กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร

รายงานฉบับสมบูรณ์

รายงานหลัก



จัดทำโดย

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มีนาคม 2554



กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร

รายงานฉบับสมบูรณ์

รายงานหลัก

จัดทำโดย



มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มีนาคม 2554

รายงานฉบับสมบูรณ์

รายงานหลัก

เจ้าของโครงการ

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

จัดทำโดย

มหาวิทยาลัยขอนแก่น
กระทรวงศึกษาธิการ

ที่ปรึกษาโครงการ

นายปราณีต ร้อยบาง	อธิบดีกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
นายสุพจน์ เจิมสวัสดิพงษ์	รองอธิบดีกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
นายสัมฤทธิ์ ชุษณะทัศน์	รองอธิบดีกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

คณะกรรมการดำเนินการจ้างที่ปรึกษาโดยวิธีตกลง

นายสัมฤทธิ์ ชุษณะทัศน์	ประธานกรรมการ
นายประเสริฐ หมู่มาก	กรรมการ
นายสุกรี บูรณะสรรค์	กรรมการ
น.ส.รัตนาวดี โกศล	กรรมการ
นายไกรศร สังฆจันทร์	กรรมการ

คณะกรรมการตรวจสอบงาน

นายสิทธิศักดิ์ มั่นอยู่	ประธานกรรมการ
นายเกรียงศักดิ์ ภิระไร	กรรมการ
นางอัญชลี พงษ์สถิตย์พัฒน์	กรรมการ
นางเสาวนีย์ สังฆจันทร์	กรรมการ
น.ส.อุไร บางยี่ขัน	กรรมการ

คณะที่ปรึกษา

รศ.ดร.เกรียงศักดิ์ ศรีสุข	หัวหน้าโครงการ ผู้เชี่ยวชาญด้านอุทกธรณีวิทยา
นายสมชัย วงศ์สวัสดิ์	รองหัวหน้าโครงการและผู้เชี่ยวชาญด้านอุทกธรณีวิทยา
นายวิฑิต ศิริโภคากิจ	ที่ปรึกษาด้านอุทกธรณีวิทยา
ดร.ทวีศักดิ์ ศิลกุล	ที่ปรึกษาด้านธรณีฟิสิกส์
Dr. Paul Pavelic	ผู้เชี่ยวชาญด้าน Managed aquifer recharge
นายเจริญ เชื่อมไธสง	ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและก่อสร้างสระเติมน้ำ
รศ.ดร.วิชัย ศรีบุญลือ	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ
นายธีรวัชร อินทรสูต	ผู้เชี่ยวชาญด้านอุทกธรณีวิทยา
นายธีรศักดิ์ ตั้งสุทธินนท์	ผู้เชี่ยวชาญด้านอุทกธรณีวิทยา
ผศ.หล้า อาจวิชัย	ผู้เชี่ยวชาญด้านธรณีวิทยา
นายเจตต์ จุลวงษ์	ผู้เชี่ยวชาญด้านธรณีฟิสิกส์
ดร.กฤติกา ตระกูลงาม	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
นายโพยม สราภิรมย์	ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา
นายเกษม จิตทยานันท์	ผู้ประสานงานโครงการฝ่ายสนาม
น.ส.เกวรี พลเกิ้น	ผู้ประสานงานโครงการฝ่ายวิชาการและวิศวกรแหล่งน้ำ
นายสุวันชัย นาดี	นักวิชาการด้านวิศวกรรมดินและน้ำ
น.ส.ธิดารัตน์ โคตนนท์	นักอุทกธรณีวิทยา
น.ส.ศิริรัตน์ อุปสิทธิ์	นักอุทกธรณีวิทยา
นายประยุทธ เสนชัย	นักอุทกธรณีวิทยา
น.ส.เพ็ญลดา บุญสงกา	นักอุทกธรณีวิทยา
นายสุรพัฒน์ แสงทวีป	นักอุทกธรณีวิทยา
น.ส.อภิญญา อินจันทร์	นักอุทกธรณีวิทยา

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	**บทนำ**	**1-1**
1.1	หลักการและเหตุผล	1-1
1.2	วัตถุประสงค์	1-2
1.3	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	1-2
1.3.1	การศึกษาอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	1-2
1.3.2	การศึกษาความเหมาะสมของพื้นที่ศึกษาขั้นละเอียด	1-6
1.3.3	การออกแบบและสร้างระบบเติมน้ำ	1-6
1.3.4	การดำเนินการทดลองระบบเติมน้ำ	1-7
1.3.5	การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล	1-7
1.3.6	การจัดประชุมเพื่อนำเสนอและเผยแพร่ข้อมูล	1-7
บทที่ 2	**การเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล**	**2-1**
2.1	หลักการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล	2-1
2.2	วิธีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล	2-2
2.3	การคัดเลือกระบบการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล	2-5
2.4	พัฒนาการของระบบเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล	2-5
2.4.1	พัฒนาการของระบบเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลในต่างประเทศ	2-10
2.4.2	พัฒนาการของระบบเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลในประเทศไทย	2-31
บทที่ 3	**สภาพทางกายภาพของลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร และการคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมในการเติมน้ำผ่านระบบสระน้ำ**	**3-1**
3.1	ภูมิประเทศ	3-1
3.2	ภูมิอากาศและอุตุนิยมวิทยา	3-3
3.3	อุทกวิทยา	3-3
3.4	ดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน	3-10
3.5	ธรณีวิทยา	3-14
3.6	อุทกธรณีวิทยา	3-20
3.6.1	ลักษณะและการวางตัวของชั้นน้ำบาดาล	3-20
3.6.2	การไหลและคุณภาพของน้ำบาดาล	3-24
3.6.3	การพัฒนาและการใช้น้ำบาดาล	3-28
3.7	เศรษฐกิจและสังคม	3-30
3.8	การคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมในการเติมน้ำระบบสระ	3-31

สารบัญ

		หน้า
3.8.1	วิธีการคัดเลือก	3-31
3.8.2	ผลการคัดเลือก	3-38
บทที่ 4	**พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่และการคัดเลือกพื้นที่นำร่อง**	**4-1**
4.1	พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-1
4.1.1	สภาพทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-1
4.1.2	การสำรวจและจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:50,000	4-6
4.1.3	การจำลองการไหลของน้ำบาดาลและน้ำผิวดินเชิงคณิตศาสตร์ พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-38
4.1.4	การคัดเลือกพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด	4-55
4.2	พื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด	4-64
4.2.1	สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด	4-64
4.2.2	การสำรวจขั้นรายละเอียดและจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:10,000	4-69
4.2.3	การจำลองการไหลของน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ศึกษาขั้นรายละเอียด	4-80
4.2.4	การคัดเลือกพื้นที่นำร่อง	4-86
4.3	พื้นที่นำร่องบ้านหนองนา	4-88
4.3.1	สภาพทางกายภาพของพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา	4-88
4.3.2	การคัดเลือกตำแหน่งก่อสร้างระบบเติมน้ำ	4-107
4.3.3	การจำลองการไหลของน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ พื้นที่นำร่องบ้านหนองนา	4-112
บทที่ 5	**การออกแบบและก่อสร้างระบบเติมน้ำ**	**5-1**
5.1	การทดลองการซึมของน้ำผ่านชั้นตะกอนและการอุดตัน	5-1
5.1.1	ขั้นตอนการทดลองการซึมและการอุดตัน	5-1
5.1.2	สภาพพื้นที่บริเวณก่อสร้างสระทดลองขนาดเล็ก	5-1
5.1.3	คุณภาพน้ำบริเวณพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ	5-3
5.1.4	คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนและวัสดุกรอง	5-4
5.1.5	การทดลองการซึมและการอุดตันในห้องปฏิบัติการ	5-4
5.1.6	การทดลองการซึมและการอุดตันในภาคสนาม	5-6
5.1.7	ผลการทดลองการซึมและการอุดตัน	5-10

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
5.2	การออกแบบระบบเติมน้ำ	5-11
5.2.1	การออกแบบระบบผันน้ำดิบ	5-11
5.2.2	การออกแบบระบบการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ	5-11
5.2.3	การออกแบบสระเติมน้ำ	5-15
5.2.4	การออกแบบอาคารสำนักงานสนามและระบบควบคุม	5-16
5.2.5	การออกแบบระบบตรวจวัดอัตราการเติมน้ำ	5-16
5.2.6	การออกแบบระบบบำรุงรักษา	5-16
5.3	การออกแบบระบบประเมินผลการเติมน้ำ	5-16
5.3.1	การออกแบบระบบบ่อสังเกตการณ์	5-16
5.3.2	การออกแบบระบบการประเมินผล	5-18
5.4	การก่อสร้างระบบสระเติมน้ำ	5-18
5.5	แผนการดำเนินการทดสอบระบบ	5-19
5.5.1	แผนการทดลองเติมน้ำ	5-19
5.5.2	แผนการติดตามตรวจสอบ	5-20
5.5.3	แผนการบำรุงรักษา	5-21
บทที่ 6	**การเติมน้ำผ่านสระ**	**6-1**
6.1	สภาพพื้นที่และระบบสังเกตการณ์	6-1
6.1.1	สภาพพื้นที่และองค์ประกอบของระบบเติมน้ำ	6-1
6.1.2	องค์ประกอบระบบเติมน้ำ	6-1
6.1.3	ระบบสังเกตการณ์	6-7
6.2	การทดลองระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ	6-13
6.2.1	การทดลองการเติมน้ำ	6-14
6.2.2	สรุปผลการทดลองประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์	6-24
6.2.3	ข้อเสนอแนะ	6-25
6.3	การทดลองเติมน้ำ	6-26
6.3.1	การดำเนินการทดลองเติมน้ำ	6-27
6.3.2	ลักษณะการซึมและการอุดตัน	6-38
6.3.3	สรุปผลการทดลองเติมน้ำ	6-40
6.3.4	การประเมินปริมาณการเติมน้ำในช่วงฤดูฝน	6-42
6.4	การติดตามผลกระทบด้านระดับน้ำบาดาล	6-44
6.5	การติดตามผลกระทบด้านคุณภาพน้ำบาดาล	6-45

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 7	**การจัดการและบำรุงรักษาระบบเติมน้ำผ่านสระ การประเมินผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายเบื้องต้น**	**7-1**
7.1	การจัดการระบบเติมน้ำผ่านสระ	7-1
7.1.1	การจัดการระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบเบื้องต้น	7-1
7.1.2	การจัดการเติมน้ำ	7-1
7.1.3	การจัดการด้านข้อมูล	7-3
7.2	การบำรุงรักษาระบบเติมน้ำผ่านสระ	7-3
7.3	การประเมินผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายเบื้องต้น	7-9
7.3.1	วิธีการประเมินความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์	7-9
7.3.2	ผลประโยชน์	7-11
7.3.2	ค่าใช้จ่าย	7-13
7.3.4	ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์	7-18
7.3.5	สรุปผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์	7-19
บทที่ 8	**การประเมินผลการเติมน้ำผ่านสระโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์**	**8-1**
8.1	การจำลองเติมน้ำในพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา	8-1
8.2	แนวทางการเติมน้ำผ่านสระในพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา	8-5
8.3	แนวทางการเติมน้ำผ่านสระในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	8-14
บทที่ 9	**แนวทางการจัดทำแผนหลักการจัดการเติมน้ำบาดาล จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร**	**9-1**
9.1	องค์ประกอบของแผนหลัก	9-1
9.2	เป้าประสงค์ของแผนหลัก	9-2
9.3	ประเด็นยุทธศาสตร์ของแผนการเติมน้ำบาดาล	9-2
9.4	กลยุทธ์และแผนงานเบื้องต้น	9-3
9.5	ปัจจัยความสำเร็จและขั้นตอนการพัฒนาโครงการเติมน้ำบาดาล	9-13
9.6	การจัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์ของแหล่งน้ำบาดาล เพื่อการวางแผนการเติมน้ำบาดาล	9-16
9.6.1	แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของระบบอุทกธรณีวิทยา	9-16
9.6.2	การออกแบบและการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง	9-16
9.6.3	ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการไหลของแหล่งน้ำบาดาลและวิธีการปรับเทียบพารามิเตอร์	9-17

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
9.6.4	ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาล	9-22
9.7	การศึกษาศักยภาพเบื้องต้นในการเติมน้ำด้วยวิธีต่างๆ	9-37
9.7.1	การเติมน้ำบาดาลผ่านการเก็บเกี่ยวน้ำฝน	9-37
9.7.2	การเติมน้ำบาดาลผ่านสระเติมน้ำ	9-39
9.7.3	การเติมน้ำบาดาลผ่านฝายเติมน้ำ	9-41
9.7.4	การเติมน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาลระดับลึกเพื่อกักเก็บและสูบกลับขึ้นมาใช้	9-42
9.7.5	การเติมน้ำผ่านบ่อแห้ง	9-44
บทที่ 10	**สรุปและเสนอแนะ**	**10-1**
10.1	พื้นที่ศึกษา	10-1
10.2	การทดลองเติมน้ำ การประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนเบื้องต้น	10-2
10.3	แนวทางการจัดทำแผนหลักและการแก้ไขปัญหาการลดระดับน้ำบาดาล	10-4
10.3.1	แนวทางการจัดทำแผนหลักการจัดการเติมน้ำบาดาล	10-4
10.3.2	แนวทางการแก้ไขปัญหาการลดระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	10-5
10.4	ข้อเสนอแนะ	10-5

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร
ภาคผนวก ข ข้อมูลอัตราการไหลของแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร
ภาคผนวก ค ข้อมูลบ่อเจาะสำรวจและบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ศึกษา
ภาคผนวก ง ข้อมูลการเจาะและชั้นดินชั้นหิน
ภาคผนวก จ ข้อมูลการสูบทดสอบ
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์
ภาคผนวก ช ข้อมูลระดับน้ำบาดาล คุณภาพน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน
ภาคผนวก ซ ข้อมูลปริมาณการเติมน้ำสุทธิจากการไหลซึมของน้ำฝน
ภาคผนวก ฌ แบบก่อสร้างระบบเติมน้ำ
ภาคผนวก ญ ข้อมูลการทดลองระบบเติมน้ำ
ภาคผนวก ฎ การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาลและผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย
ภาคผนวก ฏ การประชุมเพื่อนำเสนอและเผยแพร่ข้อมูล

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1-1	กลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	1-3
ตารางที่ 2-1	การเปรียบเทียบราคาและการใช้ที่ดินเพื่อการกักเก็บน้ำแบบต่างๆ กับการใช้การกักเก็บน้ำในชั้นน้ำบาดาลในประเทศออสเตรเลีย (ปี 2551)	2-5
ตารางที่ 2-2	ข้อมูลโครงการเติมน้ำใต้ดินในต่างประเทศ	2-28
ตารางที่ 3-1	สภาพภูมิอากาศในเขตพื้นที่ จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร	3-3
ตารางที่ 3-2	รายละเอียดลุ่มน้ำหลักและลุ่มน้ำสาขาในพื้นที่ จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร	3-5
ตารางที่ 3-3	สถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านใน จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร	3-7
ตารางที่ 3-4	สถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านของกรมควบคุมมลพิษ	3-9
ตารางที่ 3-5	การจัดจำแนกกลุ่มดินตามวัตถุต้นกำเนิดดิน	3-12
ตารางที่ 3-6	ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	3-26
ตารางที่ 3-7	การตรวจวิเคราะห์ค่า SAR ในพื้นที่ศึกษา	3-28
ตารางที่ 3-8	จำนวนบ่อน้ำบาดาลแยกตามหน่วยงานที่เป็นเจ้าของ ปี พ.ศ.2545	3-28
ตารางที่ 3-9	ประมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่อการอุปโภคบริโภค พ.ศ. 2546	3-29
ตารางที่ 3-10	ข้อมูลด้านการเมืองการปกครองของจังหวัดในพื้นที่ศึกษา	3-30
ตารางที่ 3-11	ข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมรายจังหวัดและรายได้เฉลี่ยต่อหัวปี พ.ศ. 2550	3-31
ตารางที่ 3-12	เกณฑ์ที่ 1 ข้อมูลด้านธรณีวิทยา	3-36
ตารางที่ 3-13	เกณฑ์ที่ 2 ข้อมูลด้านธรณีสัณฐาน	3-37
ตารางที่ 3-14	เกณฑ์ที่ 3 ข้อมูลชุดดิน	3-37
ตารางที่ 3-15	เกณฑ์ที่ 4 ข้อมูลความลาดชันของพื้นที่	3-37
ตารางที่ 4-1	สถานีตรวจวัดน้ำฝนในเขตพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่และพื้นที่ใกล้เคียง	4-1
ตารางที่ 4-2	สถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำยมพื้นที่จังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร	4-3
ตารางที่ 4-3	ข้อมูลขนาดพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน	4-6
ตารางที่ 4-4	ปริมาณความต้องการใช้น้ำบาดาลเพื่อปลูกข้าว พื้นที่บ้านหนองนา ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	4-34
ตารางที่ 4-5	ปริมาณความต้องการใช้น้ำบาดาลเพื่อปลูกพืชไร่ พื้นที่ ต.ปลักแรด อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	4-36
ตารางที่ 4-6	กรณีจำลองแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-39
ตารางที่ 4-7	การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง	4-42
ตารางที่ 4-8	ปริมาณการเติมน้ำจากการไหลซึมของน้ำฝน	4-45
ตารางที่ 4-9	จำนวนบ่อบาดาลที่สูบใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	4-45
ตารางที่ 4-10	ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-47
ตารางที่ 4-11	พารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง	4-48
ตารางที่ 4-12	สมดุลน้ำบาดาลในรอบหนึ่งปี	4-50

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 4-13	เกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ขั้นรายระเอียดขั้นต้น	4-57
ตารางที่ 4-14	เกณฑ์การให้คะแนนในการคัดเลือกพื้นที่ขั้นรายละเอียด	4-58
ตารางที่ 4-15	ข้อมูลพื้นที่ระบบการไหลย่อยของน้ำบาดาลเบื้องต้นและคะแนนการคัดเลือกพื้นที่ขั้นตอนที่ 2	4-60
ตารางที่ 4-16	ข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด	4-61
ตารางที่ 4-17	ผลการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด	4-61
ตารางที่ 4-18	ผลการสำรวจชั้นดินและการทดทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านได้ของดิน	4-71
ตารางที่ 4-19	แนวสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่ A, B และ C	4-73
ตารางที่ 4-20	พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ	4-77
ตารางที่ 4-21	เกณฑ์การให้คะแนนในการคัดเลือกพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำนำร่อง	4-86
ตารางที่ 4-22	ข้อมูลเพื่อการให้คะแนนในการคัดเลือกพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำนำร่อง	4-87
ตารางที่ 4-23	ผลการเปรียบเทียบความเหมาะสมของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียดในการคัดเลือกพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำนำร่อง	4-87
ตารางที่ 4-24	สถานีตรวจวัดน้ำฝนในอำเภอรอบบริเวณพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา	4-89
ตารางที่ 4-25	ปริมาณฝนและปริมาณการระเหยเฉลี่ยรายเดือนในพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา	4-89
ตารางที่ 4-26	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนของแหล่งน้ำในพื้นที่นำร่อง	4-91
ตารางที่ 4-27	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำผิวดินบริเวณก่อสร้างระบบสระเติมน้ำ	4-92
ตารางที่ 4-28	การใช้ประโยชน์ที่ดินและกลุ่มดิน	4-95
ตารางที่ 4-29	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลบริเวณก่อสร้างระบบสระเติมน้ำ	4-106
ตารางที่ 4-30	ข้อมูลและเกณฑ์ที่ใช้กำหนดพื้นที่เหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำ	4-107
ตารางที่ 4-31	ชุดพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง	4-119
ตารางที่ 4-32	ผลการจำลองสมดุลน้ำบาดาลในรอบหนึ่งปี	4-119
ตารางที่ 5-1	อัตราการซึมจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ	5-7
ตารางที่ 5-2	การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือของสระทดลอง	5-8
ตารางที่ 5-3	สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบและเดินระบบเติมน้ำผ่านระบบสระ	5-11
ตารางที่ 5-4	การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบบำบัดคุณภาพน้ำเบื้องต้น	5-12
ตารางที่ 5-5	แผนงานก่อสร้างสระเติมน้ำและระบบองค์ประกอบ	5-18
ตารางที่ 5-6	รอบเวรการติดตามตรวจสอบและการบำรุงรักษาระบบ	5-21
ตารางที่ 6-1	อัตราการไหลและระยะเวลาที่น้ำเดินทางในบึงประดิษฐ์	6-14
ตารางที่ 6-2	ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์	6-25
ตารางที่ 6-3	ลักษณะการซึมของการเติมน้ำผ่านสระ	6-39
ตารางที่ 6-4	ผลการทดลองเติมน้ำ	6-41
ตารางที่ 6-5	สรุปผลการทดลองเติมน้ำ	6-42

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 6-6	ปริมาณการเติมน้ำในช่วงฤดูฝน กรณีมีการทำความสะอาดสระเติมน้ำที่แตกต่างกัน	6-42
ตารางที่ 6-7	ข้อมูลระดับน้ำบาดาลที่เพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงการทดลองเติมน้ำครั้งที่ 5	6-47
ตารางที่ 6-8	ข้อมูลพื้นฐานด้านคุณภาพน้ำบริเวณพื้นที่ก่อสร้างระบบสระเติมน้ำ	6-50
ตารางที่ 7-1	รอบเวรการเก็บข้อมูลในช่วงที่มีการเติมน้ำ และช่วงที่ไม่มีการเติมน้ำ	7-4
ตารางที่ 7-2	รายละเอียดของระบบเติมน้ำแบบต่างๆ	7-12
ตารางที่ 7-3	ต้นทุนในการผลิตข้าวนาปรังในหนึ่งรอบการเพาะปลูก	7-12
ตารางที่ 7-4	ผลประโยชน์ของโครงการเติมน้ำผ่านระบบสระ ตามขนาดพื้นที่	7-13
ตารางที่ 7-5	ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาระบบเติมน้ำผ่านสระ	7-16
ตารางที่ 7-6	ค่าใช้จ่ายของโครงการเติมน้ำผ่านระบบสระ ตามขนาดพื้นที่	7-17
ตารางที่ 8-1	ข้อมูลปริมาณการเติมน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง	8-2
ตารางที่ 8-2	ผลการจำลองสมดุลน้ำบาดาลในรอบหนึ่งปีกรณีการทดลองเติมน้ำ	8-5
ตารางที่ 8-3	ผลการจำลองสมดุลน้ำบาดาลกรณีเติมน้ำเพื่อให้ระบบน้ำบาดาลเกิดความสมดุล	8-9
ตารางที่ 8-4	ผลการจำลองสมดุลน้ำบาดาลกรณีเติมน้ำเพื่อให้ระดับน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น 2 ม.	8-9
ตารางที่ 8-5	การเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ความลึกของระดับน้ำเมื่อมีการเติมน้ำ	8-13
ตารางที่ 8-6	สมดุลน้ำบาดาลในระยะเวลา 10 ปี	8-20
ตารางที่ 8-7	สมดุลน้ำบาดาลในระยะเวลา 10 ปี กรณีที่มีการเติมน้ำให้สมดุล	8-20
ตารางที่ 8-8	สมดุลน้ำบาดาลในระยะเวลา 10 ปี กรณีจำลองเพื่อให้ระดับน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น 2 ม.	8-20
ตารางที่ 8-9	การเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ความลึกของระดับน้ำเมื่อมีการเติมน้ำพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	8-22
ตารางที่ 9-1	ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 1	9-3
ตารางที่ 9-2	ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 2	9-5
ตารางที่ 9-3	ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 3	9-6
ตารางที่ 9-4	ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 4	9-9
ตารางที่ 9-5	ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 5	9-10
ตารางที่ 9-6	ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 6	9-11
ตารางที่ 9-7	ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 7	9-12
ตารางที่ 9-8	กิจกรรมสำคัญที่แนะนำในแต่ละระยะการดำเนินการของโครงการเติมน้ำบาดาล	9-15
ตารางที่ 9-9	การใช้น้ำเพื่อการเกาตรและการอุปโภคบริโภคในพื้นที่แบบจำลอง	9-20
ตารางที่ 9-10	สมดุลน้ำบาดาลในรอบหนึ่งปี	9-23
ตารางที่ 9-11	ความลึกของระดับน้ำบาดาลจากผิวดินที่ได้จากผลการจำลอง	9-23
ตารางที่ 9-12	สมดุลน้ำบาดาลในรอบสิบปี	9-26

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 9-13	ความลึกของระดับน้ำบาดาลจากผิวดินที่ได้จากผลการจำลองระยะเวลา 10 ปี	9-27
ตารางที่ 9-14	ตารางสรุปพื้นที่เป้าหมายที่ต้องมีการเติมน้ำ	9-28
ตารางที่ 9-15	สมดุลน้ำบาดาลกรณีที่มีการเติมน้ำให้เกิดความสมดุลในรอบหนึ่งปี	9-32
ตารางที่ 9-16	สมดุลน้ำบาดาลในรอบหนึ่งปีกรณีที่มีการเติมน้ำให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้น 2 ม.	9-34
ตารางที่ 9-17	การเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ความลึกของระดับน้ำเมื่อมีการเติมน้ำ	9-36
ตารางที่ 9-18	ปัจจัยในการคัดเลือกพื้นที่การเติมน้ำผ่านการเก็บเกี่ยวน้ำฝน	9-38
ตารางที่ 9-19	ปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่การเติมน้ำผ่านสระ	9-40
ตารางที่ 9-20	ปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่การเติมน้ำโดยฝายเติมน้ำ	9-41
ตารางที่ 9-21	ปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่การเติมน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาลระดับลึกเพื่อกักเก็บและสูบกลับขึ้นมาใช้	9-43
ตารางที่ 9-22	ปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่การเติมน้ำผ่านบ่อแห้ง	9-45
ตารางที่ 9-23	ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ	9-46
ตารางที่ 10-1	ความเหมาะสมของระบบเติมน้ำแบบต่างๆ	10-3

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1-1	บ่อบาดาลเพื่อการเกษตรที่ทำการทรุดบ่อ	1-2
รูปที่ 1-2	ความสัมพันธ์ระหว่างระบบฐานข้อมูลอุทกธรณีวิทยาแบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาลและการจัดการระบบ	1-5
รูปที่ 2-1	วิธีการต่าง ๆ ของการจัดการการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำ	2-2
รูปที่ 2-2	วิธีการในการจัดการการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล	2-3
รูปที่ 2-3	แผนผังระบบการผันน้ำและเติมน้ำบาดาลของ Halstead site	2-11
รูปที่ 2-4	การเติมน้ำและบำรุงรักษาของโครงการ Avra Valley Recharge Project	2-12
รูปที่ 2-5	แผนผังการเติมน้ำโดยใช้สระเติมน้ำที่ Kaftari ประเทศอิหร่าน	2-14
รูปที่ 2-6	ลักษณะของเขื่อนระบายน้ำใน Balochistan	2-15
รูปที่ 2-7	เขื่อนทรายระหว่างช่วงฤดูแล้งในเขต Kitui	2-18
รูปที่ 2-8	การสร้างระบบกรองน้ำดิบใกล้บ่อเติมน้ำใน Windhoek	2-19
รูปที่ 2-9	สระเติมน้ำที่รวบรวมน้ำไหลบ่าจากถนนในประเทศบราซิล	2-21
รูปที่ 2-10	สระเก็บน้ำและเติมน้ำในประเทศเคนยา	2-21
รูปที่ 2-11	การออกแบบระบบสูบน้ำที่ผ่านการกรองจากตะกอนชายฝั่งแม่น้ำ	2-22
รูปที่ 2-12	สระเติมน้ำในเมือง Atlantis ประเทศ South Africa	2-22
รูปที่ 2-13	แผนผังโครงการ Dan Region Sewage Reclamation Plant	2-23
รูปที่ 2-14	ผังการจัดการระบบของ Dan Region Project	2-24
รูปที่ 2-15	ชั้นน้ำบาดาลและโครงสร้างการเกิดกระเปาะน้ำจืดบนน้ำบาดาลเค็มจากการเติมน้ำ	2-26
รูปที่ 2-16	การผันน้ำเข้าสระเติมน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก	2-27
รูปที่ 3-1	สภาพพื้นที่ทั่วไปของ จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร	3-2
รูปที่ 3-2	ลักษณะภูมิอากาศและอุตุนิยมวิทยาของ จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร	3-4
รูปที่ 3-3	สถานีวัดน้ำท่าและกราฟน้ำท่าในแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านที่ไหลผ่าน จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร	3-8
รูปที่ 3-4	แผนที่กลุ่มดินจำแนกตามวัตถุต้นกำเนิด	3-11
รูปที่ 3-5	แผนที่การใช้ที่ดิน	3-13
รูปที่ 3-6	โครงสร้างของแอ่งเทอร์เชียรีบริเวณพื้นที่ศึกษา	3-15
รูปที่ 3-7	ภาพตัดขวางของแอ่งพิษณุโลกแสดงภาพรวมความสัมพันธ์และการเรียงลำดับของชั้นหินของกลุ่มหินพิษณุโลก	3-17
รูปที่ 3-8	แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	3-19
รูปที่ 3-9	แผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	3-22
รูปที่ 3-10	ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	3-23

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3-11	แผนที่ปริมาณและคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา	3-25
รูปที่ 3-12	แผนที่หน่วยหินทางธรณีวิทยา	3-33
รูปที่ 3-13	แผนที่ลักษณะธรณีสัณฐาน	3-34
รูปที่ 3-14	แผนที่ความลาดชัน	3-35
รูปที่ 3-15	ขั้นตอนการคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมในการเติมน้ำผ่านระบบสระ	3-36
รูปที่ 3-16	แผนที่พื้นที่เหมาะสมในการเติมน้ำผ่านระบบสระ	3-38
รูปที่ 4-1	สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-2
รูปที่ 4-2	แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-5
รูปที่ 4-3	การเจาะสำรวจทางธรณีวิทยาและการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์	4-7
รูปที่ 4-4	แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-10
รูปที่ 4-5	ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาตามแนว W1-E1 ถึง W4-E4	4-11
รูปที่ 4-6	ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาตามแนว W5-E5 ถึง W7-E7	4-12
รูปที่ 4-7	ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาตามแนว NS1-NS2 และ N2-S2	4-13
รูปที่ 4-8	ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาตามแนว N3-S3	4-14
รูปที่ 4-9	แผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-17
รูปที่ 4-10	ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-18
รูปที่ 4-11	แผนที่แสดงความลึกถึงระดับบนสุดของชั้นทราย	4-22
รูปที่ 4-12	ภาพการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการสูบทดสอบ	4-24
รูปที่ 4-13	กิจกรรมการสูบทดสอบในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-25
รูปที่ 4-14	แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อสูบทดสอบและผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ	4-26
รูปที่ 4-15	แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อสูบทดสอบและผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ	4-27
รูปที่ 4-16	รูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-30
รูปที่ 4-17	แผนที่แสดงความหนาแน่นของบ่อบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-31
รูปที่ 4-18	ขั้นตอนการจำลองการไหลของน้ำผิวดินและน้ำบาดาล	4-40
รูปที่ 4-19	กริดของแบบจำลองและเงื่อนไขขอบเขต	4-42
รูปที่ 4-20	พื้นที่เติมน้ำในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-44
รูปที่ 4-21	ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการไหลของน้ำบาดาล	4-46
รูปที่ 4-22	กราฟการปรับเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลอง	4-48
รูปที่ 4-23	ผลการจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	4-49
รูปที่ 4-24	ระบบตัวเลขที่สมมติขึ้นเพื่อใช้ในการจัดทำแบบจำลอง	4-51
รูปที่ 4-25	ผลการจำลองการไหลในลำน้ำของแม่น้ำยม	4-54
รูปที่ 4-26	แผนผังการดำเนินการคัดเลือกพื้นที่ขั้นรายละเอียด	4-56

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4-27	แผนที่แสดงพื้นที่ระบบการไหลของน้ำบาดาลที่เหมาะสม ในการเติมน้ำผ่านระบบสระ	4-59
รูปที่ 4-28	แผนที่แสดงพื้นที่ระบบการไหลย่อยของน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำลานบ้า	4-62
รูปที่ 4-29	แผนที่แสดงพื้นที่ระบบการไหลย่อยของน้ำบาดาลที่เหมาะสม ในการก่อสร้างสระเติมน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำลานบ้า	4-63
รูปที่ 4-30	สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด พื้นที่ A หรือพื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านหนองนา 3	4-65
รูปที่ 4-31	สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด พื้นที่ B หรือพื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านทุ่งชา 2	4-67
รูปที่ 4-32	สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด พื้นที่ C หรือพื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านหนองนา 2	4-68
รูปที่ 4-33	ตำแหน่งการสำรวจชั้นดินและการทดสอบการซึมผ่านได้ของดิน ในพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด	4-70
รูปที่ 4-34	แนวสำรวจทางธรณีฟิสิกส์	4-74
รูปที่ 4-35	ตำแหน่งการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างน้ำ	4-76
รูปที่ 4-36	การออกแบบกริดและเงื่อนไขของแบบจำลองในพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด	4-81
รูปที่ 4-37	ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลและผลกระทบจากการเติมน้ำในพื้นที่ A	4-83
รูปที่ 4-38	ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลและผลกระทบจากการเติมน้ำในพื้นที่ B	4-84
รูปที่ 4-39	ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลและผลกระทบจากการเติมน้ำในพื้นที่ C	4-85
รูปที่ 4-40	แหล่งน้ำผิวดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่รับน้ำคลองลานบ้า และคลองระบายน้ำ	4-90
รูปที่ 4-41	การกระจายขนาดอนุภาคตะกอนในน้ำผิวดิน	4-93
รูปที่ 4-42	รูปแบบทางเคมีของน้ำผิวดินวิเคราะห์จากข้อมูลช่วงฤดูฝน	4-94
รูปที่ 4-43	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ	4-94
รูปที่ 4-44	แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและกลุ่มดิน	4-96
รูปที่ 4-45	แผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่นำร่อง	4-98
รูปที่ 4-46	ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีของของพื้นที่นำร่อง	4-99
รูปที่ 4-47	ผลการสูบทดสอบระดับตื้นและระดับลึก	4-102
รูปที่ 4-48	ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลและรูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลระดับตื้น	4-105
รูปที่ 4-49	พื้นที่แสดงความเหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำของแต่ละข้อมูล	4-109
รูปที่ 4-50	ขั้นตอนการคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำ	4-110
รูปที่ 4-51	ระดับความเหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำในพื้นที่นำร่อง	4-111

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4-52	แผนการจัดทำแบบจำลอง	4-112
รูปที่ 4-53	แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา	4-113
รูปที่ 4-54	การออกแบบกริดและเงื่อนไขขอบเขตการจำลอง	4-114
รูปที่ 4-55	ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการไหลของน้ำบาดาล	4-116
รูปที่ 4-56	กราฟการปรับเทียบพารามิเตอร์กรณีเฮดคงตัว	4-117
รูปที่ 4-57	ตัวอย่างกราฟการปรับเทียบแบบจำลองในระยะเวลา 1 ปี	4-117
รูปที่ 4-58	การทดสอบความอ่อนไหวของตัวแปรที่ใช้ในการจำลองในระยะเวลา 1 ปี	4-118
รูปที่ 4-59	ผลการจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาลพื้นที่นำร่องในระยะเวลา 1 ปี (พ.ศ.2553)	4-120
รูปที่ 4-60	ผลการจำลองเพื่อคาดคะเนรูปแบบการไหลของน้ำบาดาล ในระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ.2553-2563)	4-121
รูปที่ 4-61	กราฟผลการจำลองเพื่อคาดคะเนรูปแบบการไหลของน้ำบาดาล ในระยะเวลา 10 ปี	4-122
รูปที่ 5-1	ขั้นตอนการทดลองการซึมและการอุดตัน	5-2
รูปที่ 5-2	ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์บริเวณสระทดลองขนาดเล็ก	5-2
รูปที่ 5-3	ภาพตัดขวางบริเวณสระทดลองขนาดเล็ก	5-3
รูปที่ 5-4	การการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองและการวัดความขุ่นในห้องปฏิบัติการ	5-5
รูปที่ 5-5	อัตราการซึมจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ	5-7
รูปที่ 5-6	การสร้างสระทดลองขนาดเล็กและการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ	5-9
รูปที่ 5-7	อัตราการซึมจากการทดลองในภาคสนาม	5-10
รูปที่ 5-8	ตัวอย่างบึงประดิษฐ์ 4 เซลล์ ที่ต่อกันแบบอนุกรม	5-14
รูปที่ 5-9	ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ	5-17
รูปที่ 6-1	แผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ	6-2
รูปที่ 6-2	ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ	6-3
รูปที่ 6-3	องค์ประกอบในพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ	6-5
รูปที่ 6-4	ภาพตัดขวางระดับผิวดินของบึงประดิษฐ์และสระเติมน้ำ	6-6
รูปที่ 6-5	อุปกรณ์สำหรับระบบตรวจวัดอัตราการเติมน้ำในพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ	6-8
รูปที่ 6-6	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำหน้าฝายสันคมและอัตราการไหล	6-9
รูปที่ 6-7	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเก็บกักและระดับน้ำในสระ	6-10
รูปที่ 6-8	บ่อสังเกตการณ์ที่ทำการติดตามตรวจสอบทั้งคุณภาพและปริมาณ	6-12
รูปที่ 6-9	แนวคิดในการทดสอบประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์	6-13
รูปที่ 6-10	ตำแหน่งตรวจวัดคุณภาพน้ำในการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์	6-14
รูปที่ 6-11	ลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์ ในการทดสอบครั้งที่ 1 (3-6 มิ.ย. 53)	6-15

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 6-12	ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ครั้งที่ 1	6-16
รูปที่ 6-13	กิจกรรมในการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์	6-16
รูปที่ 6-14	ลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์ ในการทดสอบครั้งที่ 2 (3-8 ส.ค. 53)	6-17
รูปที่ 6-15	ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ครั้งที่ 2	6-18
รูปที่ 6-16	ลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์ ในการทดสอบครั้งที่ 3 (25-28 สิงหาคม 2553)	6-18
รูปที่ 6-17	ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ครั้งที่ 3	6-19
รูปที่ 6-18	ลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์ ในการทดลองครั้งที่ 4 (18-23 ก.ย. 53)	6-20
รูปที่ 6-19	ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ ครั้งที่ 4 ช่วงแรก	6-21
รูปที่ 6-20	ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ ครั้งที่ 4 ช่วงที่สอง	6-21
รูปที่ 6-21	ลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์ ในการทดลองครั้งที่ 5 (23 ต.ค.-22 พ.ย. 53)	6-22
รูปที่ 6-22	การเปลี่ยนแปลงความขุ่น ในการทดลองครั้งที่ 5	6-24
รูปที่ 6-23	ประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ กรณีอัตราการไหลที่แตกต่างกัน	6-25
รูปที่ 6-24	ลักษณะการซึมและการอุดตันของน้ำที่มีคุณภาพแตกต่างกัน	6-26
รูปที่ 6-25	คุณภาพน้ำดิบในการทดลองครั้งที่ 1	6-27
รูปที่ 6-26	กิจกรรมในการทดลองเติมน้ำครั้งที่ 1	6-28
รูปที่ 6-27	ผลการทดลองการเติมน้ำครั้งที่ 1	6-29
รูปที่ 6-28	คุณภาพน้ำดิบในการทดลองครั้งที่ 2	6-30
รูปที่ 6-29	ระดับการกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 2	6-30
รูปที่ 6-30	อัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 2	6-31
รูปที่ 6-31	คุณภาพน้ำดิบในการทดลองครั้งที่ 3	6-32
รูปที่ 6-32	ระดับการกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 3	6-33
รูปที่ 6-33	อัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 3	6-33
รูปที่ 6-34	ภาพถ่ายขณะและหลังการทดลองเติมน้ำครั้งที่ 3	6-34
รูปที่ 6-35	คุณภาพน้ำดิบในการทดลองครั้งที่ 4	6-35
รูปที่ 6-36	ระดับการกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 4	6-35
รูปที่ 6-37	อัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 4	6-36
รูปที่ 6-38	คุณภาพน้ำดิบในการทดลองครั้งที่ 5	6-37
รูปที่ 6-39	ระดับการกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 5	6-37
รูปที่ 6-40	อัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 5	6-38
รูปที่ 6-41	อัตราการซึมและปริมาณตะกอนสะสม	39
รูปที่ 6-42	ความหนาของตะกอนที่พื้นสระเติมน้ำ B	40
รูปที่ 6-43	ประมาณการเติมน้ำในกรณีทำความสะอาดในช่วงฤดูฝนที่แตกต่างกัน	43
รูปที่ 6-44	ระดับแรงดันน้ำบาดาลบ่อสังเกตการณ์ SMW40 SMW36 และ SMW16	46

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 6-44	ระดับแรงดันน้ำบาดาลบ่อสังเกตการณ์ SMW40 SMW36 และ SMW16	46
รูปที่ 6-45	แผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันน้ำบาดาลในช่วงทดลองเติมน้ำ ครั้งที่ 5	48
รูปที่ 6-45	แผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันน้ำบาดาลในช่วงทดลองเติมน้ำ ครั้งที่ 5	48
รูปที่ 6-46	ภาพตัดขวางแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันน้ำบาดาลในช่วงทดลองเติมน้ำ ครั้งที่ 5	49
รูปที่ 6-47	กราฟคุณภาพน้ำบาดาลบ่อ SMW16 บ่อ SMW40 และบ่อ SMW36	51
รูปที่ 6-48	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำบาดาลตามแนวทิศทางการไหลหลัก ในช่วงทดลองเติมน้ำ ครั้งที่ 5	52
รูปที่ 7-1	การทำความสะอาดสระทดลอง	7-7
รูปที่ 7-2	การดูแลรักษาอาคารสถานที่ทั่วไป	7-8
รูปที่ 7-3	ขั้นตอนการประเมินความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์	7-9
รูปที่ 7-4	ขั้นตอนการเติมน้ำของระบบเติมน้ำแบบต่างๆ	7-14
รูปที่ 7-5	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสระเติมน้ำและอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย	7-18
รูปที่ 8-1	การออกแบบกริดและเงื่อนไขขอบเขตการจำลอง	8-1
รูปที่ 8-2	กราฟการปรับเทียบพารามิเตอร์กรณีจำลองการเติมน้ำผ่านสระ	8-3
รูปที่ 8-3	กราฟการปรับเทียบแบบจำลองกรณีการเติมน้ำผ่านสระ	8-3
รูปที่ 8-4	ผลการทิศทางการไหลของน้ำบาดาลกรณีเติมน้ำผ่านสระ	8-4
รูปที่ 8-5	ผลการจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาล กรณีการจำลองเติมน้ำ เพื่อให้ระบบเกิดความสมดุล	8-7
รูปที่ 8-6	กราฟการปรับเทียบแบบจำลองกรณีจำลองเติมน้ำ เพื่อให้ระบบน้ำบาดาลเกิดความสมดุล	8-8
รูปที่ 8-7	ผลการจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาล กรณีการจำลองเติมน้ำ เพื่อให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้น 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี	8-10
รูปที่ 8-8	กราฟการปรับเทียบแบบจำลองกรณีการจำลองเติมน้ำเพื่อให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้น 2 ม.	8-11
รูปที่ 8-9	การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ความลึกของระดับน้ำบาดาล ก่อนและหลังการจำลองเติมน้ำ พื้นที่นำร่องบ้านหนองนา	8-12
รูปที่ 8-10	รูปแบบการไหลของน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ ในระยะเวลา 10 ปี	8-16
รูปที่ 8-11	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์แบบจำลองของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ ในระยะเวลา 10 ปี	8-17
รูปที่ 8-12	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์แบบจำลองของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ กรณีจำลองการเติมน้ำเพื่อให้ระบบเกิดความสมดุล	8-18
รูปที่ 8-13	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์แบบจำลองของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ กรณีจำลองเพื่อให้ระดับน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น 2 ม.	8-18

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 8-14	การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ความลึกของระดับน้ำบาดาล ก่อนและหลังการจำลองเติมน้ำ พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่	8-21
รูปที่ 9-1	บทบาทของสถาบันและหน้าที่ในระบบเติมน้ำบาดาล	9-14
รูปที่ 9-2	การออกแบบกริดและเงื่อนไขขอบเขตการจำลอง	9-17
รูปที่ 9-3	แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน	9-19
รูปที่ 9-4	ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการไหล ของน้ำบาดาล	9-21
รูปที่ 9-5	ผลการจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาล	9-24
รูปที่ 9-6	ระดับความลึกของน้ำบาดาลจากระดับผิวดินในสภาวะปัจจุบัน	9-25
รูปที่ 9-7	ระดับความลึกของน้ำบาดาลจากจากระดับผิวดิน ระยะเวลา 5 ปี และ 10 ปี	9-26
รูปที่ 9-8	แผนที่แสดงความลึกของระดับน้ำบาดาล	9-30
รูปที่ 9-9	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเมื่อมีการเติมน้ำให้เกิดความสมดุล	9-33
รูปที่ 9-10	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเมื่อมีการเติมน้ำเพื่อยกระดับน้ำ 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี	9-35
รูปที่ 9-11	ตัวอย่างโครงการและพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำบาดาล จากการเก็บเกี่ยวน้ำฝน	9-39
รูปที่ 9-12	ตัวอย่างโครงการและพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำบาดาลผ่านสระ	9-40
รูปที่ 9-13	ตัวอย่างโครงการและพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำบาดาลผ่านฝายเติมน้ำ	9-42
รูปที่ 9-14	ตัวอย่างโครงการและพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำบาดาล ผ่านบ่อน้ำบาดาลระดับลึกเพื่อกักเก็บและสูบกลับขึ้นมาใช้	9-44
รูปที่ 9-15	ตัวอย่างโครงการและพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำบาดาลผ่านฝายเติมน้ำ	9-45
รูปที่ 10-1	ขั้นตอนการคัดเลือกพื้นที่ศึกษา	10-2
รูปที่ 10-2	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดระบบเติมน้ำและอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย	10-4

รายการคำย่อ คำศัพท์ และความหมาย

อักษรย่อ	คำย่อ
กม.	กิโลเมตร
ชม.	ชั่วโมง
ตร.กม.	ตารางกิโลเมตร
ตร.ม.	ตารางเมตร
ม.	เมตร
ม./วัน	เมตรต่อวัน
ม.รทก.	เมตรเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง
มก./ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร
มม.	มิลลิเมตร
ลบ.ม.	ลูกบาศก์เมตร
ลบ.ม./ชม.	ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
μm	ไมโครเมตร หรือ ไมครอน
NTU	หน่วยความขุ่น ย่อมาจาก Nephelometric Turbidity Unit

คำศัพท์	ความหมาย
การจัดการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล (Managed Aquifer Recharge, MAR)	การจัดการให้มีการเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาลตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ เช่น เพื่อรักษาระดับหรือแรงดันน้ำบาดาล เพื่อการกักเก็บและนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในช่วงเวลาหรือในพื้นที่ที่ต้องการ หรือเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เช่น ป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็ม หรือการทรุดตัวของแผ่นดิน เป็นต้น [2]
การทรุดบ่อ	การขุดบ่อโดยรอบท่อน้ำบาดาลเพื่อนำเครื่องสูบหอยโข่งลงไปติดตั้งที่ก้นบ่อให้ใกล้กับระดับน้ำบาดาล
การอุดตัน (clogging)	การลดลงของช่องว่างที่ใช้การได้ในดินทำให้อัตราการซึมผ่านชั้นดินลดลง [3]
คุณสมบัติทางชลศาสตร์ (hydraulic properties)	คุณสมบัติของวัตถุที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของน้ำ เช่น คุณสมบัติของดินและหินที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการจ่ายให้น้ำ เช่น สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (hydraulic conductivity) และสัมประสิทธิ์การจ่ายส่งน้ำ (transmissivity) และการกักเก็บ เช่น สัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ (specific storage) และอัตราการให้น้ำจำเพาะ (specific yield) [1]

คำศัพท์	**ความหมาย**
ชั้นหินอุ้มน้ำ, ชั้นน้ำบาดาล	ชั้นหินหรือชั้นตะกอนที่มีสมบัติยอมให้น้ำซึมเข้าได้ง่าย เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างตะกอนกว้าง หรือมีโพรงหรือรอยแตกต่อเนื่องกันจึงทำให้เก็บน้ำไว้ได้เป็นปริมาณมาก จนกลายเป็นแหล่งน้ำใต้ดินชั้นหินนี้อยู่ในเขตอิ่มน้ำ (saturated zone) ตัวอย่างได้แก่ หินทราย หินปูน ชั้นตะกอนทราย ชั้นกรวด เป็นต้น [1]
ตะกอนน้ำพา (alluviam)	กรวด หิน ดิ น ทราย และสิ่งอื่นๆ ที่น้ำนำพาไปสะสมตัว ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่ง เช่น ตามร่องน้ำ เรียกว่า แหล่งทับถมร่องน้ำ (channel-fill deposit) ตามที่ราบน้ำท่วมถึง เรียกว่า สิ่งทับถมที่ราบน้ำท่วมถึง (flood plain deposit) ตามพื้นทะเลสาบ เรียกว่า สิ่งทับถมในทะเลสาบ (lacustrine deposit) [1]
บึงประดิษฐ์ (constructed wetland)	บึงที่ก่อสร้างขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการบำบัดคุณภาพน้ำผิวดิน โดยช่วยให้ตะกอนแขวนลอยในน้ำตกตะกอนได้เร็วขึ้น
น้ำบาดาล, น้ำใต้ดิน (groundwater)	น้ำที่เกิดอยู่ใต้ผิวดินในช่องว่างที่ต่อเนื่องกันในเขตอิ่มน้ำ (zone of saturation) รวมถึงธารน้ำใต้ดิน (underground stream), น้ำใต้ดินที่เกิดอยู่ในชั้นดิน กรวด ทรายหรือหิน ซึ่งอยู่ลึกจากผิวดินเกินความลึกที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่จะกำหนดความลึกน้อยกว่าสิบเมตรมิได้ [1]
Groundwater mound	การปรับตัวสูงขึ้นของน้ำบาดาลมีรูปร่างเป็นเนินสูงขึ้นเนื่องจากการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล น้ำบาดาลมีทิศทางการไหลจากตอนกลางเนินไปสู่บริเวณรอบข้าง
บ่อสังเกตการณ์ (observation well)	บ่อน้ำบาดาลที่เจาะขึ้นสำหรับสังเกตการณ์หรือติดตามเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงของน้ำบาดาลในชั้นหินอุ้มน้ำ, บ่อน้ำบาดาลที่ใช้ในการเก็บข้อมูล [1]
ความพรุน (porosity)	อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่างในหินหรือดินหรือวัตถุใดๆ เทียบกับปริมาตรของหินหรือดินหรือวัตถุนั้น [1]
พื้นที่เติมน้ำ, พื้นที่รับน้ำบาดาล (recharge area, recharge zone)	พื้นที่ที่น้ำผิวดินสามารถไหลลึกลงสู่ใต้ผิวดินและไหลลงไปสู่ ชั้นหินอุ้มน้ำ หรือเป็นพื้นที่ที่น้ำจากชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้นสามารถไหลลงไปเติมน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำระดับลึกกว่า, พื้นที่ที่น้ำเพิ่มเติมเข้าสู่ชั้นหินที่อยู่ใต้บริเวณน้ำผิวดินนั้น [1]

คำศัพท์	**ความหมาย**
สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (hydraulic conductivity, K)	อัตราการไหลของน้ำผ่านหน้าตัด 1 ตารางหน่วย ตั้งฉากกับทิศทางการไหลภายใต้ความลาดชลศาสตร์ (hydraulic gradient) 1 หน่วย มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วัน/ตร.ม. หรือเมตรต่อวัน [1]
สัมประสิทธิ์การจ่ายส่งน้ำ (transmissivity, T)	ปริมาณการไหลของน้ำผ่านตัวกลางในหนึ่งหน่วยเวลาและหนึ่งหน่วยความกว้างของชั้นหินอุ้มน้ำ ภายใต้ความลาดทางชลศาสตร์ (hydraulic gradient) หนึ่งหน่วย, ตัวพารามิเตอร์ที่เกี่ยวเนื่องกับความยากง่ายของการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านชั้นหินให้น้ำในแนวระนาบ [1]
สัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storativity, S)	ปริมาตรน้ำบาดาลที่ได้จากชั้นให้น้ำต่อหน่วยพื้นที่ในแนวระนาบต่อหน่วยเฮดที่ลดลง [1]
สัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ (specific storage, S_s)	ค่าพารามิเตอร์แสดงปริมาตรน้ำบาดาลที่ได้จาก (หรือเข้าสู่) ชั้นหินใต้น้ำหนึ่งหน่วยพื้นที่ในแนวระนาบ และหนึ่งหน่วยความหนาของชั้นหินให้น้ำ ทำให้เฮดของน้ำบาดาลเปลี่ยนไปหนึ่งหน่วย [1]
อัตราการให้น้ำจำเพาะ (specific yield, S_y)	เป็นอัตราส่วนของน้ำบาดาลที่สามารถสูบขึ้นมาได้ต่อปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในหนึ่งหน่วยความกว้างความยาวและความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ (ไม่มีหน่วย), ปริมาตรน้ำที่ได้จากชั้นใหน้ำ โดยการระบายเข้าสู่บ่อน้ำด้วยแรงโน้มถ่วง ต่อหน่วยพื้นที่ในแนวระนาบต่อหน่วยเฮดที่ลดลง[1]

ที่มา

1 กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551)

2 ดัดแปลงจาก Dillon et al (2009)

3 Perez-Paricio and Carrera (1999)

บทที่ 1
บทนำ

รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ พื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร ดำเนินการโดยศูนย์วิจัยน้ำบาดาล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น มีเนื้อหาประกอบด้วย หลักการจัดการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล (Managed Aquifer Recharge, MAR) การศึกษาสภาพการใช้น้ำบาดาล การศึกษาลักษณะทางอุทก-ธรณีวิทยาของพื้นที่ขนาดต่าง ๆ เพื่อทำการกำหนดพื้นที่เหมาะสมในการเติมน้ำผ่านระบบสระน้ำ การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาล การทดสอบคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของหินอุ้มน้ำ การทดสอบอัตราการซึม การทดสอบการซึมผ่านสระขนาดเล็ก การออกแบบระบบเติมน้ำ การติดตามตรวจสอบผลการเติมน้ำ และการศึกษาความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์ของการดำเนินงานโครงการลักษณะนี้ในอนาคต รวมทั้งศึกษาแนวทางการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในอนาคต

1.1 หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันในหลายๆ พื้นที่ของประเทศไทยมีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในปริมาณที่มากเกินสมดุล โดยเฉพาะพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่างครอบคลุมจังหวัดพิจิตร พิษณุโลก และจังหวัดสุโขทัย มีการเจาะบ่อน้ำบาดาลระดับตื้นจากชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนลุ่มน้ำหลาก (floodplain aquifer) และชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนรูปพัด (alluvial fan aquifer) เพื่อใช้ในการเกษตรเป็นปริมาณมาก ทำให้เกษตรกรสามารถทำนาได้ตลอดทั้งปี ซึ่งการพัฒนาน้ำมาใช้โดยไม่มีการบริหารจัดการอย่างเป็นระบบมีผลให้เกิดปัญหาการลดลงของระดับน้ำอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องประมาณปีละ 25-50 เซนติเมตร (ซม.) ซึ่งหากไม่ได้รับการแก้ปัญหา ในที่สุดชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้นในพื้นที่นี้อาจเหือดแห้งหรือสูญเสียชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้นไปอย่างถาวร ปัจจุบันระดับน้ำอยู่ที่ระดับความลึกจากผิวดินประมาณ 7-9 เมตร (ม.) ทำให้ไม่สามารถสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ โดยการติดตั้งเครื่องสูบน้ำบนผิวดิน ต้องทำการทรุดบ่อ ดังรูปที่ 1-1 เพื่อติดตั้งเครื่องสูบน้ำบาดาลแบบหอยโข่งที่มีความสามารถในการสูบน้ำจากแหล่งน้ำที่อยู่ลึกไม่เกิน 6 ม. หากเกษตรกรเปลี่ยนมาใช้เครื่องสูบแบบจุ่มที่มีความสามารถสูบได้ที่ความลึกมากกว่า 6 ม. ต้องลงทุนเพิ่มขึ้นอีกหลายเท่าตัว ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบด้านเศรษฐกิจและสังคมตามมาอีก

ดังนั้นเพื่อเป็นการหาแนวทางแก้ไขปัญหาการลดระดับลงของชั้นน้ำบาดาลซึ่งนับวันจะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น และยังสามารถแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำโดยการระบายน้ำผิวดินในช่วงฤดูน้ำหลากลงสู่ชั้นน้ำบาดาลและนำกลับขึ้นมาใช้ในช่วงฤดูแล้ง กรมทรัพยากรน้ำบาดาลจึงได้จัดทำโครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำหรือระบบอื่นๆที่เหมาะสมในบริเวณพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างจังหวัดพิจิตร พิษณุโลก และสุโขทัย โดยใช้งบประมาณจากกองทุนพัฒนาน้ำบาดาล ซึ่งการเติมน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำเป็นวิธีการที่ใช้แก้ปัญหาการลดระดับน้ำบาดาลในหลายๆ ประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย แอฟริกาใต้ และประเทศอินเดีย เนื่องจากสามารถเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ในปริมาณที่มากและใช้งบประมาณในการดำเนินงานน้อย



(ก) บ่อบาดาลเพื่อการเกษตรที่ทำการทรุดบ่อ



(ข) การติดตั้งอุปกรณ์ในการสูบน้ำบาดาลระดับตื้น

รูปที่ 1-1 บ่อบาดาลเพื่อการเกษตรที่ทำการทรุดบ่อ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาทดลองหาวิธีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลผ่านระบบสระน้ำหรือระบบอื่นๆ ที่เหมาะสมในพื้นที่ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูง

1.2.2 เพื่อศึกษากระบวนการทางกายภาพ ชลศาสตร์ และเคมี ของการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

1.2.3 เพื่อเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาภัยแล้งเชิงบูรณาการโดยการใช้แหล่งน้ำผิวดินและน้ำบาดาลตามช่วงเวลาที่เหมาะสม

1.2.4 เพื่อสรุปผลการศึกษาวิจัยและทดลองเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานด้านการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล หรือโครงการอื่นๆ ที่มีลักษณะเดียวกันต่อไปในอนาคต

1.2.5 เพื่อสร้างองค์ความรู้และการถ่ายทอดเทคโนโลยีวิธีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลผ่านสระน้ำให้กับประชาชนและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นโดยส่งเสริมให้ประชาชนมีส่วนร่วม

1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานโครงการ ประกอบด้วย การศึกษาอุทกธรณีวิทยาพื้นที่ขนาดใหญ่ การศึกษาความเหมาะสมของพื้นที่ขั้นรายละเอียด การออกแบบและก่อสร้างระบบเติมน้ำ การทดลองระบบเติมน้ำ การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาล และการจัดประชุมเผยแพร่ผลงานต่อสาธารณะ ซึ่งมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานดังนี้

1.3.1 การศึกษาอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

การจัดทำระบบฐานข้อมูลด้านอุทกธรณีวิทยาและข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นต่อการคัดเลือกและประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมในการกำหนดพื้นที่เป้าหมายและพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำนำร่อง ประกอบด้วยข้อมูล 4 กลุ่ม ได้แก่ (1) ข้อมูลภูมิอากาศและอุทกวิทยา (2) ข้อมูลภูมิประเทศ ดิน และการใช้ที่ดิน (3) ข้อมูลธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา และ (4) ข้อมูลเพื่อการจัดการเติมน้ำบาดาล ดังแสดงในตารางที่ 1-1 และรูปที่ 1-2 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างระบบฐานข้อมูลอุทกธรณีวิทยาแบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาล และการวางแผนจัดการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

ตารางที่ 1-1 กลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

กลุ่มข้อมูล	รายการ
(1) ข้อมูลภูมิอากาศและอุทกวิทยา	- ภูมิอากาศ (ฝน การระเหย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีแสงอาทิตย์ ความเร็วลม) - ระบบการระบายน้ำ - แหล่งน้ำ (แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง)
(2) ข้อมูลภูมิประเทศ ดิน และการใช้ที่ดิน	- ภูมิประเทศ (DEM ความลาดชัน) - ชุดดิน ลักษณะดินตามความลึก (เนื้อดิน ลำดับ และค่าการยอมให้น้ำซึมผ่านได้) - การใช้ที่ดิน - การเพาะปลูก (พืช ฤดูกาลเพาะปลูก การใช้น้ำ วิธีการให้น้ำ Leaf Area Index) - พื้นที่โครงการชลประทาน - ภาพถ่ายทางอากาศ
(3) ข้อมูลธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา	- หน่วยหินทางธรณีวิทยา และอุทกธรณีวิทยา - การลำดับชั้นดินชั้นหิน - ข้อมูลบ่อเจาะ ข้อมูลสำรวจธรณีฟิสิกส์ - โครงสร้างทางธรณีวิทยา - ลักษณะชั้นหินอุ้มน้ำ - ระดับแรงดันน้ำบาดาล และการลดระดับของน้ำบาดาล - ระบบการไหลของน้ำบาดาลตามธรรมชาติ - ความสัมพันธ์ของระบบน้ำผิวดินและน้ำบาดาล - สมดุลน้ำบาดาล - คุณภาพน้ำบาดาล - การใช้น้ำบาดาล (ปริมาณ ช่วงเวลา พืชที่ปลูก ความลึกบ่อ การทรุดบ่อ)
(4) ข้อมูลเพื่อการจัดการเติมน้ำบาดาล	- บ่อน้ำบาดาล (บ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร ตำแหน่ง ความหนาแน่น และข้อมูลระดับน้ำ) - พื้นที่น้ำท่วมและพื้นที่ขาดแคลนน้ำ - ข้อมูลด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง กับการเลือกพื้นที่สร้างสระเติมน้ำ เช่น แหล่งน้ำดิบ แหล่งไฟฟ้า เจ้าของที่ดิน - พื้นที่เป้าหมาย - แผนหลักการเติมน้ำบาดาล (พื้นที่เหมาะสมต่อการเติมน้ำ ลำดับความสำคัญ ผู้มีส่วนร่วม) - โครงสร้างระบบการเติมน้ำที่มีอยู่ (ตำแหน่ง วิธีการ ผู้ดำเนินการ การดำเนินการ และข้อมูล ผลการติดตามระดับและคุณภาพน้ำ)

คณะที่ปรึกษาใช้ระบบฐานข้อมูลและแบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาลทำการศึกษาพื้นที่เป้าหมายที่มีความจำเป็นในการเติมน้ำและพื้นที่ศักยภาพในการสร้างระบบเติมน้ำ ตามขั้นตอนการดำเนินงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) จัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยารายละเอียดของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ (regional hydrogeologic map) มาตราส่วน 1:50,000 ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลด้านต่างๆ ที่จัดเก็บในระบบฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา ลักษณะโครงสร้าง ความหนา ทิศทางการวางตัว และขอบเขตของชั้นน้ำบาดาล ระบบการไหลของน้ำบาดาล แหล่งน้ำผิวดิน ภูมิอากาศอุทกวิทยา บ่อน้ำบาดาลและบ่อสังเกตการณ์ คุณภาพน้ำผิวดินและน้ำบาดาล ความสามารถในการกักเก็บน้ำบาดาลและความสามารถนำขึ้นมาใช้ใหม่ได้ของชั้นน้ำบาดาล คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล เช่น ประเภท สัมประสิทธิการยอมให้น้ำซึมผ่าน (hydraulic conductivity) คุณสมบัติด้านความสามารถในการกักเก็บน้ำ (storativity) และอัตราการให้น้ำจำเพาะ (specific yield) ซึ่งวิเคราะห์ได้จากข้อมูลสูบทดสอบน้ำบาดาลแบบ 12 ชั่วโมง จำนวน 150 บ่อ และความสัมพันธ์ทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาลกับแหล่งน้ำผิวดิน

2) การคัดเลือกพื้นที่เป้าหมายและพื้นที่เติมน้ำขั้นรายละเอียด

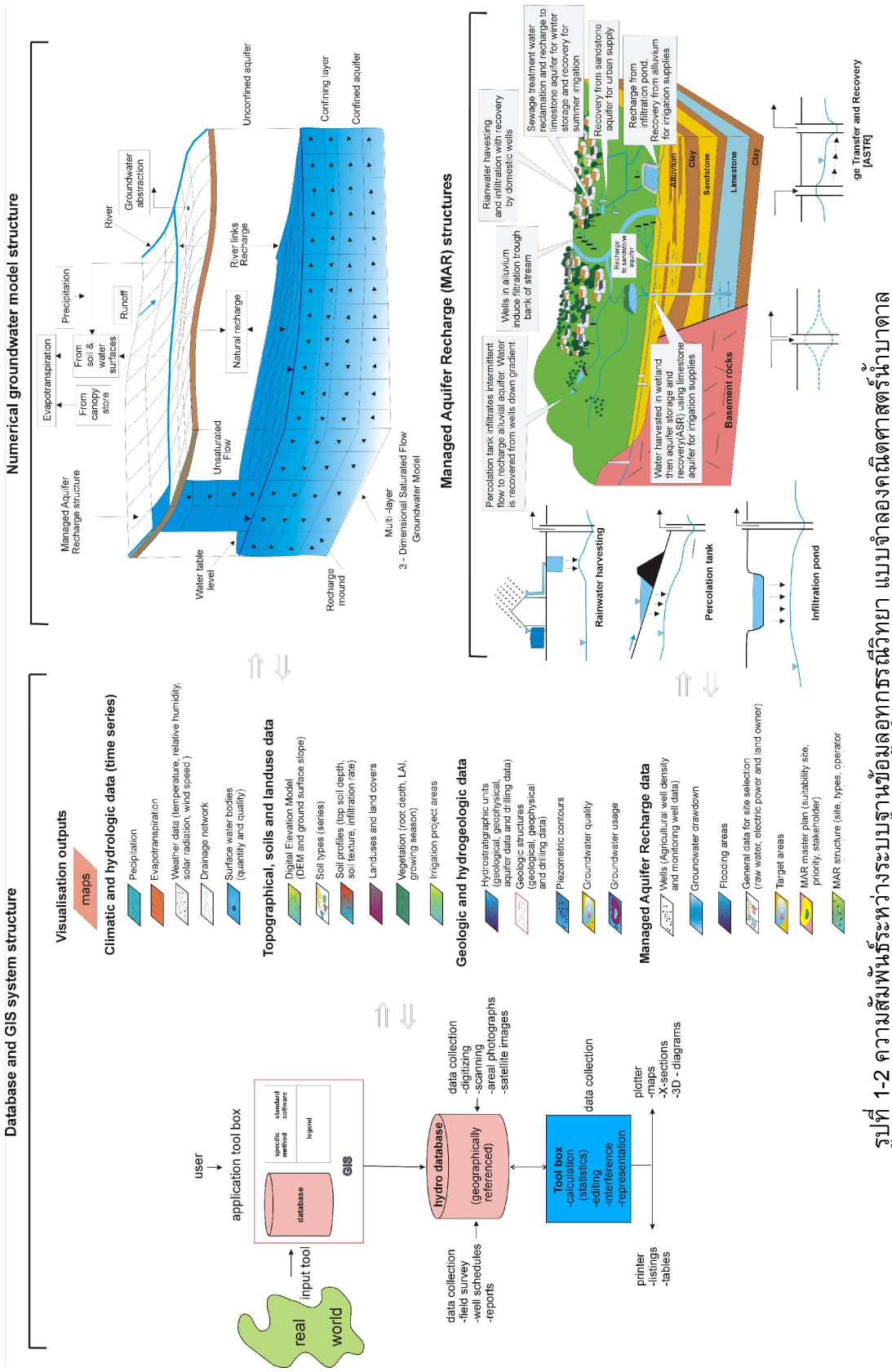
(2.1) การกำหนดพื้นที่เป้าหมายที่มีความต้องการเพิ่มระดับน้ำบาดาลและพื้นที่ศักยภาพในการก่อสร้างระบบเติมน้ำ โดยพิจารณาจากการกระจายตัวของผู้ใช้น้ำบาดาลในปัจจุบัน อัตราการใช้น้ำบาดาลของชั้นน้ำเป้าหมาย ส่วนเกณฑ์เพื่อคัดเลือกพื้นที่ที่มีศักยภาพพิจารณาจากแหล่งน้ำดิบที่สามารถใช้เติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ การเข้าพื้นที่ สภาพการใช้พื้นที่ และแหล่งพลังงานไฟฟ้า

(2.2) การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาลและน้ำผิวดินของพื้นที่ศึกษาเพื่อจำลองสภาพระบบการไหลของน้ำบาดาลและจำลองการไหลในแม่น้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก

(2.3) การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษา เพื่อจำลองความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาลที่เกิดขึ้นในระบบเติมน้ำ

(2.4) การจำลองกรณีศึกษาต่างๆ เพื่อวางแผนการจัดการเติมน้ำบาดาลและหาพื้นที่เหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำ

3) สรุปผลการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด ประกอบด้วยพื้นที่เป้าหมายและพื้นที่ออกแบบก่อสร้างระบบเติมน้ำ



รูปที่ 1-2 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบฐานข้อมูลอุทกธรณีวิทยา แบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาล และการจัดการระบบเติมน้ำบาดาล (ดัดแปลงจาก Srisuk and Sriboolue, 1997; Dillon et al, 2009)

1.3.2 การศึกษาความเหมาะสมของพื้นที่ศึกษาขั้นละเอียด

การประเมินสภาพอุทกธรณีวิทยาและศึกษาความเหมาะสมในขั้นรายละเอียดเพื่อทำการคัดเลือกพื้นที่ทดลองเติมน้ำ ประกอบด้วยการดำเนินงานดังนี้

1) การจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยาพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียดมาตราส่วน 1:10,000 แสดงชั้นน้ำบาดาลและหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา ระบบการไหลของน้ำบาดาล และคุณภาพน้ำบาดาล

2) การสูบทดสอบปริมาณน้ำบาดาลเพื่อศึกษาความนำทางชลศาสตร์และการกักเก็บน้ำบาดาลของชั้นน้ำบาดาลโดยการสูบทดสอบระยะยาว

3) การทดสอบการซึมได้ของน้ำผ่านชั้นดินในภาคสนาม ตามความเหมาะสมของลักษณะชั้นดินชั้นหินของพื้นที่ที่คาดว่าจะทำการก่อสร้างสระเติมน้ำในพื้นที่ที่มีศักยภาพจำนวน 6 บ่อ

4) การสำรวจธรณีฟิสิกส์แบบตัดขวาง 2 มิติ (dipole-dipole) 20 แนวๆ ละ 500 ม. อธิบายลักษณะการวางตัวและขอบเขตของชั้นน้ำบาดาล ชั้นหินต้านน้ำที่ความลึกไม่น้อยกว่า 30 ม.

5) การจัดทำแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (conceptual model) ศึกษาสมดุลน้ำบาดาล ระบบการเติมน้ำบาดาลตามธรรมชาติและการใช้น้ำหรือการไหลออกไปสู่ชั้นน้ำบาดาลอื่นของชั้นน้ำเป้าหมาย

6) การจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การไหลของน้ำบาดาลเพื่อจำลองหาวิธีการและตำแหน่งก่อสร้างระบบเติมน้ำที่เหมาะสม โดยแบบจำลองต้องสามารถจำลองการไหลซึมของน้ำในสระเติมน้ำและการไหลลงสู่ชั้นน้ำบาดาล (กระบวนการไหลของน้ำผิวดินและใต้ดิน) และทิศทางการไหลของน้ำที่เพิ่มเติมสู่แหล่งน้ำบาดาลรวมทั้งผลการเปลี่ยนแปลงทางอุทกธรณีเคมีที่อาจจะเกิดขึ้น

7) สรุปพื้นที่และวิธีการที่เหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำสู่ชั้นน้ำเป้าหมายที่เกิดผลประโยชน์สูงสุด มีผลกระทบต่อระบบอุทกธรณีวิทยาน้อยที่สุด และตำแหน่งและความลึกของบ่อสังเกตการณ์ที่เหมาะสม

1.3.3 การออกแบบและก่อสร้างระบบเติมน้ำ

1) ใช้ข้อสรุปการกำหนดพื้นที่เพื่อทำการก่อสร้างระบบเติมน้ำมาออกแบบระบบและดำเนินการ ด้านที่ดินเพื่อเตรียมการก่อสร้าง

2) กำหนดคุณภาพของน้ำที่ใช้เติมและน้ำที่มีการเพิ่มระดับขึ้นมาหรือน้ำที่สูบขึ้นมาและออกแบบระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำเบื้องต้น

3) ออกแบบระบบเติมน้ำ ประกอบด้วย ระบบผันน้ำดิบ ระบบการตกตะกอนและการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ อาคารและระบบควบคุม ระบบสูบน้ำ การวัดอัตราการเติมน้ำ ระบบการบำรุงรักษา และระบบการสังเกตการณ์

4) พัฒนาระบบการประเมินผลการดำเนินการเติมน้ำ และความเสี่ยงต่างๆ ในทางเทคนิค ซึ่งแผนงานจำเป็นต้องมีการเผื่อเหลือเผื่อขาดไว้สำหรับปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ หรือเหตุการณ์ที่ไม่อาจคาดการณ์ล่วงหน้าได้ โดยการเจาะบ่อสังเกตการณ์เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความลึก 20-30 ม. จำนวน 30 บ่อ

5) ก่อสร้างระบบเติมน้ำที่ประกอบด้วย ระบบผันน้ำจากแหล่งน้ำดิบ อาคารอำนวยการและระบบควบคุม ระบบตกตะกอนและการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ สระเติมน้ำ ตามจำนวนและขนาดที่เหมาะสม ระบบการวัดน้ำที่เติม และระบบการสังเกตการณ์

6) จัดทำแผนการทดสอบระบบ เช่น ตารางการทดลองเติมน้ำ ระบบบำรุงรักษา และการติดตามตรวจสอบระบบ

1.3.4 การดำเนินการทดลองระบบเติมน้ำ

คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการทดลองเติมน้ำเป็นระยะเวลา 6 เดือนและติดตามผลกระทบของระดับน้ำและคุณภาพน้ำโดยทำการวัดระดับน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์ ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล ความเร็วในการไหล อัตราการเติมน้ำ พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างน้ำดิบ และตัวอย่างน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์ทุกเดือน เพื่อทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และบักเตรี เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากภาคสนามกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ก่อนและหลังการเติมน้ำ

1.3.5 การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลเพื่อให้ทราบถึงเทคนิคและขั้นตอนของการเติมน้ำสามารถควบคุมระบบเติมน้ำ ติดตามตรวจสอบผลการเติมน้ำและวิธีการบำรุงรักษา เป็นระยะเวลา 1 เดือน

1.3.6 การจัดประชุมเพื่อนำเสนอและเผยแพร่ข้อมูล

คณะที่ปรึกษาได้ดำเนินการจัดประชุมโดยเชิญตัวแทนในภาครัฐและภาคเอกชนอย่างน้อย 300 คน พร้อมทั้งจัดพิมพ์เอกสารการสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัยพิมพ์เป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จำนวน 300 ชุด

บทที่ 2
การเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

2.1 หลักการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล

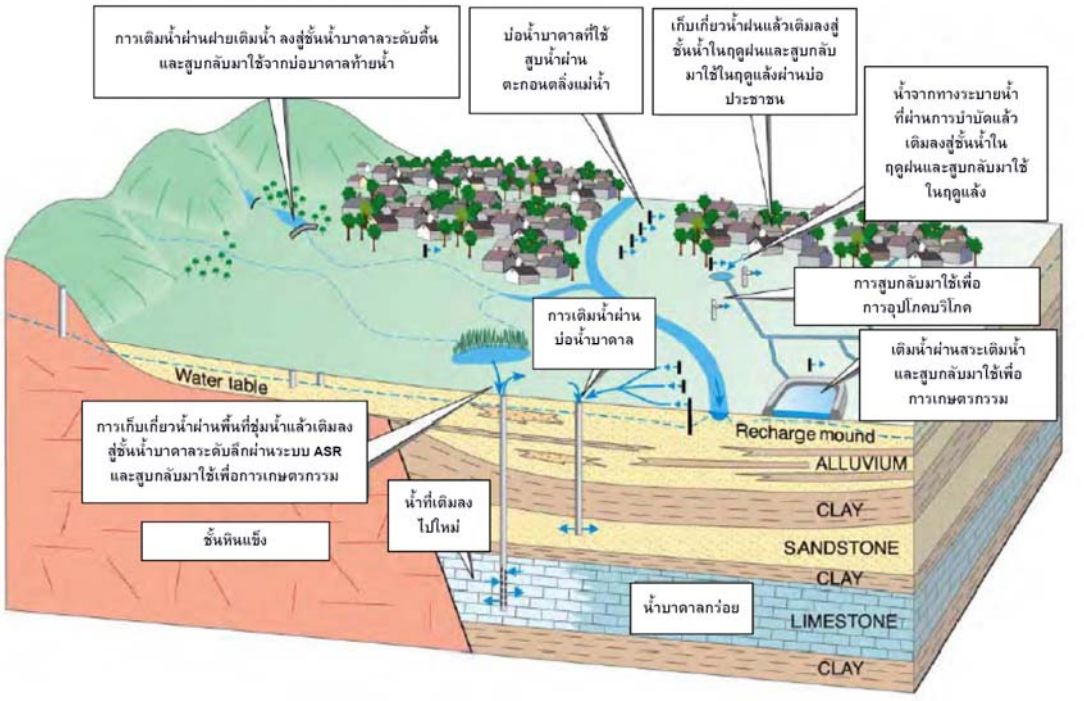
การจัดการการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล หรือ Managed Aquifer Recharge (MAR) คือ การจัดการให้มีการเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาลตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ เช่น เพื่อรักษาระดับหรือแรงดันน้ำบาดาล เพื่อการกักเก็บและนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในช่วงเวลาหรือในพื้นที่ที่ต้องการ หรือเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เช่น ป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็ม หรือการทรุดตัวของแผ่นดิน เป็นต้น เดิมเรียกว่า การเติมน้ำเทียม หรือ artificial recharge แต่เมื่อมีการพัฒนาการของระบบมากขึ้นการมีส่วนร่วมของประชาชนก็มีมากขึ้น การใช้คำว่าการเติมน้ำเทียมซึ่งใช้กันมานานแต่มีความหมายในเชิงลบ ทำให้ประชาชนในพื้นที่เข้าใจระบบการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลผิด โดยคิดว่าไม่ได้ใช้น้ำในธรรมชาติมาเติม จึงอาจมีการต่อต้านในบางกรณี นักวิจัยส่วนใหญ่จึงพร้อมใจกันใช้ชื่อเรียกระบบการเติมน้ำบาดาลใหม่ว่า การจัดการการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล หรือบางครั้งเรียกว่า การเพิ่มการเติมน้ำบาดาล (enhanced recharge) ธนาคารน้ำ (water banking) หรือ การกักเก็บน้ำใต้ผิวดินอย่างยั่งยืน (sustainable underground storage) เป็นต้น (Dillon et al., 2009)

ในอดีตชั้นน้ำบาดาลสามารถกักเก็บน้ำไว้ได้มากและมีกระบวนการเติมน้ำตามธรรมชาติโดยการซึมผ่านผิวดินและการซึมผ่านคลองและแม่น้ำตามฤดูกาลอยู่แล้ว แต่เนื่องจากการเพิ่มจำนวนประชากร การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้มีการใช้น้ำมากขึ้นและลดกระบวนการเติมน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งส่งผลให้ระดับน้ำบาดาลมีการลดระดับลงอย่างต่อเนื่อง การจัดการการเติมน้ำที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มการเติมน้ำจากที่มีอยู่ในธรรมชาติได้ โดยวิธีการต่างๆ เช่น การอัดน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาล และการซึมผ่านสระเติมน้ำ สามารถใช้น้ำดิบได้จากหลายๆ แหล่ง เช่น น้ำฝน น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น น้ำกร่อยที่ผ่านการบำบัด และน้ำบาดาลจากพื้นที่อื่น เป็นต้น ทั้งนี้การพัฒนาระบบการจัดการการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันดังนี้

1) เพิ่มปริมาณน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการในด้านการอุปโภคบริโภคและการเกษตรกรรม
2) ลดปัญหาภัยแล้งโดยการกักเก็บน้ำหลากในฤดูฝนไว้ใช้ในฤดูแล้ง
3) ลดปัญหาอุทกภัยโดยการลดปริมาณน้ำหลากที่จะมีระบายลงสู่แม่น้ำสายหลัก
4) ป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็มบริเวณชายฝั่งทะเลหรือพื้นที่ที่มีปัญหาน้ำเค็ม
5) ปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลในบางพื้นที่
6) ลดการระเหยของน้ำที่กักเก็บไว้ใช้ในฤดูต่างๆ
7) รักษาสมดุลของการไหลในลำน้ำในและระบบนิเวศวิทยา และความหลากหลายทางชีวภาพ

2.2 วิธีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

การเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลต้องดำเนินการตามความเหมาะสมของพื้นที่ วิธีการเติมน้ำขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นน้ำบาดาล ภูมิประเทศ การใช้ที่ดิน และปริมาณการใช้น้ำบาดาล รูปที่ 2-1 แสดงระบบการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล แหล่งน้ำดิบ และการนำน้ำกลับขึ้นมาใช้ในพื้นที่ลุ่มน้ำ



รูปที่ 2-1 วิธีการต่างๆ ของการจัดการการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำ
(ดัดแปลงจาก Dillon et al, 2009)

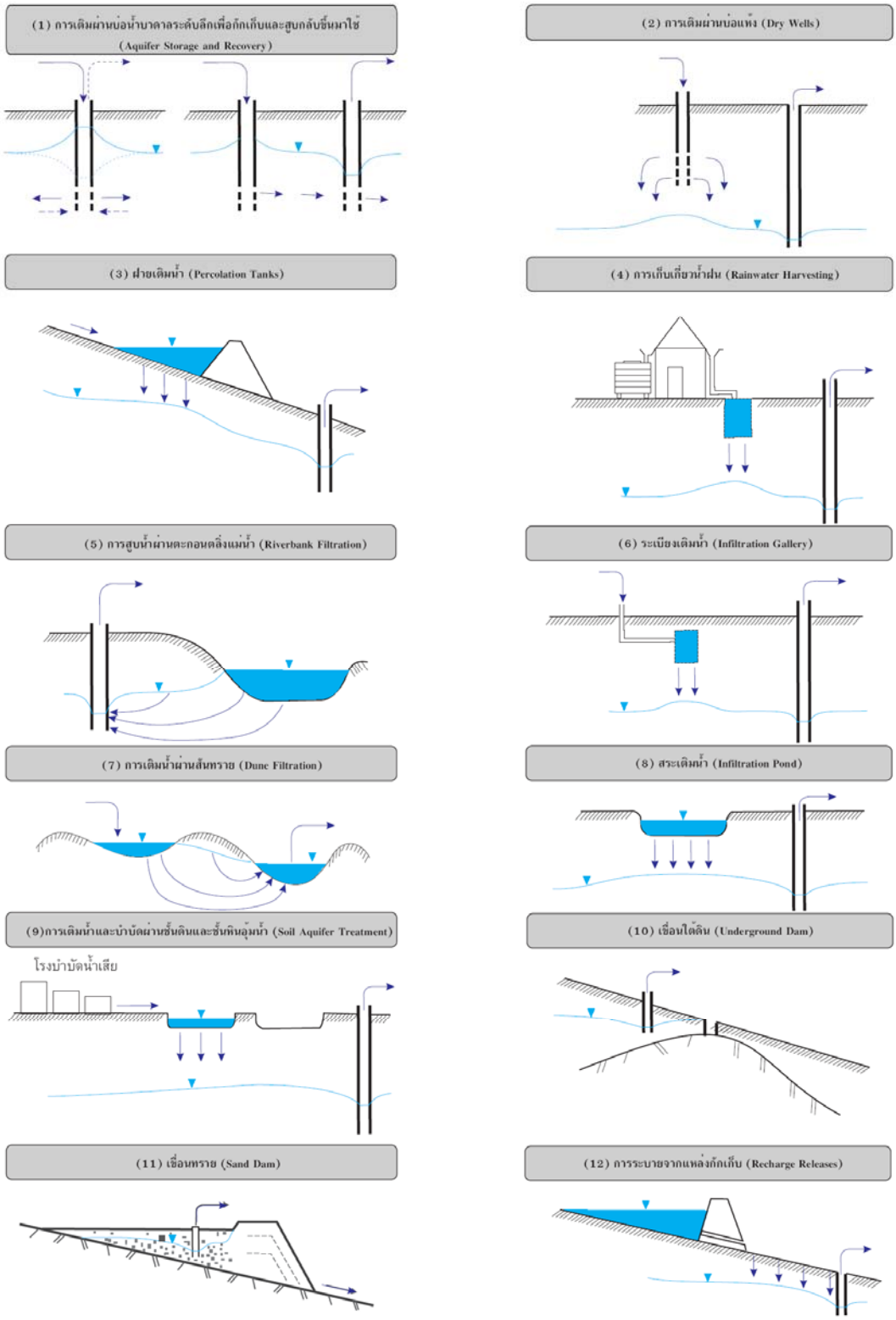
วิธีการเติมน้ำในปัจจุบันมี 11 วิธี ดังแสดงในรูปที่ 2-2 (Dillon, 2005) ได้แก่

1) การเติมผ่านบ่อน้ำบาดาลระดับลึกเพื่อกักเก็บและสูบกลับขึ้นมาใช้ (aquifer storage and recovery, ASR) เป็นวิธีการอัดน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาลลงไปในชั้นน้ำบาดาลระดับลึกเพื่อเก็บน้ำไว้ในฤดูแล้งหรือช่วงเวลาที่ต้องการ

2) การเติมผ่านบ่อน้ำบาดาลระดับลึกเพื่อกักเก็บและส่งต่อไปเพื่อสูบใช้ในพื้นที่อื่น (aquifer storage transfer and recovery, ASTR) เป็นการอัดน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาล แต่สูบขึ้นมาใช้ในบ่อผลิตในพื้นที่อื่นที่อยู่ในพื้นที่เป้าหมาย

3) การเติมน้ำผ่านสระ (infiltration pond) เป็นการสร้างสระน้ำในพื้นที่ที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มเวลาและพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำกับผิวดินให้มากขึ้นในพื้นที่ที่มีตะกอนดินทรายที่ซึมได้เร็ว และมีแหล่งน้ำดิบที่มีปริมาณน้ำและคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเติมลงไปกักเก็บไว้ในชั้นน้ำบาดาล

4) ระเบียงเติมน้ำ (infiltration galleries) เป็นการใช้ร่องคูบรรจุวัสดุพรุนที่กลบปิดด้วยดินเดิมรับน้ำดิบและปล่อยผ่านแรงโน้มถ่วงให้ซึมลงไปเพิ่มเติมในชั้นหินอุ้มน้ำที่ไม่มีแรงดัน วิธีนี้เป็นวิธีที่ลงทุนสูงแต่ประหยัดเนื้อที่เหมาะกับพื้นที่เมือง ที่อยู่อาศัย หรือสวนสาธารณะ



รูปที่ 2-2 วิธีการในการจัดการการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล (ดัดแปลงจาก Dillon, 2005)

5) การเติมน้ำและบำบัดผ่านชั้นดินและชั้นหินอุ้มน้ำ (Soil Aquifer Treatment, SAT) เป็นการใช้น้ำหมุนเวียนผ่านการนำน้ำเสียที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพเบื้องต้นแล้วปล่อยให้ซึมผ่านสระเพื่อให้น้ำซึมลงใต้ดิน โดยอาศัยชั้นดินชั้นหินเป็นตัวช่วยกรองและปรับปรุงคุณภาพน้ำตามระยะทางที่น้ำไหลผ่าน แล้วสูบกลับขึ้นมาใช้ใหม่

6) ฝายเติมน้ำ (percolation tanks หรือ recharge weirs) เป็นการกักเก็บน้ำผิวดินเพื่อให้น้ำไหลซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ซึ่งบริเวณที่เหมาะสมในการสร้างฝายเติมน้ำต้องมีพื้นที่รับน้ำของลำน้ำและปริมาณน้ำฝนมากเพียงพอ ควรมีลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำที่มีความสามารถในการซึมผ่านได้ดี ชั้นน้ำบาดาลด้านล่างฝายเติมน้ำต้องมีความต่อเนื่องไปจนถึงพื้นที่รับประโยชน์ ฝายเติมน้ำควรสร้างบริเวณด้านล่างของบริเวณ run off zone หรือบริเวณที่มีความลาดชันระหว่าง 3-5 %

7) การเก็บเกี่ยวน้ำฝน (rainwater harvesting) เป็นวิธีการรวบรวมน้ำฝนจากหลังคาบ้านเรือนแล้วส่งต่อลงบ่อน้ำตื้นหรือหลุมที่มีทรายหรือกรวดบรรจุอยู่ วิธีการนี้เปรียบเสมือนการนำน้ำฝนที่เหลือใช้ไปเก็บไว้ใต้ดิน เพื่อนำน้ำขึ้นมาใช้ในช่วงที่ขาดแคลน การเติมน้ำโดยวิธีนี้สามารถทำได้ในพื้นที่ชุมชนที่มีหลังคาหรือส่วนที่รองรับน้ำฝน วิธีการนี้เหมาะสมกับบริเวณที่รองรับด้วยชั้นน้ำไร้แรงดันและเป็นบริเวณที่มีการลดระดับของน้ำบาดาลเพื่อสามารถมีระยะกักเก็บน้ำที่เติมลงไปใหม่ได้

8) การระบายจากแหล่งกักเก็บ (recharge releases) เป็นวิธีการปล่อยน้ำจากเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำอย่างช้าๆ ที่สัมพันธ์กับปริมาณการไหลซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำที่รองรับอยู่ด้านล่าง

9) การเติมผ่านบ่อแห้ง (dry wells) ส่วนใหญ่เป็นบ่อน้ำตื้น การเติมน้ำทำโดยการปล่อยน้ำที่มีคุณภาพดีลงไปในระดับลึกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง เป็นการเติมน้ำในบริเวณที่มีการใช้น้ำในระดับตื้น ซึ่งส่งผลให้ระดับน้ำลดลงมาก การเติมน้ำด้วยวิธีนี้สามารถผันน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินให้เติมลงไปสู่ชั้นน้ำบาดาลโดยตรง ชั้นน้ำบาดาลต้องมีความสามารถยอมให้น้ำซึมผ่านได้ดี คุณภาพของแหล่งน้ำที่ใช้เติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำเดิม บริเวณพื้นที่ชุมชนน้ำที่ไหลบ่าในฤดูฝนสามารถทำร่องระบายเติมผ่านตัวกรองลงสู่บ่อบาดาลได้

10) การสูบน้ำผ่านตะกอนตลิ่งแม่น้ำ (river bank filtration,RBF) เป็นวิธีการกระตุ้นการไหลซึมของน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินให้เข้าสู่ชั้นน้ำใต้ดิน โดยใช้น้ำจากแม่น้ำ แอ่งน้ำ หรือทะเลสาบ ใช้ตะกอนดินทรายในธรรมชาติช่วยกรองน้ำ โดยทั่วไปใช้วิธีนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำใต้ดินเพื่อการอุปโภคบริโภค

11) การเติมน้ำผ่านสันทราย (dune filtration) เป็นการเติมน้ำตามหลักวิธี Bank filtration แต่ใช้น้ำจากสระน้ำหรือเขื่อนที่สร้างขึ้นบนเนินทราย สูบน้ำขึ้นไปกักเก็บไว้ โดยทั่วไปใช้วิธีนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ และช่วยสร้างสมดุลให้เกิดในระบบและตอบสนองการใช้น้ำจากใต้ดิน

12) เขื่อนใต้ดิน (underground dam) เป็นวิธีการสร้างอ่างเก็บน้ำใต้ดิน โดยการสร้างผนังกั้นขวางเส้นทางการไหลของน้ำบาดาล เพื่อยกระดับน้ำและเพิ่มปริมาณน้ำกักเก็บไว้ใช้ในพื้นที่ชุมชนหรือการชลประทาน ในช่วงเวลาที่ต้องการใช้น้ำ พื้นที่ที่เหมาะสมของวิธีนี้ต้องมีหินแข็งรองรับด้านล่างเพื่อความมั่นคงของโครงสร้าง ชั้นน้ำบาดาลบริเวณเขื่อนต้องมีการซึมผ่านได้ดี และควรหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในการเกิดธรณีพิบัติภัย เช่น แผ่นดินไหว

13) เขื่อนทราย (sand dam) เป็นวิธีการเก็บน้ำไว้ใต้ดิน โดยสร้างฝายกักน้ำและตะกอนทรายไว้เหนือพื้นที่ที่มีชั้นดินทรายร่วนทับถมกันอยู่หนาพอสมควร โดยเฉพาะในบริเวณที่ชั้นดินทรายร่วนเหล่านี้ทับถมตัวอยู่บนชั้นหินเนื้อแน่น น้ำฝนที่ตกลงมาเก็บกักอยู่ในอ่างน้ำจะซึมลงไปเก็บอยู่ในรูพรุนของทราย การเจาะบ่อเพื่อนำน้ำขึ้นมาใช้สามารถเจาะบริเวณท้องหรือขอบอ่างเก็บน้ำ

2.3 การคัดเลือกระบบเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

ในการพัฒนาระบบการเติมน้ำในชั้นน้ำบาดาลมีองค์ประกอบ 5 ประการที่ต้องพิจารณาเพื่อการตัดสินใจดำเนินการในแต่ละโครงการ ได้แก่

1) มีปริมาณความต้องการน้ำที่จะนำกลับมาใช้คุ้มค่ากับการลงทุน
2) มีปริมาณน้ำดิบเพียงพอต่อการนำมาเติม
3) มีชั้นน้ำบาดาลเหมาะสมต่อการนำน้ำมากักเก็บและสูบกลับมาใช้
4) มีพื้นที่เพียงพอที่จะเก็บเกี่ยวน้ำและบำบัดน้ำ
5) มีศักยภาพที่จะบริหารจัดการโครงการอย่างมีประสิทธิภาพ

ในประเทศออสเตรลียที่มีการพัฒนาระบบการจัดการการเติมน้ำบาดาลอย่างมาก ได้ทำการประเมินมูลค่าทางราคาของการกักเก็บน้ำไว้ใช้ในภาชนะแบบต่างๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของการกักเก็บน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำแบบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบราคาและการใช้ที่ดินเพื่อการกักเก็บน้ำแบบต่างๆ และการกักเก็บน้ำในชั้นน้ำบาดาลในประเทศออสเตรเลีย

ชนิดของการกักเก็บน้ำ	ปริมาตรที่กักเก็บ (ล้าน ลิตร)	ราคาต่อหน่วย (บาท/ล้านลิตร)	ราคาต่อหน่วย (บาท/ลบ.ม.)	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม./ล้านลิตร)
กักเก็บน้ำฝนในถัง Polyethylene	0.002-0.010	6,000	6.00	500
ถังคอนกรีตเคลื่อนย้ายได้	1-4	30,000	30.00	200
เขื่อนดินที่มีการดาด	4-8	360	0.36	600
เขื่อนขนาดใหญ่	350-200,000	120-300	0.12-0.30	100-200
การเติมน้ำผ่านสระและระบบSAT	200-600	30-60	0.03-0.06	20-60 อัตราการซึม 4.7-13.7 ม./วัน
การเติมน้ำผ่านบ่อลึก	75-2,000	120-300	0.12-0.30	1

(ที่มา : Dillon et al, 2009)

2.4 พัฒนาการของระบบเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล

การใช้น้ำบาดาลที่เพิ่มขึ้นในหลายพื้นที่ของโลกนำมาซึ่งปัญหาการลดลงของระดับน้ำบาดาลในหลายพื้นที่ การแก้ปัญหาโดยการเติมน้ำบาดาลมีการดำเนินการอย่างแพร่หลายในหลายพื้นที่ทั่วโลก โดยเฉพาะในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 19 โดยเริ่มดำเนินการที่เมือง Glasgrow ประเทศสกอตแลนด์ เป็นแห่งแรกในปี ค.ศ. 1810 และแพร่หลายไปทั่วโลกในช่วงต่อมา (Schmidt et al., 2007) เช่น ประเทศ

สหรัฐอเมริกา อิสราเอล อังกฤษ ออสเตรเลีย อินเดีย เยอรมัน แอฟริกาใต้ จีน เกาหลี เคนยา แอฟริกาใต้ โอมาน ฮังการี เม็กซิโก และสวิสเซอร์แลนด์ เป็นต้น

การดำเนินการเติมน้ำบาดาลเริ่มต้นครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี 1871 ที่เมือง Des Moines รัฐ Iowa และในช่วงต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 มีการใช้ระบบเติมน้ำแบบท่วมเป็นผืน (water-spreading) อย่างแพร่หลายในพื้นที่ของรัฐ California Arizona Oregon และ Kansas และมีการใช้ระบบ ASR และระบบ RBF ที่ใช้บ่อน้ำบาดาลแนวนอนจำนวนมาก

หน่วยงาน U.S. Geological Survey (USGS) มีส่วนร่วมอย่างมากในการพัฒนาระบบการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลของสหรัฐอเมริกาและมีส่วนร่วมในการจัดการเติมน้ำบาดาลอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงแรกเป็นความสนใจที่จะใช้บ่อน้ำบาดาลในการระบายน้ำ (drainage wells) เพื่อปรับปรุงพื้นที่ชุ่มน้ำให้สามารถทำการเกษตรกรรมได้ ในพื้นที่ของรัฐ Michigan Georgia Arkansas และ Minnesota (Horton, 1905; Crider, 1906; Fuller, 1911; Hall et al., 1911) แต่ส่วนใหญ่บ่อน้ำบาดาลมีปัญหาการอุดตันจากตะกอนในน้ำที่ต้องการระบาย แต่สำหรับบ่อระบายน้ำที่ดำเนินการในพื้นที่ Floridan aquifer ซึ่งเป็นชั้นหินอุ้มน้ำหินปูนที่มีความพรุนสูงพบว่าประสบความสำเร็จมากกว่า และมีการขยายเครือข่ายระบบบ่อระบายน้ำอย่างมากใน Orlando รัฐ Florida ซึ่งระบายน้ำฝนจากพายุและน้ำจากระบบระบายน้ำของเมืองลงสู่ Floridan aquifer และมีการศึกษาผลกระทบด้านอุทกวิทยาและคุณภาพน้ำจากการระบายน้ำโดย Unklesbay and Cooper (1946) บ่อระบายน้ำที่กักน้ำไว้ในรอยแตกของชั้นน้ำบาดาลหินบะซอลท์ในพื้นที่ Snake River Plain ของรัฐ Idaho ก็พบว่าประสบความสำเร็จเช่นกัน Stearns et al. (1938) และ Stearns et al. (1939)

พัฒนาการที่น่าสนใจของการเติมน้ำบาดาลในสหรัฐอเมริกาในช่วงปี 1930s คือ การใช้การเติมน้ำบาดาลเพื่ออนุรักษ์และเพิ่มศักยภาพของการกักเก็บน้ำใน California และ New York ใน California มีการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลตะกอนน้ำพา (alluvial) ด้วยการรวบรวมน้ำจากพายุฝน (storm runoff) โดยใช้การปล่อยท่วมเป็นผืน (spreading basins) ซึ่งเป็นวิธีแรกที่นำมาใช้และแพร่หลายมากในช่วงปี 1930s ใน New York ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ western Long Island มีการลดระดับลงจนต่ำกว่าระดับน้ำทะเลในช่วงต้นปี 1930 เนื่องจากการสูบใช้น้ำบาดาลเพื่อการระบายความร้อนให้กับเครื่องปรับอากาศและระบายทิ้งสู่บ่อบำบัดน้ำเสีย ต่อมามีการตรากฎหมายขึ้นในปี 1933 เพื่อกำหนดให้น้ำบาดาลที่สูบเพื่อใช้กับเครื่องปรับอากาศต้องมีการเติมกลับลงไป โดยการอัดลงในบ่อเติมน้ำ (well injection) หรือปล่อยให้ท่วมเป็นผืน และมีการวิเคราะห์สภาพอุทกวิทยาและอุณหภูมิต่อการเติมน้ำโดย Leggette and Brashears (1938) และ Brashears (1941, 1946) การเติมน้ำเพื่อการอนุรักษ์มีการดำเนินการในเขตพื้นที่เทศบาลนคร northern New Jersey (Barksdale and DeBuchananne, 1946)

หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้มีการศึกษาเรื่องการเติมน้ำบาดาลมากขึ้น Cederstrom (1947) ดำเนินการเติมน้ำจืดผ่านบ่อน้ำบาดาลลงสู่ชั้นน้ำบาดาลกร่อยใน Virginia และ Rorabaugh (1949) อธิบายการใช้บ่อน้ำบาดาลเติมน้ำในตะกอนน้ำพาในพื้นที่ใกล้เมือง Louisville รัฐ Kentucky Sniegocki (1953) เสนอให้ศึกษาการอัดน้ำลงในระดับลึกใน Grand Prairie region ของ Arkansas หลังจากนั้นจึงมีการศึกษาเรื่องนี้อย่างมาก ในปี 1957 Moulder and Frazor การอัดน้ำในชั้นน้ำบาดาล

ในชั้นน้ำบาดาล 2 ชั้นในกลุ่มบ่อบาดาลของเมือง Amarillo มีการศึกษาผลของการอัดน้ำที่รวบรวมจาก playa lakes ที่มีอยู่เป็นหย่อมๆ ใน Southern High Plains ใน Texas โดย Cronin (1964) และในปี 1958 Hart ได้ทำการสำรวจรวบรวมการดำเนินงานเติมน้ำที่ 9 โครงการใน Washington และ Oregon โดยส่วนใหญ่เป็นการเติมน้ำโดยการอัดผ่านบ่อน้ำบาดาลที่ใช้น้ำจากแม่น้ำ Columbia ลงสู่ basalt aquifer แต่ก็มีการใช้การเติมน้ำโดยการปล่อยผ่านสระขนาดใหญ่เพื่อเติมลงสู่ alluvium aquifer ด้วย Price (1961) ประเมินผลกระทบจากอุทกวิทยาต่อการเติมน้ำใน Columbia River basalts โดยการอัดผ่านบ่อบาดาลที่ดำเนินการโดยบุคลากรของเมือง Walla Walla และ Foxworthy (1969) ก็ทำการศึกษาแบบเดียวกันที่เมือง Salem รัฐ Oregon และมีการศึกษาผลกระทบต่อระบบอุทกวิทยาจากการอัดกลับน้ำบาดาลที่สูบมาใช้ระบายความร้อนจากเครื่องปรับอากาศต่อ Columbia River basalts ในเขตเมือง Portland รัฐ Oregon โดย Brown ในปี 1963

ในช่วงปลายยุค 1960s การจัดการเติมน้ำบาดาลในรัฐ California Texas และ New York ก็มีการแยกการดำเนินงานมากขึ้น แผนการจัดการน้ำของรัฐ California ยอมรับการนำน้ำจำนวนมากจากพื้นที่ตอนเหนือลงมาทางตอนใต้ของรัฐ California และทำการกักเก็บไว้โดยการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

ในรัฐ New York ได้ทำการปรับเปลี่ยนพื้นที่ที่เป็นบ่อบาดาลและระบบสุขาภิบาลให้เป็นแหล่งน้ำสาธารณะของเมืองและระบบการบำบัดน้ำจากระบบระบายน้ำของเมืองทำให้มีความสนใจในการพัฒนาระบบเติมน้ำบาดาลมากขึ้น มีการศึกษาทดลองเติมน้ำระดับลึกใน Bay Park การศึกษาทดลองอื่นๆ ดำเนินการใน Meadowbrook Artificial-Recharge Project Site ใน East Meadow เขต Nassau County ซึ่งมีบ่ออัดน้ำ 5 บ่อและสระเติมน้ำจำนวน 11 สระ ผลการศึกษาทดลองมีการสรุปไว้โดย Schneider et al. (1987)

การเติมน้ำจากการรวบรวมน้ำจากพายุฝนโดยใช้สระเติมน้ำขนาดใหญ่ (spreading basins) ดำเนินการใน Long Island รัฐ New York ตั้งแต่ช่วงยุค 1930s Aronson and Seaburn (1974) ประเมินผลการเติมน้ำจากสระจำนวน 2,124 สระในปี 1969 และ Seaburn (1970) และ Prill และ Aaronson (1973) ได้ศึกษารายละเอียดของการเติมน้ำจาก 3 สระของสระทั้งหมด Aronson et al. (1979) ศึกษาเพื่อประเมินว่าจำนวนสระเติมน้ำเพียงพอที่จะจัดการเติมน้ำจากพายุฝนและน้ำที่ผ่านการบำบัดได้ทั้ง 2 ส่วนหรือไม่ Prill et al. (1979) ได้ทดลองสร้างสระเติมน้ำที่โรงบำบัดน้ำเสียในcentral Long Island เพื่อเพิ่มการทดลองเติมน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วย

ความสนใจเรื่องการเติมน้ำในรัฐ Florida มุ่งไปที่ผลกระทบเชิงอุทกวิทยา (Kimrey and Fayard, 1984) และเคมีของน้ำ (Schiner and German, 1983) ในบ่อที่ดำเนินการที่ Orlando area ในปี 1996 Bradner ได้ประเมินผลกระทบทางชลศาตร์ของบ่อเชื่อมชั้นน้ำบาดาล (connector well) จำนวน 23 จาก 400 บ่อที่ใช้ระบายน้ำที่เป็นน้ำจากชั้นน้ำตื้นใน alluvial aquifer เพื่อระบายสู่ชั้นน้ำที่ลึกกว่าของ Floridan aquifer Hutchinson and Wilson (1974) ประเมินผลของ single connector well และ Knochenmus (1975) ประเมินผลของ connector well field ในปี 1974 Meyer ประเมินความเป็นไปได้ของการใช้แหล่งน้ำผิวดินในคลอง (canal water) ในการเติมน้ำให้กับ Navy well field Tibbals and Frazee (1976) ศึกษาประเมินความเหมาะสมในการกักเก็บน้ำบาดาลจืดไว้ในชั้นน้ำบาดาลกร่อยใน

หินปูน และ Sinclair (1977) ทดลองวิธีการเติมน้ำหลายๆ วิธีในการเติมน้ำสู่ Floridan aquifer Sumner (1996) ศึกษาการเติมน้ำในชั้นน้ำบาดาลตื้นโดยใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดผ่านสระเติมน้ำใน Orlando

การใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรทั่วทั้งพื้นที่หลายรัฐในเขตที่ราบสูงมากขึ้น ทำให้หน่วยงาน USGS ต้องเข้ามามีส่วนร่วมในการศึกษาการเติมน้ำในรัฐ Kansas Nebraska Colorado South Dakota และ North Dakota มีการทดลองเติมน้ำสระเติมน้ำและการเติมผ่านบ่อน้ำบาดาลในรัฐต่างๆ อย่างไรก็ตามในพื้นที่นี้ USGS มีบทบาทไม่มากนักในการจัดการเติมน้ำเนื่องจาก U.S. Bureau of Reclamation (Carter, 1996) เป็นผู้รับผิดชอบหลัก งานส่วนอื่นๆ ที่ USGS ศึกษาอยู่เป็นเรื่องการศึกษาการเติมน้ำใน High Plains states รวมทั้งการศึกษาความเหมาะสมโดยและแบบจำลองคณิตศาสตร์ใน alluvial aquifers ใน South Platte River basin รัฐ Colorado (Burns, 1980; 1984) และใน South Dakota (Koch, 1984; Emmons, 1987) และได้ทำการศึกษาการเติมน้ำในชั้นน้ำบาดาล Equus beds ในรัฐ Kansas

การเติมน้ำของ basalt aquifers ใน Washington รัฐ Oregon และ Idaho ในช่วงปี 1960s โดย Norvitch et al. (1969) ศึกษาความเหมะสมของการเติมน้ำบาดาลใน Snake River Plain basalt aquifer ใน Idaho ขณะที่ Garrett and Longquist (1970) และ Karlinger and Hansen (1983) มีการศึกษาการเติมน้ำใน Columbia River basalt aquifer เป็นการทดลองกักเก็บน้ำจืดไว้ในชั้นน้ำบาดาลกร่อยในพื้นที่เขตชายฝั่งทะเล Brown and Silvey (1977) และ Cederstrom (1947) พบว่ามีการอุดตันของ dispersion of sodic clays ในชั้นน้ำบาดาลซึ่งแก้ไขได้โดยการใช้สารเคมีในช่วงของการบำบัดเบื้องต้น และยังคงมีการทดลองอัดน้ำด้วยแรงดันในเขต South Carolina

ในปีคศ 1977ได้มีการทดลองเติมน้ำผ่านสระขนาดใหญ่ใน Ship Creek alluvial fan ใกล้ Anchorage รัฐ Alaska (Anderson, 1977) และผลกระทบทางอุทกวิทยาโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์โดย Meyer and Patrick (1980) การศึกษาผลกระทบจาการเติมน้ำทางเคมีดำเนินการในพื้นที่ที่คาดว่าจะก่อสร้างของระบบสระเติมน้ำใน Rillito Creek ใน Tucson รัฐ Arizona (Tadayon, 1995)

การทดลองเติมน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาลลงสู่หินปูนที่มีรอยแตกใน West St. Paul รัฐMinnesota ดำเนินการโดย Reeder et al. (1976) และมีการทดลองอัดน้ำผ่านบ่อบาดาลในชั้นน้ำ alluvium ใน Tucson รัฐArizona โดย Graham (1989) การเหนี่ยวนำการเติมน้ำผ่านตะกอนท้องน้ำ (augmented streambed recharge) ลงสู่ alluvium ในเขต Vicee Canyon ใกล้กับ Carson City รัฐNevada มีการประเมินโดย Mauer and Fischer (1988) มีการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการอัดน้ำลงไปในชั้นทรายของ Kirkwood Formation (ลึกประมาณ 250 ม.) ใน Atlantic City รัฐNew Jersey โดยใช้น้ำผิวดินจากระบบประปาท้องถิ่น (May, 1985) และมีการศึกษาผลกระทบทางชลศาสตร์ในระยะยาวของการอัดน้ำผิวดินลงไปใน Kirkwood-Cohansey aquifer ใน Cape May County รัฐ New Jersy (Lacombe, 1996) การประเมินศักยภาพของการเติมน้ำในชั้นน้ำหินปูน.น Puerto Rico โดย Heisel and Gonzales (1979) และเพื่อ alluvium ในเขต Carson Valley รัฐNevada ดำเนินการโดย Mauer and Peltz (1994)

ในประเทศออสเตรเลียก็มีการศึกษาทดลองและพัฒนาระบบการเติมน้ำบาดาลอย่างมากเช่นกัน โดยมีการพัฒนาระบบการเติมน้ำโดยใช้สระเติมน้ำเป็นครั้งแรกในช่วงปี 1960s ที่ Burdekin Delta รัฐ Queensland ซึ่งมีการเดินระบบยาวนานที่สุดและมีขนาดใหญ่ที่สุด (มากกว่า 45 GLต่อปี) ในประเทศออสเตรเลีย (Charlesworth et al, 2002) ฝายเติมน้ำ (Recharge weirs) ถูกสร้างที่ลำห้วย Callide และ Lockyer ในช่วงปี 1970s และการเติมน้ำผ่านบ่อบาดาลเริ่มดำเนินการในช่วงปี 1970 ในพื้นที่โครงการชลประทาน Angas-Bremer ในรัฐ South Australia และขยายขนาดออกไปอีก 30 บ่อ ทำให้สามารถเติมน้ำได้ 2.4 GL/ปี ในปี 1992 (Gerges et al, 2002) การเติมน้ำโดยการระบายจากแหล่งกักเก็บ (Recharge releases) (1.5 GL/ปี) เริ่มต้นที่เขื่อน Little Para รัฐ South Australia ในปี 1979 (Dillon, 1984) เพื่อทดแทนการเติมน้ำตามธรรมชาติที่ลดลงไปของชั้นน้ำบาดาล Northern Adelaide Plains aquifers ที่เกิดจากการไหลของลำน้ำเดิม ในปี 1992 การเก็บเกี่ยวน้ำฝนในพื้นที่เมืองเพื่อเติมผ่านระบบ ASR เริ่มมีการดำเนินการในเขต Andrews Farm รัฐ South Australia ในชั้นหินอุ้มน้ำหินปูนและในปี 1994 ที่ Regent Gardens ในรอยแตกของชั้นหินอุ้มน้ำที่เป็นหินแข็ง (Gerges et al 2002) การใช้น้ำที่ผ่านการบำบัด (Reclaimed water) เติมสู่ระบบ ASR เริ่มต้นในปี 1999 ที่ Bolivar รัฐ South Australia และเติมสู่ระบบสระเติมน้ำ (infiltration ponds) ที่ Halls Head รัฐ Western Australia ในปี 2000 (Toze et al, 2002) และผ่านระเบียงเติมน้ำ (infiltration galleries) ที่ Floreat Park รัฐ Western Australia ในปี 2005 (Bekele et al, 2006) ระบบ ASR ที่ใช้น้ำจากแม่น้ำหลักเริ่มต้นใน Jandakot รัฐ Western Australia ในปี 2000 (Martin et al, 2002) และระบบ ASR ที่ใช้น้ำจากชั้นน้ำบาดาลตื้นเริ่มที่ Warruwi รัฐ Northern Toritiry ในปี 2001 (Pavelic et al, 2002) ระเบียงเติมน้ำเพื่อการเติมน้ำฝนที่รวบรวมได้จากพายุฝน เริ่มต้นที่ Kensington รัฐ New South Wales ในปี 2007 ระบบการเติมน้ำและบำบัดผ่านดินและหินอุ้มน้ำ (Soil aquifer treatment) ดำเนินการในเขต Alice Springs ในปี 2008 การอัดน้ำจากการรวบรวมน้ำฝน (stormwater ASR) กำลังดำเนินการในหลายพื้นที่ของนคร Melbourne ในปี 2008 การเติมน้ำฝนที่รวบรวมได้ลงสู่บ่อน้ำบาดาลใน Mt Gambier รัฐ South Australia ซึ่งดำเนินการมาตั้งแต่ปี 1880 เมื่อดำเนินการมาถึงปี 1990 พบว่ามีผลการดำเนินงานที่ดีสามารถช่วยเหลือการจ่ายน้ำให้แก่ระบบประปาของเมืองที่ใช้น้ำจาก Blue Lake Wolf et al (2006) เพื่อลดความเสี่ยงจากการขาดแคลนน้ำจากการพึ่งพาแหล่งน้ำแห่งเดียว และในเมือง Perth การเติมน้ำจากการเก็บเกี่ยวจากหลังคาและทางระบายน้ำลงผ่านบ่อและสระน้ำเป็นการช่วยเติมน้ำให้กับระบบการสูบน้ำจากบ่อน้ำบาดาลเพื่อการใช้งานในบ้านเรือน การประปา และการชลประทาน

ในประเทศอินเดียมีการรายงานว่ามีการดำเนินการตั้งแต่สมัย 3,000 ปี ก่อนคริสต์กาล โดยการทำ ฝายชะลอน้ำ และสระเก็บน้ำ ไว้สำหรักกักเก็บน้ำไว้ใช้ในพื้นที่ชนบทที่แห้งแล้งและมีการเพิ่มเติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลทางอ้อม (Chadha, 2003) ปัจจุบันอินเดียมีนโยบายที่จะพยายามรวบรวมน้ำที่ไหลบ่าจากการตกของฝนเพื่อเก็บสะสมไว้ใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะการเก็บเกี่ยวน้ำฝน (rainwater harvesting) และได้จัดทำแผนแม่บทการเติมน้ำบาดาล (Master plan for artificial recharge to groundwater in India) ของประเทศขึ้นในปี 2005 โดย Central Ground Water Board ของอินเดีย เพื่อให้สามารถดำเนินการจัดการการเติมน้ำฝนในฤดูมรสุมลงสู่แหล่งน้ำบาดาลได้อย่างเป็นระบบทั่ว

ทั้งประเทศ โดยมีเป้าหมายที่จะเพิ่มระดับน้ำบาดาล 3 ม. จากระดับน้ำบาดาลที่ลดลงอย่างต่อเนื่องจากการพัฒนาใช้น้ำบาดาล

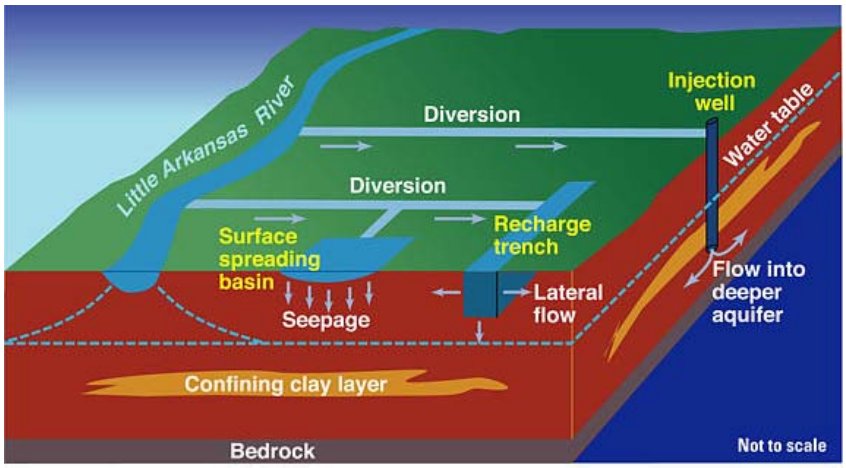
การดำเนินงานเติมน้ำบาดาลในต่างประเทศสรุปไว้ในตารางที่ 2-2 และตัวอย่างการดำเนินการในพื้นที่ต่างๆ สามารถอธิบายโดยสรุปได้ดังนี้

2.4.1 พัฒนาการการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลในต่างประเทศ

1) โครงการศึกษาทดลองนำร่องเติมน้ำสู่ Equus Beds Aquifer เป็นการเติมน้ำผ่านระบบสระน้ำในพื้นที่ของชั้นน้ำ Equus Beds Aquifer ซึ่งเป็นชั้นหินอุ้มน้ำแบบหินร่วน อยู่ในเขตพื้นที่เมือง Wichita รัฐ Kansas ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีปัญหาด้านการลดลงของระดับน้ำบาดาลของ Equus Beds Aquifer ซึ่งเป็นแหล่งน้ำบาดาลหลักของเมือง Wichita มากกว่า 12 ม. ในระหว่างปี 1940-1992 (Hansen and Aucott, 2000) และก่อให้เกิดการรุกตัวของน้ำบาดาลเค็มจากแหล่งผลิตน้ำมัน Burrton oil field เนื่องจากการใช้น้ำบาดาลในการอุปโภคบริโภคของเมือง Wichita และการเกษตรกรรม โครงการเติมน้ำในพื้นที่จึงเกิดขึ้นเพื่อให้มีการเพิ่มเติมปริมาณน้ำบาดาลให้เพียงพอต่อการใช้น้ำบาดาลในปีช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 21 โดยใช้แหล่งน้ำจากแม่น้ำ Little Arkansas ในช่วงที่มีการอัตราไหลสูงกว่าระดับที่ต้องสงวนไว้เพื่อกิจกรรมอื่นๆ การดำเนินการเติมน้ำมีการดำเนินการใน 2 พื้นที่ คือ Halstead site และ Sedgwick site และได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเติมน้ำแบบต่างๆ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ โดยตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของระดับและคุณภาพน้ำมีการตรวจสอบทั้งก่อนและหลังการเติมน้ำทั้ง 2 พื้นที่ ซึ่งหลักการที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ น้ำที่ใช้เติมเป็นน้ำจากแม่น้ำ Little Arkansas โดยนำน้ำที่มีปริมาณเกินกว่าการไหลฐาน (above-base flow) ที่กำหนดโดยใช้การประเมินความต้องการใช้น้ำพื้นฐานท้ายน้ำ ที่กำหนดโดยหน่วยงาน Kansas Division of Water Resources and Groundwater Management District No. 2 ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่เกินกว่าการไหลฐานประมาณ 185 ล้าน ลบ.ม./ปี ส่วนใหญ่คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี เป้าหมายของการศึกษาใน 5 ปี คือ สอบทานความถูกต้องของหลักการใช้น้ำบาดาลที่สะสมในตลิ่งของลำน้ำ (bank storage) ศึกษาคุณภาพของแหล่งน้ำดิบ ศึกษาผลกระทบต่อชั้นน้ำบาดาล ประเมินวิธีการเติมน้ำ และพัฒนาฐานข้อมูลเพื่อการดำเนินการในอนาคต

ระบบเติมน้ำที่ Halstead site การเติมน้ำดำเนินการโดยใช้น้ำที่สูบจากบ่อน้ำบาดาลที่ตั้งอยู่ใกล้กับแม่น้ำ Little Arkansas River (หลักการ river bank storage และ bank filtration) โดยสูบน้ำในช่วงที่มีปริมาณมากกว่าค่าการไหลฐาน “above-base flow” ที่กำหนดไว้ที่ 1.2 ลบ.ม./วินาที ในช่วงเดือนเมษายน ถึงกันยายน และ 0.6 ลบ.ม./วินาที ในช่วงเดือนตุลาคม ถึง มีนาคม และส่งน้ำโดยระบบท่อเป็นระยะทางประมาณ 4.8 กม. ไปยังระบบเติมน้ำโดยเติมผ่านบ่อเติมน้ำ (injection well) สระเติมน้ำ (surface spreading basin) และร่องคูเติมน้ำ (recharge trench) (รูปที่ 2-3) ส่วนระบบเติมน้ำที่ Sedgwick site ใช้น้ำดิบจากแม่น้ำ Little Arkansas River ในช่วงที่มีปริมาณมากกว่าค่าการไหลฐานที่กำหนดไว้ที่ 12 ลบ.ม./วินาที ทำการผันเข้าสู่ระบบบำบัดคุณภาพน้ำที่ใช้ผงถ่านกัมมันต์ (powered activated carbon) และโพลิเมอร์ เพื่อกำจัดสารกำจัดศัตรูพืช สารอินทรีย์ที่ปนเปื้อน และ

ตกตะกอนเศษตะกอนต่างๆ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วถูกสูบไปประมาณ 3.2 กม. ไปยังระบบเติมน้ำและเติมสู่ชั้นน้ำบาดาลผ่านระบบสระเติมน้ำ



รูปที่ 2-3 แผนผังระบบการผันน้ำและเติมน้ำบาดาลของ Halstead site (USGS, 2005)

การศึกษาคุณภาพน้ำที่ Halstead recharge site พบว่าก่อนการดำเนินการ fecal coliform คลอไรด์ และ Atrazine มักมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน และคุณภาพน้ำบาดาลที่บ่อน้ำติดตามตรวจสอบแห่งหนึ่งมีค่าสารหนูเกินมาตรฐาน และพบว่าหลังการดำเนินการความเข้มข้นของพารามิเตอร์เหล่านี้ยังคงมีค่าไม่แตกต่างจากค่าก่อนดำเนินการเติมน้ำ การศึกษาคุณภาพน้ำที่ Sedgwick site พบว่ามีค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ Atrazine fecal coliform bacteria และ สารหนูทั้งหมดมีค่าอยู่ในมาตรฐานทั้งก่อนและหลังการดำเนินการเติมน้ำ

ผลการการดำเนินการจากปี ค.ศ. 1997-2001 สรุปได้ดังนี้ ปริมาณน้ำที่เติมได้ทั้งหมด 4.2 ล้าน ลบ.ม. ที่ Halstead site การเติมน้ำโดยสระเติมน้ำทำได้ 276,335 ลบ.ม. ร่องคูเติมน้ำ 22,712 ลบ.ม. และการเติมน้ำผ่านบ่อบาดาลทำได้ 515,000 ลบ.ม. และการเติมน้ำผ่านสระที่ Sedgwick site ทำได้ 514,816 ลบ.ม. ผลการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการเติมน้ำสรุปได้ดังนี้ การเติมน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาลเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด การเติมน้ำผ่านร่องคูมีประสิทธิภาพสูงกว่าการเติมน้ำผ่านสระ การเติมน้ำผ่านสระมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะใช้ได้แต่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาบางส่วน

2) กรณีศึกษาใน Avra Valley รัฐ Arizona มีโครงการ Avra Valley Recharge Project (AVRP) เป็นโครงการเติมน้ำโครงการแรกของ Central Arizona Project's (CAP) เป็นส่วนหนึ่งของแผนงานโครงการ Northwest Tucson Active Management Area (AMA) Replenishment Program ซึ่งเริ่มดำเนินการในปี 1994 มีที่ตั้งโครงการอยู่ทางตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่โครงการ Tucson AMA โครงการประกอบด้วย พื้นที่สระเติมน้ำประมาณ 44,500 ตร.ม. และเริ่มดำเนินการในปี 1996 โดยดำเนินการเป็นโครงการนำร่องและได้รับการอนุญาตให้ดำเนินการจริงในปี 1998 และสามารถเริ่มดำเนินการเติมน้ำได้ในปี 2002 น้ำดิบจากแม่น้ำ Agua Frla ถูกสูบเข้าสู่คลองชลประทาน (อัตราการไหลสูงสุด 0.71 ลบ.ม./วินาที) เป็นระยะทางประมาณ 1.6 กม. ก่อนผันเข้าสู่ท่อกระจายน้ำหลัก (main distribution box) และถูกผันเข้าสู่สระเติมน้ำ 4 สระ ซึ่งมีขนาดระหว่าง 7,300 – 14,200 ตร.ม.โดยการ

ควบคุมประตูน้ำและวัดอัตราการไหลโดยใช้ v-notch weirs ของแต่ละสระ โดยได้รับอนุญาตให้เติมน้ำปีละ 11,000 เอเคอร์-ฟุต/ปี งบประมาณลงทุน 790,000 เหรียญสหรัฐ อัตราการซึมของสระทั้ง 4 คือ สระ 1 (SE) 2 (SW) และ 3 (NE) มีค่าเฉลี่ยจาก 0.64 ถึง 1.70 ม./วัน แต่สระ 4 (NW) มีค่าน้อยกว่า 0.3 ม./วัน เนื่องจากมีชั้นดินเหนียวที่ทำให้อัตราการไหลซึมมีค่าน้อยวางตัวอยู่ใต้สระ 4 การบำรุงรักษาพิจารณาจากการติดตามอัตราการซึมของสระ เนื่องจากโครงการมีขนาดไม่ใหญ่มาก โครงการจึงดำเนินการเต็มพื้นที่โดยไม่ใช้ระบบหมุนเวียนสระ เมื่ออัตราการซึมเริ่มลดลง จะทำการปล่อยสระให้แห้งเพื่อให้ตะกอนขนาดเล็กแห้งและอยู่ในรูปของแผ่นโคลนแห้ง (mud cracks) แล้วใช้คราดในการขูดให้แผ่นโคลนแตกหักเพื่อกำจัดชั้นอุดตัน และเมื่อชั้นอุดตันเริ่มมีความหนามากเกินไป พื้นสระจะถูกขูดออกด้วยรถไถติดคราดขนาดใหญ่ แหล่งน้ำของโครงการไม่พาตะกอนจำนวนมาก สิ่งที่ก่อให้เกิดการอุดตันของสระ คือ ไดอะตอม (Diatom) หรือ สาหร่ายเซลล์เดียว สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว สาหร่ายสีเขียวแบบ unicellular และฝุ่นลมจากพายุ แต่ไม่มีการใช้สารเคมีเพื่อควบคุมสาหร่ายเนื่องจากต้องการรักษาคุณภาพน้ำที่เติม



(ก) การผันน้ำเข้าสระเติมน้ำ



(ข) บานเลื่อนที่ใช้ผันน้ำเข้าพื้นที่โครงการ



(ค) การเติบโตของสาหร่ายในสระเติมน้ำ



(ง) การพรวนก้นสระเติมน้ำโดยใช้รถไถติดคราด

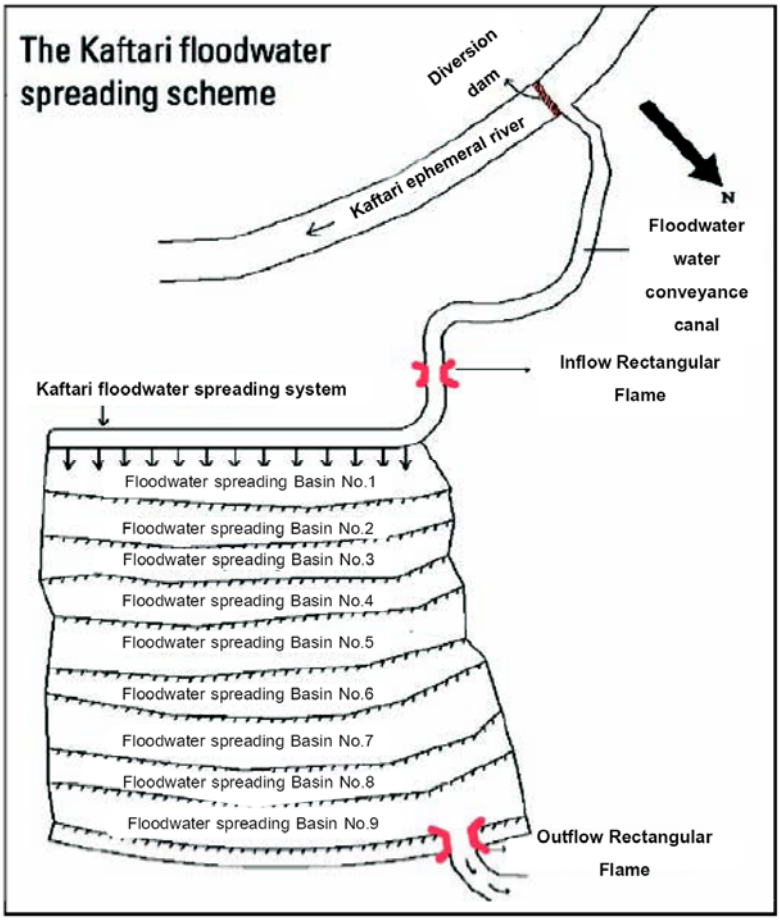
รูปที่ 2-4 การเติมน้ำและบำรุงรักษาของโครงการ Avra Valley Recharge Project (Central Arizona Project, 2009)

3) กรณีศึกษาการเติมน้ำในเขตเชิงเขาในเขต Mahanetra เป็นการเติมน้ำในเขตเชิงเขาเพื่อฟื้นฟูชั้นน้ำบาดาล Tapi Alluvial ในแคว้น Maharashtra ระบบชั้นน้ำบาดาลของแอ่งตะกอนน้ำพา Tapi ซึ่งวางตัวขนานกับแนวด้านหน้าเทือกเขา Satpura มีการนำน้ำขึ้นมาใช้เพื่อการพัฒนาเกษตรกรรมจำนวนมาก เพื่อปลูกพืชเศรษฐกิจ เช่น กล้วย และอ้อย ทำให้มีการลดระดับลงประมาณ 8-10 ม. ในช่วง 10-15 ปีที่ผ่านมา ทำให้บ่อน้ำบาดาลจำนวนมากแห้งลงและบางส่วนก็ลดปริมาณการ

ให้น้ำลงไป จึงมีความจำเป็นเร่งด่วนที่ต้องทำการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ แนวด้านหน้าเทือกเขา Satpura มีลักษณะพื้นที่เหมาะสมกับการเติมน้ำบาดาลมากเนื่องจากมีอัตราการซึมสูงของชั้นตะกอนรูปพัด (alluvial fan) หน่วยงาน Central Ground Water Board ของอินเดียได้ทำการศึกษาแนวทางการเติมน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำหมายเลข TE-17 ใน Jalgaon district ซึ่งมีการใช้น้ำบาดาลในการปลูกกล้วยในปริมาณมาก การศึกษาเป็นการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนในฤดูมรสุมที่สามารถใช้ได้ในพื้นที่ลุ่มน้ำและสำรวจพื้นที่ไหล่เขาที่เหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำ การศึกษาความหนาของชั้นกรวดที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพของการเติมน้ำในพื้นที่นี้ พบว่าศักยภาพของปริมาณกักเก็บของลุ่มน้ำนี้มีที่ระดับต่ำกว่า 5 ม. มีค่า 85 ล้าน ลบ.ม. และมีปริมาณฝนในฤดูมรสุมที่สามารถเติมได้ประมาณ 29.7 ล้าน ลบ.ม. เทคนิคการเติมน้ำโดยวิธีต่างๆ เช่น percolation tanks การเติมผ่านบ่อน้ำตื้นที่มีอยู่แล้ว recharge shafts และการอัดน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาลได้มีการทดลองในพื้นที่ ผลการศึกษาพบว่า percolation tanks ในเขต Bazada formation ของ Satpura foothills มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ 97% และ capacity utilisation มีค่าสูงถึง 400% พื้นที่ได้รับประโยชน์มีระยะห่างออกไปประมาณ 5 กม. เป็นพื้นที่ประมาณ 4 ตร.กม. การเติมผ่านบ่อน้ำตื้นโดยใช้น้ำจากคลองชลประทาน พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่สามารถใช้บ่อน้ำตื้นของตนเองในการเติมน้ำได้และซึ่งจะช่วยให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนได้ การเติมน้ำโดยการอัดผ่านบ่อน้ำบาดาลไม่มีประโยชน์และประสิทธิภาพมากนักเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ ผลการศึกษาสรุปได้อย่างชัดเจนว่าแนวเชิงเขาด้านหน้าของเทือกเขา Satpura มีความเหมาะสมมากในการพัฒนาโครงการเติมน้ำขนาดใหญ่ โดยใช้เทคนิคที่ทดลองในพื้นที่ลุ่มน้ำ TE-17 ซึ่งจะช่วยฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4) ในปี 1985 ในพื้นที่ลุ่มน้ำ Arvari River แคว้น Rajasthan ประเทศอินเดีย แหล่งน้ำบาดาลประสบกับสภาวะเสื่อมโทรมเนื่องจากการใช้น้ำบาดาลมากเกินไป การตัดไม้ทำลายป่า และการพังทลายของดิน ร่วมกับการเกิดภาวะภัยแล้งที่รุนแรงมาก การขาดแคลนส่งผลให้มีการอพยพแรงงานสู่เมืองใหญ่ องค์กรพัฒนาเอกชน Tarun Bharat Sangh (TBS) พยายามแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำโดยสร้างโปรแกรมการเก็บเกี่ยวน้ำฝน โดยการสร้างเขื่อนดิน (constructing crescent-shaped earthen dams) หรือ Johad เพื่อเก็บเกี่ยวน้ำฝนจากพื้นที่เนินเขาของพื้นที่รับน้ำรอบๆ เขื่อน และทำแผนการที่จะเก็บเกี่ยวน้ำในอีก 20 ปี ข้างหน้าโดยแผนการปลูกป่าเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ (soil-water-forest conservation programmes) ทำการออกแบบและดำเนินการโดยประชาชนในพื้นที่ ความก้าวหน้าของงานเกิดจากความร่วมมือของเกษตรกรในพื้นที่ ตัวอย่างเช่น เกษตรกรมอบที่ดินให้ทำการสร้างเขื่อนเพื่อให้มีการเติมน้ำบาดาลให้กับพื้นที่ใกล้เคียง แต่ทุกคนรู้ว่าอย่างไรก็ตามผลประโยชน์จะตกกับคนส่วนใหญ่ และได้ขยายโครงการไปใน 70 หมู่บ้าน ปัจจุบันมีการก่อสร้างเขื่อนเติมน้ำและโครงสร้างการเติมน้ำแบบอื่นๆ อีกจำนวนมาก สภาการจัดการน้ำของ Arvari River ก่อตั้งขึ้นโดยประชาชนเพื่อบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ การเพิ่มเติมการเติมน้ำบาดาลร่วมกับการจัดการเชิงอนุรักษ์ด้านอื่นๆ ช่วยให้ระดับน้ำบาดาลสูงขึ้นและทำให้แม่น้ำ Arvari กลับมามีน้ำไหลตลอดปีอีกครั้งในปี 1995 (Gale, 2005)

5) การเติมน้ำโดยใช้สระเติมน้ำที่ Kaftari ประเทศอิหร่าน ใน Dorz-Sayban Plain ซึ่งอยู่ห่างจากเขต southeast ของ Larestan ประเทศอิหร่านประมาณ 115 กม. ในพื้นที่ 3,500 hectares มีการเกษตรกรรมโดยใช้น้ำบาดาลเพื่อการชลประทานอย่างมาก และมีการใช้น้ำมากจนเกินสมดุลของแหล่งน้ำบาดาล ก่อให้เกิดการลดลงของระดับน้ำบาดาลประมาณ 1.5 ม./ปี และทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของแหล่งน้ำบาดาล เพื่อลดอัตราการลดระดับของน้ำบาดาลมีการออกแบบและก่อสร้างสระเติมน้ำในพื้นที่ขึ้นระหว่างปี 1983 และ 2001 ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและออกจากระบบสระเติมน้ำในช่วงปี 2002-2003 มีการวัดโดยใช้ rectangular flumes ค่าการไหลเข้าสูงสุดและการไหลออกสูงสุดของระบบมีค่า 20.3 และ 7.26 ลบ.ม./วินาที ตามลำดับ ปริมาณการไหลเข้าและออกระบบมีค่าประมาณ 886,000 และ 146,000 ลบ.ม. ในช่วงน้ำหลาก 9 ช่วง พบว่า 83.5% ของการไหลเข้าสู่ระบบมีการเติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลและมีปริมาณน้ำจำนวนน้อยมากที่สูญเสียไปจากการระเหย แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีของระบบสระเติมน้ำ มากกว่า 70% ของตะกอนแขวนลอยตกจมในระบบ ซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะก่อให้เกิดการอุดตันของสระเติมน้ำและลดประสิทธิภาพของระบบ แต่ก็ช่วยปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อการเกษตรกรรมได้ และพบว่าการเติมน้ำช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาลด้วย เนื่องจากน้ำหลากที่นำมาใช้เติมมีค่า EC ต่ำกว่าน้ำบาดาลมาก (มีค่าระหว่าง 0.3-0.4 และ 2.0-9.0 dS/m ตามลำดับ) (Esfandiari-Baiat and Rabar, 2004)



รูปที่ 2-5 แผนผังการเติมน้ำโดยใช้สระเติมน้ำที่ Kaftari ประเทศอิหร่าน (Gale, 2005)

6) การเติมน้ำผ่านเขื่อนระบายน้ำใน Balochistan แหล่งน้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำจืดที่เหมาะสมเพียงแหล่งเดียวใน Balochistan การใช้น้ำบาดาลเพิ่มขึ้นอย่างมากเนื่องจากการเพิ่มพื้นที่เกษตรกรรม การเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วของประชากร และอุตสาหกรรมในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา การลดลงของระดับน้ำบาดาลเนื่องก่อให้เกิดการแห้งลงของบ่อน้ำตื้น น้ำพุ และแหล่งน้ำแร่ และทวีความรุนแรงขึ้นจากการที่เกิดภาวะภัยแล้งยาวนานในช่วงปี 1998-2002



รูปที่ 2-6 ลักษณะของเขื่อนระบายน้ำใน Balochistan (Gale, 2005)

Pakistan Council of Research in Water Resources (PCRWR) ดำเนินการแก้ไขปัญหาโดยการสร้างเขื่อนระบายน้ำ (leaky dams) ใน Balochistan ภายใต้โครงการวิจัยและพัฒนา โดยก่อสร้างเขื่อนแรกในช่วงปี 2002 ที่ Margat ประมาณ 35 กม. จากเมือง Quetta เครือข่ายติดตามระดับน้ำบาดาลที่ประกอบด้วยบ่อน้ำบาดาล 7 บ่อ ติดตั้งเพื่อตรวจวัดผลของเขื่อนต่อระดับน้ำบาดาล เขื่อนระบายน้ำหรือ leaky dam ทำหน้าที่หน่วงน้ำเพื่อให้เกิดการตกตะกอนเพื่อลดการอุดตันที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่เติมน้ำทางท้ายน้ำ เพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้ในอนาคตและลดการสูญเสียน้ำจากการระเหยซึ่งสูงมากในพื้นที่สูงของ Balochistan การก่อสร้างเขื่อนระบายน้ำต้นทุนต่ำทำได้โดยให้สันเขื่อนรั่วซึมได้ (leaky embankments) ทำจาก หิน และกรวดขนาดใหญ่ ที่มีในพื้นที่ใกล้ๆ แม่น้ำนั้น ทำการจัดรูปสันเขื่อนโดยใช้ตาข่ายและวางซ้อนกัน 5 ชั้น จนมีความสูงประมาณ 4.9 ม. และใส่ท่อระบายน้ำล้นในชั้นที่ 2 และ 4 ให้ระบายน้ำเพื่อให้ซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลท้ายน้ำ ส่วนบนของสันเขื่อนทำหน้าที่เป็นทางระบายน้ำล้น (spillway) และสร้าง upstream และ downstream aprons เพื่อป้องกันการกัดเซาะ เขื่อนมีพื้นที่รับน้ำ 1.79 ตร.กม. และมีความจุประมาณ 11,000 ลบ.ม. (Kahlown, 2004)

7) การกักเก็บน้ำจากพายุฝนในชั้นน้ำบาดาลกร่อย (brackish aquifer) โดยการอัดผ่านบ่อบาดาลเพื่อเก็บไว้ใช้ในการชลประทาน ในประเทศออสเตรเลีย การพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการชลประทานโดยการอัดน้ำจากพายุฝนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลกร่อยมีไม่มากนักในพื้นที่ทั่วๆ ไปของโลก แต่มีการประยุกต์ใช้วิธีนี้มากในเขตกึ่งแห้งแล้ง เช่น ในพื้นที่ตอนใต้ของออสเตรเลีย ทำการศึกษาทางเทคนิค ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ และความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม ระบบการเติมน้ำและสูบ

กลับเพื่อการชลประทานของน้ำจากพายุฝนในเขตพื้นที่รอบนอกของเมืองที่ทำการเกษตรกรรม วัตถุประสงค์หลักคือ การนำน้ำฝนมาใช้เพื่ออนุรักษ์ระบบนิเวศน์น้ำจืดและน้ำเค็มและใช้ประโยชน์จากน้ำที่ทิ้งไปโดยสูญเปล่า แต่การอัดน้ำลงในชั้นน้ำบาดาลก็ต้องการระบบการจัดการคุณภาพน้ำก่อนอัดน้ำเพื่อป้องกันการอุดตันของบ่อเติมน้ำและคุณภาพน้ำสูบกลับที่ต้องการ โครงการนี้ใช้ข้อกำหนดด้านคุณภาพน้ำในการเติมน้ำของออสเตรเลีย

พื้นที่เมืองมีชั้นดินบนที่เป็นดินเหนียวหนา ไม่สามารถพัฒนาระบบเติมน้ำที่รวบรวมจากพายุฝนได้ด้วยการเติมผ่านระบบสระเติมน้ำ แต่สามารถเติมน้ำลงในชั้นน้ำบาดาลลึกประมาณ 100 ม. ที่เป็นหินปูนได้ และการเติมน้ำฝนเพื่อเก็บไว้ใช้เพื่อการชลประทานสามารถดำเนินการได้ในพื้นที่ศึกษาทดลองอยู่ในเขต Andrews Farm ในขอบตอนเหนือของมหานคร Adelaide แหล่งน้ำสำหรับการเติมน้ำคือน้ำจากพายุฝนรวบรวมจากพื้นที่รับน้ำรอบๆ เมือง (ที่อยู่อาศัยและพื้นที่เลี้ยงแกะ) ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 55 ตร.กม. ชั้นบนสุด 19 ม. ของชั้นน้ำบาดาล Tertiary aquifer วางตัวที่ระดับ 105 ม.ต่ำกว่าผิวดินเป็นชั้นน้ำเป้าหมายในการเติมน้ำ บ่อสังเกตการณ์ 3 บ่อเจาะที่ระยะห่างประมาณ 25 65 และ 325 ม. ไปทางท้ายน้ำของบ่อเติมน้ำ ชั้นน้ำบาดาลมีค่า transmissivity 180 ตร.ม./วัน และมีค่า storage coefficient $5x10^{-4}$ ได้จากการสูบทดลอบ (Gerges et al., 1996) น้ำจากพายุฝนกักเก็บในบ่อหน่วงน้ำ (detention basin) และสูบโดยท่อกรองและอัดลงสู่ชั้นน้ำบาดาลเป้าหมาย ในช่วงเดือนสิงหาคม 1993 ถึง มีนาคม 1997 มีการเติมน้ำ 5 ช่วง ครั้งแรกใช้น้ำส่วนใหญ่จากแหล่งน้ำหลักและที่เหลือใช้จากน้ำฝน น้ำที่ใช้เติมทั้งหมดประมาณ 240,000 ลบ.ม. อัตราการเติมน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 15 และ 20 ลิตร/วินาที

จากการเติมน้ำพบว่ามีเพียง faecal coliforms เกินมาตรฐาน (บางครั้ง) มีค่าเกินมาตรฐานน้ำเพื่อการชลประทาน และมาตรฐานน้ำดื่ม (National Water Quality Management Strategy, 1992) หลังจากการเติมน้ำแต่ faecal coliforms จะตายลงและทำให้น้ำกลับมามีค่าอยู่ในมาตรฐานในช่วง 4 สัปดาห์ (Pavelic et al., 1996) และกำลังศึกษาการปนเปื้อนและวงจรชีวิตของ pathogens ซึ่งสามารถดำรงค์อยู่ได้นานกว่า coliform bacteria (Toze, 2005)

ปัญหาคุณภาพน้ำที่พบในการติดตามตรวจสอบ คือ atrazine และ pentachlorophenol (น้ำยาถนอมเนื้อไม้) ตรวจพบในน้ำที่ระบายมารวบรวมและในบ่อสังเกตการณ์แต่มีปริมาณอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม ปัญหาการอุดตันที่พบมีหลายสาเหตุ เช่น เกิดจากแพลงตอนสัตว์ (zooplankton) ที่ป้องกันได้โดยการครอบปลายท่อดูดน้ำในบ่อหน่วงน้ำด้วยวัสดุกรอง (Gerges et al., 1995) ตะกอนแขวนลอยมีการสะสมรอบรอยต่อระหว่างบ่อเติมน้ำกับชั้นน้ำบาดาล เนื่องจากอนุภาคในน้ำที่เติม (ค่ากลาง ~4 มม.) มีค่าน้อยกว่าเนื้อวัสดุของชั้นน้ำบาดาล (ค่ากลาง ~120 มม.) ทำให้เกิดการอุดตันทางกายภาพและรอบๆ บ่อ Hekmeijer (1997) พบว่าการอุดตันทางกายภาพทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงดันรอบบ่อเติมน้ำแต่ยังไม่มีผลต่อการเดินระบบ การแก้ปัญหาการอุดตันทำโดยการบำรุงรักษาบ่อเติมน้ำด้วยการพัฒนาบ่อใหม่ด้วยวิธี airlifting (Pavelic et al., 1998) ผลจากการศึกษานี้พบว่าระบบบ่อเติมน้ำและบ่อหน่วงน้ำ สามารถใช้จัดการการเติมน้ำเพื่อการชลประทานได้ และเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเพื่อให้การเติมน้ำนี้ได้น้ำที่สูบกลับมามีมาตรฐานน้ำดื่ม (Martin et al., 2000)

8) การเติมน้ำบาดาลโดยคลองชลประทานในพื้นที่ตอนใต้ของ Sierra Nevada ประเทศสเปน ทางตอนใต้ของสเปนช่วงเดือนมีนาคมและมิถุนายนของทุกปี จะมีน้ำไหลเพิ่มขึ้นจากการละลายของหิมะ น้ำในแม่น้ำจะถูกผันเข้าสู่คลองชลประทานในพื้นที่ที่มีการคัดเลือกเป็นพื้นที่เติมน้ำที่มีการซึมได้สูง สภาพพื้นที่โดยทั่วไปมีการรองรับโดยหินแข็ง ประกอบด้วย หินฌิซท์ หินปูน และหิน quartzites การเติมน้ำโดยระบบคลองชลประทานทำโดยการปรับความลาดชันของคลองให้มีค่าน้อย ไต่ไปตามเส้นชั้นความสูงของภูมิประเทศ คลองเป็นคลองที่ขุดลงไปในดินและไม่มีการดาด มีความยาวประมาณ 15 กม. การรั่วซึมจะเกิดในชั้นดินที่ผุพังที่วางตัวบนชั้นหินต้นกำเนิด การขุดคลองบางแห่งเพิ่มเพื่อเพิ่มอัตราการซึมทำโดยการขุดให้เกิดการเชื่อมต่อของคลองและรอยแตกในหินอุ้มน้ำ ซึ่งจะมีขนาดของรอยแตกประมาณ 10 ซม. จากการเติมน้ำบาดาลในพื้นที่ทำให้เกิดแหล่งน้ำพุขึ้น 2 ประเภท คือ น้ำพุแบบชั่วคราว (temporary spring) และน้ำพุถาวร (perennial spring) มีการศึกษาระยะเวลาเดินทางของน้ำที่เติมไปถึงแหล่งน้ำพุโดยการใช้เทคนิค tracer test พบว่า แหล่งน้ำพุชั่วคราวมีเวลาเดินทางประมาณ 5 วัน และแหล่งน้ำพุถาวรมีระยะเดินทางประมาณ 2 เท่าของแหล่งน้ำพุชั่วคราว เนื่องจากเวลาเดินทางที่ต่างกันนี่เองที่ทำให้คุณภาพน้ำแตกต่างกัน น้ำจากแหล่งน้ำพุถาวรมีคุณภาพดีกว่าจึงนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค ขณะที่น้ำจากแหล่งน้ำพุชั่วคราวใช้เพื่อการเกษตรเท่านั้น

การนำน้ำจากแหล่งน้ำพุเพียงส่วนหนึ่งมาใช้จากน้ำที่เติมทั้งหมด น้ำส่วนใหญ่เป็นน้ำที่ช่วยให้ความชุ่มชื้นแก่ดินทางด้านท้ายน้ำ ซึ่งมีการทำการเกษตรกรรมจำนวนมาก จะเห็นว่าโครงการนี้ไม่ต้องการโครงสร้างทางวิศวกรรมที่ซับซ้อนเลย และเหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นๆ ที่รองรับด้วยหินแข็งทั่วโลก (Pulido-Bosch, 1995)

9) การเติมน้ำบาดาลโดยการพัฒนาระบบกรองน้ำผ่านตะกอนชายฝั่งแม่น้ำ (bank filtration) เพื่อการผลิตน้ำประปา ในประเทศฮังการี ระบบการกรองน้ำบาดาลผ่านตะกอนชายฝั่งแม่น้ำเป็นระบบที่ใช้เพื่อการผลิตประปา 1 ใน 3 ของประเทศฮังการี น้ำดื่มในเมืองบูดาเปสทั้งหมดเป็นระบบนี้ โดยใช้น้ำจากแม่น้ำดานูบ ปริมาณการสูบจำกัดโดยความสามารถในการกรองของตะกอนชายฝั่ง ปริมาณการไหลในแม่น้ำดานูบมีค่ามากกว่าปริมาณการสูบใช้ประมาณ 10 เท่า ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงไม่มีปัญหาในเชิงอุปทาน ทำให้แนวทางนี้เป็นการจัดการน้ำที่มีเสถียรภาพสูง โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำบาดาลที่มีศักยภาพเปลี่ยนแปลงและอ่อนไหวตามสภาพภูมิอากาศ และได้เปรียบระบบที่สูบน้ำจากแม่น้ำโดยตรงจากการลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำดิบ การเดินระบบพบว่าตะกอนฝั่งแม่น้ำมีความสามารถในการกรองสูงมากเนื่องจากพบว่าไม่มีสิ่งปนเปื้อนขนาดเล็กในน้ำที่สูบขึ้นมาเลย ข้อได้เปรียบนี้ทำให้ระบบเหมาะสมกับการผลิตน้ำดื่มคุณภาพสูงและการใช้งานในอุตสาหกรรม แต่ไม่เหมาะกับการชลประทาน ปริมาณการใช้น้ำจริงมีค่า 0.9 ล้าน ลบ.ม./วัน (75% เพื่อการใช้ประโยชน์สาธารณะ) และมีปริมาณสำรองประมาณ 4 ล้าน ลบ.ม./วัน และนอกจากนั้นปริมาณ 300,000 ลบ.ม./วัน สำรองไว้เป็นทรัพยากรสำหรับอนาคต

10) การเก็บน้ำไว้ใต้ผิวดินในประเทศเคนยา ในพื้นที่แห้งแล้งมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลบนผิวดินสูงมาก การเก็บเกี่ยวน้ำผิวดินเพื่อใช้ในการปลูกพืชและกิจการปศุสัตว์ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของภัยแล้งที่รุนแรงและถี่มากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงปี 1970 และ 1980 ทำให้มีแนวคิดในการเก็บเกี่ยวน้ำฝนมากขึ้นในประเทศเคนยา (Thomas, 1997)

มีการใช้เทคนิคหลายวิธีการที่นำมาใช้ในการเก็บเกี่ยวน้ำฝนเพื่อการเติมน้ำบาดาลในประเทศเคนยา เช่น Trash lines โดยใช้เศษพืชที่ไม่ใช้งานแล้วเป็นวิธีการที่เรียบง่ายและราคาถูก วิธีการนี้ เหมาะที่จะดำเนินการในพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อย Grass strips คล้ายกับวิธีแรกโดยการปล่อยพื้นที่ที่ไม่ไถพรวนให้มีต้นหญ้าปกคลุมเพื่อเก็บความชื้นเอาไว้เหมือนวิธีแรก Micro catchment โดยการขุดหลุมรับน้ำเพื่อใช้ปลูกพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ Contour ridge and bunds เป็นการสร้างแนวร่องคูตามความลาดชันของภูมิประเทศ Retention ridges และ Terraces เป็นการสร้างร่องขนาดใหญ่เพื่อเก็บน้ำจากพื้นที่ถนนก่อนเข้าสู่พื้นที่เกษตรกรรม วิธีการเหล่านี้ช่วยเก็บความชื้นและป้องกันการกัดเซาะหน้าดินด้วย Sand dams เป็นการสร้างกำแพงกันพื้นที่หน้าตัดและตะกอนท้องน้ำเพื่อเก็บน้ำไว้ใต้ตะกอนท้องน้ำ ลดการระเหยมีการซึมในแนวราบและแนวดิ่ง และมีศักยภาพสูงในการสร้างชั้นน้ำบาดาลตื้นขึ้นมา ต้นทุนของเขื่อนทรายขนาด 60 ลบ.ม. ใน Kitui (รูปที่ 2-7) ที่ออกแบบให้มีอายุการใช้งานประมาณ 50 ปี มีอัตราความจุต่ำสุด 2,000 ลบ.ม. มีค่าประมาณ 6,000 ยูโร ซึ่งเปรียบได้กับงบประมาณที่ต้องใช้ในการซื้อถังเก็บน้ำขนาด 46 ลบ.ม. ราคา 1,000 ยูโร/ถัง จำนวน 6 ถัง แต่เขื่อนทรายสามารถรับความต้องการได้ 50 ครัวเรือนขณะที่ถังน้ำ 6 ถัง สามารถใช้ได้กับเพียง 6 ครัวเรือน (Mutiso, 2003)



รูปที่ 2-7 เขื่อนทรายระหว่างช่วงฤดูแล้งในเขต Kitui (Mutiso, 2003)

11) การเติมน้ำในรอยแตกของหิน Quartzites ใน Windhoek ประเทศนามิเบีย เมือง Windhoek อยู่ในเขตกึ่งแห้งแล้งกลางพื้นที่สูงของประเทศ Namibia ในอดีตจนถึงช่วงปี 1970 เมื่อมีการสร้างเขื่อนกักเก็บน้ำเพื่อใช้ผลิตน้ำประปา ก่อนหน้านั้นชั้นน้ำบาดาล Windhoek เป็นแหล่งน้ำหลักสำหรับเมือง Windhoek ปัจจุบันแหล่งน้ำบาดาลกลายเป็นแหล่งน้ำสำรองกรณีที่ขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง แต่ปริมาณสำรองนี้ก็มีการใช้งานมากขึ้นในช่วงปี 1950 เมือง Windhoek พึ่งพาแหล่งน้ำผิวดินเป็นหลัก แต่เนื่องจากปริมาณฝนที่ไม่แน่นอนทำให้เขื่อนไม่สามารถรองรับความต้องการได้เพียงพอ การใช้น้ำบาดาลประมาณ 10% ของปริมาณความต้องการน้ำทั้งหมดของเมือง แต่เนื่องจากการจัดการ

การเติมน้ำบาดาล (water bank) สามารถเพิ่มศักยภาพของแหล่งน้ำบาดาลให้เป็นแหล่งน้ำหลักของเมืองในช่วงฤดูแล้ง

ชั้นน้ำบาดาล Windhoek ประกอบด้วย quartzites และ schists ลักษณะธรณีวิทยามีความซับซ้อนอย่างมากเนื่องจากมีลักษณะของการ folding และ faulting รวมทั้ง thrusting และ rifting ความหนาแน่นของ faulting และความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพและแร่ (physical and mineralogical characteristics) ของ schists และ quartzites ส่งผลให้ชั้นน้ำบาดาลมีรอยแตกรอยแยกสูงและเป็นระบบชั้นน้ำบาดาลที่มีความต่างทางชลศาสตร์สูงมาก การศึกษาศักยภาพในการกักเก็บน้ำบาดาลของหินอุ้มน้ำที่สูงพอที่จะเกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ดำเนินการโดยการทดลองอัดน้ำ (borehole injection tests) การทดลองดำเนินการ 195 วัน โดยอัตราการเติมน้ำสูงสุด 214 ลบ.ม./วินาที น้ำที่ใช้เติมเป็นน้ำคุณภาพดีที่ผ่านการบำบัดให้ได้มาตรฐานน้ำดื่มจากเขื่อน Windhoek และนำมาบำบัดต่อด้วย granular activated carbon และระบบฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (chlorination) เพื่อลดโอกาสการอุดตันที่จะเกิดกับระบบในระยะยาว



รูปที่ 2-8 การสร้างระบบกรองน้ำดิบใกล้บ่อเติมน้ำใน Windhoek (Gale, 2005)

เมือง Windhoek จัดทำแผนการเติมน้ำขึ้น โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ใช้ บ่อน้ำบาดาลเดิมมีศักยภาพประมาณ 3.7 ล้าน ลบ.ม./ปี ช่วงที่ 2 ยังคงใช้บ่อเดิมแต่เพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้นเป็น 8.1 ล้าน ลบ.ม./ปี และช่วงที่ 3 เพิ่มบ่อเติมน้ำบริเวณขอบนอกของชั้นน้ำบาดาลซึ่งสามารถเติมน้ำได้รวม 16.5 ล้าน ลบ.ม./ปี หรือ 90% ของความต้องการใช้น้ำของเมือง เป้าหมายในระยะยาวของแผนคือ การเตรียมการเพื่อให้สามารถเติมน้ำได้เร็วที่สุดในช่วงที่มีการใช้น้ำมาก (Murray, 2004)

12) การใช้องค์ประกอบของระบบทางหลวงเพื่อการเติมน้ำ กักเก็บน้ำ และนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ ในประเทศบราซิล เคนยา และจีน โครงสร้างถนน ทางรถไฟ และขอบทาง เป็นโครงสร้างสำคัญที่มีผลกระทบต่อการหน่วงน้ำและการเติมน้ำบาดาลทั้งที่มีการวางแผนและไม่ได้วางแผน การลงทุนในโครงสร้างเหล่านี้ใช้งบประมาณสาธารณะจำนวนมาก การเชื่อมต่อการจัดการพื้นที่ทางหลวงเป็นพื้นที่

เติมน้ำจึงมีความเหมาะสมในการจัดการน้ำระบบใหญ่ ในช่วงฝนตกหนักน้ำผิวดินที่ไหลบ่าถูกดักไว้โดยคันถนนที่มีการบดอัดค่อยข้างดี น้ำเหล่านี้ถูกขังไว้ในบริเวณที่อาจทำให้ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างถนน การระบายน้ำโดยการปล่อยให้มีการซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลจึงเป็นกระบวนการสำคัญที่ช่วยเพิ่มการเติมน้ำและลดปัญหาการระบายน้ำ ตัวอย่างต่อไปนี้แสดงให้เห็นวิธีการจัดการระบบระบายน้ำของถนนว่าสามารถช่วงกักเก็บน้ำไว้ได้และช่วยเติมน้ำบาดาลได้อย่างไร

ในประเทศบราซิลสระเติมน้ำบาดาล (infiltration pond) 520 สระ ถูกสร้างขึ้นในขอบเขตของทางหลวงสายหลักภายใต้โครงการ 'Water Way' ที่ริเริมโดยบริษัท Autovia ที่เป็นบริษัทเอกชนหลักที่รับก่อสร้างระบบทางหลวงในประเทศบราซิล เริ่มก่อสร้างในปี 1998 ได้สร้างสระเติมน้ำเพื่อรวบรวมน้ำจากทางระบายน้ำของถนน (road runoff) และปล่อยให้ซึมผ่านผิวดินเติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ความจุเฉลี่ยของสระเติมน้ำประมาณ 4,000 ลบ.ม. ดินในสระเติมน้ำทำหน้าที่กรองน้ำและลดการปนเปื้อนบางประเภท โครงการ Water Way ทำให้มีการเพิ่มเติมน้ำมากกว่าเดิม คือ เพิ่มจาก 25% เป็น 31 % และลดการไหลท่วมผิวดินจาก 65% เหลือ 57%

ในประเทศเคนยา บ่อยืมดินที่ขุดขึ้นในช่วงการก่อสร้างถนน พบว่ามีชั้นดินลูกรังที่มีค่าการซึมผ่านต่ำที่กันบ่อ และเหมาะในการใช้ดาดพื้นถนน และบ่อนี้ก็เหมาะที่จะใช้เป็นบ่อกักเก็บน้ำผิวดินไว้ใช้ (storage pond) คลองจากถนนไปหาบ่อขุดต่อเชื่อมกันโดยมีค่าความลาดชันประมาณ 3% เพื่อลดการกัดเซาะ รูปแบบของบ่อมีการออกแบบไว้หลากหลายเพื่อลดการรั่วซึมและการระเหย

ในประเทศจีน ที่เมือง Datong จังหวัด Sichuan มีการเก็บน้ำฝนโดยถังเก็บน้ำฝนขนานเล็กประมาณ 50,000 ถังในเวลา 15 ปี และมีสระเก็บน้ำมากว่า 300 สระ ที่สร้างขึ้นเพื่อเก็บน้ำไว้ใช้เพื่อการชลประทานในฤดูแล้ง ถังเก็บน้ำทรงกรวยใต้ดินนี้สร้างให้มีขนาดประมาณ 30 ลบ.ม. มีความหนาประมาณ 25 ซม. ก่อด้วยหินปูน อิฐ และทราย มีเพียงรูรับน้ำเปิดด้านบนเพื่อประหยัดพื้นที่เพาะปลูก ทำการสร้างตามแนวถนน ทางรถไฟ และ ขอบเขตพื้นที่ และใช้ในที่ระบายทิ้งมาเก็บไว้ ถังนี้มีท่อสองท่อ ท่อเล็กใช้สำหรับการนำน้ำไปใช้และท่อขนาดใหญ่ใช้ระบายตะกอนในถัง และทุกๆ 3 ถึง 5 ปีเกษตรกรจะทำการทำความสะอาดถัง การเก็บน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้ช่วยให้เกษตรกรสามารถเพิ่มผลผลิตด้วยการปลูกอ้อย ยาสูบ และหม่อน และช่วยให้มีรายได้ที่ดีขึ้น (Van Steenbgen and Tuinhof, 2009)

13) การพัฒนาระบบสูบน้ำที่ผ่านการกรองจากตะกอนชายฝั่งแม่น้ำ เพื่อแก้ปัญหาการปนเปื้อนสารหนูในน้ำบาดาลใน Bangladesh และแก้ปัญหาการปนเปื้อนฟลูออไรด์ใน Maharashtra

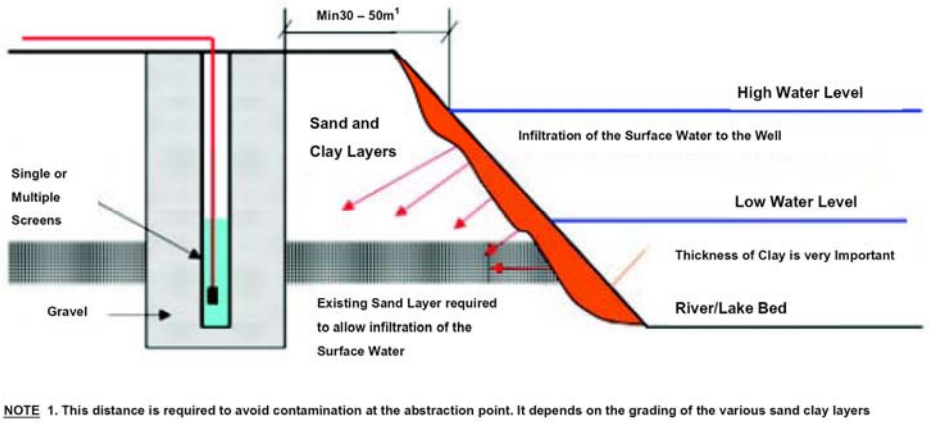
ระบบสูบน้ำที่ผ่านการกรองจากตะกอนชายฝั่งแม่น้ำ ทำโดยการเจาะบ่อบาดาลและสูบน้ำจากตะกอนแม่น้ำห่างจากแม่น้ำมากนัก กาสูบน้ำเป็นการเหนี่ยวนำให้มีการเติมน้ำบาดาลจากน้ำในแม่น้ำมากขึ้น ระหว่างที่น้ำไหลจากแม่น้ำเข้าสู่บ่อบาดาลกระบวนการกรองสารปนเปื้อนจะช่วยให้คุณภาพน้ำดีขึ้น (รูปที่ 2-11) ตัวอย่างของโครงการที่ประสบความสำเร็จในเขตภูมิภาคร้อนชื้นคือโครงการใน Chapai Nawabganj ประเทศ Bangladesh ซึ่งน้ำที่ปลอดสารหนูสูบขึ้นมาจากแม่น้ำ และบ่อน้ำตื้นใน Maharashtra ที่สามารถสูบใช้น้ำบาดาลจากตะกอนชายฝั่งที่ไม่มีการปนเปื้อนฟลูออไรด์ได้ตลอดปี (Van Steenbgen and Tuinhof, 2009)



รูปที่ 2-9 สระเติมน้ำที่รวบรวมน้ำไหลบ่าจากถนนในประเทศบราซิล (Pachaco, 2007)



รูปที่ 2-10 สระเก็บน้ำและเติมน้ำในประเทศเคนยา (Van Steenbgen and Tuinhof, 2009)



รูปที่ 2-11 การออกแบบระบบสูบน้ำที่ผ่านการกรองจากตะกอนชายฝั่งแม่น้ำ
(Van Steenbgen and Tuinhof, 2009)

14) การเติมน้ำผ่านสันทราย (dune infiltration) ใน Atlantis ประเทศ South Africa เพื่อเติมน้ำให้กับแหล่งน้ำดื่มและป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็มสู่แหล่งน้ำบาดาลจืด The town of Atlantis, located 50 km north of Cape Town, อยู่ในเขตกึ่งแห้งแล้งของชายฝั่งตะวันตกของ South Africa มีประชากรจำนวนมาก มีการใช้น้ำบาดาลประมาณ 7 ล้าน ลบ.ม./ปี (ในปี 2000)

ปริมาณฝนรายปี (ประมาณ 450 มม.) ส่วนใหญ่ตกในช่วงเดือนเมษายน ถึง สิงหาคม และเนื่องจากผิวดินส่วนใหญ่ประกอบด้วยทรายการเติมน้ำบาดาลตามธรรมชาติจึงมีค่าประมาณ 15% ถึง 30% ของน้ำฝน ตั้งแต่ปี 1976 เมืองใช้น้ำประปาที่พัฒนาจากแหล่งน้ำบาดาลเป็นหลัก แต่แหล่งน้ำบาดาลมีปริมาณจำกัดจึงมีการจัดการเติมน้ำบาดาลขึ้นเพื่อเพิ่มเติมการเติมน้ำให้แก่แหล่งน้ำบาดาล

การสร้างอ่างเติมน้ำบาดาลดำเนินการในพื้นที่สันทราย โดยการขุดพื้นที่เป็นสระและกักเก็บน้ำไว้ให้ไหลซึมลงไปเติมในชั้นน้ำบาดาลผ่านก้นสระ การรวบรวมน้ำผิวดินเพื่อนำมาเติมนั้นต้องรวบรวมมาจากทางระบายน้ำของพื้นที่เมือง (เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นทรายการไหลผิวดินตามธรรมชาติจึงมีน้อยมาก) และได้นำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ในการเติมด้วย (รูปที่ 2-12)

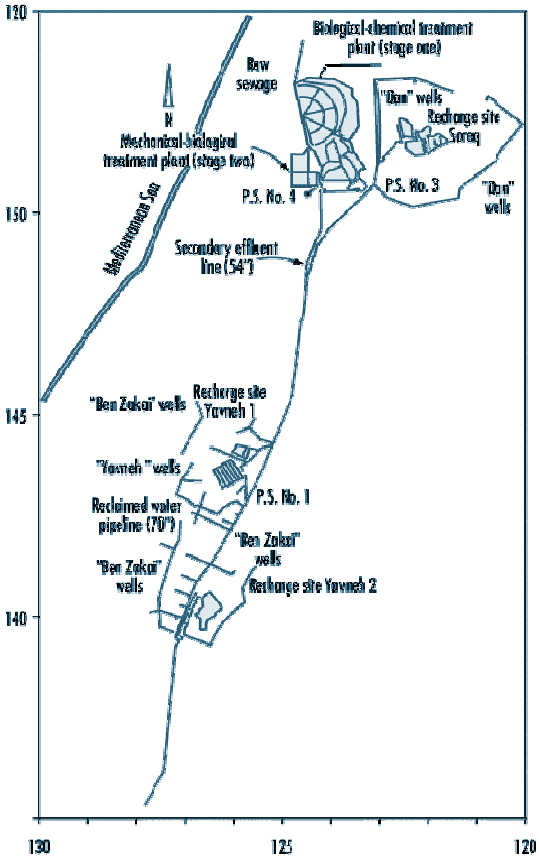


รูปที่ 2-12 สระเติมน้ำในเมือง Atlantis ประเทศ South Africa (Van Steenbgen and Tuinhof, 2009)

เนื่องจากโครงการนี้เป็นโครงการขนาดกลางถึงใหญ่ จึงต้องการการจัดการที่เป็นระบบจากนักบริหารระบบเติมน้ำมืออาชีพ หน่วยงาน Water Department of the City of Cape Town เข้ามาจัดการในส่วนนี้ ประเด็นการดูแลรักษา ที่ดำเนินการมากว่า 20 ปี คือ

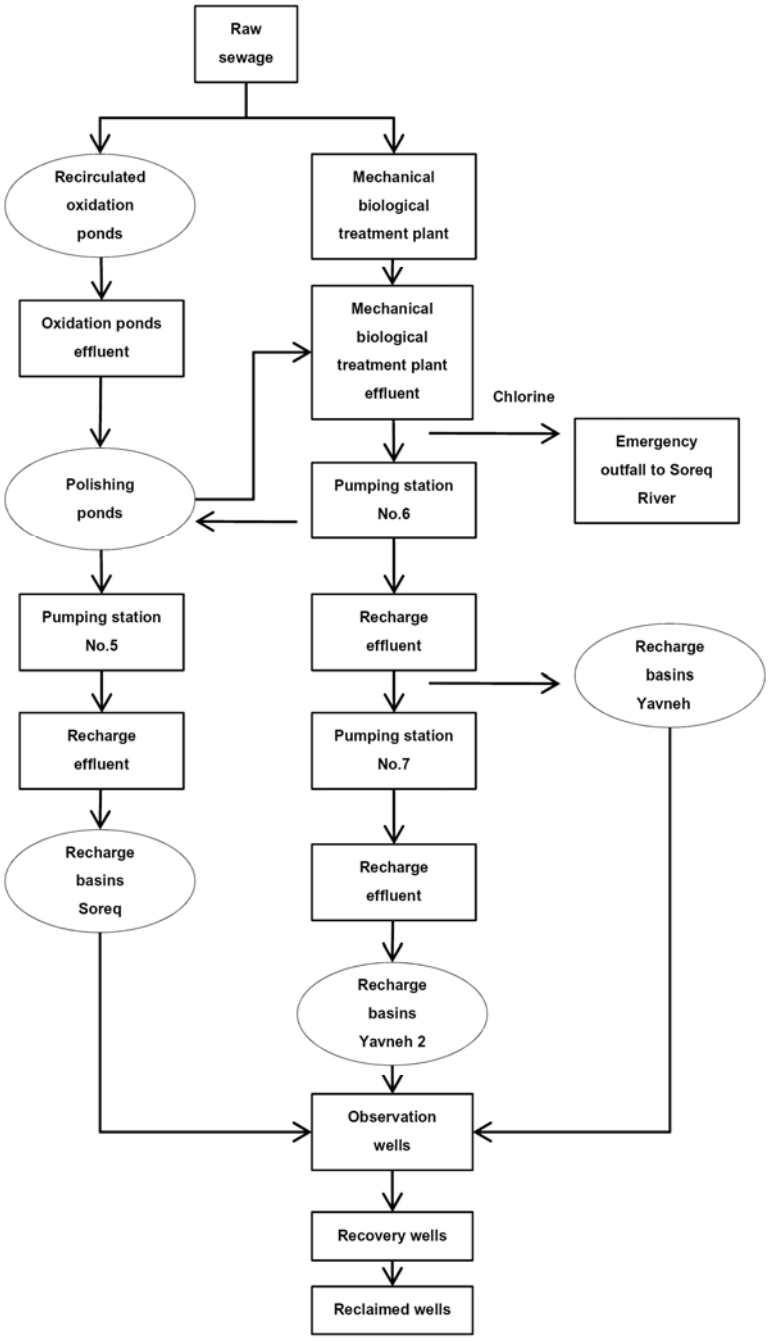
การติดตามตรวจสอบดูแลการอุดตันที่กันสระ เพื่อรักษาอัตราการซึมให้คงที่เสมอ และทำให้การสูญเสียจากการระเหยมีน้อยที่สุด การติดตามคุณภาพน้ำโดยเฉพาะด้านความเค็มที่มีการรุกล้ำเข้ามาในพื้นที่กักเก็บน้ำใต้ดิน และทำการสร้างระบบเตือนภัย และการสร้างจิตสำนึกต่อแหล่งน้ำในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม ไม่ให้มีการก่อสภาวะเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำบาดาล

15) โครงการบำบัดน้ำเสียและเติมสู่ชั้นน้ำบาดาลระบบ Soil Aquifer Treatment (SAT) ในเขต Dan region ประเทศ Israel เป็นโครงการที่มีระบบ SAT ที่ใหญ่ที่สุดในโลก เป็นระบบที่รวบรวมน้ำเสียในเขตเมืองมาบำบัดเบื้องต้นก่อนที่จะปล่อยไปยังสระเติมน้ำในตะกอนสันทรายในมีการบำบัดโดยชั้นดินและชั้นน้ำบาดาล เพื่อสูบกลับไปใช้ในการเกษตรในพื้นที่แห้งแล้งทางตอนใต้ของประเทศ (Negev) โดยนำไปใช้ผสมกับน้ำที่ส่งมาจากระบบทางตอนเหนือ และน้ำบาดาลกร่อยที่ผ่านการกำจัดความเค็ม ระบบประกอบด้วย โรงบำบัดน้ำเสีย สระเติมน้ำ และระบบท่อส่งน้ำ ทำการบำบัดน้ำที่รวบรวมจาก Dan Region Metropolitan Area ที่ประกอบด้วยเมืองใหญ่ 8 เมือง รอบๆ นคร Tel Aviv มีประชากรรวม 1.5 ล้านคน ลักษณะโครงสร้างระบบแสดงในรูปที่ 2-13 โครงการเริ่มขึ้นในปี 1960s และขยายขนาดขึ้นตามลำดับ ปัจจุบันนี้ระบบบำบัดน้ำเสีย 110 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี และเมื่อระบบขยายขนาดเต็มที่จะรองรับการบำบัดน้ำสียได้ 150-170 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี



รูปที่ 2-13 แผนผังโครงการ Dan Region Sewage Reclamation Plant (Donaji, 2010)

ระบบบำบัดแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2-14 ระบบการจัดการน้ำเสียและนำมาใช้ใหม่ของ Dan Region Sewage Reclamation Project ที่พัฒนาในช่วงแรก เริ่มมีการเติมน้ำในปี 1977 น้ำเสียจะถูกส่งไปบำบัดด้วยระบบ biologically treated โดยใช้สระ facultative oxidation ponds ด้วยการ recirculation และเติมสารเคมี (lime-magnesium process) ตามด้วยการหน่วงใน polishing ponds เพื่อปรับลดค่า pH น้ำที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น (partially treated effluent) ถูกส่งไปเติมสู่ชั้นน้ำบาดาล regional groundwater aquifer โดยสระเติมน้ำที่พื้นที่ Soreq ขนาด (ขนาด 0.24 ตร.กม.)



