ้านสามขา	8	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	20	17-19	7.30	183	91	29.90
80	23/06/61	DGR55	647951	2E+06	บ้านสามขา	8	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	30	27-29	7.68	477	240	30.90
81	23/06/61	DGR56	647433	2E+06	บ้านสามขา	8	ฆะมัง	เมืองพิจิตร	พิจิตร	26	20-22	7.28	303	150	29.90

ภาคผนวก ง. ข้อมูลผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล

ลำดับ	ตัวอย่าง	Cr (mg/l)	Cu (mg/l)	Fe (mg/l)	Zn (mg/l)	Cd mg/l)	Pb (mg/l)
1	DGR11	0.079	0.008	0.052	0.061	ไม่พบ	ไม่พบ
2	DGR12	0.031	0.010	0.027	0.048	ไม่พบ	ไม่พบ
3	DGR04	0.107	0.003	0.175	0.039	ไม่พบ	ไม่พบ
4	DGR07	0.103	0.044	0.061	0.081	ไม่พบ	ไม่พบ
5	DGR13	0.124	0.006	0.034	0.044	ไม่พบ	ไม่พบ
6	DGR15	0.064	0.011	0.032	0.042	ไม่พบ	ไม่พบ
7	DGR14	0.068	0.009	0.029	0.057	ไม่พบ	ไม่พบ
8	AG08	0.068	ไม่พบ	0.043	0.047	ไม่พบ	ไม่พบ
9	DGR06	0.016	ไม่พบ	0.060	0.008	ไม่พบ	ไม่พบ
10	AG10	0.063	ไม่พบ	0.425	0.016	ไม่พบ	ไม่พบ
11	DGR05	0.053	0.010	0.147	0.034	ไม่พบ	ไม่พบ
12	NT47/1	0.073	ไม่พบ	0.042	0.063	ไม่พบ	ไม่พบ
13	DGR16	0.119	0.004	0.048	0.034	ไม่พบ	ไม่พบ
14	DGR09	0.072	0.011	0.119	0.010	ไม่พบ	ไม่พบ
15	DGR03	0.066	0.002	0.156	0.043	ไม่พบ	ไม่พบ
16	NT4/2	0.058	ไม่พบ	0.320	0.104	ไม่พบ	ไม่พบ
17	DGR01	0.078	0.003	0.036	0.052	ไม่พบ	ไม่พบ
18	AGR09	0.053	ไม่พบ	0.059	0.031	ไม่พบ	ไม่พบ
19	AGR02	0.051	ไม่พบ	0.077	0.033	ไม่พบ	ไม่พบ
20	DGR10	0.041	0.007	0.082	0.033	ไม่พบ	ไม่พบ
21	DGR08	0.134	0.001	0.095	0.005	ไม่พบ	ไม่พบ
22	AG04	0.068	ไม่พบ	0.047	0.034	ไม่พบ	ไม่พบ
23	DGR22	0.059	0.008	0.107	0.022	ไม่พบ	ไม่พบ
24	AG01	0.039	ไม่พบ	0.621	0.019	ไม่พบ	ไม่พบ
25	AG03	0.100	ไม่พบ	0.602	0.011	ไม่พบ	ไม่พบ
26	NT97/3	0.005	ไม่พบ	0.030	0.014	ไม่พบ	ไม่พบ
27	AG02	0.004	ไม่พบ	0.031	0.031	ไม่พบ	ไม่พบ
28	NT93	0.033	ไม่พบ	0.037	0.089	ไม่พบ	ไม่พบ
29	DGR17	0.075	0.005	0.113	0.035	ไม่พบ	ไม่พบ
30	DGR18	0.047	ไม่พบ	0.159	0.030	ไม่พบ	ไม่พบ
31	AG07	0.059	ไม่พบ	0.418	0.022	ไม่พบ	ไม่พบ
32	AG06	0.088	ไม่พบ	0.047	0.016	ไม่พบ	ไม่พบ

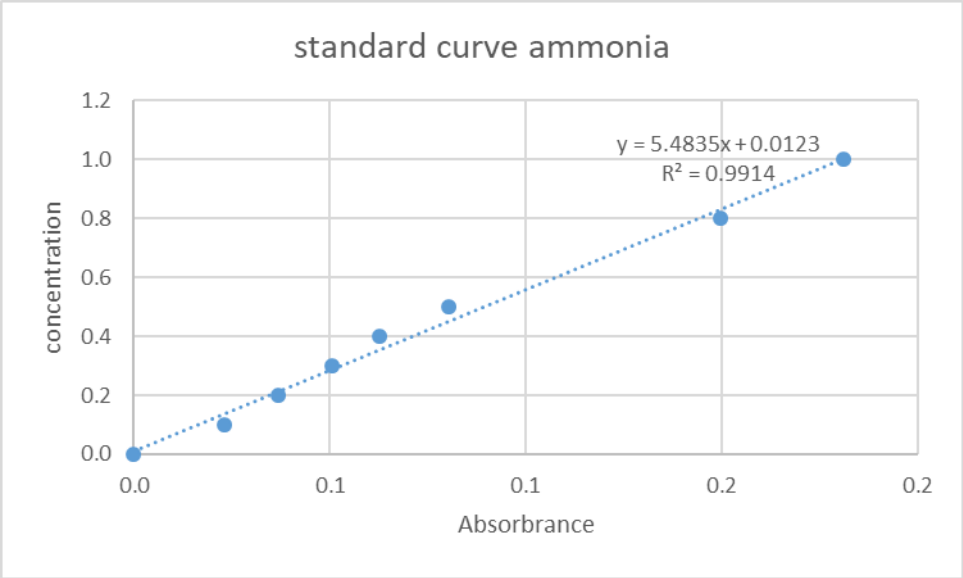
ลำดับ	ตัวอย่าง	Cr (mg/l)	Cu (mg/l)	Fe (mg/l)	Zn (mg/l)	Cd mg/l)	Pb (mg/l)
33	5307C024	0.057	ไม่พบ	0.045	0.036	ไม่พบ	ไม่พบ
34	AG05	0.052	ไม่พบ	0.046	0.017	ไม่พบ	ไม่พบ
35	DGR21	0.046	0.004	0.092	0.024	ไม่พบ	ไม่พบ
36	5407A033	0.037	ไม่พบ	0.047	0.162	ไม่พบ	ไม่พบ
37	NT136	0.092	ไม่พบ	0.029	0.040	ไม่พบ	ไม่พบ
38	DGR23	0.033	0.012	0.020	0.054	ไม่พบ	ไม่พบ
39	DGR20	0.030	0.006	0.159	0.041	ไม่พบ	ไม่พบ
40	NT134	0.040	ไม่พบ	0.021	0.109	ไม่พบ	ไม่พบ
41	NT45	0.012	ไม่พบ	0.144	0.023	ไม่พบ	ไม่พบ
42	DGR19	0.050	0.007	0.042	0.021	ไม่พบ	ไม่พบ
43	NT127	0.045	ไม่พบ	0.065	0.061	ไม่พบ	ไม่พบ
44	NT94/1	0.038	ไม่พบ	0.076	0.030	ไม่พบ	ไม่พบ
45	DGR34	0.027	ไม่พบ	0.038	0.059	ไม่พบ	ไม่พบ
46	5407G022	0.024	ไม่พบ	0.056	0.162	ไม่พบ	ไม่พบ
47	5407F	0.014	ไม่พบ	0.035	0.068	ไม่พบ	ไม่พบ
48	DGR35	0.035	0.002	0.032	0.082	ไม่พบ	ไม่พบ
49	DGR24	0.031	ไม่พบ	0.021	0.053	ไม่พบ	ไม่พบ
50	DGR26	0.004	ไม่พบ	0.091	0.042	ไม่พบ	ไม่พบ
51	DGR25	ไม่พบ	ไม่พบ	0.025	0.037	ไม่พบ	ไม่พบ
52	DGR29	0.003	ไม่พบ	0.052	0.049	ไม่พบ	ไม่พบ
53	DGR31	0.011	ไม่พบ	0.581	0.077	ไม่พบ	ไม่พบ
54	DGR30	0.023	ไม่พบ	0.072	0.042	ไม่พบ	ไม่พบ
55	NT102/1	0.010	ไม่พบ	0.072	0.036	ไม่พบ	ไม่พบ
56	DGR27	ไม่พบ	ไม่พบ	0.093	0.030	ไม่พบ	ไม่พบ
57	DGR28	ไม่พบ	ไม่พบ	0.114	0.108	ไม่พบ	ไม่พบ
58	DGR32	0.005	ไม่พบ	0.316	0.062	ไม่พบ	ไม่พบ
59	DGR33	ไม่พบ	ไม่พบ	0.036	0.058	ไม่พบ	ไม่พบ
60	DGR48	0.049	0.007	0.047	0.047	ไม่พบ	ไม่พบ
61	DGR47	0.027	ไม่พบ	0.043	0.050	ไม่พบ	ไม่พบ
62	DGR40	0.025	0.002	0.082	0.040	ไม่พบ	ไม่พบ
63	DGR43	0.006	ไม่พบ	0.050	0.047	ไม่พบ	ไม่พบ
64	DGR41	0.019	ไม่พบ	0.063	0.070	ไม่พบ	ไม่พบ
65	DGR39	0.011	ไม่พบ	0.019	0.001	ไม่พบ	ไม่พบ

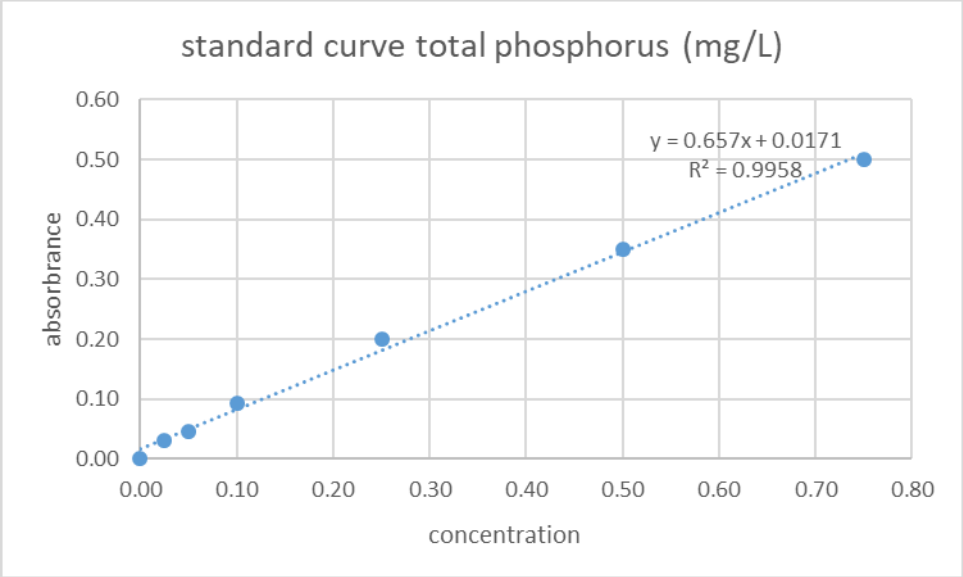
ลำดับ	ตัวอย่าง	Cr (mg/l)	Cu (mg/l)	Fe (mg/l)	Zn (mg/l)	Cd mg/l)	Pb (mg/l)
66	DGR38	0.006	0.005	0.056	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
67	DGR42	0.001	0.001	0.062	0.049	ไม่พบ	ไม่พบ
68	DGR53	ไม่พบ	ไม่พบ	0.151	0.040	ไม่พบ	ไม่พบ
69	DGR50	0.005	ไม่พบ	0.086	0.037	ไม่พบ	ไม่พบ
70	DGR64	0.034	0.001	0.279	0.012	ไม่พบ	ไม่พบ
71	DGR46	0.025	ไม่พบ	0.050	0.018	ไม่พบ	ไม่พบ
72	DGR45	ไม่พบ	ไม่พบ	0.053	0.070	ไม่พบ	ไม่พบ
73	DGR36	ไม่พบ	ไม่พบ	0.033	0.064	ไม่พบ	ไม่พบ
74	DGR49	ไม่พบ	ไม่พบ	0.093	0.059	ไม่พบ	ไม่พบ
75	DGR44	ไม่พบ	0.003	0.080	0.049	ไม่พบ	ไม่พบ
76	DGR37	ไม่พบ	ไม่พบ	0.043	0.061	ไม่พบ	ไม่พบ
77	DGR51	0.014	ไม่พบ	0.025	0.041	ไม่พบ	ไม่พบ
78	DGR55	0.020	ไม่พบ	0.032	0.030	ไม่พบ	ไม่พบ
79	DGR56	0.023	0.002	0.784	0.037	ไม่พบ	ไม่พบ
80	DGR52	0.015	0.001	0.294	0.029	ไม่พบ	ไม่พบ

*ไม่พบที่ Detection 0.0004 ppm

Station	Ammonia-N (mg-N/L)	Total Phosphorus (mg/L)
5307CO24	0.41	0.00
5407A33	0.62	0.00
5407F035	0.37	0.02
5407GO22	0.41	0.00
AG01	0.46	1.18
AG02	0.71	0.63
AG03	0.43	0.71
AG04	0.07	0.13
AG05	0.36	0.07
AG06	0.71	0.06
AG07	0.28	0.34
AG08	0.38	0.00
AG09	0.52	0.01
AG10	0.72	0.00
DGR01	0.48	0.38
DGR02	0.59	0.15
DGR03	0.42	0.39
DGR04	0.50	0.29
DGR05	0.34	0.27
DGR06	0.24	0.07
DGR07	0.53	0.12
DGR08	0.58	0.18
DGR09	0.72	0.29
DGR10	0.66	0.13
DGR11	0.35	0.31
DGR12	0.37	0.10
DGR13	0.56	0.07
DGR14	0.40	0.06
DGR15	0.41	0.05
DGR16	0.57	0.00
DGR17	0.79	0.39
DGR18	0.52	0.47
DGR19	5.22	0.15
DGR20	0.94	0.37
DGR21	0.52	0.17
DGR22	0.48	0.11
DGR23	0.32	0.00
DGR24	0.29	0.22
DGR25	0.20	0.34
DGR26	0.26	0.25
DGR27	0.06	1.04
DGR28	0.38	0.72
DGR29	0.13	0.87
DGR30	0.27	0.79

Station	Ammonia-N (mg-N/L)	Total Phosphorus (mg/L)
DGR31	0.12	0.09
DGR32	0.36	0.00
DGR33	0.05	0.00
DGR34	0.22	0.00
DGR35	0.15	0.00
DGR36	0.39	0.02
DGR37	0.01	0.16
DGR38	0.13	1.01
DGR39	0.19	0.10
DGR40	0.82	0.57
DGR41	0.32	0.79
DGR42	0.48	0.15
DGR43	0.20	0.27
DGR44	0.27	0.46
DGR45	0.77	0.08
DGR46	0.03	1.57
DGR47	0.32	1.71
DGR48	0.31	0.19
DGR49	0.60	0.45
DGR50	0.18	0.41
DGR51	0.25	0.23
DGR52	0.63	0.49
DGR53	0.33	0.61
DGR54	0.03	1.60
DGR55	0.26	0.51
DGR56	0.89	0.46
NT102/1	0.08	0.18
NT127	0.13	0.10
NT134	0.04	0.05
NT136	0.13	0.07
NT4/2	0.12	0.00
NT45	1.76	1.01
NT47/1	0.91	0.03
NT93	0.62	0.15
NT94/1	0.75	0.23
NT97/3	0.42	0.05


standard curve ammonia
y = 5.4835x + 0.0123
R² = 0.9914
concentration
Absorbrance
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
0.0
0.1
0.1
0.2
0.2


standard curve total phosphorus (mg/L)
y = 0.657x + 0.0171
R² = 0.9958
absorbrance
concentration
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
0.60
0.70
0.80

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลรายละเอียดของบ่อสังเกตการณ์ 6 บ่อ ในพื้นที่ศึกษา

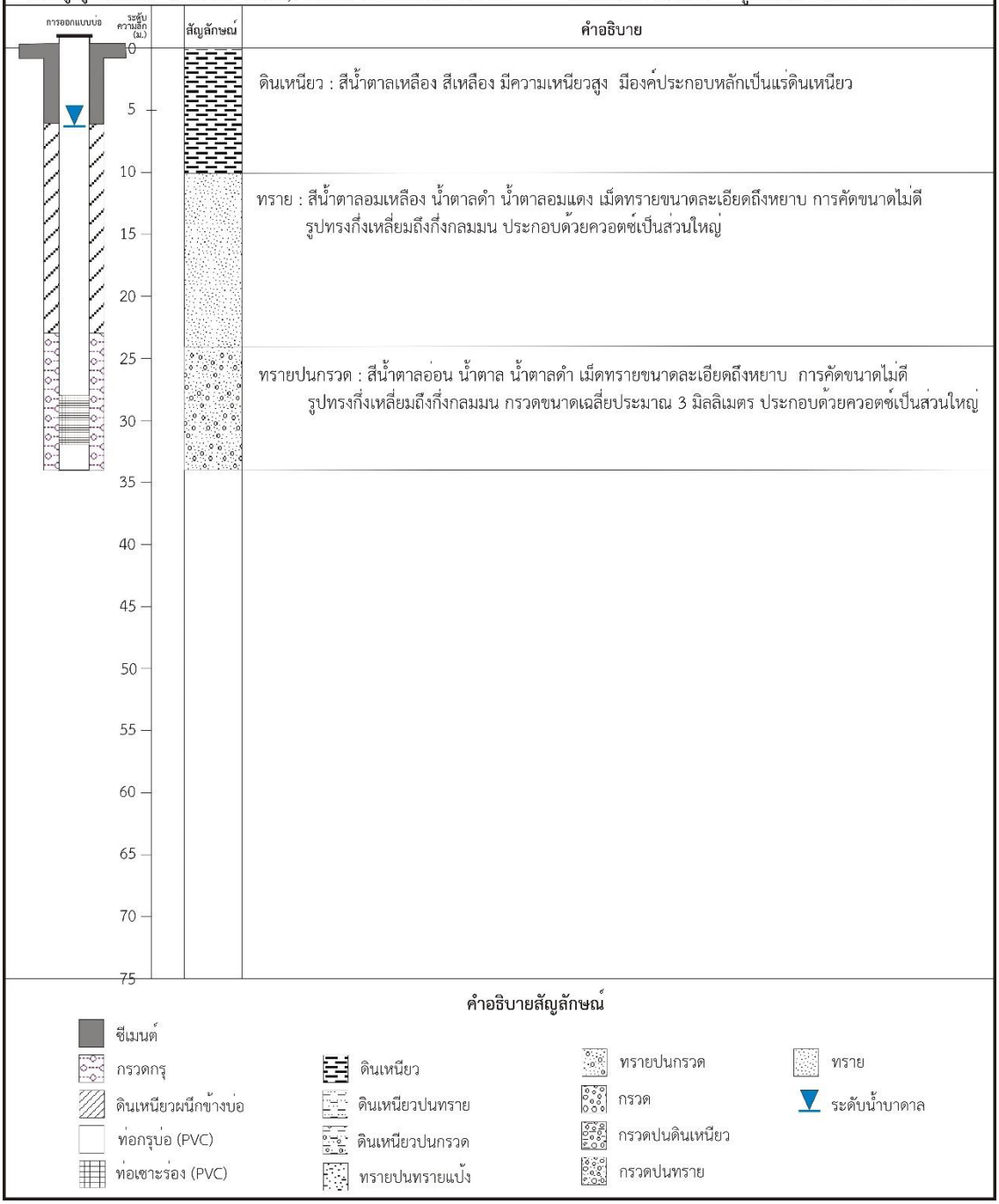
และบ่อวัดอุณหภูมิ 2 บ่อ ในพื้นที่ศึกษา

รหัสบ่อ PHS62

โครงการ การวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน
ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง

ข้อมูลการเจาะและชั้นดินชั้นหิน

หมายเลขบ่อ : PHS62 **ความลึกเจาะ :** 34 ม. **เส้นผ่าศูนย์กลางบ่อ :** 150 มิลลิเมตร **วิธีการเจาะ :** เครื่องเจาะโรตารี **วันที่เจาะ :** 10/07/61
เจาะโดย : ช่างเจาะนายอาทิตย์ จันต๊ะสา **ที่ตั้ง :** บ้านวัดใหม่ หมู่ที่ 6 ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก **ระยะท่อเซาะร่อง :** 28.0-32.0 ม.
ความสูงภูมิประเทศ : 49 ม.รทก. **พิกัด X,Y :** 632371E 1838010N **โซน :** 47 **ระดับน้ำปกติ :** 6.23 ม. **ผู้บรรยาย :** ธันยพร พรหมราช

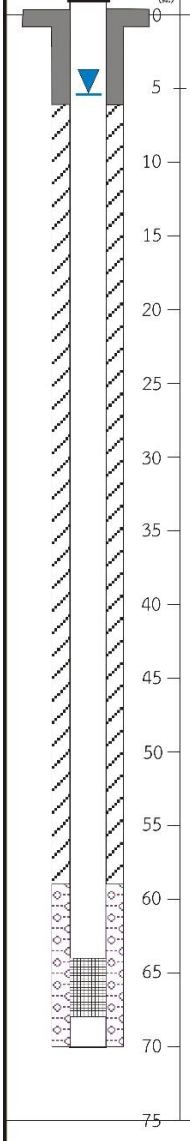


รหัสบ่อ PHS63

โครงการ การวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน
ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง

ข้อมูลการเจาะและชั้นดินชั้นหิน

หมายเลขบ่อ : PHS63 **ความลึกเจาะ :** 70 ม. **เส้นผ่าศูนย์กลางบ่อ :** 150 มิลลิเมตร **วิธีการเจาะ :** เครื่องเจาะโรตารี **วันที่เจาะ :** 10/07/61
เจาะโดย : ช่างเจาะนายอาทิตย์ จันต๊ะสา **ที่ตั้ง :** บ้านวัดใหม่ หมู่ที่ 6 ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก **ระยะท่อเซาะร่อง :** 64.0-68.0 ม.
ความสูงภูมิประเทศ : 45 ม.รทก. **พิกัด X,Y :** 631900E 1837776N **โซน :** 47 **ระดับน้ำปกติ :** 5.31 ม. **ผู้บรรยาย :** ธันยพร พรหมราช



สัญลักษณ์	คำอธิบาย
	ดินเหนียว : สีน้ำตาลเหลือง สีเหลือง มีความเหนียวสูง มีองค์ประกอบหลักเป็นแร่ดินเหนียว
	ทราย : สีน้ำตาลอมเหลือง เม็ดทรายขนาดปานกลางถึงหยาบ การคัดขนาดไม่ดี รูปทรงกึ่งเหลี่ยมถึงกึ่งกลมมน ประกอบด้วยควอตซ์เป็นส่วนใหญ่
	ทรายปนกรวด : สีน้ำตาล น้ำตาลดำ เม็ดทรายขนาดละเอียดถึงหยาบ การคัดขนาดไม่ดี รูปทรงกึ่งเหลี่ยมถึงกึ่งกลมมน กรวดขนาดเฉลี่ยประมาณ 3 มิลลิเมตร ประกอบด้วยควอตซ์เป็นส่วนใหญ่
	ทราย : สีน้ำตาลดำ เม็ดทรายขนาดละเอียดถึงปานหยาบ การคัดขนาดไม่ดี รูปทรงกึ่งเหลี่ยมถึงกึ่งกลมมน ประกอบด้วยควอตซ์เป็นส่วนใหญ่
	ทราย : สีน้ำตาลดำ เม็ดทรายขนาดละเอียดถึงปานกลาง การคัดขนาดไม่ดี รูปทรงกึ่งเหลี่ยมถึงกึ่งกลมมน ประกอบด้วยควอตซ์เป็นส่วนใหญ่

คำอธิบายสัญลักษณ์

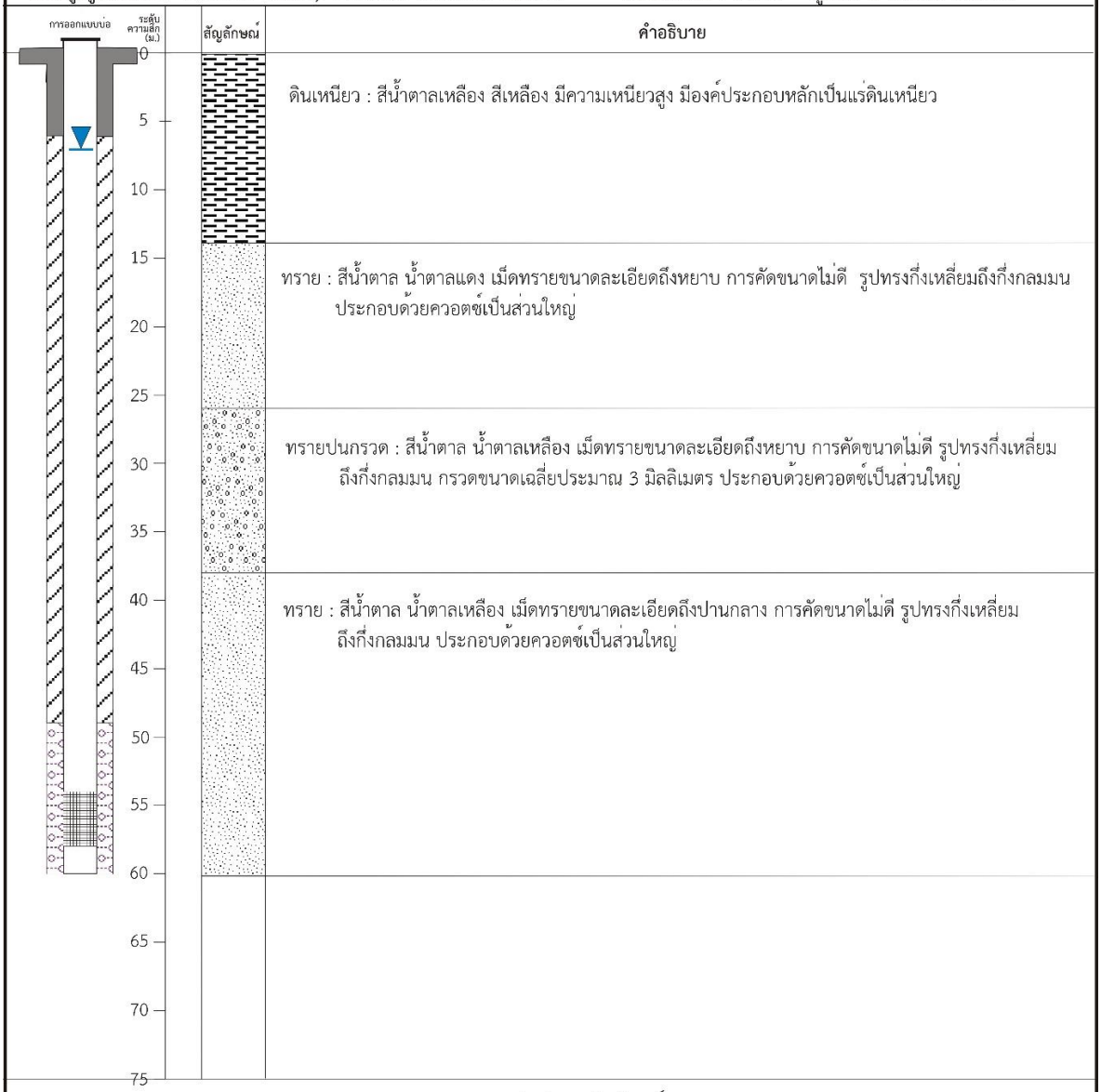
ซีเมนต์ | กรวดกรุ | ดินเหนียวผนึกข้างบ่อ | ท่อกรุบ่อ (PVC) | ท่อเซาะร่อง (PVC)
ดินเหนียว | ดินเหนียวปนทราย | ดินเหนียวปนกรวด | ทรายปนทรายแป้ง
ทรายปนกรวด | กรวด | กรวดปนดินเหนียว | กรวดปนทราย
ทราย | ระดับน้ำบาดาล

รหัสบ่อ PHS64

โครงการ การวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน
ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง

ข้อมูลการเจาะและชั้นดินชั้นหิน

หมายเลขบ่อ : PHS64 **ความลึกเจาะ :** 60 ม. **เส้นผ่าศูนย์กลางบ่อ :** 150 มิลลิเมตร **วิธีการเจาะ :** เครื่องเจาะโรตารี **วันที่เจาะ :** 10/07/61
เจาะโดย : ช่างเจาะนายอาทิตย์ จันต๊ะสา **ที่ตั้ง :** บ้านวัดใหม่ หมู่ที่ 6 ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก **ระยะท่อเซาะร่อง :** 54.0-58.0 ม.
ความสูงภูมิประเทศ : 50 ม.รทก. **พิกัด X,Y :** 632966E 1837573N **โซน :** 47 **ระดับน้ำปกติ :** 7.04 ม. **ผู้บรรยาย :** ธันยพร พรหมราช

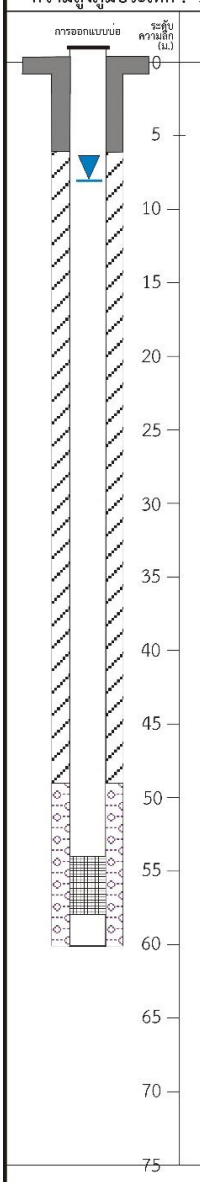


รหัสบ่อ PHS78

โครงการ การวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน
ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง

ข้อมูลการเจาะและชั้นดินชั้นหิน

หมายเลขบ่อ : PHS78 **ความลึกเจาะ :** 60 ม. **เส้นผ่าศูนย์กลางบ่อ :** 150 มิลลิเมตร **วิธีการเจาะ :** เครื่องเจาะโรตารี **วันที่เจาะ :** 23/07/61
เจาะโดย : ช่างเจาะนายอาทิตย์ จันต๊ะสา **ที่ตั้ง :** บ้านวัดใหม่ หมู่ที่ 6 ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก **ระยะท่อเซาะร่อง :** 54.0-58.0 ม.
ความสูงภูมิประเทศ : 51 ม.รทก. **พิกัด X,Y :** 632371E 1838010N **โซน :** 47 **ระดับน้ำปกติ :** 8.0 ม. **ผู้บรรยาย :** ธันยพร พรหมราช



สัญลักษณ์	คำอธิบาย
	ดินเหนียว : สีน้ำตาลเหลือง สีเหลือง มีความเหนียวสูง มีองค์ประกอบหลักเป็นแร่ดินเหนียว
	ดินเหนียวปนทราย : สีน้ำตาล น้ำตาลดำ มีความเหนียวสูง มีองค์ประกอบหลักเป็นแร่ดินเหนียว
	ทรายปนกรวด : สีน้ำตาล น้ำตาลดำ เม็ดทรายขนาดละเอียดถึงหยาบ การคัดขนาดไม่ดี รูปทรงกึ่งเหลี่ยมถึงกึ่งกลมมน กรวดขนาดเฉลี่ยประมาณ 3 มิลลิเมตร ประกอบด้วยควอตซ์เป็นส่วนใหญ่
	ทราย : สีน้ำตาล น้ำตาลดำ เม็ดทรายขนาดละเอียดถึงหยาบ การคัดขนาดไม่ดี รูปทรงกึ่งเหลี่ยมถึงกึ่งกลมมน ประกอบด้วยควอตซ์เป็นส่วนใหญ่

คำอธิบายสัญลักษณ์

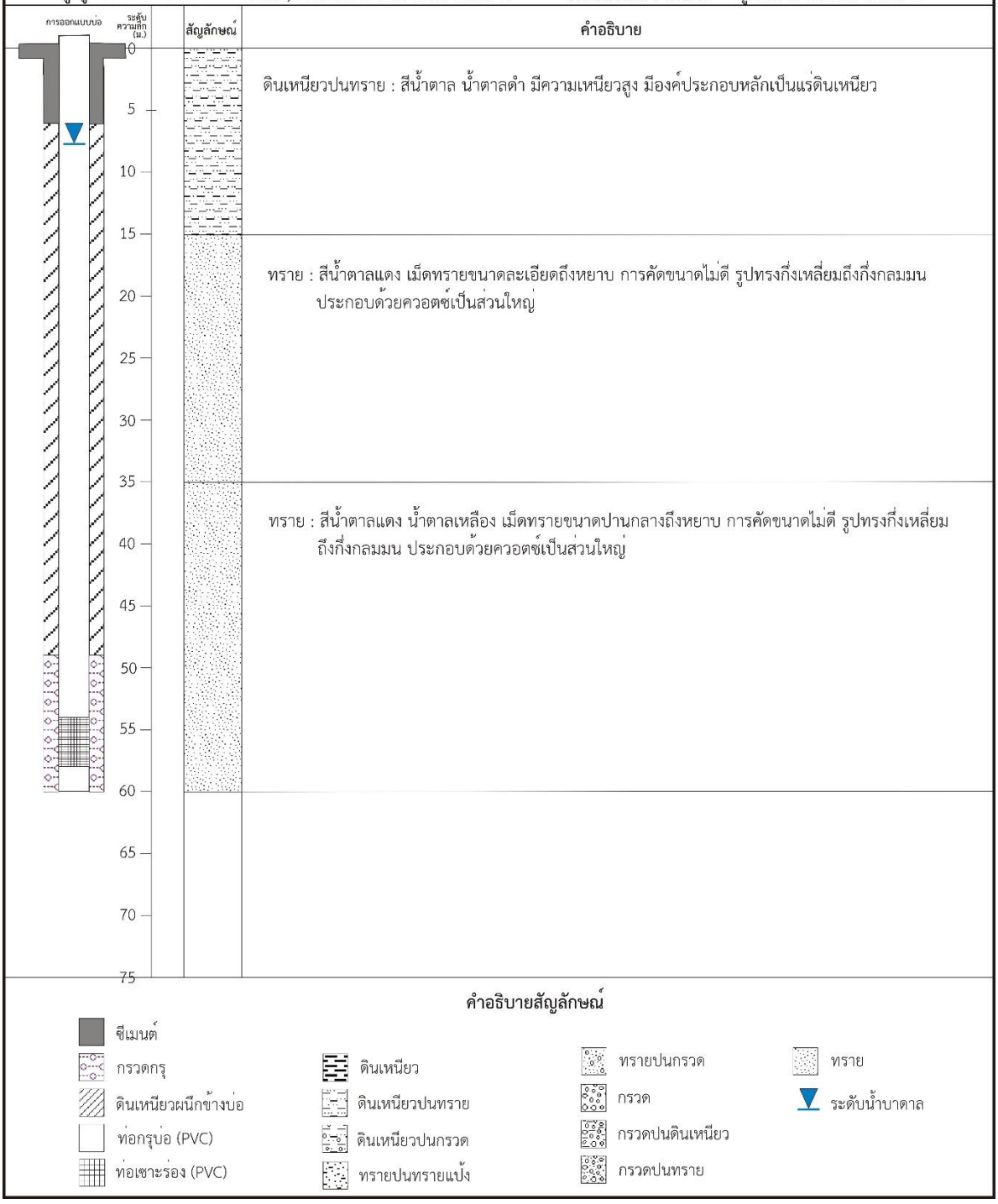
- ซีเมนต์
- กรวดกรุ
- ดินเหนียวผนึกข้างบ่อ
- ท่อกรุบ่อ (PVC)
- ท่อเซาะร่อง (PVC)
- ดินเหนียว
- ดินเหนียวปนทราย
- ดินเหนียวปนกรวด
- ทรายปนทรายแป้ง
- ทรายปนกรวด
- กรวด
- กรวดปนดินเหนียว
- กรวดปนทราย
- ทราย
- ระดับน้ำบาดาล

รหัสบ่อ PHS79

โครงการ การวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน
ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง

ข้อมูลการเจาะและชั้นดินชั้นหิน

หมายเลขบ่อ : PHS79 **ความลึกเจาะ :** 54 ม. **เส้นผ่าศูนย์กลางบ่อ :** 150 มิลลิเมตร **วิธีการเจาะ :** เครื่องเจาะโรตารี **วันที่เจาะ :** 23/07/61
เจาะโดย : ช่างเจาะนายอาทิตย์ จันต๊ะสา **ที่ตั้ง :** บ้านวัดขวาง หมู่ที่ 7 ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก **ระยะท่อเซาะร่อง :** 54.0-58.0 ม.
ความสูงภูมิประเทศ : 52 ม.รทก. **พิกัด X,Y :** 633421E 1837723N **โซน :** 47 **ระดับน้ำปกติ :** 7.75 ม. **ผู้บรรยาย :** ธันยพร พรหมราช

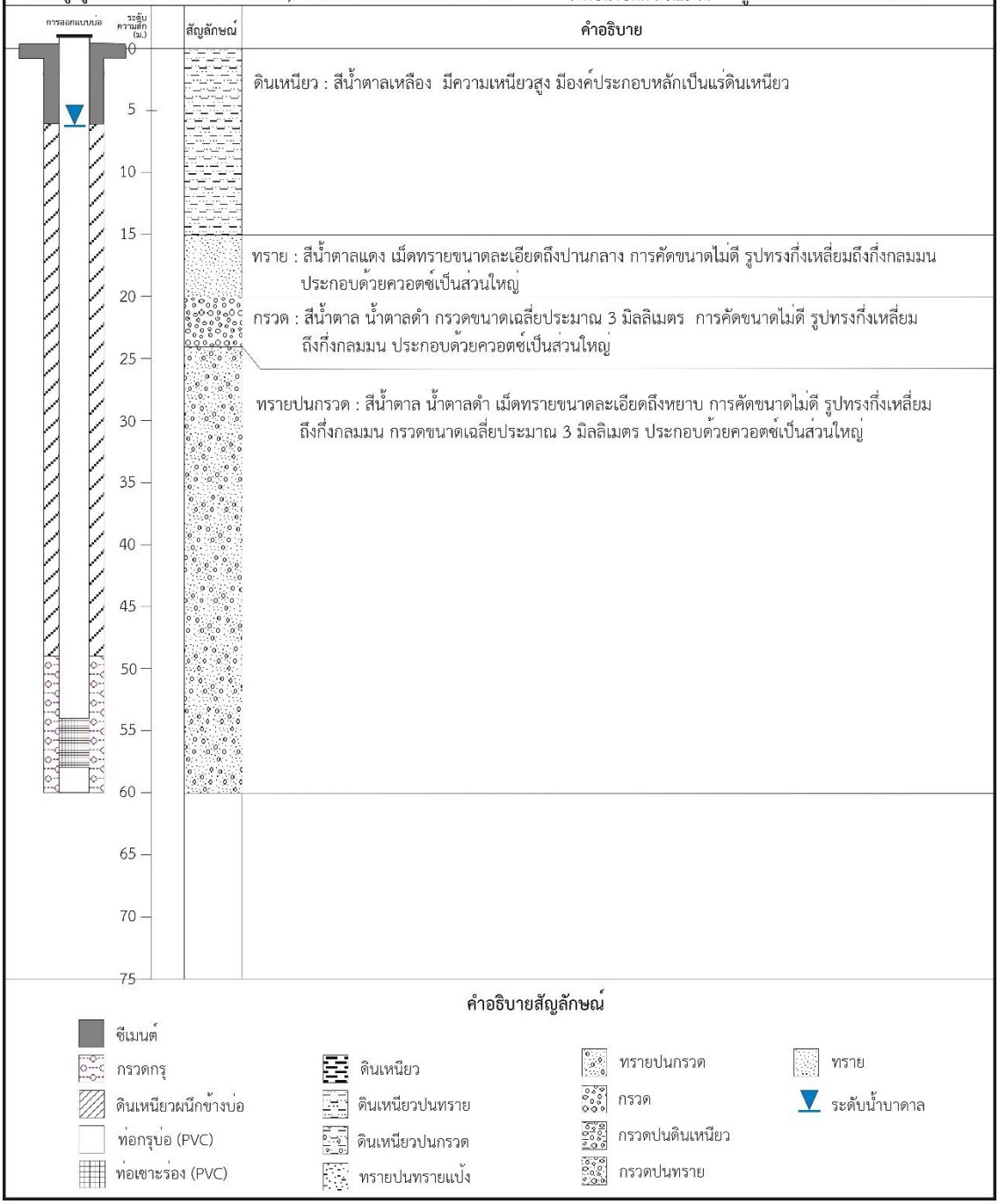


รหัสบ่อ PHS80

โครงการ การวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน
ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง

ข้อมูลการเจาะและชั้นดินชั้นหิน

หมายเลขบ่อ : PHS80 **ความลึกเจาะ :** 60 ม. **เส้นผ่าศูนย์กลางบ่อ :** 150 มิลลิเมตร **วิธีการเจาะ :** เครื่องเจาะโรตารี **วันที่เจาะ :** 23/07/61
เจาะโดย : ช่างเจาะนายอาทิตย์ จันต๊ะสา **ที่ตั้ง :** บ้านวังใหญ่ หมู่ที่ 7 ตำบลวังอิทก อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก **ระยะท่อเซาะร่อง :** 54.0-58.0 ม.
ความสูงภูมิประเทศ : 37 ม.รทก. **พิกัด X,Y :** 620784E 1842603N **โซน :** 47 **ระดับน้ำปกติ :** 6.25 ม. **ผู้บรรยาย :** ธันยพร พรหมราช

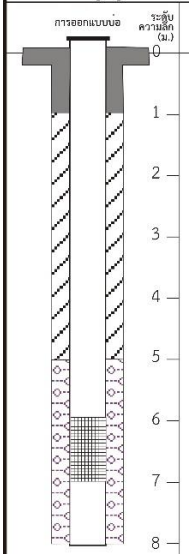


DR2.8Y-L

โครงการ การวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน
ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง

ข้อมูลการเจาะและชั้นดินชั้นหิน

หมายเลขบ่อ : DR2.8YL **ความลึกเจาะ :** 8 ม. **เส้นผ่าศูนย์กลางบ่อ :** 150 มิลลิเมตร **วิธีการเจาะ :** ใช้แรงคนในการเจาะ **วันที่เจาะ :** 11/07/61
เจาะโดย : ช่างเจาะนายอาทิตย์ จันต๊ะสา **ที่ตั้ง :** ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก **ระยะท่อเซาะร่อง :** 6.0-7.0 ม.
ความสูงภูมิประเทศ : - **พิกัด X,Y :** 630812E 1837651N **โซน :** 47 **ระดับน้ำปกติ :** น้ำท่วม **ผู้บรรยาย :** ธันยพร พรหมราช



สัญลักษณ์	คำอธิบาย
	ทราย : สีน้ำตาลเหลือง น้ำตาลแดง เม็ดทรายขนาดละเอียดถึงปานกลาง การคัดขนาดปานกลาง รูปทรงกึ่งเหลี่ยมถึงกึ่งกลมมน ประกอบด้วยควอตซ์เป็นส่วนใหญ่
	ดินเหนียว : สีน้ำตาลเหลือง มีความเหนียวสูง มีองค์ประกอบหลักเป็นแร่ดินเหนียว
	ทราย : สีน้ำตาลเหลือง น้ำตาลแดง เม็ดทรายขนาดละเอียดถึงปานกลาง การคัดขนาดปานกลาง รูปทรงกึ่งเหลี่ยมถึงกึ่งกลมมน ประกอบด้วยควอตซ์เป็นส่วนใหญ่

คำอธิบายสัญลักษณ์

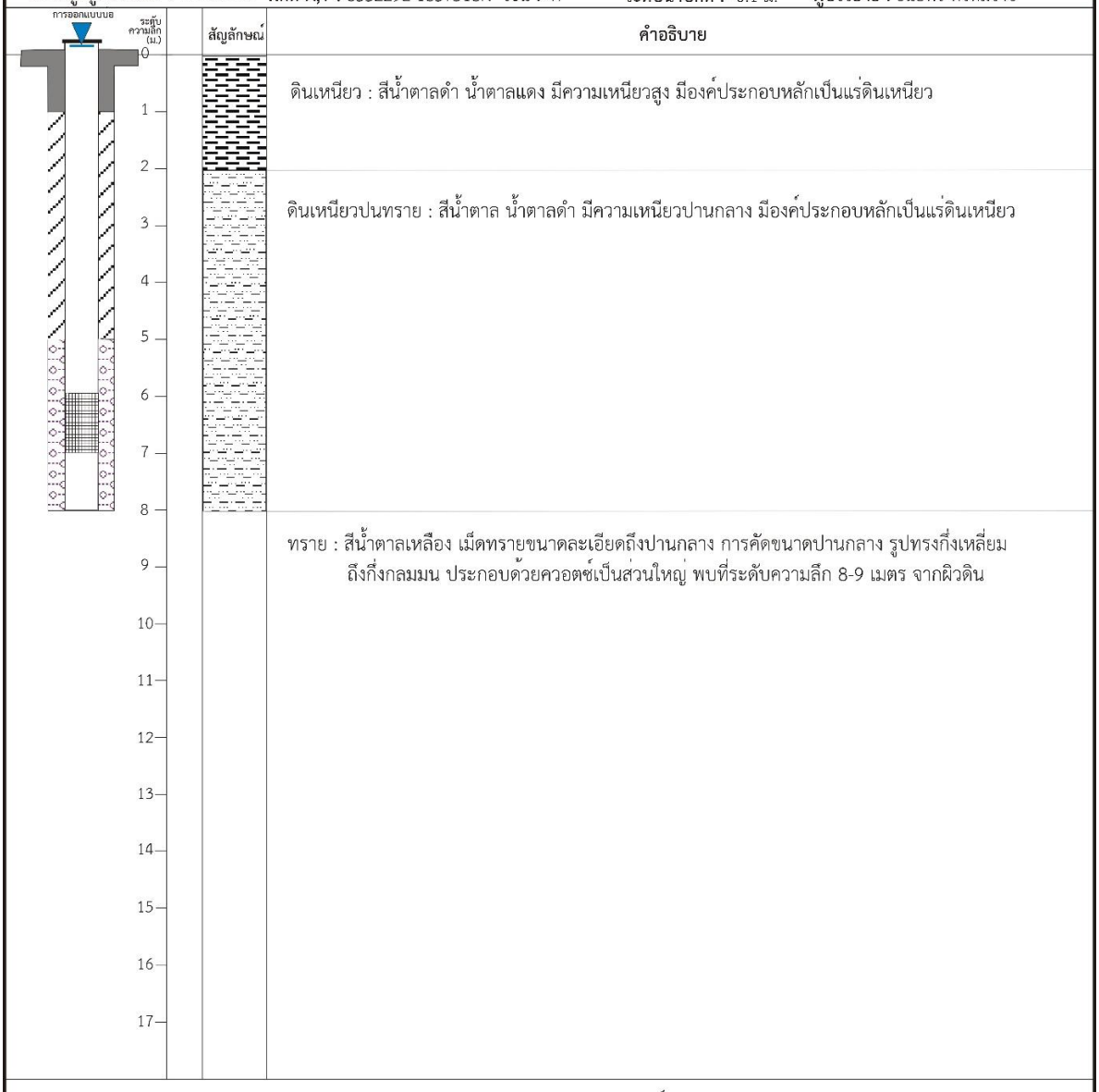
- ซีเมนต์
- กรวดกรุ
- ดินเหนียวผนึกข้างบ่อ
- ท่อกรุบ่อ (PVC)
- ท่อเซาะร่อง (PVC)
- ดินเหนียว
- ดินเหนียวปนทราย
- ดินเหนียวปนกรวด
- ทรายปนทรายแป้ง
- ทรายปนกรวด
- กรวด
- กรวดปนดินเหนียว
- กรวดปนทราย
- ทราย
- ระดับน้ำบาดาล

DR2.8N-R

โครงการ การวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนระหว่างน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน
ในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึงบริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง

ข้อมูลการเจาะและชั้นดินชั้นหิน

หมายเลขบ่อ : DR2.8NR **ความลึกเจาะ :** 8 ม. **เส้นผ่าศูนย์กลางบ่อ :** 150 มิลลิเมตร **วิธีการเจาะ :** ใช้แรงคนในการเจาะ **วันที่เจาะ :** 21/07/61
เจาะโดย : ช่างเจาะนายอาทิตย์ จันต๊ะสา **ที่ตั้ง :** ตำบลบ้านไร่ อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก **ระยะท่อเซาะร่อง :** 6.0-7.0 ม.
ความสูงภูมิประเทศ : 44 ม.รทก. **พิกัด X,Y :** 633229E 1837518N **โซน :** 47 **ระดับน้ำปกติ :** -0.1 ม. **ผู้บรรยาย :** ธันยพร พรหมราช



ภาคผนวก ฉ. ข้อมูลความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ

ข้อมูลความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8N-R วันที่ 23–24 มกราคม 2561 เวลา 10.40–10.10 น.

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 ม. (1-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
10:40:31	28.8	28
10:50:31	28.9	28.1
11:00:31	29.3	28.2
11:10:31	29.4	28.1
11:20:31	29.7	28.6
11:30:31	30	28.5
11:40:31	29.7	28.3
11:50:31	29.6	28.5
12:00:31	29.4	28.3
12:10:31	29.6	28.6
12:20:31	29.6	28.6
12:30:31	29.6	28.6
12:40:31	29.6	28.9
12:50:31	29.6	29
13:00:31	29.7	29.2
13:10:31	29.7	29.1
13:20:31	29.5	29
13:30:31	29.6	29.3
13:40:31	29.6	29.5
13:50:31	29.5	29.5
14:00:31	29.3	29.4
14:10:31	29.3	29.4
14:20:31	29.3	29.4
14:30:31	29.3	29.5
14:40:31	29.1	29.3
14:50:31	29	29.4
15:00:31	29	29.4
15:10:31	28.8	29.2

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 ม. (1-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
15:20:31	28.9	29.1
15:30:31	28.5	29.1
15:40:31	28.7	29.3
15:50:31	28.6	29.4
16:00:31	28.4	29
16:10:31	28.2	29.2
16:20:31	28.1	29.1
16:30:31	28.1	29.4
16:40:31	27.7	28.6
16:50:31	27.5	27.9
17:00:31	27.3	27.6
17:10:31	27.3	27.5
17:20:31	27.2	27.3
17:30:31	27.1	27.2
17:40:31	27.2	27.2
17:50:31	27.1	27.1
18:00:31	27.1	27.3
18:10:31	27	27
18:20:31	27.1	27.3
18:30:31	27	26.9
18:40:31	26.9	26.9
18:50:31	26.9	26.9
19:00:31	26.8	26.8
19:10:31	26.8	26.8
19:20:31	26.8	26.8
19:30:31	26.8	26.6
19:40:31	26.8	26.7
19:50:31	26.7	26.7
20:00:31	26.8	26.7
20:10:31	26.9	26.7
20:20:31	26.9	26.8
20:30:31	26.8	26.7
20:40:31	26.8	26.7
20:50:31	26.8	26.7

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 ม. (1-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
21:00:31	26.8	26.6
21:10:31	26.8	26.6
21:20:31	26.9	26.7
21:30:31	26.8	26.6
21:40:31	26.9	26.7
21:50:31	26.9	26.6
22:00:31	26.8	26.6
22:10:31	26.8	26.6
22:20:31	26.9	26.6
22:30:31	26.9	26.6
22:40:31	26.9	26.6
22:50:31	26.9	26.6
23:00:31	26.9	26.5
23:10:31	26.9	26.5
23:20:31	26.9	26.6
23:30:31	26.9	26.6
23:40:31	26.9	26.6
23:50:31	26.8	26.5
0:00:31	26.8	26.5
0:10:31	26.9	26.6
0:20:31	26.8	26.6
0:30:31	26.8	26.5
0:40:31	26.9	26.5
0:50:31	26.9	26.5
1:00:31	26.8	26.5
1:10:31	26.9	26.5
1:20:31	26.8	26.4
1:30:31	26.9	26.4
1:40:31	26.8	26.3
1:50:31	26.8	26.3
2:00:31	26.9	26.4
2:10:31	26.8	26.4
2:20:31	26.9	26.4
2:30:31	26.8	26.4

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 ม. (1-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
2:40:31	26.8	26.3
2:50:31	26.8	26.3
3:00:31	26.8	26.3
3:10:31	26.9	26.4
3:20:31	26.8	26.3
3:30:31	26.8	26.3
3:40:31	26.8	26.3
3:50:31	26.9	26.3
4:00:31	26.8	26.2
4:10:31	26.8	26.2
4:20:31	26.8	26.2
4:30:31	26.7	26.2
4:40:31	26.7	26.1
4:50:31	26.7	26.2
5:00:31	26.8	26.3
5:10:31	26.7	26.1
5:20:31	26.8	26.2
5:30:31	26.8	26.2
5:40:31	26.8	26.2
5:50:31	26.7	26.2
6:00:31	26.7	26.2
6:10:31	26.7	26.1
6:20:31	26.7	26.2
6:30:31	26.7	26.1
6:40:31	26.7	26.1
6:50:31	26.7	26.1
7:00:31	26.7	26.1
7:10:31	26.8	26.2
7:20:31	26.8	26.1
7:30:31	26.9	26.1
7:40:31	27	25.7
7:50:31	27.4	25.5
8:00:31	27.8	25.2
8:10:31	28	25

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 ม. (1-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
8:20:31	28.2	24.9
8:30:31	28.4	25.1
8:40:31	28.4	25.1
8:50:31	28.4	25.1
9:00:31	28.4	25.3
9:10:31	28.6	25.5
9:20:31	28.5	25.7
9:30:31	28.5	25.8
9:40:31	28.7	26
9:50:31	28.8	26.2
10:00:31	28.8	26.3
10:10:31	29	26.6
10:20:31	29.9	28.5

ข้อมูลความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8Y-R วันที่ 25–26 มกราคม 2561 เวลา 11.51–3.11 น.

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 ม. (1-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
11:51:27	29.1	28.8
12:01:27	29.7	29.3
12:11:27	29.9	29.3
12:21:27	29.7	29.2
12:31:27	30	29.4
12:41:27	30.2	29.7
12:51:27	30	29.7
13:01:27	30.1	29.5
13:11:27	30	29.5
13:21:27	29.9	29.7
13:31:27	30	29.7
13:41:27	30	29.7
13:51:27	29.9	29.7
14:01:27	30	29.9
14:11:27	29.9	29.7
14:21:27	30.2	30.1
14:31:27	30.1	30
14:41:27	29.8	29.9
14:51:27	29.9	29.9
15:01:27	29.7	29.8
15:11:27	29.8	29.9
15:21:27	29.9	30
15:31:27	29.8	29.9
15:41:27	29.7	29.8
15:51:27	29.6	29.8
16:01:27	29.5	29.8
16:11:27	29.4	29.6
16:21:27	29.3	29.5
16:31:27	29	29.2
16:41:27	28.7	29
16:51:27	28.5	28.8
17:01:27	28.4	28.8

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 ม. (1-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
17:11:27	28.2	28.6
17:21:27	27.9	28.3
17:31:27	27.9	28.2
17:41:27	28	28.3
17:51:27	27.9	28.2
18:01:27	27.9	28.1
18:11:27	27.8	28
18:21:27	27.9	28.1
18:31:27	27.7	28
18:41:27	27.9	28
18:51:27	27.8	28.1
19:01:27	27.7	28
19:11:27	27.7	27.9
19:21:27	27.6	27.9
19:31:27	27.7	27.9
19:41:27	27.7	27.9
19:51:27	27.7	27.9
20:01:27	27.8	28
20:11:27	27.8	28
20:21:27	27.8	28
20:31:27	27.8	27.9
20:41:27	27.8	28
20:51:27	27.8	27.9
21:01:27	27.9	27.9
21:11:27	27.8	27.9
21:21:27	27.9	27.9
21:31:27	28	27.8
21:41:27	28.1	27.8
21:51:27	28.1	27.8
22:01:27	28.2	27.9
22:11:27	28.3	27.9
22:21:27	28.1	27.8
22:31:27	28.2	27.8
22:41:27	28.2	27.8

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 ม. (1-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
22:51:27	28.2	27.9
23:01:27	28.2	27.9
23:11:27	28	27.8
23:21:27	27.9	27.8
23:31:27	27.9	27.8
23:41:27	27.9	27.8
23:51:27	27.8	27.8
0:01:27	27.8	27.8
0:11:27	27.8	27.8
0:21:27	27.8	27.8
0:31:27	27.9	27.9
0:41:27	27.8	27.8
0:51:27	27.9	27.9
1:01:27	27.9	27.8
1:11:27	27.9	27.8
1:21:27	27.8	27.8
1:31:27	27.8	27.7
1:41:27	27.8	27.8
1:51:27	27.9	27.8
2:01:27	27.9	27.8
2:11:27	27.9	27.8
2:21:27	27.8	27.8
2:31:27	27.9	27.8
2:41:27	27.9	27.8
2:51:27	27.8	27.8
3:01:27	27.8	27.8
3:11:27	27.9	27.8

ข้อมูลความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ

ตำแหน่ง DR2.8Y-L วันที่ 27–28 มกราคม 2561 เวลา 11.15–10.15 น.

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 ม. (1-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
11:15:51	28.6	28.7
11:25:51	28.4	28.6
11:35:51	28.4	28.7
11:45:51	28.5	28.7
11:55:51	28.4	28.7
12:05:51	28.5	28.7
12:15:51	28.5	28.7
12:25:51	28.5	28.9
12:35:51	28.6	28.9
12:45:51	28.5	28.7
12:55:51	28.5	28.6
13:05:51	28.5	28.7
13:15:51	28.7	28.8
13:25:51	28.8	28.8
13:35:51	28.5	28.8
13:45:51	28.5	28.8
13:55:51	28.6	29
14:05:51	28.7	29
14:15:51	28.7	29
14:25:51	29	29.1
14:35:51	28.7	28.8
14:45:51	28.9	29
14:55:51	28.8	29.1
15:05:51	29.1	29.2
15:15:51	29	29.2
15:25:51	29	29.2
15:35:51	29	29.2
15:45:51	29.1	29.1
15:55:51	28.9	29
16:05:51	28.7	29
16:15:51	28.8	29.1
16:25:51	28.9	29.1

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 ม. (1-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
16:35:51	29.1	29.1
16:45:51	28.9	29
16:55:51	28.8	28.9
17:05:51	28.9	29
17:15:51	29	29
17:25:51	29	29
17:35:51	28.9	28.8
17:45:51	28.8	28.8
17:55:51	28.8	28.7
18:05:51	28.7	28.6
18:15:51	28.7	28.6
18:25:51	28.6	28.5
18:35:51	28.6	28.6
18:45:51	28.5	28.5
18:55:51	28.5	28.5
19:05:51	28.5	28.5
19:15:51	28.4	28.4
19:25:51	28.3	28.4
19:35:51	28.3	28.4
19:45:51	28.2	28.3
19:55:51	28.3	28.3
20:05:51	28.2	28.4
20:15:51	28.2	28.3
20:25:51	28.1	28.3
20:35:51	28.1	28.3
20:45:51	28.1	28.3
20:55:51	28.2	28.3
21:05:51	28.2	28.4
21:15:51	28.1	28.4
21:25:51	28.1	28.3
21:35:51	28.1	28.4
21:45:51	28.1	28.4
21:55:51	28.1	28.3
22:05:51	28.1	28.3

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 ม. (1-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
22:15:51	28.1	28.3
22:25:51	28.1	28.3
22:35:51	28.1	28.3
22:45:51	28	28.3
22:55:51	28	28.3
23:05:51	28	28.3
23:15:51	28	28.3
23:25:51	28	28.3
23:35:51	27.9	28.3
23:45:51	27.9	28.3
23:55:51	27.9	28.3
0:05:51	27.9	28.3
0:15:51	28	28.3
0:25:51	28	28.3
0:35:51	28	28.3
0:45:51	27.9	28.3
0:55:51	27.9	28.3
1:05:51	27.8	28.2
1:15:51	27.9	28.3
1:25:51	27.9	28.3
1:35:51	27.9	28.3
1:45:51	27.9	28.3
1:55:51	27.9	28.4
2:05:51	27.9	28.4
2:15:51	27.8	28.3
2:25:51	27.8	28.2
2:35:51	27.8	28.2
2:45:51	27.9	28.3
2:55:51	27.8	28.2
3:05:51	27.9	28.2
3:15:51	27.9	28.2
3:25:51	27.8	28.2
3:35:51	27.9	28.2
3:45:51	27.9	28.2

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 ม. (1-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
3:55:51	27.9	28.1
4:05:51	27.8	28.1
4:15:51	27.8	28.1
4:25:51	27.8	28.1
4:35:51	27.8	28.1
4:45:51	27.9	28.1
4:55:51	27.9	28
5:05:51	27.9	28
5:15:51	27.8	27.9
5:25:51	27.9	28
5:35:51	27.9	28
5:45:51	27.9	28
5:55:51	27.8	28
6:05:51	27.9	28
6:15:51	27.8	27.9
6:25:51	27.8	27.9
6:35:51	27.8	27.9
6:45:51	27.8	27.8
6:55:51	27.8	27.8
7:05:51	27.9	27.9
7:15:51	27.8	27.8
7:25:51	27.9	27.9
7:35:51	27.9	27.9
7:45:51	27.9	27.8
7:55:51	28.1	27.7
8:05:51	28.3	27.7
8:15:51	28.4	27.8
8:25:51	28.7	27.6
8:35:51	29.1	27.5
8:45:51	29.4	27.5
8:55:51	29.7	27.5
9:05:51	29.9	27.6
9:15:51	29.9	27.6
9:25:51	29.9	28.1

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 1.00 ม. (1-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
9:35:51	29.6	28.1
9:45:51	29.7	27.9
9:55:51	29.9	27.8
10:05:51	29.9	27.8
10:15:51	29.7	28.5

ข้อมูลความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8N-R วันที่ 23–25 กรกฎาคม 2561 เวลา 11.30–12.30 น.

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/23/2018 14:19	29.2	30.2
7/23/2018 14:29	29	30
7/23/2018 14:39	28.9	30
7/23/2018 14:49	29	30
7/23/2018 14:59	28.8	29.9
7/23/2018 15:09	28.9	30
7/23/2018 15:19	28.8	30
7/23/2018 15:29	28.9	30.1
7/23/2018 15:39	28.9	30.1
7/23/2018 15:49	28.9	30.1
7/23/2018 15:59	28.8	30.1
7/23/2018 16:09	28.9	30.1
7/23/2018 16:19	28.9	30.2
7/23/2018 16:29	28.3	29.7
7/23/2018 16:39	28.3	29.7
7/23/2018 16:49	28.1	29.7
7/23/2018 16:59	28.7	30.2
7/23/2018 17:09	28.9	30.3
7/23/2018 17:19	28.9	30.2
7/23/2018 17:29	28.9	30.2
7/23/2018 17:39	28.9	30.2
7/23/2018 17:49	28.8	30.2
7/23/2018 17:59	28.8	30.1
7/23/2018 18:09	28.8	30
7/23/2018 18:19	28.8	30.1
7/23/2018 18:29	28.7	30
7/23/2018 18:39	28.6	29.9
7/23/2018 18:49	28.7	30
7/23/2018 18:59	28.7	30
7/23/2018 19:09	28.7	30.1
7/23/2018 19:19	28.7	30.1
7/23/2018 19:29	28.6	30

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/23/2018 19:39	28.6	29.9
7/23/2018 19:49	28.5	29.9
7/23/2018 19:59	28.5	29.9
7/23/2018 20:09	28.5	29.8
7/23/2018 20:19	28.5	29.9
7/23/2018 20:29	28.5	29.8
7/23/2018 20:39	28.5	29.8
7/23/2018 20:49	28.4	29.7
7/23/2018 20:59	28.4	29.8
7/23/2018 21:09	28.5	29.8
7/23/2018 21:19	28.5	29.8
7/23/2018 21:29	28.5	29.8
7/23/2018 21:39	28.4	29.8
7/23/2018 21:49	28.5	29.8
7/23/2018 21:59	28.3	29.7
7/23/2018 22:09	28.5	29.7
7/23/2018 22:19	28.4	29.7
7/23/2018 22:29	28.3	29.7
7/23/2018 22:39	28.4	29.7
7/23/2018 22:49	28.4	29.7
7/23/2018 22:59	28.4	29.7
7/23/2018 23:09	28.4	29.7
7/23/2018 23:19	28.4	29.7
7/23/2018 23:29	28.3	29.7
7/23/2018 23:39	28.3	29.6
7/23/2018 23:49	28.4	29.7
7/23/2018 23:59	28.3	29.6
7/24/2018 0:09	28.3	29.7
7/24/2018 0:19	28.3	29.7
7/24/2018 0:29	28.3	29.7
7/24/2018 0:39	28.3	29.6
7/24/2018 0:49	28.3	29.6
7/24/2018 0:59	28.3	29.7
7/24/2018 1:09	28.3	29.6

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/24/2018 1:19	28.3	29.6
7/24/2018 1:29	28.3	29.7
7/24/2018 1:39	28.3	29.6
7/24/2018 1:49	28.2	29.6
7/24/2018 1:59	28.3	29.6
7/24/2018 2:09	28.3	29.6
7/24/2018 2:19	28.2	29.6
7/24/2018 2:29	28.2	29.6
7/24/2018 2:39	28.3	29.7
7/24/2018 2:49	28.3	29.6
7/24/2018 2:59	28.2	29.6
7/24/2018 3:09	28.2	29.7
7/24/2018 3:19	28.1	29.6
7/24/2018 3:29	28.1	29.6
7/24/2018 3:39	28.2	29.6
7/24/2018 3:49	28.2	29.7
7/24/2018 3:59	28.2	29.6
7/24/2018 4:09	28.2	29.6
7/24/2018 4:19	28.2	29.6
7/24/2018 4:29	28.1	29.6
7/24/2018 4:39	28.1	29.6
7/24/2018 4:49	28.1	29.6
7/24/2018 4:59	28.1	29.6
7/24/2018 5:09	28.1	29.6
7/24/2018 5:19	28.1	29.6
7/24/2018 5:29	28.1	29.6
7/24/2018 5:39	28.1	29.6
7/24/2018 5:49	28.1	29.6
7/24/2018 5:59	28.1	29.6
7/24/2018 6:09	28.1	29.6
7/24/2018 6:19	28.1	29.5
7/24/2018 6:29	28.1	29.6
7/24/2018 6:39	28	29.5
7/24/2018 6:49	28.1	29.6

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/24/2018 6:59	28.1	29.5
7/24/2018 7:09	28.1	29.6
7/24/2018 7:19	28	29.6
7/24/2018 7:29	28	29.5
7/24/2018 7:39	27.8	29.4
7/24/2018 7:49	27.8	29.3
7/24/2018 7:59	27.7	29.2
7/24/2018 8:09	27.2	28.8
7/24/2018 8:19	27.7	29.4
7/24/2018 8:29	27.8	29.4
7/24/2018 8:39	27.6	29.3
7/24/2018 8:49	28	29.7
7/24/2018 8:59	28.1	29.9
7/24/2018 9:09	28.2	29.9
7/24/2018 9:19	27.9	29.7
7/24/2018 9:29	27.2	29
7/24/2018 9:39	28.2	30
7/24/2018 9:49	28.4	30.3
7/24/2018 9:59	28.6	30.4
7/24/2018 10:09	28.4	30.3
7/24/2018 10:19	28.5	30.3
7/24/2018 10:29	28.5	30.3
7/24/2018 10:39	28.3	30.1
7/24/2018 10:49	28.3	30.2
7/24/2018 10:59	28.2	30.2
7/24/2018 11:09	28.3	30.2
7/24/2018 11:19	28.4	30.3
7/24/2018 11:29	28.4	30.3
7/24/2018 11:39	28.2	30.1
7/24/2018 11:49	28.3	30.2
7/24/2018 11:59	28.2	30.1
7/24/2018 12:09	28.4	30.3
7/24/2018 12:19	28.5	30.5
7/24/2018 12:29	28.4	30.4

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/24/2018 12:39	28.4	30.3
7/24/2018 12:49	28.3	30.3
7/24/2018 12:59	28.3	30.2
7/24/2018 13:09	28.3	30.2
7/24/2018 13:19	28.2	30.1
7/24/2018 13:29	28.3	30.2
7/24/2018 13:39	28.3	30.2
7/24/2018 13:49	28.3	30.2
7/24/2018 13:59	28.2	30.1
7/24/2018 14:09	28.3	30.2
7/24/2018 14:19	28.2	30.2
7/24/2018 14:29	28.2	30.2
7/24/2018 14:39	28.2	30.3
7/24/2018 14:49	28.2	30.3
7/24/2018 14:59	28.2	30.3
7/24/2018 15:09	28.2	30.4
7/24/2018 15:19	28.1	30.4
7/24/2018 15:29	28	30.3
7/24/2018 15:39	28.1	30.4
7/24/2018 15:49	28.1	30.3
7/24/2018 15:59	28.1	30.4
7/24/2018 16:09	28.1	30.4
7/24/2018 16:19	28.2	30.3
7/24/2018 16:29	28.3	30.4
7/24/2018 16:39	28.4	30.3
7/24/2018 16:49	28.4	30.3
7/24/2018 16:59	28.3	30.3
7/24/2018 17:09	28.4	30.3
7/24/2018 17:19	28.5	30.3
7/24/2018 17:29	28.5	30.3
7/24/2018 17:39	28.4	30.3
7/24/2018 17:49	28.4	30.2
7/24/2018 17:59	28.4	30.2
7/24/2018 18:09	28.4	30.2