รูปที่ 2-14 ผังการจัดการระบบของ Dan Region Project (Donaji, 2010)

ในระยะที่ 2 น้ำเสียถูกส่งไปที่โรงบำบัดด้วยระบบ mechanical-biological treatment โดยกระบวนการ activated-sludge ด้วย nitrification-denitrification น้ำที่ผ่านการบำบัดถูกส่งไปเติมผ่านสระเติมน้ำที่พื้นที่ Yavneh 1 และ Yavneh 2 สระที่ Yavneh 1 (ขนาด 0.24 ตร.กม. ห่างจากโรงบำบัดไปทางใต้ 7 กม.) และ Yavneh 2 (ขนาด 0.18 ตร.กม. ห่างจากโรงบำบัดไปทางใต้ 10 กม.)

บ่อสูบกลับ (recovery wells) ติดตั้งรอบๆ พื้นที่เติมน้ำ รอบนอกพื้นที่ที่ติดตั้งระบบเครือข่ายบ่อติดตามตรวจสอบ ในปี 1993 น้ำที่สูบขึ้นมาปริมาณ 95 ล้าน ลบ.ม. ถูกส่งไปใช้เพื่อการเกษตรในเขตทะเลทรายโดยท่อส่งน้ำ Third Negev Line

ระบบติดตามตรวจสอบ (monitoring system) ออกแบบโดย Mekoroth Water Co. การตรวจสอบคุณภาพน้ำดำเนินการที่บ่อสูบน้ำ (recovery wells) ท่อส่งน้ำ (conveyance line) สระพักน้ำ (reservoirs) จุดต่อเชื่อมสู่ผู้ใช้น้ำบางจุด (consumer connection) และที่บ่อน้ำดื่มใกล้โครงการ สำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำที่บ่อสูบน้ำ (recovery wells monitoring) ดำเนินการ 2-3 เดือนต่อหนึ่งครั้ง โดยการตรวจวัดพารามิเตอร์ชี้วัด (indicator-parameters) 5 พารามิเตอร์ แต่หากค่าพารามิเตอร์ชี้วัดของบ่อใดสูงกว่า 15% ของค่าปกติ บ่อนั้นจะถูกตรวจสอบอย่างละเอียดโดยการตรวจวัดพารามิเตอร์ชี้ลักษณะ (Characteristic Parameters) อีกครั้ง (ตรวจเพิ่ม 23 พารามิเตอร์) และในทุกๆ รอบ 3 เดือน และรอบปี บางบ่อจะมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบสมบูรณ์ (ตรวจเพิ่ม 54 พารามิเตอร์)

โดยสรุปพบว่าโครงการนี้เป็นโครงการที่ประสบความสำเร็จมากใน Israel สามารถแก้ปัญหาการหาพื้นที่ทิ้งน้ำเสีย และสามารถผลิตน้ำสำหรับใช้ประโยชน์ได้ในราคาถูกอีกด้วย คือ แก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตรของประเทศได้ 5% ราคาของการเดินระบบเติมน้ำและการบำรุงรักษาในปี 1993 มีค่าประมาณ 0.03 เหรียญสหรัฐ/ลบ.ม. เท่านั้น

16) การเติมน้ำบาดาลเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภคในเขตที่น้ำบาดาลเค็มในเมือง Chaco ประเทศ Paraguay พื้นที่ที่มีชั้นน้ำบาดาลเค็มเป็นพื้นที่ที่จัดหาน้ำดื่มยากมาก การเก็บกักน้ำฝนและการจัดการน้ำบาดาลจืด (fresh groundwater lenses) ที่มีอย่างระมัดระวังเป็นแนวทางจัดการน้ำในเขตนี้ ตัวอย่างการจัดการน้ำในพื้นที่บาดาลเค็มได้แก่พื้นที่ Chaco Plain ประเทศ Paraguay พื้นที่ Chaco Plain มีพื้นที่ 240,000 ตร.กม. ครอบคลุมพื้นที่ 2 ใน 3 ของประเทศ Paraguay เป็นพื้นที่ที่ยังไม่พัฒนา น้ำดื่มมีปริมาณจำกัด น้ำบาดาลส่วนใหญ่เป็นน้ำเค็มและไม่มีแม่น้ำที่มีน้ำไหลตลอดปี พื้นที่นี้เป็นเนินตะกอนรูปพัดของเทือกเขา Andes พื้นที่ตอนกลางและตะวันตก Chaco up to the Rio Pilcomayo ครอบคลุมพื้นที่ปากแม่น้ำ Pilcomayo River ชั้นน้ำบาดาลประกอบด้วยตะกอนขนาดปานกลางถึงเล็กมาก (sand, silt, clay) ก่อให้เกิดเป็นชั้นหินอุ้มน้ำและชั้นหินต้านน้ำ น้ำบาดาลไหลอย่างช้าๆ จากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออกด้วยความเร็วประมาณ 0.6 และ 1.8 ม./ปี (Junker, 1996)

ในพื้นที่ตอนกลางน้ำบาดาลตื้นวางตัวที่ความลึกประมาณ 3 ม. ถึง 15 ม. น้ำบาดาลมีความกร่อยจนถึงเค็มจัด (มีค่า TDS 60,000 ppm) (Echeverria, 1989; Godoy, 1990) ปริมาณฝนรายปีมีค่าระหว่าง 800-900 มม. และอาจสูงถึง 1,600 มม. ในบางปี

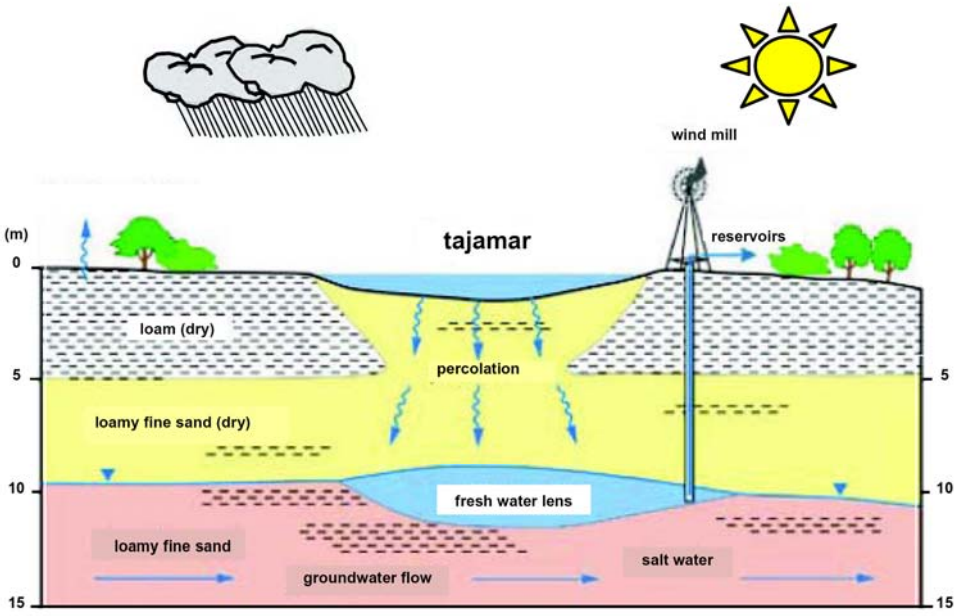
การเก็บเกี่ยวน้ำฝนเพื่อการอุปโภคบริโภคใช้เทคนิค 2 ส่วน คือ

การเก็บเกี่ยวน้ำฝน น้ำฝนจะมีการรวบรวมจากหลังคาและเก็บไว้ในถังใต้ดิน และสูบโดยใช้สูบมือโยกหรือสูบด้วยเครื่องสูบไฟฟ้าไปเก็บไว้ในถังสูง (Keller, 1995)

การกักเก็บน้ำไว้ที่ผิวดินและเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล วิธีการนี้ภาษาท้องถิ่นเรียกว่า tajamares ระบบ tajamares รวบรวมน้ำในอ่างเก็บน้ำทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก มีทั้งที่เป็นสระธรรมชาติและสระที่ขุดขึ้นในที่ลุ่ม สระนี้เติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลก่อให้เกิดเป็นกระเปาะน้ำบาดาลจืด (freshwater lenses) กระเปาะน้ำบาดาลจืดนี้ลอยอยู่เหนือชั้นน้ำบาดาลเค็ม (รูปที่ 2-15) ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะเกิดขึ้นเมื่อ

- เป็นพื้นที่ลุ่มที่รับน้ำจากพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่
- มีความเข้มของการเกิดฝนตกมาก (high intensity rainfalls) ด้วยปริมาณฝนครั้งละไม่ต่ำกว่า (มากกว่า 35 มม.) จึงจะมีปริมาณเพียงพอต่อการรวบรวมนำเข้าสู่ระบบเติมน้ำ
- มีดินบนเป็นดินปนทราย มีการซึมผ่านได้สูงและมีความสามารถในการกักเก็บได้มาก เหมาะแก่การเติมน้ำบาดาล
- ความลึกถึงระดับน้ำบาดาลมากกว่า 4 ม. เพื่อลดการระเหย
- น้ำบาดาลต้องมีความเร็วการไหลน้อยมากๆ กระเปาะน้ำจืดจึงจะไม่แพร่กระจายและไม่ผสมกับน้ำบาดาลเค็มบริเวณรอบๆ

ระบบนี้ดำเนินการโดยประชาชนในพื้นที่ น้ำบาดาลจืดถูกสูบมาใช้โดยพลังงานจากกังหันลม และเพื่อป้องกันการปนเปื้อนระบบเติมน้ำจะต้องมีการทำรั้วป้องกันสัตว์เลี้ยง ราคาก่อสร้างระบบมีค่าประมาณ 20,000 ยูโร สามารถรองรับการใช้งานได้ประมาณ 400 คน (60 ครัวเรือน) ค่าใช้จ่ายรวมค่าโครงสร้างสระเติมน้ำ กังหันลม ถังเก็บน้ำ 5 ถึง สูบมือโยก ท่อส่งน้ำ และระบบนี้สามารถดำเนินการได้เองโดยประชาชนในพื้นที่ และถ่ายทอดความรู้สืบต่อกันไป ซึ่งเป็นแนวทางที่ช่วยให้ระบบมีความยั่งยืนในอนาคต



รูปที่ 2-15 ชั้นน้ำบาดาลและโครงสร้างการเกิดกระเปาะน้ำจืดบนน้ำบาดาลเค็มจากการเติมน้ำ (Van Steenbgen and Tuinhof, 2009)

17) การเติมน้ำบาดาลโดยการผันน้ำท่วมในช่วงสั้นๆ เข้าสู่สระเติมน้ำในพื้นที่แห้งแล้ง ประเทศ Niger การเติมน้ำบาดาลโดยการควบคุมการผันน้ำท่วมเข้าสู่สระเติมน้ำสามารถช่วยให้ความเป็นอยู่ของประชาชนดีขึ้นมาก ประชาชนสามารมีแหล่งน้ำใช้อุปโภคบริโภค เลี้ยงสัตว์ และเกษตรกรรม ได้ด้วยระบบเติมน้ำแม้ในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศแห้งแล้งมาก

แหล่งน้ำ หรือ oasis แห่ง Iférouane ตั้งอยู่ในเขต Aïr Mountains ในตอนกลางของทะเลทราย Sahara ห่างจากนคร Niamey เมืองหลวงของประเทศไปทางเหนือประมาณ 1,000 กม. เนื่องจากมีฝนตกน้อยกว่า 50 มม./ปี เขต Iférouane เป็นเขตแห้งแล้งมาก ในช่วงปี 1940–1975 ฝนรายปีมีค่าไม่เกิน 20 มม. ประชาชนใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและเลี้ยงสัตว์จากบ่อน้ำตื้น ในตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Quaternary sediments) บ่อส่วนใหญ่มีความลึกประมาณ 20 ม. ที่ระดับลึกประมาณ 10 ม. ใต้ขั้นตะกอนยุคควอเทอร์นารีมีชั้นหินกั้นน้ำ granite/gneiss basement กั้นอยู่ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านได้ของชั้นทรายมีค่าระหว่าง 3 - 5 ม./วัน จากอดีตจนถึงปี 1975 น้ำบาดาลมีการเติมตามธรรมชาติเฉพาะในช่วงที่มีการหลากของน้ำในแม่น้ำ Kori Tamgak ในช่วงสั้นๆ ในปี 1974 เป็นช่วงที่ความแห้งแล้งมากทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลงอย่างมาก

การสำรวจทางอุทกธรณีวิทยา การวัดปริมาณน้ำผิวดิน การติดตามระดับน้ำบาดาล การวัดการซึมผ่านได้ของดิน และการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อคัดเลือกวิธีการเติมน้ำที่เหมาะสมเพื่อแก้ปัญหาการลดระดับน้ำบาดาล ผลการศึกษาพบว่าการผันน้ำที่หลากในแม่น้ำ Kori Tamgak เข้าสู่สระเติมน้ำเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด สระเติมน้ำสร้างในพื้นที่เหนือน้ำของ oasis ในพื้นที่ที่ผลการทดสอบการซึมได้พบว่าดินมีค่าการซึมผ่านได้สูง มีการก่อสร้างฝายหินต้นทุนต่ำขึ้นในปี 1975 โดยสร้างขวางทางน้ำ สร้างคลองผันน้ำและกำแพงกันพัง เพื่อผันน้ำให้ไหลเข้าสระเติมน้ำ (รูปที่ 2-16)



รูปที่ 2-16 การผันน้ำเข้าสระเติมน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก (Van Steenbgen and Tuinhof, 2009)

ในปี 1976 เมื่อมีการเติมน้ำระดับน้ำบาดาลมีการยกตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในปีนั้นมีปริมาณฝนค่อนข้างมาก (60 มม.) หลังจากดำเนินการมา 30 ปี พบว่า น้ำที่ได้ช่วยให้ประชาชนมีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นมาก ทำให้มีประชาชนอพยพเข้ามาอยู่ในพื้นที่มากขึ้นและสามารถผลิตผลผลิตทางการเกษตรส่งออกไปขายในตลาดต่างเมืองได้ (Van Steenbgen and Tuinhof, 2009)

ตารางที่ 2-2 ข้อมูลโครงการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลในต่างประเทศ

No.	Country	Site	Type of facility	Period	Annual Recharge (ML)	Recharge rate (L s')	Source of water	Pretreatment method	Recharge water quality standard	Monitoring	Purpose for recharge	Beneficial use	Aquifer characteristics	Clogging	Water quality concerns	Recharge water quality (mg/L)	Groundwater quality (mg/L)	References/ Organisation	Comments
1	USA	Halstead site, Equus Beds Aquifer, Kansas	Recharge Basin, injection well and trench	1997-2001	1.1 BGal (1997-2001)	5-8 feet/day	Pumping well nearby the Little Arkansas River	No pretreatment	drinking water	5 shallow and 1 deep monitoring wells	Demonstration, enhance groundwater supplies, and preserve aquifer from saltwater migration	potable, agriculture	Unconsolidated silt clay sand and gravel deposits of Quaternary age	-	High atrazine, fecal coliform, and chloride in surface water and high arsenic in groundwater	-	-	Schmidt, Ziegler and Parkhust, (2007) USGS	
2	USA	Sedgwick site, Equus Beds Aquifer, Kansas	Recharge Basin	1997-2001	136 MGal (1997-2001)	5-8 feet/day	Little Arkansas River	Powered activated carbon and settling pond	drinking water	2 shallow and 2 deep monitoring wells	Demonstration, enhance groundwater supplies, and preserve aquifer from saltwater migration	potable, agriculture	Unconsolidated silt clay sand and gravel deposits of Quaternary age	-	High atrazine and chloride in surface water	-	-	Schmidt, Ziegler and Parkhust, (2007) USGS	
3	USA	Avra Valley, Arizona	Spreading Basin	2002-present	-	2.1-3.5 feet/day	Agua Frla River	No pretreatment	-	-	Providing recharge for future population growth	potable	Alluvial deposit	Diatom and algae	-	-	-	Central Arizona Project (CAP), 2009	
4	USA	Water Factory 21, California	23 well, i, s. 7 extraction wells	since Oct. 1976, includes earlier expt. In 1969	6,400-8,200 (1,500 T in 1969)	up to 34	tertiary treated sewage effluent	lime clarification, ammonia stripping, recarbonation filtration, carbon adsorption, demineralisation, chlorination	stringent criteria set by Californain authorities including: major and minor ions, nitrogen sp., heavy metals, taste and odour MBAS, phenol, COD, pesticides, shandying effluent to reduce TDS	31 obs. wells, injection monitored twice daily for EC, pH and Turb. daily nutrients, microbial and extensive weekly monitoring of river groundwaters	control sea water intrusion	potable, agriculture, industry	fine-course grade sand (c). T=390-9,900 m^2 day^1, s=2x10^4 - 2x10^3 4 aquifers targeted	some clogging reported by Wesner and Baier, no clogging reported in large scheme	taste and odour a concern in experiment, bacteria not of concern as injected waters are low, some concern wrt health for organics and virus's, recharge water meets specified criteria	784 [EC] 123 [Alk] 0.86 [NH_3] 10 [COD] 0.07 [Fe] 0 [Tot. Col.] from Argo and Cline, (1970)	235 [TDS] 1.0 [DO] 150 [Alk] 0 [NH_3] 0[COD] 0.02 [Fe] 0.03 [CCE] from Wesner and Baier, (1970)	Wesner and Baier, (1970); Argo and Cline, (1985) Metropolitan Water District of Southern California	scheme more ecnomic than importing surface water from remote sources
5	USA	El paso Texas	1 well, i	2 injection tests	310 (T)	4-72	tertiary treated sewage effluent	screening, grit removal, primary setting, equalisation,2 stage PACT system, lime treatment, sand filtration, ozone disinfection, activated carbon adsorption	stringent state and national criteria use including: major and minor tons, nitrogen sp, heavy metals, bacteria, trace organies, pesticides, herbicides and radionuclides	12 obs. wells, in later operation mode waters sampled monthly and more detailed quarterly	pilot, augment existing groundwater supplies	potable for El Paso	alluvial sands some gravel silt-clay lenses (u) T = 1,240 m^2 day^{-1}, S = 0.1	clogging reported during injection test, redevelopment by surging and backwashing	treatment sufficient to remove mutagenic properties of effluent, recharge water meets quality criteria	680 (TDS) 150 (Alk) 59 (Cal) 140 (Cl) 0.05 (Fe) 0.5 (Turb.)	450 (TDS) 131 (Ca) 85 (Cl) 0.05 (Fe)	Knorr and Cliett, (1985) (O) El Paso Public Service Board	low chlorine dosage to reduce chlorinate substances, high pl to reduce viruses, major project start expected in 1985
6	USA	Las Vagas, Nevada	1 well in Saturated and unsaturated Zone i,s	3 tests in March, 1987	2,4	38	treated Colorado River water	not given	drinking water	no obs. wells, monitoring of extracted water (5 Samples for major ions taken 0.5 hourly)	pilot, evaluate recharge wrt chemical clogging due to mixing of carbonate rich waters	potable for Las Vegas	cemented sand and gravel with interbedded clay lenses (sc)	no significant clogging (from chemical analyses and geochemical modelling with PHREEQ)	calcium sp. are major issue, mixed waters undersaturated wrt calcium, artificial recharge feasible wrt chemical clogging	1010 (EC) 85 (Alk) 107(Na) 26 (Mg) 88 (Cl) 279 (SO_4) 130 (Alk)	730 (EC) 85 (Ca) 6 (Na) 36 (Mg) 11 (Cl) 212 (SO_4) 204 (Alk)	Katzer and Brothers. (1989) Las Vegas Water District	watertable initially 160 m, rose by 50 during recharge
7	USA	Peace River, Florida	2 wells, i,d 2 aquifers targeted	since 1985	108	100 (3)	Peace River	treatment plant	US EPA drinking water standard	2 obs. wells, sampling format as above	pilot, reclaim brackish aquifer and augment potable supply	potable (formerly brackish)	limestone (c0, T = 560 m^2 day^{-1} s = 5x10^{-4}	backflushed to prevent clogging	potable water generated within 6 recharge cycles (500) ML	47 (TDS) 83 (SO_4) 0 (Fe) 0 (H_2s)	800 (TDS) 224 (SO_4) 0 (Fe) 4.0 (H_2s)	Pyne, (1989) Pyne, (1994) CH2MHILL Ltd	21 sites under investigation by CH2MHILL, DBP's (disinfection by-products) are being studier at 5 sites,

ตารางที่ 2-2 ข้อมูลโครงการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลในต่างประเทศ (ต่อ)

No.	Country	Site	Type of facility	Period	Annual Recharge (ML)	Recharge rate (L s')	Source of water	Pretreatment method	Recharge water quality standard	Monitoring	Purpose for recharge	Beneficial use	Aquifer characteristics	Clogging	Water quality concerns	Recharge water quality (mg/L)	Groundwater quality (mg/L)	References/ Organisation	Comments
8	India	Maharashtra	recharge shafts, existing dug well and percolation tanks	-	-	-	Rainwater	No pretreatment	-	-	Augmenting the depleting ground water resources of Tapi Alluvial Tract	agriculture	Alluvial fan	-	-	-	-	Central Ground Water Board, India, 2000	
9	England	Lee. Valley. London	12 wells. i,d	Doc. 1977-Apr. 1978	5,800 2,900 extracted after 5 months	14-130 Ave.=47	treated Lee River water	treatment plant	drinking water	45 obs. Bores, sampled bi-weekly for major ions, nitrogen sp. And tot. iron)	large scale pilot	-	Basal Sands; fine-med. sands with inter-bedded clays, T=4-13 m^2 day^{-1} Chalk : very fine fissured limestone (sc-c), T=25-1,300 m2 day^{-1} s=1x10^{4} - 7x10^{4}, each well recharges both aquifers concurrently	no air entrapment (pipe below swl), no clogging reported as injected water is high quality	high sulphate due to mineralogy of Basal sands, high nitrate reduced to gaseous N and ammonia, complete loss of dissolved oxygen, overall, very little impact on ambient groundwater quality	683 [EC] 43 [Cl] 89 [So_4] 122 [Ca] 0.55 [NH_3] 8.1 [NO_3]	580 [EC] 25 [C] 82 [So_4] 82 [Ca] 0.26 [NH_3] <0.5 [NO_3]	Flavin and Hawnt, (1982); Hawnt et al., (1981) Thames Water Authority	numerical ground flow model developed, much larger scheme is being examined
10	Israel	nation wide, in 9 major areas	80-100 well, s, d	1968 study only reports period of 1966/67	100,000	Sst.:50-150 L.st.:150-50	Lake Kinnereth, occasionally supplemented by deeper groundwater	perchlorination, setting in reservoirs, final chlorination	drinking water	no obs. Bores, monitoring quality of extracted water on 11 occasions over 7 days and bacteria up to 50 days	enhance groundwater supplies	irrigation	3 aquifer types include : sand and sandstone; limestone and dolomite; basalt	clogging a major issue in sandstone and basalt aquifers, confined to vicinity of well, redevelopment by pumping	bacterial growth occurs near well where organic mat occurs. high bacteria in extracted water between 2 and 50 days, high initial turbidity due to decaying organic matter	640 [TDS] 1[SS-organic] <2 [Tot. Col.]	450-780 [TDS] <1 [SS] 15-240 [Tot. Col.]	Rehbun and Schwarz, (1968) ; Harpaz, (1971) Mekoroth water Company Ltd.	recommend that pumping occur either before 2 or after 50 days following recharge, recoveries lower for limestone than sandstone
11	Spain	Basos-Riera D'Horta, Barcelona	1 well, f	3 month test between 1976 - 1979	110 (T)	25	treated sewage effluent (domestic and industrial)	flocculation (lime), biol act. Sludge (high pH), sand filt. and chlorinated (10 mg L)-1	research aim to determine level of treatment	5 obs. wells (radius = 4-0 m), water quality sampling program unknown.	pilot, evaluate feasibility of recharging effluent	none (saline aquifer)	alluvial course sands and gravels 9interbedded fine sand) (c-tidal)	backwashed daily due to clogging (SS trapped at radius < 4 m)	iron hydroxide detected in extracted water, future research to focus on mixing process, fate of nutrients and "pollutants"	3-6 [SS] 1900-2600 [EC] 25-40 [NH_3] "metals removed"	15,000 [Cl] Redox -'ve	Custodio et al., (1982) (O)	aquifer dispersivities reported, recovery = 95%
12	Swiizer-land	Lower Birs valley, Basle	10 wells, i,s	since 1976	600	5-40	treated River Birs water	setting basin gravel and sand filters	SS in rive < 30 mg L-1 , Swiss standards for recharge: [DOC] 4 [BOD] 0.5 [NH_4]	3 obs. wells. continual monitoring of river water include EC, DO, pH, temp., (trialing biotests), recharge water include above and DOC, BOD, $KMnO_4$, NH_4, PO_4, bacteria, frequency unknown	store and purify surface water	potable	sand and gravels	60% decline in recharge rates during 2.5 years operation due to clogging	becteria, organices, taste and odour are main concerns, half-life decay for organics is 5-10 days (temp. dependeant), bacteria removed within 200-450 m	SS, DOC, BOC, NH_4 concs. Less than standard	0 [Tot. Col.]	Humi, (1982)	fish to control algae

ตารางที่ 2-2 ข้อมูลโครงการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลในต่างประเทศ (ต่อ)

No.	Country	Site	Type of facility	Period	Annual Recharge (ML)	Recharge rate (L s')	Source of water	Pretreatment method	Recharge water quality standard	Monitoring	Purpose for recharge	Beneficial use	Aquifer characteristics	Clogging	Water quality concerns	Recharge water quality (mg/L)	Groundwater quality (mg/L)	References/ Organisation	Comments
13	Australia	Andrews Farm, Adelaide	1 well, i,d	Oct. 1993-Feb. 1994	25.5 (T) 5.4 extracted after 3 months	14-20	mains water and stormwater runoff	wetland detention, sand standard	recharge water meets least restrictive of ANZECC irrigation water quality guidelines better quality or ambient groundwater quality	3 obs. wells, rad = 25,65 and 325 m, continuous monitoring of EC, temp., ph, Do of injected water, approx weekly sampling inorganic, nutrients, heavy metals, bacteria, gross organics, herbicides pesticides	pilot, reclaim brackish aquifer, evaluate feasibility of recharging stormwater	irrigation	limestone and calcareous sand (c), T = 180 m^2 day^{-1}, s = $5x10^{-4}$	some clogging, growth of zooplankton in wetland clogged filter, overcome by screening intake	salinity improvement of extracted water, low recovery in limestone, only coliform bacteria, nitrate and DOC in recharge water exceeds that in groundwater	163 (TDS) 0.27 (NO_3) 22(Ca) 0.21 (Fe) 3.7 (DOC) 3.8 (DO) 560 (F.Col.)	1,900 (TDS) 0.03 (NO_3) 131(Ca) 1.4 (Fe) 0.9 (DOC) 0.8 (DO) 0 (F.Col.)	Gerges ct al., (1994) ; Dillon ct al., (O) Mines and Energy, Sa	recharge water yet make a significatnt impact at the 65 m obs. well
14	Australia	Mount Gambier, South Australia	300 500 wells, f,s	100 years	2,600 - 5,200	not given	Storm water runoff	most have silt traps	not given	no obs. wells, some sampling of wells for metals, pesticides, herbicides and other trace organics	control flooding	potable for Mount Gambier and irrigation	karstic limestone, T=20,000 m^2 day^{-1}	no clogging reported due to nature of aquifer	lead, some herbicldes, above potable limit in 3 out of 50 wells, point source pollution from industrial draingage waters are of concern esp. abattoir effluent, creosote, Cu-Cr-Ar, pentachlorophenol, and hydrocarbos	50 (TDS) 143 (SS) 0.18 (NO_3) 0.24 (Pb) from Emmett, (1985)	395 (TDS) 77 (Cl) 10 (SO_4) 10-25 (NO_3) from Emmett, (1985)	Telfer, (1994); Telfer and Emmett, (1994) Dept. of Environment and Natural Resources, SA.	artificial recharge has negated effect of increased groundwater use, reduced levels of salinity and nitrate are attributed to storm water
15	Australia	Angas-Bremer area, South Australia	14 wells, f,d	since mid 1970's	36-560	2-30	Angas and Bremer Rivers	settling, silt trap	recharge when TDS < 1,000 mg L-1 and 24 hours after high river flow	no obs. wells, some wells monitored for salinity	control saltwater intrusion from basin margins	irrigation	fossiliferous limestone (c), T = 500-1,500 m^2 day^{-1} s = $3x10^{-3}$ – $2x10^{-4}$	some clogging, insufficient to halt recharge, redevelopment occurs during seasonal extraction	salinity a major issue in groundwater and root zone over long term, due to accumulating and recycling of salts	500-1,000 (TDS) 45-48 (SS)	1,500-3,000 (TDS)	Cobb and Beal, (1987); Howles, (1990) Mines and Energy, SA	numerical groundwater flow, model developed for area

(I) injection; (f) free-flow, (s) single; (d) dual purpose, (T) total volume recharged, (us) unconfined, (sc) semi-confined; (c) confined, (R) based on recovery rates,'(O) ongoing study at the time of publication, (wrt) with respect to

(ดัดแปลงจาก Pavelic, 1996; กรมโยธาธิการ, 2541ก; กรมโยธาธิการ, 2541ข; Schmidt, Ziegler and Parkhust, 2007; Central Arizona Project (CAP), 2009.)

2.4.2 พัฒนาการของการจัดการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลในประเทศไทย

การเติมน้ำบาดาลในประเทศไทยเริ่มดำเนินการไม่นานมานี้โดยหน่วยงานหลายหน่วยงานได้พยายามศึกษาวิจัยเพื่อหาแนวทางและวิธีการที่เหมาะสมกับสภาพปัญหาในพื้นที่ๆ แตกต่างกัน แต่การศึกษาวิจัยทั้งหมดยังขาดความต่อเนื่องและยังไม่มีการนำมาขยายผลสู่การปฏิบัติอย่างเป็นระบบในภาพรวมของประเทศ ผลการทบทวนผลการศึกษาเดิมจำนวน 7 เรื่อง สรุปได้ดังนี้

1) โครงการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำสำรองเพื่อการเกษตรกรรม อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย

โครงการศึกษาวิธีการที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำสำรองเพื่อการเกษตรกรรม อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย ดำเนินการโดยกรมชลประทาน ปี พ.ศ. 2539 – 2540 และบริษัทปัญญาคอนซัลแตนท์ จำกัด และบริษัท Tahal Consulting Engineers LTD. มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำสำรองให้กับการเกษตรกรรม ในพื้นที่โครงการพัฒนาน้ำบาดาลเพื่อการชลประทาน อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย

โครงการตั้งอยู่ในเขต อ.สวรรคโลก และอ.ศรีนคร จ.สุโขทัย ครอบคลุมพื้นที่จำนวน 81,000 ไร่ ซึ่งได้ทำการเจาะบ่อน้ำบาดาลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 นิ้ว ลึกประมาณ 120 ม. รวมทั้งสิ้นจำนวน 204 บ่อ ซึ่งสูบใช้ในการเกษตรกรรม ระดับน้ำบาดาลช่วงเริ่มโครงการมีค่าประมาณ 4-5 ม.จากผิวดิน มีการสูบน้ำใช้น้ำรวมประมาณปีละ 40 ล้านลบ.ม. ส่งผลให้ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่โครงการลดลงไปอยู่ที่ระดับประมาณ 13 ม.จากผิวดิน จากการศึกษาสมดุลของน้ำพบว่ามีการใช้น้ำบาดาลเกินสมดุล จึงได้ศึกษาวิธีการเติมน้ำ สรุปได้ดังนี้

(1.1) การเติมน้ำลงชั้นน้ำบาดาล แบ่งเป็น 2 วิธีการ คือ

(1.1.1) การเติมน้ำผ่านบ่อบาดาลที่ใช้ได้ปัจจุบันจำนวน 44 บ่อ ในอัตราการเติม 200 ลบ.ม./ชม. โดยใช้น้ำดิบจากแม่น้ำยมและน่าน ในช่วงฤดูน้ำมากในเดือนกรกฎาคม- ตุลาคม สร้างระบบสูบน้ำ ระบบกรอง และระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนเติมลงบ่อ จากการคำนวณโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ พบว่าการเติมน้ำทำให้ระดับแรงดันน้ำบาดาลสูงขึ้นประมาณ 4 ม. และมีปริมาณน้ำบาดาลสำรองเพิ่มขึ้น 25 ล้าน ลบ.ม./ปี

(1.1.2) การเติมน้ำแบบสระหรือคูน้ำ พบว่าชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น (Qa) ซึ่งมีระดับน้ำประมาณ 5 ม.จากผิวดิน ในขณะที่ระดับน้ำของชั้นน้ำบาดาล Qlt อยู่ที่ 13 ม.จากผิวดิน แต่ข้อมูลชั้นดินจากบ่อน้ำบาดาล แสดงว่าชั้นบนเป็นดินเหนียวที่หนามากไม่เหมาะสมที่จะเติมน้ำแบบสระ หากไม่ขุดลอกเอาเปลือกดินบนออกจนถึงทรายชั้นแรกที่มีอัตราการซึมน้ำสูง จึงจะสามารถสร้างสระหรือคูน้ำสำหรับเติมน้ำได้

(1.2) การเจาะและพัฒนาบ่อน้ำบาดาลเพื่อใช้น้ำจากชั้นน้ำบาดาลที่ลึกกว่าเดิม หรือเปลี่ยนเครื่องสูบน้ำใหม่ที่สามารถสูบได้ลึกกว่าเดิม เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำอีกปีละ 25 ล้าน ลบ.ม.

(1.3) เปลี่ยนแปลงชนิดของพืชที่ปลูกซึ่งใช้น้ำน้อยลงแต่ต้องเหมาะสมกับชนิดของดินในพื้นที่โครงการ

ต่อมาในปี พ.ศ. 2542–2543 กรมชลประทาน ได้ทำการศึกษาแนวทางการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ การเจาะบ่อสำรวจ และการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ สรุปได้ว่า ยังมีโอกาสเพิ่มปริมาณน้ำบาดาลสำรองโดยการเติมน้ำในบริเวณโซน1 โครงการพัฒนาน้ำบาดาลเพื่อการชลประทานสวรรคโลก ซึ่งมีชั้นน้ำบาดาลต่อเนื่องกับโซน 2 ด้วยวิธีการที่มีความเหมาะสมทางเศรษฐกิจ (Saykawlar et al., 2000) ดังนี้

- สร้างเขื่อนกั้นแม่น้ำยม บริเวณแก่งหลวง เพื่อยกระดับน้ำในแม่น้ำยมให้สูงกว่าระดับน้ำบาดาลในโซน 1 จะเกิดการเติมน้ำเหนี่ยวนำน้ำ(induced recharge) จากแม่น้ำยมไหลเติมลงชั้นน้ำบาดาล ในขณะสูบน้ำบาดาลจากบ่อน้ำบาดาลโซน 1
- สร้างระบบเติมน้ำลงทางกลุ่มบ่อตอกบริเวณร่องแม่น้ำที่มีกรวดทราย เพื่อเพิ่มการซึมเข้าทางด้านข้างแม่น้ำและซึมต่อไปยังชั้นน้ำบาดาลที่อยู่บนสุด
- พัฒนาระบบเติมน้ำตามคลองส่งน้ำต่างๆ จากเขื่อนห้วยท่าแพ ทางด้านตะวันตกของโครงการพัฒนาน้ำบาดาลเพื่อการชลประทานสวรรคโลก
- การเติมน้ำทางผิวดินผ่านสระและหนองน้ำธรรมชาติ วิธีนี้ต้องทำการสำรวจแหล่งน้ำธรรมชาติสาธารณะที่มีอยู่ในพื้นที่โครงการ ทำการปรับปรุงท้องน้ำของแหล่งธรรมชาติที่กล่าวอย่างเหมาะสมเพื่อให้เกิดท้องน้ำที่เอื้อต่อการซึมของน้ำในอัตราที่มากกว่าการซึมในธรรมชาติ
- โครงการสำรวจออกแบบการระบายน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล พื้นที่ลุ่มน้ำแม่อาว จังหวัดลำพูน

โครงการสำรวจออกแบบการระบายน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล พื้นที่ลุ่มน้ำแม่อาว จังหวัดลำพูน ดำเนินการโดยกองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณีในปี พ.ศ. 2543 โดยบริษัท วอเตอร์ รีซอร์ช เอ็นจิ-เนียริ่ง จำกัด พื้นที่โครงการมีขนาดประมาณ 120 ตร.กม. มีการใช้น้ำบาดาลเพื่อกิจกรรมต่างๆ ในปริมาณสูงมาก เช่น เพื่อการอุปโภคบริโภคประมาณ 15,000 ลบ.ม./วัน เพื่อการอุตสาหกรรม 5,000 ลบ.ม./วัน และเพื่อการเกษตร 150,000 ลบ.ม./วัน จากบ่อน้ำบาดาลรวม 2,271 บ่อ ส่งผลให้ระดับน้ำบาดาลลดลงจาก 3-5 ม.จากผิวดิน ลงไปอยู่ที่ระดับต่ำกว่า 30 ม.จากผิวดิน พื้นที่โครงการรองรับด้วยชั้นหินอุ้มน้ำ Qa, Qlt และ Qht โดยแบ่งเป็นชั้นน้ำบาดาลสำคัญที่ชาวบ้านใช้กันอยู่ คือ ที่ระดับ 20-30, 50, 100 และ 150 ม.จากผิวดิน ตามลำดับ แต่ละชั้นมีความหนาของกรวดทรายตั้งแต่ 5-20 ม. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสูบทดสอบได้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของชั้นน้ำระดับ 50, 150 และ 250 ม. มีค่าเท่ากับ 1,400 ตร.ม./วัน 40 ตร.ม./วัน และ 250 ตร.ม./วัน ตามลำดับ การทดลองเพื่อหาอัตราการซึมน้ำของดินในพื้นที่ Qa , Qlt และ Qht เพื่อนำไปพิจารณาออกแบบสระเติมน้ำ พบว่ามีอัตราการซึมอยู่ระหว่าง 0.12 - 6.0 ซม./ชม. (0.028 - 1.44 ม./วัน) จึงไม่เหมาะสมที่จะเติมน้ำผ่านสระ โครงการได้ทำการทดลองเติมน้ำลงทางบ่อขุด ซึ่งมีความลึกประมาณ 7 ม. รวม 5 บ่อ พบว่ามีอัตราการซึมระหว่าง 3 - 4 ม./ชม.

สรุปได้ว่าบ่อที่ขุดถึงชั้นตะกอนของชั้นน้ำ Qlt มีความเหมาะสมที่จะเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลทางบ่อขุดที่ลึกระหว่าง 20 - 50 ม. บริเวณใกล้คลองชลประทานซึ่งมีปริมาณและคุณภาพน้ำดิบเหมาะสม การออกแบบระบบเติมน้ำประกอบด้วย (1) ระบบส่งน้ำดิบจากคลองส่งน้ำ (2) ระบบกรองน้ำแบบกรองทรายเร็วขนาด 50, 100 และ 200 ลบ.ม./ชม. (3) ระบบจ่ายน้ำ (4) บ่อเติมน้ำขนาด

6 นิ้วความลึก 15 ม. รวม 3 บ่อ และ 6 นิ้วความลึก 40 ม. รวม 3 บ่อ และ(5) บ่อสังเกตการณ์ความลึก 7.5 และ 40 ม. และได้ประเมินค่าก่อสร้างไว้ประมาณ 800,000 , 850,000 และ 950,000 บาท ตามลำดับ ไม่รวมค่าที่ดินและบำรุงรักษา

3) โครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดินจังหวัดพิจิตร

โครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดินจังหวัดพิจิตร ดำเนินการโดยกรมโยธาธิการ ปี พ.ศ. 2541 และศูนย์บริการวิชาการจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรมในการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดินที่ราบลุ่มแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านด้านตะวันตกและตะวันออกของจังหวัดพิจิตร ซึ่งมีศักยภาพการให้น้ำบาดาล 20-80 ลบ.ม/ชม. ความลึกบ่อเฉลี่ย 50-100 ม. ในชั้นน้ำภายใต้แรงดัน คุณภาพน้ำดี แต่เหล็กค่อนข้างสูง บริเวณฝั่งตะวันตกของแม่น้ำยมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของตะกอนรูปพัด และมีพื้นที่ต้นน้ำบาดาลอยู่บริเวณจังหวัดกำแพงเพชรและรอยต่อจังหวัดกำแพงเพชรและพิจิตรเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพที่จะเติมน้ำบาดาลได้ คือ (1) อ.โพธิ์ประทับช้าง มีความเหมาะสมที่จะเติมน้ำลงทางบ่อน้ำบาดาล ที่ความลึก 60-100 ม. (2) อ.โพทะเล ซึ่งมีชั้นน้ำระดับตื้น 10-30 ม. มีความเหมาะสมที่จะเติมน้ำผ่านสระหรือบ่อบาดาล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบน้ำทดสอบจำนวน 5 บ่อ ในอัตราสูบ 7-16 ลบ.ม/ชม. ได้ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำอยู่ในช่วง 96-1,776 ตร.ม./วัน ระดับน้ำจากบ่อตัวแทน 47 บ่อ ในช่วงปี พ.ศ. 2539-2540 ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงระหว่าง 2-7 ม.จากผิวดิน

การใช้น้ำบาดาลจากบ่อที่มีอยู่ทั้งหมด 1,265 บ่อ สูบใช้เพื่ออุปโภคบริโภคในอัตรา 2.3 ล้าน ลบ.ม./ปี ใช้ในภาคเกษตรกรรมในอัตรา 1.2 ล้าน ลบ.ม./ปี และมีอัตราเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.5

ผลการศึกษาความเหมาะสมทางวิศวกรรมโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2538 และการใช้น้ำบาดาลที่เพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 2.5 จะมีผลต่อระดับน้ำบาดาลในอีก 20 ปีข้างหน้า ลดลงไปอยู่ลึกกว่า 12 ม.จากผิวดิน แต่หากมีการเติมน้ำในพื้นที่ที่เหมาะสมใน อ.โพธิ์ประทับช้างและอ.โพทะเลรวม 3 แห่ง โดยวิธีการเติมทางสระหรือเติมลงทางบ่อน้ำบาดาลในอัตราวันละ 10,000-50,000 ลบ.ม. จะส่งผลให้ระดับน้ำคืนตัวได้ 1 และ 12 ม. ภายใน 20 ปี เมื่อเทียบกับระดับน้ำของปี พ.ศ. 2538

ความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ การเติมน้ำทางบ่อบาดาลไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน แต่ถ้าเป็นการเติมแบบเก็บเกี่ยวน้ำฝน ซึ่งลงทุนน้อยถือว่ามีความคุ้มค่าแต่ได้ปริมาณการเติมน้ำในอัตราจำกัด ได้ผลในเชิงอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาล การเติมน้ำแบบสระมีความคุ้มค่า ด้วยอัตราการเติมมากกว่าวันละ 4,320 ลบ.ม. ขึ้นไปหรือมีขนาดสระเติมประมาณ 450 ตร.ม.ขึ้นไป ส่วนในแง่ของการลงทุนควรจะเติมให้ได้ในอัตราไม่น้อยกว่า 250,000 ลบ.ม./วัน โดยมีขนาดกันสระประมาณ 16 ไร่

ในเชิงอุทกธรณีวิทยาควรพิจารณาเติมน้ำแบบสระหรือแบบเติมลงในบ่อบาดาล ในขนาดที่เหมาะสมและคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจ บริเวณด้านตะวันออกของจังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งเป็นพื้นที่เติมน้ำตามธรรมชาติก็สามารถยกระดับน้ำในเขตพื้นที่จังหวัดพิจิตรได้เช่นกัน โดยควรจะมีการทดลองพื้นที่นำร่องก่อนและขยายผลเป็นโครงการขนาดใหญ่

4) โครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดินจังหวัดสุโขทัย

โครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดินจังหวัดสุโขทัย ดำเนินการโดยกรมโยธาธิการ ปี พ.ศ. 2541 โดยศูนย์บริการวิชาการจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สรุปได้ว่า

(4.1) พื้นที่ที่เหมาะสมในการสร้างระบบ ประเมินได้จากการศึกษาภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาและการสำรวจภาคสนามพบว่าจังหวัดสุโขทัย มีพื้นที่เหมาะสมและมีศักยภาพที่จะฟื้นฟูโครงการเติมน้ำได้ 3 พื้นที่ คือ (1) บริเวณ อ.สวรรคโลก ซึ่งมีชั้นน้ำบาดาลระดับ 80-130 ม. สามารถเติมน้ำโดยวิธีอัดลงทางบ่อบาดาลระดับลึก (2) บริเวณ อ.เมืองสุโขทัย และ (3) อ. คีรีมาศ ซึ่งมีชั้นน้ำระดับตื้น (Qa) 10-30 ม. ที่สามารถเติมน้ำผ่านสระเติมน้ำได้

(4.2) แหล่งน้ำดิบ คือ น้ำจากแม่น้ำยมและลำน้ำสาขามีปริมาณเพียงพอที่จะเติมในฤดูฝนได้แต่มีความขุ่นสูงต้องมีการสร้างระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ

(4.3) คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาลได้จากผลการสูบทดสอบ 5 บ่อ พบว่ามีอัตราให้น้ำระหว่าง 4-14 ลบ.ม./ชม. มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลระหว่าง 0.9-13.7 ลบ.ม./วัน และจากบ่อตัวแทน 42 บ่อ ในปี พ.ศ. 2539-2540 มีระดับน้ำขึ้นลงตามฤดูกาลระหว่าง 8–18 ม.จากผิวดิน

(4.4) จังหวัดสุโขทัยมีการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคประมาณปีละ 4.9 ล้าน ลบ.ม. เพื่อการเกษตรกรรมปีละ 213.4 ล้าน ลบ.ม. สำหรับเขต อ.สวรรคโลก มีการสูบใช้น้ำบาดาลเพื่อการชลปีละ 33 ล้าน ลบ.ม. มีอัตราการใช้น้ำเพิ่มเฉลี่ยร้อยละ 33 ต่อปี

(4.5) ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบก่อนจะเติมน้ำลงชั้นบาดาล ประกอบด้วย ถังกรองน้ำฝนจากหลังคาบ้าน สระพักน้ำที่ผันจากแม่น้ำ และสระเติมน้ำ

(4.6) ผลการศึกษาความเหมาะสมโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าการเติมน้ำผ่านบ่อบาดาล ลงชั้นน้ำภายใต้แรงดันหรือการเติมทางสระ จะช่วยยกระดับน้ำใต้ดินโดยรวมให้สูงขึ้น และการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลงอีกประมาณ 2–10 ม.ในอีก 20 ปีข้างหน้า โดยการจำลองเติมน้ำในพื้นที่เหมาะสมจะได้ผลดังนี้

(4.6.1) พื้นที่อ.สวรรคโลก ในชั้นน้ำที่ 3 (Qlt) เติมน้ำในอัตรา 1,000- 50,000 ลบ.ม./วัน ระดับน้ำจะคืนตัว 0-1.5 ม. ตามลำดับ ในระยะเวลา 20 ปี

(4.6.2) พื้นที่อ.เมืองสุโขทัย ในชั้นน้ำที่ 1 (Qa) เติมในอัตรา 1,000- 50,000 ลบ.ม./วัน จะทำให้ระดับน้ำคืนตัว 0-1.7 ม. ตามลำดับ ในระยะเวลา 20 ปี

(4.6.3) พื้นที่อ.คีรีมาศ ในชั้นน้ำที่ 1 (Qa) เติมในอัตรา 1,000- 50,000 ลบ.ม./วัน จะทำให้ระดับน้ำคืนตัว 0 - 1.5 ม. ตามลำดับในระยะเวลา 20 ปี

(4.7) ความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าการเจาะบ่อน้ำบาดาลเพื่อเติมน้ำยังไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน ยกเว้นการเติมลงบ่อน้ำบาดาลที่มีอยู่แล้วแต่ได้ปริมาณการเติมจำกัด ส่วนการเติมน้ำผ่านสระจะมีความคุ้มค่าเมื่อสามารถเติมได้มากกว่า 4,320 ลบ.ม./วัน หรือมีขนาดกันสระใหญ่กว่า 450 ตร.ม.

5) โครงการการศึกษาทดลองเพื่ออนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดินบริเวณจังหวัดกำแพงเพชร

โครงการการศึกษาทดลองเพื่ออนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดิน บริเวณจังหวัดกำแพงเพชร ดำเนินการโดยกรมโยธาธิการปีพ.ศ. 2539-2541 และศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีพื้นที่โครงการอยู่ในที่ราบลุ่มทางทิศใต้ของอ.เมืองกำแพงเพชร เนื้อที่ประมาณ 190 ตร.กม.เป็นพื้นที่น้ำท่วมถึง มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีการทำการเกษตรกรรม เช่น ปลูกกล้วยและไม้ผลต่างๆ การทำนาปีและนาปรังอย่างกว้างขวางโดยการเจาะบ่อและสูบน้ำบาดาลระดับตื้น มีความลึกประมาณ 20-30 ม. ใช้เพื่อการเกษตรกรรมทำนาปรัง จากการศึกษาติดตามสภาพน้ำบาดาลบริเวณที่กล่าว พบว่านับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 เป็นต้นมามีการลดลงของระดับน้ำบาดาลในอัตรา 1 ม./ปี บางแห่งลดลงจากระดับเดิมประมาณ 1- 3 ม./ปี ไปอยู่ลึกกว่า 12 ม.จากผิวดิน โดยไม่มีการคืนตัวส่งผลให้ชาวนาหรือเจ้าของบ่อน้ำบาดาลที่เคยใช้เครื่องสูบน้ำหอยโข่ง ต้องทำการขุดและทรุดบ่อตามระดับน้ำลงไปที่ความลึกระหว่าง 8-10 ม. เพื่อให้สามารถสูบน้ำโดยสูบหอยโข่งได้ อันเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านในการช่วยเหลือตัวเอง โครงการทดลองที่กล่าวข้างต้นนี้มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อการศึกษา ทดลองออกแบบวิธีที่เหมาะสมในการอนุรักษ์และฟื้นฟูน้ำใต้ดิน ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประเมินผลจากการเติมน้ำ ทดลองติดตามการเปลี่ยนแปลงของระดับและคุณภาพของน้ำบาดาลตามความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ ตลอดจนเสนอแนะรูปแบบองค์กรและแนวทางการบริหารงานอนุรักษ์และฟื้นฟูน้ำบาดาล สถานที่ทดลอง คือ หมู่บ้านกม.2 ต.สระแก้ว อ.เมือง จ.กำแพงเพชร โดยทำการทดลอง 3 วิธี คือ

(5.1) การเติมน้ำทางสระ ระบบประกอบด้วย

(5.1.1) สระขนาด 25 x 100 x 3 ม. ใช้ทรายที่กันสระระดับ 3 ม. เป็นทรายขนาด 0.3 - 0.35 มม. ทำหน้าที่เป็นวัสดุกรองน้ำซึ่งมีอัตราการซึมน้ำ 9.6 ม. /วัน (0.4 ลบ.ม./ตร.ม./ชม.)

(5.1.2) น้ำดิบที่ใช้เติมผันจากคลองชลประทาน ซึ่งมีความขุ่นเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลระหว่าง 20–30 NTU

(5.1.3) กรณีที่มีความขุ่นมากกว่า 30 NTU ต้องผันน้ำเข้าสู่บ่อพัก เพื่อกรองหรือตกตะกอนเบื้องต้นก่อน จึงผันเข้าสู่สระเติมน้ำ

(5.1.4) มีบ่อสังเกตการณ์โดยรอบสถานีทดลองรวม 18 บ่อ ลึกประมาณ 20 – 30 ม. ผลการทดลองเติมน้ำในช่วงเดือนมีนาคม – เมษายน 2541 เติมน้ำลงไปประมาณ 300,000 ลบ.ม. ทำให้ระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์ในรัศมี 200 ม. สูงขึ้น 20 ซม. แต่อัตราการซึมได้รับผลกระทบจากปริมาณตะกอนกันสระทำให้มีอัตราลดลง จำเป็นต้องหยุดและทำการขุดลอกตะกอนกันสระ ก่อนเติมน้ำครั้งต่อๆ ไป

(5.2) การเติมลงทางบ่อน้ำบาดาล ระบบประกอบด้วย

(5.2.1) บ่อเติมน้ำขนาด 6 นิ้ว ลึกประมาณ 10 ม.

(5.2.2) ถังปรับปรุงคุณภาพน้ำแบบทรายกรองช้า (slow sand filter) ขนาด 1x2.3 ม. ชั้นน้ำ Qa มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (K) 21 ม./วัน ผลการทดลองเติมน้ำผ่านการกรองแล้วในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน 2541 รวมเวลา11 วัน สามารถเติมน้ำลงบ่อโดยแรงโน้มถ่วง ในอัตรา

100 ลบ.ม./วัน ทำให้บ่อสังเกตการณ์ในรัศมี 150 ม. มีระดับน้ำเพิ่มขึ้นประมาณ 5 ซม. คุณภาพน้ำบาดาลหลังเติมน้ำมีค่าอยู่ในมาตรฐานน้ำดิบของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

(5.3) การเก็บเกี่ยวน้ำฝนลงทางบ่อบาดาล ระบบประกอบด้วย

(5.3.1) บ่อน้ำบาดาลขนาด 100 มม. ลึกประมาณ 20 – 30 ม. ของชาวบ้านที่มีอยู่แล้ว

(5.3.2) ระบบกรองน้ำประกอบด้วยตัวกรองทรายแบบกรองช้าขนาด 1 x 2.3 ม. และถังพักน้ำใสก่อนเติมขนาดเดียวกัน ผลการทดลองเติมน้ำฝนที่กรองแล้วลงบ่อ 10 บ่อ สามารถเติมลงในอัตรา 1 ลบ.ม./ชม. หรือวันละ 24 ลบ.ม./วัน/บ่อ รวม 240 ลบ.ม./วัน

(5.4) สรุปผลการทดลอง

(5.4.1) การประเมินความเหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าการเติมน้ำลงทางบ่อน้ำบาดาลเป็นการลงทุนที่สูง ยังไม่คุ้มทุน แต่สามารถดำเนินการได้หากมีบ่อบาดาลอยู่แล้ว มีผลดีเพื่อการพัฒนาสังคม การเติมน้ำแบบสระขนาดใหญ่กว่า 400 ตร.กม. จะให้ผลคุ้มต่อการลงทุน ทั้งนี้ไม่รวมค่าที่ดินซึ่งต้องเป็นที่สาธารณะเท่านั้น

(5.4.2) การประเมินเชิงวิศวกรรมศาสตร์ พบว่ามีแนวทางแก้ไข 2 แนวทาง คือ (1) ให้ลดปริมาณการสูบน้ำบาดาลลงประมาณร้อยละ 6 ต่อปี จนกว่าระดับน้ำบาดาลจะคืนตัวสู่สภาวะปกติ (2) ดำเนินการเติมน้ำลงทางสระขนาดใหญ่หรือลงทางบ่อน้ำบาดาลที่กระจายตัวทั่วทั้งบริเวณวิกฤติ โดยให้มีอัตราเติมระหว่าง 100,000 – 1,000,000 ลบ.ม./วัน จนกว่าระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์คืนตัวสู่สภาวะเดิม

6) โครงการศึกษาประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ ระยะที่ 3 และการสำรวจออกแบบระบบเติมน้ำทุ่งกุลาร้องไห้

โครงการศึกษาประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ ระยะที่ 3 และการสำรวจออกแบบระบบเติมน้ำทุ่งกุลาร้องไห้ ดำเนินการโดยกองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี ปีพ.ศ. 2545 และบริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด และบริษัท Tahal Consulting Engineers LTD.

พื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้รองรับด้วยตะกอนน้ำพาและตะกอนตะพักลำน้ำ (Qa, Qht) พื้นที่ศึกษาขนาด 9,270 ตร.กม. มีชั้นน้ำสำคัญ 3 ประเภท คือ (1) เนินทรายตะกอนลมพาหนาประมาณ 10 ม. (2) ชั้นน้ำเปิดไร้แรงดัน (Qa) ลึก 5-20 ม. และหนาประมาณ 10-20 ม. (3) ชั้นน้ำภายใต้แรงดัน (Qht , ss ,sh) ซึ่งวางตัวอยู่ใต้ Qa พบที่ความลึกประมาณ 50-180 ม. มีค่าเฉลี่ยของระดับน้ำปกติ 5 ม.ใต้ผิวดิน คุณภาพน้ำจืดบางแห่งกร่อยถึงเค็ม และมีปริมาณเหล็กค่อนข้างสูง

(6.1) ศักยภาพด้านปริมาณ ผลการจำลองโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์สามารถสรุปได้ว่าแหล่งน้ำบาดาลชั้นตะกอนร่วมมีน้ำต้นทุนอยู่ประมาณ 220 ล้าน ลบ.ม./ปี มีการไหลเติมโดยน้ำฝนประมาณ 75 ล้าน ลบ.ม./ปี และเติมโดยแม่น้ำ 65 ล้าน ลบ.ม./ปี รวมเป็นไหลเติมประมาณ 140 ล้าน ลบ.ม./ปี ปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถพัฒนาไปใช้ได้ประมาณ 110 ล้าน ลบ.ม./ปี (ร้อยละ 78 ของการไหลเติม)

(6.2) อัตราการซึมน้ำของดิน ผลการทดลองในสนามเพื่อหาอัตราการซึมน้ำของดินในพื้นที่ศึกษาได้ค่าเฉลี่ย 0.27 ม./วัน ซึ่งค่อนข้างต่ำ เพราะปกติในพื้นที่ดินปนทรายท้องนาทุ่งกุลาร้องไห้ อัตราการซึมควรจะสูงกว่า 0.5 ม./วัน ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูงน่าจะเกิดจากกระบวนการทดลอง

(6.3) คุณสมบัติชลศาสตร์ของชั้นน้ำทุ่งกุลาร้องไห้ จากการศึกษา มีดังนี้

(6.3.1) ชั้นน้ำแบบไร้แรงดัน เหมาะสมสำหรับการเติมน้ำทางสระ(ผิวดิน)

(6.3.2) ระดับน้ำบาดาลมากกว่า 5 ม.ใต้ผิวดิน ค่อนข้างตื้น จะส่งผลให้มีอัตราการเติมน้ำต่ำ

(6.3.3) ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T) มีค่าน้อยกว่า 100 ตร.ม./วัน

(6.3.4) ค่าสัมประสิทธิ์กักเก็บน้ำ (S) ประมาณ 0.03 จะมีผลกระทบต่อการเติมน้ำผ่านสระเท่านั้น แต่มิใช่องค์ประกอบวิกฤตต่อการเติมน้ำ

(6.3.5) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (K) ของชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ มีค่าค่อนข้างต่ำ มีความจำเป็นต้องขุดลอกหน้าดิน

(6.3.6) ปริมาณและคุณภาพน้ำดิบจากแม่น้ำและระยะทางส่งน้ำต้องเหมาะสม โดยอาจต้องผ่านกระบวนการบำบัดก่อนเติม

(6.4) ปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการเติมน้ำลงในชั้นบาดาลทั่วไป ประกอบด้วย

(6.4.1) ชั้นน้ำไร้แรงดัน เหมาะสมสำหรับเติมผ่านสระหรือบ่อน้ำบาดาล

(6.4.2) ความลึกของระดับน้ำต้องมากพอ

(6.4.3) ค่า T/S ต้องสูงพอสำหรับวิธีการเติมน้ำผ่านสระ

(6.4.4) อัตราการซึมของดินชั้นบนอยู่ระดับปานกลางถึงสูง (0.5 < Ks < 1 ม. /วัน) สำหรับการเติมน้ำผ่านสระ

(6.4.5) คุณภาพน้ำดิบต้องดี ความขุ่น <50 NTU และปราศจากจุลินทรีย์

(6.4.6) ความพรุนสูงไม่จำเป็นสำหรับเติมน้ำทางสระ แต่จำเป็นสำหรับการเติมน้ำทางบ่อ เช่น โพรงหินปูน กรวดขนาดใหญ่และทรายหยาบ เป็นต้น

(6.4.7) คุณภาพน้ำบาดาลในชั้นน้ำที่จะเติม ต้องทราบโดยละเอียดทั้งการเติมทางสระหรือทางบ่อ

(6.5) การออกแบบสถานีเติมน้ำบาดาลนำร่องเบื้องต้น

(6.5.1) ลักษณะของพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้

- ระดับน้ำใต้ดินมากกว่า 4 ม.ใต้ผิวดิน
- ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T) ของชั้นน้ำไร้แรงดันมีค่ามากกว่า 20 ตร.ม./วัน
- ระยะทางจากแหล่งน้ำดิบไม่เกิน 1 กม. และมีน้ำตลอดอย่างน้อย 6 เดือน

(6.5.2) ความต้องการจำเพาะ

- ชั้นน้ำกร่อย TDS มีค่าไม่เกิน 3000 มก./ล. ผิวดินต้องไม่ทึบน้ำและมีค่า Ks (ค่าการซึมผ่านได้ของน้ำ) ของดิน มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.3 ม./วัน
- กรณีมีชั้นลูกรัง ต้องลึกไม่เกิน 2.5 ม.

- กรณีพื้นที่นาข้าว ดินชั้นบนลึกประมาณ 30 ซม. และต้องมีค่าการซึมผ่านได้ของดินมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.3 ม./วัน

(6.6) รูปแบบบ่อเติมน้ำ แบ่งเป็น

(6.6.1) กรณีสร้างเลนซ์น้ำจืดลอยอยู่บนน้ำกร่อยในชั้นน้ำไร้แรงดัน (ทรายลมหอบ) ประกอบด้วย (1) บ่อเติมน้ำรูปทรงกลมรัศมี 30 ม. แบ่งเป็นสองส่วน (2) บ่อตกตะกอนคอนกรีตขนาด 100 ตร.ม. ให้สามารถเติมน้ำยาเคมีได้ (3) บ่อสังเกตการณ์ สำหรับตรวจวัดการกระจายตัวของน้ำจืด (4) บ่อสูบน้ำบาดาลขนาด 400 – 500 มม. (5) โรงสูบน้ำขนาด 15 ลบ.ม. /ชม. และอื่นๆ รวมราคาประเมินการก่อสร้าง 800,000 บาท (ทั้งนี้ยังไม่รวมค่าที่ดินและค่าบำรุงรักษา)

(6.6.2) กรณีที่ระบบเติมน้ำในพื้นที่สูงผิวดินลูกรัง ทุ่งนาข้าวในชั้นน้ำแบบไร้แรงดัน ประกอบด้วย (1) บ่อเติมน้ำ 2 บ่อ ขนาด 25 x 25 ม. เพื่อสลับการใช้งาน (2) บ่อตกตะกอนขนาด 130 ตร.ม. (3) โรงสูบน้ำพร้อมด้วยเครื่องสูบขนาด 15 ลบ.ม./ชม. (4) บ่อสังเกตการณ์ในชั้นน้ำไร้แรงดัน 2 บ่อ (5) การปรับพื้นที่และภูมิทัศน์ให้สวยงาม รวมราคาประเมินการก่อสร้าง 750,000 – 900,000 บาท (ทั้งนี้ยังไม่รวมค่าที่ดินและค่าบำรุงรักษา)

(6.7) คำนวณอัตราการเติมน้ำลงทางสระ

ผู้เชี่ยวชาญจาก Tahal Consulting Engineers LTD. ได้นำเสนอการคำนวณใช้สูตร Circular groundwater mound ซึ่งพัฒนาโดย Hantush Water Resource Research 3 (1967) ใช้คุณสมบัติกำหนดต่างๆ ดังนี้

- ความหนาของชั้นน้ำ 10 ม.
- ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T) 20 – 50 ตร.ม./วัน
- ค่าสัมประสิทธิ์กักเก็บ (S) เท่ากับ 0.03, 0.01
- ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (K) 3.5 ม./วัน 2.0 ม./วัน, และ 5.0 ม./วัน
- อัตราการซึมผ่านของดิน 0.3(ks) ม./วัน
- รัศมีของบ่อเติมน้ำ 10 ม. 25 ม. และ 50 ม.
- ระดับน้ำเริ่มต้น 3-4 ม., 7-10 ม. และ 15-22 ม.
- ได้ผลการคำนวณปริมาณน้ำที่เติมลง 100, 600 ลบ.ม/วัน และ 2,300 ลบ.ม/วัน อย่างไรก็ตาม โครงการนี้ยังมิได้มีการก่อสร้างและทดลองจริง

7) โครงการศึกษาออกแบบก่อสร้างระบบเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล พื้นที่ลุ่มแม่น้ำชายฝั่งตะวันออก

โครงการศึกษาออกแบบก่อสร้างระบบเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล พื้นที่ลุ่มแม่น้ำชายฝั่งตะวันออกของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ดำเนินการในปี พ.ศ. 2548 โดยบริษัทปัญญาคอนซัล-แตนท์ จำกัด สรุปได้ดังนี้

(7.1) โครงการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลและนำน้ำกลับมาขึ้นมาใช้ (ASR) มีศักยภาพที่จะใช้เพื่อเป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในประเทศไทย และในบริบทของวัฒนธรรมไทยและสังคมไทย ทักษะในการออกแบบ เทคนิค วิธีการก่อสร้าง และการจัดการโครางการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลและสูบน้ำกลับมีพร้อมดำเนินการในประเทศไทย

(7.2) ตำแหน่งของโครงการ ASR ต้องคัดเลือกอย่างระมัดระวัง โดยมีข้อมูลทางเทคนิคที่ดี และเลือกบนพื้นฐานของความต้องการจริง การเลือกโครงการภายใต้ข้อจำกัดใดก็ตามอาจจะทำให้เกิดปัญหาทางเทคนิคและปัญหาอื่นๆ ทำให้เกิดผลสำเร็จได้ยากหรืออาจจะเป็นไปไม่ได้เลย และหรือมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและการมีส่วนร่วมทางสังคมน้อย

(7.3) บริเวณโดยรอบโครงการจะต้องมีข้อมูลที่มีคุณภาพและมีความเข้าใจเป็นอย่างดี ครอบคลุมประเด็นหลักๆ ที่เกี่ยวกับสภาพธรรีวิทยาในพื้นที่ รวมทั้งแร่วิทยา อุทกธรณีวิทยา แหล่งน้ำ ความต้องการใช้น้ำ ฯลฯ การเติมน้ำในชั้นน้ำแบบมีแรงดันหรือชั้นน้ำบาดาลแบบกึ่งมีแรงดัน ซึ่งมีค่าระดับแรงดันไม่กี่ม.จากผิวดินจะได้ประโยชน์น้อย โครงการควรดำเนินการในชั้นน้ำแบบไร้แรงดันและมีค่าระดับน้ำปกติอยู่ลึกจากผิวดินมากพอที่จะเติมน้ำได้

(7.4) ข้อมูลด้านเวลาจะเกี่ยวข้องและมีความสำคัญในทุกประเด็นของเรื่องที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสมอ อุทกธรรีวิทยา แหล่งน้ำ ความต้องการ และการใช้ประโยชน์ ฯลฯ ข้อมูลวิเคราะห์ผลทางเคมีของน้ำที่เก็บภายในวันเดียวไม่เพียงพอที่จะนำไปกำหนดหลักเกณฑ์เพื่อออกแบบโครงการหรือดำเนินการ ควรเก็บตัวอย่างตลอดทั้งปีและหลายปีติดต่อกัน

(7.5) การใช้แรงดันสูง (over-pressure or excess pressure) อัดน้ำลงไปได้รับประโยชน์ในโครงการ ASR แต่จะทำให้เกิดปัญหาสำคัญในท้องที่ เช่น เกิดการยกตัวของพื้นดิน (ground heave) และหรือการแตกร้าวของวัสดุผนึกระหว่างท่อกรุบ่อและชั้นตะกอนข้างบ่อ

(7.6) การปรับปรุงคุณภาพน้ำที่จะเติมลงไปให้มีมาตรฐานสูงและสม่ำเสมอในคุณภาพของการปรับปรุงและเป็นสิ่งสำคัญ การวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่สูบขึ้นมาจากชั้นน้ำบาดาลจำเป็นอย่างยิ่ง กรณีที่น้ำน้ำบาดาลจากชั้นน้ำศักยภาพสูงไปสู่อีกชั้นหนึ่งที่มีศักยภาพน้อยกว่า ประเด็นสำคัญที่สุดของการปรับปรุงคุณภาพน้ำบาดาล คือ

(7.6.1) ทำให้แน่ใจว่าน้ำที่เติมลงไปสามารถผสมกับน้ำบาดาลในท้องที่และในชั้นน้ำบาดาลได้ดี เพื่อลดโอกาสเกิดปัญหาภายในชั้นน้ำบาดาลในอนาคต

(7.6.2) ลดความเสี่ยงต่อการเกิดการตกตะกอนของเหล็ก แมงกานีส หรือสารประกอบอื่นๆ ที่ไม่ละลายน้ำ เพราะจะทำให้ชั้นน้ำบาดาลอุดตันและเป็นการยากที่จะทำการแก้ไขได้

(7.6.3) ลดโอกาสที่จะนำสารอาหารลงไปสู่ชั้นน้ำบาดาล ได้แก่ พวกสารอินทรีย์ไนโตรเจน และหรือฟอสฟอรัส ซึ่งก่อให้เกิดการขยายขนาดของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กรอบๆ บ่อ

(7.6.4) ลดปริมาณของตะกอนแขวนลอยที่จะถูกนำลงไปชั้นน้ำบาดาล (เช่น แร่ธาตุหรือสิ่งมีชีวิต) ที่จะมีโอกาสเกิดการอุดตันของบ่อเติมน้ำ

(7.6.5) ลดปริมาณของแก๊สที่ละลายอยู่ในน้ำให้มากที่สุด รวมทั้งพวกก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน ที่จะถูกเติมลงไปในบ่อเพื่อป้องกันการเกิดสารละลายจากน้ำและถูกเก็บอยู่ในน้ำบาดาล

(7.7) การออกแบบระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ ต้องพิจารณาปริมาณน้ำที่เติมได้จริงและความสม่ำเสมอเพราะอัตราการเติมน้ำจะลดลงแบบยกกำลังและอย่างรวดเร็วจากอัตราเดิมโดยเทียบสัดส่วนกับอัตราการเติมน้ำในช่วงท้ายอาจจะเท่ากับ 30% หรือน้อยกว่าอัตราเริ่มต้น เป็นการยากที่จะทำนายค่าอัตราการเติมน้ำในระยะเริ่มต้น แม้ว่าจะมีข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยาที่ดีแล้วก็ตาม

หลักง่ายๆ คือให้ใช้ค่าครึ่งหนึ่งของอัตราการให้น้ำจำเพาะ (specific yield) ของบ่อคูณด้วยระดับน้ำที่ใช้เพื่อทำการขับดันการเติมน้ำลงไป ค่าระดับของแรงดันน้ำสามารถหาได้จากผลต่างในแนวดิ่งระหว่างค่าระดับความดันน้ำหรือระดับน้ำบาดาลกับระดับผิวดิน อย่างไรก็ตามจะไม่สามารถคาดการณ์รูปร่างของกราฟการลดลงของอัตราการเติมน้ำได้ เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของตะกอนในชั้นน้ำบาดาล

(7.8) ข้อจำกัดในการเลือกพื้นที่ก่อสร้างระบบของโครงการ

(7.8.1) คุณภาพของข้อมูลที่หาได้ทางด้านอุทกธรณีวิทยาและผลวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำบาดาลในบริเวณบ้านหนองตะพาน อ.บ้านค่าย ไม่เพียงพอสำหรับการนำมาใช้ในการออกแบบระบบ ASR อย่างเต็มรูปแบบและยังไม่เพียงพอสำหรับโครงการนำร่อง

(7.8.2) ชั้นน้ำ Qa และ Qcl เป็นชนิดมีแรงดัน จึงไม่เหมาะสมสำหรับโครงการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ค่าระดับแรงดันน้ำอยู่ตื้นจึงไม่เหมาะสม แม้ว่าอาจมีชั้นน้ำบาดาลแบบไร้แรงดันก็ตาม

(7.8.3) ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บของชั้นน้ำบาดาล ที่หนองตะพาน และพื้นที่รอบๆ มีค่าต่ำ (1 x 10-4 ถึง 8 x 10-4) เพราะมันอยู่ภายใต้แรงดัน และปริมาตรน้ำที่จะสามารถกักเก็บได้ค่อนข้างน้อยมาก สภาพการกักเก็บน้ำส่วนใหญ่ขึ้นกับการบีบอัดน้ำบาดาลเดิมในชั้นน้ำ ค่าสัมประ-สิทธิ์ของการบีบอัด (compressibility) ของน้ำมีค่าต่ำมากๆ ประมาณ 4.76 x 10-6 ต่อม.ของแรงดันน้ำ และหากรวมกับค่าสัมประสิทธิ์ของการบีบอัดของแร่ที่มีอยู่ในชั้นน้ำยิ่งต่ำลงไปกว่านี้อีก

(7.8.4) ค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (T) ของชั้นน้ำบาดาลทั้งสองมีค่าต่ำกว่ามาก เนื่องจากมีตะกอนดินเหนียวปนอยู่มาก ซึ่งเป็นตัวขัดขวางทำให้การเติมน้ำทำได้ยากขึ้น บ่อน้ำบาดาลในชั้นน้ำ Qcl ซึ่งมีประสิทธิภาพดี ก็สามารถเติมน้ำได้ประมาณ 3 และ 4 ลบ.ม./ชม.ในระยะยาว ซึ่งนับว่าต่ำมากไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ภายใต้สถานการณ์ใดๆ ก็ตาม

(7.8.5) น้ำบาดาลและน้ำผิวดินในพื้นที่อ.บ้านค่ายและโดยรอบๆ หุบเขา มีปริมาณเหล็กและแมงกานีสสูงมากๆ การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ก่อนเติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล แม้ในอัตราเติมน้ำที่ต่ำมากจำเป็นต้องขจัดออกซิเจนในน้ำให้เหลือปริมาณที่น้อยที่สุดรวมทั้งต้องมีระบบขจัดฟองอากาศด้วย (de-aeration)

บทที่ 3
สภาพทางกายภาพของลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จ.พิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร และการคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมในการเติมน้ำผ่านระบบสระน้ำ

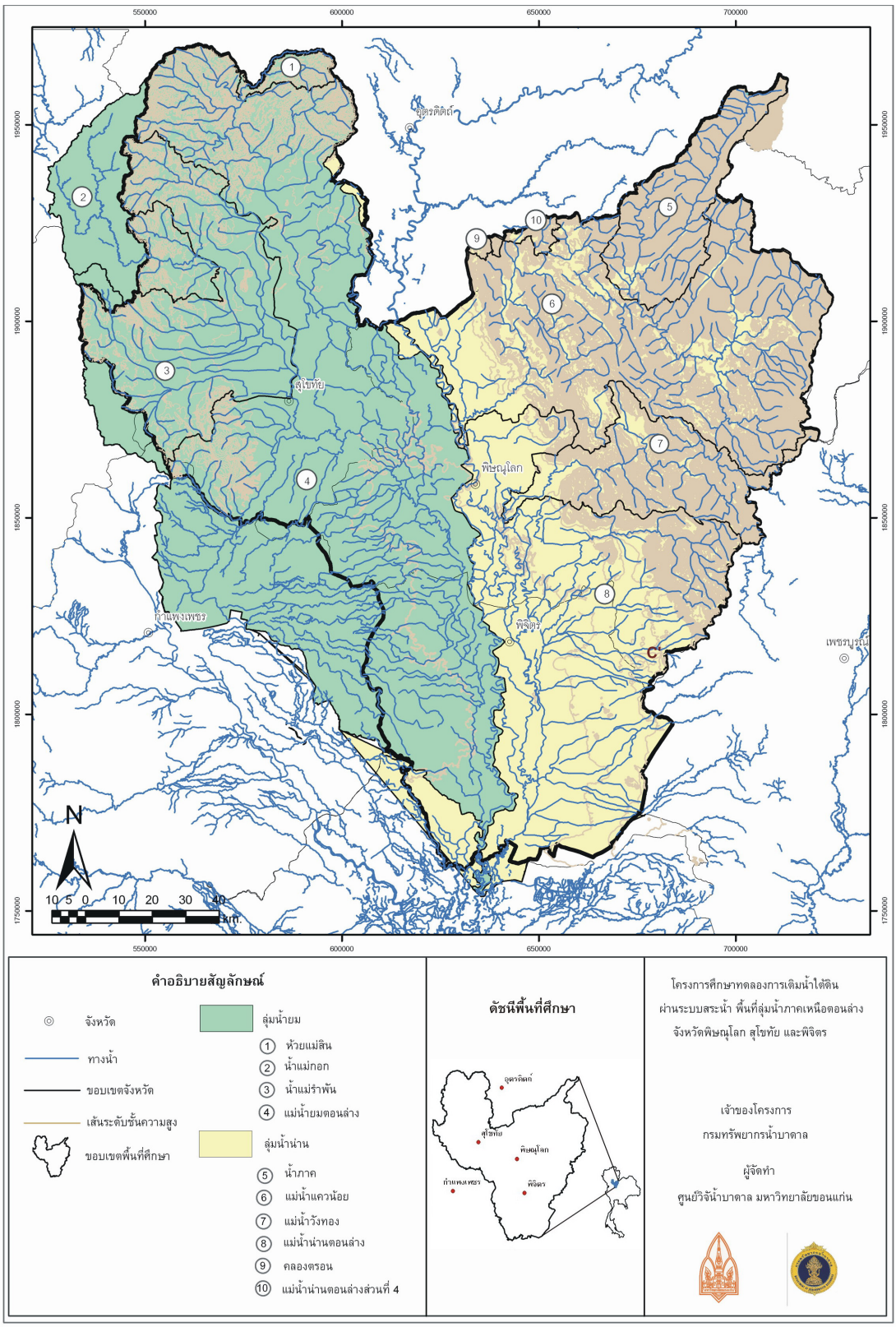
พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตภาคเหนือตอนล่างหรือบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนบน ครอบคลุมพื้นที่ จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร มีขนาด 13.31 ล้านไร่ หรือ 21,300 ตร.กม. มีอาณาเขตด้านเหนือติดกับ จ.แพร่และอุตรดิตถ์ ด้านใต้ติดกับ จ.นครสวรรค์ ด้านตะวันออกติดกับ จ.เลยและเพชรบูรณ์ และด้านตะวันตกติดกับ จ.ลำปาง ตาก และกำแพงเพชร

3.1 ภูมิประเทศ

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตภาคเหนือตอนล่างหรือบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนบน ประกอบด้วย บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน ดังแสดงในรูปที่ 3-1 ลักษณะภูมิประเทศสูงทางด้านทิศเหนือและค่อยๆ ลาดเทลงไปทางตอนใต้ไปยังที่ราบตอนกลางในเขต จ.นครสวรรค์ และต่อลงไปยังเขตภาคกลางตอนล่าง แม่น้ำในเขตนี้จะไหลแรงและเร็วกว่าแม่น้ำทางตอนล่าง ตั้งแต่ จ.นครสวรรค์ลงไป มีการครูดกัดพื้นดินที่น้ำไหลผ่าน พากรวดทรายและโคลนมาทับถม มีการกัดเซาะพังทลายของบริเวณฝั่งแม่น้ำสูงกว่าบริเวณที่ราบภาคกลางตอนล่าง ลักษณะภูมิประเทศแบ่งได้เป็น 3 พื้นที่ดังนี้

3.1.1 พื้นที่ทางทิศตะวันออกของแม่น้ำน่าน ประกอบด้วยพื้นที่ที่เป็นภูเขาและเทือกเขาประมาณ 1 ใน 2 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนที่เหลือเป็นที่ราบ ส่วนของภูเขามีความสูงในระดับปานกลางถึงสูงมาก จุดที่สูงที่สุด คือ ภูสอยดาว อ.ชาติตระการ (2,102 ม. รทก.) และภูหินร่องกล้า อ.นครไทย (1,617 ม. รทก.) จ.พิษณุโลก ดังนั้นส่วนนี้จึงมีอากาศหนาวเย็นตลอดปีและถูกปกคลุมด้วยป่าไม้ และมีน้ำตกจำนวนมาก ที่ราบมีแม่น้ำหลายสายไหลผ่าน เช่น แม่น้ำน่าน แม่น้ำแควน้อยและแม่น้ำวังทอง บริเวณที่ราบแบบลูกฟูก (undulating plain) มีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 33-37 ม. ที่ อ.เมืองพิจิตรและ อ.บางมูลนาก บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำ (alluvial plain) เป็นดินที่เกิดจากอิทธิพลของน้ำพัดพามาทับถมมีลักษณะพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ เป็นที่ราบทางฝั่งซ้ายของแม่น้ำน่าน พื้นที่จะค่อยๆ สูงจากบริเวณริมฝั่งแม่น้ำลาดชันขึ้นไปทางตะวันออก เป็นลานตะพักน้ำระดับกลางติดต่อกับ อ.เนินมะปราง จ.พิษณุโลก และ อ.ชนแดน จ.เพชรบูรณ์ พื้นที่บริเวณขอบด้านตะวันออกนี้จะเป็นภูเขาโดดๆ หรือเนินเขากระจายกันอยู่ห่างๆ

3.1.2 พื้นที่ราบระหว่างแม่น้ำยมกับแม่น้ำน่าน พื้นที่ทั้งหมดเป็นที่ราบลูกฟูก พื้นที่สูงทางด้านเหนือของ จ.ในเขต อ.เมืองพิจิตร และลาดต่ำลงไปทางทิศใต้ในเขต อ.โพทะเล และ อ.บางมูลนาก ตามทิศทางการไหลของแม่น้ำ นอกจากแม่น้ำน่าน และแม่น้ำยมแล้ว ยังมีแม่น้ำพิจิตร หรือแม่น้ำน่านเก่า บางบริเวณในเขตนี้เป็นที่ราบน้ำท่วมถึงในฤดูฝนที่มีน้ำท่วม สำหรับแม่น้ำพิจิตรในเขตตำบลคลองคะเชนทร์มีทะเลสาบรูปแอกวัว (oxbow lake) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่แม่น้ำคดเคี้ยวมากจนลัดทางเดินใหม่ แนวแม่น้ำเดิมที่คดเคี้ยวจึงกลายเป็นทะเลสาบรูปแอกวัวขึ้น สภาพพื้นที่ราบระหว่างแม่น้ำน่านและแม่น้ำยมเป็นที่ราบดินตะกอนลุ่มน้ำ เกิดจากการตกตะกอนของแม่น้ำน่าน แม่น้ำพิจิตร แม่น้ำยม และสาขาของแม่น้ำทั้ง 3 พัดพาเอาตะกอนมาทับถม



รูปที่ 3-1 สภาพพื้นที่ทั่วไปของ จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร

3.1.3 พื้นที่ทางทิศตะวันตกของแม่น้ำยม สภาพพื้นที่ติดกับแม่น้ำยมเป็นที่ราบน้ำท่วมถึงในฤดูฝนแม่น้ำยมเอ่อล้นฝั่งอยู่เสมอ จากที่ราบแม่น้ำยมพื้นที่ลาดชันไปทางตอนกลาง ซึ่งเป็นพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมหมดสภาพ พื้นที่มีระดับความสูงเพิ่มขึ้นและลาดชันสูงขึ้นไปทางตะวันตกที่ติดต่อกับ จ.นครสวรรค์ และ จ.กำแพงเพชร พื้นที่บริเวณนี้เป็นดินตะกอนลุ่มน้ำเกิดจากตะกอนแม่น้ำยมและสาขาพัดพามาทับถม

3.2 ภูมิอากาศและอุตุนิยมวิทยา

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาอยู่ในเขตอิทธิพลของลมมรสุม ได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้มีลักษณะอากาศหนาวเย็นและแห้ง อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้มีฝนตกและอากาศชุ่มชื้น ฤดูหนาวอยู่ในช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ฤดูร้อนช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม และฤดูฝนช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาปี พ.ศ. 2540-2552 จำนวน 4 สถานี พบว่าพื้นที่ศึกษามีอุณหภูมิเฉลี่ย 28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 71-75 ปริมาณการระเหยจากถาดประมาณ 1,300 - 1,400 มม./ปี และความเร็วลมเฉลี่ย 0.8-2.3 น็อต พื้นที่ศึกษามีสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 31 สถานี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 1,200 มม. ดังแสดงในตารางที่ 3-1 และรูปที่ 3-2 รายละเอียดของข้อมูลแสดงในภาคผนวก ก

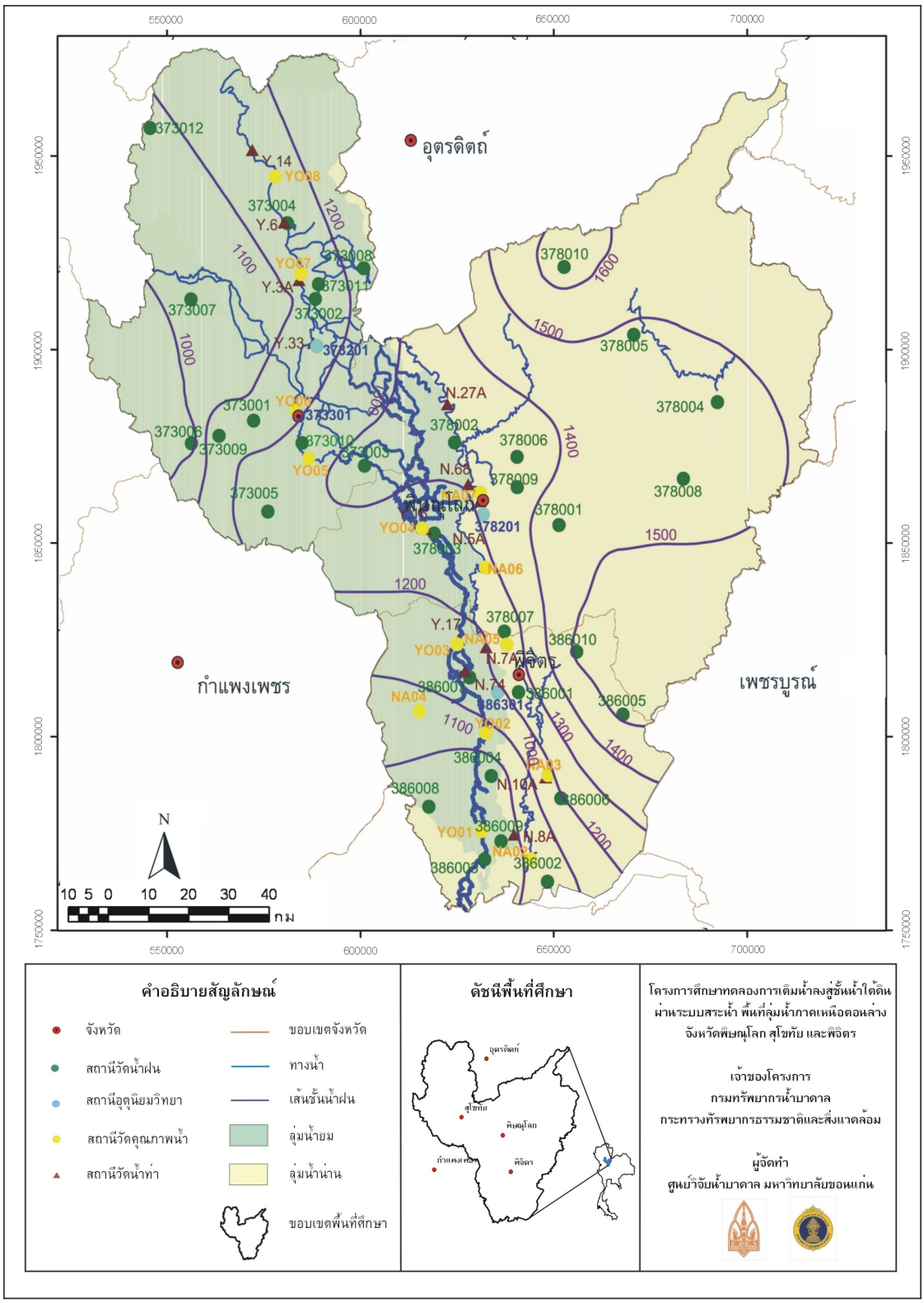
ตารางที่ 3-1 สภาพภูมิอากาศในเขตพื้นที่ จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร

จังหวัด	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (ร้อยละ)	ปริมาณการระเหยจากถาดตรวจวัดเฉลี่ยรายปี (มม.)	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี (มม.)	ความเร็วลมเฉลี่ย (น็อต)
	เฉลี่ยต่ำสุด	เฉลี่ยสูงสุด	เฉลี่ย				
พิษณุโลก	35.9	19.9	28.0	71.7	1,258.5	1,200	1.37
พิจิตร	35.4	20.3	28.0	74.9	1348.9	1,300	0.83
สุโขทัย	36.2	19.4	27.6	71.0	1,402.8	1,100	2.28

(ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา, 2552)

3.3 อุทกวิทยา

การศึกษาลักษณะทางอุทกวิทยาของพื้นที่ จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร เพื่อรวบรวมข้อมูลแหล่งน้ำและคุณภาพน้ำจากการติดตามตรวจวัดของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาวิเคราะห์และเป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจคัดเลือกพื้นที่เป้าหมายของการศึกษาเติมน้ำต่อไป คณะที่ปรึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลด้านอุทกวิทยาไว้ดังนี้



รูปที่ 3-2 ลักษณะภูมิอากาศและอุตุนิยมวิทยาของ จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร

3.3.1 แหล่งน้ำผิวดิน

แหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญในเขตพื้นที่ จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร ได้แก่ แม่น้ำน่าน และแม่น้ำยม แบ่งเขตพื้นที่ออกตามขอบเขตลุ่มน้ำหลักและลุ่มน้ำสาขาย่อย ดังแสดงในตารางที่ 3-2 และรูปที่ 3-1

ตารางที่ 3-2 รายละเอียดลุ่มน้ำหลักและลุ่มน้ำสาขาในพื้นที่ จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร

รหัสลุ่มน้ำ	ลุ่มน้ำหลัก	รหัสลุ่มน้ำสาขา	ลุ่มน้ำสาขา	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)
08	ลุ่มน้ำยม	08.09	ห้วยแม่สิน	319.99
		08.10	แม่มอก	645.33
		08.11	แม่รำพัน	2,628.91
		18.12	แม่น้ำยมตอนล่าง	10,436.41
รวม				14,030.66
09	ลุ่มน้ำน่าน	09.07	น่านส่วนที่ 3	2,032.29
		09.11	น่านส่วนที่ 4	2,480.29
		09.12	น้ำปาด	2,427.77
		09.13	คลองตรอน	1,316.80
		09.14	แควน้อย	4,595.93
		09.15	น้ำภาค	996.36
		09.16	วังทอง	1,209.15
		09.17	น่านตอนล่าง	4,680.29
รวม				19,738.88

1) แม่น้ำน่าน มีต้นน้ำจากดอยภูแวในเทือกเขาหลวงพระบาง ซึ่งอยู่ในเขต อ.ปัว จ.น่าน ลำน้ำจะไหลผ่าน อ.ปัว อ.ท่าวังผา จนถึง อ.เมืองน่าน โดยมีที่ราบแคบ ๆ สองฝั่งลำน้ำติดต่อไปจนถึง อ.เวียงสา จากนั้นจึงไหลเข้าสู่หุบเขาอีกครั้งหนึ่ง ผ่านท้องที่ อ.นาน้อย จ.น่าน ไหลผ่าน อ.ท่าปลา จ.อุตรดิตถ์ มีลำน้ำสาขาใหญ่ของแม่น้ำน่าน คือ ลำน้ำปาด ซึ่งเป็นลำน้ำสาขาใหญ่สายแรกในจำนวน 4 สายไหลมาบรรจบทางฝั่งซ้ายของแม่น้ำน่าน ไหลต่อไปทางทิศตะวันตก ผ่าน อ.เมืองอุตรดิตถ์ ออกสู่ทุ่งราบเชิงเขา ไหลลงทางทิศใต้ตลอดสาย โดยผ่าน อ.ตรอน ซึ่งมีลำน้ำสาขาใหญ่สายที่ 2 คือ คลองตรอนไหลมาบรรจบกับแม่น้ำน่าน จาก อ.ตรอนแม่น้ำน่านไหลลงทางทิศใต้ ผ่าน อ.พิชัย จ.อุตรดิตถ์ เข้าสู่เขต อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก มีแม่น้ำแควน้อยซึ่งเป็นลำน้ำสาขาใหญ่ที่สุดของแม่น้ำน่านไหลมาบรรจบ จากนั้นจึงไหลผ่านที่ตั้ง จ.พิษณุโลก ผ่าน อ.บางกระทุ่ม เข้าสู่ท้องที่ อ.เมืองพิจิตร และมีแม่น้ำวังทองซึ่งเป็นลำน้ำสายใหญ่สายสุดท้ายไหลมารวมทางฝั่งซ้ายของแม่น้ำน่านไหลผ่านที่ตั้งตัว จ.พิจิตร ผ่าน อ.ตะพานหิน อ.บางมูลนาก เข้าสู่เขต อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์ แม่น้ำมีลักษณะคดเคี้ยว และเปลี่ยนทางเดินบ่อยครั้ง ทำให้มีสภาพเป็นหนอง บึงเล็ก ๆ ปรากฏอยู่ทั่วไป ลำน้ำสาขาของแม่น้ำน่านส่วนที่อยู่ในเขตพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีต้นกำเนิดอยู่ในเทือกเขาเพชรบูรณ์ ลำน้ำส่วนใหญ่เป็นลำน้ำขนาดเล็กซึ่งมีน้ำเฉพาะฤดูฝนเท่านั้นนอกจากแม่น้ำแควน้อยและแม่น้ำวังทองที่มีน้ำไหลตลอดทั้งปี

2) แม่น้ำยม มีต้นกำเนิดอยู่ในดอยขุนยวม เทือกเขาผีปันน้ำ ซึ่งอยู่ในเขต อ.ปง จ.พะเยา ไหลลงทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผ่านหุบเขาที่ปกคลุมด้วยป่า และมีความลาดเทมาก มีที่ราบแคบๆ ริมแม่น้ำเป็นบางตอน เมื่อเข้าเขต จ.แพร่มีลำน้ำขาวไหลมาบรรจบ และไหลลงมาทางใต้ เริ่มออกสู่พื้นที่ราบผืนใหญ่ในเขต จ.แพร่ จาก อ.สอง อ.เมืองแพร่ อ.สูงเม่น ไปจนถึง อ.เด่นชัย ต่อจากนั้นแม่น้ำยมไหลไปทางทิศตะวันตกเข้าสู่หุบเขาก่อนถึง อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย แม่น้ำยมไหลลงทางใต้เข้าสู่บริเวณที่ราบ ซึ่งเริ่มตั้งแต่ อ.ศรีสัชนาลัยติดต่อกันลงไป แม่น้ำยมในช่วงนี้มีความลาดเทน้อยลง จาก อ.ศรีสัชนาลัย แม่น้ำยมไหลลงทางทิศใต้ และมีแนวขนานคู่เคียงกับแม่น้ำน่านเข้าสู่เขต จ.พิจิตรที่ อ.สามง่าม จาก อ.สามง่าม และยังคงไหลคู่ขนานกับแม่น้ำน่านผ่าน อ.โพธิ์ประทับช้าง กิ่ง อ.บึงนาราง อ.โพทะเล จนเข้าเขต จ.นครสวรรค์ โดยไหลบรรจบกับแม่น้ำน่านที่บ้านเกยชัย อ.ชุมแสง จ.นครสวรรค์ แม่น้ำยมมีลักษณะคดเคี้ยว พบร่องรอยการเปลี่ยนแปลงทางเดินของลำน้ำเก่ามีสภาพเป็นหนอง บึงขนาดต่างๆ ปรากฏอยู่ทั่วไปในที่ราบลุ่ม ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าแม่น้ำน่าน แต่มีความยาวน้อยกว่า ลำน้ำสาขาของแม่น้ำยมส่วนใหญ่มีต้นกำเนิดอยู่ในที่ราบลุ่มระหว่างลุ่มแม่น้ำปิงและลุ่มแม่น้ำยมในแนวตะวันตก-ตะวันออก

3) แม่น้ำพิจิตร คือทางเดินเก่าของแม่น้ำน่าน ต้นน้ำของแม่น้ำพิจิตรนั้นไหลแยกมาจากแม่น้ำน่านที่บ้านวังกระดี่ทอง ในท้องที่ อ.เมืองพิจิตร มีทิศทางการไหลของน้ำอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ สภาพลำน้ำคดเคี้ยว บางแห่งร่องน้ำตื้นเขินและแห้งในฤดูแล้ง เนื่องจากมีฝายกั้นน้ำไว้เป็นช่วงๆ เพื่อสูบขึ้นมาใช้ทำสวนผลไม้ต่างๆ แม่น้ำพิจิตรอยู่ระหว่างแม่น้ำยมกับแม่น้ำน่าน โดยไหลผ่านท้องที่ อ.เมืองพิจิตร อ.โพธิ์ประทับช้าง อ.ตะพานหิน แล้วไหลมาบรรจบกับแม่น้ำยมที่บ้านบางคลาน อ.โพทะเล

4) แม่น้ำแควน้อย ต้นกำเนิดจากภูเขาสูงทางตะวันออกเฉียงเหนือของ จ.พิษณุโลก บริเวณภูเขาไก่น้อยภูขัด ผ่านหุบเขา และท้องทุ่งบริเวณ อ.ชาติตระการ อ.วัดโบสถ์ ไหลเข้าเขต อ.จอมทอง อ.เมืองพิษณุโลก รวมยาวประมาณ 185 กม.

5) แม่น้ำวังทอง มีต้นน้ำอยู่ที่ภูเขาพลูป่าหิน ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ของ จ.พิษณุโลก ระยะต้นน้ำเรียกว่าแม่น้ำเข็ก ไหลผ่านป่าเขาทำให้เกิดคลอง หนอง บึง หลายแห่งจนไปบรรจบกับแม่น้ำน่ายที่บ้านท่าพอ อ.เมืองพิจิตร จ.พิจิตร มีความยาว ประมาณ 135 กม.

6) แม่น้ำเหือง มีต้นกำเนิดจากกลุ่มภูเขาสูงใน จ.พิษณุโลก คือ ภูไก่ห้อย ภูกวาง ในเขต อ. ชาติตระการ แม่น้ำเหืองซึ่งจะไหลบรรจบกับแม่น้ำโขงนอกเขตแดนไทย

นอกจากแม่น้ำทั้ง 6 สายนี้แล้ว ยังมีแหล่งน้ำผิวดินที่เป็นหนอง บึงต่างๆ กระจายอยู่เป็นจำนวนมาก ตารางที่ 3-3 และรูปที่ 3-3 แสดงรายละเอียดของสถานีวัดการไหลของน้ำ เมื่อพิจารณาปริมาณการไหลในแม่น้ำยมที่สถานี Y.16 อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก มีค่าเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 550 ลบ.ม./วินาที ในฤดูน้ำหลาก (เดือนตุลาคม) และมีค่าต่ำสุดในฤดูแล้ง (เดือนกุมภาพันธ์) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 3 ลบ.ม./วินาที ส่วนแม่น้ำน่านที่สถานี N.74 อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก มีค่าเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 870 ลบ.ม./วินาที ในฤดูน้ำหลาก (เดือนกันยายน) และมีค่าต่ำสุดในฤดูแล้ง (เดือนธันวาคม) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 240 ลบ.ม./วินาที แสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนตัวของน้ำในแม่น้ำยมมีลักษณะที่เร็วและมีการไหลเสริมจากน้ำบาดาล (baseflow) น้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 3-3 ดังนั้นการเลือกพื้นที่เติม

น้ำโดยใช้แหล่งน้ำดิบจากแม่น้ำยมจึงเป็นแนวทางการแก้ปัญหาน้ำท่วมและเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำที่ชาญฉลาดวิธีหนึ่ง รายละเอียดข้อมูลปริมาณน้ำท่าแสดงไว้ในภาคผนวก ข

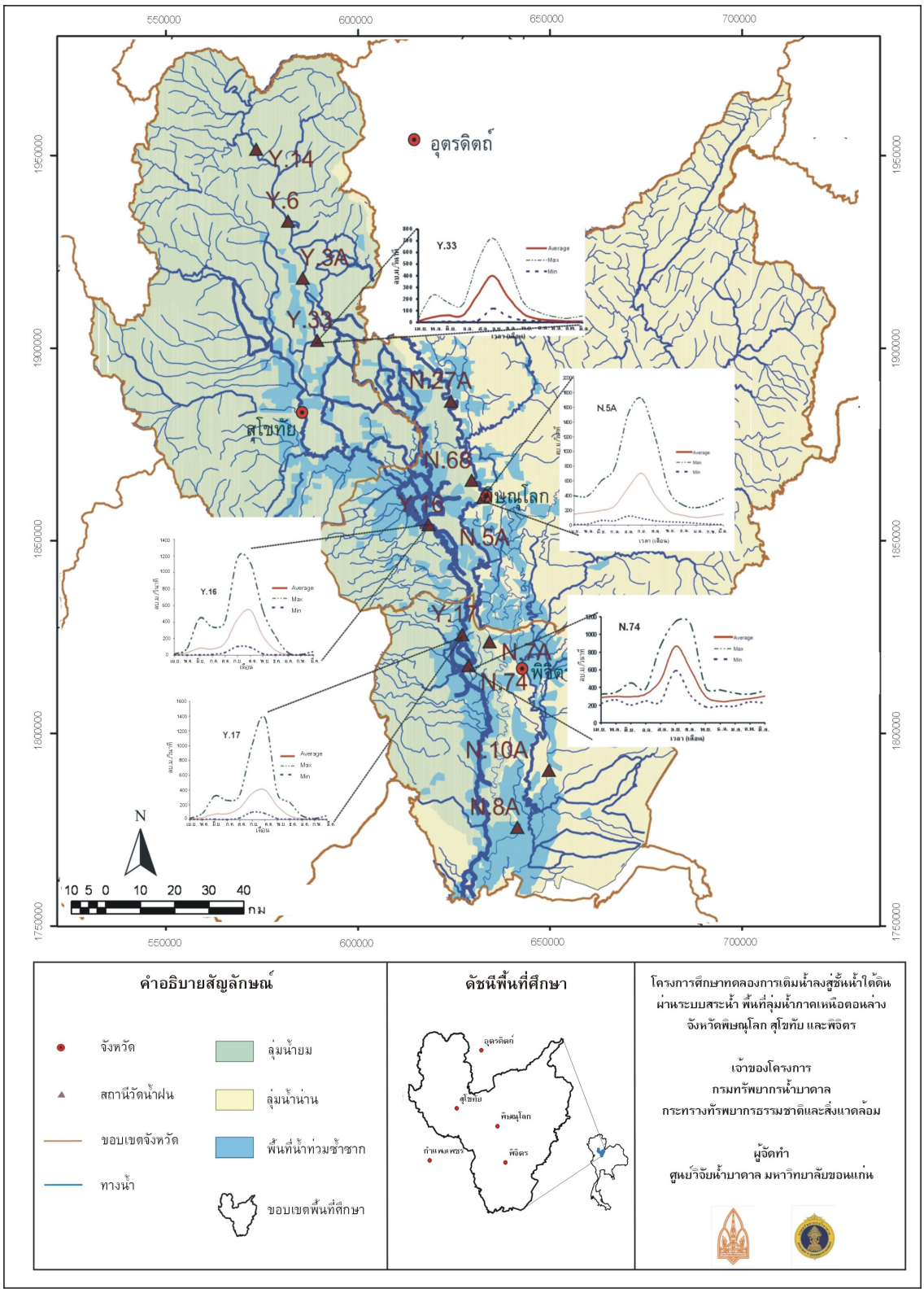
ตารางที่ 3-3 สถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านใน จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร

ลำดับที่	สถานี	ตำแหน่ง		ที่ตั้งสถานี	อำเภอ	จังหวัด	แม่น้ำ	ช่วงข้อมูล	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)
		พิกัด X	พิกัด Y						
แม่น้ำยม									
1	Y.3A	588057	1913824	บ้านวังไม้ขอน	สวรรคโลก	สุโขทัย	ยม	2511-2549	13,583
2	Y.6	584132	1927760	บ้านแก่งหลวง	ศรีสัชนาลัย	สุโขทัย	ยม	2497-2549	12,585
3	Y.14	576277	1945524	บ้านดอนระเบียง	ศรีสัชนาลัย	สุโขทัย	ยม	2507-2549	12,131
4	Y.16	620233	1853316	บ้านบางระกำ	บางระกำ	พิษณุโลก	ยม	2510-2549	20,841
5	Y.17	629250	1826169	บ้านสามง่าม	สามง่าม	พิจิตร	ยม	2510-2549	21,415
6	Y.33	591934	1898351	บ้านคลองตาล	ศรีสำโรง	สุโขทัย	ยม	2533-2549	-
แม่น้ำน่าน									
7	N.68	630208	1863482	บ้านท่าตะเคียน	เมือง	พิษณุโลก	น่าน	2542-2549	22,413
8	N.74	630481	1818754	บางกระทุ่ม	บางกระทุ่ม	พิษณุโลก	น่าน	2544-2549	25,589
9	N.27A	626092	1883440	ท้ายเขื่อนนเรศวร	พรหมพิราม	พิษณุโลก	น่าน	2509-2549	19,540
10	N.5A	634639	1860165	ในเมือง	เมืองพิษณุโลก	พิษณุโลก	น่าน	2494-2549	25,286
11	N.10A	651454	1792872	ตะพานหิน	ตะพานหิน	พิจิตร	น่าน	2517-2549	30,765
12	N.8A	644587	1778822	บางมูลนาก	บางมูลนาก	พิจิตร	น่าน	2544-2549	32,878
13	N.7A	638360	1823511	บ้านราชช้างขวัญ	เมืองพิจิตร	พิจิตร	น่าน	2544-2549	29,153

(ที่มา : กรมชลประทาน, 2552 ก)

พื้นที่ภาคเหนือตอนล่างได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมที่ค่อนข้างรุนแรงเป็นประจำ สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดินได้จัดทำแผนที่พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากในรอบ 10 ปี (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543) โดยกำหนดนิยามว่าพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก หมายถึง พื้นที่ที่มีการท่วมขังของน้ำบนพื้นผิวดินสูงกว่าระดับปกติและมีระยะเวลาที่น้ำท่วมขังยาวนานอยู่เป็นประจำ จนสร้างความเสียหายต่อพื้นที่เกษตรกรรม ทรัพย์สิน หรือชีวิต จากการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานที่มีผลต่อการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ จ.อุตรดิตถ์ สุโขทัย กำแพงเพชร พิษณุโลก และพิจิตร

การเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่เริ่มต้นตั้งแต่เดือนสิงหาคม - ตุลาคม และในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม เมื่อน้ำเหนือไหลลงมาท่วมพื้นที่และไหลต่อลงไปท่วมในเขตภาคกลางตั้งแต่ จ.กำแพงเพชร นครสวรรค์ ชัยนาท สิงห์บุรี อ่างทอง อยุธยา สุพรรณบุรี นนทบุรี ปทุมธานี และกรุงเทพมหานคร ข้อมูลสภาพการเกิดอุทกภัยใช้เป็นพารามิเตอร์หนึ่งในการคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมในการดำเนินการสร้างระบบเติมน้ำของโครงการ



รูปที่ 3-3 สถานีวัดน้ำท่าและกราฟน้ำท่าในแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านที่ไหลผ่าน จ.สุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร

3.3.2 คุณภาพน้ำผิวดิน

การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำผิวดินกับมาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 แสดงให้เห็นว่าในเชิงกายภาพได้แก่ สี อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง ในแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านมีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ความขุ่นซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ได้มีการกำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำผิวดินแต่มีผลโดยตรงกับแนวทางการเลือกใช้วิธีการบำบัดคุณภาพน้ำก่อนทดลองเติมสู่ชั้นน้ำบาดาลมีค่าประมาณ 80-150 NTU ค่า DO ค่า BOD มีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 2 และ 3 ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์มทั้งหมด (TCB) และแบคทีเรียกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์ม (FCB) อยู่ในช่วงมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ยกเว้นที่สถานี YO05 และ NA06 ที่มีค่าสูงมากกว่ามาตรฐาน ค่าไนเตรตและแอมโมเนียอยู่ในมาตรฐาน มีปริมาณโลหะหนักอยู่ในมาตรฐานเป็นส่วนใหญ่ เหล็กมีค่าอยู่ในช่วง 0.3-3 มก./ล.แต่เนื่องจากไม่มีการกำหนดในมาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 3 จึงเปรียบเทียบกับค่าที่มีการกำหนดในมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค (ไม่เกิน 1.0 มก./ล.) พบว่ามีค่าสูงกว่ามาตรฐาน และเป็นส่วนที่มีการตรวจพบแพร่กระจายทั่วไปในพื้นที่ศึกษาทั้งน้ำผิวดิน น้ำในนาข้าว และน้ำบาดาล สถานีวัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านแสดงในตารางที่ 3-4 และรายละเอียดคุณภาพน้ำในแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านแสดงในภาคผนวก ช

ตารางที่ 3-4 สถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านของกรมควบคุมมลพิษ

ลำดับ	รหัส	ชื่อสถานี	แหล่งน้ำ	พิกัด X	พิกัด Y	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด
1	YO01	สะพานโพทะเล	แม่น้ำยม	634724	1779865	โพทะเล	โพทะเล	พิจิตร
2	YO02	บ.วังจักร	แม่น้ำยม	635834	1803762	โพธิ์ประทับช้าง	โพธิ์ประทับช้าง	พิจิตร
3	YO03	สะพาน บ.สามง่าม	แม่น้ำยม	628413	1825398	สามง่าม	สามง่าม	พิจิตร
4	YO04	สะพานบางระกำ	แม่น้ำยม	619493	1853511	บางระกำ	บางระกำ	พิษณุโลก
5	YO05	สะพานพระร่วง	แม่น้ำยม	590432	1870588	ธานี	เมืองสุโขทัย	สุโขทัย
6	YO06	สะพาน บ.วังหินพัฒนา	แม่น้ำยม	587186	1882108	ปากแคว	เมืองสุโขทัย	สุโขทัย
7	YO07	จุดสูบน้ำดิบใกล้สะพานแขวน	แม่น้ำยม	588407	1915319	สวรรคโลก	สวรรคโลก	สุโขทัย
8	YO08	สะพาน รีสัชนาลัย	แม่น้ำยม	581859	1938921	หาดเสี้ยว	ศรีสัชนาลัย	สุโขทัย
9	NA02	สะพาน ต.บางมูลนาก	แม่น้ำน่าน	647306	1773097	บางมูลนาก	บางมูลนาก	พิจิตร
10	NA03	สะพาน รัฐราษฎร์รังสรรค์	แม่น้ำน่าน	651748	1793508	ห้วยเกตุ	ตะพานหิน	พิจิตร
11	NA04	วัดท่าหลวง	แม่น้ำน่าน	618763	1809049	ท่าหลวง	เมือง	พิจิตร
12	NA05	สะพาน ต.ในเมือง	แม่น้ำน่าน	641149	1825285	ในเมือง	เมือง	พิจิตร
13	NA06	สะพานวัดสว่างอารมณ์	แม่น้ำน่าน	635708	1843927	ท่าทอง	เมือง	พิษณุโลก
14	NA07	วัดโพธิญาณ	แม่น้ำน่าน	634341	1862169	ในเมือง	เมือง	พิษณุโลก

(ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2552 ก)

3.4 ดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ข้อมูลดินในพื้นที่ 3 จังหวัดในการศึกษานี้ได้ทำการจัดกลุ่มดินตามวัตถุต้นกำเนิดดิน โดยใช้การจำแนกดินตามระบบการจำแนกดินประจำชาติ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2552) และอาศัยข้อมูลจากแผนที่ชุดดิน (soil series) จ.พิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร มาตราส่วน 1:100,000 ซึ่งดำเนินการโดยกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2515 จากการศึกษาพบว่าสามารถจัดกลุ่มดินได้เป็น 6 กลุ่ม (ตารางที่ 3-5 และรูปที่ 3-4) ดังนี้

1) Alluvial soils เกิดจากตะกอนน้ำพา ดินในกลุ่มนี้ประกอบด้วย Alluvial soils, Hydromorphic alluvial soils, Low humic gray soils, Non calcic brown soils และ Gray podzolic soils อยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ ครอบคลุมพื้นที่ 11,665 ตร.กม.

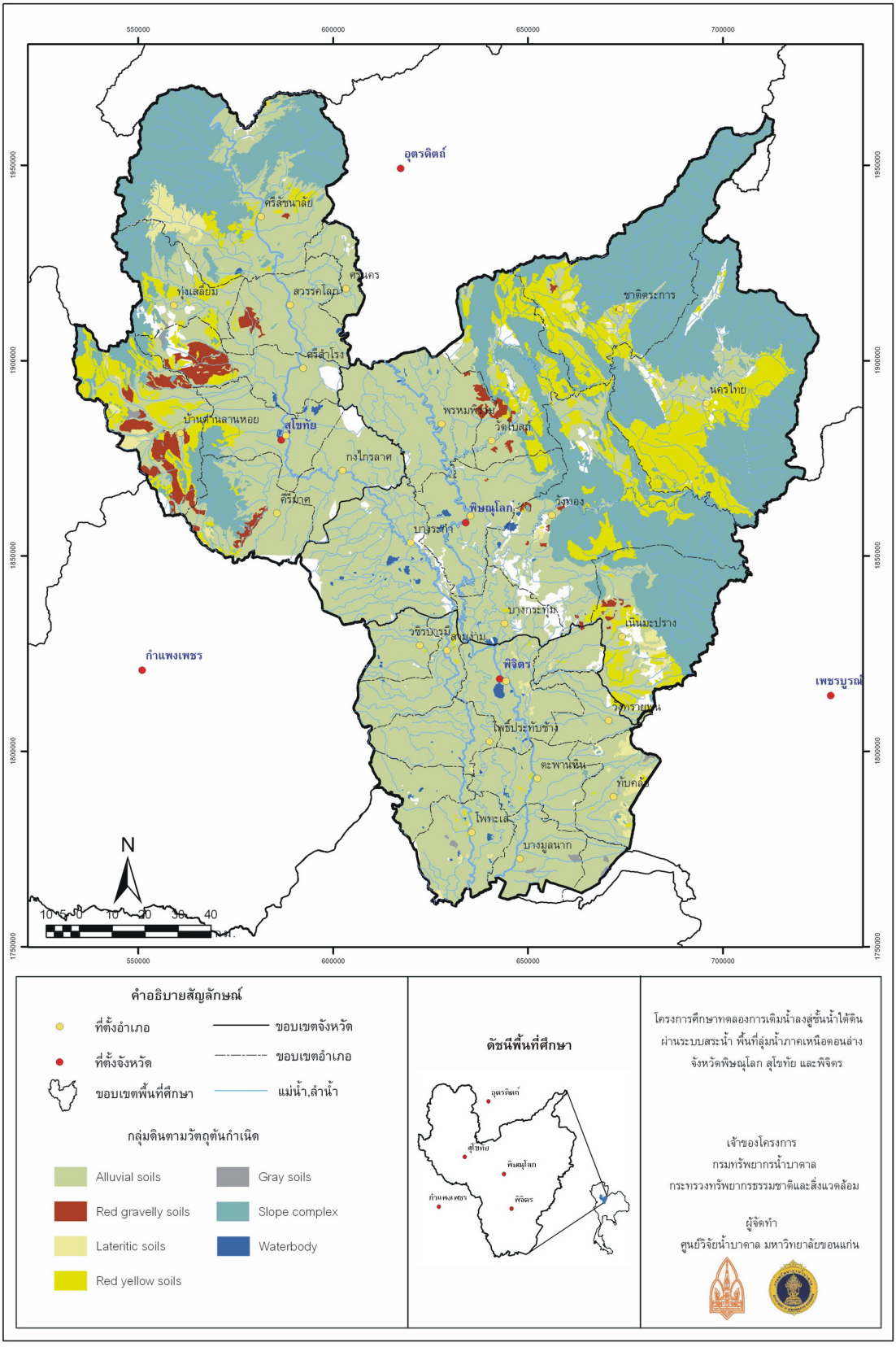
2) Red gravelly soils เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นทราย ดินในกลุ่มนี้ประกอบด้วย Regosols และ Ground water podzols อยู่บริเวณเชิงเขา ครอบคลุมพื้นที่ 353 ตร.กม.

3) Lateritic soils เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดที่เป็นวัตถุตกค้างของหินที่มีปฏิกิริยาเป็นกลางถึงด่าง เช่น หินปูน และมาร์ล พบศิลาแลงในชั้นล่างของหน้าตัดดิน มีสีแดงหรือเหลืองตลอดหน้าตัดดิน ดินในกลุ่มนี้ประกอบด้วย Reddish brown lateritic soils และ Red brown earth ครอบคลุมพื้นที่ 331 ตร.กม.

4) Red yellow soils เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดที่มีปฏิกิริยาเป็นกรดถึงเป็นกลาง สีจะออกแดงเหลืองปนแดงและเหลือง ดินในกลุ่มนี้ประกอบด้วย Red yellow podzolic soils และ Red yellow latosols อยู่บริเวณเชิงเขาครอบคลุมพื้นที่ 2,170 ตร.กม.

5) Gray soils เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดที่มีปฏิกิริยาเป็นด่าง เช่น หินปูน มาร์ล หรือบะซอลต์ มีสีคล้ำตลอดหน้าตัดดิน ดินในกลุ่มนี้ประกอบด้วย Grumusols และ Rendzinas อยู่บริเวณเชิงเขาครอบคลุมพื้นที่ 33 ตร.กม.

6) Slope complex เป็นพื้นที่ภูเขาลาดชัน ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 2,982 ตร.กม.



รูปที่ 3-4 แผนที่กลุ่มดินจำแนกตามวัตถุต้นกำเนิด

ตารางที่ 3-5 การจัดจำแนกกลุ่มดินตามวัตถุต้นกำเนิดดิน

กลุ่ม	กลุ่มดินจำแนกตามวัตถุต้นกำเนิด	กลุ่มดินจำแนกตามระบบการจำแนกดินประจำชาติ	ชุดดิน
S1	Alluvial soils	- Alluvial soils - Hydromorphic alluvial soils - Low humic gray soils - Non calcic brown soils - Gray podzolic soils	Ban, Cn, Cr, Cs, Db, Don, Hd, Kp, Ks, Kt, Kyo, Lk, Lp, Ml, Mn, Ms, Mta, Na, Nn, Np, On, Pb, Ph, Pic, Pm, Pn, Pth, Rb, Re, Rn, Sai, Sb, Sg, Sir, Sin, Sp, Sri, Tm, Tp, Tph, Utt
S2	Red gravelly soils	- Regosols - Ground water podzols	Bar, Ng, Ub, Yl, Wk
S3	Lateritic soils	- Reddish brown lateritic soils - Red brown earth	Bg, Bpo, Ch, Cg, Ct, Li, Mt, Pc, Sk, Tl, Wi, Ws
S4	Red yellow soils	- Red yellow latosols - Red yellow podzolic soils	Bd, Ds, Hc, Ky, Ly, Mk, Mr, Pp, Sa, Suk, Ssr, Ty, Wn
S5	Gray soils	- Grumusols - Rendzinas	Nu, Tk, Tr, Wa
SC	Slope complex		

การใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง อาศัยข้อมูลจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน จ.พิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร มาตราส่วน 1: 50,000 ซึ่งดำเนินการโดยกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2543 จำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่นๆ (ดังรูปที่ 3-5) ได้แก่

1) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ได้แก่ ตัวเมืองและย่านการค้า หมู่บ้าน สถานที่ราชการ สถานีคมนาคม ย่านอุตสาหกรรม และอื่นๆ

2) พื้นที่เกษตรกรรม แบ่งเป็น 4 แบบ ได้แก่

2.1) พื้นที่นานอกเขตชลประทาน

2.2) พื้นที่นาในเขตชลประทาน

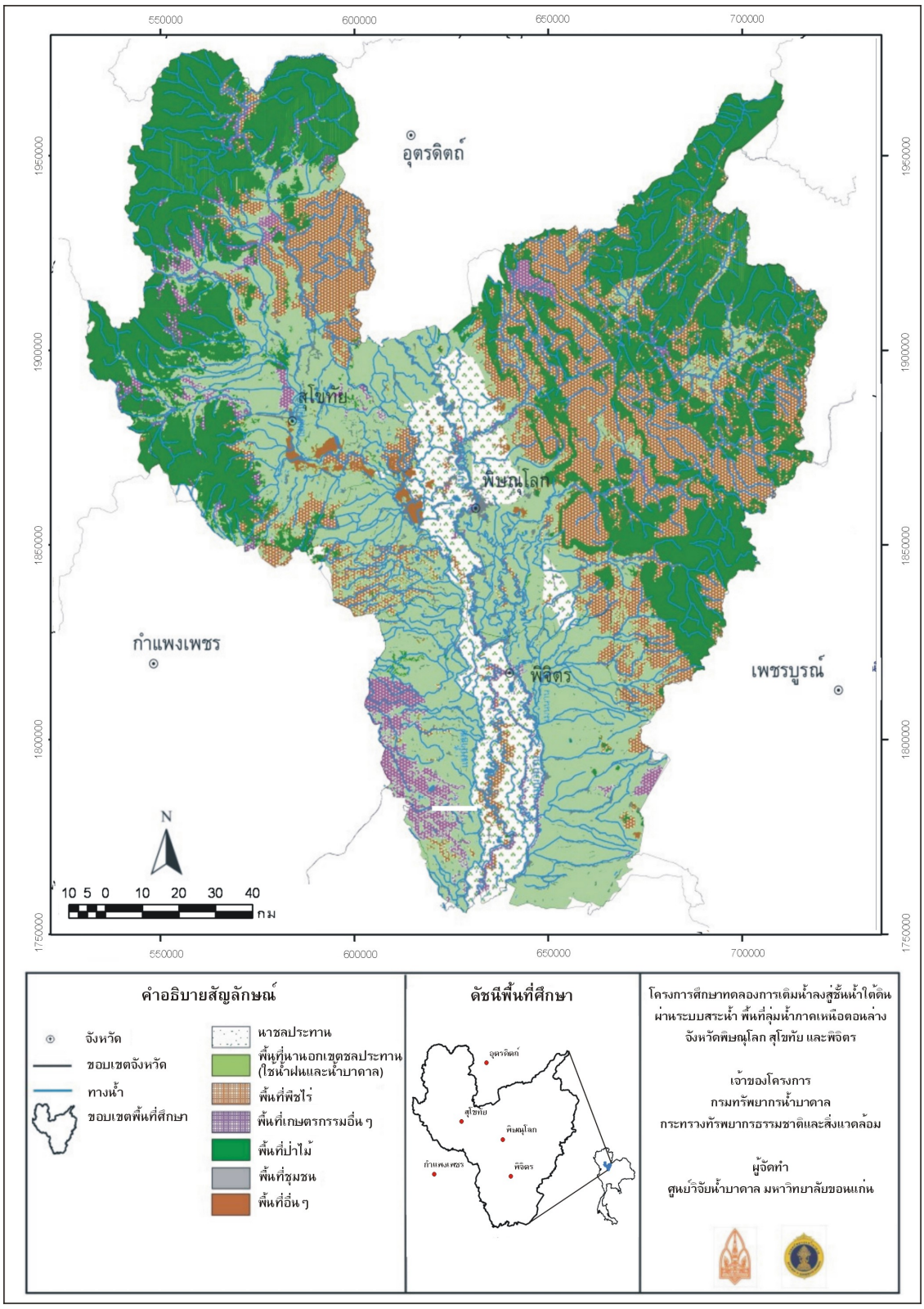
2.3) พื้นที่ปลูกพืชไร่

2.4) พื้นที่เกษตรกรรมอื่นๆ ประกอบด้วย ไม้ยืนต้น ไม้ผล พืชสวน ไร่หมุนเวียน ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ พื้นที่ปลูกพืชน้ำ พื้นที่เลี้ยงสัตว์น้ำ พื้นที่เกษตรผสมผสาน และไร่นาสวนผสม

3) พื้นที่ป่าไม้ ได้แก่ ป่าไม่ผลัดใบ ป่าผลัดใบ สวนป่า และวนเกษตร

4) พื้นที่แหล่งน้ำ ได้แก่ แหล่งน้ำธรรมชาติ และแหล่งน้ำที่สร้างขึ้น

5) พื้นที่อื่นๆ ได้แก่ ทุ่งหญ้าธรรมชาติ พื้นที่ลุ่ม เหมืองแร่และบ่อขุด และอื่นๆ



รูปที่ 3-5 แผนที่การใช้ที่ดิน

3.5 ธรณีวิทยา

3.5.1 ธรณีวิทยาแปรสัณฐานและธรณีวิทยาโครงสร้าง

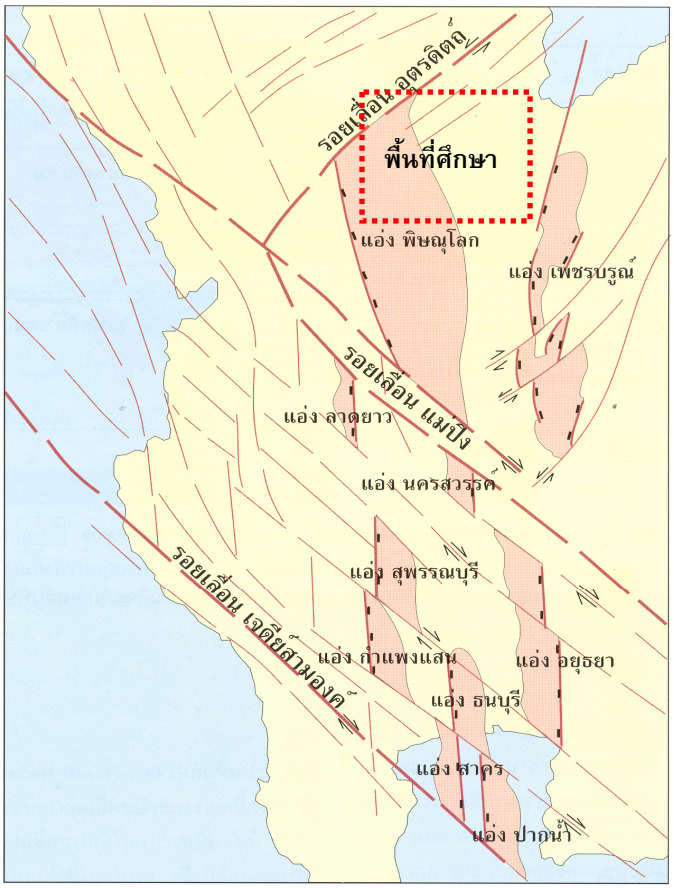
ธรณีวิทยาแปรสัณฐานของพื้นที่ศึกษาประกอบขึ้นด้วยหินฐานธรณีชาน-ไทย และหินฐานธรณีอินโดจีน ซึ่งต่างก็เคลื่อนที่เข้าหากันและเกิดการชนกันของหินฐานธรณีทั้งสองในบริเวณที่เป็นตอนกลางของพื้นที่ศึกษา ในช่วงระยะเวลามหายุคพาลีโอโซอิกตอนปลายจนถึงมีโซโซอิกตอนต้น หลังจากนั้น แผ่นเปลือกโลกอินเดียได้เคลื่อนเข้าชนกับแผ่นเปลือกโลกพม่าตะวันตกส่งผลกระทบถึงหินฐานธรณีชาน-ไทย ในช่วงมหายุคมีโซโซอิกตอนปลายถึงมหายุคซีโนโซอิกตอนต้น ทำให้เกิดแนวของ magmatic arc และ back-arc ทางด้านซีกตะวันตกของพื้นที่ จากกระบวนการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานส่งผลให้เกิดลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างที่สำคัญของพื้นที่ประกอบด้วยรอยคดโค้งของชั้นหินหรือชั้นหินคดโค้ง กลุ่มรอยเลื่อนต่างๆ และรอยชั้นไม่ต่อเนื่อง โดยชั้นหินคดโค้งวางตัวประมาณแนวเหนือ-ใต้ ซึ่งในพื้นที่ประกอบด้วย 1) กลุ่มแนวชั้นหินคดโค้งสุโขทัย ส่วนใหญ่เป็นชั้นหินคดโค้งแบบประทุนคว่ำและประทุนหงายสลับกันเป็นแบบมุมแหลมตลบทับ และอสมมาตร และ 2) กลุ่มแนวชั้นหินคดโค้งเลย ส่วนใหญ่เป็นชั้นหินคดโค้งแบบประทุนคว่ำสลับประทุนหงายแบบอสมาตรสลับกันไปโดยมีแนวแกนประทุนไม่แน่นอนแต่ส่วนใหญ่ประมาณแนวเหนือ-ใต้ ซึ่งจากการเกิดชั้นหินคดโค้งส่งผลให้เกิดกลุ่มรอยเลื่อนหลัก 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) กลุ่มรอยเลื่อนแพร่ วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และ 2) กลุ่มรอยเลื่อนน้ำปาด วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และนอกจากนั้นการเกิดกระบวนการทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานยังผลให้เกิดรอยชั้นไม่ต่อเนื่องระหว่างชั้นหินในมหายุคต่างๆ (กรมทรัพยากรธรณี, 2544) ดังแสดงในรูปที่ 3-6

3.5.2 ธรณีสัณฐาน

ธรณีสัณฐานของพื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

1) ที่ราบน้ำท่วมถึง (flood plain) เป็นที่ราบที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่ถูกพัดพามาโดยแม่น้ำในฤดูน้ำหลาก แต่ละปีน้ำจากแม่น้ำจะไหลท่วมบริเวณนี้ และพัดพาเอาตะกอนมาทับถมทุกปี สภาพพื้นที่จะประกอบด้วย สันดินร่วนลำน้ำ (natural levee) และจะค่อยๆ ลาดลงไปเป็นที่ราบลุ่มลำน้ำ (back swamp) ซึ่งมีบึงโค้งรูปแอก (oxbow lake) เป็นร่องน้ำเก่ากระจายอยู่เป็นระยะๆ พื้นที่โดยทั่วไปเป็นพื้นที่ราบเรียบ ความลาดชันน้อยกว่าร้อยละ 1 พื้นที่ราบน้ำท่วมถึงนี้พบอยู่บริเวณสองฝั่งของแม่น้ำน่านและแม่น้ำยม

2) ตะพักแม่น้ำกึ่งปัจจุบันและตะกอนรูปพัดต่อเนื่อง (semi-recent terrace and coalescing alluvial fans) เกิดจากกระแสน้ำที่ไหลมาจากภูเขาพัดพาเอาตะกอนต่างๆ มาด้วย เมื่อกระแสน้ำไหลผ่านพันหุบเขาหรือเชิงเขาซึ่งเป็นที่ราบ ทำให้กำลังของน้ำลดลง ตะกอนที่ถูกพัดพามาก็จะตกตะกอนมีลักษณะคล้ายรูปพัด ลักษณะพื้นที่เหล่านี้พบทางตะวันตกของพื้นที่ เป็นตะกอนรูปพัดกำแพงเพชร (alluvial fan) และด้านตะวันออกของพื้นที่ ซึ่งเกิดจากตะกอนที่พัดมาจากพื้นที่ในเขต จ. เพชรบูรณ์ สภาพพื้นที่เป็นที่ราบเป็นลูกคลื่นเล็กน้อยโดยเป็นที่ราบสลับกับที่ลุ่ม ชั้นบนบางแห่งมีตะกอนลำน้ำกึ่งปัจจุบันปิดทับอยู่ทางตอนบน ความลาดชันส่วนใหญ่ไม่เกินร้อยละ 3



รูปที่ 3-6 โครงสร้างของแอ่งเทอร์เชียรีบริเวณพื้นที่ศึกษา (กรมทรัพยากรธรณี, 2544)

3) ตะพักลำน้ำ (alluvial terrace) เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำเก่า พื้นที่มีอายุมากกว่าที่ราบน้ำท่วมถึงและตะพักแม่น้ำกึ่งปัจจุบันและตะกอนรูปพัดต่อเนื่อง พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในระดับสูง มีลักษณะเป็นพื้นที่ราบจนถึงเป็นลูกคลื่น ความลาดชันน้อยกว่าร้อยละ 3 บริเวณเหล่านี้ถือว่าในอดีตเคยเป็นที่ราบน้ำท่วมถึงมาก่อน และในปัจจุบันลำน้ำดังกล่าวกัดเซาะผิวดินลึกลงไปอีกระดับหนึ่ง ดังนั้นจึงอยู่สูงกว่าที่ราบน้ำท่วมถึงในปัจจุบันบริเวณนี้โดยมากเกิดมาจากตะกอนลำน้ำเช่นกัน แต่มีลักษณะของเนื้อดินแตกต่างกันไปตามสภาพท้องที่และดินที่เกิดจากตะกอนเก่าของลำน้ำเหล่านี้มีระยะเวลานานพอที่จะพัฒนาชั้นดินต่างๆ ขึ้นมาให้เห็นอย่างชัดเจน

4) พื้นผิวที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน (dissected erosional surface) เป็นบริเวณที่เป็นเนินเขาหรือเทือกเขามาก่อน แต่ผ่านกรรมวิธีปรับระดับอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากการกัดกร่อนมาแล้วในอดีตจนทำให้มีลักษณะพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นจนถึงเนินเขาเตี้ย มีความลาดชันร้อยละ 3-8 ดินที่พบในบริเวณนี้จะมีลักษณะผันแปรไปแล้วแต่ลักษณะของหินในบริเวณนั้นๆ และเป็นดินที่เกิดมาจากการสลายตัวของหินเดิม (residual soil) และเกิดจากการทับถมของหินดินดานเชิงเขา (colluvium)

5) ภูเขา (mountain and hill) เป็นพื้นที่สูงชัน ซึ่งหินพื้นรองรับในระดับตื้นถึงโผล่พันผิวดิน มีลักษณะเป็นโครงสร้างของภูเขาโดดของหินแอนดีไซต์ และไรโอไลต์เป็นส่วนใหญ่ แต่ในบริเวณด้านทิศตะวันออกของ จ.พิษณุโลกเป็นภูเขาสูงที่เป็นแนวต่อเนื่องมาจาก จ.เพชรบูรณ์ สภาพพื้นที่มี

ความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 ดินที่พบในบริเวณนี้มีลักษณะผันแปรแล้วแต่ชนิดของหินในบริเวณนั้นๆ

3.5.3 ชนิดและการกระจายตัวของตะกอน

พื้นที่ราบลุ่มมีวิวัฒนาการจากการขยายตัวของเปลือกโลกในยุคเทอร์เชียรี ต่อมาในสมัยไพลโอซีนตอนปลายถึงสมัยไพลสโตซีนตอนต้น ได้เกิดรอยเลื่อนแบบบล็อกทำให้หินฐานรากในพื้นที่มีการเลื่อนขึ้นลงไปตามแนวของรอยเลื่อนส่วนที่เป็นขอบแอ่งทางด้านตะวันออกได้ยกตัวสูงขึ้นเป็นภูเขา ต่อมาเกิดการผุพังของหินฐานรากตะกอนจึงสะสมตัวอยู่บริเวณขอบแอ่ง ส่วนตะกอนที่สะสมตัวอยู่ตอนบนสุดหรือบริเวณตอนกลางของพื้นที่เป็นตะกอนที่เกิดจากการผุพังและสะสมตัวของช่วงน้ำหลากในสมัยปัจจุบัน ซึ่งลักษณะตะกอนวิทยาของหน่วยหินยุคต่างๆ สรุปได้ดังนี้

1) หินมหายุคพาลีโอโซอิกตอนล่าง (หินยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน) ประกอบด้วยหินปูนสีเทา มีการตกผลึกใหม่ หินดินดานเนื้อทัฟฟ์ หินทราย และหินอ่อน สีขาว โผล่ให้เห็นตามบริเวณ จ.สุโขทัยด้านตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา เรียกกลุ่มหินนี้ว่า กลุ่มหินสุโขทัย ประกอบด้วย 3 หมวดหิน เรียงลำดับจากอายุมากไปหาอายุน้อย ดังนี้

(1.1) หมวดหินทัฟฟ์เขาเขียว (Khao Kieo tuff) พบแผ่กระจายข้ามภูเขาจากตะวันตกถึงตะวันออกใกล้ อ.พรานกระต่าย

(1.2) หมวดหินปูนทุ่งเสลี่ยม (Thung Saliam Limestone) โผล่ให้เห็นตามบริเวณภูเขาในพื้นที่ด้านตะวันตกของ อ.ทุ่งเสลี่ยม ตอนเหนือของ จ.สุโขทัย แผ่กระจายอย่างต่อเนื่องผ่าน จ.กำแพงเพชรถึงบริเวณตะวันตกของ จ.นครสวรรค์เป็นระยะทางประมาณ 200 กม. ทางด้านทิศใต้ของ อ.ทุ่งเสลี่ยม หมวดหินหมวดนี้ประกอบด้วย หินปูนสีเทา มีการตกผลึกใหม่ หินดินดานเนื้อทัฟฟ์ หินทราย และหินอ่อนเนื้อสีขาว หมวดหินทั้งหมดหนาประมาณ 900 ม.

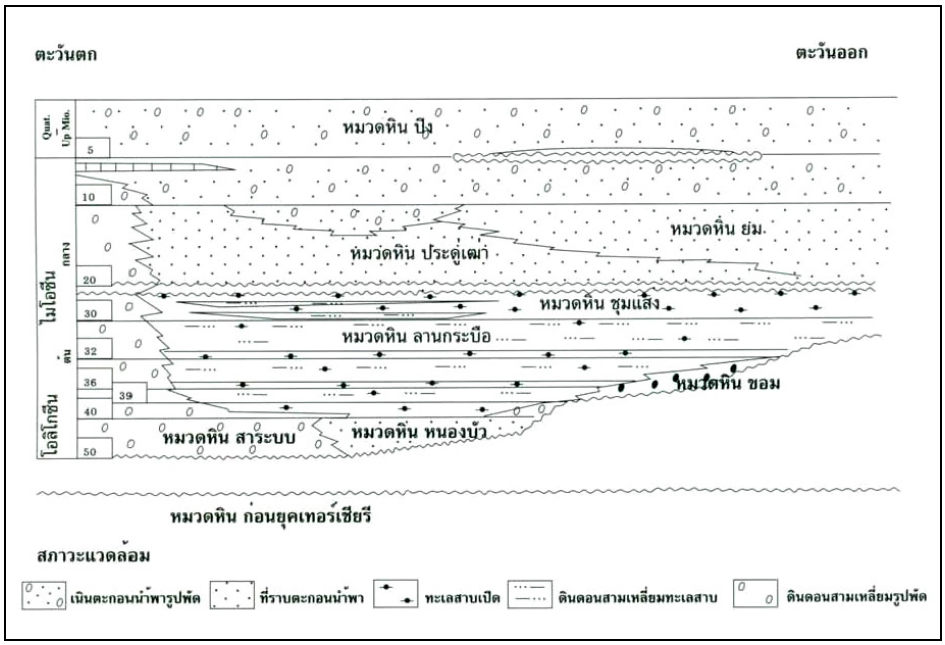
(1.3) หมวดหินเชิร์ตขาณุ (Khanu chert) โผล่ให้เห็นดีที่สุดในกลุ่มของเขาลูกเล็กๆ ระหว่าง อ.สวรรคโลกและ อ.ทุ่งเสลี่ยม บริเวณตอนเหนือของ จ.สุโขทัย ในตอนกลางและตอนใต้ของภาคเหนือ หินชุดนี้มักพบในพื้นที่ราบถูกคลุมทับด้วยตะกอนมหายุคซีโนโซอิก

2) หินมหายุคพาลีโอโซอิกตอนบน (หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส และยุคเพอร์เมียน) หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส ประกอบด้วยหินทราย หินดินดานสีน้ำตาลแดง หินกรวดภูเขาไฟเนื้อแอนดีไซต์และหินกรวดภูเขาไฟเนื้อไรโอไลต์ โผล่ให้เห็นตามบริเวณ จ.สุโขทัยด้านตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา ส่วนหินยุคเพอร์เมียน ประกอบด้วยหินปูนชั้นหนาสีเทา หินดินดาน หินกรวดมน มีหินเชิร์ตเป็นกระเปาะ และมีชั้นของเถ้าภูเขาไฟแทรกสลับอยู่ด้วย โผล่ปรากฏบริเวณด้านตะวันออกของ จ.พิษณุโลก และด้านตะวันตกของ จ.สุโขทัย

3) หินมหายุคมีโซโซอิก ในตอนต้นเป็นหินตะกอนภูเขาไฟแทรกสลับกับหินปูน ซึ่งถูกปิดทับแบบไม่ต่อเนื่องด้วยชั้นหินสีแดงของกลุ่มหินโคราช ส่วนใหญ่โผล่ปรากฏให้เห็นบริเวณด้านตะวันออกของ จ.พิษณุโลก

4) หินมหายุคซีโนโซอิก หินยุคนี้จะถูกปิดทับด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารี โดยแอ่งเทอร์เชียรี เช่น แอ่งพิษณุโลก ซึ่งมีรอยเลื่อนขนาบทั้ง 4 ด้าน และเกิดจากการทรุดตัวแบบกึ่งกราเบน ส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินกรวดมน หินโคลน หินทราย ถ่านหิน กรวด ทราย และดินเหนียว

5) ตะกอนยุคควอเทอร์นารี เป็นตะกอนสมัยไพลโตซีนส่วนใหญ่พบอยู่ตามบริเวณที่ราบลุ่มสองฝั่งแม่น้ำยม และน่าน มีลักษณะธรณีสัณฐานของที่ราบลุ่มเป็นที่ราบน้ำท่วมถึง ตะพักลำน้ำ และที่ลุ่มน้ำขัง ตะกอนที่สะสมตัวเป็นตะกอนน้ำพาและตะกอนธารน้ำพาที่สะสมตัวอยู่บนหินฐาน ประกอบด้วย กรวด ทรายหยาบ ดินโคลนหรือดินเหนียว ซึ่งสะสมตัวทั้งเป็นชั้นสลับกันและเป็นเลนส์ ตะกอนหินยุคควอเทอร์นารี ซึ่งเป็นชั้นหินอุ้มน้ำบาดาลที่สำคัญ การกระจายของกลุ่มหินยุคต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-7 ภาพตัดขวางของแอ่งพิษณุโลกแสดงภาพรวมความสัมพันธ์และการเรียงลำดับของชั้นหินของกลุ่มหินพิษณุโลก (กรมทรัพยากรธรณี, 2544)

แอ่งพิษณุโลก (phitsanulok basin) ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 6,000 ตร.กม. มีรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมคางหมูมีรอยเลื่อนขนาบทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านตะวันตกเป็นรอยเลื่อน ติดเทือกเขาหลวง ด้านตะวันออกเป็นรอยเลื่อนเพชรบูรณ์ติดกลุ่มหินโคราช ด้านเหนือเป็นรอยเลื่อนอุตรดิตถ์และด้านใต้เป็นรอยเลื่อนแม่ปิงแอ่งนี้เกิดจากการทรุดตัวแบบกึ่งกราเบน (half-graben) ที่แยกตัวออกในแนวตะวันออก-ตะวันตกตั้งแต่สมัย Oligocene (ประมาณ 30 ล้านปี) โดยด้านทิศตะวันตกมีความลึกถึง 8,000 เมตร (กรมทรัพยากรธรณี, 2544)

ชั้นหินยุคเทอร์เชียรีและควอเทอร์นารีของแอ่งพิษณุโลกจัดอยู่ในกลุ่มหินพิษณุโลก แบ่งออกได้เป็น 8 หมวดหิน (รูปที่ 3-8) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏทางด้านข้าง (lateral facies change) ซึ่งกันและกัน เรียงลำดับจากอายุมากไปหาอายุน้อย ดังนี้

1) หมวดหินสาระบบ (Sarabop formation) หนาประมาณ 1,200 ม. ประกอบด้วยหินกรวดมน หินโคลน หินทราย สีแดง บางช่วงสีเทา ที่เกิดเนื่องจากการทรุดตัวของรอยเลื่อนขอบด้านตะวันตก ในสภาวะแวดล้อมแบบตะกอนน้ำพารูปพัด

2) หมวดหินหนองบัว (Nong Bua formation) หนาประมาณ 1,000 ม. ประกอบด้วยหินโคลน และหินทราย สีน้ำตาลแดง ที่สะสมตัวในที่ราบลุ่มแม่น้ำ บางช่วงแทรกด้วยหินโคลนสีเทาดำ

3) หมวดหินขอม (Khom formation) ประกอบด้วย หินกรวดมน หินโคลน หินทราย สีแดง เหมือนกับหมวดหินสาระบบ แต่พบบริเวณด้านตะวันออกของแอ่ง เกิดสะสมตัวแบบตะกอนน้ำพารูปพัด

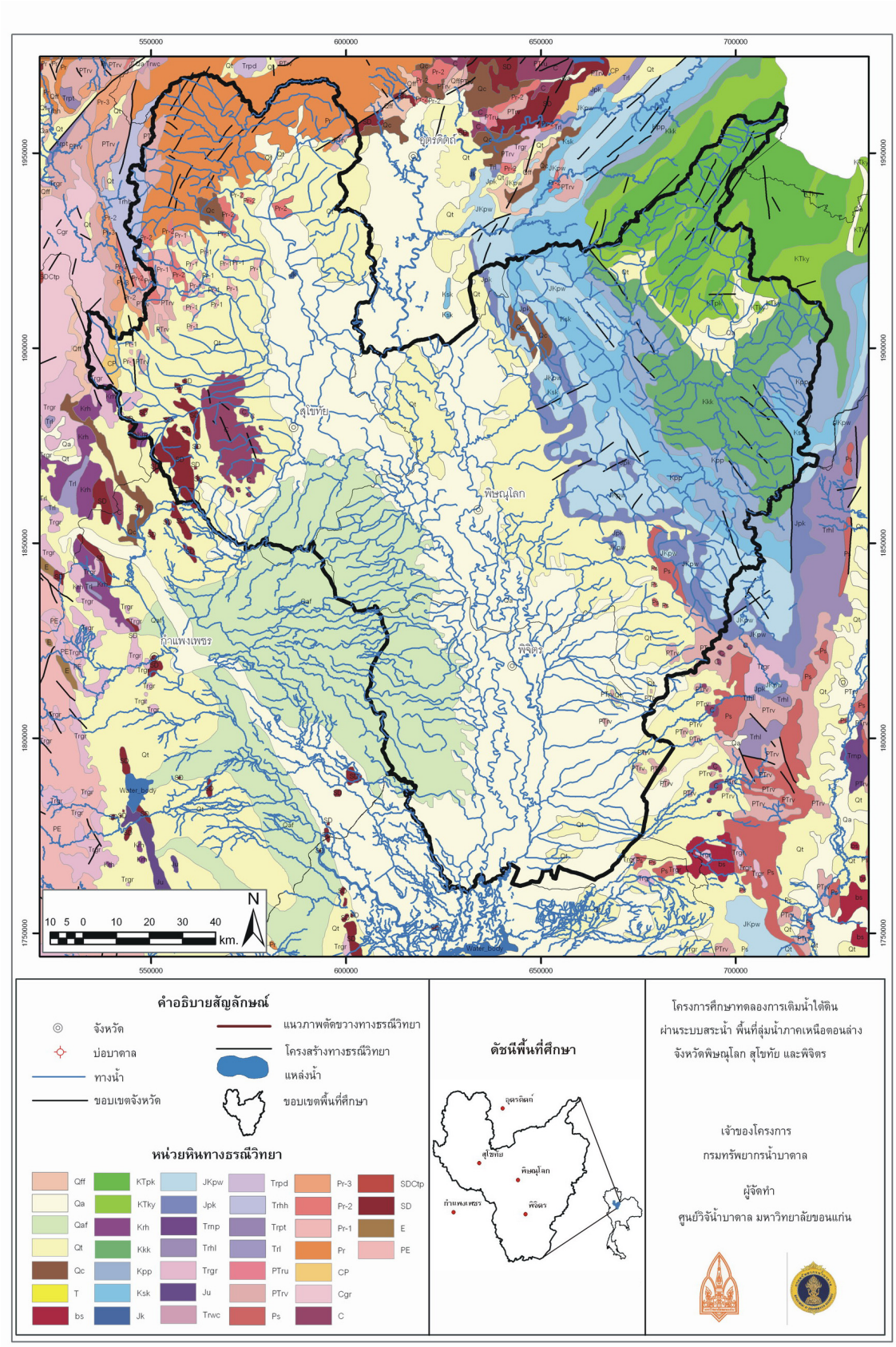
4) หมวดหินลานกระบือ (Lan Krabu formation) หนาประมาณ 2,100 ม. ประกอบด้วยหินโคลน หินทรายแป้ง หินทราย สีเทา น้ำตาลแดงเป็นส่วนใหญ่ แทรกสลับด้วยชั้นของถ่านหิน เป็นพวกที่เกิดในบริเวณที่แม่น้ำไหลลงสู่ทะเลสาบ หนองน้ำ บางช่วงแทรกด้วยชั้นทรายแม่น้ำ ซึ่งเป็นชั้นที่กักเก็บปิโตรเลียม

5) หมวดหินชุมแสง (Chum Saeng formation) หนาประมาณ 1,000 ม. ประกอบด้วยหินโคลน สีเทา เทาดำ เกิดสะสมตัวในทะเลสาบน้ำจืด เป็นส่วนใหญ่ แทรกสลับด้วยชั้นถ่านหิน ซึ่งเป็นหินต้นกำเนิดน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ

6) หมวดหินประดู่เฒ่า (Pradu Tao formation) หนาประมาณ 1,400 ม. เกิดจากการสะสมของแม่น้ำ ประกอบด้วยหินโคลน และมีหินทรายแทรกสลับ

7) หมวดหินยม (Yom formation) หนาประมาณ 1,000 ม. มีอายุตั้งแต่ Middle Miocene จนถึงปัจจุบัน ส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินทรายเม็ดหยาบถึงหยาบมาก มีหินโคลนสีน้ำตาล น้ำตาลแกมแดง พบถ่านหินเล็กน้อย เป็นพวกที่เกิดสะสมตัวตามที่ราบลุ่ม

8) หมวดหินปิง (Ping formation) หนาประมาณ 1,200 ม. มีอายุตั้งแต่ Late Mio-cene จนถึงปัจจุบัน ประกอบด้วยชั้นทราย และกรวดเป็นส่วนใหญ่ สลับด้วยดินเหนียว สีน้ำตาแดง เหลือง พบถ่านหินเล็กน้อย เป็นพวกที่เกิดสะสมตัวตามที่ลาดเชิงเขาในสภาพแวดล้อมแบบเนินตะกอนน้ำพารูปพัด



รูปที่ 3-8 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา (ดัดแปลงจากกรมทรัพยากรธรณี, 2542)

3.6 อุทกธรณีวิทยา

3.6.1 ลักษณะและการวางตัวของชั้นหินอุ้มน้ำ

ผลจากการศึกษาโครงสร้างทางธรณีวิทยา ข้อมูลชนิดหิน คุณสมบัติในการเก็บกักน้ำ การซึมผ่านของน้ำ และผลจากการแปลค่าด้วยเครื่องหยั่งธรณีหลุมเจาะ ทำให้สามารถกำหนดลักษณะของชั้นน้ำบาดาลและการวางตัวเรียงจากตะกอนหินร่วนอายุน้อยที่สุดไปยังชั้นหินแข็งที่มีอายุมากที่สุด (รูปที่ 3-9 ถึงรูปที่ 3-10) ดังนี้

1) แหล่งน้ำบาดาลในหินร่วน มีลักษณะเป็นตะกอนจับตัวกันหลวมๆ ที่สะสมตัวบนที่ราบลุ่ม ประกอบด้วยตะกอนน้ำพายุคปัจจุบันของแม่น้ำยมและน่าน ตะกอนน้ำพายุคเก่าแบบลานตะพักระดับต่ำและสูง และตะกอนที่เกิดจากตะกอนรูปพัด มีความหนารวมกันตั้งแต่ 50-80 เมตรในบริเวณขอบแอ่ง จนถึงกว่า 500 ม. บริเวณกลางแอ่ง มีรายละเอียดดังนี้

1.1) ชั้นตะกอนน้ำพายุคปัจจุบัน (recent flood plain deposits, Qfd, หรือชั้นน้ำเจ้าพระยา, Qcp) ประกอบด้วยชั้นของทรายและกรวดขนาดต่างๆ มีความมนปานกลาง มีการคัดขนาดปานกลางถึงดี แทรกสลับด้วยชั้นดินเหนียวสีเหลือง น้ำตาล และแดง พบตามสองฝั่งแม่น้ำยมและแม่น้ำน่านในเขตลุ่มน้ำหลาก และในบริเวณร่องแคบๆของแม่น้ำสาขาทั้ง 2 นี้ ชั้นหินอุ้มน้ำอาจพบตั้งแต่ระดับผิวดินลงไป หรือมีดินเหนียวหนาไม่เกิน 5 ม. ปิดทับอยู่ ความหนาของชั้นทรายอยู่ที่ 30-35 ม. ให้น้ำบาดาลในเกณฑ์ 15-25 ลบ.ม./ชม. ซึ่งเป็นแหล่งน้ำบาดาลระดับตื้นที่สำคัญต่อการทำเกษตรกรรมขนาดเล็ก หรือเป็นแหล่งน้ำเสริมการเกษตรในช่องฝนทิ้งช่วง พบกระจายตัวอยู่ในเขตพื้นที่หลายแห่งของ อ.ศรีสำโรง อ.ศรีสัชนาลัย อ.กงไกรลาศ จ.สุโขทัย อ.พรหมพิราม อ.บางกระทุ่ม อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก และพื้นที่ลุ่มน้ำยม ลุ่มน้ำน่าน ลุ่มน้ำพิจิตร ในเขต จ.พิจิตร พื้นที่เหล่านี้เป็นพื้นที่ระดับต่ำจึงมักถูกน้ำท่วมในช่วงที่มีฝนตกเกินเกณฑ์ปกติ

1.2) ชั้นน้ำตะกอนตะพักยุคใหม่หรือลานตะพักระดับต่ำ (low terrace deposits, Qlt, ชั้นน้ำเชียงราย, Qcr) ประกอบด้วยชั้นดินเหนียว ทรายแป้งที่มีชั้นทรายและกรวดแทรกสลับ ชั้นหินอุ้มน้ำชั้นนี้วางตัวอยู่ใต้ชั้นน้ำตะกอนน้ำพายุคปัจจุบันโดยมีความหนาตั้งแต่ 10-60 ม. และที่กลางแอ่ง ในเขต อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก และคลุมพื้นที่ อ.สามง่าม อ.โพธิ์ประทับช้าง อ.บางมูลนาค จนถึง อ.ตะพานหิน จ.พิจิตร ความลึกของชั้นน้ำชั้นนี้อยู่ที่ 100 ม. และคุณสมบัติการจ่ายน้ำจำเพาะมีค่าตั้งแต่ 0-40 ตร.ม./ชม. ชั้นน้ำนี้วางตัวถัดออกไปจากชั้นน้ำตะกอนน้ำพา (Qfd) หรือชั้นน้ำเจ้าพระยา (Qcp) ทั้ง 2 ฝั่งของแม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน เริ่มตั้งแต่ อ.ศรีสัชนาลัย ไปจนเข้าเขต จ.พิษณุโลก และ จ.พิจิตร โดยมีระดับความสูงของผิวดินลาดเอียงจาก ระดับ 65 ม. ในตอนเหนือ ลดระดับไปถึงประมาณ 40 เมตร ทางตอนใต้ ความลึกของชั้นน้ำอยู่ที่ 50-80 ม. ให้น้ำในอัตรา 15-20 ลบ.ม./ชม. เนื่องจากมีดินเหนียวและทรายละเอียดแทรกสลับ บ่อบาดาลที่เจาะได้น้ำจากชั้นนี้ รูปที่ 3-10 ได้แก่

- บ่อ MM 256 บ้านหนองกกดี อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย
- บ่อ MM 245 บ้านคลองกระจง อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย
- บ่อ MB 180 บ้านทุ่งอ้ายโห้ อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก
- บ่อ DC 4 บ้านทานางงาม อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก

- บ่อ MD 1036 บ้านสากเหล็ก อ.สากเหล็ก จ.พิจิตร
- บ่อ MD 777 บ้านบางลายเหนือ อ.โพทะเล จ.พิจิตร

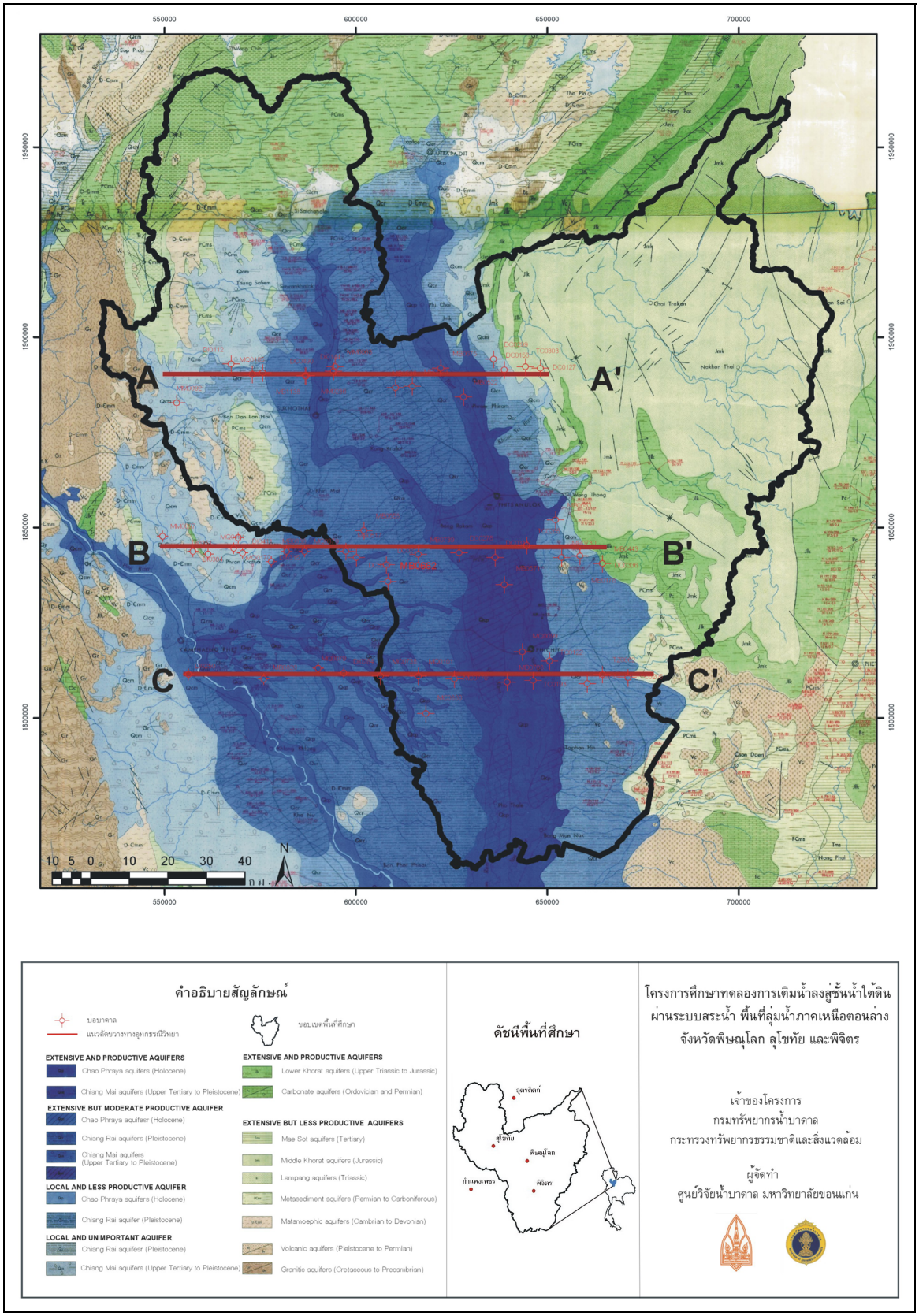
1.3) ชั้นตะกอนตะพักน้ำยุคเก่าหรือลานตะพักระดับสูง (high terrace deposits, Qht, หรือชั้นน้ำเชียงใหม่, Qcm) เป็นชั้นน้ำที่เกิดจากการสะสมตัวของกรวด ทราย เศษหินในเขตที่ราบระดับสูงเชิงเขา บางส่วนถูกกัดเซาะไปโดยสาขาของน้ำในปัจจุบันเป็นที่สูง เชิงเขา เขต อ.ศรีสัชนาลัย ผ่านมาถึง อ.สวรรคโลก อ.ทุ่งเสลี่ยม และ อ.บ้านด่านลานหอย จ.สุโขทัย ด้านตะวันออกพบในเขต อ.วัดโบสถ์ จ.พิษณุโลก และแผ่เป็นบริเวณกว้างรองรับใต้ชั้นน้ำ Qlt หรือ Qcr โดยมีการสะสมตัวในแอ่งในช่วงไพลสโตซีน ชั้นน้ำประกอบด้วย กรวด ทราย เป็นส่วนใหญ่ แทรกสลับด้วยชั้นดินเหนียว จึงมีการเรียงตัวและความกลมมนของตะกอนค่อนข้างดี สามารถให้น้ำ 30-50 ลบ.ม./ชม.ระดับความลึกของชั้นน้ำอยู่ที่ 80-100 ม. จากผิวดิน บ่อบาดาลหลายพื้นที่สูบน้ำเพื่อทำการเกษตรกรรมขนาดใหญ่ บ่อบาดาลที่เจาะได้น้ำจากชั้นน้ำนี้ คือ

- บ่อ DI 97 สหกรณ์นิคม อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย
- บ่อ DI 161 วิทยาลัยเกษตร อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย
- บ่อ TC 280 บ้านเขาดิน อ.เนินมะปราง จ.พิษณุโลก
- บ่อ MB 606 บ้านท่านา อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก
- บ่อ MB 1032 บ้านหนองหอย อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร
- บ่อ MD 1069 โรงเรียนตะพานหิน อ.ตะพานหิน จ.พิจิตร

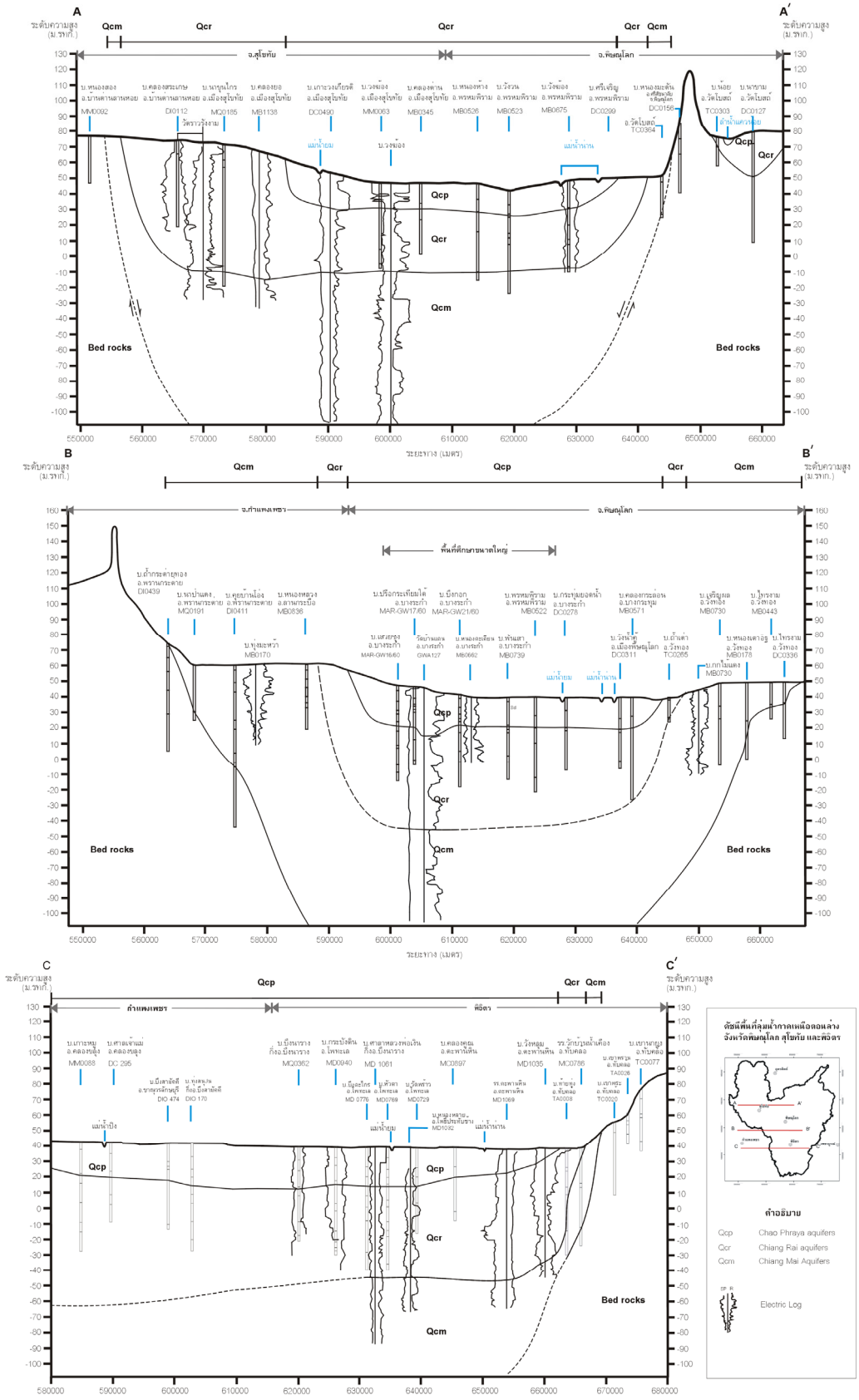
2) แหล่งน้ำบาดาลในหินแข็งเป็นแหล่งน้ำที่ถูกกักเก็บอยู่ในรอยแตกของหิน พบบริเวณขอบของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ด้านตะวันออกของ จ.พิจิตรและพิษณุโลก และด้านตะวันตกของ จ.กำแพงเพชรและสุโขทัย ศักยภาพการให้น้ำค่อนข้างต่ำ

2.1) แหล่งน้ำบาดาลในหินปูน (carbonate aquifers) มีเกณฑ์ให้น้ำ 3-5 ลบ.ม./ชม. ในหลายๆ แห่งจะมีหินดินดานและหินทรายแทรกสลับ ทำให้เป็นแหล่งกักเก็บน้ำไม่ดี น้ำบาดาลหินปูนพบในพื้นที่ อ.ทุ่งเสลี่ยม จ.สุโขทัย และ อ.บางกระทุ่ม อ.เนินมะปราง จ.พิษณุโลก

2.2) แหล่งน้ำบาดาลในหินแปรและหินอัคนี (metamorphic and igneous rock aquifers) ปริมาณการให้น้ำบาดาลค่อนข้างน้อยเนื่องจากรอยแตกของหินที่ไม่ต่อเนื่อง แหล่งน้ำบาดาลพบได้เฉพาะพื้นที่ที่มีโครงสร้างที่เหมาะสมจริงๆ ปริมาณการให้น้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ 1-5 ลบ.ม./ชม. พบในบริเวณ อ.ทุ่งเสลี่ยม ศรีสัชนาลัย ด่านลานหอย คีรีมาศ จ.สุโขทัย และ อ.ทับคล้อ จ.พิจิตร



รูปที่ 3-9 แผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา (ดัดแปลงจากกรมทรัพยากรธรณี, 2521)



รูปที่ 3-10 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

3.6.2 การไหลและคุณภาพของน้ำบาดาล

1) รูปแบบและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

รูปแบบและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลขึ้นกับลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาและภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา น้ำบาดาลมีทิศทางการไหลจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้ และไหลจากบริเวณขอบของพื้นที่ศึกษาด้านตะวันตกและตะวันออกลงสู่ตอนกลางของพื้นที่ใกล้เคียงรูปแบบการไหลของน้ำผิวดิน

ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาปี พ.ศ. 2547-2548 มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลอยู่ในช่วง 1-5 ม. คือ ช่วงเดือนเมษายนมีระดับน้ำต่ำที่สุด และสูงขึ้นในเดือนมิถุนายนจนถึงสิงหาคม เนื่องจากเริ่มเข้าฤดูฝน พื้นที่ที่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำมากจะอยู่ใน อ.เมืองของแต่ละจังหวัด ซึ่งมีการใช้น้ำค่อนข้างมาก เช่น อ.เมือง จ.พิจิตร อ.เมือง อ.วังทอง จ.พิษณุโลก เป็นต้น ระดับน้ำบาดาลของพื้นที่ จ.พิจิตร พิษณุโลก และสุโขทัย อยู่ในช่วง 7-11 ม. จากผิวดิน 4-13 ม.จากผิวดิน และ 3-16 ม. จากผิวดิน ตามลำดับ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2549)

2) คุณภาพน้ำบาดาล

คุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการอุปโภคบริโภค อุตสาหกรรม หรือเกษตรกรรมมีมาตรฐานที่แตกต่างกันไป น้ำบาดาลที่ใช้ดื่มจำเป็นต้องพิจารณาถึงคุณลักษณะทั้งทางกายภาพ เคมี สารพิษ และแบคทีเรีย ซึ่งมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคใช้เกณฑ์ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 12 (พ.ศ.2542) ซึ่งปรับปรุงมาจากมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก

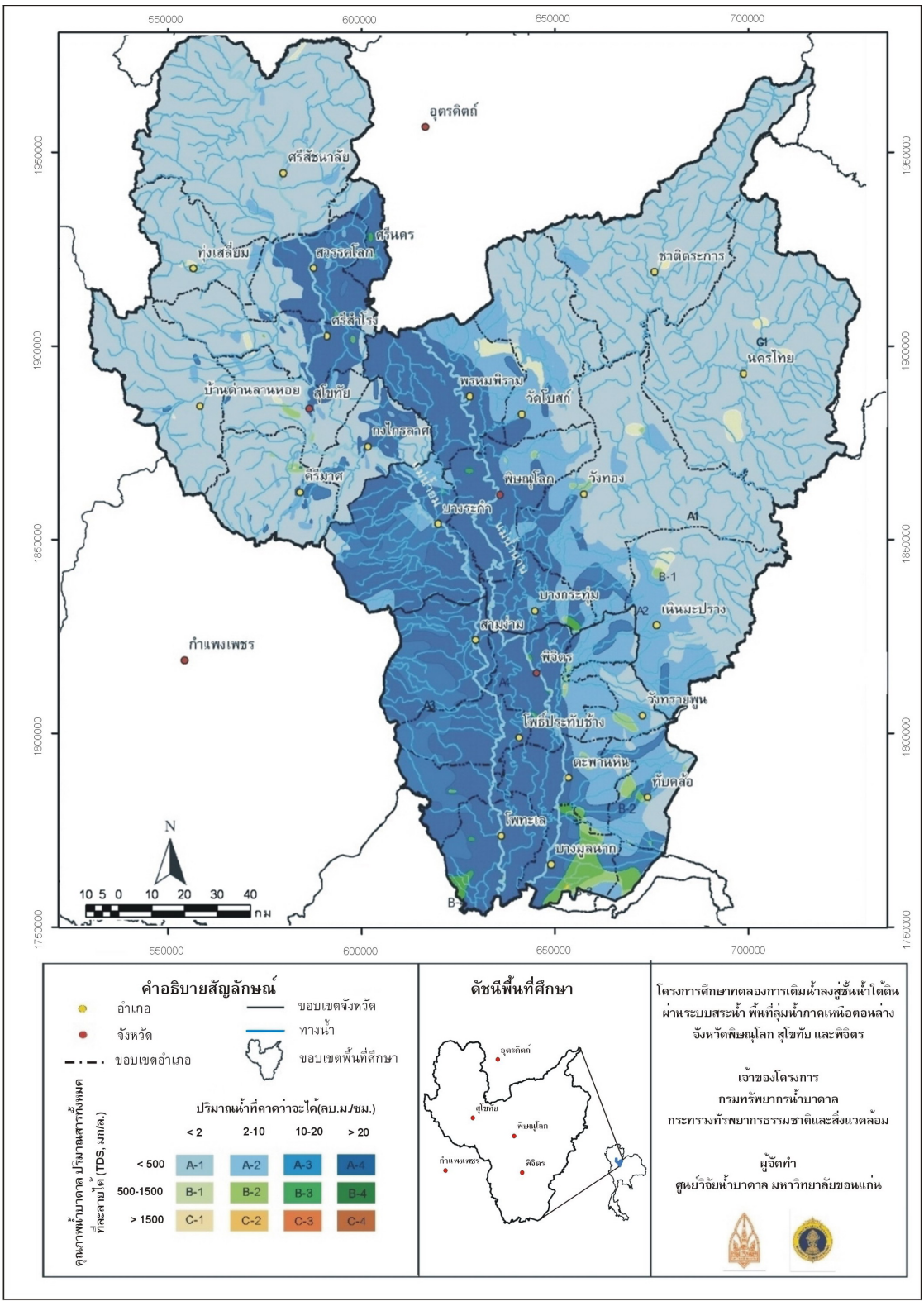
คุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นน้ำบาดาลจืด ดังแสดงในรูปที่ 3-11 ส่วนคุณลักษณะด้านความเป็นพิษอื่นๆ เช่น ไซยาไนด์ ตะกั่ว ปรอท แมงกานีส ฯลฯ ไม่พบว่ามีค่าเกินมาตรฐาน (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2549)

พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อการใช้น้ำของประชาชน ได้แก่ ปริมาณสารละลายเหล็ก ความกระด้าง และปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (ดังแสดงในตารางที่ 3-6) คุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาแยกตามพารามิเตอร์สรุปได้ดังนี้

- ปริมาณสารละลายเหล็ก พบว่าพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีปริมาณเหล็กเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้ในการบริโภค (>1.0 มก./ล.) ยกเว้นพื้นที่บางส่วนของ จ.พิจิตร และสุโขทัย ที่มีปริมาณเหล็กอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (0.5-1.0 มก./ล.) เช่น อ.ตะพานหิน บางมูลนาก โพทะเล สามง่าม จ.พิจิตร อ.ทุ่งเสลี่ยม กงไกรลาศ บ้านด่านลานหอย และ อ.เมือง จ.สุโขทัย

- ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้อยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจากมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (600-1200 มก./ล.)

- ปริมาณความกระด้างทั้งหมด อยู่ในเกณฑ์ดีมากเนื่องจากมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (300-500 มก./ล.)



รูปที่ 3-11 แผนที่ปริมาณและคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

ส่วนคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรสามารถพิจารณาจากค่า Sodium Absorption Ratio (SAR) ของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา (ตารางที่ 3-6) ค่า SAR คำนวณได้จากปริมาณของ Na^{+} ,Ca^{2+} และ Mg^{2+} ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติในการระบายน้ำของดิน ดังสมการ

$$SAR = \frac{[Na^{+}]}{\sqrt{([Ca^{2+}]+[Mg^{2+}])/2}} \quad (3\text{-}1)$$

ถ้า SAR < 10 คุณภาพน้ำบาดาลดีเยี่ยม (excellent water) 10-18 ดีมาก (good water) 18-26 พอใช้ (fair water) > 26 ไม่เหมาะสม (poor water)

คุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่พบว่ามีคุณภาพน้ำดีเยี่ยม (SAR<10) เฉพาะบ่อใน อ.ทับคล้อ จ.พิจิตร เท่านั้น ที่มีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ดังแสดงในตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-6 ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

จังหวัด	อำเภอ	เหล็ก (Fe) *		ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS) **		ความกระด้าง (Total Hardness) ***	
		หมายเลขบ่อ	ปริมาณ (มก./ล.)	หมายเลขบ่อ	ปริมาณ (มก./ล.)	หมายเลขบ่อ	ปริมาณ (มก./ล.)
ชั้นน้ำตะกอนน้ำพา							
พิจิตร	ตะพานหิน	MQ0384	3 (2)	MD0879	130	-	-
	โพทะเล	MC0773	9 (3)	MD0649	140	MB0142	124
	โพธิ์ประทับช้าง	MD0671	3 (2)	MD0682	280	-	-
	เมือง	TC0122	9 (3)	TC0185	291	TC0185	170
	สามง่าม	MD0644	7 (3)	MD0644	104	MC0832	59
	บางมูลนาก	-	-	MD0932	206	-	-
	ทับคล้อ	-	-	-	-	TC0020	160
พิษณุโลก	บางกระทุ่ม	MB0603	2 (2)	-	-	DC0112	74
	พรหมพิราม	DC0199	7 (3)	-	-	-	-
	วังทอง	DC0144	4 (3)	N0128	230	-	-
	เมือง	-	-	MB0532	160	MB0532	92
สุโขทัย	ศรีสำโรง	DC0486	2 (2)	DI0078	244	-	-
	ศรีสำโรง	MM0052	4 (2)	MB1126	173	-	-
	ศรีนคร	-	-	MB1127	182	-	-
	สวรรคโลก	-	-	-	-	MB0373	82
ชั้นน้ำตะกอนตะพักยุคใหม่							
พิจิตร	ตะพานหิน	MC0860	1 (1)	MD0701	255	-	-
	บางมูลนาก	TC0131	1 (1)	TC0070	431	-	-
	โพทะเล	MD0723	1 (1)	MB0148	140	-	-
	โพธิ์ประทับช้าง	MD1092	5 (2)	-	-	-	-
	ทับคล้อ	-	-	MD1101	227	-	-

ตารางที่ 3-6 ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

จังหวัด	อำเภอ	เหล็ก (Fe) *		ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS) **		ความกระด้าง (Total Hardness) ***	
		หมายเลขบ่อ	ปริมาณ (มก./ล.)	หมายเลขบ่อ	ปริมาณ (มก./ล.)	หมายเลขบ่อ	ปริมาณ (มก./ล.)
ชั้นน้ำตะกอนตะพักยุคใหม่ (ต่อ)							
พิษณุโลก	บางกระทุ่ม	DC0115	8 (3)	-	-	MB0550	71
	บางระกำ	DC0196	2 (2)	-	-	TC0244	76
	พรหมพิราม	MM0038	2 (2)	MB0675	228	DC0121	74
	วังทอง	DC0048	6 (3)	MB0189	317	DC0048	96
	นครไทย	-	-	MB0112	339	MB0112	232
	นครไทย	-	-	MB0207	164	-	-
สุโขทัย	คีรีมาศ	MQ0169	3 (2)	-	-	-	-
	ทุ่งเสลี่ยม	MM0068	1 (1)	-	-	-	-
	เมือง	-	-	MB0902	298	MB0911	65
	ศรีสำโรง	-	-	MM0257	290	MB0457	79
ชั้นน้ำตะกอนตะพักยุคเก่า							
พิจิตร	เมือง	MQ0099	2 (2)	MD0748	160	-	-
	สามง่าม	TC0031	1 (1)	TC0030	134	-	-
	โพทะเล	-	-	MD0775	292	-	-
	โพธิ์ประทับช้าง	-	-	MD1032	186	-	-
พิษณุโลก	นครไทย	MB0200	7 (3)	-	-	MB0249	224
	นครไทย	-	-	-	-	MB0623	208
	บางระกำ	MB0514	4 (2)	-	-	-	-
	เมือง	-	-	DC0423	291	DC0423	54
	วัดโบสถ์	-	-	MB0192	106	-	-
สุโขทัย	กงไกรลาศ	DI0006	1 (1)	MB0348	440	-	-
	บ้านด่านลานหอย	MM0092	1 (1)	-	-	-	-
	เมือง	MB0489	1 (1)	-	-	-	-
	ศรีสำโรง	MB0489	3 (2)	-	-	-	-
	เมือง	-	-	DC0423	291	MM0089	142
	วัดโบสถ์	-	-	MB0192	106	-	-
	ทุ่งเสลี่ยม	-	-	-	-	MW0014	268

หมายเหตุ * ปริมาณสารละลายเหล็ก (1) 0.5-1.0 มก./ล. (เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม) (2) 1.0-5.0 มก./ล. (เกินเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม) (3) มากกว่า 5.0 มก./ล. (เกินเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมมาก) ** เกณฑ์มาตรฐานของปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ คือ 600-1200 มก./ล. *** เกณฑ์มาตรฐานของปริมาณความกระด้างทั้งหมด คือ 300-500 มก./ล.

(ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2549)

ตารางที่ 3-7 การตรวจวิเคราะห์ค่า SAR ในพื้นที่ศึกษา

จังหวัด	อำเภอ	หมายเลขบ่อ	ค่า SAR (ช่วงฤดูฝน) *	ค่า SAR (ช่วงฤดูแล้ง) **	ชั้นน้ำ
พิจิตร	กิ่งอ.สากเหล็ก	MB 0143	8.16	1.34	Qht
	สามง่าม	DI 0290	1.68	1.88	Qht
	ตะพานหิน	DC 0179	0.88	0.87	Qlt
	ทับคล้อ	MM 0119	17.18	4.90	Qlt
	โพทะเล	MB 0519	2.42	3.18	Qlt
	โพธิ์ประทับช้าง	DI 0335	0.87	0.98	Qlt
	บางกระทุ่ม	TC 0153	1.93	2.86	Qht
พิษณุโลก	เมืองสุโขทัย	MD 0809	2.01	2.24	Qfd
	พรหมพิราม	กยธ 05887	0.82	0.80	Qfd
	เมืองพิษณุโลก	MQ 0132	5.43	5.83	Qfd
	บางระกำ	MB 0531	0.57	3.20	Qht
	วังทอง	MQ 0186	5.05	5.74	Qht
สุโขทัย	สวรรคโลก	DI 0369	0.68	0.73	Qfd
	ศรีสัชนาลัย	MB 1006	1.35	1.38	Qht

หมายเหตุ: * ข้อมูลเดือนสิงหาคม 2548 ** ข้อมูลเดือนธันวาคม 2548
(ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2549)

3.6.3 การพัฒนาและการใช้น้ำบาดาล

1) จำนวนบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ จ.พิจิตร พิษณุโลก และสุโขทัย มีบ่อน้ำบาดาลของหน่วยงานต่างๆ ประมาณ 4,182 บ่อ 1,195 บ่อ และ 3,350 บ่อ ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 8,727 บ่อ (ตารางที่ 3-8)

ตารางที่ 3-8 จำนวนบ่อน้ำบาดาลแยกตามหน่วยงานที่เป็นเจ้าของ ปี พ.ศ.2545

หน่วยงาน	จำนวนบ่อน้ำบาดาล			รวม
	จ.พิจิตร	จ.พิษณุโลก	จ.สุโขทัย	
กรป. (กลาง)	-	-	1	1
กรมการเร่งรัดพัฒนาชนบท	525	-	471	996
กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2,168	920	1,630	4,718
กรมโยธาธิการ	1,403	275	1,070	2,748
กรมอนามัย	80	-	79	159
การประปาส่วนภูมิภาค	-	-	1	1
หน่วยงานอื่นๆ	6	-	79	85
องค์การบริหารส่วนตำบล	-	-	20	20
รวม	4,182	1,195	3,350	8,727

(ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2549)

2) การใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ จ.พิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร ประกอบด้วย

(2.1) การใช้น้ำบาดาลเพื่ออุปโภคบริโภค โครงการการศึกษาการใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินบิเวณภาคกลางตอนบน ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2549) ได้ประมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่ออุปโภคบริโภคเรียงตามลำดับ ได้แก่ จ.พิษณุโลก (16 ล้าน ลบ.ม./ปี) สุโขทัย (12 ล้าน ลบ.ม./ปี) และพิจิตร (10 ล้าน ลบ.ม./ปี) ดังแสดงในตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-9 ประมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่อการอุปโภคบริโภค พ.ศ. 2546

จังหวัด	ประมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่ออุปโภคบริโภค พ.ศ. 2546 (ล้าน ลบ.ม.)			
	ประปาหมู่บ้าน	บ่อส่วนตัว	บ่อบาดาลเอกชน	รวม
พิจิตร	8.13	1.69	0.52	10.34
พิษณุโลก	11.98	2.40	1.28	15.66
สุโขทัย	10.24	1.94	0.05	12.23
รวม	30.35	6.03	1.85	38.23
ร้อยละ	79	16	5	100

(ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2549)

(2.2) การใช้น้ำบาดาลเพื่ออุตสาหกรรมและการพาณิชย์ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2549) ได้ประมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่ออุตสาหกรรมจากบ่อน้ำบาดาลเอกชนภายใต้การกำกับดูแลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล พบว่าปริมาณการใช้น้ำบาดาลเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อย ได้แก่ จ.พิษณุโลก (3.49 ล้าน ลบ.ม./ปี) พิจิตร (2.14 ล้าน ลบ.ม./ปี) และสุโขทัย (0.87 ล้าน ลบ.ม./ปี)

(2.3) การใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตร คณะที่ปรึกษาได้ทำสำรวจการใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก โดยมีการใช้น้ำบาดาลเพื่อการปลูกข้าวและพืชไร่ จากนั้นศึกษาความต้องการใช้น้ำบาดาลของกรมชลประทานในแต่ละลุ่มน้ำ จากโครงการศึกษาเพื่อทำแผนหลักรองรับการพัฒนาแหล่งน้ำและปรับปรุงโครงการชลประทาน สำหรับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม ฉบับที่ 9 รายงานสถานะภาพลุ่มน้ำ 25 ลุ่มน้ำ (2546) และเปรียบเทียบ ผลการสำรวจการใช้น้ำบาดาลระหว่างโครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลผ่านระบบสระน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จ.พิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร กับ โครงการการศึกษาการใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินบริเวณภาคกลางตอนบน (2549) พบว่ามีสัดส่วนการใช้น้ำผิวดินกับน้ำบาดาลในแต่ละฤดูใกล้เคียงกัน กล่าวคือการศึกษาของโครงการการศึกษาการใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินบริเวณภาคกลางตอนบน ในปี 2549 นานอกเขตชลประทานมีสัดส่วนการใช้น้ำผิวดินและน้ำบาดาล เท่ากับ 47:53 การศึกษาของโครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลผ่านระบบสระน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จ.พิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร ในปี 2552 มีสัดส่วนการใช้น้ำผิวดินและน้ำบาดาลในพื้นที่นอกเขตชลประทาน เท่ากับ 39:61 ปัจจัยที่ทำให้มีการใช้น้ำบาดาลเพิ่มขึ้นคือราคาผลผลิตทางการเกษตรที่ปรับตัวสูงขึ้น โดยเฉพาะราคาข้าว จึงทำให้เกษตรกรทำนาปรังต่อปีหลายครั้งขึ้น ส่งผลให้มีการใช้น้ำบาดาลเพิ่มขึ้นจากในอดีต คณะที่ปรึกษาคำนวณปริมาณการใช้น้ำบาดาลในหน่วยของ ลบ.ม./ไร่/ฤดู และคำนวณการใช้น้ำบาดาลจากปริมาณการใช้น้ำบาดาลและสัดส่วนการใช้น้ำบาดาลใน

พื้นที่ต่างๆ ตามแผนที่การใช้พื้นที่ของลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง เช่น นาข้าวนอกเขตชลประทาน 5.46 ล้านไร่ นาข้าวในเขตชลประทาน 1.56 ล้านไร่ นาข้าวที่ทำนาครั้งเดียว 1.12 ล้านไร่ พืชไร่ 2.05 ล้านไร่ โดยมีปริมาณการใช้น้ำบาดาลของนาในเขตชลประทานประมาณ 778 ล้าน ลบ.ม./ปี นานอกเขตชลประทานใช้น้ำบาดาลประมาณ 6,791 ล้าน ลบ.ม./ปี และพืชไร่ใช้น้ำบาดาลประมาณ 332 ล้าน ลบ.ม./ปี รวมปริมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรทั้งหมดประมาณ 7,901 ล้าน ลบ.ม./ปี

3.7 เศรษฐกิจและสังคม

จำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษามีจำนวนประมาณ 2,052,000 คน จังหวัดที่มีจำนวนประชากรมากที่สุดคือ จ.พิษณุโลก (842,000 คน) สุโขทัย (619,000 คน) และพิจิตร (591,000 คน) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3-10 ประชากรในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ได้แก่ การทำนา ทำไร่ และทำสวน ตามลำดับ พื้นที่เกษตรกรรมของแต่ละจังหวัด (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2549) มีรายละเอียดดังนี้

จ.พิษณุโลก มีพื้นที่ถือครองทางเกษตรประมาณ 2,186,005 ไร่ หรือ 3,500 ตร.กม. โดยจำแนกเป็นพื้นที่นาร้อยละ 22 พื้นที่พืชไร่ ได้แก่ ข้าวโพด มันสำปะหลัง และถั่วเหลือง ร้อยละ 7 และอื่นๆ ร้อยละ 1 พืชเศรษฐกิจที่สำคัญของ จ.พิษณุโลก ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง และมันสำปะหลัง

ตารางที่ 3-10 ข้อมูลด้านการเมืองการปกครองของจังหวัดในพื้นที่ศึกษา

จังหวัด	พื้นที่ (ตร.กม.)	รายชื่ออำเภอ	จำนวน อำเภอ ตำบล หมู่บ้าน	ข้อมูลส่วนท้องถิ่น	ประชากร (คน)
พิจิตร*	4,531	อ.เมือง อ.ตะพานหิน อ.บางมูลนาก อ.โพทะเล อ.ทับคล้อ อ.วังทรายพูน อ.สามง่าม อ.โพธิ์ประทับช้าง อ.วชิรบารมี อ.สากเหล็ก อ.ดงเจริญ และอ.บึงนาราง	12 86 865	อบจ 1 แห่ง เทศบาลเมือง 3 แห่ง เทศบาลตำบล 15 แห่ง	554,740
สุโขทัย**	6,596	อ.เมืองสุโขทัย อ.สวรรคโลก อ.ศรีสำโรง อ.ศรีสัชนาลัย อ.กงไกรลาศ อ.คีรีมาศ อ.ทุ่งเสลี่ยม อ.บ้านด่านลานหอย อ.ศรีนคร	9 84 834	อบจ 1 แห่ง เทศบาลเมือง 2 แห่ง เทศบาลตำบล 12 แห่ง อบต 77 แห่ง	619,245
พิษณุโลก***	10,815	อ.เมืองพิษณุโลก อ.นครไทย อ.ชาติตระการ อ.บางระกำ อ.บางกระทุ่ม อ.พรหมพิราม อ.วัดโบสถ์ อ.วังทอง	9 93 1,032	อบจ 1 แห่ง เทศบาลนคร 1 แห่ง เทศบาลตำบล 12 แห่ง อบต 89 แห่ง	841,914

(ที่มา : * http://www.phijit.go.th/data.html ** http://www.sukhothai.go.th/data/data_05.htm *** http://www.phitsanulok.go.th/data.html)

จ.สุโขทัย มีพื้นที่ถือครองทางเกษตรประมาณ 1,264,935 ไร่ หรือ 2,000 ตร.กม. โดยจำแนกเป็นพื้นที่นาร้อยละ 31 พื้นที่พืชไร่ร้อยละ 30 และอื่น ๆ ร้อยละ 1 พืชเศรษฐกิจที่สำคัญของ จ.สุโขทัย ได้แก่ ข้าว ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ข้าวโพด อ้อยโรงงาน และใบยาสูบเบอร์เลย์

จ.พิจิตร มีพื้นที่การเกษตรประมาณ 2,186,005 ไร่ หรือ 3,500 ตร.กม. เป็นการเพาะปลูกข้าวมากที่สุดร้อยละ 71 รองลงมาได้แก่พืชไร่ เช่น ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ข้าวโพด ร้อยละ 5 และอื่นๆ ร้อยละ 1 พืชเศรษฐกิจที่สำคัญของ จ.พิจิตร ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง และอ้อยโรงงาน

นอกจากการประกอบอาชีพด้านเกษตรกรรมแล้วยังมีด้านอุตสาหกรรม พาณิชยกรรม รวมทั้งเหมืองแร่ต่างๆ เช่น เหมืองแร่ยิปซั่ม ซึ่งมีมากที่ตำบลวังงิ้วใต้ กิ่ง อ.ดงเจริญ จ.พิจิตร เหมืองแร่ทองคำที่ตำบลหนองพระ อ.วังทรายพูน และที่ตำบลเขาเจ็ดลูก อ.ทับคล้อ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2549)

จากการรวบรวมข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมรายจังหวัดและรายได้ต่อหัวจากสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ปี พ.ศ. 2552 พบว่าผลิตภัณฑ์มวลรวมรายจังหวัด (Gross Province Producing, GPP) ในพื้นที่ศึกษาประมาณ 133,344 ล้านบาท และรายได้ต่อหัวเฉลี่ย 190,151บาทต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 3-11

ตารางที่ 3-11 ข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมรายจังหวัดและรายได้เฉลี่ยต่อหัวปี พ.ศ. 2550

จังหวัด	ผลิตภัณฑ์มวลรวม (ล้านบาท)	รายได้ต่อหัว (บาท)
พิจิตร	38,280	64,018
สุโขทัย	33,403	53,226
พิษณุโลก	61,661	72,907
รวม	133,344	190,151

(ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2552)

3.8 การคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมในการเติมน้ำผ่านระบบสระ

3.8.1 วิธีการคัดเลือก

การคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมในการศึกษาทดลองเติมน้ำผ่านระบบสระ ประกอบด้วยการศึกษาและจัดทำระบบฐานข้อมูลด้านอุทกธรณีวิทยา และวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานด้านอุทก-ธรณีวิทยาที่จำเป็นต่อการคัดเลือกและการประเมินความเหมาะสมในการกำหนดพื้นที่ทดลองเติมน้ำและออกแบบก่อสร้างระบบเติมน้ำ การกำหนดขอบเขตพื้นที่มีหลักการคัดเลือกที่อ้างอิงจากวิธีการของ Saraf et al (2004) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Weighted Index Overlay Analysis (WIOA) ดังนี้

1) กำหนดเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ด้านอุทกธรณีวิทยา ประกอบด้วย ข้อมูลด้านธรณีวิทยา ข้อมูลด้านธรณีสัณฐาน ข้อมูลความลาดชัน และข้อมูลชุดดินของพื้นที่ ข้อมูลด้านธรณีวิทยา ข้อมูลด้านธรณีสัณฐาน และ ข้อมูลความลาดชันของพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 3-12 ถึง 3-14 ตามลำดับ ส่วนข้อมูลชุดดินของพื้นที่ได้แสดงไว้แล้วในรูปที่ 3-4

2) จัดเตรียมและปรับปรุงฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในรูปแบบ shape files เพื่อนำเข้าสู่โปรแกรม ArcGIS 9.2 สำหรับประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล

3) การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม ArcGIS 9.2 ในการซ้อนทับ (overlay) ชั้นข้อมูล การตัดหรือแยกพื้นที่ (clip) การรวมพื้นที่ (union) ซึ่งมีแนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3-15

4) การกำหนดขอบเขตพื้นที่เหมาะสมในการเติมน้ำผ่านระบบสระ ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลตามขั้นตอนการทำงานที่กำหนดไว้ ซึ่งสามารถกำหนดพื้นที่ที่คาดว่าจะเป็นพื้นที่เหมาะสมในการเติมน้ำผ่านระบบสระ โดยได้ทำการซ้อนทับชั้นข้อมูลด้านธรณีวิทยา ข้อมูลด้านธรณีสัณฐานและข้อมูลชุดดิน ค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยกำหนดในตารางที่ 3-12 ถึง 3-14 และค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยด้านธรณีวิทยา ธรณีสัณฐาน ดิน มีค่า 0.6, 0.7, 0.5 และ 0.4 ตามลำดับ

3.8.2 ผลการคัดเลือก

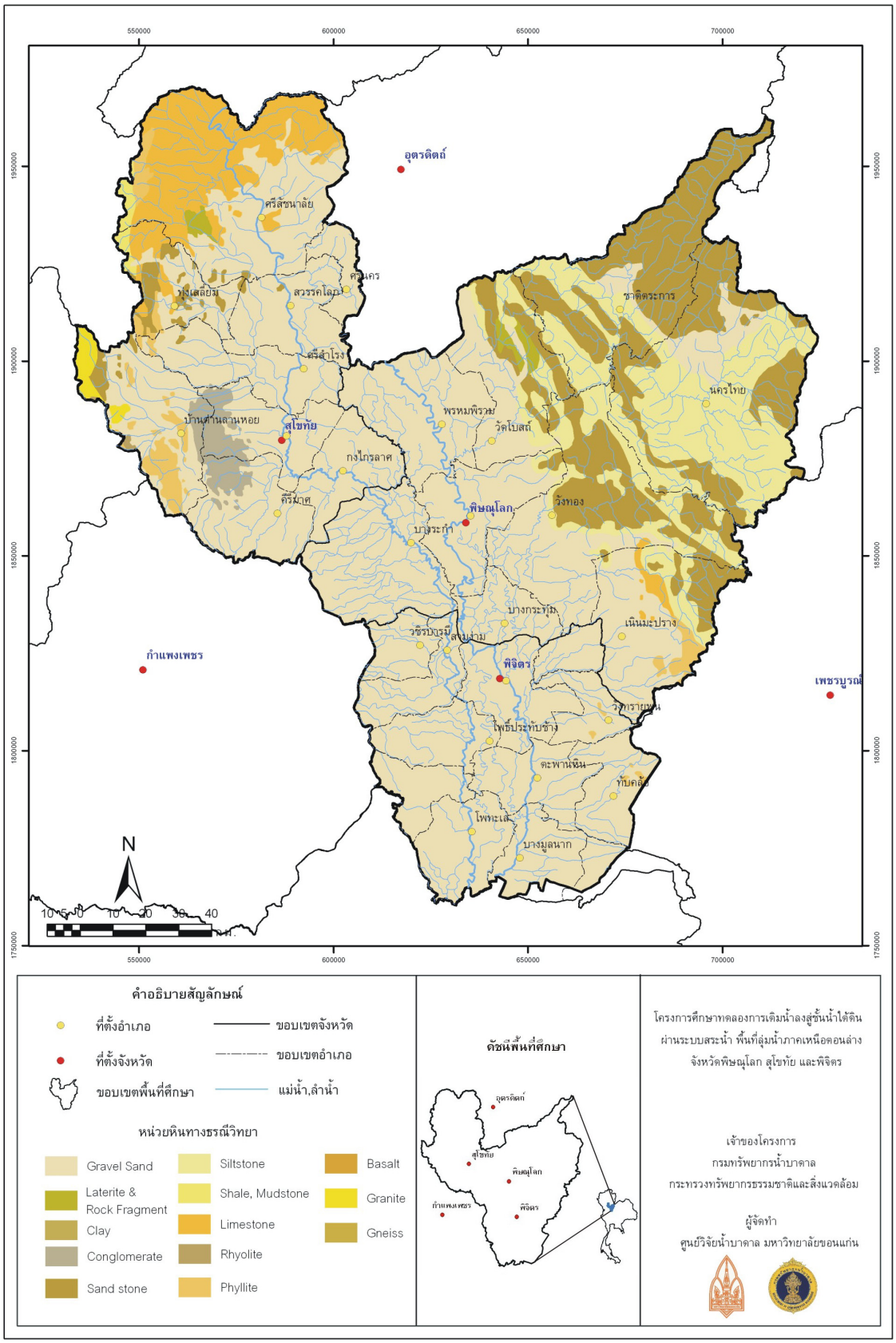
จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม ArcGIS 9.2 สามารถแบ่งพื้นที่ที่เหมาะสมในการสร้างระบบเติมน้ำผ่านสระได้เป็น 4 แบบ (ดังรูปที่ 3-16) ดังนี้

1) พื้นที่ที่มีความเหมาะสมมาก อยู่บริเวณทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา ในเขต อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก บางส่วนของ อ.คีรีมาศ และ อ.กงไกรลาศ จ.สุโขทัย อ.สามง่าม อ.วชิรบารมี อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร ครอบคลุมพื้นที่ 1,900 ตร.กม. ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 9 ของพื้นที่ศึกษา

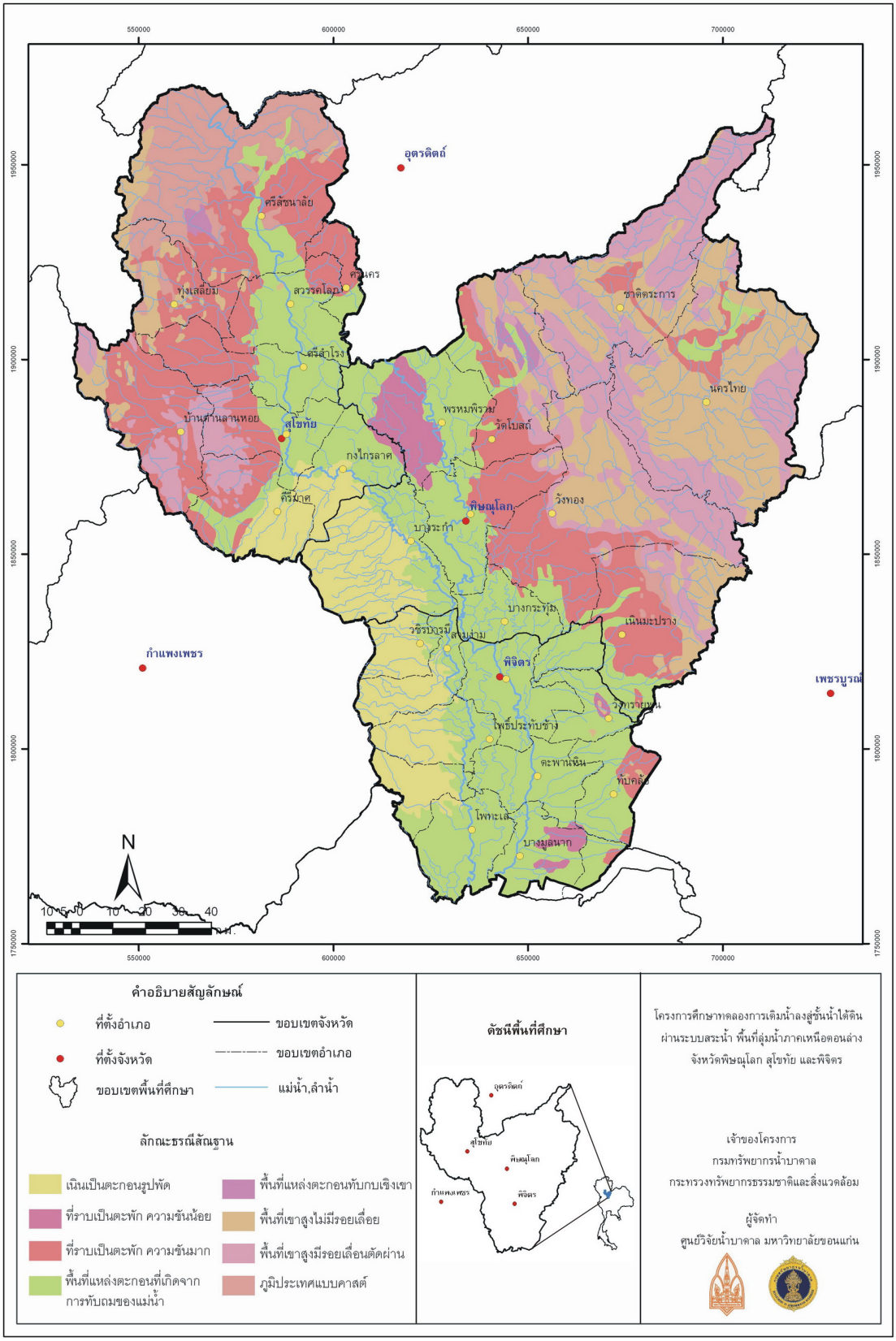
2) พื้นที่ที่มีความเหมาะสมปานกลาง กระจายตัวในพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน อยู่ในเขต อ.ศรีสัชนาลัย อ.ศรีสำโรง อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย อ.พรหมพิราม อ.วัดโบสถ์ อ.เมือง อ.บางกระทู้ และบางส่วนของ อ.วังทอง จ.พิษณุโลก รวมทั้งพื้นที่บางส่วนของ อ.สามง่าม อ.เมือง อ. ตะพานหิน อ.บางมูลนาก โพทะเล อ.วังทรายพูน และ อ.ทับคล้อ จ.พิจิตร มีพื้นที่ 10,400 ตร.กม. ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 48 ของพื้นที่ศึกษา

3) พื้นที่ที่มีความเหมาะสมน้อย อยู่บริเวณทิศตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นภูเขาที่มีความลาดชันค่อนข้างมาก ครอบคลุมพื้นที่ 8,200 ตร.กม. ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 39 ของพื้นที่ศึกษา

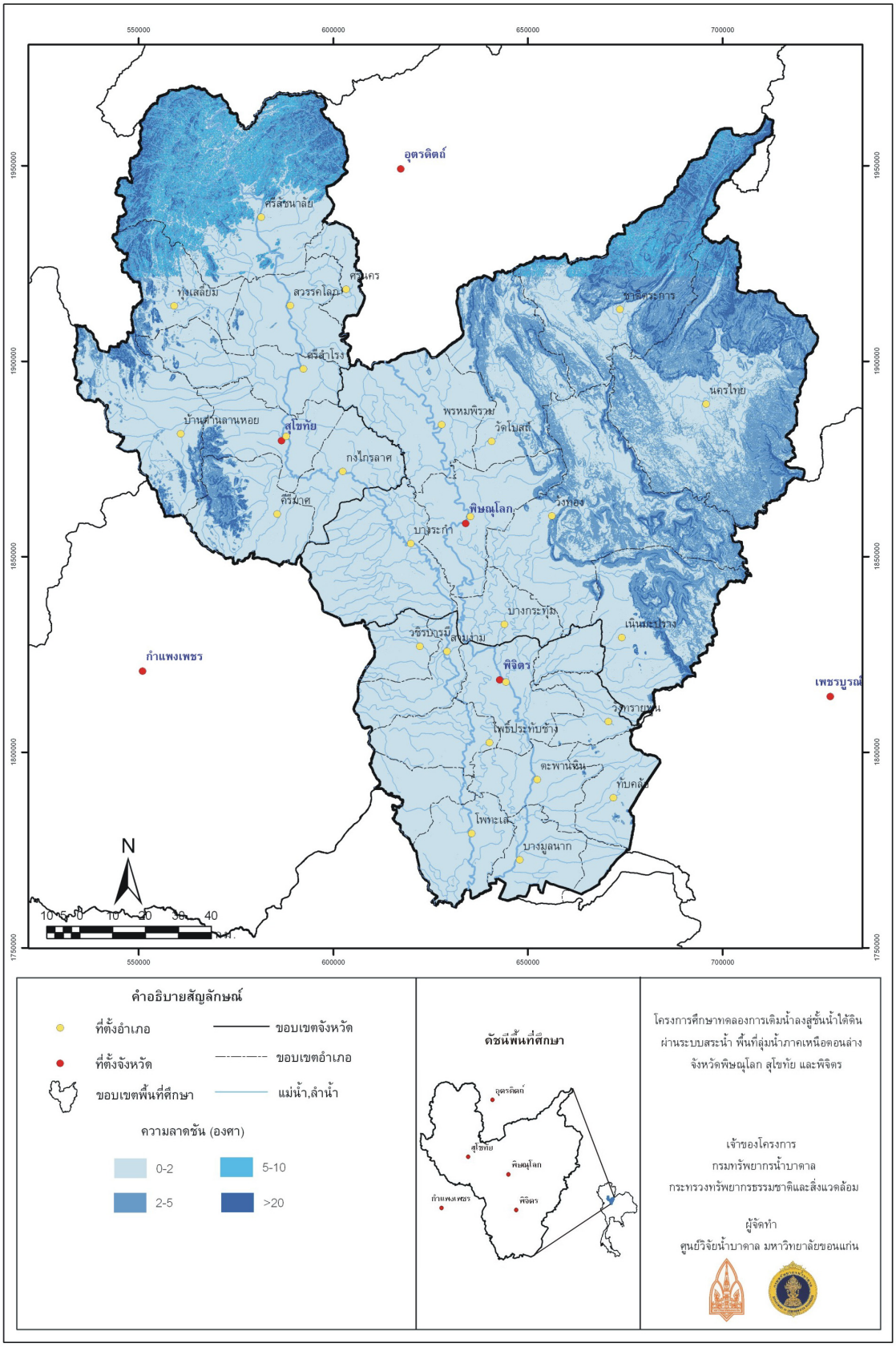
4) พื้นที่ที่ไม่เหมาะสมสำหรับการเติมน้ำผ่านระบบสระได้แก่พื้นที่บริเวณ ได้แก่ พื้นที่ภูเขาสูงชัน บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ มีพื้นที่ 800 ตร.กม. ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 4 ของพื้นที่ศึกษา



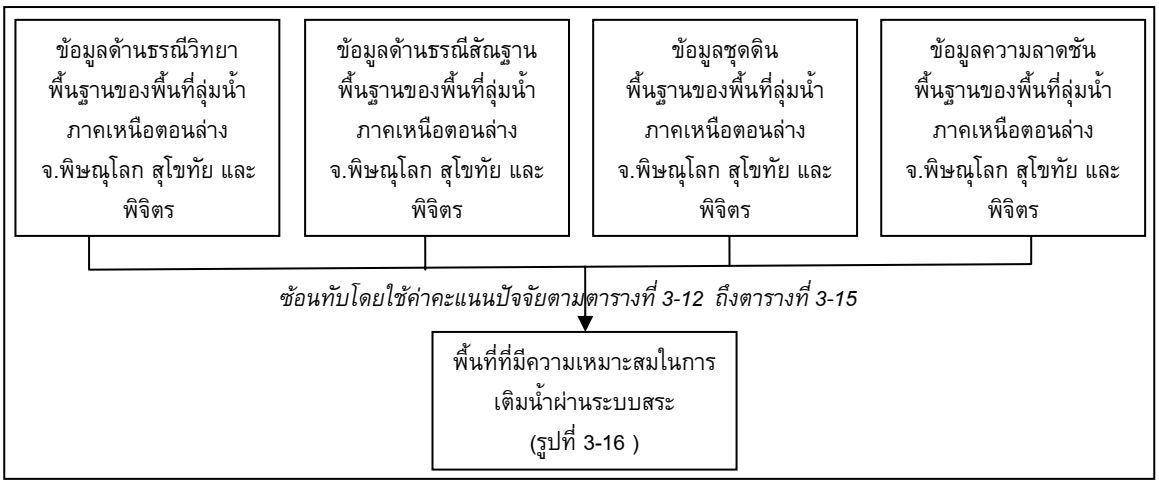
รูปที่ 3-12 แผนที่หน่วยหินทางธรณีวิทยา



รูปที่ 3-13 แผนที่ลักษณะธรณีสัญฐาน



รูปที่ 3-14 แผนที่ความลาดชัน



รูปที่ 3-15 ขั้นตอนการคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมในการเติมน้ำผ่านระบบสระ

ตารางที่ 3-12 เกณฑ์ที่ 1 ข้อมูลด้านธรณีวิทยา

ลำดับที่	ชนิดหิน	หน่วยหิน	ค่าคะแนนปัจจัย
1	Gravel, sand	Terrace deposit (Qt), Fluvial deposits (Qa), Alluvial fan deposits (Qaf)	5.0
2	Laterite & rock fragment	Colluvial deposits (Qc)	4.0
3	Clay	Flood plain deposits (Qff)	4.0
4	Conglomerate	Carboniferous rock (C)	1.5
5	Sandstone	Carboniferous-Permian rock (CP), Cretaceous-Jurassic rock (Jk), Phra Wihan Formation (JKpw), Phu Phan Formation (Kpp), Khao Ya Puk Formation (KTyk), Permian Rock (Pr-3) Nam Phong Formation (Trnp), Phra That Formation (Trpt)	1.5
6	Siltstone	Phu Kradung Formation (Jpk), Khok Kruat Formation (Kkk) Sao Khua Formation (Ksk)	1.5
7	Shale, Mudstone	Umpang Group (Ju), Hong Hoi Formation (Trhh), Huai Hin Lat Formation (Trhl), Wang Chin Formation (Trwc)	1.5
8	Limestone	Ratburi Group (Pr), Permian Limestone (Pr-2) Saraburi Group (Ps), Lampang Group (Trl)	1.5
9	Rhyolite	Cretaceous rhyolite (Krh)	1.5
10	Phyllite	Quartzitic phyllite (SD)	1.0
11	Basalt	Quaternary basalt (bs)	1.5
12	Gramite	Triassic Granite (Trgr), Permo-Triassic pyroxenite (PTru)	0.5
13	Gneiss	Lansang Gneiss (PE)	0.5

หมายเหตุ: ดัดแปลงจากข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:1,000,000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2542)

ตารางที่ 3-13 เกณฑ์ที่ 2 ข้อมูลด้านธรณีสัณฐาน

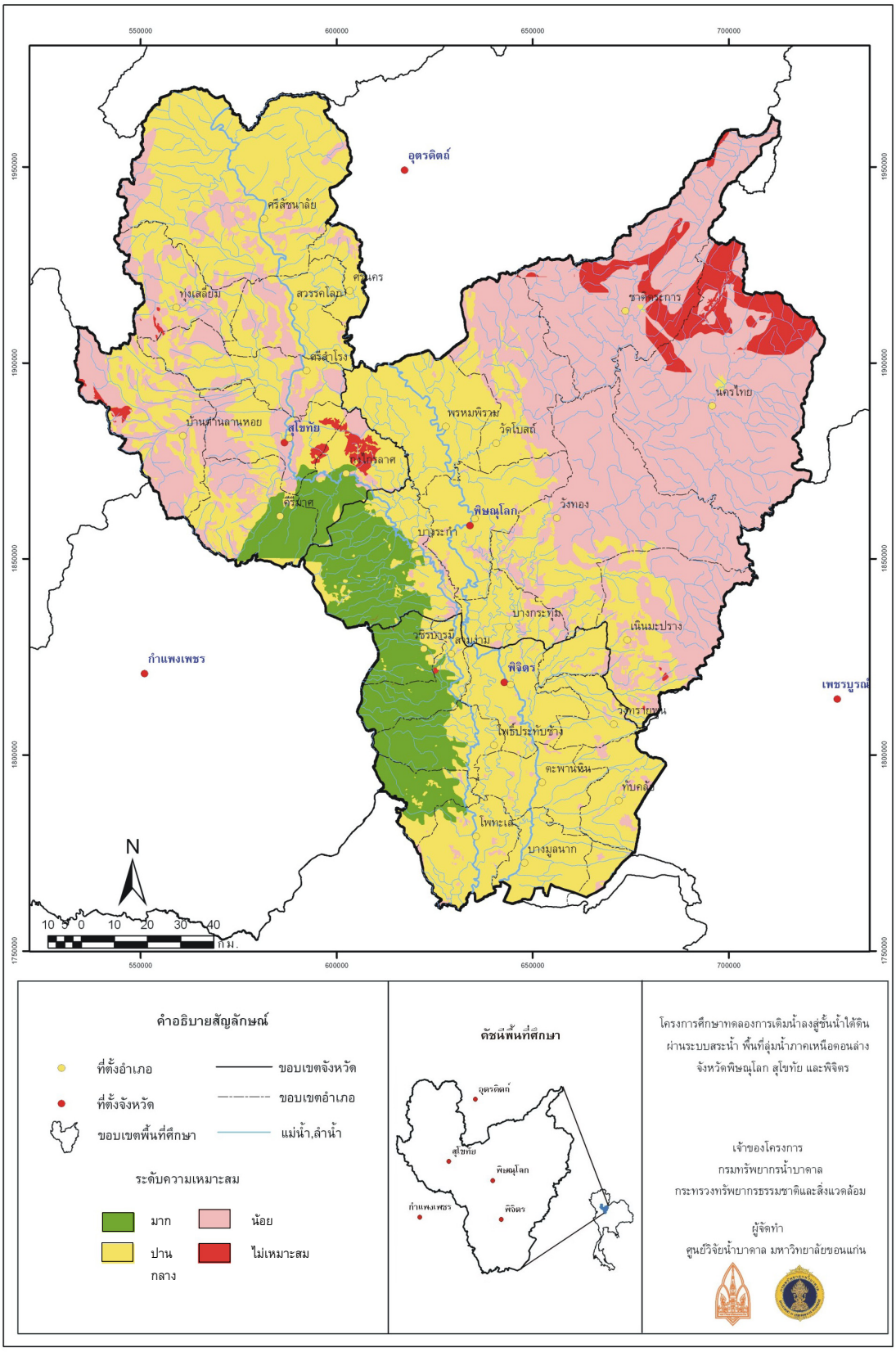
ลำดับที่	สภาพธรณีสัณฐาน	ค่าคะแนนปัจจัย
1	เนินเป็นตะกอนรูปพัด (Qaf)	5
2	ที่ราบเป็นตะพัก ความชันน้อย (Qt1)	3
3	ที่ราบเป็นตะพัก ความชันมาก (Qt2)	1
4	พื้นที่แหล่งตะกอนที่เกิดจากการทับกันของแม่น้ำ (Qa) Fluvial deposit (Qff)	1
5	พื้นที่สะสมตะกอนทับกับเชิงเขา (Qc)	1
6	พื้นที่เขาสูงไม่มีรอยเลื่อน	1
7	พื้นที่เขาสูงมีรอยเลื่อนตัดผ่าน (Cgr, SD, C, Pr-3, Kpp, KTpk, Jpk, Ksk)	2
8	ภูมิประเทศแบบคาสต์ (Pr, Pr-2, Ps, Trl)	5

ตารางที่ 3-14 เกณฑ์ที่ 3 ข้อมูลชุดดิน

ลำดับที่	กลุ่มดินตามวัตถุต้นกำเนิด	กลุ่มดินตามระบบการจำแนกดินประจำชาติ	ชุดดิน	ค่าคะแนนปัจจัย
1	S1: Alluvial soils	- Alluvial soils - Hydromorphic Alluvial soils - Low Humic Gray soils - Non Calcic Brown soils - Gray Podzolic soils	Ban, Cn, Cr, Cs, Db, Don, Hd, Kp, Ks, Kt, Kyo, Lk, Lp, Ml, Mn, Ms, Mta, Na, Nn, Np, On, Pb, Ph, Pic, Pm, Pn, Pth, Rb, Re, Rn, Sai, Sb, Sg, Sir, Sin, Sp, Sri, Tm, Tp, Tph, Utt	4
2	S2: Red gravelly soils	- Regosols - Ground Water Podzols	Bar, Ng, Ub, Yl, Wk	5
3	S3: Lateritic soils	- Reddish Brown Lateritic soils - Red Brown Earth	Bg, Bpo, Ch, Cg, Ct, Li, Mt, Pc, Sk, Tl, Wi, Ws	3
4	S4: Red yellow soils	- Red Yellow Latosols - Red Yellow Podzolic soils	Bd, Ds, Hc, Ky, Ly, Mk, Mr, Pp, Sa, Suk, Ssr, Ty, Wn	2
5	S5: Gray soils	- Grumusols - Rendzinas	Nu, Tk, Tr, Wa	2
6	SC: Slope complex			1

ตารางที่ 3-15 เกณฑ์ที่ 4 ข้อมูลความลาดชันของพื้นที่

ลำดับที่	ความลาดชัน	ค่าคะแนนปัจจัย
1	0 – 2	4
2	2 – 5	5
3	5 – 10	3
4	10 – 20	2
5	> 20	1



รูปที่ 3-16 แผนที่พื้นที่เหมาะสมในการเติมน้ำผ่านระบบสระ

บทที่ 4
พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่และการคัดเลือกพื้นที่นำร่อง

เนื้อหาบทนี้กล่าวถึงการศึกษาสภาพพื้นที่ขนาดใหญ่บริเวณด้านตะวันตกของแม่น้ำยม (พื้นที่ลุ่มน้ำยมตอนล่าง) โดยการรวบรวมข้อมูลและการสำรวจภาคสนามทั้งด้านกายภาพ อุทกวิทยา ธรณี-วิทยา และอุทกธรณีวิทยา เพื่อใช้ในการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด (พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยลานบ้า) พื้นที่นำร่องบ้านหนองนา และพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำของโครงการ พื้นที่ศึกษาทั้งหมดได้นำเสนอในรูปแบบแผนที่และภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้น สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำยมตอนล่างและพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยลานบ้าได้จัดทำเป็นแผนที่อุทกธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:50,000 และมาตราส่วน 1:10,000 ตามลำดับ รายละเอียดการศึกษามีดังต่อไปนี้

4.1 พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

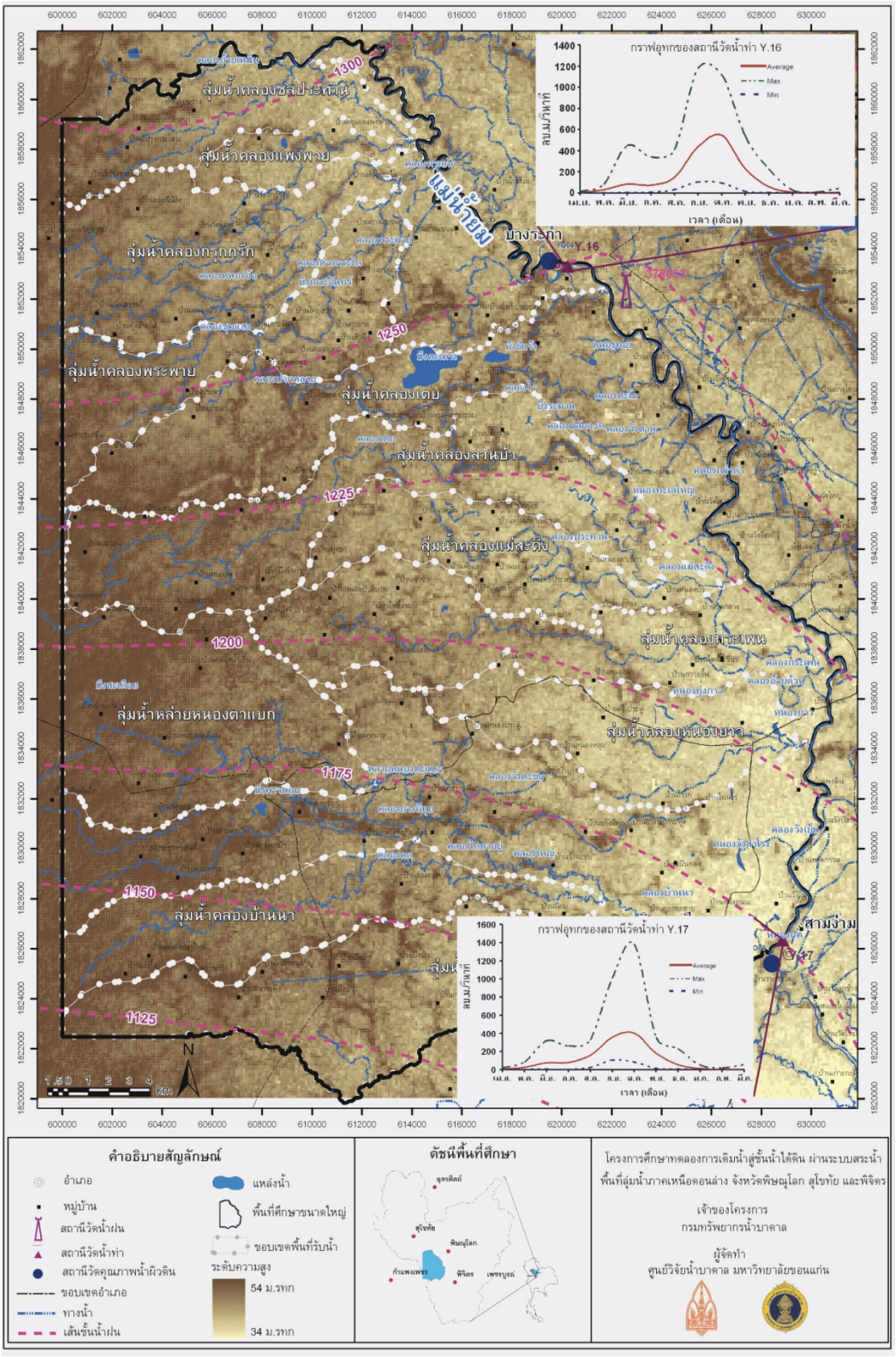
4.1.1 สภาพทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่มีขอบเขตอยู่ในพื้นที่ อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก อ. วชิรบารมี และ อ.สามง่าม จ.พิจิตร ครอบคลุมพื้นที่ 0.61 ล้านไร่ หรือ 972 ตร.กม. อาณาเขตด้านทิศเหนือถูกแบ่งโดยคลองอ้ายเหม็นซึ่งเป็นคลองน้ำสาขาของแม่น้ำยม ด้านตะวันตกติดกับแม่น้ำยม ด้านใต้ถูกแบ่งด้วยคลองบ้านไร่ และด้านตะวันออกติดกับ จ.กำแพงเพชร ตั้งอยู่ในเขตที่ราบลุ่มแม่น้ำยมตอนล่างในเขตที่ราบภาคกลาง พื้นที่เขาสูงพบทางด้านทิศตะวันตกและทิศเหนือแล้วค่อยๆ ลาดเทลงไปทางตะวันออกและทิศใต้ของพื้นที่ ความสูงภูมิประเทศอยู่ระหว่าง 54-34 ม. รทก. (รูปที่ 4-1) พื้นที่ปกคลุมด้วยดินตะกอนลุ่มน้ำเกิดจากตะกอนแม่น้ำยมและสาขาพัดพามาทับถม บริเวณสองฝั่งของทางน้ำมีลักษณะเป็นเนินตะกอน พื้นที่ที่ติดกับแม่น้ำยมเป็นที่ราบน้ำท่วมถึง ในฤดูฝนมักเกิดน้ำท่วมหนักจากน้ำที่เอ่อล้นจากแม่น้ำยม พื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้อากาศหนาวเย็นและแห้ง อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้มีฝนตกและอากาศชุ่มชื้น ฤดูหนาวอยู่ในช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ฤดูร้อนช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม และฤดูฝนช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม พื้นที่ศึกษามีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีประมาณ 1,200 มม. (ตารางที่ 4-1) และปริมาณฝนบริเวณด้านทิศเหนือ (1,250 มม.) สูงกว่าด้านทิศใต้ (1,125 มม.) (รูปที่ 4-1)

ตารางที่ 4-1 สถานีตรวจวัดน้ำฝนในเขตพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่และพื้นที่ใกล้เคียง

ลำดับที่	สถานี	ตำแหน่ง		ที่ตั้ง	อำเภอ	จังหวัด	ช่วงข้อมูล
		X	Y				
1	378003	622393	1852575	-	บางระกำ	พิษณุโลก	2540-2551
2	378007	639365	1828593	-	บางกระทุ่ม	พิษณุโลก	2540-2551
3	378009	643423	1863274	ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก	เมืองพิษณุโลก	พิษณุโลก	2540-2551
4	386007	631617	1816786	ที่ทำการไปรษณีย์สามง่าม	สามง่าม	พิจิตร	2540-2549

(ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา, 2552)



รูปที่ 4-1 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

สภาพแหล่งน้ำผิวดินได้รวบรวมข้อมูลจากกรมชลประทาน ข้อมูลคุณภาพน้ำในพื้นที่ขนาดใหญ่รวบรวมจากผลการติดตามตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ เป็นข้อมูลที่จะช่วยให้การเลือกพื้นที่เติมน้ำ และการออกแบบระบบเติมน้ำเป็นไปอย่างเหมาะสมกับสภาพอุทกวิทยาของพื้นที่

แหล่งน้ำขนาดใหญ่ในพื้นที่ได้แก่ แม่น้ำยม ซึ่งไหลผ่านพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ด้านทิศตะวันออก แม่น้ำยมไหลลงทางใต้เข้าสู่บริเวณที่ราบ ซึ่งเริ่มตั้งแต่ อ.ศรีสัชนาลัยติดต่อกันลงไป แม่น้ำยมในช่วงนี้มีความลาดเทน้อยลง จาก อ.ศรีสัชนาลัย แม่น้ำยมจะไหลลงทางทิศใต้ และมีแนวขนานคู่เคียงกับแม่น้ำน่านเข้าสู่เขต จ.พิจิตรที่ อ.สามง่าม แม่น้ำยมมีลักษณะคดเคี้ยว พบร่องรอยการเปลี่ยนแปลงทางเดินของลำน้ำเก่ามีสภาพเป็นหนอง บึงขนาดต่างๆ ปรากฏอยู่ทั่วไปในที่ราบลุ่มซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าแม่น้ำน่าน แต่มีความยาวน้อยกว่า ลำน้ำสาขาของแม่น้ำยมส่วนใหญ่มีต้นกำเนิดอยู่ในที่ราบลุ่มระหว่างลุ่มแม่น้ำปิงและลุ่มแม่น้ำยมในแนวตะวันตก-ตะวันออก

แหล่งน้ำขนาดเล็ก ในพื้นที่ได้แก่ ห้วย หนอง คลอง บึง ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม พื้นที่ลาดเอียงไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีแม่น้ำยมไหลผ่าน ด้านทิศตะวันออก มีลำคลองจำนวนมากไหลผ่านพื้นที่จากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือลงสู่แม่น้ำยม โดยทั่วไปเมื่อฤดูฝนจะเกิดปัญหาอุทกภัยและในขณะเดียวกันในฤดูแล้งจะขาดน้ำอย่างรุนแรง แหล่งน้ำขนาดเล็กที่สำคัญในเขต อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก อ.วชิรบารมี และ อ.สามง่าม จ.พิจิตร ปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำยมช่วงที่ไหลผ่านพื้นที่ศึกษามีการตรวจวัดโดยสำนักอุทก-วิทยาที่ 2 จ.พิษณุโลก กรมชลประทาน จำนวน 2 สถานี คือ สถานี Y.16 ที่บางระกำ จ.พิษณุโลก และสถานี Y.17 ที่ อ.สามง่าม จ. พิจิตร ดังรูปที่ 4-1 และตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 สถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำยมพื้นที่จังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร

ลำดับที่	สถานี	พิกัด X	พิกัด Y	ที่ตั้งสถานี	อำเภอ	จังหวัด	ช่วงปีของข้อมูล	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)
1	Y.16	620233	1853316	บ้านบางระกำ	บางระกำ	พิษณุโลก	2510-2549	20,841
2	Y.17	629250	1826169	บ้านสามง่าม	สามง่าม	พิจิตร	2510-2549	21,415

ปริมาณการไหลของแม่น้ำยมที่สถานี Y.16 อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก มีค่าเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 550 ลบ.ม./วินาที ในฤดูน้ำหลากในเดือนตุลาคม และมีค่าต่ำสุดในฤดูแล้งในเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ยประมาณ 3 ลบ.ม./วินาที (รูปที่ 4-2) ส่วนที่สถานี Y.17 อ.สามง่าม จ.พิจิตร มีค่าเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 400 ลบ.ม./วินาที ในฤดูน้ำหลากในเดือนตุลาคมและมีค่าต่ำสุดในฤดูแล้งในเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ยประมาณ 5 ลบ.ม./วินาที แสดงให้เห็นว่าการไหลของน้ำในแม่น้ำยมมีความเร็วสูงและมีการไหลเสริมจากน้ำใต้ดิน (base flow) น้อยมาก ปริมาณการไหลส่วนใหญ่เกิดจากการไหลของน้ำที่รวมตัวกันในลุ่มน้ำตอนเหนือของแม่น้ำยม และได้รับน้ำเพิ่มเติมจากลำน้ำสาขาในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ และพบว่าศักยภาพแหล่งน้ำที่สามารถใช้ในการเติมสู่ชั้นน้ำบาดาลนั้นคือปริมาณน้ำมีอัตราการไหลที่ประมาณ 2,900 ล้าน ลบ.ม./ปี ที่สถานี Y.16 และอัตราการไหลที่ประมาณ 2,400 ล้าน ลบ.ม./ปี ที่สถานี Y.17

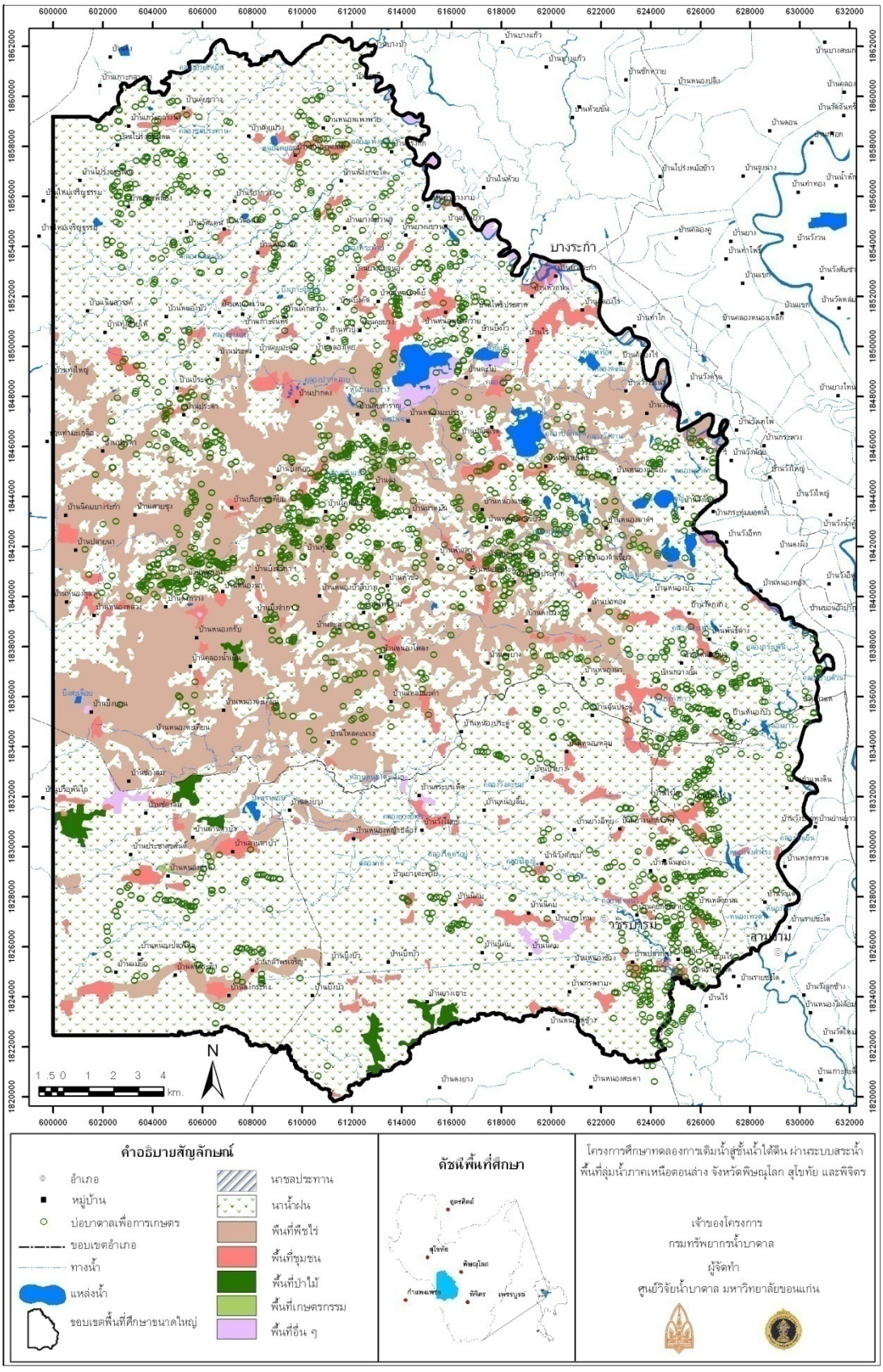
เมื่อนำคุณภาพน้ำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพของแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ในเชิงกายภาพได้แก่ สี อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง ในแม่น้ำยมในบริเวณพื้นที่ศึกษา เช่น ที่สถานี YO3 สะพานบ้านสามง่าม ต.สามง่าม อ.สามง่าม จ.พิจิตร และสถานี YO4 สะพานบางระกำ อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก (ภาคผนวก ช) มีค่าในช่วงที่เป็นค่าที่ยอมรับได้ ยกเว้นความขุ่นที่มีค่าค่อนข้างสูง (40 -190 NTU)

คุณภาพทางชีวภาพพบว่า ที่สถานี YO3 มีค่า DO ค่า BOD อยู่ในช่วงมาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 2 และ 3 มีปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์มทั้งหมด (TCB) และแบคทีเรียกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์ม (FCB) อยู่ในช่วงมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ยกเว้นในปี 2545 ที่มีคุณภาพน้ำต่ำกว่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ที่สถานี YO4 มีค่า DO ค่า BOD มีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 2 และ 3 มีปริมาณแบคทีเรียกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์มทั้งหมด (TCB) และแบคทีเรียกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์ม (FCB) อยู่ในช่วงของมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3

คุณภาพทางเคมี ที่สถานี YO3 และสถานี YO4 มีค่าไนเตรตและเอมโมเนียอยู่ในมาตรฐาน และมีค่าปริมาณโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ยกเว้นเหล็กซึ่งมีค่าในช่วง 1.6-4.7 มก./ล. แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่มีการกำหนดในมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค (ไม่เกิน 1.0 มก./ล.) จึงพบว่ามีค่าสูงกว่ามาตรฐาน และเป็นส่วนที่มีการตรวจพบแพร่กระจายทั่วไปในพื้นที่ศึกษาทั้งน้ำผิวดิน น้ำในนาข้าว และน้ำบาดาล ส่วนคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดในช่วง ปี 2542-2551 ไม่พบสารที่เป็นพิษในแหล่งน้ำผิวดิน

การจัดกลุ่มดินตามวัตถุต้นกำเนิดดินโดยอาศัยข้อมูลจากแผนที่ชุดดิน (soil series map) จ.พิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร มาตราส่วน 1:100,000 ซึ่งดำเนินการโดยกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2515 พบว่า ดินทั้งหมดในพื้นที่ขนาดใหญ่ เป็นดินที่เกิดจากตะกอนน้ำพา (alluvial soils) ซึ่งประกอบด้วย ชุดดินบ้านจ้อง (Ban) ชุดดินชัยนาท (Cn) ชุดดินเชียงราย (Cr) ชุดดินเชียงแสน (Cs) ชุดดินเดิมบาง (Db) ชุดดินหางดง (Hd) ชุดดินกำแพงเพชร (Kp) ชุดดินกำแพงแสน (Ks) ชุดดินเขาย้อย (Kyo) ชุดดินลพบุรี (Lp) ชุดดินมโนรมย์ (Mn) ชุดดินแม่สาย (Ms) ชุดดินนครพนม (Nn) ชุดดินนครปฐม (Np) ชุดดินเพชรบุรี (Pb) ชุดดินพาน (Ph) ชุดดินพิจิตร (Pic) ชุดดินพิมาย (Pm) ชุดดินราชบุรี (Rb) ชุดดินร้อยเอ็ด (Re) ชุดดินเรณู (Rn) ชุดดินสรรพยา (Sa) ชุดดินสระบุรี (Sb) ชุดดินไทรงาม (Sg) ชุดดินสิงห์บุรี (Sin) ชุดดินสันป่าตอง (Sp) ชุดดินศรีเทพ (Sri) ชุดดินท่าม่วง (Tm) และชุดดินอุตรดิตถ์ (Utt)

การใช้ประโยชน์ที่ดินแปลความหมายจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินรายจังหวัดมาตราส่วน 1:50,000 โดยกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2543 ได้แก่ (1) พื้นที่นาข้าว ส่วนใหญ่อยู่บริเวณตอนเหนือและตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา (2) พื้นที่ปลูกพืชไร่ ส่วนใหญ่ปลูกข้าวโพด รองลงมาเป็นอ้อย อยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา (3) พื้นที่ป่าไม้ เป็นป่าผลัดใบ อยู่บริเวณตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา (4) พื้นที่ชุมชน ในพื้นที่ศึกษาเป็นหมู่บ้าน กระจายทั่วไปในพื้นที่ศึกษา และ (5) พื้นที่อื่นๆ ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่ม อยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา แสดงดังรูปที่ 4-2 และตารางที่ 4-3



รูปที่ 4-2 แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

ตารางที่ 4-3 ข้อมูลขนาดพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ลำดับ	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละของพื้นที่
1	พื้นที่ชุมชน	46.41	4.77
2	พื้นที่นาข้าว	700.14	71.98
3	พื้นที่พืชไร่	207.31	21.31
4	พื้นที่ป่าไม้	2.74	0.28
5	พื้นที่อื่นๆ	16.13	1.66
	รวม	972.73	100.00

(ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน, 2543)

4.1.2 การสำรวจและจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:50,000

การสำรวจในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ประกอบด้วย การเจาะสำรวจทางธรณีวิทยาและการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ การสำรวจคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาลโดยการสูบทดสอบ การตรวจวัดระดับน้ำบาดาล การตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาล และการสำรวจการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ เพื่อจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่มาตราส่วน 1 : 50,000 (แสดงในเอกสารและไฟล์แนบ) ซึ่งมีรายละเอียดของงานแต่ละส่วนดังนี้

1) การเจาะสำรวจทางธรณีวิทยาและการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์

วัตถุประสงค์ของการเจาะสำรวจทางธรณีวิทยาและการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์

(1.1) เพื่อสำรวจชนิดและความลึกของชั้นดินเหนียว ทราย และกรวด

(1.2) เพื่อติดตั้งบ่อสังเกตการณ์

(1.3) เพื่อศึกษาระบบการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่รับน้ำ (recharge area) และพื้นที่สูญเสียน้ำ (discharge area)

(1.4) เพื่อตรวจวัดระดับน้ำบาดาลและเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางเคมีของน้ำบาดาล

(1.5) เพื่อสำรวจข้อมูลใต้ผิวดินในบริเวณที่ไม่มีข้อมูล และใช้ในการวิเคราะห์และจำแนกชนิดของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

การเจาะสำรวจในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ได้เจาะสำรวจทั้งหมด 78 จุด ความลึกรวมทั้งหมด 2,588 ม. และติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ จำนวน 76 บ่อ เป็นบ่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว จำนวน 46 บ่อ และบ่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว จำนวน 30 บ่อ ดำเนินการเจาะตั้งแต่กรกฎาคม 2552 ถึงเมษายน 2553 โดยศูนย์วิจัยน้ำบาดาล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ใช้เครื่องเจาะแบบหมุนตรง (รูปที่ 4-3ก) และหัวเจาะแบบหางปลา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 นิ้ว ตัวอย่างดินและหินได้เก็บและบันทึกรายละเอียดทุกระยะ 1 ม. (รูปที่ 4-3ง) ส่วนบ่อสังเกตการณ์ขนาด 6 นิ้ว หลังจากเจาะบ่อด้วยหัวเจาะแบบหางปลาแล้วได้เจาะคว้านบ่อด้วยหัวเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 นิ้วอีกครั้ง เพื่อให้สามารถติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ขนาด 6 นิ้วได้

การติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ขนาด 2 นิ้ว และ 6 นิ้ว ใช้ท่อกรองและท่อพีวีซี ขนาด 2 นิ้ว และ 6 นิ้ว ตามลำดับ บริเวณรอบๆ ท่อกรองมีการลงกรวดกรุ และพันด้วยวัสดุกรองพวกเส้นใยตาข่ายเพื่อกันทราย (รูปที่ 4-3ค) หลังจากลงท่อกรองแล้วจึงทำการลงกรวดกรุ และทรายหยาบ ตามช่วงของท่อกรอง ซึ่งแตกต่างกันไปตามลักษณะชั้นดินชั้นหิน จากนั้นทำการลงดินเหนียว และเป่าล้างทำความสะอาดบ่อสังเกตการณ์ รอจนดินอยู่ตัวจึงเทฐานติดตั้งเป็นบ่อสังเกตการณ์ (รูปที่ 4-3ฉ) ข้อมูลทั่วไปของการเจาะสำรวจและการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์แสดงไว้ในภาคผนวก ค ส่วนข้อมูลชั้นดินชั้นหินแสดงในภาคผนวก ง



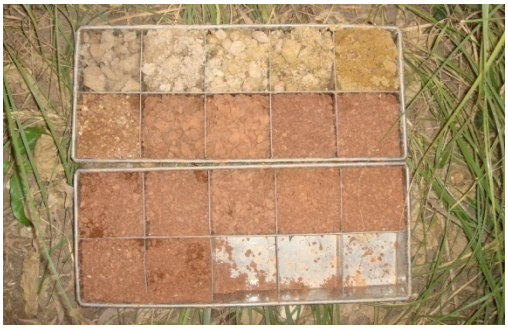
(ก) การตั้งเครื่องเจาะสำรวจทางธรณีวิทยา



(ข) การเจาะสำรวจทางธรณีวิทยา



(ค) การเตรียมท่อกรอง



(ง) การเก็บตัวอย่างดินและหิน



(จ) การเป่าล้างทำความสะอาดบ่อ



(ฉ) การติดตั้งบ่อสังเกตการณ์

รูปที่ 4-3 การเจาะสำรวจทางธรณีวิทยาและการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์

2) ลักษณะทางธรณีวิทยา

(2.1) ธรณีสัณฐานวิทยา

ธรณีสัณฐานของพื้นที่สามารถจำแนกได้ 3 ลักษณะ ได้แก่ พื้นที่ราบน้ำท่วมถึง พื้นที่เนินตะกอนรูปพัด และพื้นที่เนินลานตะพักระดับต่ำ

(2.1.1) พื้นที่ราบน้ำท่วมถึง มีระดับความสูงของภูมิประเทศประมาณ 36-44 ม. รทก. เป็นแหล่งสะสมตะกอนน้ำพา (flood plain deposits) ประกอบด้วยตะกอนดินเหนียว ทรายแป้ง และทรายปนกรวด สภาพพื้นที่ประกอบด้วยสันดินร่วนลำน้ำ ค่อยๆ ลาดลงเป็นที่ราบลุ่มลำน้ำ บางแห่งมีบึงโค้งร่องน้ำเก่ารูปแอก (oxbow lakes) วางตัวเป็นระยะๆ ปรากฏตัวอยู่ด้านตะวันตกของแม่น้ำยมจากบ้านธานี อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก ทางด้านทิศเหนือจรดบ้านนาและบ้านรายชะโด อ.สามง่าม จ.พิจิตร มีความกว้างเฉลี่ยประมาณ 4 กม. ยาวประมาณ 50 กม.โดยมีค่าระดับความสูงของภูมิประเทศประมาณ 36 ม.รทก. ด้านทิศใต้สุด และ 44 ม.รทก.ด้านทิศเหนือสุดของพื้นที่ พื้นที่ราบมีความลาดชันร้อยละ 0.002

(2.1.2) พื้นที่เนินตะกอนรูปพัด (alluvial fans) มีระดับความสูง 36-46 ม.รทก. เป็นแหล่งสะสมตะกอนน้ำพารูปพัดซึ่งประกอบด้วย ทราย ทรายแป้งปนกรวด และดินเหนียว ลักษณะเป็นเนินค่อนข้างราบเรียบ และแนวเนินตะกอนทรายยาวขนานไปกับทางน้ำเก่าเป็นริ้วคล้ายนิ้วมือหรือไส้กรอกวางตัวในแนวตะวันตก-ตะวันออก บางบริเวณอาจขาดตอนเป็นช่วงๆ คล้ายบึงโค้งและมีความกว้างประมาณ 1 กม. เป็นตะกอนรูปพัดวางตัวแบบไม่ต่อเนื่องอยู่บนชั้นดินเหนียวของลานตะพักระดับต่ำ กระจายตัวสลับกันกับลานตะพักระดับต่ำอยู่เกือบเต็มพื้นที่ศึกษาในเขตพื้นที่ด้านตะวันตกของ อ.บางระกำ อ.วชิรบารมี และ อ.สามง่าม โดยมีระดับความสูงของภูมิประเทศทางด้านทิศตะวันตกประมาณ 46-42 ม.รทก. และลาดต่ำไปทางด้านทิศตะวันออกซึ่งมีระดับความสูงของภูมิประเทศประมาณ 44-36 ม.รทก. มีความลาดชันเฉลี่ยร้อยละ 0.03

(2.1.3) พื้นที่เนินลานตะพักระดับต่ำ (low terraces) มีระดับความสูงของภูมิประเทศประมาณ 36-46 ม.รทก. ระดับความสูงของเนินตะกอนรูปพัดและลานตะพักระดับต่ำมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในบางพื้นที่ตะกอนรูปพัดมีระดับสูงกว่าเล็กน้อย ลานตะพักระดับต่ำเป็นแหล่งสะสมตะกอนธารน้ำพา (fluviatile deposits) ประกอบด้วยดินเหนียว ทรายแป้ง ทราย และกรวดขนาดต่างๆ ตะกอนเหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการผุพังทำลายเป็นระยะเวลายาวนาน จนบางแห่งกลายสภาพเป็นดินปนลูกรัง (lateritic clay) และแทรกด้วยเม็ดลูกรัง กระจายตัวสลับอยู่กับเนินตะกอนรูปพัด พบในบริเวณด้านทิศตะวันตกของ อ.บางระกำ อ.วชิรบารมี และ อ.สามง่าม เนินลานตะพักระดับต่ำวางตัวลาดเทจากตะวันตกไปตะวันออก และมีความลาดชันเฉลี่ยใกล้เคียงกันกับบริเวณเนินตะกอนรูปพัด

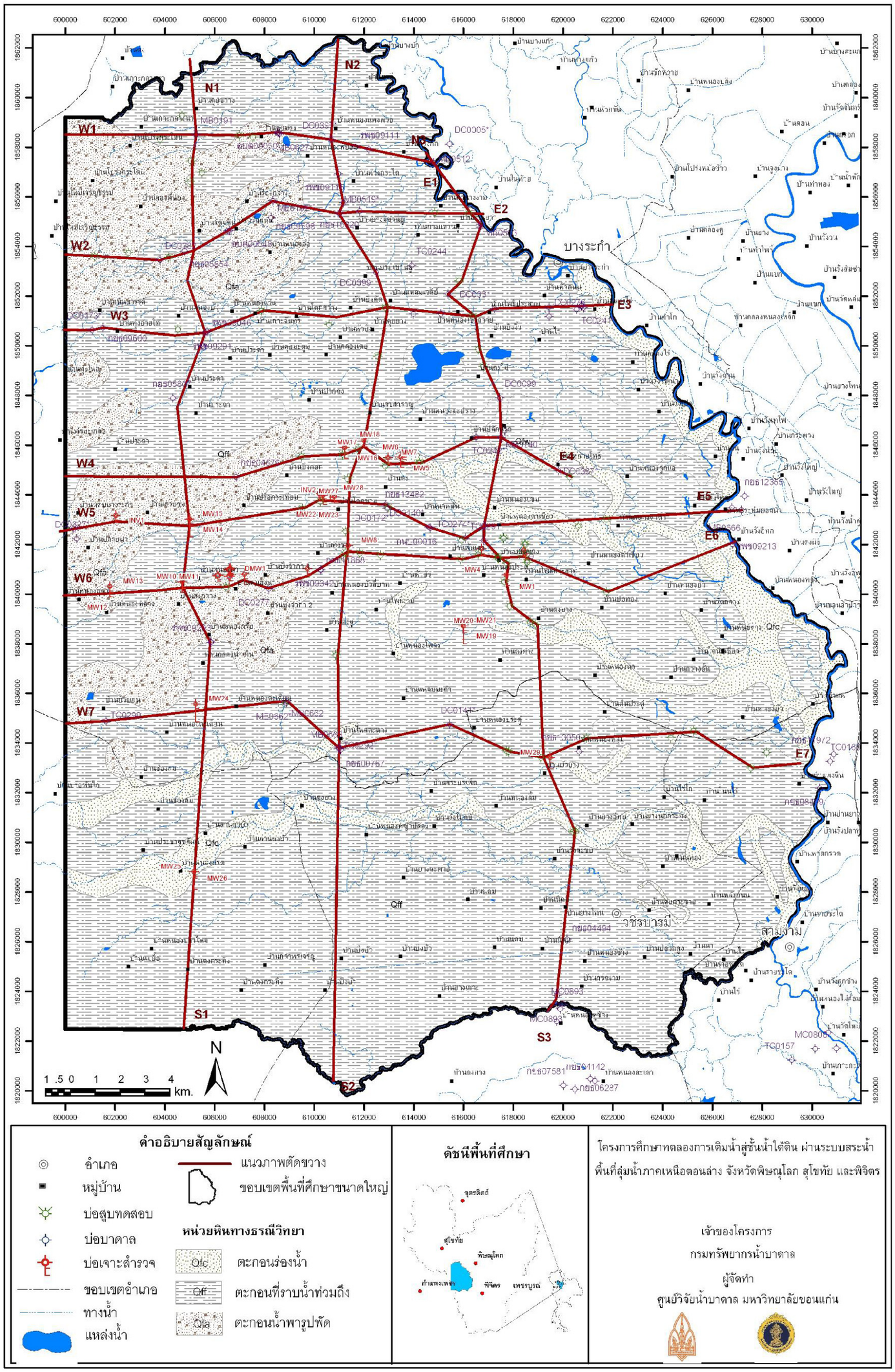
(2.2) ธรณีวิทยา

พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่รองรับด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารี สะสมตัวในแอ่งเจ้าพระยาตอนบนหรือแอ่งพิษณุโลกสมัยไพลโตซีน ทับถมบนหินตะกอนกึ่งแข็งตัวและแข็งตัวแล้วอายุเทอร์เชียรี่ ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะตะกอนควอเทอร์นารีในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มดังต่อไปนี้

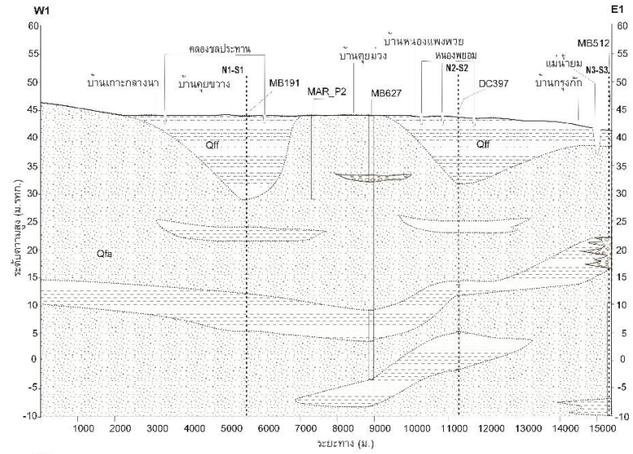
(2.2.1) ตะกอนร่องน้ำ (channel deposit, Qfc) ประกอบด้วย ตะกอนร่องน้ำ (channel deposit) และตะกอนคันดินธรรมชาติริมแม่น้ำ (natural levee) ตะกอนร่องน้ำ ประกอบด้วย ทรายและทรายปนกรวด สีขาวถึงเทาอ่อน และสีน้ำตาลแกมเหลือง มีลักษณะร่วน พบบริเวณตะวันออกเฉียงใต้และตอนล่างของพื้นที่ ตะกอนคันดินธรรมชาติริมแม่น้ำประกอบด้วยตะกอนทรายแป้งและทรายแป้งปนดินเหนียว สีเหลืองแกมน้ำตาล และชั้นทรายปนกรวด พบกระจายตัวเป็นแนวตามพื้นที่สองฝั่งแม่น้ำน่านและสาขาบริเวณด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษา

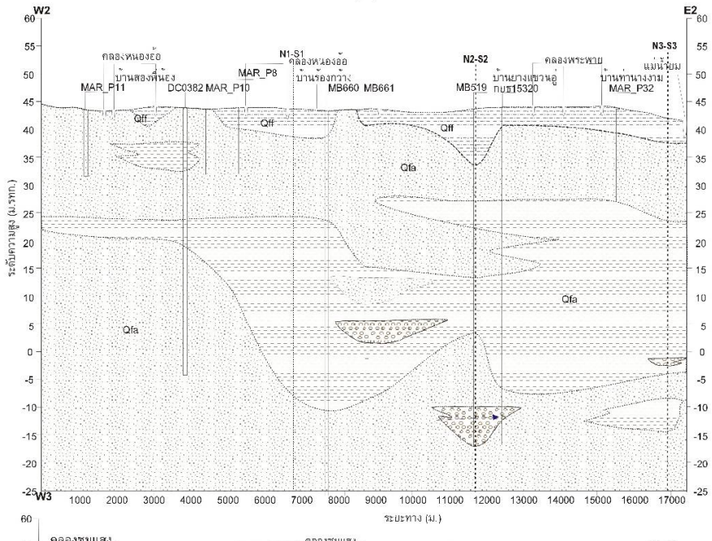
(2.2.2) ตะกอนที่ราบน้ำท่วม (flood plain deposit, Qff) ประกอบด้วยตะกอนที่ทับถมตัวบริเวณที่ราบน้ำท่วม (flood plain deposit) และตะกอนที่ลุ่มน้ำขัง (back swamp deposit) ตะกอนที่ทับถมตัวบริเวณที่ราบน้ำท่วมประกอบด้วย ดินเหนียวปนดินร่วนและดินเหนียวปนทราย สีเทาอ่อนถึงน้ำตาลแกมเหลือง เนื้อแน่น สีน้ำตาลถึงแดง พบกระจายตัวคลุมเกือบเต็มพื้นที่ศึกษา ตะกอนที่ลุ่มน้ำขังประกอบด้วย พีต (peat) ซึ่งเป็นเศษพืชที่สะสมตัวจนเน่าเปื่อย และดินเหนียวปนพีต สีดำถึงเทาดำ มีลักษณะร่วน สีแดงแกมน้ำตาล พบตามที่ราบลุ่ม กระจายตัวตามแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ตามแนวแม่น้ำน่าน

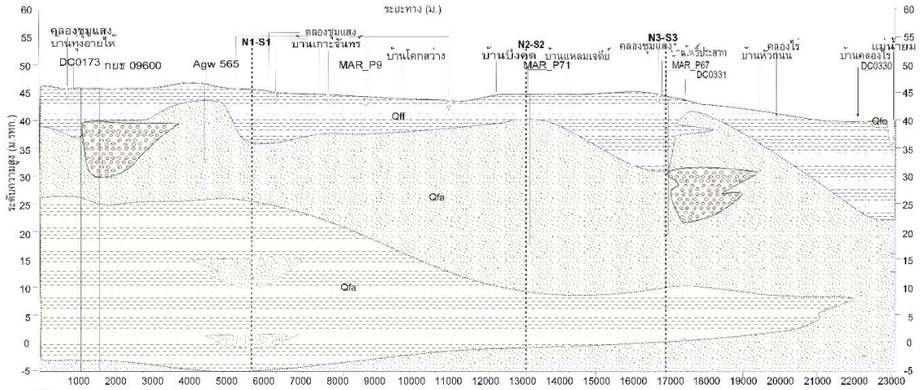
(2.2.3) ตะกอนเนินรูปพัด (alluvial fan deposit, Qfa) ประกอบด้วยทรายและทรายปนกรวด สีน้ำตาลเหลือง ร่วน สะสมตัวเป็นเนินรูปพัด พบบริเวณขอบแอ่งด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 4-4 ถึงรูปที่ 4-8)



รูปที่ 4-4 แผนที่ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่







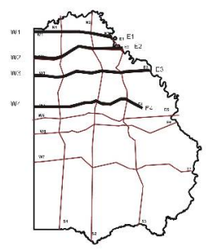
คำอธิบายสัญลักษณ์

หน่วยหินทางธรณีวิทยา

- Qfc ตะกอนร่องน้ำ
- Qff ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง
- Qfa ตะกอนน้ำพารูปพัด
  - Qfa ดินเหนียว
  - Qfa ทราย
  - Qfa กรวด

- กบช 04576 บ่อบาดาลเจาะโดยหน่วยงานราชการต่างๆ เช่น กบช 04576, TC242, DC0367
- MW17 บ่อสังเกตุการณ์ เจาะโดยโครงการ เช่น MW17
- Agw_565 บ่อ Agw บ่อเจาะเพื่อการเกษตร และใช้เป็นบ่อสังเกตุการณ์ เช่น Agw_565
- MAR_P53 บ่อสูบทดสอบ MAR_P53 และใช้เป็นบ่อสังเกตุการณ์ เช่น MAR_P53

ดัชนีพื้นที่ศึกษา



ล.พิจารณ์.....ดแวอร์วลง์

กริด.....2,000 เมตร เขต 47 N

เส้นโครงแผนที่.....ทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์

พิมพ์เมื่อ.....ตุลาคม 2552

โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร

รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2

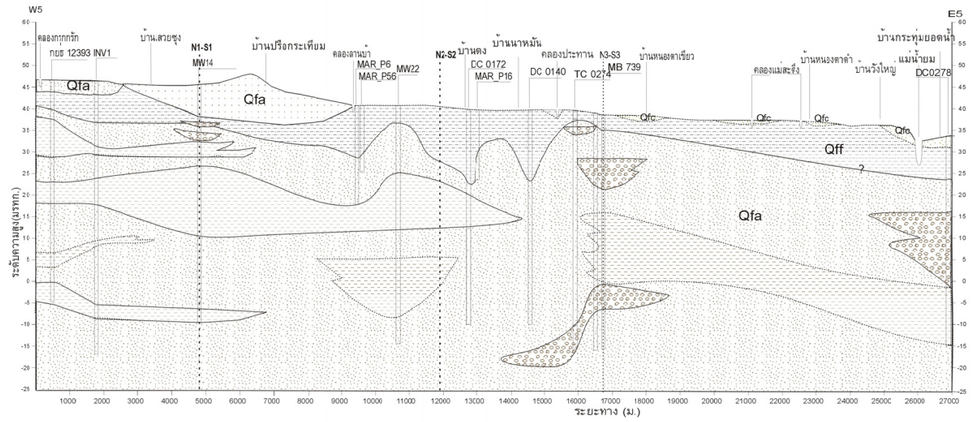
เจ้าของโครงการ

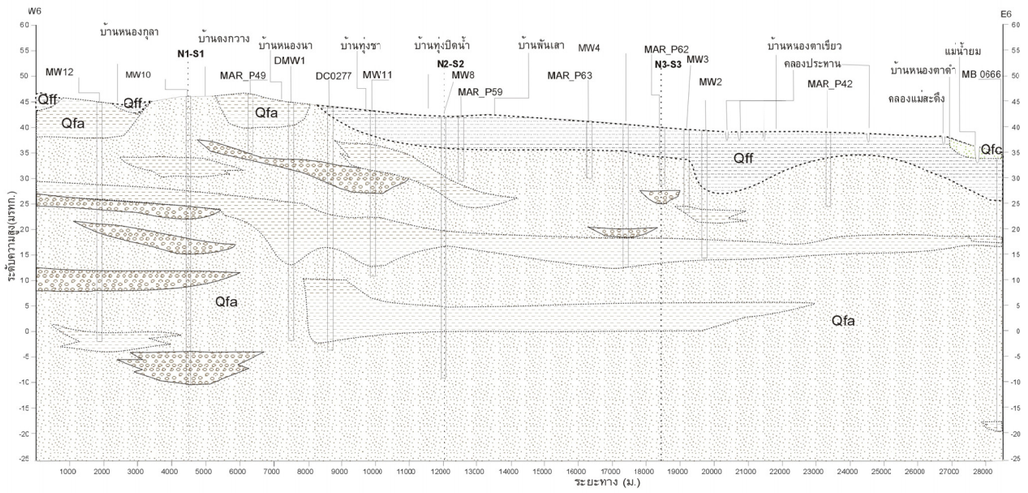
กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

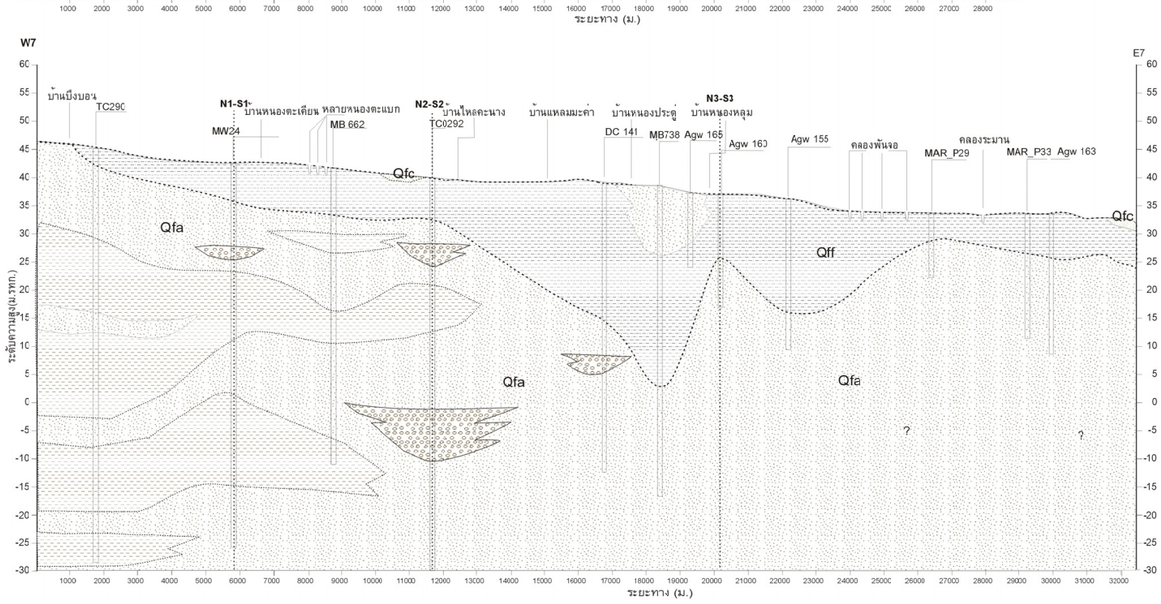
ผู้จัดทำ

ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รูปที่ 4-5 ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาตามแนว W1-E1 ถึง W4-E4







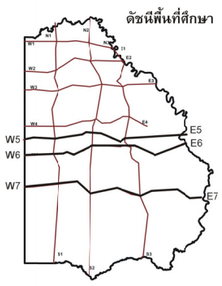
คำอธิบายสัญลักษณ์

หน่วยหินทางธรณีวิทยา

Qfc	ตะกอนร่องน้ำ
Qff	ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง
Qfa	ตะกอนน้ำพารูปพัด
Qfa	ดินเหนียว
Qfa	ทราย
Qfa	กรวด

- กยธ 04576 บ่อบาดาลเจาะโดยหน่วยงานราชการต่างๆ เช่น กยธ 04576, TC242, DC0367
- MW14 บ่อ MAR บ่อสังเกตุการณ์ เจาะโดยโครงการ เช่น MW14
- Agw_565 บ่อ Agw บ่อเจาะเพื่อการเกษตร และใช้เป็นบ่อสังเกตุการณ์ เช่น Agw_565
- MAR_P53 บ่อสูบทดสอบ MAR_P53 และใช้เป็นบ่อสังเกตุการณ์ เช่น MAR_P53

ดัชนีพื้นที่ศึกษา



โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ
พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร

เจ้าของโครงการ
กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
ผู้จัดทำ
ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รูปที่ 4-5 ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาตามแนว W5-E5 ถึง W7-E7

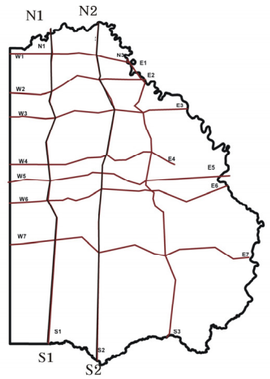
คำอธิบายสัญลักษณ์

หน่วยดินทางธรณีวิทยา

- Qfc ตะกอนร่องน้ำ
- Qff ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง
- Qfa ตะกอนน้ำพารูปพัด
  - Qfa ดินเหนียว
  - Qfa ทราย
  - Qfa กรวด

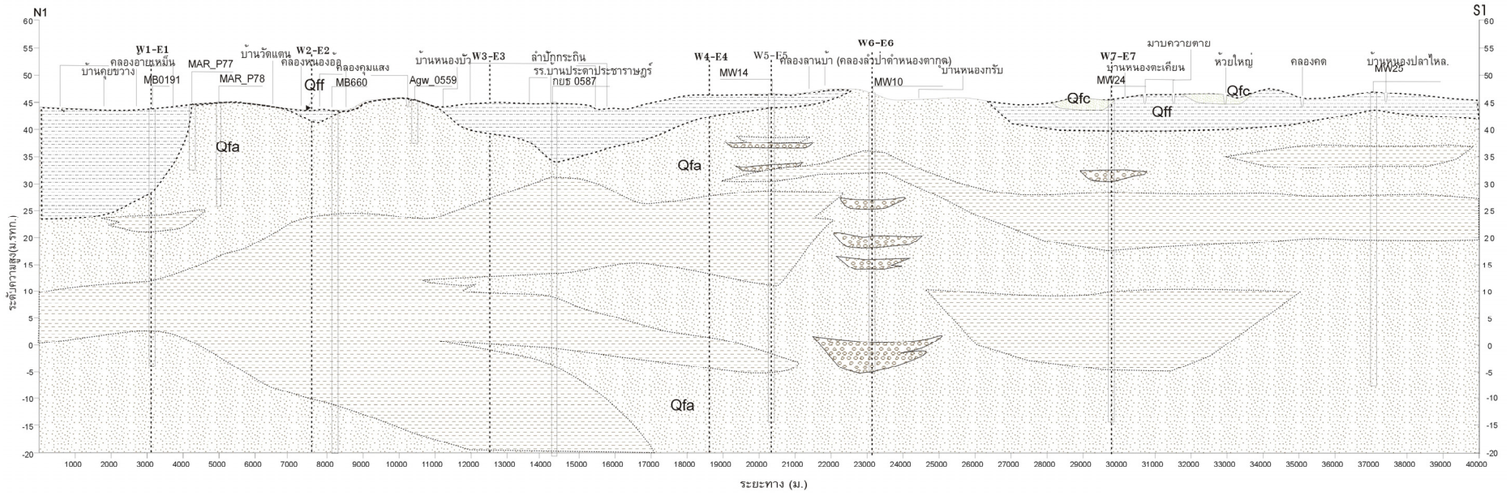
- กยธ 04576 บ่อบาดาลเจาะโดยหน่วยงานราชการต่างๆ เช่น กยธ 04576, TC242, DC0367
- MW14 บ่อ MAR บ่อสังเกตุการณ์ เจาะโดยโครงการ เช่น MW14
- Agw_565 บ่อ Agw บ่อเจาะเพื่อการเกษตร และใช้เป็นบ่อสังเกตุการณ์ เช่น Agw_565
- MAR_P53 บ่อสูบทดสอบ MAR_P53 และใช้เป็น บ่อสังเกตุการณ์ เช่น MAR_P53

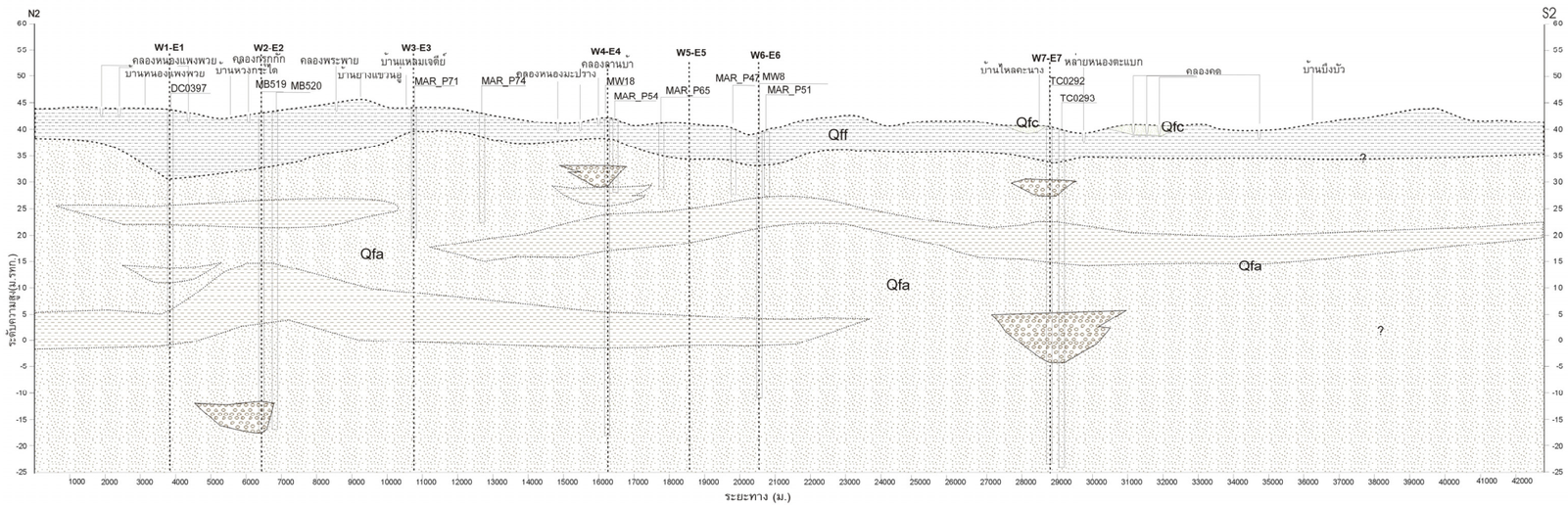
ดัชนีพื้นที่ศึกษา



โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ
พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร

เจ้าของโครงการ
กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
ผู้จัดทำ
ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น





รูปที่ 4-5 ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาตามแนว N1-S1 ถึง N2-S2

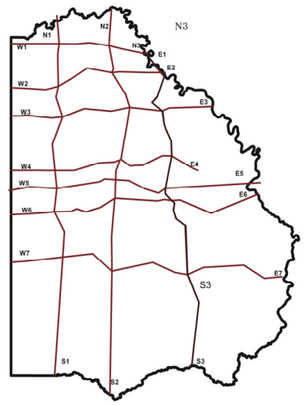
คำอธิบายสัญลักษณ์

หน่วยหินทางธรณีวิทยา

- Qfc — ตะกอนร่องน้ำ
- Qff — ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง
- Qfa — ตะกอนน้ำพารูปพัด
  - Qfa — ดินเหนียว
  - Qfa — ทราย
  - Qfa — กรวด

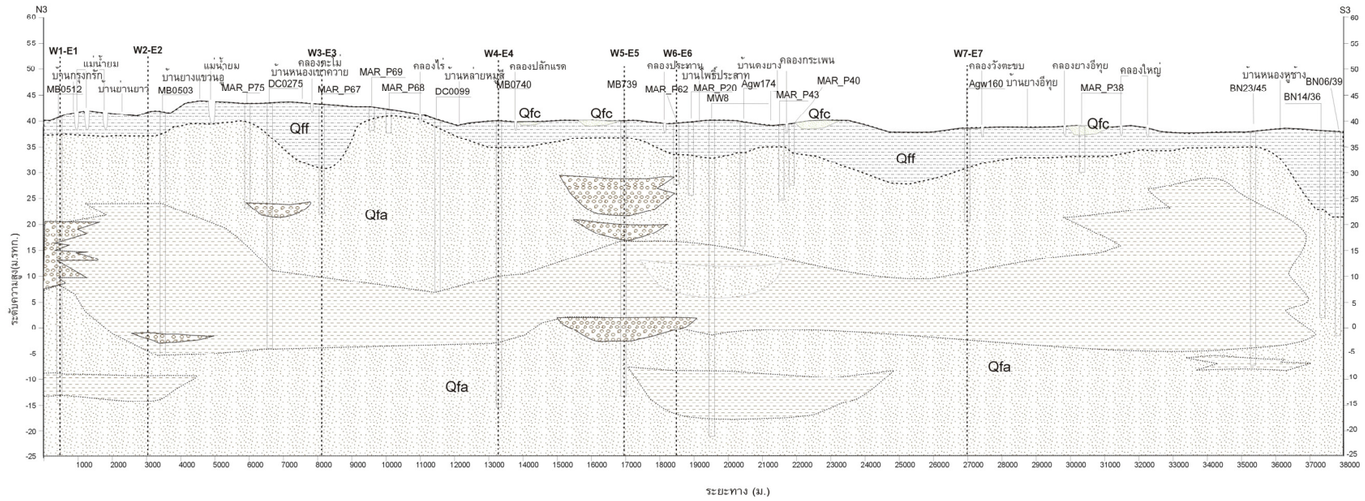
- กยธ 04570 — บ่อบาดาลเจาะโดยหน่วยงานราชการต่างๆ เช่น กยธ 04576, TC242, DC0367
- MW 14 — บ่อ MAR บ่อสังเกตุการณ์ เจาะโดยโครงการ เช่น MW14
- Agw_565 — บ่อ Agw บ่อเจาะเพื่อการเกษตร และใช้เป็นบ่อสังเกตุการณ์ เช่น Agw_565
- MAR_P53 — บ่อสูบทดสอบ MAR_P53 และใช้เป็นบ่อสังเกตุการณ์ เช่น MAR_P53

ดัชนีพื้นที่ศึกษา



โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ
พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร

เจ้าของโครงการ
กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
ผู้จัดทำ
ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น



รูปที่ 4-5 ภาพตัดขวางทางธรณีวิทยาตามแนว N3-S3

3) ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา

พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่รองรับด้วยกรวด ทราย และดินเหนียวสลับกันหลายชั้น ชั้นหินอุ้มน้ำที่มีการใช้น้ำบาดาลมีอยู่ 2 ระดับคือ ระดับตื้น (ลึกน้อยกว่า 15 ม.) และระดับลึก (ลึกมากกว่า 15 ม.) การศึกษาครั้งนี้ได้เห็นความสำคัญของการเติมน้ำจากผิวดินหรือการศึกษาของชั้นตะกอนระดับตื้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(3.1) ลักษณะและการวางตัวของชั้นน้ำบาดาล

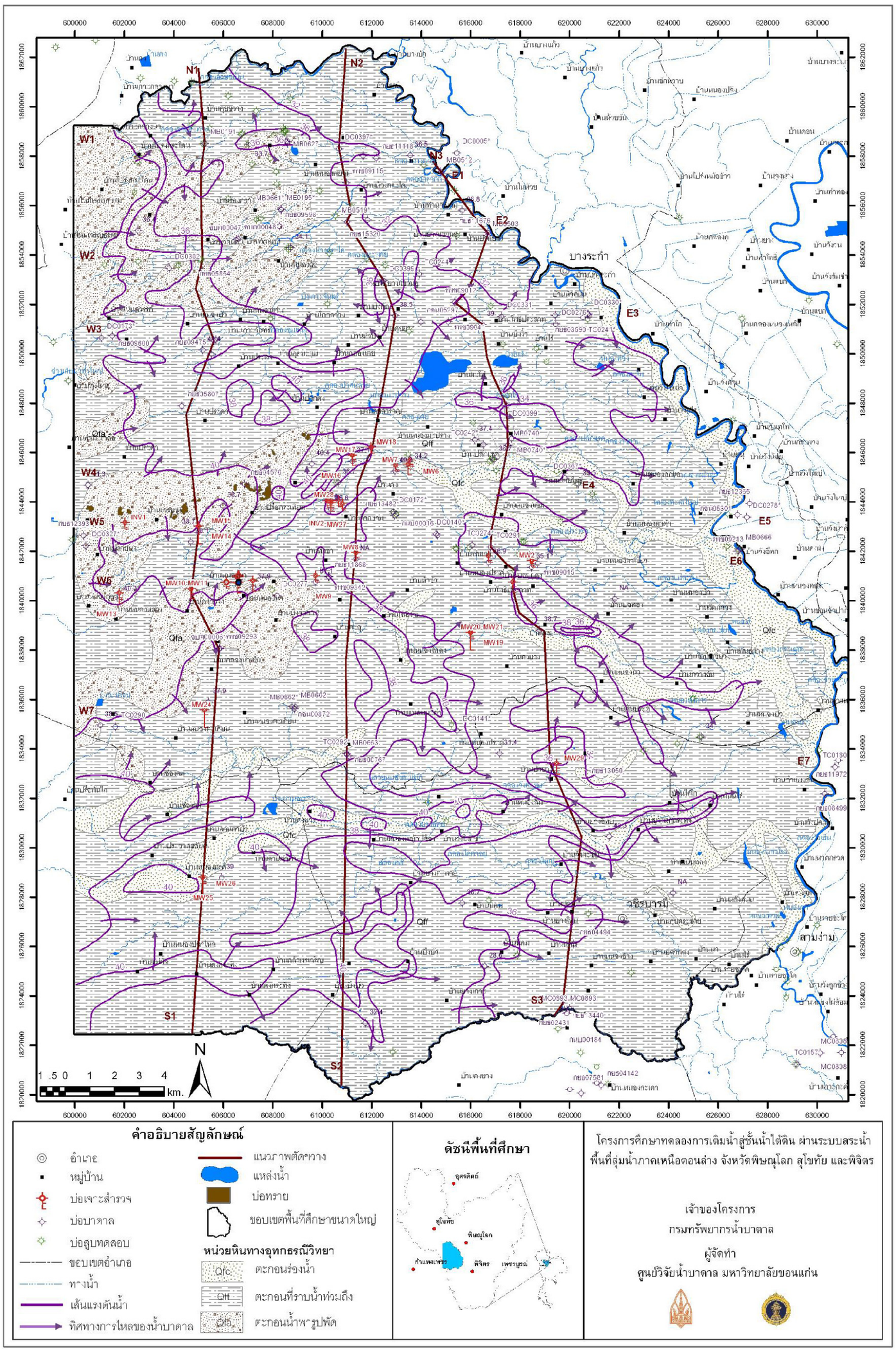
จากข้อมูลเอกสารรายงานวิชาการฉบับที่ สธว. 18/2549 และแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:50,000 ซึ่งจัดพิมพ์โดยสำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี ร่วมกับข้อมูลการเจาะบ่อบาดาล ของกรมทรัพยากรธรณีและกรมทรัพยากรน้ำบาดาล และข้อมูลการเจาะสำรวจของโครงการ คณะที่ปรึกษาได้จัดกลุ่มของตะกอนยุคควอเทอร์นารีเป็นหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาได้ 3 หน่วยหิน ได้แก่ ตะกอนน้ำพารูปพัด ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง และตะกอนสะสมตัวในร่องน้ำ หน่วยหินที่มีความสำคัญต่อการศึกษาการเติมน้ำผ่านสระคือ ตะกอนน้ำพารูปพัดซึ่งประกอบด้วยชั้นกรวดทรายสลับดินเหนียวเหมาะสมต่อการเติมน้ำโดยเฉพาะเมื่อพบทรายที่ระดับตื้น ลักษณะการแผ่กระจายตัวดังแสดงในแผนที่อุทกธรณีวิทยารูปที่ 4-9 และภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยารูปที่ 4-10 รายละเอียดของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาเป็นดังนี้

(3.1.1) ตะกอนน้ำพารูปพัด กำหนดขอบเขตได้จากลักษณะภูมิสัณฐานที่เห็นได้ชัดเจนจากแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:1,000,000 ดังรูปที่ 4-5 ถึงรูปที่ 4-8 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยทรายสลับชั้นกรวดขนาดเล็ก สลับด้วยชั้นดินเหนียวปนลูกรัง ตะกอนน้ำพารูปพัดเกิดจากทางน้ำบนภูเขาฝั่งตะวันตกที่มีแม่น้ำไหลลงสู่ที่ราบภาคกลาง เมื่อตะกอนไหลลงมาตามความลาดชันของภูเขา ทำให้ความเร็วของน้ำเปลี่ยน ตะกอนที่ถูกน้ำพัดพามาจะแผ่กระจายออกทับถมกันบริเวณขอบที่ราบมีลักษณะคล้ายพัดที่กางออก เห็นได้ชัดเจนบริเวณบ้านดง บ้านคุยม่วง บ้านสองพี่น้อง บ้านหนองอ้อ ต.คุยม่วง อ.บางระกำ และอีกบริเวณที่บ้านบึงจำกา ต.คุยม่วง อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก หน่วยหินตะกอนน้ำพารูปพัดเป็นชั้นหินอุ้มน้ำหลักในพื้นที่ซึ่งส่วนใหญ่ถูกปิดทับด้วยตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึงทำให้เป็นชั้นน้ำแบบมีแรงดันและกึ่งมีแรงดัน ความลึกถึงผิวบนของชั้นหินอุ้มน้ำซึ่งถูกปิดทับชั้นดินเหนียวแสดงรูปที่ 4-11 โดยพบความลึกถึงชั้นน้ำที่น้อยกว่า 5 ม. พบบริเวณตอนกลางของพื้นที่ที่เป็นเนินตะกอนน้ำพารูปพัดและตะกอนสะสมตัวในร่องน้ำตามขอบลำน้ำ นอกนั้นเป็นพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงมีความลึกมากกว่า 5 ม.ลงไป

(3.1.2) ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง ส่วนใหญ่เป็นตะกอนขนาดเล็กพวกทรายแป้งและดินเหนียว เป็นตะกอนที่ถูกพัดพามาสะสมตัวด้วยแม่น้ำลำคลองและธารน้ำเกิดจากแม่น้ำล้นฝั่งในฤดูน้ำหลาก พื้นที่ราบน้ำท่วมถึงพบกระจายตัวกว้างขวางฝั่งตะวันตกของลำน้ำยมในระวางบางระกำ (5042 IV) และระวางวชิรบารมี (5042 III) ชั้นตะกอนประกอบด้วยดินเหนียว เป็นชั้นหนาสีเทาถึงสีน้ำตาล มีทรายแป้งชั้นบางๆ สลับ พบประมาณร้อยละ 80 ของพื้นที่ นอกจากนี้ยังรวมถึงตะกอนที่ลุ่มน้ำขัง (swamp deposits) ซึ่งสะสมตัวบริเวณที่ลุ่มหรือแอ่งซึ่งมีน้ำขังตลอดปีพบพีตรวมอยู่ด้วย ตะกอนที่ลุ่มน้ำขังพบบริเวณ บ้านหนองมะปราง ต.ปลักแรด อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก ทิศใต้ของบ้านตะโค่ บ้านวังไข่เน่า ต.กำแพงดิน อ.วชิรบารมี จ.พิจิตร บ้านหนองลูกแอ ต.ปลักแรด บ้านหนองหลุม

ต.หนองหลุม บ้านหนองบัว ต.กำแพงดิน อ.วชิรบารมี จ.พิจิตร ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึงซึ่งประกอบด้วยดินเหนียวส่วนใหญ่จึงเป็นชั้นกั้นน้ำ

(3.1.3) ตะกอนสะสมตัวในร่องน้ำ (channel deposits) ประกอบด้วย ตะกอนสะสมตัวในร่องน้ำและตะกอนคันดินธรรมชาติ (natural levee deposits) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นตะกอนทราย ทรายแป้งและทรายละเอียด ทรายที่สะสมตัวในร่องน้ำพบเป็นสันดอนทราย (sand bar) ที่รวมตัวกันเป็นแนวยาวกลางแม่น้ำ และบริเวณคุ้งน้ำโค้งตวัด เช่น บริเวณบ้านหนองหลุม ต.หนองหลุม อ.วชิรบารมี จ.พิจิตร และบ้านคุยกะชาย ต.วังโมกข์ อ.วชิรบารมี จ.พิจิตร ส่วนตะกอนคันดินธรรมชาติ พบเป็นคันดินแคบๆ ขนานไปกับลำน้ำและมีระดับสูงกว่าที่ราบน้ำท่วมถึง วางตัวอยู่บนตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึงพบเห็นชัดเจนในแม่น้ำยมและสาขา



คำอธิบายสัญลักษณ์

- อำเภอ
- หมู่บ้าน
- บ่อเจาะสำรวจ
- บ่อบาดาล
- บ่อสูบทดลอบ
- ขอบเขตอำเภอ
- ทางน้ำ
- เส้นแรงดันน้ำ
- ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล
- แนวภาพตัดขวาง
- แหล่งน้ำ
- บ่อทราย
- ขอบเขตพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

- Qfc ตะกอนร่องน้ำ
- Qff ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง
- Qfs ตะกอนน้ำพารูปพัด

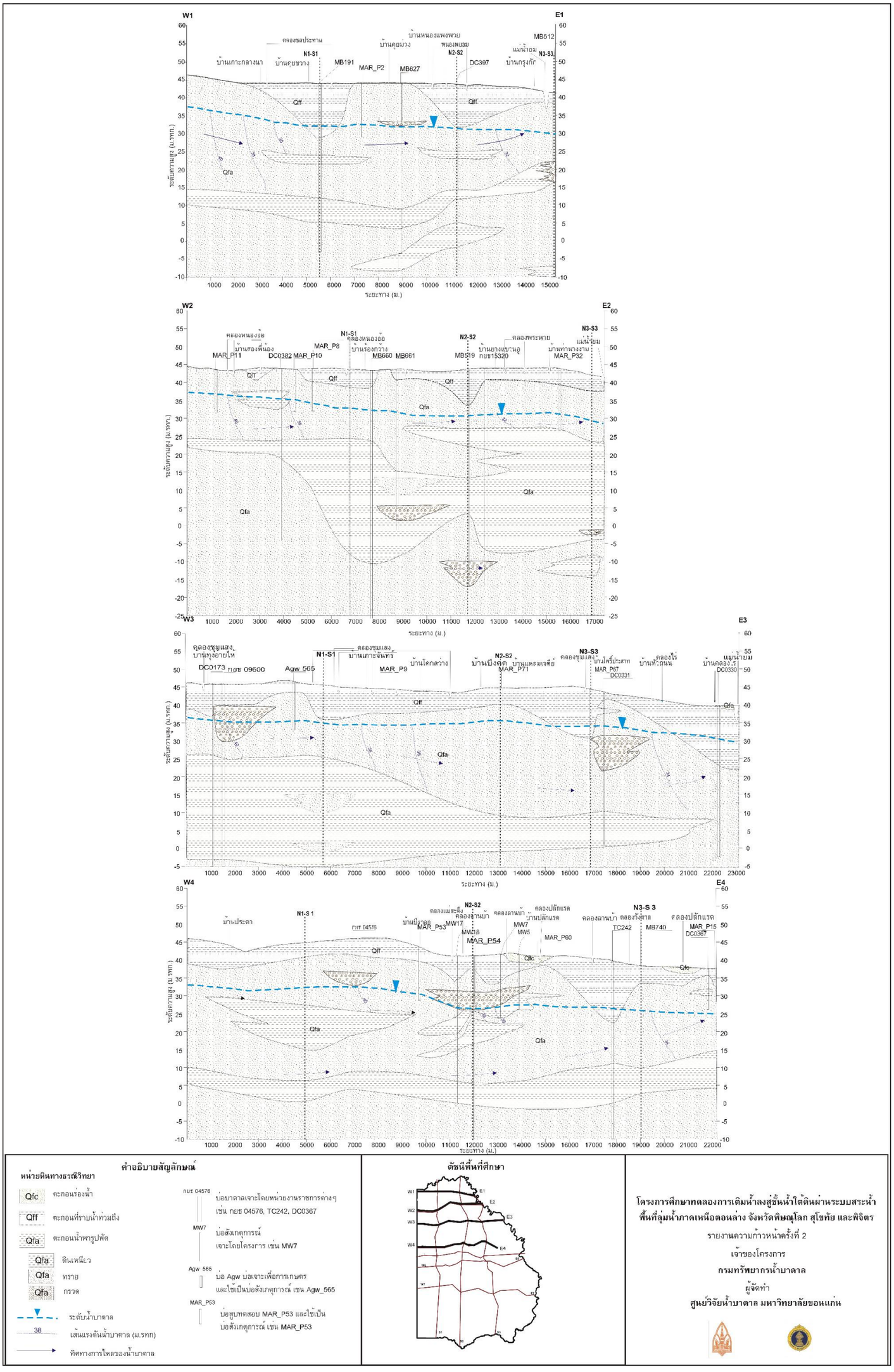
ดัชนีพื้นที่ศึกษา

โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ผ่านระบบบ่อหินคลุกในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร

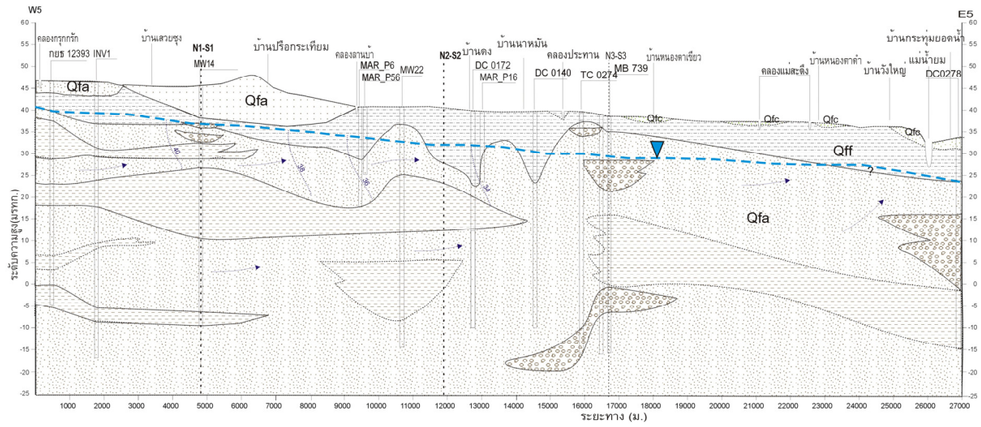
เจ้าของโครงการ
กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

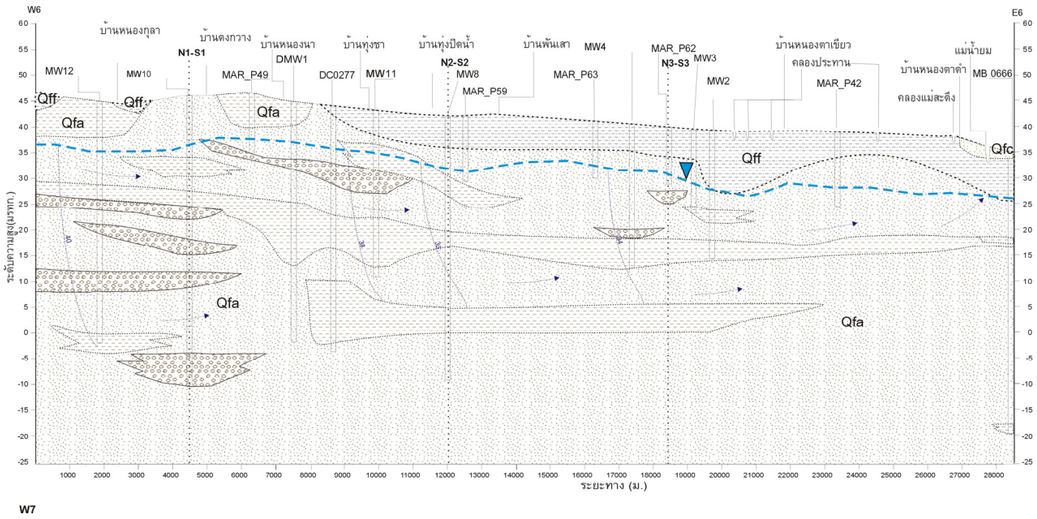
ผู้จัดทำ
ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น

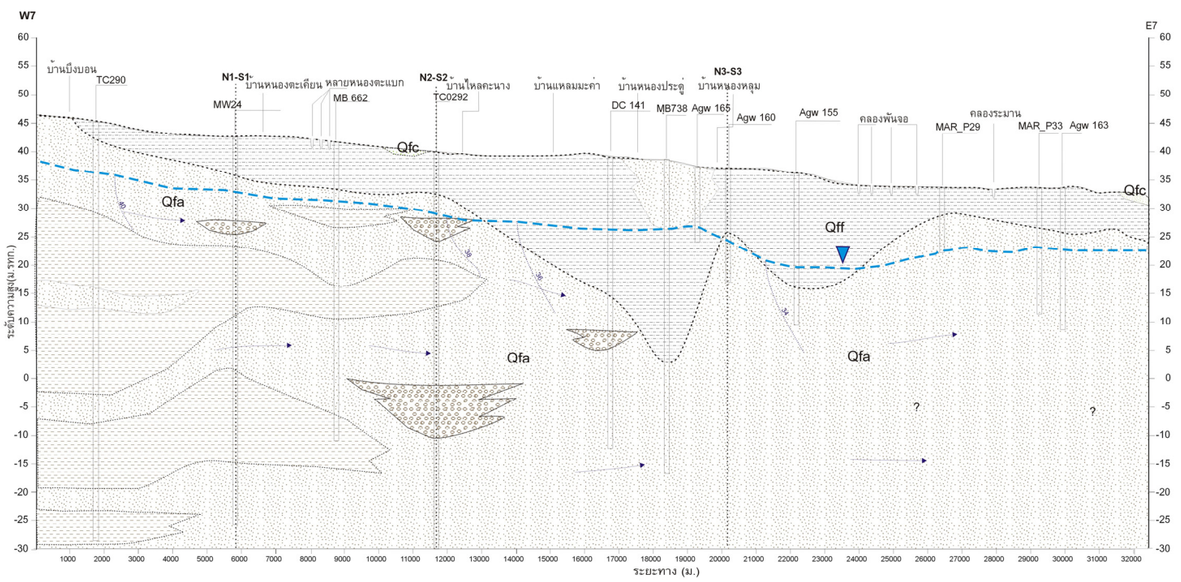
รูปที่ 4-6 แผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่



รูปที่ 4-7 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่







คำอธิบายสัญลักษณ์

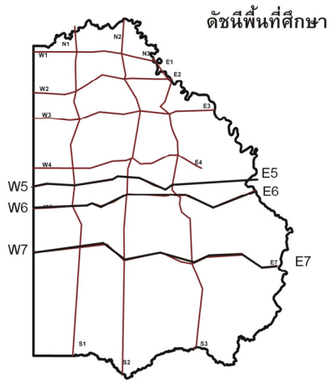
หน่วยหินทางธรณีวิทยา

- Qfc ตะกอนร่องน้ำ
- Qff ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง
- Qfa ตะกอนน้ำรูปพัด
  - Qfa ดินเหนียว
  - Qfa ทราย
  - Qfa กรวด

- ระดับน้ำบาดาล
- 38 เส้นแรงดันน้ำบาดาล (ม.รทก)
- ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

- กยธ 04576 บ่อบาดาลเจาะโดยหน่วยงานราชการต่างๆ เช่น กยธ 04576, TC242, DC0367
- MW7 บ่อสังเกตุการณ์ เจาะโดยโครงการ เช่น MW7
- Agw_565 บ่อ Agw บ่อเจาะเพื่อการเกษตร และใช้เป็นบ่อสังเกตุการณ์ เช่น Agw_565
- MAR_P53 บ่อสูบทดสอบ MAR_P53 และใช้เป็นบ่อสังเกตุการณ์ เช่น MAR_P53

ดัชนีพื้นที่ศึกษา



โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร

รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2

เจ้าของโครงการ

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

ผู้จัดทำ

ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รูปที่ 4-7 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ (ต่อ)

คำอธิบายสัญลักษณ์

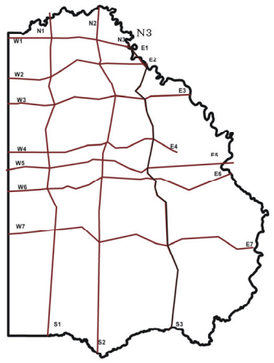
หน่วยหินทางธรณีวิทยา

- Qfc ตะกอนร่องน้ำ
- Qff ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง
- Qfa ตะกอนน้ำพารูปพัด
  - Qfa ดินเหนียว
  - Qfa ทราย
  - Qfa กรวด

- กยข 04576 บ่อบาดาลเจาะโดยหน่วยงานราชการต่างๆ เช่น กยข 04576, TC242, DC0367
- MW7 บ่อสังเกตุการณ์ เจาะโดยโครงการ เช่น MW7
- Agw_565 บ่อ Agw บ่อเจาะเพื่อการเกษตร และใช้เป็นบ่อสังเกตุการณ์ เช่น Agw_565
- MAR_P53 บ่อสูบทดสอบ MAR_P53 และใช้เป็นบ่อสังเกตุการณ์ เช่น MAR_P53

- ระดับน้ำบาดาล
- 38 เส้นแรงดันน้ำบาดาล (ม.รทก)
- ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

ดัชนีพื้นที่ศึกษา



โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ
พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร

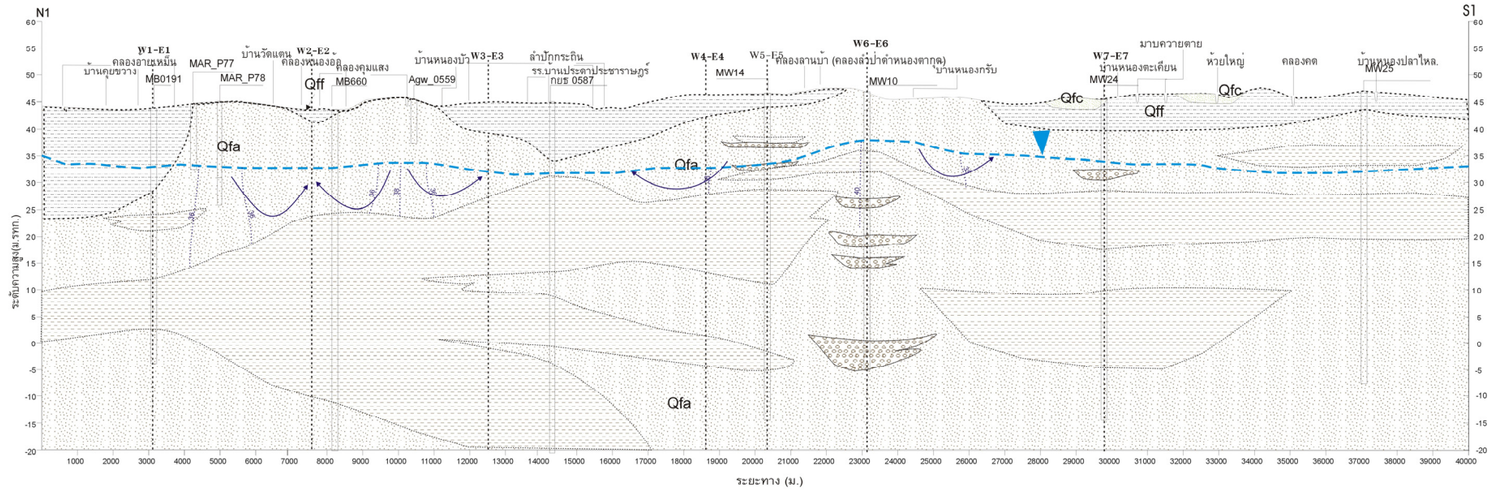
รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2

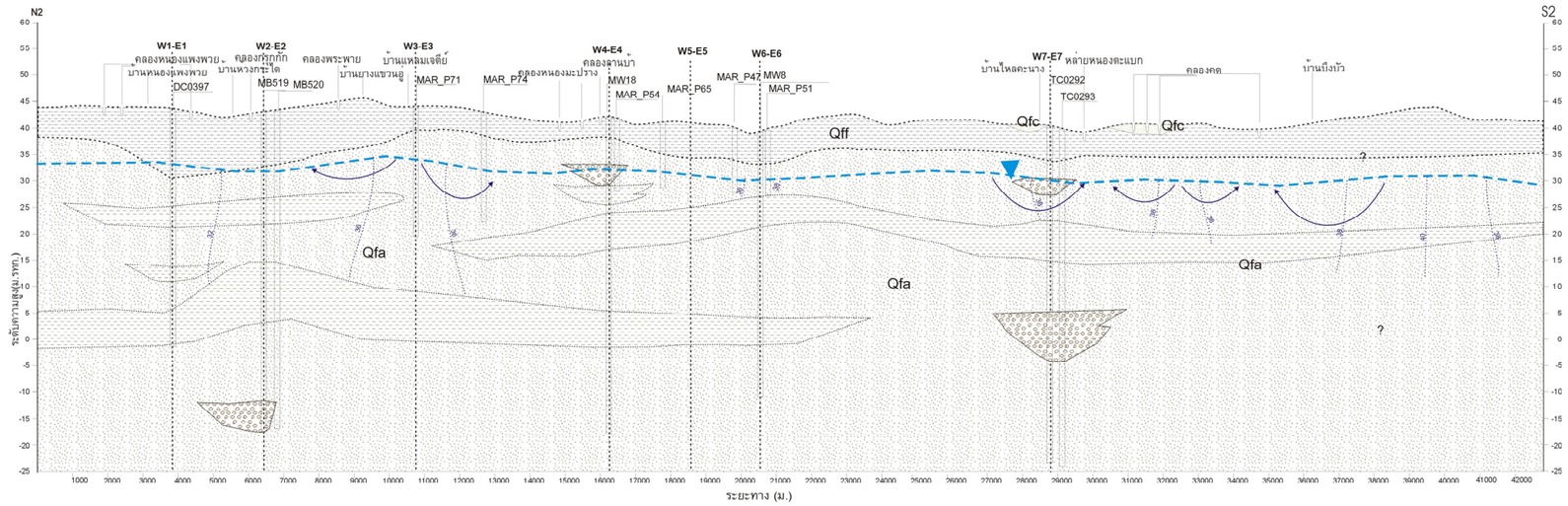
เจ้าของโครงการ

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

ผู้จัดทำ

ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น





รูปที่ 4-7 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ (ต่อ)

คำอธิบายสัญลักษณ์

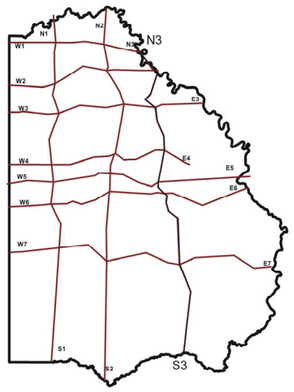
หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

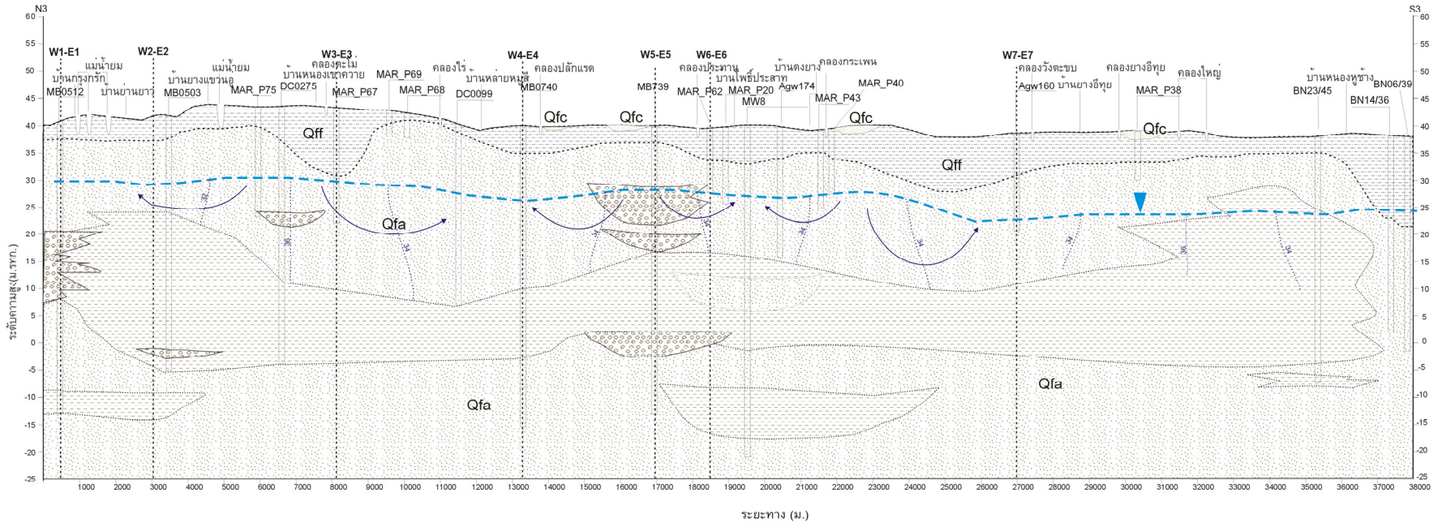
- Qfc ตะกอนร่องน้ำ
- Qff ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง
- Qfa ตะกอนน้ำพารูปพัด
  - Qfa ดินเหนียว
  - Qfa ทราย
  - Qfa กรวด

- กยร 04576 บ่อบาดาลเจาะโดยหน่วยงานราชการต่างๆ เช่น กยร 04576, TC242, DC0367
- MW7 บ่อ MAR บ่อสังเกตุการณ์ เจาะโดยโครงการ เช่น MW7
- Agw_565 บ่อ Agw บ่อเจาะเพื่อการเกษตร และใช้เป็นบ่อสังเกตุการณ์ เช่น Agw_565
- MAR_P53 บ่อสูบทดสอบ MAR_P53 และใช้เป็นบ่อสังเกตุการณ์ เช่น MAR_P53

- ระดับน้ำบาดาล
- 38 เส้นแรงดันน้ำบาดาล (ม.รทก)
- ทิศทางการไหลของน้ำบาดาล

ดัชนีพื้นที่ศึกษา





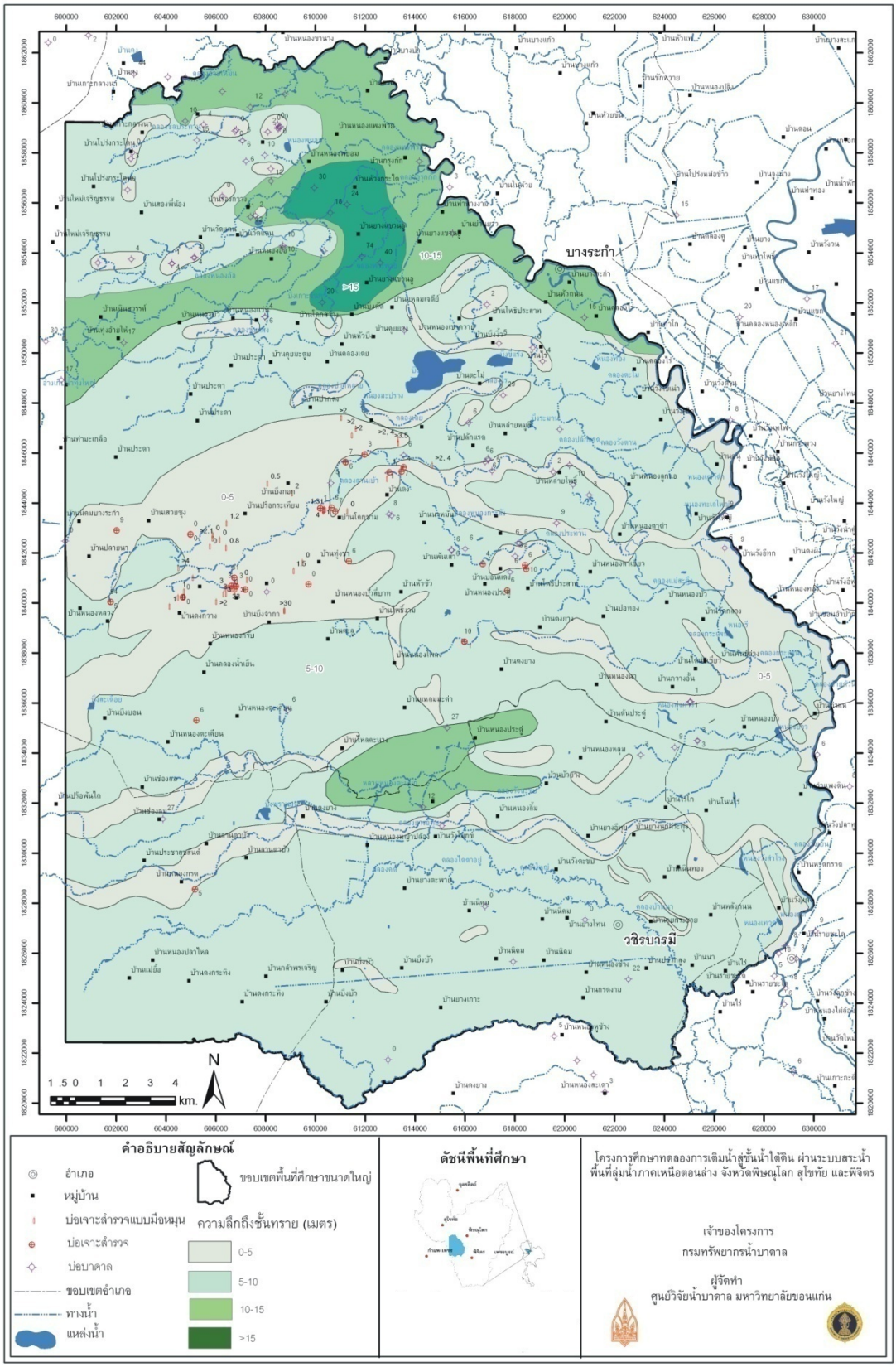
โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ
พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร

รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 2

เจ้าของโครงการ
กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

ผู้จัดทำ
ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รูปที่ 4-7 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ (ต่อ)



รูปที่ 4-11 แผนที่แสดงความลึกถึงระดับบนสุดของชั้นทราย

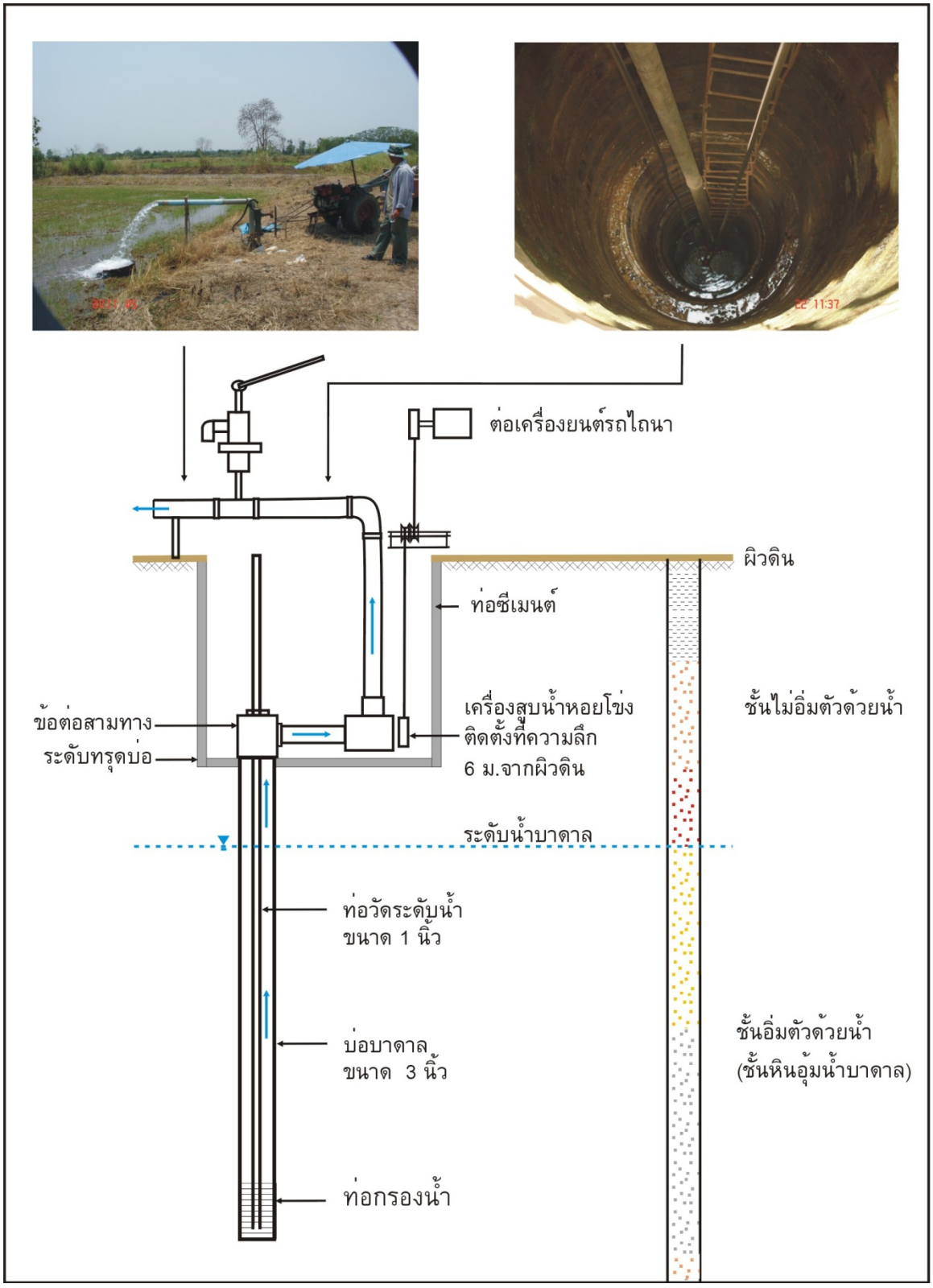
4) คุณสมบัติชลศาสตร์ของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

การสูบทดสอบในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาระดับตื้น และใช้ประกอบการจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยาและการจำลองน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์ ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกบ่อสูบทดสอบ ประกอบด้วย (1) เป็นบ่อสูบน้ำของเกษตรกรที่ใช้น้ำบาดาลในระดับตื้น (2) มีการทรุดบ่อ (3) มีข้อมูลรายละเอียดของชั้นดินและหิน และ (4) ตำแหน่งบ่อกระจายครอบคลุมพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ การดำเนินการสูบทดสอบทั้งหมดจำนวน 150 บ่อ

บ่อบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ศึกษาเป็นท่อพีวีซีมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว และมีความลึกอยู่ระหว่าง 8-40 ม. เกษตรกรได้ทำการทรุดบ่อมีความลึกอยู่ระหว่าง 6-15 ม. ซึ่งบ่อทรุดเป็นท่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 - 3.0 ม. เกษตรใช้เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งซึ่งใช้ต้นกำลังจากเครื่องยนต์รถไถนา การติดตั้งบ่อลักษณะนี้ทำให้ไม่สามารถวัดระดับน้ำในบ่อได้ คณะที่ปรึกษาจึงได้ออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม โดยติดตั้งข้อต่อสามทางและต่อท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ผ่านข้อต่อสามทางลงไปในบ่อบาดาลมีความลึกประมาณ 20 ม. เพื่อใช้วัดระดับน้ำในบ่อสูบ ซึ่งการติดตั้งดังกล่าวนี้ต้องไม่มีรูรั่วเกิดขึ้น ดังรูปที่ 4-12 และรูปที่ 4-13ข

การสูบทดสอบดำเนินการสูบน้ำจากบ่อด้วยปั๊มหอยโข่งด้วยอัตราสูบคงที่เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 12 ชม. หรือจนกว่าระดับน้ำจะคงที่ แล้ววัดระดับน้ำในช่วงที่ทำการสูบทั้งในบ่อสูบและบ่อสังเกตการณ์ จากนั้นหยุดสูบน้ำและปล่อยให้ระดับน้ำคืนตัว แล้ววัดระดับน้ำคืนตัวเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 12 ชม. หรือจนกว่าระดับน้ำคืนตัวร้อยละ 90 รวมทั้งตรวจวัดคุณภาพน้ำ ได้แก่ ค่าความนำไฟฟ้า ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ ในช่วงที่ดำเนินการสูบทดสอบด้วย ข้อมูลที่ได้จากการสูบทดสอบนำมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (transmissivity, T) และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำ (storativity, S) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Aquifer Test รุ่น 2.54 (Roehrich, 1997) การวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบแบบมีบ่อสังเกตการณ์ วิเคราะห์ตามวิธีของ Theis ส่วนข้อมูลการสูบทดสอบแบบบ่อเดียววิเคราะห์ตามวิธีของ Cooper&Jacob และ Recovery

การสูบทดสอบจำนวน 150 บ่อ แบ่งเป็นการสูบทดสอบแบบมีบ่อสังเกตการณ์จำนวน 40 บ่อ และการสูบทดสอบแบบบ่อเดียว จำนวน 110 บ่อ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T) ของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาระดับตื้น มีค่าอยู่ระหว่าง 190-7,344 ตร.ม./วัน (ภาคผนวก จ) บริเวณที่มีค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำสูงอยู่ในเขต ต.พันเสา ปลักแรด และบ่อทอง อ.บางระกำ (รูปที่ 4-14) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำ (S) มีค่าอยู่ระหว่าง 2.71×10^{-4} ถึง 5.92×10^{-2} (ภาคผนวก จ) บริเวณที่มีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บสูงอยู่ในเขต ต.บ่อทอง อ.บางระกำ (รูปที่ 4-15)



รูปที่ 4-12 ภาพการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการสูบทดสอบ



(ก) การเตรียมการสูบทดสอบ



(ข) อุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มในการสูบทดสอบ



(ค) การติดตั้งอุปกรณ์ในบ่อสูบทดสอบ



(ง) การสูบทดสอบ

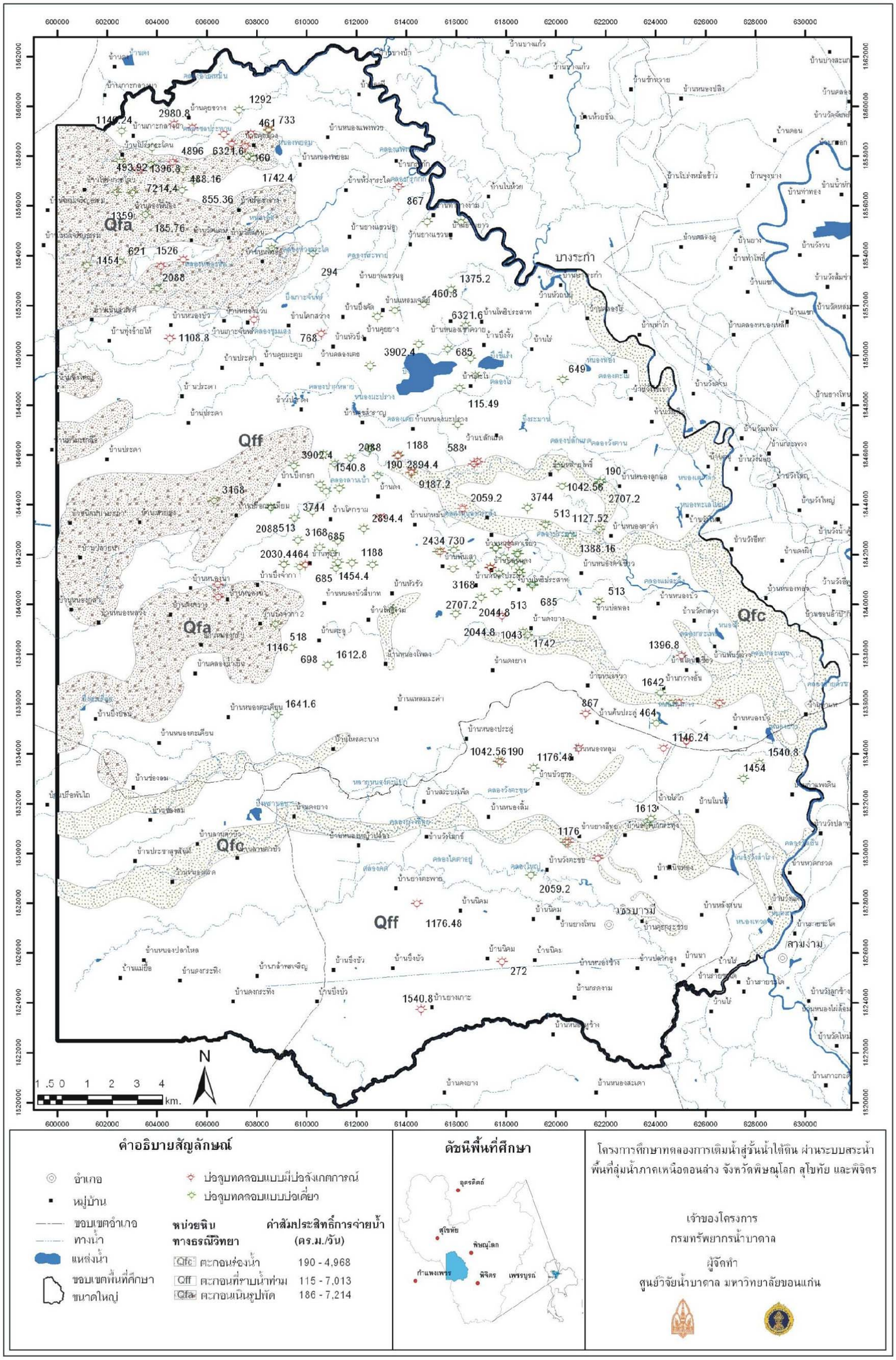


(จ) การวัดระดับน้ำในบ่อสูบทดสอบ

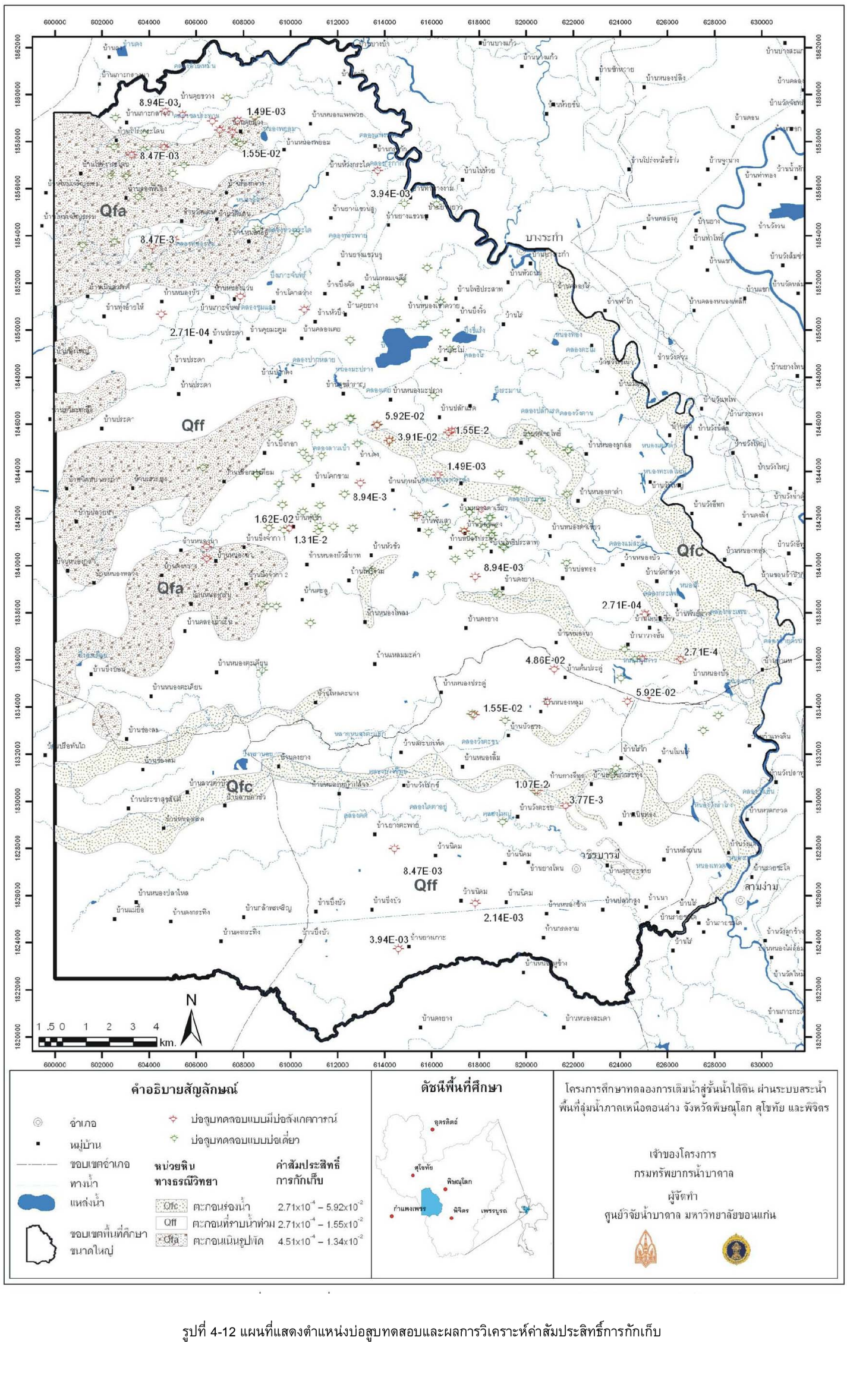


(ฉ) การวัดคุณภาพน้ำ

รูปที่ 4-13 กิจกรรมการสูบทดสอบในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่



รูปที่ 4-11 แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อสูบทดสอบและผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ



รูปที่ 4-12 แผนที่แสดงตำแหน่งบ่อสูบทดสอบและผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ

5) การไหลและคุณภาพของน้ำบาดาล

การศึกษารูปแบบการไหลของน้ำบาดาลได้ทำการวัดระดับของน้ำบาดาลช่วงเดือนกันยายน 2552 จากบ่อน้ำบาดาลจำนวน 141 บ่อ ทั้งจากบ่อสังเกตการณ์ของโครงการและบ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรซึ่งพัฒนาใช้น้ำในชั้นน้ำระดับตื้น ข้อมูลที่ได้จากภาคสนามถูกนำมาวิเคราะห์สร้างแผนที่แสดงเส้นระดับน้ำบาดาลเท่ากัน (equipotentail line) ดังรูปที่ 4-9 เส้นระดับน้ำบาดาลที่เท่ากันแสดงถึงลักษณะและทิศทางการไหลในแนวราบอย่างกว้างๆ เส้นระดับแรงดันของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาอยู่ในช่วง 31-42 ม. รทก. ด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่รับน้ำซึ่งมีระดับแรงดันสูงกว่าด้านทิศตะวันออก ทำให้ทิศทางการไหลของน้ำส่วนใหญ่ไหลจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออกและไหลออกไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ตามลำดับ

ในการศึกษาทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในแนวดิ่ง ได้จัดทำภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา ดังรูปที่ 4-10 ซึ่งตัดผ่านในแนวตะวันตก-ตะวันออก (W1-E1 ถึง W7-E7) และแนวเหนือ-ใต้ (N1-S1 ถึง N3-S3) รวม 10 แนว พบว่าลักษณะการไหลของน้ำบาดาลมีทั้งที่เป็นการไหลเฉพาะแห่ง และการไหลในบริเวณกว้าง จากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก น้ำบาดาลที่ไหลในระดับกว้างมีระยะทางการไหลมากกว่า 10 กม. และไหลไปยังบริเวณแม่น้ำยม การไหลของน้ำบาดาลเฉพาะแห่งเป็นการไหลในระยะสั้นๆ โดยส่วนใหญ่ประมาณ 2-4 กม. พบในบริเวณที่มีเส้นชั้นแรงดันเท่ากันลดลงเป็นลักษณะกรวยน้ำลด โดยบางบริเวณลดต่ำลงถึงระดับ 35-38 ม.รทก. ทำให้น้ำบาดาลที่อยู่ข้างเคียงซึ่งมีระดับแรงดันของน้ำสูงกว่าไหลเข้าไปในบริเวณดังกล่าวเป็นแนวรัศมี

คุณภาพน้ำบาดาลจากการเก็บวิเคราะห์จำนวน 41 ตัวอย่าง ช่วงวันที่ 3-7 กันยายน 2552 ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลในเบื้องต้น ได้แก่ ค่า pH, EC, Temp, TDS, Na, Ca, Mg, K, HCO_3, Cl, SO_4, CO_3, NO_3, Fe และ Mn พบว่าน้ำบาดาลในพื้นศึกษาขนาดใหญ่มีปริมาณ TDS น้อยกว่า 500 มก./ล. ปริมาณเหล็กมีค่าตั้งแต่ 0.84 มก./ล. (สถานี Agr13) จนถึง 246 มก./ล. (สถานี MAR_P40) และแมงกานีสมีค่าตั้งแต่ 0.1 มก./ล. (สถานี Agr13) จนถึง 4.42 มก./ล. (สถานี MAR_P61)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลพบว่า ส่วนใหญ่มีคุณภาพน้ำดี เหมาะสมต่อการเกษตรกรรม (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ช) ผลการวิเคราะห์รูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลโดยใช้โปรแกรม Aquachem ของบริษัท Waterloo Hydrogeologic Inc. สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม (รูปที่ 4-16) ได้แก่ (1) กลุ่ม Ca-Na-HCO_3 พบบริเวณด้านตะวันตก ตอนกลางของพื้นที่ และบริเวณทิศเหนือติดแม่น้ำยม (2) กลุ่ม Ca-Na-HCO_3-Cl พบบริเวณตอนกลางของพื้นที่ บริเวณบ้านหนองแขมและบ้านหล่ายหมู่สี (3) กลุ่ม Na-HCO_3 พบเป็นส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษา พบบริเวณด้านทิศตะวันตกและทิศใต้ของพื้นที่ และ (4) กลุ่ม Na-HCO_3-Cl พบที่ด้านบนของพื้นที่ บริเวณบ้านคุยม่วง ตอนกลางของพื้นที่ บริเวณบ้านหนองมะปราง และด้านทิศตะวันตก บริเวณบ้านหนองบัว ทั้งนี้รูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลส่วนใหญ่เป็น HCO_3 type อาจเนื่องมาจากมีการรับน้ำฝนโดยตรง

6) ความต้องการใช้น้ำบาดาล

คณะที่ปรึกษาได้สำรวจบ่อบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่เพิ่มเติมจากการสำรวจในช่วงต้นเดือนมิถุนายน 2552 พบว่ามีบ่อบาดาลจำนวน 2,393 บ่อ ซึ่งความหนาแน่นของบ่อต่อ 1 ตร.กม. (จำนวนบ่อ/ตร.กม.) พบว่าที่หนาแน่นมากกว่า 10 บ่อ/ตร.กม. อยู่บริเวณบ้านโพธิ์ประสาท ต.พันเสา บ้านบึงกอก ต.บึงกอก บ้านดง บ้านดงโคกขาม บ้านทุ่งชา ต.ปลักแรด และบริเวณบ้านดงกวางและบ้านหนองนา ต.หนองกุลา อ.บางระกำ ส่วนบริเวณที่มีความหนาแน่นของบ่อเกษตร 5-10 บ่อ/ตร.กม. อยู่ถัดออกไปในรัศมี 2 กม. และบริเวณบ้านสองพี่น้อง ต.คุยม่วง บางบริเวณของ ต.หนองหลุม และ ต.หนองนา นอกนั้นเป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของบ่อน้อยกว่า 5 บ่อ/ตร.กม. ดังแสดงในรูปที่ 4-17

การประเมินปริมาณการใช้น้ำบาดาลแยกกิจกรรมการใช้น้ำเป็น 3 ประเภท คือ การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่สามารถจำแนกพื้นที่ตามการใช้ประโยชน์ได้เป็นพื้นที่ปลูกข้าวและพืชไร่ประมาณร้อยละ 94 ของพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 4-2

การศึกษาครั้งนี้ได้ประเมินปริมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรจากบ่อน้ำบาดาลระดับตื้นและมีน้ำฝนเป็นแหล่งน้ำเสริมเพื่อเกษตรกรรม การประเมินปริมาณน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้คำนวณจากพื้นที่นาข้าวและพืชไร่ กับปริมาณการใช้น้ำโดยเฉลี่ยต่อพื้นที่นาข้าวหรือพืชไร่ แยกเป็นปริมาณน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้ในฤดูแล้งและฤดูฝน มีขั้นตอนดังนี้

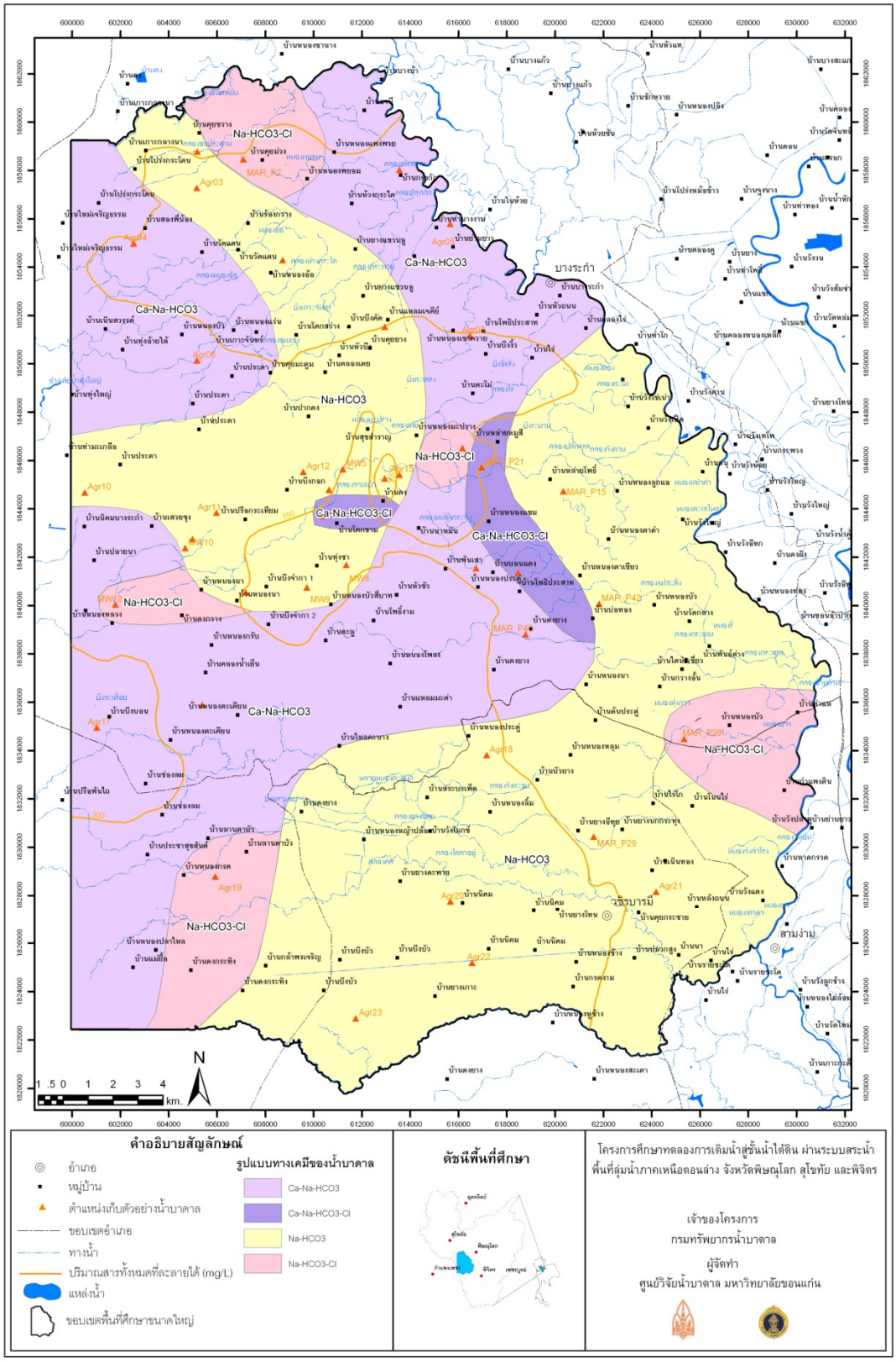
(6.1) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการประเมินความต้องการการใช้น้ำบาดาล ได้แก่

(6.1.1) รายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้น้ำบาดาลในภาพรวมของพื้นที่ศึกษา

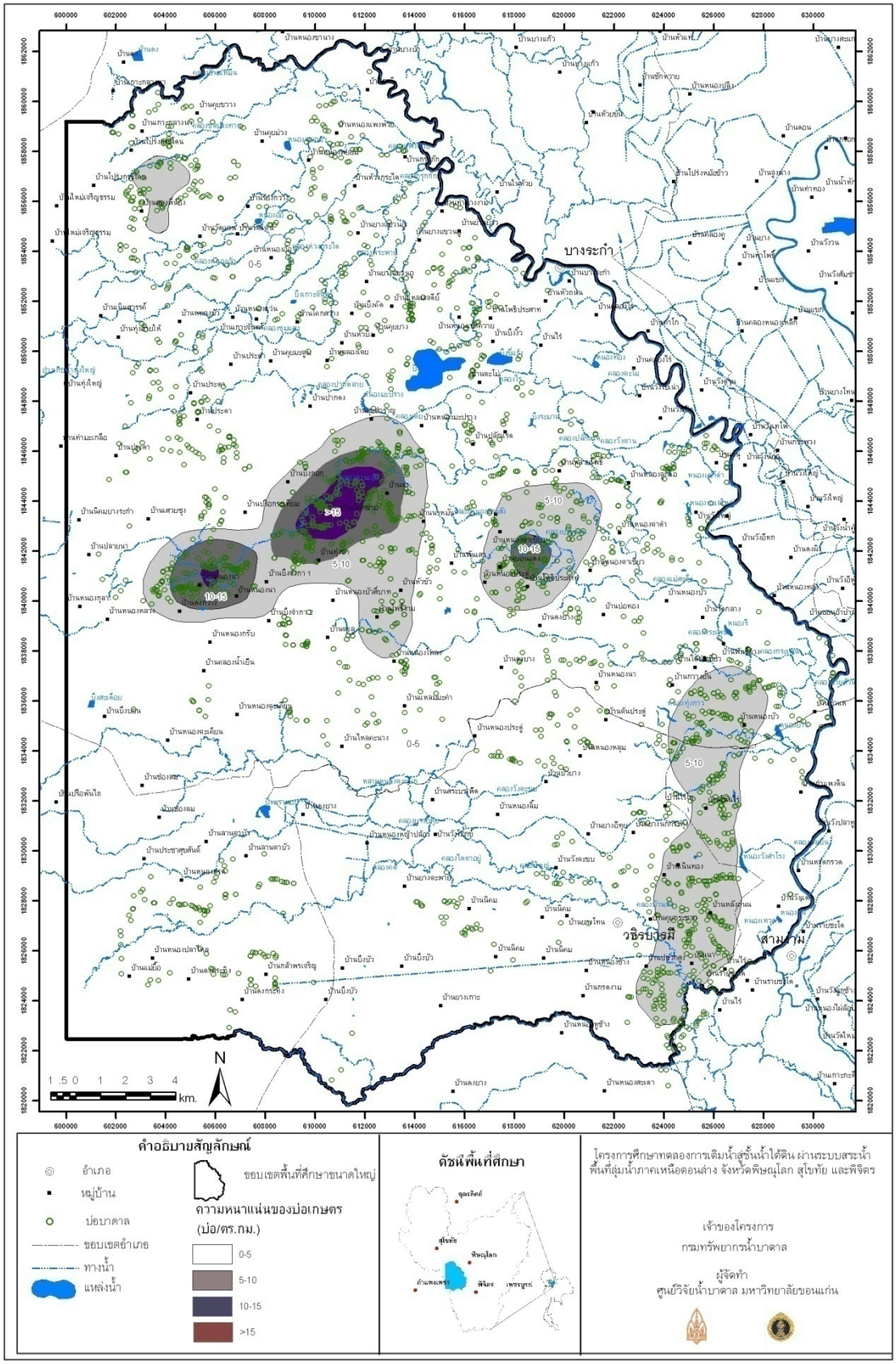
(6.1.2) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรจากกรมพัฒนาที่ดิน

(6.1.3) ปริมาณน้ำฝนรายเดือน ที่ผ่านมาในบริเวณลุ่มน้ำยม

(6.1.4) ข้อมูลพฤติกรรมการสูบใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรจากการสอบถามชาวนาและชาวไร่



รูปที่ 4-16 รูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่



รูปที่ 4-17 แผนที่แสดงความหนาแน่นของบ่อบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

(6.2) การประเมินปริมาณความต้องการใช้น้ำบาดาลของข้าว

(6.2.1) รวบรวมข้อมูลปริมาณความต้องการใช้น้ำของนาข้าว การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวกับประเมินปริมาณความต้องการใช้น้ำในการปลูกข้าวในประเทศไทย ปริมาณการใช้น้ำของนาข้าวในฤดูฝนในประเทศไทย มีการศึกษาไว้โดยหลายหน่วยงาน โดยเฉพาะกรมชลประทาน เช่น การศึกษาของกรมชลประทานในโครงการผันน้ำแม่น้ำกก อิง และน่าน พบว่าในฤดูฝนมีค่าปริมาณความต้องการใช้น้ำในการปลูกข้าวประมาณ 960-1,120 ลบ.ม./ไร่ และในฤดูแล้งประมาณ 1,600-1,760 ลบ.ม./ไร่ (กรมชลประทาน, 2540) และผลการศึกษาโครงการบริหารจัดการน้ำในแอ่งเจ้าพระยา (กรมชลประทาน, 2543) พบว่านาข้าวมีปริมาณความต้องการใช้น้ำในฤดูฝน 1,220 ลบ.ม./ไร่ และฤดูแล้งประมาณ 1,880 ลบ.ม./ไร่ และมีการประเมินไว้ที่ 0.16 ลิตร/วินาที/ไร่ โดย Palayasoot (2007) หรือจากรายงานการศึกษาการใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินบริเวณภาคกลางตอนบน (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2549) ได้สรุปการใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรที่อยู่นอกเขตชลประทานในฤดูฝนของลุ่มน้ำยมว่ามีค่าประมาณ 641 ลบ.ม./ไร่ และปริมาณการใช้น้ำบาดาลในฤดูแล้งในเขตลุ่มน้ำยมและลุ่มน้ำน่านทั้งในเขตและนอกเขตพื้นที่ชลประทานว่ามีปริมาณเฉลี่ย 629 ลบ.ม./ไร่ เฉลี่ยต่ำสุด 383 ลบ.ม./ไร่ และเฉลี่ยสูงสุด 981 ลบ.ม./ไร่

(6.2.2) การสำรวจข้อมูลเพิ่มเติมในสนาม การสำรวจข้อมูลเพิ่มเติมในสนามและการสอบถามพฤติกรรมการสูบน้ำสำหรับการเพาะปลูกข้าวในฤดูแล้งและฤดูฝนของเกษตรกรในพื้นที่ปลูกข้าวของบ้านหนองนา ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก จำนวน 32 ตัวอย่าง โดยมีการสอบถามข้อมูล ขนาดพื้นที่ จำนวนบ่อ ระยะเวลาการเพาะปลูก จำนวนครั้งที่สูบน้ำบาดาล จำนวนวันที่สูบในแต่ละครั้ง จำนวนชั่วโมงที่สูบในแต่ละวัน และอัตราการสูบน้ำ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4-4 และประเมินหาค่าเฉลี่ยการใช้น้ำต่อรอบเพาะปลูกได้ค่าเท่ากับ 1,520 ลบ.ม./ไร่ และ 104 ลบ.ม./ไร่ ในฤดูแล้งและฤดูฝนตามลำดับ

(6.2.3) การคำนวณปริมาณน้ำบาดาลที่ใช้เพาะปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษา มีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

- การหาค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้น้ำบาดาลในฤดูแล้งและฤดูฝน จากการสำรวจจากแบบสอบถามเกษตรกรเพาะปลูกข้าว ได้ข้อมูลชื่อ สถานที่ พิกัด ขนาดพื้นที่นา จำนวนบ่อ พฤติกรรมการสูบน้ำบาดาลทำนาในฤดูแล้งและฤดูฝนและอัตราการสูบน้ำ เมื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยการใช้น้ำบาดาลในฤดูแล้งและฤดูฝนเท่ากับ 792,000 ลบ.ม.และ 54,000 ลบ.ม. ในพื้นที่ 521 ไร่ หรือเท่ากับ 253.36 ลบ.ม./เดือน/ไร่ และ 17.27 ลบ.ม./เดือน/ไร่ ในฤดูแล้งและฤดูฝนตามลำดับ

- การวิเคราะห์และสรุปปริมาณน้ำฝนและระยะเวลาของแต่ละฤดูกาลของลุ่มน้ำยม ปริมาณฝนในเขตพื้นที่ อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่กว่าร้อยละ 80 พบว่า ฤดูแล้งอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน มีปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนประมาณ 25 มม. รวมเวลาของช่วงฤดูแล้งเท่ากับ 6 เดือน ฤดูฝนอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม มีปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน 180 มม. รวมเวลาของช่วงฤดูฝนเท่ากับ 6 เดือน รวมปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,250 มม./ปี (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2550)

- การหาปริมาณน้ำบาดาลที่ใช้เพาะปลูกข้าวในพื้นที่ศึกษา ข้อมูลการใช้น้ำบาดาลเฉลี่ยที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าว เท่ากับ 1,520 ลบ.ม./ไร่ และ 104 ลบ.ม./ไร่/ปี ในฤดูแล้งและฤดูฝนตามลำดับสามารถคำนวณปริมาณการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ ซึ่งมีพื้นที่นาข้าว 700.14 ตร.กม. หรือ 437,585 ไร่ เท่ากับ 1,520 ลบ.ม./ไร่ x 437,585 ไร่ = 665.13 ล้าน ลบ.ม. ในฤดูแล้ง และเท่ากับ 104 ลบ.ม./ไร่ x 437,585 ไร่ = 45.51 ล้าน ลบ.ม.ในฤดูฝน รวมการใช้น้ำที่ใช้เพาะปลูกข้าวทั้งปี เท่ากับ 710.64 ล้าน ลบ.ม.