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/24/2018 18:19	28.5	30.3
7/24/2018 18:29	28.5	30.3
7/24/2018 18:39	28.5	30.3
7/24/2018 18:49	28.4	30.2
7/24/2018 18:59	28.4	30.2
7/24/2018 19:09	28.3	30.1
7/24/2018 19:19	28.4	30.2
7/24/2018 19:29	28.3	30.1
7/24/2018 19:39	28.4	30.1
7/24/2018 19:49	28.4	30.1
7/24/2018 19:59	28.3	30
7/24/2018 20:09	28.4	30.1
7/24/2018 20:19	28.4	30
7/24/2018 20:29	28.4	30.1
7/24/2018 20:39	28.4	30.1
7/24/2018 20:49	28.4	30
7/24/2018 20:59	28.3	30
7/24/2018 21:09	28.3	30.1
7/24/2018 21:19	28.2	30
7/24/2018 21:29	28.2	30.1
7/24/2018 21:39	28.2	30.1
7/24/2018 21:49	28.2	30.1
7/24/2018 21:59	28.1	30.1
7/24/2018 22:09	28.1	30.1
7/24/2018 22:19	28.1	30.1
7/24/2018 22:29	28.2	30.1
7/24/2018 22:39	28.2	30.1
7/24/2018 22:49	28.2	30
7/24/2018 22:59	28.3	30
7/24/2018 23:09	28.3	30
7/24/2018 23:19	28.4	30
7/24/2018 23:29	28.4	30
7/24/2018 23:39	28.4	30
7/24/2018 23:49	28.3	30

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/24/2018 23:59	28.3	30
7/25/2018 0:09	28.3	30.1
7/25/2018 0:19	28.2	30.1
7/25/2018 0:29	28.2	30
7/25/2018 0:39	28.2	30
7/25/2018 0:49	28.3	30.1
7/25/2018 0:59	28.2	30
7/25/2018 1:09	28.3	30
7/25/2018 1:19	28.4	30
7/25/2018 1:29	28.4	30
7/25/2018 1:39	28.3	29.9
7/25/2018 1:49	28.4	30
7/25/2018 1:59	28.3	30
7/25/2018 2:09	28.3	30
7/25/2018 2:19	28.3	29.9
7/25/2018 2:29	28.4	30
7/25/2018 2:39	28.3	30
7/25/2018 2:49	28.3	29.9
7/25/2018 2:59	28.3	30
7/25/2018 3:09	28.3	30
7/25/2018 3:19	28.3	29.9
7/25/2018 3:29	28.3	29.9
7/25/2018 3:39	28.2	29.9
7/25/2018 3:49	28.2	29.8
7/25/2018 3:59	28.3	29.9
7/25/2018 4:09	28.2	29.9
7/25/2018 4:19	28.3	30
7/25/2018 4:29	28.3	29.9
7/25/2018 4:39	28.3	29.9
7/25/2018 4:49	28.2	29.9
7/25/2018 4:59	28.3	29.9
7/25/2018 5:09	28.3	29.9
7/25/2018 5:19	28.3	29.9
7/25/2018 5:29	28.3	29.9

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/25/2018 5:39	28.3	29.9
7/25/2018 5:49	28.4	29.9
7/25/2018 5:59	28.3	29.9
7/25/2018 6:09	28.3	29.9
7/25/2018 6:19	28.3	29.9
7/25/2018 6:29	28.3	29.9
7/25/2018 6:39	28.3	29.9
7/25/2018 6:49	28.2	29.8
7/25/2018 6:59	28.2	29.8
7/25/2018 7:09	28.1	29.7
7/25/2018 7:19	27.9	29.5
7/25/2018 7:29	27.5	29.2
7/25/2018 7:39	27.9	29.5
7/25/2018 7:49	28.1	29.8
7/25/2018 7:59	28.3	29.9
7/25/2018 8:09	28.4	30
7/25/2018 8:19	28.3	29.9
7/25/2018 8:29	28.2	29.9
7/25/2018 8:39	28.2	29.9
7/25/2018 8:49	28.2	29.9
7/25/2018 8:59	28.2	29.9
7/25/2018 9:09	28.2	29.8
7/25/2018 9:19	28.2	30
7/25/2018 9:29	28.3	29.9
7/25/2018 9:39	28.2	29.9
7/25/2018 9:49	28.3	30
7/25/2018 9:59	28.3	29.9
7/25/2018 10:09	28.3	30
7/25/2018 10:19	28.3	30
7/25/2018 10:29	28.1	29.9
7/25/2018 10:39	28	29.8
7/25/2018 10:49	28.1	29.9
7/25/2018 10:59	28.2	30.1
7/25/2018 11:09	28.1	30

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/25/2018 11:19	28.2	30
7/25/2018 11:29	28.1	30
7/25/2018 11:39	28.1	30.1
7/25/2018 11:49	28.2	30.1
7/25/2018 11:59	28.4	30.3
7/25/2018 12:09	28.5	30.4
7/25/2018 12:19	28.4	30.3
7/25/2018 12:29	28.4	30.3
7/25/2018 12:39	28.4	30.3
7/25/2018 12:49	28.3	30.3

ข้อมูลความผันแปรของอุณหภูมิน้ำบริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 เมตร และบริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ ตำแหน่ง DR2.8Y-L วันที่ 17–19 กรกฎาคม 2561 เวลา 11.00–12.30 น.

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/17/2018 10:52	31.5	31
7/17/2018 11:02	31.4	31.1
7/17/2018 11:12	31.4	31
7/17/2018 11:22	31.3	31
7/17/2018 11:32	31.4	31.2
7/17/2018 11:42	31.5	31.1
7/17/2018 11:52	31.4	31.1
7/17/2018 12:02	31.3	30.9
7/17/2018 12:12	31.3	31
7/17/2018 12:22	31.2	30.9
7/17/2018 12:32	31.2	30.9
7/17/2018 12:42	31.4	31
7/17/2018 12:52	31.3	30.9
7/17/2018 13:02	31.3	30.9
7/17/2018 13:12	31.2	30.9
7/17/2018 13:22	31.3	30.9
7/17/2018 13:32	31.3	30.9
7/17/2018 13:42	31.1	30.8
7/17/2018 13:52	31.1	30.8
7/17/2018 14:02	31.2	30.9
7/17/2018 14:12	31.3	30.9
7/17/2018 14:22	31.3	31
7/17/2018 14:32	31.3	31
7/17/2018 14:42	31.3	31
7/17/2018 14:52	31.3	31
7/17/2018 15:02	31.3	31
7/17/2018 15:12	31.3	30.9
7/17/2018 15:22	31.3	31
7/17/2018 15:32	31.2	30.9
7/17/2018 15:42	31.4	30.9
7/17/2018 15:52	31.3	31

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/17/2018 16:02	31.3	30.9
7/17/2018 16:12	31.3	30.9
7/17/2018 16:22	31.2	30.8
7/17/2018 16:32	31.3	30.8
7/17/2018 16:42	31.2	30.8
7/17/2018 16:52	31.3	30.8
7/17/2018 17:02	31.2	30.8
7/17/2018 17:12	31.2	30.8
7/17/2018 17:22	31.2	30.8
7/17/2018 17:32	31.1	30.8
7/17/2018 17:42	31.3	30.8
7/17/2018 17:52	31.2	30.7
7/17/2018 18:02	31.2	30.7
7/17/2018 18:12	31.1	30.7
7/17/2018 18:22	31.2	30.7
7/17/2018 18:32	31.2	30.7
7/17/2018 18:42	31.1	30.6
7/17/2018 18:52	31.1	30.6
7/17/2018 19:02	31.1	30.6
7/17/2018 19:12	31.1	30.6
7/17/2018 19:22	31.1	30.6
7/17/2018 19:32	31.1	30.6
7/17/2018 19:42	31.1	30.5
7/17/2018 19:52	31.1	30.5
7/17/2018 20:02	31.1	30.6
7/17/2018 20:12	31.1	30.6
7/17/2018 20:22	31.1	30.6
7/17/2018 20:32	31.1	30.5
7/17/2018 20:42	31.1	30.5
7/17/2018 20:52	31.1	30.5
7/17/2018 21:02	31.1	30.5
7/17/2018 21:12	31.1	30.5
7/17/2018 21:22	31.1	30.4
7/17/2018 21:32	31	30.4

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/17/2018 21:42	31	30.4
7/17/2018 21:52	31	30.4
7/17/2018 22:02	31.1	30.4
7/17/2018 22:12	31	30.3
7/17/2018 22:22	31	30.4
7/17/2018 22:32	31.1	30.4
7/17/2018 22:42	31	30.3
7/17/2018 22:52	31.1	30.4
7/17/2018 23:02	31	30.3
7/17/2018 23:12	31	30.3
7/17/2018 23:22	31	30.3
7/17/2018 23:32	31.1	30.4
7/17/2018 23:42	31.1	30.3
7/17/2018 23:52	31.1	30.4
7/18/2018 0:02	31.1	30.3
7/18/2018 0:12	31	30.3
7/18/2018 0:22	31	30.2
7/18/2018 0:32	31.1	30.3
7/18/2018 0:42	31	30.3
7/18/2018 0:52	31	30.3
7/18/2018 1:02	31.1	30.3
7/18/2018 1:12	31.1	30.3
7/18/2018 1:22	31.1	30.3
7/18/2018 1:32	31.1	30.3
7/18/2018 1:42	31.1	30.2
7/18/2018 1:52	31.1	30.3
7/18/2018 2:02	31.1	30.2
7/18/2018 2:12	31.1	30.2
7/18/2018 2:22	31.1	30.2
7/18/2018 2:32	31	30.3
7/18/2018 2:42	31	30.2
7/18/2018 2:52	31	30.1
7/18/2018 3:02	31	30.2
7/18/2018 3:12	31	30.2

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/18/2018 3:22	31	30.1
7/18/2018 3:32	31	30.1
7/18/2018 3:42	31	30.2
7/18/2018 3:52	31.1	30.2
7/18/2018 4:02	31	30.2
7/18/2018 4:12	31	30.2
7/18/2018 4:22	31	30.1
7/18/2018 4:32	31.1	30.2
7/18/2018 4:42	31.1	30.2
7/18/2018 4:52	31	30.1
7/18/2018 5:02	31	30.1
7/18/2018 5:12	31	30.1
7/18/2018 5:22	31.1	30.1
7/18/2018 5:32	31	30.1
7/18/2018 5:42	31	30.1
7/18/2018 5:52	31.1	30.2
7/18/2018 6:02	31	30.1
7/18/2018 6:12	31	30.1
7/18/2018 6:22	31.1	30.1
7/18/2018 6:32	31	30.1
7/18/2018 6:42	31	30.1
7/18/2018 6:52	31.1	30.1
7/18/2018 7:02	31.1	30.2
7/18/2018 7:12	31.1	30.2
7/18/2018 7:22	31.1	30.2
7/18/2018 7:32	31.1	30.2
7/18/2018 7:42	31.1	30.2
7/18/2018 7:52	31.1	30.3
7/18/2018 8:02	31.2	30.3
7/18/2018 8:12	31.1	30.2
7/18/2018 8:22	31.1	30.1
7/18/2018 8:32	31.1	30.2
7/18/2018 8:42	31.1	30.2
7/18/2018 8:52	31.1	30.2

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/18/2018 9:02	31.1	30.2
7/18/2018 9:12	31.1	30.2
7/18/2018 9:22	31	30.1
7/18/2018 9:32	31	30.1
7/18/2018 9:42	31.1	30.2
7/18/2018 9:52	31.2	30.3
7/18/2018 10:02	31.3	30.4
7/18/2018 10:12	31.3	30.4
7/18/2018 10:22	31.2	30.3
7/18/2018 10:32	31.2	30.3
7/18/2018 10:42	31.2	30.3
7/18/2018 10:52	31.2	30.4
7/18/2018 11:02	31.1	30.2
7/18/2018 11:12	31.1	30.3
7/18/2018 11:22	31.2	30.4
7/18/2018 11:32	31.3	30.5
7/18/2018 11:42	31.3	30.5
7/18/2018 11:52	31.4	30.6
7/18/2018 12:02	31.4	30.6
7/18/2018 12:12	31.5	30.7
7/18/2018 12:22	31.6	30.8
7/18/2018 12:32	31.6	30.8
7/18/2018 12:42	31.5	30.7
7/18/2018 12:52	31.5	30.8
7/18/2018 13:02	31.6	30.8
7/18/2018 13:12	31.6	30.9
7/18/2018 13:22	31.6	30.9
7/18/2018 13:32	31.6	30.8
7/18/2018 13:42	31.6	30.8
7/18/2018 13:52	31.6	30.9
7/18/2018 14:02	31.6	30.9
7/18/2018 14:12	31.6	30.9
7/18/2018 14:22	31.6	30.9
7/18/2018 14:32	31.7	31

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/18/2018 14:42	31.7	31
7/18/2018 14:52	31.7	31
7/18/2018 15:02	31.6	30.9
7/18/2018 15:12	31.6	30.9
7/18/2018 15:22	31.7	31
7/18/2018 15:32	31.8	31.1
7/18/2018 15:42	31.9	31.1
7/18/2018 15:52	31.8	31.1
7/18/2018 16:02	31.8	31
7/18/2018 16:12	31.8	31
7/18/2018 16:22	31.8	31
7/18/2018 16:32	31.7	31
7/18/2018 16:42	31.7	30.9
7/18/2018 16:52	31.6	30.9
7/18/2018 17:02	31.5	30.8
7/18/2018 17:12	31.6	30.8
7/18/2018 17:22	31.5	30.8
7/18/2018 17:32	31.5	30.8
7/18/2018 17:42	31.4	30.7
7/18/2018 17:52	31.5	30.7
7/18/2018 18:02	31.3	30.6
7/18/2018 18:12	31.3	30.6
7/18/2018 18:22	31.4	30.6
7/18/2018 18:32	31.3	30.5
7/18/2018 18:42	31.2	30.5
7/18/2018 18:52	31.2	30.4
7/18/2018 19:02	31.2	30.4
7/18/2018 19:12	31.2	30.4
7/18/2018 19:22	31.2	30.3
7/18/2018 19:32	31.2	30.4
7/18/2018 19:42	31.2	30.4
7/18/2018 19:52	31.1	30.3
7/18/2018 20:02	31.1	30.3
7/18/2018 20:12	31.1	30.2

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/18/2018 20:22	31.1	30.2
7/18/2018 20:32	31.1	30.3
7/18/2018 20:42	31.1	30.2
7/18/2018 20:52	31	30.1
7/18/2018 21:02	31.1	30.2
7/18/2018 21:12	31	30.1
7/18/2018 21:22	31.1	30.2
7/18/2018 21:32	31.1	30.2
7/18/2018 21:42	31.1	30.1
7/18/2018 21:52	31.1	30.1
7/18/2018 22:02	31	30.1
7/18/2018 22:12	31.1	30.1
7/18/2018 22:22	31.1	30.1
7/18/2018 22:32	31.1	30
7/18/2018 22:42	31	30.1
7/18/2018 22:52	31.1	30.1
7/18/2018 23:02	31.1	30.1
7/18/2018 23:12	31	30
7/18/2018 23:22	31	30
7/18/2018 23:32	31.1	30.1
7/18/2018 23:42	31.1	30.1
7/18/2018 23:52	31.1	30.1
7/19/2018 0:02	31.1	30.1
7/19/2018 0:12	31.1	30.1
7/19/2018 0:22	31	30
7/19/2018 0:32	31.1	30.1
7/19/2018 0:42	31.1	30
7/19/2018 0:52	31.1	30
7/19/2018 1:02	31.1	30.1
7/19/2018 1:12	31	30
7/19/2018 1:22	31.1	30.1
7/19/2018 1:32	31.1	30.1
7/19/2018 1:42	31.1	30.1
7/19/2018 1:52	31.1	30.1

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/19/2018 2:02	31	30
7/19/2018 2:12	31.1	30.1
7/19/2018 2:22	31.1	30.1
7/19/2018 2:32	31	30.1
7/19/2018 2:42	31.1	30.1
7/19/2018 2:52	31.1	30.1
7/19/2018 3:02	31	30
7/19/2018 3:12	31.1	30.1
7/19/2018 3:22	31	30.1
7/19/2018 3:32	31	30
7/19/2018 3:42	31	30
7/19/2018 3:52	31	30.1
7/19/2018 4:02	31	30
7/19/2018 4:12	31.1	30
7/19/2018 4:22	31.1	30
7/19/2018 4:32	31.1	30
7/19/2018 4:42	31.1	30
7/19/2018 4:52	31.1	30
7/19/2018 5:02	31.1	30
7/19/2018 5:12	31.1	30.1
7/19/2018 5:22	31.1	30.1
7/19/2018 5:32	31.1	30.1
7/19/2018 5:42	31	30
7/19/2018 5:52	31	30
7/19/2018 6:02	31	30
7/19/2018 6:12	31	29.9
7/19/2018 6:22	31	29.9
7/19/2018 6:32	31.1	30
7/19/2018 6:42	31.1	30.1
7/19/2018 6:52	31.1	30
7/19/2018 7:02	31	29.9
7/19/2018 7:12	31.1	29.9
7/19/2018 7:22	31.1	30
7/19/2018 7:32	31	29.9

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	บริเวณใต้ผิวตะกอนท้องน้ำ 8.00 ม. (8-m)	บริเวณผิวตะกอนท้องน้ำ (RB)
7/19/2018 7:42	31.1	30
7/19/2018 7:52	31.1	30
7/19/2018 8:02	31.3	30.1
7/19/2018 8:12	31.3	30.1
7/19/2018 8:22	31.3	30.2
7/19/2018 8:32	31.4	30.2
7/19/2018 8:42	31.3	30.1
7/19/2018 8:52	31.5	30.3
7/19/2018 9:02	31.4	30.3
7/19/2018 9:12	31.5	30.3
7/19/2018 9:22	31.5	30.3
7/19/2018 9:32	31.6	30.4
7/19/2018 9:42	31.8	30.5
7/19/2018 9:52	31.9	30.7
7/19/2018 10:02	31.7	30.5
7/19/2018 10:12	31.7	30.6
7/19/2018 10:22	31.6	30.6
7/19/2018 10:32	31.9	30.8
7/19/2018 10:42	31.8	30.7
7/19/2018 10:52	31.8	30.8
7/19/2018 11:02	32	30.9
7/19/2018 11:12	31.9	30.9
7/19/2018 11:22	32.2	31
7/19/2018 11:32	32.3	31.2
7/19/2018 11:42	32.3	31.2
7/19/2018 11:52	31.8	30.8
7/19/2018 12:02	31.9	30.9
7/19/2018 12:12	31.7	30.7
7/19/2018 12:22	31.6	30.7
7/19/2018 12:32	31.7	30.8

ภาคผนวก ช.ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้ในแผนภูมิไปเปอร์ โปรแกรม PMF และ โปรแกรม PHREEQC

ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้ในแผนภูมิไปเปอร์

ตัวอย่าง	ชั้นน้ำบาดาล	mg/L								
		Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4	F
NKW-STA05-1_2013	LCP-S2	12	5.9	10	1.3	42	0	21	1	0.2
NKW-STA05-1_2016	LCP-S2	210	70	950	5.8	18	0	2000	4	0.2
NKW-STA05-2_2013	LCP-S2	64	14	310	2.2	34	9	600	0.5	0.2
NKW-STA05-2_2016	LCP-S2	110	25	470	5.1	27	0	960	3	0.2
GWDP-01_2014	NCP-HS100	21	4.6	5	0.2	85	0	0.75	17	0.2
GWDP-01_2015	NCP-HS100	24	6.5	5	0.2	89	0	0.75	16	0.2
GWDP-03_2014	NCP-HS100	50	22	57	0.2	323	0	18	65	0.4
GWDP-03_2015	NCP-HS100	68	22	73	0.5	402	0	18	71	0.4
GWDP-04_2014	NCP-HS100	20	7.3	8	2	94	0	6.8	12	0.2
GWDP-04_2015	NCP-HS100	20	10	7	1.8	114	0	3.6	10	0.2
GWDP-06_2014	NCP-HS100	60	2.1	48	0.2	323	0	7.6	0.5	0.2
GWDP-06_2015	NCP-HS100	55	3	53	0.2	326	0	6	5	0.2
GWDP-07_2014	NCP-HS100	20	7.2	6	1.4	104	0	9.2	0.5	0.2
GWDP-07_2015	NCP-HS100	7.8	7.7	5	2	58	0	6.4	2	0.2
GWDP-09_2014	NCP-HS100	100	18	59	1.4	516	0	8.8	44	0.2
GWDP-09_2015	NCP-HS100	90	20	66	0.8	526	0	6.4	39	0.2
GWDP-10_2014	NCP-HS100	150	8.8	43	0.7	547	0	10	50	0.2
GWDP-10_2015	NCP-HS100	170	8.1	38	0.2	645	0	5.2	22	0.2
GWDP-12_2011	NCP-HS100	70	44	32	6.2	344	0	10	160	0.2
GWDP-12_2014	NCP-HS100	31	33	5	0.9	0.2	305	8	12	0.2
GWDP-12_2015	NCP-HS100	38	38	5.7	0.4	0.2	387	8	10	0.2
NT126_2016	NCP-HS100	12	3.5	4	0.2	56	0	2	3	0.1
NT128_2016	NCP-HS100	50	26	94	0.6	355	0	21	75	0.4
NT129_2016	NCP-HS100	13	12	12	1.5	98	0	8.8	7	0.1
NT132_2016	NCP-HS100	29	6.2	8	0.7	129	0	7.2	2	0.1
NT135_2016	NCP-HS100	170	0.4	41	0.2	637	0	12	40	0.2
NT137_2016	NCP-HS100	95	33	34	4.7	343	0	10	180	0.2
NT1/2_2011	NCP-S1	19	4.6	85	6.6	324	0	4.4	1	0.9
NT1/2_2014	NCP-S1	21	2.6	82	6.9	298	0	11	1	0.9
NT1/2_2015	NCP-S1	19	6	93	7.7	327	0	8	0.5	1.1
NT1/2_2016	NCP-S1	24	4.3	100	6.8	326	0	7.2	2	0.9
NT1/2-Apr_2013	NCP-S1	19	3.3	100	7.4	264	0	4	3	0.8
NT1/2-Aug_2013	NCP-S1	9	7.1	96	7.3	260	0	7.2	3	1

ตัวอย่าง	ชั้นน้ำบาดาล	mg/L								
		Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4	F
NT102/3_2011	NCP-S1	16	2.2	11	1.2	87	0	3.2	2	0.2
NT102/3_2012	NCP-S1	32	9.1	15	1.4	167	0	5.6	5	0.2
NT102/3_2013	NCP-S1	31	10	15	2	186	13	3.6	0.5	0.2
NT102/3_2014	NCP-S1	44	4.4	11	1.8	184	0	6.4	0.5	0.2
NT102/3_2015	NCP-S1	34	6.8	23	2.4	191	0	3.2	0.5	0.2
NT102/3_2016	NCP-S1	8.3	3.2	15	1.8	85	0	2	0.5	0.2
NT103/3_2012	NCP-S1	26	7.1	42	1.2	202	0	7.6	6	0.2
NT103/3_2013	NCP-S1	23	7.9	39	0.9	199	0	5.2	6	0.2
NT103/3_2015	NCP-S1	19	5.4	46	1.2	174	0	4.8	12	0.2
NT103/3_2016	NCP-S1	30	0.4	40	1	171	0	4	8	0.2
NT107/3_2011	NCP-S1	17	6.7	29	1.3	107	0	4.4	49	0.2
NT107/3_2013	NCP-S1	16	8.5	23	1	117	0	3.6	36	0.2
NT107/3_2015	NCP-S1	20	6.2	33	1.8	63	0	7.2	72	0.2
NT107/3_2016	NCP-S1	21	11	22	1.6	71	92	4.4	62	0.2
NT108/3_2011	NCP-S1	25	9.6	160	2.2	589	0	7.2	8	0.7
NT108/3_2012	NCP-S1	16	8	290	2.4	673	59	8	5	0.8
NT108/3_2013	NCP-S1	8	20	230	1.4	666	55	6	2	0.6
NT108/3_2014	NCP-S1	11	27	260	1.4	673	0	14	0.5	0.7
NT108/3_2015	NCP-S1	17	7.6	260	2.3	668	0	6	1	0.6
NT108/3_2016	NCP-S1	42	15	200	1.2	706	0	7	2	0.8
NT2_2011	NCP-S1	11	2	13	1.7	88	0	2	1	0.2
NT2_2014	NCP-S1	8.2	3.6	13	2.1	76	0	2	0.5	0.2
NT2_2015	NCP-S1	7.5	3.2	11	1.9	74	0	0.75	0.5	0.2
NT2_2016	NCP-S1	11	2.2	14	1.6	74	0	0.75	6	0.2
NT2-Apr_2013	NCP-S1	9.1	0.1	18	1.5	73	0	0.75	0.5	0.2
NT2-Aug_2013	NCP-S1	25	1.7	18	2.1	126	0	2	0.5	0.2
NT44/2_2011	NCP-S1	21	9.7	250	1.3	345	0	220	39	0.4
NT44/2_2012	NCP-S1	16	5.6	9	2.5	84	0	4.8	4	0.2
NT44/2_2013	NCP-S1	39	7.2	120	0.2	187	26	160	28	0.2
NT5_2011	NCP-S1	14	4.3	38	2.4	173	10	1.6	0.5	0.6
NT5_2014	NCP-S1	13	2.7	38	2.4	167	0	2	0.5	0.6
NT5_2015	NCP-S1	11	3.7	41	1.9	162	0	1.6	0.5	0.6
NT5_2016	NCP-S1	15	6.6	34	1.6	164	0	0.75	0.5	0.5
NT50/1_2011	NCP-S1	31	3	33	14	113	0	57	1	0.2
NT5-Apr_2013	NCP-S1	13	2.4	44	1.3	163	0	0.75	1	0.4
NT5-Aug_2013	NCP-S1	12	4.5	47	1.9	147	0	2	0.5	0.5
NT6_2011	NCP-S1	14	1.9	110	2.6	364	10	2.8	4	0.4
NT6_2014	NCP-S1	21	0.8	20	3.4	137	0	0.75	0.5	0.4
NT6_2015	NCP-S1	22	3	35	3.7	170	0	2	0.5	0.8
NT6_2016	NCP-S1	25	0.6	31	3	161	0	0.75	0.5	0.6

ตัวอย่าง	ชั้นน้ำบาดาล	mg/L								
		Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4	F
NT6-Apr_2013	NCP-S1	27	4.6	32	3.9	181	0	2.4	0.5	0.4
NT6-Aug_2013	NCP-S1	30	2.3	28	3.7	157	0	2.8	1	0.5
NT97/2_2011	NCP-S1	29	5.2	100	1.8	395	0	3.2	0.5	0.6
NT97/2_2012	NCP-S1	24	9.9	120	1.3	353	0	40	5	0.7
NT97/2_2013	NCP-S1	33	11	140	0.8	474	0	8.4	0.5	0.4
NT97/2_2014	NCP-S1	32	11	120	1.4	477	0	15	0.5	0.6
NT97/2_2015	NCP-S1	33	8.2	140	3.2	485	0	15	0.5	0.6
NT97/2_2016	NCP-S1	36	15	100	2.6	423	0	14	18	0.8
NT97/3_2011	NCP-S1	31	7	33	1.4	203	0	0.75	3	0.2
NT97/3_2012	NCP-S1	16	4.4	25	1.1	118	0	6.8	7	0.2
NT97/3_2013	NCP-S1	54	8.1	24	0.9	265	0	2.8	3	0.2
NT97/3_2015	NCP-S1	47	4.7	24	1.8	229	0	2.4	0.5	0.2
NT97/3_2016	NCP-S1	53	9.3	23	1.4	268	0	5.6	7	0.2
NT100_2011	NCP-S2	35	3.2	25	4.4	195	0	4.8	1	0.2
NT100_2012	NCP-S2	32	7.5	24	4.4	199	0	6.8	6	0.4
NT100_2013	NCP-S2	56	0.7	19	3.4	230	0	3.6	2	0.2
NT100_2014	NCP-S2	53	24	100	1	306	0	17	210	0.2
NT100_2015	NCP-S2	52	5.5	18	1.6	230	0	6	6	0.2
NT100_2016	NCP-S2	45	9.6	15	1.9	207	0	4	0.5	0.2
NT102/2_2011	NCP-S2	3.7	5.1	26	3.7	105	0	2	1	0.2
NT102/2_2012	NCP-S2	24	3.3	26	3.4	152	0	4.4	5	0.2
NT102/2_2013	NCP-S2	22	5.9	31	3.9	161	0	3.2	0.5	0.2
NT102/2_2014	NCP-S2	26	3.3	23	3.6	168	0	4.4	0.5	0.2
NT102/2_2015	NCP-S2	23	5.2	29	4.3	169	0	3.2	2	0.2
NT102/2_2016	NCP-S2	20	9.5	26	3.3	159	0	1.6	1	0.2
NT103/2_2012	NCP-S2	19	14	38	1.1	212	0	5.2	3	0.2
NT103/2_2013	NCP-S2	21	6.3	39	0.8	194	0	2.4	0.5	0.2
NT103/2_2014	NCP-S2	22	6.2	36	1	205	0	2.4	0.5	0.2
NT103/2_2015	NCP-S2	21	6.4	41	1.2	203	0	4	0.5	0.2
NT103/2_2016	NCP-S2	30	6.8	37	0.9	206	0	1.6	0.5	0.2
NT104/2_2011	NCP-S2	19	9.6	17	1.1	147	0	0.75	1	0.2
NT104/2_2012	NCP-S2	24	9.7	16	0.8	157	0	2.4	5	0.2
NT104/2_2013	NCP-S2	30	8.7	15	1.2	169	0	0.75	1	0.2
NT104/2_2015	NCP-S2	28	8.6	11	4.4	124	0	1.6	10	0.2
NT104/2_2016	NCP-S2	35	3.2	15	2.6	153	0	0.75	0.5	0.2
NT104/3_2011	NCP-S2	14	11	17	1.1	139	0	0.75	1	0.2
NT104/3_2012	NCP-S2	23	9	16	0.8	151	0	1.6	4	0.2
NT104/3_2013	NCP-S2	20	8.3	15	1	135	0	0.75	0.5	0.2
NT104/3_2015	NCP-S2	24	8.5	13	1.9	151	0	0.75	0.5	0.2
NT104/3_2016	NCP-S2	23	9.7	15	1.3	144	0	0.75	0.5	0.2

ตัวอย่าง	ชั้นน้ำบาดาล	mg/L								
		Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4	F
NT105/2_2011	NCP-S2	7.2	6.1	29	3.5	43	0	59	0.5	0.2
NT105/2_2012	NCP-S2	9.6	7.9	32	3.5	40	0	62	2	0.2
NT105/2_2013	NCP-S2	6.4	11	27	3.3	45	0	58	0.5	0.2
NT105/2_2014	NCP-S2	9.8	8.6	30	3.8	52	0	63	0.5	0.2
NT105/2_2015	NCP-S2	7.7	6.8	41	4.3	49	0	61	0.5	0.2
NT105/3_2013	NCP-S2	9.3	6	10	2.8	76	20	7.6	0.5	0.2
NT105/3_2014	NCP-S2	8.5	6.3	9	2.6	72	42	7.2	0.5	0.2
NT105/3_2015	NCP-S2	7.8	7.1	10	2.5	67	84	5.6	0.5	0.2
NT105/3-Nov03_2011	NCP-S2	33	15	160	6.6	44	0	330	0.5	0.2
NT105/3-Nov17_2011	NCP-S2	5.1	2.9	10	2.9	54	0	5.2	2	0.2
NT106/2_2011	NCP-S2	4.8	5.7	100	0.6	298	0	3.2	3	1.2
NT106/2_2012	NCP-S2	8	9	73	0.4	226	0	4	5	1.5
NT106/2_2013	NCP-S2	5	6.3	80	0.6	260	13	0.75	0.5	1.2
NT106/2_2015	NCP-S2	7.8	4	79	1.6	250	0	3.6	0.5	1.2
NT106/2_2016	NCP-S2	5.1	25	40	0.8	230	11	0.75	2	1.5
NT107/2_2011	NCP-S2	20	4.7	70	1.1	263	0	14	2	0.4
NT107/2_2013	NCP-S2	23	9.1	71	1	276	0	14	0.5	0.2
NT107/2_2015	NCP-S2	25	7.9	66	2.4	241	0	12	0.5	0.2
NT107/2_2016	NCP-S2	38	2.7	69	1.6	260	0	12	6	0.2
NT3/3_2011	NCP-S2	16	4	15	8.3	111	0	0.75	0.5	0.2
NT3/3_2014	NCP-S2	19	4.2	16	9.3	137	0	0.75	0.5	0.2
NT3/3_2015	NCP-S2	16	5.8	18	8.9	132	0	2	0.5	0.2
NT3/3_2016	NCP-S2	27	1.1	18	7.2	133	0	0.75	0.5	0.2
NT3/3-Apr_2013	NCP-S2	21	3.6	20	7	133	0	0.75	0.5	0.2
NT3/3-Aug_2013	NCP-S2	16	5.5	18	8.9	132	0	0.75	0.5	0.2
NT3/4_2011	NCP-S2	5.8	1.7	13	5.3	72	0	0.75	0.5	0.2
NT3/4_2014	NCP-S2	7	1	12	5.8	70	0	2	0.5	0.2
NT3/4_2015	NCP-S2	4.5	4.2	11	5.6	70	53	3.6	0.5	0.5
NT3/4_2016	NCP-S2	6.7	4.1	11	4.6	69	32	0.75	0.5	0.4
NT3/4-Apr_2013	NCP-S2	8	1	17	4.6	74	0	0.75	0.5	0.2
NT3/4-Aug_2013	NCP-S2	9.1	5.9	8	5.8	73	0	1.6	2	0.4
NT4/2_2011	NCP-S2	20	4.9	24	4	162	5	3.6	0.5	0.2
NT4/2_2014	NCP-S2	23	4.3	21	3.4	153	0	5.2	1	0.2
NT4/2_2015	NCP-S2	22	5.8	23	3.1	133	0	6.8	0.5	0.2
NT4/2_2016	NCP-S2	6.4	1.4	46	2.9	130	0	7.2	1	0.2
NT4/2-Apr_2013	NCP-S2	26	0.4	23	2.5	131	0	0.75	0.5	0.2
NT4/2-Aug_2013	NCP-S2	24	4.3	19	2.7	134	9	3.6	0.5	0.2
NT43_2011	NCP-S2	24	5.6	9	2.6	127	0	4.4	0.5	0.2
NT43_2012	NCP-S2	23	4.7	14	3.1	118	0	6	2	0.2
NT43_2013	NCP-S2	23	5.2	8	2.9	119	0	4.4	0.5	0.2

ตัวอย่าง	ชั้นน้ำบาดาล	mg/L								
		Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4	F
NT43_2014	NCP-S2	24	3.5	10	2.5	123	0	4.8	0.5	0.2
NT43_2015	NCP-S2	21	6.5	11	2.5	121	0	4.4	0.5	0.2
NT43_2016	NCP-S2	25	6.3	10	2.2	120	0	2.8	0.5	0.2
NT45_2011	NCP-S2	57	14	160	0.5	463	0	140	8	0.2
NT45_2012	NCP-S2	24	11	67	1.4	162	0	160	10	0.2
NT45_2013	NCP-S2	28	12	170	0.4	365	0	140	9	0.2
NT45_2014	NCP-S2	49	18	160	0.6	450	0	140	6	0.2
NT45_2015	NCP-S2	52	14	170	0.6	443	0	140	7	0.2
NT46/3_2011	NCP-S2	33	3.6	20	2.1	157	0	18	0.5	0.2
NT46/3_2012	NCP-S2	16	4.7	13	2.5	103	0	7.2	6	0.2
NT46/3_2013	NCP-S2	18	5.1	14	2	107	0	5.2	3	0.2
NT46/3_2014	NCP-S2	21	3.4	10	2	104	0	6.4	3	0.2
NT46/3_2015	NCP-S2	16	5.3	14	1.9	100	0	3.2	0.5	0.2
NT47/3_2011	NCP-S2	39	7.8	380	3.9	44	0	710	0.5	0.8
NT47/3_2012	NCP-S2	18	7.5	27	1.7	159	0	7.2	4	0.2
NT47/3_2013	NCP-S2	20	8.3	29	0.9	164	0	4.4	3	0.2
NT47/3_2014	NCP-S2	19	8.3	22	1.1	158	0	6	2	0.2
NT47/3_2015	NCP-S2	18	8.3	29	1.2	156	0	6	17	0.2
NT47/3_2016	NCP-S2	20	9.4	25	1.1	155	0	3.6	0.5	0.2
NT49_2011	NCP-S2	9	2.3	28	2.5	109	0	8.4	2	0.2
NT49_2012	NCP-S2	11	3.9	25	2.4	103	0	12	5	0.2
NT49_2013	NCP-S2	9.6	2.4	30	2.5	110	0	10	1	0.2
NT49_2014	NCP-S2	9.8	5.6	25	2.4	109	0	11	7	0.2
NT49_2015	NCP-S2	9	4.1	29	1.9	106	0	11	0.5	0.2
NT49_2016	NCP-S2	12	2.3	29	2	105	0	8	1	0.2
NT50/3_2013	NCP-S2	15	6.3	33	1.4	147	0	0.75	4	0.2
NT50/3_2014	NCP-S2	16	7.5	13	1.7	123	0	3.6	0.5	0.2
NT50/3_2015	NCP-S2	9.6	6.5	18	1.8	101	0	2.8	0.5	0.2
NT50/3_2016	NCP-S2	16	6.3	96	0.8	298	0	0.75	0.5	2.2
NT51_2011	NCP-S2	20	4.3	23	1.4	148	0	6.4	0.5	0.2
NT51_2012	NCP-S2	19	8.6	23	1.6	146	0	10	5	0.2
NT51_2013	NCP-S2	22	9.8	24	1.9	153	0	5.6	3	0.2
NT51_2014	NCP-S2	23	8.9	18	1.4	147	0	10	4	0.2
NT51_2015	NCP-S2	19	8.8	13	1.9	125	0	10	6	0.2
NT51_2016	NCP-S2	25	6.5	15	1.6	130	0	8.8	5	0.2
NT52_2011	NCP-S2	28	9.9	20	1.6	186	0	6	10	0.2
NT52_2012	NCP-S2	30	10	23	1.6	178	0	9.2	14	0.2
NT52_2013	NCP-S2	63	10	24	1.4	237	0	29	10	0.2
NT52_2014	NCP-S2	35	9.5	20	1.4	188	0	12	14	0.2
NT52_2015	NCP-S2	36	11	23	1.9	197	0	14	7	0.2

ตัวอย่าง	ชั้นน้ำบาดาล	mg/L								
		Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4	F
NT52_2016	NCP-S2	36	7.1	21	1.6	185	0	8	8	0.2
NT53/3_2011	NCP-S2	75	19	14	1.1	319	0	28	0.5	0.2
NT53/3_2012	NCP-S2	24	9.8	15	1.7	148	0	5.2	5	0.2
NT53/3_2013	NCP-S2	22	13	12	1.7	151	0	0.75	0.5	0.2
NT53/3_2014	NCP-S2	23	11	11	2.2	152	0	3.2	0.5	0.2
NT53/3_2015	NCP-S2	21	11	12	1.8	149	0	2.4	0.5	0.2
NT53/3_2016	NCP-S2	26	6.2	12	1.6	139	0	0.75	0.5	0.2
NT54/2_2011	NCP-S2	8.5	3.4	6	1	44	0	4	0.5	0.2
NT54/2_2012	NCP-S2	12	5	5	1.4	60	0	6.4	3	0.2
NT54/2_2013	NCP-S2	19	4.4	6	2.7	70	0	16	0.5	0.2
NT54/2_2014	NCP-S2	12	4.6	7	6.5	70	0	4.8	0.5	0.2
NT54/2_2015	NCP-S2	10	4.6	2	15	77	0	0.75	0.5	0.2
NT92_2011	NCP-S2	14	7.6	60	1.2	238	0	8.8	0.5	0.5
NT92_2012	NCP-S2	15	7.2	64	0.9	237	0	11	5	0.5
NT92_2013	NCP-S2	16	5.3	65	1	246	0	8	3	0.5
NT92_2014	NCP-S2	16	7.6	66	1.1	248	0	8.4	3	0.5
NT92_2015	NCP-S2	22	2.7	61	1.6	245	0	9.6	1	0.4
NT92_2016	NCP-S2	12	21	40	1	227	24	10	0.5	0.5
NT93_2011	NCP-S2	26	1.5	22	3.7	153	0	0.75	0.5	0.4
NT93_2012	NCP-S2	20	5.1	120	2.1	318	0	13	4	0.4
NT93_2013	NCP-S2	20	4.7	110	1.7	384	0	11	0.5	0.2
NT93_2014	NCP-S2	18	8.5	110	1.8	384	0	14	0.5	0.4
NT93_2015	NCP-S2	23	0.5	120	2.4	380	0	10	0.5	0.2
NT93_2016	NCP-S2	18	32	52	1.7	333	0	4.8	0.5	0.4
NT94/2_2011	NCP-S2	88	30	45	0.9	367	0	8.4	150	0.2
NT94/2_2012	NCP-S2	97	34	56	1.3	393	0	13	200	0.2
NT94/2_2013	NCP-S2	36	17	47	1.9	236	0	16	42	0.2
NT94/2_2014	NCP-S2	88	31	46	1	410	0	12	100	0.2
NT94/2_2015	NCP-S2	84	25	55	1.4	383	0	8.8	85	0.2
NT94/2_2016	NCP-S2	90	34	48	1.1	435	0	8.4	63	0.2
NT95_2011	NCP-S2	16	5.6	45	2.1	191	0	5.2	17	0.2
NT95_2012	NCP-S2	43	10	49	1.7	107	0	17	150	0.2
NT95_2013	NCP-S2	21	9.5	30	1.9	96	0	4.4	61	0.2
NT95_2014	NCP-S2	43	16	57	1.8	158	0	52	98	0.2
NT95_2015	NCP-S2	44	19	67	1.6	154	15	110	61	0.6
NT96/3_2011	NCP-S2	12	7.6	50	0.7	162	0	16	0.5	0.2
NT96/3_2012	NCP-S2	14	9.9	72	1.2	229	0	10	5	0.5
NT96/3_2013	NCP-S2	15	8.8	68	0.6	259	0	8	8	0.2
NT96/3_2014	NCP-S2	16	8.8	63	0.7	206	0	8.8	7	0.4
NT96/3_2015	NCP-S2	19	8.3	66	0.8	260	0	11	2	0.4

ตัวอย่าง	ชั้นน้ำบาดาล	mg/L								
		Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4	F
NT96/3_2016	NCP-S2	14	20	46	0.7	274	20	8	0.5	0.6
NT98/2_2011	NCP-S2	21	9.4	34	1.8	196	0	12	0.5	0.2
NT98/2_2012	NCP-S2	22	9.4	34	1.7	181	0	13	4	0.2
NT98/2_2013	NCP-S2	21	9.6	37	1.7	188	0	11	2	0.2
NT98/2_2014	NCP-S2	24	6.2	33	2.1	182	0	13	0.5	0.2
NT98/2_2015	NCP-S2	22	7.3	35	2.4	186	0	12	0.5	0.2
NT98/2_2016	NCP-S2	26	7.6	30	1.7	181	0	13	0.5	0.2
NT99/1_2011	NCP-S2	27	14	77	1	232	0	30	68	0.6
NT99/1_2012	NCP-S2	26	15	76	1.2	247	0	33	68	0.7
NT99/1_2013	NCP-S2	25	17	86	1	254	0	30	60	0.4
NT99/1_2014	NCP-S2	6.4	11	360	2.5	947	0	8	2	5.6
NT99/1_2015	NCP-S2	28	6.9	70	3.2	233	0	30	41	0.6
NT99/1_2016	NCP-S2	24	18	37	2.1	241	0	28	0.5	0.8
NT99/2_2011	NCP-S2	62	21	100	1.3	315	0	16	220	0.2
NT99/2_2012	NCP-S2	64	28	110	1.6	256	0	20	300	0.2
NT99/2_2013	NCP-S2	45	25	120	1.1	260	0	15	200	0.2
NT99/2_2014	NCP-S2	24	14	69	1.8	219	0	30	45	0.7
NT99/2_2015	NCP-S2	46	25	100	0.8	295	0	17	170	0.2
NT99/2_2016	NCP-S2	43	4.6	48	1.1	284	0	14	0.5	0.2
5407D029_2014	NCP-S3	7.2	9	260	1	544	51	32	4	2.2
GWA127_2012	NCP-S3	24	6	6	14	5	0	63	4	0.2
NT1/1_2011	NCP-S3	60	4.1	20	4.9	284	35	2	0.5	0.2
NT1/1-Apr_2013	NCP-S3	45	12	24	4.4	143	21	84	1	0.2
NT1/1-Aug_2013	NCP-S3	35	3.2	19	3.8	160	0	6	0.5	0.2
NT102/1_2013	NCP-S3	5.3	0.2	25	2.7	82	0	3.6	0.5	0.5
NT102/1_2014	NCP-S3	4.2	1.2	24	2.5	82	0	4.4	0.5	0.6
NT102/1_2015	NCP-S3	1.6	1.8	29	3	75	0	4.4	3	0.7
NT102/1-Nov_2011	NCP-S3	5.6	3.3	17	2.2	70	0	4.8	3	0.9
NT102/1-Sep_2011	NCP-S3	2.1	6.3	23	2.4	92	0	4.4	1	1.7
NT103/1_2012	NCP-S3	4.8	4.4	39	0.8	85	0	9.6	4	0.2
NT103/1_2013	NCP-S3	7.2	2.5	36	0.9	115	0	8	0.5	0.2
NT103/1_2015	NCP-S3	3.5	2	41	1.2	106	0	8.4	0.5	0.2
NT103/1_2016	NCP-S3	3.8	2.7	36	1	105	0	6.8	0.5	0.2
NT104/1_2011	NCP-S3	19	9.9	18	1.3	150	0	0.75	1	0.2
NT104/1_2012	NCP-S3	13	9.1	16	1.3	127	0	4	4	0.2
NT104/1_2013	NCP-S3	9.3	8.3	18	1.4	119	0	3.6	0.5	0.2
NT104/1_2014	NCP-S3	10	10	21	1.7	120	0	3.6	0.5	0.2
NT104/1_2015	NCP-S3	11	8.9	24	1.8	136	0	2.8	0.5	0.2
NT104/1_2016	NCP-S3	19	10	23	1.3	151	0	1.6	0.5	0.2
NT105/1_2013	NCP-S3	55	28	190	8	46	0	450	0.5	0.2

ตัวอย่าง	ชั้นน้ำบาดาล	mg/L								
		Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4	F
NT105/1_2014	NCP-S3	64	23	200	8.2	46	0	460	0.5	0.2
NT105/1_2015	NCP-S3	56	25	230	8.2	45	0	460	0.5	0.2
NT105/1_2016	NCP-S3	64	21	210	6.9	45	0	450	0.5	0.2
NT105/1-Nov03_2011	NCP-S3	7	7.8	11	2.6	67	0	11	0.5	0.2
NT105/1-Nov17_2011	NCP-S3	54	20	200	8.5	38	0	440	3	0.2
NT106/1_2011	NCP-S3	16	9.4	89	2.9	278	88	23	12	1.2
NT106/1_2012	NCP-S3	4.8	1.9	93	2.3	210	96	20	2	1
NT106/1_2013	NCP-S3	21	4.6	100	2.5	193	0	17	0.5	0.8
NT106/1_2014	NCP-S3	1.9	5	110	2.5	118	14	18	0.5	1.1
NT106/1_2015	NCP-S3	1	0.6	120	3.4	131	0	19	0.5	1
NT106/1_2016	NCP-S3	1.3	6.3	100	2.6	107	0	14	0.5	1
NT107/1_2011	NCP-S3	20	5.5	73	1.1	268	0	20	2	0.2
NT107/1_2012	NCP-S3	4.2	5.3	85	1.6	185	0	19	5	0.2
NT107/1_2013	NCP-S3	12	5.9	79	1.1	247	0	15	0.5	0.2
NT107/1_2014	NCP-S3	7	6.7	74	1.4	201	0	15	0.5	0.2
NT107/1_2015	NCP-S3	5	4.8	71	0.6	211	0	13	0.5	0.2
NT107/1_2016	NCP-S3	4.8	8.8	60	0.9	203	0	12	0.5	0.2
NT108/1_2011	NCP-S3	8	20	300	1.3	716	45	35	33	1.4
NT108/1_2012	NCP-S3	21	13	300	2.1	530	99	42	5	1.7
NT108/1_2013	NCP-S3	4	13	280	1	603	160	27	1	1.7
NT108/1_2015	NCP-S3	7.6	1.5	230	1.5	417	0	31	0.5	1.8
NT108/1_2016	NCP-S3	5.8	7.1	190	0.9	222	43	27	0.5	2.2
NT108/2_2011	NCP-S3	18	8.5	270	1.6	786	0	29	7	0.8
NT108/2_2012	NCP-S3	22	9.7	300	2.4	691	49	28	6	1.1
NT108/2_2013	NCP-S3	18	16	290	1.4	821	31	28	0.5	0.9
NT108/2_2014	NCP-S3	15	14	280	1	709	0	31	3	1
NT108/2_2015	NCP-S3	22	4.6	280	2.3	759	0	25	0.5	0.9
NT108/2_2016	NCP-S3	25	25	190	1	688	44	27	1	1.2
NT3/1_2011	NCP-S3	40	7	5	1.2	169	0	6	1	0.2
NT3/1_2014	NCP-S3	4.2	1.7	2	0.8	37	0	4.4	0.5	0.8
NT3/1_2015	NCP-S3	2.9	2.6	5	0.6	21	0	3.6	5	0.2
NT3/1-Apr_2013	NCP-S3	16	7	6	0.2	65	0	4.4	0.5	0.2
NT3/1-Aug_2013	NCP-S3	7	4.8	2	0.5	36	0	4.4	0.5	0.2
NT3/2_2011	NCP-S3	26	4.2	20	9.6	157	0	1.6	3	0.2
NT3/2_2014	NCP-S3	27	3.8	20	9.7	170	0	0.75	0.5	0.2
NT3/2_2015	NCP-S3	24	5.2	22	9.1	164	0	3.6	0.5	0.2
NT3/2_2016	NCP-S3	30	0.6	20	7.6	163	0	0.75	0.5	0.2
NT3/2-Apr_2013	NCP-S3	26	6	26	7.1	172	0	0.75	0.5	0.2
NT3/2-Aug_2013	NCP-S3	26	5.4	18	8.8	162	0	0.75	1	0.2
NT4/1_2011	NCP-S3	21	1.9	48	1.6	42	0	5.2	0.5	0.5

ตัวอย่าง	ชั้นน้ำบาดาล	mg/L								
		Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4	F
NT4/1_2014	NCP-S3	2.6	0.3	44	3	93	0	6.4	0.5	0.4
NT4/1_2015	NCP-S3	1.3	0.7	46	2.4	88	0	6.4	0.5	0.4
NT4/1-Apr_2013	NCP-S3	1	1.3	55	1.5	61	18	10	1	0.2
NT4/1-Aug_2013	NCP-S3	1.1	0.5	47	2	132	15	6.8	0.5	0.2
NT44/1_2011	NCP-S3	38	7.9	120	0.2	142	0	170	55	0.2
NT44/1_2012	NCP-S3	12	4.9	53	1.9	174	0	22	13	0.2
NT44/1_2013	NCP-S3	10	4.5	56	1.1	181	0	18	2	0.2
NT46/1_2011	NCP-S3	17	5.6	15	1.9	101	0	6.4	1	0.2
NT46/1_2012	NCP-S3	43	4.5	130	4	159	0	220	5	0.2
NT46/1_2013	NCP-S3	38	6.8	120	3.8	160	0	190	0.5	0.2
NT46/1_2014	NCP-S3	47	12	60	1.7	238	0	62	46	0.5
NT46/1_2015	NCP-S3	22	12	88	1.8	250	0	45	39	0.2
NT46/2_2011	NCP-S3	22	4.8	18	2.5	138	0	8	0.5	0.2
NT46/2_2012	NCP-S3	21	5	18	2.5	131	0	10	5	0.2
NT46/2_2013	NCP-S3	21	3.7	28	2.7	129	0	13	1	0.2
NT46/2_2014	NCP-S3	22	3.7	19	2.4	127	0	14	0.5	0.2
NT46/2_2015	NCP-S3	20	4.6	18	2.5	127	0	12	0.5	0.6
NT47/1_2011	NCP-S3	18	7.5	24	1.2	164	0	5.2	0.5	0.2
NT47/1_2012	NCP-S3	46	90	240	4.2	80	0	730	4	0.8
NT47/1_2013	NCP-S3	46	36	420	4	66	0	730	2	0.7
NT47/1_2014	NCP-S3	37	14	380	3.8	20	0	720	0.5	0.9
NT47/1_2015	NCP-S3	30	24	400	3.7	23	0	740	17	1.1
NT47/2_2011	NCP-S3	7.4	5.3	40	1.4	162	0	2.4	0.5	0.6
NT47/2_2012	NCP-S3	7.2	5.9	38	0.8	151	0	2.8	4	0.7
NT47/2_2013	NCP-S3	9	5.1	44	1.2	154	0	0.75	1	0.6
NT47/2_2014	NCP-S3	8.8	3.8	40	1.4	161	0	3.6	0.5	0.7
NT47/2_2015	NCP-S3	7.5	4.3	47	1.2	158	0	2	12	0.8
NT47/2_2016	NCP-S3	10	3.4	44	1.2	158	0	0.75	0.5	0.6
NT48/1_2011	NCP-S3	27	11	120	3.3	30	0	270	1	0.2
NT48/1_2012	NCP-S3	8	18	150	4.3	162	0	330	5	0.2
NT48/1_2013	NCP-S3	12	12	120	2.3	5	0	260	1	0.2
NT48/1_2014	NCP-S3	14	14	120	2.2	19	0	270	2	0.2
NT48/1_2015	NCP-S3	11	20	190	4.9	162	0	390	0.5	0.2
NT48/1_2016	NCP-S3	13	14	140	2.2	4	0	290	6	0.2
NT48/2_2011	NCP-S3	36	19	130	2.9	28	0	340	1	0.2
NT48/2_2012	NCP-S3	24	23	120	2.4	74	0	270	5	0.2
NT48/2_2013	NCP-S3	11	21	170	5.2	162	0	360	2	0.2
NT48/2_2015	NCP-S3	7.4	14	140	2.5	162	0	260	0.5	0.2
NT48/2_2016	NCP-S3	14	18	190	4.3	162	0	390	1	0.2
NT50/2_2011	NCP-S3	16	5	52	1.5	226	0	2	0.5	1.3

ตัวอย่าง	ชั้นน้ำบาดาล	mg/L								
		Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4	F
NT50/2_2012	NCP-S3	14	4.4	70	1.6	215	0	3.2	4	1.6
NT50/2_2013	NCP-S3	19	1.6	100	0.9	25	0	190	0.5	1.9
NT50/2_2014	NCP-S3	8	7	55	1.4	67	0	88	1	1.3
NT50/2_2015	NCP-S3	11	4.8	40	1.8	96	0	34	0.5	0.8
NT50/2_2016	NCP-S3	15	8.8	13	1.5	115	0	0.75	0.5	0.2
NT53/1_2011	NCP-S3	22	10	11	1.9	159	0	2	0.5	0.2
NT53/1_2012	NCP-S3	55	33	20	2.5	308	0	32	5	0.2
NT53/1_2013	NCP-S3	53	12	9	0.7	228	0	9.2	0.5	0.2
NT53/1_2015	NCP-S3	47	13	5	1.2	218	0	6.4	0.5	0.2
NT53/1_2016	NCP-S3	44	11	8	0.7	186	0	2.4	0.5	0.2
NT53/2_2011	NCP-S3	20	8.1	23	1.4	158	0	13	0.5	0.2
NT53/2_2012	NCP-S3	9.1	7.8	21	1.3	115	10	7.2	4	0.2
NT53/2_2013	NCP-S3	68	5.7	71	3	139	0	190	0.5	0.2
NT53/2_2014	NCP-S3	7.5	3.5	48	2.8	66	0	56	0.5	0.2
NT53/2_2015	NCP-S3	23	9.8	41	2.5	123	0	58	0.5	0.2
NT53/2_2016	NCP-S3	42	2.5	19	1.4	154	0	20	0.5	0.2
NT54/1_2011	NCP-S3	3.5	2.7	23	2.7	95	0	1.6	0.5	0.2
NT54/1_2012	NCP-S3	8.5	4.2	5	1.5	49	0	5.6	3	0.2
NT54/1_2013	NCP-S3	48	6.8	10	3.1	62	0	86	0.5	0.2
NT54/1_2014	NCP-S3	32	7.5	12	3.2	40	0	76	0.5	0.2
NT54/1_2015	NCP-S3	25	6.6	16	2.4	39	0	65	0.5	0.2
NT54/1_2016	NCP-S3	27	5	15	2.3	37	0	58	0.5	0.2
NT94/1_2011	NCP-S3	35	9.1	49	2.2	253	0	28	0.5	0.2
NT94/1_2012	NCP-S3	36	7.1	51	2.2	215	0	36	7	0.2
NT94/1_2013	NCP-S3	37	9.4	47	2.2	240	0	32	0.5	0.2
NT94/1_2014	NCP-S3	35	9.4	44	2.8	212	0	35	0.5	0.2
NT94/1_2015	NCP-S3	41	5.9	51	3	241	0	35	0.5	0.2
NT94/1_2016	NCP-S3	41	16	40	2.8	242	0	34	0.5	0.2
NT96/1_2011	NCP-S3	35	13	57	1.1	326	0	17	0.5	0.4
NT96/1_2012	NCP-S3	24	13	65	1.2	240	0	27	6	0.6
NT96/1_2013	NCP-S3	22	9.8	71	1.2	262	0	26	3	0.2
NT96/1_2014	NCP-S3	21	9.9	69	1	249	0	31	7	0.5
NT96/1_2015	NCP-S3	28	5.2	71	0.8	260	0	32	2	0.4
NT96/1_2016	NCP-S3	22	14	37	1.2	203	0	33	0.5	0.6
NT96/2_2011	NCP-S3	8.6	1.9	7	1.2	27	0	11	0.5	0.2
NT96/2_2012	NCP-S3	25	9.8	52	1.8	224	0	19	3	0.2
NT96/2_2013	NCP-S3	25	11	49	1.4	232	0	16	0.5	0.2
NT96/2_2014	NCP-S3	25	7.5	43	1.4	212	0	18	1	0.2
NT96/2_2015	NCP-S3	26	5.4	37	2.6	174	0	16	4	0.2
NT96/2_2016	NCP-S3	27	16	15	1.7	175	16	16	0.5	0.2

ตัวอย่าง	ชั้นน้ำบาดาล	mg/L								
		Ca	Mg	Na	K	HCO_3	CO_3	Cl	SO_4	F
NT97/1_2011	NCP-S3	15	8.6	150	1.2	484	0	4.8	0.5	1.2
NT97/1_2012	NCP-S3	12	7.3	180	1.8	471	0	10	3	1.6
NT97/1_2013	NCP-S3	18	6.7	180	0.9	500	0	8.8	1	1
NT97/1_2014	NCP-S3	16	9.1	170	1	510	0	10	1	1.6
NT97/1_2015	NCP-S3	21	2.9	180	1.7	525	0	8.4	0.5	1.3
NT97/1_2016	NCP-S3	21	14	150	1.3	484	21	8	0.5	1.7
NT98/1_2011	NCP-S3	16	2.8	100	10	323	0	22	0.5	0.2
NT98/1_2012	NCP-S3	13	6.1	97	1.2	292	0	25	2	0.2
NT98/1_2013	NCP-S3	13	7.1	98	0.8	304	0	20	0.5	0.2
NT98/1_2014	NCP-S3	17	4.8	97	1	311	0	22	0.5	0.2
NT98/1_2015	NCP-S3	15	3.8	98	0.8	301	0	24	0.5	0.2
NT98/1_2016	NCP-S3	18	27	48	1.1	244	0	21	37	0.2

ลำดับ	รหัสชั้นน้ำบาดาล	ชื่อชั้นน้ำบาดาล
1	LCP–S2	เจ้าพระยาตอนล่างตะกอนชั้นที่ 2
2	NCP–S1	เจ้าพระยาตอนบนตะกอนชั้นที่ 1
3	NCP–S2	เจ้าพระยาตอนบนตะกอนชั้นที่ 2
4	NCP–S3	เจ้าพระยาตอนบนตะกอนชั้นที่ 3
5	NCP–HS100	เจ้าพระยาตอนบนหินแข็ง < 100m

ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้ในโปรแกรม PMF

ตัวอย่าง	meq/L											
	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	SO_4	Cl	HCO_3	F	NO_3	TH
5407D029_2014	0.359	0.741	11.3	0.0256	0.0251	0.0146	0.0833	0.903	8.92	0.116	0.0145	1.1
GWA127_2012	1.2	0.494	0.261	0.358	0.0287	0.00364	0.0833	1.78	0.0819	0.0105	0.581	1.72
GWDP-01_2014	1.05	0.379	0.217	0.00512	0.43	0.0146	0.354	0.0212	1.39	0.0105	0.0581	1.44
GWDP-01_2015	1.2	0.535	0.217	0.00512	0.34	0.0182	0.333	0.0212	1.46	0.0105	0.00726	1.72
GWDP-03_2014	2.5	1.81	2.48	0.00512	0.0215	0.0146	1.35	0.508	5.29	0.0211	0.00726	4.2
GWDP-03_2015	3.39	1.81	3.18	0.0128	0.0358	0.0218	1.48	0.508	6.59	0.0211	0.00726	5.2
GWDP-04_2014	0.998	0.601	0.348	0.0512	0.00716	0.0109	0.25	0.192	1.54	0.0105	0.05	1.62
GWDP-04_2015	0.998	0.823	0.304	0.046	0.0179	0.0146	0.208	0.102	1.87	0.0105	0.00726	1.84
GWDP-06_2014	2.99	0.173	2.09	0.00512	0.0251	0.00728	0.0104	0.214	5.29	0.0105	0.00726	3.2
GWDP-06_2015	2.74	0.247	2.31	0.00512	0.0251	0.0146	0.104	0.169	5.34	0.0105	0.00726	3
GWDP-07_2014	0.998	0.592	0.261	0.0358	0.00358	0.0146	0.0104	0.259	1.7	0.0105	0.0661	1.62
GWDP-07_2015	0.389	0.634	0.217	0.0512	0.00358	0.0146	0.0416	0.181	0.951	0.0105	0.00726	1.02
GWDP-09_2014	4.99	1.48	2.57	0.0358	0.00358	0.00364	0.916	0.248	8.46	0.0105	0.00726	6.39
GWDP-09_2015	4.49	1.65	2.87	0.0205	0.0358	0.00728	0.812	0.181	8.62	0.0105	0.00726	6.19
GWDP-10_2014	7.49	0.724	1.87	0.0179	0.043	0.0146	1.04	0.282	8.96	0.0105	0.00726	7.99
GWDP-10_2015	8.48	0.667	1.65	0.00512	0.0645	0.0182	0.458	0.147	10.6	0.0105	0.00726	8.99
GWDP-12_2011	3.49	3.62	1.39	0.159	0.0179	0.00364	3.33	0.282	5.64	0.0105	0.079	7.19
GWDP-12_2014	1.55	2.72	0.217	0.023	0.00358	0.00837	0.25	0.226	0.00328	0.0105	0.00629	2.8
GWDP-12_2015	1.9	3.13	0.248	0.0102	0.00716	0.0091	0.208	0.226	0.00328	0.0105	0.00726	2.6
NKW-STA05-1_2013	0.599	0.485	0.435	0.0333	0.107	0.00364	0.0208	0.592	0.688	0.0105	0.126	1.08
NKW-STA05-1_2016	10.5	5.76	41.3	0.148	0.0251	0.00728	0.0833	56.4	0.295	0.0105	0.00726	16
NKW-STA05-2_2013	3.19	1.15	13.5	0.0563	0.0251	0.0146	0.0104	16.9	0.557	0.0105	0.00726	4.4
NKW-STA05-2_2016	5.49	2.06	20.4	0.13	0.0251	0.0146	0.0625	27.1	0.443	0.0105	0.0564	7.39
NT1/1_2011	2.99	0.337	0.87	0.125	0.967	0.0546	0.0104	0.0564	4.65	0.0105	0.00726	3.4
NT1/1-Apr_2013	2.25	0.987	1.04	0.113	0.333	0.0619	0.0208	2.37	2.34	0.0105	0.0161	3.2
NT1/1-Aug_2013	1.75	0.263	0.826	0.0972	0.609	0.0546	0.0104	0.169	2.62	0.0105	0.0387	2
NT1/2_2011	0.948	0.379	3.7	0.169	0.00716	0.0146	0.0208	0.124	5.31	0.0474	0.00726	1.34
NT1/2-Apr_2013	0.948	0.272	4.35	0.189	0.0609	0.00364	0.0625	0.113	4.33	0.0421	0.00726	1.22
NT1/2-Aug_2013	0.449	0.584	4.18	0.187	0.00716	0.0146	0.0625	0.203	4.26	0.0526	0.0387	1.04
NT1/2_2014	1.05	0.214	3.57	0.176	0.68	0.00364	0.0208	0.31	4.88	0.0474	0.177	1.28
NT1/2_2015	0.948	0.494	4.05	0.197	0.716	0.0109	0.0104	0.226	5.36	0.0579	0.029	1.46
NT1/2_2016	1.2	0.354	4.35	0.174	0.00358	0.00728	0.0416	0.203	5.34	0.0474	0.0984	1.54
NT100_2011	1.75	0.263	1.09	0.113	0.00716	0.0146	0.0208	0.135	3.2	0.0105	0.00726	2
NT100_2012	1.6	0.617	1.04	0.113	0.0179	0.00364	0.125	0.192	3.26	0.0211	0.00726	2.2
NT100_2013	2.79	0.0576	0.826	0.087	0.0931	0.0109	0.0416	0.102	3.77	0.0105	0.0242	2.8
NT100_2014	2.64	1.97	4.35	0.0256	0.233	0.0146	4.37	0.48	5.02	0.0105	0.0661	4.6
NT100_2015	2.59	0.453	0.783	0.0409	0.226	0.0109	0.125	0.169	3.77	0.0105	0.00726	3
NT100_2016	2.25	0.79	0.652	0.0486	0.215	0.0146	0.0104	0.113	3.39	0.0105	0.00726	3