(6.3) การประเมินปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืชไร่

พืชไร่ที่ปลูกในพื้นที่ศึกษา คือ อ้อยโรงงาน ข้าวโพด และถั่ว ข้อมูลอัตราการใช้น้ำสำหรับปลูกอ้อยโรงงานในฤดูแล้งและฤดูฝน 829 ลบ.ม./ไร่ และ 206 ลบ.ม./ไร่ ตามลำดับ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) ขณะเดียวกันได้สำรวจหาข้อมูลเพิ่มเติมในสนามและสอบถาม พฤติกรรมการสูบน้ำสำหรับการปลูกพืชไร่ ซึ่งเกือบทั้งหมดเป็นอ้อยโรงงานได้จำนวน 11 ตัวอย่าง ตามที่แสดงในตารางที่ 4-5 เกษตรกรปลูกอ้อย 1 รอบเพาะปลูก ต่อ 1 ปี เมื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยการใช้น้ำบาดาล จากปริมาณการใช้น้ำปลูกอ้อยทั้งหมด 72,600 ลบ.ม. ต่อปี ในพื้นที่ 398 ไร่ ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยการใช้น้ำต่อรอบเพาะปลูกประมาณ 180 ลบ.ม./ไร่/ปี จากข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรกรรม (กรมพัฒนาที่ดิน, พ.ศ.2543) ในรูปที่ 4-2 บริเวณปลูกพืชไร่อยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษารวม 207.31 ตร.กม. หรือ 129,567 ไร่ เมื่อนำมาคำนวณหาปริมาณน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้สำหรับปลูกอ้อยได้ปริมาณรวม 23.32 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี

(6.4) สรุปปริมาณการใช้น้ำบาดาลรวมในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

ปริมาณน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้เพื่อการเพาะปลูกในบริเวณพื้นที่ศึกษา มีค่าประมาณ 733.96 ล้าน ลบ.ม./ปี จำแนกเป็นการใช้น้ำบาดาลเพื่อปลูกข้าว 710.64 ล้าน ลบ.ม./ปี และปลูกอ้อย 23.32 ล้าน ลบ.ม./ปี

ตารางที่ 4-4 การคำนวณปริมาณน้ำบาดาลที่สูบขึ้นมาใช้เพาะปลูกข้าว (จากข้อมูลพฤติกรรมการสูบน้ำที่สอบถามในสนาม)

ลำดับ	ชื่อ	พิกัด		พื้นที่เพาะปลูก(ไร่)	จำนวนบ่อ	พฤติกรรมการสูบน้ำต่อบ่อ ช่วงฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)				พฤติกรรมการสูบน้ำต่อบ่อ ช่วงฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)				ปริมาณน้ำที่สูบ (ลบ.ม.)	
		X	Y			จำนวนครั้งที่สูบในแต่ละเดือน	จำนวนวันที่สูบในแต่ละครั้ง	จำนวนชั่วโมงที่สูบในแต่ละวัน	รวมชั่วโมงที่สูบในแต่ละเดือน	จำนวนครั้งที่สูบในแต่ละเดือน	จำนวนวันที่สูบในแต่ละครั้ง	จำนวนชั่วโมงที่สูบในแต่ละวัน	รวมชั่วโมงที่สูบในแต่ละเดือน	6 เดือนในฤดูแล้ง	6เดือนในฤดูฝน
1	คุณภาณุ แก้วแพง			22	2	2	3	24	144	1	3	24	72	43,200	21,600
2	คุณสวาย ดาวเรือง	606114	1840500	10	1	4	1	24	96	0	0	0	0	14,400	-
3	คุณสวิน กาหวัง	606390	1840882	20	1	3	6	24	432	1	3	24	24	64,800	3,600
4	คุณคมสันต์ ชนประทิน	606344	1941020	15	1	4	3	24	288	0	0	0	0	43,200	-
5	นายสม ปานทิพย์	606350	1941620	12	1	1	3	24	72	0	0	0	0	10,800	-
6	คุณนันทชัย เขียวปั่น	606445	1841434	15	1	4	3	24	288	0	0	0	0	43,200	-
7	คุณหยอย บุตรดา	606251	1841003	26	1	1	4	24	96	0	0	0	0	14,400	-
8	แม่เพียร ดาวเรือง	606536	1841396	6	1	3	2	24	144	0	0	0	0	21,600	-
9	นายลม ดาวเรือง	606535	1841399	20	1	1	3	24	72	0	0	0	0	10,800	-
10	คุณรักชาติ มีถม	606741	1841285	40	1	1	4	24	96	0	0	0	0	14,400	-
11	คุณยายดิน (ดอกดิน แก้วจู)	606687	1840800	20	1	2	3	24	144	0	0	0	0	21,600	-
12	นายทองดี แวนตา	606597	1840378	18	1	4	2	24	192	0	0	0	0	28,800	-
13	คุณณรงค์ ใหม่เอี่ยม	607007	1841296	6	1	4	1	24	96	3	2	24	72	14,400	10,800
14	คุณจำลอง ใหม่เอี่ยม	607014	1841307	8	1	1	2	24	48	0	0	0	0	7,200	-
15	นายชีพ แว่นตา	607095	1841375	13	1	3	2	24	144	1	2	24	24	21,600	3,600
16	นายสวง ศักดิ์ดี	607395	1841675	20	1	4	3	24	288	1	2	24	48	43,200	7,200
17	นายสมบูรณ์ อันอินทร์	607045	1841376	15	1	1	5	24	120	0	0	0	0	18,000	-
18	คุณบุญสม โตเพ็ง			14	1	1	3	24	72	0	0	0	0	10,800	-
19	นางสาหร่าย พัฒพงษ์			15	1	1	4	24	96	0	0	0	0	14,400	-
20	คุณบุญยืน ใจเที่ยง	607048	1840058	8	1	1	3	24	72	0	0	0	0	10,800	-
21	คุญบำรุง มาน้อย	607233	1840245	6	1	1	3	24	72	0	0	0	0	10,800	-
22	คุณปุ (บ้านหนองนา)	607231	1840240	40	1	2	7	24	336	0	0	0	0	50,400	-
23	คุณหลุย นามดี	607360	1840295	15	1	1	3	24	72	0	0	0	0	10,800	-

ตารางที่ 4-4 ปริมาณความต้องการใช้น้ำบาดาลเพื่อปลูกข้าวพื้นที่บ้านหนองนา ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก

ลำดับ	ชื่อ	พิกัด		พื้นที่เพาะปลูก(ไร่)	จำนวนบ่อ	พฤติกรรมการสูบน้ำต่อบ่อ ช่วงฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)				พฤติกรรมการสูบน้ำต่อบ่อ ช่วงฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)				ปริมาณน้ำที่สูบ (ลบ.ม.)	
		X	Y			จำนวนครั้งที่สูบในแต่ละเดือน	จำนวนวันที่สูบในแต่ละครั้ง	จำนวนชั่วโมงที่สูบในแต่ละวัน	รวมชั่วโมงที่สูบในแต่ละเดือน	จำนวนครั้งที่สูบในแต่ละเดือน	จำนวนวันที่สูบในแต่ละครั้ง	จำนวนชั่วโมงที่สูบในแต่ละวัน	รวมชั่วโมงที่สูบในแต่ละเดือน	6 เดือนในฤดูแล้ง	6เดือนในฤดูฝน
24	คุณทวีศักดิ์ ศักดิ์ดี			11	1	1	4	24	96	0	0	0	0	14,400	-
25	คุณลงสอน อินทะยันตี	606777	1840478	26	1	4	3	24	288	0	0	0	0	43,200	-
26	นายเอง ศักดิ์ดี	606553	1840300	6	1	7	2	24	336	0	0	0	0	50,400	-
27	นายลอย นางปุ	606486	1840277	30	1	4	3	24	288	0	0	0	0	43,200	-
28	นายนี	606508	1840281	6	1	4	2	24	192	0	0	0	0	28,800	-
29	นายสุเมธ อุ่นสนอง			14	1	1	7	24	168	0	0	0	0	25,200	-
30	คุณพิกุล	607143	1841240	14	1	1	7	24	168	0	0	0	0	25,200	-
31	นางผาง ปานทิพย์	606522	1840695	10	1	1	2	24	48	1	2	24	48	7,200	7,200
32	นายรักชาติ มีดม	606541	1840791	20	1	4	3	24	72	0	0	0	0	10,800	-
			รวม	**521**									**รวมแต่ละฤดู**	**792,000**	**54,000**
													รวมตลอดปี	**846,000**	

หมายเหตุ : คำนวณโดยใช้อัตราการสูบ 25 ลบ.ม./ชม. (อ้างอิงจากรายงานความก้าวหน้า 2 ที่ได้ค่าเฉลี่ยอัตราการสูบจากการเพาะปลูกข้าวจำนวน 21 ตัวอย่างข้อมูล = 25.48 ลบ.ม./ชม.)

การใช้น้ำบาดาลเพื่อการอุปโภคในพื้นที่ได้จากระบบประปาหมู่บ้าน บ่อ 6" ลึก 50 ม. 2 บ่อ (พิกัด 606109,1839986)

ตารางที่ 4-5 ปริมาณความต้องการใช้น้ำบาดาลเพื่อปลูกพืชไร่ พื้นที่ ต.ปลักแรด อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก

ลำดับ	ชื่อ	สถานที่	พิกัด	พื้นที่ไร่ (ไร่)	จำนวนบ่อ	อัตราการสูบ (ลบ.ม./ชม.)	พฤติกรรมการสูบน้ำต่อปี (ต่อบ่อ)				รวมปริมาณน้ำที่สูบต่อปี (ลบ.ม.)	หมายเหตุ
							จำนวนครั้งที่สูบ (ในแต่ละปี)	จำนวนวันที่สูบ (ในแต่ละครั้ง)	จำนวนชั่วโมงที่สูบ (ในแต่ละวัน)	รวมชั่วโมงสูบน้ำ (ในแต่ละปี)		
1	นายบุญเลิศ บุตรเพชร	222 ม. 10 ต,ปลักแรด อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก		50	1	25	1	15	24	360	9,000	
2	นายสุวรรณ ทองทา	บ้านโคกขาม ต,ปลักแรด อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก		40	1	25	1	7	24	168	4,200	
3	นายภูมิ อิ่มเกิด	108 ม. 10 ต,ปลักแรด อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	610999/1842611	13	1	25	1	7	24	168	4,200	
4	นายเพชร อ้อยแจ้ง	ม. 10 ต,ปลักแรด อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	610969/1842641	12	1	25	1	7	24	168	4,200	
5	นายภูมิ แสนกำแพง	บ้านดงกวาง ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	610229/1841870	14	1	25	1	7	24	168	4,200	
6	นายไร แสนกำแพง	บ้านดงกวาง ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	603686/1858923	100	1	25	1	30	24	720	18,000	
7	นายช่วย บัวมาตร	บ้านดงกวาง ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	609974/1841521	20	1	25	1	7	24	168	4,200	
8	นายสุวรรณ ด้วงบ้านยาง	บ้านโคกขาม ต,ปลักแรด อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	609636/1841016	70	1	25	2	7	24	336	8,400	
9	นายบุญลือ เทศปาน	บ้านโคกขาม ต,ปลักแรด อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	609380/1846014	60	1	25	1	15	24	360	9,000	
10	นายสมพร จุ่มแสง	บ้านโคกขาม ต,ปลักแรด อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	611021/1842500	9	1	25	1	7	24	168	4,200	
11	ผู้ใหญ่เล็ก	บ้านบึงกอก ต,ปลักแรด อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	608514/1844321	10	1	25	1	5	24	120	3,000	โดยเฉลี่ยจาก 1,000 ไร่
			รวม	398	11						72,600	

หมายเหตุ :

การหาค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้น้ำบาดาลเฉลี่ยต่อปี

จากการสอบถามจากเกษตรกรเพาะปลูกอ้อย ได้ข้อมูลชื่อ สถานที่ พิกัด ขนาดพื้นที่นา จำนวนบ่อ พฤติกรรมการสูบน้ำบาดาลทำนาในฤดูแล้งและฤดูฝนและอัตราการสูบน้ำ

เมื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยการใช้น้ำบาดาล = 72,600 ลบ.ม. ต่อปี / 398 ไร่ = 182.4 ลบ.ม./ปี/ไร่

การหาปริมาณน้ำบาดาลที่ใช้เพาะปลูกอ้อยในพื้นที่ศึกษา

ในปัจจุบัน เกษตรกรปลูกอ้อย 1 รอบเพาะปลูกต่อปี

พื้นที่ศึกษามีการใช้ประโยชน์ที่ดินสำหรับพืชไร่ (ใช้น้ำฝนและน้ำบาดาล) 172.48 ตร.กม. หรือ 107,800 ไร่

ดังนั้น ในรอบปีจะมีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ปลูกอ้อย = 182.4 ลบ.ม./ปี/ไร่ x 107,800 ไร่ = 19.7 ล้าน ลบ.ม.

7) แผนที่อุทกธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:50,000

แผนที่อุทกธรณีวิทยาเป็นเอกสารในรูปแบบของแผนที่ ซึ่งแสดงข้อมูลจำนวนมากเกี่ยวกับแหล่งน้ำบาดาลโดยแสดงความสัมพันธ์ของแหล่งน้ำบาดาลกับพื้นผิวภูมิประเทศ สภาพทางธรณีวิทยา และแหล่งน้ำประเภทอื่นๆ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) ข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ มาตราส่วน 1:50,000 เป็นข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมและการสำรวจอุทกธรณีวิทยาแล้วนำมาวิเคราะห์ สังเคราะห์ และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ซึ่งมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

(7.1) รายละเอียดการจัดทำแผนที่ ประกอบด้วย ชื่อแผนที่ ชื่อคณะผู้จัดทำแผนที่ ตราสัญลักษณ์กรมทรัพยากรน้ำบาดาล มาตราส่วนของแผนที่ ปีที่จัดพิมพ์แผนที่ เป็นต้น

(7.2) แผนที่หลัก ได้แก่ แผนที่อุทกธรณีวิทยา ประกอบด้วย

- ข้อมูลผิวดินแสดงสภาพภูมิประเทศ ขอบเขตการปกครอง ถนน แม่น้ำ แหล่งน้ำ

- ข้อมูลอุทกธรณีวิทยาแสดงหน่วยหินตะกอนน้ำพารูปพัด หน่วยหินตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง หน่วยหินตะกอนสะสมตัวในร่องน้ำ เส้นแรงดันของน้ำบาดาล และทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาล

- ข้อมูลอื่นๆ เช่น แนวภาพตัดขวาง จำนวน 7 แนว แสดงตำแหน่งบ่อเจาะสำรวจ ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ บ่อสูบทดสอบ บ่อบาดาลเพื่อการเกษตร และตำแหน่งเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำบาดาลในบ่อบาดาลที่มีการตรวจวัด แสดงความเข้มข้นของไอออนหลัก

(7.3) องค์ประกอบอื่นๆ ของแผนที่ ได้แก่

- ดัชนีพื้นที่ศึกษาแสดงตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ครอบคลุมจังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร

- สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนที่เป็นไปตามมาตรฐานสากลของ IAH, IAHS และคู่มือ ทบ ส 4000-2550 การจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

- คำอธิบายสัญลักษณ์ในแผนที่

- แผนที่ประกอบ แสดงข้อมูลเฉพาะเรื่องซึ่งไม่สามารถแสดงทับซ้อนได้ในแผนที่หลัก ได้แก่ (1) แผนที่อุทกธรณีเคมีแสดงรูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลและปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (2) แผนที่ธรณีวิทยาแสดงลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่ (3) แผนที่อุตุนิยมวิยาแสดงข้อมูลปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า สภาพภูมิประเทศ (4) แผนที่ตำแหน่งข้อมูลที่ใช้ประกอบในแผนที่หลัก ซึ่ง ได้แก่ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ จุดเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล บ่อสูบทดสอบ และบ่อบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล และ (5) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน

4.1.3 การจำลองการไหลของน้ำบาดาลและน้ำผิวดินเชิงคณิตศาสตร์ พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

การจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำผิวดินและน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ประกอบด้วยชุดของสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นโครงสร้างของระบบ ในปัจจุบันมีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย เพื่อแก้ปัญหาทางอุทกวิทยาและอุทกธรณีวิทยา และทำนายผลกระทบจากการใช้น้ำและการบริหารจัดการแหล่งน้ำ เช่น การศึกษาผลกระทบของการสูบน้ำ การเติมน้ำดิบลงสู่ชั้นหินอุ้มน้ำ เป็นต้น การจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำผิวดินและน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ จะทำให้เข้าใจกระบวนการทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่และช่วยในการตัดสินใจคัดเลือกพื้นที่ศึกษาศึกษาขั้นรายละเอียด และกำหนดแนวทางการจัดทำแบบจำลองในพื้นที่ขั้นรายละเอียด จึงกำหนดวัตถุประสงค์ไว้ดังนี้

1) วัตถุประสงค์

(1.1) จำลองการไหลของแม่น้ำขนาดใหญ่ในพื้นที่ เพื่อศึกษาปริมาณการไหลในช่วงเวลาต่างๆ และพิจารณาศักยภาพของแหล่งน้ำผิวดินที่สามารถใช้เติมสู่ชั้นน้ำบาดาลได้

(1.2) จำลองการไหลของน้ำบาดาลเพื่อศึกษาทิศทางการไหล รูปแบบกระบวนการเติมน้ำ การสูญเสียน้ำตามธรรมชาติ การแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน การใช้น้ำบาดาล และสมดุลน้ำบาดาล

2) แบบจำลองที่เลือกใช้

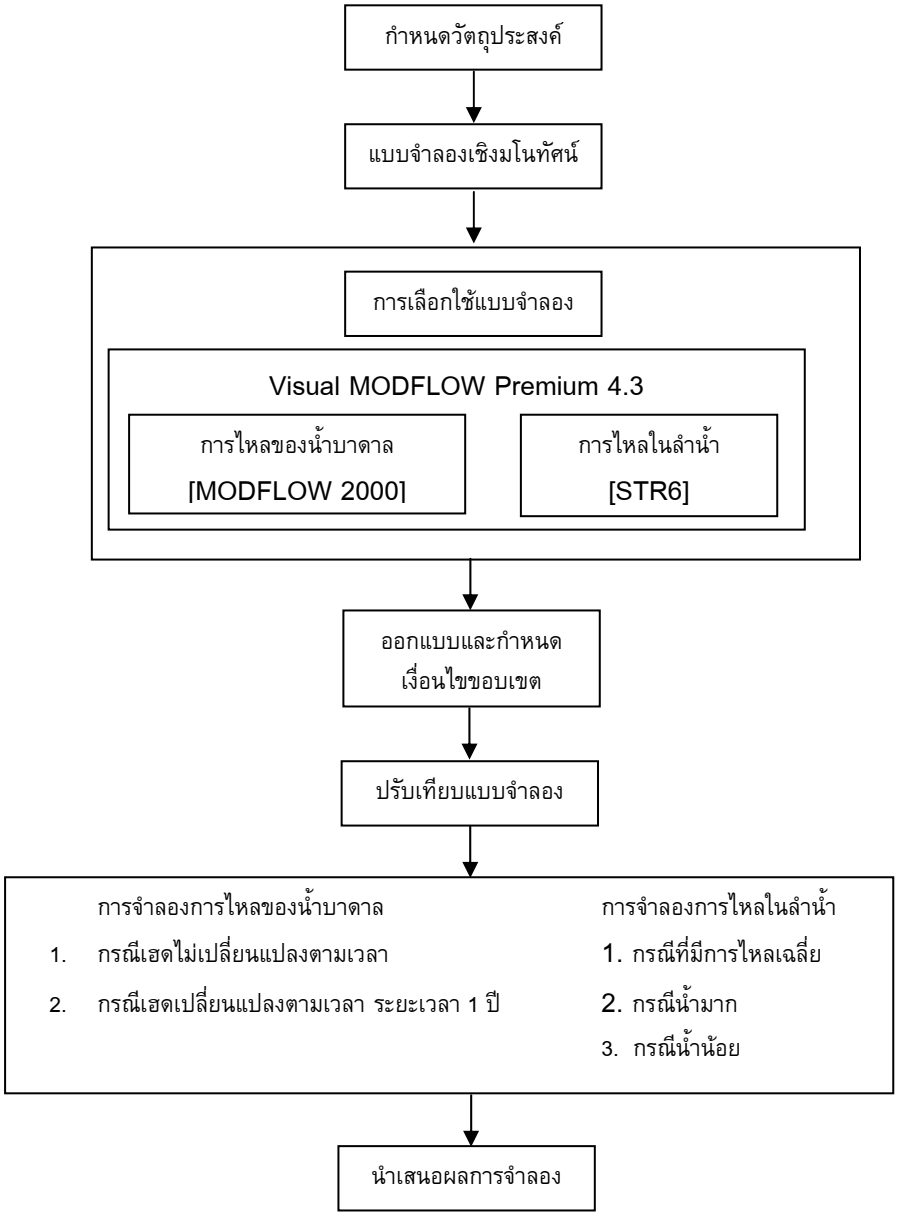
เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาสภาพพื้นที่ที่เหมะสมในการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล จึงยึดแนวทางการจัดทำแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลเป็นหลัก แบบจำลองที่เลือกใช้ในการศึกษาระบบการไหลของน้ำบาดาลและน้ำผิวดินนั้นเมื่อพิจารณาวัตถุประสงค์ของงานแล้ว พบว่ามีความเหมาะสมที่จะเลือกใช้ระบบปฏิบัติการ Visual MODFLOW Premium 4.3 (Schlumberger Water Services, 2008) ที่มีระบบการจำลองการไหลของน้ำบาดาลด้วยแบบจำลอง MODFLOW2000 (Harbaugh, et al., 2000) ซึ่งใช้ Finite Difference Method ในการคำนวณโดยแบ่งกริดแบบ block-centered ซึ่งมีการประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลาย และยอมรับในผลการจำลองมากที่สุดในขณะนี้ สมการพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณเป็นสมการของดาร์ซี และ Continuity Equation มีการแก้สมการการไหลด้วยวิธีการเชิงตัวเลข และมีการพัฒนาแบบจำลองการไหลในลำน้ำโดยใช้ Streamflow-Routing Package (STR6) ที่ดัดแปลงจาก Prudic (1989) ในการจำลองการไหลในแม่น้ำหลัก ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณการไหลในลำน้ำ และการแลกเปลี่ยนน้ำของน้ำผิวดินและน้ำบาดาลได้ในแบบจำลองเดียว โดยการจำลองภายใต้ระบบปฏิบัติการ Visual MODFLOW Premium 4.3 ซึ่งมีความสามารถในการนำเข้าและแสดงผลข้อมูลจากการจำลอง และได้รับความเชื่อถือและเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และการใช้ระบบปฏิบัติการเดียวที่สามารถจำลองระบบได้หลายระบบนี้จะช่วยให้มีความต่อเนื่องของระบบการทำงานและระดับความน่าเชื่อถือของผลการจำลอง

3) ขั้นตอนการจำลอง

ขั้นตอนการจำลองการไหลของน้ำบาดาลและน้ำผิวดินประกอบด้วยการวิเคราะห์แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ การเลือกใช้แบบจำลอง การออกแบบกริดและการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบเขต การปรับเทียบแบบจำลอง และการจำลองกรณีศึกษาต่างๆ ดังรูปที่ 4-18 กรณีจำลองดังแสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 กรณีจำลองแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

การจำลอง	กรณีจำลอง	วัตถุประสงค์
การจำลองการไหลของน้ำบาดาล	1. กรณีเฮดไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา 1.1 กรณีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาลเป็น Homogeneity และIsotopic 1.2 กรณีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาลเป็น Heterogeneity และ Anisotopic	1. สร้างแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลเบื้องต้น 2. ตรวบสอบรูปแบบการไหลให้ สอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ 3. จำลองลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
	2. กรณีเฮดไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา 2.1 แบบจำลองเพื่อการปรับเทียบพารามิเตอร์ ที่ใช้ในการจำลองการไหลของน้ำบาดาลในระยะเวลา 1 ปี	1. จำลองการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงเฮดตามฤดูกาล 2. ปรับเทียบพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองให้มีความถูกต้อง
การจำลองการไหลของน้ำผิวดิน	1. จำลองการไหลของน้ำในแม่น้ำยม 1.1 กรณีที่มีการไหลเฉลี่ย 1.2 กรณีน้ำมาก 1.3 กรณีน้ำน้อย	1. เพื่อทราบการเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำในแม่น้ำยมเมื่อมีปริมาณน้ำต่างกัน



รูปที่ 4-18 ขั้นตอนการจำลองการไหลของน้ำผิวดินและน้ำบาดาล

4) แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของระบบอุทกธรณีวิทยา

แบบจำลองเชิงมโนทัศน์คือแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากการประเมินข้อมูลอุทกธรณีวิทยา เพื่อจำลองระบบอุทกธรณีวิทยาในสภาพจริง เพื่อช่วยในการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ต่อไป องค์ประกอบที่สำคัญของแบบจำลองเชิงมโนทัศน์คือลักษณะโครงร่างทางอุทกธรณีวิทยา (hydrogeologic framework) ที่ได้จากการสำรวจธรณีวิทยา อุทกวิทยา สภาพภูมิประเทศ และการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถแสดงในรูปแบบแผนที่ block diagram และภาพตัดขวาง ที่บ่งบอกถึงรูปร่าง ความหนา และคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาลหลัก (เช่น

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ) การกระจายตัวของระดับน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำ และการกระจายตัวของอัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ใช้กำหนดขนาดและขอบเขตของแบบจำลองเชิงตัวเลข และใช้ในการออกแบบกริด การสร้างแบบจำลองให้สมบูรณ์เหมือนสภาพจริงนั้นไม่สามารถทำได้ ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์จะช่วยทำให้ระบบมีความง่ายขึ้น และจัดระบบของข้อมูลที่เกี่ยวข้องให้อยู่ในรูปที่พร้อมพร้อมสำหรับการวิเคราะห์ได้ ถ้าสามารถจัดทำแบบจำลองเชิงมโนทัศน์มีความใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติได้มากจะทำให้ความถูกต้องของแบบจำลองเชิงตัวเลขเพิ่มมากขึ้น

ระบบอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยระบบของชั้นน้ำบาดาลที่เป็นชั้นทรายและชั้นกรวดแทรกสลับด้วยดินเหนียวซึ่งเป็นชั้นหินต้านน้ำ (aquitard) ชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นส่วนใหญ่ถูกปิดทับด้วยชั้นดินเหนียวทำให้เป็นชั้นน้ำบาดาลแบบกึ่งมีแรงดัน ส่วนชั้นน้ำบาดาลระดับลึกลงไปเป็นชั้นน้ำบาดาลแบบมีแรงดันทั้งหมด ชั้นน้ำบาดาลชั้นแรกที่จะก่อสร้างระบบเติมน้ำมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านแตกต่างกัน น้ำบาดาลส่วนใหญ่ไหลในแนวนอนในบริเวณที่มีความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านได้ดี ไหลจากด้านทิศตะวันตกของพื้นที่แบบจำลองไปทางทิศตะวันออกไหลลงสู่แม่น้ำยม และจะไหลในแนวดิ่งในบริเวณที่เป็นชั้นหินกั้นน้ำ การไหลของน้ำบาดาลทั้งการไหลเฉพาะแห่ง ขนาดกลาง และในบริเวณกว้าง ระดับน้ำบาดาลอยู่ในช่วง 30 ถึง 40 ม.รทก. ปริมาณการใช้น้ำในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรม เกษตรกรใช้น้ำบาดาลมากในช่วงฤดูแล้งและใช้เสริมในช่วงฝนทิ้งช่วง ซึ่งพบมีการลดลงของระดับน้ำแบบรูปกรวย ในการจำลองระบบอุทกธรณีวิทยานี้ได้ตั้งสมมุติฐานเกี่ยวกับระบบอุทกธรณีวิทยาที่มีผลต่อการจำลองเชิงตัวเลขดังนี้

- ชั้นน้ำบาดาลที่กำหนดให้เป็นตัวกลางแบบมีรูพรุน (equivalent porous media)
- ชั้นน้ำบาดาลมีลักษณะ heterogeneous และ anisotropy
- ความหนาแน่นของน้ำคงที่ ไม่มีผลของความแตกต่างของความหนาแน่น (non-variable density) มาเกี่ยวข้อง

5) การออกแบบและการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง

(5.1) การออกแบบกริด

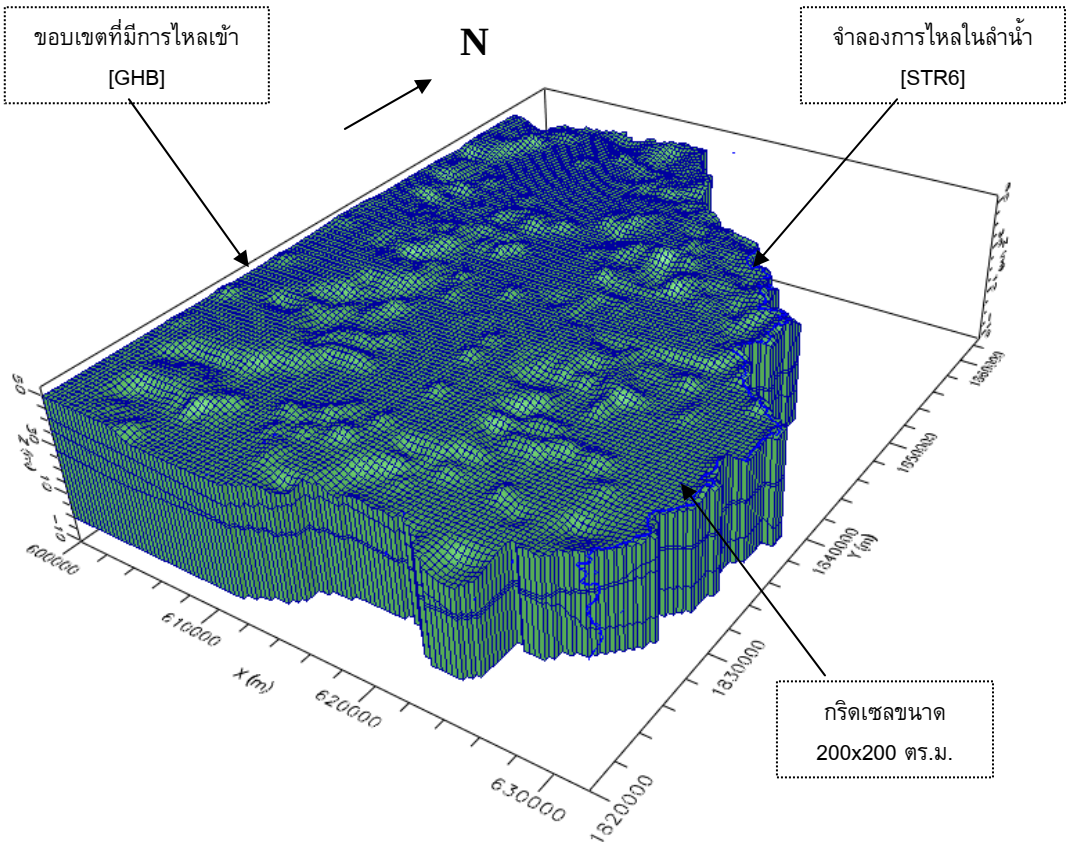
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เป็นแบบจำลอง 3 มิติ ครอบคลุมพื้นที่ 1,364 ตร.กม. มีความกว้าง 33 กม. อยู่ระหว่างพิกัด 599000 ถึง 632000 UTME มีความยาว 44 กม. อยู่ระหว่างพิกัด 1819000 ถึง 1863000 UTMN ความหนาของแบบจำลองประมาณ 50 ม. จาก 0-50 ม. รทก. การจัดทำแบบจำลองได้แบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ (discretization) เป็นลักษณะสี่เหลี่ยม โดยกำหนดให้ระยะห่างในการแบ่งพื้นที่ย่อยมีขนาดเท่ากันทั้งในแนวตะวันตก-ตะวันออก (คอลัมน์) และแนวเหนือ-ใต้ (แถว) ที่ระยะ 200 ม. ส่วนจำนวนชั้นแปรเปลี่ยนตามรูปร่างของชั้นน้ำและชั้นกั้นน้ำมีจำนวน 3 ชั้น โดยจำนวนกริดเซลทั้งหมดมี 108,900 (165 x 220 x 3) กริดเซล (รูปที่ 4-19)

(5.2) การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในการจำลองกำหนดตามลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา ได้ดังแสดงในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง

ลำดับ	ขอบเขต	ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่
1	ทิศเหนือ	น้ำบาดาลไม่มีการไหล
2	ทิศใต้	น้ำบาดาลไม่มีการไหล
3	ทิศตะวันตก	แม่น้ำยมที่มีการไหลเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล
4	ทิศตะวันออก	น้ำบาดาลมีการไหลเข้า
5	ด้านล่าง	ขอบเขตชั้นดินเหนียวที่กั้นชั้นน้ำลึก



รูปที่ 4-19 กริดของแบบจำลองและเงื่อนไขขอบเขต

6) ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการไหลของน้ำบาดาลและวิธีการปรับเทียบพารามิเตอร์

(6.1) ข้อมูลที่ใช้ในการจำลอง

- พื้นที่เติมน้ำบาดาลสุทธิ ได้จากการพิจารณาการเติมน้ำสุทธิจากการไหลซึมของน้ำฝน โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจำแนกพื้นที่เติมน้ำโดยใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินร่วมกับข้อมูลการซึมผ่านของดิน สามารถจำแนกได้เป็น 11 พื้นที่ (ดังรูปที่ 4-20) จากการใช้ที่ดิน 4 ประเภท ได้แก่ (1) พื้นที่นาข้าว (2) พื้นที่ไร่อ้อย (3) พื้นที่ชุมชน และ (4) พื้นที่ป่าไม้ และข้อมูลการซึมผ่านของดินซึ่งมี 3 ได้แก่ (1) ดินซึมผ่านได้ช้า (2) ดินซึมผ่านได้ปานกลาง (3) ดินซึมผ่านได้เร็ว

- ปริมาณการเติมน้ำสุทธิจากการไหลซึมของน้ำฝน ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง HELP3 (Schroeder et al., 1994) โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศของสถานีวัดสภาพภูมิอากาศจังหวัดพิษณุโลก ปริมาณการเติมน้ำสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-8 และรูปที่ 4-21ข

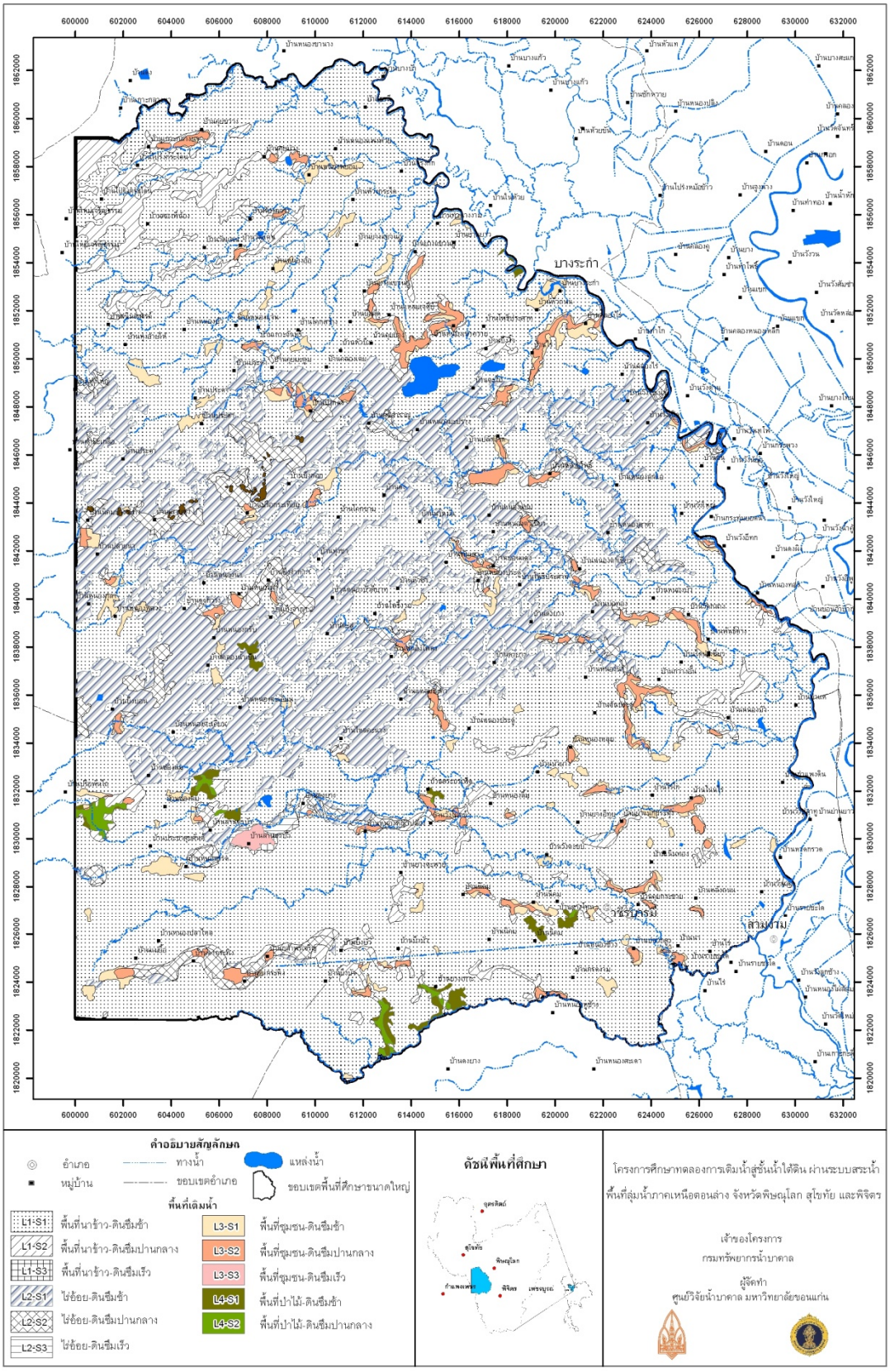
- ขอบเขตแม่น้ำ (river boundary) ในการจำลองได้กำหนดให้แม่น้ำยมเป็นขอบเขตแม่น้ำ โดยจำลองให้อยู่ชั้นบนสุดของแบบจำลอง (ดังรูปที่4-18ก) โดยกำหนดให้แม่น้ำยมความกว้าง 80 ม.เท่ากันตลอดสาย ความหนาของตะกอนท้องน้ำ 1 ม. สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของตะกอนท้องน้ำเป็นดินเหนียวมีค่า 1x 10^{-6} ม./วินาที

- ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบ (horizontal hydraulic conductivity) ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบ มีค่าอยู่ในช่วง1.10 x 10^{-4}-4.25 x10^{-3} ม./วินาที และกำหนดให้ชั้นหินมีคุณสมบัติเป็น anisotropy โดยมีอัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวดิ่งต่อแนวราบมีอัตราส่วน 1:10 การกระจายตัวของสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านจะพิจารณาจากลักษณะตะกอนมี 3 ชั้นได้แก่ ชั้นบนสุดเป็นชั้นน้ำ ซึ่งประกอบด้วยตะกอนกรวดทราย ชั้นที่ 2 เป็นตะกอนกรวดและมีดินเหนียวแทรกสลับ ชั้นที่ 3 เป็นตะกอนทรายและกรวด

- ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 2.71x10^{-4} - 5.92x10^{-2}

- ค่าเฮดเริ่มต้นของการจำลองได้จากการติดตามตรวจวัดบ่อสังเกตการณ์ที่เจาะในพื้นที่โครงการและบ่อบาดาลเพื่อการเกษตรกรรมในช่วงเดือนกันยายน 2552 ลักษณะการกระจายของเฮดที่ได้แสดงดังรูปที่ 4-18ค

- การใช้น้ำบาดาล (groundwater usage) ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำบาดาลสำรวจและรวบรวมแบบสอบถามเกษตรกรผู้ใช้น้ำในพื้นที่ และได้ประเมินปริมาณการใช้น้ำดังหัวข้อที่ 4.1.2 ข้อย่อย 6) มีการใช้น้ำบาดาลเท่ากับ 734 ล้าน ลบ.ม./ปี จำนวนบ่อบาดาลในพื้นที่สามารถสรุปได้จากการสำรวจในสนามซึ่งบ่อบาดาล 1 บ่อ ใช้สำหรับปลูกข้าวและอ้อยเฉลี่ยเท่ากับ 25 ไร่ และ 38 ไร่ ตามลำดับ ดังตารางที่ 4-9



รูปที่ 4-20 พื้นที่เติมน้ำในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

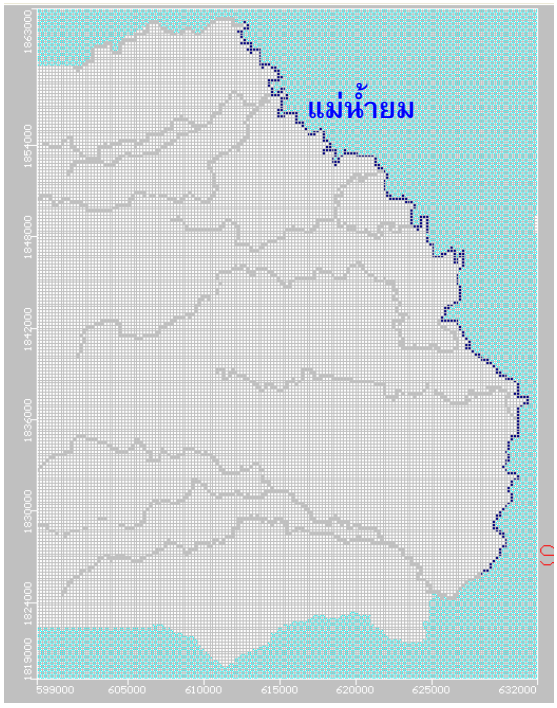
ตารางที่ 4-8 ปริมาณการเติมน้ำจากการไหลซึมของน้ำฝน

การใช้พื้นที่	พื้นที่ (ตร.กม.)	ปริมาณการเติมน้ำ (มม./ปี)	ร้อยละของปริมาณการเติมน้ำจากน้ำฝน
1. พื้นที่นาข้าว-ดินซึมผ่านได้ช้า (L1-S1)	676.46	108	9
2. พื้นที่นาข้าว-ดินซึมผ่านได้ปานกลาง (L1- S2)	46.27	132	11
3. พื้นที่นาข้าว-ดินซึมผ่านได้เร็ว (L1-S1)	0.68	144	12
4. ไร่อ้อย-ดินซึมผ่านได้ช้า (L2-S1)	169.02	210	17
5. ไร่อ้อย-ดินซึมผ่านได้ปานกลาง (L2- S2)	26.71	240	20
6. ไร่อ้อย-ดินซึมผ่านได้เร็ว (L2-S1)	0.86	252	21
7. พื้นที่ชุมชน-ดินซึมผ่านได้ช้า (L3-S1)	25.32	72	6
8. พื้นที่ชุมชน-ดินซึมผ่านได้ปานกลาง (L3-S2)	18.22	84	7
9. พื้นที่ชุมชน-ดินซึมผ่านได้เร็ว (L3-S1)	1.11	96	8
10. พื้นที่ป่าไม้-ดินซึมผ่านได้ช้า (L4-S1)	4.42	228	19
11. พื้นที่ป่าไม้-ดินซึมผ่านได้ปานกลาง (L4- S2)	2.57	264	22

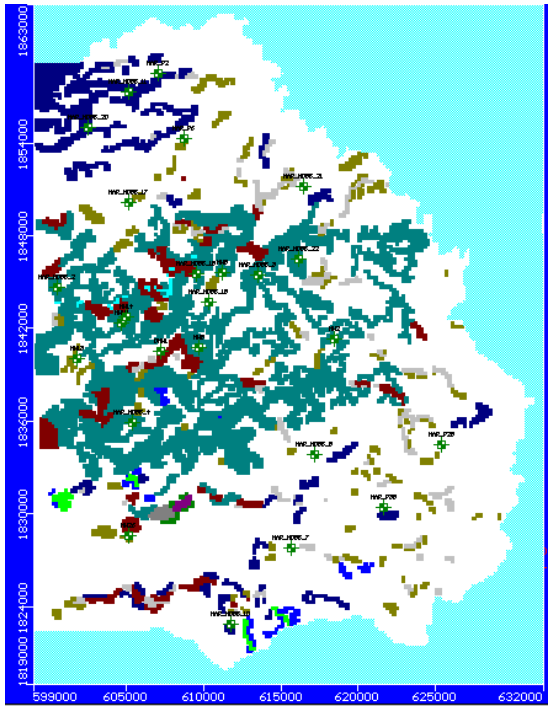
ตารางที่ 4-9 จำนวนบ่อบาดาลที่สูบใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

การใช้ที่ดิน	พื้นที่ (ไร่)	จำนวนบ่อ	ปริมาณการใช้น้ำ (ล้าน ลบ.ม./ปี)
พื้นที่นาข้าว	437,587.5	17,504	710.64
พื้นที่ไร่อ้อย	129,567.0	3,410	23.32
รวม	567,154.5	20,914	733.96

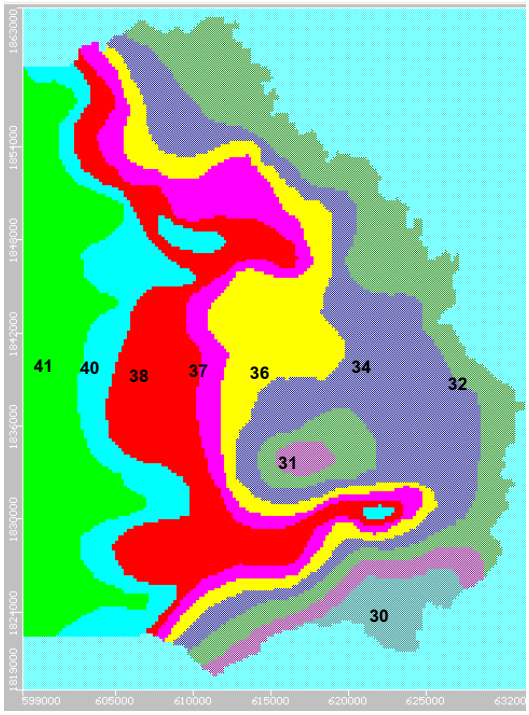
ตารางที่ 4-9 แสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้น้ำบาดาลสำหรับปลูกข้าวเท่ากับ 710.64 ล้าน ลบ.ม./ปี หรือเท่ากับ 665.13 ล้าน ลบ.ม./ปี ในฤดูแล้ง และ 45.51 ล้าน ลบ.ม./ปี ในฤดูฝน ดังนั้นการสูบใช้น้ำของบ่อบาดาลเท่ากับ 210 ลบ.ม/วัน ในฤดูแล้ง และ 17 ลบ.ม/วัน ในฤดูฝน ปริมาณการใช้น้ำในการเพาะปลูกอ้อยในพื้นที่ศึกษาเท่ากับ 23.32 ล้าน ลบ.ม./ปี จากการสำรวจในภาคสนามการสูบใช้น้ำสำหรับเพาะปลูกอ้อยโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10 วัน/ปี ดังนั้นการสูบใช้น้ำของบ่อบาดาลสำหรับเพาะปลูกอ้อยเท่ากับ 684 ลบ.ม/วัน



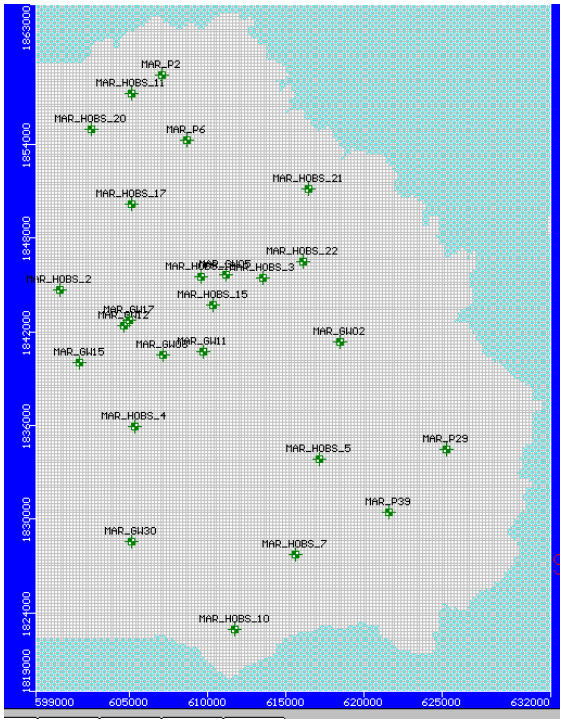
(ก) ขอบเขตแม่น้ำ



(ข) พื้นที่เติมน้ำบาดาลสุทธิ (ร้อยละของปริมาณน้ำฝน)



(ค) ค่าเฮดเริ่มต้นของการจำลอง (ม.รทก.)



(ง) ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์

รูปที่ 4-21 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการไหลของน้ำบาดาล

(6.2) การปรับเทียบแบบจำลอง

การปรับเทียบแบบจำลองเป็นการปรับค่าพารามิเตอร์ที่นำเข้าแบบจำลองจนเฮดที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองและค่าที่วัดจากสนามมีความใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ซึ่งในการปรับเทียบใช้ข้อมูลระดับน้ำบาดาลในเดือนกันยายน 2552 และเดือนตุลาคม 2553 จากบ่อสังเกตการณ์ 25 บ่อ ตำแหน่งบ่อบาดาลแสดงดังรูปที่ 4-21ง และทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน และสัมประสิทธิการกักเก็บน้ำให้อยู่ในช่วงค่าที่เป็นไปได้ของพารามิเตอร์นั้นๆ โดยปรับพารามิเตอร์ทีละชุดให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากค่าที่ประมาณไว้ในเบื้องต้น จนเฮดที่วัดในสนามและจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันที่สุด ซึ่งเกณฑ์ที่ตั้งไว้ในการทำแบบจำลองครั้งนี้ให้รูปแบบของการกระจายของเฮดน้ำบาดาลที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลองกับการกระจายของเฮดที่ได้จากในสนามมีความแตกต่างเฉลี่ยไม่เกิน 1 ม. ถ้าเฮดที่ได้จากการวัดในสนามและจากการคำนวณมีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วงไม่เกิน 1 ม. ถือได้ว่าผลการจำลองนี้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

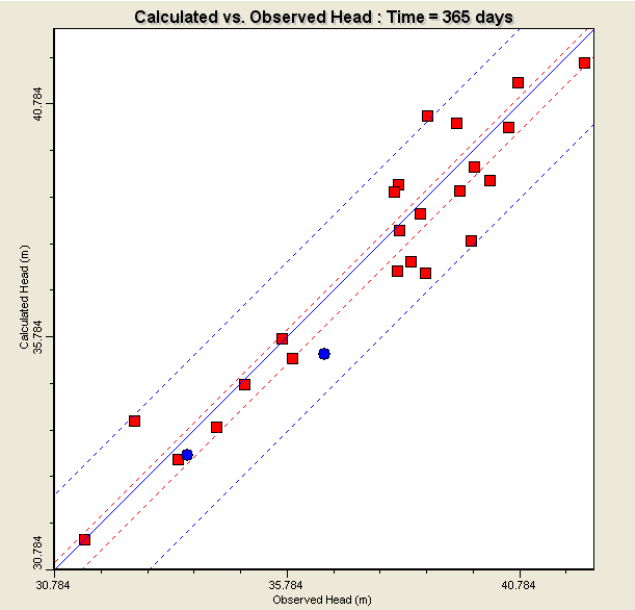
7) ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาล

(7.1) การปรับเทียบพารามิเตอร์และชุดข้อมูลที่ได้

ผลจากการปรับเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนของเฮดที่วัดได้จากสนามและเฮดที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 0.893 ม. รายละเอียดดังตารางที่ 4-10 และรูปที่ 4-22 และชุดพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแสดงดังตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-10 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

ความคลาดเคลื่อนที่ตรวจสอบ	ค่าความคลาดเคลื่อน (ม.)
Residual Mean	-0.21
Absolute Residual Mean	0.719
Standard error of the estimation	0.177
Root mean squared	0.814
Normalized RMS	8.311 %



รูปที่ 4-22 กราฟการปรับเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

ตารางที่ 4-11 พารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง

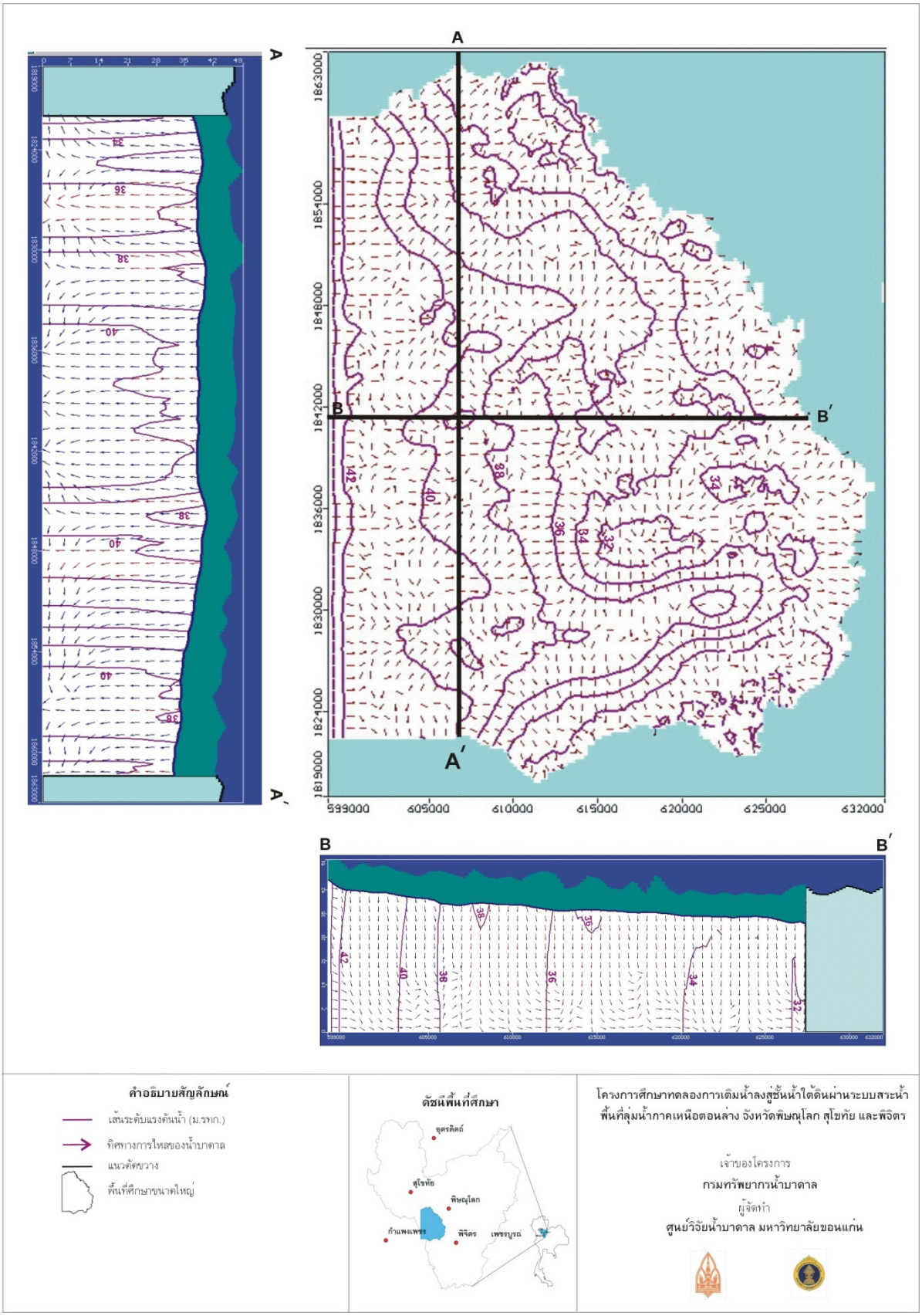
ชั้น	ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน		ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ	
	$K_x = K_y$ (ม./วินาที)	K_z (ม./วินาที)	S_s (1/ม.)	S_y
ชั้นที่ 1	1.8E-4	1.8E-5	0.014	0.2
ชั้นที่ 2	1.5E-6	1.5E-7	0.010	0.2
ชั้นที่ 3	2.0E-4	2.0E-5	0.020	0.25

(7.2) การไหลของน้ำบาดาล

การไหลของน้ำบาดาลจากการจำลองสอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ คือ มีการไหลของน้ำจากพื้นที่เนินด้านทิศตะวันตกที่มีเฮดสูงไปด้านทิศตะวันออกที่มีเฮดของน้ำบาดาลต่ำ การไหลเฉพาะแห่งเกิดขึ้นในบริเวณตอนกลางและทิศตะวันออกของพื้นที่ ซึ่งเป็นผลมาจากการสูบใช้น้ำบาดาลทำให้เกิดกรวยน้ำลดในบริเวณนั้น แสดงดังรูปที่ 4-23

(7.3) สมดุลน้ำบาดาล

สมดุลน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ที่ได้จากการจำลองมีปริมาณการไหลเข้าจากแหล่งต่างๆ เท่ากับ 673.29 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณการไหลออกทั้งหมดเท่ากับ 724.76 ล้าน ลบ.ม. รายละเอียดดังตารางที่ 4-12 ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณการกักเก็บเท่ากับ – 51.47 ล้าน ลบ.ม. เมื่อพิจารณาการสูญเสียน้ำจากแหล่งกักเก็บในแต่ละปีสามารถคำนวณการลดระดับของน้ำบาดาลระดับตื้นทั้งพื้นที่ได้เท่ากับ - 0.26 ซม./ปี โดยมีค่าอัตราการให้น้ำจำเพาะ (specific yield, S_y) เท่ากับ 0.2



รูปที่ 4-23 ผลการจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

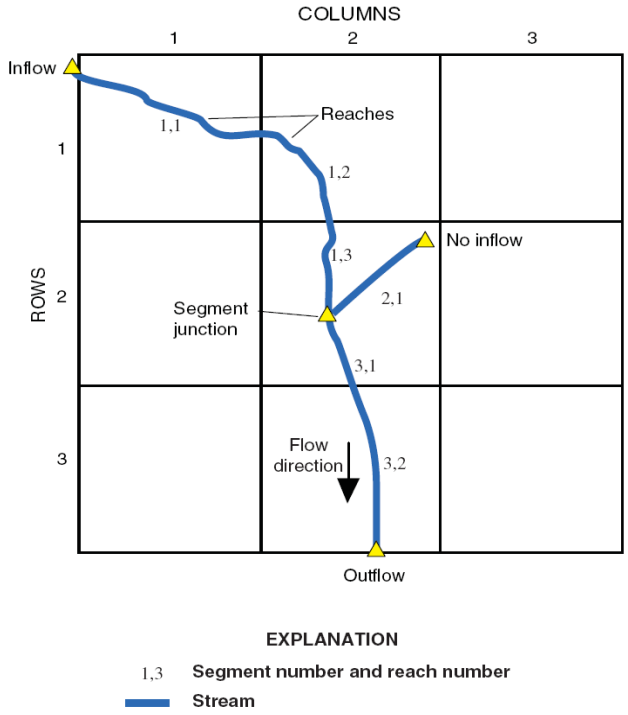
ตารางที่ 4-12 สมดุลน้ำบาดาลในรอบหนึ่งปี

ปริมาณการไหลเข้า (ลบ.ม.)		ปริมาณการไหลออก (ลบ.ม.)	
ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ :	144,756,992	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล :	724,353,920
ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ :	389,288,640	ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ :	408,836.09
ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าในชั้นน้ำระดับลึก :	139,248,800		
รวม	673,294,432	รวม	724,762,756.09
ปริมาณการไหลเข้า - ปริมาณการไหลออกำ = -51,468,324.09 ลบ.ม.			

8) การจำลองการไหลของน้ำผิวดินในลำน้ำ

(8.1) หลักการของจำลองการไหลในลำน้ำ

การจำลองการไหลในลำน้ำใช้แบบจำลอง STR6 ซึ่งใช้หลักการของสมการต่อเนื่อง (continuity equation) และสมการความสัมพันธ์ระหว่างความลึกกับอัตราการไหล เช่น สมการ Manning ซึ่งต้องสมมุติให้การไหลในลำน้ำแต่ละช่วงย่อย (reach) เป็นการไหลแบบคงตัว (steady flow) และเป็นการไหลแบบสม่ำเสมอ (uniform flow) ในการจำลองการไหลในแต่ละลำน้ำสายหลัก จะต้องแบ่งลำน้ำสายหลักออกเป็นช่วงๆ (segment) ซึ่งแต่ละช่วงของลำน้ำถือเอาลำน้ำสาขา (tributary) และระบบผันน้ำ (diversion system) เป็นเกณฑ์ในการแบ่ง โดยปกติปากลำน้ำสาขาและจุดผันน้ำเข้าจะกำหนดให้เป็นปลายเหนือน้ำของช่วง แล้วในแต่ละช่วงจะแบ่งเป็นช่วงย่อยหลายๆ ช่วงย่อย ลำดับการคำนวณเริ่มจากช่วงย่อยเหนือน้ำ ไล่ลงไปจนถึงช่วงย่อยท้ายน้ำสุดท้าย ของช่วงเหนือน้ำเดียวกัน แล้วคำนวณต่อลงไปยังช่วงท้ายน้ำถัดลงไป ดังนั้นการกำหนดระบบตัวเลขของช่วงลำน้ำและช่วงย่อยจึงมีความสำคัญมาก รูปที่ 4-24 แสดงระบบตัวเลขที่สมมติขึ้น โดยประกอบด้วยตัวเลข 2 ตัว ตัวเลขแรกแทนช่วงของลำน้ำและตัวที่ 2 แทนด้วยช่วงย่อย



รูปที่ 4-24 ระบบตัวเลขที่สมมติขึ้นเพื่อใช้ในการจัดทำแบบจำลอง (Prudic, 2004)

ในแต่ละช่วงย่อย สมการต่อเนื่องช่วยในการคำนวณ ส่วนประกอบที่หายไป โดยสมมติว่า ΣQ_{in} คือ อัตราการไหลเข้าทั้งหมด ΣQ_{out} คือ อัตราการไหลออกทั้งหมด อัตราการไหลเข้าประกอบด้วย

$$\Sigma Q_{in} = Q_{sri}+Q_{trb}+Q_{ro}+Q_{ppt} - Q_{Li} \quad (4\text{-}1)$$

เมื่อ Qsri คือ ผลรวมของการไหลของลำน้ำสาขาเหนือน้ำเข้าสู่เซลแรกของลำน้ำ Qtrb คือ การไหลเข้าของลำน้ำสาขา Qro คือ อัตราการไหลเข้าด้านข้าง Qppt คือ อัตราการไหลเข้าเนื่องจากฝน สำหรับส่วนประกอบของอัตราการไหลออก มีดังนี้

$$\Sigma Q_{out} = Q_{sro}+Q_{div}+Q_{Lo} \quad (4\text{-}2)$$

เมื่อ Qsro คือ อัตราการไหลออกทางปลายท้ายน้ำ Qdiv คือ อัตราการผันน้ำออกจากลำน้ำ และ QLo คือ การไหลออกสู่ชั้นน้ำใต้ดิน เนื่องจากสมมติว่า การไหลในแต่ละช่วงย่อยเป็นแบบคงตัว ดังนั้นจะได้ว่า

$$\Sigma Q_{in} = \Sigma Q_{out} \quad (4\text{-}3)$$

ซึ่งสมการ (4-3) นี้จะช่วยในการคำนวณ ส่วนประกอบตัวใดตัวหนึ่ง ที่เราไม่ทราบค่า โดยเฉพาะอัตราการไหลออกตามลำน้ำ Q_{sro} ของช่วงย่อยด้านเหนือน้ำ ที่จะต้องกลายเป็น อัตราการไหลเข้าตามลำน้ำ Q_{sri} ของช่วงย่อยด้านท้ายน้ำ

ในการคำนวณความลึกของการไหลในแต่ละช่วงย่อย จะต้องคำนวณจาก อัตราการไหลที่จุดกึ่งกลางของช่วงย่อย ซึ่งคำนวณจากสมการต่อเนื่องเช่นกันดังนี้

$$Q_{mdpt} = Q_{sio}+Q_{trb}+0.5(Q_{ro} + Q_{ppt} + Q_L) \quad (4\text{-}4)$$

เนื่องจาก Q_L คือ อัตราการไหลออกสู่ระบบน้ำใต้ดิน ขึ้นอยู่กับความลึก y ของน้ำในช่วงย่อย ดังนี้

$$Q_L = \frac{KwL}{m}(h_s - h_a) \quad (4\text{-}5)$$

เมื่อ K คือ สภาพนำชลศาสตร์ (hydraulic conductivity) ของตะกอนท้องน้ำ w คือ ความกว้างของลำน้ำ L คือ ความยาวของช่วงย่อย m คือ ความหนาของตะกอนท้องน้ำ h_s ,h_a คือ เฮดรวมของลำน้ำผิวดินและน้ำบาดาล ตามลำดับ

ซึ่ง h_s ย่อมเป็นฟังก์ชั่นของความลึก y ดังนั้นการคำนวณ Qmdpt ในสมการ (4) จึงต้องใช้วิธีทำซ้ำ ซึ่งมีหลายวิธี เช่น วิธีฟังชั่นกำลัง (power function) คือ หาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลQ กับความลึก y และกว้าง w ดังนี้

$$Y = cQ^f \text{ และ } \quad w = aQ^b \quad (4\text{-}6)$$

โดยที่ c, f, a, และ b คือ พารามิเตอร์ที่ต้องวัดและวิเคราะห์หาค่าโดยเฉลี่ยไว้ก่อน สมการ (4-4) (4-5) และ (4-6) ใช้คำนวณหาอัตราการไหล และความลึกของการไหล y ที่จุดกึ่งกลางของแต่ละช่วงย่อยได้ ส่วนสมการที่ (4-1) (4-2) และ (4-3) ช่วยในการหาอัตราการไหลเข้าของช่วงย่อยด้านท้ายน้ำถัดลงไป การคำนวณจะไล่จาก ช่วงย่อยเหนือน้ำ ไปยังช่วงย่อยท้ายน้ำและจากช่วงเหนือน้ำไปยังช่วงท้ายน้ำ

(8.2) ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการไหลในแม่น้ำยม

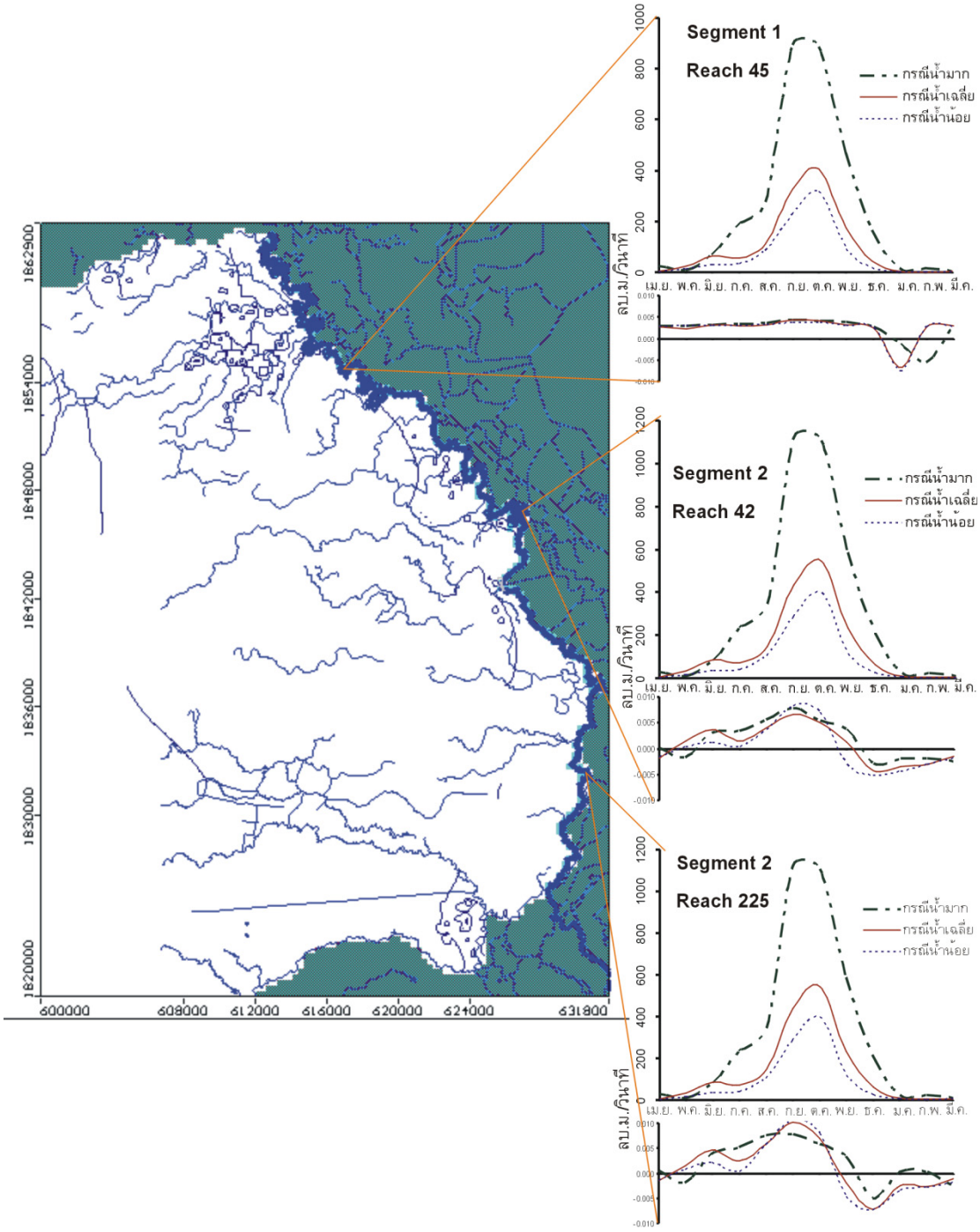
การจำลองใช้ข้อมูลน้ำท่า ลักษณะของลำน้ำ และปริมาณฝน จากสำนักอุทกวิทยาที่ 2 จังหวัดพิษณุโลก กรมชลประทาน และข้อมูลลักษณะภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร กำหนดลำน้ำในแบบจำลองโดยใช้ชุดคำนวณ STR6 แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ตามตำแหน่งของสถานีตรวจวัดน้ำท่า คือ ช่วงที่ 1 คือ ช่วงเหนือน้ำของสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.16 (อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก) มีจำนวนช่วงย่อย 88 ช่วง ช่วงที่ 2 คือ ช่วงท้ายน้ำของสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.16 และเหนือน้ำของสถานีตรวจวัดน้ำท่า Y.17 (อ.สามง่าม จ.พิจิตร) มีจำนวนช่วงย่อย 171 ช่วง เพื่อใช้ข้อมูลตรวจวัด

ระดับในการนำเข้าแต่ละช่วงแม่น้ำในการนำเข้าแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลดังที่ใช้ในแบบจำลอง ได้แก่ (1) อัตราการไหลเข้าแต่ละช่วงของลำน้ำ (ลบ.ม./วินาที) (2) ระดับน้ำ (ม.รทก.) (3) ระดับบนของตะกอนท้องน้ำ (ม.รทก.) (4) ระดับล่างของตะกอนท้องน้ำ (ม.รทก.) (5) ความกว้างเฉลี่ยของลำน้ำ (ม.) (6) คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของตะกอนท้องน้ำ

ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดของสำนักอุทกวิทยาที่ 2 พิษณุโลก กรมชลประทาน ข้อมูลอัตราการไหลที่ใช้ในการจำลองการไหลในแม่น้ำยมอยู่ในช่วงปี พ.ศ.2517-2549 โดยพิจารณาอัตราการไหล 3 กรณี คือ กรณีอัตราการไหลเฉลี่ย ซึ่งหาได้จากค่าเฉลี่ยของข้อมูลอัตราการไหลที่ใช้ กรณีน้ำมาก หาจากปริมาณอัตราการไหลสูงสุดที่คาบการกลับ 20 ปี โดยวิธี การแจกแจงแบบกัมเบล (Gumbel distribution) และกรณีน้ำน้อยหาจากอัตราการไหลต่ำสุดที่คาบการกลับ 5 ปี ด้วยวิธีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution)

(8.3) ผลการจำลองการไหลในลำน้ำในกรณีต่างๆ

ผลการจำลองการไหลของแม่น้ำยมทั้ง 3 กรณีศึกษา คือ กรณีการไหลเฉลี่ย กรณีน้ำมากและกรณีน้ำน้อย ผลการจำลองที่ได้ คือ อัตราการไหลของน้ำในลำน้ำแต่ละช่วง สมดุลการไหลเข้า-ออกจากลำน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาล ในแต่ละช่วงลำน้ำสมดุลน้ำในแต่ละเซลลำน้ำ (stream reach) และการไหลเข้าออกสู่แบบจำลองมีการคำนวณในแต่ละเซลลำน้ำ จากผลการจำลองพบว่าปริมาณน้ำในแม่น้ำยมมีอัตราการไหลสูงสุดที่ประมาณเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน และอัตราการไหลมีการลดลงเรื่อยๆจนต่ำสุดที่ประมาณเดือนมกราคมถึงมีนาคม โดยในช่วงที่มีอัตราการไหลในลำน้ำมาก (ฤดูฝน) น้ำในลำน้ำมีการไหลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล และเมื่ออัตราไหลในลำน้ำต่ำ (ฤดูแล้ง) น้ำจากชั้นน้ำบาดาลจะไหลเข้าสู่ลำน้ำดังรูปที่ 4-25 ซึ่งแสดงกราฟน้ำท่าและกราฟอัตราการไหลจากชั้นน้ำบาดาลสู่ลำน้ำทั้ง 3 กรณีของเซลลำน้ำที่ 45 ในช่วงลำน้ำที่ 1 เซลลำน้ำที่ 42 และ 137 ในช่วงลำน้ำที่ 2



รูปที่ 4-25 ผลการจำลองการไหลในลำน้ำของแม่น้ำยม

4.1.4 การคัดเลือกพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด

การคัดเลือกพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียดดำเนินการโดยใช้เกณฑ์ในการคัดเลือกพื้นที่เบื้องต้นแล้วให้น้ำหนักคะแนนและใช้ผลจากแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของน้ำผิวดินและน้ำบาดาลเป็นข้อมูลเพิ่มเติมในการคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมอย่างน้อยจำนวน 3 พื้นที่ เพื่อกำหนดเป็นพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด ซึ่งมีขั้นตอนการคัดเลือกดังต่อไปนี้

1) เกณฑ์และขั้นตอนการคัดเลือกพื้นที่

การคัดเลือกพื้นที่ขั้นรายละเอียดจากพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ ได้พิจารณาปัจจัยหรือองค์ประกอบที่มีความสำคัญต่อการใช้เป็นพื้นที่เติมน้ำผ่านระบบสระ ซึ่งเกณฑ์การให้ค่าน้ำหนักความเหมาะสมและขั้นตอนการคัดเลือก (ดังรูปที่ 4-26) ประกอบด้วย

(1.1) การคัดเลือกพื้นที่ลุ่มน้ำจากพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

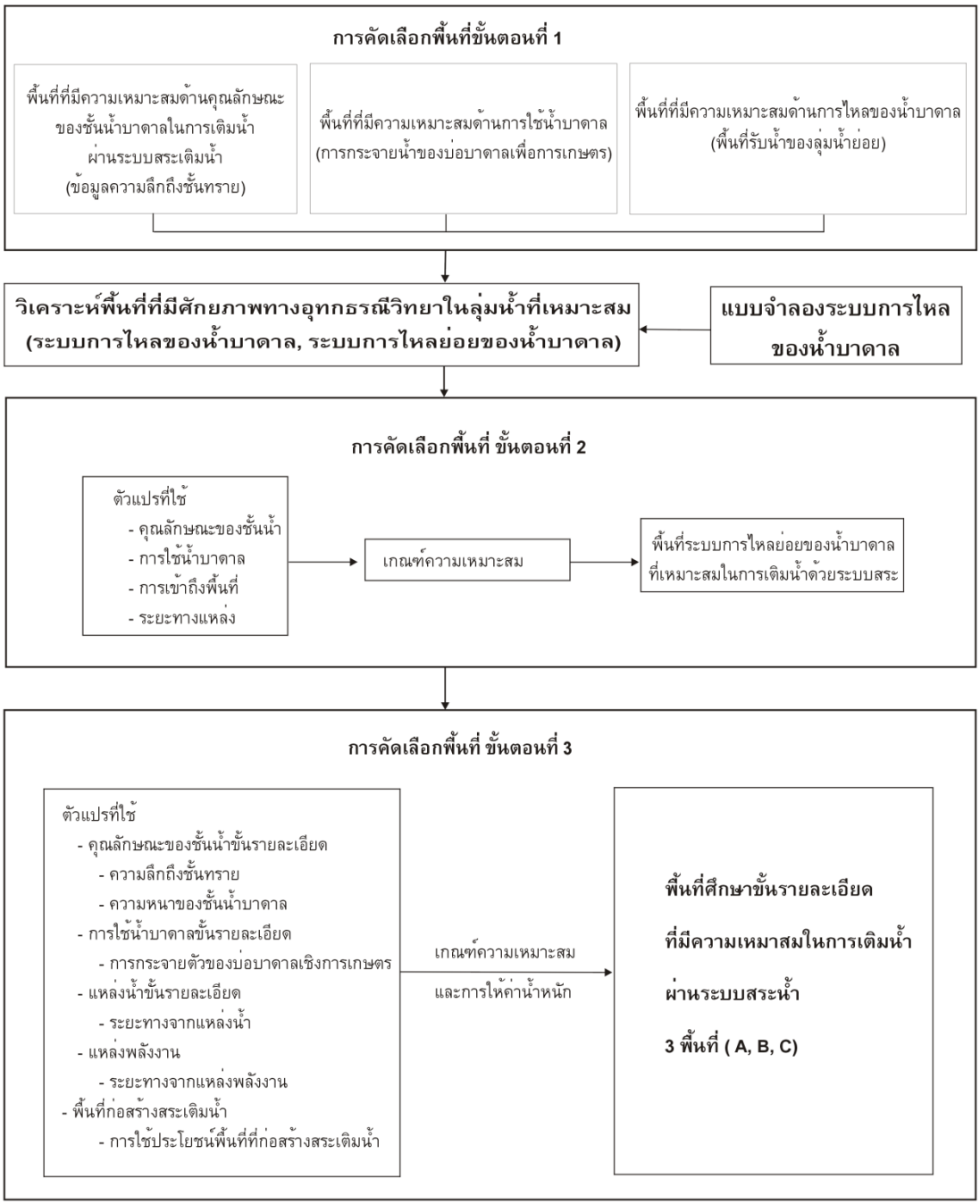
เนื่องจากพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่มีสภาพภูมิประเทศที่ค่อนข้างราบ และน้ำบาดาลที่ใช้เป็นน้ำบาดาลระดับตื้น ดังนั้นลักษณะการไหลของน้ำบาดาลจึงขึ้นอยู่กับลักษณะเส้นชั้นความสูงของภูมิประเทศเป็นหลัก พื้นที่รับน้ำของน้ำผิวดินจึงเป็นระบบการไหลของน้ำบาดาล (groundwater flow system) ในการคัดเลือกพื้นที่ขั้นรายละเอียดจากพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ในขั้นแรกจึงพิจารณาในแต่ละระบบการไหลของน้ำบาดาลเป็นหลัก ควบคู่กับข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยา และจำนวนบ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรที่เกิดปัญหาการลดระดับของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

(1.2) การคัดเลือกพื้นที่ระบบการไหลย่อยของน้ำบาดาลจากพื้นที่ลุ่มน้ำ

รูปแบบการไหลของน้ำบาดาลระดับตื้นในพื้นที่ลุ่มน้ำมีลักษณะไหลเข้าสู่ทางน้ำในพื้นที่ แบ่งระบบการไหลน้ำบาดาล จากการสำรวจรายละเอียดในแต่ละระบบการไหลของน้ำบาดาลในเบื้องต้นสามารถระบุพื้นที่ที่มีศักยภาพเหมาะสมในการสร้างสระเติมน้ำโดยแบ่งเป็นพื้นที่ระบบการไหลย่อยของน้ำบาดาล (sub-groundwater flow system) โดยพิจารณาองค์ประกอบ 4 ด้าน ได้แก่

- ความลึกของชั้นน้ำบาดาลชั้นแรกจากผิวดิน
- จำนวนบ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่
- ระยะทางจากแหล่งน้ำผิวดิน
- การเข้าถึงพื้นที่

โดยใช้ตรรกะแบบ Boolean (Saraf, 2004) มีเกณฑ์ในการคัดเลือก 2 ระดับ คือ เหมาะสม และไม่เหมาะสม ดังตารางที่ 4-13 องค์ประกอบแรก คือ ความลึกของชั้นน้ำบาดาลชั้นแรกจากผิวดินลึกไม่เกิน 3 ม. จำนวนบ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ ซึ่งเป็นกลุ่มบ่อที่ประสบปัญหาการลดระดับของน้ำบาดาลและคาดว่าจะได้รับประโยชน์จากสระเติมน้ำ ไม่น้อยกว่า 5 บ่อ ระยะทางจากแหล่งน้ำผิวดินที่จะใช้เติมในสระเติมน้ำ ไม่เกิน 1,500 ม. เนื่องจากความเหมาะสมด้านงบประมาณในการเดินท่อส่งน้ำและพลังงานที่ต้องสูญเสียจากการส่งน้ำระยะไกล และการเข้าถึงพื้นที่ที่คาดว่าจะก่อสร้างระบบเติมน้ำ ต้องสามารถเข้าถึงพื้นที่ได้สะดวก เนื่องจากในการก่อสร้างระบบเติมน้ำจำเป็นต้องขนย้ายอุปกรณ์เครื่องมือขนาดใหญ่เข้าไปในพื้นที่



รูปที่ 4-26 แผนผังการดำเนินการคัดเลือกพื้นที่ขั้นรายละเอียด

ตารางที่ 4-13 เกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ขั้นรายระเอียดขั้นต้น

องค์ประกอบ / รายการ	ความลึกของดินทรายชั้นแรกจากผิวดิน (ม.)		จำนวนบ่อเกษตร (บ่อ)		ระยะทางจากแหล่งน้ำ (ม.)		การเข้าถึงพื้นที่	
เกณฑ์	≤3	>3	≥5	<5	≤ 1500	>1500	สะดวก	ยาก
คะแนน	1	0	1	0	1	0	1	0
หมายเหตุ	คะแนน = 1 หมายถึง เหมาะสม				คะแนน = 0 หมายถึง ไม่เหมาะสม			

(1.3) การคัดเลือกพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด

การคัดกรองพื้นที่ที่มีความเหมาะสมด้านการก่อสร้างระบบเติมน้ำในขั้นตอนนี้ ได้คัดให้เหลือ 3 พื้นที่ (พื้นที่ A, พื้นที่ B และพื้นที่ C) โดยใช้วิธี Weighted Index Analysis โดยพิจารณาตามเกณฑ์ดังนี้

- ความหนาของชั้นทราย
- ความลึกของชั้นน้ำบาดาลชั้นแรกจากผิวดิน
- จำนวนบ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร
- การเข้าถึงพื้นที่
- ระยะทางจากแหล่งน้ำผิวดิน
- ระยะทางจากแหล่งไฟฟ้า และ
- การใช้ประโยชน์พื้นที่ที่ใช้ก่อสร้างสระเติมน้ำ

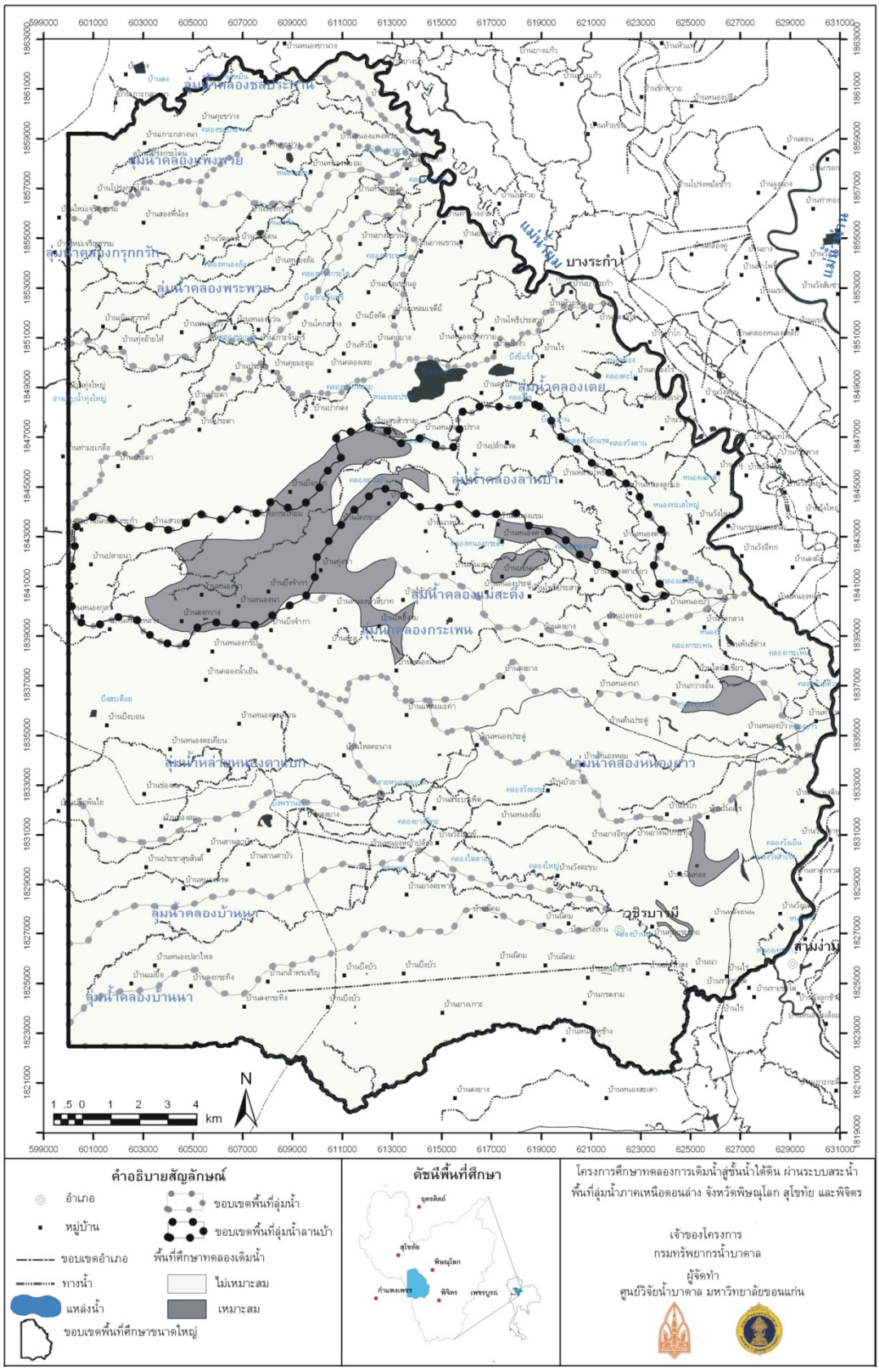
เกณฑ์ในการให้คะแนนแสดงในตารางที่ 4-14 โดยองค์ประกอบที่มีค่าน้ำหนักสูงสุดคือ ความหนาของชั้นทรายและความลึกถึงระดับบนสุดของชั้นน้ำบาดาลบาดาลชั้นแรก ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณการเติมน้ำ จำนวนบ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่และระยะทางจากแหล่งน้ำดิบที่จะนำมาเติมเป็นองค์ประกอบที่มีค่าน้ำหนักรองลงมา การใช้ประโยชน์พื้นที่ที่ใช้ก่อสร้างสระเติมน้ำและระยะทางจากแหล่งไฟฟ้า มีค่าน้ำหนักน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-14 เกณฑ์การให้คะแนนในการคัดเลือกพื้นที่ขั้นรายละเอียด

องค์ประกอบ	ค่าน้ำหนักขององค์ประกอบ	เกณฑ์	คะแนน
ความหนาของชั้นทราย (ม.)	3	มากกว่า 15	1.00
		10-15	0.75
		5-10	0.25
ความลึกถึงระดับบนสุดของชั้นทราย (ม.)	3	น้อยกว่า 1	1.00
		1-2	0.75
		2-3	0.25
จำนวนบ่อเกษตร (บ่อ)	2	มากกว่า 20	1.00
		10-20	0.60
		5-10	0.20
ระยะทางจากแหล่งน้ำดิบ (ม.)	2	น้อยกว่า 200	1.00
		200-500	0.70
		500-1000	0.40
		1000-1500	0.20
ระยะทางจากแหล่งไฟฟ้า (ม.)	1	น้อยกว่า 500	1.00
		500-1000	0.50
		1000-1500	0.20
การใช้ประโยชน์พื้นที่ที่ใช้ก่อสร้างสระเติมน้ำ	1	ที่สาธารณะ	1.00
		ที่พืชไร่	0.80
		นาข้าว	0.60

2) ผลการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด

จากขั้นตอนการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียดจากพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ ในขั้นตอนที่ 1 เมื่อพิจารณาลักษณะของชั้นน้ำบาดาลจากความลึกถึงระดับบนสุดของชั้นทราย (รูปที่ 4-11) แล้วทำการจัดระดับความเหมาะสมความลึกของชั้นทรายสำหรับการเติมน้ำด้วยระบบสระ โดยมีความเหมาะสมที่ระดับความลึกจากผิวดิน 0-5 ม. และจากรูปที่ 4-17 ความหนาแน่นของบ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ พื้นที่ที่มีความเหมาะสมสำหรับการเติมน้ำผ่านระบบสระคือมีความหนาแน่นของบ่อไม่ต่ำกว่า 5 บ่อ/ตร.กม. เมื่อนำพื้นที่ที่เหมาะสมทั้งสองพื้นที่มาซ้อนทับกัน แล้วใช้ลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่หรือระบบการไหลของน้ำบาดาลเป็นขอบเขตของพื้นที่ พบว่า พื้นที่ที่เหมาะสมคือพื้นที่ลุ่มน้ำลานบ้า ดังแสดงในรูปที่ 4-27



รูปที่ 4-27 แผนที่แสดงพื้นที่ระบบการไหลของน้ำบาดาลที่เหมาะสมในการเติมน้ำผ่านระบบสระ

เมื่อทำการแบ่งระบบการไหลของน้ำบาดาล (groundwater flow system) จากระบบการไหลในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองลานบ้า ตามลักษณะพื้นที่ศึกษาและรูปแบบการไหลจากแบบจำลองระบบการไหลของน้ำบาดาล สามารถแบ่งระบบการไหลของน้ำบาดาลออกเป็น 9 ระบบการไหลดังสดมภ์ที่ 2 ในตารางที่ 4-15 โดยเรียกชื่อระบบการไหลตามชื่อหมู่บ้าน พิจารณาในแต่ละระบบการไหลของน้ำบาดาล และทิศทางการไหลของน้ำบาดาล พบว่าในแต่ละระบบการไหลมีทิศทางการไหลของน้ำบาดาลที่ต่างกันตามบริเวณที่มีการใช้น้ำบาดาล ซึ่งทำให้สามารถแบ่งเป็นระบบการไหลย่อยของน้ำบาดาลได้ 19 ระบบ รูปที่ 4-28 จากข้อมูลเบื้องต้นของพื้นที่ ทำการคัดเลือกพื้นที่ระบบการไหลย่อยของน้ำบาดาลจากพื้นที่ลุ่มน้ำได้พื้นที่ระบบการไหลย่อยที่มีความเหมาะสม (คะแนน เท่ากับ 4) 10 พื้นที่ ดังตารางที่ 4-15

ตารางที่ 4-15 ข้อมูลพื้นที่ระบบการไหลย่อยของน้ำบาดาลเบื้องต้นและคะแนนการคัดเลือกพื้นที่ขั้นตอนที่ 2

พื้นที่	ระบบการไหล	ระบบการไหลย่อย	ความลึกถึงระดับบนสุดของชั้นทราย (ม)	ระยะทางจากแหล่งน้ำดิบ (ม)	จำนวนบ่อเกษตร (บ่อ)	การเข้าถึงพื้นที่	คะแนนรวม
1	BK (บึงกอก)	BK-1	2	1000	4	สะดวก	3
2		BK-2	2-3	700	17	สะดวก	4
3	DKK (ดงโคกขาม)	DKK1	2-3	1000	44	สะดวก	4
4		DKK2	2-3	200	17	ยาก	3
5	NK (หนองกุลา)	NK1	4-5	100	3	สะดวก	2
6	NM (หนองมะปราง)	NM-1	3-4	800	17	ยาก	3
7		NM-2	3	500	23	สะดวก	4
8		NM-3	6	500	5	สะดวก	3
9	NN (หนองนา)	NN-1	3	1000	27	สะดวก	4
10		NN-2	0-1	700	64	สะดวก	4
11		NN-3	0-3	50	67	สะดวก	4
12	PK (ปรือกระเทียม)	PK1	0-1	700	16	สะดวก	4
13		PK2	1-2	1300	1	สะดวก	3
14	PN (ปลายนา)	PN1	5-6	500	1	สะดวก	2
15		PN2	5-6	1200	1	สะดวก	2
16	SS (เสวยซุง)	SS-1	3-4	800	1	สะดวก	3
17		SS-2	0-1	400	13	สะดวก	4
18	TC (ทุ่งชา)	TC1	2	1200	9	สะดวก	4
19		TC2	2	200	110	สะดวก	4

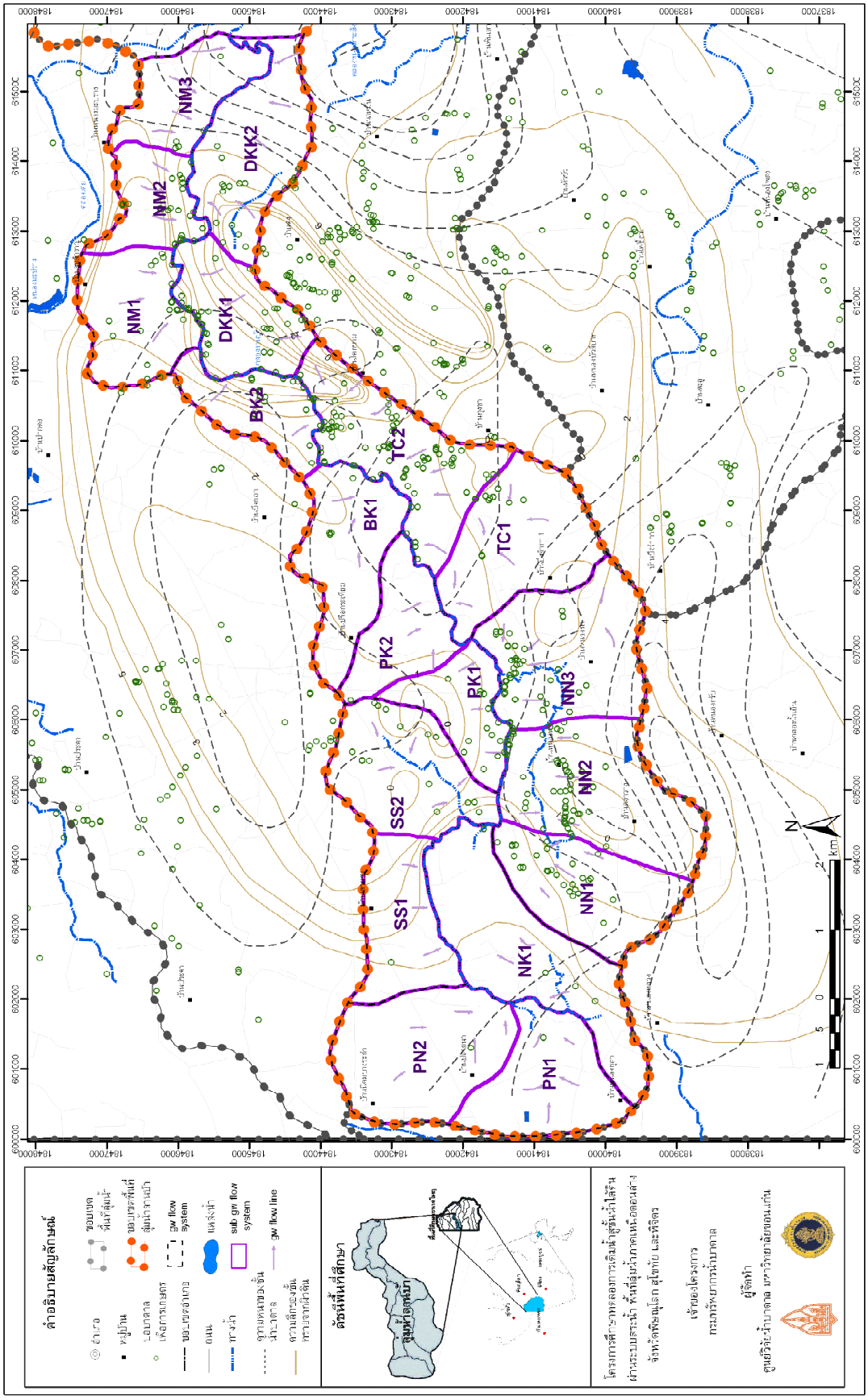
ทำการประเมินพื้นที่ระบบการไหลย่อยทั้ง 10 พื้นที่ ซ้ำโดยใช้ข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4-16 และ 4-17 แล้วคัดกรองให้เหลือ 3 พื้นที่ที่มีคะแนนรวมสูงสุด คือ พื้นที่ NN3, TC2, และ NN2 ดังรูปที่ 4-29

ตารางที่ 4-16 ข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด

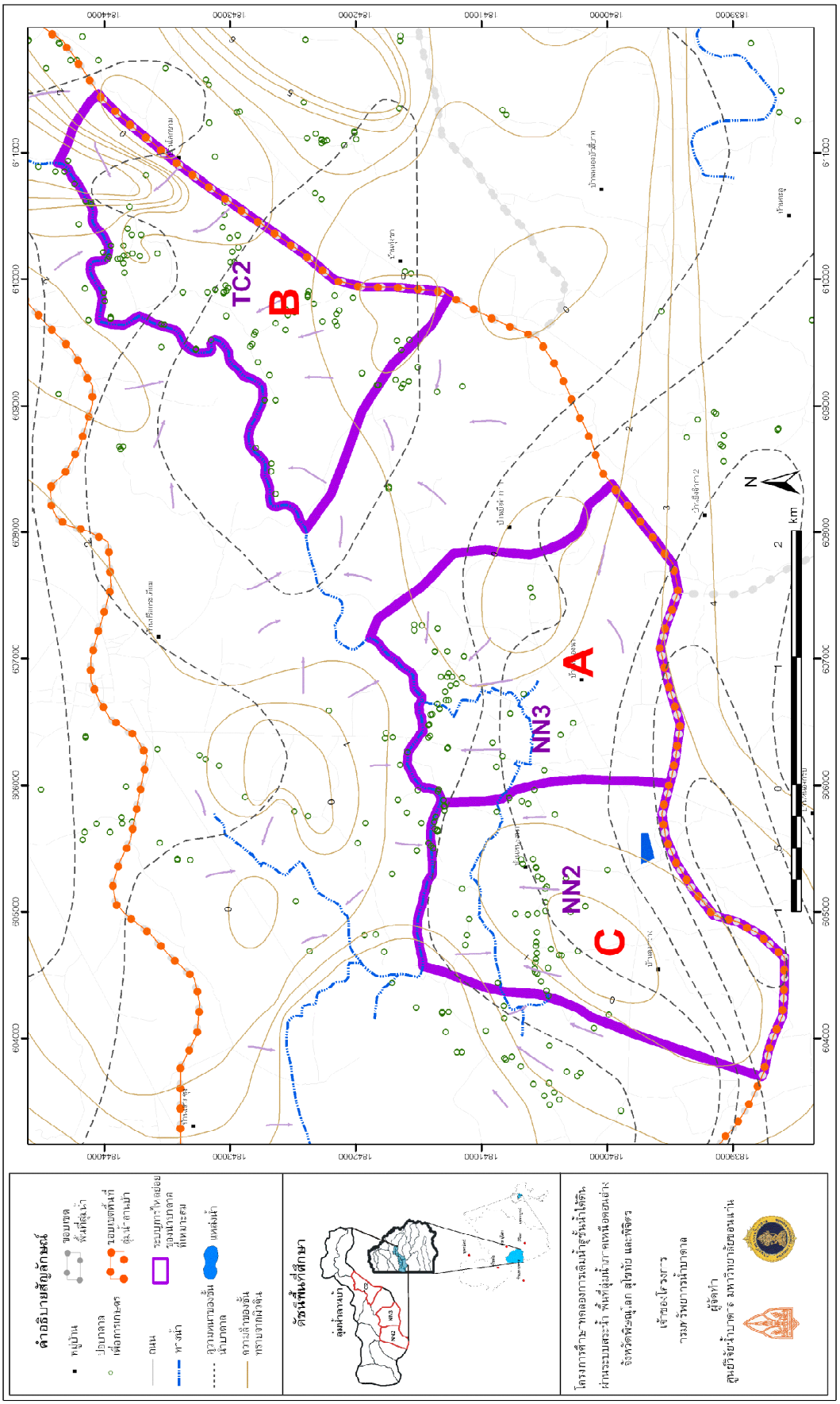
พื้นที่	ระบบการไหลย่อย	ความลึกถึงชั้นทราย (ม)	ความหนาของชั้นทราย (ม)	จำนวนบ่อเกษตร	ระยะทางจากแหล่งน้ำดิบ (ม)	ระยะทางจากแหล่งไฟฟ้า (ม)	การใช้ประโยชน์พื้นที่ก่อสร้างสระ
1	BK2	2-3	10-15	17	700	500	นาข้าว
2	DKK1	2-3	10	44	1000	600	อ้อย
3	NM2	3	10	23	500	1200	อ้อย
4	NN1	3	10-15	27	1000	500	อ้อย
5	NN2	0-1	15-20	64	700	500	อ้อย
6	NN3	0-3	15-20	67	50	300	อ้อยและนาข้าว
7	PK1	0-1	10	16	700	700	อ้อย
8	SS2	0-1	10	13	400	700	นาข้าว
9	TC1	2	5-10	9	1200	800	นาข้าว
10	TC2	2	5-10	110	200	700	นาข้าว

ตารางที่ 4-17 ผลการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด

องค์ประกอบ / ระบบการไหลย่อย	ความลึกถึงชั้นทราย	ความหนาของชั้นทราย	จำนวนบ่อเกษตร	ระยะทางจากแหล่งน้ำดิบ	ระยะทางจากแหล่งไฟฟ้า	การใช้ประโยชน์พื้นที่ก่อสร้างสระ	คะแนนรวม
BK2	2.25	3.0	1.2	0.8	1.0	0.8	9.05
DKK1	2.25	2.1	2	0.8	0.5	0.8	8.45
NM2	0.75	2.1	2	1.4	0.2	0.8	7.25
NN1	0.75	3.0	2	1.4	0.5	0.8	8.45
NN2	3.0	3.0	2	0.8	0.5	0.8	10.10
NN3	2.25	3.0	2	2.0	1.0	0.8	11.05
PK1	3.0	2.1	1.2	0.8	0.5	0.8	8.40
SS2	3.0	2.1	1.2	1.4	0.5	0.6	8.80
TC1	2.25	0.9	0.4	0.4	0.5	0.6	5.05
TC2	2.25	2.1	2.0	2.0	0.5	0.6	9.45



รูปที่ 4-28 แผนที่แสดงพื้นที่ระบบการไหลย่อยของน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำลานน้ำ



รูปที่ 4-29 แผนที่แสดงพื้นที่ระบบการไหลย่อยของน้ำบาดาลที่เหมาะสมในการก่อสร้างสระเติมน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำลานบ้า

4.2 พื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด

พื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียดอยู่ในลุ่มน้ำย่อยคลองลานบ้า ซึ่งเป็นลำน้ำสาขาของแม่น้ำยม เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงในการก่อสร้างระบบเติมน้ำผ่านสระ มีจำนวน 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ A หรือพื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านหนองนา 3 พื้นที่ B หรือพื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านทุ่งชา 2 (TC 2) และพื้นที่ C หรือพื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านหนองนา 2 (NN 2) (รูปที่ 4-30 ถึง 4-32) การดำเนินการศึกษาขั้นรายละเอียดประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1) การสำรวจและจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยามาตราส่วน 1:10,000

2) การสำรวจชั้นดินและการทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านได้ของดินเพื่อหาชั้นดินที่เหมาะสมในการออกแบบความลึกของสระเติมน้ำ

3) การสำรวจอุทกธรณีวิทยาใต้ผิวดิน ประกอบด้วย การเจาะสำรวจและติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ การสำรวจธรณีฟิสิกส์แบบตัดขวาง 2 มิติ (dipole-dipole) และการตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน

4) การจัดทำแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์น้ำบาดาล เพื่อศึกษาระบบการไหลของน้ำบาดาลและผลจากการเติมน้ำผ่านสระและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงทางชลศาสตร์และอุทกธรณีเคมี

5) การคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมในการก่อสร้างระบบสระเติมน้ำนำร่อง

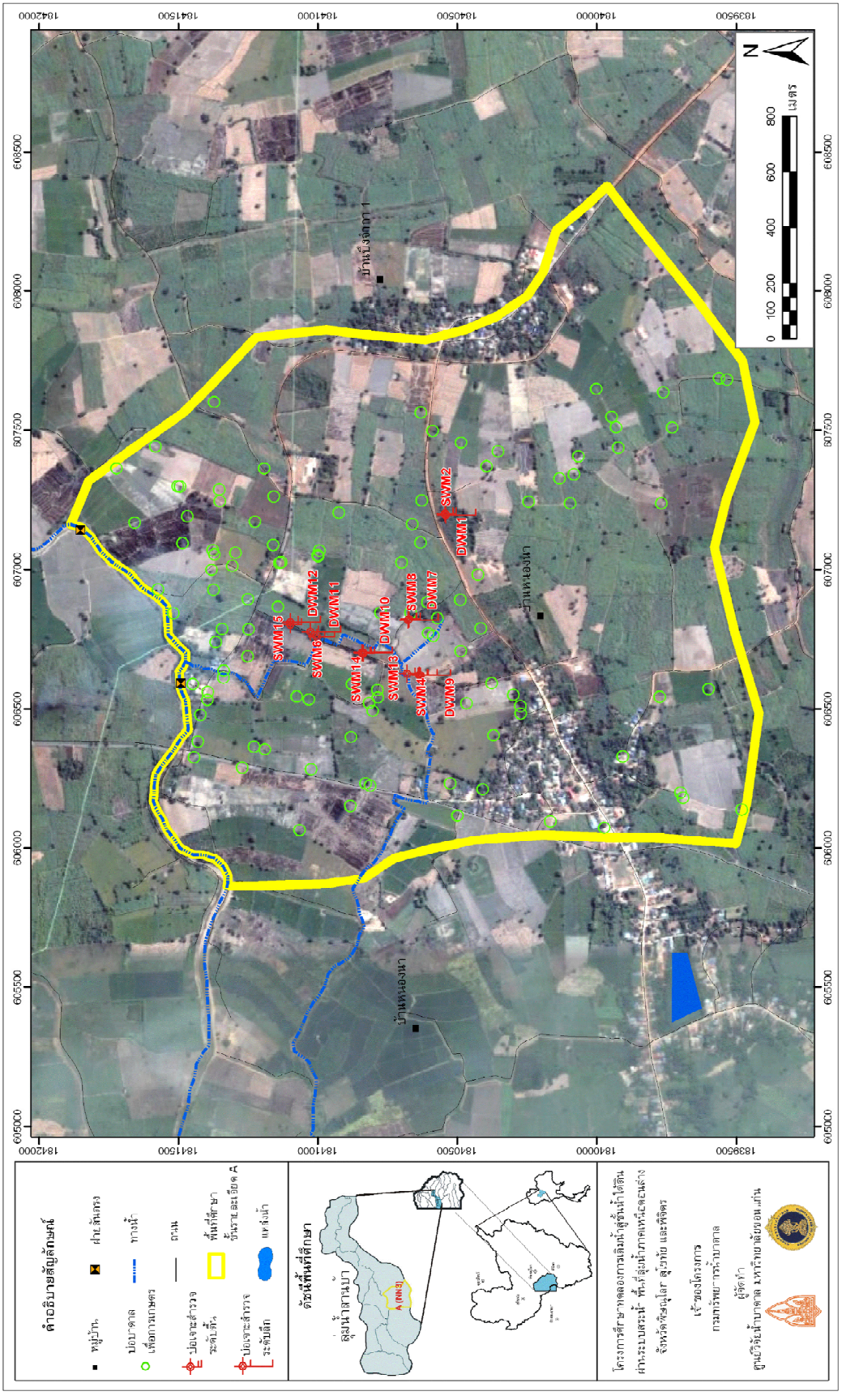
6) การประสานงานกับประชาชนในพื้นที่และการจัดหาที่ดินในการก่อสร้าง

4.2.1 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด

1) พื้นที่ A ระบบการไหลย่อยบ้านหนองนา 3 (NN 3)

พื้นที่ A ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 4 ตร.กม. มีระดับความสูงระหว่าง 43 - 50 ม.รทก. อยู่ในเขตการปกครองของบ้านหนองนา และบ้านดงกวาง ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก ขอบเขตด้านทิศเหนือกำหนดตามแนวคลองลานบ้า ด้านทิศใต้กำหนดตามแนวถนนสาธารณะบ้านหนองนา - บ้านดงกวาง ด้านทิศตะวันตกเป็นแนวถนนสายหลักขององค์การบริหารส่วนตำบลหนองกุลา และด้านทิศตะวันออกเป็นแนวเนินของพื้นที่ไร่อ้อย ดังรูปที่ 4-30

พื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกไร่อ้อยและทำนาข้าว เกษตรกรใช้น้ำฝนในฤดูฝนและใช้น้ำบาดาลในฤดูแล้ง และบางแปลงที่อยู่ติดกับคลองลานบ้าก็ใช้น้ำจากคลองลานบ้าในฤดูแล้ง จากการสำรวจพบว่ามีบ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรประมาณ 100 บ่อ ส่วนใหญ่เป็นบ่อที่มีการทรุดระดับเพื่อติดตั้งเครื่องสูบน้ำที่ระดับลึก 4 - 6 ม. จากผิวดิน



รูปที่ 4-30 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด พื้นที่ A หรือพื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านหนองงูเหลือม 3

ตอนกลางของพื้นที่มีคลองระบายน้ำสายหลักที่ดำเนินการสร้างโดย อบต.หนองกุลา มีความกว้างเฉลี่ย 4 ม.และลึกประมาณ 2.5 ม. เป็นคลองที่ใช้ระบายน้ำจากนาข้าวในฤดูฝนที่รับน้ำจากพื้นที่ทางตะวันออกของพื้นที่ คลองระบายน้ำมีพื้นที่รับน้ำ 6.54 ตร.กม. ไหลระบายลงสู่คลองลานบ้าบริเวณท้ายฝายคอนกรีตสันตรง ที่สร้างกั้นลำคลองลานบ้าด้านทิศเหนือ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านคลองมีประมาณ 750,000 ลบ.ม./ปี (คำนวณโดยการใช้วิธี Rational จากข้อมูลความเข้มฝนรายเดือนและค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำที่สัมพันธ์กับฝนรายเดือนในลุ่มน้ำยมตอนล่าง (กรมชลประทาน, 2546) โดยเป็นน้ำในช่วงฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม-ตุลาคม) ประมาณ 550,000 ลบ.ม. ซึ่งมีศักยภาพสูงมากในการนำมาใช้เติมผ่านระบบสระเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลเพื่อให้เกษตรกรนำกลับมาใช้ได้ในฤดูแล้ง ตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

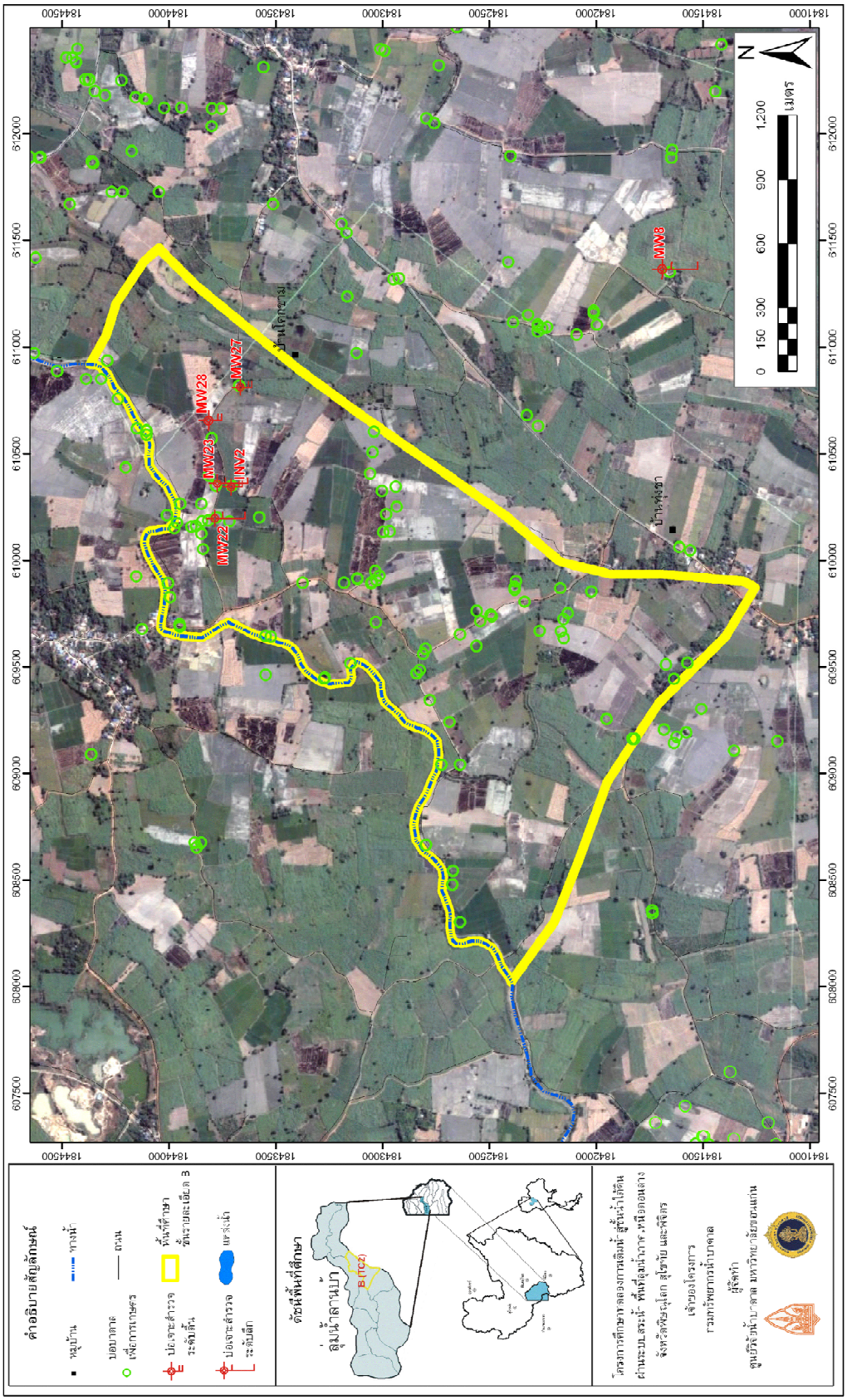
2) พื้นที่ B ระบบการไหลย่อยบ้านทุ่งชา 2 (TC 2)

พื้นที่ B อยู่ในลุ่มน้ำย่อยคลองลานบ้า ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 4 ตร.กม. มีระดับความสูงระหว่าง 42 – 51 ม.รทก. อยู่ในเขตการปกครองของบ้านบึงกอกและบ้านดงโคกขาม ต.บึงกอก อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก พื้นที่ทิศเหนือจรดกับแนวคลองลานบ้า ด้านทิศใต้ติดกับแนวถนนสาธารณะของหมู่บ้าน ทิศตะวันตกเป็นแนวถนนสายหลักของบ้านบึงกอก และทิศตะวันออกเป็นแนวเนินของพื้นที่ไร่อ้อย ดังรูปที่ 4-31

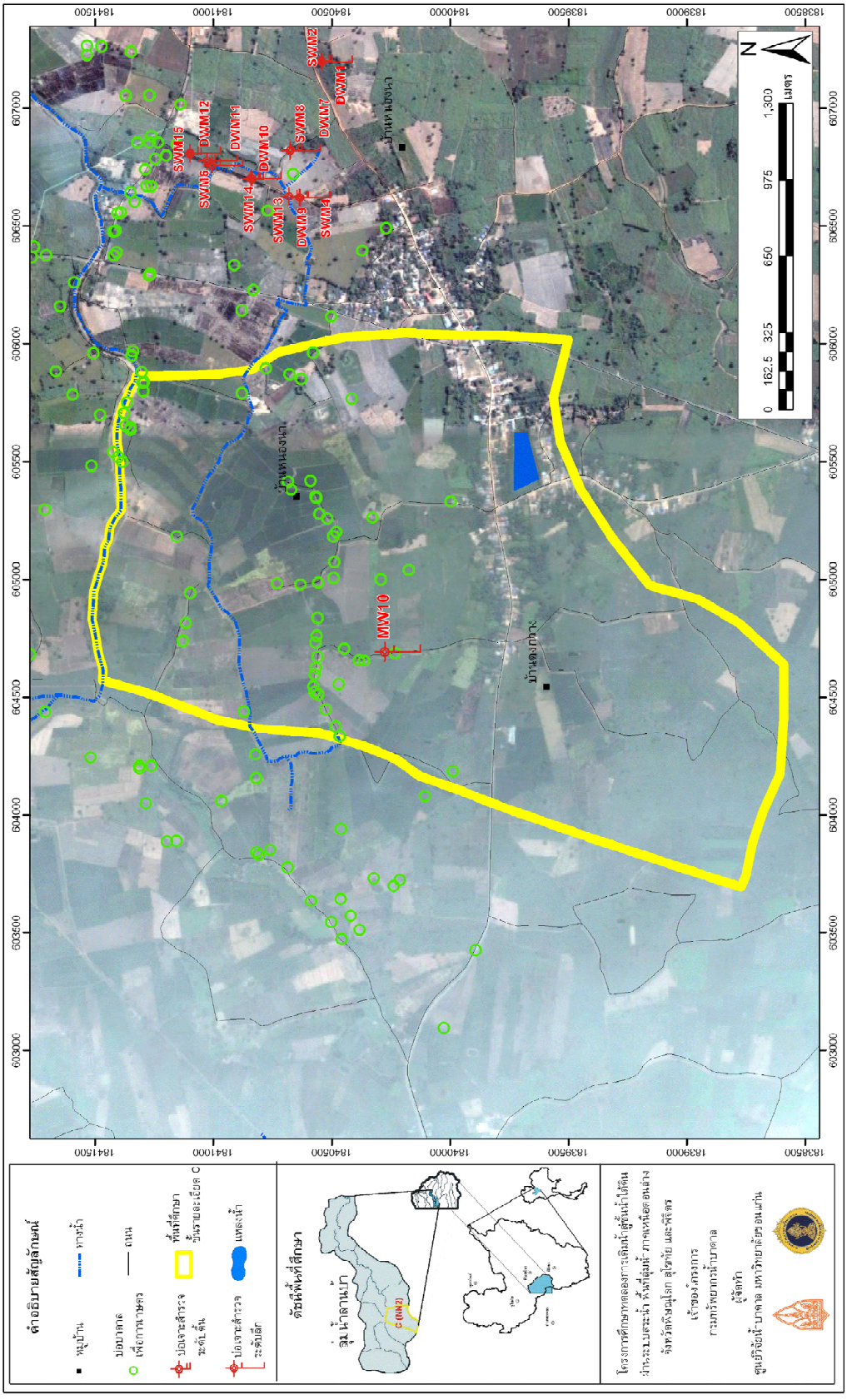
ในพื้นที่ส่วนใหญ่ปลูกข้าว รองลงมาเป็นการปลูกอ้อยและกล้วยในบางพื้นที่ เกษตรกรใช้น้ำจากน้ำฝนในฤดูฝนและใช้น้ำบาดาลในฤดูแล้ง และบางแปลงที่อยู่ติดกับคลองลานบ้ามีการใช้น้ำจากคลองลานบ้าในฤดูแล้ง จากการสำรวจพบว่ามีบ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรประมาณ 80 บ่อ ส่วนใหญ่เป็นบ่อที่มีการทรุดระดับเพื่อติดตั้งเครื่องสูบน้ำที่ระดับ 4 - 6 ม.จากผิวดิน คลองลานบ้ามีปริมาณน้ำที่ไหลผ่านจุดที่คาดว่าจะชักน้ำเข้าสู่ระบบเติมน้ำประมาณ 5,100,000 ลบ.ม./ปี (คำนวณจากพื้นที่รับน้ำประมาณ 42.5 ตร.กม. โดยใช้วิธี Rational จากข้อมูลความเข้มฝนรายเดือนและค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำที่สัมพันธ์กับฝนรายเดือนในลุ่มน้ำยมตอนล่าง (กรมชลประทาน, 2546) แต่การสำรวจภาคสนามพบว่ามีเกษตรกรจำนวนมากใช้น้ำจากคลองลานบ้าเพื่อการเกษตรกรรมในช่วงฤดูแล้งด้วย ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะใช้ในการเติมสู่แหล่งน้ำบาดาลได้และไม่กระทบต่อการใช้น้ำของประชาชน คือต้องมีน้ำในคลองไม่น้อยกว่า 200,000 ลบ.ม./เดือน ปริมาณน้ำที่สามารถนำมาเติมได้ในช่วงฤดูฝน มีค่าประมาณ 2,500,000 ลบ.ม.

3) พื้นที่ C ระบบการไหลย่อยบ้านหนองนา 2 (NN 2)

พื้นที่ C ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 4 ตร.กม. มีระดับความสูงระหว่าง 45 - 54 ม.รทก. อยู่ในเขตการปกครองของบ้านดงกวาง ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก ขอบเขตด้านทิศเหนือกำหนดตามแนวคลองลานบ้า ด้านทิศใต้กำหนดตามแนวถนนสาธารณะบ้านหนองนา-บ้านดงกวาง ด้านทิศตะวันตกเป็นเขตพื้นที่นาข้าว และด้านทิศตะวันออกเป็นแนวถนนสายหลักของ อบต.หนองกุลา ดังรูปที่ 4-32



รูปที่ 4-31 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด พื้นที่ B หรือพื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านท่งขา 2



รูปที่ 4-32 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด พื้นที่ C หรือพื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านหนองงูเห่า 2

การเกษตรกรรมในพื้นที่ส่วนใหญ่ปลูกข้าวและอ้อย มีการปลูกกล้วยและการเลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งในบางพื้นที่ เกษตรกรใช้น้ำจากน้ำฝนในฤดูฝนและใช้น้ำบาดาลในฤดูแล้ง และบางแปลงที่อยู่ติดกับคลองลานบ้าก็ใช้น้ำจากคลองลานบ้าในฤดูแล้ง จากการสำรวจพบว่ามีบ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรประมาณ 50 บ่อ ส่วนใหญ่เป็นบ่อที่มีการทรุดระดับเพื่อติดตั้งเครื่องสูบน้ำที่ระดับ 6-8 ม.จากผิวดิน บริเวณกลางพื้นที่มีคลองระบายน้ำ กว้างเฉลี่ย 3.5 ม.และลึกประมาณ 1.5 ม. เป็นคลองที่ใช้ระบายน้ำจากนาข้าวในฤดูฝนที่รับน้ำจากพื้นที่ทางตะวันออกของพื้นที่ แล้วไหลเข้าสู่พื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านหนองนา 3 ก่อนระบายลงสู่คลองลานบ้าบริเวณท้ายฝายคอนกรีตสันตรง ปริมาณน้ำทิ้งในคลองระบายน้ำ ตรงจุดที่คาดว่าจะนำมาเติมน้ำ มีค่าประมาณ 450,000 ลบ.ม./ปี จากพื้นที่รับน้ำขนาด 4.2 ตร.กม. (คำนวณโดยการใช้วิธี Rational จากข้อมูลความเข้มฝนรายเดือนและค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำที่สัมพันธ์กับฝนรายเดือนในลุ่มน้ำยมตอนล่าง (กรมชลประทาน, 2546) โดยเป็นน้ำในช่วงฤดูฝนประมาณ 344,000 ลบ.ม. ซึ่งมีศักยภาพสูงมากในการนำมาใช้เติมผ่านระบบสระเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลเพื่อให้เกษตรกรนำกลับมาใช้ได้ในฤดูแล้ง ตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

4.2.2 การสำรวจขั้นรายละเอียดและจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:10,000

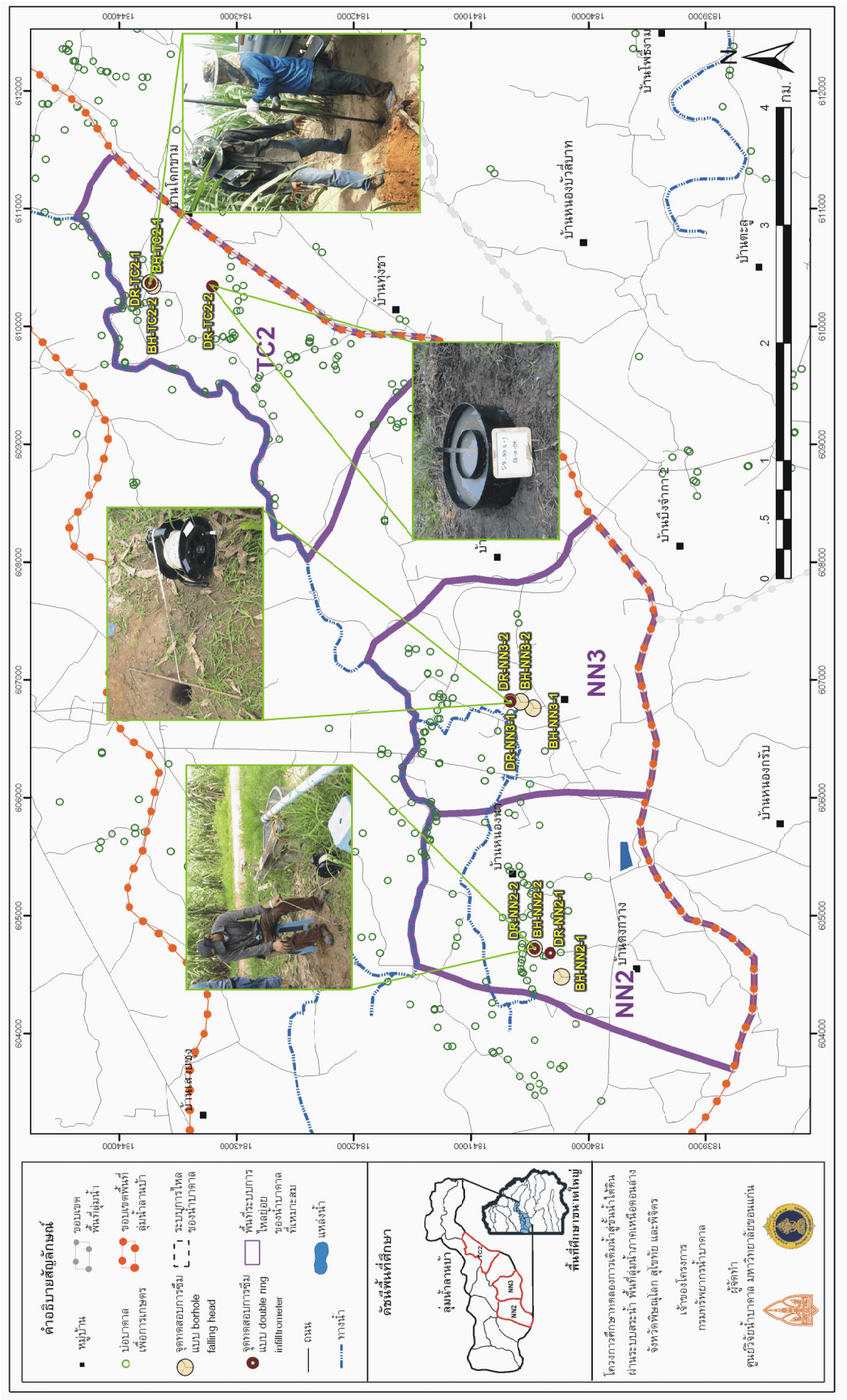
การสำรวจในขั้นรายละเอียดมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง และจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด มาตรารส่วน 1:10,000 (ดังเอกสารและไฟล์แนบ) การสำรวจในพื้นที่ประกอบด้วยการสำรวจชั้นดินชั้นหิน การทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านได้ของดิน การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ การเจาะสำรวจทางอุทกธรณีวิทยาและติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ การสำรวจคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาลโดยการสูบทดสอบ การตรวจวัดระดับน้ำบาดาล การตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาล และการสำรวจการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ ซึ่งมีรายละเอียดของงานแต่ละส่วนดังนี้

1) การสำรวจชั้นดินและการทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านได้ของดิน

การสำรวจชั้นดินดำเนินการโดยใช้สว่านมือหมุน (hand auger) เจาะสำรวจดินและเก็บตัวอย่างที่ทุกระดับความลึก 50 ซม. ในพื้นที่ที่คาดว่าจะทำการก่อสร้างระบบสระเติมน้ำ และบันทึกค่าความลึกทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อดิน ดำเนินการศึกษาพื้นที่ละ 2 จุด รวม 6 จุด (รูปที่ 4-33)

การทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านได้ของดิน ประกอบด้วย การทดสอบที่ผิวดิน ดำเนินการโดยใช้ถังวัดอัตราการซึมแบบ double ring infiltrometer test ขนาดมาตรฐาน พื้นที่ละ 2 จุด รวม 6 จุด และการทดสอบในชั้นทรายใต้ผิวดินที่ระดับความลึกที่จะทำการก่อสร้างสระเติมน้ำโดยทดสอบแบบ borehole falling head พื้นที่ละ 2 จุด รวม 6 จุด ดังนี้

การทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านได้ของดินที่ดินชั้นบน ดำเนินการโดยใช้ถังวัดอัตราการซึมแบบ double ring infiltrometer test ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบด้วย ถังวัดอัตราการซึมเป็นท่อเหล็กกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ซม. และ 60 ซม. ค้อน อุปกรณ์วัดระดับน้ำ ถังน้ำ และนาฬิกาจับเวลา ดำเนินการทดสอบโดยเติมน้ำระหว่างท่อวงนอกและวงใน จากนั้นจึงเติมน้ำในท่อวงใน ให้มีระดับใกล้เคียงกับภายนอก วัดระดับน้ำเริ่มต้นและจับเวลา บันทึกเวลาและระดับน้ำลด



รูปที่ 4-33 ตำแหน่งการสำรวจชั้นดินและการทดสอบการซึมผ่านใต้ของดิน ในพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด

ตารางที่ 4-18 ผลการสำรวจชั้นดินและการทดทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านได้ของดิน

ตำแหน่ง	การเจาะตรวจสอบชั้นดินตามความลึก	อัตราการซึมสุดท้าย (ม./ชม.)	วิธีการทดสอบ
พื้นที่ A (NN 3)			
NN-3-1	ดินชั้นบน (0.0-1.5) : ดินเหนียว	0.06	double ring
	ดินชั้นกลาง (1.5-3.5) : ดินร่วนปนดินเหนียว		
	ดินชั้นล่าง (3.5-4.5) : ดินทราย	0.60	borehole falling head
NN-3-2	ดินชั้นบน (0.0-2.0) : ดินเหนียว	0.02	double ring
	ดินชั้นกลาง (2.05-3.5) : ดินร่วนปนดินเหนียว		
	ดินชั้นล่าง (3.5-4.5) : ดินทราย	0.24	borehole falling head
พื้นที่ B (TC 2)			
TC 2-1	ดินชั้นบน (0.0-1.2) : ดินเหนียว	0.003	double ring
	ดินชั้นล่าง (1.2-4.5) : ดินทราย	0.24	borehole falling head
TC 2-2	ดินชั้นบน (0.0-1.6) : ดินเหนียว	0.20	double ring
	ดินชั้นล่าง (1.6-4.5) : ดินทราย	0.30	borehole falling head
พื้นที่ C (NN 2)			
NN 2-1	ดินชั้นบน (0.0-3.0) : ดินทราย	0.10	double ring
	ดินชั้นกลาง (3.0-4.0) : ดินเหนียวปนทราย		
	ดินชั้นล่าง (4.0-4.5) : ดินทราย	0.66	borehole falling head
NN 2-2	ดินชั้นบน (0.0-2.0) : ดินเหนียว	0.06	double ring
	ดินชั้นกลาง (2.0-3.5) : ดินร่วนปนดินเหนียว		
	ดินชั้นล่าง (3.5-4.5) : ดินทราย	0.78	borehole falling head

โดยบันทึกค่าถี่ในช่วงแรก จนกระทั่งอัตราการลดของน้ำมีค่าคงที่ ต้องทำการควบคุมระดับน้ำในวงในและวงนอกให้มีระดับใกล้เคียงกัน และในกรณีที่น้ำลดลงมากให้เติมน้ำทั้งในวงนอกและวงใน

การทดสอบแบบ borehole falling head โดยการเจาะบ่อเปิด บันทึกลักษณะชั้นดิน เริ่มทำการทดสอบโดยเติมน้ำลงในบ่อให้เต็ม วัดระดับน้ำเริ่มต้นแล้วเริ่มจับเวลา จากนั้นวัดระดับน้ำลดโดยในช่วงแรกบันทึกให้ถี่ จนกระทั่งอัตราการลดของน้ำคงที่

(1.1) ลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติการซึมผ่านได้ของดิน พื้นที่ A

การสำรวจลักษณะชั้นดินพื้นที่ A โดยใช้สว่านมือหมุนความยาว 4.5 ม. ทำการเจาะสำรวจชั้นดิน โดยเก็บตัวอย่างดินทุก 0.5 ม. จำนวน 2 จุด ได้แก่ Aug-NN3-1 และ Aug-NN3-2 (ดังรูปที่ 4-33) พบว่า ดินชั้นบนเป็นดินเหนียว (clay) มีความหนาอยู่ระหว่าง 1.5-2.0 ม. ดินชั้นกลางเป็นดินร่วนปนดินเหนียว (loamy clay) มีความหนาอยู่ระหว่าง 1.5-2.0 ม. และดินชั้นล่างเป็นดินทรายความลึกตั้งแต่ 3.5 ม.ลงไป (ดังตารางที่ 4-18)

การทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านได้ที่ผิวดิน พื้นที่ A ได้ทำการทดสอบโดยวิธี double ring infiltrometer test จำนวน 2 จุด ได้แก่ DR-NN3-1 และ DR-NN3-2 พบว่า ดินชั้นบนเป็นดินเหนียว มีค่าอัตราการซึมสุดท้าย (basic infiltration rate) เท่ากับ 0.02 และ 0.06 ม./ชม. ตามลำดับ การทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านได้ที่ชั้นทรายใต้ผิวดิน พื้นที่ A ได้ทำการทดสอบโดยวิธี borehole falling head test จำนวน 2 จุด ได้แก่ BH-NN3-1 และ BH-NN3-2 ซึ่งใช้หลุมเจาะในการสำรวจลักษณะชั้นดินในการทดสอบ พบว่า ดินชั้นล่างเป็นดินทราย มีค่าอัตราการซึมสุดท้าย เท่ากับ 0.60 และ 0.24 ม./ชม. ตามลำดับ

(1.2) ลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติการซึมผ่านได้ของดิน พื้นที่ B

การสำรวจลักษณะชั้นดินพื้นที่ B โดยใช้สว่านมือหมุนความยาว 4.5 ม. ทำการเจาะสำรวจชั้นดิน โดยเก็บตัวอย่างดินทุก 0.5 ม. จำนวน 2 จุด ได้แก่ Aug-TC2-1 และ Aug-TC2-2 พบว่า ดินชั้นบนเป็นดินเหนียว มีความหนาอยู่ระหว่าง 1.2-1.60 ม. และดินชั้นล่างเป็นดินทราย ความลึกตั้งแต่ 1.2-1.60 ม. ลงไป ดังตารางที่ 4-18

การทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านได้ที่ผิวดิน พื้นที่ B ได้ทำการทดสอบโดยวิธี double ring infiltrometer test จำนวน 2 จุด ได้แก่ DR-TC2-1 และ DR-TC2-2 พบว่า ดินชั้นบนเป็นดินเหนียว มีค่าอัตราการซึมสุดท้าย เท่ากับ 0.003 และ 0.20 ม./ชม. ตามลำดับ การทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านได้ที่ชั้นทรายใต้ผิวดิน พื้นที่ B ได้ทำการทดสอบโดยวิธี borehole falling head test จำนวน 2 จุด ได้แก่ BH-TC2-1 และ BH-TC2-2 ซึ่งใช้หลุมเจาะในการสำรวจลักษณะชั้นดินในการทดสอบ พบว่า ดินชั้นล่างเป็นดินทราย มีค่าอัตราการซึมสุดท้าย เท่ากับ 0.24 และ 0.30 ม./ชม. ตามลำดับ

(1.3) ลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติการซึมผ่านได้ของดิน พื้นที่ C

การสำรวจลักษณะชั้นดินพื้นที่ C โดยใช้สว่านมือหมุนความยาว 4.5 ม. ทำการเจาะสำรวจชั้นดิน โดยเก็บตัวอย่างดินทุก 0.5 ม. จำนวน 2 จุด ได้แก่ Aug-NN2-1 และ Aug-NN2-2 โดยจุด Aug-NN2-1 ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกอ้อย พบว่า ดินชั้นบนเป็นดินทราย มีความลึกอยู่ระหว่าง 0.0-3.0 ม. ดินชั้นกลาง เป็นดินเหนียวปนทราย (sandy clay) มีความลึกอยู่ระหว่าง 3.0 - 4.0 ม. และดินชั้นล่างเป็นดินทราย ความลึกตั้งแต่ 4.0 ม.ลงไป และจุด Aug-NN2-2 ซึ่งเป็นพื้นที่นา พบว่า ดินชั้นบนเป็นดินเหนียว มีความลึกอยู่ระหว่าง 0.0-2.0 ม. ดินชั้นกลาง เป็นดินร่วนปนดินเหนียว มีความลึกอยู่ระหว่าง 2.0-3.5 ม. และดินชั้นล่างเป็นดินทราย ความลึกตั้งแต่ 3.5 ม.ลงไป (ดังตารางที่ 4-18)

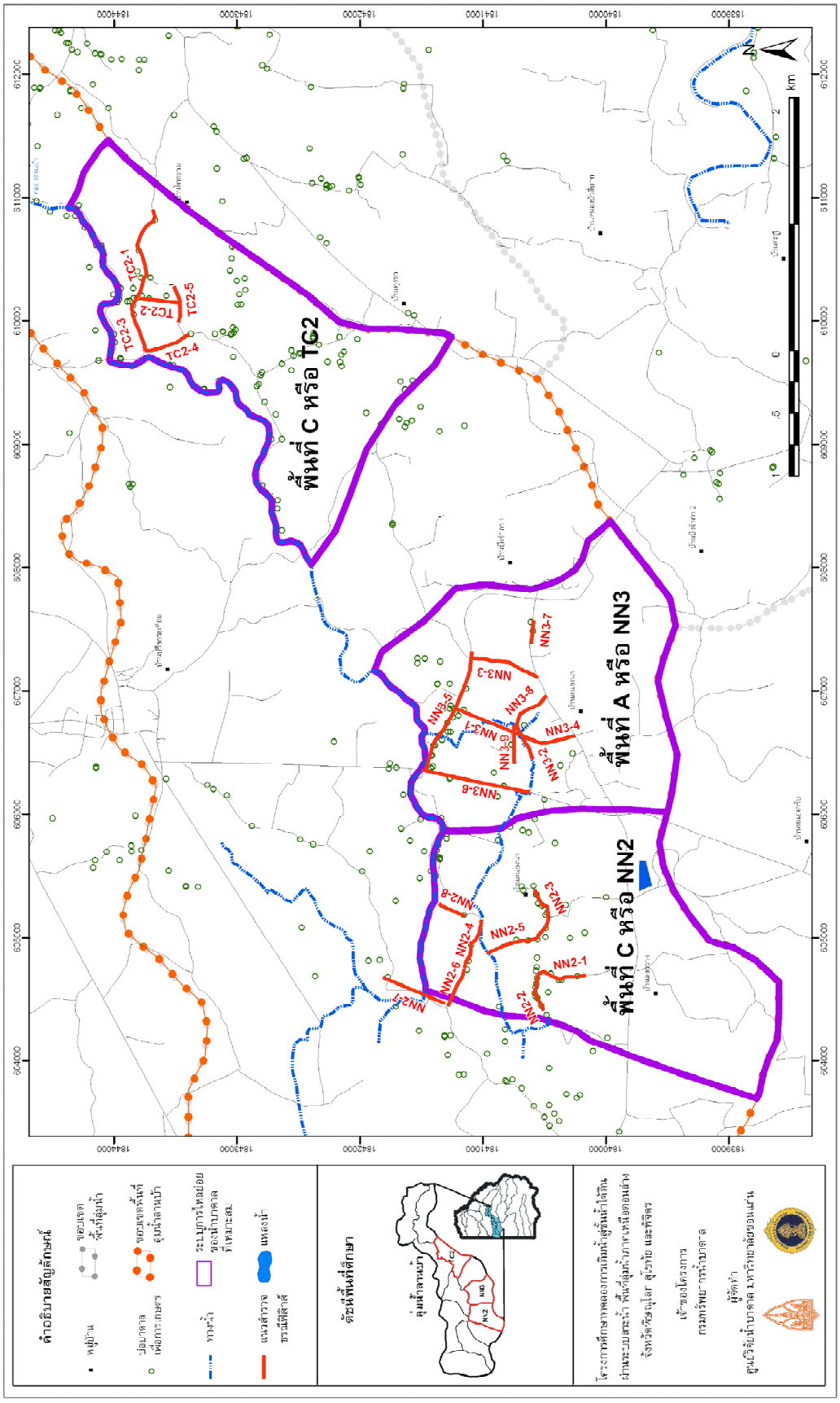
การทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านได้ที่ผิวดิน พื้นที่ C ได้ทำการทดสอบโดยวิธี Double ring infiltrometer test จำนวน 2 จุด ได้แก่ DR-NN3-1 และ DR-NN3-2 พบว่า ดินชั้นบนเป็นดินเหนียว มีค่าอัตราการซึมสุดท้าย เท่ากับ 0.10 และ 0.06 ม./ชม. ตามลำดับ การทดสอบคุณสมบัติการซึมผ่านได้ที่ชั้นทรายใต้ผิวดิน พื้นที่ A ได้ทำการทดสอบโดยวิธี Borehole falling head test จำนวน 2 จุด ได้แก่ BH-NN2-1 และ BH-NN2-2 พบว่า ดินชั้นล่างเป็นดินทราย มีค่าอัตราการซึมสุดท้าย เท่ากับ 0.66 และ 0.78 ม./ชม. ตามลำดับ

2) การสำรวจธรณีฟิสิกส์

การสำรวจธรณีฟิสิกส์แบบตัดขวาง 2 มิติ (dipole-dipole) เพื่อศึกษาลักษณะชั้นดินและหิน เครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเป็นเครื่องมือผลิตภัณฑ์ของบริษัท AGIE รุ่น Spuperstring R8 และใช้โปรแกรม AGI Earthimager 2D ประมวลผลและแปลความหมายข้อมูล ในพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด ได้แก่ พื้นที่ A จำนวน 9 แนว (NN3-1 ถึง NN3-9) พื้นที่ B จำนวน 5 แนว (TC2-1 ถึง TC2-5) และพื้นที่ C จำนวน 8 แนว (NN2-1 ถึง NN2-8) รวมทั้งสิ้น 22 แนว และความยาวรวม 11,701 ม. (ตารางที่ 4-19 และรูปที่ 4-33) รายละเอียดและผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์แสดงในภาคผนวก ฉ

ตารางที่ 4-19 แนวสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ในพื้นที่ A, B และ C

พื้นที่	แนวสำรวจ	พิกัดจุดเริ่มต้น – จุดสุดท้าย	ระยะสำรวจ (ม.)	ระยะทางรวม (ม.)
A (NN3)	NN3-1	606590E, 1840562N – 606845E, 1841169N	680	5,761
	NN3-2	606733E, 1840751N – 606457E, 1840606N	336	
	NN3-3	607267E, 1841084N – 607112E, 1840560N	560	
	NN3-4	606640E, 1840245N – 606593E, 1840576N	336	
	NN3-5	606365E, 1841446N – 607282E, 1841090N	1,008	
	NN3-6	606172E, 1840616N – 606354E, 1841488N	896	
	NN3-7	607574E, 1840593N – 606180E, 1840006N	1,568	
	NN3-8	606960E, 1840484N – 606749E, 1840734N	336	
	NN3-9	606725E, 1840748N – 606408E, 1840745N	41	
B (TC2)	TC2-1	610900E, 1843685N – 610103E, 1843846N	900	2,468
	TC2-2	610184E, 1843956N – 610147E, 1843633N	336	
	TC2-3	610153E, 1843847N – 609735E, 1843765N	448	
	TC2-4	609747E, 1843749N – 609900E, 1843339N	448	
	TC2-5	610297E, 1843516N – 609975E, 1843472N	336	
C (NN2)	NN2-1	604689E, 1840156N – 604738E, 1840578N	448	3,472
	NN2-2	604826E, 1840560N – 604404E, 1840502N	448	
	NN2-3	605389E, 1840576N – 605014E, 1840543N	448	
	NN2-4	605145E, 1841028N – 604762E, 1841149N	448	
	NN2-5	604995E, 1840551N – 604864E, 1840972N	448	
	NN2-6	604745E, 1841144N – 604445E, 1841265N	336	
	NN2-7	604533E, 1841494N – 604336E, 1841258N	448	
	NN2-8	605275E, 1841359N – 605078E, 1841205N	448	
แนวสำรวจ 22 แนว ระยะทางรวม (ม.)				11,701



รูปที่ 4-34 แนวสำรวจทางธรณีฟิสิกส์

3) การเจาะสำรวจทางธรณีวิทยา และติดตั้งบ่อสังเกตการณ์

การเจาะสำรวจและติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ ในพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียดมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

(3.1) เพื่อสำรวจชนิดและความลึกของชั้นดินเหนียว ทราย และกรวด

(3.2) เพื่อใช้ยืนยันผลการแปลความทางธรณีฟิสิกส์

(3.3) เพื่อติดตั้งบ่อสังเกตการณ์

(3.4) เพื่อตรวจสภาพระบบการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำ

(3.5) เพื่อตรวจวัดระดับน้ำบาดาลและจัดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางเคมีของน้ำบาดาล

(3.6) เพื่อสำรวจข้อมูลใต้ผิวดินในบริเวณที่ไม่มีข้อมูล และใช้ในการวิเคราะห์และจำแนกชนิดของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา

(3.7) ข้อมูลจากการเจาะสำรวจใช้ในการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียดและการออกแบบในการก่อสร้าง

การเจาะสำรวจและติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียดจำนวน 57 บ่อ ความลึกรวมทั้งหมด 1,815 ม. ซึ่งดำเนินการตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2552 ถึงเดือนเมษายน 2553 โดยศูนย์วิจัยน้ำบาดาล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น รายละเอียดการเจาะสำรวจได้อธิบายไว้ในหัวข้อการเจาะสำรวจและติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ ตำแหน่งการเจาะสำรวจและติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ดังแสดงในรูปที่ 4-35 ข้อมูลบ่อเจาะสำรวจและการติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ และข้อมูลการเจาะและชั้นดินชั้นหิน แสดงไว้ในภาคผนวก ค และ ภาคผนวก ง ตามลำดับ

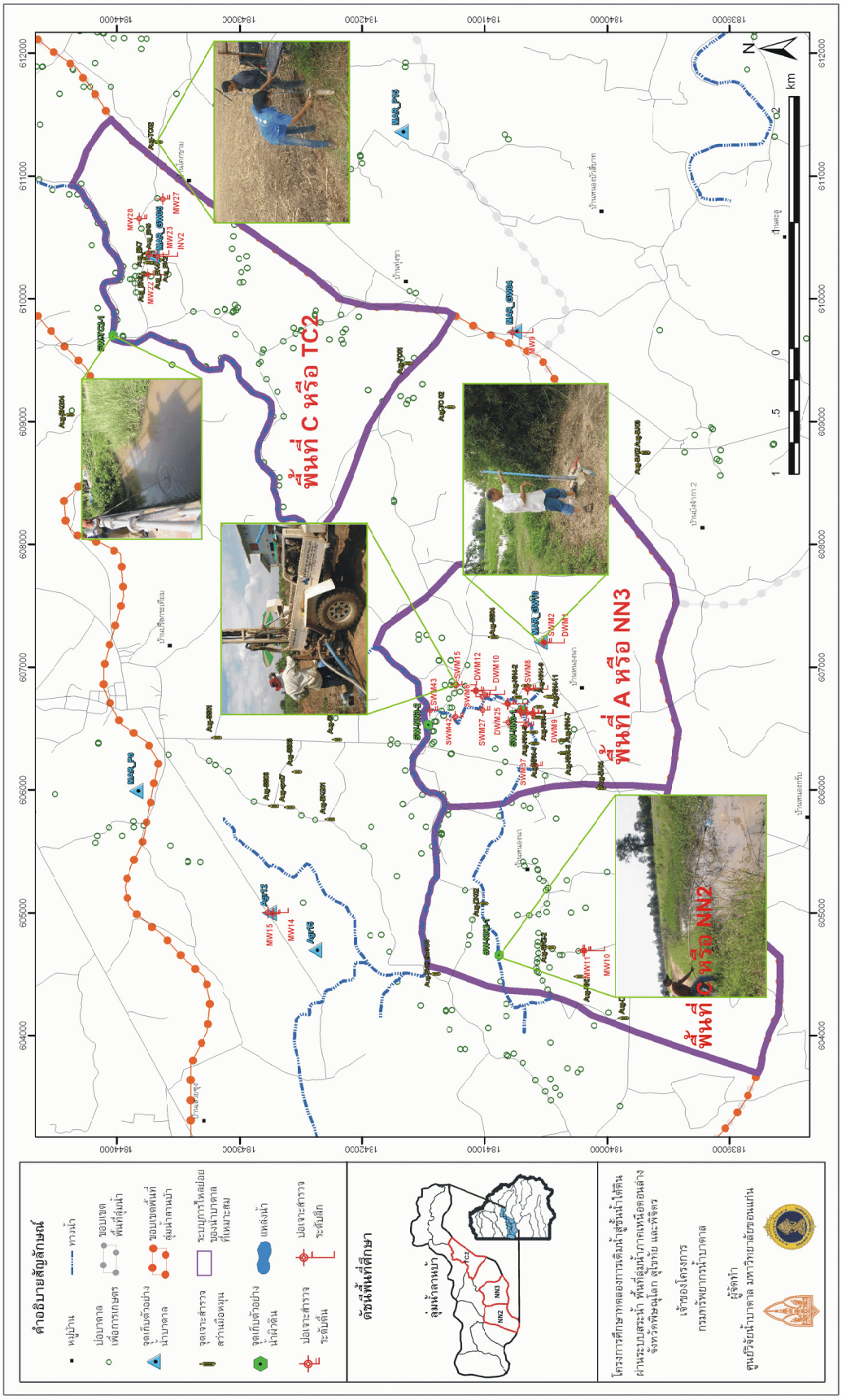
4) การสำรวจชั้นดินด้วยสว่านมือหมุน

การสำรวจชั้นดินด้วยสว่านมือหมุนในพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียดมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจลักษณะชั้นดินในระดับตื้นประมาณ 2-4 ม. และตรวจสอบความหนาของชั้นดินเหนียวเพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่เหมาะสมในการก่อสร้างสระเติมน้ำตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดำเนินการในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม 2552 การสำรวจครั้งนี้ใช้เครื่องสว่านมือหมุนแบบ post-hole auger เป็นการเจาะสำรวจโดยใช้แรงคนกดผ่านก้านเจาะ ซึ่งตัวก้านเจาะสามารถต่อเพิ่มความยาวได้ เมื่อกดพร้อมหมุนมือจนกระทั่งเก็บตัวอย่างดินเต็มสว่านแล้วจึงดึงขึ้นเอาดินออก โดยเก็บตัวอย่างทุกระยะ 0.5 ม. หรือทุกระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงของชั้นดิน ตำแหน่งสำรวจแสดงดังรูปที่ 4-35 และผลการสำรวจในแต่ละพื้นที่มีดังนี้

พื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านหนองนา 3 พบชั้นทรายที่ความลึก 2.0-3.5 ม. ชั้นดินเหนียวหนาประมาณ 2.5 ม.

พื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านทุ่งชา 2 พบชั้นทรายที่ความลึก 1.0-2.0 ม. ชั้นดินเหนียวหนาประมาณ 1.5 ม.

พื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านหนองนา 2 พบชั้นทรายที่ความลึก 0.5-3.0 ม. ชั้นดินเหนียวหนาเฉลี่ยประมาณ 2.0 ม.



รูปที่ 4-35 ตำแหน่งการเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างน้ำ

5) การสำรวจระดับและคุณภาพน้ำบาดาล

การสำรวจระดับน้ำบาดาลจากบ่อบาดาลระดับตื้นในพื้นที่ลุ่มน้ำลานบ้าและบริเวณใกล้เคียง จำนวน 121 บ่อ ดำเนินการในเดือนตุลาม 2552 ข้อมูลระดับน้ำที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ตาข่ายการไหลของน้ำบาดาล

การตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์ของโครงการและบ่อเกษตร จำนวน 8 ตำแหน่ง และตรวจสอบคุณภาพน้ำผิวดินในแหล่งน้ำที่คาดว่าจะเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับการเติมน้ำจำนวน 4 ตำแหน่ง ดำเนินการในเดือนกันยายน 2552 โดยวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ สารพิษ และอื่นๆ ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาล ออกตามพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 มาตรฐานน้ำที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำบาดาล ออกตามพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 รวมทั้งพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ต้องใช้ประเมินแนวโน้มผลกระทบทางอุทกธรณีเคมีที่อาจเกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4-20 รายละเอียดผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำแสดงไว้ในภาคผนวก ช

ตารางที่ 4-20 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ

ลำดับ	รายการตรวจวัด
1	**ลักษณะทางกายภาพ**
1.1	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
1.2	ค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะ (Electrical Conductivity; EC)
1.3	ออกซิเจนที่ละลาย (Dissolved Oxygen; DO)
1.4	ความขุ่น (Turbidity; NTU Unit)
1.5	สี (Color)
1.6	อุณหภูมิ (Temperature)
2	**ลักษณะทางเคมี**
2.1	แคลเซียม (Ca)
2.2	แมกนีเซียม (Mg)
2.3	โซเดียม (Na)
2.4	โพแทสเซียม (K)
2.5	เหล็ก (Fe)
2.6	แมงกานีส (Mn)
2.7	ทองแดง (Cu)
2.8	สังกะสี (Zn)
2.9	คลอไรด์ (Cl)
2.10	ซัลเฟต (SO4)
2.11	คาร์บอเนต (CO_3-P-Alkalinity)
2.12	ไบคาร์บอเนต (HCO_3- m-Alkalinity)
2.13	ไนเตรท (NO_3)
2.14	ฟลูออไรด์ (F)
2.15	แอมโมเนีย ไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen)
2.16	ฟอสเฟต (Phosphate)
2.17	ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness as $CaCO_3$)
2.18	ความกระด้างถาวร (Non-carbonate Hardness as $CaCO_3$)
2.19	ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (TDS)
3	สารที่เป็นพิษ
3.1	ปรอท (Mercury, Hg)
3.2	ตะกั่ว (Lead, Pb)
3.3	สารหนู (Arsenic, As)
3.4	ซีลีเนียม (Selenium, Se)
3.5	โครเมียม (Chromium hexavalent Cr^{+6})
3.6	ไซยาไนด์ (Cyanide, CN)
3.7	แคดเมียม (Cadmium, Cd)
3.8	นิเกิล (Nikel, Ni)
3.9	แบเรียม (Barium, Ba)
4	สารอินทรีย์ที่ระเหยได้ *
4.1	เบนซีน (Benzene)
4.2	โทลูอีน (Toluene)
4.3	คลอโรฟอร์ม (Chloroform)
4.4	ไตรคลอโรอีเทน (Tri Chloro ethane)
5	ลักษณะทางแบคทีเรีย
5.1	Chloriform Organism
	Escherichia coli; E.Coli
5.2	สารกำจัดศัตรูพืช
6	Organochlorine

หมายเหตุ * วัดเฉพาะในตัวอย่างน้ำบาดาล

6) อุทกธรณีวิทยาพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด

(6.1) อุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ A (NN 3)

พื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านหนองนา 3 มีชั้นหินอุ้มน้ำชั้นที่ 1 เป็นตะกอนทรายและกรวดของหน่วยหินตะกอนน้ำพาถูกปิดทับด้วยชั้นดินเหนียวที่หนาประมาณ 0.5-4.0 ม. บริเวณที่มีดินเหนียวปิดอยู่ พบที่บริเวณด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ หนาขึ้นไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ชั้นหินอุ้มน้ำมีความหนา 10-16 ม. ตอนล่างรองรับด้วยชั้นดินเหนียวหนา 2-7 ม.ถัดลงไปเป็นชั้นหินอุ้มน้ำชั้นที่ 2 ที่ความลึกระหว่าง 17 - 27 ม. จากผิวดิน และมีความหนาประมาณ 30-40 ม.น้ำบาดาลในชั้นหินอุ้มน้ำแรกมีระดับน้ำบาดาลต่ำกว่าผิวดินประมาณ 8.5 ม. (ตรวจวัดในช่วงเดือนตุลาคม 2552) การไหลของน้ำบาดาลไหลจากแนวสันเนินด้านทิศใต้เข้าสู่แนวที่ลุ่มตามแนวคลองลานบ้าซึ่งอยู่ด้านทิศเหนือ (แสดงดังแผนที่อุทกธรณีวิทยา มาตราส่วน 1 : 10,000) และได้รับอิทธิพลของการใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรทำให้ทิศทางการไหลและระดับน้ำบาดาลเปลี่ยนแปลงไป โดยระยะน้ำลดในพื้นที่นี้มีค่าประมาณ 6 ม. (ตามระยะที่เกษตรกรทรุดบ่อ) แสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มเติมน้ำตามธรรมชาติมีค่าน้อยกว่าอัตราการสูญเสียน้ำและการใช้น้ำบาดาลของเกษตรกร

(6.2) อุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ B (TC 2)

พื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านทุ่งชา มีชั้นหินอุ้มน้ำชั้นที่ 1 เป็นตะกอนทรายและกรวดของหน่วยหินตะกอนน้ำพา มีความลึกจากผิวดินประมาณ 1-6 ม. เนื่องจากถูกปิดทับด้วยชั้นดินเหนียว ความลึกถึงชั้นหินอุ้มน้ำไม่สม่ำเสมอกันในแต่ละพื้นที่และมีความหนาประมาณ 10 ม. และชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 2 มีความลึกประมาณ 20 ม.จากผิวดิน และมีความหนาประมาณ 30 ม. ชั้นน้ำบาดาลมีการกระจายตัวไม่ค่อยดีนัก น้ำบาดาลชั้นแรกมีระดับน้ำบาดาลต่ำกว่าผิวดินประมาณ 9 ม. (ตรวจวัดในช่วงเดือนตุลาคม 2552) น้ำบาดาลไหลจากแนวสันเนินด้านทิศใต้เข้าสู่ที่ลุ่มก่อนถึงคลองลานบ้าและคลองลานบ้าซึ่งอยู่ด้านทิศเหนือ (แสดงดังแผนที่อุทกธรณีวิทยา มาตราส่วน 1 : 10,000) การไหลของน้ำบาดาลได้รับอิทธิพลของการใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรทำให้ทิศทางการไหลและระดับน้ำบาดาลเปลี่ยนแปลงไป โดยระยะน้ำลดในพื้นที่นี้มีค่าประมาณ 8 ม. (ตามระยะที่เกษตรกรทรุดบ่อ) แสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มเติมน้ำตามธรรมชาติมีค่าน้อยกว่าอัตราการสูญเสียน้ำและการใช้น้ำบาดาลของเกษตรกร

(6.3) อุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ C (NN 2)

พื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านหนองนา 2 มีชั้นหินอุ้มน้ำชั้นแรกเป็นตะกอนทรายและกรวดของหน่วยหินตะกอนน้ำพา มีความลึกจากผิวดินประมาณ 0.5-3.0 ม. และมีความหนาประมาณ 10-16 ม. น้ำบาดาลชั้นแรกและชั้นหินอุ้มน้ำชั้นที่ 2 ถูกคั่นด้วยชั้นดินเหนียว ชั้นน้ำบาดาลชั้นที่ 2 มีความลึกระหว่าง 14 – 20 ม. จากผิวดิน และมีความหนาประมาณ 30-40 ม. น้ำบาดาลชั้นแรกมีระดับน้ำบาดาลต่ำกว่าผิวดินประมาณ 8 ม. (ตรวจวัดในช่วงเดือนตุลาคม 2552) การไหลของน้ำบาดาลไหลจากแนวสันเนินทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้เข้าสู่แนวที่ลุ่มตามแนวคลองลานบ้าด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (แสดงดังแผนที่อุทกธรณีวิทยา มาตราส่วน 1 : 10,000) และได้รับอิทธิพลของการใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรทำให้ทิศทางการไหลและระดับน้ำบาดาลเปลี่ยนแปลงไป โดยระยะน้ำ

ลดในพื้นที่นี้มีค่าประมาณ 6 ม. (ตามระยะที่เกษตรกรทรุดบ่อ) แสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มเติมน้ำตามธรรมชาติมีค่าน้อยกว่าอัตราการสูญเสียน้ำและการใช้น้ำบาดาลของเกษตรกร

7) แผนที่อุทกธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:10,000

แผนที่อุทกธรณีวิทยาเป็นเอกสารในรูปแบบของแผนที่ ซึ่งแสดงข้อมูลจำนวนมากเกี่ยวกับแหล่งน้ำบาดาลโดยแสดงความสัมพันธ์ของแหล่งน้ำบาดาลกับพื้นผิวภูมิประเทศ สภาพทางธรณีวิทยา และแหล่งน้ำประเภทอื่นๆ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) ข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด มาตราส่วน 1:10,000 เป็นข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมและการสำรวจอุทกธรณีวิทยาแล้วนำมาวิเคราะห์ สังเคราะห์ และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ซึ่งมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

(7.1) รายละเอียดการจัดทำแผนที่ ประกอบด้วย ชื่อแผนที่ ชื่อคณะผู้จัดทำแผนที่ ตราสัญลักษณ์กรมทรัพยากรน้ำบาดาล มาตราส่วนของแผนที่ ปีที่จัดพิมพ์แผนที่ เป็นต้น

(7.2) แผนที่หลัก ได้แก่ แผนที่อุทกธรณีวิทยา ประกอบด้วย

- ข้อมูลผิวดินแสดงสภาพภูมิประเทศ ขอบเขตการปกครอง ถนน แม่น้ำ แหล่งน้ำ

- ข้อมูลอุทกธรณีวิทยาแสดงหน่วยหินตะกอนน้ำพารูปพัด หน่วยหินตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง หน่วยหินตะกอนสะสมตัวในร่องน้ำ เส้นแรงดันของน้ำบาดาล และทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาล

- ข้อมูลอื่นๆ เช่น แนวภาพตัดขวาง จำนวน 4 แนว แสดงตำแหน่งบ่อเจาะสำรวจ ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ บ่อสูบทดสอบ บ่อบาดาลเพื่อการเกษตร และตำแหน่งเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำบาดาลในบ่อบาดาลที่มีการตรวจวัด แสดงความเข้มข้นของไอออนหลัก

(7.3) องค์ประกอบอื่นๆ ของแผนที่ ได้แก่

- ดัชนีพื้นที่ศึกษาแสดงตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียดครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำลานบ้า อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก

- สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนที่เป็นไปตามมาตรฐานสากลของ IAH, IAHS และคู่มือ ทบ ส 4000-2550 การจัดทำแผนที่อุทกธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

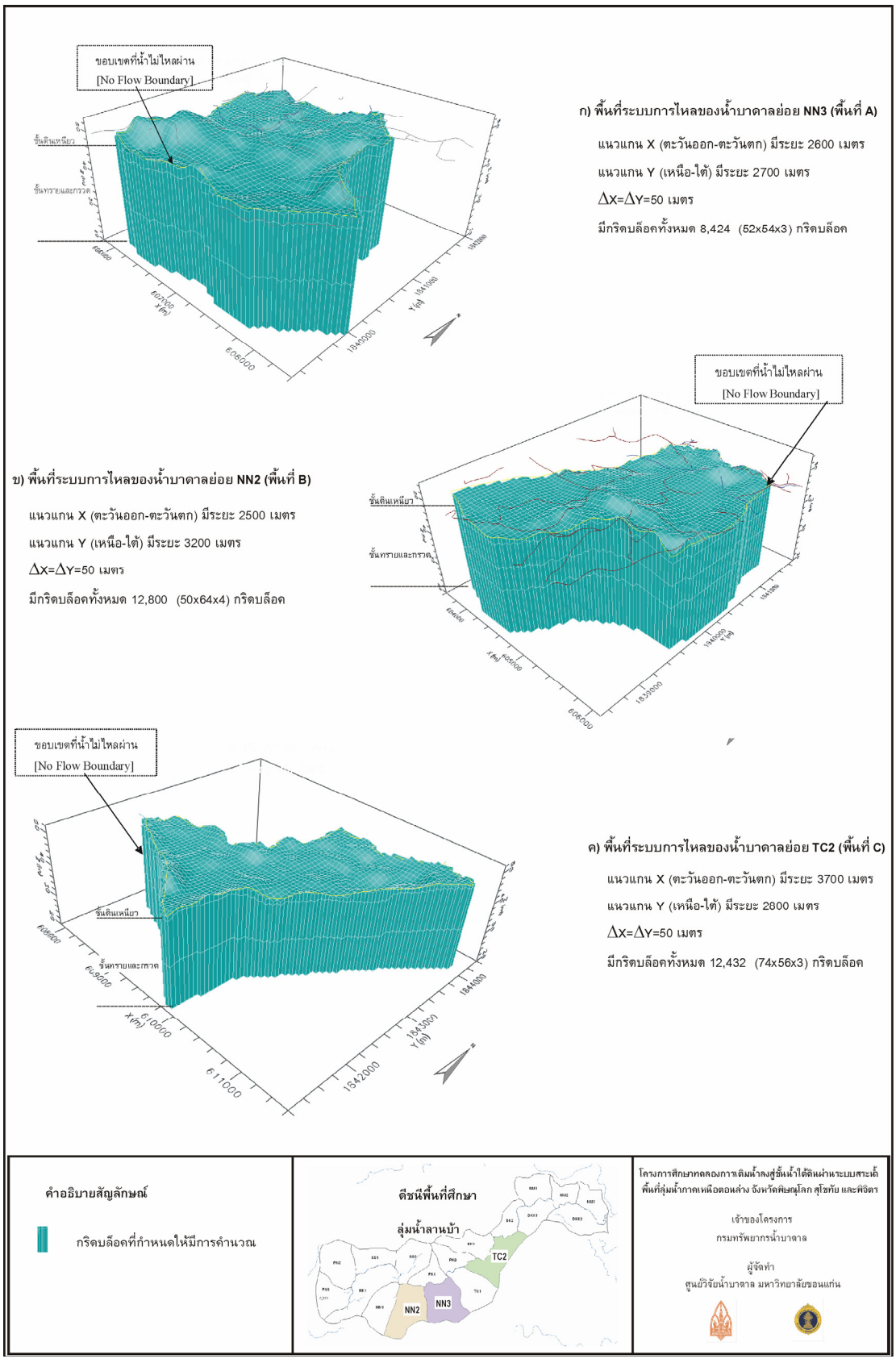
- คำอธิบายสัญลักษณ์ในแผนที่

- แผนที่ประกอบ แสดงข้อมูลเฉพาะเรื่องซึ่งไม่สามารถแสดงทับซ้อนได้ในแผนที่หลัก ได้แก่ (1) แผนที่ภูมิประเทศ (2) แผนที่ธรณีวิทยา (3) แผนที่อุทกธรณีเคมีแสดงรูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลและปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (4) แผนที่แสดงความลึกถึงชั้นทรายชั้นแรก และ (5) แผนที่แสดงความหนาของชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น

4.2.3 การจำลองการไหลของน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์พื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด

การจำลองการไหลของน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์พื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองระบบการไหลของน้ำบาดาลในกรณีธรรมชาติ และกรณีที่มีการเติมน้ำในพื้นที่ที่คาดว่าจะทำการก่อสร้างระบบเติมน้ำทั้งในพื้นที่ A B และ C เพื่อประเมินทิศทางการไหลที่สัมพันธ์กับพื้นที่เป้าหมาย ระยะเวลาที่ใช้ในการไหลสู่พื้นที่เป้าหมาย และระดับน้ำที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นหากมีการเติมน้ำผ่านระบบสระในช่วงฤดูฝน และมีการใช้น้ำในช่วงฤดูแล้ง ขั้นตอนการศึกษาเป็นดังนี้

1) จัดทำแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (รูปที่ 4-36)
2) ออกแบบขอบเขต กำหนดขนาดกริดเซล และเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง
3) นำเข้าข้อมูลสู่แบบจำลองผ่านระบบปฏิบัติการ Visual MODFLOW premium 4.3
4) จำลองระบบน้ำบาดาลในกรณีธรรมชาติ
5) จำลองระบบน้ำบาดาลกรณีที่มีการเติมน้ำผ่านระบบสระในพื้นที่ที่คาดว่าจะก่อสร้าง
6) ประเมินและสรุปผลการศึกษา



รูปที่ 4-36 การออกแบบกริดและเงื่อนไขของแบบจำลองในพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด

1) ผลการจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์ พื้นที่ A (NN 3)

ผลการจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนของการเปรียบเทียบเฮดของน้ำบาดาลที่ตรวจวัดในสนามเทียบกับผลการคำนวณ (Root Mean Squared, RMS) 0.38 ม. หรือร้อยละ 7.50 น้ำบาดาลในสภาพธรรมชาติมีทิศทางการไหลจากพื้นที่เนินด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งเป็นที่ตั้งของบ้านหนองนา จากแนวสันเนินด้านทิศใต้ และจากเนินขนาดเล็กด้านทิศตะวันออกเข้าสู่ที่ลุ่มตอนกลางของพื้นที่และตามแนวคลองลานบ้าซึ่งอยู่ด้านทิศเหนือ (รูปที่ 4-37)

กรณีที่มีการเติมน้ำผ่านสระในบริเวณที่คาดว่าจะทำการก่อสร้างซึ่งเป็นพื้นที่รับน้ำเฉพาะแห่งบริเวณตอนกลางของพื้นที่ซึ่งอยู่ห่างจากพื้นที่เป้าหมายที่มีการใช้น้ำบาดาลมากประมาณ 400-500 ม. บริเวณที่ลุ่มคลองลานป้าด้านทิศเหนือ พบว่า หากมีเติมน้ำด้วยอัตรา 0.3 ม./วัน ในพื้นที่ NN 3 น้ำบาดาลไหลจากพื้นที่เติมน้ำไปยังพื้นที่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 6 เดือน การเติมน้ำทำให้ระดับน้ำบาดาลมีค่ามากขึ้นประมาณ 0.6 ม./ปี

2) ผลการจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์ พื้นที่ B (TC 2)

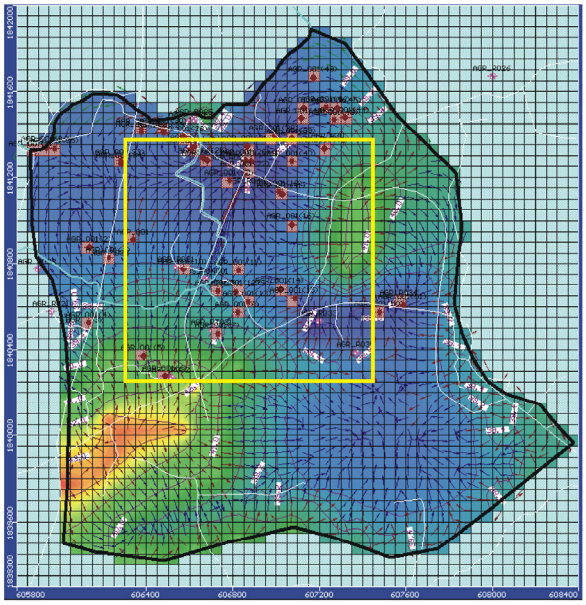
ผลการจำลองมีค่า RMS 0.43 ม. หรือร้อยละ 10.74 น้ำบาดาลในสภาพธรรมชาติมีทิศทางการไหลจากพื้นที่เนินด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ และจากแนวสันเนินด้านทิศใต้เข้าสู่ที่ลุ่มตอนกลางของพื้นที่ และมีการไหลเข้าเพิ่มเติมของน้ำบาดาลจากจากเนินขนาดเล็กทางทิศเหนือก่อนถึงคลองลานบ้าและบางส่วนไหลลงตามแนวคลองลานบ้าซึ่งอยู่ด้านทิศเหนือ (รูปที่ 4-38)

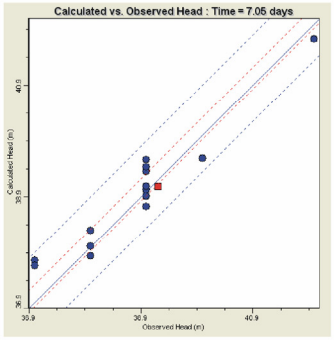
กรณีที่มีการเติมน้ำผ่านสระในบริเวณที่คาดว่าจะทำการก่อสร้างซึ่งเป็นพื้นที่รับน้ำเฉพาะแห่งบริเวณตอนกลางของพื้นที่ซึ่งอยู่ห่างจากพื้นที่เป้าหมายที่มีการใช้น้ำบาดาลมากประมาณ 300-400 ม. ทางด้านทิศเหนือ พบว่า หากมีเติมน้ำด้วยอัตรา 0.3 ม./วัน ในพื้นที่ TC 2 น้ำบาดาลไหลจากพื้นที่เติมน้ำไปยังพื้นที่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 6 เดือน การเติมน้ำทำให้ระดับน้ำบาดาลมีค่ามากขึ้นประมาณ 0.4 ม./ปี

3) ผลการจำลองน้ำใต้ดินเชิงคณิตศาสตร์ พื้นที่ C (NN 2)

ผลการจำลองมีค่า RMS 0.62 ม. หรือร้อยละ 10.37 น้ำบาดาลในสภาพธรรมชาติมีทิศทางการไหลจากพื้นที่แนวเนินด้านทิศใต้เข้าสู่ที่ลุ่มตามแนวคลองลานบ้าซึ่งอยู่ด้านทิศเหนือ (รูปที่ 4-39)

กรณีที่มีการเติมน้ำผ่านสระในบริเวณที่คาดว่าจะทำการก่อสร้างซึ่งเป็นพื้นที่มีชั้นทรายและกรวดอยู่ตื้นและใกล้กับพื้นที่เป้าหมายที่มีการใช้น้ำบาดาลมากห่างประมาณ 100-200 ม. ทางด้านทิศเหนือ พบว่า หากมีเติมน้ำด้วยอัตรา 0.3 ม./วัน ในพื้นที่ NN 2 น้ำบาดาลไหลจากพื้นที่เติมน้ำไปยังพื้นที่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 2 เดือน การเติมน้ำทำให้ระดับน้ำบาดาลมีค่ามากขึ้นประมาณ 0.3 ม./ปี

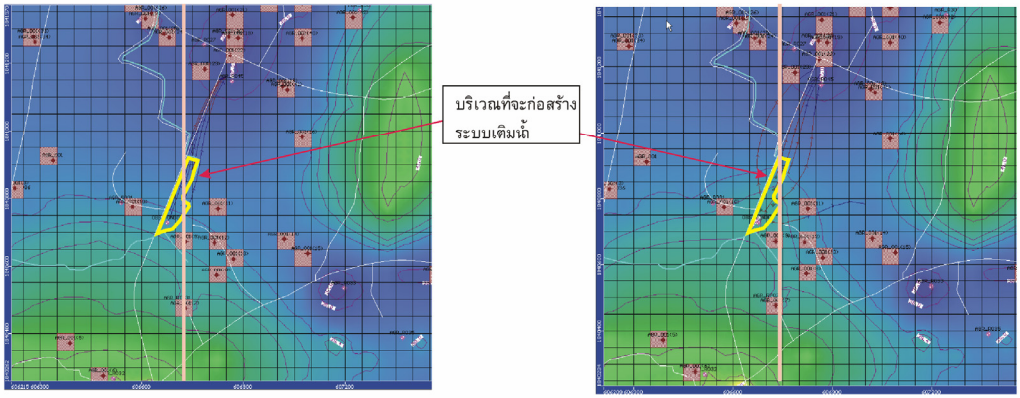




บ่อสังเกตการณ์ 15 บ่อ มีค่าความคลาดเคลื่อน ดังนี้

ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์	0.320 (ม)
ค่าเฉลี่ยรากที่สอง	0.375 (ม)
ร้อยละของความคลาดเคลื่อน	7.504 %

ก) ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลในสภาพปัจจุบันและการเปรียบเทียบแรงดันน้ำจากการคำนวณกับที่วัดได้ในภาคสนาม

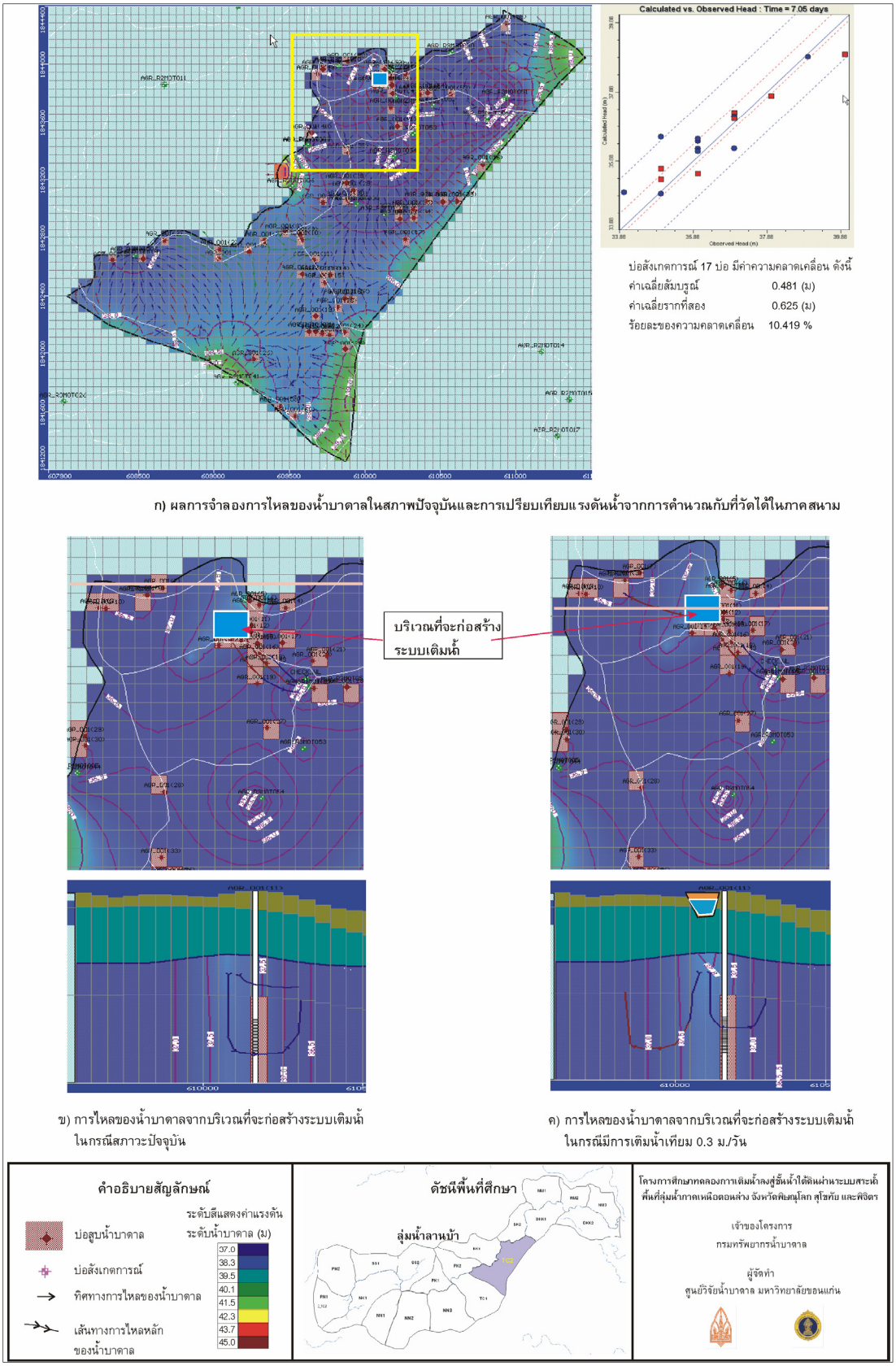


ข) การไหลของน้ำบาดาลจากบริเวณที่จะก่อสร้างระบบเติมน้ำ
ในกรณีสภาวะปัจจุบัน

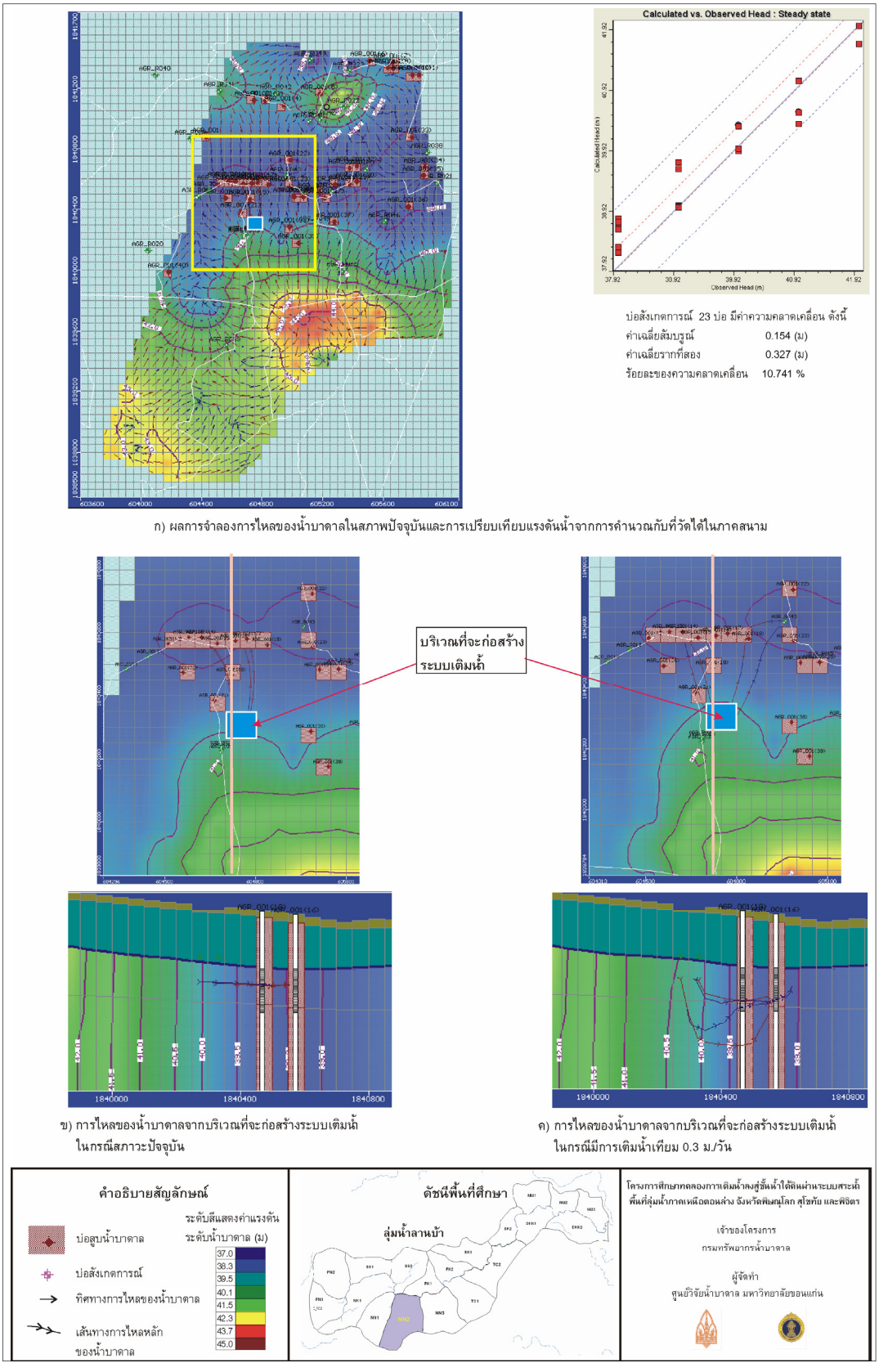
ค) การไหลของน้ำบาดาลจากบริเวณที่จะก่อสร้างระบบเติมน้ำ
ในกรณีมีการเติมน้ำเทียม 0.3 ม./วัน



รูปที่ 4-37 ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลและผลกระทบจากการเติมน้ำในพื้นที่ A



รูปที่ 4-38 ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลและผลกระทบจากการเติมน้ำในพื้นที่ B



รูปที่ 4-39 ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลและผลกระทบจากการเติมน้ำในพื้นที่ C

4.2.4 การคัดเลือกพื้นที่นำร่อง

การคัดเลือกพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำนำร่องพิจารณาจากเกณฑ์ความเหมาะสมด้านความลึกถึงชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น ความหนาของชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น อัตราการซึมของน้ำ ณ ความลึกกันสระ ระยะทางจากแหล่งไฟฟ้า จำนวนบ่อน้ำบาดาลของเกษตรกร ระยะจากแหล่งน้ำดิบ ปริมาณน้ำดิบที่สามารถใช้เติมได้ คุณภาพน้ำดิบ และความร่วมมือของประชาชน ดังแสดงในตารางที่ 4-21 ข้อมูลเพื่อการให้คะแนนในแต่ละพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 4-22 ผลการเปรียบเทียบความเหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 4-23

ตารางที่ 4-21 เกณฑ์การให้คะแนนในการคัดเลือกพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำนำร่อง

พารามิเตอร์	เกณฑ์	คะแนน	ค่าน้ำหนัก
ความลึกถึงชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น (ม.)	<2.0	1.00	3
	2.0-3.5	0.75	
	>3.5	0.25	
ความหนาของชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น (ม.)	>15	1.00	3
	10-15	0.75	
	<10	0.25	
อัตราการซึมของน้ำ ณ ความลึกกันสระ (ม./ชม.)	>0.5	1.00	2
	0.3-0.5	0.75	
	<0.3	0.25	
ระยะทางจากแหล่งไฟฟ้า (ม.)	<500	1.00	2
	500-1,000	0.50	
	>1,000	0.25	
จำนวนบ่อน้ำบาดาลของเกษตรกร (บ่อ)	>50	1.00	2
	25-50	0.50	
	<25	0.25	
ระยะจากแหล่งน้ำดิบ (ม.)	<100	1.00	3
	100-300	0.50	
	>300	0.25	
ปริมาณน้ำดิบที่สามารถใช้เติมได้ (ลบ.ม./ปี)	>200,000	1.00	3
	100,000-200,000	0.50	
	<100,000	0.25	
คุณภาพน้ำดิบสำหรับเติมสู่ชั้นน้ำบาดาล (เทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำที่สามารถระบายลงสู่บ่อน้ำบาดาล ตาม พรบ.น้ำบาดาลฯ)	ดีมาก	1.00	3
	ดี	0.50	
	ปานกลาง	0.25	
ความร่วมมือของประชาชน	ดีมาก	1.00	3
	ดี	0.50	
	ปานกลาง	0.25	

ตารางที่ 4-22 ข้อมูลเพื่อการให้คะแนนในการคัดเลือกพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำนำร่อง

ข้อมูล	พื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด		
	พื้นที่ A (NN3)	พื้นที่ B (TC2)	พื้นที่ C (NN2)
ความลึกถึงชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น (ม.)	3.0-3.2	1.0-6.0	0.0-1.0
ความหนาของชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น (ม.)	15-20	5-10	15-20
อัตราการซึม ณ ความลึกสร้างสระ (ม./ชม.)	0.42	0.72	0.27
ระยะจากแหล่งไฟฟ้า (ม.)	400	700	500
จำนวนบ่อน้ำบาดาลของเกษตรกร (บ่อ)	109	110	67
ระยะจากแหล่งน้ำดิบ (ม.)	0	200	500
ปริมาณน้ำดิบที่สามารถใช้เติมได้ (ลบ.ม./ปี)	550,000	2,500,000	344,000
คุณภาพน้ำดิบสำหรับเติมสู่ชั้นน้ำบาดาล	ดี	ดี	ดี
ความร่วมมือของประชาชน	ดี	ดี	ดี

ตารางที่ 4-23 ผลการเปรียบเทียบความเหมาะสมของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียดในการคัดเลือกพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำนำร่อง

ข้อมูล	คะแนนความเหมาะสมของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียด		
	พื้นที่ A (NN3)	พื้นที่ B (TC2)	พื้นที่ C (NN2)
ความลึกถึงชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น (ม.)	2.25	0.75	3.00
ความหนาของชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น (ม.)	3.00	0.75	3.00
อัตราการซึม ณ ความลึกสร้างสระ (ม./ชม.)	1.50	2.00	0.50
ระยะจากแหล่งไฟฟ้า (ม.)	2.00	1.00	2.00
จำนวนบ่อน้ำบาดาลของเกษตรกร (บ่อ)	2.00	2.00	2.00
ระยะจากแหล่งน้ำดิบ (ม.)	3.00	1.50	0.75
ปริมาณน้ำดิบที่สามารถใช้เติมได้ (ลบ.ม./ปี)	3.00	3.00	3.00
คุณภาพน้ำดิบสำหรับเติมสู่ชั้นน้ำบาดาล	1.50	1.50	1.50
ความร่วมมือของประชาชน	1.50	1.50	1.50
รวม	**19.75**	**14.00**	**17.25**

ผลการคัดเลือกพื้นที่นำร่องจากการสำรวจภาคสนามและการศึกษาความเหมาะสมในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียดพบว่า พื้นที่ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในปัจจุบัน คือ พื้นที่ NN3 เนื่องจากตำแหน่งที่จะทำการก่อสร้างมีความลึกถึงชั้นทรายอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้และมีความลึกสม่ำเสมอที่ 3.0-3.2 ม.จากผิวดิน ชั้นน้ำบาดาลหนาและมีความต่อเนื่อง คลองระบายน้ำที่ใช้เป็นแหล่งน้ำดิบในช่วงฤดูฝน (ก.ค.-ต.ค.) มีปริมาณน้ำมากเพียงพอประมาณ 550,000 ลบ.ม./ปี แนวคลองอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมสามารถชักน้ำมาใช้เติมสู่แหล่งน้ำบาดาลได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า และได้รับความร่วมมือจากประชาชนและหน่วยงานในพื้นที่อย่างดี และเมื่อพิจารณาจากผลการจำลองโดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์พบว่า พื้นที่ดังกล่าวมีความเหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากมีทิศทางการไหลตรงไปสู่พื้นที่เป้าหมายและการเติมน้ำช่วยให้ระดับน้ำบาดาลปรับตัวสูงขึ้นได้มากที่สุด

4.3 พื้นที่นำร่องบ้านหนองนา

พื้นที่ระบบการไหลย่อยบ้านหนองนา 3 ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา หรือพื้นที่นำร่อง ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองลานบ้า ซึ่งเป็นลำน้ำสาขาของแม่น้ำยม ครอบคลุมพื้นที่บ้านหนองนาและบ้านดงกวาง ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก มีขนาด 4.12 ตร.กม.

4.3.1 สภาพทางกายภาพของพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา

1) อุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่นำร่อง มีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ปี พ.ศ. 2540-2550 ของ จ.พิษณุโลก พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ย 28 °ซ อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 35.9 °ซ เฉลี่ยต่ำสุด 19.9 °ซ ฤดูหนาวอยู่ในช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ฤดูร้อนช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม และฤดูฝนช่วงกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 70 ปริมาณการระเหยจากถาดวัดการระเหยประมาณ 1,504 มม./ปี และความเร็วลมเฉลี่ย 1.37 น็อต จากข้อมูลฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาปี พ.ศ. 2543-2552 จำนวน 4 สถานี ใน 4 อำเภอ ได้แก่ อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก อ.ไทรงาม และอ.ลานกระบือ จ.กำแพงเพชร และอ.สามง่าม จ.พิจิตร ดังรายละเอียดในตารางที่ 4-24 ปริมาณฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่วิเคราะห์โดยวิธีธีสเสน (Thiessen method) พบว่าพื้นที่นำร่อง มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีประมาณ 1,286 มม. ปริมาณฝนและการระเหยรายเดือน มีค่าดังแสดงในตารางที่ 4-25

ตารางที่ 4-24 สถานีตรวจวัดน้ำฝนในอำเภอรอบบริเวณพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา

ลำดับ	สถานี	ตำแหน่ง		ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	ช่วงข้อมูล
		X	Y				
1.	378003	622393	1852575	บางระกำ	บางระกำ	พิษณุโลก	2543-2552
2.	380005	590736	1847606	หนองคล้า	ไทรงาม	กำแพงเพชร	2543-2552
3.	380007	594297	1818919	บึงทับแรด	ลานกระบือ	กำแพงเพชร	2543-2552
4.	386007	631617	1816786	สามง่าม	สามง่าม	พิจิตร	2543-2552

(ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา, 2553)

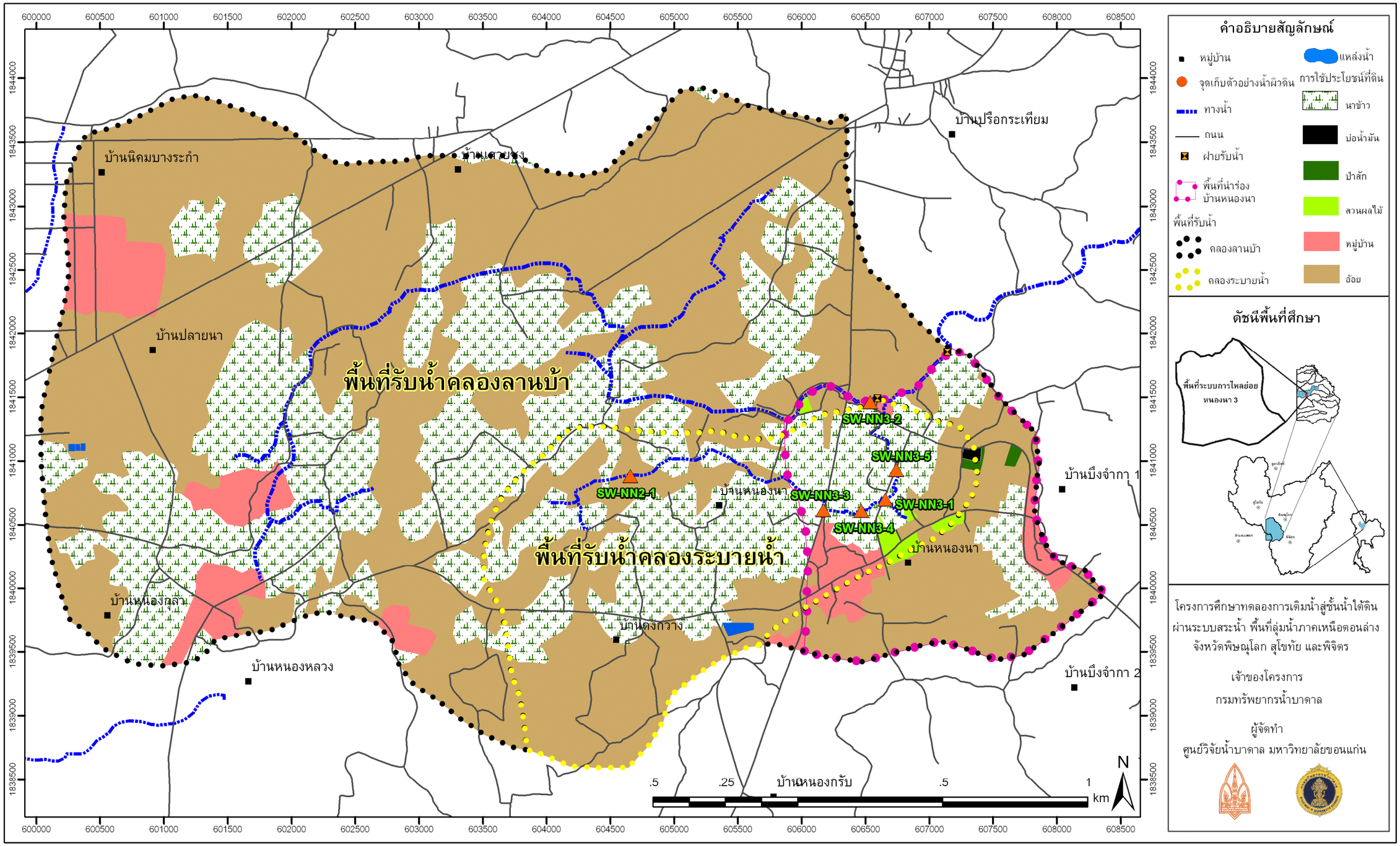
ตารางที่ 4-25 ปริมาณฝนและปริมาณการระเหยเฉลี่ยรายเดือนในพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา

ข้อมูล	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ฝน (มม)	6.5	26.5	35.9	72.7	156.6	162.9	167.4	182.7	286.4	155.5	32.0	1.0
การระเหย (มม)	103.7	114.9	149.0	171.2	158.6	139.6	130.7	116.8	105.3	107.5	106.0	101.3

(ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา, 2553)

แหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญในพื้นที่นำร่อง ได้แก่ คลองลานบ้า ที่อยู่ตอนบนของพื้นที่ และคลองระบายน้ำบริเวณตอนกลางพื้นที่ ดังนี้

คลองลานบ้าเป็นคลองสายหลักใน ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก เป็นคลองสาขาของแม่น้ำยม ไหลผ่านด้านเหนือของพื้นที่นำร่อง มีความกว้างเฉลี่ยประมาณ 16 ม. และลึกเฉลี่ยประมาณ 3.5 ม. ความยาวคลองลานบ้าจากจุดปลายสุดของพื้นที่นำร่องถึงต้นน้ำ มีประมาณ 8.5 กม. มีพื้นที่รับน้ำ 30.38 ตร.กม. ตลอดแนวคลองมีการสร้างฝายเพื่อกักน้ำไว้เป็นระยะ พื้นที่นำร่องบ้านหนองนามีฝายกักน้ำ 2 จุด ดังแสดงในรูปที่ 4-40 พื้นที่รับน้ำของคลองลานบ้ามีการทำนาตลอดทั้งปี ปีละ 2-3 รอบ ในฤดูฝนเกษตรกรสูบน้ำจากคลองลานบ้าไปใช้ในการทำนา และบางพื้นที่สูบน้ำออกจากนาเข้าคลองหากปริมาณน้ำในนามากเกินความต้องการ ทำให้ปริมาณน้ำในคลองมีรูปแบบที่ไม่เป็นไปตามธรรมชาติ ช่วงฤดูแล้งในพื้นที่ปลูกข้าวเกษตรกรทำการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาขังไว้ในนาเพื่อเตรียมแปลงเมื่อหว่านข้าวเสร็จจะสูบน้ำออกจากนาข้าวเข้าสู่คลองลานบ้า ทำให้ในคลองลานบ้ายังคงมีน้ำกักขังในฤดูแล้งบางส่วน ความเข้มฝนรายเดือนและค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำรายเดือนที่สัมพันธ์กับฝนรายเดือนในลุ่มน้ำยมตอนล่างคำนวณโดยวิธี Rational (กรมชลประทาน, 2546) พบว่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านคลองลานบ้าประมาณปีละ 3,500,000 ลบ.ม. ปริมาณน้ำรายเดือนที่ไหลผ่านคลองลานบ้า แสดงในตารางที่ 4-26



รูปที่ 4-40 แหล่งน้ำผิวดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่รับน้ำคลองลานบ้าและคลองระบายน้ำ

คลองระบายน้ำไหลผ่านบริเวณตอนกลางของพื้นที่นำร่องสร้างโดย อบต.หนองกุลา มีความกว้างเฉลี่ย 4 ม. และลึกประมาณ 2.5 ม. เป็นคลองที่ใช้ระบายน้ำจากนาข้าวในฤดูฝน และระบายน้ำบาดาลที่สูบมาเพื่อเตรียมแปลงในฤดูแล้งแล้วระบายลงสู่คลองลานบ้า ความยาวของคลองจากต้นน้ำจนถึงจุดไหลออกสู่คลองลานบ้าประมาณ 4.1 กม. มีพื้นที่รับน้ำ 6.54 ตร.กม. และปริมาณการใช้น้ำของข้าวในพื้นที่รับน้ำของคลองระบายน้ำ ซึ่งใช้น้ำประมาณปีละ 1,520 ลบ.ม./ไร่ (กรมชลประทาน, 2546) พบว่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านคลองระบายน้ำมีค่าประมาณ 751,300 ลบ.ม./ปี ปริมาณน้ำรายเดือนที่ไหลผ่านคลองระบายน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4-26

ตารางที่ 4-26 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนของแหล่งน้ำในพื้นที่นำร่อง

ข้อมูล	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
คลองลานบ้า (10^3 ลบ.ม.)	33.2	52.0	25.6	32.5	152.8	383.7	246.5	442.3	1334.5	523.9	254.6	9.3
คลองระบายน้ำ (10^3 ลบ.ม.)	7.2	11.2	5.5	7.0	32.9	82.6	53.1	95.2	287.2	112.7	54.8	2.0

คณะที่ปรึกษาได้เก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน (รูปที่ 4-40) ในคลองลานบ้าและคลองระบายน้ำไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำในเบื้องต้น เพื่อกำหนดเกณฑ์คุณภาพน้ำที่ใช้เติม และเพื่อประเมินผลกระทบด้านคุณภาพน้ำที่อาจเกิดขึ้นจากการทดลองเติมน้ำ พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดในน้ำผิวดินพิจารณาจากมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ประเภท 3) ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ.2537) จำนวนพารามิเตอร์และความถี่ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำผิวดินขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน กล่าวคือ การตรวจสอบคุณภาพน้ำในเบื้องต้นได้คัดเลือกพารามิเตอร์ต่างๆ ครอบคลุมตามเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 2 ครั้ง ในช่วงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) และฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.)

การตรวจสอบคุณภาพน้ำผิวดินในเบื้องต้นที่มีผลต่อการอุดตันของสระเติมน้ำ ได้แก่ (1) ลักษณะทางกายภาพ วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ (TSS) ความขุ่น และการกระจายขนาดอนุภาคตะกอน (suspended particles distribution) (2) ลักษณะทางเคมี วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณแคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (TDS) และ (3) ลักษณะทางชีวภาพ วิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC)

พารามิเตอร์ที่ตรวจสอบเป็นรายเดือน (เริ่มเดือน มกราคม 2552) เพื่อศึกษาผลต่อการอุดตันในสระเติมน้ำ ได้แก่ ความขุ่น และสารแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid, TSS) พารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงการปนเปื้อนเนื่องจากปุ๋ยเคมี ได้แก่ ไนเตรต ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม รวมทั้งลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) อุณหภูมิ (Temperature) ความขุ่น (Turbidity) ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)

พารามิเตอร์และความถี่ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำในช่วงทดลองเติมน้ำ ได้เน้นการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และเลือกเฉพาะพารามิเตอร์สำคัญที่อาจมีผลกระทบจากการเติมน้ำ โดยความถี่ในการตรวจวัดมีทั้งช่วงก่อน ระหว่าง และหลังเติมน้ำ (ดูบทที่ 6)

การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดดำเนินการโดยพิจารณาคุณภาพน้ำตามเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อให้ทราบถึงคุณภาพน้ำบาดาลในเบื้องต้นว่ามีการปนเปื้อนหรือไม่ การพิจารณาพารามิเตอร์ที่ควรติดตามตรวจสอบอย่างใกล้ชิด และการวิเคราะห์รูปแบบทางเคมีโดยพิจารณาจากปริมาณไอออนหลักของน้ำบาดาลเพื่อใช้เปรียบเทียบและพิจารณาความเข้ากันได้ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาล การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดจากผลวิเคราะห์รายเดือนในระยะ 1 ปี จากความสัมพันธ์ในรูปสมการเส้นตรง เมื่อวัดความขุ่นในสนามสามารถบ่งชี้ถึงปริมาณสารแขวนลอยได้อย่างถูกต้อง

ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำผิวดินเบื้องต้นครั้งที่ 1 วันที่ 17 ตุลาคม 2552 จำนวน 3 สถานี ได้แก่ SW-NN3-1, SW-NN3-2 และ SW-NN2-1 ส่งวิเคราะห์ที่บริษัท ดีเทอร์มิเนชั่น กรุ๊ป จำกัด การตรวจสอบครั้งที่ 2 วันที่ 24 ธันวาคม 2552 จำนวน 2 สถานี ได้แก่ SW-NN3 และ SW-NN2 ส่งวิเคราะห์ที่บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด ผลการตรวจวัดพบว่าน้ำผิวดินมีคุณภาพน้ำดี พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดส่วนใหญ่รวมทั้งสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช มีค่าต่ำกว่าค่าอนุโลมสูงสุดตามเกณฑ์มาตรฐาน (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ช) และไม่พบการปนเปื้อนเนื่องจากปุ๋ยเคมี ยกเว้นบางพารามิเตอร์ที่พบว่าในสภาพธรรมชาติมีปริมาณมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ ความขุ่นที่มากที่สุดช่วงฤดูฝน 460 NTU ช่วงฤดูแล้ง 6 NTU (เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ประเภท 3) คือ 50 NTU) ค่าแมงกานีสที่มากที่สุดช่วงฤดูฝน 4.9 มก./ล. ช่วงฤดูแล้ง 8.4 มก./ล. (เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามมาตรฐานน้ำทิ้งลงบ่อน้ำบาดาล คือ 1 มก./ล.) แอมโมเนียที่มากที่สุดช่วงฤดูฝน 1.6 มก./ล. ช่วงฤดูแล้ง 0.7 มก./ล. (เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามมาตรฐานน้ำทิ้งลงบ่อน้ำบาดาล คือ 1 มก./ล.)

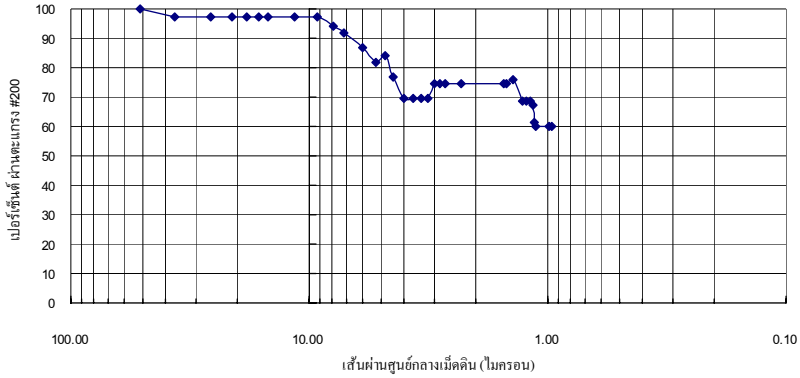
ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำผิวดินบริเวณพื้นที่ก่อสร้างเฉพาะพารามิเตอร์ที่อาจมีผลต่อการอุดตันของสระเติมน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4-27

ตารางที่ 4-27 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำผิวดินบริเวณก่อสร้างระบบสระเติมน้ำ

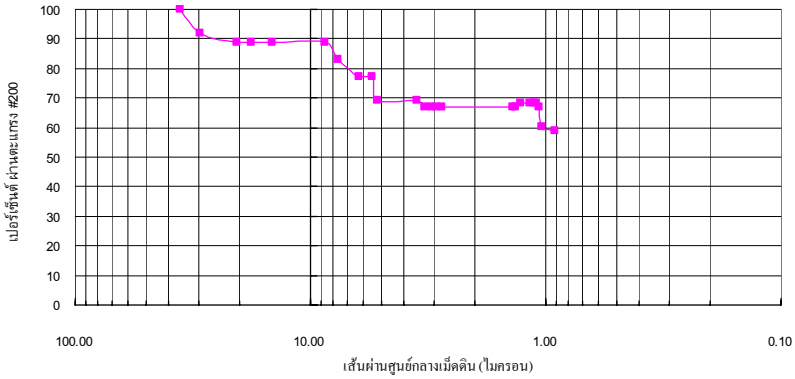
พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการอุดตัน		คุณภาพน้ำผิวดิน [(1)]	
		SW- NN3-1	SW-NN3-2
Physical quality	Total Suspended Solids (mg/L)	1707	830
	Turbidity (NTU)	882	976
Chemical quality	pH	6.68	6.67
	Calcium (mg/L)	19.15	15.32
	Magnesium (mg/L)	8.42	5.76
	Total Dissolved Solid (mg/L)	680	750
Biological quality	Total Organic Carbon (mg/L)	11.09	29.86

หมายเหตุ: [(1)] วิเคราะห์วันที่ 24 ธันวาคม 2552 เกณฑ์แนะนำเบื้องต้นเพื่อป้องกันการอุดตัน
TSS<10 mg/L, Turbidity<5 NTU, TDS<150 mg/L, TOC< 10 mg/L (ดูเพิ่มเติม บทที่ 5 รูปที่ 5-1)

การกระจายขนาดของตะกอนในน้ำผิวดินของสถานี SW-NN3-1 และ SW-NN3-2 มีสัดส่วนของขนาดอนุภาคขนาดใหญ่ : อนุภาคขนาดปานกลาง : อนุภาคขนาดเล็ก เป็น 3:37:60 และ 8:32:60 ตามลำดับ (รูปที่ 4-41)



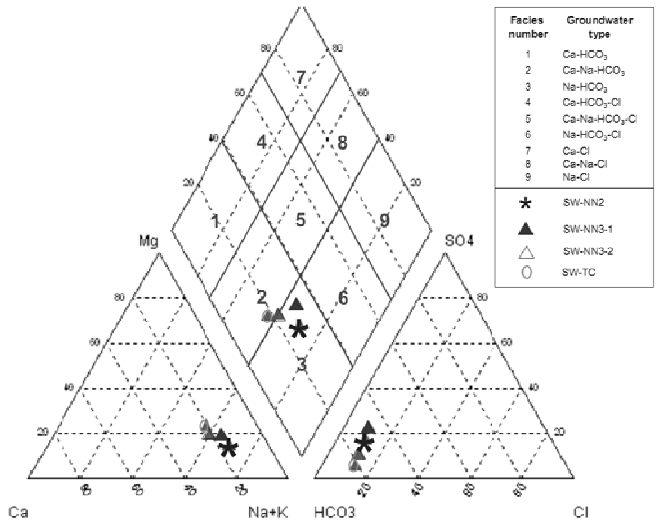
(ก) สถานี SW-NN3-1



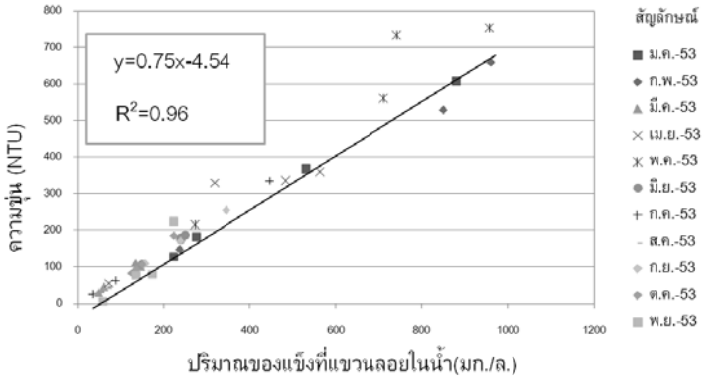
(ข) สถานี SW-NN3-2

รูปที่ 4-41 การกระจายขนาดอนุภาคตะกอนในน้ำผิวดิน

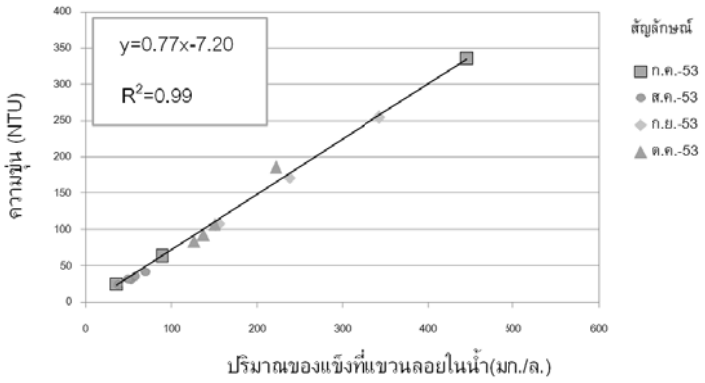
ผลวิเคราะห์รูปแบบทางเคมีของน้ำผิวดินจากข้อมูลเดือนตุลาคม 2552 พบว่าน้ำผิวดินจัดอยู่ในกลุ่ม Na-HCO_3 (รูปที่ 4-42) ความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นและปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในช่วงกรกฎาคม ถึงตุลาคม 2552 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนที่มีน้ำในคลองและสามารถใช้ทดลองเติมน้ำได้ พบว่า ปริมาณสารแขวนลอยคิดเป็น 0.8 เท่าของความขุ่น ดังแสดงในรูปที่ 4-43



รูปที่ 4-42 รูปแบบทางเคมีของน้ำผิวดินวิเคราะห์จากข้อมูลช่วงฤดูฝน



(ก) ข้อมูลเดือนมกราคมถึงพฤศจิกายน 2553



(ข) ข้อมูลเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม 2553

รูปที่ 4-43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นและปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ

2) ลักษณะภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์ที่ดินและกลุ่มดิน

ความสูงภูมิประเทศของพื้นที่นำร่อง อยู่ในช่วง 43-50 ม.รทก. บริเวณที่มีระดับสูงอยู่ในบริเวณตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ซึ่งเป็นพื้นที่ชุมชนบ้านหนองนาและพื้นที่ปลูกอ้อย บริเวณที่มีระดับความสูงต่ำตั้งแต่บริเวณตอนกลางถึงตอนเหนือและบริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ ซึ่งเป็นพื้นที่ปลูกข้าว ความลาดชันพื้นที่ร้อยละ 0.5-2 ดังแสดงในรูปที่ 4-44

การใช้ประโยชน์ที่ดินและกลุ่มดินของพื้นที่ศึกษาสามารถจำแนกโดยอาศัยข้อมูลสำรวจการใช้ประโยชนที่ดินเมื่อเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2552 การสำรวจดินด้วยสว่านมือหมุน และข้อมูลดินจากแผนที่ดินรายจังหวัด พ.ศ. 2543 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543) โดยแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ พื้นที่นาข้าว-ดินร่วนปนทราย พื้นที่นาข้าว-ดินเหนียว พื้นที่ไร่อ้อย-ดินร่วนปนทราย พื้นที่ชุมชน-ดินร่วนปนดินเหนียว ดังแสดงในตารางที่ 4-28 (รูปที่ 4-44)

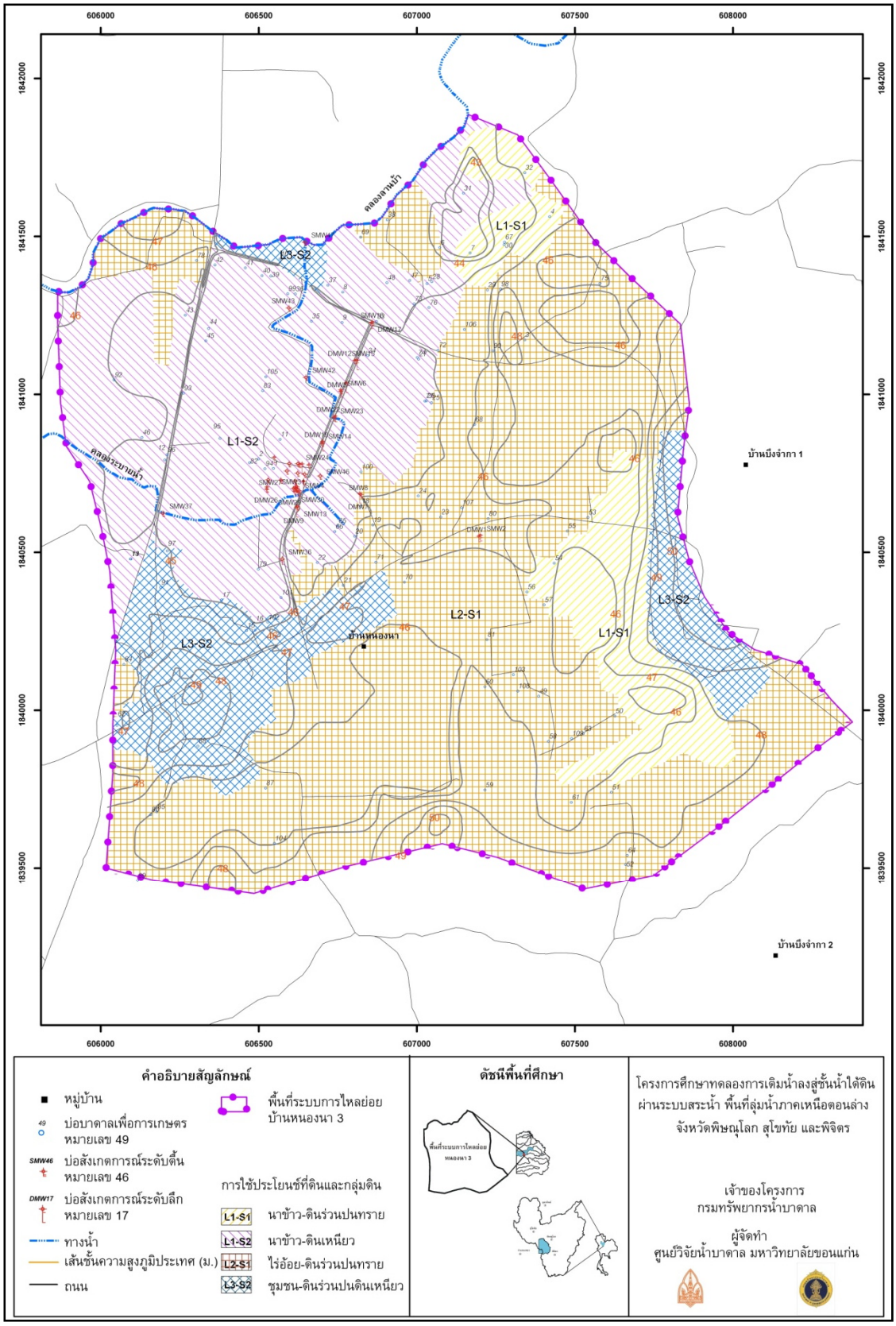
ตารางที่ 4-28 การใช้ประโยชน์ที่ดินและกลุ่มดิน

กลุ่มพื้นที่	ร้อยละของพื้นที่	เนื้อที่	
		(ตร.กม.)	(ไร่)
1. นาข้าว-ดินร่วนปนทราย	7	0.30	188
2. นาข้าว-ดินเหนียว	29	1.18	739
3. ไร่อ้อย-ดินร่วนปนทราย	52	2.13	1,334
4. ชุมชน-ดินร่วนปนดินเหนียว	12	0.50	315
รวม	100	4.12	2,577

3) ธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา

(3.1) ธรณีวิทยา

พื้นที่นำร่องรองรับด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารีที่สะสมตัวในแอ่งเจ้าพระยาตอนบนหรือแอ่งพิษณุโลกสมัยไพลสโตซีน ทับถมบนหินตะกอนกึ่งแข็งตัวและแข็งตัวแล้วอายุเทอร์เชียรี่ การศึกษาในครั้งนี้กล่าวถึงเฉพาะตะกอนควอเทอร์นารี อ้างอิงมาจากรายงานวิชาการฉบับที่ 23/2529 และแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:50,000 ระวาง อ.ลานกระบือ (4942 II) และระวาง อ.วชิร-บารมี (5042 III) จัดทำโดย สำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2551 ได้จัดกลุ่มตะกอนควอ-เทอร์นารีเป็น 3 หน่วย ได้แก่ ตะกอนน้ำพารูปพัด (alluvial fan deposits, Qaf) ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง (floodplain deposits, Qff) และตะกอนสะสมตัวในร่องน้ำ (Channel deposits, Qfc) ซึ่งในพื้นที่นำร่อง มีตะกอนควอเทอร์นารี 2 หน่วย ดังนี้



รูปที่ 4-44 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและกลุ่มดิน

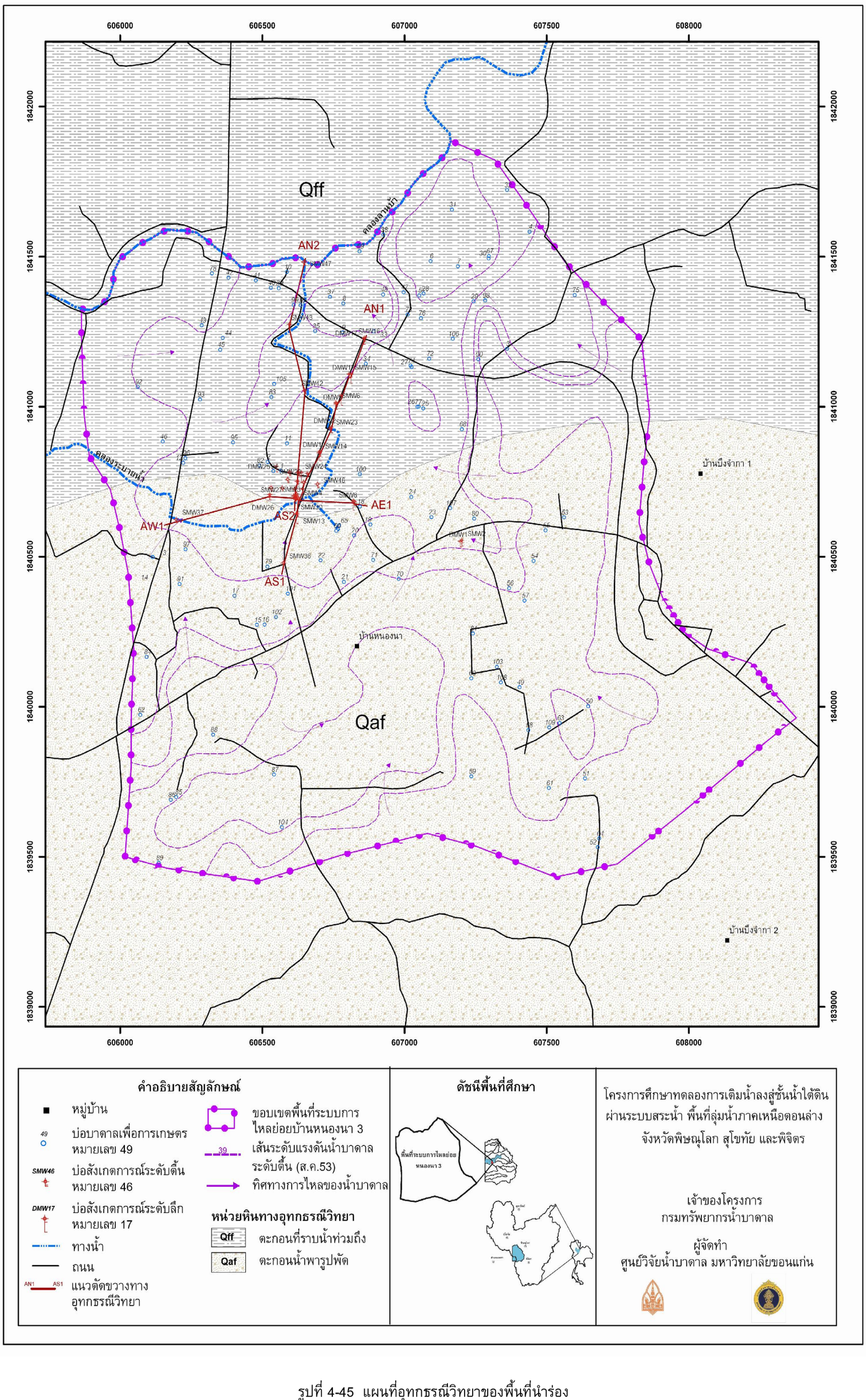
(3.1.1) หน่วยตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง (Qff) เป็นตะกอนแขวนลอยทางน้ำพัดมาในฤดูน้ำหลากเมื่อน้ำลดตะกอนตกทับถมในที่ราบในลักษณะแผ่กระจายทั่วไป ในพื้นที่นำร่อง พบตะกอนชนิดนี้ได้ชัดเจนบริเวณตอนกลางพื้นที่ขึ้นไปจนสุดทางทิศเหนือ ซึ่งเป็นพื้นที่ราบลุ่มและส่วนใหญ่ทำนาข้าว ลักษณะตะกอนประกอบด้วยตะกอนดินเหนียวปนทรายแป้งถึงดินเหนียวปนทราย สีเทา เหลือง น้ำตาล น้ำตาลแดง มีเม็ดเหล็ก และเศษพืช มีความหนา 1-7 ม. วางตัวทับบนเนินตะกอนน้ำพารูปพัด

(3.1.2) หน่วยหินตะกอนน้ำพารูปพัด (Qaf) พบแผ่กระจายตัวตั้งแต่ตอนกลางลงไปทางทิศใต้ของพื้นที่ ตะกอนน้ำพารูปพัด ประกอบด้วยตะกอนทรายปนกรวดแทรกสลับด้วยทรายแป้งปนดินเหนียว สีน้ำตาลแดงถึงสีเทา ชั้นทรายพบทรายละเอียดจนถึงทรายหยาบ ประกอบด้วยแร่เฟลด์สปาร์และแร่ควอตซ์ มีกรวดปนบางส่วนมีขนาด 3-10 มม. ลักษณะกลมมน ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ เศษหินชนิดต่างๆ ตะกอนน้ำพารูปพัดมีขนาดตะกอนใหญ่ในบริเวณใกล้แหล่งที่มา คือด้านทิศตะวันตก และมีขนาดเล็กลงไปในด้านไกลจากแหล่งที่มา คือทิศตะวันออก

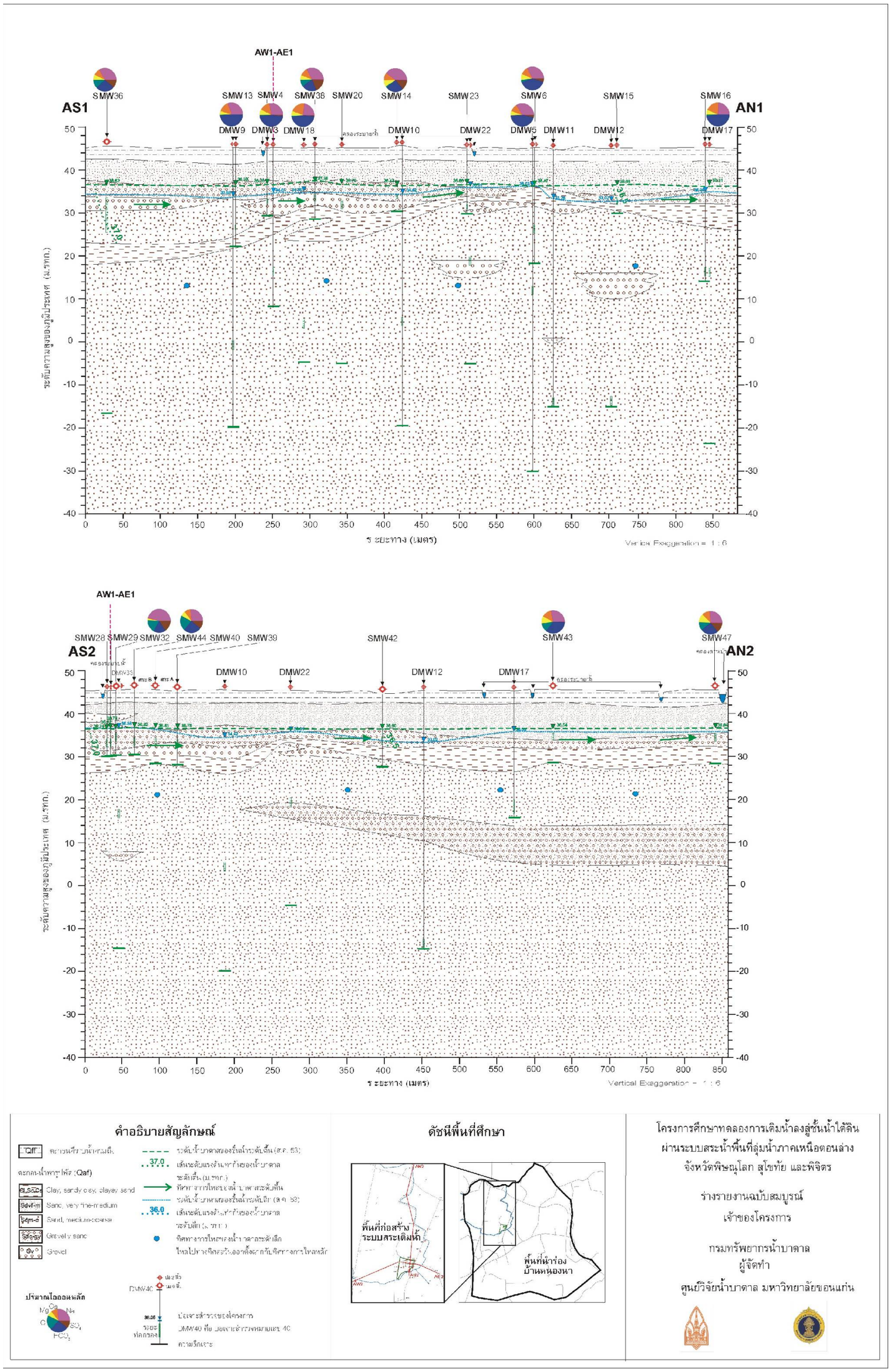
(3.2) อุทกธรณีวิทยา

หน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยาพื้นที่นำร่องประกอบด้วยตะกอนน้ำพารูปพัด (alluvial fan deposits, Qaf) พบบริเวณตอนกลางถึงตอนบนของพื้นที่ และหน่วยหินตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง (flood plain deposits, Qff) พบบริเวณตอนกลางถึงตอนล่างของพื้นที่ การกระจายตัวของหน่วยหินดังแสดงในรูปที่ 4-45 ชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้นมีความลึก 6-20 ม.จากผิวดิน ประกอบด้วยตะกอนทรายปนกรวด คั่นด้วยชั้นดินเหนียวหนาประมาณ 2-7 ม. และชั้นหินอุ้มน้ำระดับลึกเป็นตะกอนทรายปนกรวด พบที่ความลึก 17-27 ม.จากผิวดิน ดังแสดงในภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยา รูปที่ 4-46

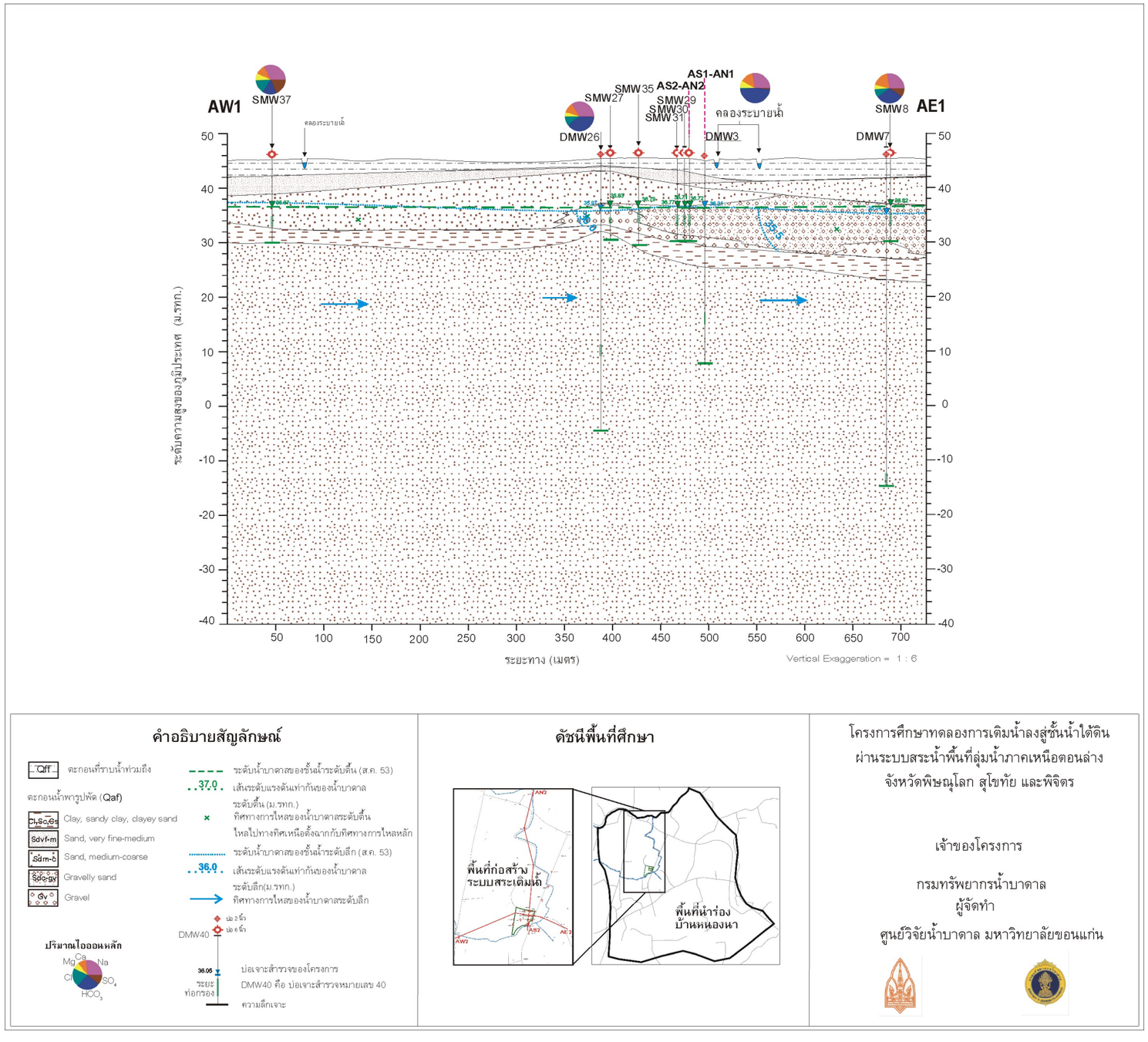
การวิเคราะห์รูปแบบและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลระดับตื้นในพื้นที่นำร่องได้จากการนำข้อมูลการสำรวจระดับน้ำบาดาลช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2553 จากบ่อเจาะสำรวจของโครงการ จำนวน 46 บ่อ และบ่อบาดาลเพื่อการเกษตร จำนวน 13 บ่อ รวม 69 บ่อ มาคำนวณเป็นค่าระดับแรงดันน้ำบาดาลหรือเฮด (hydraulic head) ของแต่ละบ่อ และวิเคราะห์การกระจายตัวของค่าระดับแรงดันน้ำบาดาลในพื้นที่โดยการกำหนดเส้นชั้นความสูงที่มีค่าระดับแรงดันน้ำบาดาลเท่ากัน (Equipotential line) จากผลการศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4-45 พบว่าบริเวณทิศใต้และทิศตะวันออกเป็นพื้นที่รับน้ำ (recharge area) มีค่าแรงดันระดับน้ำอยู่ในช่วง 39 - 40 ม.รทก. ระดับแรงดันน้ำมีค่าลดลงไปทางทิศเหนือมีค่าระหว่าง 36 – 36.50 ม.รทก. ซึ่งเป็นพื้นที่สูญเสียน้ำ (discharge area) ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีการสูบใช้น้ำบาดาลมากกว่าบริเวณอื่นๆ มีลักษณะเป็นกรวยน้ำลด (cone of depression) น้ำบาดาลมีทิศทางการไหลหลักอยู่ในแนวทิศใต้-ทิศเหนือ น้ำบาดาลไหลจากพื้นที่รับน้ำบริเวณที่เนินด้านทิศใต้ไปยังบริเวณพื้นที่สูญเสียน้ำทางตอนเหนือของพื้นที่



รูปที่ 4-45 แผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่นำร่อง



รูปที่ 4-46 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่นำร่อง



รูปที่ 4-46 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่นำร่อง (ต่อ)

(3.3) คุณสมบัติทางชลศาสตร์

การสูบทดสอบในพื้นที่นำร่องมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของหน่วยหินทางอุทกธรณีวิทยา ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity, T) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านหรือสภาพนำชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity, K) และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storativity, S) ทั้งนี้ได้ทำการสูบทดสอบน้ำบาดาล 2 ระดับ คือ ระดับตื้นและระดับลึก ที่ความลึก 5-15 ม. และมากกว่า 15 ม. จากผิวดินตามลำดับ ตำแหน่งบ่อสูบและบ่อสังเกตการณ์แสดงดังรูปที่ 4-47 มีรายละเอียดดังนี้

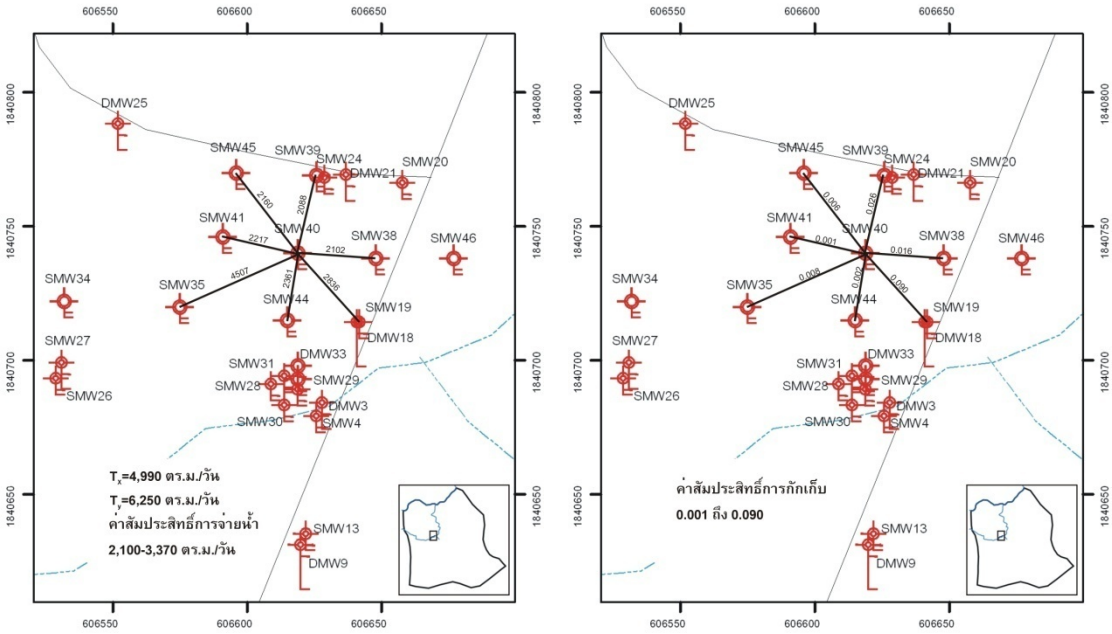
(3.3.1) การสูบทดสอบชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น 5-15 ม. จากผิวดิน ดำเนินการระหว่างวันที่ 26-27 มิถุนายน 2553 สูบทดสอบโดยใช้เครื่องสูบหอยโข่ง สูบบ่อ SMW40 สูบน้ำด้วยอัตราสูบคงที่ 18.00 ลบ.ม./ชม. เป็นเวลา 26 ชม. ช่วงที่สูบน้ำจากบ่อสูบมีการวัดระดับน้ำทั้งในบ่อสูบและบ่อสังเกตการณ์ จำนวน 8 บ่อ เมื่อหยุดสูบน้ำและปล่อยให้ระดับน้ำคืนตัว

(3.3.2) การสูบทดสอบชั้นน้ำบาดาลระดับลึก ความลึกมากกว่า 15 ม. จากผิวดิน ดำเนินการสูบบ่อ DMW33 ระหว่างวันที่ 4-8 พฤษภาคม 2553 โดยใช้เครื่องสูบหอยโข่งสูบน้ำด้วยอัตราสูบคงที่ 19.51 ลบ.ม./ชม. เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ดำเนินการวัดระดับน้ำลดและระดับน้ำคืนตัวทั้งในบ่อสูบและบ่อสังเกตการณ์ จำนวน 5 บ่อ

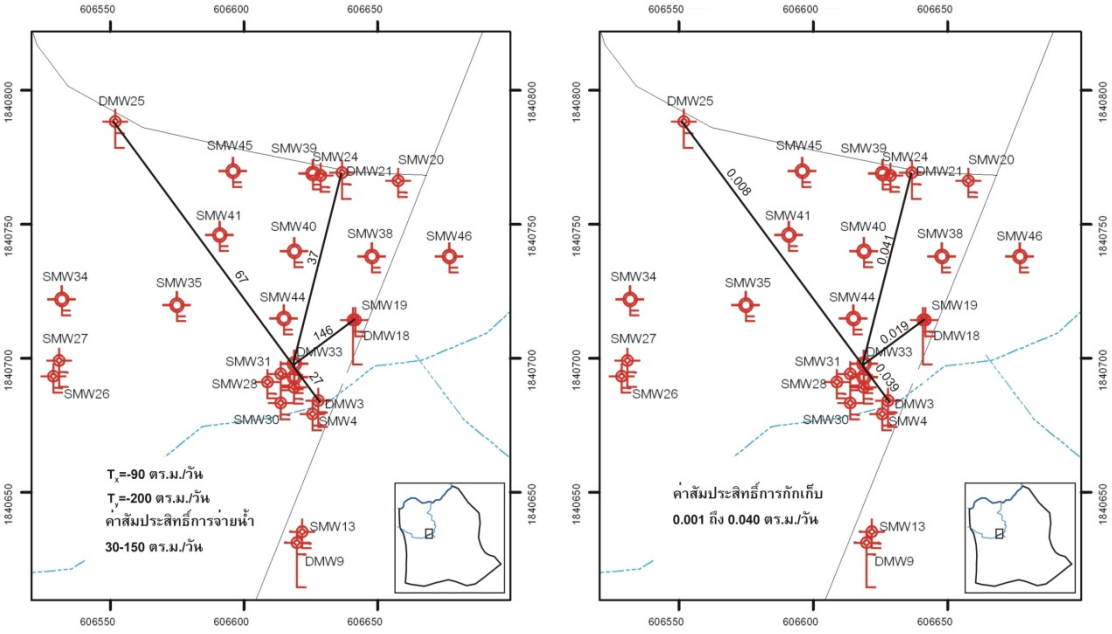
ข้อมูลที่ได้จากการสูบทดสอบนำมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (T) และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำ (S) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Aquifer Test รุ่น 2.54 (Roehrich, 1997) ตามวิธีของ Theis

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสูบทดสอบพบว่า ชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นมีค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำในช่วง 2,100 ถึง 3,370 ตร.ม./วัน (T_x=4,990 ตร.ม./วัน และ T_y=6,250 ตร.ม./วัน) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน $2.43x10^{-3}$-$3.90x10^{-3}$ ม./วินาที และมีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ 0.001 ถึง 0.090 ตามลำดับ

ส่วนชั้นน้ำบาดาลระดับลึกมีค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ 30 ถึง 150 ตร.ม./วัน (T_x=-90 ตร.ม./วัน และ T_y=-200 ตร.ม./วัน) และมีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ 0.001 ถึง 0.040 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสูบทดสอบ แผนที่แสดงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำในแนวแกน X และแกนY และค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ แสดงไว้ในภาคผนวก จ



(ก) การสูบทดสอบระดับตื้น



(ข) การสูบทดสอบระดับลึก

รูปที่ 4-47 ผลการสูบทดสอบระดับตื้นและระดับลึก

(3.4) คุณภาพและรูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาล

(3.4.1) คุณภาพน้ำบาดาล

การตรวจวัดคุณภาพน้ำบาดาลมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำในเบื้องต้น และเพื่อประเมินผลกระทบด้านคุณภาพน้ำที่อาจเกิดขึ้นจากการทดลองเติมน้ำ การตรวจวัดคุณภาพน้ำทั้งน้ำบาดาลและน้ำผิวดินมีพารามิเตอร์เหมือนกัน ทั้งนี้การคัดเลือกพารามิเตอร์สำหรับตรวจวัดมีความสำคัญต่อวัตถุประสงค์ของการดำเนินงานเพื่อให้มีความความเหมาะสมทั้งด้านวิชาการและด้านค่าใช้จ่าย รายการตรวจวัดคุณภาพน้ำบาดาลได้พิจารณาตามมาตรฐาน (1) มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน และ (2) มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคได้ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2542) ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการ สำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ ส่วนการคัดเลือกพารามิเตอร์ด้านสารกำจัดศัตรูพืชได้คัดเลือกโดยพิจารณาจากข้อมูลการสำรวจภาคสนามที่พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้สารกลุ่มออร์กาโนคลอรีน นอกจากนี้มีสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต กลุ่มคาร์บาเมต กลุ่มไพรีทรอยด์ กลุ่มพาราควอท

พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดในภาคสนาม ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) อุณหภูมิ (Temperature) ความขุ่น (Turbidity) ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) พารามิเตอร์ที่ส่งห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย 6 กลุ่ม ได้แก่

(1) ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี (Color) ปริมาณสารทั้งหมด (Total Solids, TS) สารแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids, TSS)

(2) ลักษณะทางเคมี ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) แอมโมเนีย ไนโตรเจน (NH_3) คาร์บอเนต (CO_3) ไบคาร์บอเนต (HCO_3) คลอไรด์ (Cl) ซัลเฟต (SO_4) ไนไตรท์ (NO_2) ไนเตรท (NO_3) ฟลูออไรด์ (F) ฟอสเฟต (PO_4) ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness as $CaCO_3$) ความกระด้างถาวร (Permanent Hardness as $CaCO_3$) และปริมาณสารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids, TDS)

(3) ลักษณะสารที่เป็นพิษ ได้แก่ ปรอท (Hg) ไซยาไนด์ (CN) อาร์เซนิค (As) ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) ซีลีเนียม (Se) นิเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) และแบเรียม (Ba)

(4) สารอินทรีย์ที่ระเหยง่าย ได้แก่ Benzene, Carbon Tetrachloride, 1,2-Dichloro-ethane, 1,1-Dichloroethylene, cis-1,2-Dichloroethylene, trans-1,2-Dichloroethylene, Dichlo-romethane (Methylene Chloride), Ethylbenzene, Styrene, Tetrachloroethylene, Toluene, Trichloroethylene, 1,1,1-Trichloroethane, 1,1,2-Trichloroethane, Total Xylene

(5) แบคทีเรีย ได้แก่ Standard Plate count, Chloriform Organism และ Escherichia coli

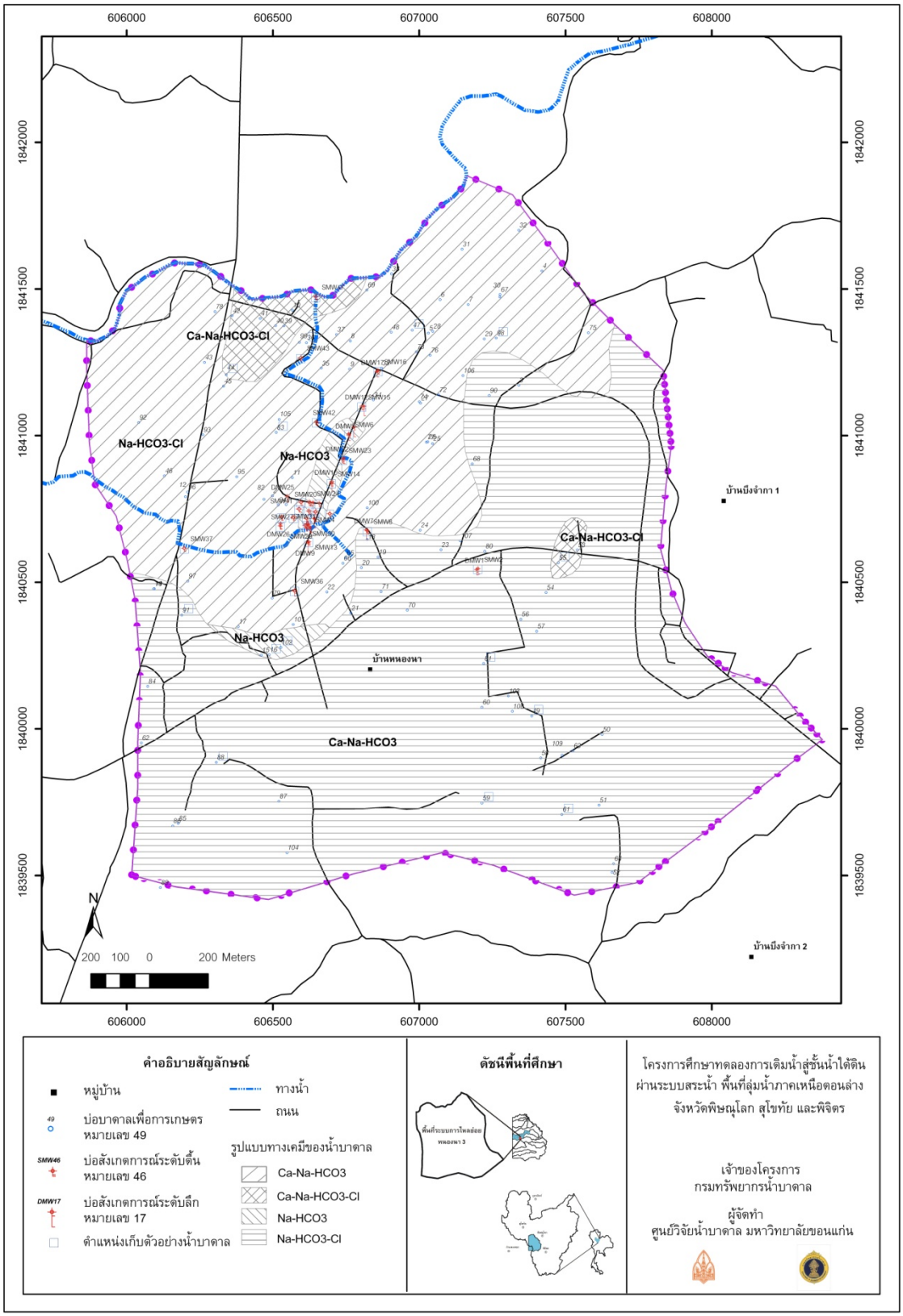
(6) สารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ได้แก่ ดิลดริน (Dieldrin) และคลอเดน (Chlordan)

จำนวนพารามิเตอร์และความถี่ในการตรวจวัดคุณภาพน้ำบาดาลขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการดำเนินงาน ดังนี้

- การตรวจสอบคุณภาพน้ำในเบื้องต้นได้คัดเลือกพารามิเตอร์ต่างๆ ครอบคลุมตามเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 2 ครั้ง ในช่วงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) และฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.)
- การตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลที่มีผลต่อการอุดตันของสระเติมน้ำ ได้แก่ (1) ลักษณะทางกายภาพ วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ (TSS) ความขุ่น และการกระจายขนาดอนุภาคตะกอน (suspended particles distribution) (2) ลักษณะทางเคมี วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณแคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (TDS) และ (3) ลักษณะทางชีวภาพ วิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC)
- การตรวจสอบคุณภาพน้ำในช่วงทดลองเติมน้ำ ได้เน้นการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และเลือกเฉพาะพารามิเตอร์สำคัญที่อาจมีผลกระทบจากการเติมน้ำ โดยความถี่ในการตรวจวัดมีทั้งช่วงก่อน ระหว่าง และหลังเติมน้ำ (ดูบทที่ 6)

การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดดำเนินการโดยพิจารณาคุณภาพน้ำตามเกณฑ์มาตรฐานเพื่อให้ทราบถึงคุณภาพน้ำบาดาลในเบื้องต้นว่ามีการปนเปื้อนหรือไม่ การวิเคราะห์ระดับความเหมาะสมของน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร การพิจารณาพารามิเตอร์ที่ควรติดตามตรวจสอบอย่างใกล้ชิด และการวิเคราะห์รูปแบบทางเคมีโดยพิจารณาจากปริมาณไอออนหลักของน้ำบาดาลเพื่อใช้เปรียบเทียบและพิจารณาความเข้ากันได้ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำบาดาล ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล ดังแสดงในรูปที่ 4-48

ผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลเบื้องต้นจากบ่อเจาะสำรวจของโครงการซึ่งตั้งอยู่โดยรอบบริเวณก่อสร้างระบบสระเติมน้ำ การตรวจสอบครั้งที่ 1 วันที่ 17 ตุลาคม 2552 จำนวน 2 สถานี ได้แก่ บ่อเจาะสำรวจระดับตื้น บ่อ SMW4 และบ่อ SMW6 ส่งวิเคราะห์ที่บริษัท ดีเทอร์มิเนชั่น กรุ๊ป จำกัด การตรวจสอบครั้งที่ 2 วันที่ 24 ธันวาคม 2552 จำนวน 6 สถานี ประกอบด้วย บ่อเจาะสำรวจระดับตื้น ได้แก่ บ่อ SMW4 บ่อ SMW2 บ่อ SMW6 และบ่อเจาะสำรวจระดับลึก ได้แก่ บ่อ DMW1 บ่อ DMW3 และบ่อ DMW5 ส่งวิเคราะห์ที่บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด ผลการตรวจวัดพบว่าน้ำบาดาลมีคุณภาพน้ำดี พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดส่วนใหญ่ รวมทั้งสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช มีค่าต่ำกว่าค่าอนุโลมสูงสุดตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาล (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง) ยกเว้นบางพารามิเตอร์ที่พบว่าในสภาพธรรมชาติมีปริมาณมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ ความขุ่นในช่วง 48-174 มก./ล. (ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค 20 NTU) เหล็ก 1 - 13 มก./ล. (ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค 1 มก./ล.) แมงกานีส 0.6 - 1.4 มก./ล. (มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค 0.5 มก./ล.)



รูปที่ 4-48 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลและรูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลระดับตื้น

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำเฉพาะพารามิเตอร์ที่อาจมีผลต่อการอุดตันของสระเติมน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4-29

ตารางที่ 4-29 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลบริเวณก่อสร้างระบบสระเติมน้ำ

พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการอุดตัน		คุณภาพน้ำบาดาล [(1)]					
		SMW2	SMW4	SMW6	DMW1	DMW3	DMW5
Physical quality	Total Suspended Solids (mg/L)	251	61	25	119	25	27
	Turbidity (NTU)	174	43	25	91	17	10
Chemical quality	pH	5.63	6.09	6.48	6.04	6.39	7.04
	Calcium (mg/L)	11.67	23.48	20.42	26.13	30.09	21.92
	Magnesium (mg/L)	3.84	4.16	3.98	4.04	4.62	3.22
	Total Dissolved Solid (mg/L)	132	255	171	239	224	203
Biological quality	Total Organic Carbon (mg/L)	< 2	< 2	< 2	< 2	50.68	21.59

หมายเหตุ: [(1)] วิเคราะห์วันที่ 24 ธันวาคม 2552 เกณฑ์แนะนำเบื้องต้นเพื่อป้องกันการอุดตัน
TSS<10 mg/L, Turbidity<5 NTU, TDS<150 mg/L, TOC< 10 mg/L (ดูเพิ่มเติม บทที่ 5 รูปที่ 5-1)

การวิเคราะห์ระดับความเหมาะสมของน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร พิจารณาจากค่า Sodium Absorption Ratio (SAR) ตามสมการ $SAR = [Na^+]/(\sqrt{([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])/2})$ เมื่อ Na^+, Ca^{2+}และ Mg^{2+} มีหน่วย มิลลิอิควิวาเลนท์/ลิตร (meq/L) เกณฑ์คุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการเกษตร SAR<10 ดีเยี่ยม 10-18 ดีมาก 18-26 พอใช้ และ > 26 ไม่เหมาะสม ผลการวิเคราะห์ SAR พบว่าคุณภาพน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่อยู่ในเกณฑ์ 1.3-3.8 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ช)

(3.4.2) รูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาล

รูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลระดับตื้นในพื้นที่นำร่อง วิเคราะห์ได้จากข้อมูลไอออนหลักของตัวอย่างน้ำบาดาลที่เก็บในช่วงฤดูฝน (ก.ย.-ต.ค. 2553) จากบ่อสังเกตการณ์และบ่อบาดาลเพื่อการเกษตร จำนวน 39 ตัวอย่าง

การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Aquachem ของบริษัท Waterloo Hydrogeologic Inc. สามารถจำแนกรูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลในพื้นที่นำร่อง ได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่ม Ca-Na-HCO_3 พบบริเวณตอนกลางถึงตอนล่างของพื้นที่ (2) กลุ่ม Na-HCO_3-Cl พบบริเวณตอนกลางถึงตอนบนของพื้นที่ (3) กลุ่ม Ca-Na-HCO_3-Cl พบบริเวณตอนบนใกล้คลองลานบ้าและบริเวณตะวันออกของพื้นที่ และ (4) กลุ่ม Na-HCO_3 พบบริเวณตอนกลางของพื้นที่ใกล้กับพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ การกระจายตัวของรูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลระดับตื้น ดังแสดงในรูปที่ 4-48 ส่วนรูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลระดับลึก แสดงในภาคผนวก ช จากผลวิเคราะห์รูปแบบทางเคมีของน้ำผิวดินที่ใช้เติมและน้ำบาดาลบริเวณตอนกลางของพื้นที่ครอบคลุมพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ พบว่าคุณภาพน้ำมีความเข้ากันได้เนื่องจากมีรูปแบบ Na-HCO_3 เหมือนกัน

(3.5) สภาพการใช้น้ำบาดาล

สภาพการใช้น้ำในพื้นที่พบว่าน้ำสำหรับอุปโภคมาจากบ่อน้ำบาดาลระดับลึกช่วง 50-60 ม. และน้ำที่กักเก็บในช่วงฤดูฝน การใช้น้ำเพื่อการเกษตรอาศัยน้ำบาดาลจากบ่อน้ำตื้นหรือบ่อตอกที่มีความลึกน้อยกว่า 15 ม. และน้ำฝน

การประเมินปริมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรพิจารณาจากพฤติกรรมการสูบใช้น้ำบาดาลในพื้นที่นาข้าว (ร้อยละ 36 ของพื้นที่) และพื้นที่ไร่อ้อย (ร้อยละ 49 ของพื้นที่) โดยคิดเป็นปริมาณการใช้น้ำโดยเฉลี่ยต่อพื้นที่ (ลบ.ม./ไร่) จากการสุ่มสำรวจพฤติกรรมการสูบใช้น้ำบาดาลของเกษตรกรในพื้นที่ศึกษาดังแสดงในหัวข้อ 6.2 และ 6.3 เรื่องการประเมินปริมาณความต้องการใช้น้ำบาดาลของข้าวและพืชไร่ (ภายใต้หัวข้อ 4.1 พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่) พบว่าการใช้น้ำบาดาลเพื่อปลูกข้าวในฤดูแล้งและฤดูฝนคิดเป็น 1,520 ลบ.ม./ไร่ และ 104 ลบ.ม./ไร่ ตามลำดับ รวมเป็น 1,624 ลบ.ม./ไร่/ปี ส่วนค่าเฉลี่ยการใช้น้ำบาดาลเพื่อปลูกอ้อยคิดเป็น 180 ลบ.ม./ไร่/ปี การคำนวณปริมาณการใช้น้ำบาดาลสำหรับพื้นที่นำร่องบ้านหนองนาคิดเป็นร้อยละ 80 ของข้อมูลการสำรวจ พบว่าปริมาณการใช้น้ำบาดาลเพื่อการปลูกข้าวและปลูกอ้อยประมาณ 1.20 ล้าน ลบ.ม./ปี และ 0.20 ล้าน ลบ.ม./ปี ตามลำดับ รวมเป็น 1.40 ล้าน ลบ.ม./ปี

4.3.2 การคัดเลือกตำแหน่งก่อสร้างระบบเติมน้ำ

พื้นที่นำร่องบ้านหนองนามีความเหมาะสมในการเติมน้ำด้วยระบบสระทั้งพื้นที่ แต่ตำแหน่งในการก่อสร้างระบบต้องมีความสะดวกด้านอื่นๆ ด้วย หัวข้อนี้จึงเป็นการหาความเหมาะสมของตำแหน่งในการก่อสร้างระบบเติมน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลและเกณฑ์การกำหนดพื้นที่ตำแหน่งก่อสร้างระบบเติมน้ำ

ข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดพื้นที่เหมาะสมเพื่อก่อสร้างระบบเติมน้ำ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลอุทกธรณีวิทยา และข้อมูลสำหรับการก่อสร้างและการจัดการระบบเติมน้ำ การให้เกณฑ์เพื่อกำหนดพื้นที่เหมาะสมมี 2 แบบ คือ แบบ Rank (Fotheringham, 1995) และตรรกะแบบ Boolean (Saraf, 2004) ดังแสดงในตารางที่ 4-30

ตารางที่ 4-30 ข้อมูลและเกณฑ์ที่ใช้กำหนดพื้นที่เหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำ

ข้อมูล	ระดับความเหมาะสม				
	แบบ Rank			แบบ Boolean	
	มาก	ปานกลาง	น้อย	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม
อุทกธรณีวิทยา	-	-	-	พื้นที่เติมน้ำ	พื้นที่สูญเสียน้ำ
ระยะจากแหล่งไฟฟ้า	-	-	-	< 500 ม.	≥ 500 ม.
ระยะจากถนน	น้อยกว่า 150 ม.	150 – 300 ม.	มากกว่า 500 ม.	-	-
ระยะจากแหล่งน้ำ	น้อยกว่า 200 ม.	200 – 400 ม.	มากกว่า 400 ม.	-	-

(1.1) ข้อมูลอุทกธรณีวิทยา

ข้อมูลอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่นำร่อง ได้จากการสำรวจและวัดระดับน้ำบาดาลในบ่อบาดาลเพื่อการเกษตร ซึ่งทำให้ทราบพื้นที่เติมน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำ ดังนั้นจึงกำหนดเกณฑ์ความเหมาะสมด้านอุทกธรณีวิทยาเป็น 2 ระดับ คือ พื้นที่เติมน้ำเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสม และพื้นที่สูญเสียน้ำเป็นพื้นที่ไม่เหมาะสม ในการก่อสร้างระบบเติมน้ำ

(1.2) ข้อมูลการก่อสร้างและจัดการระบบเติมน้ำ

การก่อสร้างและการจัดการระบบเติมน้ำ จำเป็นต้องอยู่ในพื้นที่ที่มีความสะดวกในการทำงาน ซึ่งมีข้อมูลที่ต้องพิจารณาดังนี้

(1.2.1) ข้อมูลแหล่งไฟฟ้า

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับก่อสร้างระบบเติมน้ำและอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบเติมน้ำ ทั้งอุปกรณ์ สำนักงาน อุปกรณ์ระบบการจัดการระบบเติมน้ำต่างๆ จำเป็นต้องใช้พลังงานจากไฟฟ้า ซึ่งหากพื้นที่ก่อสร้างเป็นพื้นที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึงและอยู่ไกลจากแหล่งไฟฟ้ามากจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการนำไฟฟ้าเข้าไปในพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ ดังนั้นจึงแบ่งความเหมาะสมของพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำจากระยะทางจากแนวสายไฟฟ้า โดยพื้นที่ที่อยู่ห่างจากแนวสายไฟฟ้าน้อยกว่า 500 ม. เป็นพื้นที่ที่เหมาะสม และไม่เหมาะสมเมื่อห่างจากแนวสายไฟฟ้ามากกว่า 500 ม.

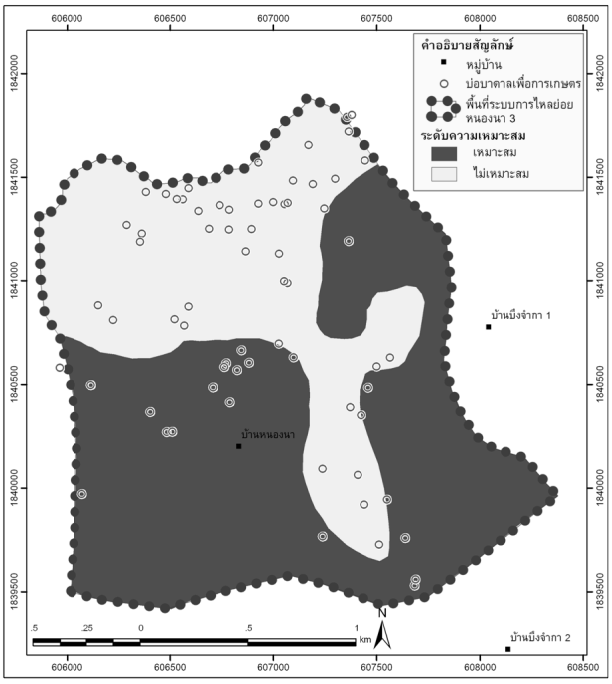
(1.2.2) ข้อมูลการเข้าถึงพื้นที่

ในการก่อสร้างและการจัดการระบบเติมน้ำจำเป็นต้องใช้เครื่องมือเครื่องจักรและอุปกรณ์ ขนาดใหญ่เข้าไปในพื้นที่ ดังนั้นการเข้าถึงพื้นที่ก่อสร้างจึงควรมีความสะดวกเข้าถึงได้ง่าย ถนนมีความมั่นคง แข็งแรง ดังนั้นเกณฑ์ความเหมาะสมของข้อมูลการเข้าถึงพื้นที่จึงเป็นระยะห่างจากถนน โดยแบ่งระดับความเหมาะสมออกเป็น 3 ระดับ คือ ห่างจากถนน น้อยกว่า 150 ม. เป็นพื้นที่มีความเหมาะสมมาก ห่างจากถนนมากกว่า 150 ม. แต่ไม่เกิน 300 ม. มีความเหมาะสมปานกลาง และมีความเหมาะสมน้อยเมื่ออยู่ห่างจากถนนเกิน 300 ม.

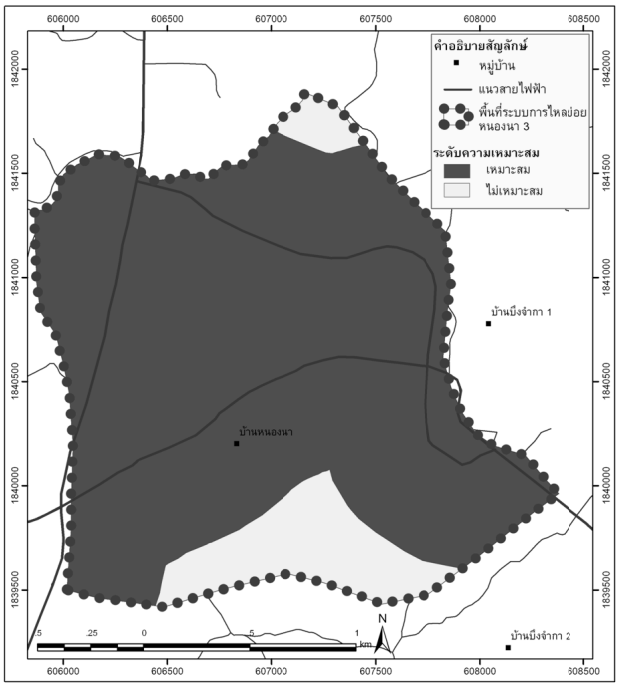
(1.2.3) ข้อมูลแหล่งน้ำ

แหล่งน้ำในพื้นที่นำร่อง ที่มีศักยภาพในการนำมาเติมน้ำ คือคลองลานบ้าและคลองระบายน้ำ พื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำควรสามารถนำน้ำจากคลองมาใช้ได้ เกณฑ์ความเหมาะสมของข้อมูลแหล่งน้ำจึงเป็นระยะห่างจากแหล่งน้ำ โดยแบ่งระดับความเหมาะสมออกเป็น 3 ระดับ คือ มาก ปานกลาง และน้อย กำหนดให้พื้นที่ที่มีระยะห่างจากแหล่งน้ำน้อยกว่า 200 ม. มีระดับความเหมาะสมมาก ระยะห่าง 200-400 ม. มีความเหมาะสมปานกลาง และมีความเหมาะสมน้อยเมื่ออยู่ห่างจากแหล่งน้ำมากกว่า 400 ม.ขึ้นไป

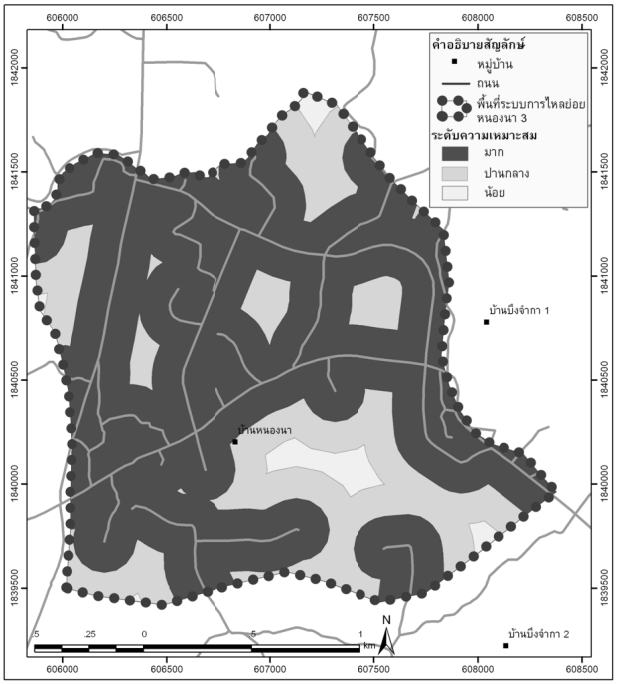
พื้นที่แสดงตำแหน่งที่เหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำของแต่ละข้อมูลแสดงในรูปที่ 4-49



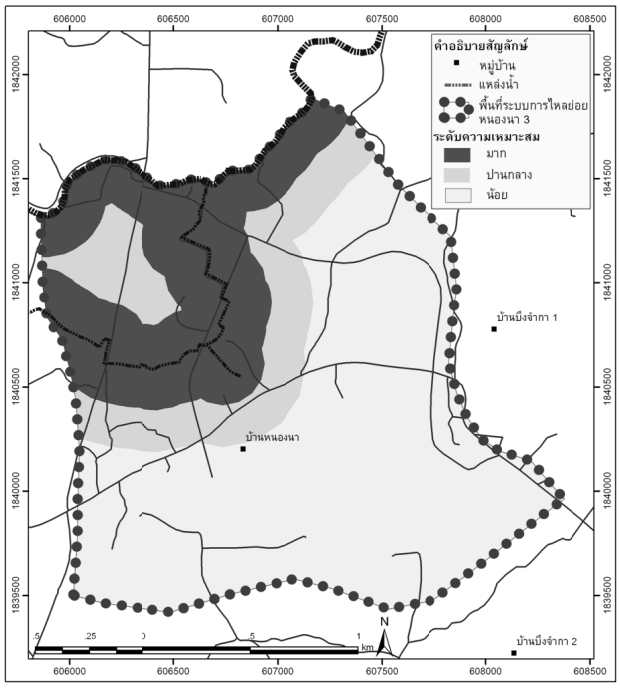
(ก) ความเหมาะสมด้านอุทกธรณีวิทยา



(ข) ความเหมาะสมด้านแหล่งไฟฟ้า



(ค) ความเหมาะสมด้านการเข้าถึงพื้นที่

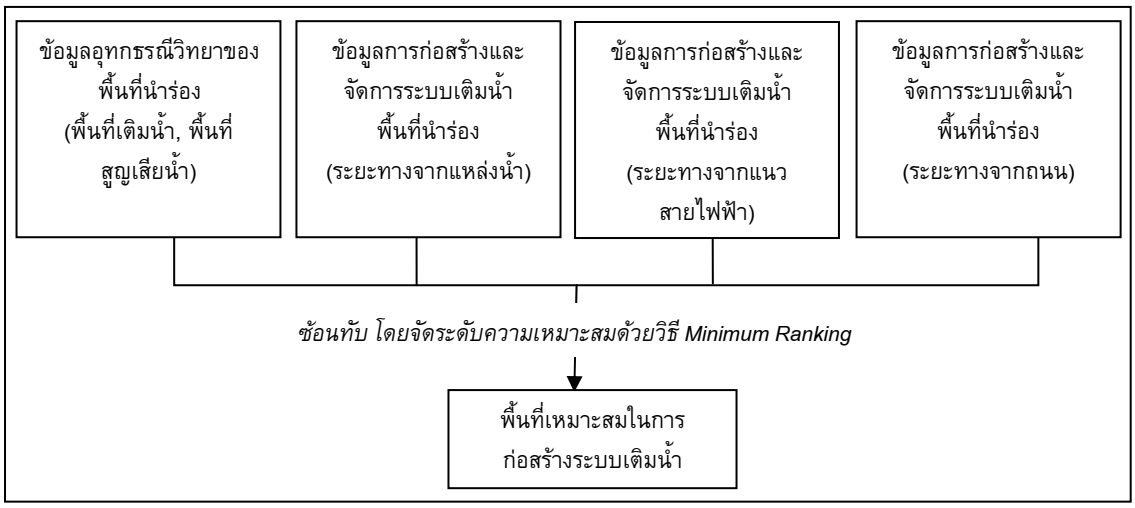


(ง) ความเหมาะสมด้านแหล่งน้ำ

รูปที่ 4-49 พื้นที่แสดงความเหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำของแต่ละข้อมูล

2) การวิเคราะห์หาพื้นที่เหมาะสมเพื่อก่อสร้างระบบเติมน้ำ

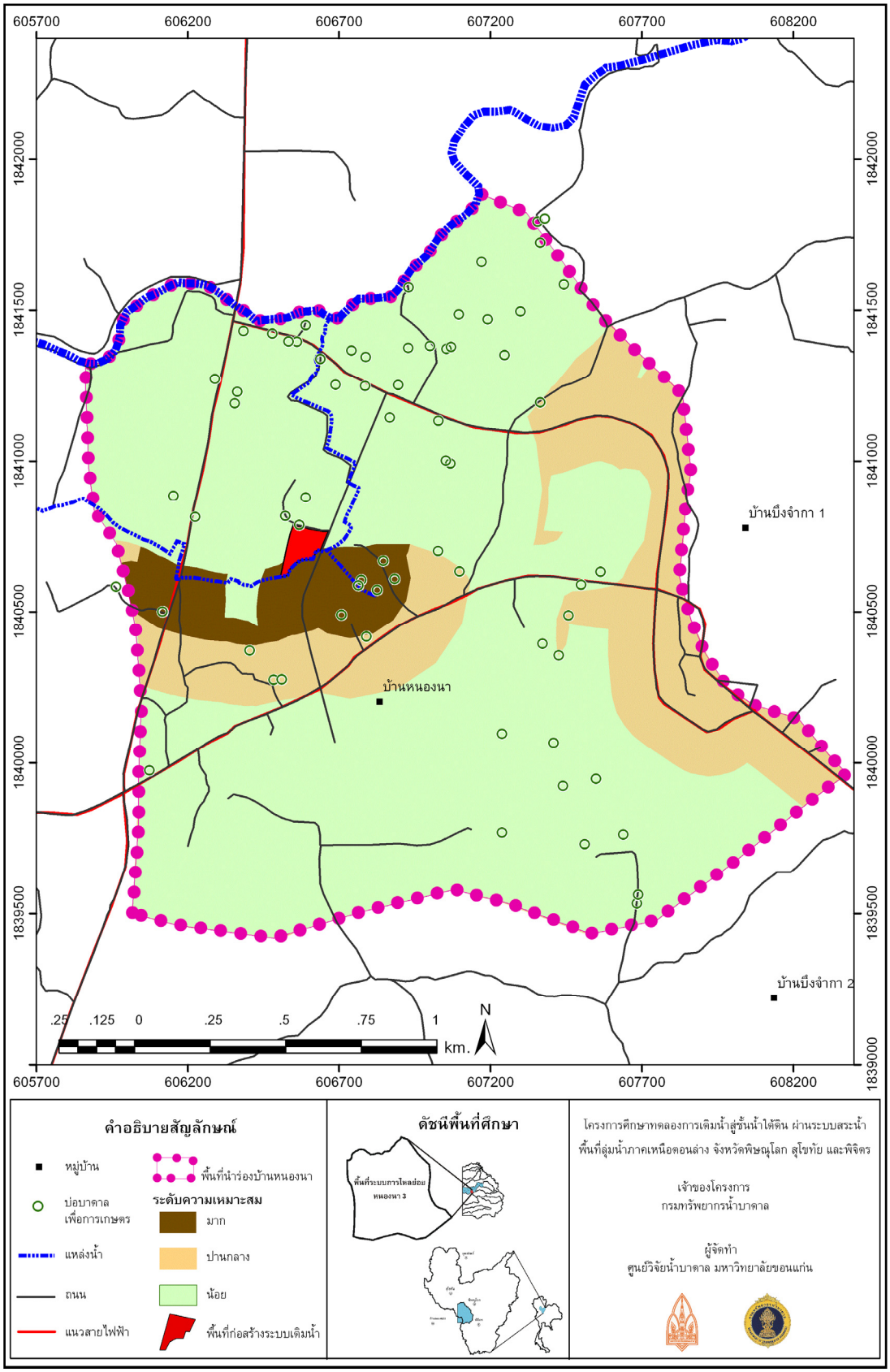
จากข้อมูลและเกณฑ์การกำหนดพื้นที่เหมาะสมเพื่อก่อสร้างระบบเติมน้ำ นำมาประมวลผลและวิเคราะห์ด้วยวิธี Overlay analysis แบบ Minimum Ranking โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 9.2 การวิเคราะห์แบบ Minimum Ranking (ดังแสดงในรูปที่ 4-50) คือ การเลือกค่าความเหมาะสมที่น้อยกว่า เป็นตัวแทนของพื้นที่ ยกตัวอย่างเช่น พื้นที่ความเหมาะสมด้านการเข้าถึงพื้นที่ในระดับปานกลางเมื่อซ้อนทับกับความเหมาะสมด้านแหล่งน้ำในระดับมาก พื้นที่นั้นจะมีความเหมาะสมตามวิธี Minimum Ranking ในระดับปานกลาง เป็นต้น จากการวิเคราะห์พบว่า พื้นที่นำร่องบ้านหนองนา มีความเหมาะสมสำหรับก่อสร้างระบบเติมน้ำ ในระดับความเหมาะสมมาก 134 ไร่ (0.215 ตร.กม.) ระดับความเหมาะสมปานกลาง 1240 ไร่ (1.985 ตร.กม.) และระดับความเหมาะสมน้อย 1,199 ไร่ (1.919 ตร.กม.) ดังรูปที่ 4-51



รูปที่ 4-50 ขั้นตอนการคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำ

3) สรุปผลการคัดเลือกตำแหน่งก่อสร้างระบบเติมน้ำ

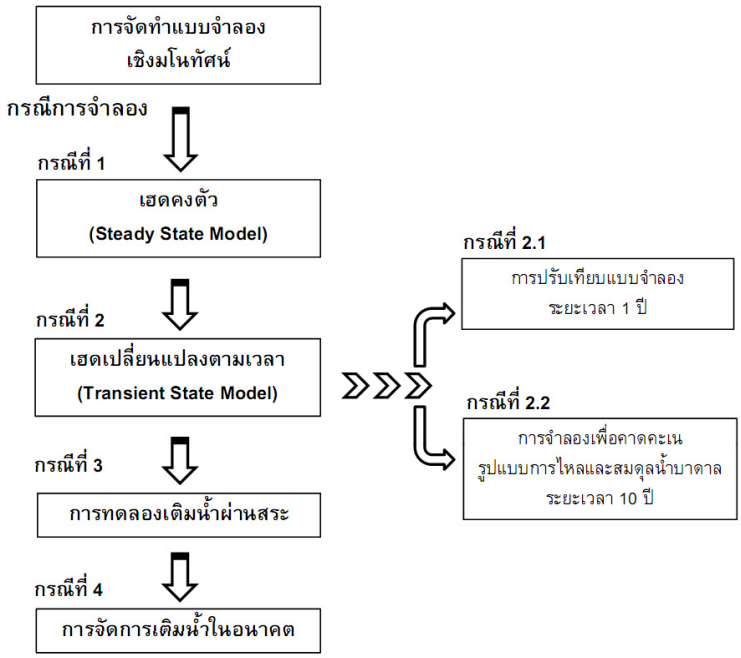
การคัดเลือกพิจารณาจากพื้นที่ที่อยู่ใกล้คลองระบายน้ำและถนนเพื่อความเหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำ จากการสำรวจพื้นที่พบว่าพื้นที่ที่มีความเหมาะสมเป็นของเกษตรกร 6 ราย คณะที่ปรึกษาจึงได้ติดต่อประสานงานกับเจ้าของพื้นที่แต่ละรายและผู้นำหมู่บ้านเพื่อดำเนินการขอเช่าที่ดินสำหรับก่อสร้างระบบเติมน้ำ พบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดเป็นของนางดอม มามี ซึ่งอยู่ติดคลองระบายน้ำและติดถนนหลัก มีเนื้อที่ 8 ไร่ (รูปที่ 4-51) จึงติดต่อขอเช่าพื้นที่เพื่อก่อสร้างระบบเติมน้ำเป็นระยะเวลา 5 ปี เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม 2552 เป็นต้นไป



รูปที่ 4-51 ระดับความเหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำในพื้นที่นำร่อง

4.3.3 การจำลองการไหลของน้ำบาดาลเชิงคณิตศาสตร์พื้นที่นำร่องบ้านหนองนา

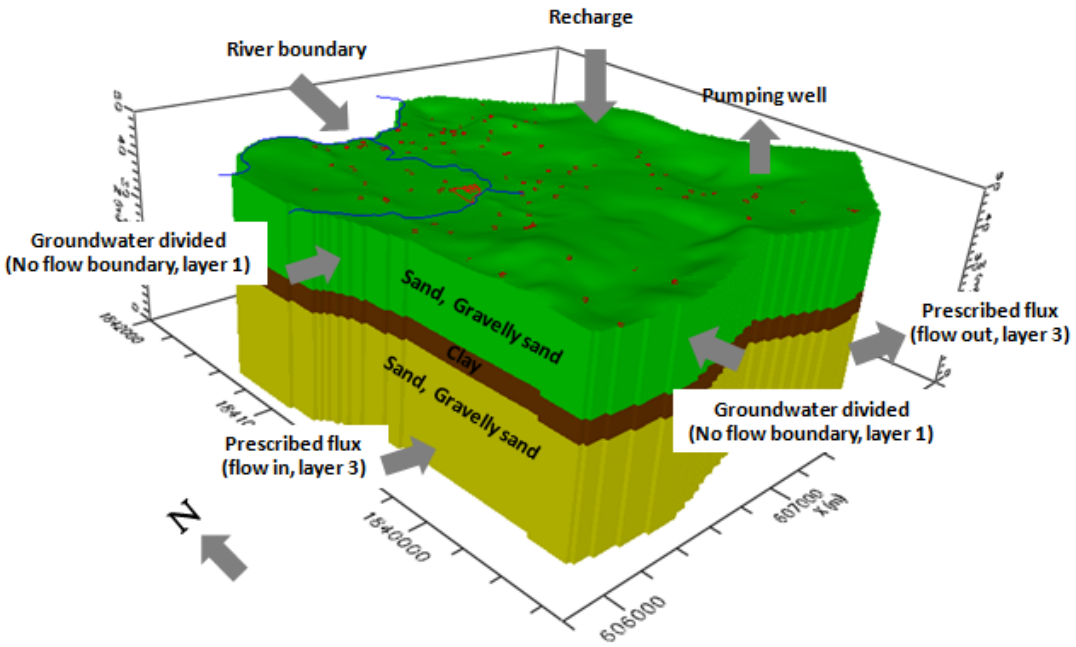
การจำลองการไหลของน้ำบาดาลเชิงคณิตศาตร์พื้นที่นำร่อง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการไหลของน้ำบาดาลทั้งช่วงก่อนทดลองเติมน้ำและผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการทดลองเติมน้ำ แผนการจำลองประกอบด้วย 4 กรณี ได้แก่ (1) กรณีเฮดคงตัว (steady state) (2) กรณีเฮดเปลี่ยนแปลงตามเวลา ในระยะ 10 ปี (3) กรณีการทดลองเติมน้ำผ่านสระ และ (4) กรณีจำลองแนวทางการจัดการเติมน้ำในอนาคต ดังแสดงในรูปที่ 4-52 โปรแกรมที่เลือกใช้ในการจำลองคือ Visual MODFLOW 4.3 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการเตรียมข้อมูลก่อนการคำนวณ และแสดงผลการคำนวณ โดยมีโปรแกรม MODFLOW 2000 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณการไหลของน้ำบาดาล โปรแกรม MODFLOW (Modular Three-dimension Finite-Difference Groundwater Flow Model) พัฒนาโดย U.S. Geological Survey (McDonald and Harbaugh, 1988) ซึ่งใช้ finite difference ในการคำนวณโดยแบ่งกริดแบบ block-centered ซึ่งมีการประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับในผลการจำลองมากที่สุดในขณะนี้ สมการพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณเป็นสมการของดาร์ซี และ Continuity Equation



รูปที่ 4-52 แผนการจัดทำแบบจำลอง

1) แบบจำลองเชิงมโนทัศน์

พื้นที่นำร่องบ้านหนองนา กำหนดขอบเขตของพื้นที่ตามแนวสันปันน้ำบาดาลในบริเวณทิศใต้และทิศเหนือและขนานเส้นการไหลของน้ำบาดาลด้านทิศตะวันออกและตะวันตกของพื้นที่ ชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้นมีความลึก 15-20 ม.จากผิวดิน ประกอบด้วยตะกอนทรายปนกรวด คั่นด้วยชั้นดินเหนียวหนาประมาณ 2-7 ม. และชั้นหินอุ้มน้ำระดับลึกเป็นตะกอนทรายปนกรวด พบที่ความลึก 17-27 ม.จากผิวดิน ระดับน้ำบาดาลอยู่ลึกจากผิวดิน 7-9 ม. มีทิศทางการไหลหลักจากพื้นที่รับน้ำด้านทิศใต้ไปทางทิศเหนือ การสูบใช้น้ำบาดาลเพื่อทำนาข้าวและไร่อ้อยมีปริมาณ 1.40 ล้าน ลบ.ม./ปี การเพิ่มเติมน้ำบาดาลตามธรรมชาติปริมาณ 1.34 ล้าน ลบ.ม./ปี แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของพื้นที่ศึกษาแสดงดังรูปที่ 4-53

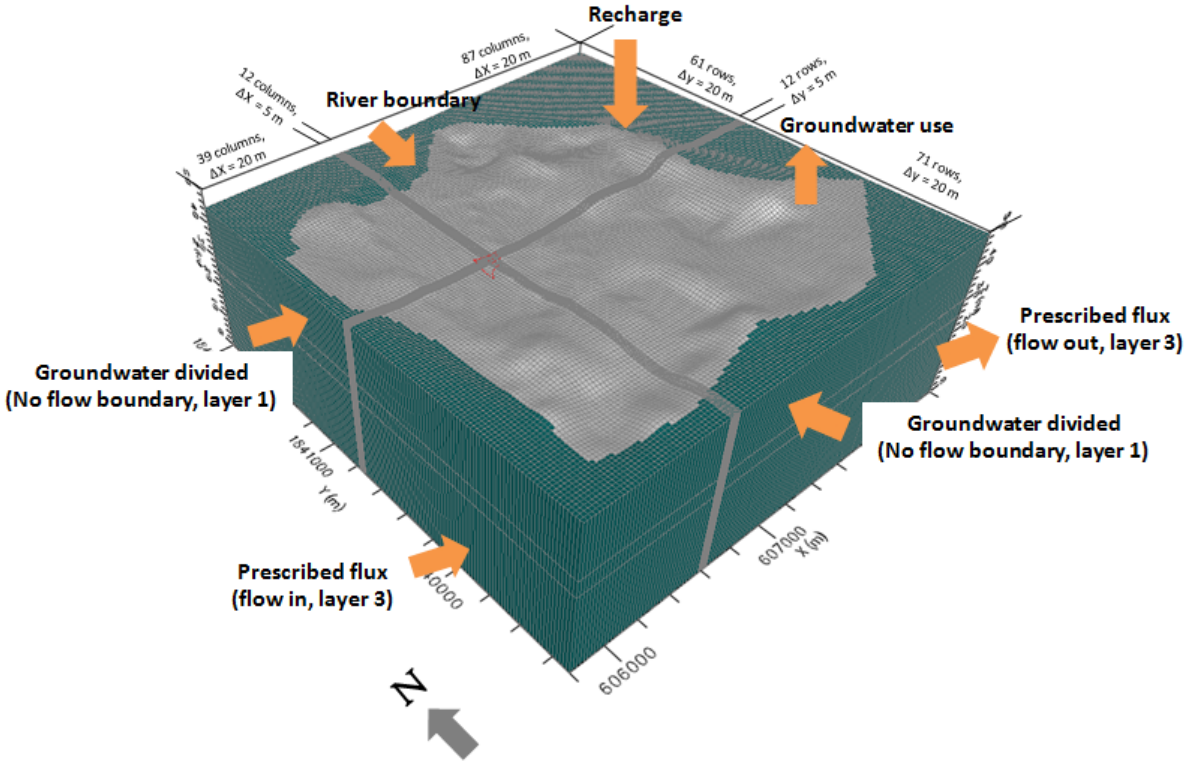


รูปที่ 4-53 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา

2) การออกแบบกริดและขอบเขตการแบบจำลอง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ศึกษานี้ได้ออกแบบให้เป็นแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อทำการจำลองสภาพอุทกธรณีวิทยาสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูฝนและฤดูแล้ง 10 ปี พื้นที่ศึกษากว้าง 2.6 กม. ยาว 2.7 กม. ซึ่งอยู่ระหว่างพิกัด 605800 ถึง 608400 mE และพิกัด 1839300 ถึง 1842000 mN ในการจำลองได้แบ่งพื้นที่ย่อยหรือกริดเซล (grid cell) ในแนวตะวันตก-ตะวันออก กำหนดให้มีระยะกริด ΔX 20 ม. จำนวน 126 สภมภ์ และระยะกริด ΔX 5 ม. จำนวน 12 สภมภ์ แนวเหนือ-ใต้ กำหนดให้มีระยะกริด ΔY 20 ม. จำนวน 132 แถว และระยะกริด ΔX 5 ม. จำนวน 12 แถว ดังแสดงในรูปที่ 4-54 กำหนดให้แบบจำลองมีความสูงในช่วง 0-50 ม.รทก. แบ่งเป็น 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้น ชั้นดินเหนียว และชั้นหินอุ้มน้ำระดับลึก

การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลองจำแนกได้ดังนี้ ขอบเขตสำหรับชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น ทิศใต้ กำหนดขอบเขตตามแนวสันปันน้ำบาดาล ทิศตะวันตกและตะวันออก กำหนดขอบเขตขนานเส้นการไหลของน้ำบาดาล ทิศเหนือ ขอบเขตแม่น้ำ และด้านบนกำหนดให้มีการเพิ่มเติมน้ำจากการไหลซึมของน้ำฝน ส่วนขอบเขตสำหรับชั้นน้ำบาดาลระดับลึก ด้านทิศตะวันตกและตะวันออก กำหนด Prescribed flux ทิศใต้และทิศเหนือ กำหนดขอบเขตขนานเส้นการไหลของน้ำบาดาล ดังแสดงในรูปที่ 4-54



รูปที่ 4-54 การออกแบบกริดและเงื่อนไขขอบเขตการจำลอง

3) ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง

(3.1) อัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำใต้ดิน คำนวณจากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและกลุ่มดิน เพื่อจัดกลุ่มพื้นที่ศึกษาและประเมินอัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่ชั้นน้ำของแต่ละพื้นที่โดยใช้แบบจำลอง HELP3 (Schroeder et al, 1994) ที่ปฏิบัติการภายใต้โปรแกรม Visual HELP ที่ใช้หลักการคำนวณโดยสมการสมดุลน้ำของชั้นดินในแต่ละกลุ่มพื้นที่ (ดังแสดงในภาคผนวก ซ)

(3.2) แหล่งน้ำผิวดิน กำหนดให้คลองลานบ้าและคลองระบายน้ำเป็นขอบเขตแม่น้ำ (river boundary) ซึ่งอยู่ชั้นบนสุดของแบบจำลอง (รูปที่ 4-55) คลองลานบ้ามีความกว้าง 20 เมตร เท่ากันตลอดสาย ความหนาของดินเหนียวซึ่งเป็นตะกอนท้องน้ำ 1 ม. ระดับน้ำและท้องน้ำประเมินจากข้อมูลสนาม กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน 1.0×10^{-8} ม./วินาที (Spitz and Moreno, 1996)

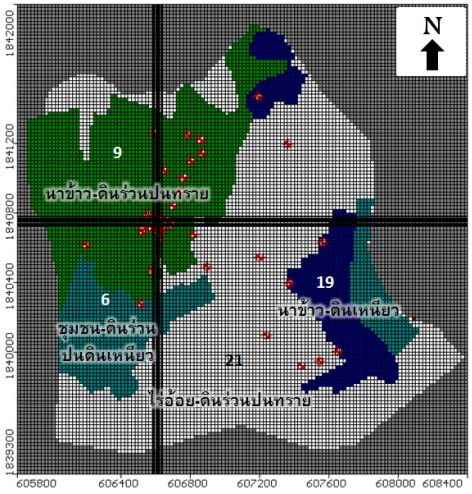
(3.3) ข้อมูลปริมาณการสูบน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรที่ใช้ในแบบจำลอง กำหนดให้บ่อบาดาลสำหรับการทำนาข้าวสูบใช้น้ำ 64 ลบ.ม./วัน วันละ 8 ช.ม. ในช่วงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.) และปริมาณ 5 ลบ.ม./วัน ในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) ส่วนบ่อบาดาลที่ใช้สำหรับทำไร่อ้อย กำหนดให้มีการสูบใช้น้ำเฉพาะในช่วงฤดูแล้งคิดเป็น 35 ลบ.ม./วัน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 80 ของข้อมูลสำรวจในภาคสนาม ดังแสดงในหัวข้อสภาพการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่นำร่อง

(3.4) ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบ (K_h หรือ K_x, K_y) ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลสูบทดสอบ กำหนดให้ชั้นหินอุ้มน้ำไม่เป็นเนื้อเดียวกัน อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวดิ่งและแนวราบ (K_v : K_h) เป็น 1:10 การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านพิจารณาจากลักษณะตะกอนในแต่ละชั้น

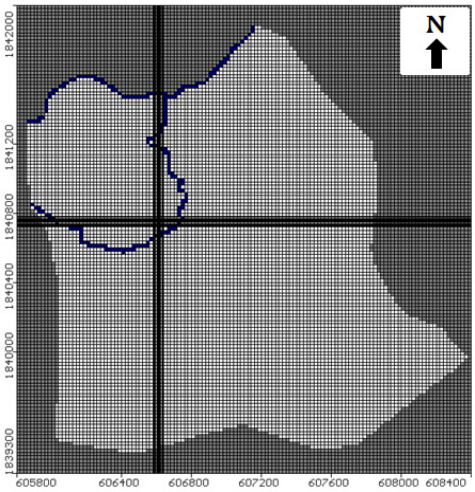
(3.5) แรงดันน้ำบาดาลหรือเฮดเริ่มต้น (initial head) ดังแสดงรูปที่ 4-55ง จากข้อมูลระดับน้ำบาดาลที่ตรวจวัดในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 บ่อเจาะสำรวจของโครงการ จำนวน 33 บ่อ และบ่อบาดาลเพื่อการเกษตร จำนวน 32 บ่อ กำหนดให้เป็นเฮดคงที่ (constant head) ที่ความลึกน้ำเข้าบ่อบาดาล ผลการจำลองในกรณีเฮดไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (steady state model) ได้นำไปใช้เป็นเฮดเริ่มต้นของการจำลองกรณีเฮดเปลี่ยนแปลงตามเวลา (transient state model)

4) การปรับเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

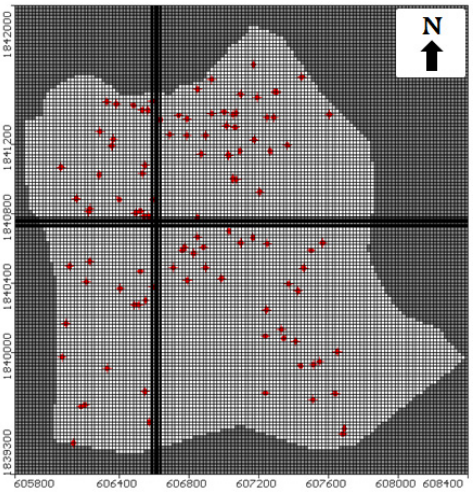
การปรับเทียบค่าพารามิเตอร์เป็นการปรับค่าพารามิเตอร์ที่นำเข้าแบบจำลอง จนค่าระดับน้ำที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองและค่าที่วัดจากสนามมีความสอดคล้องกันและอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ การปรับเทียบใช้ข้อมูลระดับน้ำเดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 จากบ่อสังเกตการณ์ 59 บ่อ (รูปที่ 4-55จ) ซึ่งกระจายครอบคลุมทั้งพื้นที่ และทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ ซึ่งได้แก่ สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน และสัมประสิทธิการกักเก็บน้ำให้อยู่ในช่วงค่าที่เป็นไปได้ของพารามิเตอร์นั้นๆ โดยปรับพารามิเตอร์ทีละชุดให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากค่าที่ประมาณไว้ในเบื้องต้น จนระดับน้ำบาดาลที่วัดในสนามและจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด เมื่อรูปแบบการกระจายตัวของเฮดน้ำบาดาลที่ได้จากการจำลองและแผนที่อุทกธรณีวิทยาคล้ายคลึงกัน โดยมีผลต่างเฉลี่ย (Root Mean Squared, RMS) ของค่าคำนวณและที่วัดได้ในสนามทั้งหมดน้อยกว่า 0.50 ม. ถือได้ว่าผลการจำลองนั้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้



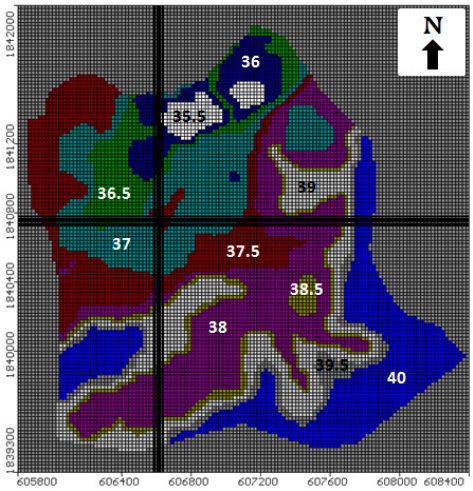
(ก) อัตราการเพิ่มเติมน้ำสู่แหล่งน้ำใต้ดิน (ร้อยละของปริมาณน้ำฝน)



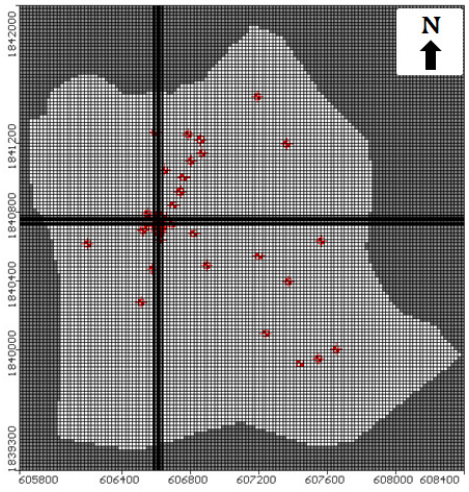
(ข) แหล่งน้ำผิวดิน



(ค) บ่อสูบใช้น้ำบาดาล



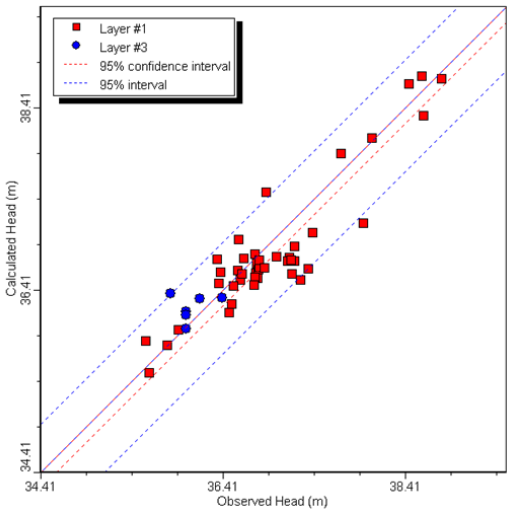
(ง) ค่าเฮดเริ่มต้นของการจำลอง (ม.รทก.)