ตัวอย่าง	meq/L											
	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	SO_4	Cl	HCO_3	F	NO_3	TH
NT102/1-Sep_2011	0.105	0.518	1	0.0614	0.0251	0.00364	0.0208	0.124	1.51	0.0895	0.00726	0.619
NT102/1-Nov_2011	0.279	0.272	0.739	0.0563	0.068	0.0109	0.0625	0.135	1.15	0.0474	0.0516	0.56
NT102/1_2013	0.264	0.0165	1.09	0.0691	0.00716	0.0146	0.0104	0.102	1.34	0.0263	0.0419	0.28
NT102/1_2014	0.21	0.0987	1.04	0.0639	0.00716	0.0146	0.0104	0.124	1.34	0.0316	0.0274	0.3
NT102/1_2015	0.0798	0.148	1.26	0.0767	0.00358	0.0146	0.0625	0.124	1.23	0.0368	0.00726	0.22
NT102/2_2011	0.185	0.42	1.13	0.0946	0.0143	0.0182	0.0208	0.0564	1.72	0.0105	0.00726	0.599
NT102/2_2012	1.2	0.272	1.13	0.087	0.0394	0.0255	0.104	0.124	2.49	0.0105	0.0274	1.46
NT102/2_2013	1.1	0.485	1.35	0.0997	0.0752	0.0255	0.0104	0.0903	2.64	0.0105	0.0355	1.56
NT102/2_2014	1.3	0.272	1	0.0921	0.068	0.0182	0.0104	0.124	2.75	0.0105	0.029	1.56
NT102/2_2015	1.15	0.428	1.26	0.11	0.0107	0.00728	0.0416	0.0903	2.77	0.0105	0.00726	1.6
NT102/2_2016	0.998	0.782	1.13	0.0844	0.0931	0.051	0.0208	0.0451	2.61	0.0105	0.0435	1.78
NT102/3_2011	0.798	0.181	0.478	0.0307	0.0251	0.0146	0.0416	0.0903	1.43	0.0105	0.00726	0.979
NT102/3_2012	1.6	0.749	0.652	0.0358	0.00358	0.00728	0.104	0.158	2.74	0.0105	0.05	2.4
NT102/3_2013	1.55	0.823	0.652	0.0512	0.0537	0.204	0.0104	0.102	3.05	0.0105	0.0339	2.4
NT102/3_2014	2.2	0.362	0.478	0.046	0.0143	0.00728	0.0104	0.181	3.02	0.0105	0.0242	2.6
NT102/3_2015	1.7	0.56	1	0.0614	0.00358	0.0146	0.0104	0.0903	3.13	0.0105	0.00726	2.2
NT102/3_2016	0.414	0.263	0.652	0.046	0.00716	0.051	0.0104	0.0564	1.39	0.0105	0.00726	0.679
NT103/1_2012	0.24	0.362	1.7	0.0205	0.0251	0.0146	0.0833	0.271	1.39	0.0105	0.00726	0.599
NT103/1_2013	0.359	0.206	1.57	0.023	0.0322	0.0109	0.0104	0.226	1.88	0.0105	0.0548	0.56
NT103/1_2015	0.175	0.165	1.78	0.0307	0.00358	0.0146	0.0104	0.237	1.74	0.0105	0.0306	0.34
NT103/1_2016	0.19	0.222	1.57	0.0256	0.00358	0.0146	0.0104	0.192	1.72	0.0105	0.0306	0.42
NT103/2_2012	0.948	1.15	1.65	0.0281	0.0573	0.0182	0.0625	0.147	3.47	0.0105	0.0774	2
NT103/2_2013	1.05	0.518	1.7	0.0205	0.0251	0.0146	0.0104	0.0677	3.18	0.0105	0.0403	1.58
NT103/2_2014	1.1	0.51	1.57	0.0256	0.068	0.00728	0.0104	0.0677	3.36	0.0105	0.0371	1.62
NT103/2_2015	1.05	0.527	1.78	0.0307	0.0215	0.00364	0.0104	0.113	3.33	0.0105	0.00726	1.56
NT103/2_2016	1.5	0.56	1.61	0.023	0.0251	0.00364	0.0104	0.0451	3.38	0.0105	0.00726	2
NT103/3_2012	1.3	0.584	1.83	0.0307	0.179	0.0364	0.125	0.214	3.31	0.0105	0.00726	1.9
NT103/3_2013	1.15	0.65	1.7	0.023	0.251	0.0437	0.125	0.147	3.26	0.0105	0.029	1.82
NT103/3_2015	0.948	0.444	2	0.0307	0.115	0.0182	0.25	0.135	2.85	0.0105	0.00726	1.36
NT103/3_2016	1.5	0.0329	1.74	0.0256	0.122	0.0182	0.167	0.113	2.8	0.0105	0.00726	1.56
NT104/1_2011	0.948	0.815	0.783	0.0333	0.573	0.0146	0.0208	0.0212	2.46	0.0105	0.0242	1.78
NT104/1_2012	0.649	0.749	0.696	0.0333	0.0358	0.00364	0.0833	0.113	2.08	0.0105	0.00726	1.4
NT104/1_2013	0.464	0.683	0.783	0.0358	0.0322	0.00364	0.0104	0.102	1.95	0.0105	0.0403	1.14
NT104/1_2014	0.499	0.823	0.913	0.0435	0.00358	0.0146	0.0104	0.102	1.97	0.0105	0.0387	1.34
NT104/1_2015	0.549	0.732	1.04	0.046	0.00716	0.0146	0.0104	0.079	2.23	0.0105	0.00726	1.28
NT104/1_2016	0.948	0.823	1	0.0333	0.00358	0.00364	0.0104	0.0451	2.47	0.0105	0.00726	1.76
NT104/2_2011	0.948	0.79	0.739	0.0281	0.193	0.0109	0.0208	0.0212	2.41	0.0105	0.0177	1.72
NT104/2_2012	1.2	0.798	0.696	0.0205	1.04	0.00728	0.104	0.0677	2.57	0.0105	0.00726	2
NT104/2_2013	1.5	0.716	0.652	0.0307	0.218	0.0182	0.0208	0.0212	2.77	0.0105	0.0645	2.2
NT104/2_2015	1.4	0.708	0.478	0.113	0.0394	0.0182	0.208	0.0451	2.03	0.0105	0.581	2.2

ตัวอย่าง	meq/L											
	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	SO_4	Cl	HCO_3	F	NO_3	TH
NT104/2_2016	1.75	0.263	0.652	0.0665	0.00358	0.0218	0.0104	0.0212	2.51	0.0105	0.177	2
NT104/3_2011	0.699	0.905	0.739	0.0281	0.19	0.0146	0.0208	0.0212	2.28	0.0105	0.0177	1.62
NT104/3_2012	1.15	0.741	0.696	0.0205	0.226	0.0364	0.0833	0.0451	2.47	0.0105	0.00726	1.9
NT104/3_2013	0.998	0.683	0.652	0.0256	0.279	0.0291	0.0104	0.0212	2.21	0.0105	0.0387	1.68
NT104/3_2015	1.2	0.699	0.565	0.0486	0.0358	0.00728	0.0104	0.0212	2.47	0.0105	0.0919	1.9
NT104/3_2016	1.15	0.798	0.652	0.0333	0.14	0.0146	0.0104	0.0212	2.36	0.0105	0.0145	1.92
NT105/1-Nov03_2011	0.349	0.642	0.478	0.0665	0.0179	0.0146	0.0104	0.31	1.1	0.0105	0.00726	0.999
NT105/1-Nov17_2011	2.69	1.65	8.7	0.217	0.645	0.0473	0.0625	12.4	0.623	0.0105	0.0532	4.4
NT105/1_2013	2.74	2.3	8.26	0.205	0.279	0.0437	0.0104	12.7	0.754	0.0105	0.0371	5
NT105/1_2014	3.19	1.89	8.7	0.21	0.107	0.04	0.0104	13	0.754	0.0105	0.029	5.2
NT105/1_2015	2.79	2.06	10	0.21	0.0107	0.04	0.0104	13	0.738	0.0105	0.00726	4.8
NT105/1_2016	3.19	1.73	9.13	0.176	0.0107	0.04	0.0104	12.7	0.738	0.0105	0.00726	5
NT105/2_2011	0.359	0.502	1.26	0.0895	0.00358	0.0218	0.0104	1.66	0.705	0.0105	0.00726	0.859
NT105/2_2012	0.479	0.65	1.39	0.0895	0.0752	0.0218	0.0416	1.75	0.656	0.0105	0.0355	1.12
NT105/2_2013	0.319	0.905	1.17	0.0844	0.466	0.0291	0.0104	1.64	0.738	0.0105	0.0323	1.2
NT105/2_2014	0.489	0.708	1.3	0.0972	0.179	0.0218	0.0104	1.78	0.852	0.0105	0.0161	1.2
NT105/2_2015	0.384	0.56	1.78	0.11	0.0215	0.0218	0.0104	1.72	0.803	0.0105	0.00726	0.939
NT105/3-Nov03_2011	1.65	1.23	6.96	0.169	0.00358	0.0146	0.0104	9.31	0.721	0.0105	0.00726	3
NT105/3-Nov17_2011	0.255	0.239	0.435	0.0742	0.394	0.0218	0.0416	0.147	0.885	0.0105	0.0516	0.5
NT105/3_2013	0.464	0.494	0.435	0.0716	0.0967	0.0218	0.0104	0.214	1.25	0.0105	0.029	0.959
NT105/3_2014	0.424	0.518	0.391	0.0665	0.161	0.0218	0.0104	0.203	1.18	0.0105	0.00726	0.939
NT105/3_2015	0.389	0.584	0.435	0.0639	0.0322	0.0218	0.0104	0.158	1.1	0.0105	0.00726	0.979
NT106/1_2011	0.798	0.774	3.87	0.0742	0.0143	0.00728	0.25	0.649	4.56	0.0632	0.00726	1.56
NT106/1_2012	0.24	0.156	4.05	0.0588	0.0107	0.0146	0.0416	0.564	3.44	0.0526	0.0452	0.4
NT106/1_2013	1.05	0.379	4.35	0.0639	0.0179	0.0146	0.0104	0.48	3.16	0.0421	0.0339	0.38
NT106/1_2014	0.0948	0.411	4.78	0.0639	0.00358	0.0146	0.0104	0.508	1.93	0.0579	0.00726	0.5
NT106/1_2015	0.0499	0.0494	5.22	0.087	0.0251	0.0146	0.0104	0.536	2.15	0.0526	0.00726	0.05
NT106/1_2016	0.0649	0.518	4.35	0.0665	0.00358	0.0146	0.0104	0.395	1.75	0.0526	0.00726	0.58
NT106/2_2011	0.24	0.469	4.35	0.0153	0.0501	0.00364	0.0625	0.0903	4.88	0.0632	0.00726	0.719
NT106/2_2012	0.399	0.741	3.18	0.0102	0.0215	0.00728	0.104	0.113	3.7	0.079	0.0242	1.14
NT106/2_2013	0.25	0.518	3.48	0.0153	0.0251	0.0109	0.0104	0.0212	4.26	0.0632	0.0452	0.759
NT106/2_2015	0.389	0.329	3.44	0.0409	0.0251	0.0146	0.0104	0.102	4.1	0.0632	0.00726	0.719
NT106/2_2016	0.255	2.06	1.74	0.0205	0.00358	0.00364	0.0416	0.0212	3.77	0.079	0.00726	2.4
NT107/1_2011	0.998	0.453	3.18	0.0281	0.0143	0.00728	0.0416	0.564	4.39	0.0105	0.079	1.44
NT107/1_2012	0.21	0.436	3.7	0.0409	0.00358	0.0146	0.104	0.536	3.03	0.0105	0.00726	0.639
NT107/1_2013	0.599	0.485	3.44	0.0281	0.00716	0.0146	0.0104	0.423	4.05	0.0105	0.0355	1.12
NT107/1_2014	0.349	0.551	3.22	0.0358	0.0251	0.0146	0.0104	0.423	3.29	0.0105	0.0258	0.899
NT107/1_2015	0.25	0.395	3.09	0.0153	0.0251	0.0146	0.0104	0.367	3.46	0.0105	0.00726	0.639
NT107/1_2016	0.24	0.724	2.61	0.023	0.0251	0.0146	0.0104	0.338	3.33	0.0105	0.00726	0.959
NT107/2_2011	0.998	0.387	3.04	0.0281	0.0501	0.00728	0.0416	0.395	4.31	0.0211	0.0758	1.4

ตัวอย่าง	meq/L											
	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	SO_4	Cl	HCO_3	F	NO_3	TH
NT107/2_2013	1.15	0.749	3.09	0.0256	0.125	0.0182	0.0104	0.395	4.52	0.0105	0.0274	1.88
NT107/2_2015	1.25	0.65	2.87	0.0614	0.0179	0.00728	0.0104	0.338	3.95	0.0105	0.194	1.88
NT107/2_2016	1.9	0.222	3	0.0409	0.00716	0.0146	0.125	0.338	4.26	0.0105	0.00726	2.2
NT107/3_2011	0.848	0.551	1.26	0.0333	0.788	0.0328	1.02	0.124	1.75	0.0105	0.0532	1.4
NT107/3_2013	0.798	0.699	1	0.0256	1	0.0546	0.75	0.102	1.92	0.0105	0.0306	1.52
NT107/3_2015	0.998	0.51	1.44	0.046	0.0107	0.0255	1.5	0.203	1.03	0.0105	0.0935	1.5
NT107/3_2016	1.05	0.905	0.957	0.0409	0.0143	0.0328	1.29	0.124	1.16	0.0105	0.15	1.94
NT108/1_2011	0.399	1.65	13	0.0333	0.0645	0.00728	0.687	0.987	11.7	0.0737	0.00726	2
NT108/1_2012	1.05	1.07	13	0.0537	0.0107	0.0146	0.104	1.18	8.69	0.0895	0.00726	1.04
NT108/1_2013	0.2	1.07	12.2	0.0256	0.0179	0.0146	0.0208	0.762	9.88	0.0895	0.0242	1.26
NT108/1_2015	0.379	0.123	10	0.0384	0.00358	0.0146	0.0104	0.874	6.83	0.0947	0.00726	0.5
NT108/1_2016	0.289	0.584	8.26	0.023	0.0251	0.0146	0.0104	0.762	3.64	0.116	0.00726	0.879
NT108/2_2011	0.898	0.699	11.7	0.0409	0.244	0.0146	0.146	0.818	12.9	0.0421	0.0516	1.58
NT108/2_2012	1.1	0.798	13	0.0614	0.0322	0.0218	0.125	0.79	11.3	0.0579	0.00726	1.9
NT108/2_2013	0.898	1.32	12.6	0.0358	0.0501	0.0218	0.0104	0.79	13.5	0.0474	0.0242	2.2
NT108/2_2014	0.749	1.15	12.2	0.0256	0.0251	0.0218	0.0625	0.874	11.6	0.0526	0.0855	1.86
NT108/2_2015	1.1	0.379	12.2	0.0588	0.0215	0.0182	0.0104	0.705	12.4	0.0474	0.00726	1.48
NT108/2_2016	1.25	2.06	8.26	0.0256	0.0215	0.0182	0.0208	0.762	11.3	0.0632	0.00726	3.2
NT108/3_2011	1.25	0.79	6.96	0.0563	0.0143	0.00364	0.167	0.203	9.65	0.0368	0.00726	2
NT108/3_2012	0.798	0.658	12.6	0.0614	0.0287	0.0182	0.104	0.226	11	0.0421	0.00726	1.44
NT108/3_2013	0.399	1.65	10	0.0358	0.136	0.0182	0.0416	0.169	10.9	0.0316	0.0355	2
NT108/3_2014	0.549	2.22	11.3	0.0358	0.0143	0.0146	0.0104	0.395	11	0.0368	0.119	2.8
NT108/3_2015	0.848	0.625	11.3	0.0588	0.0609	0.0109	0.0208	0.169	10.9	0.0316	0.00726	1.48
NT108/3_2016	2.1	1.23	8.7	0.0307	0.0215	0.00728	0.0416	0.197	11.6	0.0421	0.00726	3.4
NT126_2016	0.599	0.288	0.174	0.00512	0.107	0.00728	0.0625	0.0564	0.918	0.00526	0.00726	0.859
NT128_2016	2.5	2.14	4.09	0.0153	0.00358	0.00728	1.56	0.592	5.82	0.0211	0.0226	4.6
NT129_2016	0.649	0.987	0.522	0.0384	0.0107	0.00364	0.146	0.248	1.61	0.00526	0.00726	1.62
NT132_2016	1.45	0.51	0.348	0.0179	0.00358	0.0146	0.0416	0.203	2.11	0.00526	0.00726	1.94
NT135_2016	8.48	0.0329	1.78	0.00512	0.0645	0.0182	0.833	0.338	10.4	0.0105	0.00726	8.59
NT137_2016	4.74	2.72	1.48	0.12	0.0251	0.00728	3.75	0.282	5.62	0.0105	0.00726	7.39
NT2_2011	0.549	0.165	0.565	0.0435	0.00358	0.0146	0.0208	0.0564	1.44	0.0105	0.00726	0.719
NT2-Apr_2013	0.454	0.00823	0.783	0.0384	0.0358	0.0109	0.0104	0.0212	1.2	0.0105	0.00726	0.46
NT2-Aug_2013	1.25	0.14	0.783	0.0537	0.0251	0.00364	0.0104	0.0564	2.07	0.0105	0.0532	1.4
NT2_2014	0.409	0.296	0.565	0.0537	0.0322	0.00364	0.0104	0.0564	1.25	0.0105	0.148	0.699
NT2_2015	0.374	0.263	0.478	0.0486	0.0394	0.0109	0.0104	0.0212	1.21	0.0105	0.00726	0.639
NT2_2016	0.549	0.181	0.609	0.0409	0.0107	0.00364	0.125	0.0212	1.21	0.0105	0.00726	0.719
NT3/1_2011	2	0.576	0.217	0.0307	0.0107	0.0146	0.0208	0.169	2.77	0.0105	0.00726	2.6
NT3/1-Apr_2013	0.798	0.576	0.261	0.00512	0.0716	0.04	0.0104	0.124	1.07	0.0105	0.00726	0.819
NT3/1-Aug_2013	0.349	0.395	0.087	0.0128	1.83	0.0182	0.0104	0.124	0.59	0.0105	0.0306	0.739
NT3/1_2014	0.21	0.14	0.087	0.0205	0.537	0.0109	0.0104	0.124	0.606	0.0421	0.194	0.34

ตัวอย่าง	meq/L											
	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	SO_4	Cl	HCO_3	F	NO_3	TH
NT3/1_2015	0.145	0.214	0.217	0.0153	2.11	0.0437	0.104	0.102	0.344	0.0105	0.00726	0.36
NT3/2_2011	1.3	0.346	0.87	0.246	0.00358	0.0146	0.0625	0.0451	2.57	0.0105	0.242	1.62
NT3/2-Apr_2013	1.3	0.494	1.13	0.182	0.00358	0.0146	0.0104	0.0212	2.82	0.0105	0.00726	1.8
NT3/2-Aug_2013	1.3	0.444	0.783	0.225	0.0394	0.0146	0.0208	0.0212	2.66	0.0105	0.0306	1.74
NT3/2_2014	1.35	0.313	0.87	0.248	0.15	0.0146	0.0104	0.0212	2.79	0.0105	0.258	1.66
NT3/2_2015	1.2	0.428	0.957	0.233	0.0609	0.0146	0.0104	0.102	2.69	0.0105	0.00726	1.64
NT3/2_2016	1.5	0.0494	0.87	0.194	0.00358	0.0146	0.0104	0.0212	2.67	0.0105	0.0694	1.56
NT3/3_2011	0.798	0.329	0.652	0.212	0.00716	0.0146	0.0104	0.0212	1.82	0.0105	0.00726	1.16
NT3/3-Apr_2013	1.05	0.296	0.87	0.179	0.0143	0.00728	0.0104	0.0212	2.18	0.0105	0.00726	1.36
NT3/3-Aug_2013	0.798	0.453	0.783	0.228	0.0179	0.0146	0.0104	0.0212	2.16	0.0105	0.029	1.24
NT3/3_2014	0.948	0.346	0.696	0.238	0.0322	0.0146	0.0104	0.0212	2.25	0.0105	0.00726	1.28
NT3/3_2015	0.798	0.477	0.783	0.228	0.00358	0.0146	0.0104	0.0564	2.16	0.0105	0.00726	1.28
NT3/3_2016	1.35	0.0905	0.783	0.184	0.0251	0.0146	0.0104	0.0212	2.18	0.0105	0.00726	1.44
NT3/4_2011	0.289	0.14	0.565	0.136	0.0143	0.00364	0.0104	0.0212	1.18	0.0105	0.00726	0.42
NT3/4-Apr_2013	0.399	0.0823	0.739	0.118	0.00358	0.00364	0.0104	0.0212	1.21	0.0105	0.00726	0.48
NT3/4-Aug_2013	0.454	0.485	0.348	0.148	0.00716	0.00364	0.0416	0.0451	1.2	0.0211	0.0323	0.939
NT3/4_2014	0.349	0.0823	0.522	0.148	0.0394	0.00364	0.0104	0.0564	1.15	0.0105	0.00726	0.44
NT3/4_2015	0.225	0.346	0.478	0.143	0.00358	0.0146	0.0104	0.102	1.15	0.0263	0.00726	0.56
NT3/4_2016	0.334	0.337	0.478	0.118	0.00716	0.00364	0.0104	0.0212	1.13	0.0211	0.00726	0.679
NT4/1_2011	1.05	0.156	2.09	0.0409	0.00716	0.0146	0.0104	0.147	0.688	0.0263	0.00726	0.16
NT4/1-Apr_2013	0.0499	0.107	2.39	0.0384	0.466	0.00364	0.0208	0.282	1	0.0105	0.00726	0.16
NT4/1-Aug_2013	0.0549	0.0411	2.04	0.0512	0.0752	0.0146	0.0104	0.192	2.16	0.0105	0.0435	0.05
NT4/1_2014	0.13	0.0247	1.91	0.0767	0.0573	0.00364	0.0104	0.181	1.52	0.0211	0.00726	0.16
NT4/1_2015	0.0649	0.0576	2	0.0614	0.0143	0.0146	0.0104	0.181	1.44	0.0211	0.00726	0.12
NT4/2_2011	0.998	0.403	1.04	0.102	0.0501	0.0692	0.0104	0.102	2.66	0.0105	0.00726	1.4
NT4/2-Apr_2013	1.3	0.0329	1	0.0639	0.0537	0.0328	0.0104	0.0212	2.15	0.0105	0.00726	1.32
NT4/2-Aug_2013	1.2	0.354	0.826	0.0691	0.0322	0.0546	0.0104	0.102	2.2	0.0105	0.0274	1.56
NT4/2_2014	1.15	0.354	0.913	0.087	0.0107	0.0182	0.0208	0.147	2.51	0.0105	0.00726	1.48
NT4/2_2015	1.1	0.477	1	0.0793	0.00358	0.00364	0.0104	0.192	2.18	0.0105	0.00726	1.56
NT4/2_2016	0.319	0.115	2	0.0742	0.0179	0.00364	0.0208	0.203	2.13	0.0105	0.00726	0.44
NT43_2011	1.2	0.461	0.391	0.0665	0.00716	0.0146	0.0104	0.124	2.08	0.0105	0.0161	1.64
NT43_2012	1.15	0.387	0.609	0.0793	0.0287	0.00364	0.0416	0.169	1.93	0.0105	0.0306	1.54
NT43_2013	1.15	0.428	0.348	0.0742	0.0501	0.00364	0.0104	0.124	1.95	0.0105	0.0419	1.56
NT43_2014	1.2	0.288	0.435	0.0639	0.0179	0.0146	0.0104	0.135	2.02	0.0105	0.00726	1.5
NT43_2015	1.05	0.535	0.478	0.0639	0.0322	0.0146	0.0104	0.124	1.98	0.0105	0.00726	1.56
NT43_2016	1.25	0.518	0.435	0.0563	0.00358	0.0146	0.0104	0.079	1.97	0.0105	0.00726	1.76
NT44/1_2011	1.9	0.65	5.22	0.00512	0.0179	0.0146	1.15	4.8	2.33	0.0105	0.00726	2.6
NT44/1_2012	0.599	0.403	2.31	0.0486	0.0143	0.00728	0.271	0.621	2.85	0.0105	0.0145	0.999
NT44/1_2013	0.499	0.37	2.44	0.0281	0.0251	0.00364	0.0416	0.508	2.97	0.0105	0.0516	0.879
NT44/2_2011	1.05	0.798	10.9	0.0333	0.0215	0.0146	0.812	6.21	5.65	0.0211	0.0323	0.799

ตัวอย่าง	meq/L											
	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	SO_4	Cl	HCO_3	F	NO_3	TH
NT44/2_2012	0.798	0.461	0.391	0.0639	0.0573	0.0109	0.0833	0.135	1.38	0.0105	0.0597	1.26
NT44/2_2013	1.95	0.592	5.22	0.00512	0.00358	0.00364	0.583	4.51	3.06	0.0105	0.0532	2.6
NT45_2011	2.84	1.15	6.96	0.0128	0.0107	0.0146	0.167	3.95	7.59	0.0105	0.00726	4
NT45_2012	1.2	0.905	2.91	0.0358	0.00358	0.0146	0.208	4.51	2.66	0.0105	0.0194	2.2
NT45_2013	1.4	0.987	7.39	0.0102	0.0143	0.0146	0.187	3.95	5.98	0.0105	0.0419	2.4
NT45_2014	2.45	1.48	6.96	0.0153	0.00358	0.0146	0.125	3.95	7.38	0.0105	0.00726	3.8
NT45_2015	2.59	1.15	7.39	0.0153	0.00358	0.0146	0.146	3.95	7.26	0.0105	0.00726	3.8
NT46/1_2011	0.848	0.461	0.652	0.0486	0.00358	0.0146	0.0208	0.181	1.66	0.0105	0.00726	1.32
NT46/1_2012	2.15	0.37	5.65	0.102	0.0107	0.00364	0.104	6.21	2.61	0.0105	0.00726	2.6
NT46/1_2013	1.9	0.56	5.22	0.0972	0.0466	0.0146	0.0104	5.36	2.62	0.0105	0.0403	2.4
NT46/1_2014	2.35	0.987	2.61	0.0435	0.0287	0.04	0.958	1.75	3.9	0.0263	0.00726	3.4
NT46/1_2015	1.1	0.987	3.83	0.046	0.00358	0.0146	0.812	1.27	4.1	0.0105	0.00726	2
NT46/2_2011	1.1	0.395	0.783	0.0639	0.00358	0.0146	0.0104	0.226	2.26	0.0105	0.00726	1.48
NT46/2_2012	1.05	0.411	0.783	0.0639	0.0143	0.00364	0.104	0.282	2.15	0.0105	0.0274	1.44
NT46/2_2013	1.05	0.304	1.22	0.0691	0.115	0.00728	0.0208	0.367	2.11	0.0105	0.0306	1.34
NT46/2_2014	1.1	0.304	0.826	0.0614	0.0251	0.0146	0.0104	0.395	2.08	0.0105	0.00726	1.4
NT46/2_2015	0.998	0.379	0.783	0.0639	0.00716	0.0146	0.0104	0.338	2.08	0.0316	0.00726	1.4
NT46/3_2011	1.65	0.296	0.87	0.0537	0.204	0.0109	0.0104	0.508	2.57	0.0105	0.00726	1.96
NT46/3_2012	0.798	0.387	0.565	0.0639	0.0394	0.0109	0.125	0.203	1.69	0.0105	0.00726	1.18
NT46/3_2013	0.898	0.42	0.609	0.0512	0.251	0.0146	0.0625	0.147	1.75	0.0105	0.0242	1.3
NT46/3_2014	1.05	0.28	0.435	0.0512	0.0609	0.00364	0.0625	0.181	1.7	0.0105	0.00726	1.32
NT46/3_2015	0.798	0.436	0.609	0.0486	0.0251	0.0146	0.0104	0.0903	1.64	0.0105	0.00726	1.24
NT47/1_2011	0.898	0.617	1.04	0.0307	0.0358	0.0146	0.0104	0.147	2.69	0.0105	0.00726	1.52
NT47/1_2012	2.3	7.41	10.4	0.107	0.00358	0.0146	0.0833	20.6	1.31	0.0421	0.0403	9.79
NT47/1_2013	2.3	2.96	18.3	0.102	0.0107	0.0146	0.0416	20.6	1.08	0.0368	0.0726	5.2
NT47/1_2014	1.85	1.15	16.5	0.0972	0.0251	0.0146	0.0104	20.3	0.328	0.0474	0.00726	3
NT47/1_2015	1.5	1.97	17.4	0.0946	0.0251	0.0146	0.354	20.9	0.377	0.0579	0.00726	3.4
NT47/2_2011	0.369	0.436	1.74	0.0358	0.00716	0.0146	0.0104	0.0677	2.66	0.0316	0.0145	0.799
NT47/2_2012	0.359	0.485	1.65	0.0205	0.0107	0.0109	0.0833	0.079	2.47	0.0368	0.00726	0.839
NT47/2_2013	0.449	0.42	1.91	0.0307	0.0215	0.00364	0.0208	0.0212	2.52	0.0316	0.0306	0.859
NT47/2_2014	0.439	0.313	1.74	0.0358	0.0251	0.0146	0.0104	0.102	2.64	0.0368	0.00726	0.759
NT47/2_2015	0.374	0.354	2.04	0.0307	0.0251	0.0146	0.25	0.0564	2.59	0.0421	0.00726	0.719
NT47/2_2016	0.499	0.28	1.91	0.0307	0.0251	0.0146	0.0104	0.0212	2.59	0.0316	0.00726	0.799
NT47/3_2011	1.95	0.642	16.5	0.0997	0.00358	0.0146	0.0104	20	0.721	0.0421	0.00726	2.6
NT47/3_2012	0.898	0.617	1.17	0.0435	0.0143	0.0182	0.0833	0.203	2.61	0.0105	0.0548	1.52
NT47/3_2013	0.998	0.683	1.26	0.023	0.967	0.0364	0.0625	0.124	2.69	0.0105	0.0306	1.66
NT47/3_2014	0.948	0.683	0.957	0.0281	0.0251	0.0146	0.0416	0.169	2.59	0.0105	0.0371	1.64
NT47/3_2015	0.898	0.683	1.26	0.0307	0.0251	0.0146	0.354	0.169	2.56	0.0105	0.00726	1.56
NT47/3_2016	0.998	0.774	1.09	0.0281	0.0143	0.0109	0.0104	0.102	2.54	0.0105	0.00726	1.78
NT48/1_2011	1.35	0.905	5.22	0.0844	1.9	0.0619	0.0208	7.62	0.492	0.0105	0.00726	2.2

ตัวอย่าง	meq/L											
	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	SO_4	Cl	HCO_3	F	NO_3	TH
NT48/1_2012	0.399	1.48	6.52	0.11	0.43	0.0546	0.104	9.31	2.66	0.0105	0.00726	1.9
NT48/1_2013	0.599	0.987	5.22	0.0588	1	0.0437	0.0208	7.33	0.0819	0.0105	0.0306	1.6
NT48/1_2014	0.699	1.15	5.22	0.0563	0.752	0.0364	0.0416	7.62	0.311	0.0105	0.0452	1.86
NT48/1_2015	0.549	1.65	8.26	0.125	3.94	0.0655	0.0104	11	2.66	0.0105	0.00726	2.2
NT48/1_2016	0.649	1.15	6.09	0.0563	0.824	0.04	0.125	8.18	0.0656	0.0105	0.00726	1.78
NT48/2_2011	1.8	1.56	5.65	0.0742	0.752	0.0546	0.0208	9.59	0.459	0.0105	0.00726	3.4
NT48/2_2012	1.2	1.89	5.22	0.0614	1.36	0.051	0.104	7.62	1.21	0.0105	0.00726	3
NT48/2_2013	0.549	1.73	7.39	0.133	4.66	0.0655	0.0416	10.2	2.66	0.0105	0.0323	2.4
NT48/2_2015	0.369	1.15	6.09	0.0639	0.931	0.04	0.0104	7.33	2.66	0.0105	0.00726	1.52
NT48/2_2016	0.699	1.48	8.26	0.11	3.94	0.0655	0.0208	11	2.66	0.0105	0.00726	2.2
NT49_2011	0.449	0.189	1.22	0.0639	0.00358	0.0146	0.0416	0.237	1.79	0.0105	0.00726	0.639
NT49_2012	0.549	0.321	1.09	0.0614	0.0179	0.0146	0.104	0.338	1.69	0.0105	0.00726	0.879
NT49_2013	0.479	0.197	1.3	0.0639	0.118	0.00728	0.0208	0.282	1.8	0.0105	0.029	0.679
NT49_2014	0.489	0.461	1.09	0.0614	0.0143	0.0146	0.146	0.31	1.79	0.0105	0.0613	0.939
NT49_2015	0.449	0.337	1.26	0.0486	0.0466	0.00364	0.0104	0.31	1.74	0.0105	0.00726	0.779
NT49_2016	0.599	0.189	1.26	0.0512	0.00358	0.0146	0.0208	0.226	1.72	0.0105	0.00726	0.799
NT5_2011	0.699	0.354	1.65	0.0614	0.00716	0.00364	0.0104	0.0451	2.84	0.0316	0.0371	1.04
NT5-Apr_2013	0.649	0.197	1.91	0.0333	0.0107	0.0146	0.0208	0.0212	2.67	0.0211	0.00726	0.859
NT5-Aug_2013	0.599	0.37	2.04	0.0486	0.0287	0.0146	0.0104	0.0564	2.41	0.0263	0.0516	0.979
NT5_2014	0.649	0.222	1.65	0.0614	0.00358	0.0146	0.0104	0.0564	2.74	0.0316	0.00726	0.879
NT5_2015	0.549	0.304	1.78	0.0486	0.00358	0.0146	0.0104	0.0451	2.66	0.0316	0.00726	0.839
NT5_2016	0.749	0.543	1.48	0.0409	0.00716	0.00364	0.0104	0.0212	2.69	0.0263	0.00726	1.3
NT50/1_2011	1.55	0.247	1.44	0.358	0.136	0.00364	0.0208	1.61	1.85	0.0105	0.00726	1.78
NT50/2_2011	0.798	0.411	2.26	0.0384	0.086	0.0146	0.0104	0.0564	3.7	0.0684	0.0258	1.2
NT50/2_2012	0.699	0.362	3.04	0.0409	0.0609	0.00728	0.0833	0.0903	3.52	0.0842	0.0645	1.04
NT50/2_2013	0.948	0.132	4.35	0.023	0.00716	0.0146	0.0104	5.36	0.41	0.1	0.029	1.1
NT50/2_2014	0.399	0.576	2.39	0.0358	0.00358	0.0146	0.0208	2.48	1.1	0.0684	0.0516	0.979
NT50/2_2015	0.549	0.395	1.74	0.046	0.0107	0.00728	0.0104	0.959	1.57	0.0421	0.00726	0.919
NT50/2_2016	0.749	0.724	0.565	0.0384	0.501	0.0182	0.0104	0.0212	1.88	0.0105	0.00726	1.48
NT50/3_2013	0.749	0.518	1.44	0.0358	0.0251	0.0146	0.0833	0.0212	2.41	0.0105	0.0306	1.28
NT50/3_2014	0.798	0.617	0.565	0.0435	0.573	0.0218	0.0104	0.102	2.02	0.0105	0.0484	1.4
NT50/3_2015	0.479	0.535	0.783	0.046	0.573	0.0218	0.0104	0.079	1.66	0.0105	0.00726	1.02
NT50/3_2016	0.798	0.518	4.18	0.0205	0.043	0.0109	0.0104	0.0212	4.88	0.116	0.00726	1.32
NT51_2011	0.998	0.354	1	0.0358	0.0215	0.00364	0.0104	0.181	2.43	0.0105	0.00726	1.34
NT51_2012	0.948	0.708	1	0.0409	0.00358	0.00364	0.104	0.282	2.39	0.0105	0.0742	1.64
NT51_2013	1.1	0.806	1.04	0.0486	0.086	0.0692	0.0625	0.158	2.51	0.0105	0.029	1.92
NT51_2014	1.15	0.732	0.783	0.0358	0.0215	0.0218	0.0833	0.282	2.41	0.0105	0.0258	1.88
NT51_2015	0.948	0.724	0.565	0.0486	0.0752	0.0619	0.125	0.282	2.05	0.0105	0.00726	1.66
NT51_2016	1.25	0.535	0.652	0.0409	0.00358	0.00364	0.104	0.248	2.13	0.0105	0.00726	1.8
NT52_2011	1.4	0.815	0.87	0.0409	0.0466	0.0146	0.208	0.169	3.05	0.0105	0.00726	2.2