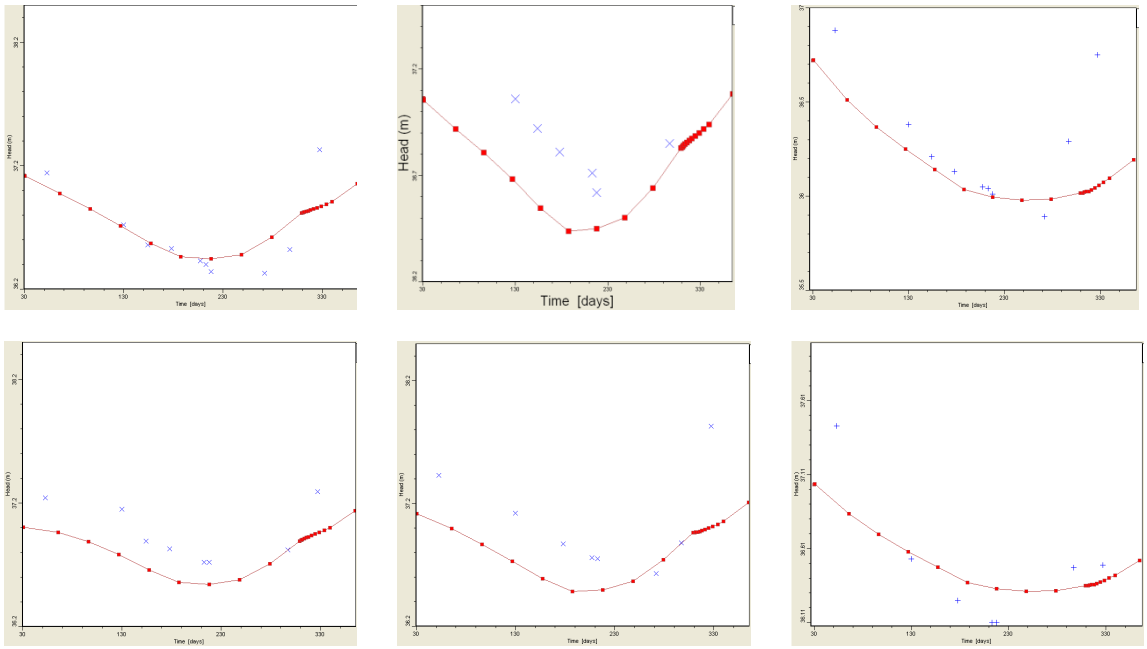
(จ) ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์

รูปที่ 4-55 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการไหลของน้ำบาดาล

ผลการปรับเทียบพารามิเตอร์ พบว่าผลต่างเฉลี่ยของระดับน้ำบาดาลที่วัดในสนามและจากการจำลองมีค่า RMS เท่ากับ 0.314 ม. และค่า Normalized RMS เท่ากับ 9.68 % กราฟการปรับเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลองสำหรับกรณีจำลองสภาวะคงตัว ดังแสดงในรูปที่ 4-56 กราฟการปรับเทียบแบบจำลองในระยะเวลา 1 ปี ดังแสดงในรูปที่ 4-57



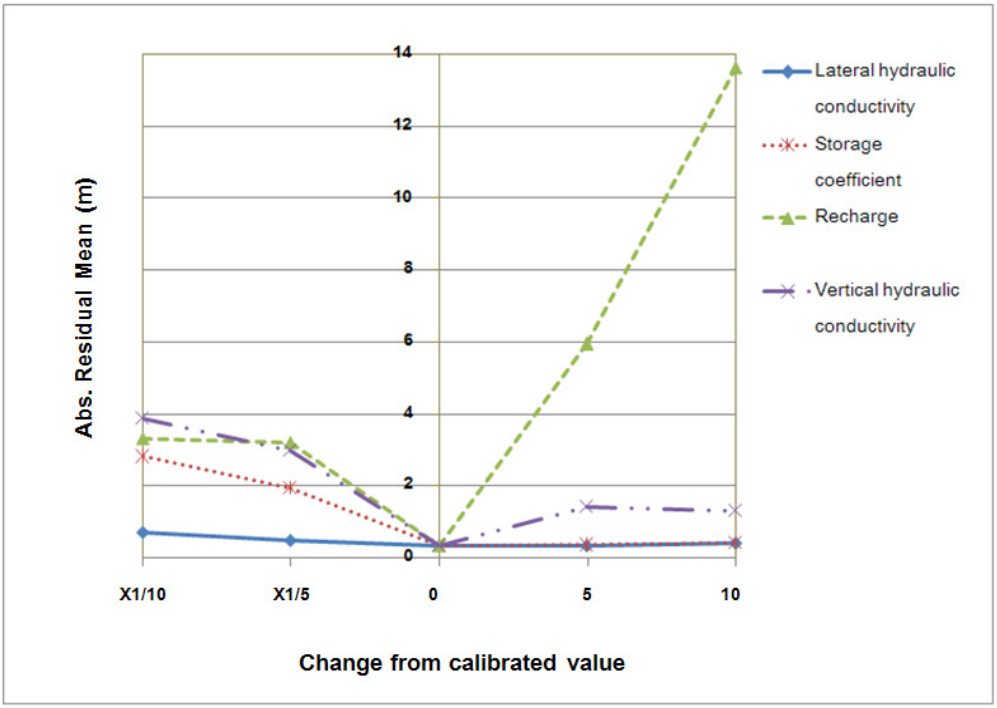
รูปที่ 4-56 กราฟการปรับเทียบพารามิเตอร์กรณีเฮดคงตัว



รูปที่ 4-57 กราฟการปรับเทียบแบบจำลองในระยะเวลา 1 ปี

5) การทดสอบความอ่อนไหวของตัวแปร

การทดสอบความอ่อนไหวของตัวแปรเป็นการกำหนดค่าตัวแปร ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ และอัตราการเติมน้ำ ให้มีค่าเป็น 5 เท่า 10 เท่า 1/5 เท่า และ 1/10 เท่า ของค่าที่ปรับเทียบ แล้วคำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4-58 ผลการจำลองที่ดีที่สุดอยู่ตรงกลาง (การเปลี่ยนแปลงมีค่าเป็น 0) ผลการทดสอบพบว่าตัวแปรที่มีความอ่อนไหวจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด ได้แก่ อัตราการเติมน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวดิ่ง ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ และค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบ ตามลำดับ



รูปที่ 4-58 การทดสอบความอ่อนไหวของตัวแปรที่ใช้ในการจำลองในระยะเวลา 1 ปี

6) ผลการจำลอง

(6.1) ผลการจำลองกรณีเฮดคงตัว พบว่า รูปแบบการไหลของน้ำบาดาลที่ได้จากการจำลองคล้ายคลึงกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ กล่าวคือน้ำบาดาลไหลจากพื้นที่เนินด้านทิศใต้ที่มีเฮดสูงไปยังด้านทิศเหนือที่มีเฮดของน้ำบาดาลต่ำ การสูบใช้น้ำบาดาลในพื้นที่มากเกินสมดุลทำให้เกิดกรวยน้ำลดบริเวณทิศเหนือของพื้นที่ ขอบเขตการจำลองมีความเป็นไปได้ตามที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4-59 ชุดพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง แสดงในตารางที่ 4-31

ตารางที่ 4-31 ชุดพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง

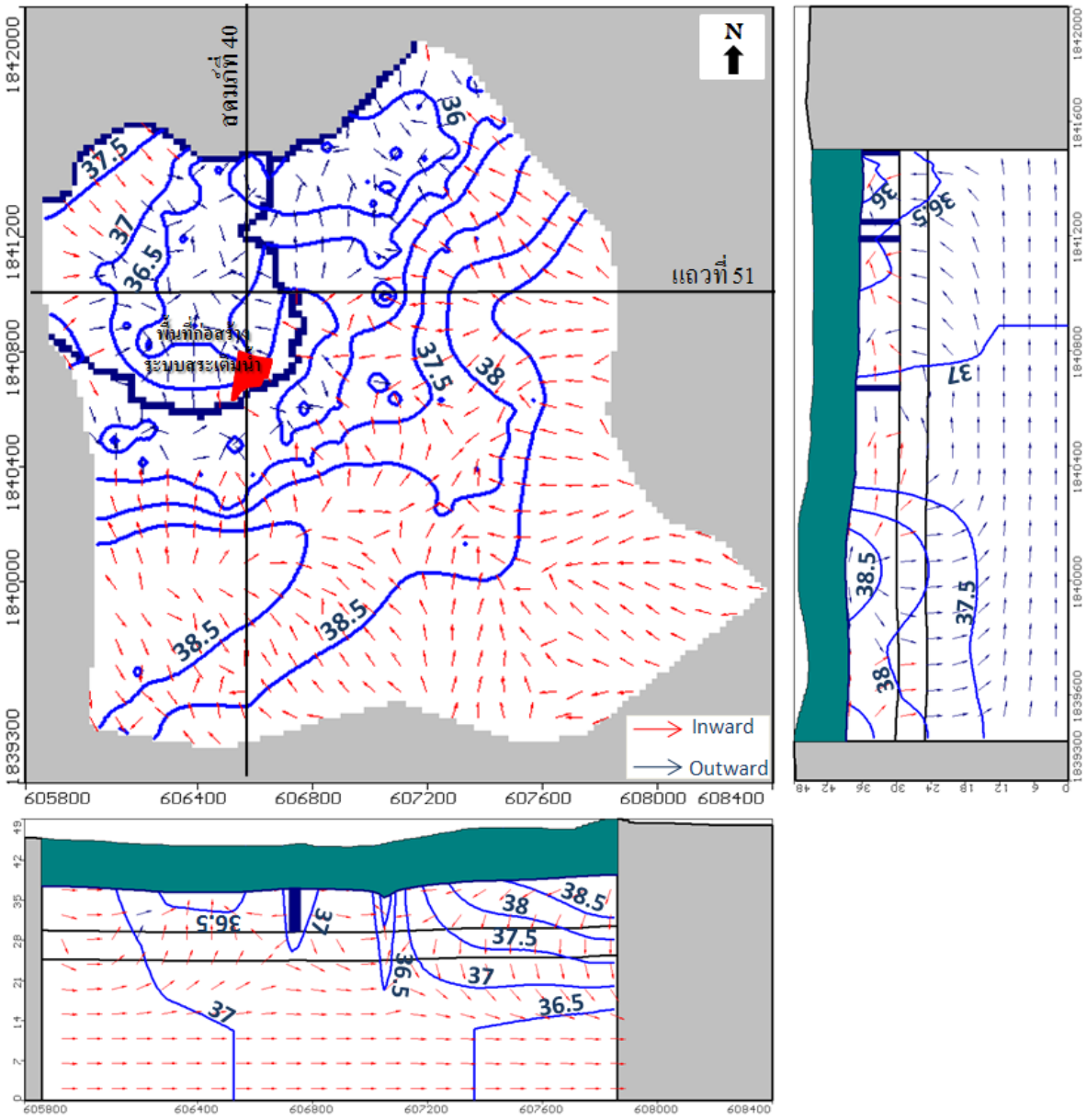
ชั้นที่	ลักษณะชั้นดินชั้นหิน	ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน		ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ	
		$K_x = K_y$ (ม./วินาที)	K_z(ม./วินาที)	S_s (1/ม.)	S_y
1	ทรายปนกรวด	9E-5	9E-6	0.2E-3	0.22
2	ดินเหนียว	1E-7	1E-8	1.0E-3	0.01
3	ทรายปนกรวด	2.5E-4	2.5E-5	0.1E-3	0.12

(6.2) ผลการปรับเทียบแบบจำลองกรณีเฮดเปลี่ยนแปลงตามเวลา ในระยะเวลา 1 ปี (พ.ศ.2553) พบว่า รูปแบบการไหลของน้ำบาดาลสอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 4-59) การจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 0.314 ม. หรือ 9.68 % ผลการจำลองสมดุลน้ำบาดาลในรอบหนึ่งปีพบว่ามีปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าและไหลออกจากระบบประมาณ 1.34 ล้าน ลบ.ม./ปี และ 1.57 ล้าน ลบ.ม./ปี ซึ่งปริมาณการสูบใช้น้ำบาดาลระดับตื้นประมาณ 1.40 ล้าน ลบ.ม./ปี คิดเป็นร้อยละ 80 ของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในภาคสนาม ระบบน้ำบาดาลขาดดุล 0.23 ล้าน ลบ.ม./ปี ดังนั้น ระดับน้ำบาดาลลดลง 0.25 ม./ปี ดังแสดงในตารางที่ 4-32

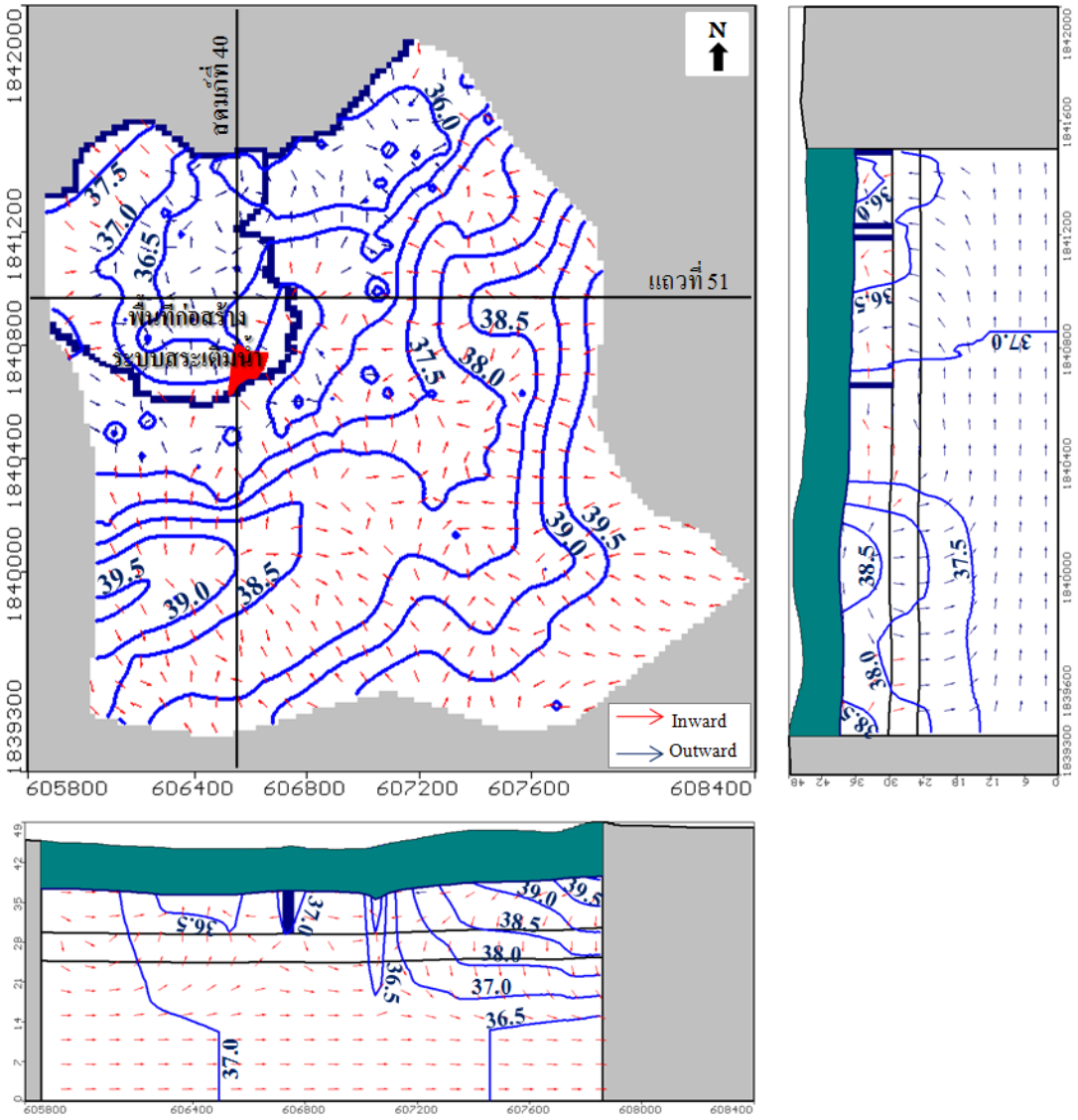
(6.3) ผลการจำลองเพื่อคาดคะเนรูปแบบการไหลและสมดุลน้ำ ระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ. 2553-2563) พบว่ารูปแบบการไหลของน้ำบาดาลยังคงสอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ ระบบน้ำบาดาลขาดดุลประมาณ 2.30 ล้าน ระดับน้ำบาดาลลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4-60 และรูปที่ 4-61

ตารางที่ 4-32 ผลการจำลองสมดุลน้ำบาดาลในรอบหนึ่งปี

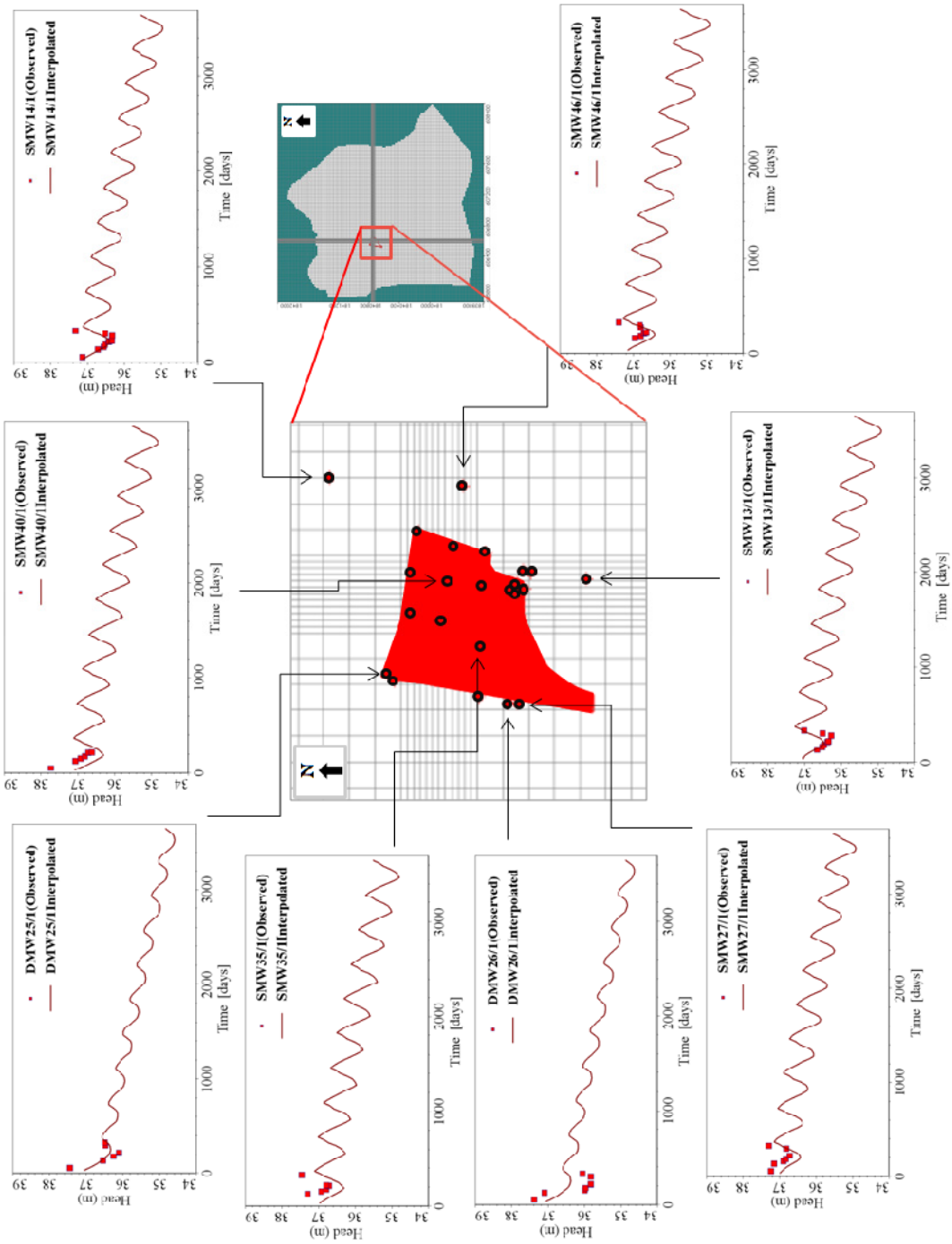
ปริมาณการไหลเข้า (ลบ.ม.)		ปริมาณการไหลออก (ลบ.ม.)	
ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ :	1,007,000	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล :	1,402,100
ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ :	166,566		
ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าในชั้นน้ำระดับลึก :	167,900	ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลออกจากชั้นน้ำระดับลึก :	167,900
รวม	1,341,466	รวม	1,570,000
ปริมาณการไหลเข้า - ปริมาณการไหลออกำ = -228,534 ลบ.ม. การลดลงของระดับน้ำบาดาล คำนวณจาก (ปริมาณการไหลเข้า – ปริมาณการไหลออก)/พื้นที่ศึกษา/Sy = (-228,534/4120000)/0.22 = -0.25 ม./ปี			



รูปที่ 4-59 ผลการจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาลพื้นที่นำร่องในระยะเวลา 1 ปี (พ.ศ.2553)



รูปที่ 4-60 ผลการจำลองเพื่อคาดคะเนรูปแบบการไหลของน้ำบาดาล
ในระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ.2553-2563)



รูปที่ 4-61 กราฟผลการจำลองเฟื่อคาดคะเนรูปแบบการไหลของน้ำบาดาลในระยะเวลา 10 ปี

บทที่ 5
การออกแบบและก่อสร้างระบบเติมน้ำ

พื้นที่นำร่องบ้านหนองนา ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก มีความเหมาะสมในการก่อสร้างระบบเติมน้ำนำร่องของโครงการ ทั้งในเชิงอุทกธรณีวิทยา แหล่งน้ำดิบ และการบริหารงานโดยรวม คณะที่ปรึกษาฯ ได้ทำการเช่าพื้นที่จากนางดอม มามี จำนวนพื้นที่ 8 ไร่ หรือ 12,800 ตร.ม. เป็นเวลา 5 ปี เพื่อพัฒนาเป็นระบบเติมน้ำผ่านสระเติมน้ำของโครงการ การออกแบบและก่อสร้างสระเติมน้ำประกอบด้วย ระบบผันน้ำดิบ ระบบบำบัดคุณภาพน้ำเบื้องต้น ระบบองค์ประกอบ ระบบเก็บข้อมูล ระบบติดตามตรวจสอบ และอาคารสำนักงานภาคสนาม ดังนี้

5.1 การทดลองการซึมของน้ำผ่านชั้นตะกอนและการอุดตัน

การทดลองการซึมของน้ำผ่านชั้นตะกอนและการอุดตันมีวัตถุประสงค์เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเติมน้ำผ่านระบบสระน้ำ และเพื่อกำหนดเกณฑ์คุณภาพน้ำที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการอุดตันที่อาจเกิดขึ้นในระบบการเติมน้ำ การดำเนินงานมีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 ขั้นตอนการทดลองการซึมและการอุดตัน

การทดลองการซึมและการอุดตันของการเติมน้ำผ่านระบบสระน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองหาพารามิเตอร์และเกณฑ์คุณภาพน้ำดิบที่เหมาะสม ซึ่งใช้ประกอบการออกแบบก่อสร้างระบบเติมน้ำและระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ การดำเนินงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (รูปที่ 5-1) ดังนี้

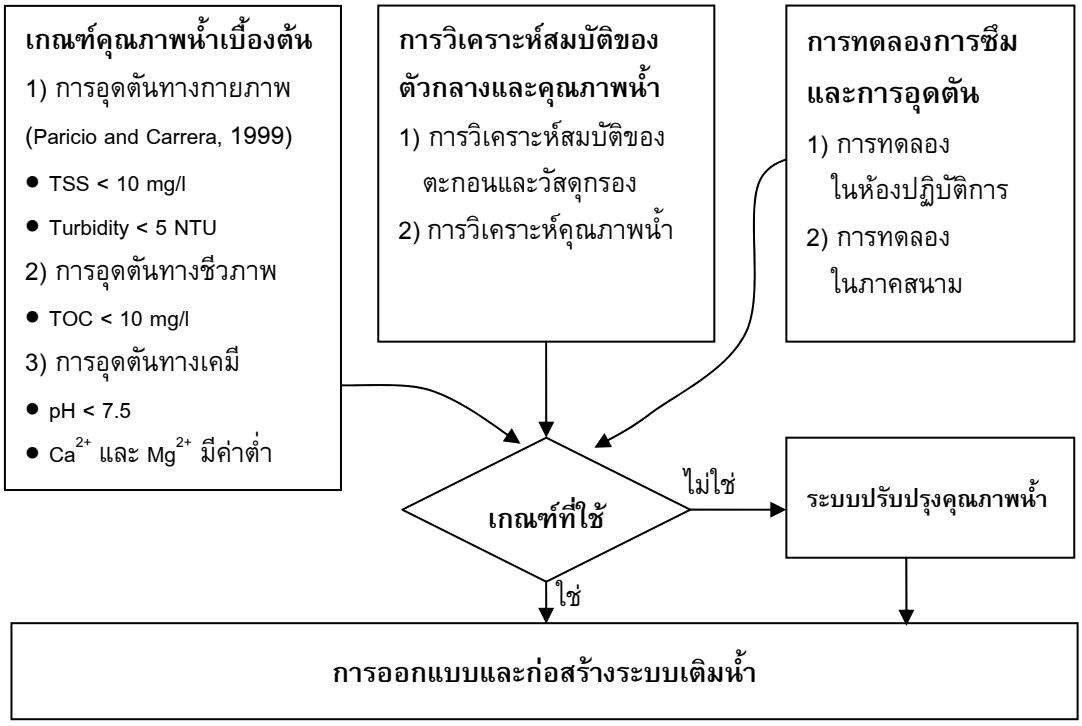
1) การวิเคราะห์สมบัติของตัวกลางและคุณภาพน้ำ ประกอบด้วย การวิเคราะห์คุณสมบัติของตะกอนและวัสดุกรอง และการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในบริเวณพื้นที่ทดลอง ได้แก่ คุณภาพน้ำดิบและน้ำบาดาล

2) การทดลองการซึมและการอุดตัน ประกอบด้วย การทดลองการซึมและการอุดตันในห้องปฏิบัติการ และในภาคสนาม

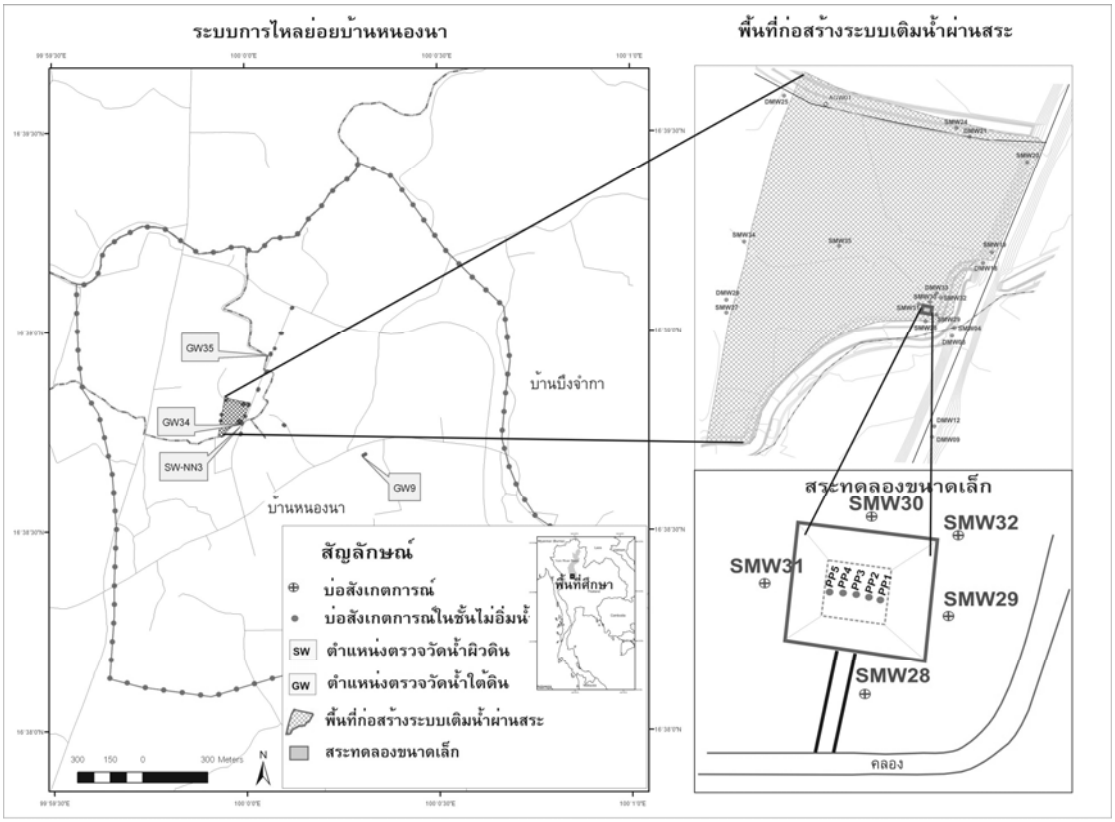
5.1.2 สภาพพื้นที่บริเวณก่อสร้างสระทดลองขนาดเล็ก

พื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำมีขนาด 8 ไร่ ตั้งอยู่ที่บ้านหนองนา ม. 8 ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก และพื้นที่ได้รับประโยชน์จากการเติมน้ำผ่านระบบสระน้ำเป็นพื้นที่นาในเขตบ้านหนองนา ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 4.12 ตร.กม. คณะที่ปรึกษาฯ ได้ดำเนินการรังวัดระดับภูมิประเทศ การเจาะบ่อสังเกตการณ์ และดำเนินการสูบทดสอบ

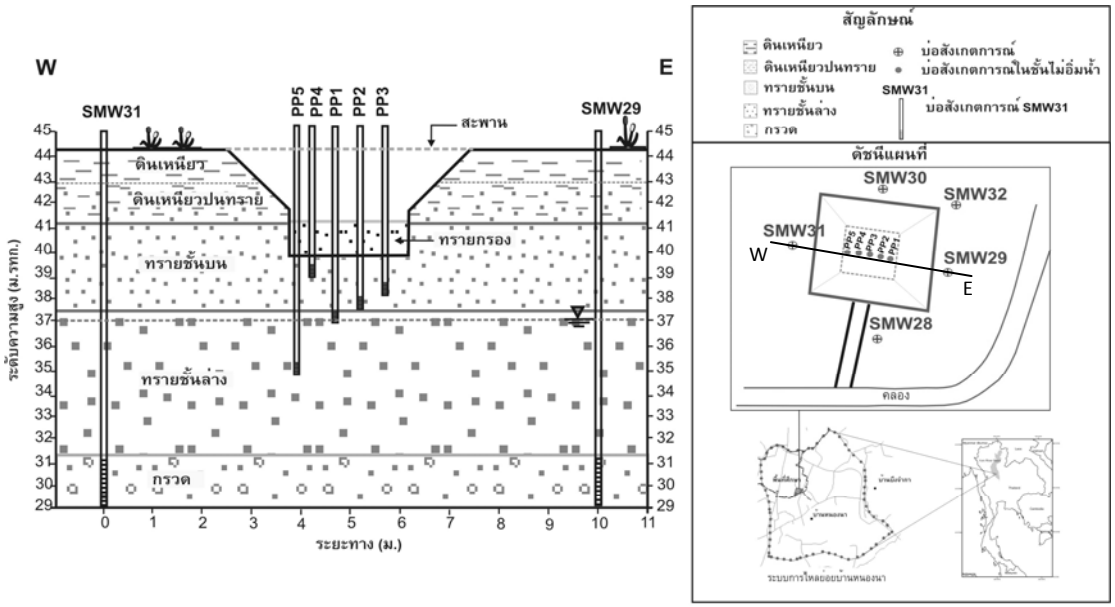
พื้นที่สระทดลองมีขนาด 25 ตร.ม. บริเวณทิศตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ (รูปที่ 5-2) รองรับด้วยตะกอนกรวดทรายและดินเหนียว ชั้นหินอุ้มน้ำบาดาลแบ่งเป็น 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้น เป็นตะกอนทรายขนาดละเอียดถึงหยาบ หนาประมาณ 10 ม. กั้นด้วยดินเหนียวมีความหนา 1-5 ม. และชั้นหินอุ้มน้ำระดับลึก เป็นตะกอนทรายขนาดปานกลางถึงหยาบ และกรวด แทรกสลับด้วยดินเหนียว (รูปที่ 5-3)



รูปที่ 5-1 ขั้นตอนการทดลองการซึมและการอุดตัน



รูปที่ 5-2 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์บริเวณสระทดลองขนาดเล็ก



รูปที่ 5-3 ภาพตัดขวางบริเวณสระทดลองขนาดเล็ก

5.1.3 คุณภาพน้ำผิวดินบริเวณพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ

เกณฑ์คุณภาพน้ำที่ใช้เติมเพื่อป้องกันปัญหาการอุดตัน ประกอบด้วย 1) การอุดตันทางกายภาพ มีค่าปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำ (total suspended solids, TSS) ไม่เกิน 10 มก./ล. และมีค่าความขุ่น (turbidity) ไม่เกิน 5 NTU 2) การอุดตันทางชีวภาพ มีค่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (total organic carbon, TOC) ไม่เกิน 10 มก./ล. และ 3) การอุดตันทางเคมี มีค่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไม่เกิน 7.5 และปริมาณธาตุแคลเซียม (Ca^{2+}) และธาตุแมกนีเซียม (Mg^{2+}) มีค่าต่ำ ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (total dissolved solids, TDS) มีค่าไม่เกิน 150 มก./ล. (Perez-Paricio and Carrera, 1999) ดังแสดงในรูปที่ 5-1

การเก็บวิเคราะห์คุณภาพน้ำผิวดินเมื่อวันที่ 24 ธันวาคม 2552 จำนวน 2 สถานี (หัวข้อ 4.3.1 และตารางที่ 4-27) ได้แก่ สถานี SW-NN3-1 บริเวณตอนกลางของคลองระบายน้ำใกล้พื้นที่ก่อสร้าง และสถานี SW-NN3-2 บริเวณปลายคลองระบายน้ำใกล้จุดบรรจบกับคลองลานบ้า โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่อาจมีผลกระทบต่อการอุดตันทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ดังนี้

1) คุณภาพของน้ำทางกายภาพ ขนาดอนุภาคตะกอนในน้ำของสถานี SW-NN3-1 และสถานี SW-NN3-2 มีสัดส่วนขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 30 ไมครอน) : ปานกลาง (1-30 ไมครอน) : เล็ก (ไม่เกิน 1 ไมครอน) ตามเกณฑ์ของ Perez-Paricio and Carrera (1999) มีขนาดอนุภาพเป็น 3:37:60 และ 8:32:60 ตามลำดับ ปริมาณตะกอนในน้ำผิวดินมีค่าสูงกว่าเกณฑ์แนะนำเบื้องต้น (TSS < 10 มก./ล. และความขุ่น < 5 NTU) คาดว่าจะเกิดการอุดตันทางกายภาพ ดังนั้นต้องมีการออกแบบระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบก่อนการเติมน้ำ

2) คุณภาพของน้ำทางเคมี ประกอบด้วย ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณธาตุแคลเซียม และธาตุแมกนีเซียม มีค่าอยู่ในเกณฑ์แนะนำเบื้องต้น ยกเว้นปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่แนะนำเบื้องต้น (TDS < 150 มก./ล.)

3) คุณภาพของน้ำทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด มีค่าสูงกว่าเกณฑ์แนะนำเบื้องต้น (TOC < 10 มก./ล.)

5.1.4 คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนและวัสดุกรอง

คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนและวัสดุกรองสามารถวิเคราะห์ได้จากการกระจายขนาดเม็ดดิน ตามมาตรฐาน ASTM D-222 ด้วยวิธี Sieve analysis และวิธี Hydrometer และการบอกลักษณะการกระจายขนาดเม็ดดิน ตามมาตรฐาน ASTM D-2487 ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Coefficient of uniformity, C_u) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (5-1)

$$C_u = D_{60}/D_{10} \quad (5\text{-}1)$$

เมื่อ D_{60} คือ ขนาดของเม็ดดินที่เล็กกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักดินทั้งหมด

D_{10} คือ ขนาดของเม็ดดินที่เล็กกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักดินทั้งหมด

ถ้าค่า C_u น้อยกว่า 4.0 ดินมีลักษณะการกระจายขนาดเม็ดดินแบบสม่ำเสมอ (uniform soil) และถ้าค่า C_u มากกว่าหรือเท่ากับ 4.0 ดินมีลักษณะการกระจายขนาดเม็ดดินแบบคละกันดี (well graded soil)

1) คุณสมบัติของตะกอนใต้สระทดลอง สระทดลองมีขนาดกว้าง x ยาว x ลึก เท่ากับ 5 ม. X 5 ม. X 3.5 ม. การเก็บตะกอนทรายใต้สระทดลอง เก็บที่ความลึก 0.9, 1.6, 2.2 และ 2.8 ม. จากพื้นสระ มาวิเคราะห์การกระจายขนาดเม็ดดิน พบว่า ตะกอนทรายชั้นบน ความลึก 0.0-2.2 ม. จากพื้นสระ ขนาดเม็ดดินที่เล็กกว่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักดินทั้งหมดหรือขนาดเม็ดดินเฉลี่ย (D_{50}) เท่ากับ 0.34 มม. มีการกระจายขนาดเม็ดดินแบบสม่ำเสมอ ส่วนตะกอนทรายชั้นล่าง ที่ความลึก 2.2–2.8 ม. จากพื้นสระ มีขนาดเม็ดดินเฉลี่ย 0.49 มม. มีการกระจายขนาดเม็ดดินแบบสม่ำเสมอ

2) คุณสมบัติของทรายกรอง (sand filter) ที่ใช้เพื่อป้องกันการอุดตันในชั้นหินอุ้มน้ำ ควรมีขนาดเม็ดดินน้อยกว่าหรือเท่ากับขนาดตะกอนของชั้นหินอุ้มน้ำใต้สระเติมน้ำ (Fowler, 1995) ดังนั้นขนาดทรายกรองที่เหมาะสมต้องมีขนาดไม่เกิน 0.34 มม.

3) คุณสมบัติของวัสดุกรองสังเคราะห์ ที่ใช้กรองตะกอนแขวนลอยในน้ำดิบและป้องกันการพังของสระเป็น Polyfelt รุ่น TS 30 มีขนาดช่องว่างใช้งาน (effective opening size, O_{90}) ขนาด 0.10 มม. อัตราการไหลในแนวดิ่ง 100 มม./วินาที มีความกว้าง 4 ม. ความยาวสูงสุด 225 ม. และมีน้ำหนักเบา (0.17 กก./ตร.ม.)

5.1.5 การทดลองการซึมและการอุดตันในห้องปฏิบัติการ

การทดลองการซึมและการอุดตันในห้องปฏิบัติการดำเนินการช่วง 3-7 มี.ค. 53 มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเติมน้ำผ่านระบบสระน้ำ ซึ่งนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้ประกอบการออกแบบก่อสร้างระบบเติมน้ำผ่านสระ และใช้ประกอบการจัดการเติมน้ำในสระทดลองขนาดใหญ่ต่อไป ซึ่งการทดลองในห้องปฏิบัติการ แบ่งเป็น 2 กรณี (Pavelic et al., 2003) ได้แก่ กรณีน้ำดิบมีความขุ่นน้อย และความขุ่นที่แตกต่างกัน การทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นการทดลองความ

ขุ่นเดียว และความขุ่นที่แตกต่างกัน และการทดลองระยะที่ 2 ซึ่งเป็นการทดลองที่มีรายละเอียดมากขึ้น

1) การทดลองระยะที่ 1 มีวัตถุประสงค์ เพื่อทำการทดสอบการซึมและการอุดตันเบื้องต้น เป็นการทดลองอย่างง่าย โดยทำการทดสอบในดิน 1 ชนิด และทดลองกับน้ำที่มีความขุ่นน้อย ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองนี้ คือ อัตราการซึมสูงสุดของดินแต่ละชนิด จากนั้นจึงนำแท่งตัวอย่างดินไปใช้ในการทดลองระยะที่ 2 ต่อไป

(1.1) เก็บตัวอย่างดินจากภาคสนาม ที่ระดับความลึกแตกต่างกัน จำนวน 3 ชนิด ประกอบด้วย ทรายชั้นบน (0.0-2.2 ม. จากพื้นสระ) ทรายชั้นล่าง (2.2-2.8 ม. จากพื้นสระ) และทรายกรอง

(1.2) ตรวจวัดกระจายตัวของขนาดอนุภาค (particles size distribution, PSD) ก่อนทำการทดลอง

(1.3) การเตรียมแท่งตัวอย่างดิน (soil column) โดยใช้ท่อพลาสติกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. (4 นิ้ว) ความยาว 65 ซม. เจาะรูด้านข้างกระบอก ขนาด 3/8 นิ้วแล้วติดตั้งสายยางใสที่ 3 ระดับ เพื่อวัดเฮดของน้ำในแท่งตัวอย่างดิน ด้านล่างใส่ผ้ากรองเพื่อป้องกันดินร่วง และติดตั้งช่องทางน้ำไหลออกขนาด 3/8 นิ้ว (รูปที่ 5-4)



(ก) การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง



(ข) การวัดความขุ่นของน้ำ

รูปที่ 5-4 การการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองและการวัดความขุ่นในห้องปฏิบัติการ

(1.4) บรรจุดินแต่ละชนิด ใส่ท่อพลาสติกใส ให้ได้ความหนาประมาณ 10 ซม. จำนวน 6 แท่ง ได้แก่ ตะกอนทรายระดับตื้น จำนวน 2 แท่ง ตะกอนทรายระดับลึก จำนวน 2 แท่ง และทรายกรอง จำนวน 2 แท่ง

(1.5) ทดสอบการซึมเบื้องต้นโดยใช้น้ำสะอาดหรือน้ำที่มีความขุ่นน้อย โดยควบคุมระดับน้ำให้คงที่ตลอดการทดลอง สูงกว่าระดับผิวดิน 0.1 ม.

(1.6) พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดขณะทดลอง ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากแท่งตัวอย่างดิน เฮด ความขุ่น และอุณหภูมิ

2) การทดลองกรณีที่ 2 มีวัตถุประสงค์ เพื่อทดลองการซึมและการอุดตันกรณีน้ำดิบมีความขุ่นที่แตกต่างกัน และใช้แท่งตัวอย่างดิน จากการทดลองในระยะที่ 1 ซึ่งมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้ 1) เงื่อนไขการทดลอง ได้แก่ ควบคุมความขุ่นของน้ำที่ไหลเข้า และระดับน้ำคงที่ และ 2) พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดขณะทำการทดลอง ประกอบด้วย ปริมาณน้ำไหลออก เฮด ความขุ่นของน้ำไหลออก และอุณหภูมิ

3) ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ วันที่ 3-7 มีนาคม 2553 ซึ่งดำเนินการ ได้ทำการทดลองกับตัวกลาง 3 ชนิด ได้แก่ ทรายกรอง ทรายชั้นบน และทรายชั้นล่าง น้ำดิบมีความขุ่น 0.5 NTU และ ความขุ่น □100 NTU และควบคุมระดับน้ำให้สูงกว่าระดับพื้นผิว 0.1 เมตร จากการทดลองพบว่า กรณีน้ำใส (0.5 NTU) อัตราการซึมของทรายกรอง ทรายชั้นบน และทรายชั้นล่าง มีค่า 18.0, 1.3 และ 10.8 ม./วัน ตามลำดับ และกรณีน้ำขุ่น (100 NTU) อัตราการซึมของทรายกรอง ทรายชั้นบน และทรายชั้นล่าง มีค่า 4.8, 0.05 และ 2.4 ม./วัน ตามลำดับ ดังตารางที่ 5-4 และรูปที่ 5-5

การหาค่าอัตราการซึมเฉลี่ย (qavg) ของตัวกลางทั้ง 3 ชนิด ซึ่งในพื้นที่จริงอยู่ติดกัน คำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยแบบฮาร์โมนิก (Freeze and Cherry, 1979) ดังสมการ (5-2)

$$q_{avg} = \sum_{i=1}^{n} d_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{q_i} \qquad (5\text{-}2)$$

เมื่อ q_i คือ อัตราการซึมสุดท้าย และ คือ d_i ความหนาของตัวกลาง

ผลการคำนวณ พบว่า อัตราการซึมเฉลี่ยในกรณีน้ำใสและกรณีน้ำขุ่น มีค่า 3.27 และ 0.15 ม./วัน ตามลำดับ (ดังตารางที่ 5-1 และรูปที่ 5-3)

5.1.6 การทดลองการซึมและการอุดตันในภาคสนาม

การทดลองการซึมผ่านของน้ำและการอุดตันในภาคสนาม เพื่อทดสอบพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเติมน้ำผ่านระบบสระน้ำ และเพื่อกำหนดเกณฑ์คุณภาพน้ำดิบ แล้วนำผลการทดลองไปใช้ในการออกแบบการก่อสร้างในสระทดลองเติมน้ำขนาดใหญ่ต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

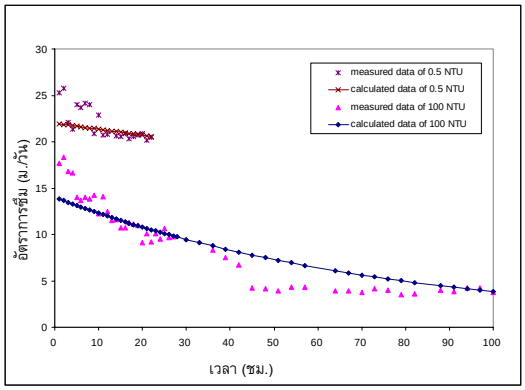
1) สภาพพื้นที่บริเวณสระทดลองขนาดเล็กและการติดตั้งเครื่องมือ สระทดลองขนาดเล็ก ซึ่งมีความกว้าง 5.0 ม. ความยาว 5.0 ม. และความลึก 3.5 ม. ความลาดชัน 2.8 ต่อ 1.0 พื้นสระทดลองมีพื้นที่ขนาด 13.29 ตร.ม. และได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือในการตรวจ วัดระดับและคุณภาพน้ำ ได้แก่ ภูมิอากาศ น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน (ดังตารางที่ 5-2) ดังนี้

(1.1) อุปกรณ์และเครื่องมือในการตรวจวัดภูมิอากาศ ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือได้แก่ เครื่องวัดน้ำฝน และถาดวัดการระเหย

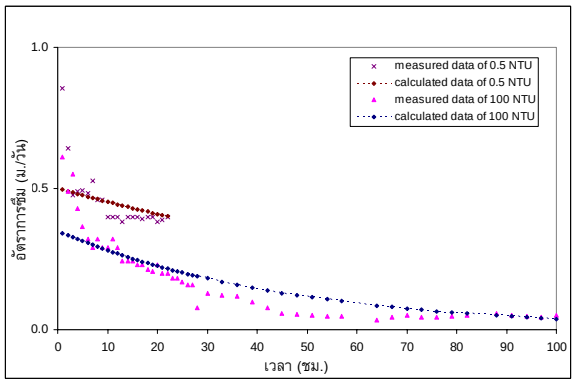
(1.2) อุปกรณ์และเครื่องมือในการตรวจวัดน้ำผิวดิน ประกอบด้วย ประตูน้ำสำหรับควบคุมการไหลของน้ำเข้าสระ ฝายรูปตัววี ซึ่งวัดอัตราการไหลของน้ำเข้าสระ ไม้ระดับ น้ำในสระ เครื่องวัดคุณภาพน้ำ (ความนำไฟฟ้า ,ความเป็นกรด-ด่าง ,อุณหภูมิ)

ตารางที่ 5-1 อัตราการซึมจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

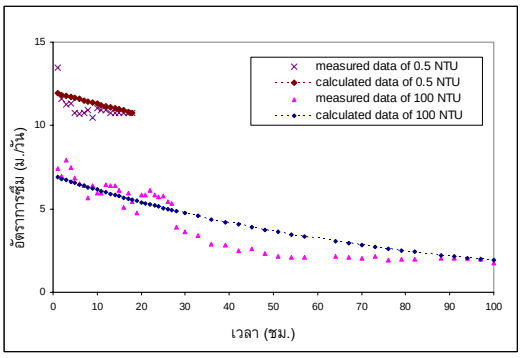
คุณภาพน้ำ	อัตราการซึมของตัวกลาง (ม./วัน)			
	ทรายกรอง	ทรายชั้นบน	ทรายชั้นล่าง	ค่าเฉลี่ย
1. น้ำใส (0.5 NTU)	18.0	1.3	10.8	3.27
2. น้ำขุ่น (100 NTU)	4.8	0.05	2.4	0.15



(ก) ทรายกรอง



(ข) ทรายชั้นบน



(ค) ทรายชั้นล่าง

รูปที่ 5-5 อัตราการซึมจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

(3) บ่อสังเกตการณ์ซึ่งมีความลึก และระยะห่างจากสระทดลองขนาดเล็กต่างๆ กัน (รูปที่ 5-2 และ 5-3) ดังนี้

(3.1) บ่อสังเกตการณ์ใต้สระทดลอง เพื่อวัดระดับน้ำใต้ดินในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ เป็นท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 5 บ่อ ได้แก่ PP1, PP2, PP3, PP4 และ PP5

(3.2) บ่อสังเกตการณ์รอบสระทดลองในระยะใกล้ อยู่ห่างจากสระทดลองไม่เกิน 2 ม. เป็นท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ความลึก 12-13 ม. ระยะท่อกรอง 2 ม. จำนวน 5 บ่อ ได้แก่ SMW28, SMW29, SMW30, SMW31 และ SMW32

(3.3) บ่อสังเกตการณ์รอบสระทดลองในระยะกลาง อยู่ห่างจากสระทดลองระหว่าง 2-20 ม. เป็นท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว ความลึก 12-14 ม. ระยะท่อกรอง 2 ม. จำนวน 3 บ่อ ได้แก่ SMW4, SMW20 และ SMW35

(3.4) บ่อสังเกตการณ์รอบสระทดลองในระยะไกล อยู่ห่างจากสระทดลองระหว่าง 20-100 ม. เป็นท่อพีวีซีขนาด 2 นิ้ว ความลึก 12-19 ม. ระยะท่อกรอง 2 ม. จำนวน 5 บ่อ ได้แก่ SMW13, SMW19, SMW24, SMW27 และ SMW34

ตารางที่ 5-2 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือของสระทดลอง

ลำดับ	อุปกรณ์/เครื่องมือ	จำนวน	พารามิเตอร์ที่วัด
ภูมิอากาศ			
1	เครื่องวัดน้ำฝน	1	ปริมาณฝน
2	ถาดวัดการระเหย	1	ปริมาณการระเหย
น้ำผิวดิน			
1	ประตูน้ำ	1	ควบคุมการไหลของน้ำเข้าสระ
2	ฝายรูปตัววี	1	อัตราการไหลของน้ำเข้าสระ
3	ไม้ระดับ	1	ระดับน้ำในสระ
4	เครื่องวัดคุณภาพน้ำ	1	คุณภาพน้ำของน้ำช่วงที่ทำการเติมน้ำ
น้ำใต้ดิน			
1	บ่อสังเกตการณ์ใต้สระทดลอง	5	ระดับน้ำใต้ดินในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ความลึก 0.9, 1.6, 2.2, 2.8 และ 3.8 เมตร (บ่อ PP1, PP2, PP3, PP4 และ PP5)
2	บ่อสังเกตการณ์รอบสระทดลองในระยะใกล้	5	ระดับน้ำใต้ดินในระดับตื้น ความลึกบ่อ 12-13 เมตร (SMW28, SMW29, SMW30, SMW31 และ SMW32)
3	บ่อสังเกตการณ์รอบสระทดลองในระยะกลาง	3	ระดับน้ำใต้ดินในระดับตื้น ความลึกบ่อ 12-14 เมตร (SMW4, SMW20 และ SMW35)
4	บ่อสังเกตการณ์รอบสระทดลองในระยะไกล	5	ระดับน้ำใต้ดินในระดับตื้น ความลึกบ่อ 12-19 เมตร (SMW13, SMW19, SMW24, SMW27 และ SMW34)



(ก) การขุดสระทดลอง



(ข) การติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ



(ค) วัสดุสังเคราะห์ในสระทดลอง



(ง) เครื่องมือวัดการไหลของน้ำ



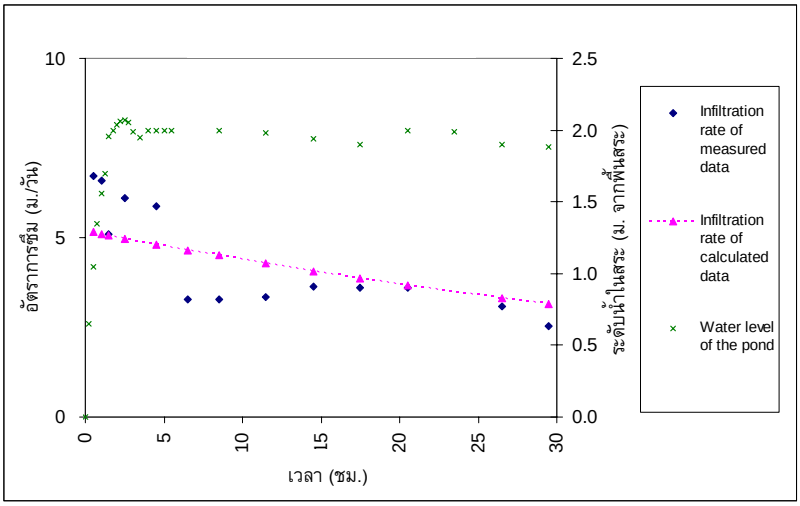
(จ) ถาดวัดการระเหยแบบ A



(ฉ) บ่อสังเกตการณ์ใต้สระทดลอง

รูปที่ 5-6 การสร้างสระทดลองขนาดเล็กและการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ

2) การทดลองการซึมและการอุดตันในสระทดลองขนาดเล็ก มีวัตถุประสงค์ เพื่อทำการทดสอบการซึมและการอุดตันกรณีน้ำดิบมีความขุ่นแตกต่างกัน พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดก่อนทำการทดลอง ประกอบด้วย ระดับน้ำใต้ดินเริ่มต้น คุณภาพน้ำผิวดิน เงื่อนไขการทดลอง ได้แก่ ระดับน้ำคงที่และคุณภาพน้ำมีความขุ่นน้อย พารามิเตอร์ที่ต้องทำการวัดขณะดำเนินการทดลอง ประกอบด้วย ข้อมูล ปริมาณฝน การระเหย อัตราการไหลเข้าสระทดลอง ระดับน้ำในสระทดลอง ความขุ่น และระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งดำเนินการวันที่ 22-23 ก.พ. 53 ระยะเวลาในการทดลอง 30 ชม. น้ำดิบมีความขุ่นอยู่ 43-59 NTU (ค่าเฉลี่ย 51NTU) และควบคุมระดับน้ำในสระทดลองที่ระดับ 2.00 ม.จากพื้นสระ ผลการทดลอง พบว่า ปริมาณน้ำที่เติมได้ทั้งหมด 52 ลบ.ม. อัตราการซึมมีค่าอยู่ระหว่าง 2.53-5.20 ม./วัน (ดังรูปที่ 5-7)



รูปที่ 5-7 อัตราการซึมจากการทดลองในภาคสนาม

5.1.7 ผลการทดลองการซึมและการอุดตัน

ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ กรณีน้ำที่มีความขุ่นน้อย (0.5 NTU) และกรณีน้ำที่มีความขุ่นมาก (100 NTU) ระยะเวลาในการทดลอง 100 ชม. มีค่าอัตราการซึมสุดท้าย 3.27 และ 0.15 ม./วัน ตามลำดับ และจากการทดลองในสระทดลองขนาดเล็ก กรณีน้ำดิบมีความขุ่นปานกลาง (51.2 NTU) ระยะเวลาในการทดลอง 30 ชม. มีค่าอัตราการซึมสุดท้าย 2.53 ม./วันซึ่งจากการทดลองยังไม่พบการอุดตัน

การนำผลการทดลองที่ได้จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและในสระทดลองขนาดเล็กไปใช้ในการทดลองเติมน้ำในสระทดลองขนาดใหญ่ ควรทำการทดลองในระยะเวลาที่ยาวขึ้น และควรควบคุมคุณภาพของน้ำที่ใช้เติมให้มีค่าความขุ่นประมาณ 50 NTU เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตัน ซึ่งแหล่งน้ำดิบจากคลองระบายน้ำมีค่าเปลี่ยนแปลงสูง ดังนั้นควรมีระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

5.2 การออกแบบระบบเติมน้ำ

การออกแบบระบบเติมน้ำประกอบด้วย การออกแบบระบบผันน้ำดิบ ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ อาคารและระบบควบคุม ระบบวัดอัตราการเติมน้ำ และการบำรุงรักษา การออกแบบระบบเติมน้ำต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านการเดินระบบ และการบำรุงรักษา การใช้ประโยชน์ คุณภาพน้ำดิบที่ใช้เติมน้ำ และการออกแบบ ดังตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบและเดินระบบเติมน้ำผ่านระบบสระ

รายการ	ต้องคำนึงถึงระดับสูง	ต้องคำนึงถึงระดับปานกลาง
1) การเดินระบบและการบำรุงรักษา	• ความปลอดภัย • เทคนิคและระบบการทำงานที่เหมาะสมที่สุด • ความถี่และวิธีการทำความสะอาดสระเติมน้ำ • วัสดุกรองพื้นสระ	• การรักษาความปลอดภัย • ระดับน้ำใต้ดินระดับตื้น
2) การใช้ประโยชน์	• อัตราการเติมน้ำ • ตารางเวลาการเติมน้ำ	• ความร่วมมือกับสาธารณะ หรือประชาชนในท้องถิ่น
3) คุณภาพน้ำดิบที่ใช้เติมน้ำ	• อนุภาคแขวนลอย • การอุดตันจากจุลชีพ • การเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ • ผลกระทบต่อชั้นน้ำบาดาลจากน้ำที่เติม	• คุณภาพทางเคมี • อุณหภูมิ • แมลง • โรคที่อาจเกิดขึ้น
4) การออกแบบ	• รูปร่าง ความลึก ความลาดชันด้านข้าง • วัสดุกรองพื้นสระ	• สภาพชุมชนโดยรวม ชุมชนและเมืองของพื้นที่บริเวณโดยรอบ • ราคาต่อการเพิ่มปริมาณการเติมน้ำ • ผลต่อสภาพภูมิทัศน์

(ดัดแปลงจาก Fowler, 1996)

แนวคิดในการออกแบบยึดหลักเกณฑ์ที่ว่าระบบของงานสามารถจัดการได้โดยง่าย ไม่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเกินไป ต้องมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในระยะยาว และสามารถขยายขนาดโครงการในลักษณะเดียวกันในอนาคต

5.2.1 การออกแบบระบบผันน้ำดิบ

แหล่งน้ำดิบที่ใช้เพื่อการเติมน้ำผ่านสระของโครงการนี้เป็นน้ำจากคลองระบายน้ำ ซึ่งระบายจากพื้นที่เกษตรกรรมในบริเวณบ้านหนองนา ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก รวมพื้นที่รับน้ำประมาณ 6.54 ตร.กม. มีปริมาณน้ำที่คาดว่าจะใช้ได้ในช่วงฤดูฝนประมาณ 750,000 ลบ.ม. ทำการผันน้ำผ่านประตูควบคุม (controled valve) ที่ออกแบบให้มีขนาดที่ผันน้ำได้ในช่วง 1-200 ลบ.ม./ชม. โดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลกและผันน้ำเข้าสู่บึงประดิษฐ์ เพื่อประสิทธิภาพในการกักเก็บตะกอน

5.2.2 การออกแบบระบบการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

ระบบตกตะกอนและบำบัดคุณภาพน้ำเบื้องต้นออกแบบเพื่อป้องกันการอุดตันที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการเติมน้ำ ได้แก่ การอุดตันทางกายภาพ ทางชีวภาพ และทางเคมี ที่รองรับการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของเกษตรกรได้ พารามิเตอร์ที่สำคัญ

ประกอบด้วย ความขุ่น ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมด ปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช โดยเฉพาะความขุ่นซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการอุดตันทางกายภาพของระบบเติมน้ำ การออกแบบระบบป้องกันการอุดตันของการเติมน้ำมีทางเลือกหลายวิธี โดยเฉพาะการป้องกันการอุดตันทางกายภาพ ได้แก่ ระบบตกตะกอนด้วยสารเคมี (coagulation/flocculation) ระบบกรอง (filtration) โดยใช้ทรายกรองและวัสดุกรองสังเคราะห์ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การกรองในระบบบำบัดคุณภาพน้ำเบื้องต้น และการกรองผ่านระบบกรองพื้นสระ (in-situ method) ระบบสระตกตะกอน (settling pond) และระบบบึงประดิษฐ์ (constructed wetland) การบำบัดคุณภาพน้ำดิบเบื้องต้นต้องดำเนินการก่อนนำน้ำเข้าสู่กระบวนการเติมสู่ชั้นน้ำใต้ดิน เพื่อความมั่นใจว่าสระเติมน้ำจะสามารถเติมน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีใช้งานได้อย่างยั่งยืน และสิ่งปนเปื้อนในน้ำจะถูกกำจัดก่อนที่จะถูกเติมลงไปสู่ระบบน้ำบาดาล

จากการศึกษาทดลองครั้งนี้ คณะที่ปรึกษาและคณะทำงานของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลมีแนวคิดสอดคล้องกันว่าควรทำการออกแบบระบบให้สามารถดูแลง่ายและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ อีกทั้งยังต้องการให้เป็นเทคนิคที่เกษตรกรสามารถดูแลได้อย่างยั่งยืน คณะที่ปรึกษาจึงเลือกใช้ระบบการกรองในที่ (ดูรายละเอียด หัวข้อ 5.2.3 การออกแบบเติมสระ) ร่วมกับการใช้บึงประดิษฐ์ในการลดปริมาณตะกอนดินและสารเคมีในน้ำดิบ ที่จะมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบน้อยกว่าและมีการดูแลรักษาระบบง่ายกว่าการใช้สารเคมีและระบบกรองทั่วไป ตารางที่ 5-4 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบบำบัดคุณภาพน้ำเบื้องต้นที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเบื้องต้นก่อนเติมสู่ระบบเติมน้ำใต้ดินผ่านสระ โดยการเปรียบเทียบด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 5-4 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของระบบบำบัดคุณภาพน้ำเบื้องต้น

วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อเสนอแนะ
1. การตกตะกอนด้วยสารเคมี	- มีประสิทธิภาพสูง - ใช้พื้นที่น้อย	- มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบสูงมาก - ดูแลรักษายาก ใช้เทคนิคที่ซับซ้อน	ไม่เหมาะสม
2. การกรอง	- มีประสิทธิภาพสูง - เลือกวิธีการที่เหมาะสมกับความขุ่นและขนาดอนุภาคได้หลากหลาย - ใช้พื้นที่น้อย	- มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและดูแลรักษา - กรองเฉพาะอนุภาคที่อาจก่อให้เกิดการอุดตันทางกายภาพ	ไม่เหมาะสม
3. สระตกตะกอน	- มีค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาต่ำ	- ประสิทธิภาพต่ำ ไม่สามารถตกตะกอนขนาดเล็กได้ในเวลาที่ต้องการได้ - ใช้พื้นที่มาก	ไม่เหมาะสม
4. บึงประดิษฐ์	- สามารถตกตะกอนดินและสารเคมีประเภทปุ๋ยและสารอื่นๆ ที่อาจก่อให้เกิดการอุดตันทางชีวภาพได้ - มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำมาก - ดูแลรักษาง่ายและมีรอบเวรการดูแลรักษาไม่ถี่มาก	- ใช้พื้นที่มาก	เหมาะสม

(ที่มา: Pérez-Paricio and Carrera, 1999; Braskerud, 2002)

บึงประดิษฐ์ถูกเลือกเพื่อใช้ในการดำเนินการครั้งนี้เนื่องจาก หลักการสำคัญในการออกแบบอยู่บนพื้นฐานที่ว่าเทคโนโลยีที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ต้องเหมาะสมกับพื้นที่และสามารถขยายขนาดของโครงการได้อย่างมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในอนาคต บึงประดิษฐ์เป็นระบบที่ไม่ต้องมีการดำเนินการมาก ราคาถูก และเป็นวิธีการที่เหมาะสม สำหรับการบำบัดน้ำดิบที่มาจากพื้นที่เกษตรกรรม การไหลนองจากพื้นที่เมือง และน้ำเสีย รูปแบบอื่นของการบำบัดน้ำเสียถูกนำมาพิจารณาเลือกใช้เช่นกันแต่เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการพัฒนาและดำเนินการระบบสูงมาก ซึ่งอาจไม่คุ้มค่าต่อการนำไปใช้งานจริง การบำบัดโดยวิธีการต่างๆ เช่น coagulation-sedimentation, การกรอง, nitrification, denitrification, phosphorus removal, sorption on granular activated carbon, reverse osmosis และ disinfection จะช่วยให้ได้คุณภาพน้ำที่ดีแต่จะมีค่าใช้จ่ายสูงมาก จึงไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในระบบเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรกรรม

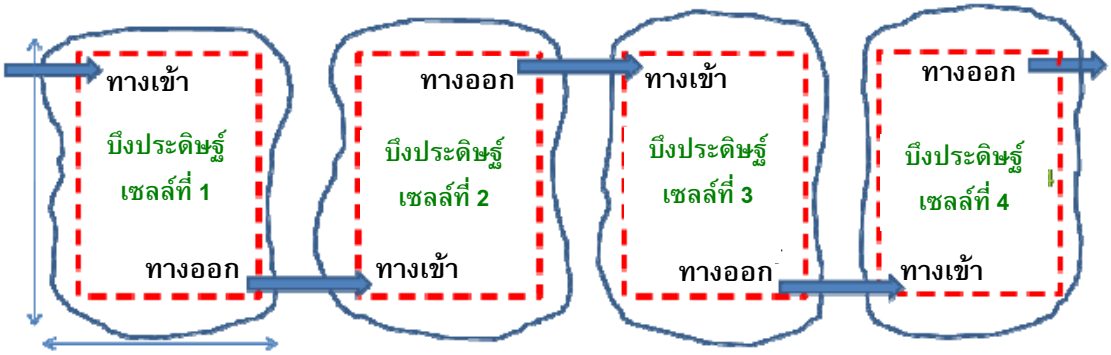
บึงประดิษฐ์ทำหน้าที่โดยใช้กระบวนการทางธรรมชาติ ไม่ต้องใช้สารเคมีและพลังงาน เป็นระบบที่มีความเหมาะสมกับโครงการที่มีพื้นที่ขนาดเพียงพอ มีข้อมูลมากมายในปัจจุบันที่แสดงถึงกระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำโดยใช้บึงประดิษฐ์ (เช่น Hammer, 1989 และ Bavor and Mitchell, 1994) กระบวนการหลักคือ การตกตะกอน การดูดซับโดยพืชและสาหร่าย การดูดซับในตะกอนกันบึง การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในน้ำและตะกอน การกรองผ่านพืชที่ตายแล้ว และการกรองผ่านตะกอน

คุณภาพน้ำที่ได้จากบึงประดิษฐ์หรือสระขึ้นอยู่กับการออกแบบที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพการทำงานของระบบเรียกว่าค่าประสิทธิภาพการกำจัด การลดลงของความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำที่ไหลเข้าและออก คิดเป็นร้อยละของน้ำเข้า ค่าประสิทธิภาพการกำจัด มีค่าแตกต่างกันในแต่ละระบบ สำหรับค่าการกำจัดตะกอนแขวนลอยในประเทศออสเตรเลียมีค่าร้อยละ 20 ถึง 98 (Dillon and Pavelic, 1996) ปัจจัยที่มีผลต่อระบบมีหลายปัจจัยและยากที่จะระบุให้ชัดเจนได้ในเชิงปริมาณ รวมทั้ง ฤดูกาล เหตุการณ์ต่างๆ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลเข้าและคุณภาพน้ำตั้งต้น ช่วงของเวลาหน่วงน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลเข้า และการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลที่มีผลต่อพืชในบึงประดิษฐ์ แม้ว่าผลการศึกษาวิจัยในอดีตแสดงให้เห็นว่ามีความไม่แน่นอนของประสิทธิภาพของระบบ แต่ก็มีการวิจัยในช่วงปัจจุบันที่แสดงให้เห็นว่าการออกแบบที่เหมาะสม การจัดการบึงประดิษฐ์และสระเติมน้ำ สามารถให้อัตราการกำจัดที่มีประสิทธิภาพในช่วงค่าของสารปนเปื้อนที่เหมาะสมได้ (Bavor and Mitchell, 1994) ซึ่งมีข้อที่ต้องพิจาณาดังนี้

1) กระบวนการอุดตันในสระเติมน้ำ การอุดตันที่เกิดโดยธรรมชาติ สามารถจัดการได้โดยการดูแลรักษาสระตามรอบเวรที่เหมาะสม การอุดตันระดับลึกของสระที่ไม่สามารถกู้คืนได้ต้องพยามหลีกเลี่ยงเพื่อความยั่งยืนของระบบการเติมน้ำ (Pérez-Paricio and Carrera, 1999) การอุดตันในชั้นดินตื้นใต้สระเกิดจากกระบวนการทางกายภาพ เคมี หรือเกิดจากจุลชีพ และผลการลดลงของอัตราการซึมตามเวลาต้องมีการทำความสะอาดเพื่อรักษาอัตราการซึมของสระตามรวบเวรโดยวิธีการต่างๆ (เช่น ไถ หรือพรวนดินพื้นสระ) การมีสารแขวนลอยจำนวนมากในน้ำดิบแสดงให้เห็นว่าแนวโน้มของการอุดตันเกิดจากกระบวนการทางกายภาพ อัตราการซึมแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำดิบ ตามฤดูกาล ประสิทธิภาพของระบบบำบัด การผันแปรของชนิดดิน และระบบการจัดการสระ

เติมน้ำ ความเข้าใจในกระบวนการอุดตันของดินสามารถศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรระหว่างช่วงของการศึกษาทดลองในสระเติมน้ำนำร่อง และได้ผลสรุปของแนวทางการจัดการที่ดีนำไปใช้ได้ต่อไป

2) การออกแบบ ก่อสร้าง และดูแลรักษา บึงประดิษฐ์สร้างขึ้นเพื่อบำบัดน้ำดิบให้มีคุณภาพเหมาะสมเพื่อให้เกิดการอุดตันของสระเติมน้ำน้อยที่สุด จากข้อมูลที่จำกัดมากด้านคุณภาพน้ำดิบและการเปลี่ยนแปลงที่มีมากตามเวลา (TDS มีค่าในช่วง 20 ถึง 365 มก./ล. ที่ตรวจวัดได้ในช่วงฤดูฝน,ข้อมูลโครงการ) ในทางปฏิบัติวิธีการที่นำเสนอโดยที่คุณภาพน้ำจะบำบัดโดยใช้เทคโนโลยีบึงประดิษฐ์และความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมทางชลศาสตร์ในสระและคุณภาพน้ำสำหรับการเติม (เช่น ปริมาณของแข็งแขวนลอย และสารอาหาร เป็นต้น) การได้รับการสนับสนุนจากการทดลองที่ดำเนินการไปพร้อมๆ กันในแท่งดิน การออกแบบบึงประดิษฐ์กำหนดให้แบ่งบึงประดิษฐ์ออกเป็นแบบอนุกรมของเซลล์การไหล 4 เซลล์ เพื่อให้มีค่าเวลาหน่วงน้ำให้มากที่สุดและทำให้มีการบำรุงรักษาง่ายที่สุด (รูปที่ 5-8) การออกแบบเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อกระบวนการชีวภาพในสภาพธรรมชาติ กระบวนการทางเคมีและกายภาพในการกำจัดการปนเปื้อนในน้ำดิบที่จะเกิดในระบบนิเวศวิทยาทางน้ำ



รูปที่ 5-8 ตัวอย่างบึงประดิษฐ์ 4 เซลล์ ที่ต่อกันแบบอนุกรม
(ดัดแปลงจาก Harrington et al., 2008)

3) หลักการสำคัญในการออกแบบ ก่อสร้าง และ บำรุงรักษา บึงประดิษฐ์ของโครงการมีรายละเอียด ดังนี้

(3.1) อนุกรมของการต่อเชื่อมระบบการไหลของบึงประดิษฐ์ก่อสร้างโดยให้แต่ละเซลล์มีขนาดประมาณ 1,000 ตร.ม.

(3.2) ดินพื้นสระบึงประดิษฐ์นั้นควรมีค่าความซึมได้ต่ำ เพื่อลดการซึมผ่านของน้ำจากบึงประดิษฐ์ ในการก่อสร้างอาจต้องมีการบดอัดดินพื้นสระบึงประดิษฐ์นี้ด้วย และควรใช้ดินที่ขุดมาใช้ในการปลูกพืช แทนการใช้กรวดเพื่อลดความซับซ้อนของการก่อสร้างและการดูแลรักษา

(3.3) ทางน้ำเข้าและออกในแต่ละเซลล์ต้องมีตำแหน่งที่ทำให้มีการไหลเป็นระยะทางไกลที่สุดเพื่อลดโอกาสที่น้ำจะไหลตรงไปทางออก หากจำเป็นสามารถสร้างเขื่อนขนาดเล็กในแต่ละเซลล์ได้ เพื่อความมั่นใจว่าจะไม่เกิดการไหลลัด (short-circuit flow)

(3.4) การไหลในบึงประดิษฐ์ควรเป็นการไหลด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ด้วยระดับที่แตกต่างกันของแต่ละเซลล์อย่างน้อย 0.1 ม. จนถึง 1.0 ม.

(3.5) ระดับน้ำในบึงประดิษฐ์ควรมีระดับสูงอย่างน้อย 0.3 ม. และมากขึ้นได้ถึง 0.6 ม. เพื่อให้มีการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เริ่มต้นที่อย่างน้อย 0.1 ถึง 0.2 ม. ระหว่างช่วงการเริ่มต้นปลูกพืช

(3.6) ในแต่ละเซลล์ควรปลูกพืชที่มีในท้องถิ่น และเป็นพืชที่โตเร็ว เช่น กก สามเหลี่ยม และพุทธรักษา เป็นต้น และต้องใช้เวลาในการปลูกและรอให้เจริญเติบโตประมาณ 1-2 เดือน

(3.7) ท่อนำน้ำเข้าและออกในแต่ละเซลล์ต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะป้องกันการอุดตัน

(3.8) ความสูงของขอบตลิ่งบึงประดิษฐ์ควรสูง 1 ม. หรือมากกว่าและความลาดชันตลิ่งต้องมีความลาดชันที่มีความมั่นคงเพื่อให้เข้าถึงพื้นที่ได้อย่างปลอดภัย

(3.9) จุดเข้าพื้นที่จะต้องมีการเตรียมไว้สำหรับการเข้าไปบำรุงรักษาและทำความสะอาดตะกอนที่ตกในบึงและพืชที่ตายในบึงประดิษฐ์ โดยการสะสมตัวของตะกอนจะเกิดมากที่สุดที่เซลล์แรก

การมีเวลาหน่วงน้ำสูงสุดในบึงประดิษฐ์ช่วยให้เกิดการตกตะกอนทางเคมีของของแข็งจากน้ำและส่งเสริมประสิทธิภาพของการต่อเชื่อมระหว่างน้ำและ water-cleansing biofilms ในโซนปลูกพืชที่ทางเข้าบึง (Bavor and Mitchell, 1994) โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาหน่วงน้ำของ cleansing reed-bed ที่ออกแบบเพื่อบำบัดน้ำฝนจากเขตเมืองซึ่งมีความขุ่น 14 NTU ให้ลดเหลือ 5 NTU ก่อนเข้าระบบ ASR ต้องใช้เวลาประมาณ 7 วัน (Page et al., 2006) ในโครงการนี้เนื่องจากน้ำที่ใช้การเติมผ่านสระไม่ต้องการคุณภาพดีมากเหมือนการเติมผ่านบ่อน้ำบาดาล (Bouwer, 2002) การออกแบบเวลาหน่วงน้ำจึงขึ้นอยู่กับการออกแบบการทดสอบและผลการทดสอบประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์

5.2.3 การออกแบบสระเติมน้ำ

สระเติมน้ำออกแบบให้มีขนาดประมาณ 1,600 ตร.ม. ตามข้อกำหนดการศึกษา โดยพิจารณาจากผลการสำรวจระดับความลึกถึงชั้นทรายของพื้นที่ที่คัดเลือก และออกแบบความลาดชันด้านข้างเพื่อความมั่นคง รายละเอียดและแบบแปลนการก่อสร้างแสดงในภาคผนวก ฌ สระเติมน้ำมีระบบกรองผ่านพื้นสระคือมีการติดตั้งวัสดุกรองสังเคราะห์ และทรายกรองพื้นสระ โดยเลือกทรายกรองให้มีขนาดเล็กกว่าทรายของชั้นหินอุ้มน้ำพื้นสระ และมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะสามารถกรองอนุภาคในน้ำดิบที่ผ่านการกรองจากระบบบำบัดเบื้องต้นและวัสดุสังเคราะห์ได้ประมาณ 1 ไมครอน และมีความขุ่นประมาณ 20-50 NTU ทั้งนี้วัสดุกรองสังเคราะห์ออกแบบให้มีการติดตั้งที่พื้นสระและทางลาดของสระด้วยเพื่อการกรองและการป้องกันการกัดเซาะจากคลื่นที่เกิดขึ้น สระเติมน้ำมีการควบคุมระดับการเติมน้ำที่ 2.0 ม. มีทางผันน้ำเข้าออกที่สามารถวัดปริมาณน้ำได้

5.2.4 การออกแบบอาคารสำนักงานสนามและระบบควบคุม

การออกแบบอาคารสำนักงานสนาม คำนึงถึงขนาดที่สามารถทำงานได้และมีองค์ประกอบเพียงพอที่เจ้าหน้าที่เดินระบบเติมน้ำต้องใช้งาน รวมถึงมีการออกแบบห้องประชุมขนาดเล็ก และพื้นที่แสดงข้อมูลสำหรับผู้สนใจศึกษาดูงานได้ และมีการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล ระบบควบคุมไฟฟ้า และห้องสุขาไว้ภายในอาคาร ดูรายละเอียดในแบบก่อสร้าง ในภาคผนวก ฌ

5.2.5 การออกแบบระบบตรวจวัดอัตราการเติมน้ำ

การวัดอัตราการเติมน้ำคำนวณจากสมดุลน้ำในสระเติมน้ำ โดยวัดองค์ประกอบต่างๆ ของสมดุลน้ำ ได้แก่ อัตราการซึม การระเหย ปริมาณฝน โดยวัดอัตราการเติมน้ำจากปริมาณการไหลเข้าระบบ ที่ผ่านระบบควบคุมปริมาณน้ำให้สมดุลกับอัตราการซึมและการระเหยให้มีค่าระดับน้ำในสระเติมน้ำคงที่ที่ 2.0 ม. ตลอดเวลา

5.2.6 การออกแบบระบบบำรุงรักษา

ระบบบำรุงรักษาประกอบด้วย ระบบการทำความสะอาดสระเติมน้ำ ระบบบำบัดน้ำเบื้องต้น และระบบติดตามตรวจสอบ ทั้ง 3 ระบบมีรายละเอียดของการบำรุงรักษา ดังนี้

1) การบำรุงรักษาระบบบำบัดแบบบึงประดิษฐ์ มีส่วนที่ต้องที่การดูแลรักษา 2 ส่วน คือ ความสมบูรณ์ของพืชในบึงประดิษฐ์และการทำความสะอาดท้องร่อง การตรวจสอบความสมบูรณ์ของพืชให้มีความหนาแน่นตามที่ออกแบบไว้ที่ 9 กอ/ตร.ม. หากมีพืชตายหรือเสียหายต้องทำการปลูกทดแทนทันที และหากพื้นท้องบึงมีความหนาตะกอนเกินกว่าค่าที่กำหนดคือ 0.25 ม. ต้องมีการขุดลอกทำความสะอาดระบบ

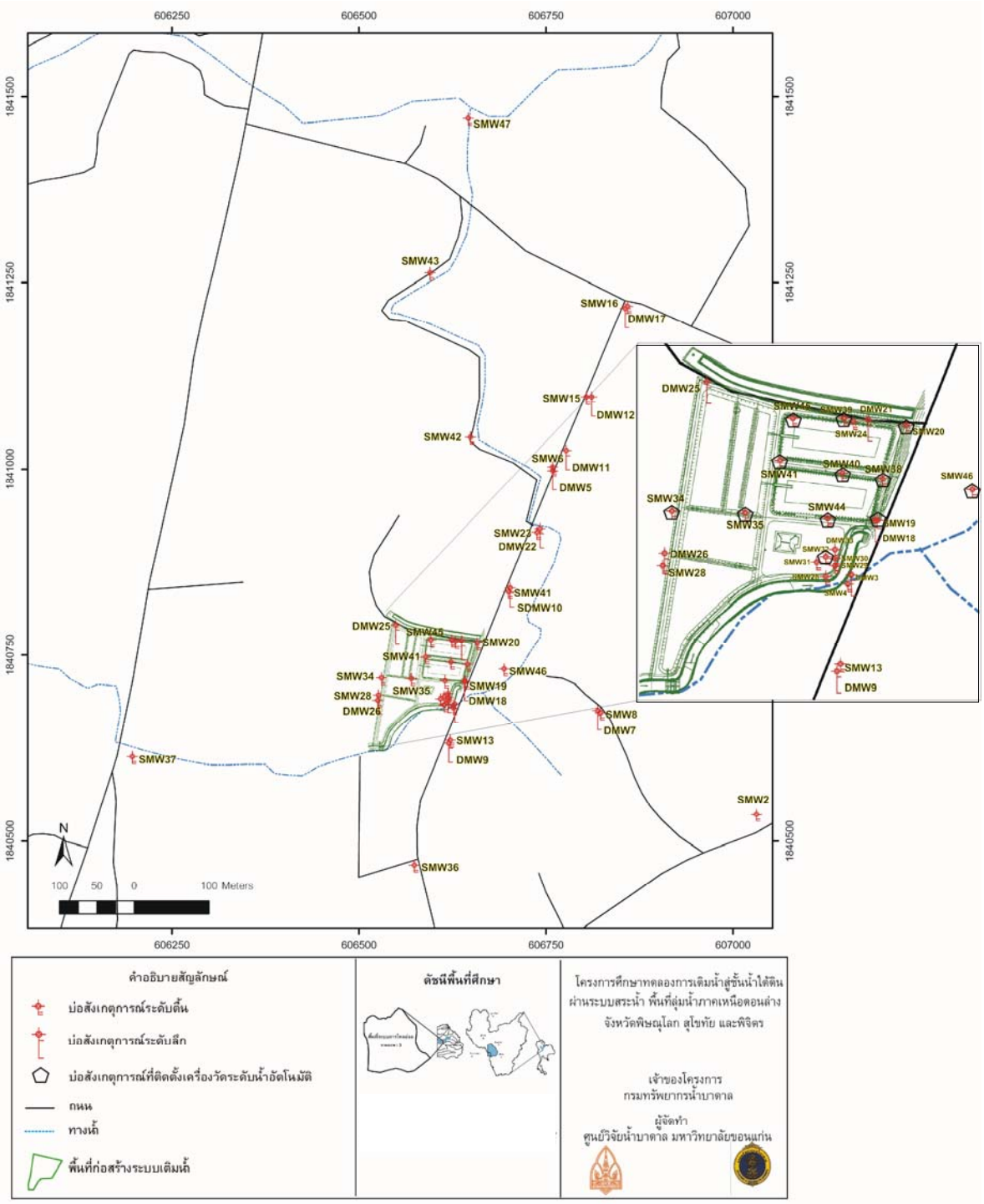
2) การบำรุงรักษาสระเติมน้ำ 2 กรณี คือ กรณีที่สระเติมน้ำมีอัตราการซึมลดลงมากกว่าค่าที่ยอมรับได้ และเป็นการบำรุงรักษาหลังฤดูการเติมน้ำ

3) การบำรุงรักษาระบบติดตามตรวจสอบ ประกอบด้วย การติดตามตรวจสอบภูมิอากาศ และการติดตามตรวจสอบระดับน้ำใต้ดิน มีการบำรุงรักษาตามผลการแจ้งซ่อมบำรุงจากการตรวจสอบตามรอบเวร โดยจะต้องประสานตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์นั้นๆ ทันทีที่ตรวจพบความผิดปรกติ

5.3 การออกแบบระบบประเมินผลการเติมน้ำ

5.3.1 การออกแบบระบบบ่อสังเกตการณ์

ระบบบ่อสังเกตการณ์มีการติดตั้งในพื้นที่โดยรอบสระเติมน้ำ จำนวน 47 บ่อ โดยเป็นบ่อสังเกตการณ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว และ 2 นิ้ว ที่ระดับความลึกที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ระดับตื้น (ความลึกประมาณ 15.0 ม.) และระดับลึก (ความลึกประมาณ 30 ม.) ตามสภาพอุทก-ธรณีวิทยาและทิศทางการไหลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการเติมน้ำ โดยทำการติดตั้งระบบติดตามตรวจวัดอัตโนมัติ ในบ่อสังเกตการณ์จำนวน 12 บ่อ ดังแสดงในรูปที่ 5-9 และรายละเอียดพร้อมข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ทั้งหมดที่เจาะในโครงการแสดงในภาคผนวก ง



รูปที่ 5-9 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ

5.3.2 การออกแบบระบบการประเมินผล

ระบบการประเมินผลการเติมน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบว่าระบบที่ออกแบบและทดลองมีความเหมาะสมเพียงใด ต่อการพัฒนาและการขยายขนาดของโครงการในอนาคต ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ (1) การประเมินผลการเติมน้ำผ่านสระ (2) การประเมินประสิทธิภาพของระบบกรอง และ (3) การดูแลรักษาระบบ ดังนี้

1) การประเมินผลการเติมน้ำ พิจารณาจากอัตราการซึมผ่านสระเติมน้ำและระยะเวลาที่เกิดการอุดตัน โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำดิบที่สามารถเติมได้ อัตราการใช้น้ำบาดาลของเกษตรกร และอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำบาดาลในบริเวณโดยรอบพื้นที่สระเติมน้ำ

2) การประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดคุณภาพน้ำเบื้องต้น การประเมินผลระบบบำบัดคุณภาพน้ำเบื้องต้นทำให้ทราบประสิทธิภาพและความยั่งยืนของระบบเติมน้ำ ซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากคุณภาพน้ำที่ผ่านจากระบบบำบัดเบื้องต้น การประเมินคำนวณจากผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าระบบบำบัดและคุณภาพน้ำดิบที่ผ่านการบำบัด

3) การดูแลรักษาระบบ ค่าใช้จ่ายการดูแลระบบ ความไม่ซับซ้อนของการดูแลรักษาระบบเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่บ่งชี้ถึงความเหมาะสมและความสำเร็จของระบบเติมน้ำ ดังนั้นการประเมินทางเลือกและผลการดูแลรักษาระบบ จึงเป็นสิ่งที่ต้องทำการประเมินโดยการเปรียบเทียบวิธีการและผลการดำเนินงาน

5.4 การก่อสร้างระบบเติมน้ำ

ระบบเติมน้ำและระบบองค์ประกอบมีการก่อสร้างแล้วเสร็จโดยใช้ระยะเวลา 60 วัน ดังแสดงในตารางที่ 5-5

ตารางที่ 5-5 แผนงานก่อสร้างสระเติมน้ำและระบบองค์ประกอบ

งาน	รายการ	ระยะเวลา (วัน)	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7
1	งานก่อสร้างระบบสระเติมน้ำ								
	1.1 งานถางป่า ขุดตอไม้ ขนย้าย	3	↔						
	1.2 งานขุดตกแต่งสระ	7	↔	↔					
	1.3 งานดินถมบดอัดแน่น	7		↔	↔				
	1.4 งานป้องกันการกัดเซาะ								
	1.4.1 คอนกรีตดาด	3			↔				
	1.4.2 วัสดุกรองสังเคราะห์	7			↔	↔			
	1.5 งานคอนกรีตโครงสร้าง	5			↔	↔			
	1.6 งานเหล็กเสริมคอนกรีต	3				↔			
	1.7 RC pipe dia. 0.3	4				↔	↔		
	1.8 RC pipe dia. 1.0	4					↔		
	1.9 วัสดุกรอง	5					↔	↔	
	1.10 งานรั้วลวดหนาม	8					↔	↔	

ตารางที่ 5-5 แผนงานก่อสร้างสระเติมน้ำและระบบองค์ประกอบ (ต่อ)

งาน	รายการ	ระยะเวลา (วัน)	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7
2	งานก่อสร้างระบบบำบัดเบื้องต้น								
	2.1 งานท่อรับและระบาย	7			←	→			
	2.2 งานวัสดุกรอง	3			←	→			
	2.3 งานปรับพื้นที่ wetland	5			←	→			
	2.4 งานปลูกต้นไม้ใน wetland	3				← →			
3	งานก่อสร้าง อาคารสำนักงานสนาม								
	3.1 งานโครงสร้างอาคาร	25		←	→				
	3.2 งานตกแต่งและสุขาภิบาล	15				←	→		
	3.3 งานรั้วและไฟรอบพื้นที่	5						← →	
	3.4 งานติดตั้งอุปกรณ์ทำงาน	5						← →	
4	งานติดตั้งระบบติดตามตรวจสอบ								
	4.1 ติดตั้งระบบตรวจวัดภูมิอากาศ	3							← →
	4.2 ติดตั้งระบบวัดน้ำในสระเติมน้ำ	3							← →
	4.3 ติดตั้งระบบสังเกตการณ์น้ำบาดาล	40	←	→					
เสร็จสิ้นการก่อสร้าง									

5.5 แผนการดำเนินการทดสอบระบบ

5.5.1 แผนการทดลองเติมน้ำ

แผนการทดลองเติมน้ำมีระยะดำเนินการ 6 เดือน ตามข้อกำหนดการศึกษา หลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ โดยแบ่งเป็นการทดลองระบบบำบัดคุณภาพน้ำดิบ การทดลองระบบเติมน้ำ การทดลองวิธีการดูแลรักษา ก่อนสรุปผลการทดลองระบบพร้อมจัดทำเป็นคู่มือการเดินระบบและการดูแลรักษาระบบ และถ่ายทอดองค์ความรู้แก่หน่วยงานท้องถิ่นและประชาชนที่สนใจต่อไป

1) แผนการทดลองระบบบำบัดคุณภาพน้ำดิบ

(1.1) การทดลองเพื่อประเมินคุณภาพน้ำดิบและประสิทธิภาพการบำบัด น้ำดิบที่มีคุณภาพต่างๆ ที่จะผันเข้าสู่ระบบบำบัดเบื้องต้นจะมีการตรวจวัดคุณภาพในพารามิเตอร์ที่สำคัญก่อน คือ ความขุ่น ปริมาณสารทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง และค่าออกซิเจนละลายน้ำ เป็นต้น และทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ไหลออกจากระบบต่างๆ ทั้งระบบกรองหยาบและระบบบึงประดิษฐ์

(1.2) การทดลองเพื่อประเมินปริมาณการไหลผ่านระบบบำบัด เป็นการตรวจวัดปริมาณน้ำที่ได้จากระบบบึงประดิษฐ์ ตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลอง เพื่อตรวจสอบว่าปริมาณน้ำที่ไหลผ่านระบบบำบัดเบื้องต้นนั้นเพียงพอและสอดคล้องกับปริมาณน้ำที่ต้องการใช้เติมในสระเติมน้ำ

2) แผนการทดลองระบบเติมน้ำ ประกอบด้วยการทดลองระบบวัดปริมาณการไหลของน้ำ การควบคุมระดับน้ำในสระเติมน้ำ การตรวจสอบการอุดตันที่เกิดขึ้น และการศึกษาความสัมพันธ์ของความขุ่นของน้ำกับอัตราการซึมได้ในสระเติมน้ำ

3) แผนการเก็บข้อมูลการเติมน้ำ แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดอัตโนมัติ และข้อมูลที่ต้องวัดโดยใช้แบบฟอร์มในการเก็บข้อมูล

(3.1) ข้อมูลจากเครื่องวัดอัตโนมัติ ประกอบด้วย ข้อมูลระดับน้ำบาดาลในบ่อสังเกตการณ์ 10 บ่อ ระดับน้ำในสระเติมน้ำ 2 สระ และข้อมูลภูมิอากาศจากเครื่องวัดสภาพอากาศอัตโนมัติ โดยเครื่องวัดอัตโนมัติจะทำการบันทึกข้อมูลทุก 10 นาที

(3.2) ข้อมูลที่วัดโดยใช้แบบฟอร์ม เป็นการจัดเก็บข้อมูลที่ใช้แบบฟอร์มที่ออกแบบไว้ ร่วมกับระบบการนำเข้าข้อมูลในคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย ข้อมูลระดับน้ำและปริมาณน้ำในคลองระบายน้ำ ข้อมูลน้ำที่ไหลเข้าระบบบำบัดเบื้องต้น ข้อมูลการระเหยจากถาด ข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน และข้อมูลปริมาณการกักเก็บตะกอนของระบบบำบัดน้ำดิบ

การทดลองระบบเติมน้ำประกอบด้วยการทดลองระบบวัดปริมาณการไหลของน้ำ การควบคุมระดับน้ำในสระเติมน้ำ การตรวจสอบการอุดตันที่เกิดขึ้น และการศึกษาความสัมพันธ์ของความขุ่นของน้ำกับอัตราการซึมได้ในสระเติมน้ำ

5.5.2 แผนการติดตามตรวจสอบ

แผนการติดตามตรวจสอบกำหนดขึ้นโดยพิจารณาตามความเหมาะสมของระบบในแต่ละส่วน โดยแยกระบบออกเป็นส่วนๆ ดังนี้ ระบบบำบัดเบื้องต้น ระบบสระเติมน้ำ ระบบตรวจวัดภูมิอากาศ และระบบอาคารสถานที่ทั่วไป การบำรุงรักษาเป็นไปตามผลการตรวจสอบความพร้อมระบบ ประกอบด้วย การติดตามตรวจสอบสภาพการใช้งาน ตามหัวข้อที่กำหนด และระเบียบวิธีการแจ้งบำรุงรักษา ทั้งนี้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบต้องผ่านการอบรมแนวทางการตรวจสอบ หัวข้อที่ต้องทำการตรวจสอบแยกตามกลุ่มของระบบงานได้ดังนี้

1) อาคารสถานที่ทั่วไป ต้องตรวจสอบ ความสะอาดเรียบร้อย ความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ และสภาพการใช้งาน

2) ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ ต้องตรวจสอบสภาพการใช้งาน ความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ รวมทั้งทรายกรองและอัตราการไหล ประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยวตะกอนในน้ำดิบ และความสะอาดเรียบร้อย

3) ระบบสระเติมน้ำ ต้องตรวจสอบ สภาพการใช้งาน ความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ รวมทั้งทรายกรองและอัตราการไหล ความหนาของตะกอนพื้นสระ และความสะอาดเรียบร้อยของพื้นที่

4) ระบบตรวจวัดระดับน้ำและภูมิอากาศ ต้องตรวจสอบ สภาพการใช้งาน ความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ ตรวจสอบความถูกต้องโดยการปรับเทียบเครื่องมือตามระยะเวลาที่กำหนด และความสะอาดเรียบร้อย

5.5.3 แผนการบำรุงรักษา

แผนการบำรุงรักษาพิจารณาตามความเหมาะสมของแต่ละระบบในแต่ละส่วน โดยแยกระบบออกเป็นส่วนๆ ดังนี้ ระบบบำบัดเบื้องต้น ระบบสระเติมน้ำ ระบบตรวจวัดภูมิอากาศ และระบบอาคารสถานที่ทั่วไป การบำรุงรักษาเป็นไปตามผลการตรวจสอบความพร้อมระบบ และการแจ้งบำรุงรักษา ทั้งนี้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบต้องผ่านการฝึกเทคนิคการตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบ ตามประเภทงาน ตารางที่ 5-6 แสดงรอบเวรการติดตามตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบของโครงการ

ตารางที่ 5-6 รอบเวรการติดตามตรวจสอบและการบำรุงรักษาระบบ

รายการ	ความถี่ของการตรวจสอบ			
	รายวัน	รายสัปดาห์	รายเดือน	รายปี
1. อาคารสถานที่ทั่วไป				
1.1 อาคารสำนักงาน ระบบไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์	✓			✓
1.2 ถนนโดยรอบสระเติมน้ำ และระบบบำบัดเบื้องต้น	✓			✓
1.3 ระบบสายไฟฟ้า			✓	
1.4 ระบบรักษาความปลอดภัย	✓			
2. ระบบบำบัดเบื้องต้น				
2.1 ระบบกรองหยาบ	✓		✓	✓
2.2 ระบบบึงประดิษฐ์	✓		✓	✓
3. ระบบสระเติมน้ำ				
3.1 ระบบผันน้ำ	✓		✓	✓
3.2 ระบบกรองพื้นสระ	✓		✓	✓
3.3 ระบบตรวจวัดระดับน้ำ	✓		✓	✓
4. ระบบตรวจวัดระดับน้ำและภูมิอากาศ				
4.1 ระบบตรวจวัดระดับน้ำ	✓	✓	✓	✓
4.2 ระบบตรวจวัดภูมิอากาศ	✓	✓	✓	✓
4.3 ระบบจัดเก็บข้อมูล	✓		✓	✓

บทที่ 6
การเติมน้ำผ่านสระ

การทดลองเติมน้ำบาดาลผ่านสระน้ำ ประกอบด้วย การศึกษาสภาพพื้นที่และระบบสังเกต การณ์ การทดสอบระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ การทดลองเติมน้ำ และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านระดับและคุณภาพน้ำบาดาลจากการเติมน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

6.1 สภาพพื้นที่และระบบสังเกตการณ์

6.1.1 สภาพพื้นที่และองค์ประกอบของระบบเติมน้ำ

พื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำตั้งอยู่บริเวณกึ่งกลางของพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา หมู่ที่ 8 ตำบลหนองกุลา อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเป็นบริเวณที่ติดกับคลองระบายน้ำจากพื้นที่เกษตรกรรมขององค์การบริหารส่วนตำบลหนองกุลา พื้นที่เช่าดำเนินการ 12,800 ตร.ม. (8 ไร่) มีความสูงภูมิประเทศ 44.20-44.80 ม. เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (ม.รทก.) พื้นที่รับประโยชน์จากการเติมน้ำผ่านสระเป็นพื้นที่นาข้าวบริเวณด้านทิศเหนือของพื้นที่ก่อสร้าง ครอบคลุมพื้นที่ 3 ตร.กม.มีความสูงภูมิประเทศ 43.00-44.40 ม.รทก. พื้นที่ก่อสร้างระบบสระเติมน้ำ รองรับด้วย ชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้น เป็นตะกอนทรายขนาดละเอียดถึงหยาบ มีความหนา 12-15 ม. กั้นด้วยดินเหนียวมีความหนา 1-5 ม. และชั้นหินอุ้มน้ำระดับลึกเป็นตะกอนทรายขนาดปานกลางถึงหยาบ และกรวด แทรกสลับด้วยดินเหนียว น้ำบาดาลมีทิศทางการไหลหลักจากทิศใต้ไปยังทิศเหนือ ระดับแรงดันหรือเฮดของน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ก่อสร้างมีค่าอยู่ระหว่าง 36-37 ม.รทก. ดังแสดงในรูปที่ 6-1 ถึง 6-2

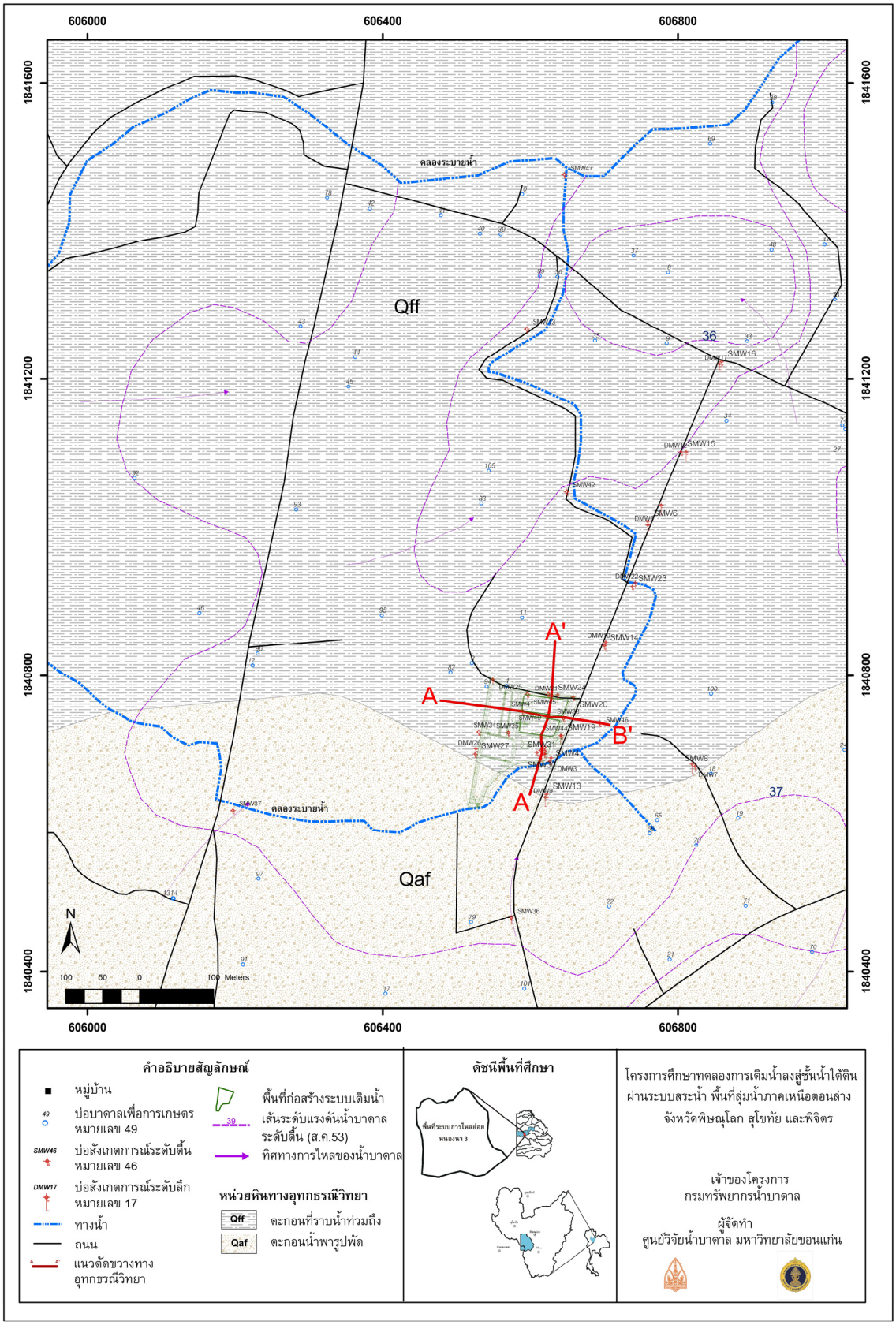
การดำเนินงานในพื้นที่ก่อสร้างที่ดำเนินการควบคู่กับงานออกแบบและก่อสร้าง ได้แก่ การรังวัดระดับภูมิประเทศ ช่วงชั้นความสูง 0.20 ม. การเจาะและติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ การสูบทดสอบ การติดตามวัดคุณภาพน้ำผิวดิน การติดตามวัดระดับและคุณภาพน้ำบาดาล พื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ อาคารสำนักงาน เนื้อที่ 1,000 ตร.ม. บึงประดิษฐ์ 4 บึง รวมเนื้อที่ 5,000 ตารางเมตร และสระเติมน้ำ 2 สระ รวมเนื้อที่ 1,260 ตร.ม. ดังแสดงในรูปที่ 6-1 ถึง 6-5

6.1.2 องค์ประกอบของระบบเติมน้ำ

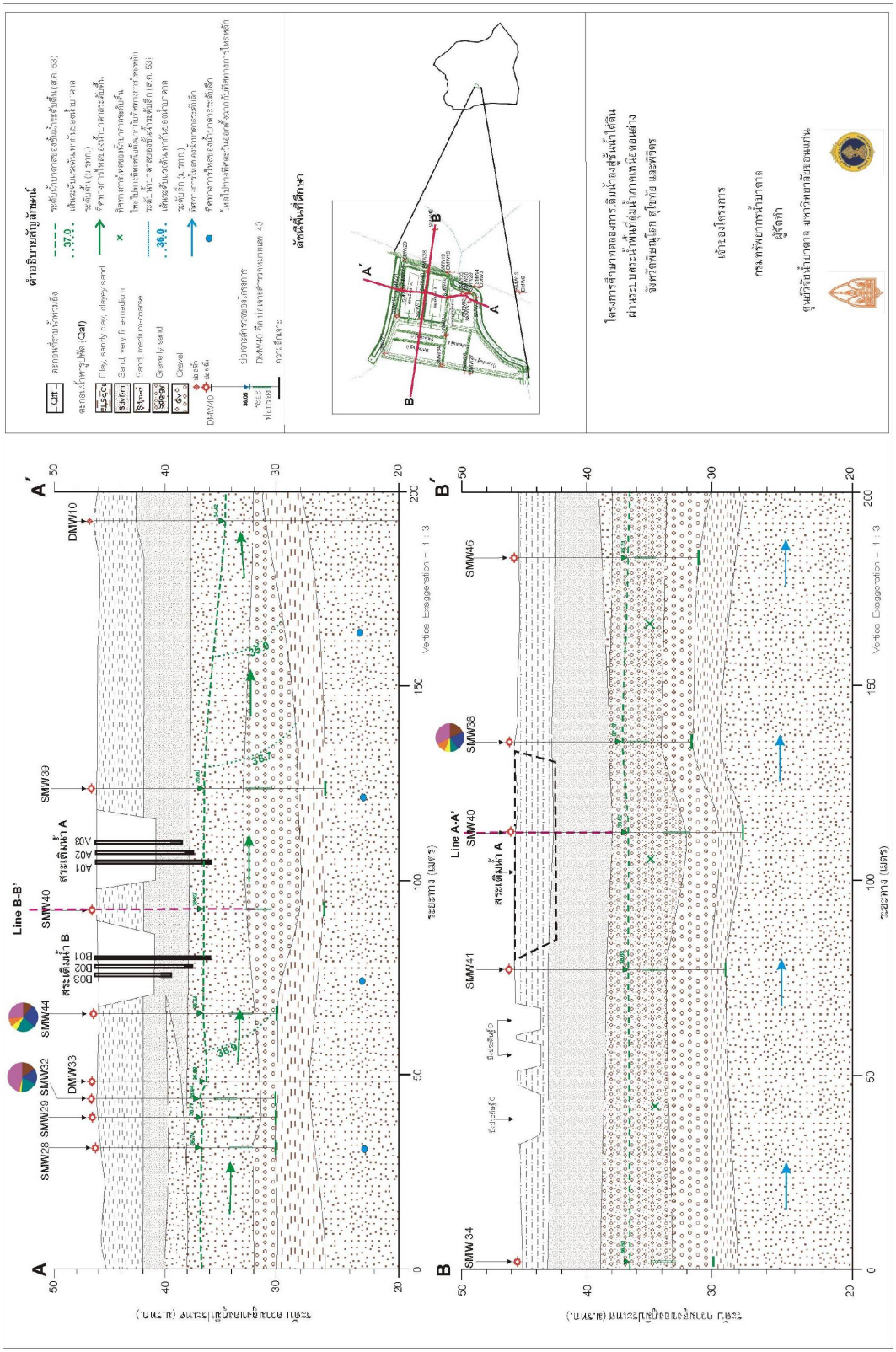
องค์ประกอบของระบบเติมน้ำประกอบด้วย ระบบผันน้ำดิบ ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ สระเติมน้ำ อาคารสำนักงานสนาม และระบบควบคุม

1) ระบบผันน้ำดิบ

แหล่งน้ำดิบที่ใช้สำหรับเติมน้ำผ่านสระเป็นน้ำจากคลองระบายน้ำที่ระบายจากพื้นที่เกษตรกรรมในเขต บ้านหนองนา บ้านหนองกุลา ตำบลหนองกุลา อำเภอบางระกำ จ.พิษณุโลก คลองระบายน้ำมีความกว้างเฉลี่ยประมาณ 4 ม. และลึกเฉลี่ยประมาณ 1.5 ม. มีพื้นที่รับน้ำ 6.54 ตร.กม. ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะใช้ได้ประมาณ 700,000 ลบ.ม./ปี ผันน้ำจากคลองระบายน้ำ



รูปที่ 6-1 แผนที่อุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ



รูปที่ 6-2 ภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ

เข้าสู่พื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ โดยการยกระดับน้ำบริเวณทางเข้าระบบเติมน้ำขึ้นด้วยประตูน้ำขนาดใหญ่ แล้วผันน้ำผ่านประตูควบคุม (controled valve) ที่ติดตั้งฝายสันคมไว้เพื่อวัดอัตราการไหล ระบบผันน้ำถูกออกแบบให้สามารถผันน้ำได้ในช่วง 1-100 ลบ.ม./ชม. โดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลกและผันน้ำเข้าสู่ระบบรับปรุงคุณภาพน้ำดิบเบื้องต้นแบบบึงประดิษฐ์ (constructed wetland) ดังแสดงในรูปที่ 6-3

2) ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบเบื้องต้นออกแบบเพื่อป้องกันการอุดตันที่อาจจะเกิดขึ้นในกระบวนการเติมน้ำ ที่รองรับการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของเกษตรกรได้ บึงประดิษฐ์ของโครงการมีรายละเอียดดังนี้

(2.1) บึงประดิษฐ์มีจำนวน 4 บึง ได้แก่ บึงประดิษฐ์ A B C และ D มีขนาดพื้นที่ 1,237 975 992 และ 813 ตร.ม. ตามลำดับ

(2.2) ประตูน้ำระหว่างบึงประดิษฐ์ตั้งอยู่ตำแหน่งที่ทำให้มีการไหลเป็นระยะทางไกลที่สุดเพื่อลดโอกาสที่น้ำจะไหลตรงไปทางออก และเพื่อความมั่นใจว่าจะไม่เกิดการไหลลัด

(2.3) การไหลในบึงประดิษฐ์เป็นการไหลด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ด้วยระดับที่แตกต่างกันของแต่ละเซลล์ 0.3 ม. ดังรูปที่ 6-4

(2.4) การกักเก็บน้ำในบึงประดิษฐ์สามารถกักเก็บได้ถึง 0.60 ม. เพื่อให้มีการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

(2.5) ในแต่ละเซลล์ควรปลูกพืชพื้นถิ่นที่โตเร็ว และทนต่อสภาพแวดล้อม (เช่น กก สามเหลี่ยม) และรอให้เจริญเติบโตจนมีการบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพประมาณ 1-2 เดือน

(2.6) ทางน้ำเข้าและออกในแต่ละเซลล์ต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะป้องกันการอุดตันที่จะเกิดขึ้น

(2.7) ทางออกของบึงประดิษฐ์ทุกเซลล์ทำการติดตั้งฝายสันคมเพื่อวัดอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าสู่เซลล์ถัดไป

(2.8) ทางน้ำเข้าบึงประดิษฐ์ทุกเซลล์ติดตั้งตาข่ายป้องกันแขวนลอยหรือเศษซากพืช ซากสัตว์ในน้ำต่างๆ เข้าเซลล์ถัดไป

(2.9) ความสูงของขอบตลิ่งบึงประดิษฐ์สูงประมาณ 1 ม. และความลาดชัน 1:1

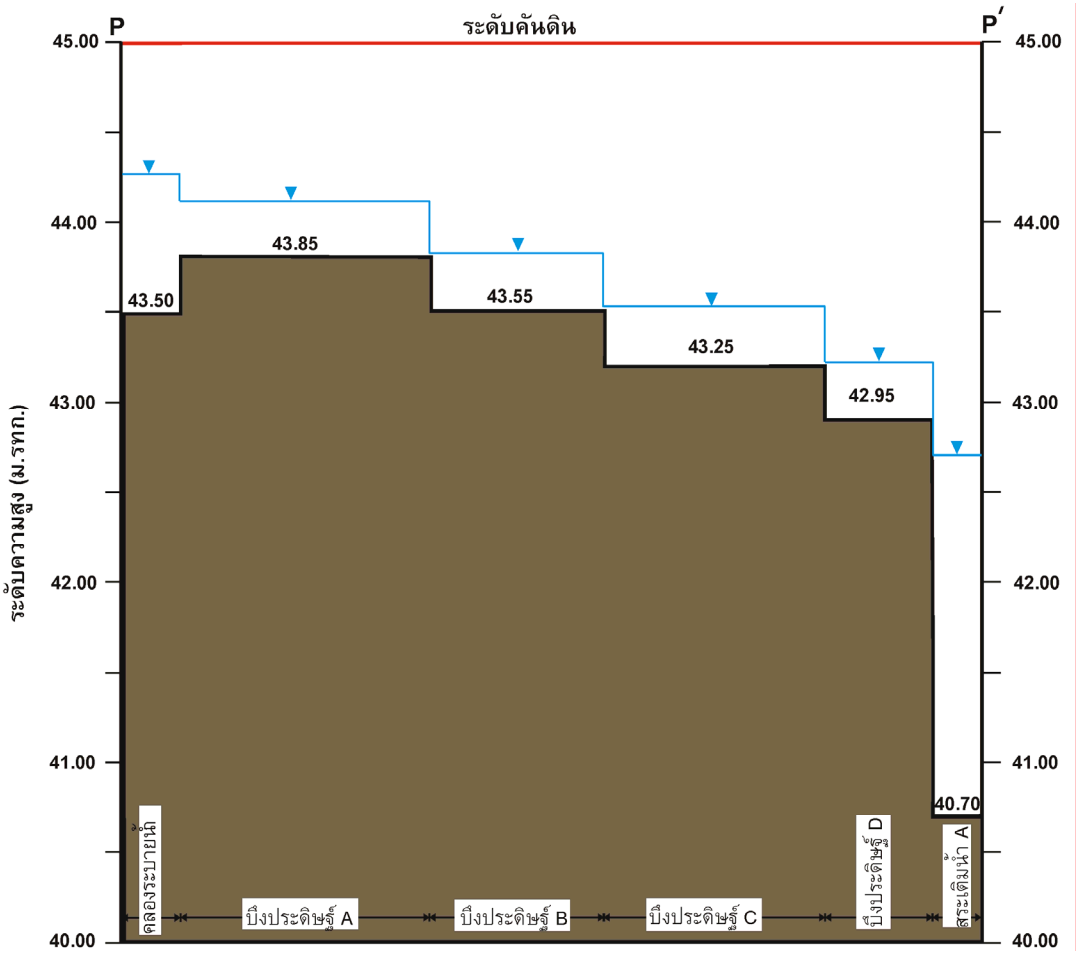
(2.10) จุดเข้าพื้นที่จะต้องมีการเตรียมไว้สำหรับการเข้าไปบำรุงรักษาและทำความสะอาดตะกอนที่ตกในบึงและพืชที่ตายในบึงประดิษฐ์ โดยการสะสมตัวของตะกอนจะเกิดมากที่สุดที่เซลล์แรก

(2.11) คันดินรอบบึงประดิษฐ์มีการป้องกันการกัดเซาะของน้ำ โดยปูผ้ากันการกัดเซาะและปลูกพืชคลุมดิน

3) สระเติมน้ำ มีจำนวน 2 สระ คือสระเติมน้ำ A และสระเติมน้ำ B มีขนาดที่ระดับปากสระ 1,250 และ 1,160 ตร.ม. พื้นที่ก้นสระ 660 และ 600 ตร.ม. ตามลำดับ มีความลึก 2.66. และ 2.75 ม. มีความจุสูงสุดที่ระดับเก็บกัก 2 ม. จากก้นสระเท่ากับ1,830 และ 1,690 ลบ.ม. ตามลำดับ (รูปที่ 6-4)



รูปที่ 6-3 องค์ประกอบในพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ



รูปที่ 6-4 ภาพตัดขวางระดับผิวดินของบึงประดิษฐ์และสระเติมน้ำ

มีความลาดชันด้านข้าง 1.5:1 เพื่อความมั่นคง สระเติมน้ำมีระบบกรองในที่คือมีการติดตั้งวัสดุกรองสังเคราะห์ (Polyfilt TS Nonwoven Geotextiles) ที่มี Effective opening size (O90) 0.10 มม. และทรายกรองกันสระ โดยเลือกทรายกรองให้มีขนาดเล็กกว่าทรายของชั้นหินอุ้มน้ำกันสระ คือ มีค่า D50 น้อยกว่า 0.3 มม. และมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะสามารถกรองอนุภาคในน้ำดิบที่ผ่านการกรองจากระบบบำบัดเบื้องต้นและวัสดุสังเคราะห์ได้ ซึ่งประเมินว่าน่าจะมีขนาดประมาณ 1 ไมครอน และมีความขุ่นประมาณ 50 NTU ทั้งนี้วัสดุกรองสังเคราะห์ออกแบบให้มีการติดตั้งที่กันสระและทางลาดของสระด้วยเพื่อการกรองและการป้องกันการกัดเซาะจากคลื่นที่เกิดขึ้น สระเติมน้ำมีการควบคุมระดับการเติมน้ำที่ 2.0 ม. มีทางผันน้ำเข้าออกที่สามารถวัดปริมาณน้ำได้

4) อาคารสำนักงานสนามและระบบควบคุม

การออกแบบอาคารสำนักงานสนาม คำนึงถึงขนาดที่สามารถทำงานได้และมีองค์ประกอบเพียงพอที่เจ้าหน้าที่เดินระบบจะใช้งาน รวมถึงมีการออกแบบห้องประชุมขนาดเล็ก และพื้นที่แสดงข้อมูลสำหรับผู้สนใจศึกษาดูงานได้ ห้องทำงานมีขนาด 3.5 x 4.5 ตร.ม. ห้องประชุมมีขนาด 3.5 x 6.0 ตร.ม. และมีการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล ระบบควบคุมไฟฟ้า และห้องสุขาไว้ภายในอาคาร

6.1.3 ระบบสังเกตการณ์

1) ระบบติดตามตรวจวัดภูมิอากาศและน้ำผิวดิน

การวัดอัตราการเติมน้ำในช่วงเวลาใดๆ คำนวณได้จากสมการสมดุลน้ำในสระ

$$R = P + I - E - (\Delta S/\Delta t) \quad (6\text{-}1)$$

เมื่อ R คือ อัตราการเติมน้ำ, P คือ ปริมาณฝนที่ตกลงในสระเติมน้ำ, I คือ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสระเติมน้ำ, E คือ การระเหยของน้ำในสระ และ $\Delta S/\Delta t$ คือ ปริมาณการเก็บกักของน้ำในสระ ในช่วงเวลาใดๆ โดยมีการวัดค่าองค์ประกอบต่างๆ ของสมดุลน้ำ ดังนี้

(1.1) การตรวจวัดปริมาณฝน

ปริมาณฝน ได้จากเครื่องวัดปริมาณฝนอัตโนมัติ ที่ติดตั้งในพื้นที่โครงการ โดยวัดปริมาณฝนได้ที่ความละเอียด 0.2 มม. ตรวจวัดที่ความถี่ 10 นาที เมื่อเครื่องวัดปริมาณฝนแล้วจะส่งข้อมูลฝนเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลโดยผ่านระบบโทรมาตร สถานีวัดปริมาณน้ำฝนของโครงการแสดงในรูปที่ 6-5 ปริมาณน้ำที่ได้จากฝนคำนวณได้จากปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่คูณกับพื้นที่บนสุดของสระ สระเติมน้ำ A และ B มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,242 และ 1,161 ตร.ม. ตามลำดับ

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ ความเร็วลม และการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยทำการตรวจวัดที่ความถี่ข้อมูล 10 นาที และส่งข้อมูลผ่านระบบโทรมาตร โดยเครื่องตรวจวัดสภาพอุตุนิยมวิทยาติดตั้งไว้กับสถานีวัดน้ำฝน

(1.2) การตรวจวัดการระเหย

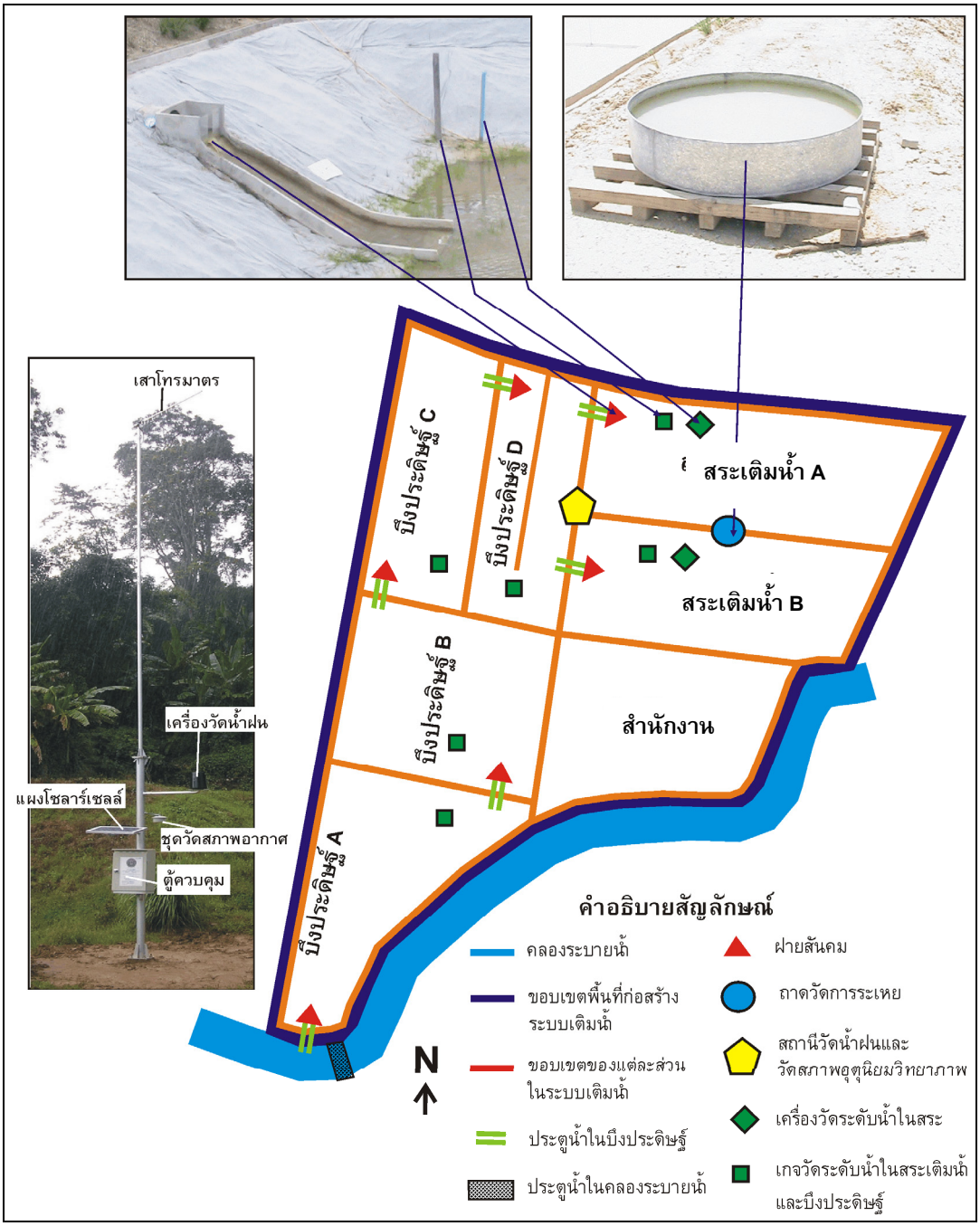
การระเหยวัดจากถาดวัดการระเหย Class A ของ U.S. Bureau ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นถาดกลม ทำด้วยเหล็กอาบสังกะสี มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 120.7 ซม. วางอยู่บนโครงไม้โปร่ง 15 ซม. จากพื้นดิน มีน้ำต่ำกว่าของบน 5-7 ซม. (รูปที่ 6-5) ที่ได้ติดตั้งไว้ในพื้นที่ก่อสร้าง ถาดวัดการระเหยในโครงการที่วางไว้บนพื้นโล่ง มีรัศมีจากถาดประมาณ 1 ม. ความเร็วลมต่ำ (น้อยกว่า 2 เมตร/วินาที) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40-70 และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ขึ้นไป มีค่าสัมประสิทธิของถาด (KP) เท่ากับ 0.8 และ 0.85 ตามลำดับ (FAO, 1992) การระเหยของน้ำในสระทำให้ปริมาณของน้ำในสระลดลง การหาปริมาณการสูญเสียน้ำจากการระเหยได้จากสมการ 6-2

$$E = KP \times EP \times A \quad (6\text{-}2)$$

เมื่อ E คือ ปริมาณการระเหยของน้ำในสระ (ลบ.ม.), KP คือ ค่าสัมประสิทธิของถาด, EP คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยจากถาด (ม.) และ A คือ พื้นที่ผิวของน้ำในสระ (ตร.ม.)

(1.3) การวัดปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสระเติมน้ำ

น้ำที่ไหลเข้าสระเติมน้ำ มีทางน้ำเข้าของสระเติมน้ำทั้งสองสระ ถูกติดตั้งด้วยฝายสันคมรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีความกว้างของสันฝาย 25 ซม. สันฝายสูงจากระดับพื้น 10 ซม. อัตราการไหลเข้าของน้ำได้จากการคำนวณโดยใช้ระดับน้ำเหนือสันฝาย โดยมีสมการในการหาค่าอัตราการไหลดังสมการ 6-3

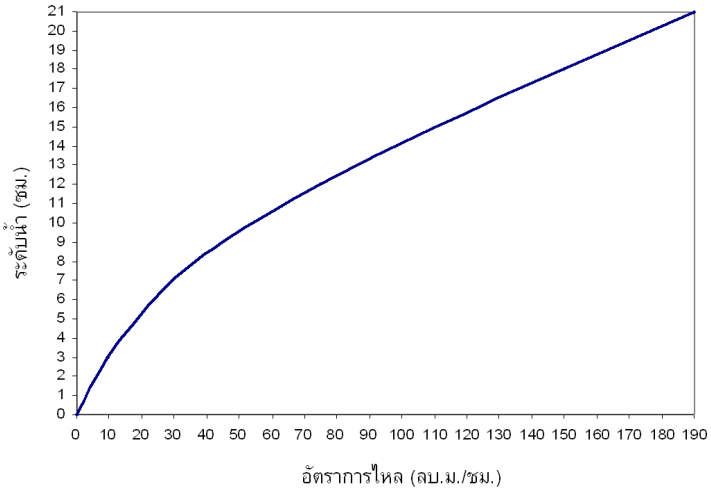


รูปที่ 6-5 อุปกรณ์สำหรับระบบตรวจวัดอัตราการเติมน้ำในพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ

$$Q = \frac{2}{3} C_d B \sqrt{2g}\ h^{3/2} \qquad (6\text{-}3)$$

เมื่อ B คือความกว้างของสันฝาย, h คือความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝาย และ Cd คือสัมประสิทธิ์อัตราการไหลมีค่าประมาณ 0.7 หรือควรทำการทดลองหาค่าที่ถูกต้องของแต่ละฝาย

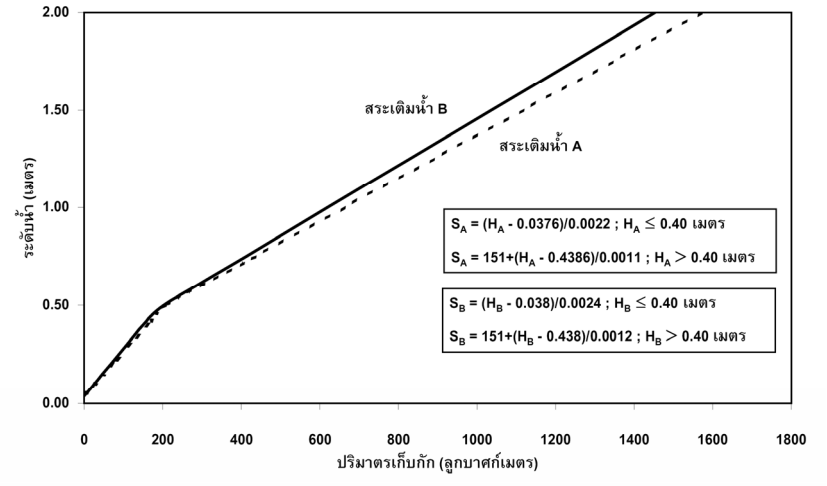
การวัดอัตราการไหลของน้ำผิวดินเข้าสระเติมน้ำโดยใช้ฝายสันคมเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกในการปฏิบัติงาน เมื่อทราบค่าระดับน้ำหน้าฝายก็สามารถหาอัตราการไหลของน้ำได้ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างระดับและอัตราการไหลของน้ำ (rating curve) ในการศึกษานี้ได้ทำการปรับเทียบต้องทำการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำที่ระดับต่างๆ แล้วนำมาสร้างกราฟระดับน้ำหน้าฝาย (ซม.) และอัตราการไหลของน้ำ (ลบ.ม./ชม.) ดังแสดงในรูปที่ 6-6 และภาคผนวก 6-1



รูปที่ 6-6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำหน้าฝายสันคมและอัตราการไหล

(1.4) การวัดปริมาณกักเก็บในสระเติมน้ำ

ปริมาณกักเก็บในสระเติมน้ำ ปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในสระสามารถคำนวณได้จากปริมาตรของสระและเกจวัดระดับน้ำในสระ การติดตั้งเกจวัดระดับน้ำและเครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติในสระเติมน้ำทั้งสอง เพื่อให้สะดวกต่อการควบคุมระดับน้ำในระหว่างการเติมน้ำ ปริมาณการเก็บกักน้ำสูงสุดของสระเติมน้ำทั้งสองสระอยู่ที่ความสูงจากกันสระ 2 ม. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเก็บกักและระดับน้ำในสระ จากการศึกษานี้ได้ทำการคำนวณค่าปริมาณเก็บกักของน้ำที่ระดับต่างๆ แล้วนำมาสร้างกราฟระดับน้ำในสระเติมน้ำ (ม.) และปริมาณการกักเก็บ (ลบ.ม.) ดังแสดงในรูปที่ 6-7 และภาคผนวก 6-2



รูปที่ 6-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเก็บกักและระดับน้ำในสระ

2) ระบบติดตามตรวจสอบระดับและคุณภาพด้านน้ำบาดาล

การติดตั้งบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่โดยรอบสระเติมน้ำจำนวน 47 บ่อ ที่ระดับความลึกที่แตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ระดับตื้น (ลึกไม่เกิน 15 ม.) และระดับลึก (ลึกมากกว่า 30 ม.) ตามสภาพอุทกธรณีวิทยาและทิศทางการไหลที่จะเกิดขึ้นจากการเติมน้ำ

(2.1) ระบบติดตามตรวจสอบ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การติดตามตรวจสอบด้านคุณภาพและด้านปริมาณ ดังนี้

(2.1.1) การติดตามตรวจสอบด้านคุณภาพน้ำบาดาล ทำการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลก่อนเติมน้ำ ขณะเติมน้ำ และหลังการเติมน้ำ ในบ่อบาดาลระดับตื้นรอบสระเติมน้ำ 9 บ่อ และบ่อบาดาลระดับตื้นในแนวการไหลหลัก 2 บ่อ ดังแสดงในรูปที่ 6-8

(2.1.2) การติดตามตรวจสอบด้านปริมาณน้ำบาดาล ทำการแบ่งการติดตามระดับน้ำบาดาลในบ่อสังเกตการณ์รอบๆ พื้นที่ก่อสร้าง โดยแบ่งกลุ่มบ่อสังเกตการณ์ตามระยะทางจากสระเติมน้ำ ได้ 4 กลุ่ม (รูปที่ 6-8) ดังนี้

- บ่อสังเกตการณ์ภายในสระเติมน้ำ เป็นบ่อตอกในสระเติมน้ำ A จำนวน 3 บ่อ ได้แก่ บ่อ A01, A02 และ A03 มีความลึกจากระดับพื้นสระ 4.0, 3.0 และ 1.5 ม. ตามลำดับ และในสระเติมน้ำ B จำนวน 3 บ่อ ได้แก่ บ่อ B01, B02 และ B03 มีความลึก 4.0, 3.0 และ 1.5 ม. ตามลำดับ

- บ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 1 คือบ่อสังเกตการณ์ระดับตื้นที่อยู่ติดกับสระเติมน้ำทั้งสองสระ จำนวน 9 บ่อ ซึ่งได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติไว้แล้ว โดยเป็นเครื่องวัดอัตโนมัติของโครงการ 6 บ่อ และอีก 3 บ่อ ได้รับความอนุเคราะห์เครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

- บ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 2 คือบ่อสังเกตการณ์ระดับตื้นที่อยู่ห่างจากสระเติมน้ำไม่เกิน 100 ม. ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 6 บ่อ เป็นบ่อที่ติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล 3 บ่อ

- บ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 3 คือบ่อสังเกตการณ์ระดับตื้นที่อยู่ห่างจากสระเติมน้ำเกิน 100 ม. และอยู่ในพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 11 บ่อ

(2.1.3) การใช้น้ำบาดาลของเกษตรกร เนื่องจากในพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา มีการใช้น้ำบาดาลตลอดทั้งปี มีบ่อบาดาลเพื่อการเกษตรในพื้นที่ทั้งหมด 93 บ่อ ในระหว่างการทดลองเติมน้ำการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ของเกษตรกรและส่งผลกระทบต่อทิศทางการไหลของน้ำที่เติมลงในระบบบางส่วน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการสำรวจการใช้น้ำบาดาล เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์หาผลการเติมน้ำ การสำรวจการใช้น้ำบาดาลแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม (รูปที่ 6-8) ดังนี้

- บ่อบาดาลเพื่อการเกษตรวงรอบที่ 1 คือบ่อที่ส่งผลกระทบต่อระบบเติมน้ำมากเมื่อมีการสูบ ซึ่งอยู่ห่างจากสระเติมน้ำไม่เกิน 300 เมตร ได้มีการสำรวจข้อมูลการสูบใช้น้ำบริเวณนี้อย่างละเอียด บ่อบาดาลเพื่อการเกษตรในรัศมีวงรอบนี้จำนวน 13 บ่อ

- บ่อบาดาลเพื่อการเกษตรวงรอบที่ 2 คือบ่อที่ส่งผลกระทบต่อระบบเติมน้ำในระดับปานกลางเมื่อมีการสูบ ซึ่งมีระยะอยู่ห่างจากสระเติมน้ำไม่เกิน 1,000 ม. บ่อบาดาลเพื่อการเกษตรในรัศมีวงรอบนี้จำนวน 64 บ่อ

- บ่อบาดาลเพื่อการเกษตรวงรอบที่ 2 คือบ่อที่ส่งผลกระทบต่อระบบเติมน้ำในระดับน้อยเมื่อมีการสูบ คือมีระยะอยู่ห่างจากสระเติมน้ำเกิน 1,000 ม. บ่อบาดาลเพื่อการเกษตรในระยะนี้มีจำนวน 16 บ่อ

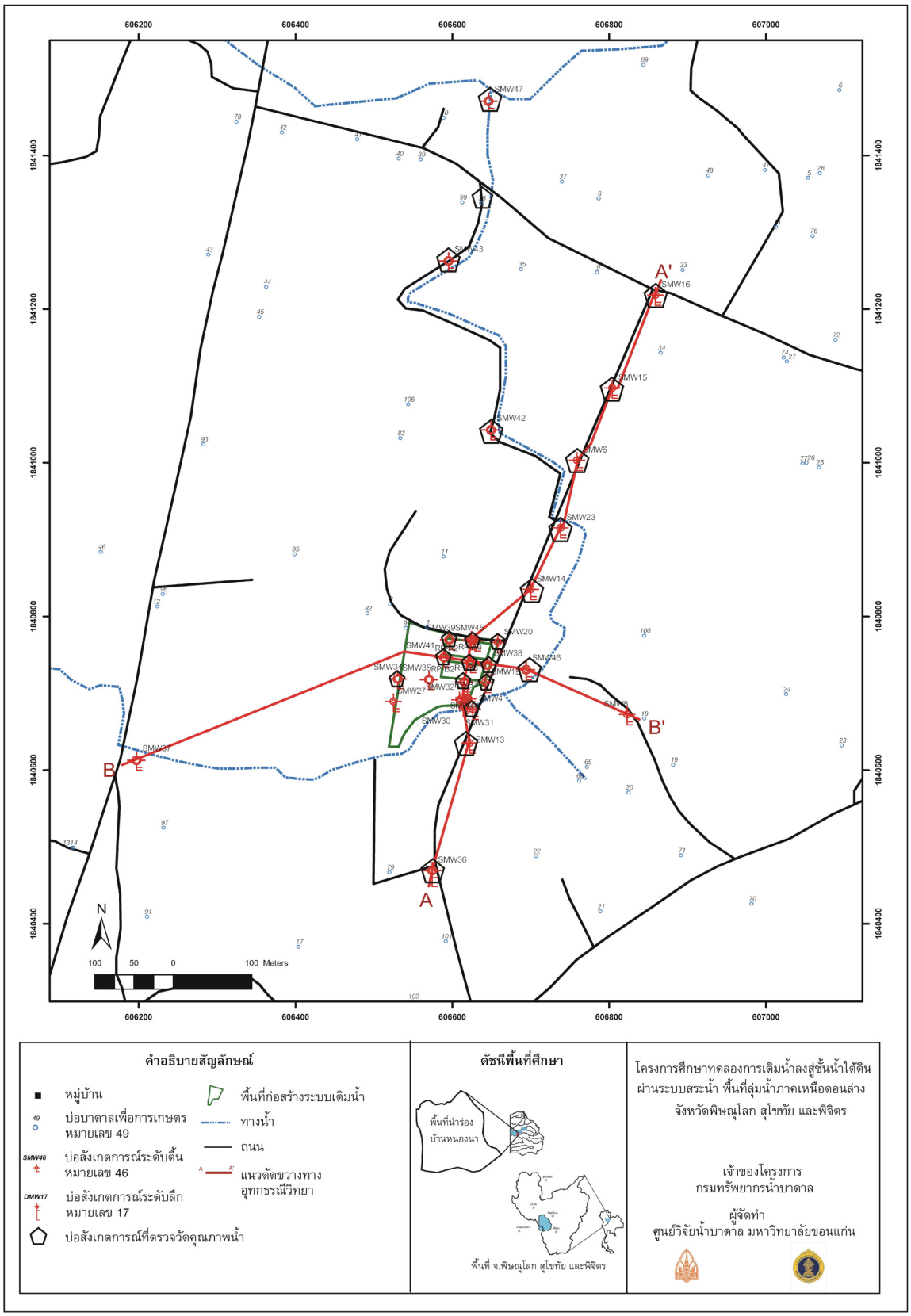
3) ระบบประเมินผลการเติมน้ำ

การประเมินผลการเติมน้ำ เพื่อให้ทราบว่าระบบที่ออกแบบและทดลองมีความเหมาะสมเพียงใดต่อการพัฒนาและการขยายขนาดในอนาคต คณะที่ปรึกษาจำแนกกรอบการประเมินออกเป็น การประเมินผลการเติมน้ำผ่านสระ การประเมินประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ และการดูแลรักษาระบบ ดังนี้

(3.1) การประเมินผลการเติมน้ำ พิจารณาจากอัตราการซึมผ่านสระเติมน้ำและระยะเวลาที่เกิดการอุดตัน ซึ่งเปรียบเทียบปริมาณน้ำดิบที่สามารถเติมได้ ต่อปริมาณการสูบใช้น้ำของบ่อบาดาลเพื่อการเกษตร รวมทั้งการประเมินผลกระทบด้านระดับและคุณภาพน้ำบาดาลในบริเวณโดยรอบพื้นที่สระเติมน้ำ

(3.2) การประเมินประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ บึงประดิษฐ์เป็นระบบบำบัดคุณภาพน้ำเบื้องต้น บึงประดิษฐ์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากต่อระบบเติมน้ำ เนื่องจากประสิทธิภาพและความยั่งยืนของระบบเติมน้ำได้รับอิทธิพลโดยตรงจากคุณภาพน้ำที่ผ่านจากระบบบำบัดเบื้องต้น ได้คำนวณจากผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าบึงประดิษฐ์และคุณภาพน้ำดิบที่ผ่านบึงประดิษฐ์

(3.3) การดูแลรักษาระบบ ค่าใช้จ่ายการดูแลระบบ การดูแลรักษาระบบเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่บงชี้ถึงความเหมาะสมและความสำเร็จของระบบเติมน้ำ ดังนั้นการประเมินทางเลือกและผลการดูแลรักษาระบบ จึงเป็นสิ่งที่ต้องทำการประเมินโดยการเปรียบเทียบวิธีการและผลการดำเนินงาน

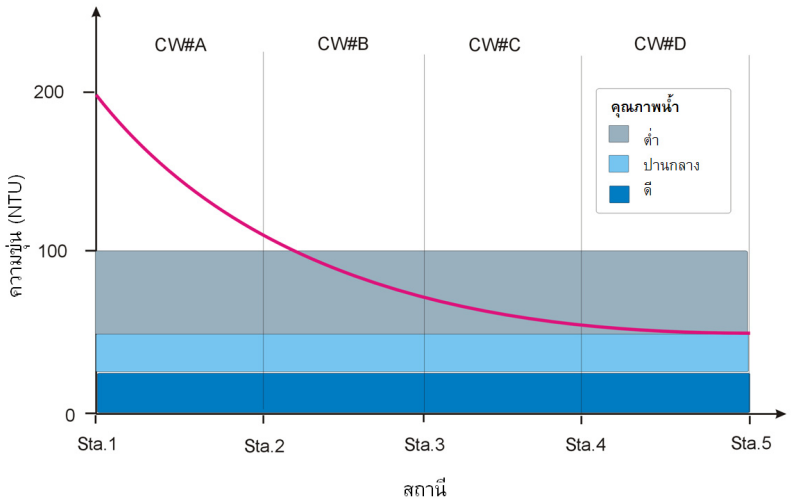


รูปที่ 6-8 บ่อสังเกตการณ์ที่ทำการติดตามตรวจสอบทั้งคุณภาพและปริมาณ

6.2 การทดลองระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบด้วยบึงประดิษฐ์ (constructed wetland) คณะที่ปรึกษาฯ ได้ออกแบบและก่อสร้างบึงประดิษฐ์จำนวน 4 บึง ได้แก่ บึงประดิษฐ์ A, B, C และ D ซึ่งมีขนาดพื้นที่ 1,237, 975, 992 และ 813 ตร.ม. ตามลำดับ ความลาดเอียงแนวดิ่ง:แนวราบ 1:1 และมีระดับพื้นของบึงประดิษฐ์ต่างกันประมาณ 0.30 ม.

การทดลองระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบของบึงประดิษฐ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการลดลงของความขุ่นของน้ำดิบที่ไหลผ่านบึงประดิษฐ์ในกรณีที่แตกต่างกัน ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำผ่านบึงประดิษฐ์ ชนิดของพืช ความหนาแน่นของพืช และความขุ่นของน้ำดิบที่จุดเริ่มต้น (ดังรูปที่ 6-9) ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำผ่านบึงประดิษฐ์ ชนิดของพืช ความหนาแน่นของพืช และความขุ่นของน้ำดิบที่จุดเริ่มต้น เป็นต้น



รูปที่ 6-9 แนวคิดในการทดสอบประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์

ระยะเวลาที่น้ำดิบเดินทางในบึงประดิษฐ์ (retention time, tr) เป็นปัจจัยที่สำคัญในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ ซึ่งคำนวณจากสมการ 6-3

$$t_r = \frac{V}{q} \qquad (6\text{-}3)$$

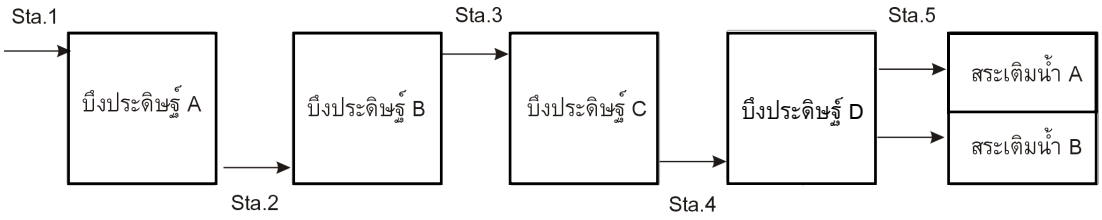
เมื่อ V คือปริมาตรน้ำ (ลบ.ม.) และ q คือ อัตราการไหล (ลบ.ม. /ชม.)

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและระยะเวลาที่น้ำเดินทาง สามารถคำนวณได้ ดังตารางที่ 6-1

ตารางที่ 6-1 อัตราการไหลและระยะเวลาที่น้ำเดินทางในบึงประดิษฐ์

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8
อัตราการไหล (ลบ.ม./ชม.)	1	2	4	8	15	30	50	100
ระยะเวลาที่น้ำเดินทาง (ชม.)	50	25	12.5	6.25	3.33	1.67	1.00	0.50

ตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด จำนวน 5 จุด ได้แก่ Sta.1 2 3 4 และ 5 (ดังรูปที่ 6-10) พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำ ระดับน้ำ ความขุ่น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และค่าความนำไฟฟ้า



รูปที่ 6-10 ตำแหน่งตรวจวัดคุณภาพน้ำในการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์

6.2.1 การทดลองการเติมน้ำ

การทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ได้ดำเนินการในช่วงฤดูฝน 2553 จำนวน 5 ครั้ง (18 การทดลอง) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ครั้งที่ 1

การทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ครั้งที่ 1 ทำการทดสอบในช่วงวันที่ 3-6 มิถุนายน 2553 เป็นระยะเวลา 21 ชั่วโมง ประกอบด้วย การวิเคราะห์ความหนาแน่นของพืชในบึงประดิษฐ์ และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดความขุ่น

ความหนาแน่นของพืชในบึงประดิษฐ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการบำบัดคุณภาพน้ำดิบ ซึ่งคำนวณโดยการใช้กรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัสพื้นที่ 4 ตร.ม. ครอบจุดที่สนใจ โดยสุ่มเลือกให้กระจายทั้งพื้นที่ จำนวนบึงประดิษฐ์ละ 3 จุด บันทึกด้วยถ่ายภาพ แล้วนำมาวิเคราะห์หาพื้นที่การปกคลุมของพืช จากการวิเคราะห์หาความหนาแน่นของพืชในบึงประดิษฐ์พบว่า บึงประดิษฐ์ A มีพืชที่ปกคลุม ได้แก่ พุทธรักษา และหญ้า เฉลี่ยร้อยละ 4.83 และ 35.75 ตามลำดับ บึงประดิษฐ์ B และ C มีพืชที่ปกคลุม มีเฉพาะพุทธรักษา เฉลี่ยร้อยละ 4.42 และ 3.25 ตามลำดับ และบึงประดิษฐ์ D มีพืชที่ปกคลุม ได้แก่ พุทธรักษา และหญ้า เฉลี่ยร้อยละ 3.92 และ 1.00 ตามลำดับ (ดังรูปที่ 6-11)



(ก) บึงประดิษฐ์ A



(ข) บึงประดิษฐ์ B



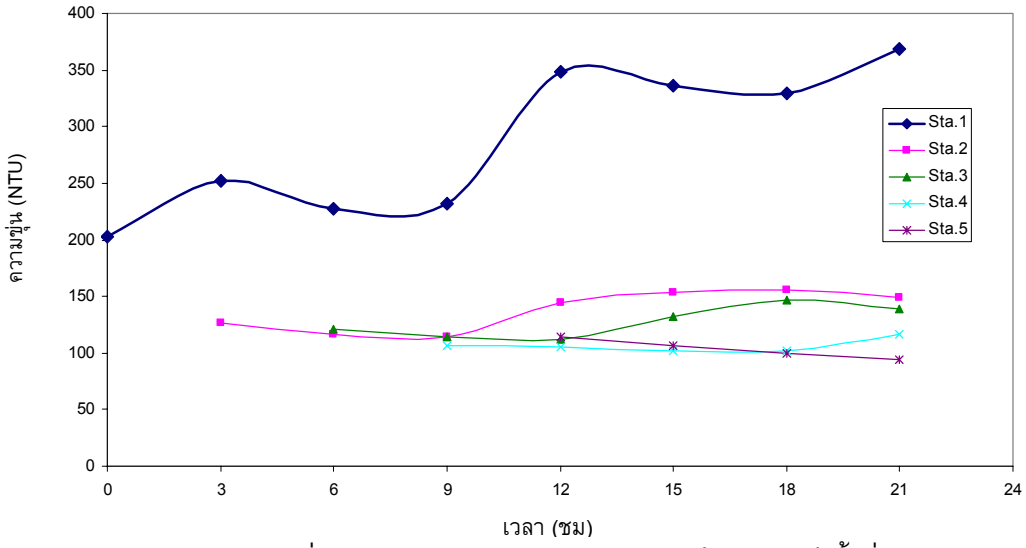
(ค) บึงประดิษฐ์ C



(ง) บึงประดิษฐ์ D

รูปที่ 6-11 ลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์ ในการทดสอบครั้งที่ 1 (3-6 มิ.ย. 53)

การทดสอบประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ครั้งที่ 1 มีอัตราการไหลของน้ำผ่านบึงประดิษฐ์เฉลี่ย 28.0 ลบ.ม./ชม. ความขุ่นเริ่มต้นมีค่าอยู่ระหว่าง 203 – 252 NTU (ค่าเฉลี่ย 228.5 NTU) และความขุ่นสุดท้ายมีค่าอยู่ระหว่าง 94.3 - 114 NTU (ค่าเฉลี่ย 103.7 NTU) ซึ่งบึงประดิษฐ์-พุทธรักษา ทั้งจำนวน 4 บึง มีพื้นที่รวม 4,017 ตารางเมตร สามารถลดความขุ่นได้เฉลี่ย 54.65 เปอร์เซ็นต์ (ดัง รูปที่ 6-12 และภาคผนวก ญ) และกิจกรรมต่างๆ ที่ดำเนินการระหว่างการทดสอบ ดังรูปที่ 6-13



รูปที่ 6-12 ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ครั้งที่ 1



(ก) การวัดอัตราการไหลเข้าบึงประดิษฐ์



(ข) การวัดระดับน้ำในบึงประดิษฐ์



(ค) การเก็บตัวอย่างน้ำ



(ง) การตรวจวัดคุณภาพน้ำ

รูปที่ 6-13 กิจกรรมในการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์

2) การทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ครั้งที่ 2

การทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ครั้งที่ 2 ดำเนินการเป็นเวลา 5 วัน (3-8 สิงหาคม 2553) พืชที่ทำการทดสอบเป็นพุทธรักษา จำนวน 4 บึง มีพื้นที่รวม 4,017 ตารางเมตร (ดังรูปที่ 6-14)



(ก) บึงประดิษฐ์ A



(ข) บึงประดิษฐ์ B



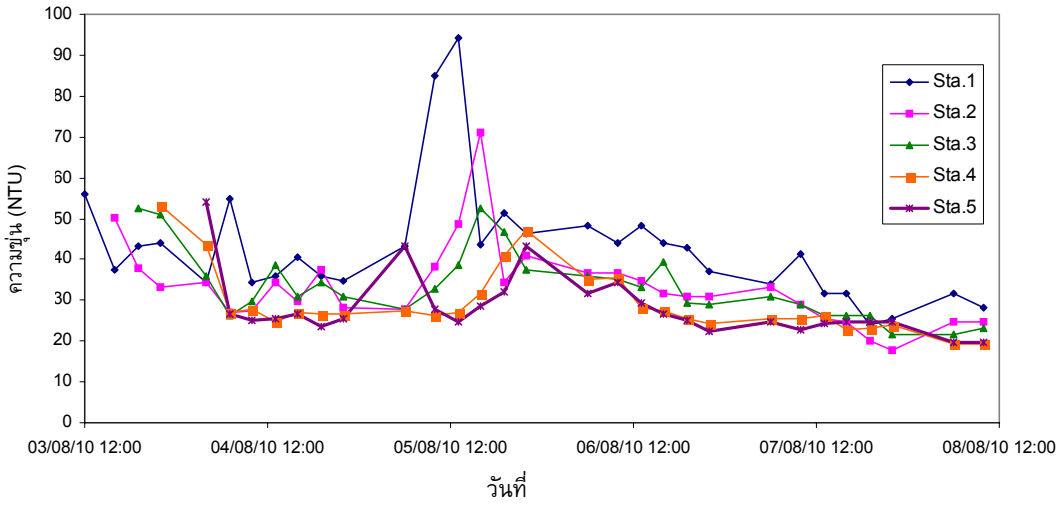
(ค) บึงประดิษฐ์ C



(ง) บึงประดิษฐ์ D

รูปที่ 6-14 ลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์ ในการทดสอบครั้งที่ 2 (3-8 ส.ค. 53)

ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ ครั้งที่ 2 มีอัตราการไหลเฉลี่ย 33.7 ลบ.ม./ชม. ความขุ่นเริ่มต้นมีค่าอยู่ระหว่าง 31.7 – 94.3 NTU (ค่าเฉลี่ย 45.1 NTU) และความขุ่นสุดท้ายมีค่าอยู่ระหว่าง 19.5 – 54.2 NTU (ค่าเฉลี่ย 28.2 NTU) ซึ่งบึงประดิษฐ์-พุทธรักษาทั้ง 4 บึง สามารถลดความขุ่นได้เฉลี่ยร้อยละ 37.47 (ดังตารางที่ 6-6 และรูปที่ 6-15)



รูปที่ 6-15 ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ครั้งที่ 2

3) การทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ครั้งที่ 3

การทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ครั้งที่ 3 ดำเนินการทดสอบเป็นเวลา 3 วัน (25-28 สิงหาคม 2553) พืชในบึงประดิษฐ์เป็นพุทธรักษา จำนวน 4 บึง (ดังรูปที่ 6-16)



(ก) บึงประดิษฐ์ A



(ข) บึงประดิษฐ์ B



(ค) บึงประดิษฐ์ C



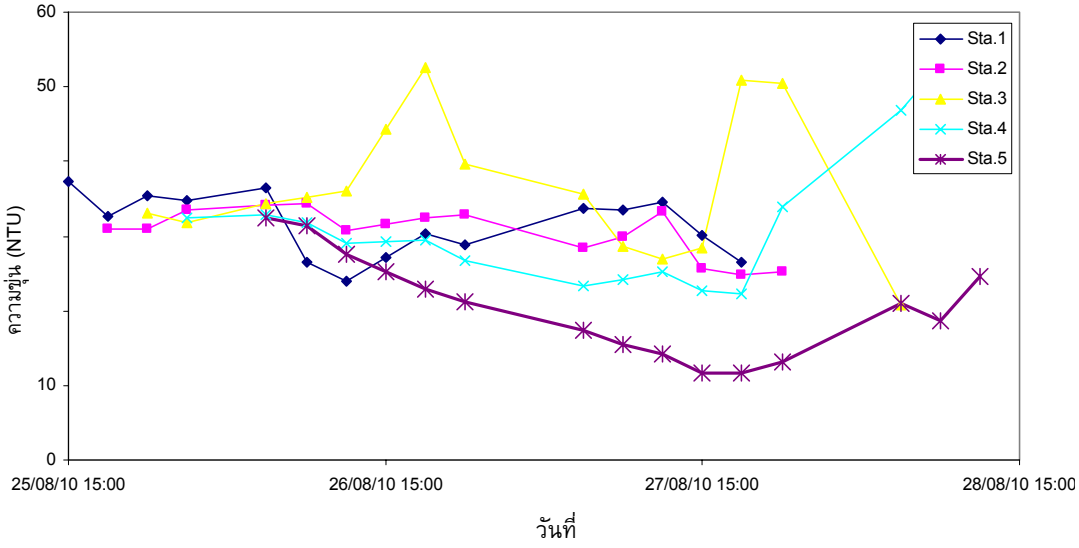
(ง) บึงประดิษฐ์ D

รูปที่ 6-16 ลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์ ในการทดสอบครั้งที่ 3 (25-28 ส.ค. 53)

ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ แบ่งได้เป็น 2 ช่วง ดังนี้

(3.1) การทดสอบช่วงแรก ระยะเวลาทดสอบ 30 ชั่วโมง อัตราการไหลเฉลี่ย 84.4 ลบ.ม./ชม. ความขุ่นเริ่มต้นมีค่าอยู่ระหว่าง 26.5 – 37.4 NTU (ค่าเฉลี่ย 33.9 NTU) และความขุ่นสุดท้ายมีค่าอยู่ระหว่าง 21.2 – 32.5 NTU (ค่าเฉลี่ย 26.8 NTU) ซึ่งบึงประดิษฐ์-พุทธรักษา 4 บึง สามารถลดความขุ่นได้เฉลี่ยร้อยละ 20.85 (ดังตารางที่ 6-7 และรูปที่ 6-17)

(3.2) การทดสอบช่วงที่สอง ระยะเวลาทดสอบ 48 ชั่วโมง อัตราการไหลเฉลี่ย 10.4 ลบ.ม./ชม. ความขุ่นเริ่มต้นมีค่าอยู่ระหว่าง 23.9 – 34.6 NTU (ค่าเฉลี่ย 29.9 NTU) และความขุ่นสุดท้ายมีค่าอยู่ระหว่าง 11.6 – 24.5 NTU (ค่าเฉลี่ย 16.4 NTU) ซึ่งบึงประดิษฐ์-พุทธรักษา 4 บึง สามารถลดความขุ่นได้เฉลี่ย 45.16 เปอร์เซ็นต์ (ดังตารางที่ 6-7 และรูปที่ 6-17)



รูปที่ 6-17 ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ครั้งที่ 3

4) การทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ครั้งที่ 4

การทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ ครั้งที่ 4 ดำเนินการทดสอบเป็นเวลา 5 วัน (18-23 กันยายน 2553) พืชที่ทำการทดสอบ ประกอบด้วย พุทธรักษา กกสามเหลี่ยม และข้าว ซึ่งพุทธรักษา มีระยะห่าง 1.0 ม. อายุประมาณ 8 เดือน ข้าวแบบนาหว่าน อายุประมาณ 90 วัน และกกสามเหลี่ยม มีระยะห่าง 0.25 ม. การผันน้ำจากนาข้าวเข้าบึงประดิษฐ์-กกสามเหลี่ยม ใช้เครื่องสูบน้ำด้วยอัตราการไหลประมาณ 30 ลบ.ม./ชม. (ดังรูปที่ 6-18)



(ก) บึงประดิษฐ์ A



(ข) บึงประดิษฐ์ B



(ค) บึงประดิษฐ์ D



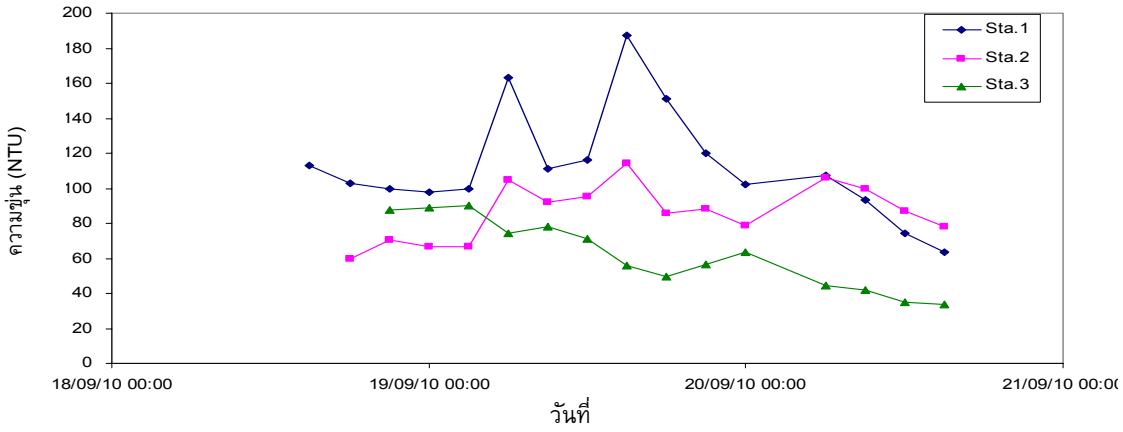
(ง) นาข้าว

รูปที่ 6-18 ลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์ ในการทดลองครั้งที่ 4 (18-23 ก.ย. 53)

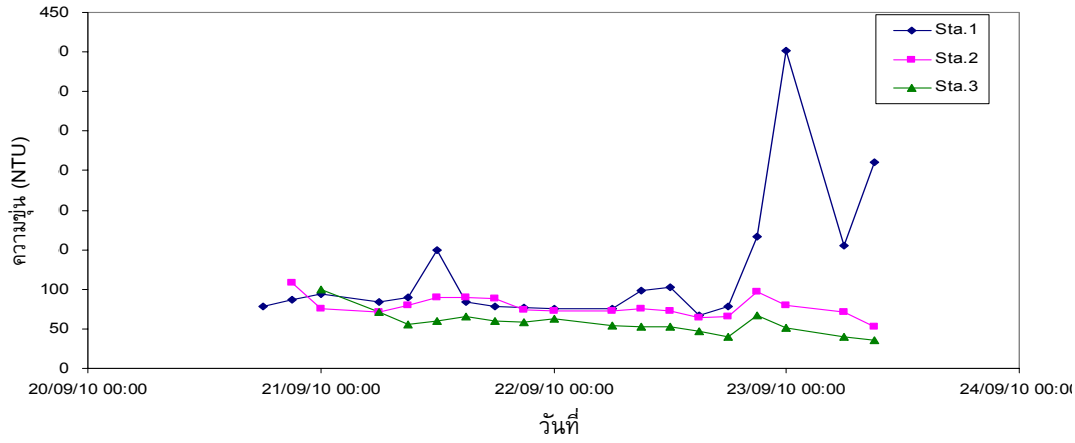
ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ ครั้งที่ 4 แบ่งได้เป็น 2 ช่วง ดังนี้

(4.1) การทดลองช่วงแรก ดำเนินการทดสอบเป็นเวลา 48 ชั่วโมง อัตราการไหลเฉลี่ย 30.0 ลบ.ม./ชม. ความขุ่นเริ่มต้นมีค่าอยู่ระหว่าง 93.3 – 187 NTU (ค่าเฉลี่ย 118.8 NTU) ซึ่งนาข้าวและบึงประดิษฐ์-กกสามเหลี่ยม สามารถลดความขุ่นได้เฉลี่ย 26.94 เปอร์เซ็นต์ 28.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ดังตารางที่ 6-8 และรูปที่ 6-19)

(4.2) การทดลองช่วงที่สอง ดำเนินการทดสอบเป็นเวลา 63 ชั่วโมง อัตราการไหลเฉลี่ย 95.0 ลบ.ม./ชม. ความขุ่นเริ่มต้นมีค่าอยู่ระหว่าง 66.8 – 150 NTU (ค่าเฉลี่ย 88.0 NTU) ซึ่งบึงประดิษฐ์-พุทธรักษา และบึงประดิษฐ์-กกสามเหลี่ยม สามารถลดความขุ่นได้เฉลี่ย 26.94 และ 28.44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ดังตารางที่ 6-8 และรูปที่ 6-20)



รูปที่ 6-19 ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ ครั้งที่ 4 ช่วงแรก



รูปที่ 6-20 ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ ครั้งที่ 4 ช่วงที่สอง

5) การทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ ครั้งที่ 5

การทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ ครั้งที่ 5 มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความสามารถในการลดความขุ่นของน้ำดิบของระบบบึงประดิษฐ์ และเพื่อกำหนดเกณฑ์ความขุ่นของน้ำดิบในคลองและอัตราการไหลของน้ำดิบผ่านระบบบึงประดิษฐ์ที่เหมาะสม ซึ่งปัจจัยที่ควบคุม ได้แก่ พืชที่ปกคลุมในบึงประดิษฐ์ โดยบึงประดิษฐ์ A และ B เป็นพุทธรักษา บึงประดิษฐ์ C เป็นพุทธรักษาและผักบุ้ง และบึงประดิษฐ์ D เป็นกกสามเหลี่ยม (ดังรูปที่ 6-21)

การทดลองนี้ ได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเข้าของน้ำดิบจากคลอง ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความขุ่นของน้ำดิบในคลองระบาย โดยจะทำการปรับลดอัตราการไหลเข้าระบบบึงประดิษฐ์ในกรณีที่น้ำดิบในคลองมีค่าสูง และจะทำการปิดประตูในกรณีที่น้ำดิบในคลองมีค่าความขุ่นสูงเกินไป



(ก) บึงประดิษฐ์ A



(ข) บึงประดิษฐ์ B



(ค) บึงประดิษฐ์ C



(ง) บึงประดิษฐ์ D

รูปที่ 6-21 ลักษณะของพืชในบึงประดิษฐ์ ในการทดลองครั้งที่ 5 (23 ต.ค. – 22 พ.ย. 2553)

ผลการทดลองประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ ครั้งที่ 5 ดำเนินการทดลองเป็นเวลา 30 วัน (23 ต.ค. – 22 พ.ย. 2553) ได้ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำในระบบบึงประดิษฐ์จำนวน 5 จุด การทดลองนี้สามารถแบ่งการทดลองเป็น 5 ช่วง ตามอัตราการไหลที่แตกต่างกัน (ดังรูปที่ 6-22) ดังนี้

(5.1) การทดลองช่วงแรก ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 4 วัน อัตราการไหลของน้ำดิบเฉลี่ย 93.1 ลบ.ม./ชม. ความขุ่นของน้ำดิบในคลองมีค่าอยู่ระหว่าง 161 – 495 NTU (ค่าเฉลี่ย 241.9 NTU) น้ำดิบที่ไหลผ่านบึงประดิษฐ์ A B C และ D มีความขุ่นลดลงรวมร้อยละ 14.08

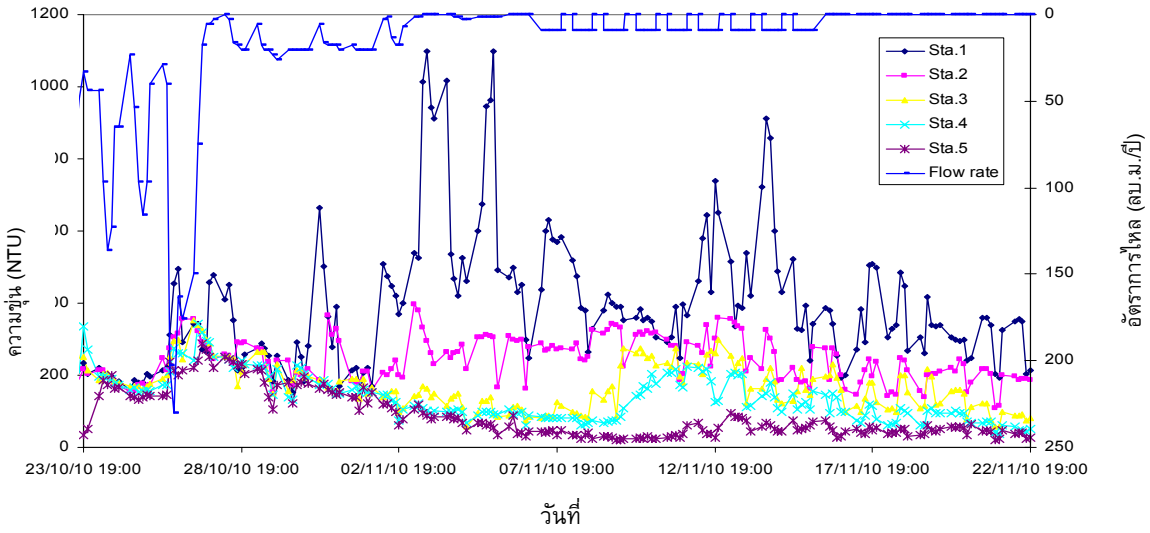
(5.2) การทดลองช่วงที่ 2 ทำการปรับลดอัตราการไหลของน้ำดิบลง เนื่องจากความขุ่นของน้ำดิบในคลองมีค่าสูง ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 6 วัน อัตราการไหลของน้ำดิบเฉลี่ย 15.6 ลบ.ม./ชม. ความขุ่นของน้ำดิบในคลองมีค่าอยู่ระหว่าง 153 – 660 NTU (ค่าเฉลี่ย 311.4 NTU) ความขุ่นของน้ำดิบที่ไหลออก (บึงประดิษฐ์ D) มีค่าอยู่ระหว่าง 62.1 – 287 NTU (ค่าเฉลี่ย 170.7 NTU) น้ำดิบที่ไหลผ่านบึงประดิษฐ์ A B C และ D มีค่าความขุ่นลดลงรวมร้อยละ 30.24

(5.3) การทดลองช่วงที่ 3 ได้ทำการปิดประตูน้ำที่ไหลเข้าระบบบึงประดิษฐ์ เนื่องจากความขุ่นของน้ำในคลองมีค่าสูง แต่ยังมีการไหลต่อเนื่องในระบบบึงประดิษฐ์ด้วยอัตราการไหลเฉลี่ยประมาณ 0.5 ลบ.ม./ชม. ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 4 วัน ความขุ่นของน้ำดิบเริ่มต้น (ในบึงประดิษฐ์ A) มีค่าอยู่ระหว่าง 116 – 396 NTU (ค่าเฉลี่ย 288.2 NTU) ความขุ่นของน้ำดิบสุดท้าย มีค่าอยู่ระหว่าง 30.9 – 119 NTU (ค่าเฉลี่ย 69.1 NTU) น้ำดิบที่ไหลผ่านบึงประดิษฐ์ B C และ D มีค่าความขุ่นลดลงรวมร้อยละ 73.90

(5.4) การทดลองช่วงที่ 4 ใช้เครื่องสูบน้ำไฟฟ้าสูบน้ำดิบจากคลองเข้าบึงประดิษฐ์ A ด้วยอัตราการไหลคงที่ 9.5 ลบ.ม./ชม. เนื่องจากระดับน้ำในคลองทีค่าต่ำกว่าระดับพื้นประตูน้ำ ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 9 วัน ความขุ่นของน้ำดิบที่ไหลเข้าจากคลองมีค่าอยู่ระหว่าง 239 – 911 NTU (ค่าเฉลี่ย 452.6 NTU) ความขุ่นของน้ำดิบที่ไหลออก มีค่าอยู่ระหว่าง 21.5 – 96.0 NTU (ค่าเฉลี่ย 44.2 NTU) น้ำดิบที่ไหลผ่านบึงประดิษฐ์ A B C และ D มีค่าความขุ่นลดลงรวมร้อยละ 83.05

(5.5) การทดลองช่วงที่ 5 เป็นช่วงสุดท้ายของการทดลอง ได้ทำการปิดประตูน้ำที่ไหลเข้าระบบบึงประดิษฐ์ เนื่องจากปริมาณน้ำในบึงประดิษฐ์มีปริมาณมาก และอัตราการไหลออกจากระบบบึงประดิษฐ์หรือปริมาณการไหลเข้าสระเติมน้ำ มีค่าน้อย แต่ยังมีการไหลต่อเนื่องในระบบบึงประดิษฐ์ด้วยอัตราการไหลเฉลี่ยประมาณ 0.5 ลบ.ม./ชม. ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 7 วัน จากการทดลองพบว่า ความขุ่นของน้ำดิบเริ่มต้น มีค่าอยู่ระหว่าง 169 – 276 NTU (ค่าเฉลี่ย 197.0 NTU) ความขุ่นของน้ำดิบสุดท้าย มีค่าอยู่ระหว่าง 21.2 – 75.9 NTU (ค่าเฉลี่ย 44.6 NTU) น้ำดิบที่ไหลผ่านบึงประดิษฐ์ B C และ D มีค่าความขุ่นลดลงรวมร้อยละ 76.36

การลดลงของความขุ่นในบึงประดิษฐ์ บึงประดิษฐ์ A (พุทธรักษา) ความขุ่นลดลงร้อยละ 3.32 – 33.10 บึงประดิษฐ์ B (พุทธรักษา) ความขุ่นลดลงร้อยละ 1.22 – 55.83 บึงประดิษฐ์ C (พุทธรักษา-ผักบุ้ง) ความขุ่นลดลงร้อยละ 4.74 – 36.05 และบึงประดิษฐ์ D (กกสามเหลี่ยม) ความขุ่นลดลงร้อยละ 8.21 – 63.35 (ดังตารางที่ 6-9)



รูปที่ 6-22 การเปลี่ยนแปลงความขุ่น ในการทดลองครั้งที่ 5

6.2.2 สรุปผลการทดลองประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์

การทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ ในช่วงฤดูฝน 2553 จำนวน 18 การทดลอง พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการลดความขุ่น ได้แก่ ชนิดของพืชที่ปลูก และอัตราการไหลของน้ำผ่านบึงประดิษฐ์ (ตารางที่ 6-2)

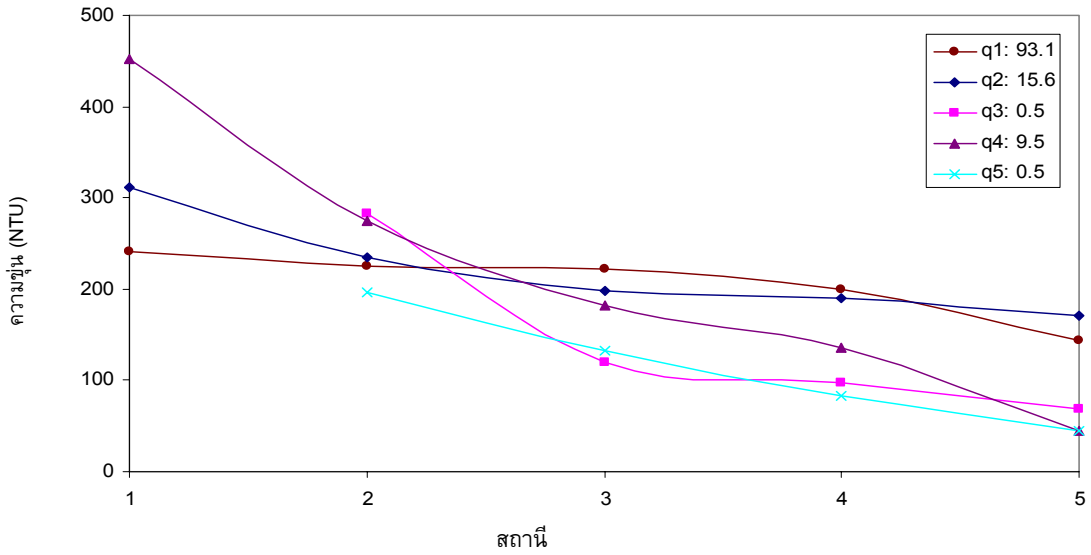
1) ชนิดของพืชที่มีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นสูงสุด จากการทดสอบชนิดของพืช จำนวน 3 ชนิด ประกอบด้วย พุทธรักษา ข้าว และกกสามเหลี่ยม ที่ควบคุมอัตราการไหลประมาณ 30 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และความขุ่นเริ่มต้นในธรรมชาติเฉลี่ย 45.1 – 118.8 NTU (ดังตารางที่ 6-10) พบว่า บึงพืชทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นใกล้เคียงกัน แต่บึงที่เป็นกกสามเหลี่ยมใช้พื้นที่น้อยที่สุด ดังนั้น บึงประดิษฐ์ที่ปลูกด้วยกกสามเหลี่ยมมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นสูงสุด

2) อัตราการไหลของน้ำผ่านบึงประดิษฐ์ที่เหมาะสม จากการทดลองครั้งที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความขุ่นที่อัตราการไหลแตกต่าง ได้แก่ 0.5 9.5 15.6 และ 93.1 ลบ.ม./ชม. พบว่า อัตราการไหลของน้ำผ่านบึงประดิษฐ์ 9.5 ลบ.ม./ชม. มีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นสูงสุด (ดังรูปที่ 6-23)

3) บึงประดิษฐ์เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบสำหรับการเติมน้ำผ่านระบบสระ ได้แก่ บึงประดิษฐ์ที่ปลูกด้วยกกสามเหลี่ยม และมีอัตราการไหลของน้ำ 9.5 ลบ.ม./ชม. สามารถลดความขุ่นได้ร้อยล่ะ 67.31 (การทดลอง 5-8)

ตารางที่ 6-2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์

กลุ่ม	อัตราการไหลเฉลี่ย (ลบ.ม./ชม.)	ความขุ่นเฉลี่ย (NTU)		บึงประดิษฐ์	พื้นที่ (ตร.ม.)	ประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์เฉลี่ย (%)	การทดลอง
		จุดเข้า	จุดออก				
1	0.5	282.2	96.7	พุทธรักษา	1,967	65.73	5-5
	0.5	96.7	69.2	กกสามเหลี่ยม	813	28.54	5-6
	0.5	197.7	96.7	พุทธรักษา	1,967	57.77	5-9
	0.5	96.7	44.6	กกสามเหลี่ยม	813	46.39	5-10
2	9.5	452.6	135.2	พุทธรักษา	3,204	70.13	5-7
	9.5	135.2	44.2	กกสามเหลี่ยม	813	67.31	5-8
3	10.4	29.9	16.4	พุทธรักษา	4,017	45.16	3-2
	15.6	311.4	189.8	พุทธรักษา	3,204	39.05	5-3
	15.6	189.8	170.7	กกสามเหลี่ยม	813	10.06	5-4
4	28.0	228.5	103.7	พุทธรักษา	4,017	54.64	1
	30.0	118.8	86.8	ข้าว	2,890	26.94	4-1
	30.0	86.8	62.1	กกสามเหลี่ยม	813	28.44	4-2
	33.7	45.1	28.2	พุทธรักษา	4,017	37.47	2
5	84.4	33.9	26.8	พุทธรักษา	4,017	20.85	3-1
	93.1	241.9	199.4	พุทธรักษา	3,204	17.57	5-1
	93.1	199.4	143.6	กกสามเหลี่ยม	813	27.94	5-2
	95.0	88.0	75.8	พุทธรักษา	3,204	13.86	4-3
	95.0	75.8	53.3	กกสามเหลี่ยม	813	20.85	4-4



รูปที่ 6-23 ประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ กรณีอัตราการไหลที่แตกต่างกัน

6.2.3 ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การเติมน้ำบาดาลผ่านระบบสระมีประสิทธิภาพ ควรดำเนินการใน 2 ส่วน ดังนี้

1) การจัดการเติมน้ำ ด้วยการควบคุมความขุ่นของน้ำที่ใช้เติมให้มีค่าต่ำกว่า 50 NTU ซึ่งควรดำเนินการ ดังนี้

(1.1) เพิ่มความหนาแน่นของพืชในบึงประดิษฐ์ ด้วยการปลูกกกสามเหลี่ยมเพิ่ม

(1.2) ควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่านบึงประดิษฐ์ไม่ควรเกิน 10 ลบ.ม./ชม.

(1.3) ควบคุมความขุ่นของน้ำดิบที่จุดเข้า ให้มีค่าไม่เกิน 150 NTU (ประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์)

2) การศึกษาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ ได้แก่

(2.1) การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ข้างเคียงในการช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำ เช่น การผันน้ำผ่านนาข้าวก่อนผันเข้าบึงประดิษฐ์ เป็นต้น

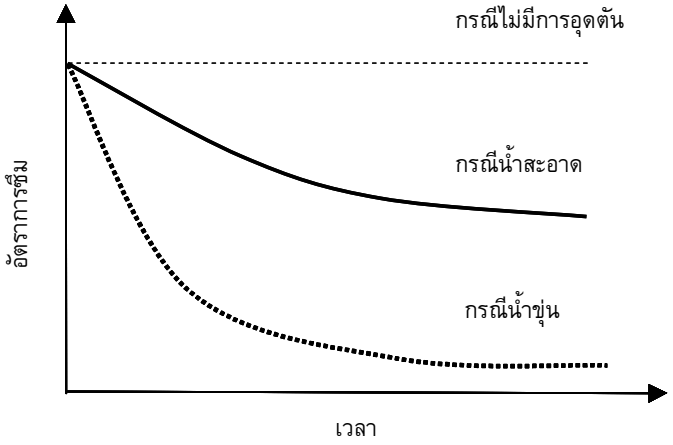
(2.2) การลดสัดส่วนของพื้นที่บึงประดิษฐ์ต่อพื้นที่สระเติมน้ำ

(2.3) การออกแบบสระตกตะกอนให้ทำหน้าที่เป็นสระเติมน้ำ

(2.4) การดูแลรักษาพืชในช่วงฤดูแล้ง

6.3 การทดลองเติมน้ำ

การทดลองเติมน้ำบาดาลผ่านระบบสระเกี่ยวข้องกับการซึมของน้ำผ่านตะกอนทรายซึ่งเป็นชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ มีปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณา ได้แก่ การอุดตัน (Clogging) ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการซึม (Pavelic, et al., 2007 และ Wu et al., 2007) ซึ่งการอุดตัน อาจกำหนดโดยการลดลงของช่องว่างที่ใช้การได้ในดินทำให้อัตราการซึมของน้ำผ่านชั้นดินลดลง (Paricio and Carrera, 1999) ลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการอุดตันมี 3 แบบได้แก่ กรณีไม่มีการอุดตัน (no clogging) กรณีน้ำสะอาด (clear water) และกรณีน้ำขุ่น (turbid water) ดังรูปที่ 6-24



รูปที่ 6-24 ลักษณะการซึมและการอุดตันของน้ำที่มีคุณภาพแตกต่างกัน

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการและการทดลองเติมน้ำในสระทดลองขนาดเล็ก พบว่า ความขุ่นของน้ำดิบที่ใช้ในการเติมน้ำผ่านระบบสระควรมีค่าไม่เกิน 50 NTU สระเติมน้ำขนาดใหญ่ มีการออกแบบให้มีการปูวัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระเพื่อป้องกันการอุดตัน และต้องทำความสะอาดสระเติมน้ำทุกครั้งหลังจากหยุดเติมน้ำในแต่ละการทดลอง ปัจจัยที่มีผลต่อการอุดตันของการเติมน้ำผ่านระบบสระ ได้แก่ ความขุ่นของน้ำดิบ และการใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระเติมน้ำ ดังนั้นในการออกแบบการทดลองเติมน้ำ จึงทำการทดลองในกรณีมีการใช้และไม่ใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระ และการควบคุมความขุ่นของน้ำดิบในการเติมน้ำให้มีค่าประมาณ 50 NTU

วัตถุประสงค์ของการทดลองเติมน้ำบาดาลผ่านระบบสระ เพื่อศึกษาอัตราการเติมน้ำและการอุดตัน ในกรณีที่มีการใช้และไม่ใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระ และกรณีน้ำที่ใช้เติมมีความขุ่นแตกต่างกัน และเพื่อหาเกณฑ์คุณภาพน้ำที่เหมาะสม

6.3.1 การดำเนินการทดลองเติมน้ำ

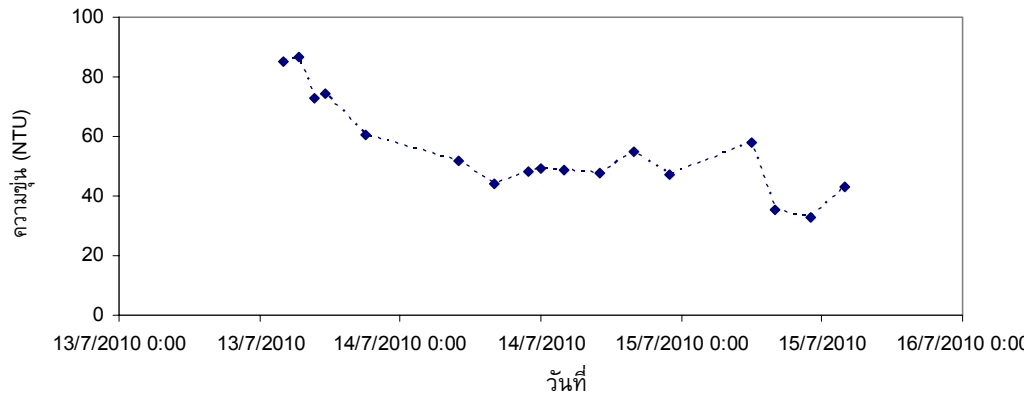
จากการทดลองเติมน้ำในช่วงฤดูฝน 2553 ได้ทำการทดลองเติมน้ำจำนวน 5 ครั้ง ระยะเวลาในการทดลองรวม 55 วัน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การทดลองเติมน้ำ ครั้งที่ 1

การทดลองเติมน้ำผ่านระบบสระ ดำเนินการในช่วงวันที่ 14 - 16 กรกฎาคม 2553 ระยะเวลาในการทดลองจำนวน 48 ชม. การทดลองนี้ออกแบบระดับการกักเก็บประมาณ 0.50 ม. จากระดับก้นสระ ความขุ่นของน้ำดิบมีค่าไม่เกิน 100 NTU และทำการเติมน้ำในสระเติมน้ำ B ซึ่งผลการทดลองการเติมน้ำ มีรายละเอียดดังนี้

(1.1) ข้อมูลภูมิอากาศ ประกอบด้วย ปริมาณฝนในช่วงทำการทดลอง 2.4 มล.ม. และปริมาณการระเหยจากถาดมีค่า 18.4 มล.ม.

(1.2) ข้อมูลด้านน้ำผิวดิน ประกอบด้วย อัตราการไหลเข้าสระมีค่าอยู่ระหว่าง 7 – 75 ลบ.ม. /ชม. ระดับการกักเก็บในสระมีค่าอยู่ระหว่าง 0.35 – 0.47 ม. จากระดับก้นสระ คุณภาพน้ำดิบที่ใช้เติม มีค่าความขุ่นอยู่ระหว่าง 32.8 – 86.9 NTU (ค่าเฉลี่ย 52.6 NTU) ดังรูปที่ 6-25



รูปที่ 6-25 คุณภาพน้ำดิบในการทดลองครั้งที่ 1

กิจกรรมการทดลองเติมน้ำ ประกอบด้วย การตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำผิวดินเข้าสระ การตรวจวัดระดับน้ำบาดาล และการตรวจวัดคุณภาพน้ำ แสดงดังรูปที่ 6-26



(ก) การทดลองเติมน้ำ



(ข) การตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำผิวดิน



(ค) การกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ



(ง) การตรวจวัดระดับน้ำบาดาลใต้สระ



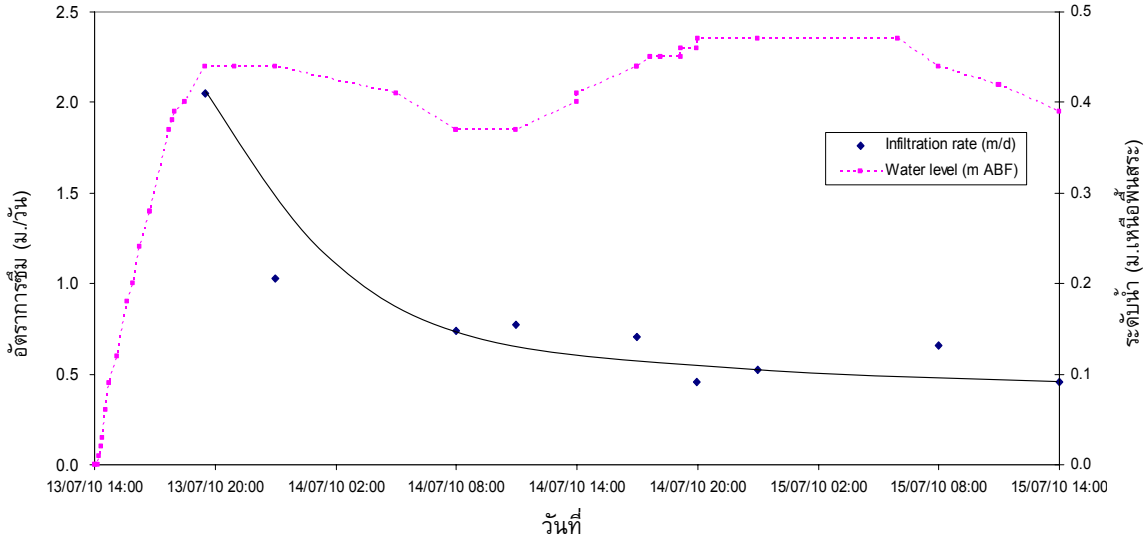
(จ) การตรวจวัดระดับน้ำบาดาล



(ฉ) การตรวจวัดคุณภาพน้ำ

รูปที่ 6-26 กิจกรรมในการทดลองเติมน้ำครั้งที่ 1

จากการทดลองเติมน้ำในช่วงเวลา 48 ชม. พบว่า ปริมาณน้ำผิวดินที่ไหลเข้าสระ 850.50 ลบ.ม. เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณการเติมน้ำ โดยใช้สมดุลน้ำของสระ B พบว่า อัตราการซึมในช่วงแรกมีค่าเท่ากับ 2.05 ม. /วัน ในระยะเวลาต่อมาอัตราการซึมมีค่าลดลงซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการซึม และหลังจากทดลองเติมไปแล้ว 48 ชม. มีอัตราการซึม 0.46 ม. /วัน ซึ่งปริมาณน้ำที่เติมได้ทั้งหมด 813.58 ลบ.ม. (ดังตารางที่ 6-11 และ รูปที่ 6-27)



รูปที่ 6-27 ผลการทดลองการเติมน้ำครั้งที่ 1

2) การทดลองเติมน้ำ ครั้งที่ 2

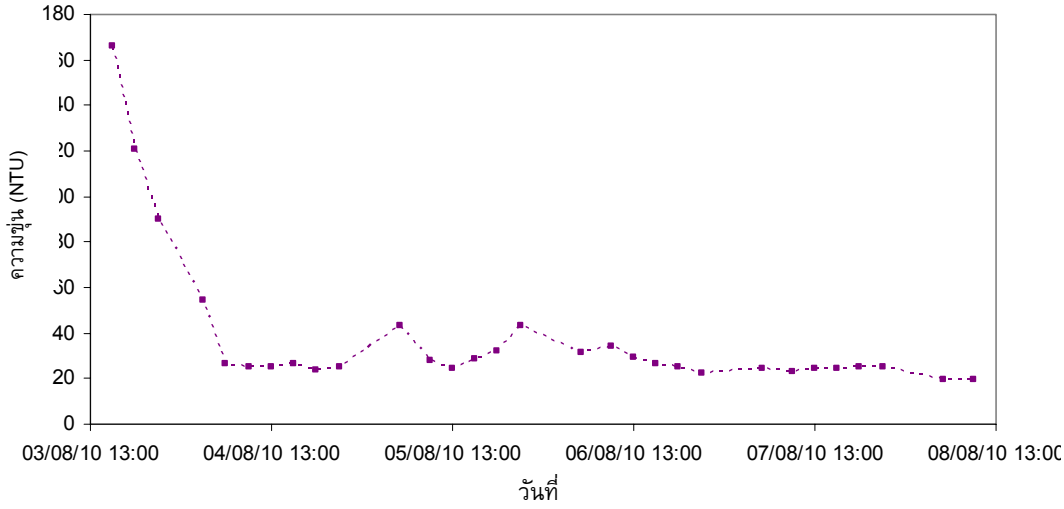
การทดลองเติมน้ำผ่านระบบสระครั้งที่ 2 ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 5 วัน (3 - 8 สิงหาคม 2553) การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อทดลองเติมน้ำอย่างต่อเนื่องทั้ง 2 สระ

เงื่อนไขในการทดลองที่ควบคุม มีดังนี้ มีวัสดุกรองสังเคราะห์ทั้ง 2 สระ และมีการกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ โดยสระเติมน้ำ A และ B กักเก็บน้ำที่ระดับสูงสุด 175 และ 200 ซม. เหนือระดับพื้นสระ ตามลำดับ

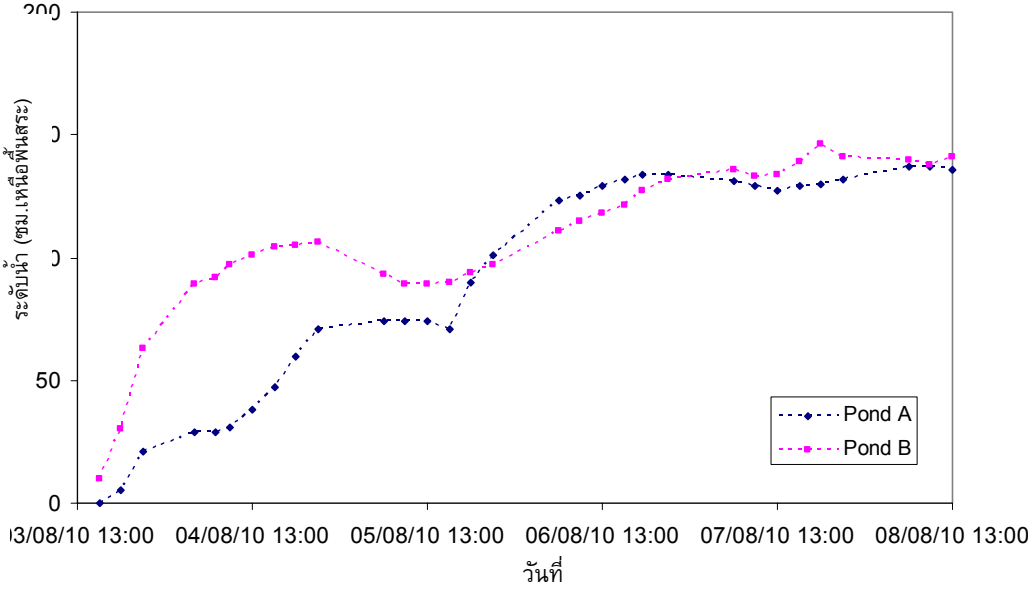
จากการทดลองเติมน้ำครั้งที่ 2 ข้อมูลในการเติมน้ำ มีดังนี้

(2.1) ข้อมูลภูมิอากาศ ประกอบด้วย ปริมาณฝนในช่วงทำการทดลอง 1.2 มม. และปริมาณการระเหยจากถาดมีค่า 3.2 มม.

(2.2) ข้อมูลด้านน้ำผิวดิน จากการทดลองเติมน้ำในช่วงเวลา 5 วัน พบว่าคุณภาพน้ำดิบที่ไหลเข้าสระเติมน้ำ A และ B มีค่าความขุ่นอยู่ระหว่าง 19.5 – 166 NTU (ค่าเฉลี่ย 37.9 NTU) (ดังรูปที่ 6-28) ระดับการกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ A และ B มีค่า 100.9 และ 116.6 ม. เหนือระดับพื้นสระ ตามลำดับ (ดังรูปที่ 6-29) ปริมาณน้ำผิวดินที่ไหลเข้าสระ A และ B มีค่า 5,430 และ 1,932 ลบ.ม. ตามลำดับ รวมปริมาณน้ำผิวดินที่ไหลเข้าสระทั้งหมด 7,362 ลบ.ม. (ดังตารางที่ 6-12 และ 6-13)



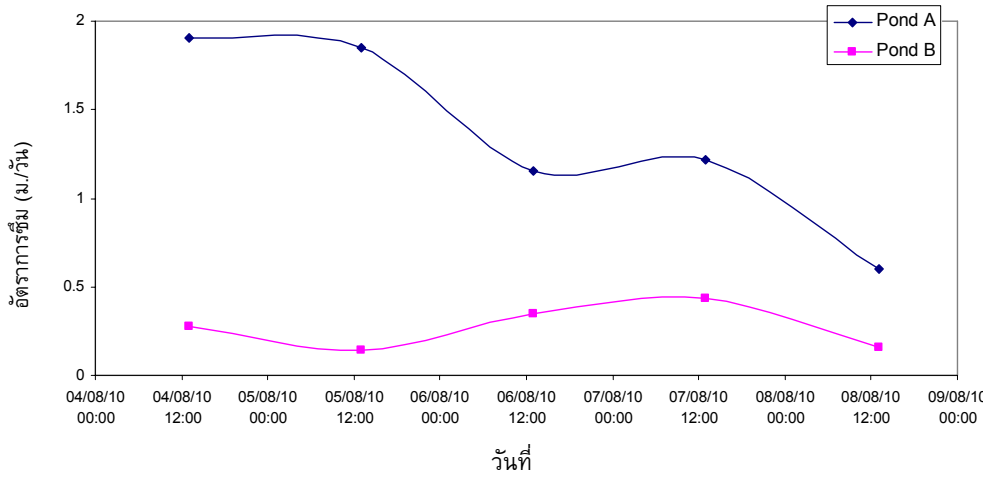
รูปที่ 6-28 คุณภาพน้ำดิบในการทดลองครั้งที่ 2



รูปที่ 6-29 ระดับการกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 2

เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณการเติมน้ำ โดยใช้สมดุลน้ำของสระ พบว่า ปริมาณน้ำที่เติมผ่านสระเติมน้ำ A และ B มีค่า 4,439.3 และ 895.9 ลบ.ม. ตามลำดับ รวมปริมาณน้ำที่เติมผ่านสระทั้งหมด 5,335.2 ลบ.ม.

อัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ A มีค่าเฉลี่ย 1.44 ม. /วัน ในช่วง 3 วันแรกมีแนวโน้มลดลงจาก 1.91 เป็น 1.15 ม. /วัน แล้วเพิ่มขึ้นเป็น 1.22 ม. /วัน จากนั้นมีแนวโน้มลดลง และอัตราการเติมน้ำในช่วงสุดท้ายเป็น 0.60 ม. /วัน และอัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ B มีค่าเฉลี่ย 0.30 ม. /วัน โดยในช่วง 2 วันแรกมีแนวโน้มลดลงจาก 0.27 เป็น 0.15 ม. /วัน แล้วเพิ่มขึ้นเป็น 0.43 เมตรต่อวัน จากนั้นมีแนวโน้มลดลง และอัตราการเติมน้ำในช่วงสุดท้ายเป็น 0.16 ม. /วัน (ดังรูปที่ 6-30)



รูปที่ 6-30 อัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 2

3) การทดลองเติมน้ำครั้งที่ 3

การทดลองเติมน้ำผ่านระบบสระครั้งที่ 3 ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 14 วัน (25 สิงหาคม – 8 กันยายน 2553) การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อทดลองเติมน้ำต่อเนื่องในระยะยาว และทดสอบความแตกต่างในกรณีการใช้และไม่ใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระเติมน้ำ

เงื่อนไขในการทดลองที่ควบคุม มีดังนี้

(3.1) การใช้และไม่ใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระเติมน้ำ โดยสระเติมน้ำ A มีการใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระ ส่วนสระเติมน้ำ B ไม่ใช้วัสดุกรองสังเคราะห์

(3.2) การกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ โดยสระเติมน้ำ A และ B กักเก็บน้ำที่ระดับสูงสุด 175 และ 200 ซม. เหนือระดับพื้นสระ ตามลำดับ

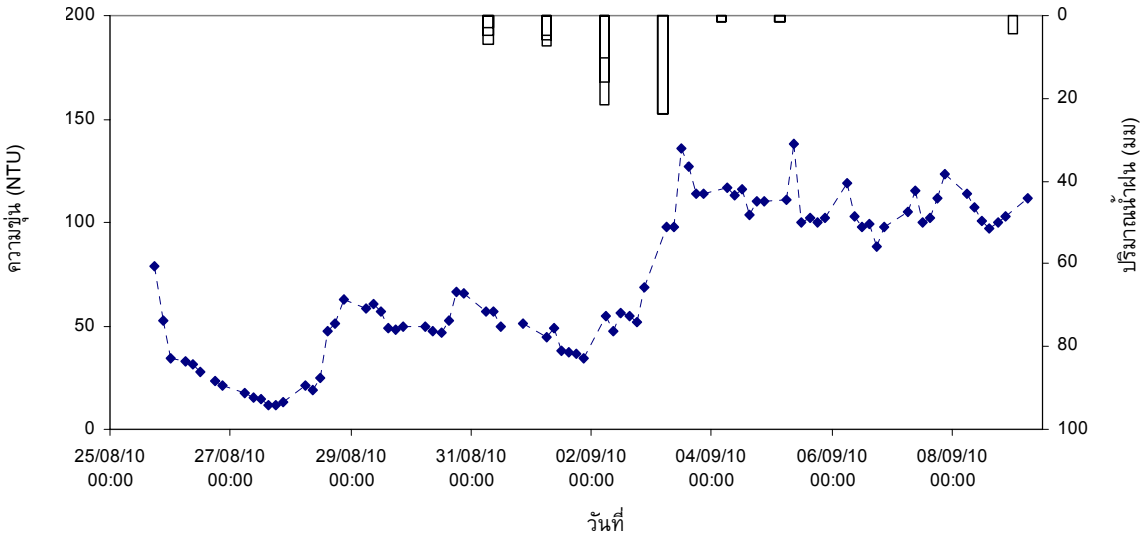
จากการทดลองเติมน้ำครั้งที่ 3 ข้อมูลในการเติมน้ำ มีดังนี้

- ข้อมูลภูมิอากาศ ประกอบด้วย ปริมาณฝนในช่วงทำการทดลอง 80.2 มม.และปริมาณการระเหยจากถาดมีค่า 70.2 มม.

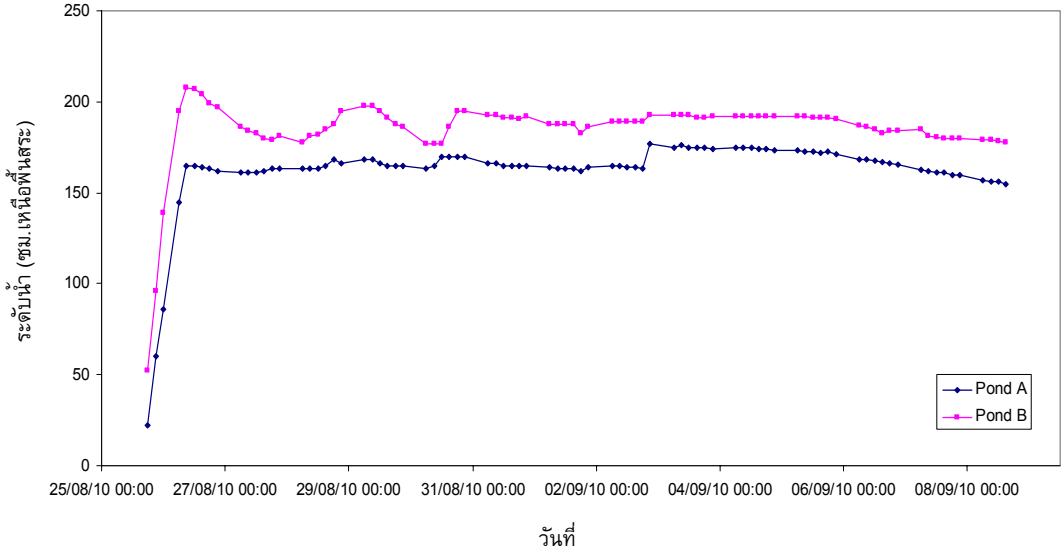
- ข้อมูลด้านน้ำผิวดิน จากการทดลองเติมน้ำในช่วงเวลา 14 วัน พบว่า คุณภาพน้ำดิบที่ไหลเข้าสระเติมน้ำ A และ B มีค่าความขุ่นอยู่ระหว่าง 11.6 – 204 NTU (ค่าเฉลี่ย 71.9 NTU) (ดังรูปที่ 6-31) ระดับการกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ A และ B มีค่าเฉลี่ย 156.7 และ 173.3 ม. เหนือระดับพื้นสระ ตามลำดับ (ดังรูปที่ 6-32) ปริมาณน้ำผิวดินที่ไหลเข้าสระ A และ B มีค่า 3,001.5 และ 5,424.8 มล.ม. ตามลำดับ รวมปริมาณน้ำผิวดินที่ไหลเข้าสระทั้งหมด 8,426.3 ลบ.ม. (ดังตารางที่ 6-14 และ 6-15)

เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณการเติมน้ำ โดยใช้สมดุลน้ำของสระ พบว่า ปริมาณน้ำที่เติมผ่านสระเติมน้ำ A และ B มีค่า 1,918.6 และ 4,156.8 ลบ.ม. ตามลำดับ รวมปริมาณน้ำที่เติมผ่านสระทั้งหมด 6,075.4 ลบ.ม.

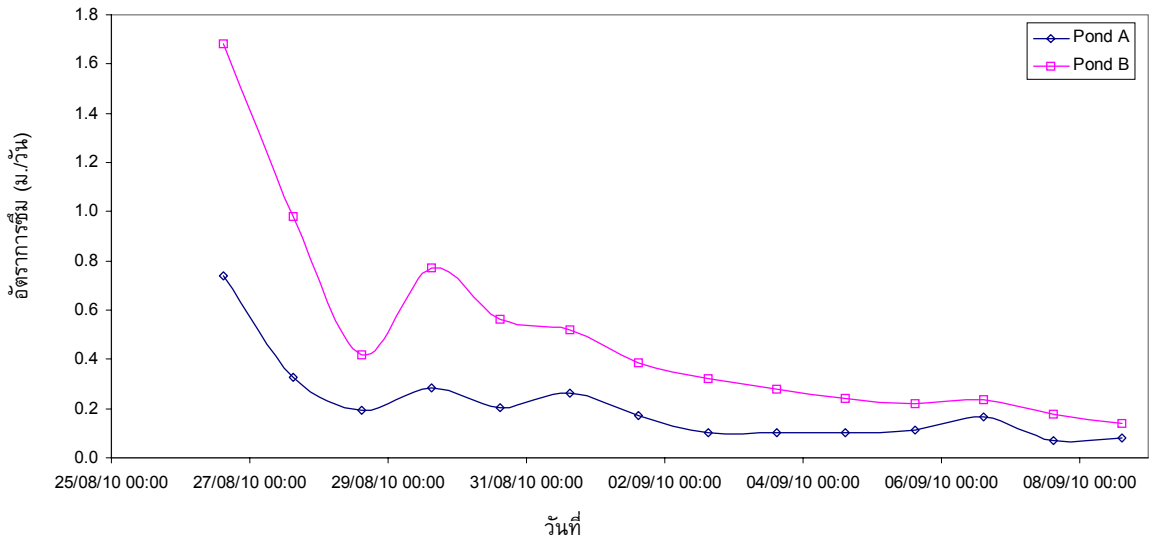
อัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ A เฉลี่ย 0.22 ม. /วัน ในช่วง 3 วันแรกมีแนวโน้มลดลงจาก 0.74 เป็น 0.19 ม. /วัน แล้วเพิ่มขึ้นเป็น 0.28 ม. /วัน จากนั้นมีแนวโน้มลดลง และอัตราการเติมน้ำในช่วงสุดท้ายเป็น 0.07 ม. /วัน และอัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ B เฉลี่ยมีค่า 0.49 ม. /วัน โดยในช่วง 3 วันแรกมีแนวโน้มลดลงจาก 1.68 เป็น 0.42 ม. /วัน แล้วเพิ่มขึ้นเป็น 0.77 ม. /วัน จากนั้นมีแนวโน้มลดลง และอัตราการเติมน้ำในช่วงสุดท้ายเป็น 0.14 ม. /วัน (ดังรูปที่ 6-33) และภาพถ่ายขณะและหลังการทดลองเติมน้ำครั้งที่ 3 ดังรูปที่ 6-34



รูปที่ 6-31 คุณภาพน้ำดิบในการทดลองครั้งที่ 3



รูปที่ 6-32 ระดับการกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 3



รูปที่ 6-33 อัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 3



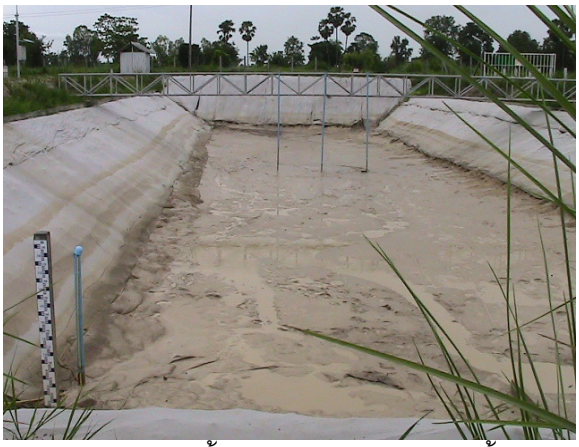
(ก) สระเติมน้ำ A ขณะทดลองเติมน้ำ



(ข) สระเติมน้ำ B ขณะทดลองเติมน้ำ



(ค) สระเติมน้ำ A หลังการทดลองเติมน้ำ



(ง) สระเติมน้ำ B หลังการทดลองเติมน้ำ

รูปที่ 6-34 ภาพถ่ายขณะและหลังการทดลองเติมน้ำครั้งที่ 3

4) การทดลองเติมน้ำ ครั้งที่ 4

การทดลองเติมน้ำผ่านระบบสระ ครั้งที่ 4 ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 4 วัน (19 – 23 กันยายน 2553) การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อทดลองเติมน้ำต่อเนื่องในระยะยาว และทดสอบความแตกต่างในกรณีการใช้และไม่ใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระเติมน้ำ
เงื่อนไขในการทดลองที่ควบคุม มีดังนี้

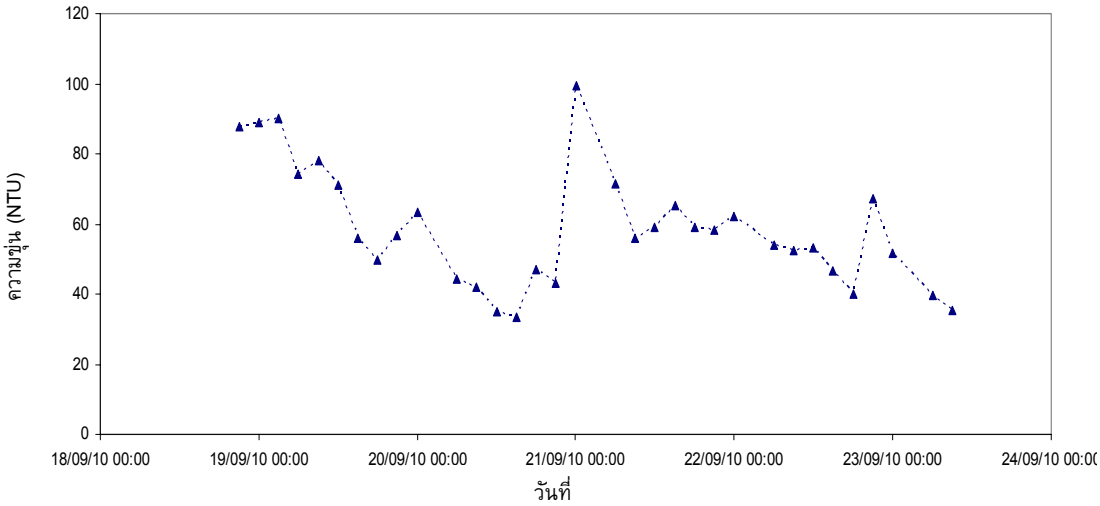
(4.1) การใช้และไม่ใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระเติมน้ำ โดยสระเติมน้ำ A มีการใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระ ส่วนสระเติมน้ำ B ไม่ใช้วัสดุกรองสังเคราะห์

(4.2) การกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ โดยสระเติมน้ำ A และ B กักเก็บน้ำที่ระดับสูงสุด 175 และ 200 ซม. เหนือระดับพื้นสระ ตามลำดับ

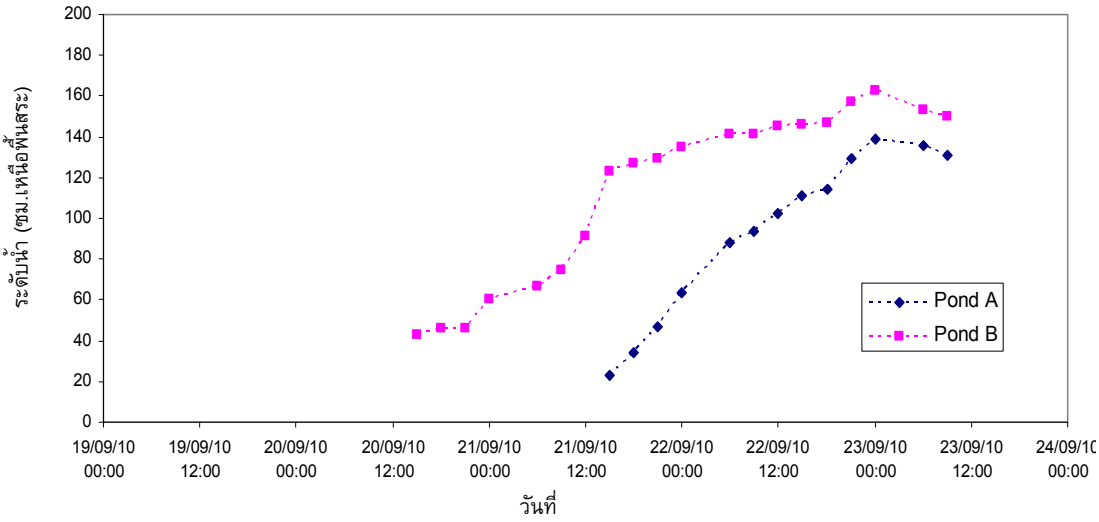
จากการทดลองเติมน้ำครั้งที่ 4 ข้อมูลในการเติมน้ำ มีดังนี้

- ข้อมูลภูมิอากาศ ประกอบด้วย ปริมาณฝนในช่วงทำการทดลอง 23.6 มล.ม. และปริมาณการระเหยจากถาดมีค่า 10.2 มม.

- ข้อมูลด้านน้ำผิวดิน จากการทดลองเติมน้ำในช่วงเวลา 14 วัน พบว่า คุณภาพน้ำดิบที่ไหลเข้าสระเติมน้ำ A และ B มีค่าความขุ่นอยู่ระหว่าง 33.4 – 99.5 NTU (ค่าเฉลี่ย 55.8 NTU) (ดังรูปที่ 6-35) ระดับการกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ A และ B มีค่า 156.7 และ 173.3 ม. เหนือระดับพื้นสระ ตามลำดับ (ดังรูปที่ 6-36) ปริมาณน้ำผิวดินที่ไหลเข้าสระ A และ B มีค่า 3,559.5 และ 2,847.0 ลบ.ม. ตามลำดับ รวมปริมาณน้ำผิวดินที่ไหลเข้าสระทั้งหมด 6,406.5 ลบ.ม. (ดังตารางที่ 6-16 และ 6-17)



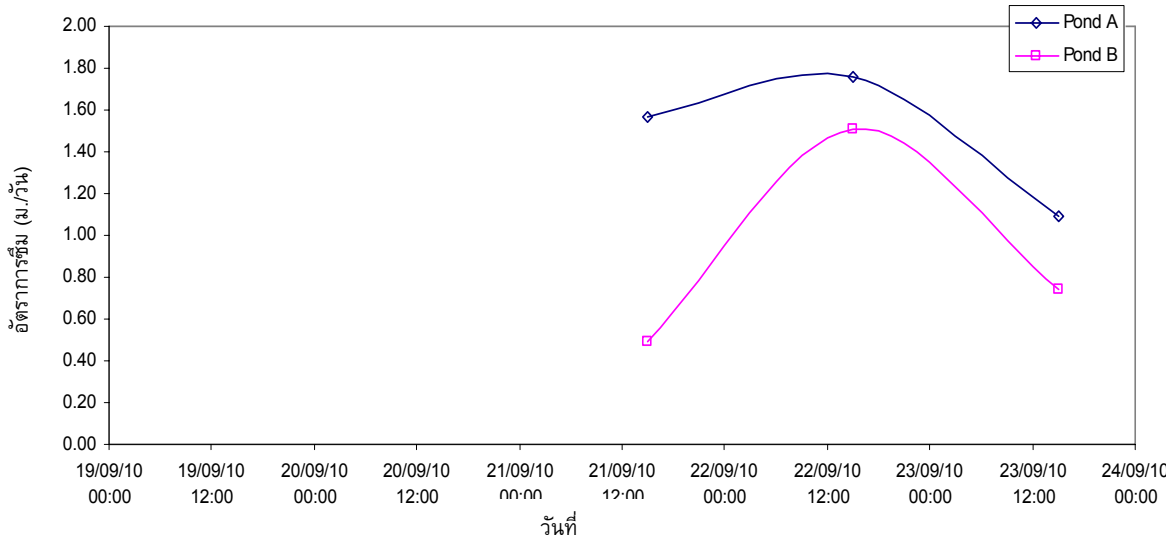
รูปที่ 6-35 คุณภาพน้ำดิบในการทดลองครั้งที่ 4



รูปที่ 6-36 ระดับการกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 4

เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณการเติมน้ำ โดยใช้สมดุลน้ำของสระ พบว่า ปริมาณน้ำที่เติมผ่านสระเติมน้ำ A และ B มีค่า 2,834.7 และ 1,901.1 ลบ.ม.ตามลำดับ รวมปริมาณน้ำที่เติมผ่านสระทั้งหมด 4,735.8 ลบ.ม.

อัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ A เฉลี่ย 1.15 ม. /วัน ในช่วง 2 วันแรกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 1.57 เป็น 1.76 ม. /วัน จากนั้นมีแนวโน้มลดลง และอัตราการเติมน้ำในช่วงสุดท้ายเป็น 1.09 ม./วัน และอัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ B เฉลี่ยมีค่า 0.79 ม./วัน โดยในช่วง 3 วันแรกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 0.43 เป็น 1.51 ม./วัน จากนั้นมีแนวโน้มลดลง และอัตราการเติมน้ำในช่วงสุดท้ายเป็น 0.74 ม./วัน (ดังรูปที่ 6-37)



รูปที่ 6-37 อัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 4

5) การทดลองเติมน้ำ ครั้งที่ 5

การทดลองเติมน้ำผ่านระบบสระ ครั้งที่ 5 ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 30 วัน (วันที่ 23 ตุลาคม – 22 พฤศจิกายน 2553) การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อทดลองการเติมน้ำต่อเนื่องในระยะเวลายาว และเพื่อทดสอบความแตกต่างในกรณีการใช้และไม่ใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระเติมน้ำ

เงื่อนไขการทดลองที่ควบคุม มีดังนี้

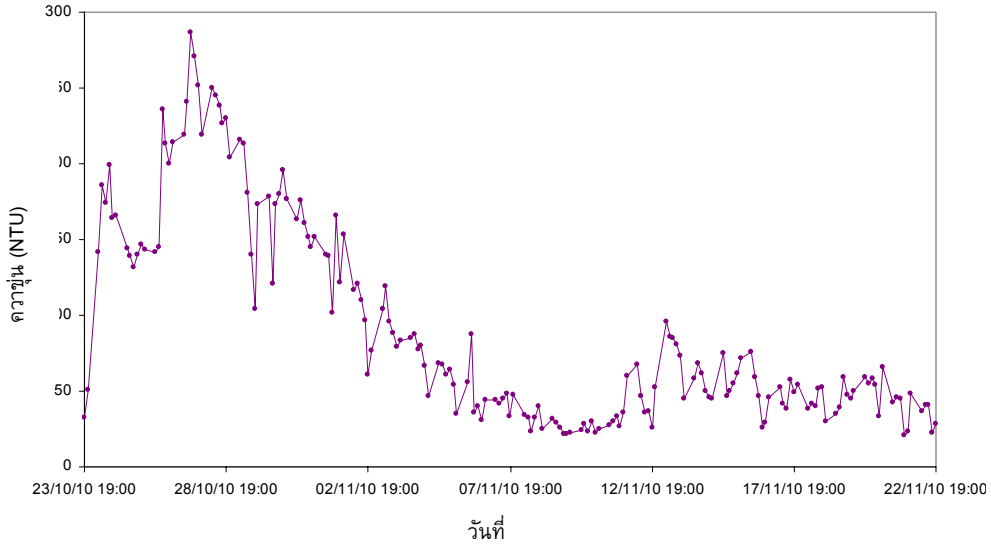
(5.1) การใช้และไม่ใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระเติมน้ำ โดยสระเติมน้ำ A มีการใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระ ส่วนสระเติมน้ำ B ไม่ใช้วัสดุกรองสังเคราะห์

(5.2) การกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ โดยสระเติมน้ำ A และ B กักเก็บน้ำที่ระดับสูงสุด 175 และ 200 ซม. เหนือระดับพื้นสระ ตามลำดับ

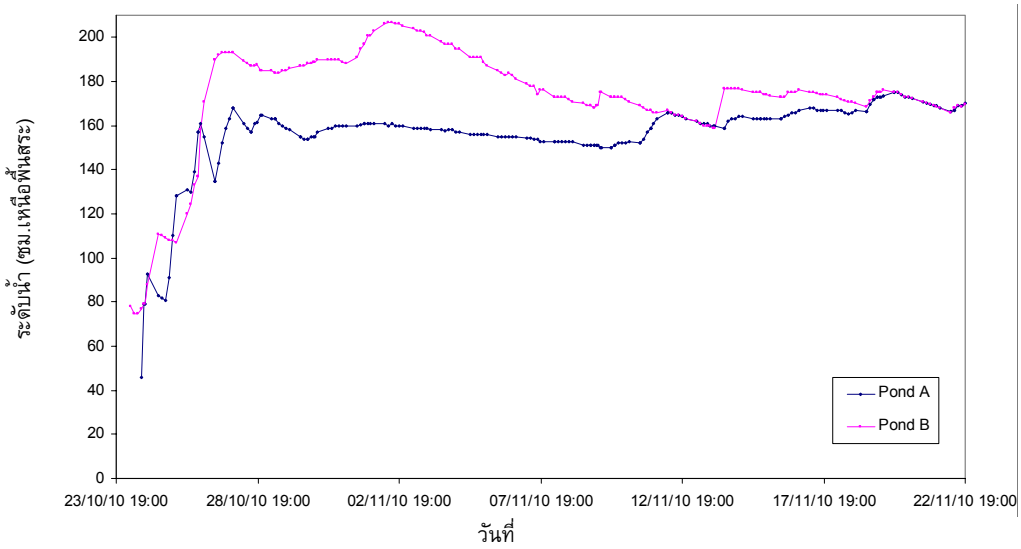
จากการทดลองเติมน้ำครั้งที่ 5 ข้อมูลในการเติมน้ำ มีดังนี้

- ข้อมูลภูมิอากาศ ประกอบด้วย ปริมาณฝนในช่วงทำการทดลอง 54.2 มม.และปริมาณการระเหยจากถาดมีค่า 120.0 มม.

- ข้อมูลด้านน้ำผิวดิน จากการทดลองเติมน้ำในช่วงเวลา 30 วัน พบว่า คุณภาพน้ำดิบที่ไหลเข้าสระเติมน้ำ A และ B มีค่าความขุ่นอยู่ระหว่าง 21.2 – 287 NTU (ค่าเฉลี่ย 89.9 NTU) (ดังรูปที่ 6-38) ระดับการกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ A และ B มีค่า 156.7 และ 173.3 ม. เหนือระดับพื้นสระ ตามลำดับ (ดังรูปที่ 6-39) ปริมาณน้ำผิวดินที่ไหลเข้าสระ A และ B มีค่า 6,234.0 และ 5,050.4 ลบ.ม. ตามลำดับ รวมปริมาณน้ำผิวดินที่ไหลเข้าสระทั้งหมด 11,284.4 ลบ.ม. (ดังตารางที่ 6-18 และ 6-19)



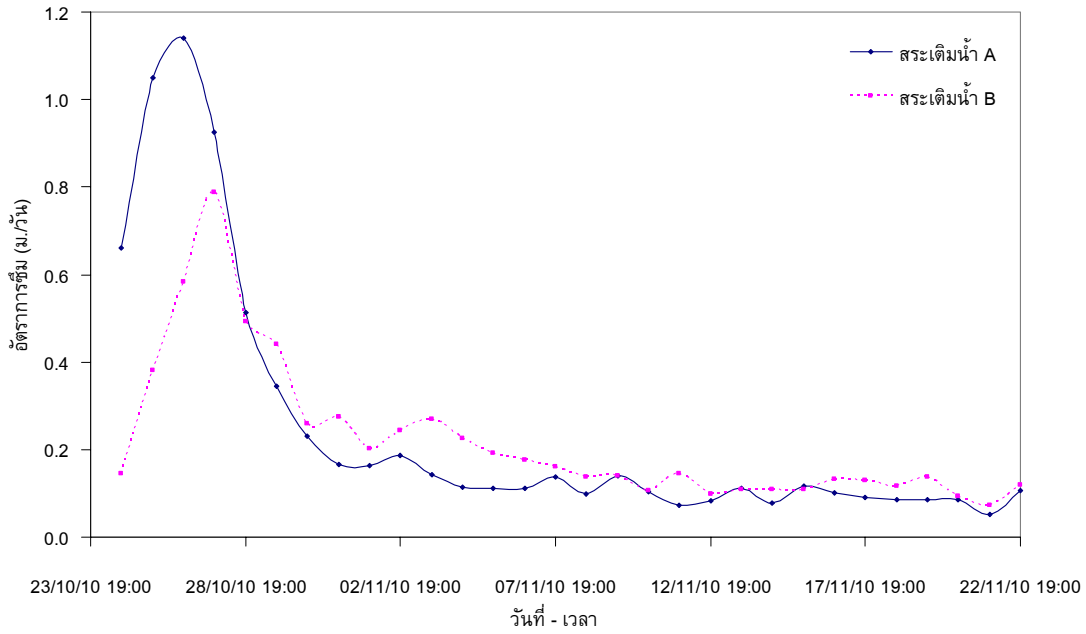
รูปที่ 6-38 คุณภาพน้ำดิบในการทดลองครั้งที่ 5



รูปที่ 6-39 ระดับการกักเก็บน้ำในสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 5

เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณการเติมน้ำ โดยใช้สมดุลน้ำของสระ พบว่า ปริมาณน้ำที่เติมผ่านสระ A และ B มีค่า 4,884.3 และ 3,952.8 ลบ.ม.ตามลำดับ รวมปริมาณน้ำที่เติมผ่านสระทั้งหมด 8,837 ลบ.ม.

อัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ A เฉลี่ย 0.26 ม. /วัน โดยในช่วง 3 วันแรกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 0.66 เป็น 1.20 ม. /วัน จากนั้นมีแนวโน้มลดลง และอัตราการเติมน้ำในช่วงสุดท้ายเป็น 0.09 ม. /วัน และอัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ B เฉลี่ย 0.22 ม. /วัน โดยในช่วง 4 วันแรกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 0.15 เป็น 0.90 ม. /วัน จากนั้นมีแนวโน้มลดลง และอัตราการเติมน้ำในช่วงสุดท้ายเป็น 0.09 ม. /วัน (ดังรูปที่ 6-40)



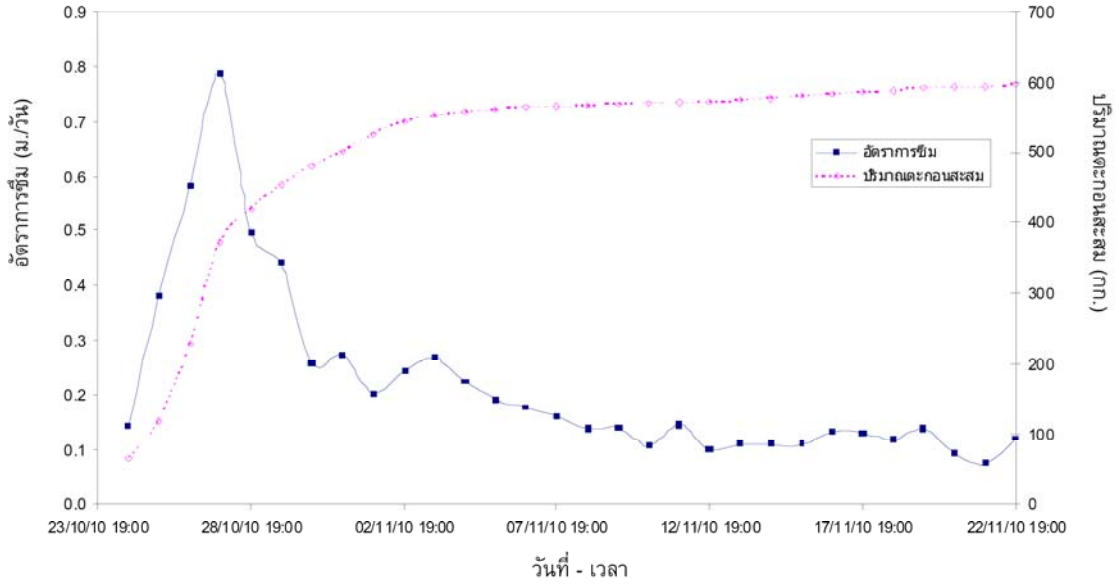
รูปที่ 6-40 อัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ A และ B ในการทดลองครั้งที่ 5

6.3.2 ลักษณะการซึมและการอุดตัน

ลักษณะการซึมของสระเติมน้ำ B ซึ่งไม่ปูวัสดุกรองสังเคราะห์ จากการทดลองการเติมน้ำครั้งที่ 5 จำนวน 30 วัน สามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วง ได้แก่ ในช่วงแรก (วันที่ 1-4) อัตราการซึมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.14 ถึง 0.79 ม./วัน ในช่วงที่สอง (วันที่ 5-8) อัตราการซึมมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจาก 0.78 ถึง 0.28 ม./วัน ในช่วงที่สาม (วันที่ 9-15) อัตราการซึมลดลงจาก 0.27 ถึง 0.16 ม./วัน และในช่วงที่สี่ (วันที่ 16-30) อัตราการซึมค่อยๆ ลดลงจาก 0.15 ถึง 0.07 ม./วัน ซึ่งในช่วงสุดท้ายหรืออัตราการซึมน้อยกว่า 0.15 ม./วัน เป็นช่วงที่เกิดการอุดตัน ดังรูปที่ 6-41

ปริมาณตะกอนในสระจากการเติมน้ำ คำนวณจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสระคูณกับปริมาณสารแขวนลอย ซึ่งปริมาณสารแขวนลอยคิดเป็น 0.8 เท่าของความขุ่น (รายละเอียดในหัวข้อ 4.3.1) จากการทดลองการเติมน้ำครั้งที่ 5 พบว่า มีปริมาณตะกอนไหลเข้าสระทั้งหมด 523 กิโลกรัม (กก.)

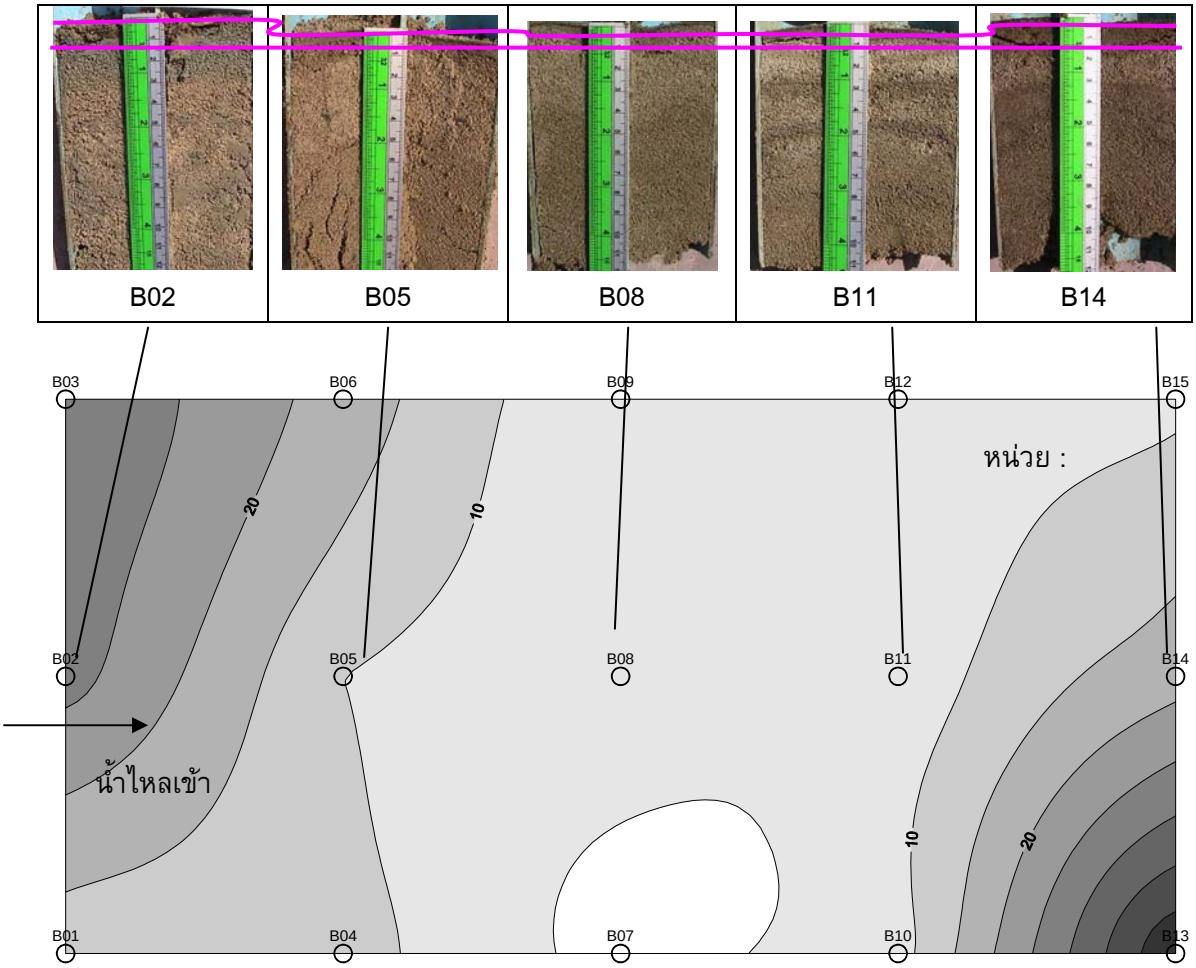
(ตารางที่ 6-3) หลังจากหยุดเติมน้ำได้ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนที่พื้นสระ มาหาความหนาของตะกอน โดยใช้ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 นิ้ว ความยาว 10 ซม. จำนวน 15 จุด กระจายทั่วสระ พบว่า ตะกอนที่พื้นสระมีความหนาระหว่าง 3 – 45 มม. (เฉลี่ย 10.8 มม.) โดยบริเวณตอนต้นและท้ายมีความหนามาก ตั้งแต่ 10 – 45 มม. ส่วนบริเวณตอนกลางสระมีความหนาน้อยอยู่ระหว่าง 3-10 มม. ดังรูปที่ 6-42



รูปที่ 6-41 อัตราการซึมและปริมาณตะกอนสะสม

ตารางที่ 6-3 ลักษณะการซึมของการเติมน้ำผ่านสระ

ช่วงที่	วันที่	ความขุ่น (NTU)	ความขุ่นเฉลี่ย (NTU)	ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสระ (ลบ.ม.)	ปริมาณตะกอน (กก.)	ปริมาณตะกอนสะสม (กก.)	อัตราการซึม (ม./วัน)
1	1-4	145 – 247	181.1	2,490.1	326.2	326.2	0.14 – 0.79
2	5-8	162 – 235	185.9	856.5	113.5	439.7	0.78 – 0.28
3	9-15	35 – 137	81.6	802.1	55.7	495.4	0.27 – 0.16
4	16-30	26 - 79	44.5	901.1	27.1	522.5	0.15 - 0.07
รวม				5,050.4	522.5		



รูปที่ 6-42 ความหนาของตะกอนที่พื้นสระเติมน้ำ B

6.3.3 สรุปผลการทดลองเติมน้ำ

จากการทดลองเติมน้ำในระยะเวลา 6 เดือน ได้ทำการทดลองเติมน้ำจำนวน 5 การทดลอง ระยะเวลาในการทดลองรวม 56 วัน พบว่า ปริมาณน้ำที่เติมได้ทั้งหมด 25,797 ลบ.ม. และอัตราการเติมน้ำเฉลี่ย 0.39 ม. /วัน (ดังตารางที่ 6-4)

จากผลการทดลองเติมน้ำผ่านสระในช่วงฤดูฝน พ.ศ. 2553 พบว่า

1) คุณภาพน้ำดิบมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 11.6 – 287 NTU (ค่าเฉลี่ย 76.49 NTU) โดยการทดลองครั้งที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 มีค่าเฉลี่ย 52.6, 27.2, 71.9, 65.5 และ 89.9 NTU (ดังตารางที่ 6-5) ซึ่งมีผลต่ออัตราการเติมน้ำและการอุดตัน

2) กรณีมีการใช้และไม่ใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ปูที่พื้นสระเพื่อกรองตะกอน โดยพิจารณาจากการทดลองในการทดลองครั้งที่ 5 ซึ่งเป็นการทดลองที่มีระยะเวลาในการทดลองยาวที่สุดจำนวน 30 วัน พบว่า ปริมาณการเติมน้ำของสระเติมน้ำ A และ B มีค่า 4,884 และ 3,953 ลบ.ม. ตามลำดับ และอัตราการเติมน้ำของสระเติมน้ำ A และ B มีค่า 0.26 และ 0.22 ม. /วัน ตามลำดับ (ดังตารางที่ 6-5) ซึ่งมีค่าต่างกัน 0.04 ม. /วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 15.38

ตารางที่ 6-4 ผลการทดลองเติมน้ำ

การทดลอง	เงื่อนไขในการทดลอง	ข้อมูลในการทดลอง	ผลการทดลอง
1	1) ปูวัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระเติมน้ำ B 2) เติมน้ำในสระเติมน้ำ B	1) ดำเนินการทดลอง 2 วัน (13-15 กรกฎาคม 2553) 2) ความขุ่นของน้ำดิบ 32.8-86.9 NTU (ค่าเฉลี่ย 52.6 NTU)	1) ปริมาณการเติมน้ำ 814 ลบ.ม. 2) อัตราการเติมน้ำเฉลี่ย 0.66 ม./วัน
2	ปูวัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระเติมน้ำ A และ B	1) ดำเนินการทดลอง 5 วัน (3-8 สิงหาคม 2553) 2) ความขุ่นของน้ำดิบ 19.5-43.3 NTU (ค่าเฉลี่ย 27.2 NTU)	1) ปริมาณการเติมน้ำ - สระเติมน้ำ A : 4,439 ลบ.ม. - สระเติมน้ำ B : 896 ลบ.ม. - รวม A และ B : 5,335 ลบ.ม. 2) อัตราการเติมน้ำเฉลี่ย - สระเติมน้ำ A : 1.44 ม./วัน - สระเติมน้ำ B : 0.30 ม./วัน - เฉลี่ย A และ B : 0.88 ม./วัน
3	การปูวัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระ - สระเติมน้ำ A ปูวัสดุกรองสังเคราะห์ - สระเติมน้ำ B ไม่ปูวัสดุกรองสังเคราะห์	1) ดำเนินการทดลอง 14 วัน (25 สิงหาคม-8 กันยายน 2553) 2) ความขุ่นของน้ำดิบ 11.6-204 NTU (ค่าเฉลี่ย 71.9 NTU)	1) ปริมาณการเติมน้ำ - สระเติมน้ำ A : 1,918 ลบ.ม. - สระเติมน้ำ B : 4,157 ลบ.ม. - รวม A และ B : 6,075 ลบ.ม. 2) อัตราการเติมน้ำเฉลี่ย - สระเติมน้ำ A : 0.22 ม./วัน - สระเติมน้ำ B : 0.49 ม./วัน - เฉลี่ย A และ B : 0.36 ม./วัน
4	การปูวัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระ - สระเติมน้ำ A ปูวัสดุกรองสังเคราะห์ - สระเติมน้ำ B ไม่ปูวัสดุกรองสังเคราะห์	1) ดำเนินการทดลอง 4 วัน (19-23 กันยายน 2553) 2) ความขุ่นของน้ำดิบ 35.5-103 NTU (ค่าเฉลี่ย 65.5 NTU)	1) ปริมาณการเติมน้ำ - สระเติมน้ำ A : 2,835 ลบ.ม. - สระเติมน้ำ B : 1,901 ลบ.ม. - รวม A และ B : 4,736 ลบ.ม. 2) อัตราการเติมน้ำเฉลี่ย - สระเติมน้ำ A : 1.15 ม./วัน - สระเติมน้ำ B : 0.79 ม./วัน - เฉลี่ย A และ B : 0.97 ม./วัน
5	การปูวัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระ - สระเติมน้ำ A ปูวัสดุกรองสังเคราะห์ - สระเติมน้ำ B ไม่ปูวัสดุกรองสังเคราะห์	1) ดำเนินการทดลอง 30 วัน (23 ตุลาคม-22 พฤศจิกายน 2553) 2) ความขุ่นของน้ำดิบ 21.2-287 NTU (ค่าเฉลี่ย 89.9 NTU)	1) ปริมาณการเติมน้ำ - สระเติมน้ำ A : 4,884 ลบ.ม. - สระเติมน้ำ B : 3,953 ลบ.ม. - รวม A และ B : 8,837 ลบ.ม. 2) อัตราการเติมน้ำเฉลี่ย - สระเติมน้ำ A : 0.26 ม./วัน - สระเติมน้ำ B : 0.22 ม./วัน - เฉลี่ย A และ B : 0.24 ม./วัน

ตารางที่ 6-5 สรุปผลการทดลองเติมน้ำ

การทดลอง	สระเติมน้ำ	การปูวัสดุกรองสังเคราะห์ที่พื้นสระ	ระยะเวลา (วัน)	ความขุ่นของน้ำดิบเฉลี่ย (NTU)	ปริมาณการเติมน้ำ (ลบ.ม.)	อัตราการเติมน้ำเฉลี่ย (ม./วัน)
1	B	มี	2	52.6	814	0.66
2	A	มี	5	27.2	4,439	1.44
	B	มี			896	0.30
3	A	มี	14	71.9	1,918	0.22
	B	ไม่มี			4,157	0.49
4	A	มี	4	65.5	2,835	1.15
	B	ไม่มี			1,901	0.79
5	A	มี	30	89.9	4,884	0.26
	B	ไม่มี			3,953	0.22
รวม			55		25,797	
เฉลี่ย				76.49		0.39

6.3.4 การประเมินปริมาณการเติมน้ำในช่วงฤดูฝน

จากการประเมินการเติมน้ำใต้ดินผ่านระบบสระในช่วงฤดูฝน (ระยะเวลาประมาณ 4 เดือน) กรณีน้ำที่ใช้เติมมีความขุ่นแตกต่างกัน (70, 100 และ 140 NTU) และการทำความสะอาดสระเติมน้ำในจำนวนครั้งที่แตกต่างกัน (1, 2 และ 4 ครั้ง) ซึ่งผลการคำนวณ ดังตารางที่ 6-6 และ รูปที่ 6-43 พบว่า

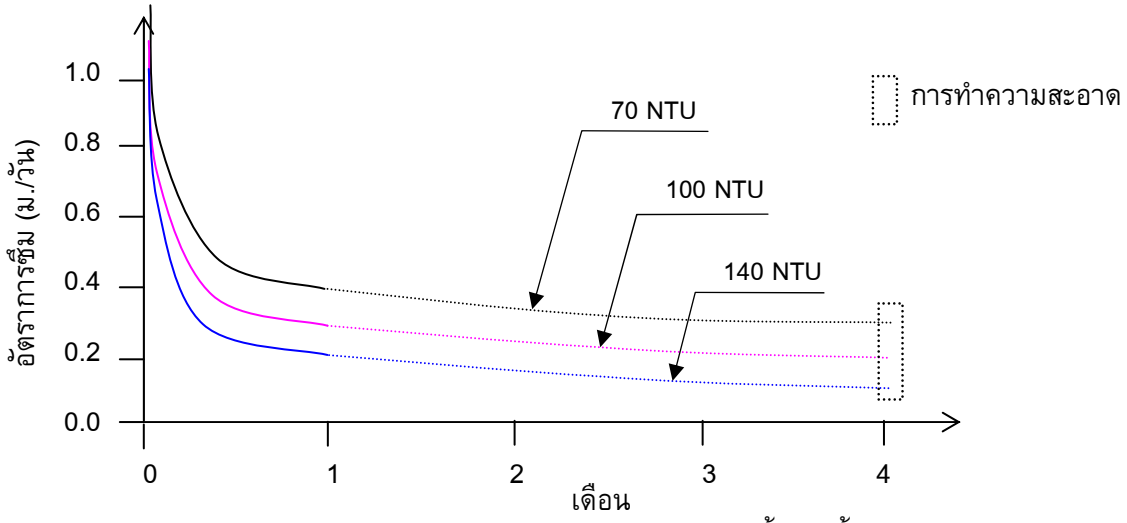
1) กรณีน้ำที่ใช้เติมมีความขุ่น 70 NTU ปริมาณการเติมน้ำในกรณีมีการทำความสะอาด 1, 2 และ 4 ครั้ง มีค่าประมาณ 43,200 55,200 และ 63,000 ลบ.ม. ตามลำดับ

2) กรณีน้ำที่ใช้เติมมีความขุ่น 100 NTU ปริมาณการเติมน้ำในกรณีมีการทำความสะอาด 1, 2 และ 4 ครั้ง มีค่าประมาณ 28,800 42,000 และ 50,400 ลบ.ม. ตามลำดับ

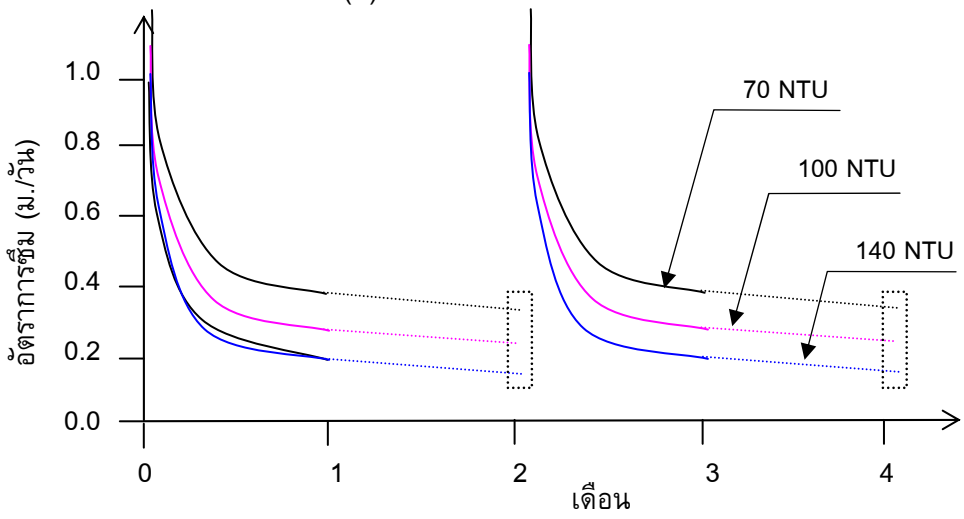
3) กรณีน้ำที่ใช้เติมมีความขุ่น 140 NTU ปริมาณการเติมน้ำในกรณีมีการทำความสะอาด 1, 2 และ 4 ครั้ง มีค่าประมาณ 19,080 27,900 และ 31,500 ลบ.ม. ตามลำดับ

ตารางที่ 6-6 ปริมาณการเติมน้ำในช่วงฤดูฝน กรณีมีการทำความสะอาดสระเติมน้ำที่แตกต่างกัน

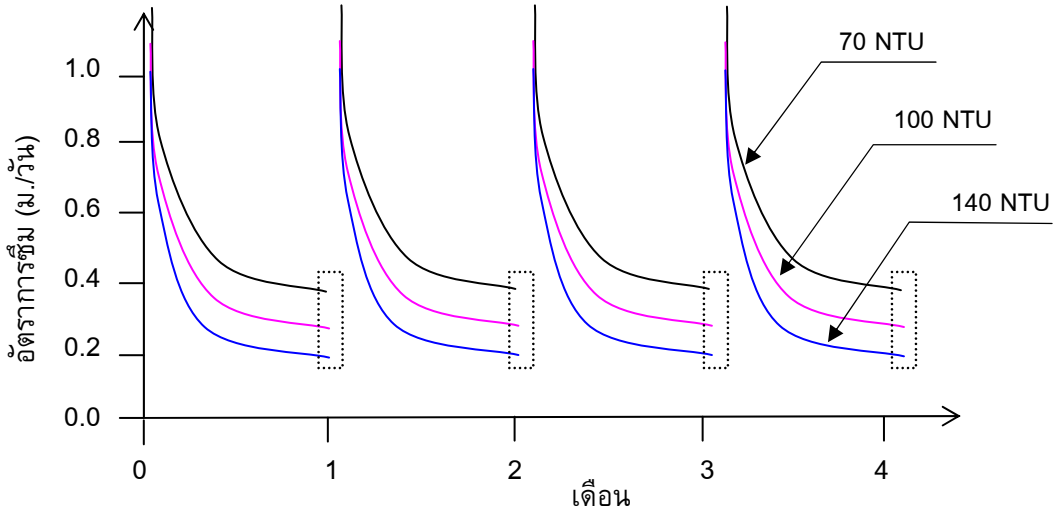
ความขุ่นของน้ำดิบ (NTU)	จำนวนครั้งในการทำความสะอาด	ระยะเวลาในการเติมน้ำ (วัน)	ระยะเวลาในการทำความสะอาด (วัน)	ปริมาณการเติมน้ำ (ลบ.ม.)	อัตราการเติมน้ำเฉลี่ย (ม./วัน)
70	1	120	5	43,200	0.30
	2	115	10	55,200	0.40
	4	105	20	63,000	0.50
100	1	120	5	28,800	0.20
	2	115	10	42,000	0.30
	4	105	20	50,400	0.40
140	1	120	5	19,080	0.13
	2	115	10	27,900	0.20
	4	105	20	31,500	0.25



(ก) กรณีมีการทำความสะอาดสระเติมน้ำ 1 ครั้ง



(ข) กรณีมีการทำความสะอาดสระเติมน้ำ 2 ครั้ง



(ค) กรณีมีการทำความสะอาดสระเติมน้ำ 4 ครั้ง

รูปที่ 6-43 ประมาณการเติมน้ำในกรณีทำความสะอาดในช่วงฤดูฝนที่แตกต่างกัน

6.4 การติดตามผลกระทบด้านระดับน้ำบาดาล

การวิเคราะห์ข้อมูลด้านระดับ (หัวข้อ 6.4) และคุณภาพน้ำบาดาล (หัวข้อ 6.5) ได้นำเสนอเฉพาะผลจากการทดลองเติมน้ำครั้งที่ 5 ซึ่งมีระยะการทดลองนาน 30 วัน (23 ตุลาคม-22 พฤศจิกายน 2553) ทำให้สามารถพิจารณาข้อมูลระดับและคุณภาพน้ำบาดาลได้ชัดเจนที่สุด ดังนี้

การติดตามข้อมูลระดับน้ำบาดาลมีทั้งช่วงก่อน ระหว่าง และหลังการเติมน้ำ ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ที่ใช้ติดตามข้อมูลระดับน้ำดังแสดงไว้ในรูปที่ 6-8 การวัดข้อมูลระหว่างเติมน้ำมีความถี่ช่วงละ 10 นาที สำหรับบ่อที่ติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติ ความถี่ราย 3 ชั่วโมง สำหรับบ่อสังเกตการณ์ภายในสระเติมน้ำ และความถี่รายวันสำหรับบ่อที่ห่างออกไปจากพื้นที่เติมน้ำ กราฟแสดงการติดตามข้อมูลระดับแรงดันน้ำบาดาลดังแสดงในรูปที่ 6-44 พบว่าบ่อ SMW40 ซึ่งอยู่ระหว่างสระ A และสระ B ได้รับผลกระทบจากการเติมน้ำอย่างชัดเจนกล่าวคือในช่วงที่มีการเติมน้ำระดับน้ำบาดาลมีการปรับตัวสูงขึ้น ส่วนบ่อ ซึ่งอยู่ห่างออกไปจากพื้นที่เติมน้ำด้านทิศเหนือและทิศใต้ไม่ได้รับผลกระทบจากการทดลองเติมน้ำ ระดับน้ำบาดาลที่ปรับตัวสูงขึ้นในบ่อ SMW16 และบ่อ SMW36 เกิดจากการเติมน้ำตามธรรมชาติ

การวิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำบาดาลเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลที่เพิ่มสูงสุดในช่วงทดลองเติมน้ำ การวิเคราะห์รูปแบบและทิศทางการไหลของน้ำบาดาลระดับตื้นที่ได้จากการติดตามข้อมูลระดับน้ำทั้งในช่วงก่อนและระหว่างการเติมน้ำแล้วมาคำนวณเป็นค่าระดับแรงดันน้ำบาดาลของแต่ละบ่อ และวิเคราะห์การกระจายตัวของค่าระดับแรงดันน้ำบาดาลในพื้นที่โดยการกำหนดเส้นชั้นความสูงที่มีค่าระดับแรงดันน้ำบาดาลเท่ากัน รวมทั้งการคำนวณพื้นที่การปรับตัวสูงขึ้นของน้ำบาดาลในช่วงที่ระดับน้ำบาดาลที่เพิ่มสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 6-45

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำบาดาลจากการทดลองเติมน้ำครั้งที่ 5 สรุปได้ดังนี้

1) ปริมาณและอัตราการเติมน้ำ ปริมาณการเติมน้ำรวมทั้งสระ A และ B เท่ากับ 8,837 ลบ.ม. อัตราการเติมน้ำ 0.24 ม./วัน ดังแสดงในตารางที่ 6-4

2) การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาล วิเคราะห์จากระดับแรงดันน้ำบาดาลหรือเฮด ดังแสดงในตารางที่ 6-6 ซึ่งแสดงค่าที่ตรวจวัดในช่วงก่อนเติม (วันที่ 22 ต.ค.53, t_0) วันที่มีค่าแรงดันน้ำบาดาลสูงสุด (วันที่ 27 ต.ค.53, t_5) และวันสุดท้ายของการทดลองเติม (วันที่ 22 พ.ย.53, t_{22}) (ส่วนรายละเอียดในช่วงเวลาอื่นแสดงในภาคผนวก ช) การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลเนื่องจากการเติมน้ำผ่านสระมีค่าเพิ่มขึ้น 0.05-3.33 ม. บ่อที่ตรวจพบว่ามีค่าระดับน้ำบาดาลสูงสุด ได้แก่ บ่อ B3 ซึ่งเป็นบ่อสังเกตการณ์ในสระเติมน้ำ B

3) การไหลของน้ำบาดาล ช่วงก่อนเติมมีทิศทางไหลหลักจากทิศใต้ไปทิศเหนือ ส่วนช่วงทดลองเติมระดับน้ำบาดาลบริเวณโดยรอบสระเติมน้ำมีการปรับตัวสูงขึ้นเนื่องจากการเติมน้ำผ่านสระ หากพิจารณาจากแผนที่และภาพตัดขวางแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันน้ำบาดาล ดังแสดงในรูปที่ 6-46 พบว่าบริเวณดังกล่าวมีรูปร่างเป็นเนินของน้ำบาดาล (groundwater mound) และมีทิศทางการไหลในแนวรัศมีออกจากตอนกลางของพื้นที่เนินไปสู่พื้นที่รอบข้าง ความเร็วของการไหลของน้ำบาดาลสามารถคำนวณได้จากสมการ $q = -Ki$ เมื่อ q คือ ความเร็วของการไหลของน้ำบาดาล

(ม./วัน) K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (hydraulics conductivity, ม./วัน) i คือ ความลาดชลศาสตร์ (hydraulic gradient, ม./ม.) เนื่องจากชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้นมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน $9x10^{-5}$ ม./วินาที หรือ 7.8 ม./วัน ความลาดชลศาสตร์เฉลี่ยจากการทดลองเติมน้ำเท่ากับ 1/500 ม./ม. ดังนั้นความเร็วเฉลี่ยของการไหลของน้ำบาดาลคิดเป็น 0.016 ม./วัน

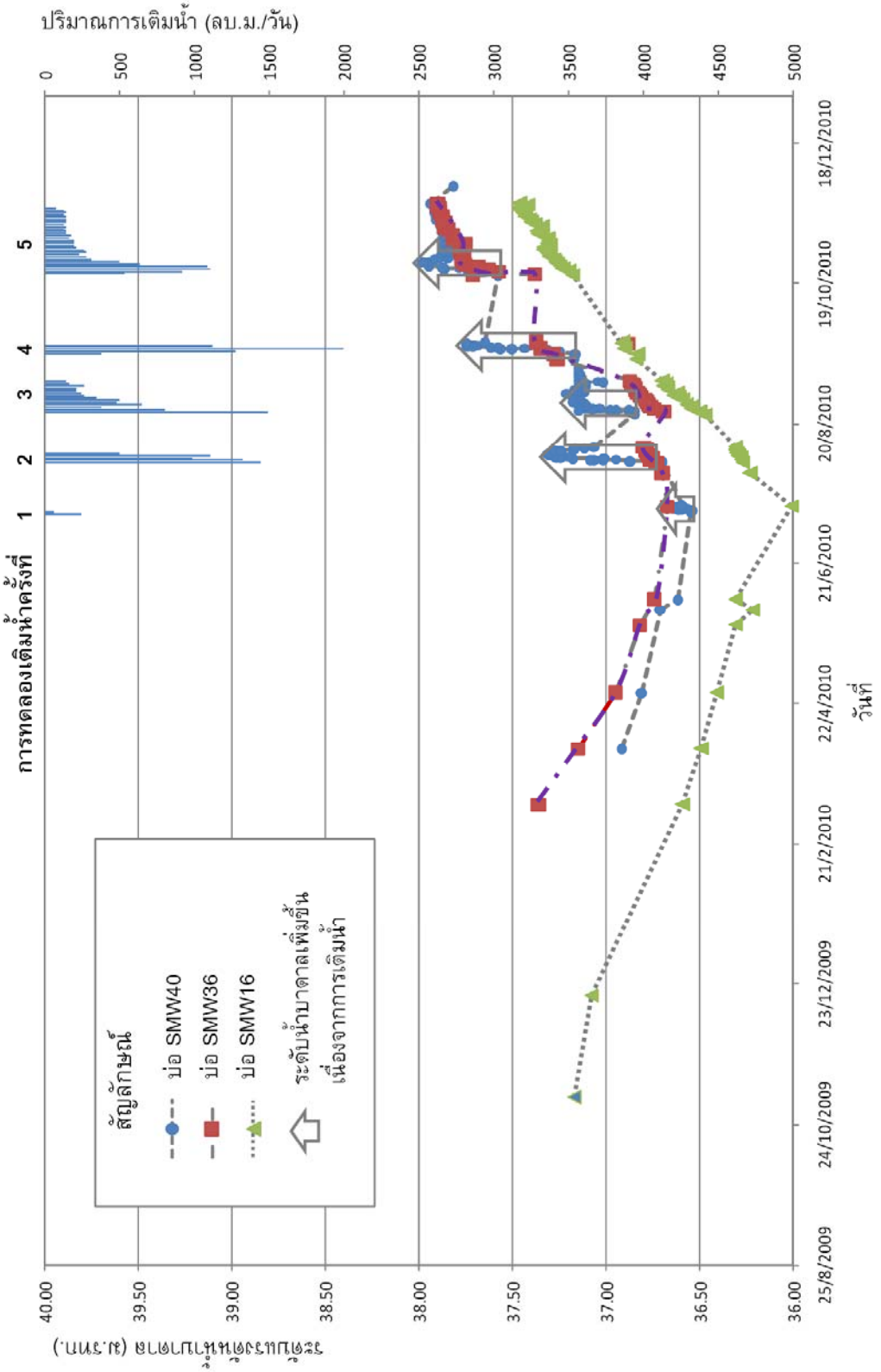
4) พื้นที่การปรับตัวสูงขึ้นของน้ำบาดาล พิจารณาจากวันที่มีค่าระดับน้ำบาดาลเพิ่มสูงสุดคือวันที่ 27 ต.ค. 53 หรือวันที่ 5 ของการเติมน้ำ (t_5) บริเวณใต้สระเติมน้ำเกิดเป็นเนินของน้ำบาดาล (mounding) พื้นที่การปรับตัวสูงขึ้นของน้ำบาดาลคำนวณโดยใช้โปรแกรม ArcGIS พบว่ามีพื้นที่ 6,145 ตร.ม. หรือประมาณ 3.8 ไร่ พื้นที่ดังกล่าวมีรูปร่างเป็นวงรี (รูปที่ 6-45) มีแนวแกนหลักเอียงในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบซึ่งมีค่า Kx = 40 Ky

6.5 การติดตามผลกระทบด้านคุณภาพน้ำบาดาล

คุณภาพน้ำในพื้นที่ศึกษาทั้งน้ำผิวดินที่ใช้เติมและน้ำบาดาลระดับตื้นและระดับลึกมีคุณภาพดีปราศจากการปนเปื้อนของสารเคมีทางการเกษตร (ตารางที่ 6-8 และภาคผนวก ซ) ดังนั้นการคัดเลือกพารามิเตอร์สำหรับการติดตามผลกระทบด้านคุณภาพน้ำบาดาลระดับตื้นในช่วงที่มีการทดลองเติมน้ำประกอบด้วย ความขุ่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ความนำไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้า ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เหล็ก แมงกานีส และไอออนหลัก

การติดตามข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลมีทั้งช่วงก่อน และระหว่างการเติมน้ำ บ่อเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลเป็นบ่อระดับตื้นซึ่งอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ตามทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาล (ภาพตัดขวาง AA') และแนวตะวันตก-ตะวันออก (ภาพตัดขวาง BB') ดังแสดงในรูปที่ 6-8 การเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ในช่วงทดลองเติมน้ำมีข้อระมัดระวังเพื่อไม่ให้ข้อมูลระดับน้ำบาดาลคลาดเคลื่อนจึงได้เก็บตัวอย่างน้ำหลังจากวัดระดับน้ำในบ่อเรียบร้อยแล้วเท่านั้น

ผลการติดตามข้อมูลคุณภาพน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ SMW16 SMW40 และ SMW36 ซึ่งอยู่ในแนวทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาลดังแสดงในรูปที่ 6-45 ช่วงที่มีการเติมน้ำครั้งที่ 5 บ่อ SMW40 ซึ่งอยู่ระหว่างสระ A และสระ B พบว่าการเติมน้ำช่วงแรกมีค่า EC สูงขึ้นเล็กน้อยซึ่งบ่งบอกว่าน้ำผิวดินได้เติมลงสู่แหล่งน้ำบาดาล ส่วนช่วงที่เกิด mound สูงที่สุดในวันที่ 5 ของการเติมน้ำ (รูปที่ 6-46) ค่าความนำไฟฟ้าลดลงจาก 200 µS/cm ในช่วงก่อนเติมเป็น 150 µS/cm การพล็อตข้อมูลคุณภาพน้ำตามเวลา (รูปที่ 6-47) และตามระยะทางในแนวทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาล (รูปที่ 6-48) ยังไม่พบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ (ค่าความขุ่น เหล็ก และแมงกานีส) ที่มีนัยสำคัญและไม่สัมพันธ์กับการเติมน้ำ รูปแบบทางเคมีของน้ำบาดาลไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในระยะการทดลอง 30 วัน

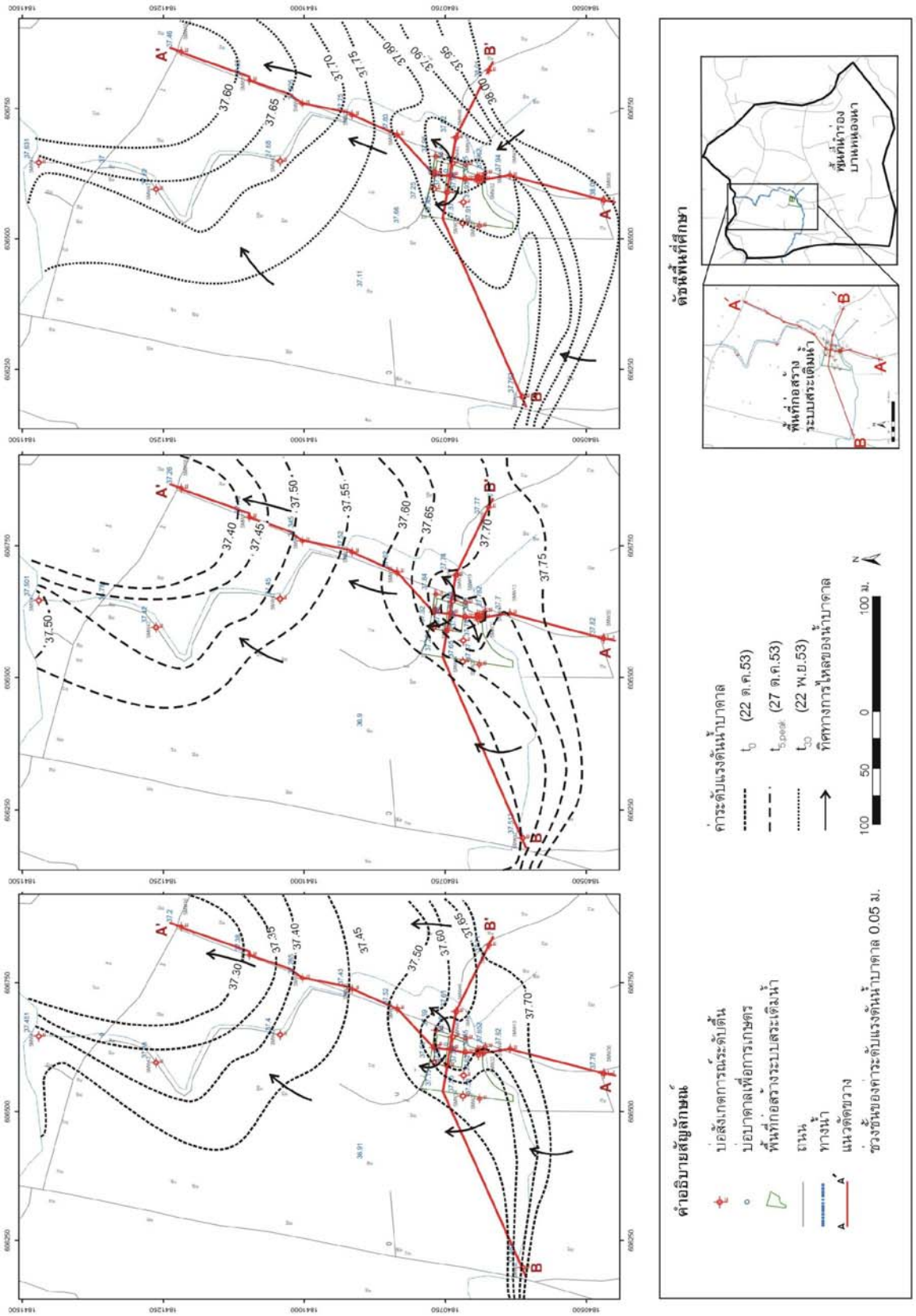


รูปที่ 6-44 ระดับแรงดันน้ำบาดาลบ่อสังเกตการณ์ SMW40 SMW36 และ SMW16

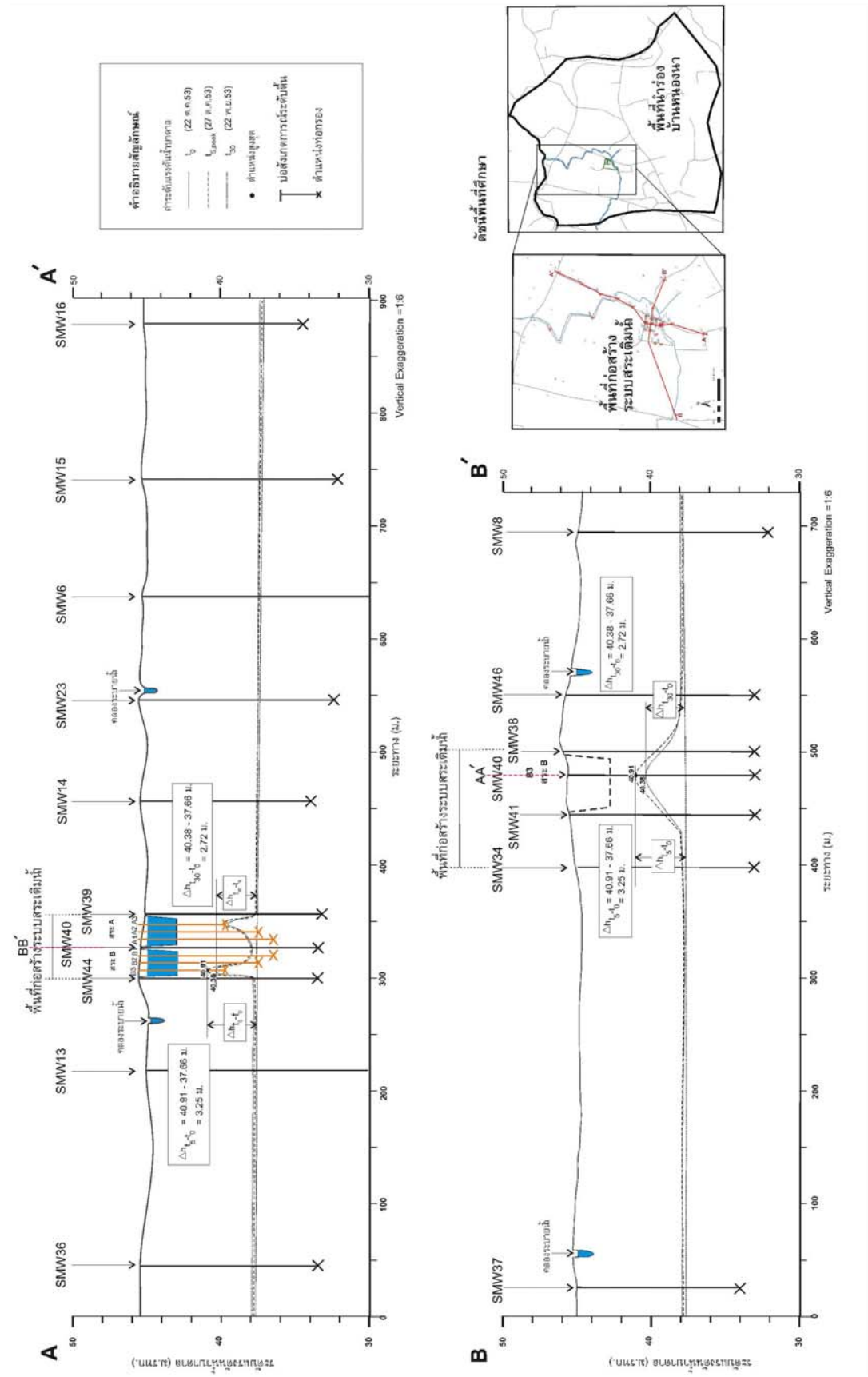
ตารางที่ 6-7 ข้อมูลระดับน้ำบาดาลที่เพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงการทดลองเติมน้ำครั้งที่ 5

ชื่อบ่อ	พิกัด X	พิกัด Y	ระดับแรงดันน้ำบาดาล (ม. รทก.) [1]			การเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันน้ำบาดาล (ม.) [2]	
			t_0 (22ต.ค.53)	$t_{5,peak}$ (27ต.ค.53)	t_{30} (22พ.ย.53)	$t_{5,peak}$ (27ต.ค.53)	t_{30} (22พ.ย.53)
SMW36	606574	1840468	37.71	37.82	38.09	0.11	0.38
SMW13	606658	1840766	37.59	37.90	37.94	0.31	0.35
SMW44	606615	1840715	37.58	37.95	37.95	0.37	0.37
B3	606619	1840730	37.58 [3]	40.91	40.38	3.33	2.80
B2	606619	1840728	37.58 [3]	38.67	-	1.09	-
B1	606619	1840726	37.58 [3]	38.36	37.66	0.78	0.08
SMW40	606623	1840740	37.58	37.99	37.93	0.41	0.35
A1	606624	1840755	37.55 [4]	37.77	37.42	0.22	-0.13
A2	606624	1840755	37.55 [4]	38.24	-	0.69	-
A3	606624	1840757	37.55 [4]	39.83	-	2.28	-
SMW39	606624	1840770	37.54	37.86	37.88	0.32	0.34
SMW14	606700	1840835	37.47	37.62	37.83	0.15	0.36
SMW23	606738	1840915	37.42	37.52	37.75	0.10	0.33
SMW6	606759	1841003	37.26	37.35	37.61	0.09	0.35
SMW15	606804	1841097	37.36	37.43	37.65	0.07	0.29
SMW16	606859	1841218	37.18	37.26	37.46	0.08	0.28
SMW37	606197	1840613	37.46	37.51	37.76	0.05	0.30
SMW34	606530	1840719	37.51	37.65	37.87	0.14	0.36
SMW41	606594	1840744	37.54	37.98	37.90	0.44	0.36
SMW38	606645	1840737	38.12	38.39	38.47	0.27	0.35
SMW46	606696	1840732	37.56	37.74	37.92	0.18	0.36
SMW8	606823	1840672	37.71	37.77	38.01	0.06	0.30

หมายเหตุ : [1] เวลา t_0 หมายถึง ช่วงก่อนเติม เวลา $t_{5,peak}$ หมายถึง วันที่ 5 ของการเติมน้ำและมีค่าแรงดันน้ำบาดาลหรือการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำบาดาลสูงสุด เวลา t_{30} หมายถึง วันที่ 30 ของการเติมน้ำ [2] การเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันน้ำบาดาล เวลา t_{30} หมายถึง ผลต่างระหว่างระดับแรงดันน้ำบาดาลเวลา t_{30} และเวลา t_0 [3] ค่าระดับแรงดันน้ำบาดาลซึ่งเป็นค่าระหว่างบ่อ SMW44 และบ่อ SMW40
[4] ค่าระดับแรงดันน้ำบาดาลซึ่งเป็นค่าระหว่างบ่อ SMW40 และบ่อ SMW39



รูปที่ 6-45 แผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันน้ำบาดาลในช่วงทดลองเติมน้ำ ครั้งที่ 5

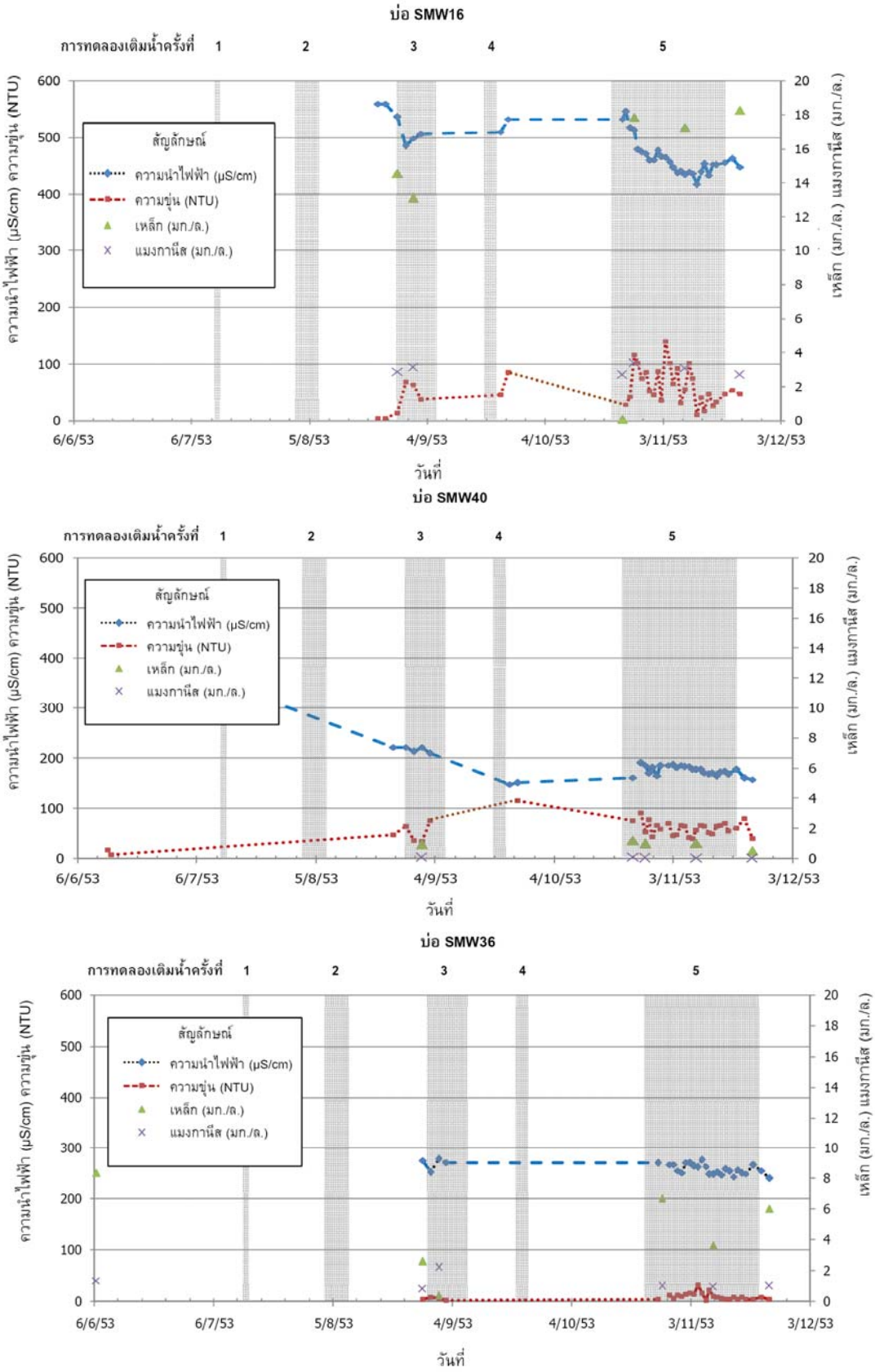


รูปที่ 6-46 ภาพตัดขวางแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันน้ำบาดาลในช่วงทดลองเติมน้ำ ครั้งที่ 5

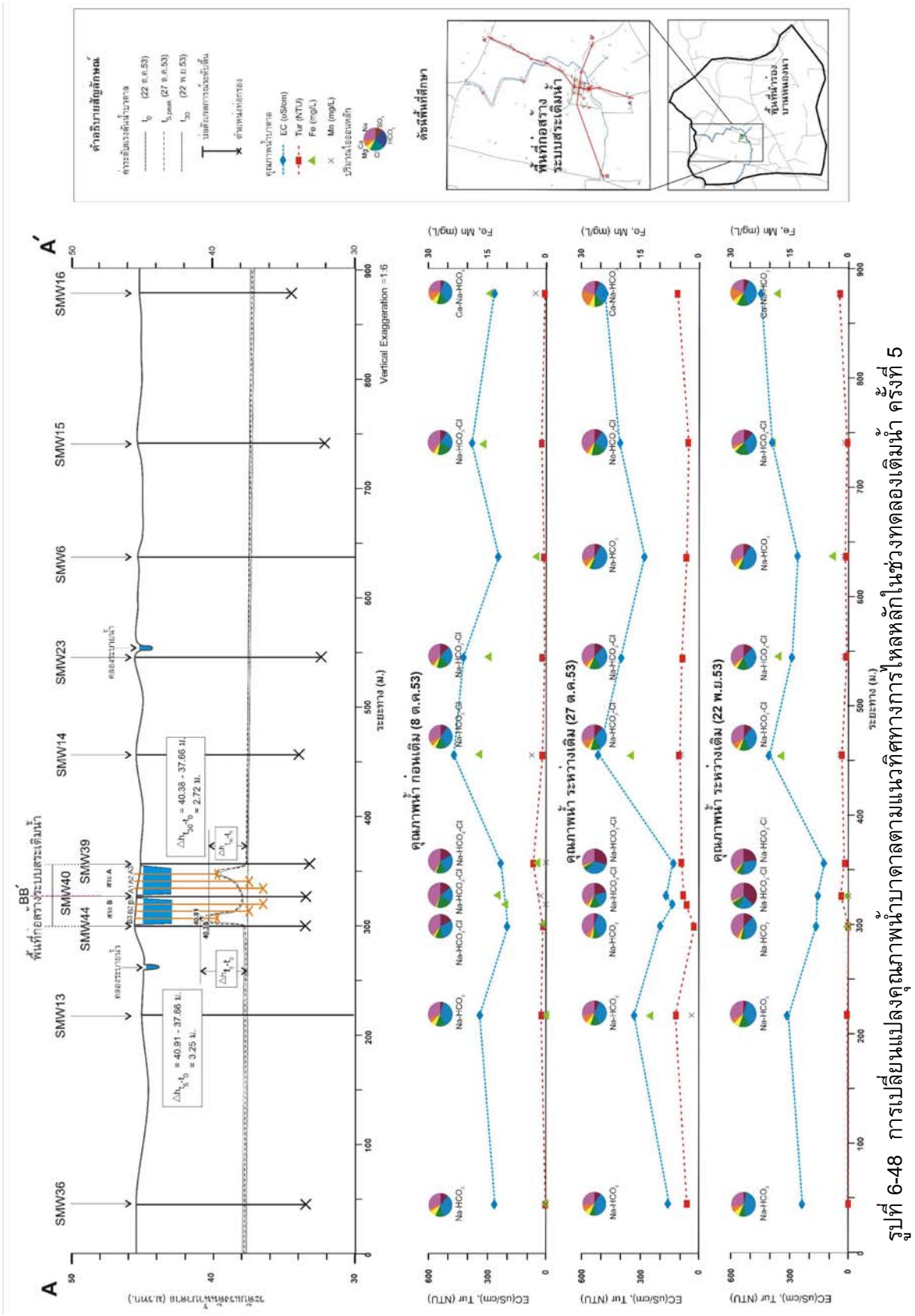
ตารางที่ 6-8 ข้อมูลพื้นฐานด้านคุณภาพน้ำบริเวณพื้นที่ก่อสร้างระบบสระเติมน้ำ

พารามิเตอร์	คุณภาพน้ำผิวดินที่ใช้เติม [1]		คุณภาพน้ำบาดาล [2]	
	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน
EC (μS/cm)	577	180	523	531
pH	6.68	6.77	6.09	6.33
Turbidity (NTU.)	882	460	42.8	58
TSS (mg/L)	1707	74	60.5	-
Total organic carbon (mg/L)	11.09	-	ND	-
Calcium (mg/L)	19.15	64	23.48	27
Magnesium (mg/L)	8.42	4.9	4.16	6.8
Sodium (mg/L)	90.15	31	55.33	79
Potassium (mg/L)	7.94	0.2	27.41	6.8
Chloride (mg/L)	11.70	7.5	40.31	44.1
Bicarbonate (mg/L)	300	85	180	197
Sulfate (mg/L)	79.24	22.2	-	41.4
Ammonia – N (mg/L)	ND	-	ND	0.34
Phosphate (mg/L)	-	1.2	-	0.9
E-coli (MPN/100mL)	-	780	-	ND
Manganese (mg/L)	8.42	0.03	1.09	1.35
Total Iron (mg/L)	24.82	6.2	12.11	12.7
Nitrate (mg/L)	-	1.4	-	0.4
DO (mg/L)	7.1	-	7.8	-
Dieldrin (μg/L)	-	<0.01	-	<0.01
Aldrin (μg/L)	-	<0.01	-	-
Chlodan (μg/L)	-	-	-	<0.02

หมายเหตุ : ND คือ ตรวจไม่พบ (Not Detection), [1] ข้อมูลสถานี SW-NN3-1, SW-NN3-2 [2] ข้อมูลบ่อ SMW04



รูปที่ 6-47 กราฟคุณภาพน้ำบาดาลบ่อ SMW16 บ่อ SMW40 และบ่อ SMW36



รูปที่ 6-48 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำบาดาลตามแนวทิศทางการไหลหลักในช่วงทดลองเติมน้ำ ครั้งที่ 5

บทที่ 7
การจัดการและบำรุงรักษาระบบเติมน้ำผ่านสระ การประเมินผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายเบื้องต้น

7.1 การจัดการระบบเติมน้ำผ่านสระ

การจัดการระบบเติมน้ำผ่านสระในช่วงการทดลอง ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ การจัดการระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบเบื้องต้น และการจัดการเติมน้ำ

7.1.1 การจัดการระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบเบื้องต้น

การจัดการระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบเบื้องต้นด้วยบึงประดิษฐ์ ซึ่งความขุ่นของน้ำดิบมีผลต่อการเติมน้ำมากที่สุด ดังนั้นในการออกแบบทดลองระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ จึงมุ่งเน้นไปที่ปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดค่าความขุ่นของน้ำดิบเป็นหลัก ซึ่งได้แก่

1) อัตราการไหลของน้ำดิบผ่านบึงประดิษฐ์ หากมีอัตราการไหลที่สูงเกินไป จะส่งผลให้ตะกอนที่อยู่ในบึงประดิษฐ์ฟุ้งกระจาย ทำให้ค่าความขุ่นมากขึ้น หรือทำให้ค่าความขุ่นลดลงได้ช้า และหากการไหลที่ต่ำเกินไปจะทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้เติมในระบบเติมน้ำไม่เพียงพอ ซึ่งจากการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ พบว่า อัตราการไหลของน้ำผ่านบึงประดิษฐ์ไม่ควรเกิน 10 ลบ.ม./ชม.

2) ระดับความขุ่นของน้ำดิบก่อนเข้าบึงประดิษฐ์ หากมีค่าสูงมาก จะส่งผลต่อระยะเวลาที่ต้องใช้ในการปรับปรุงให้ได้ความขุ่นที่สามารถเติมลงสระเติมน้ำได้ ซึ่งจากการทดสอบประสิทธิภาพบึงประดิษฐ์ พบว่า บึงประดิษฐ์ที่เป็นกกสามเหลี่ยม และมีอัตราการไหล 9.5 ลบ.ม./ชม.สามารถลดความขุ่นได้ประมาณร้อยละ 70 ดังนั้น ความขุ่นของน้ำดิบที่จุดเข้าไม่ควรเกิน 150 NTU

7.1.2 การจัดการเติมน้ำ

การจัดการเติมน้ำ ในช่วงทำการทดลอง เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำดิบที่เหมาะสมในการเติมน้ำและเพื่อลดปัญหาการอุดตัน ซึ่งได้ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมาวิเคราะห์ผลทางวิชาการ ประกอบด้วย การตรวจวัดปริมาณการไหลของน้ำ การควบคุมระดับน้ำในสระเติมน้ำ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความขุ่นของน้ำกับอัตราการซึมได้ของสระเติมน้ำ และการตรวจสอบการอุดตันที่เกิดขึ้น ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การตรวจวัดเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเติมน้ำ และการตรวจวัดเพื่อศึกษาผลกระทบจากการเติมน้ำ

1) การตรวจวัดเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเติมน้ำ

การตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเติมน้ำ ซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความขุ่นของน้ำดิบ รวมทั้งคุณภาพน้ำด้านกายภาพที่ควรดำเนินการตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ค่าความเค็ม ความต่างศักย์ไฟฟ้า จากการทดลองเติมน้ำในช่วงฤดูฝน พ.ศ. 2553 พบว่า คุณภาพน้ำดิบที่เหมาะสมในการเติมน้ำเบื้องต้น ควรมีค่าความขุ่นไม่เกิน 50 NTU และเกณฑ์อนุโลมเบื้องต้นน้ำดิบควรมีค่าความขุ่นไม่เกิน 100 NTU ส่วนในกรณีที่น้ำดิบมีความขุ่นเกิน 100 NTU ไม่ควรใช้เป็นน้ำดิบในการเติมน้ำ

ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัด จากการทดลองเติมน้ำในช่วงฤดูฝน พ.ศ. 2553 ได้ดำเนินการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ทุก 3 ชั่วโมง พบว่า คุณภาพน้ำช่วงเวลาที่เหมาะสม เบื้องต้นคณะที่ปรึกษาแนะนำให้ดำเนินการตรวจวัดทุกวัน

2) การตรวจวัดเพื่อศึกษาผลกระทบจากการเติมน้ำ

การเก็บข้อมูลในการทดลองระบบเติมน้ำ ต้องดำเนินการทั้งในระหว่างที่มีการเติมน้ำและในช่วงที่ไม่มีการเติมน้ำ ซึ่งเป็นข้อมูลสำหรับการจัดการระบบเติมน้ำ การวิเคราะห์ผลการเติมน้ำ การติดตามตรวจสอบผลกระทบต่างๆ และการประเมินผลการเติมน้ำ ประกอบด้วยข้อมูล 6 ส่วน คือ

(2.1) การวัดข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลส่วนมากเป็นข้อมูลที่ถูกวัดด้วยเครื่องอัตโนมัติ ซึ่งเก็บข้อมูลทุก 10 นาที ยกเว้นการระเหยจากถาด ซึ่งต้องมีการวัดในเวลา 7:00 น. ทุกวัน แล้วทำการเติมน้ำให้อยู่ที่ระดับเดิมก่อนการระเหยทุกครั้ง

(2.2) การวัดระดับน้ำผิวดิน วัดจากเกจวัดระดับน้ำที่ติดตั้งอยู่ในคลองระบายน้ำ บึงประดิษฐ์ และสระเติมน้ำ รวมทั้งหมด 7 จุด (ดังรูปที่ 6-5) ในสระเติมน้ำได้ติดตั้งเครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติ ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลทุก 10 นาที เพื่อให้ได้ค่าที่ละเอียดมากขึ้นในช่วงที่มีการเติมน้ำ ระดับน้ำในคลองระบายน้ำต้องทำการวัดเป็นประจำทุกวัน เป็นใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณปริมาณน้ำผิวดินที่สามารถใช้เติมได้ต่อไป ช่วงที่มีการเติมน้ำทำการวัดระดับน้ำทั้ง 7 จุด ทุกๆ 3 ชม.

(2.3) การวัดคุณภาพน้ำดิบ ทำการตรวจวัดค่าความขุ่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ค่าความเค็ม ความต่างศักดิ์ไฟฟ้า และค่าออกซิเจนละลายในน้ำ 6 จุด คือ ในคลองระบายน้ำ และทางออกจากบึงประดิษฐ์ทุกเซลล์ ทุกๆ 3 ชั่วโมง

(2.4) การวัดปริมาณน้ำ วัดได้จากระดับน้ำเหนือฝายสันคมที่ติดตั้งไว้ตรงจุดออกของน้ำทั้งในคลองและบึงประดิษฐ์ รวม 6 จุด หาอัตราการไหลของน้ำได้จากกราฟความสัมพันธ์ของระดับน้ำและอัตราการไหล (rating curve) ในรูปที่ 6-6 ความถี่ในการวัดขึ้นอยู่กับความเหมาะสม เนื่องจากการต้องทำการควบคุมระดับน้ำในสระเติมน้ำให้ได้ที่ระดับ 2.0 ม. ดังนั้นอัตราการไหลเข้าของน้ำจึงต้องปรับเปลี่ยนไปตามอัตราการซึมของสระเติมน้ำ

(2.5) การวัดระดับน้ำบาดาล แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มบ่อดังคือ บ่อสังเกตการณ์ภายในสระเติมน้ำ บ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 1 บ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 2 และ บ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 3 (หัวข้อที่ 6.1.3) ในช่วงที่มีการเติมน้ำ บ่อสังเกตการณ์ภายในสระเติมน้ำทำการวัดระดับในช่วงเริ่มต้นทุก 1 ชั่วโมง เพื่อให้ทราบเวลาที่ระดับน้ำเริ่มไหลเข้าสู่บ่อ หลังจากนั้นทำการวัดทุกๆ 3 ชั่วโมง บ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 1 วัดด้วยเครื่องวัดระดับน้ำอัตโนมัติ ทุก 10 นาที ส่วนบ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 2 เริ่มวัดหลังจากพบระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 1 เพิ่มระดับขึ้น แล้วทำการวัดทุกๆ 3 ชั่วโมง เช่นเดียวกับบ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 3 ที่จะเริ่มวัดเมื่อพบว่าระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 2 เริ่มเพิ่มระดับ แล้วทำการวัดติดต่อไปทุก 3 ช. ในช่วงที่ไม่มีการเติมน้ำ ทำการติดตามระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 1, 2 และ 3 เป็นประจำทุกเดือน

(2.6) การวัดคุณภาพน้ำบาดาล วัดคุณภาพทางกายภาพของน้ำบาดาล ประกอบด้วย ค่าความขุ่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ค่าความเค็ม ความต่างศักย์ไฟฟ้า ในบ่อ

สังเกตการณ์ 11 บ่อ คือ บ่อสังเกตการณ์รอบสระเติมน้ำ 9 บ่อ และบ่อด้านทิศเหนือและใต้ของแนวการไหลหลักของน้ำบาดาลอีก 2 บ่อ ในช่วงที่มีการเติมน้ำทำการวัดก่อนและหลังเติมน้ำ และวัดประจำทุกเดือนในช่วงที่ไม่มีการเติมน้ำ

(2.7) การวัดการใช้น้ำบาดาล บ่อบาดาลเพื่อการเกษตรถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามหัวข้อที่ 2.1.3 ข้อ 1) ในบทที่ 2 โดยบ่อบาดาลเพื่อการเกษตรในวงรอบที่ 1 ที่ส่งผลกระทบต่อระบบเติมน้ำมากเมื่อมีการสูบ ทำการสำรวจเก็บข้อมูลทุก 3 ชั่วโมง ในช่วงที่มีการเติมน้ำ วงรอบที่ 2 ทำการเก็บข้อมูลทุก 12 ชั่วโมง และในวงรอบที่ 3 เก็บข้อมูลทุกวัน ในช่วงที่มีการเติมน้ำ

รายละเอียดการเก็บข้อมูลและรอบเวรในการเก็บข้อมูลในช่วงที่มีการเติมน้ำ และไม่มีการเติมน้ำ แสดงในตารางที่ 7-1 การจัดเก็บข้อมูลใช้แบบฟอร์มที่ได้ออกแบบไว้ซึ่งได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค ร่วมกับระบบการนำเข้าข้อมูลในคอมพิวเตอร์

7.1.3 การจัดการด้านข้อมูล

ข้อมูลในการเติมน้ำมีความสำคัญ จากข้อมูลการเติมน้ำที่บันทึกในแบบฟอร์มในภาคสนาม ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลระดับน้ำผิวดิน ข้อมูลคุณภาพน้ำดิบ ข้อมูลปริมาณน้ำ และข้อมูลระดับและคุณภาพน้ำบาดาล นำไปจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล ซึ่งจะช่วยให้การค้นหาง่ายและสามารถนำไปวิเคราะห์ผลการเติมน้ำ รวมทั้งการรายงานผลการเติมน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

7.2 การบำรุงรักษาระบบเติมน้ำผ่านสระ

การบำรุงรักษาระบบเติมน้ำผ่านสระ ประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบเบื้องต้น ระบบสระเติมน้ำ ระบบตรวจวัดภูมิอากาศ และระบบอาคารสถานที่ทั่วไป การบำรุงรักษาเป็นไปตามผลการตรวจสอบความพร้อมระบบ ประกอบด้วย การติดตามตรวจสอบสภาพการใช้งานตามหัวข้อที่กำหนด และระเบียบวิธีการแจ้งบำรุงรักษา ทั้งนี้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบจะต้องผ่านการอบรมแนวทางการตรวจสอบ (ตารางที่ 5-6) แสดงรอบเวรการติดตามตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบของโครงการ หัวข้อที่ต้องทำการตรวจสอบแยกตามกลุ่มของระบบงานได้ดังนี้

1) ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบเบื้องต้น ต้องตรวจสอบสภาพการใช้งาน ความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ตรวจวัด ประสิทธิภาพการเก็บเกี่ยวตะกอนในน้ำดิบ และความสะอาดเรียบร้อย

2) ระบบสระเติมน้ำ ต้องตรวจสอบ สภาพการใช้งาน ความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ รวมทั้งทรายกรองและอัตราการไหล ความหนาของตะกอนก้นสระ และความสะอาดเรียบร้อยของพื้นที่ ใช้วิธีการตักตะกอนที่พื้นสระออก (ดังรูปที่ 7-1)

3) ระบบตรวจวัดระดับน้ำและภูมิอากาศ ต้องตรวจสอบ สภาพการใช้งาน ความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ ตรวจสอบความถูกต้องโดยการปรับเทียบเครื่องมือตามระยะเวลาที่กำหนด และความสะอาดเรียบร้อย (ดังรูปที่ 7-2)

4) อาคารสถานที่ทั่วไป ต้องตรวจสอบ ความสะอาดเรียบร้อย ความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ และสภาพการใช้งาน (ดังรูปที่ 7-2)

ตารางที่ 7-1 รอบเวรการเก็บข้อมูลในช่วงที่มีการเติมน้ำ และช่วงที่ไม่มีการเติมน้ำ

รายการ	ประเภทการวัด	ความถี่ของการตรวจสอบ						
		ช่วงที่มีการเติมน้ำ				ช่วงที่ไม่มีการเติมน้ำ		
		ราย 10 นาที	ราย 3 ชั่วโมง	ราย12 ชั่วโมง	รายวัน	รายวัน	ราย สัปดาห์	ราย เดือน
1. การวัดข้อมูลภูมิอากาศ ชื่อแบบฟอร์ม -MAR_OM05								
1.1 Precipitation	Automatic	✓				✓		
1.2 Solar Radiation	Automatic	✓				✓		
1.3 Temperature	Automatic	✓				✓		
1.4 Humidity	Automatic	✓				✓		
1.5 Pressure	Automatic	✓				✓		
1.6 Wind speed	Automatic	✓				✓		
1.7 การระเหย	Manual				✓	✓		
2. การวัดระดับน้ำผิวดิน (จากเกจวัดระดับน้ำ) ชื่อแบบฟอร์ม -MAR_OM01								
2.1 คลอง	Manual		✓					
2.2 บึงประดิษฐ์ A	Manual		✓					
2.3 บึงประดิษฐ์ B	Manual		✓					
2.4 บึงประดิษฐ์ C	Manual		✓					
2.5 บึงประดิษฐ์ D	Manual		✓					
2.6 สระเติมน้ำ A	Automatic	✓	✓					
2.7 สระเติมน้ำ B	Automatic	✓	✓					
3. การวัดคุณภาพน้ำดิบ (Turbidity, Temp, pH, EC, Eh, DO) ชื่อแบบฟอร์ม MAR_OM02								
3.1 คลอง	Manual		✓			✓		
3.2 บึงประดิษฐ์ A	Manual		✓					
3.3 บึงประดิษฐ์ B	Manual		✓					
3.4 บึงประดิษฐ์ C	Manual		✓					
3.5 บึงประดิษฐ์ D (ทางเข้าสระเติมน้ำ A)	Manual		✓					
3.6 บึงประดิษฐ์ D (ทางเข้าสระเติมน้ำ B)	Manual		✓					
4. การวัดปริมาณน้ำ (ในระบบเติมน้ำ จากฝ่ายสันคม) ชื่อแบบฟอร์ม MAR_OM04								
4.1 สถานีที่ 1 (จากคลอง ไป บึงประดิษฐ์ A)	Manual		✓*					
4.2 สถานีที่ 2 (จากบึงประดิษฐ์ A ไป บึงประดิษฐ์ B)	Manual		✓*					
4.3 สถานีที่ 3 (จากบึงประดิษฐ์ B ไป บึงประดิษฐ์ C)	Manual		✓*					
4.4 สถานีที่ 4 (จากบึงประดิษฐ์ C ไป บึงประดิษฐ์ D)	Manual		✓*					
4.5 สถานีที่ 5 (จากบึงประดิษฐ์ D ไป สระเติมน้ำ A)	Manual		✓*					
4.6 สถานีที่ 6 (จากบึงประดิษฐ์ D ไป สระเติมน้ำ B)	Manual		✓*					

ตารางที่ 7-1 รอบเวรการเก็บข้อมูลในช่วงที่มีการเติมน้ำ และช่วงที่ไม่มีการเติมน้ำ (ต่อ)

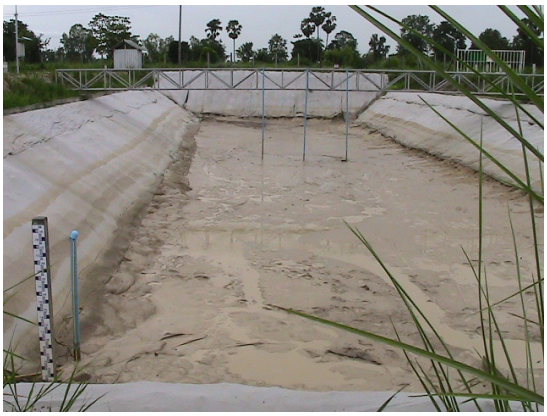
รายการ	ประเภทการวัด	ความถี่ของการตรวจสอบ						
		ช่วงที่มีการเติมน้ำ				ช่วงที่ไม่มีการเติมน้ำ		
		ราย 10 นาที	ราย 3 ชั่วโมง	ราย12 ชั่วโมง	รายวัน	รายวัน	ราย สัปดาห์	ราย เดือน
5.การวัดระดับน้ำบาดาล ชื่อแบบฟอร์ม -MAR_OM05-1 และ MAR_OM05-2								
5.1 ภายในสระเติมน้ำ								
5.1.1 A01	Manual		✓*					
5.1.2 A02	Manual		✓*					
5.1.3 A03	Manual		✓*					
5.1.4 B01	Manual		✓*					
5.1.5 B02	Manual		✓*					
5.1.6 B03	Manual		✓*					
5.2 บ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 1								
5.2.1 SMW19	Automatic	✓						✓
5.2.2 SMW20	Automatic	✓						✓
5.2.3 SMW35	Automatic	✓						✓
5.2.4 SMW38	Automatic	✓						✓
5.2.5 SMW39	Automatic	✓						✓
5.2.6 SMW40	Automatic	✓						✓
5.2.7 SMW41	Automatic	✓						✓
5.2.8 SMW44	Automatic	✓						✓
5.2.9 SMW45	Automatic	✓						✓
5.3 บ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 2								
5.3.1 SMW4	Manual		✓*					✓
5.3.2 SMW24	Manual		✓*					✓
5.3.3 SMW27	Manual		✓*					✓
5.3.4 SMW32	Automatic	✓						✓
5.3.5 SMW34	Automatic	✓						✓
5.3.6 SMW46	Automatic	✓						✓
5.4บ่อสังเกตการณ์วงรอบที่ 3								
5.4.1 SMW2	Manual				✓*			✓
5.4.2 SMW6	Manual				✓*			✓
5.4.3 SMW8	Manual				✓*			✓
5.4.4 SMW13	Manual				✓*			✓

ตารางที่ 7-1 รอบเวรการเก็บข้อมูลในช่วงที่มีการเติมน้ำ และช่วงที่ไม่มีการเติมน้ำ (ต่อ)

รายการ	ประเภทการวัด	ความถี่ของการตรวจสอบ						
		ช่วงที่มีการเติมน้ำ				ช่วงที่ไม่มีการเติมน้ำ		
		ราย 10 นาที	ราย 3 ชั่วโมง	ราย12 ชั่วโมง	รายวัน	รายวัน	ราย สัปดาห์	ราย เดือน
5.4.5 SMW14	Manual				✓*			✓
5.4.6 SMW15	Manual				✓*			✓
5.4.7 SMW16	Manual				✓*			✓
5.4.8 SMW23	Manual				✓*			✓
5.4.9 SMW36	Manual				✓*			✓
5.4.10 SMW37	Manual				✓*			✓
5.4.11 SMW42	Manual				✓*			✓
5.4.12 SMW43	Manual				✓*			✓
5.4.13 SMW47	Manual				✓*			✓
6.การวัดคุณภาพน้ำบาดาล ชื่อแบบฟอร์ม MAR_OM06								
6.1.1 SMW19					✓**			
6.1.2 SMW20					✓**			
6.1.3 SMW35					✓**			
6.1.4 SMW38					✓**			
6.1.5 SMW39					✓**			✓
6.1.6 SMW40					✓**			✓
6.1.7 SMW41					✓**			
6.1.8 SMW44					✓**			✓
6.1.9 SMW45					✓**			
6.1.10 SMW13					✓**			✓
6.1.11 SMW14					✓**			✓
6. การวัดการใช้น้ำบาดาล ชื่อแบบฟอร์ม MAR_OM06								
6.1 บ่อบาดาลเพื่อการเกษตรวงรอบที่ 1 (13 บ่อ)	Manual		✓					
6.2 บ่อบาดาลเพื่อการเกษตรวงรอบที่ 2 (64 บ่อ)	Manual			✓				
6.3 บ่อบาดาลเพื่อการเกษตรวงรอบที่ 3 (16 บ่อ)	Manual				✓			

หมายเหตุ: * หมายถึง ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและวิจารณญาณของหัวหน้าฝ่ายสนาม

** หมายถึง เก็บก่อนเริ่มเติมน้ำ และหลังจากที่เติมน้ำแล้วเสร็จในแต่ละครั้ง



(ก) สภาพสระทดลองก่อนทำความสะอาด



(ข) การขูดตะกอนที่พื้นสระ



(ค) การรวบรวมตะกอนใส่ถุง



(ง) หลังทำความสะอาด

รูปที่ 7-1 การทำความสะอาดสระทดลอง



(ก) การดูแลรักษาเครื่องวัดน้ำฝน



(ข) การดูแลรักษาเครื่องวัดการระเหย



(ค) การตัดหญ้ารอบพื้นที่



(ง) การดูแลระบบไฟฟ้า

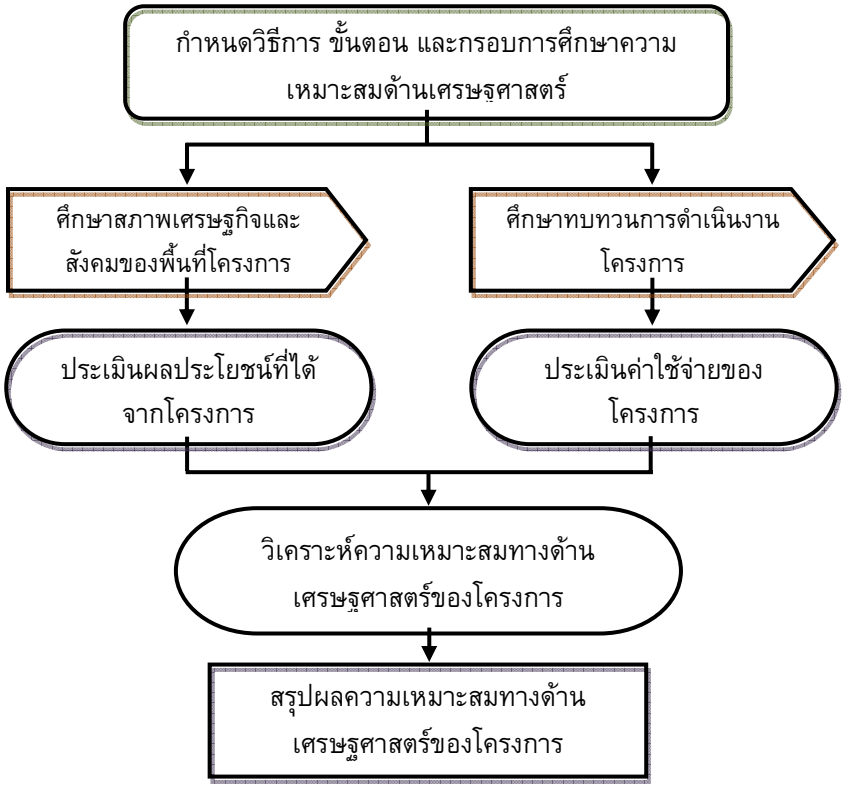
รูปที่ 7-2 การดูแลรักษาอาคารสถานที่ทั่วไป

7.3 การประเมินผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายเบื้องต้น

โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำเป็นโครงการที่มุ่งเน้นเพิ่มเติมน้ำในแหล่งน้ำบาดาลระดับตื้น เพื่อช่วยเหลือเกษตรที่ใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตร นอกจากการศึกษาความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรมแล้ว ยังจำเป็นต้องศึกษาความเหมาะสมของค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่ได้จากโครงการด้วย เนื่องจากการพัฒนาโครงการจำเป็นต้องใช้งบประมาณในการก่อสร้างระบบเติมน้ำและการดำเนินงานเติมน้ำ เช่น ค่าจ้างบุคลากร ค่าซ่อมบำรุง เป็นต้น เนื้อหาส่วนนี้ได้ทบทวนและทำการประเมินความเหมาะสมค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ของโครงการ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

7.3.1 วิธีการประเมินความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์หรือ “การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost-Benefits Analysis)” ที่เกิดขึ้นจากโครงการ ในการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการครั้งนี้ได้ทำการประเมินความเหมาะสมของโครงการโดยพิจารณากรณีที่จะทำการพัฒนาโครงการต่อไปในอนาคต โดยใช้ผลการศึกษาจากโครงการนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมิน โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้ (รูปที่ 7-3)



รูปที่ 7-3 ขั้นตอนการประเมินความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์

1) กำหนดวิธีการ ขั้นตอน และกรอบการศึกษาความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์

หลักการประเมินแบบปรับค่าของเวลา คือมูลค่าของเงินในอนาคตจะไม่เท่ากับมูลค่าของเงินในปัจจุบัน ดังนั้นในการประเมินจึงต้องทำการปรับเทียบค่าของเวลาให้เป็นปัจจุบัน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ โดยใช้วิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย (Benefit–Cost Ratio: B/C Ratio)

คือผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ตลอดอายุโครงการ ต่อผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายรวม

$$B/C = \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์(PVB)}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย(PVC)}}$$

หรือ
$$B/C = \sum_{t=1}^{n} \frac{Bt}{(1+r)^t} \Big/ \sum_{t=1}^{n} \frac{Ct}{(1+r)^t} \qquad (7\text{-}1)$$

ถ้า B/C มีค่ามากกว่า 1 ถือว่าโครงการมีความเหมาะสม ควรทำการพัฒนาต่อไป

2) สภาพเศรษฐกิจและสังคม

ข้อมูลทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และการเกษตรกรรมในพื้นที่ศึกษา ได้ทำการรวบรวมทั้งข้อมูลทุติยภูมิจากหน่วยงานต่างๆ ข้อมูลจากในภาคสนาม โดยเฉพาะลักษณะการทำเกษตรกรรมในพื้นที่ การใช้น้ำเพื่อการเกษตร การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความถี่ของการเพาะปลูกในแต่ละปี ค่าใช้จ่ายต่างๆในการทำการเกษตร ผลผลิต เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้ได้นำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลประโยชน์ของโครงการต่อไป

3) ทบทวนการดำเนินงาน

เนื่องจากโครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำ เป็นโครงการศึกษาวิจัย โดยทดลองในพื้นที่นำร่อง ทำให้ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานมีความสลับซับซ้อน ก่อนนำไปประเมินมูลค่าการลงทุนเมื่อต้อง การพัฒนาโครงการสู่ชุมชนในอนาคต จึงต้องทำการทบทวนวิธีการศึกษาของโครงการแล้วนำไปประยุกต์ให้เหมาะสมสำหรับการขยายโครงการ และนำผลการศึกษาจากโครงการไปใช้เป็นข้อมูลในการประเมินผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายของโครงการ จากข้อเสนอแนะในการออกแบบระบบเติมน้ำตามค่าความขุ่นของน้ำในพื้นที่ 3 รูปแบบ คือ แบบที่ 1 มีบึงประดิษฐ์และสระเติมน้ำ แบบที่ 2 มีสระตกตะกอนและสระเติมน้ำ ระบบเติมน้ำแบบที่ 3 สระเติมน้ำเต็มพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลลักษณะพื้นที่เติมน้ำนำร่องและค่าเฉลี่ยความขุ่นของน้ำในพื้นที่ (140 NTU) ในการประเมินค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ของโครงการ

4) ประเมินผลประโยชน์

ผลประโยชน์ที่ได้จากโครงการแบ่งเป็น 2 ประเภท คือผลประโยชน์ทางตรง และทางอ้อม ผลประโยชน์ทางตรงของโครงการเกิดจากปริมาณน้ำที่สามารถเติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล และคาดว่าจะนำมาใช้ประโยชน์ได้ ผลประโยชน์ทางอ้อมได้จากการบรรเทาอุทกภัยจากน้ำที่นำมาเติมในระบบ การทรุดบ่อ การลดค่าใช้จ่ายการสูบน้ำเนื่องจากการลดลงของระดับน้ำ และการรักษาการ

ป้องกันการลดระดับของน้ำบาดาล จากการพิจารณา คณะทำงานได้ประเมินมูลค่าผลประโยชน์ที่ได้จากโครงการเฉพาะผลประโยชน์ทางตรง เนื่องจากผลประโยชน์ทางอ้อมมีหลายปัจจัยที่ไม่สามารถประเมินเป็นราคาได้ เช่น การบรรเทาอุทกภัย การรักษาชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นไม่ให้สูญเสียไป เป็นต้น

5) ประเมินค่าใช้จ่าย

การพัฒนาโครงการในอนาคตควรพิจารณาค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบเติมน้ำ ค่าขุดสระเติมน้ำ ค่าบึงประดิษฐ์ ค่าก่อสร้างอาคารชลศาสตร์ต่างๆ ค่าใช้จ่ายในการติดตามตรวจสอบระบบเติมน้ำ และค่าบำรุงรักษาตลอดอายุการใช้งานของโครงการ

6) วิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์

โดยนำผลการประเมินผลประโยชน์ของโครงการและผลการประเมินค่าใช้จ่ายของโครงการมาวิเคราะห์ค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย

7) สรุปผลความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์

7.3.2 ผลประโยชน์

การวิเคราะห์ผลประโยชน์ของโครงการกำหนดให้น้ำที่เติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ร้อยละ 85 ของน้ำที่เติมได้ทั้งหมด ส่วนร้อยละ 15 ที่เหลือมีไว้เพื่ออำนวยประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม (Kalantari et al., 2009) ผลประโยชน์จากโครงการคำนวณจากปริมาณน้ำที่สามารถเติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล และนำขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้ โดยมีแนวคิดว่า น้ำที่เติมลงไปในชั้นน้ำบาดาล เมื่อนำขึ้นมาใช้ประโยชน์ จะก่อให้เกิดมูลค่าเท่าใด หลังจากหักปัจจัยการผลิตด้านอื่นๆออก จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยาของพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร ช่วงเวลาที่มีปริมาณน้ำผิวดินเหมาะสมสำหรับใช้เติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ได้แก่ เดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม รวม 120 วัน และจากผลการทดลองเติมน้ำด้วยระบบเติมน้ำแบบที่ 2 (บึงประดิษฐ์และสระเติมน้ำ) ในพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา เติมน้ำ 55 วัน อัตราการซึมเฉลี่ยประมาณ 0.4 ม./วัน โดยมีการทำความสะอาดสระเติมน้ำ 4 ครั้ง แต่เพื่อให้สะดวกสำหรับการจัดการเมื่อโครงการมีการพัฒนาขยายพื้นที่ดำเนินงานต่อไป จึงกำหนดให้มีการทำความสะอาดหรือขุดลอกสระเติมน้ำปีละ 1 ครั้ง ทำให้อัตราการซึมลดลง โดยระบบเติมน้ำแต่ละแบบมีอัตราการซึม และจำนวนวันที่เติมน้ำได้ ดังแสดงในตารางที่ 7-2 น้ำบาดาลที่ถูกนำขึ้นมาใช้ประโยชน์จากการวิเคราะห์นี้จะใช้น้ำเพื่อการปลูกข้าวซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของพื้นที่ ผลผลิตข้าวจะถูกนำมาคิดมูลค่า และหลังจากหักต้นทุนการผลิตอื่นๆ ออกไป จะทำให้ได้กำไรที่เกิดจากน้ำบาดาลที่ใช้ในการปลูกข้าว ต้นทุนในการผลิตข้าวประกอบด้วย เมล็ดพันธุ์ข้าว ปุ๋ย ค่าไถพรวน ฯลฯ ดังตารางที่ 7-3 ซึ่งมีต้นทุนการผลิตไร่ละ 2,282 บาท

ตารางที่ 7-2 รายละเอียดของระบบเติมน้ำแบบต่างๆ

สระเติมน้ำ	รูปแบบ	สัดส่วนพื้นที่	ความลึก (ม.)	ความขุ่น (NTU)	เวลาเติมน้ำ (วัน)	อัตราเติมน้ำ (ลบ.ม./วัน)
แบบที่ 1	บึงประดิษฐ์ + สระเติมน้ำ	บึงฯ : สระ 1:1	บึงฯ = 1 สระ = 3.5	บึงฯ ≈140 สระ ≈ 70	100	บึงฯ = น้อยมาก สระ = 0.3
แบบที่ 2	สระตกตะกอน + สระเติมน้ำ	สระตกตะกอน : เติมน้ำ 1:1	ทั้งสองสระ ลึก 3.5	ตกตะกอน ≈ 140 เติมน้ำ ≈ 100	120	ตกตะกอน = 0.13 เติมน้ำ = 0.2
แบบที่ 3	สระเติมน้ำเต็มพื้นที่	สระเติมน้ำทั้งหมด	3.5	ไม่เกิน 100	90	0.2

ตารางที่ 7-3 ต้นทุนในการผลิตข้าวนาปรังในหนึ่งรอบการเพาะปลูก

รายการ	ราคา (บาท/ไร่/รอบการปลูก)
1. ต้นทุนผันแปร	
1.1 ค่าแรงงาน	1,142
เตรียมดิน, ปลูก, ดูแลรักษา, เก็บเกี่ยว	
1.2 ค่าวัสดุ	709
ค่าพันธุ์, ค่าปุ๋ย, ค่ายาปราบศัตรูพืชและวัชพืช, ค่าน้ำมันหล่อลื่น,ค่าอุปกรณ์การเกษตรและค่าดูแลรักษา	
1.3 ค่าเสียโอกาสเงินลงทุน	68
2. ต้นทุนคงที่	
2.1 ค่าเช่าที่ดิน	353
2.2 ค่าเสื่อมอุปกรณ์การเกษตร	10
ต้นทุนการผลิตรวมต่อไร่	2,282

(ที่มา : ศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าวพิษณุโลก, 2546)

แต่เนื่องจากการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ต้องลงทุนค่าพลังงานในการสูบน้ำ จากข้อมูลการสำรวจในภาคสนามพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานในการสูบน้ำเท่ากับ 0.6 บาท/ลบ.ม. (เมื่อน้ำมันดีเซลราคาลิตรละ 30 บาท และระดับน้ำบาดาลลึกไม่เกิน 10 ม. จากผิวดิน) ผลิตข้าว ใน 1 ปี มีการปลูกข้าวนาปีและนาปรังรวมเฉลี่ย 2.5 ครั้ง เป็นข้าวนาปี 1 ครั้ง และข้าวนาปรัง 1.5 ครั้ง ข้าวนาปีและข้าวนาปรังมีปริมาณการใช้น้ำบาดาล 104 และ 1,520 ลบ.ม./ไร่/ปี ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นราคาค่าสูบน้ำบาดาลสำหรับพื้นที่ 1 ไร่ มีค่าเท่ากับ 975 บาท/ปี ข้อมูลพันธุ์ข้าวที่ปลูกในพื้นที่ 3 จังหวัด และข้อมูลผลผลิตข้าวเฉลี่ย แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ 3 จังหวัดมีผลผลิตข้าวเท่ากับ 750 กก./ไร่ /รอบการปลูก ข้าวมีราคาเฉลี่ย 8,000 บาท/ตัน (ศูนย์พัฒนาความรู้การซื้อขายสินค้าเกษตรล่วงหน้า, 2553) ดังนั้น พื้นที่ 1 ไร่ จึงมีต้นทุนการผลิตข้าวนาปรัง เท่ากับ 4,398 บาท/ปี และผลผลิตมีมูลค่า 9,000 บาท/ปี ซึ่งหมายความว่าใน พื้นที่ 1 ไร่ เกษตรกรจะมีกำไรจากการปลูกข้าว 4,602 บาท/ปี

เมื่อนำปริมาณน้ำที่เติมได้ในแต่ละปีมาใช้ในการปลูกข้าว เมื่อหักต้นทุนการผลิตจะได้เป็นมูลค่าผลประโยชน์ของโครงการสุทธิ ตารางที่ 7-4 แสดงพื้นที่ใช้น้ำจากระบบเติมน้ำขึ้นมาปลูกข้าวและมูลค่าผลประโยชน์ที่ได้รับ

ตารางที่ 7-4 ผลประโยชน์ของโครงการเติมน้ำผ่านระบบสระ ตามขนาดพื้นที่

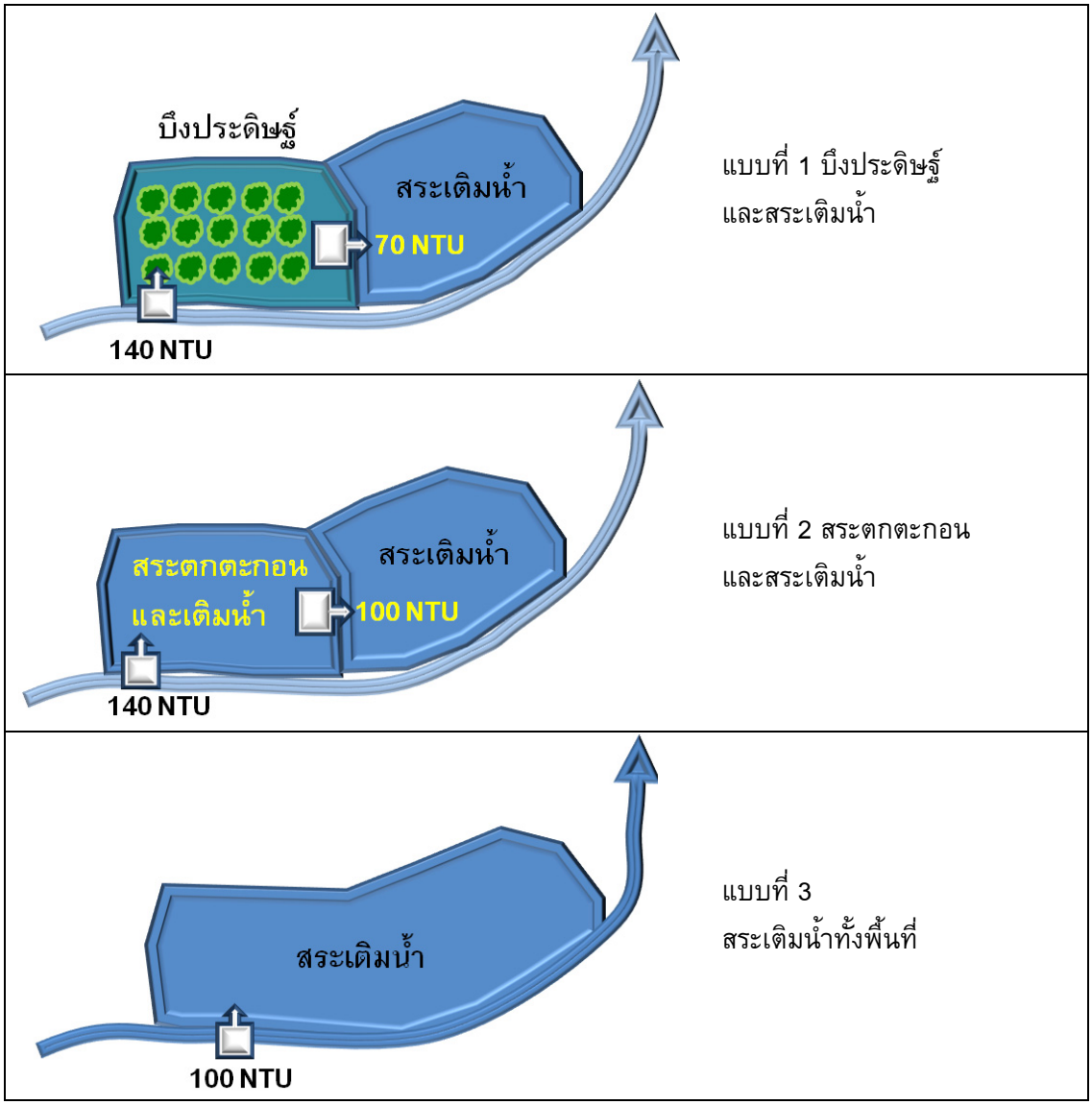
ขนาดพื้นที่ระบบเติมน้ำ (ไร่)	พื้นที่ใช้น้ำจากระบบเติมน้ำปลูกข้าว (ไร่/ปี)			มูลค่าผลประโยชน์ (บาท/ปี)		
	บึงประดิษฐ์และสระเติมน้ำ	สระตกตะกอนและสระเติมน้ำ	สระเติมน้ำทั้งพื้นที่	บึงประดิษฐ์และสระเติมน้ำ	สระตกตะกอนและสระเติมน้ำ	สระเติมน้ำทั้งพื้นที่
0.5	6.3	8.3	7.54	28,454	36,079	34,345
1	12.6	16.6	15.1	57,816	76,317	69,379
5	62.8	82.9	75.4	289,080	381,585	346,895
10	125.6	165.8	150.7	578,159	763,170	693,791
15	188.4	248.72	226.11	867,239	1,144,755	1,040,686
20	251.2	331.63	301.5	1,156,318	1,526,340	1,387,582
25	314.0	414.5	376.85	1,445,398	1,907,925	1,734,477
30	376.8	497.4	452.22	1,734,477	2,289,510	2,081,373
40	502.5	663.25	603.0	2,312,636	3,052,680	2,775,164
50	628.1	829.1	753.7	2,890,796	3,815,850	3,468,955

7.3.3 ค่าใช้จ่าย

การศึกษาทดลองการเติมน้ำผ่านระบบสระของโครงการนี้ มุ่งเน้นในการขยายผลให้เกิดการพัฒนาระบบการเติมน้ำลงในแหล่งน้ำบาดาลในอนาคต ในกรณีที่ผลการศึกษาสรุปว่าโครงการมีความเหมาะสมทั้งทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ด้านเศรษฐศาสตร์ การจัดการโครงการ และอื่นๆ ค่าใช้จ่ายของโครงการในขั้นตอนการศึกษาความเหมาะสมนี้จึงเป็นค่าใช้จ่ายที่ประเมินจากขั้นตอนการทดลองในสนาม และการคาดการณ์ในอนาคต อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินในขั้นตอนการขยายผลพัฒนาโครงการในอนาคต

ระบบการเติมน้ำผ่านสระดำเนินการโดยนำน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินความขุ่นประมาณ 140 NTU ผ่านอาคารรับน้ำเข้าสู่บึงประดิษฐ์ (แบบที่ 1) หรือสระตกตะกอน (แบบที่ 2) หรือสระเติมน้ำ (แบบที่ 3) หลังจากนั้นในระบบเติมน้ำแบบที่ 1 เมื่อคุณภาพน้ำอยู่ในระดับที่เหมาะสม (70 NTU) จึงปล่อยเข้าสู่สระเติมน้ำ ระบบเติมน้ำแบบที่ 2 น้ำจะไหลจากสระตกตะกอนเข้าสู่สระเติมน้ำที่ความขุ่นประมาณ 100 NTU ดังแสดงในรูปที่ 7-4 ซึ่งค่าใช้จ่ายของระบบเติมน้ำประกอบด้วย ค่าขุดสระน้ำ ค่า

ก่อสร้างอาคารรับน้ำ ค่าการติดตามตรวจสอบระบบเติมน้ำ และค่าบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายสัมพันธ์กับขนาดของสระ (ตารางที่ 7-5) ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 7-4 ขั้นตอนการเติมน้ำของระบบเติมน้ำแบบต่างๆ

1) ค่าขุดสระเติมน้ำ

ขั้นตอนในการขุดสระเติมน้ำต้องทำการขุดเปิดหน้าดินออกประมาณ 15 ซม. ซึ่งในงานขุดเปิดหน้าดินนี้ไปรวมถึงการขุดเอาสิ่งกีดขวางอื่นๆ ออกจากพื้นที่ และค่าขนย้ายรถตักและอุปกรณ์เข้าสู่พื้นที่ขุดสระด้วย เมื่อทำการเปิดหน้าดินออกแล้วจึงทำการขุดสระเติมน้ำ ความลึกถึงชั้นทรายเฉลี่ยประมาณ 3.5 ม. ให้ได้ตามขนาดที่ออกแบบไว้ แล้วจึงทำการถมคันขอบสระและบดแน่นด้วยเครื่องจักรเพื่อป้องกันการกัดเซาะด้านข้าง ราคางานดินถมบดอัดคิดเป็นร้อยละ 10 ของราคางานดินขุด

2) ค่าก่อสร้างอาคารรับน้ำ

อาคารรับน้ำในระบบเติมน้ำผ่านสระมี 2 จุด ได้แก่ อาคารทดน้ำในแหล่งน้ำดิบ เช่น คลอง แม่น้ำ และเพื่อยกระดับน้ำก่อนไหลเข้าสู่ระบบเติมน้ำ อาคารทดน้ำนี้ต้องสร้างให้สามารถเปิดปิดได้ เพื่อรองรับในกรณีที่มีน้ำมากและน้ำน้อย ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อผู้ใช้น้ำอื่น อาคารทดน้ำสามารถสร้างได้ทั้งแบบที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก และแบบใช้วัสดุตามความเหมาะสม เช่น ไม้ กระสอบทราย ฯลฯ โดยกำหนดให้ราคาก่อสร้างอาคารรับน้ำเริ่มต้นที่ 20,000 บาทต่อแห่ง สำหรับพื้นที่สระเติมน้ำขนาด 1 ไร่ และเมื่อขนาดสระเติมน้ำเพิ่มขึ้นทุก 1 ไร่ ราคาอาคารรับน้ำจะเพิ่มร้อยละ 5 ของราคาอาคารรับน้ำ เนื่องจากพื้นที่สระเติมน้ำที่มากขึ้นจำเป็นต้องใช้ปริมาณน้ำมากตามไปด้วย จึงต้องมีการสร้างอาคารรับน้ำที่ใหญ่และแข็งแรงขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม สามารถตัดค่าใช้จ่ายสำหรับอาคารรับน้ำ ณ จุดนี้ได้ หากแหล่งน้ำดิบมีระดับที่เหมาะสมในการส่งน้ำเข้าระบบเติมน้ำโดยไม่ต้องมีการยกระดับ อาคารรับน้ำ อีกจุดคืออาคารรับน้ำเข้าสระเติมน้ำ อาคารรับน้ำจุดนี้ควรมีความคงทนถาวร และมีการติดตั้งฝายวัดน้ำอย่างง่าย เพื่อวัดอัตราการไหลของน้ำเข้าสระ ในกรณีที่ต้องการติดตามตรวจสอบอัตราการเติมน้ำ โดยกำหนดให้อาคารรับน้ำตัวแรกสามารถส่งน้ำเข้าระบบเติมน้ำได้ 1 ไร่ ราคา 12,000 บาท และราคาอาคารรับน้ำจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 ทุกขนาดสระเติมน้ำที่เพิ่มขึ้น 1 ไร่ ทางเข้าจากคลองสู่อาคารรับน้ำของสระเติมน้ำทุกตัว ออกแบบให้ใส่ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ม. จำนวน 2 ท่อน สำหรับระบบเติมน้ำแบบที่ 3 และ 4 ท่อน สำหรับระบบเติมน้ำแบบที่ 1 และ 2 เนื่องจากมีบึงประดิษฐ์และสระตกตะกอนเพิ่มขึ้นมาด้วย

3) ค่าระบบตรวจสอบและติดตามการเติมน้ำ

ระบบตรวจสอบและติดตามการเติมน้ำเป็นการประเมินผลการเติมน้ำเบื้องต้น ทั้งทางด้านปริมาณและทิศทางการไหลของน้ำที่เติม ประกอบด้วย 1) ไม้วัดระดับ ติดตั้งในสระเติมน้ำ 2) บ่อสังเกตการณ์ระดับ และคุณภาพน้ำบาดาลเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ความลึกถึงชั้นน้ำบาดาลที่ทำการเติมน้ำ (ประมาณ 15 ม.) จำนวน 2 บ่อ ติดตั้งตามทิศทางการไหลหลักของน้ำบาดาลได้ 3) เครื่องวัดระดับน้ำบาดาล ค่าใช้จ่ายในหมวดนี้ที่ไม่แปรผันตามขนาดของสระเติมน้ำ

4) ค่าระบบบึงประดิษฐ์

ระบบเติมน้ำแบบที่ 1 มีบึงประดิษฐ์ช่วยบำบัดคุณภาพน้ำก่อนเติมลงสู่สระเติมน้ำ ซึ่งมีรายการค่าใช้จ่ายประกอบด้วย งานขุดเปิดหน้าดิน งานดินขุด งานดินถมบดอัดแน่น และงานปลูกต้นไม้

5) ค่าบำรุงรักษาระบบเติมน้ำ

ค่าบำรุงรักษาประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการขุดลอกสระเติมน้ำเมื่อเกิดการอุดตัน ค่าซ่อมแซมอาคารรับน้ำและระบบเติมน้ำ รวมทั้งอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ค่าเก็บเกี่ยวพืชในบึงประดิษฐ์ (แบบที่ 1) และค่าบุคลากรในการตรวจดูแลสระน้ำและโครงสร้างต่างๆ ค่าใช้จ่ายในหมวดนี้เป็นค่าคงที่ทุกปี ไม่แปรผันตามขนาดของสระเติมน้ำ จากผลการทดลองเติมน้ำของโครงการ พบว่าปริมาณตะกอนในสระเติมน้ำมีความหนาประมาณ 5-10 ซม. การบำรุงรักษาระบบเติมน้ำ กำหนดให้ทำปีละ 1 ครั้ง และมีบุคลากรตรวจสอบดูแลระบบเติมน้ำอยู่อย่างสม่ำเสมอแม้ระบบจะไม่มีการเติมน้ำ ค่าใช้จ่ายต่อปีในการบำรุงรักษาระบบเติมน้ำผ่านสระประมาณร้อยละ 5 ของค่าใช้จ่ายในการลงทุนขุดสระน้ำและก่อสร้างอาคารรับน้ำ (Kalantari et al., 2009 และ กรมโยธาธิการ, 2541) และจากการประเมินค่าใช้จ่ายในหมวดนี้จะมีค่าร้อยละของค่าใช้จ่ายในการลงทุนขุดสระน้ำและก่อสร้างอาคารรับน้ำ ลดลงเมื่อสระเติมน้ำมีขนาดเพิ่มขึ้น เนื่องมาจาก ค่าซ่อมบำรุงและค่าบุคลากรคงที่ ดังตารางที่ 7-5

ตารางที่ 7-5 ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาระบบเติมน้ำผ่านสระ

รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)
1. ค่าขุดสระเติมน้ำ			
- งานขุดเปิดหน้าดิน	ลบ.ม.	-	20
- งานดินขุด	ลบ.ม.	-	30
- งานดินถมบดอัดแน่น	ร้อยละ 10 ของราคางานดินขุด		
2. ค่าก่อสร้างอาคารรับน้ำ			
- อาคารทดน้ำ จากแหล่งน้ำดิบ (ราคาเพิ่มขึ้นตามขนาดสระไร่ละ 5%)	ตัว	1	20,000
- อาคารรับน้ำ เข้าสระเติมน้ำ (ราคาเพิ่มขึ้นตามขนาดสระไร่ละ 50%)	ตัว	1	12,000
- ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ϕ 0.50 ม.	ท่อน	4* / 2**	1,000
3. ค่าระบบตรวจสอบและติดตามการเติมน้ำ			
- ไม้วัดระดับน้ำ	ตัว	1	500
- บ่อสังเกตการณ์ ϕ 2" (2 บ่อ บ่อละ 15 เมตร)	เมตร	30	500
- เครื่องวัดระดับน้ำ	เครื่อง	1	10,000
4. ค่าระบบบึงประดิษฐ์			
- งานขุดเปิดหน้าดิน	ลบ.ม.	-	20
- งานดินขุด	ลบ.ม.	-	30
- งานดินถมบดอัดแน่น	ร้อยละ 10 ของราคางานดินขุด		
- งานปลูกต้นไม้	ไร่	-	5000

ตารางที่ 7-5 ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาระบบเติมน้ำผ่านสระ (ต่อ)

รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)
5. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบเติมน้ำ			
- ขุดลอกสระเติมน้ำ 1 ครั้งต่อปี	สระเติมน้ำ 1 ไร่	1	3000
- ซ่อมแซมระบบเติมน้ำ อุปกรณ์และเครื่องมือ	ครั้งต่อปี	1	2,000
- บุคลากรในการตรวจสอบดูแล (เพิ่มขึ้น 10% ทุก 10 ไร่ ของสระเติมน้ำ)	คนต่อปี	1	18,000
- เก็บเกี่ยวพืชในบึงประดิษฐ์	ไร่	1	500

หมายเหตุ: * ระบบเติมน้ำแบบที่ 1 และ 2, ** ระบบเติมน้ำแบบที่ 3

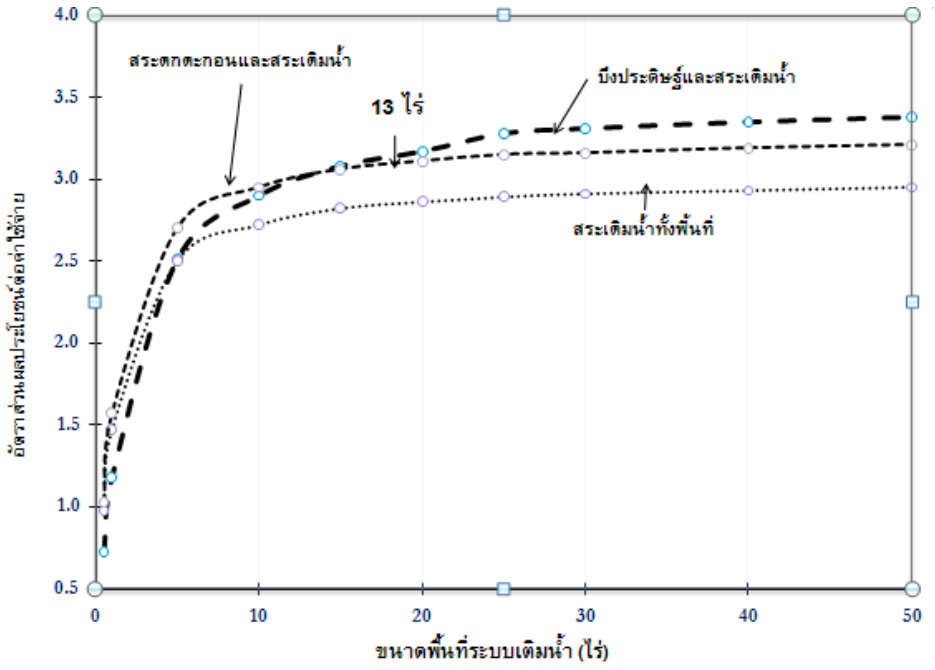
ค่าใช้จ่ายของโครงการ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือค่าใช้จ่ายที่ลงทุนเฉพาะในปีแรกที่มีการก่อสร้าง ได้แก่ ค่าขุดสระเติมน้ำ ค่าก่อสร้างอาคารรับน้ำ ค่าระบบบึงประดิษฐ์และค่าระบบตรวจสอบและติดตาม ส่วนค่าบำรุงรักษาระบบเติมน้ำเป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องลงทุกในทุกปี เมื่อนำมาประเมินตามขนาดของสระเติมน้ำตั้งแต่ 1 ถึง 50 ไร่ ทำให้ได้ค่าใช้จ่ายของโครงการที่ขนาดสระเติมน้ำขนาดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 7-6

ตารางที่ 7-6 ค่าใช้จ่ายของโครงการเติมน้ำผ่านระบบสระ ตามขนาดพื้นที่

ขนาดพื้นที่ระบบเติมน้ำ (ไร่)	ค่าใช้จ่ายเฉพาะในปีแรกของโครงการ (บาท)			ค่าใช้จ่ายประจำทุกปี (บาท)		
	บึงประดิษฐ์และสระเติมน้ำ	สระตกตะกอนและสระเติมน้ำ	สระเติมน้ำทั้งพื้นที่	บึงประดิษฐ์และสระเติมน้ำ	สระตกตะกอนและสระเติมน้ำ	สระเติมน้ำทั้งพื้นที่
0.5	96,950	155,300	140,300	28,625	21500	21,500
1	186,700	255,600	241,600	30,250	23000	23,000
5	720,500	1,065,000	1,037,000	43,250	35000	35,000
10	1,379,000	2,068,000	2,030,000	61,300	51800	51,800
15	2,037,500	3,071,000	3,023,000	77,550	66800	66,800
20	2,696,000	4,074,000	4,016,000	95,600	83600	83,600
25	3,354,500	5,077,000	5,009,000	104,850	98600	98,600
30	4,013,000	6,080,000	6,002,000	122,900	115400	115,400
40	5,330,000	8,086,000	7,988,000	157,200	147200	147,200
50	6,647,000	10,092,000	9,974,000	191,500	179000	179,000

7.3.4 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์

ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาระบบเติมน้ำผ่านสระ และผลประโยชน์ที่จะได้รับมีความสัมพันธ์กับขนาดของระบบเติมน้ำ การวิเคราะห์ความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย (B/C Ratio) การลงทุน กำหนดอายุโครงการสำหรับการวิเคราะห์ 10 ปี เมื่อกำหนดอัตราส่วนลด 5% และโครงการมีอายุทั้งสิ้น 10 ปี นำมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายของโครงการมาวิเคราะห์ B/C ของระบบเติมน้ำขนาดต่างๆ เมื่อวิเคราะห์ที่อายุโครงการ 10 ปี พบว่าสระเติมน้ำขนาดตั้งแต่ 0.5 ไร่ขึ้นไป มี ค่า B/C มากกว่า 1 แสดงว่าสระเติมน้ำขนาดดังกล่าวมีความเหมาะสมในการพัฒนาโครงการต่อไป ขนาดสระเติมน้ำที่มีค่า B/C น้อยกว่า 1 คือสระเติมน้ำขนาด 0.25 ไร่ หรือ 1 งาน ระบบเติมน้ำที่มีขนาดใหญ่จะมีเวลาในการคุ้มทุนเร็วมากกว่าระบบเติมน้ำขนาดเล็ก ถึงแม่จะมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนมากกว่าก็ตาม (รูปที่ 7-5) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของระบบเติมน้ำและอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย เมื่ออายุโครงการ 10 ปี ของระบบเติมน้ำแบบต่างๆ จะเห็นว่าขนาดของระบบเติมน้ำตั้งแต่ 10 ไร่ ขึ้นไปมีค่า B/C ใกล้เคียงกัน ขนาดพื้นที่ระบบเติมน้ำที่มีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายที่เวลาโครงการ 10 ปี คือขนาด 550 ตร.ม. ซึ่งเป็นขนาดสระเติมน้ำที่เล็กที่สุดที่คุ้มค่าต่อการลงทุน



รูปที่ 7-5 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสระเติมน้ำและอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย

7.3.5 สรุปผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการด้วยวิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย พบว่าที่อายุโครงการ 10 ปี ระบบเติมน้ำควรมีขนาดตั้งแต่ 550 ตร.ม. ขึ้นไป จึงจะทำให้โครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน และเมื่อระบบเติมน้ำมีขนาดเพิ่มมากขึ้นยิ่งก่อให้เกิดผลประโยชน์มากขึ้น ระบบเติมน้ำที่มีขนาดตั้งแต่ 10 ไร่ขึ้นไปมีอัตราส่วนต่อค่าใช้จ่ายที่สูง แต่การพัฒนาโครงการมีปัจจัยหลายประการที่ไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นสระเติมน้ำที่มีขนาดเล็ก หากมีการจัดการให้เหมาะสมก็สามารถให้ผลประโยชน์ที่คุ้มต่อการลงทุนสูงได้เช่นเดียวกัน ระบบเติมน้ำแต่ละแบบมีความเหมาะสมต่อการลงทุนที่ขนาดแตกต่างกัน ดังนี้

ระบบเติมน้ำแบบที่ 1 บึงประดิษฐ์และสระเติมน้ำ มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนพัฒนาเริ่มต้นต่ำ ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและบำรุงรักษาสูงกว่าระบบอื่นๆ อัตราส่วนผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายในระยะยาว มีความเหมาะสมมากกว่าระบบอื่นๆ เมื่อพื้นที่ระบบเติมน้ำมากกว่า 13 ไร่ ขึ้นไป และเหมาะสมกับพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำดิบขุ่นมาก

ระบบเติมน้ำแบบที่ 2 สระตกตะกอนและสระเติมน้ำ มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนพัฒนาในปีแรกสูงกว่าระบบอื่นๆ มูลค่าผลประโยชน์สูงกว่าระบบอื่นๆ อัตราส่วนผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายในระยะยาว มีความเหมาะสมปานกลาง และมีความเหมาะสมสูงสุดเมื่อมีพื้นที่ระบบเติมน้ำไม่เกิน 13 ไร่ ระบบนี้เหมาะสมสำหรับพัฒนาในที่แหล่งน้ำดิบมีความขุ่นไม่เกิน 140 NTU

ระบบเติมน้ำแบบที่ 3 สระเติมน้ำทั้งพื้นที่ มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนพัฒนาในปีแรกค่อนข้างสูง แต่ต่ำกว่าแบบที่ 2 มูลค่าผลประโยชน์ต่ำกว่าระบบอื่นๆ เนื่องจากต้องใช้น้ำที่มีความขุ่นไม่เกิน 100 NTU จึงมีเวลาในการเติมน้ำน้อยกว่า อัตราส่วนผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายในระยะยาว มีความเหมาะสมปานกลาง ระบบนี้เหมาะสมสำหรับพัฒนาในที่แหล่งน้ำดิบมีความขุ่นน้อย คือ ไม่เกิน 100 NTU ซึ่งจะทำให้ได้ประมาณการเติมน้ำเพิ่มมากขึ้น และได้อัตราส่วนผลประโยชน์มากขึ้น

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้ประเมินไว้เป็นเพียงแนวทางสำหรับการตัดสินใจพัฒนาโครงการในเบื้องต้น เมื่อมีการนำโครงการไปพัฒนาต่อไป ค่าใช้จ่าย ผลประโยชน์ และตัวแปรในการประเมินต้องเปลี่ยนแปลงไปตามความเหมาะสมของเวลาและแต่ละพื้นที่

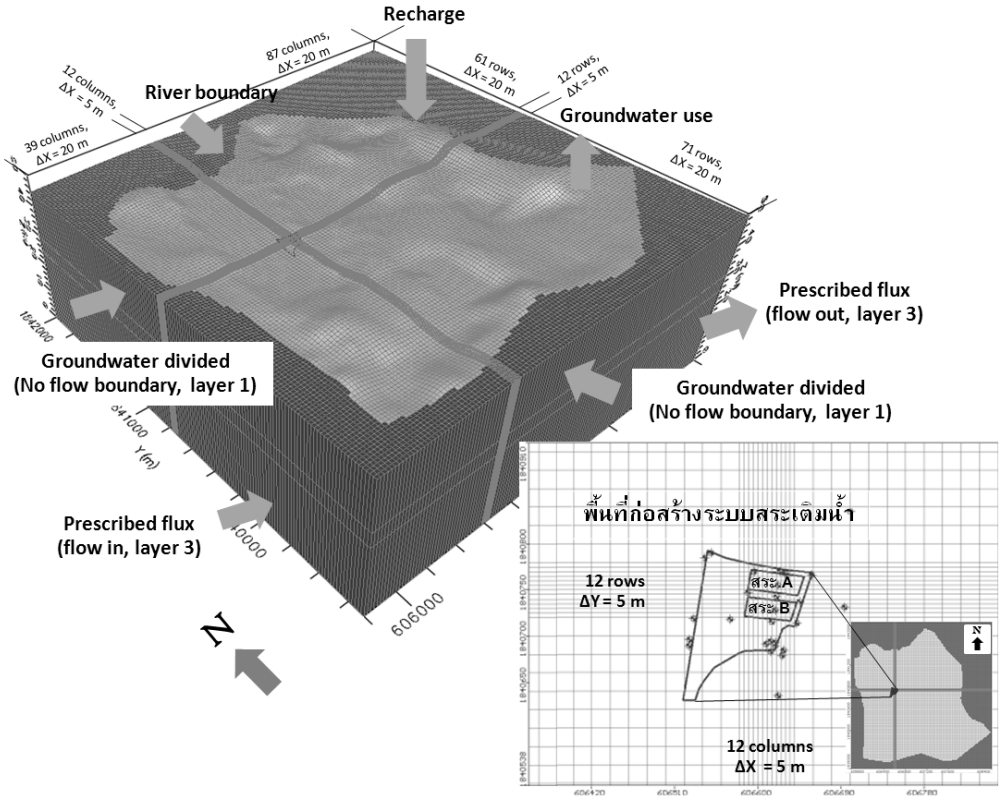
บทที่ 8
การประเมินผลการเติมน้ำผ่านสระโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการนำแบบจำลองพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา (บทที่ 4 หัวข้อ 4.3) และแบบจำลองพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ (บทที่ 4 หัวข้อ 4.1) ซึ่งผ่านการปรับเทียบและมีความน่าเชื่อถือไปประยุกต์ใช้ในการจำลองการเติมน้ำผ่านสระ (หัวข้อ 8.1) การจำลองเติมน้ำเพื่อให้ระบบน้ำบาดาลเกิดความสมดุล และจำลองการเติมน้ำเพื่อให้ระดับน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี ทั้งในพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา และพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ เพื่อพิจารณาแนวทางในการเติมน้ำผ่านสระในพื้นที่มีศักยภาพได้อย่างเหมาะสม ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 8.2 และหัวข้อ 8.3 ตามลำดับ

8.1 การจำลองเติมน้ำในพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา

1) การจำลองเติมน้ำผ่านสระมีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลของน้ำบาดาลจากการทดลองเติมน้ำ 5 ครั้ง ระหว่างวันที่ 13 กรกฎาคม 2553 ถึง 22 พฤศจิกายน 2553

2) เงื่อนไขและขอบเขตแบบจำลองเหมือนกับการจำลองกรณีเฮดคงตัว พื้นที่จำลองบริเวณที่ครอบคลุมพื้นที่สระเติมน้ำได้แบ่งกริดเซลในแนวตะวันตก-ตะวันออกให้มีระยะกริด 5 เมตร จำนวน 12 สภมภ์ และแนวเหนือ-ใต้ มีระยะกริด 5 ม. จำนวน 12 แถว ดังแสดงในรูปที่ 8-1 ดังนั้น 1 กริดเซลมีขนาด 25 ตร.ม. สระ A และสระ B กำหนดขอบเขตเป็น Recharge Boundary สระ A มีพื้นที่ 650 ตร.ม. มีจำนวน 26 กริดเซล สระ B มีพื้นที่ 600 ตร.ม. มีจำนวน 24 กริดเซล



รูปที่ 8-1 การออกแบบกริดและเงื่อนไขขอบเขตการจำลอง

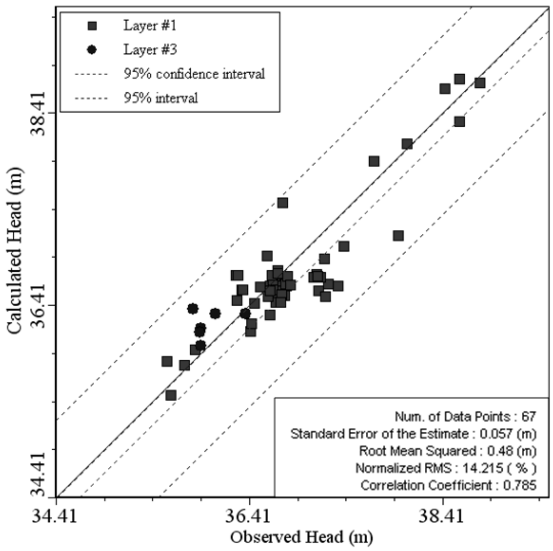
3) ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองซึ่งเพิ่มเติมจากการจำลองกรณีเฮดคงตัว (กรณีที่ 1) ได้แก่ (1) ข้อมูลการเติมน้ำในสระ A และสระ B กำหนดให้มีอัตราการเพิ่มเติมน้ำ (recharge rate) ตามข้อมูลการทดลองเติมน้ำที่ได้จากภาคสนาม (ตารางที่ 8-1) และ (2) ข้อมูลแรงดันน้ำบาดาลในช่วงที่มีการทดลองเติมน้ำทั้ง 5 ครั้ง จากบ่อสังเกตการณ์ จำนวน 33 บ่อ และบ่อเกษตร จำนวน 12 บ่อ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ก่อสร้างระบบสระเติมน้ำ

ตารางที่ 8-1 ข้อมูลปริมาณการเติมน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง

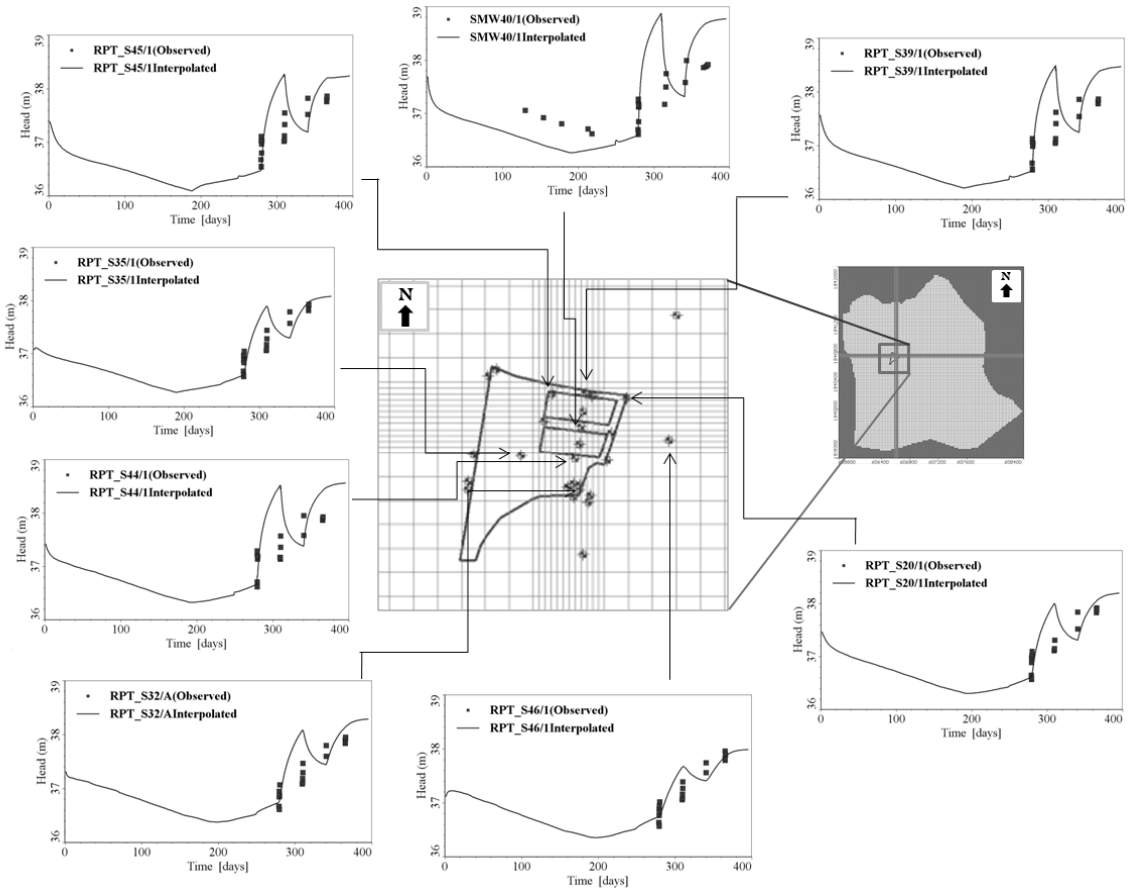
การทดลองเติมน้ำ	ระยะเวลาดำเนินการ	ปริมาณรวมของการเติมน้ำ (ลบ.ม.)
ครั้งที่ 1	13 - 15 กรกฎาคม 2553 (2 วัน) *	814
ครั้งที่ 2	3 - 8 สิงหาคม 2553 (5 วัน)	5,335
ครั้งที่ 3	25 สิงหาคม - 8 กันยายน 2553 (14 วัน)	6,075
ครั้งที่ 4	19 - 23 กันยายน 2553 (4 วัน)	4,736
ครั้งที่ 5	23 ตุลาคม - 22 พฤศจิกายน 2553 (30 วัน)	8,837
รวม		25,735

หมายเหตุ * เติมเฉพาะสระ B ** รายละเอียดเงื่อนไขในการทดลองแสดงในบทที่ 6 หัวข้อ 6.3

4) การปรับเทียบแบบจำลอง เป็นการปรับค่าพารามิเตอร์ที่นำเข้าแบบจำลอง จนค่าระดับแรงดันน้ำบาดาลที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองและค่าที่วัดจากสนามในช่วงที่มีการทดลองเติมน้ำมีความสอดคล้องกันและอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ผลต่างเฉลี่ย Root Mean Squared (RMS) ของค่าคำนวณและที่วัดได้ในสนามทั้งหมดน้อยกว่า 0.50 ม. ถือได้ว่าผลการจำลองนั้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ผลการปรับเทียบพิจารณาจากกราฟแสดงข้อมูลแรงดันน้ำบาดาลที่ได้จากการคำนวณ (แกน y) และข้อมูลที่ได้จากบ่อสังเกตการณ์ (แกน x) พบว่า ข้อมูลที่พล็อตบนเส้น 45 องศา (x=y line) ซึ่งมีค่า x = y บ่งบอกว่าค่าแรงดันน้ำบาดาลจากการคำนวณเท่ากับค่าที่ได้จากภาคสนามซึ่งแสดงถึงผลจำลองที่ดีที่สุด ผลการจำลองส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (95 % confidence interval) มีค่า RMS เท่ากับ 0.48 ม. (14.22%) ดังแสดงในรูปที่ 8-2 ส่วนกราฟการปรับเทียบซึ่งพล็อตระหว่างค่าแรงดันน้ำบาดาลที่ได้จากการคำนวณและจากสนามเทียบกับเวลาดังแสดงในรูปที่ 8-3 พบว่าข้อมูลที่ได้จากการคำนวณและจากสนามมีค่าที่สอดคล้องกัน



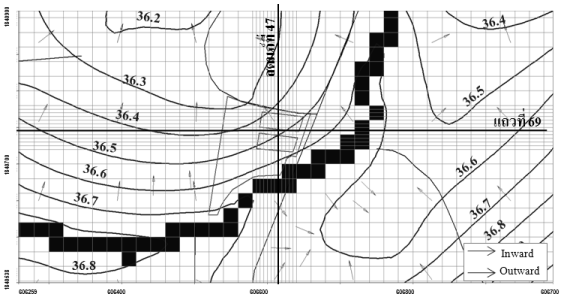
รูปที่ 8-2 กราฟการปรับเทียบพารามิเตอร์กรณีจำลองการเติมน้ำผ่านสระ



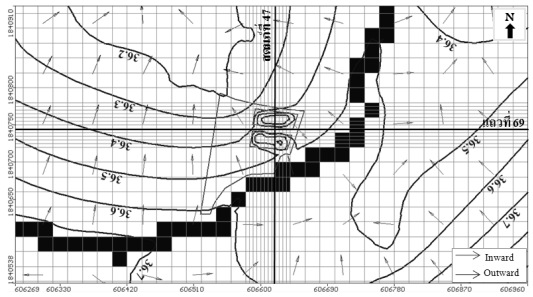
รูปที่ 8-3 กราฟการปรับเทียบแบบจำลองกรณีการเติมน้ำผ่านสระ

5) ผลการจำลองกรณีทดลองเติมน้ำ 1 ปี

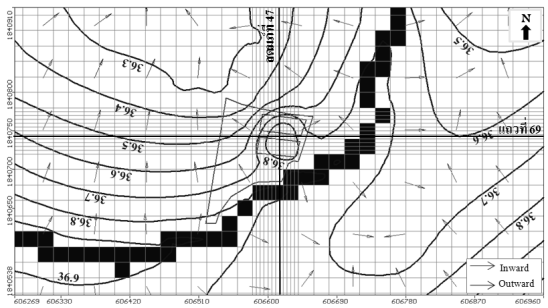
รูปแบบการไหลของน้ำบาดาลในช่วงก่อนเติมมีทิศทางการไหลหลักจากทิศใต้ไปทิศเหนือ ส่วนบริเวณที่มีการสูบใช้น้ำบาดาลปรากฏเป็นกรวยน้ำลด ค่าระดับแรงดันน้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำช่วงก่อนทดลองเติมน้ำ (ก.ค.53) มีค่า 36.70-36.30 ม.รทก. ดังแสดงในรูปที่ 8-4ก ส่วนช่วงที่มีการทดลองเติมน้ำระดับน้ำบาดาลบริเวณโดยรอบสระเติมน้ำมีการปรับตัวสูงขึ้นเนื่องจากการเติมน้ำผ่านสระ ดังแสดงในรูปที่ 8-4ข ถึงรูปที่ 8-4ฉ พบว่าบริเวณดังกล่าวมีการปรับตัวสูงขึ้นของน้ำบาดาล (groundwater mound) และมีทิศทางการไหลในแนวรัศมีออกจากตอนกลางของพื้นที่เนินไปสู่พื้นที่รอบข้าง พื้นที่ mound จากการทดลองเติมแต่ละครั้งแตกต่างกันทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณและระยะเวลาของการเติมน้ำ



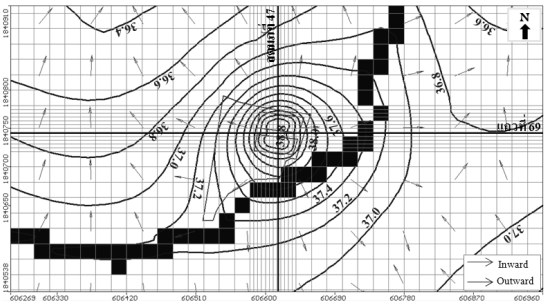
(ก) ก่อนทดลองเติมน้ำ (ก.ค.53)



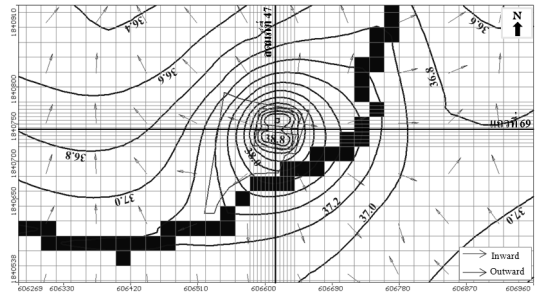
(ข) การทดลองครั้งที่ 1 (15 ก.ค.53)



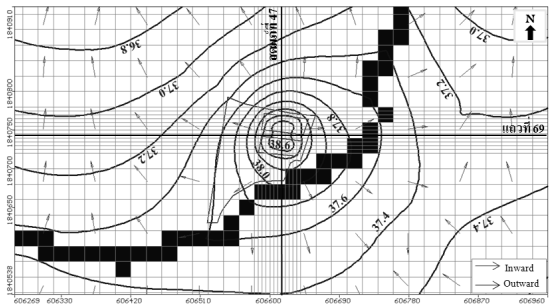
(ค) การทดลองครั้งที่ 2 (8 ส.ค.53)



(ง) การทดลองครั้งที่ 3 (7 ก.ย.53)



(จ) การทดลองครั้งที่ 4 (22 ก.ย.53)



(ฉ) การทดลองครั้งที่ 5 (22 พ.ย. 53)

รูปที่ 8-4 ผลการทิศทางการไหลของน้ำบาดาลกรณีเติมน้ำผ่านสระ

ผลการจำลองสมดุลน้ำบาดาลในรอบหนึ่งปีกรณีจำลองเติมน้ำผ่านสระ พบว่าปริมาณน้ำไหลเข้าและไหลออกจากระบบน้ำบาดาลรวม 1.37 ล้าน ลบ.ม./ปี และ 1.57 ล้าน ลบ.ม./ปี ตามลำดับ ทำให้ระบบน้ำบาดาลขาดดุล 0.20 ล้าน ลบ.ม./ปี ระดับน้ำบาดาลลดลง 0.22 ม./ปี ดังแสดงในตารางที่ 8-2

ตารางที่ 8-2 ผลการจำลองสมดุลน้ำบาดาลในรอบหนึ่งปีกรณีการทดลองเติมน้ำ

ปริมาณน้ำไหลเข้า (ลบ.ม.)		ปริมาณน้ำไหลออก (ลบ.ม.)	
ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ * :	1,032,735	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล :	1,402,100
ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ :	166,566		
ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าในชั้นน้ำระดับลึก :	167,900	ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลออกจากชั้นน้ำระดับลึก :	167,900
รวม	1,367,201	รวม	1,570,000
ปริมาณการไหลเข้า - ปริมาณการไหลออก = -202,799 ลบ.ม.			
การลดลงของระดับน้ำบาดาล คำนวณจาก (ปริมาณการไหลเข้า – ปริมาณการไหลออก)/พื้นที่ศึกษา/Sy = (-202,799/4120000)/0.22 = -0.22 ม./ปี			

หมายเหตุ : * รวมปริมาณการเติมน้ำผ่านสระ 25,735 ลบ.ม.