ตัวอย่าง	meq/L											
	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	SO_4	Cl	HCO_3	F	NO_3	TH
NT52_2012	1.5	0.823	1	0.0409	0.00716	0.0146	0.291	0.259	2.92	0.0105	0.00726	2.2
NT52_2013	3.14	0.823	1.04	0.0358	0.0179	0.0146	0.208	0.818	3.88	0.0105	0.0339	4
NT52_2014	1.75	0.782	0.87	0.0358	0.00358	0.00364	0.291	0.338	3.08	0.0105	0.0306	2.6
NT52_2015	1.8	0.905	1	0.0486	0.0143	0.0146	0.146	0.395	3.23	0.0105	0.00726	2.6
NT52_2016	1.8	0.584	0.913	0.0409	0.00358	0.0146	0.167	0.226	3.03	0.0105	0.00726	2.4
NT53/1_2011	1.1	0.823	0.478	0.0486	0.00358	0.0146	0.0104	0.0564	2.61	0.0105	0.0258	1.94
NT53/1_2012	2.74	2.72	0.87	0.0639	1.54	0.0947	0.104	0.903	5.05	0.0105	0.387	5.4
NT53/1_2013	2.64	0.987	0.391	0.0179	0.824	0.0546	0.0104	0.259	3.74	0.0105	0.194	3.6
NT53/1_2015	2.35	1.07	0.217	0.0307	0.394	0.04	0.0104	0.181	3.57	0.0105	0.115	3.4
NT53/1_2016	2.2	0.905	0.348	0.0179	0.344	0.0437	0.0104	0.0677	3.05	0.0105	0.113	3
NT53/2_2011	0.998	0.667	1	0.0358	0.0609	0.0218	0.0104	0.367	2.59	0.0105	0.00726	1.66
NT53/2_2012	0.454	0.642	0.913	0.0333	0.0143	0.0146	0.0833	0.203	1.88	0.0105	0.00726	1.1
NT53/2_2013	3.39	0.469	3.09	0.0767	0.00358	0.00364	0.0104	5.36	2.28	0.0105	0.0629	3.8
NT53/2_2014	0.374	0.288	2.09	0.0716	0.00358	0.0146	0.0104	1.58	1.08	0.0105	0.0435	0.659
NT53/2_2015	1.15	0.806	1.78	0.0639	0.086	0.0146	0.0104	1.64	2.02	0.0105	0.00726	1.96
NT53/2_2016	2.1	0.206	0.826	0.0358	0.0895	0.0291	0.0104	0.564	2.52	0.0105	0.00726	2.2
NT53/3_2011	3.74	1.56	0.609	0.0281	1.25	0.131	0.0104	0.79	5.23	0.0105	0.242	5.2
NT53/3_2012	1.2	0.806	0.652	0.0435	0.00358	0.0146	0.104	0.147	2.43	0.0105	0.0242	2
NT53/3_2013	1.1	1.07	0.522	0.0435	0.00716	0.0291	0.0104	0.0212	2.47	0.0105	0.0564	2.2
NT53/3_2014	1.15	0.905	0.478	0.0563	0.00358	0.0146	0.0104	0.0903	2.49	0.0105	0.0629	2
NT53/3_2015	1.05	0.905	0.522	0.046	0.00358	0.0146	0.0104	0.0677	2.44	0.0105	0.00726	1.96
NT53/3_2016	1.3	0.51	0.522	0.0409	0.0143	0.0182	0.0104	0.0212	2.28	0.0105	0.00726	1.8
NT54/1_2011	0.175	0.222	1	0.0691	0.00358	0.0146	0.0104	0.0451	1.56	0.0105	0.0258	0.4
NT54/1_2012	0.424	0.346	0.217	0.0384	0.0215	0.0146	0.0625	0.158	0.803	0.0105	0.00726	0.759
NT54/1_2013	2.4	0.56	0.435	0.0793	0.0215	0.00728	0.0104	2.43	1.02	0.0105	0.0339	3
NT54/1_2014	1.6	0.617	0.522	0.0818	0.0143	0.0146	0.0104	2.14	0.656	0.0105	0.0242	2.2
NT54/1_2015	1.25	0.543	0.696	0.0614	0.00716	0.0146	0.0104	1.83	0.639	0.0105	0.00726	1.8
NT54/1_2016	1.35	0.411	0.652	0.0588	0.00358	0.00364	0.0104	1.64	0.606	0.0105	0.00726	1.74
NT54/2_2011	0.424	0.28	0.261	0.0256	0.0143	0.00364	0.0104	0.113	0.721	0.0105	0.00726	0.699
NT54/2_2012	0.599	0.411	0.217	0.0358	0.00716	0.0146	0.0625	0.181	0.983	0.0105	0.00726	0.979
NT54/2_2013	0.948	0.362	0.261	0.0691	0.573	0.0473	0.0104	0.451	1.15	0.0105	0.0306	1.32
NT54/2_2014	0.599	0.379	0.304	0.166	0.824	0.0437	0.0104	0.135	1.15	0.0105	0.0597	0.959
NT54/2_2015	0.499	0.379	0.087	0.384	0.308	0.0146	0.0104	0.0212	1.26	0.0105	0.00726	0.879
NT6_2011	0.699	0.156	4.78	0.0665	0.0143	0.00728	0.0833	0.079	5.97	0.0211	0.0226	0.879
NT6-Apr_2013	1.35	0.379	1.39	0.0997	0.00358	0.0364	0.0104	0.0677	2.97	0.0211	0.00726	1.72
NT6-Aug_2013	1.5	0.189	1.22	0.0946	0.0251	0.0146	0.0208	0.079	2.57	0.0263	0.0468	1.68
NT6_2014	1.05	0.0658	0.87	0.087	0.0215	0.00728	0.0104	0.0212	2.25	0.0211	0.00726	1.14
NT6_2015	1.1	0.247	1.52	0.0946	0.0394	0.00728	0.0104	0.0564	2.79	0.0421	0.00726	1.32
NT6_2016	1.25	0.0494	1.35	0.0767	0.043	0.00728	0.0104	0.0212	2.64	0.0316	0.00726	1.3
NT92_2011	0.699	0.625	2.61	0.0307	0.0215	0.00364	0.0104	0.248	3.9	0.0263	0.00726	1.32

ตัวอย่าง	meq/L											
	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	SO_4	Cl	HCO_3	F	NO_3	TH
NT92_2012	0.749	0.592	2.78	0.023	0.0501	0.0109	0.104	0.31	3.88	0.0263	0.00726	1.36
NT92_2013	0.798	0.436	2.83	0.0256	0.0287	0.00364	0.0625	0.226	4.03	0.0263	0.0387	1.26
NT92_2014	0.798	0.625	2.87	0.0281	0.0179	0.0146	0.0625	0.237	4.06	0.0263	0.0226	1.42
NT92_2015	1.1	0.222	2.65	0.0409	0.0251	0.0146	0.0208	0.271	4.02	0.0211	0.00726	1.3
NT92_2016	0.599	1.73	1.74	0.0256	0.0251	0.0146	0.0104	0.282	3.72	0.0263	0.00726	2.4
NT93_2011	1.3	0.123	0.957	0.0946	0.00358	0.0146	0.0104	0.0212	2.51	0.0211	0.00726	1.42
NT93_2012	0.998	0.42	5.22	0.0537	0.0143	0.00364	0.0833	0.367	5.21	0.0211	0.00726	1.42
NT93_2013	0.998	0.387	4.78	0.0435	0.0358	0.00364	0.0104	0.31	6.29	0.0105	0.0629	1.38
NT93_2014	0.898	0.699	4.78	0.046	0.0394	0.00364	0.0104	0.395	6.29	0.0211	0.258	1.58
NT93_2015	1.15	0.0411	5.22	0.0614	0.0107	0.00364	0.0104	0.282	6.23	0.0105	0.0306	1.18
NT93_2016	0.898	2.63	2.26	0.0435	0.0107	0.00364	0.0104	0.135	5.46	0.0211	0.00726	3.6
NT94/1_2011	1.75	0.749	2.13	0.0563	0.0466	0.0146	0.0104	0.79	4.15	0.0105	0.0161	2.4
NT94/1_2012	1.8	0.584	2.22	0.0563	0.00358	0.0182	0.146	1.02	3.52	0.0105	0.124	2.4
NT94/1_2013	1.85	0.774	2.04	0.0563	0.086	0.0255	0.0104	0.903	3.93	0.0105	0.0677	2.6
NT94/1_2014	1.75	0.774	1.91	0.0716	0.0537	0.0255	0.0104	0.987	3.47	0.0105	0.306	2.6
NT94/1_2015	2.05	0.485	2.22	0.0767	0.0537	0.0255	0.0104	0.987	3.95	0.0105	0.0339	2.6
NT94/1_2016	2.05	1.32	1.74	0.0716	0.0537	0.0328	0.0104	0.959	3.97	0.0105	0.00726	3.4
NT94/2_2011	4.39	2.47	1.96	0.023	0.0107	0.0146	3.12	0.237	6.01	0.0105	0.00726	6.79
NT94/2_2012	4.84	2.8	2.44	0.0333	0.043	0.0182	4.16	0.367	6.44	0.0105	0.00726	7.59
NT94/2_2013	1.8	1.4	2.04	0.0486	1.22	0.0437	0.874	0.451	3.87	0.0105	0.0306	3.2
NT94/2_2014	4.39	2.55	2	0.0256	0.0143	0.0473	2.08	0.338	6.72	0.0105	0.194	6.99
NT94/2_2015	4.19	2.06	2.39	0.0358	0.0107	0.0291	1.77	0.248	6.28	0.0105	0.00726	6.19
NT94/2_2016	4.49	2.8	2.09	0.0281	0.0107	0.00364	1.31	0.237	7.13	0.0105	0.00726	7.19
NT95_2011	0.798	0.461	1.96	0.0537	0.0215	0.0146	0.354	0.147	3.13	0.0105	0.00726	1.24
NT95_2012	2.15	0.823	2.13	0.0435	0.0752	0.0437	3.12	0.48	1.75	0.0105	0.00726	3
NT95_2013	1.05	0.782	1.3	0.0486	0.337	0.051	1.27	0.124	1.57	0.0105	0.029	1.8
NT95_2014	2.15	1.32	2.48	0.046	1.9	0.0437	2.04	1.47	2.59	0.0105	0.194	3.4
NT95_2015	2.2	1.56	2.91	0.0409	0.358	0.0182	1.27	3.1	2.52	0.0316	0.00726	3.8
NT96/1_2011	1.75	1.07	2.48	0.0281	0.0573	0.00728	0.0104	0.48	5.34	0.0211	0.0419	2.8
NT96/1_2012	1.2	1.07	2.83	0.0307	0.00716	0.00364	0.125	0.762	3.93	0.0316	0.0306	2.2
NT96/1_2013	1.1	0.806	3.09	0.0307	0.254	0.0109	0.0625	0.733	4.29	0.0105	0.0403	1.88
NT96/1_2014	1.05	0.815	3	0.0256	0.0179	0.00728	0.146	0.874	4.08	0.0263	0.21	1.88
NT96/1_2015	1.4	0.428	3.09	0.0205	0.00716	0.00364	0.0416	0.903	4.26	0.0211	0.00726	1.84
NT96/1_2016	1.1	1.15	1.61	0.0307	0.0466	0.0218	0.0104	0.931	3.33	0.0316	0.00726	2.2
NT96/2_2011	0.429	0.156	0.304	0.0307	0.00358	0.0146	0.0104	0.31	0.443	0.0105	0.15	0.58
NT96/2_2012	1.25	0.806	2.26	0.046	0.00716	0.00364	0.0625	0.536	3.67	0.0105	0.00726	2
NT96/2_2013	1.25	0.905	2.13	0.0358	0.0645	0.0109	0.0104	0.451	3.8	0.0105	0.0306	2.2
NT96/2_2014	1.25	0.617	1.87	0.0358	0.0143	0.0109	0.0208	0.508	3.47	0.0105	0.137	1.86
NT96/2_2015	1.3	0.444	1.61	0.0665	0.00716	0.0146	0.0833	0.451	2.85	0.0105	0.0435	1.76
NT96/2_2016	1.35	1.32	0.652	0.0435	0.0107	0.00364	0.0104	0.451	2.87	0.0105	0.00726	2.6

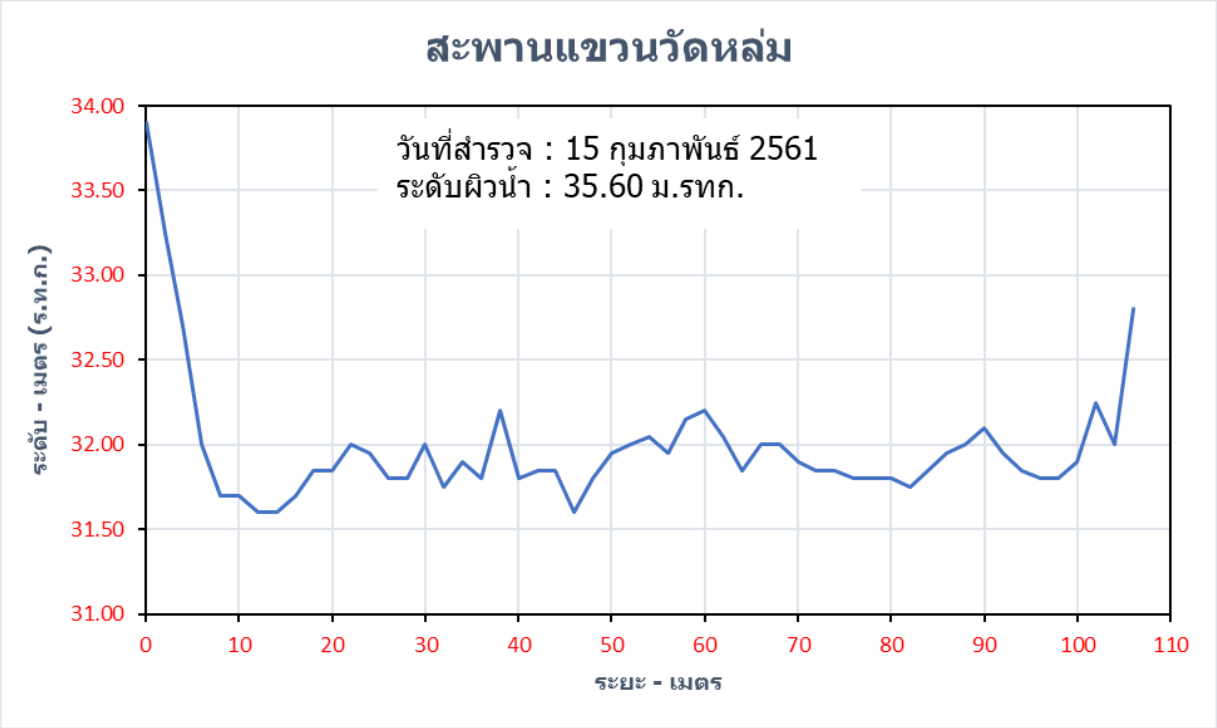
ตัวอย่าง	meq/L											
	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	SO_4	Cl	HCO_3	F	NO_3	TH
NT96/3_2011	0.599	0.625	2.17	0.0179	0.0251	0.0146	0.0104	0.451	2.66	0.0105	0.0145	1.24
NT96/3_2012	0.699	0.815	3.13	0.0307	0.00358	0.0146	0.104	0.282	3.75	0.0263	0.0677	1.52
NT96/3_2013	0.749	0.724	2.96	0.0153	0.308	0.0218	0.167	0.226	4.24	0.0105	0.0274	1.44
NT96/3_2014	0.798	0.724	2.74	0.0179	0.00716	0.00364	0.146	0.248	3.38	0.0211	0.142	1.54
NT96/3_2015	0.948	0.683	2.87	0.0205	0.0251	0.0146	0.0416	0.31	4.26	0.0211	0.00726	1.6
NT96/3_2016	0.699	1.65	2	0.0179	0.0322	0.0182	0.0104	0.226	4.49	0.0316	0.00726	2.4
NT97/1_2011	0.749	0.708	6.52	0.0307	0.0394	0.0218	0.0104	0.135	7.93	0.0632	0.00726	1.46
NT97/1_2012	0.599	0.601	7.83	0.046	0.00716	0.0109	0.0625	0.282	7.72	0.0842	0.00726	1.18
NT97/1_2013	0.898	0.551	7.83	0.023	0.0287	0.0182	0.0208	0.248	8.19	0.0526	0.0306	1.44
NT97/1_2014	0.798	0.749	7.39	0.0256	0.0215	0.0218	0.0208	0.282	8.36	0.0842	0.161	1.54
NT97/1_2015	1.05	0.239	7.83	0.0435	0.0394	0.0218	0.0104	0.237	8.6	0.0684	0.274	1.28
NT97/1_2016	1.05	1.15	6.52	0.0333	0.0287	0.0182	0.0104	0.226	7.93	0.0895	0.00726	2.2
NT97/2_2011	1.45	0.428	4.35	0.046	0.00716	0.00728	0.0104	0.0903	6.47	0.0316	0.0226	1.9
NT97/2_2012	1.2	0.815	5.22	0.0333	0.00358	0.00364	0.104	1.13	5.79	0.0368	0.0274	2
NT97/2_2013	1.65	0.905	6.09	0.0205	0.0501	0.0364	0.0104	0.237	7.77	0.0211	0.0371	2.6
NT97/2_2014	1.6	0.905	5.22	0.0358	0.0287	0.0291	0.0104	0.423	7.82	0.0316	0.242	2.6
NT97/2_2015	1.65	0.675	6.09	0.0818	0.0322	0.0291	0.0104	0.423	7.95	0.0316	0.11	2.4
NT97/2_2016	1.8	1.23	4.35	0.0665	0.0287	0.0291	0.375	0.395	6.93	0.0421	0.00726	3
NT97/3_2011	1.55	0.576	1.44	0.0358	0.43	0.0983	0.0625	0.0212	3.33	0.0105	0.00726	2
NT97/3_2012	0.798	0.362	1.09	0.0281	0.824	0.0546	0.146	0.192	1.93	0.0105	0.00726	1.18
NT97/3_2013	2.69	0.667	1.04	0.023	1.15	0.0837	0.0625	0.079	4.34	0.0105	0.0274	3.4
NT97/3_2015	2.35	0.387	1.04	0.046	0.68	0.0655	0.0104	0.0677	3.75	0.0105	0.111	2.8
NT97/3_2016	2.64	0.765	1	0.0358	1.15	0.0546	0.146	0.158	4.39	0.0105	0.00726	3.4
NT98/1_2011	0.798	0.23	4.35	0.256	0.00716	0.00364	0.0104	0.621	5.29	0.0105	0.00726	1.04
NT98/1_2012	0.649	0.502	4.22	0.0307	0.00358	0.0146	0.0416	0.705	4.79	0.0105	0.0145	1.14
NT98/1_2013	0.649	0.584	4.26	0.0205	0.0394	0.00364	0.0104	0.564	4.98	0.0105	0.0306	1.22
NT98/1_2014	0.848	0.395	4.22	0.0256	0.00716	0.00364	0.0104	0.621	5.1	0.0105	0.05	1.22
NT98/1_2015	0.749	0.313	4.26	0.0205	0.0251	0.00364	0.0104	0.677	4.93	0.0105	0.00726	1.04
NT98/1_2016	0.898	2.22	2.09	0.0281	0.00358	0.0146	0.77	0.592	4	0.0105	0.00726	3
NT98/2_2011	1.05	0.774	1.48	0.046	0.0931	0.0328	0.0104	0.338	3.21	0.0105	0.00726	1.84
NT98/2_2012	1.1	0.774	1.48	0.0435	0.00716	0.00364	0.0833	0.367	2.97	0.0105	0.00726	1.88
NT98/2_2013	1.05	0.79	1.61	0.0435	0.129	0.0291	0.0416	0.31	3.08	0.0105	0.0258	1.84
NT98/2_2014	1.2	0.51	1.44	0.0537	0.0824	0.0291	0.0104	0.367	2.98	0.0105	0.106	1.68
NT98/2_2015	1.1	0.601	1.52	0.0614	0.0573	0.0255	0.0104	0.338	3.05	0.0105	0.029	1.68
NT98/2_2016	1.3	0.625	1.3	0.0435	0.1	0.00728	0.0104	0.367	2.97	0.0105	0.00726	1.94
NT99/1_2011	1.35	1.15	3.35	0.0256	0.0251	0.0218	1.42	0.846	3.8	0.0316	0.00726	2.4
NT99/1_2012	1.3	1.23	3.31	0.0307	0.00716	0.00364	1.42	0.931	4.05	0.0368	0.00726	2.6
NT99/1_2013	1.25	1.4	3.74	0.0256	0.043	0.0218	1.25	0.846	4.16	0.0211	0.0242	2.6
NT99/1_2014	0.319	0.905	15.7	0.0639	0.0143	0.0146	0.0416	0.226	15.5	0.295	0.21	1.26
NT99/1_2015	1.4	0.568	3.04	0.0818	0.00716	0.0109	0.854	0.846	3.82	0.0316	0.00726	2

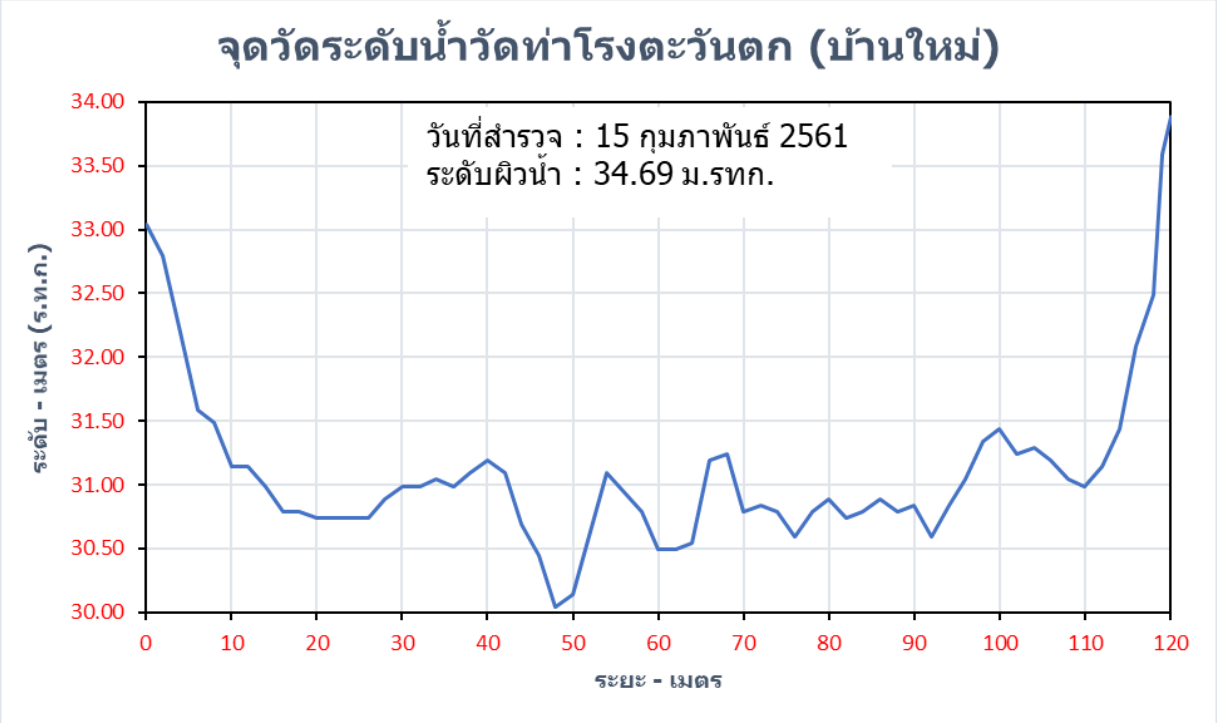
ตัวอย่าง	meq/L											
	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	SO_4	Cl	HCO_3	F	NO_3	TH
NT99/1_2016	1.2	1.48	1.61	0.0537	0.00358	0.00728	0.0104	0.79	3.95	0.0421	0.00726	2.8
NT99/2_2011	3.09	1.73	4.35	0.0333	0.0394	0.0437	4.58	0.451	5.16	0.0105	0.00726	4.8
NT99/2_2012	3.19	2.3	4.78	0.0409	0.00716	0.04	6.25	0.564	4.2	0.0105	0.00726	5.4
NT99/2_2013	2.25	2.06	5.22	0.0281	0.043	0.0328	4.16	0.423	4.26	0.0105	0.0194	4.4
NT99/2_2014	1.2	1.15	3	0.046	0.00358	0.0146	0.937	0.846	3.59	0.0368	0.0935	2.2
NT99/2_2015	2.3	2.06	4.35	0.0205	0.0251	0.0146	3.54	0.48	4.83	0.0105	0.00726	4.4
NT99/2_2016	2.15	0.379	2.09	0.0281	0.00358	0.00728	0.0104	0.395	4.65	0.0105	0.00726	2.6

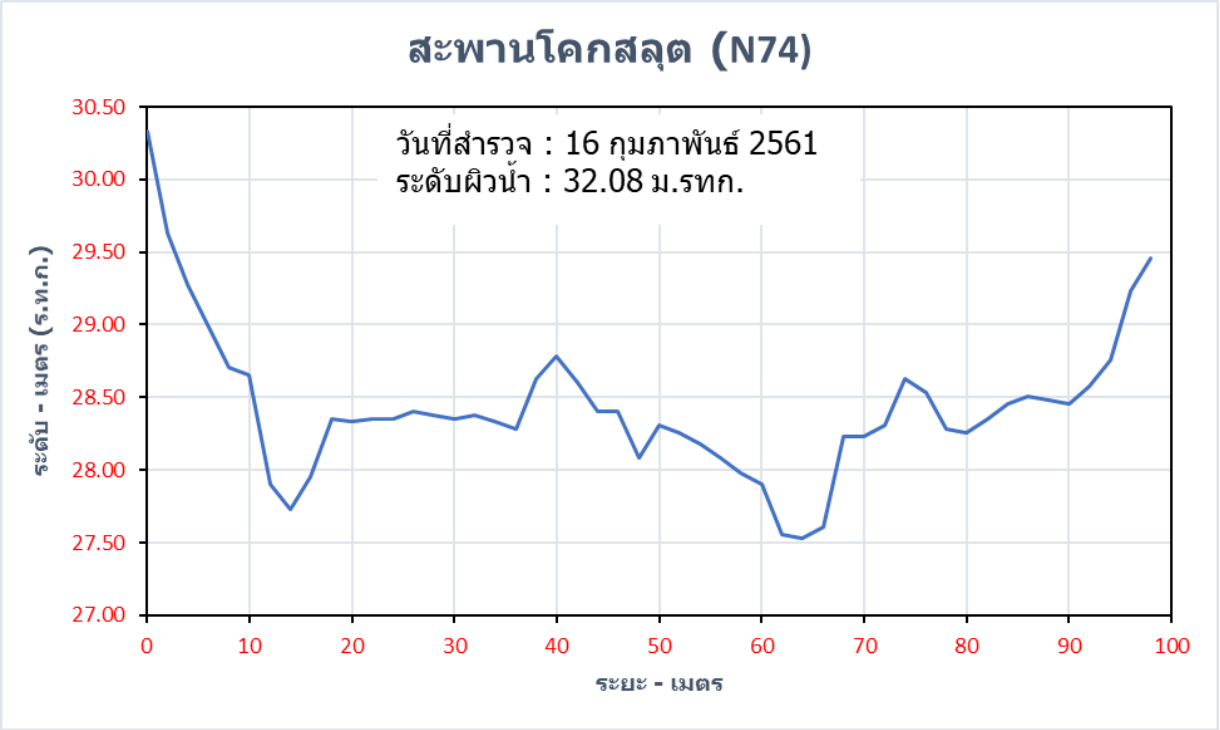
ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้ในโปรแกรม PHREEQC

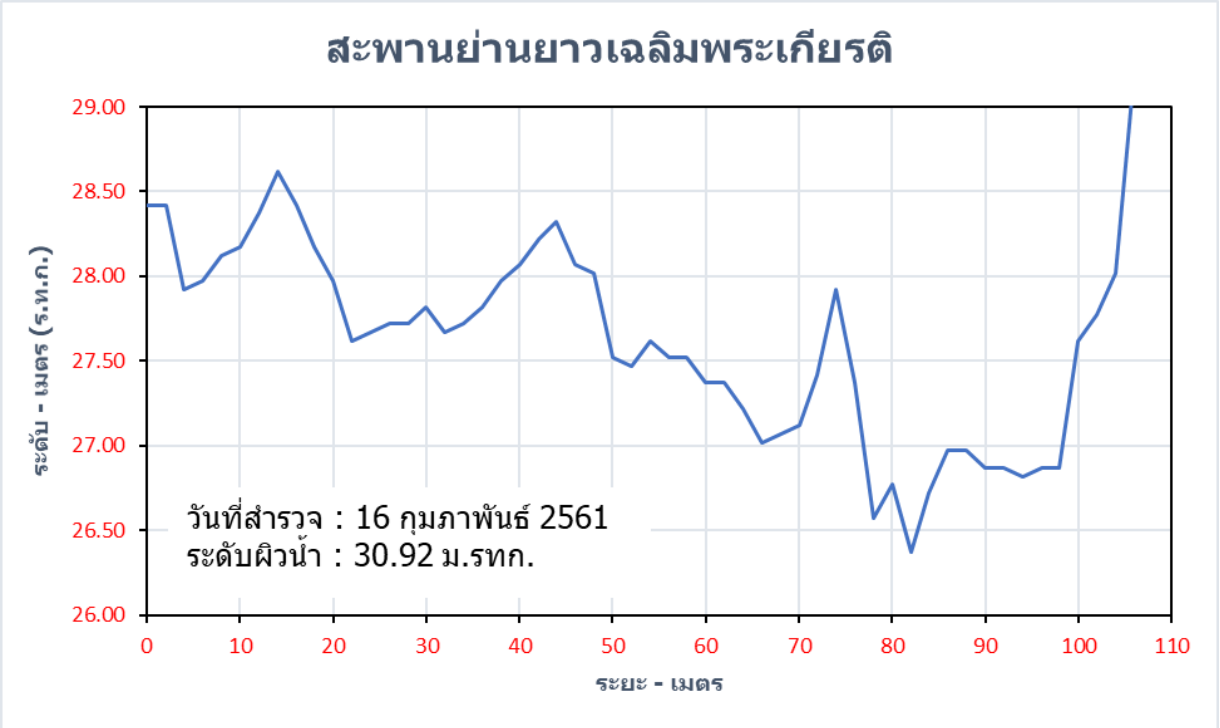
ลำดับ	องค์ประกอบทางเคมี	แหล่งกำเนิดที่ 1 G1 (mg/L)	แหล่งกำเนิดที่ 2 G2 (mg/L)	แหล่งกำเนิดที่ 3 G3 (mg/L)
1	Ca	35.3	0	5.69
2	Mg	12.3	1.09	1.23
3	Na	0	30.1	4.08
4	K	0.122	0	1.36
5	Fe	0.0279	0.191	0.136
6	Mn	0.0543	0.0132	0.470
7	SO_4	0.243	0.233	0.636
8	Cl	0.233	5.04	0
9	F	0.0189	0.0846	0.119
10	NO_3–N	0.307	0.401	1.54

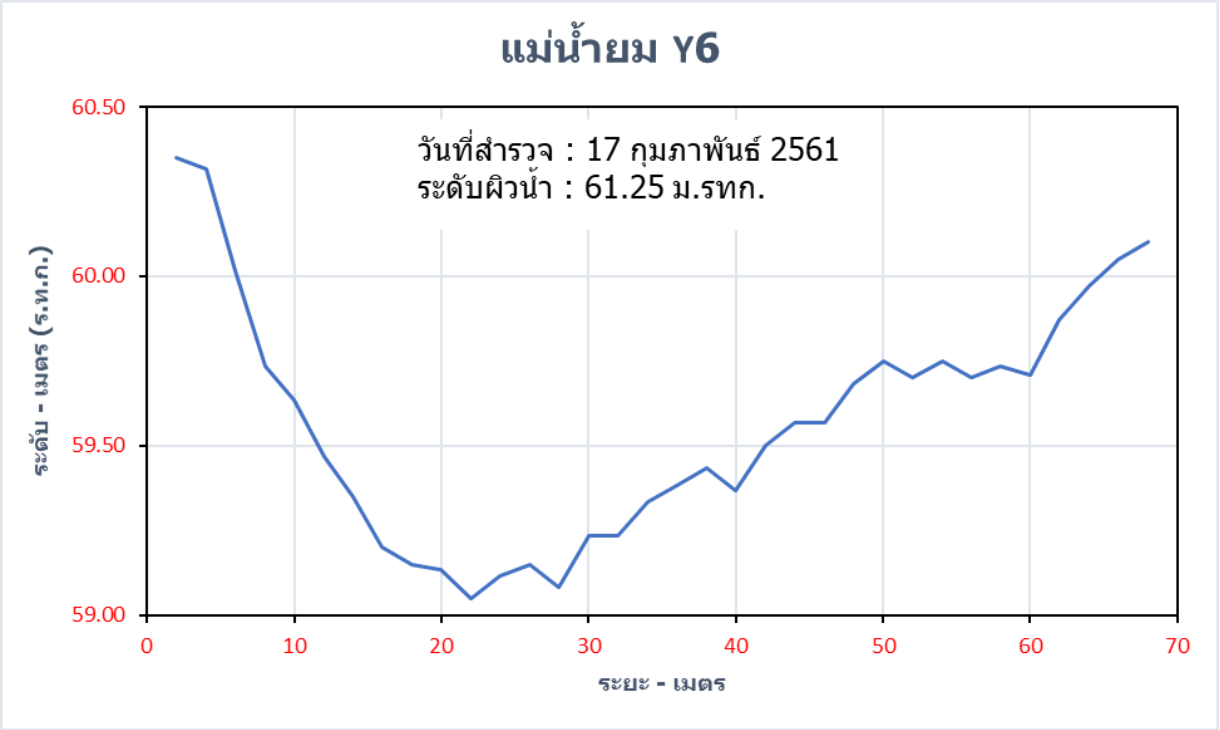
ภาคผนวก ซ. การสำรวจหน้าตัดลำน้ำในพื้นที่ศึกษา

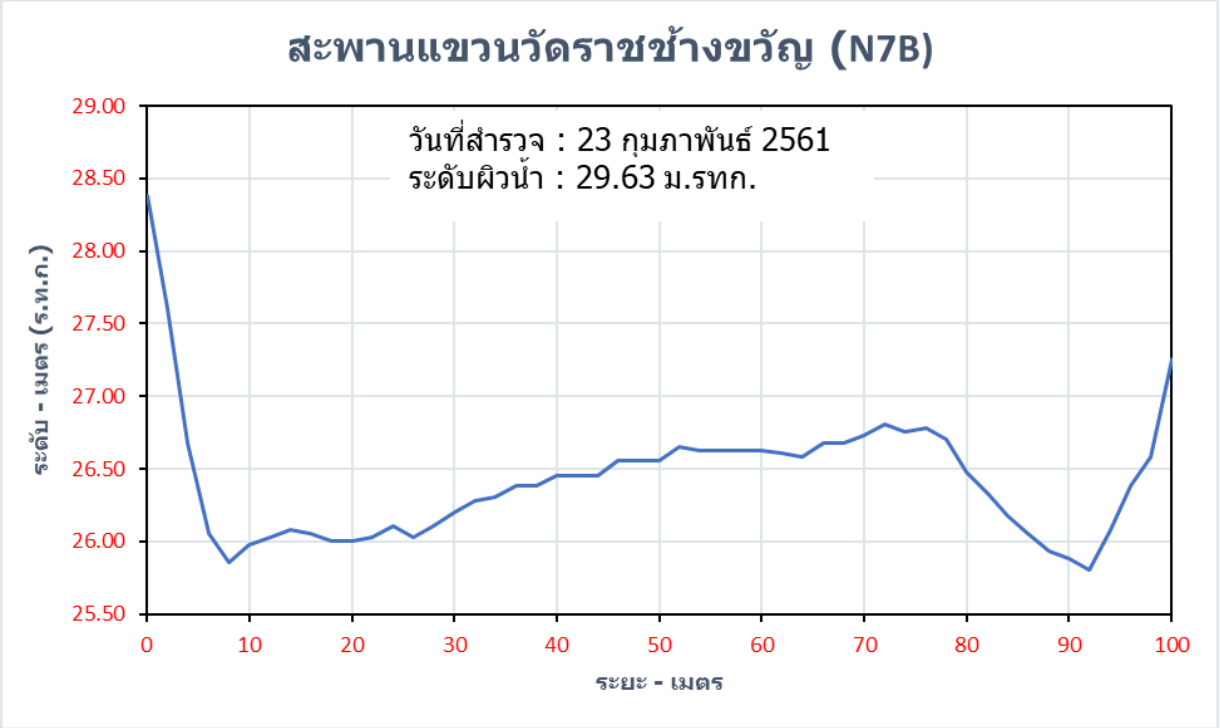


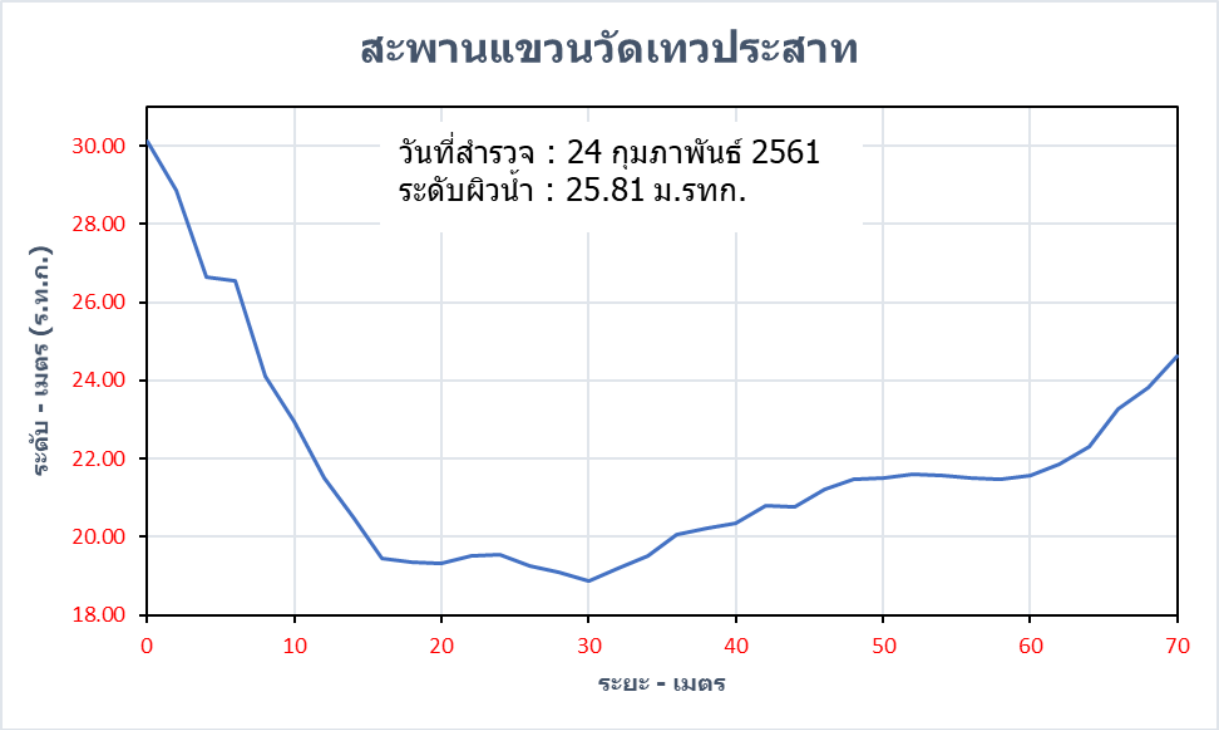


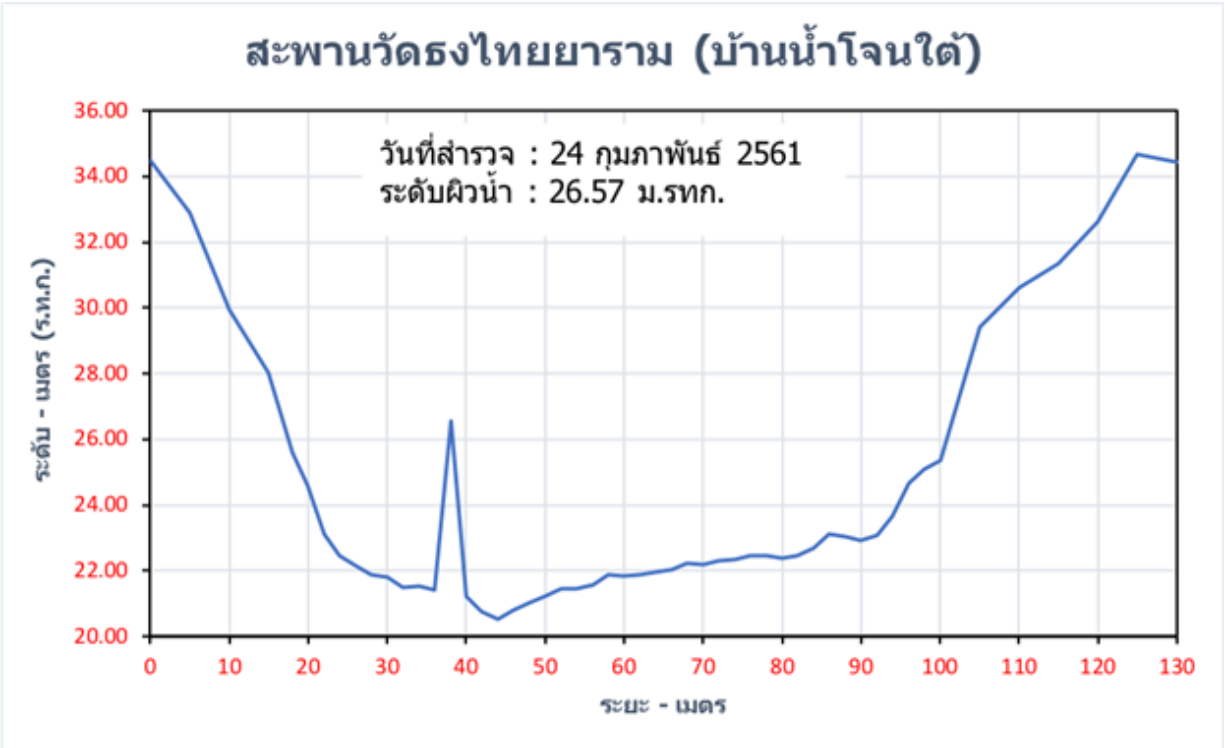

สะพานโคกสลุด (N74)
วันที่สำรวจ : 16 กุมภาพันธ์ 2561
ระดับผิวน้ำ : 32.08 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
30.50
30.00
29.50
29.00
28.50
28.00
27.50
27.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100


สะพานย่านยาวเฉลิมพระเกียรติ
วันที่สำรวจ : 16 กุมภาพันธ์ 2561
ระดับผิวน้ำ : 30.92 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
29.00
28.50
28.00
27.50
27.00
26.50
26.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110

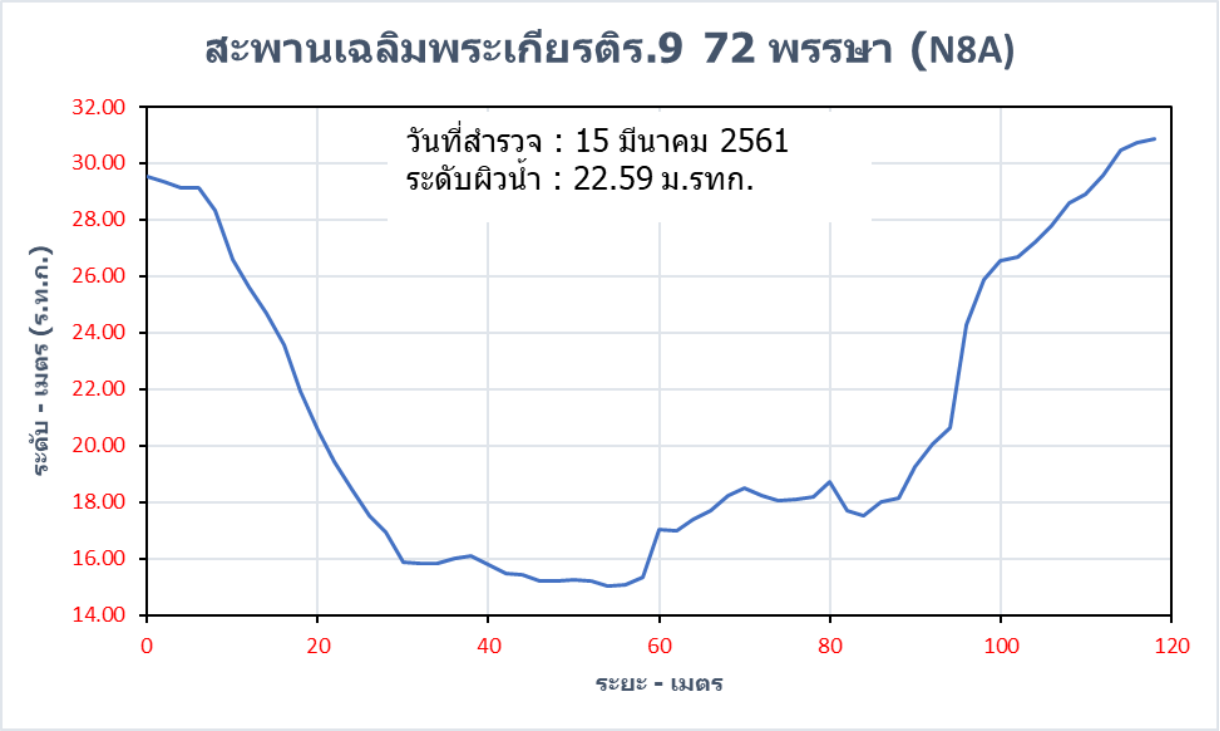

แม่น้ำยม Y6
วันที่สำรวจ : 17 กุมภาพันธ์ 2561
ระดับผิวน้ำ : 61.25 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
60.50
60.00
59.50
59.00
0
10
20
30
40
50
60
70

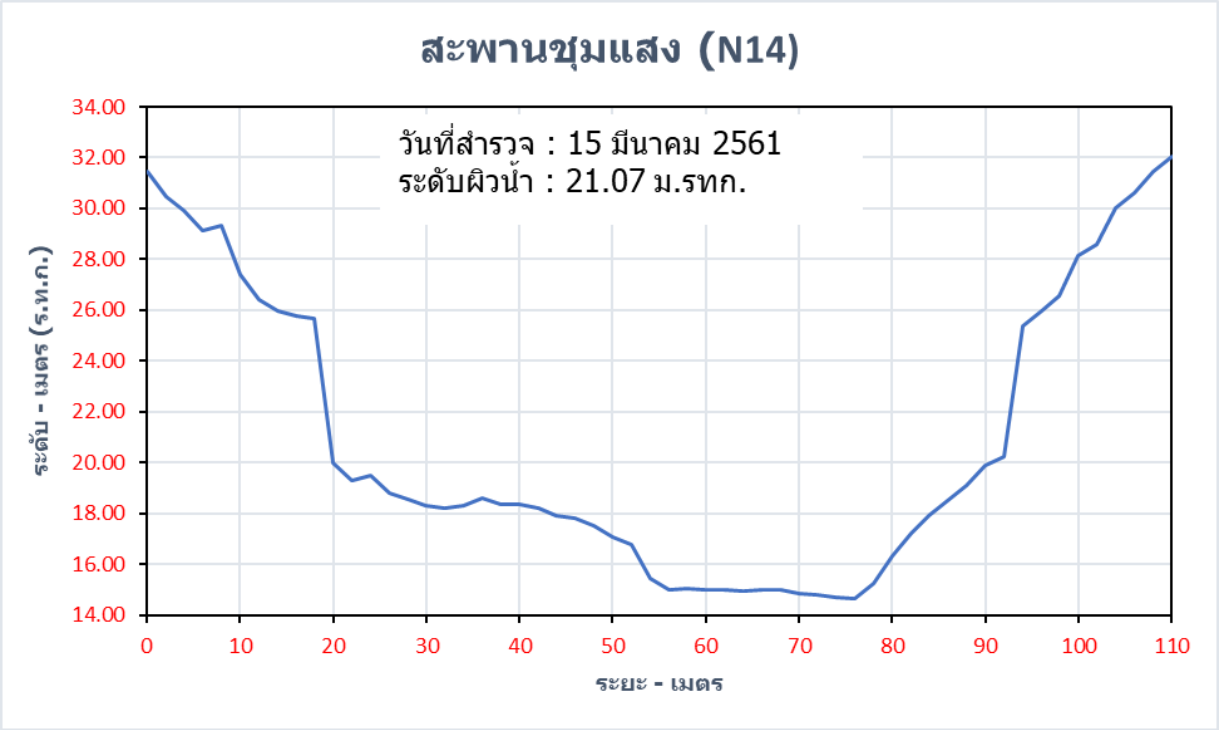

สะพานแขวนวัดราชช้างขวัญ (N7B)
วันที่สำรวจ : 23 กุมภาพันธ์ 2561
ระดับผิวน้ำ : 29.63 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
29.00
28.50
28.00
27.50
27.00
26.50
26.00
25.50
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

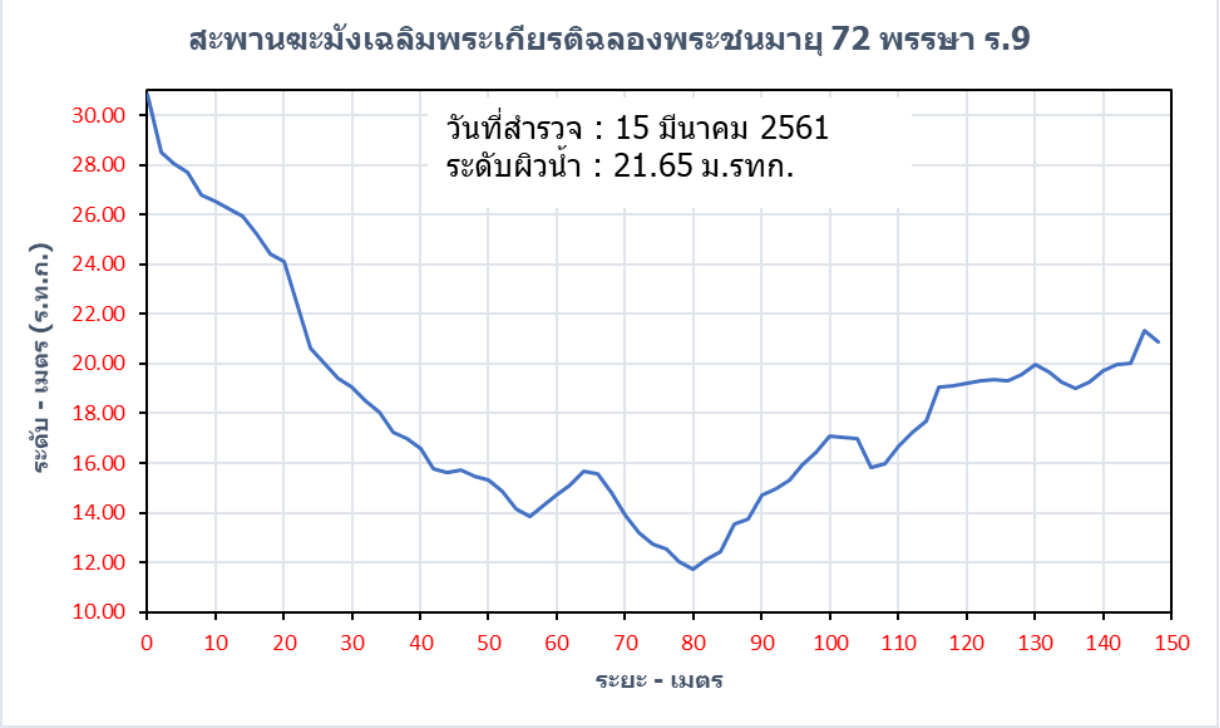

สะพานแขวนวัดเทวประสาท
วันที่สำรวจ : 24 กุมภาพันธ์ 2561
ระดับผิวน้ำ : 25.81 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
30.00
28.00
26.00
24.00
22.00
20.00
18.00
0
10
20
30
40
50
60
70

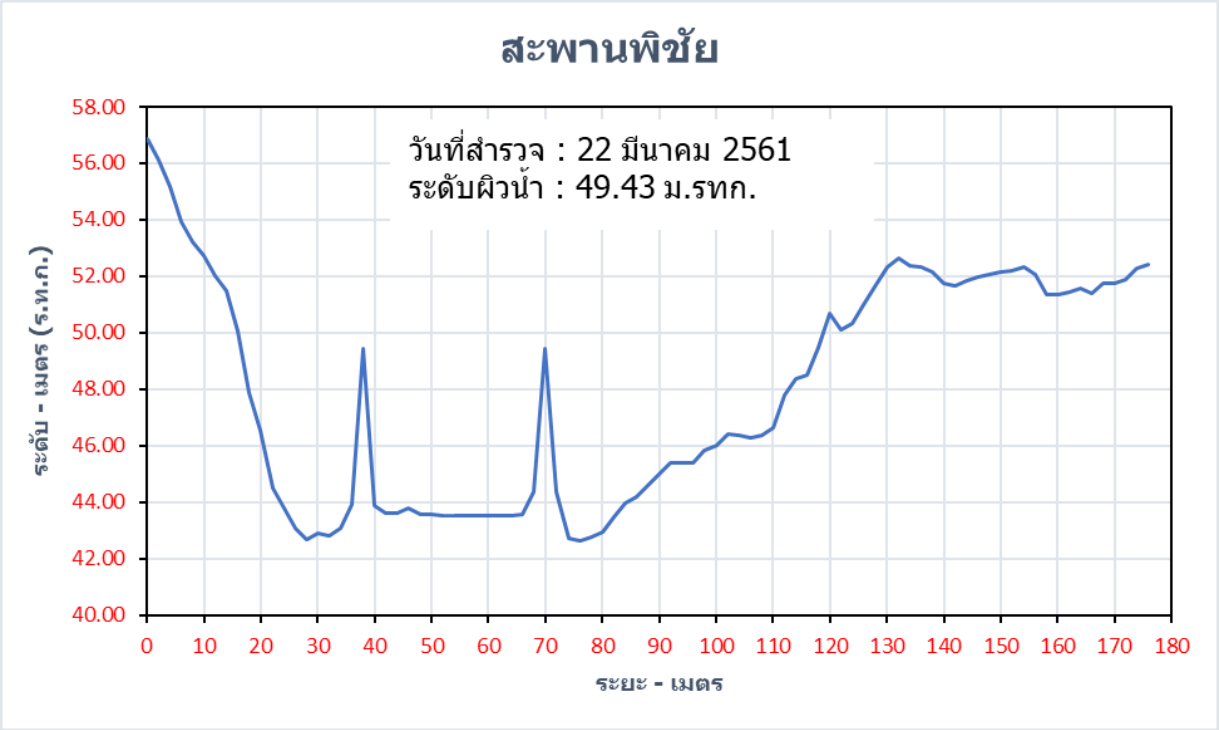

สะพานวัดธงไทยยาราม (บ้านน้ำโจนใต้)
วันที่สำรวจ : 24 กุมภาพันธ์ 2561
ระดับผิวน้ำ : 26.57 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
36.00
34.00
32.00
30.00
28.00
26.00
24.00
22.00
20.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130

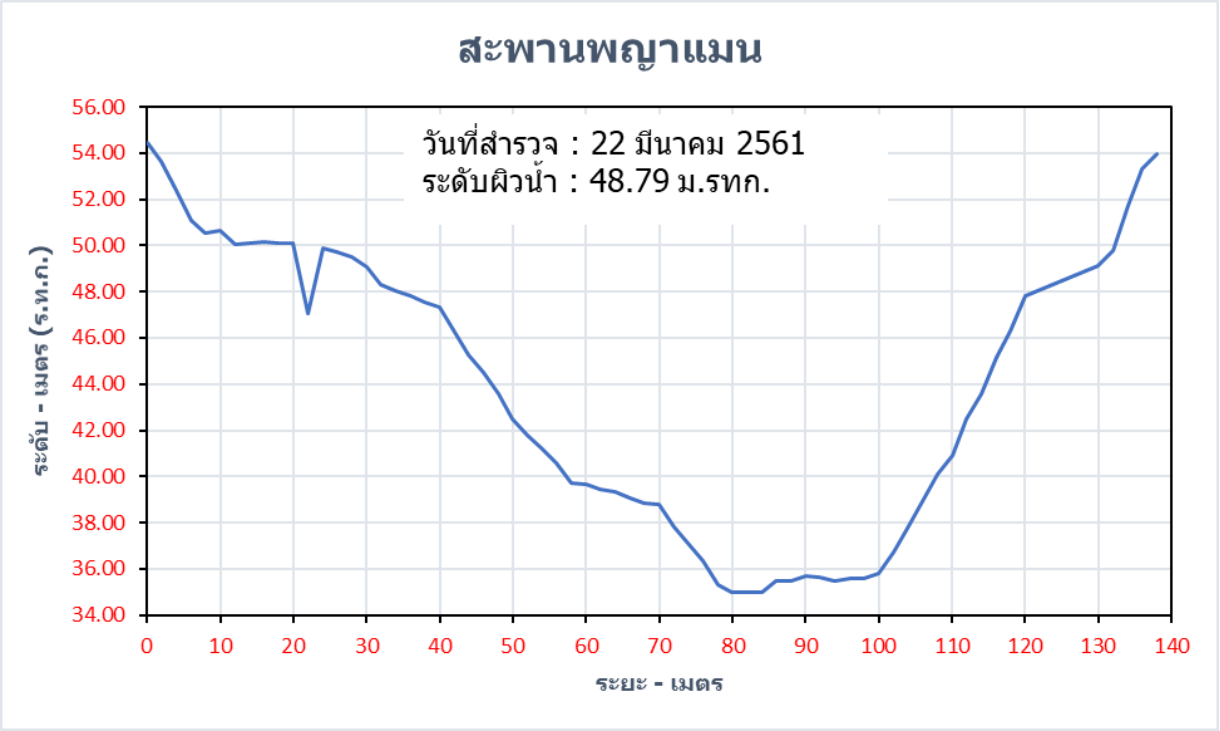
สะพานประชาสามัคคี
วันที่สำรวจ : 15 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 22.30 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
30.00
28.00
26.00
24.00
22.00
20.00
18.00
16.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110

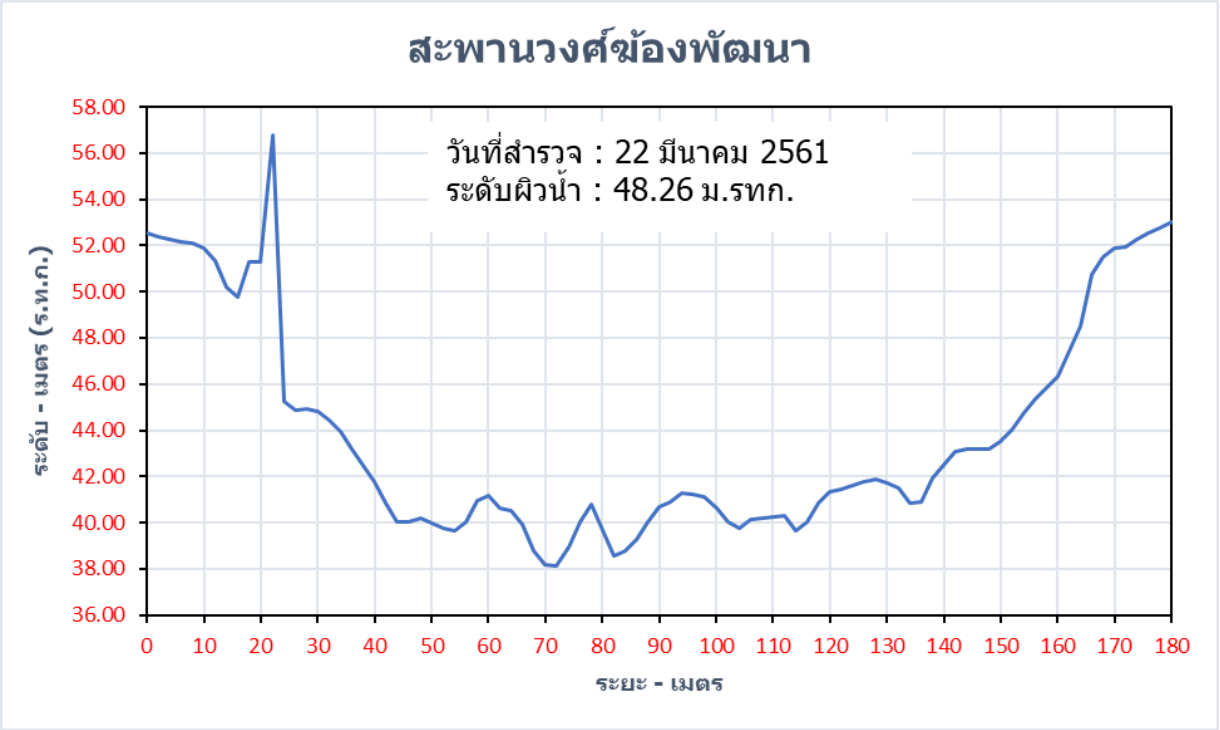

สะพานเฉลิมพระเกียรติร.9 72 พรรษา (N8A)
วันที่สำรวจ : 15 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 22.59 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
32.00
30.00
28.00
26.00
24.00
22.00
20.00
18.00
16.00
14.00
0
20
40
60
80
100
120

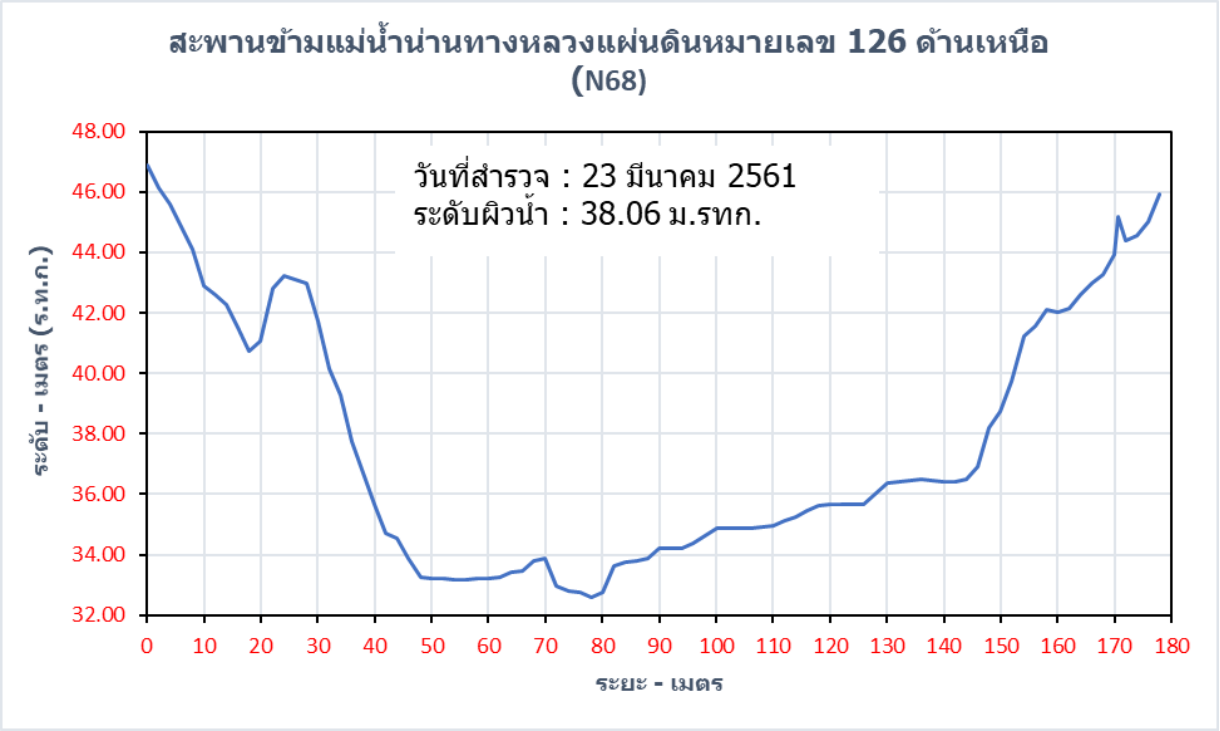

สะพานชุมแสง (N14)
วันที่สำรวจ : 15 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 21.07 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
34.00
32.00
30.00
28.00
26.00
24.00
22.00
20.00
18.00
16.00
14.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110


สะพานฆะมังเฉลิมพระเกียรติฉลองพระชนมายุ 72 พรรษา ร.9
วันที่สำรวจ : 15 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 21.65 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
30.00
28.00
26.00
24.00
22.00
20.00
18.00
16.00
14.00
12.00
10.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150

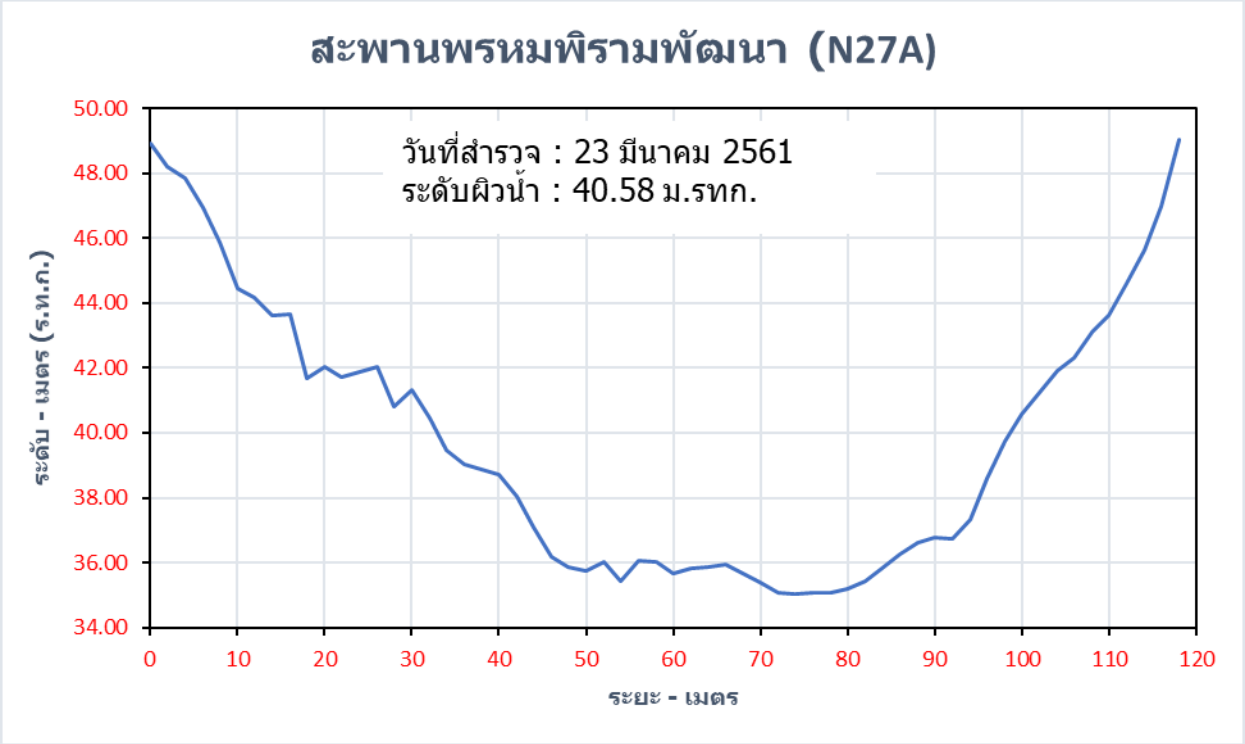

สะพานพิชัย
วันที่สำรวจ : 22 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 49.43 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
58.00
56.00
54.00
52.00
50.00
48.00
46.00
44.00
42.00
40.00
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180


สะพานพญาแมน
วันที่สำรวจ : 22 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 48.79 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
56.00
54.00
52.00
50.00
48.00
46.00
44.00
42.00
40.00
38.00
36.00
34.00
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140

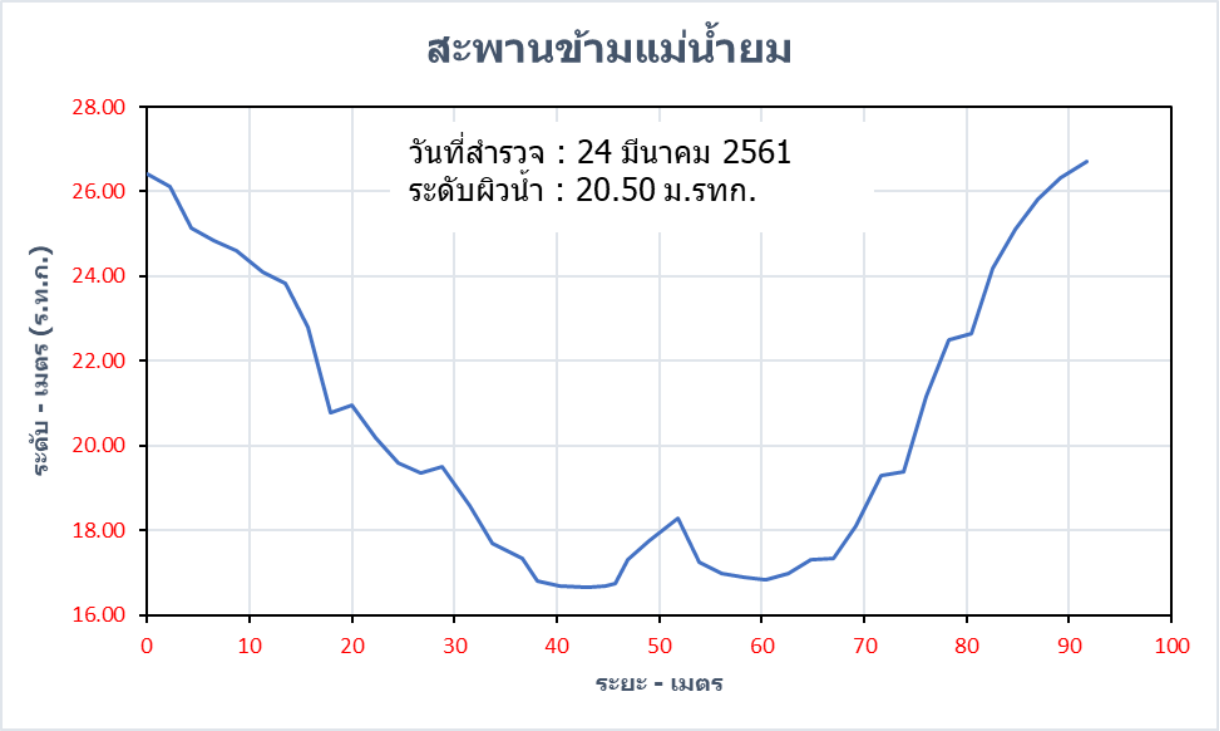

สะพานวงศ์ฆ้องพัฒนา
วันที่สำรวจ : 22 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 48.26 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
58.00
56.00
54.00
52.00
50.00
48.00
46.00
44.00
42.00
40.00
38.00
36.00
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180

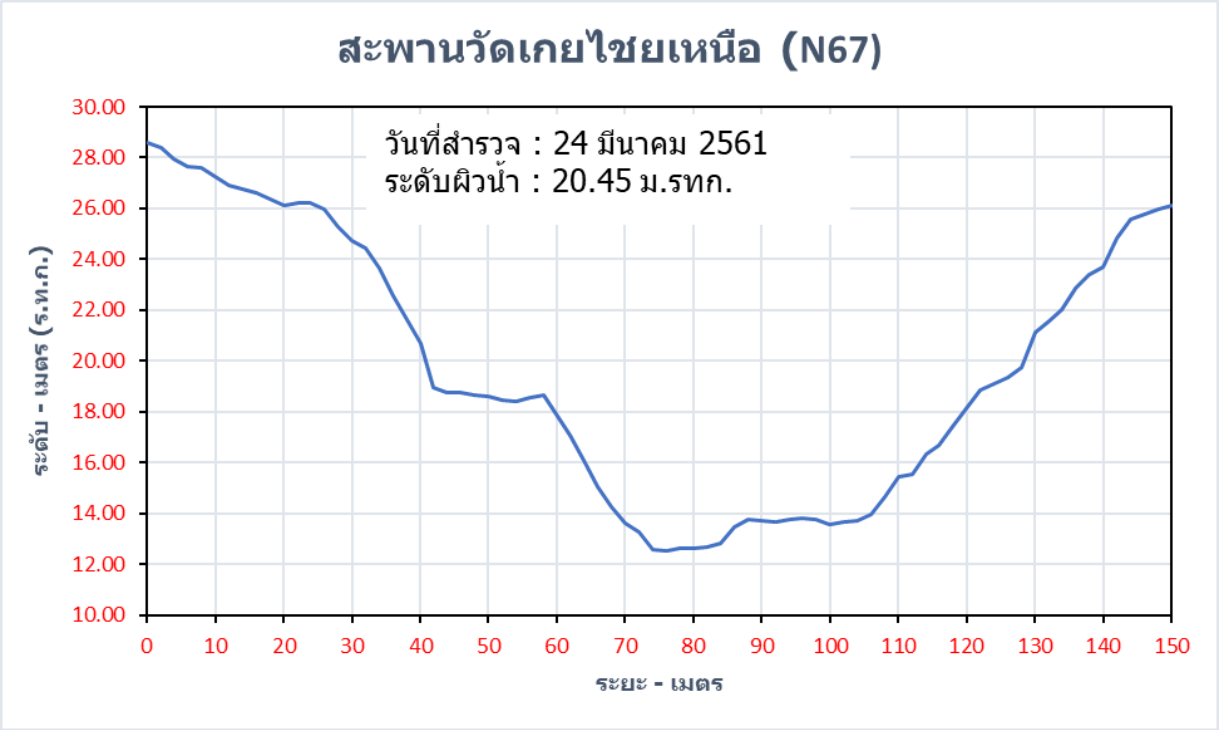

สะพานข้ามแม่น้ำน่านทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 126 ด้านเหนือ
(N68)
วันที่สำรวจ : 23 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 38.06 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
48.00
46.00
44.00
42.00
40.00
38.00
36.00
34.00
32.00
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180

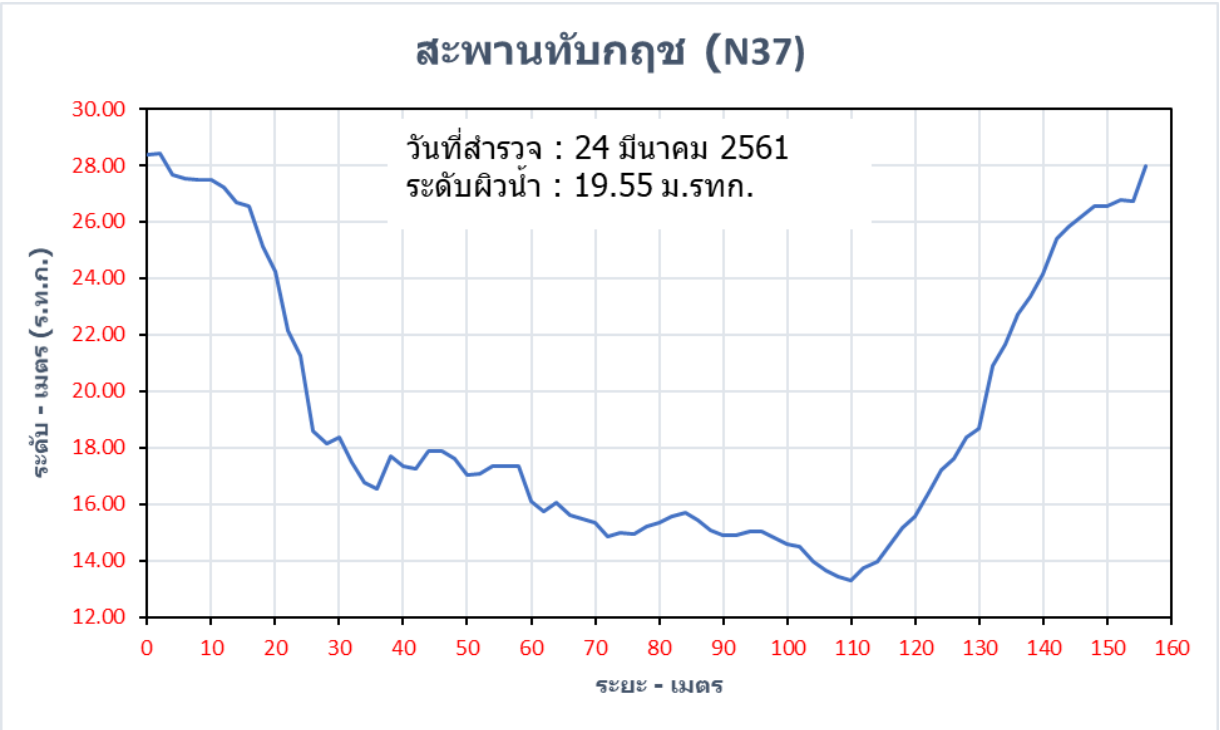
สะพานท่าช้าง
วันที่สำรวจ : 23 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 39.79 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
50.00
48.00
46.00
44.00
42.00
40.00
38.00
36.00
34.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150

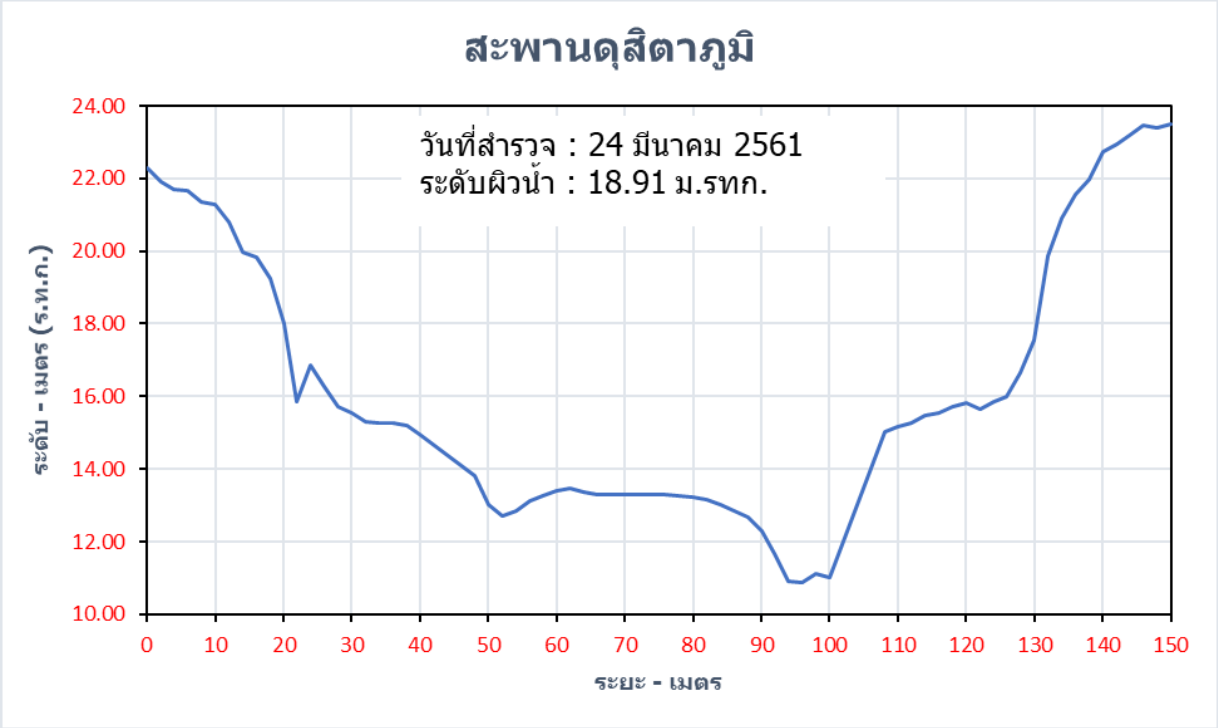

สะพานพรหมพิรามพัฒนา (N27A)
วันที่สำรวจ : 23 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 40.58 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
50.00
48.00
46.00
44.00
42.00
40.00
38.00
36.00
34.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120

สะพานบึงตะโกนสามัคคี
วันที่สำรวจ : 23 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 28.39 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
42.00
40.00
38.00
36.00
34.00
32.00
30.00
28.00
26.00
24.00
22.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140


สะพานข้ามแม่น้ำยม
วันที่สำรวจ : 24 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 20.50 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
28.00
26.00
24.00
22.00
20.00
18.00
16.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

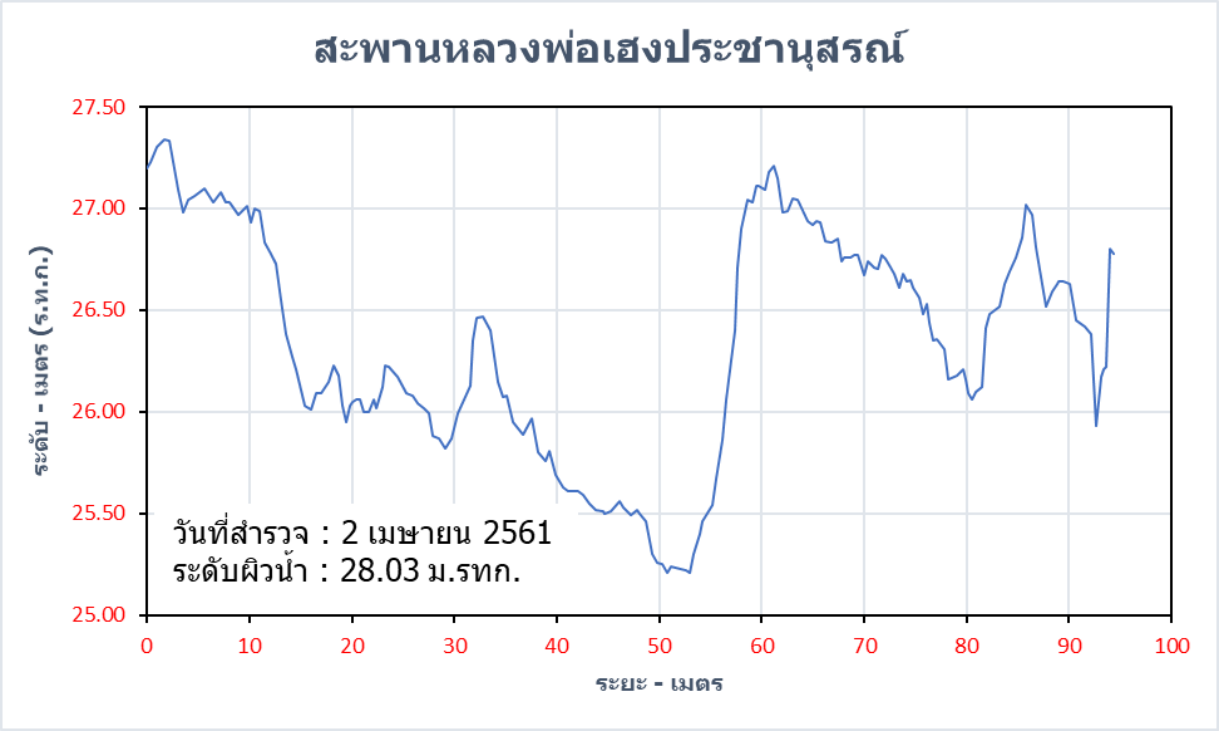

สะพานวัดเกยไชยเหนือ (N67)
วันที่สำรวจ : 24 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 20.45 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
30.00
28.00
26.00
24.00
22.00
20.00
18.00
16.00
14.00
12.00
10.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150

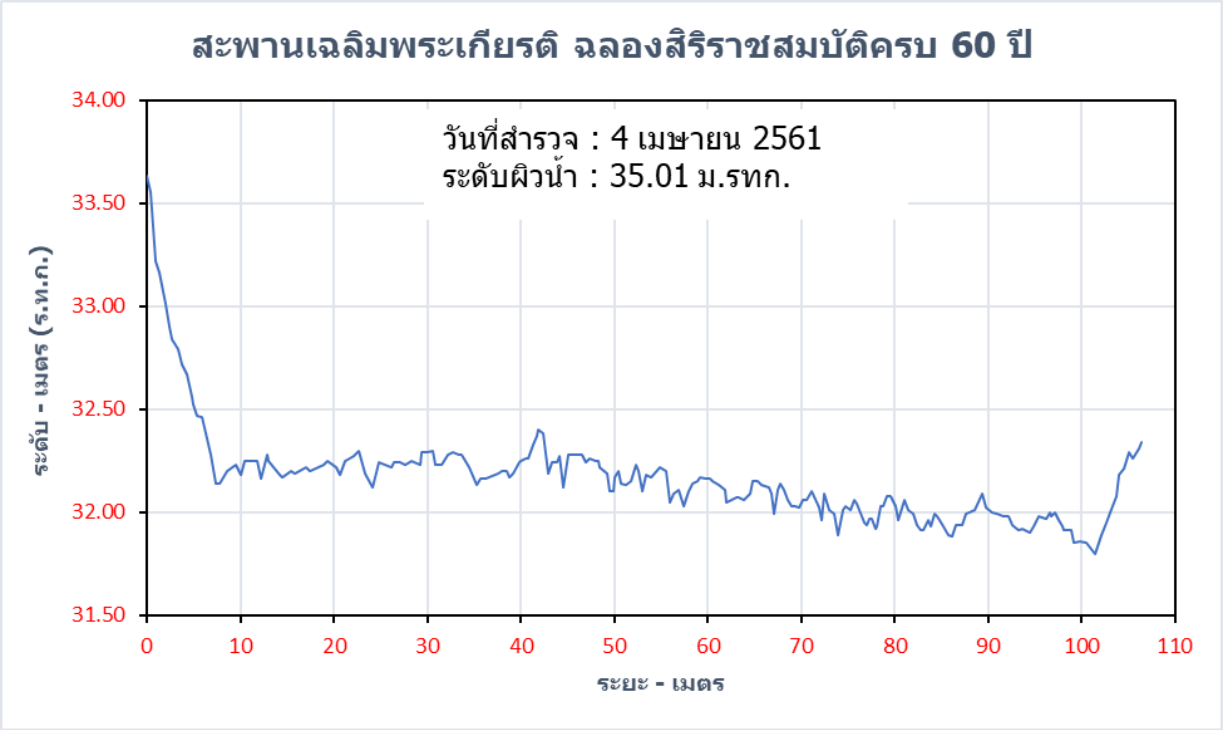

สะพานทับกฤช (N37)
วันที่สำรวจ : 24 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 19.55 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
30.00
28.00
26.00
24.00
22.00
20.00
18.00
16.00
14.00
12.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160

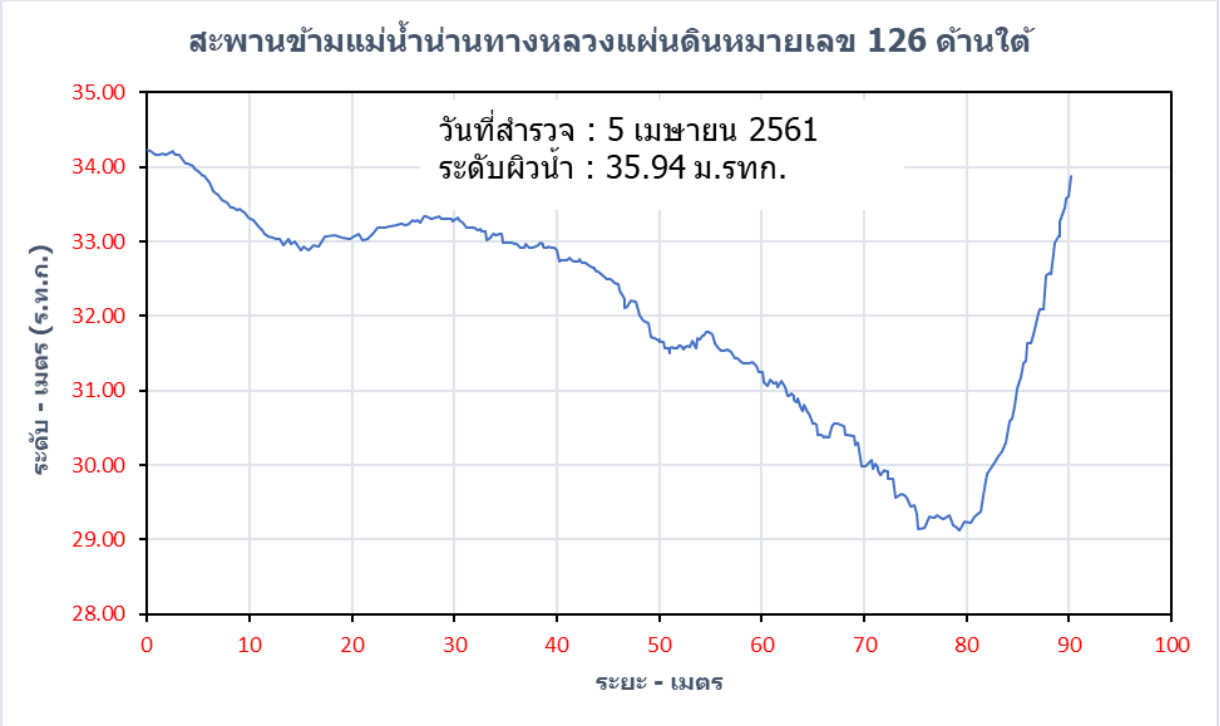

สะพานดุสิตาภูมิ
วันที่สำรวจ : 24 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 18.91 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
24.00
22.00
20.00
18.00
16.00
14.00
12.00
10.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150

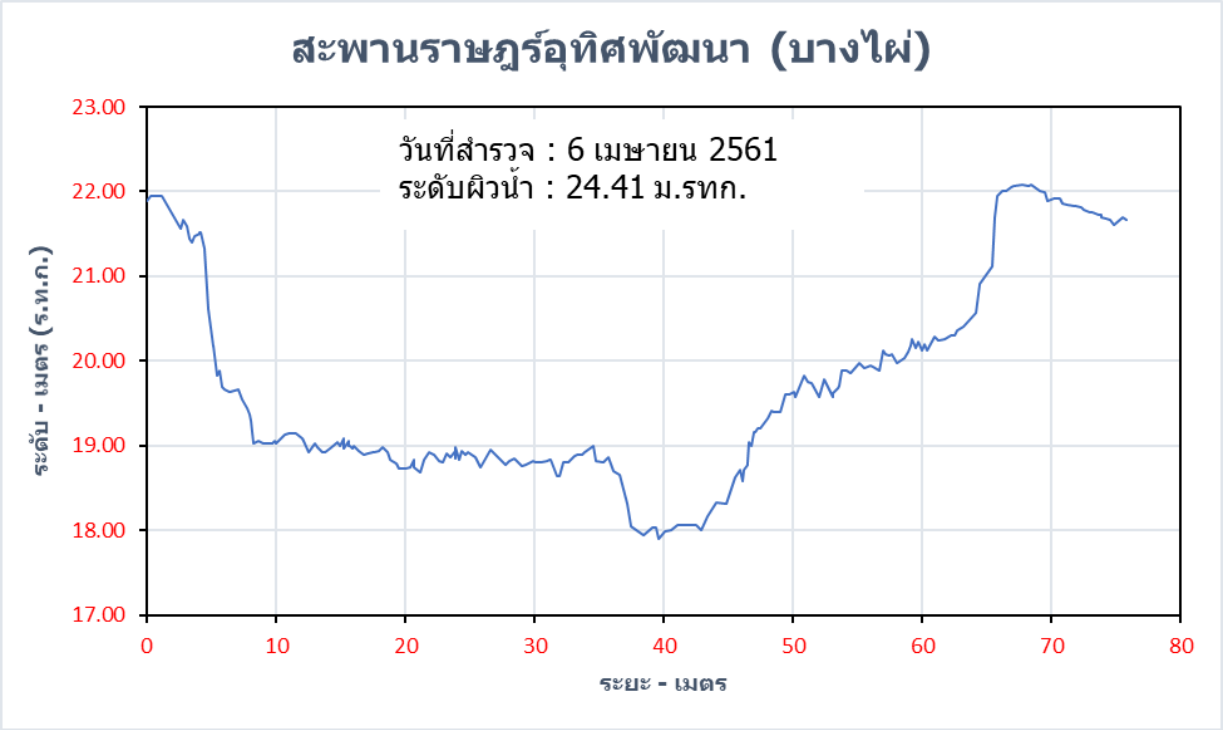
สะพานนิมมานรดี
วันที่สำรวจ : 24 มีนาคม 2561
ระดับผิวน้ำ : 21.14 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
32.00
30.00
28.00
26.00
24.00
22.00
20.00
18.00
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240

วัดใหม่ราษฎร์ทรงธรรม
วันที่สำรวจ : 1 เมษายน 2561
ระดับผิวน้ำ : 32.57 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
32.00
31.50
31.00
30.50
30.00
29.50
29.00
28.50
28.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

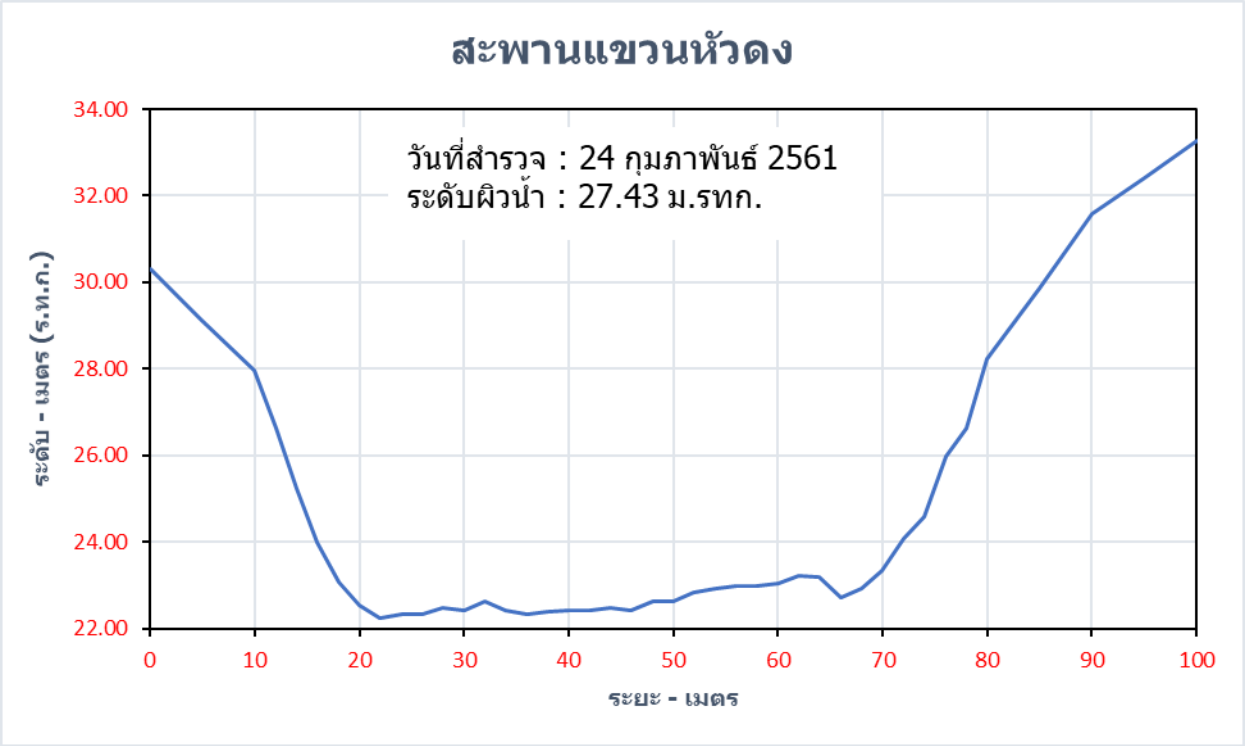

สะพานหลวงพ่อเฮงประชานุสรณ์
วันที่สำรวจ : 2 เมษายน 2561
ระดับผิวน้ำ : 28.03 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
27.50
27.00
26.50
26.00
25.50
25.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

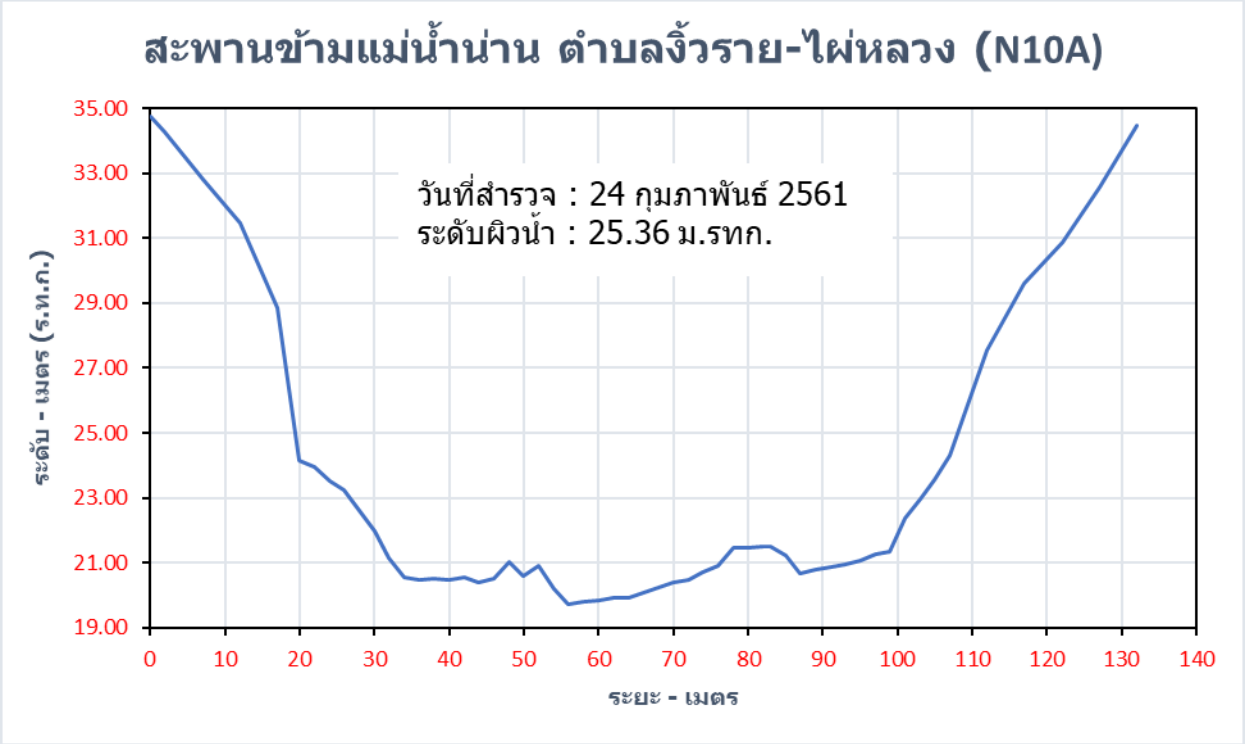

สะพานเฉลิมพระเกียรติ ฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี
วันที่สำรวจ : 4 เมษายน 2561
ระดับผิวน้ำ : 35.01 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
34.00
33.50
33.00
32.50
32.00
31.50
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110


สะพานข้ามแม่น้ำน่านทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 126 ด้านใต้
วันที่สำรวจ : 5 เมษายน 2561
ระดับผิวน้ำ : 35.94 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
35.00
34.00
33.00
32.00
31.00
30.00
29.00
28.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100


สะพานราษฎร์อุทิศพัฒนา (บางไผ่)
วันที่สำรวจ : 6 เมษายน 2561
ระดับผิวน้ำ : 24.41 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
23.00
22.00
21.00
20.00
19.00
18.00
17.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80

สะพานข้ามแม่น้ำน่าน (บ้านคลองปลากด)
วันที่สำรวจ : 7 เมษายน 2561
ระดับผิวน้ำ : 19.97 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
18.00
17.00
16.00
15.00
14.00
13.00
12.00
11.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90


สะพานแขวนหัวดง
วันที่สำรวจ : 24 กุมภาพันธ์ 2561
ระดับผิวน้ำ : 27.43 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
34.00
32.00
30.00
28.00
26.00
24.00
22.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100


สะพานข้ามแม่น้ำน่าน ตำบลงิ้วราย-ไผ่หลวง (N10A)
วันที่สำรวจ : 24 กุมภาพันธ์ 2561
ระดับผิวน้ำ : 25.36 ม.รทก.
ระดับ - เมตร (ร.ท.ก.)
ระยะ - เมตร
35.00
33.00
31.00
29.00
27.00
25.00
23.00
21.00
19.00
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140

ภาคผนวก ณ. ตัวอย่างแบบสอบถามในการประชุมเชิงปฏิบัติการ

แบบสอบถามในกิจกรรมการประชุมเชิงปฏิบัติการ
โครงการการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนน้ำบาดาลและน้ำผิวดินในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึง
บริเวณลุ่มน้ำยมและน่านตอนล่าง

คำชี้แจงแบบสอบถามในกิจกรรมประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อรับฟังความคิดเห็นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของกลุ่มเป้าหมายในพื้นที่โดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่ตรงกับความพึงพอใจของท่านมากที่สุด

ตอนที่ 1ข้อมูลทั่วไป

เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง

สถานะ ☐เกษตรกร ☐เจ้าหน้าที่รัฐ ☐อื่นๆ โปรดระบุ.....

ตอนที่ 2 รายการประเมินการประชุมเชิงปฏิบัติการ

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
(1) มีความเข้าใจวัตถุประสงค์และเป้าหมายการประชุมครั้งนี้ได้อย่างชัดเจน					
(2) เอกสารประกอบการประชุมเหมาะสม					
(3) เกิดบรรยากาศการแลกเปลี่ยนข้อมูลและแสดงความคิดเห็นได้อย่างเหมาะสม					
(4) ระยะเวลาในการจัดการประชุมเชิงปฏิบัติการมีความเหมาะสม					
(5) ภาพรวมของสถานที่จัดการประชุมและอาหารมีความเหมาะสม					
(6) ผู้เข้าประชุมมีความยินดีเข้าร่วมกิจกรรมการประชุมเชิงปฏิบัติการในครั้งต่อไป					

ตอนที่ 3 แนวทางการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดิน

รายการประเมิน	ความคิดเห็น			
	ใช่	ปานกลาง	ไม่ใช่	ไม่แน่ใจ
(1) ท่านรู้จักการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินหรือไม่				
(2) ท่านเชื่อหรือไม่ว่าการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินอย่างมีประสิทธิภาพจะเป็นทางออกในการบรรเทาหรือแก้ไขปัญหาทรัพยากรน้ำในพื้นที่ของท่าน				
(3) ท่านเชื่อหรือไม่ว่าการใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์สามารถช่วยให้การวางแผนการบริหารจัดการน้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ				
(4) ท่านคิดว่าน้ำบาดาลกับน้ำผิวดินมีการแลกเปลี่ยนกันหรือไม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เกษตรกรรมน้ำท่วมถึง				
(5) ท่านคิดว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบต่อศักยภาพน้ำบาดาลหรือไม่				
(6) พื้นที่ของท่านกำลังประสบปัญหามลพิษในน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้หรือไม่				

ตอนที่ 4ข้อเสนอแนะ

.....

ขอขอบคุณที่กรุณาตอบแบบสอบถาม