8.2 แนวทางการเติมน้ำผ่านสระในพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา

จากผลการจำลองสมดุลน้ำบาดาลในพื้นที่นำร่องบ้านหนองนา พบว่าในระยะเวลา 1 ปี มีการใช้น้ำบาดาลมากกว่าการเพิ่มเติมน้ำ ส่งผลให้ทั้งระบบขาดดุลเท่ากับ 0.20 ล้าน ลบ.ม./ปี หรือมีการลดระดับของน้ำบาดาลทั้งพื้นที่เท่ากับ -0.22 ม./ปี แนวทางการจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลสำหรับพื้นที่นี้จึงควรมีการลดหรือควบคุมปริมาณการใช้น้ำบาดาลและการเพิ่มเติมน้ำผ่านระบบสระหรือวิธีอื่นๆ ที่เหมาะสมในบริเวณที่มีศักยภาพ การจำลองเพื่อศึกษาแนวทางการเติมน้ำผ่านสระในพื้นที่นำร่องบ้านหนองนามีวัตถุประสงค์และการดำเนินงานดังนี้

1) การจำลองเติมน้ำผ่านสระมีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองเติมน้ำในพื้นที่ที่มีศักยภาพด้วยปริมาณที่สามารถทำให้ระบบเกิดความสมดุล และการจำลองเติมน้ำเพื่อให้ระดับน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี

2) เงื่อนไขและขอบเขตแบบจำลองเหมือนกับการจำลองกรณีการทดลองเติมน้ำผ่านสระ (กรณีที่ 3)

3) ข้อมูลปริมาณการเพิ่มเติมน้ำและจำนวนสระที่ใช้ในแบบจำลองพิจารณาจากข้อมูลดังนี้

(3.1) กำหนดให้มีอัตราการเติมน้ำ 0.20 ม./วัน ซึ่งเป็นอัตราการเติมน้ำที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่นำร่องบ้านหนองนาซึ่งพิจารณาจากผลการทดลองเติมน้ำ (บทที่ 6)

(3.2) ระยะเวลาการเติมน้ำ 120 วัน ช่วงเดือนกรกฎาคม - ตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนและมีน้ำผิวดินที่สามารถใช้เป็นน้ำเติมได้

(3.3) พื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำ ได้แก่ บริเวณด้านทิศเหนือของพื้นที่เติมน้ำ อยู่ใกล้กับแหล่งน้ำผิวดิน ถนน และใกล้กับพื้นที่เป้าหมาย ดังแสดงในรูปที่ 8-5 กำหนดให้สระเติมน้ำที่เพิ่มขึ้นใหม่มีขนาด 1,600 ตร.ม. (1 ไร่) เนื่องจาก 1 กริดเซล (20 ม. X 20 ม.) มีพื้นที่ 400 ตร.ม. ดังนั้นในแบบจำลอง 1 สระ เท่ากับ 4 กริดเซล

(3.4) จำนวนสระเติมน้ำที่ใช้ในแบบจำลองกรณีการจำลองเติมน้ำเพื่อให้ระบบน้ำบาดาลเกิดความสมดุล คำนวณได้จากอัตราการเติมน้ำและปริมาณน้ำที่ทำให้ระบบสมดุล

อัตราการเติมน้ำ 0.20 ม./วัน X 120 วัน/1ปี X 1,600 ตร.ม. = 38,400 ลบ.ม./ปี
ปริมาณน้ำที่ต้องการเพิ่มเพื่อทำให้ระบบสมดุล คือ 202,799 ลบ.ม./ปี
จำนวนสระเติมน้ำ เท่ากับ 202,799 / 38,400 = 5.3 สระ
ดังนั้น จำนวนสระเติมน้ำที่ใช้ในแบบจำลองควรมีจำนวน 6 สระ

(3.5) จำนวนสระเติมน้ำที่ใช้ในแบบจำลองกรณีการจำลองเพื่อให้ระดับน้ำบาดาลปรับตัวสูงขึ้น 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี สามารถพิจารณาได้จากการเพิ่มปริมาณน้ำที่ใช้เติมโดยเพิ่มจำนวนสระเติมน้ำ ปริมาณน้ำที่ต้องการเพิ่มเพื่อทำให้ระดับน้ำสูงขึ้น 2 ม. คำนวณได้จาก

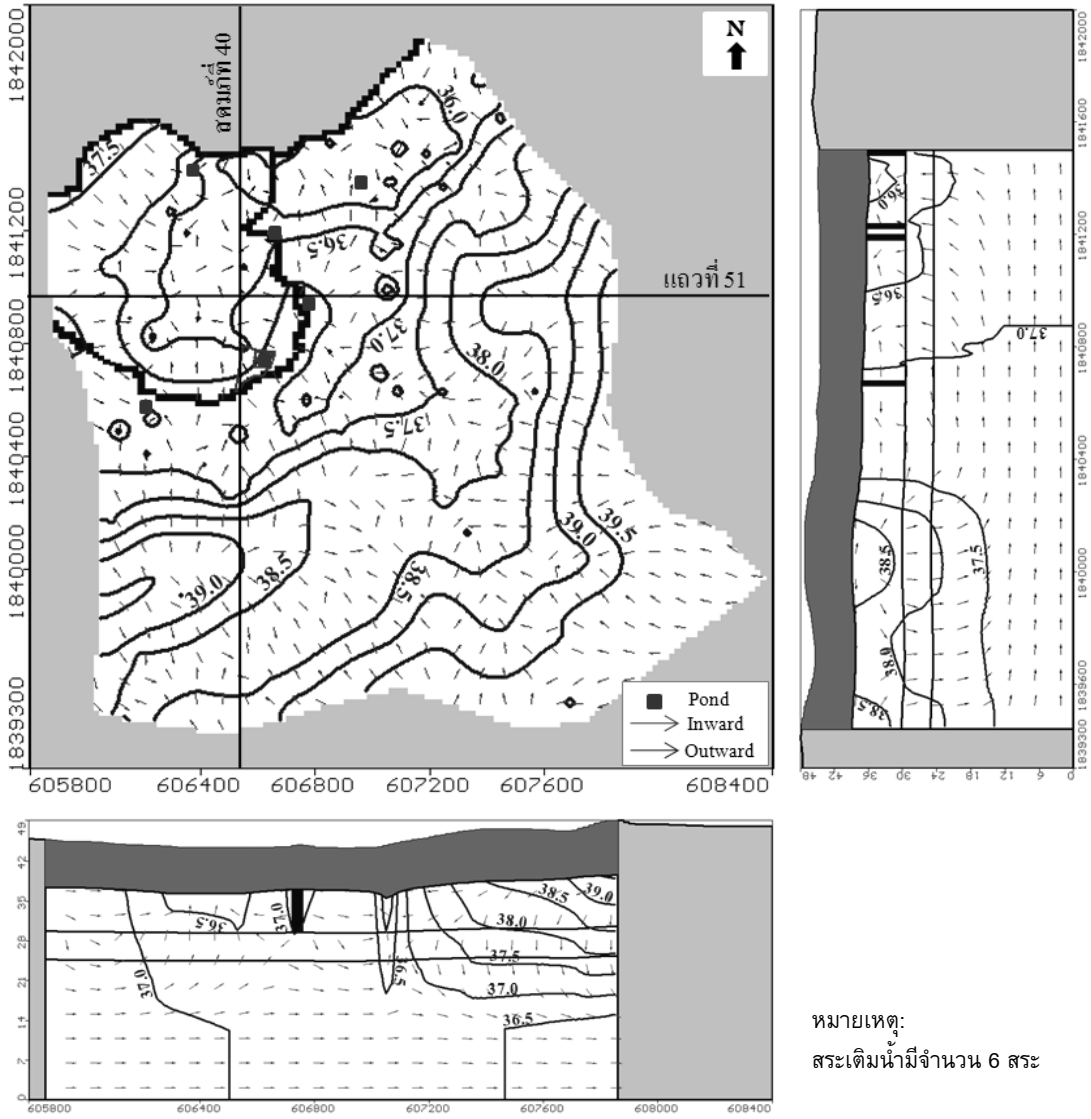
พื้นที่ 4,120,000 ตร.ม. X Sy X 2 ม./10 ปี = 181,280 ลบ.ม.
จำนวนสระที่เพิ่มเติมจากเดิม เท่ากับ 181,280 / 38,400 = 4.7 สระ
ดังนั้น จำนวนสระเติมน้ำที่ใช้ในแบบจำลองควรมีจำนวนรวม 11 สระ

4) ผลการจำลอง

(4.1) ผลการจำลองการเติมน้ำผ่านสระจำนวน 6 สระ ในพื้นที่ที่มีศักยภาพ พบว่ารูปแบบการไหลของน้ำบาดาลที่ได้จากการจำลองคล้ายคลึงกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ เกิดกรวยน้ำลดบริเวณที่มีการการสูบใช้น้ำบาดาล ดังแสดงในรูปที่ 8-5 กราฟการปรับเทียบแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 8-6 สมดุลน้ำบาดาลในรอบหนึ่งปีมีปริมาณการไหลเข้าและไหลออกจากระบบน้ำบาดาลประมาณ 1.56 ล้าน ลบ.ม./ปี ระบบน้ำบาดาลเกิดความสมดุลและมีระดับคงตัว ดังแสดงในตารางที่ 8-3

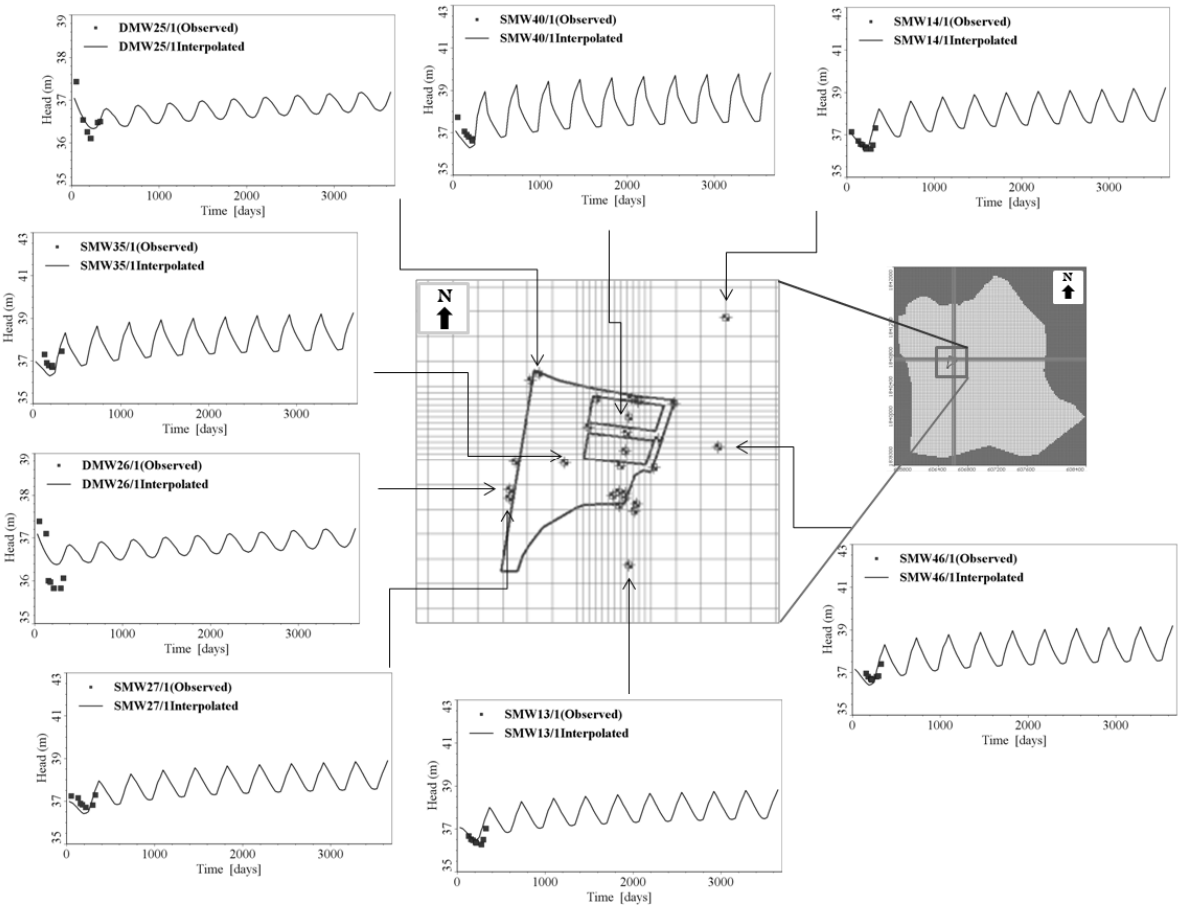
(4.2) ผลการจำลองเติมน้ำผ่านสระจำนวน 11 สระ เพื่อให้ระดับน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี พบว่ารูปแบบการไหลของน้ำบาดาลที่ได้จากการจำลองคล้ายคลึงกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ เกิดกรวยน้ำลดบริเวณที่มีการสูบใช้น้ำบาดาล ดังแสดงในรูปที่ 8-7 กราฟการปรับเทียบแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 8-8 สมดุลน้ำบาดาลในระยะเวลา 10 ปี มีปริมาณการไหลเข้าและไหลออกจากระบบน้ำบาดาลประมาณ 1.75 ล้าน ลบ.ม. และ 1.57 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ ระบบน้ำบาดาลเกินสมดุล 0.18 ล้าน ลบ.ม. ระดับน้ำบาดาลปรับตัวสูงขึ้น 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี (ตารางที่ 8-4)

(4.3) การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ความลึกของระดับน้ำบาดาลก่อนและหลังการจำลองเติมน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 8-9 สภาวะปัจจุบัน (พ.ศ. 2553) บริเวณที่มีระดับน้ำบาดาลลึกน้อยกว่า 8 ม.จากผิวดิน มีพื้นที่ 3.32 ตร.กม. อีก 10 ปีข้างหน้า (พ.ศ.2563) หากพฤติกรรมการสูบใช้น้ำบาดาลยังเหมือนเดิมพื้นที่ดังกล่าวอาจลดลง 2.71 ตร.กม. เหลือเพียง 0.61 ตร.กม. หากมีการเพิ่มเติมน้ำเพื่อให้เกิดสมดุล และเพื่อให้ระดับน้ำปรับตัวสูงขึ้น 2 ม. ในระยะ 10 ปี บริเวณที่มีระดับน้ำบาดาลลึกน้อยกว่า 8 ม. จะมีเนื้อที่เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.04 ตร.กม. เป็น 2.75 ตร.กม. และเพิ่ม 0.65 ตร.กม. เป็น 3.97 ตร.กม. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 8-5



หมายเหตุ:
สระเติมน้ำมีจำนวน 6 สระ

รูปที่ 8-5 ผลการจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาล
กรณีการจำลองเติมน้ำเพื่อให้ระบบเกิดความสมดุล



รูปที่ 8-6 กราฟการปรับเทียบแบบจำลองกรณีจำลองเติมน้ำ
เพื่อให้ระบบน้ำบาดาลเกิดความสมดุล

ตารางที่ 8-3 ผลการจำลองสมดุลน้ำบาดาลกรณีเติมน้ำเพื่อให้ระบบน้ำบาดาลเกิดความสมดุล

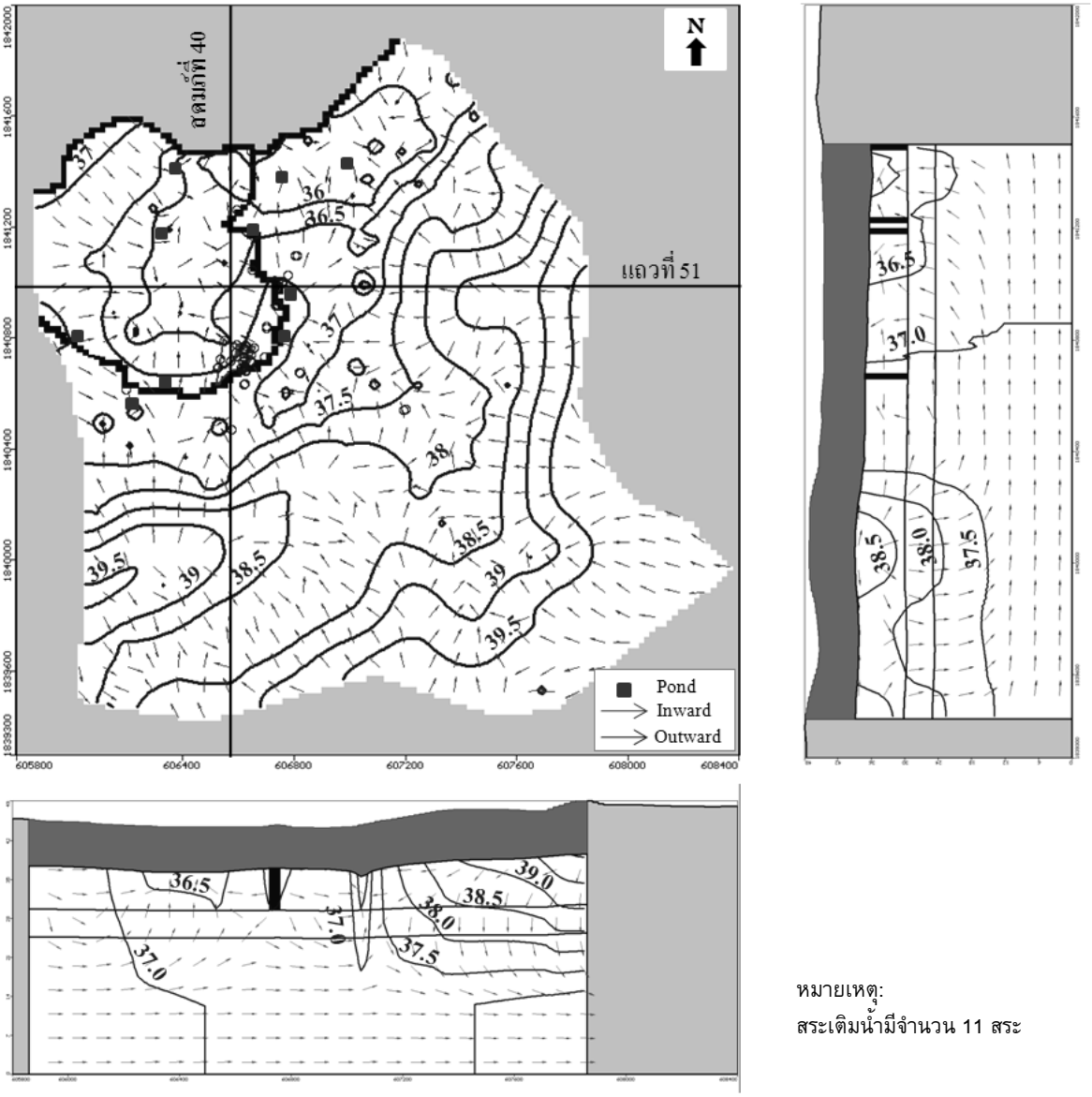
ปริมาณน้ำไหลเข้า (ลบ.ม.)		ปริมาณน้ำไหลออก (ลบ.ม.)	
ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ * :	1,224,735	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล :	1,402,100
ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ :	166,566		
ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าในชั้นน้ำระดับลึก :	167,900	ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลออกจากชั้นน้ำระดับลึก :	167,900
รวม	1,559,201	รวม	1,570,000
ปริมาณการไหลเข้า - ปริมาณการไหลออก = -10,799 ลบ.ม. การลดลงของระดับน้ำบาดาล คำนวณจาก (ปริมาณการไหลเข้า – ปริมาณการไหลออก)/พื้นที่ศึกษา/Sy = (-10,799/4120000)/0.22 = 0 ม./ปี			

หมายเหตุ : * จำนวนสระเติมน้ำ 6 แห่ง

ตารางที่ 8-4 ผลการจำลองสมดุลน้ำบาดาลกรณีเติมน้ำเพื่อให้ระดับน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น 2 ม.

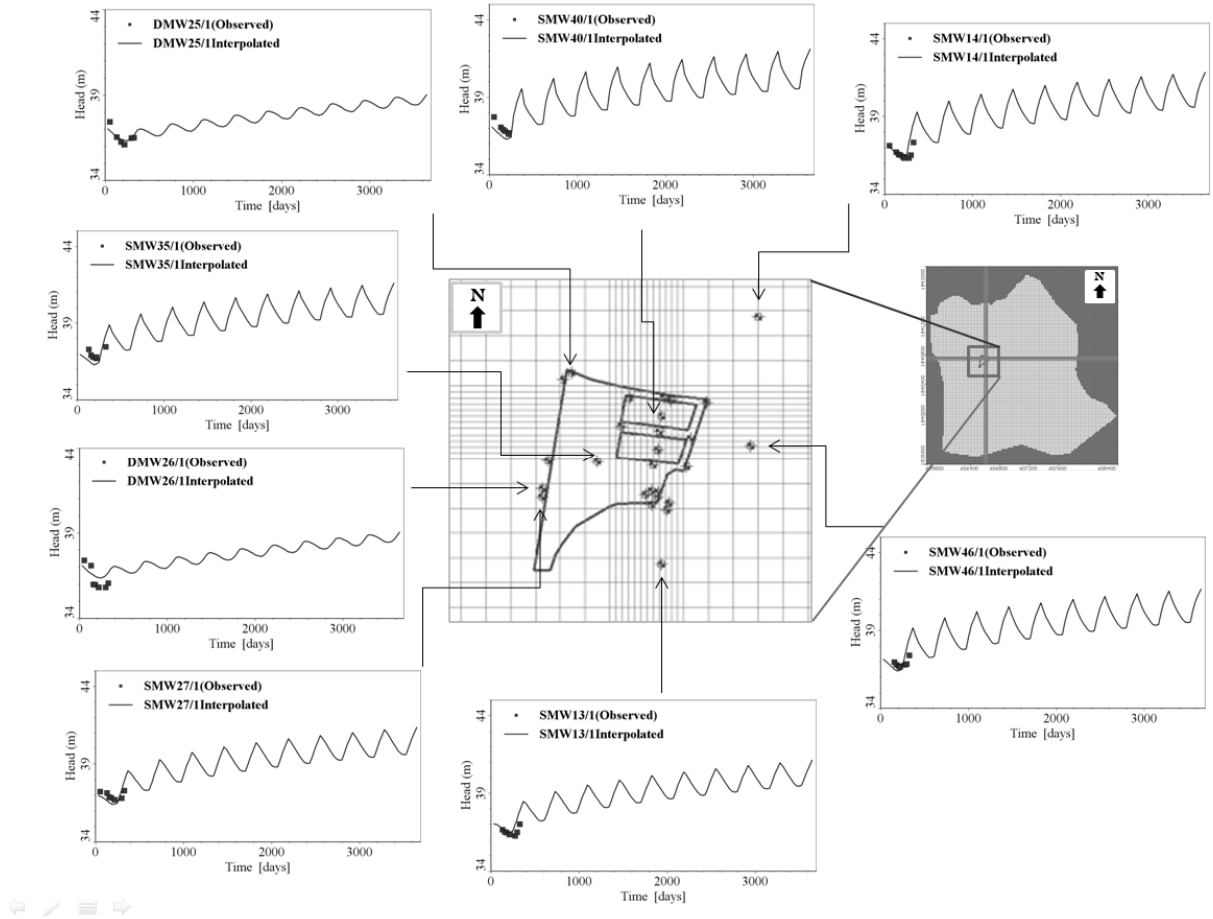
ปริมาณน้ำไหลเข้า (ลบ.ม.)		ปริมาณน้ำไหลออก (ลบ.ม.)	
ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ * :	1,416,735	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล :	1,402,100
ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ :	166,566		
ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้าในชั้นน้ำระดับลึก :	167,900	ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลออกจากชั้นน้ำระดับลึก :	167,900
รวม	1,751,201	รวม	1,570,000
ปริมาณการไหลเข้า - ปริมาณการไหลออก = 181,201 ลบ.ม. การลดลงของระดับน้ำบาดาล คำนวณจาก (ปริมาณการไหลเข้า – ปริมาณการไหลออก)/พื้นที่ศึกษา/Sy = (181,201/4120000)/0.22 = 0.2 ม./ปี หรือ 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี			

หมายเหตุ : * จำนวนสระเติมน้ำ 11 สระ

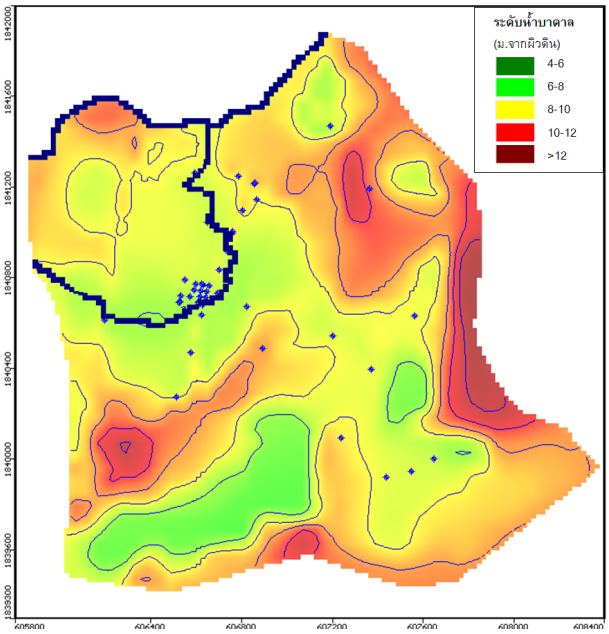


หมายเหตุ:
สระเติมน้ำมีจำนวน 11 สระ

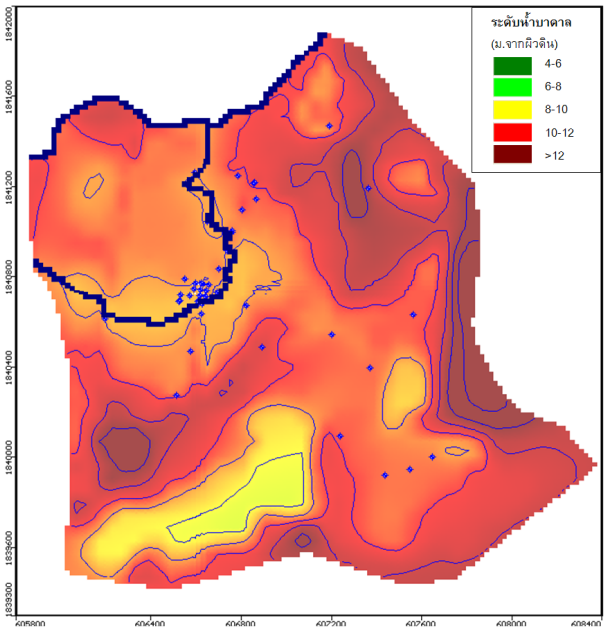
รูปที่ 8-7 ผลการจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาล
กรณีการจำลองเติมน้ำเพื่อให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้น 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี



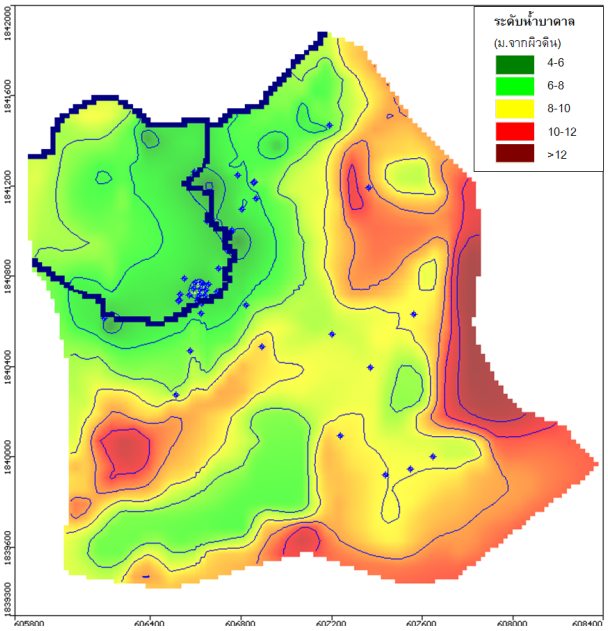
รูปที่ 8-8 กราฟการปรับเทียบแบบจำลองกรณีการจำลองเติมน้ำเพื่อให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้น 2 ม.



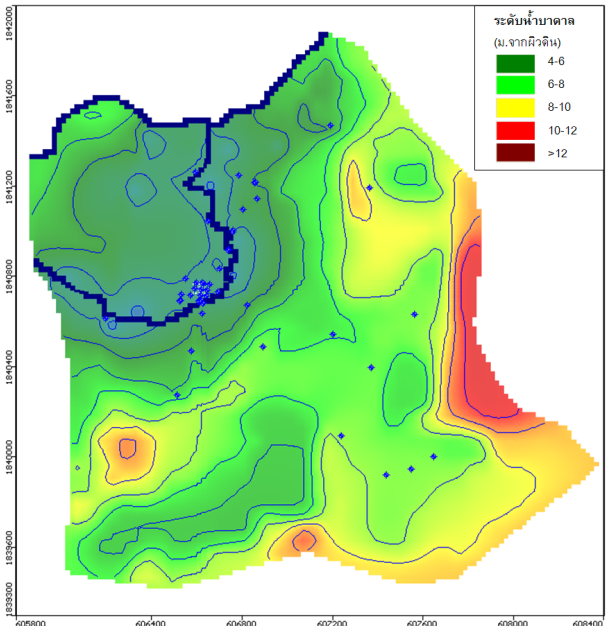
(ก) กรณีไม่มีการเติมน้ำในสภาวะปัจจุบัน (พ.ศ.2553)



(ข) กรณีไม่มีการเติมน้ำในระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ.2553-พ.ศ.2563)



(ค) กรณีเติมน้ำเพื่อให้ระบบน้ำบาดาลสมดุล
ในระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ.2553-พ.ศ.2563)



(ง) กรณีเติมน้ำเพื่อให้ระดับน้ำบาดาลสูงขึ้น 2 ม.
ในระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ.2553-พ.ศ.2563)

รูปที่ 8-9 การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ความลึกของระดับน้ำบาดาล
ก่อนและหลังการจำลองเติมน้ำ พื้นที่นำร่องบ้านหนองนา

ตารางที่ 8-5 การเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ความลึกของระดับน้ำเมื่อมีการเติมน้ำ

ความลึกของระดับน้ำบาดาล (ม.)	ขนาดพื้นที่ก่อนการเติมน้ำ (ตร.กม.)			ขนาดพื้นที่หลังการเติมน้ำ (ตร.ม. กม.)			
	(1) สภาวะปัจจุบัน	(2) ระยะเวลา 10 ปี	(3) การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ (3) = (2) - (1)	(4) กรณีเติมน้ำให้สมดุล ระยะเวลา 10 ปี	(5) การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ (5) = (4) - (2)	(6) กรณีเติมน้ำยกระดับขึ้น 2 ม. ระยะเวลา 10 ปี	(7) การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่กรณีเติมน้ำให้สมดุลกับแบบจำลองระเวลา 10 ปี (7) = (6) - (2)
< 8	3.32	0.61	-2.71	3.36	2.75	3.97	3.36
8 - 9	0.59	1.72	1.13	0.54	-1.18	0.08	-1.64
9 - 10	0.13	1.14	1.01	0.13	-1.01	0.07	-1.07
> 10	0.08	0.65	0.57	0.09	-0.56	0.00	-0.65
รวม	4.12	4.12		4.12		4.12	

8.3 แนวทางการเติมน้ำผ่านสระในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

จากผลการจำลองน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่พบว่าในระยะเวลา 1 ปี มีการใช้น้ำบาดาลมากกว่าการเพิ่มเติมน้ำ ส่งผลให้ทั้งระบบมีการเสียสมดุลเท่ากับ -51,468,324.09 ลบ.ม./ปี หรือมีการลดระดับของน้ำบาดาลทั้งพื้นที่เท่ากับ -0.26 ม./ปี หากยังมีการใช้น้ำบาดาลในปริมาณเท่าเดิมหรือมีการใช้น้ำบาดาลเพิ่มมากขึ้นในอนาคต จะส่งผลให้เกิดการลดระดับของน้ำบาดาลมากยิ่งขึ้น ดังนั้นควรมีการลดปริมาณการใช้น้ำบาดาลหรือหาแนวทางในการเพิ่มระดับน้ำโดยการเติมน้ำผ่านระบบสระหรือวิธีอื่นที่เหมาะสมในพื้นที่ที่มีศักยภาพ ทั้งนี้ในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ได้ศึกษาแนวทางการเติมน้ำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่ใช้ในการเติมน้ำหรือพื้นที่ของสระเติมน้ำควรมีปริมาณเท่าใดที่สามารถทำให้ระบบเกิดความสมดุลหรือมีการยกระดับของน้ำบาดาลได้

1) วัตถุประสงค์การจำลองเพื่อ (1.1) คาดคะเนการไหลของน้ำบาดาลในระยะเวลา 10 ปี และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง (1.2) เพื่อจำลองการเติมน้ำผ่านสระในพื้นที่ที่มีศักยภาพด้วยปริมาณที่ทำให้ระบบน้ำบาดาลเกิดความสมดุล ในระยะเวลา 10 ปี และ (1.3) เพื่อจำลองการเติมน้ำผ่านสระในพื้นที่ที่มีศักยภาพด้วยปริมาณที่ทำให้ระดับน้ำบาดาลปรับตัวสูงขึ้น 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี

2) เงื่อนไขและขอบเขตแบบจำลองเหมือนกับการจำลองกรณีเฮดคงตัว (หัวข้อ 4.1.3)

3) ข้อมูลเพิ่มเติมที่ใช้ในแบบจำลองในแต่ละกรณีประกอบด้วย

(3.1) การจำลองเพื่อคาดคะเนการไหลของน้ำบาดาลในระยะเวลา 10 ปี ใช้ข้อมูลชุดเดียวกับการจำลองกรณีเฮดคงตัว (หัวข้อ 4.1.3) ซึ่งเป็นชุดข้อมูลซ้ำกันทุกปีและมีอัตราการใช้น้ำคงที่

(3.2) การจำลองเติมน้ำเพื่อให้ระบบเกิดความสมดุลได้พิจารณาข้อมูลจำนวนสระเติมน้ำและปริมาณน้ำที่ใช้เติม ดังนี้

- ปริมาณน้ำที่ทำให้ระบบน้ำบาดาลสมดุลพิจารณาจากปริมาณการกักเก็บในแต่ละปีเท่ากับ - 51,468,324.09 ลบ.ม./ปี
- อัตราการเติมน้ำ 0.2 ม./วัน
- ระยะเวลาการเติมน้ำ 120 วัน ในเดือนกรกฎาคม - ตุลาคม
- พื้นที่มีศักยภาพในการเติมน้ำพิจารณาจากบริเวณที่มีการลดระดับของน้ำบาดาลและอยู่ใกล้แหล่งน้ำผิวดิน
- จำนวนสระเติมน้ำคำนวณได้จากอัตราการเติมน้ำ 0.2 ม./วัน x 120 วัน/ปี x 40,000 ตร.ม.(กริดเซลล์ 200 ม. x 200 ม.) = 960,000 ลบ.ม./ปี ดังนั้น จำนวนสระเติมน้ำ เท่ากับ -51,468,324.09/ 960,000 = 54 กริดเซลล์ หรือคิดเป็น 1,350 ไร่

(3.3) การจำลองเติมน้ำเพื่อให้มีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำ 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปีได้พิจารณาข้อมูลจำนวนสระเติมน้ำและปริมาณน้ำที่ใช้เติมซึ่งเพิ่มขึ้นจากกรณีจำลองเพื่อให้ระบบสมดุล ดังนี้คือ

- ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้น 2 ม.ในระยะเวลา10 ปี เท่ากับ 2 ม. x Sy x 972,000,000 ตร.ม. = 388,800,000 ลบ.ม. ปริมาณการเติมน้ำที่ทำให้สมดุลในแต่ละปี 51,468,324.09 x 10 = 514,683,240.9 ปริมาณการเติมน้ำทั้งหมดเท่ากับ 388,800,000 + 514,683,240.9 = 903,483,240.9 ลบ.ม.
- จำนวนสระเติมน้ำ เท่ากับ 903,483,240.9/ 960,000 = 94 กริดเซลล์ หรือคิดเป็น 2350 ไร่

4) ผลการจำลอง

(4.1) ผลการจำลองกรณีจำลองเพื่อคาดคะเนการไหลของน้ำบาดาลในระยะเวลา 10 ปี

รูปแบบการไหลของน้ำบาดาลมีการไหลของน้ำจากพื้นที่เนินด้านทิศตะวันตกที่มีเฮดสูงไปด้านทิศตะวันออกที่มีเฮดของน้ำบาดาลต่ำ เกิดกรวยน้ำลดในบริเวณที่มีการสูบใช้น้ำบาดาลมาก น้ำบาดาลมีการไหลเข้าบริเวณที่มีการใช้น้ำบาดาล การไหลของน้ำบาดาลเปลี่ยนแปลงตามลักษณะการใช้น้ำบาดาล เช่น ในบริเวณด้านฝั่งทิศตะวันออกของพื้นที่ แสดงในรูปที่ 8-10 และรูปที่ 8-11 สมดุลน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ในระยะเวลา10 ปี ที่ได้จากผลการจำลองมีปริมาณการไหลเข้าจากแหล่งต่างๆ เท่ากับ 5,680 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณการไหลออกทั้งหมดเท่ากับ 6,189 ล้าน ลบ.ม. รายละเอียดดังตารางที่ 8-6 ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณการกักเก็บเท่ากับ - 509 ล้าน ลบ.ม. การลดระดับของน้ำบาดาลในระยะเวลา 10 ปี เท่ากับ -2.62 ม.

(4.2) ผลการจำลองกรณีการเติมน้ำเพื่อให้ระบบเกิดความสมดุล

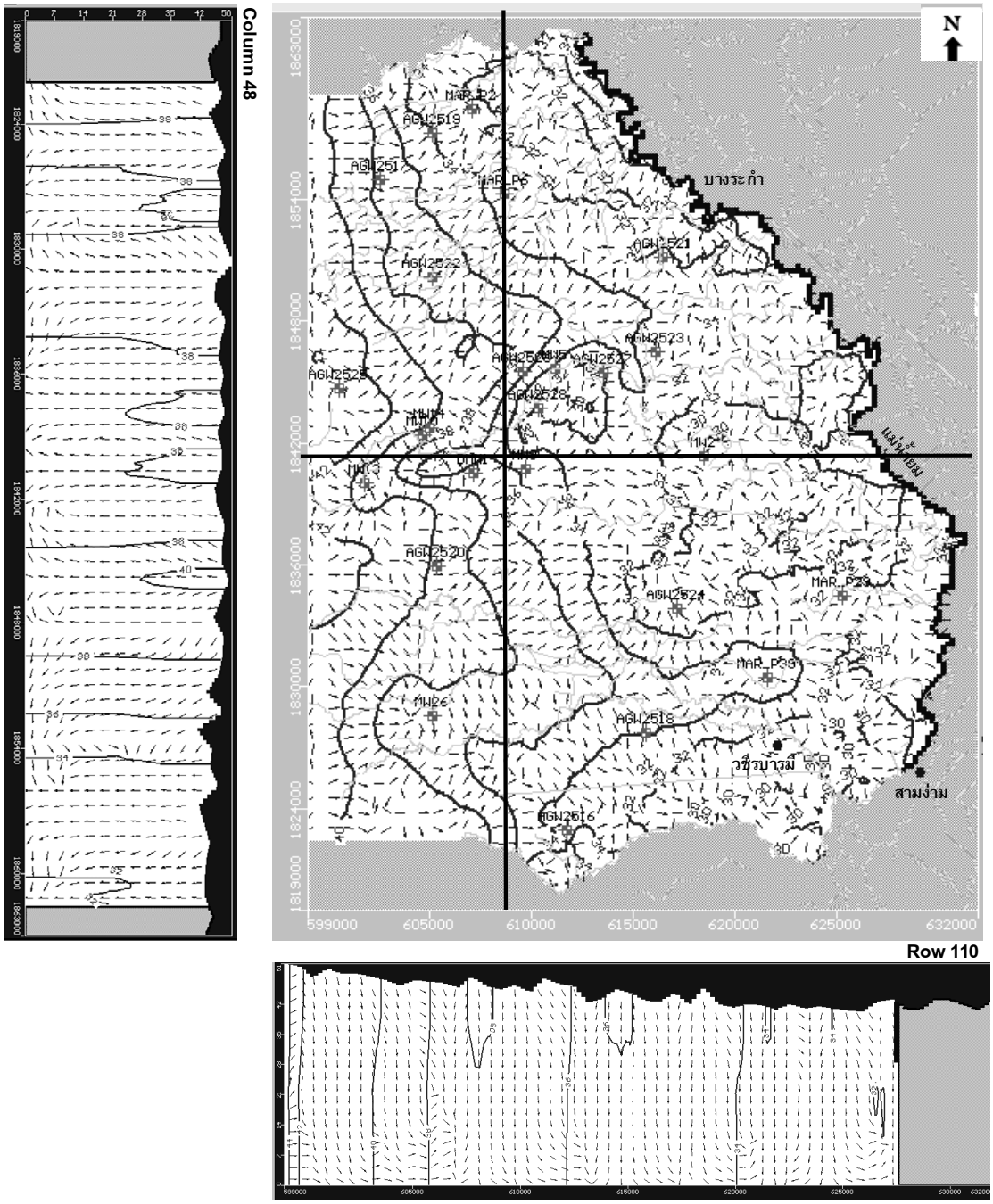
ผลการจำลองการเติมน้ำผ่านสระในพื้นที่ที่มีศักยภาพ พบว่ารูปแบบการไหลของน้ำบาดาลมีการไหลของน้ำจากพื้นที่เนินด้านทิศตะวันตกที่มีเฮดสูงไปด้านทิศตะวันออกที่มีเฮดของน้ำบาดาลต่ำ ในช่วงฤดูแล้งมีการใช้น้ำบาดาลทำให้เกิดกรวยน้ำลดบริเวณที่มีการสูบใช้น้ำบาดาลมาก ในช่วงฤดูฝนในบริเวณที่มีการเติมผ่านสระจะพบว่าระดับน้ำมีการยกตัวขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 8-12

สมดุลน้ำบาดาลในรอบสิบปีมีปริมาณการเพิ่มเติมน้ำบาดาลตามธรรมชาติและปริมาณการเพิ่มเติมน้ำจากการทดลองเติมน้ำผ่านสระรวม 6,412 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณการใช้น้ำบาดาล 6,332 ล้าน ลบ.ม./ปี ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณการกักเก็บ 80 ล้าน ลบ.ม. ระบบน้ำบาดาลเกิดความสมดุลและมีระดับน้ำคงตัว ดังแสดงในตารางที่ 8-7 จำนวนพื้นที่เติมน้ำที่ทำให้ระบบเกิดความสมดุลจากผลการจำลองมีพื้นที่เท่ากับ 1,400 ไร่ ปริมาณน้ำที่เติมแล้วทำให้ระบบเกิดความสมดุลเท่ากับ 538 ล้าน ลบ.ม.ในระยะเวลา 10 ปี หรือ ปีละประมาณ 54 ล้าน ลบ.ม.

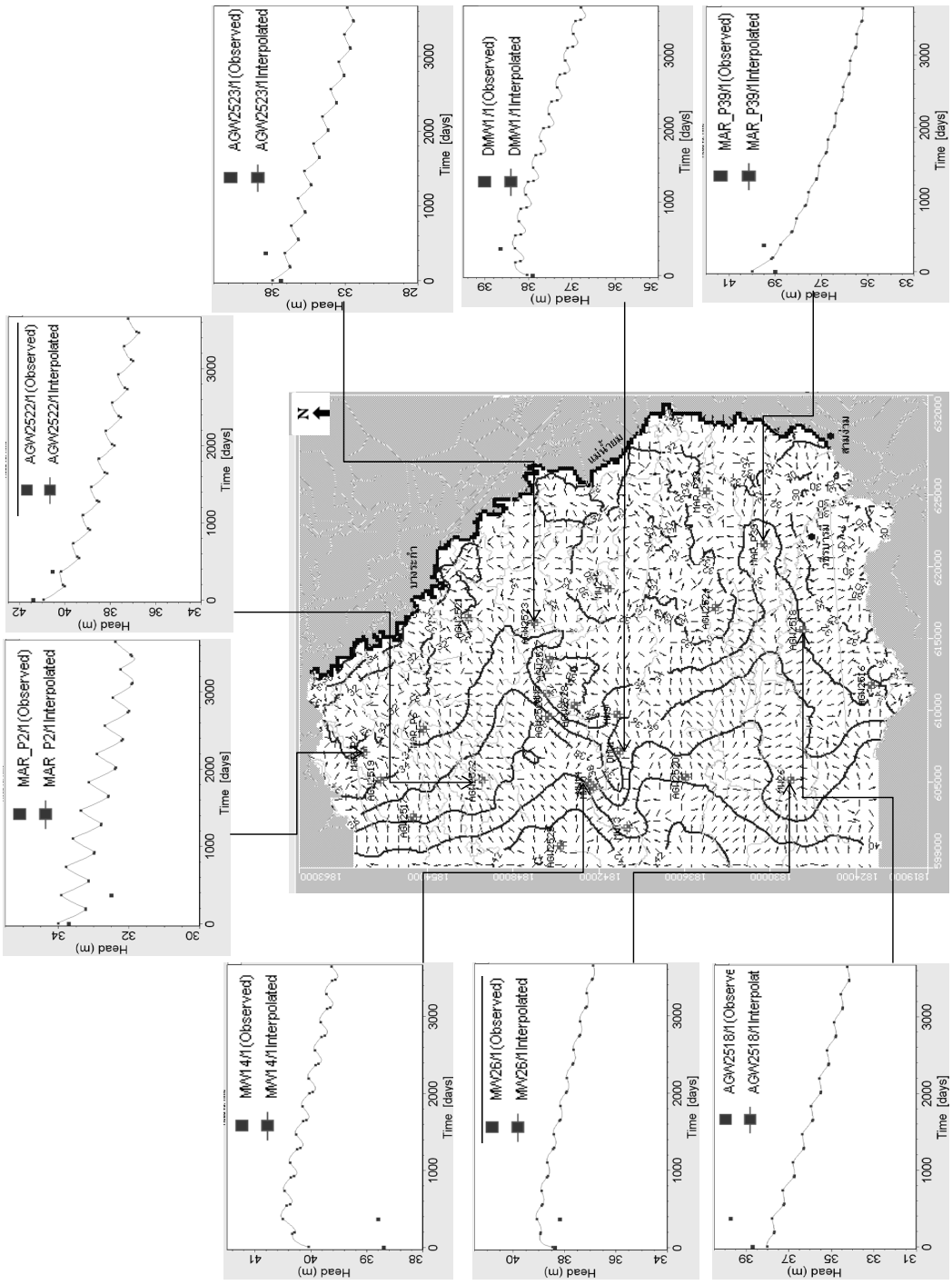
(4.3) ผลการจำลองกรณีเติมน้ำเพื่อให้มีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำ 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี

ผลการจำลองการเติมน้ำผ่านสระในพื้นที่ที่มีศักยภาพ พบว่ารูปแบบการไหลของน้ำบาดาลมีการไหลของน้ำจากพื้นที่เนินด้านทิศตะวันตกที่มีเฮดสูงไปด้านทิศตะวันออกที่มีเฮดของน้ำบาดาลต่ำ ในช่วงฤดูแล้งมีการใช้น้ำบาดาลทำให้เกิดกรวยน้ำลดบริเวณที่มีการสูบใช้น้ำบาดาลมาก ในช่วงฤดูฝนในบริเวณที่มีการเติมผ่านสระจะพบว่าระดับน้ำมีการยกตัวขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 8-13 สมดุลน้ำบาดาลในรอบสิบปีมีปริมาณการเพิ่มเติมน้ำบาดาลตามธรรมชาติและปริมาณการเพิ่มเติมน้ำจากการทดลองเติมน้ำผ่านสระรวม 6,816 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณการใช้น้ำบาดาล 6,418 ล้าน ลบ.ม./ปี ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณการกักเก็บเท่ากับ 398 ล้าน ลบ.ม. รายละเอียดแสดงในตารางที่ 8-8 การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทั้งพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่เมื่อมีการเติมน้ำด้วยอัตรา 0.2 ม./วัน เท่ากับ 2.05 ม. จำนวนพื้นที่เติมน้ำที่ทำให้ระบบมีการยกตัวของระดับน้ำขึ้น 2 ม. ที่ได้จากผลการจำลองมีพื้นที่เท่ากับ 2,450 ไร่ ปริมาณน้ำดิบที่เติมแล้วทำให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้นเท่ากับ 927 ล้าน ลบ.ม.ในระยะเวลา 10 ปี หรือปีละประมาณ 93 ล้าน ลบ.ม. สามารถทำให้ระดับน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น 2 ม.ทั้งพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

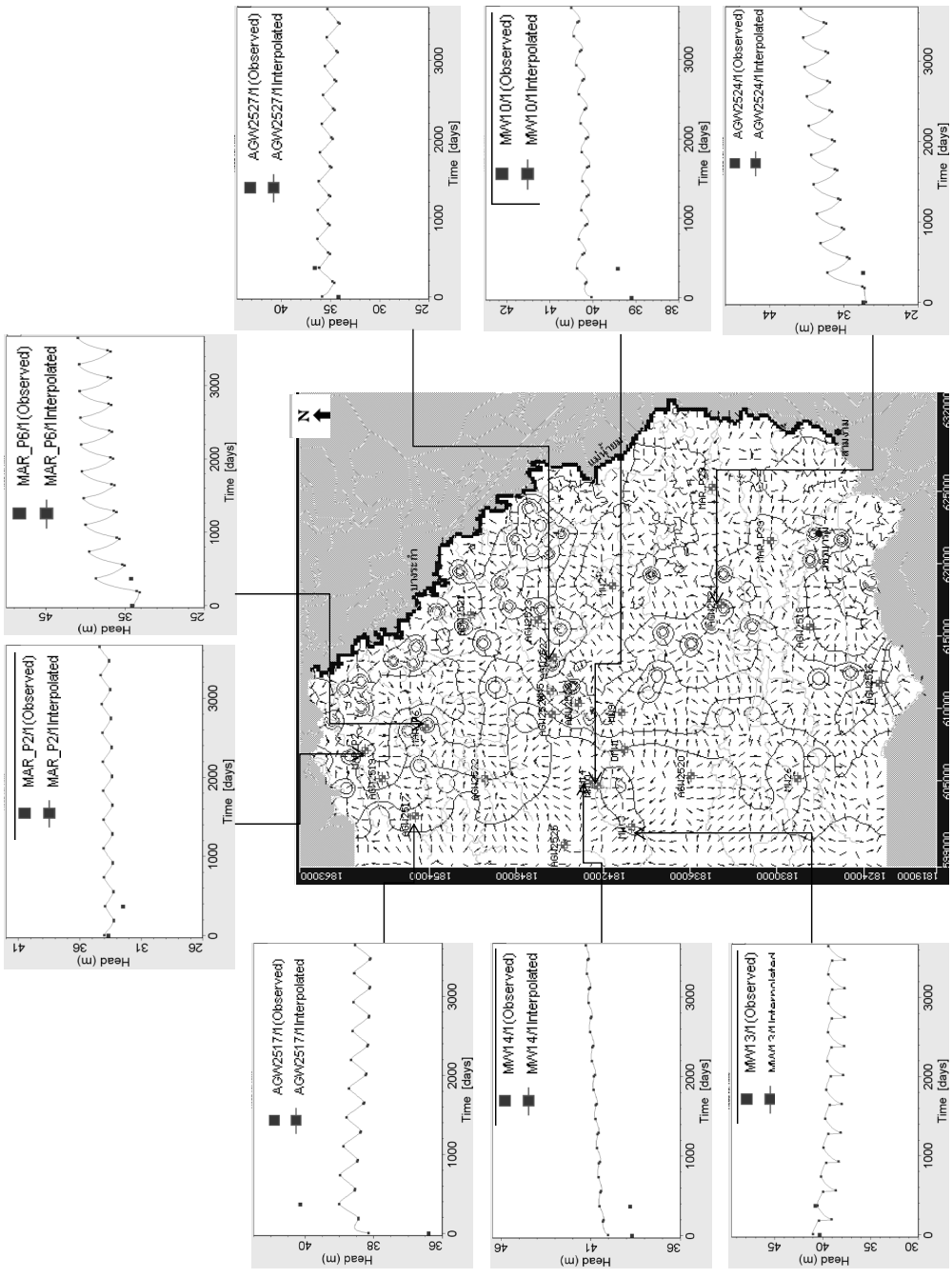
(4.4) การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ความลึกของระดับน้ำบาดาลก่อนและหลังการจำลองเติมน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 8-14 สภาวะปัจจุบัน บริเวณที่มีระดับน้ำบาดาลลึกมากกว่า 8 ม.จากผิวดิน มีพื้นที่ 565 ตร.กม. อีก 10 ปีข้างหน้า หากพฤติกรรมการสูบใช้น้ำบาดาลยังเหมือนเดิมหรือมากขึ้น พื้นที่ดังกล่าวมีการเพิ่มขนาดขึ้นเป็น 816 ตร.กม. หากมีการจัดการเพิ่มเติมน้ำแบบสระเพื่อให้เกิดความสมดุล และเพื่อให้ระดับน้ำบาดาลปรับตัวสูงขึ้น 2 ม. ในระยะ 10 ปี บริเวณที่มีระดับน้ำบาดาลลึกมากกว่า 8 ม. จะมีเนื้อที่ลดลงจากเดิม 441 ตร.กม. และ 242 ตร.กม. ตามลำดับ รายละเอียดดังตารางที่ 8-9



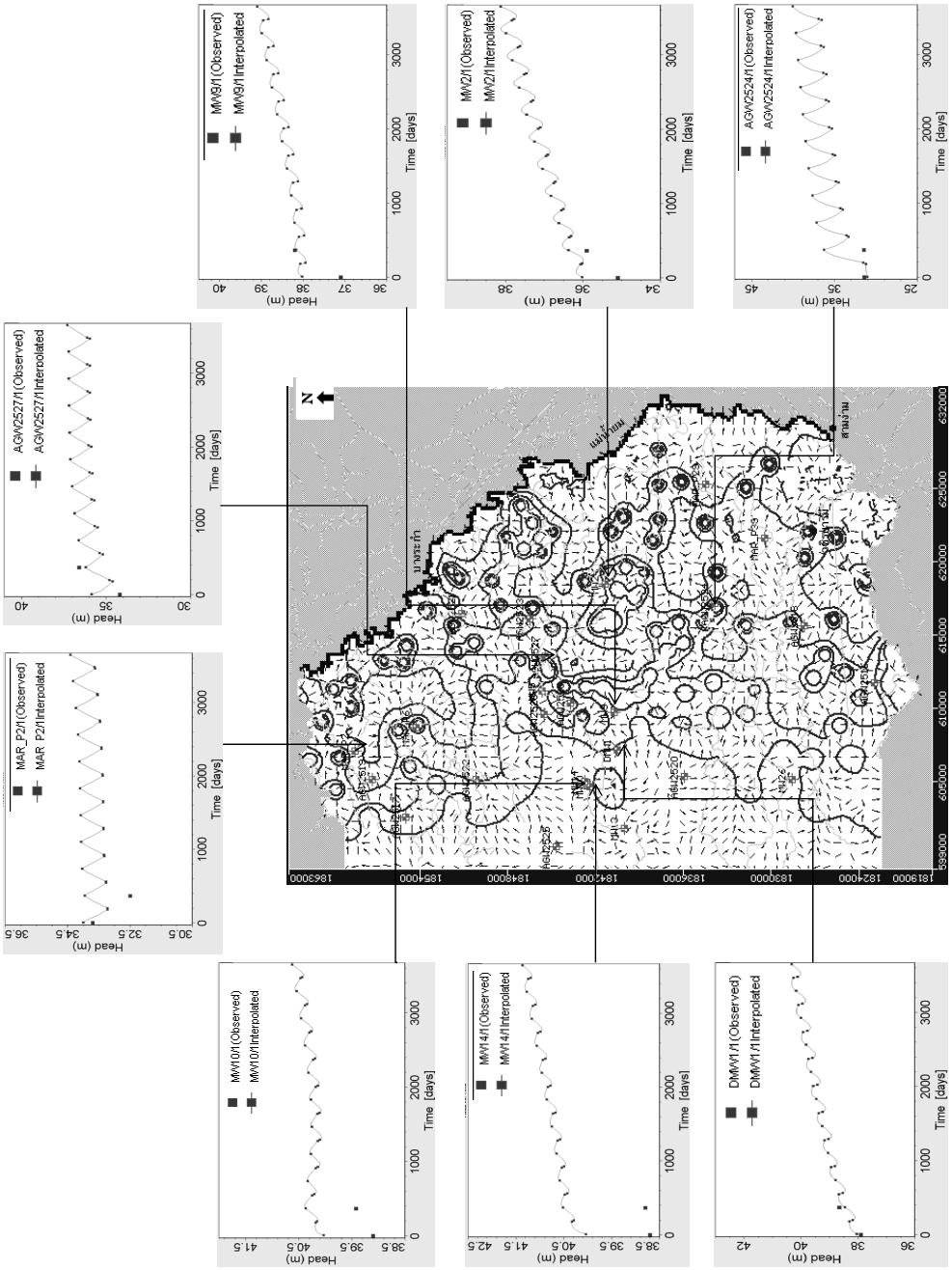
รูปที่ 8-10 รูปแบบการไหลของน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ ในระยะเวลา 10 ปี



รูปที่ 8-11 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์แบบจำลองของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ ในระยะเวลา 10 ปี



รูปที่ 8-12 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์แบบจำลองของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่กรณีจำลองการเติมน้ำ เพื่อให้ระบบเกิดความสมดุล



รูปที่ 8-13 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์แบบจำลองของพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่กรณีจำลอง เพื่อให้ระดับน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น 2 ม.

ตารางที่ 8-6 สมดุลน้ำบาดาลในระยะเวลา 10 ปี

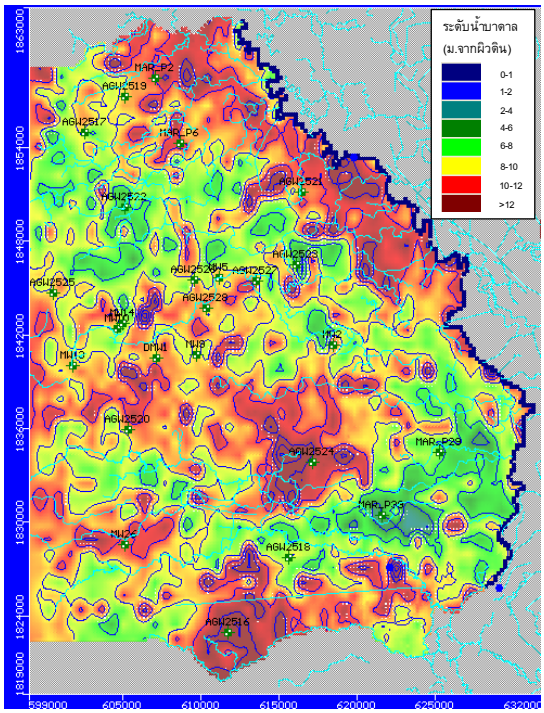
ปริมาณการไหลเข้า (ลบ.ม.)		ปริมาณการไหลออก (ลบ.ม.)	
ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้า :	1,392,489,088	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล :	6,097,391,428.38
ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ :	1,351,776,512		
ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ :	2,935,781,632	ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ :	92,114,256
รวม	5,680,047,232	รวม	6,189,505,684.38
ปริมาณการไหลเข้า - ปริมาณการไหลออก = -509,458,452.38 ลบ.ม. การลดลงของระดับน้ำบาดาล คำนวณจาก (ปริมาณการไหลเข้า - ปริมาณการไหลออก)/พื้นที่ศึกษา/Sy = (-509,458,452.38/972,000,000)/0.2 = -2.62 ม. ในระยะเวลา 10 ปี			

ตารางที่ 8-7 สมดุลน้ำบาดาลในระยะเวลา 10 ปี กรณีที่มีการเติมน้ำให้สมดุล

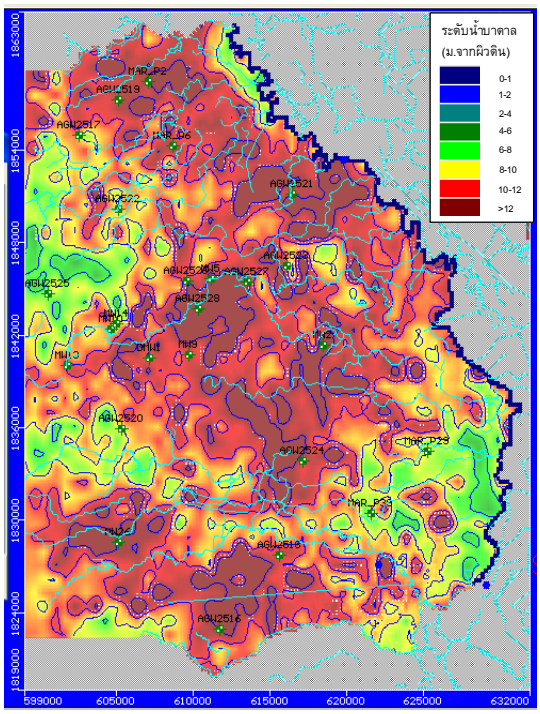
ปริมาณการไหลเข้า (ลบ.ม.)		ปริมาณการไหลออก (ลบ.ม.)	
ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้า :	1,392,489,088	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล :	6,212,801,536
ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ :	1,889,831,040		
ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ :	3,130,169,344	ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ :	119,787,856
รวม	6,412,489,472	รวม	6,332,589,392
ปริมาณการไหลเข้า - ปริมาณการไหลออก = 79,900,080 ลบ.ม.			

ตารางที่ 8-8 สมดุลน้ำบาดาลในระยะเวลา 10 ปี กรณีจำลองเพื่อให้ระดับน้ำบาดาลเพิ่มขึ้น 2 ม.

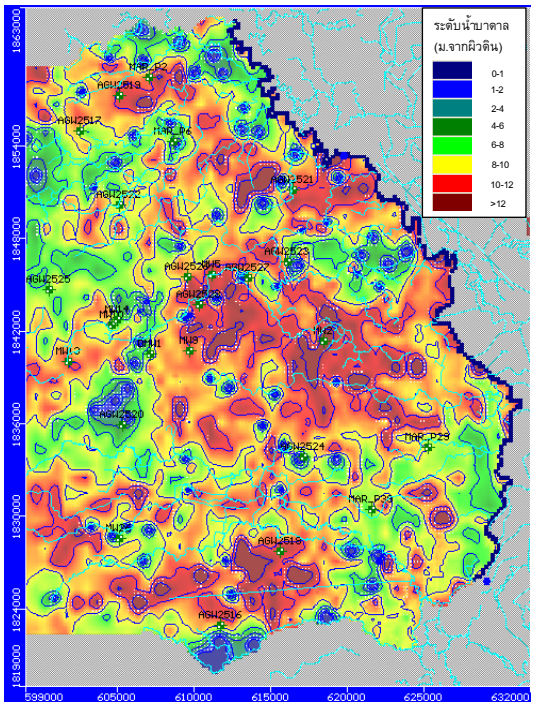
ปริมาณการไหลเข้า (ลบ.ม.)		ปริมาณการไหลออก (ลบ.ม.)	
ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้า :	1,392,489,088	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล :	6,279,940,608
ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ :	2,278,302,976		
ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ :	3,145,289,728	ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ :	138,517,808
รวม	6,816,081,792	รวม	6,418,458,416
ปริมาณการไหลเข้า - ปริมาณการไหลออก = 397,623,376 ลบ.ม. การลดลงของระดับน้ำบาดาล คำนวณจาก (ปริมาณการไหลเข้า - ปริมาณการไหลออก)/พื้นที่ศึกษา/Sy = (397,623,376/ 972,000,000) / 0.2 = 2.04 ม. ในระยะเวลา 10 ปี			



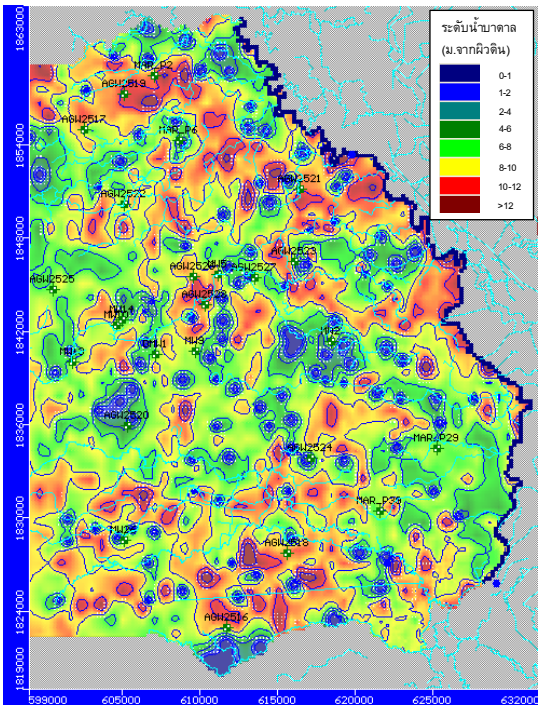
(ก) กรณีไม่มีการเติมน้ำในสภาวะปัจจุบัน



(ข) กรณีไม่มีการเติมน้ำในระยะเวลา 10 ปี



(ค) กรณีเติมน้ำเพื่อให้ระบบน้ำบาดาลสมดุล



(ง) กรณีเติมน้ำเพื่อให้ระดับน้ำบาดาลสูงขึ้น 2 ม.

รูปที่ 8-14 การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ความลึกของระดับน้ำบาดาล
ก่อนและหลังการจำลองเติมน้ำ พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

ตารางที่ 8-9 การเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ความลึกของระดับน้ำเมื่อมีการเติมน้ำพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่

ความลึกของระดับน้ำบาดาล (ม.)	ขนาดพื้นที่ก่อนการเติมน้ำ (ตร.กม.)			ขนาดพื้นที่หลังการเติมน้ำ (ตร.ม. กม.)			
	(1) สภาวะปัจจุบัน	(2) ระยะเวลา 10 ปี	(3) การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ (3) = (2) - (1)	(4) กรณีเติมน้ำให้สมดุล ระยะเวลา 10 ปี	(5) การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่กรณีเติมน้ำให้สมดุลกับแบบจำลองระเวลา 10 ปี (5) = (4) - (2)	(6) กรณีเติมน้ำยกระดับขึ้น 2 ม. ระยะเวลา 10 ปี	(7) การเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่กรณีเติมน้ำให้ยกระดับขึ้น 2 ม. กับแบบจำลองระยะเวลา 10 ปี (7) = (6) - (2)
< 8	407	156	- 251	397	+ 241	597	+ 441
8 - 10	373	356	- 17	401	+ 45	316	- 40
10 - 12	134	338	+ 204	148	- 190	53	- 285
> 12	59	122	+ 63	25	- 97	6	- 116
รวม	972	972		972		972	

บทที่ 9
แนวทางการจัดทำแผนหลักการจัดการเติมน้ำบาดาล จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร

การศึกษาแนวทางการจัดการการเติมน้ำบาดาลในอนาคตในพื้นที่จังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางและเสนอตัวอย่างการจัดทำแผนหลักการจัดการการเติมน้ำอย่างเป็นระบบในภาพรวมของพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 จังหวัด คณะที่ปรึกษาได้รวบรวมหลักการและวิธีการเติมน้ำบาดาลแบบต่างๆ (ในบทที่ 2) แนวคิดในการจัดทำแผนยุทธศาสตร์หรือแผนหลักการจัดการการเติมน้ำที่ทบทวนแนวทางตามแผนหลักของการจัดการการเติมน้ำบาดาลของประเทศอินเดีย (Central Ground Water Board, 2002) และแผนกลยุทธ์การเติมน้ำบาดาลของประเทศแอฟริกาใต้ (Murray et al., 2007) เพื่อเป็นแนวทางในการเติมน้ำบาดาลในอนาคต และแผนการสำรวจทางอุทก-ธรณีวิทยาภาคสนามเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการวางแผนหลักการจัดการเติมน้ำบาดาลของพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง

9.1 องค์ประกอบของแผนหลัก

การเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลควรดำเนินการตามความเหมาะสมของพื้นที่ วิธีการเติมน้ำขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นน้ำบาดาล ภูมิประเทศ การใช้ที่ดิน แหล่งน้ำดิบ และการนำน้ำกลับขึ้นมาใช้ในพื้นที่ลุ่มน้ำ การจัดทำแผนหลักการจัดการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก และพิจิตร ควรดำเนินการโดยอาศัยข้อมูลรายละเอียดของการศึกษาด้านต่างๆ และมีกระบวนการจัดทำแนวทางการจัดทำแผนหลักฯ ที่มีกระบวนการมีส่วนร่วมของหน่วยงานท้องถิ่น ประชาชน และภาคเอกชน คณะที่ปรึกษาจึงเสนอแผนหลักฯ เบื้องต้นที่อิงข้อมูลเชิงเทคนิค ผลการจำลองเชิงคณิตศาสตร์ และการศึกษาทดลองเติมน้ำผ่านสระ และผลการศึกษาที่ผ่านมาของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลเป็นสำคัญ แผนหลักมีองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1) เป้าประสงค์ (long term goal) คือ การกำหนดเป้าหมายระยะยาวของแผน
2) ประเด็นยุทธศาสตร์ (themes) คือ ประเด็นที่ต้องดำเนินการเพื่อให้บรรลุเป้าประสงค์
3) วัตถุประสงค์ของประเด็นยุทธศาสตร์ (management objectives)
4) การประเมินสภาวะปัจจุบันของการดำเนินงานในแต่ละประเด็นยุทธศาสตร์ (situation assessments)
5) กลยุทธ์ (strategic approach) การดำเนินงานให้บรรลุวัตถุประสงค์ของแต่ละประเด็นยุทธศาสตร์
6) กิจกรรม (actions) ที่ต้องดำเนินการในแต่ละกลยุทธ์
7) ความรับผิดชอบ (responsibility) ของแต่ละองค์กรในการปฏิบัติการตามแผนหลัก
8) การจัดลำดับความสำคัญ (priority) ของกิจกรรมในแต่ละกลยุทธ์

9.2 เป้าประสงค์ของแผนหลัก

เป้าประสงค์ของแผนการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลมิใช่เพียงเป็นแผนงานเติมน้ำเพื่อแก้ปัญหาการลดระดับของชั้นน้ำบาดาลตื้นเท่านั้น แต่ควรครอบคลุมถึงกระบวนการทางสถาบัน การพัฒนาวิชาการ จิตสำนึกของการอนุรักษ์ และบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลอย่างมีส่วนร่วมของประชาชนด้วย ดังนั้นเป้าประสงค์ของแผนหลักฯ เบื้องต้น จึงกำหนดตามกรอบเวลาของแผนหลักฯ ไว้ 3 ระยะคือ ระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว โดยระยะเวลาช่วงต่าง ๆ กรมฯ ควรประเมินจากผลการประเมินสภาวะปัจจุบันและศักยภาพขององค์กร และบุคลากร มีตัวอย่างการกำหนดเป้าหมายดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 เป้าหมายของการพัฒนาระบบการเติมน้ำบาดาล “พื้นที่ทั้งหมดในขอบเขตของแผนหลักฯ มีการพัฒนาระบบโครงสร้างการจัดการเติมน้ำบาดาลที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และการใช้น้ำบาดาล มีระบบการติดตามตรวจสอบระดับและคุณภาพน้ำบาดาลร้อยละ 50 ในระยะเวลา 10 ปี และขยายจนเต็มพื้นที่ในระยะเวลา 20 ปี”

ตัวอย่างที่ 2 เป้าหมายการเติมน้ำบาดาล “น้ำบาดาลระดับตื้นสามารถคงตัวอยู่ในระดับสมดุลกับปริมาณการใช้น้ำภายในระยะเวลา 10 ปี และขยายโครงการจนสามารถยกระดับน้ำบาดาลตื้นเฉลี่ยขึ้นถึงระดับความลึก 5 ม. จากระดับผิวดินภายในระยะเวลา 20 ปี” (ประเทศอินเดียกำหนดเป้าหมายว่าต้องการยกระดับน้ำบาดาลให้ขึ้นมาจนถึงความลึก 3 เมตรจากผิวดิน; ที่มา: Central Ground Water Board, 2002)

ตัวอย่างที่ 3 เป้าหมายของการดำเนินการเชิงวิชาการและสถาบัน “ประชาชนและหน่วยงานท้องถิ่นมีความรู้และความเข้าใจระบบการเติมน้ำบาดาลในภาพรวมทั้งลุ่มน้ำ ทราบกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง และมีองค์กรที่จัดตั้งขึ้นเพื่อประสานงานในการจัดการการเติมน้ำร่วมกันระหว่างกรมทรัพยากรน้ำบาดาล องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กลุ่มผู้ใช้น้ำ และประชาชนในพื้นที่ จนสามารถพัฒนาโครงการเติมน้ำบาดาลได้ในท้องถิ่นของตนเองได้ภายในระยะเวลา 10 ปี”

9.3 ประเด็นยุทธศาสตร์ของแผนการเติมน้ำบาดาล

ประเด็นยุทธศาสตร์ทั้งหมดของแผนการเติมน้ำบาดาลที่ควรดำเนินการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของแผนหลัก ประกอบด้วย

1) องค์ความรู้ (knowledge theme) เพื่อสร้างจิตสำนึกและให้ความรู้ด้านการเติมน้ำบาดาลแก่ประชาชนในท้องถิ่น
2) กฎหมายและกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง (legislation and regulation theme) เพื่อสร้างกฎระเบียบที่เอื้อต่อการเติมน้ำบาดาล และจัดตั้งองค์กรที่จะทำหน้าที่สร้างและดูและระบบการเติมน้ำบาดาลให้เป็นส่วนหนึ่งของการจัดการน้ำแบบบูรณาการ
3) การวางแผน (planning theme) เพื่ออำนวยความสะดวกแก่การเติมน้ำบาดาลอย่างยั่งยืน มีประสิทธิภาพ และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์
4) การปฏิบัติตามแผน (implementation theme) เพื่อช่วยให้องค์กรที่ทำหน้าที่จัดการน้ำและการให้บริการด้านน้ำในการเติมน้ำทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5) การจัดการ (management theme) เพื่อให้มีการเติมน้ำบาดาลอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

6) การวิจัย (Research theme) เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ที่สนับสนุนการดำเนินงานเติมน้ำบาดาลให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงในระยะยาว
7) การปฏิบัติตามกลยุทธ์ (Strategy implementation theme) เพื่อปรับปรุงกลยุทธ์การเติมน้ำบาดาลให้ทันสมัยอยู่เสมอ

9.4 กลยุทธ์และแผนงานเบื้องต้น

ตัวอย่างของกลยุทธ์ แผนงาน และลำดับความสำคัญของงานในประเด็นยุทธศาสตร์ต่างๆ สรุปได้ดังตารางที่ 9-1 ถึง 9-7

ตารางที่ 9-1 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 1

ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 1 **องค์ความรู้ (knowledge theme)**	
วัตถุประสงค์ของประเด็นยุทธศาสตร์	เพื่อสร้างจิตสำนึกและให้ความรู้ด้านการเติมน้ำบาดาลแก่ท้องถิ่น โดยทำการประชาสัมพันธ์ สร้างเครือข่าย และสร้างองค์กรประสานงานเพื่อการจัดการเติมน้ำบาดาลในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง
การประเมินสภาวะปัจจุบัน	หลักการของระบบการผันน้ำผิวดินไปกักเก็บไว้ในชั้นน้ำบาดาลเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพและทันสมัย เพราะลดการสูญเสียเนื่องจากการระเหยและความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนได้ อย่างไรก็ตามการจัดการเติมน้ำบาดาลยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายในพื้นที่ศึกษา ก่อนหน้านี้มีเพียงเจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาลที่มีความรู้และความเข้าใจในหลักการเติมน้ำบาดาลและมีบทความทางวิชาการบางส่วนที่ตีพิมพ์และสัมมนาในเฉพาะกลุ่มนักอุทกธรณีวิทยาและวิศวกรแหล่งน้ำเท่านั้น ปัจจุบันในพื้นที่มีโครงการนำร่องการเติมน้ำผ่านการเก็บเกี่ยวจากหลังคา การเติมน้ำผ่านสระ และการเติมน้ำผ่านบ่อลึก (ASR) ในจังหวัดสุโขทัย พิจิตร และพิษณุโลก และการจัดการประชุมประชาสัมพันธ์ในพื้นที่โครงการได้สร้างความตระหนักและความเข้าใจในโครงการแก่ประชาชนและเจ้าหน้าที่ในท้องถิ่นมากขึ้น แต่การประชาสัมพันธ์ต้องการความต่อเนื่อง การสนับสนุนจากหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และการศึกษาดูงานในตัวอย่างโครงการที่ประสบความสำเร็จเพื่อสร้างแรงจูงใจในการนำไปพัฒนาในพื้นที่ของตนเอง
กลยุทธ์การดำเนินงาน	กลยุทธ์เพื่อให้เกิดความรู้ด้านการเติมน้ำบาดาลประกอบด้วยกลยุทธ์ที่ต้องการให้เกิดการตื่นตัวและให้ประชาชนและหน่วยงานมีความรู้เรื่องการเติมน้ำบาดาล มีกลยุทธ์ดังนี้ 1. ประชาสัมพันธ์ให้เข้าถึงประชาชนมากที่สุด: โดยใช้สื่อต่างๆ เช่น การโฆษณาและประชาสัมพันธ์ 2. การสร้างจิตสำนึก: ให้กับประชาชนและหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง 3. ให้การศึกษา: ให้การศึกษาแก่นักเรียน เจ้าหน้าที่รัฐ และผู้ที่เกี่ยวข้อง ให้ทราบข้อดีข้อด้อย คุณค่าของการประยุกต์ใช้ ความเป็นไปได้ของการนำไปสู่การปฏิบัติ และการเดินระบบการเติมน้ำบาดาล 4. ประชาสัมพันธ์โครงการนำร่อง: สร้างและใช้เป็นสถานที่ศึกษาดูงานและสงวนไว้เป็นศูนย์การเรียนรู้เรื่องการเติมน้ำบาดาล (educational center) กรมทรัพยากรน้ำบาดาลควรดำเนินการทั้งส่วนกลางและส่วนภูมิภาค โดยกำหนดให้มีผู้ประสานงานโครงการในทุกเขตจังหวัด ทำการรวบรวมข้อมูลกลุ่มผู้ใช้น้ำ พื้นที่ที่สามารถพัฒนาระบบเติมน้ำบาดาลได้ และใช้การสร้างเครือข่าย ให้ความรู้ นำผู้มีส่วนเกี่ยวข้องเข้ามาศึกษาดูงานในพื้นที่ทดลองของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล และจัดตั้งหน่วยงานย่อยเพื่อดำเนินการขยายโครงการไปในท้องถิ่นต่างๆ ตามลำดับความสำคัญ และต้องดำเนินการพัฒนาองค์กรนี้ให้มีความยั่งยืนและมีความสามารถในการจัดการระบบการเติมน้ำบาดาลได้ด้วยตนเองจนบรรลุเป้าหมายของแผนในที่สุด

ตารางที่ 9-1 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 1 (ต่อ)

กิจกรรม / ความรับผิดชอบ / ลำดับความสำคัญ		
กลยุทธ์ / กิจกรรม	**ความรับผิดชอบ**	**ลำดับความสำคัญ**
1. ประชาสัมพันธ์ให้เข้าถึงประชาชนมากที่สุด		
1.1 ประชาสัมพันธ์แผนหลักการเติมน้ำบาดาลใน website ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล และพิมพ์เผยแพร่ตามสื่อต่างๆ : 1. สื่อทั่วไป ได้แก่ จดหมายข่าว หนังสือพิมพ์ นิตยสาร และวารสารด้านต่างๆ เช่น ทรัพยากรธรณี สมาคมอุทกธรณีวิทยา การจัดการชุมชน การจัดการน้ำ วิศวกรรม การวางแผน สิ่งแวดล้อม เกษตรกรรม เหมืองแร่ และอุตสาหรรม 2. สื่อที่เป็นที่นิยมอ่าน หนังสือพิมพ์ โทรทัศน์ และวิทยุ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	1
1.2 นำเสนอแผนหลักในพื้นที่จังหวัดต่างๆ ทุกจังหวัด ผู้เข้าร่วมการสัมมนาควรประกอบด้วย เจ้าหน้าที่ปกครองท้องถิ่น เจ้าหน้าที่สำนักทรัพยากรน้ำบาดาลเขต 7 สมาชิกคณะกรรมการลุ่มน้ำ สถาบันการศึกษา และเจ้าหน้าที่หน่วยงานด้านวิศวกรรมอื่นๆ เช่น สำนักงานชลประทาน สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค สำนักงานกรมทรัพยากรน้ำ หน่วยงานวางผังเมือง และที่ปรึกษาทางทรัพยากรน้ำและอุทกธรณีวิทยา	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล และ (สำนักทรัพยากรน้ำบาดาลเขต 7)	2
1.3 นำเสนอแผนหลักในที่ประชุมด้านการจัดการน้ำระดับชาติ และการประชุมวิชาการนานาชาติต่างๆ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
2. การสร้างจิตสำนึกให้กับประชาชนและหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง		
2.1 จัดทำโปสเตอร์สำหรับกรมทรัพยากรน้ำบาดาลเพื่อประชาสัมพันธ์ แก่หน่วยงานอื่นๆ ในโปสเตอร์ควรมีการประชาสัมพันธ์ด้านเทคนิคการเติมน้ำบาดาล ผลประโยชน์ที่จะได้รับ และแนวทางการจัดการให้เกิดความสำเร็จ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
2.2 จัดทำเอกสารประชาสัมพันธ์ที่พื้นที่โครงการ เพื่อให้ประชาชนได้รับข้อมูลการโครงการและเห็นว่าโครงการสามารถปฏิบัติได้และเป็นประโยชน์ต่อชุมชน	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
2.3 จัดทำเอกสารประชาสัมพันธ์ นำเสนอหลักการเติมน้ำบาดาล ให้แก่ สำนักทรัพยากรน้ำบาดาลเขต 7 คณะกรรมการลุ่มน้ำ หน่วยงานปกครองท้องถิ่น สถาบันการศึกษา และหน่วยงานด้านวิศวกรรมอื่นๆ เช่น สำนักงานชลประทาน สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค สำนักงานกรมทรัพยากรน้ำ หน่วยงานวางผังเมือง และที่ปรึกษาทางทรัพยากรน้ำและอุทกธรณีวิทยา	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
3. ให้การศึกษาแก่นักเรียน เจ้าหน้าที่รัฐ และผู้ที่เกี่ยวข้อง		
3.1 จัดทำหลักสูตรการเรียนรู้เรื่องการเติมน้ำบาดาล จัดการเรียนรู้และอบรมที่ศูนย์การเรียนรู้ในพื้นที่โครงการนำร่อง	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	3
3.2 เสนอแนะให้มีการเรียนการสอนในโรงเรียนและมหาวิทยาลัยในเรื่องการจัดการน้ำ และการเติมน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	3
4. ประชาสัมพันธ์โครงการนำร่อง (flagship project)		
4.1 ให้ความช่วยเหลือแก่หน่วยงานในท้องถิ่นเพื่อสร้างโครงการนำร่องการเติมน้ำบาดาลและสามารถใช้เป็นสถานที่ศึกษาดูงานได้	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
4.2 สร้างศูนย์การเรียนรู้ในพื้นที่โครงการนำร่องและใช้เป็นสถานที่ศึกษาดูงานและสงวนไว้เป็นศูนย์การเรียนรู้เรื่องการเติมน้ำบาดาล (educational center) มีผู้ดูแลระบบที่สามารถบรรยาย สาธิตการเดินระบบและนำเสนอประโยชน์ของการเติมน้ำบาดาลได้ เช่น เป็นการนำน้ำที่เหลือใช้มากักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ลดการระเหย ทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น เพิ่มศักยภาพในการสำรองน้ำของลุ่มน้ำ และช่วยอนุรักษ์ระบบนิเวศน์วิทยา	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
หมายเหตุ ลำดับความสำคัญ 1 คือ ภายใน 1 ปี ลำดับความสำคัญ 2 คือ ภายใน 2 ปี ลำดับความสำคัญ 3 คือ ภายใน 5 ปี		

ตารางที่ 9-2 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 2

ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 2 **กฎหมายและกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง (legislation and regulation theme)**		
วัตถุประสงค์ของประเด็นยุทธศาสตร์	เพื่อสร้างกฎระเบียบที่เอื้อต่อการเติมน้ำบาดาล และสร้างองค์กรทำหน้าที่สร้างและดูและระบบการเติมน้ำบาดาลให้เป็นส่วนหนึ่งของการจัดการน้ำแบบบูรณาการ	
การประเมินสภาวะปัจจุบัน	การเติมน้ำบาดาลยังไม่มีปรากฏในกฎหมายน้ำบาดาล (พรบ.น้ำบาดาล พ.ศ. 2520) หรือกฎหมายน้ำของประเทศไทย มีเพียงกฎหมายที่เกี่ยวข้องทางอ้อมที่กำหนดเรื่อง “การระบายน้ำลงบ่อน้ำบาดาล” ที่มีการกำหนดให้มีการขออนุญาตและมีอายุใบอนุญาต 5 ปี และมีข้อกำหนดเรื่อง “มาตรฐานน้ำสำหรับระบายลงบ่อน้ำบาดาล” ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 5 (พ.ศ. 2521) ออกตามความในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 ตีพิมพ์ในหนังสือราชกิจจานุเบกษา เล่ม 95 ตอนที่ 66 ลงวันที่ 27 มิถุนายน 2521 แต่กฎหมายนี้กำหนดให้การระบายน้ำลงบ่อน้ำบาดาลเพื่อทิ้งน้ำและห้ามการระบายน้ำลงในบ่อที่อยู่ในชั้นน้ำบาดาลที่มีคุณภาพดี ดังนั้นกฎหมายนี้จึงทำให้เกิดความขัดแย้งกับระบบการเติมน้ำบาดาล ปัจจุบันกฎหมายไม่ครอบคลุมการเติมน้ำโดยการเติมน้ำผ่านสระ การเติมน้ำผ่านฝายเติมน้ำ และการเติมน้ำโดยใช้น้ำที่ผ่านการบำบัด เป็นต้น ดังนั้นกฎหมายฉบับนี้จึงควรมีการกำหนดรายละเอียดด้านเทคนิค หน่วยงานรับผิดชอบ อำนาจหน้าที่ และประกาศออกมาในรูปของประกาศกระทรวงฯ เพื่อใช้ในการเติมน้ำบาดาลและปรับปรุงกฎหมายให้ชัดเจนยิ่งขึ้นเพื่อบรรจุใน พรบ.น้ำบาดาลโดยด่วน เพื่อให้การเติมน้ำบาดาลมีกฎหมายรองรับและสามารถบังคับใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ร่าง พรบ. น้ำบาดาลภายใต้โครงการปรับปรุงและพัฒนากฎหมายเพื่ออนุรักษ์ทรัพยากรน้ำบาดาล (พ.ศ.2551) ในหมวด 6 การอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำบาดาล ส่วนที่ 3 เขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาล มาตรา 53 กำหนดให้กรมทรัพยากรน้ำบาดาลดำเนินการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในเขตวิกฤติการณ์น้ำบาดาลโดยวิธีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลหรือวิธีการอื่นใดที่เหมาะสมตามหลักวิชาการ ดังนั้นหากจะให้มีการจัดการเติมน้ำในพื้นที่ใดจะต้องต้องประกาศเป็นเขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาลก่อนหรือไม่ ซึ่งอาจจะกลายเป็นปัญหาในทางปฏิบัติเนื่องจากจะเกี่ยวข้องกับ พรบ.น้ำบาดาล ในหมวดอื่นๆ เช่น หมวดที่เกี่ยวกับการเก็บค่าอนุรักษ์น้ำบาดาลและกฎหมายข้ออื่นๆ อีก	
กลยุทธ์การดำเนินงาน	ปัจจุบันกฎหมายเรื่องการเติมน้ำบาดาลยังไม่เหมาะสมต่อการพัฒนาระบบการเติมน้ำบาดาล ดังนี้ควรเร่งปรับปรุงกฎหมายให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น ดังนี้ 1. หาแนวทางการจัดทำกฎหมายที่รองรับระบบการเติมน้ำบาดาล 2. จัดทำคู่มือการให้อนุญาตการสร้างโครงการเพื่อการเติมน้ำบาดาล และจัดอบรมเจ้าหน้าที่ 3. ทบทวนผลการศึกษาด้านการเติมน้ำบาดาลและกฎหมายอื่นๆ เพื่อทำการปรับปรุงกฎหมายอยู่เสมอ	
กิจกรรม / ความรับผิดชอบ / ลำดับความสำคัญ		
กลยุทธ์ / กิจกรรม	**ความรับผิดชอบ**	**ลำดับความสำคัญ**
1. หาแนวทางการจัดทำกฎหมายที่รองรับงานด้านการเติมน้ำบาดาล		
1.1 จัดการสัมมนาเพื่อหาแนวทางการจัดทำกฎหมายที่รองรับงานด้านการเติมน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (สสป. และสคบ.)	1
1.2 ปรับปรุงงานในหัวข้อที่ 1.1 หลังจากดำเนินการเติมน้ำบาดาลและมีประสบการณ์ในประเด็นที่ควรปรับปรุงงานด้านกฎหมายที่เกี่ยวข้องมากขึ้น	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (สสป. และสคบ.)	3
1.3 ร่าง คู่มือสำหรับนักวางแผน วิศวกร นักวิชาการสิ่งแวดล้อม เจ้าหน้าที่ท้องถิ่น และนักอุทกธรณีวิทยา เรื่องการปฏิบัติตามกฎหมายน้ำบาดาลเพื่อการพัฒนาโครงการเติมน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (สสป. และสคบ.)	3

ตารางที่ 9-2 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 2 (ต่อ)

กิจกรรม / ความรับผิดชอบ / ลำดับความสำคัญ		
กลยุทธ์ / กิจกรรม	**ความรับผิดชอบ**	**ลำดับความสำคัญ**
2. จัดทำคู่มือการให้อนุญาตการสร้างโครงการเพื่อการเติมน้ำบาดาล และจัดอบรมเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง		
2.1 จัดทำคู่มือการออกใบอนุญาตการสร้างโครงการเติมน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
2.2 จัดทำเอกสารประชาสัมพันธ์ที่พื้นที่โครงการ เพื่อให้ประชาชนได้รับข้อมูลของโครงการและเห็นว่าโครงการสามารถปฏิบัติได้และเป็นประโยชน์ต่อชุมชน	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
2.3 จัดทำเอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ผู้ออกใบอนุญาตเติมน้ำบาดาล ประกอบด้วย 1. จัดทำคู่มือการติดตามตรวจสอบโครงการเติมน้ำบาดาล ประกอบด้วย คู่มือการตรวจสอบระดับน้ำบาดาล คู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาล (รวมถึงน้ำที่ใช้เติม และน้ำที่สูบกลับขึ้นมาใช้) และคู่มือการตรวจสอบสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น ข้อมูลพื้นฐานทางด้านระบบนิเวศวิทยา และควรแยกระบบเติมน้ำตามขนาดพื้นที่โครงการและวิธีการเติมน้ำ 2. จัดทำคู่มือเพื่อประเมินความเสี่ยงด้านสาธารณะสุขและสิ่งแวดล้อมที่จำเป็นต้องเฝ้าระวังและการจัดการบริหารความเสี่ยงที่จำเป็น โดยเฉพาะโครงการที่ใช้น้ำที่ระบายจากการบำบัดน้ำเสีย (SAT) และมาตรฐานคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้อง 3. พัฒนาหลักการเรื่องสิทธิการใช้น้ำบาดาลที่เติมลงไปกักเก็บไว้และความเชื่อมโยงกับการให้อนุญาตใช้น้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
2.4 ฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ผู้ออกใบอนุญาตเติมน้ำบาดาล และผู้เกี่ยวข้อง ให้มีความรู้ความเข้าใจที่ลึกซึ้งในกระบวนการเติมน้ำบาดาล ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น เช่น เจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ทสจ. และคณะกรรมการลุ่มน้ำ ฯลฯ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (สสป. และสคบ.)	2
3. ทบทวนผลการศึกษาด้านการเติมน้ำบาดาลและทบทวนกฎหมายอื่นๆ เพื่อทำการปรับปรุงกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องอยู่เสมอ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (สสป. และสคบ.)	3
หมายเหตุ ลำดับความสำคัญ 1 คือ ภายใน 1 ปี ลำดับความสำคัญ 2 คือ ภายใน 2 ปี ลำดับความสำคัญ 3 คือ ภายใน 5 ปี		

ตารางที่ 9-3 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 3

ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 3 **การวางแผน (planning theme)**	
วัตถุประสงค์ของประเด็นยุทธศาสตร์	เร่งรัดการสำรวจ รวบรวมข้อมูล เพื่อจัดทำแผนหลัก (master plan) การจัดการเติมน้ำบาดาลในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง เพื่ออำนวยความสะดวกแก่การเติมน้ำบาดาลให้มีความยั่งยืน มีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์
การประเมินสภาวะปัจจุบัน	แผนงานด้านการเติมน้ำบาดาลในประเทศไทยยังไม่เคยมีการดำเนินการมาก่อน ส่วนใหญ่แผนการจัดการน้ำเน้นการกักเก็บน้ำไว้ในแหล่งน้ำผิวดิน เช่น เขื่อน ฝาย หรือ สระน้ำขนาดเล็กในไร่นา ในส่วนของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ภายใต้การจัดทำแผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำบาดาล ปี 2549 มีการกำหนดประเด็นการพัฒนาระบบการจัดการการเติมน้ำบาดาลไว้ภายใต้ยุทธศาสตร์การเสริมสร้างสมรรถนะการเฝ้าระวังอนุรักษ์ และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล ที่กำหนดโครงการฟื้นฟูสมดุลน้ำบาดาลโดยการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล และยุทธศาสตร์ด้านการพัฒนาและบริหารจัดการน้ำบาดาลเพื่อการพัฒนาประเทศ ในโครงการศึกษาแนวทางการเพิ่มศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลเพื่อรองรับการพัฒนาประเทศในระยะยาว ปัจจุบันโครงการวิจัยด้านการเติมน้ำบาดาลเกิดขึ้นจากแนวทางที่กำหนดในแผนงานบริหารจัดการในภาพรวม แต่ยังขาดการวางแผนหลักหรือแผนแม่บทของการเติมน้ำโดยเฉพาะ ดังนี้การจัดทำแผนหลักการเติมน้ำบาดาลของประเทศไทยหรือในพื้นที่วิกฤติต่างๆ จึงเป็นงานที่ควรเร่งดำเนินการ เพื่อให้การเติมน้ำบาดาลเป็นไปอย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 9-3 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 3 (ต่อ)

ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 3 **การวางแผน (planning theme)**		
กลยุทธ์การดำเนินงาน	การวางแผนการเติมน้ำบาดาล ต้องทำให้มีความเหมาะสมในทุกระดับพื้นที่ ทั้งระดับประเทศ ระดับภูมิภาค และระดับท้องที่ ประเด็นต่างๆ ที่ต้องบรรจุในแผน คือ 1. แผนการเติมน้ำบาดาลต้องครอบคลุมการจัดการน้ำ 2 ประเด็น คือ การบริหารจัดการและการอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาล (water management) และการใช้น้ำหรือการจัดหาน้ำ (water service) 2. ศึกษาประเมินศักยภาพการเติมน้ำบาดาลในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำและพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย หรือแอ่งน้ำบาดาล หรือขอบเขตพื้นที่บริหารจัดการน้ำ (water management areas, WMA) 3. กำหนดพื้นที่เป้าหมายที่ต้องการเติมน้ำบาดาล รวมถึงพื้นที่ที่ระดับน้ำบาดาลมีการลดลงมากเนื่องจากการสูบใช้น้ำบาดาล แหล่งน้ำดิบที่เหมาะสม และชั้นน้ำบาดาลที่มีลักษณะที่เหมาะสมเชิงชลศาสตร์และเชิงคุณภาพต่อการเติมน้ำบาดาล 4. กำหนดพื้นที่ที่ต้องการวางแผนเป็นพิเศษและมีความจำเป็นต้องเติมน้ำบาดาลและจะก่อให้เกิดผลประโยชน์สูงสุด (significant impact) ตัวอย่างเช่น พื้นที่ที่ต้องการการสำรองน้ำเพื่อลดความเสี่ยงจากภัยแล้งหรือภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง เป็นต้น 5. กำหนดพื้นที่ที่การพัฒนาระบบเติมน้ำบาดาลมีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์	
กิจกรรม / ความรับผิดชอบ / ลำดับความสำคัญ		
กลยุทธ์ / กิจกรรม	**ความรับผิดชอบ**	**ลำดับความสำคัญ**
1. ผลักดันให้การเติมน้ำบาดาลบรรจุอยู่ในแผนงานบริหารจัดการน้ำแบบบูรณาการ (IWRM Plan)		
1.1 ผลักดันให้การเติมน้ำบาดาลบรรจุอยู่ในแผนงานบริหารจัดการน้ำแบบบูรณาการของประเทศ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	1
1.2 ผลักดันให้การเติมน้ำบาดาลบรรจุอยู่ในแผนงานบริหารจัดการน้ำแบบบูรณาการของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
1.3 ผลักดันให้การเติมน้ำบาดาลบรรจุอยู่ในแผนงานบริหารจัดการน้ำแบบบูรณาการของแต่ละท้องถิ่น	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	3
2. ประเมินศักยภาพของการเติมน้ำบาดาล (artificial recharge potential) ในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำ หรือขอบเขตพื้นที่บริหารจัดการน้ำ		
2.1 ประเมินศักยภาพการกักเก็บน้ำบาดาลเบื้องต้นของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำ หรือขอบเขตพื้นที่บริหารจัดการน้ำ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	1
2.2 ประเมินศักยภาพการกักเก็บน้ำบาดาลโดยละเอียดของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำ (ปรับปรุงจากข้อ 2.1) โดยทำการประเมินความสามารถในการกักเก็บน้ำบาดาลของชั้นน้ำบาดาลจนถึงระดับเป้าหมายของการเติมน้ำ (5 เมตรจากระดับผิวดินหรือเพิ่มขึ้น 2-3 เมตรจากระดับปัจจุบัน) ขั้นตอนนี้ต้องการข้อมูลอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ เช่น ความหนาของชั้นน้ำที่ต้องการเติมน้ำจนถึงระดับเป้าหมาย ปริมาตรของชั้นหินอุ้มน้ำต้องการทราบค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำเฉลี่ย (averaged specific yield) ของชั้นน้ำบาดาลเพื่อใช้ในการคำนวณ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
2.3 ประเมินปริมาณน้ำผิวดินที่เหลือจากการใช้ (surplus surface water) และสามารถนำมาเติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำ หรือขอบเขตพื้นที่บริหารจัดการน้ำ (การประเมินปริมาณน้ำผิวดินที่ต้องใช้ในการเติมน้ำบาดาล และน้ำฝนช่วงที่สามารถนำมาใช้เป็นน้ำสำหรับเติมสู่น้ำบาดาลได้ในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย การคำนวณควรพิจารณาโครงการที่มีประสิทธิภาพการเติมน้ำมีค่าประมาณ 75% ของปริมาณน้ำดิบที่ผันสู่ระบบ)	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2

ตารางที่ 9-3 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 3 (ต่อ)

กิจกรรม / ความรับผิดชอบ / ลำดับความสำคัญ		
กลยุทธ์ / กิจกรรม	**ความรับผิดชอบ**	**ลำดับความสำคัญ**
3. กำหนดพื้นที่เป้าหมายและวิธีการเติมน้ำที่เหมาะสม		
3.1 กำหนดพื้นที่เหมาะสมในการเติมน้ำบาดาล คือ เป็นพื้นที่ที่ระดับน้ำบาดาลลดลงมากเนื่องจากการใช้น้ำบาดาลมากเกินไป พื้นที่ที่มีน้ำดิบเพียงพอ และมีลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาเหมาะสม กำหนดหน่วยงานรับผิดชอบในท้องถิ่น และออกแบบระบบการติดตามตรวจสอบน้ำบาดาลเบื้องต้น 1. สำรวจการลดระดับของแหล่งน้ำบาดาลเพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมาย เป็นการสำรวจขั้นรายละเอียดของตำแหนงบ่อน้ำบาดาล ปริมาณการใช้น้ำบาดาลทุกประเภท วัดระดับน้ำบาดาล และจัดทำแผนที่แสดงตำแหน่งบ่อน้ำบาดาล และระดับน้ำบาดาล ในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย โดยแยกออกเป็น 4 กลุ่ม ตามระดับและแนวโน้มการลดระดับน้ำบาดาล คือ - ระดับน้ำบาดาลลึก 0 ถึง 8 เมตรจากผิวดิน - ระดับน้ำบาดาลลึก 8 ถึง 10 เมตรจากผิวดิน - ระดับน้ำบาดาลลึก 10 ถึง 12 เมตรจากผิวดิน - ระดับน้ำบาดาลลึกกว่า12 เมตรจากผิวดิน 2. ออกแบบวิธีการเติมน้ำที่เหมาะสม กำหนดจำนวนโครงการ วิธีการ ความสามารถในการกักเก็บความสามารถในการกักเก็บน้ำบาดาลของชั้นน้ำบาดาล ปริมาณน้ำผิวดินที่ต้องใช้ในการเติมน้ำใน และกำหนดงบประมาณแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 3. กำหนดแผนการติดตามตรวจสอบผลการเติมน้ำบาดาลประกอบด้วย การติดตามตรวจสอบระดับน้ำ การติดตามทิศทางการไหลของน้ำด้วยเทคนิคต่างๆ เพื่อการประเมินพื้นที่รับผลประโยชน์ และการติดตามคุณภาพน้ำ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
4. กำหนดพื้นที่ที่ต้องการวางแผนเป็นพิเศษและมีความจำเป็นต้องเติมน้ำบาดาล		
4.1 กำหนดพื้นที่ที่ต้องการวางแผนเป็นพิเศษและมีความจำเป็นต้องเติมน้ำบาดาลและจะก่อให้เกิดผลประโยชน์สูงสุด (significant impact) ตัวอย่างเช่น พื้นที่ที่ต้องการการสำรองน้ำเพื่อลดความเสี่ยงจากภัยแล้งหรือภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง เป็นต้น	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
5. ศึกษาประเมินความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์ของการเติมน้ำบาดาล		
5.1 ศึกษาประเมินความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์ของการเติมน้ำบาดาล จากต้นทุนการก่อสร้างและการเดินระบบ โดยใช้แบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบการเติมน้ำบาดาลและการจัดการน้ำด้านอื่นๆ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	3
หมายเหตุ ลำดับความสำคัญ 1 คือ ภายใน 1 ปี ลำดับความสำคัญ 2 คือ ภายใน 2 ปี ลำดับความสำคัญ 3 คือ ภายใน 5 ปี		

ตารางที่ 9-4 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 4

ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 4 **การปฏิบัติตามแผน (Implementation theme)**	
วัตถุประสงค์ของประเด็นยุทธศาสตร์	สนับสนุนองค์กรจัดการน้ำและองค์กรให้บริการน้ำในการปฏิบัติการตามแผนการเติมน้ำบาดาล
การประเมินสภาวะปัจจุบัน	สถานะภาพของโครงการที่ดำเนินการเติมน้ำบาดาลในพื้นที่ภาคกลางตอนล่าง คือ โครงการที่กำลังดำเนินการ: • โครงการเติมน้ำลงสู่ใต้ดินโดยระบบน้ำฝน บ้านบึงกอก ต.บึงกอก อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก • โครงการเติมน้ำลงสู่ใต้ดินโดยระบบน้ำฝน บ้านหนองหูช้าง ต.บ้านนา อ.วชิรบารมี จ.พิจิตร โครงการวิจัยนำร่องเพื่อศึกษาความเหมาะสม: • โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ บ้านหนองนา ต.ทุ่งกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก • โครงการศึกษาแก้ไขปัญหาน้ำท่วมและภัยแล้งโดยการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล บ้านคุ้งยาง ต.ป่ากุมเกาะ อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย ปัญหาใหญ่ของการปฏิบัติการเติมน้ำบาดาลในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างนั้นนอกจากปัญหาด้านการขาดทักษะ ความรู้ ทรัพยากร และแนวทางการพัฒนาระบบเติมน้ำบาดาลที่ถูกต้องแล้ว ปัญหาสำคัญอีกประการคือ การขาดแคลนข้อมูลด้านสมดุลน้ำในพื้นที่และระบบการจัดการน้ำ (ระบบประปา การบำบัดน้ำเสีย ระบบเติมน้ำ และการสูบใช้น้ำบาดาล) และข้อมูลการติดตามตรวจสอบระดับน้ำบาดาลและข้อมูลด้านการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ที่ใช้น้ำบาดาลมาก ทำให้เป็นการยากที่จะจัดลำดับความสำคัญของพื้นที่ก่อสร้างโครงการ จึงเป็นงานเร่งด่วนที่ต้องพัฒนาระบบการติดตามตรวจสอบระดับน้ำในพื้นที่ที่มีการใช้น้ำมาก ให้มีข้อมูลมากขึ้นและมีความต่อเนื่องมากขึ้น
กลยุทธ์การดำเนินงาน	กลยุทธ์เพื่อสนับสนุนให้การพัฒนาระบบเติมน้ำบาดาลประสบความสำเร็จมีดังนี้ 1. พัฒนาระบบการติดตามตรวจสอบระดับน้ำบาดาล 2. จัดทำคู่มือทางเทคนิคสนับสนุนการก่อสร้างระบบเติมน้ำบาดาล 3. สร้างแรงจูงใจให้หน่วยงานท้องถิ่นดำเนินการเติมน้ำบาดาล สร้างแนวคิดการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่แล้วในการพัฒนาระบบเติมน้ำมากกว่าที่จะใช้วิธีการที่ใช้การลงทุนสูง 4. พัฒนากระบวนการสนับสนุนการสร้างระบบเติมน้ำบาดาล 5. พัฒนาหลักสูตรและการอบรมการสร้างระบบเติมน้ำ

กิจกรรม / ความรับผิดชอบ / ลำดับความสำคัญ

กลยุทธ์ / กิจกรรม	**ความรับผิดชอบ**	**ลำดับความสำคัญ**
1. พัฒนาระบบการติดตามตรวจสอบระดับน้ำบาดาล		
1.1 พัฒนาระบบการติดตามตรวจสอบระดับน้ำบาดาลในแต่ละท้องที่ว่า เหมาะสมต่อการติดตามตรวจสอบทั้งระบบภาพรวมหรือไม่	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	1
2. จัดทำคู่มือการศึกษาความเหมาะสมและการสร้างระบบการเติมน้ำ เอกสารนั้นจะต้องรวบรวมเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยความสำเร็จของการเติมน้ำบาดาลและการเดินระบบ ดังต่อไปนี้		
2.1 จัดทำคู่มือด้านคุณภาพน้ำสำหรับการเติมน้ำ ที่รวบรวมการบำบัดน้ำก่อนเติมและการบำบัดก่อนนำไปใช้ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาด้านสุขภาพและการป้องกันการอุดตัน และควรให้แนวทางของมาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการใช้เติมของแต่ละวิธีการเพื่อป้องกันการอุดตันของระบบ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	3
2.2 จัดทำคู่มือการจัดการและเฝ้าระวังในด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการเติมน้ำและการติดตามตรวจสอบผลกระทบจากการเติมน้ำ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	3
2.3 จัดทำคู่มือการศึกษาความเป็นไปได้ของการสร้างระบบการเติมน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2

ตารางที่ 9-4 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 4 (ต่อ)

กิจกรรม / ความรับผิดชอบ / ลำดับความสำคัญ		
กลยุทธ์ / กิจกรรม	**ความรับผิดชอบ**	**ลำดับความสำคัญ**
3. สร้างแรงจูงใจให้หน่วยงานท้องถิ่นดำเนินการเติมน้ำบาดาล		
3.1 สร้างแรงจูงใจให้หน่วยงานท้องถิ่นดำเนินการเติมน้ำบาดาล โดยการให้ผลตอบแทนด้านการใช้น้ำบาดาล เช่น โดยการสนับสนุนให้ท้องที่ที่มีการเติมน้ำเพื่อการอนุรักษ์สามารถใช้น้ำบาดาลเพิ่มขึ้นได้บ้าง เป็นต้น	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (ทสจ.)	3
4. พัฒนากระบวนการสนับสนุนการสร้างระบบเติมน้ำบาดาล		
4.1 จัดตั้งคณะกรรมการ (Advisory Committee) เพื่อช่วยเหลือการพัฒนาระบบเติมน้ำ เช่น ให้การสนับสนุนแหล่งทุน การจัดทำคู่มือ เป็นต้น	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
4.2. กำหนดองค์กรท้องถิ่นและองค์กรระดับชาติและสถาบันต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ที่สามารถช่วยเหลือการให้มีการเริ่มต้นการเติมน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
5. พัฒนาหลักสูตรและการอบรมการสร้างระบบเติมน้ำ		
5.1 พัฒนาหลักสูตรและการอบรมการออกแบบ ก่อสร้าง เดินระบบ และดูแลรักษา ระบบเติมน้ำ ควรจัดการอบรมที่ศูนย์ข้อมูลการเรียนรู้ที่พื้นที่โครงการนำร่อง หรือ flagship project	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
หมายเหตุ ลำดับความสำคัญ 1 คือ ภายใน 1 ปี ลำดับความสำคัญ 2 คือ ภายใน 2 ปี ลำดับความสำคัญ 3 คือ ภายใน 5 ปี		

ตารางที่ 9-5 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 5

ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 5 **การจัดการ (management theme)**	
วัตถุประสงค์ของประเด็นยุทธศาสตร์	เพื่อให้มีการจัดการเติมน้ำบาดาลอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด
การประเมินสภาวะปัจจุบัน	การจัดการการเติมน้ำบาดาลในพื้นที่ภาคเหนือตอยล่างยังไม่มีระบบการจัดการอย่างเป็นทางการ ปัจจุบันการดำเนินการเป็นการเริ่มต้นด้วยการศึกษาวิจัยด้วยโครงการนำร่องด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน และยังไม่มีแผนการจัดการอื่นๆ อย่างเป็นระบบ แต่การดำเนินการเติมน้ำบาดาลต้องมีการจัดการด้านงบประมาณ การวางแผน การควบคุม และการพัฒนาบุคลากรเพื่อให้ระบบการเติมน้ำในภาพรวมประสบความสำเร็จ กิจกรรมต่อไปนี้เป็นสิ่งที่สำคัญในการเติมน้ำบาดาลที่ต้องมีการจัดการให้มีประสิทธิภาพ: การผันน้ำดิบสู่แหล่งเติมน้ำ การบำบัดน้ำดิบ การสร้างระบบเติมน้ำ การป้องกันและจัดการการอุดตัน การตรวจสอบการตอบสนองจากการเติมน้ำบาดาลของชั้นน้ำบาดาล การสูบกลับมาใช้อย่างเหมาะสม และการจัดการคุณภาพน้ำที่สูบกลับมาใช้ ประสิทธิภาพการตรวจสอบก็เป็นส่วนที่สำคัญมาก โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวด้านสิ่งแวดล้อม การจัดทำรายงานการเติมน้ำบาดาลจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ควรมีการดำเนินการภายใต้การควบคุมและอยู่ภายใต้กฎหมายด้านการให้อนุญาตเติมน้ำบาดาล
กลยุทธ์การดำเนินงาน	แนวทางเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการระบบเติมน้ำบาดาลให้ประสบความสำเร็จมี 3 ด้านดังนี้ : 1. ช่วยเหลือโดยการจัดทำคู่มือทางเทคนิคการเติมน้ำบาดาลที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงทักษะที่ต้องใช้ในการเดินระบบ กระบวนการประเมินประสิทธิภาพ และการจัดการข้อมูล 2. พัฒนาหลักสูตรและการอบรมการสร้างและดูแลรักษาระบบเติมน้ำ 3. จัดทำมาตรฐานการเติมน้ำบาดาลด้านการออกแบบ ก่อสร้าง เดินระบบ และดูแลรักษา

ตารางที่ 9-5 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 5 (ต่อ)

กิจกรรม / ความรับผิดชอบ / ลำดับความสำคัญ		
กลยุทธ์ / กิจกรรม	**ความรับผิดชอบ**	**ลำดับความสำคัญ**
1. พัฒนากระบวนการสนับสนุนหน่วยงานที่ดำเนินการด้านการเติมน้ำบาดาล		
1.1 จัดทำรายการตรวจสอบ (checklist) ของทักษะที่ต้องใช้ในการดูแลระบบเติมน้ำในทุกวิธีการเติมน้ำ กำหนดปัจจัยหลักที่เป็นดัชนีชี้วัดและกำหนดวิธีการประเมิน	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	1
1.2 พัฒนากระบวนการสนับสนุนหน่วยงานที่ดำเนินการด้านการเติมน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
1.3 พัฒนาระบบเพื่อสนับสนุนการจัดการข้อมูลการเติมน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
2. พัฒนาระบบการฝึกอบรมเพื่อเพิ่มทักษะที่ต้องใช้ในการเดินระบบ กระบวนการประเมินประสิทธิภาพ และการจัดการข้อมูล		
2.1 พัฒนาหลักสูตรและการอบรมการออกแบบ ก่อสร้าง เดินระบบ และดูแลรักษา ระบบเติมน้ำ ควรจัดการอบรมที่ศูนย์ข้อมูลการเรียนรู้ที่พื้นที่โครงการนำร่อง หรือ flagship project	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	3
3. จัดทำมาตรฐานการเติมน้ำบาดาลด้านการออกแบบ ก่อสร้าง เดินระบบ และดูแลรักษา		
3.1 จัดทำมาตรฐานการเติมน้ำบาดาลด้านการออกแบบ ก่อสร้าง เดินระบบ และดูแลรักษา รวมทั้งการจัดทำรายงานประจำปี (รวมข้อมูลของแหล่งน้ำดิบ คุณภาพน้ำบาดาล ปริมาณที่เติมได้และการสูบกลับมาใช้ และระดับแรงดันน้ำบาดาลของชั้นหินอุ้มน้ำ) มาตรฐานควรครอบคลุมคุณภาพแหล่งน้ำดิบตามวิธีการเติมน้ำและคุณภาพน้ำที่สูบกลับมาใช้ มาตรฐานการติดตามตรวจสอบระดับและคุณภาพน้ำบาดาล และการจัดทำมาตรฐานตรวจเชื่อมโยงกับการให้อนุญาตเติมน้ำบาดาลและกฎหมายที่	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
หมายเหตุ ลำดับความสำคัญ 1 คือ ภายใน 1 ปี ลำดับความสำคัญ 2 คือ ภายใน 2 ปี ลำดับความสำคัญ 3 คือ ภายใน 5 ปี		

ตารางที่ 9-6 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 6

ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 6 **การวิจัย (research theme)**	
วัตถุประสงค์ของประเด็นยุทธศาสตร์	ส่งเสริมการวิจัยเชิงลึกเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการเติมน้ำบาดาล และส่งเสริมการวิจัยอย่างมีส่วนร่วมเพื่อนำการวิจัยที่ไปสู่การปฏิบัติในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงในระยะยาว
การประเมินสภาวะปัจจุบัน	สถานะภาพของการวิจัยด้านการเติมน้ำบาดาลในพื้นที่ภาคกลางตอนล่าง คือ มีการทดลองเติมน้ำบาดาล 3 วิธี เพื่อหาแนวทางการเดินระบบที่เหมาะสมในการเติมน้ำวิธีการต่างๆ ได้แก่ • โครงการเติมน้ำลงสู่ใต้ดินโดยระบบน้ำฝน บ้านบึงกอก ต.บึงกอก อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก • โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ บ้านหนองนา ต.ทุ่งกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก • โครงการศึกษาแก้ไขปัญหาน้ำท่วมและภัยแล้งโดยการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล บ้านคุ้งยาง ต.ป่ากุมเกาะ อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย • โครงการศึกษาทดลองเพื่ออนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดิน บริเวณจังหวัดกำแพงเพชร ทั้ง 3 โครงการมีการรวบรวมปัญหาและอุปสรรคเป็นฐานความรู้เพื่อนำไปสู่การจัดทำคู่มือการพัฒนาระบบเติมน้ำและการบำรุงรักษา โดยวิธีการที่แตกต่างกัน 4 วิธี คือ การเติมน้ำผ่านการเก็บเกี่ยวน้ำฝนจากหลังคา การเติมน้ำผ่านสระ การเติมน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาล และการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลระดับลึก โครงการวิจัยของกรมเหล่านี้เริ่มดำเนินการได้ไม่นาน การเก็บข้อมูลวิจัยเพื่อสรุปแนวทางที่เหมาะสมเพื่อการเตรียมน้ำดิบ ระบบป้องกันการอุดตัน และการดูแลรักษาระบบ รวมทั้งการวิจัยเชิงสิ่งแวดล้อม สุขภาพ และเศรษฐศาสตร์ยังคงต้องดำเนินการเพิ่มเติมต่อไปอย่างต่อเนื่อง โครงการวิจัยที่ดำเนินการของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ควรแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ งานวิจัยเชิงลึก และงานวิจัยเพื่อนำไปสู่การปฏิบัติในระยะสั้น เพื่อให้งานด้านนี้สามารถดำเนินการต่อเนื่องไปได้ พร้อมๆ กันกับการวิจัยเพื่อให้งานด้านนี้มีความยั่งยืน

ตารางที่ 9-6 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 6 (ต่อ)

ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 6 **การวิจัย (research theme)**		
กลยุทธ์การดำเนินงาน	กลยุทธ์การวิจัยสนับสนุนการพัฒนาระบบเติมน้ำบาดาลมีดังนี้ 1. วิจัยเพื่อพัฒนาหลักการหรือจัดทำคู่มือทางเทคนิคการเติมน้ำบาดาล 2. วิจัยประเด็นคุณภาพน้ำและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ด้านอุทกธรณีเคมี และการอุดตันในพื้นที่ที่มีปริมาณเหล็กในน้ำบาดาลมาก การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้เป็นน้ำดิบในการเติมสู่ชั้นน้ำบาดาล เป็นต้น 3. วิจัยประเด็นเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคมของการเติมน้ำบาดาล		
กิจกรรม / ความรับผิดชอบ / ลำดับความสำคัญ		
กลยุทธ์ / กิจกรรม	**ความรับผิดชอบ**	**ลำดับความสำคัญ**
1. วิจัยเพื่อพัฒนาหลักการหรือจัดทำคู่มือทางเทคนิคการเติมน้ำบาดาล		
1.1 จัดทำลำดับความสำคัญของการวิจัยที่จำเป็นต่อการพัฒนาระบบเติมน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	1
1.2 จัดทำคู่มือทางเทคนิคการเติมน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
2. วิจัยประเด็นคุณภาพน้ำและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม		
2.1 วิจัยเพื่อหาแนวทางการเติมน้ำบาดาลที่เหมาะสมต่อสภาพอุทกธรณีเคมีของพื้นที่ และหาแนวทางการอุดตันในพื้นที่ที่มีปริมาณเหล็กในน้ำบาดาลมาก และการอุดตันในระดับลึกของบ่อระบบ ASR เป็นต้น	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	2
2.2 วิจัยประเด็นการใช้น้ำผ่านการบำบัดมาใช้เป็นน้ำดิบในการเติมสู่ชั้นน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	3
3. วิจัยประเด็นเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคมของการเติมน้ำบาดาล		
3.1 วิจัยประเด็นทางเศรษฐศาสตร์และสังคมจากการเติมน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	3
3.2 วิจัยประเด็นทางสิ่งแวดล้อมจากการเติมน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	3
หมายเหตุ ลำดับความสำคัญ 1 คือ ภายใน 1 ปี ลำดับความสำคัญ 2 คือ ภายใน 2 ปี ลำดับความสำคัญ 3 คือ ภายใน 5 ปี		

ตารางที่ 9-7 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 7

ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 7 **การปฏิบัติตามกลยุทธ์ (Strategy implementation theme)**	
วัตถุประสงค์ของประเด็นยุทธศาสตร์	ปฏิบัติตามแผนกลยุทธ์และปรับปรุงแผนกลยุทธ์อย่างสม่ำเสมอ
การประเมินสภาวะปัจจุบัน	แผนหลักการเติมน้ำบาดาลเบื้องต้นนี้ เป็นแผนหลักการเติมน้ำฉบับแรกของพื้นที่และของประเทศไทย ได้จากการศึกษาทบทวนผลการวิจัยของต่างประเทศและผลการวิจัยที่ผ่านมาในประเทศไทย การนำแผนนี้ไปสู่การปฏิบัติเป็นการ ควรเริ่มต้นจากการจัดทำแผนหลักขั้นรายละเอียดในพื้นที่ และเตรียมความพร้อมของการนำแผนสู่การปฏิบัติ กิจกรรมที่กำหนดไว้ด้านล่างเป็นกิจกรรมที่จำเป็นต่อการปฏิบัติตามแผนฯ และช่วยให้แผนได้รับการปรับปรุงและพัฒนาใหม่เสมอในแต่ละรอบการปฏิบัติ

ตารางที่ 9-7 ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 7 (ต่อ)

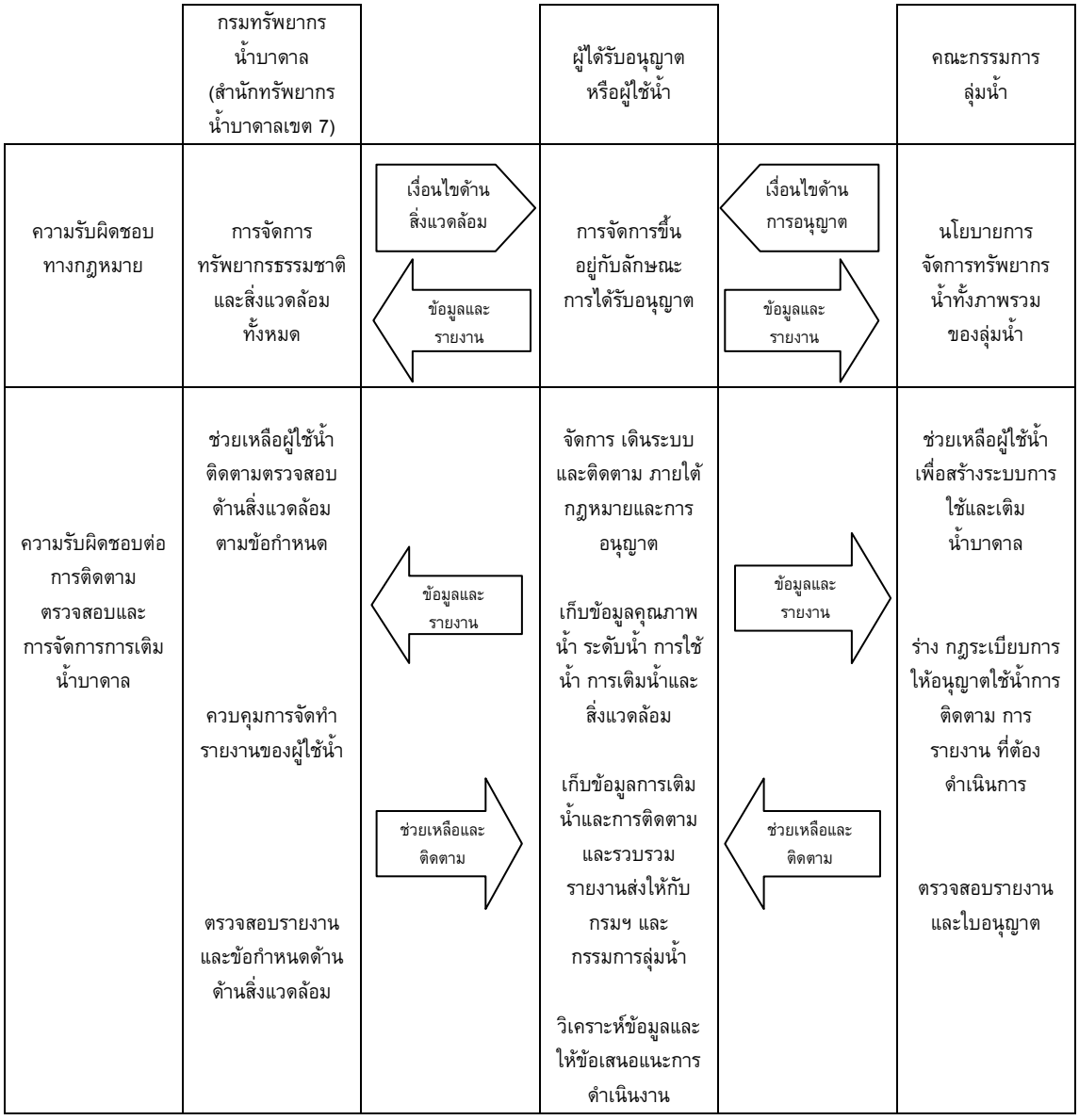
ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 7 **การปฏิบัติตามกลยุทธ์ (Strategy implementation theme)**		
กลยุทธ์การดำเนินงาน	กลยุทธ์การพัฒนาระบบเติมน้ำบาดาลจะประสบความสำเร็จหากประชาชนจากหลากหลายอาชีพมีส่วนร่วมและเข้าใจความสำคัญว่าระบบการเติมน้ำบาดาลเป็นส่วนหนึ่งของการจัดหาน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค การจัดการน้ำเพื่อการชลประทาน การแก้ปัญหาคุณภาพน้ำ และปัญหาสิ่งแวดล้อม ความตื่นตัวของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการนำแผนสู่การปฏิบัติ การเตรียมเครื่องมือเพื่อการนำแผนสู่การปฏิบัติมีเครื่องมืออื่นๆ ที่สำคัญ เช่น ความรู้ เทคนิค และกฎหมาย การนำแผนสู่การปฏิบัติที่ประสบความสำเร็จต้องการบุคลากรและองค์กรที่มีความเป็นผู้นำที่มีการทำงานเชิงรุกเพื่อให้เกิดความสำเร็จของการเติมน้ำบาดาล เป็นหน่วยงานที่ต้องมีความสามารถที่จะทำให้แผนการเติมน้ำบาดาลเข้าไปอยู่ในแผนการจัดการน้ำและการจัดการเชิงพื้นที่อื่นๆ ในการบูรณาการ เช่น แผนการจัดการลุ่มน้ำ แผนการอนุรักษ์แหล่งน้ำ และแผนแม่บทการใช้น้ำ เป็นต้น	
กิจกรรม / ความรับผิดชอบ / ลำดับความสำคัญ		
กลยุทธ์ / กิจกรรม	**ความรับผิดชอบ**	**ลำดับความสำคัญ**
1. คัดเลือกผู้นำสำหรับการควบคุมการดำเนินการตามแผนหลักการเติมน้ำ		
1.1 สร้างสำนักงานหรือศูนย์ประสานงานและคัดเลือกผู้นำของการปฏิบัติตามแผนการเติมน้ำบาดาล โดยการสร้างองค์กรประสานงานเพื่อการจัดการเติมน้ำบาดาลในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง จากการประชาสัมพันธ์และสร้างเครือข่ายกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น กลุ่มเกษตรกร กลุ่มผู้ใช้น้ำ และภาคเอกชน	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	1
2. ผลักดันการนำแผนการเติมน้ำเข้าสู่แผนงานด้านน้ำระดับชาติ		
2.1 นำเสนอแผนการจัดการเติมน้ำบาดาลในการจัดทำแผนการเติมน้ำระดับชาติ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	1
2.2 นำเสนอแผนการจัดการเติมน้ำบาดาลในการจัดทำแผนการเติมน้ำระดับลุ่มน้ำ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	1
3. สร้างความตื่นตัวและพร้อมที่จะปฏิบัติตามแผนหลักฯ แก่เจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาล		
3.1 ส่งข้อมูลในรูปแบบสรุปย่อแผนหลักฯ ให้กับเจ้าหน้าที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	1
4. การปฏิบัติตามแผน		
4.1 จัดทำแผนการนำแผนหลักไปสู่การปฏิบัติ	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	1
4.2 จัดทำแผนการทบทวนแผนและการปรับปรุงแผนหลัก	กรมทรัพยากรน้ำบาดาล	3
หมายเหตุ ลำดับความสำคัญ 1 คือ ภายใน 1 ปี ลำดับความสำคัญ 2 คือ ภายใน 2 ปี ลำดับความสำคัญ 3 คือ ภายใน 5 ปี		

9.5 ปัจจัยความสำเร็จและขั้นตอนการพัฒนาโครงการเติมน้ำบาดาล

ปัจจัยความสำเร็จของโครงการการเติมน้ำบาดาลที่ควรศึกษาให้ละเอียดก่อนดำเนินการสร้างโครงการ ประกอบด้วย ความต้องการโครงการเติมน้ำบาดาล แหล่งน้ำดิบ ชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล คุณภาพน้ำ วิธีการเติมน้ำบาดาล ประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม ประเด็นด้านกฎหมาย เศรษฐศาสตร์ สังคม การจัดการ และการเตรียมความพร้อมขององค์กร การจัดการเติมน้ำบาดาลจำเป็นต้องมีการ

ดำเนินการด้านสถาบันและอำนาจหน้าที่ในการจัดการเติมน้ำบาดาล แนวทางการจัดการองค์กรและบทบาทในพื้นที่ลุ่มน้ำอ้างอิงแนวคิดของการจัดการเติมน้ำบาดาลประเทศแอฟริกาใต้ (Murray et al., 2007) แสดงดังรูปที่ 9-1

การส่งเสริมการเติมน้ำบาดาลในท้องที่โดยหน่วยงานท้องถิ่นหรือภาคเอกชน ต้องมีการพิจารณาความเหมาะสมให้รอบด้านทั้งด้านวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม กระบวนการพิจารณาให้อนุญาตหน่วยงานดำเนินการพัฒนาโครงการเติมน้ำบาดาลควรแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ ระยะก่อนศึกษาความเหมาะสม (pre-feasibility stage) ระยะศึกษาความเหมาะสม (feasibility stage) และระยะดำเนินการ (implementation stage) และระยะเดินระบบและบำรุงรักษา (operation and maintenance stage)



รูปที่ 9-1 บทบาทของสถาบันและหน้าที่ในระบบเติมน้ำบาดาล (ดัดแปลงจาก Murray et al., 2007)

ตารางที่ 9-8 กิจกรรมสำคัญที่แนะนำในแต่ละระยะการดำเนินการของโครงการเติมน้ำบาดาล

ระยะโครงการ	กิจกรรมสำคัญ	การควบคุม
ระยะก่อนศึกษาความเหมาะสม	1) กำหนดโครงการที่มีศักยภาพและรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่ 2) อธิบายความเป็นไปได้ของโครงการจากข้อมูลที่มีอยู่ 3) อธิบายเนื้องานที่ต้องดำเนินการในการศึกษาความเหมาะสมและประเมินงบประมาณที่ต้องใช้ในการศึกษา 4) ขออนุญาตดำเนินการต่อกรมทรัพยากรน้ำบาดาล	ไม่ต้องควบคุมให้คำปรึกษาเรื่องกระบวนการและความเห็นทางวิชาการ
ระยะศึกษาความเหมาะสม	1) ยื่นขออนุญาตต่อกรมทรัพยากรน้ำบาดาลเพื่อทดสอบการเติมน้ำ 2) ศึกษาความเหมาะสมของโครงการ โดยการทดสอบการเติมน้ำ สูบทดสอบ การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ฯลฯ 3) ออกแบบระบบเติมน้ำเบื้องต้น 4) กำหนดระยะดำเนินการ หากมีความจำเป็นควรเริ่มจากพื้นที่ขนาดเล็กและขยายโครงการเป็นระยะๆ ตามรอบการเติมน้ำ 5) ประมาณราคาของโครงการ 6) กำหนดแหล่งทุน 7) กำหนดข้อกำหนดการปฏิบัติการและการติดตามตรวจสอบของโครงการตามแผนงานที่ขออนุญาต	พิจารณาให้อนุญาตระยะสั้นเพื่อการทดลองเติมน้ำ
ระยะดำเนินการ	1) ได้รับอนุญาตสร้างระบบเติมน้ำ และใช้น้ำบาดาล และผ่านประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม 2) เจาะและทดสอบการเติมน้ำในขั้นรายละเอียด 3) สร้างระบบติดตามน้ำบาดาลและผลการเติมน้ำ 4) ออกแบบขั้นรายละเอียดและก่อสร้างระบบเติมน้ำ 5) ปฏิบัติตามกระบวนการติดตามตรวจสอบ	พิจารณาให้อนุญาตเติมน้ำและให้อนุญาตด้านสิ่งแวดล้อมพร้อมกำหนดมาตรการติดตามตรวจสอบ
ระยะเดินระบบและบำรุงรักษา	1) ประเมินประสิทธิภาพของระบบจากการติดตามตรวจสอบ 2) ปรับปรุงกระบวนการเดินระบบและการบำรุงรักษาตามผลการเดินระบบและการประเมินผล 3) พัฒนาระบบติดตามและการรายงาน	ตรวจสอบการปฏิบัติตามกระบวนการติดตามตรวจสอบที่กำหนด

(ดัดแปลงจาก Murray et al., 2007)

9.6 การจัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์ของแหล่งน้ำบาดาลเพื่อการวางแผนการเติมน้ำบาดาล

การจัดทำแบบจำลองเพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเติมน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดสุโขทัย พิจิตร และพิษณุโลกนี้ดำเนินการโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบและทิศทางการไหลของน้ำบาดาล รูปแบบกระบวนการเติมน้ำ การสูญเสียน้ำตามธรรมชาติ การแลกเปลี่ยนของน้ำบาดาลและน้ำผิวดิน การใช้น้ำบาดาล ประเมินสมดุลน้ำบาดาล และเพื่อศึกษาแนวทางการเติมน้ำในพื้นที่ที่มีการลดระดับของน้ำบาดาลให้มีการยกระดับตัวขึ้น

9.6.1 แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ของระบบอุทกธรณีวิทยา

การจัดทำแบบจำลองให้ครอบคลุมพื้นที่ จ. สุโขทัย พิจิตร และพิษณุโลก กำหนดขอบเขตของแบบจำลองโดยใช้ชั้นน้ำบาดาลที่เป็นตะกอนยุคควอเทอร์นารีเป็นขอบเขต ดังนั้นขอบเขตแบบจำลองจึงครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของจังหวัดกำแพงเพชรและนครสวรรค์ด้วย ซึ่งชั้นน้ำบาดาลที่ใช้ในการจำลอง ได้แก่ (1) ชั้นตะกอนน้ำพายุคปัจจุบันหรือชั้นน้ำเจ้าพระยา (Qcp) ชั้นน้ำมีความหนาประมาณ 20-30 ม. (2) ชั้นน้ำตะกอนตะพักยุคใหม่หรือชั้นน้ำเชียงราย (Qcr) ชั้นน้ำมีความหนาตั้งแต่ 10-60 ม. (3) ชั้นน้ำตะกอนตะพักยุคเก่าหรือชั้นน้ำเชียงใหม่ (Qcm) ซึ่งเป็นชั้นน้ำบาดาลที่เป็นตะกอนทรายและกรวด แทรกสลับด้วยดินเหนียว ชั้นน้ำบาดาลมีความหนาประมาณ 50-60 ม. น้ำบาดาลมีทิศทางการไหลจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้ และไหลจากบริเวณขอบของพื้นที่ศึกษาด้านตะวันตกและตะวันออกลงสู่ตอนกลางของพื้นที่ใกล้เคียงรูปแบบการไหลของน้ำผิวดิน ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล คือ ช่วงเดือนเมษายนจะมีระดับน้ำต่ำที่สุด และจะเริ่มสูงขึ้นในเดือนมิถุนายนจนถึงสิงหาคม เนื่องจากเริ่มเข้าฤดูฝน พื้นที่ที่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำมาก ได้แก่อำเภอเมืองหรืออำเภอที่มีประชากร ซึ่งมีการใช้น้ำค่อนข้างมาก เช่น อ.เมือง อ.วชิรบารมี อ.โพธิ์ประทับช้าง อ.บางมูลนาก อ.โพทะเล จังหวัดพิจิตร อ.เมือง อ.บางระกำ อ.บางกระทุ่ม อ.วังทอง จังหวัดพิษณุโลก อ.ศรีนคร อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย เป็นต้น ระดับน้ำบาดาลของพื้นที่ จ.พิจิตร พิษณุโลก และสุโขทัย อยู่ในช่วง 4-16 ม. ในการจำลองระบบอุทกธรณีวิทยานี้ได้ตั้งสมมุติฐานเกี่ยวกับระบบอุทกธรณีวิทยาที่มีผลต่อการจำลองเชิงตัวเลขดังนี้

1) ชั้นหินอุ้มน้ำที่กำหนดให้เป็นตัวกลางแบบมีรูพรุน (equivalent porous media)
2) ชั้นหินอุ้มน้ำมีลักษณะ heterogeneous และ anisotropy

9.6.2 การออกแบบและการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง

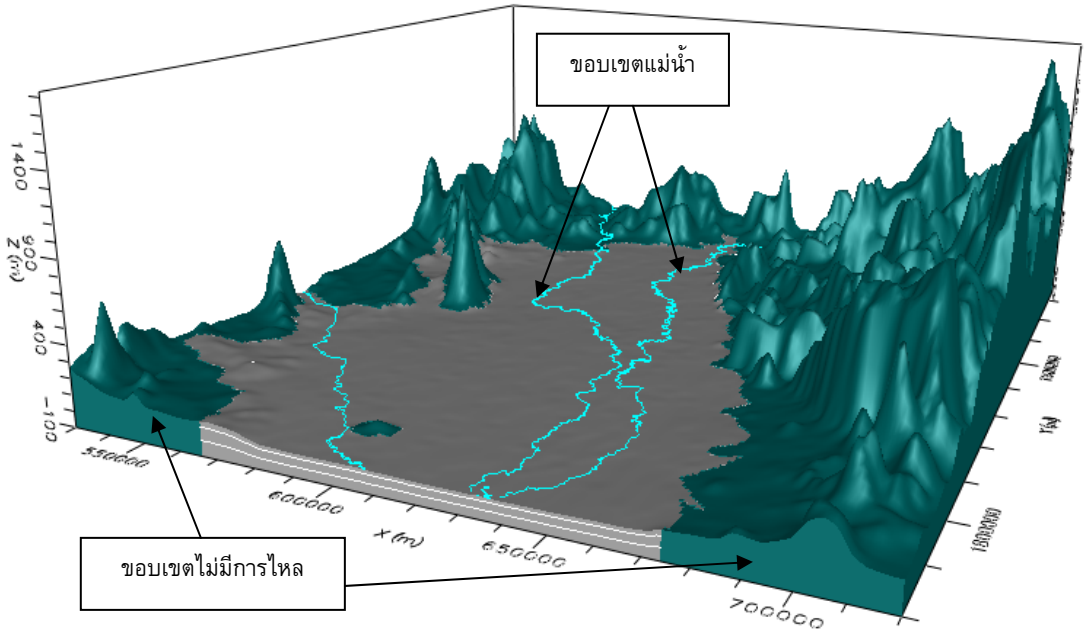
1) การออกแบบกริด

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เป็นแบบจำลอง 3 มิติ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 39,900 ตร.กม. มีความกว้าง 190 กม. ที่พิกัด UTM 530000 ตะวันออก ถึง 720000 ตะวันออก มีความยาว 210 กม. ที่พิกัด UTM 1760000 เหนือ ถึง 1970000 เหนือ ความหนาของแบบจำลองประมาณ 250 ม. จากระดับ -100 ถึง150 ม. จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ในการจัดทำแบบจำลอง ได้แบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นกริดเซลล์ขนาด 1,000 ม. X 1,000 ม. โดยกำหนดให้ระยะห่างในการแบ่ง

พื้นที่ย่อยมีขนาดเท่ากันทั้งในแนวตะวันตก-ตะวันออก (คอลัมน์) และแนวเหนือ-ใต้ (แถว) ส่วนจำนวนชั้นแปรเปลี่ยนตามรูปร่างของชั้นน้ำมีจำนวน 3 ชั้น โดยจำนวนกริดเซลทั้งหมด 119,700 (190 x 210 x 3) กริดเซล (รูปที่ 9-2)

2) การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

แบบจำลองกำหนดให้มีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในการจำลองตามลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา ซึ่งทำการจำลองน้ำบาดาลเฉพาะในบริเวณที่มีชั้นน้ำเป็นตะกอน และในบริเวณที่เป็นภูเขาหรือบริเวณที่มีชั้นน้ำเป็นหินแข็งซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้น้อยกว่ามากกำหนดเป็นขอบเขตที่ไม่มีการไหลของน้ำบาดาล ซึ่งพื้นที่ที่มีการจำลองน้ำบาดาลมีพื้นที่ทั้งหมด 18,082 ตร.กม.



รูปที่ 9-2 การออกแบบกริดและเงื่อนไขขอบเขตการจำลอง

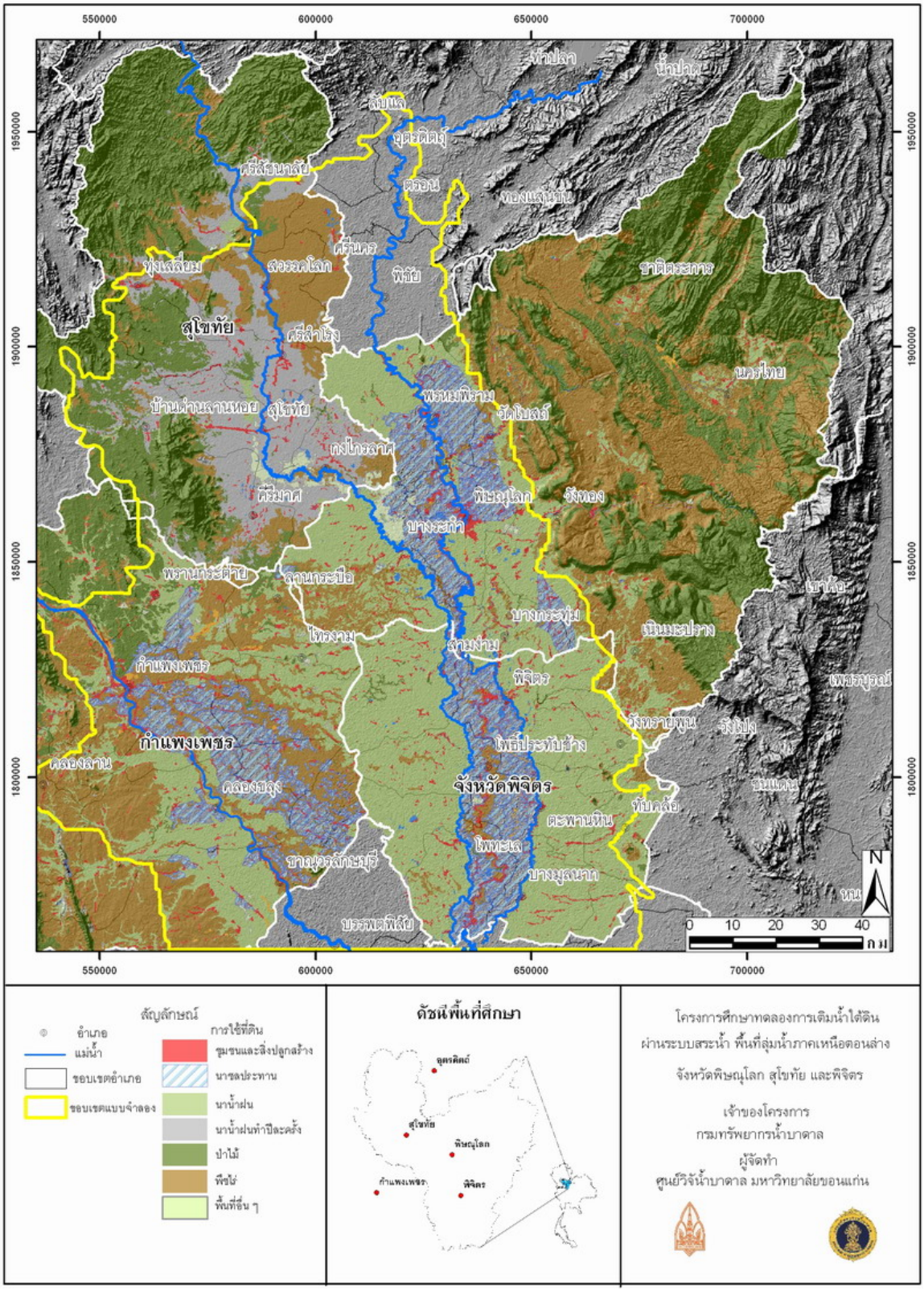
9.6.3 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการไหลของแหล่งน้ำบาดาลและวิธีการปรับเทียบพารามิเตอร์

1) ข้อมูลที่ใช้ในการจำลอง

พื้นที่เติมน้ำบาดาลสุทธิ ได้จากการพิจารณาการเติมน้ำสุทธิจากการไหลซึมของน้ำฝน โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจำแนกพื้นที่เติมน้ำโดยใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินร่วมกับข้อมูลกลุ่มดิน สามารถจำแนกได้เป็น 7 พื้นที่ จากการใช้ที่ดิน 4 ประเภท อัตราการไหลซึมจากน้ำฝนคำนวณโดยใช้แบบจำลอง HELP3 (Schroeder et al., 1994) โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศของสถานีวัดสภาพภูมิอากาศจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเมื่อพิจาณากับพื้นที่เติมน้ำมีค่าดังนี้ 1) พื้นที่นาข้าว-ดินซึมช้า มี

อัตราการไหลซึมเท่ากับ 376 มม./ปี 2) พื้นที่นาข้าว-ดินซึมปานกลาง มีอัตราการไหลซึมเท่ากับ 336 มม./ปี 3) พื้นที่พืชไร่-ดินซึมช้า มีอัตราการไหลซึมเท่ากับ 399 มม./ปี 4) พื้นที่พืชไร่-ดินซึมปานกลาง มีอัตราการไหลซึมเท่ากับ 508 มม./ปี 5) พื้นที่ชุมชน-ดินซึมช้า มีอัตราการไหลซึมเท่ากับ 365 มม./ปี 6) พื้นที่ไม้ผล-ดินซึมปานกลาง มีอัตราการไหลซึมเท่ากับ 501 มม./ปี 7) พื้นที่ป่าไม้-ดินซึมเร็ว มีอัตราการไหลซึมเท่ากับ 376 มม./ปี (รูปที่ 9-3)

- ขอบเขตแม่น้ำ (river boundary) ในการจำลองได้กำหนดให้แม่น้ำยม แม่น้ำน่าน เป็นขอบเขตแม่น้ำ และแม่น้ำสาขาที่มีลำดับของลำน้ำที่ 3 ขึ้นไป เป็นขอบเขตแม่น้ำ (ดังรูปที่ 9-4ข) ความหนาของตะกอนท้องน้ำ 2 ม. สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของตะกอนท้องน้ำในแนวดิ่งเป็นดินเหนียวมีค่า 1x 10^{-8} ม./วินาที
- ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวราบ (horizontal hydraulic conductivity, K) ใช้ข้อมูลที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ และกำหนดให้ชั้นหินมีคุณสมบัติเป็น anisotropy โดยมีอัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในแนวดิ่งต่อแนวราบมีอัตราส่วน 1:10 การกระจายตัวของสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านจะพิจารณาจากลักษณะตะกอนมี 3 ชั้นได้แก่ ชั้นบนสุดเป็นชั้นน้ำเจ้าพระยา ชั้นที่ 2 เป็นชั้นน้ำเชียงราย ชั้นที่ 3 เป็นชั้นน้ำเชียงใหม่
- ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ ได้จากผลการปรับเทียบแบบจำลองน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่
- ค่าเฮดเริ่มต้นของการจำลองได้จากการข้อมูลการติดตามตรวจวัดบ่อสังเกตการณ์ในรายงานผลการปฏิบัติงานปี 2550 เครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ภาคเหนือ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550) และบ่อสังเกตการณ์ในโครงการเติมน้ำ ลักษณะการกระจายของเฮดที่ได้แสดงดังรูปที่ 9-4ค
- การใช้น้ำบาดาล (groundwater usage) ในพื้นที่ศึกษามีการใช้น้ำบาดาลหลายส่วน เช่นการใช้น้ำบาดาลเพื่อการชลประทานที่จังหวัดสุโขทัย การใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค และการใช้น้ำเพื่อการเกษตร ปริมาณการใช้น้ำบาดาลขึ้นกับการใช้ประโยชน์พื้นที่ (รูปที่ 9-3) ปริมาณการใช้น้ำของบ่อบาดาลชลประทานทั้งหมด 204 บ่อ มีการสูบใช้น้ำ 1 ปี ประมาณ 40 ล้าน ลบ.ม. ดังนั้นจึงมีการสูบด้วยอัตรา 537 ลบ.ม/วัน/บ่อ บ่อบาดาลที่ใช้ในการอุปโภคบริโภคในพื้นที่ใช้ประมาณ 15 ล้าน ลบ.ม. (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2549) การใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรมีการใช้อัตราเดียวกันกับพื้นที่หนองนาและพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่แบ่งออกเป็นบ่อน้ำบาดาลในการปลูกข้าวและบ่อน้ำบาดาลสำหรับพืชไร่ มีการใช้น้ำประมาณ 7,937 ล้าน ลบ.ม รวมการใช้น้ำบาดาลทั้งปีในพื้นที่ประมาณ 7,992 ล้าน ลบ.ม.รายละเอียดการใช้น้ำบาดาลจากส่วนต่างแสดงดังตารางที่ 9-9



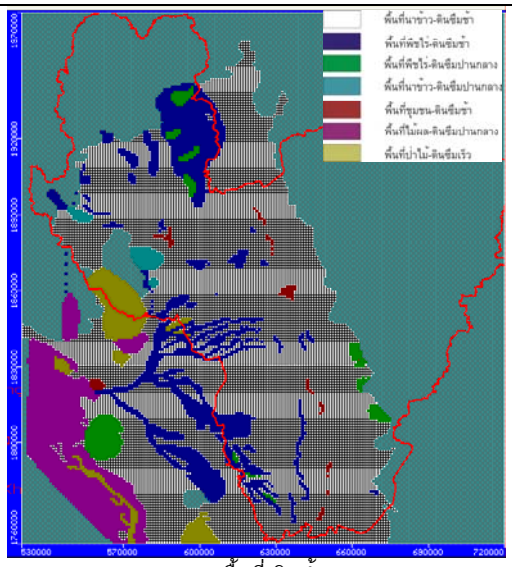
รูปที่ 9-3 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ตารางที่ 9-9 การใช้น้ำเพื่อการเกาตรและการอุปโภคบริโภคในพื้นที่แบบจำลอง

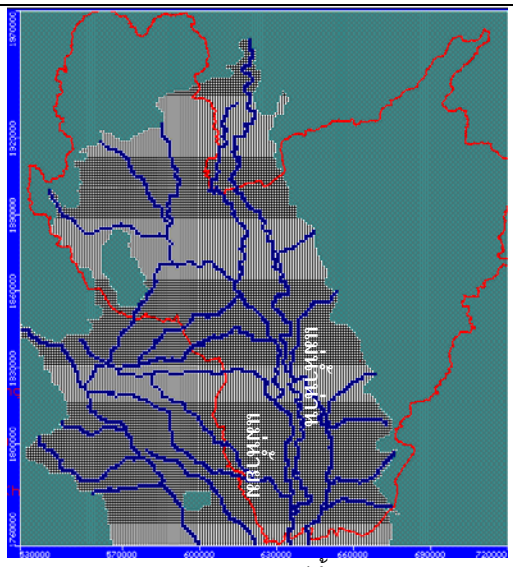
การใช้ที่ดิน	พื้นที่			ความต้องการใช้น้ำ (ลบ.ม.)				
				ฤดูฝน		ฤดูแล้ง		รวมทั้งปี
	ตร.ม.	ไร่	พื้นที่นาปรัง	น้ำผิวดิน	น้ำบาดาล	น้ำผิวดิน	น้ำบาดาล	
นานอกเขตชลประทาน	8,734,000,000	5,458,750	4,094,063	62,207,915,000	567,710,000	3,984,887,500	6,222,975,000	72,983,487,500
นาในเขตชลประทาน	2,478,000,000	1,548,750	1,471,313	2,206,968,750	116,156,250	2,787,750,000	662,090,625	5,772,965,625
พืชไร่	3,277,000,000	2,048,125		2,908,337,500			368,662,500	3,277,000,000
นาน้ำฝนปีละครั้ง	1,785,000,000	1,115,625		1,673,437,500				1,673,437,500
อื่น ๆ	1,808,000,000	1,130,000						
ชลประทานน้ำบาดาล								40,000,000
ประปาบาดาล								15,000,000
รวม	18,082,000,000	11301250		68,996,658,750	683,866,250	6,772,637,500	7,253,728,125	83,761,890,625
อัตราส่วนการใช้น้ำผิวดินกับน้ำบาดาล				95.48	4.52	49.29	51.71	

*หมายเหตุ ปริมาณความต้องการใช้น้ำในการปลูกข้าว ประมาณ 1,500 ลบ.ม./ไร่/รอบการเพาะปลูก ในพื้นที่ส่วนใหญ่มีการเพาะปลูก 2.5 รอบ/ปี

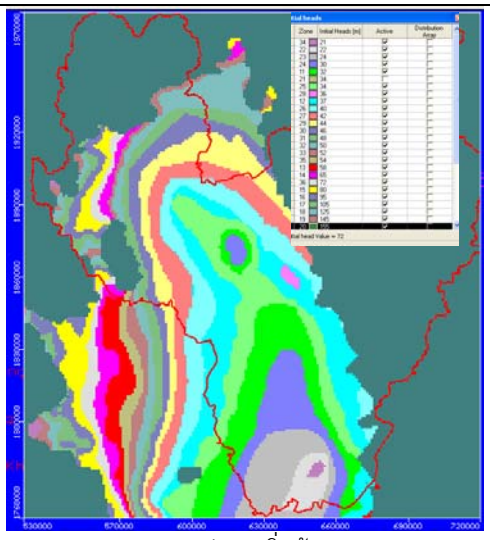
- ฤดูฝนข้าวมีความต้องการใช้น้ำ 1,500 ประมาณ 1,500 ลบ.ม./ไร่ แบ่งเป็นน้ำผิวดิน 1,396 ลบ.ม./ไร่ และน้ำบาดาล 104 ลบ.ม./ไร่ (ข้อมูลการใช้น้ำบาดาลจากพื้นที่บ้านหนองนา)
- ฤดูแล้งมีความต้องการใช้น้ำประมาณ 2,250 ลบ.ม./ไร่ (1.5 รอบการเพาะปลูก) แบ่งเป็น น้ำผิวดิน 730 ลบ.ม./ไร่ และน้ำบาดาล 1,520 ลบ.ม./ไร่ (ข้อมูลการใช้น้ำบาดาลจากพื้นที่บ้านหนองนา) ปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืชไร่ ประมาณ 1,500 ลบ.ม./ไร่/รอบการเพาะปลูก
- ฤดูฝนมีความต้องการใช้น้ำผิวดินกับน้ำฝน 1,420 ลบ.ม./ไร่
- ฤดูแล้งมีการใช้น้ำบาดาล 180 ลบ.ม./ไร่/ปี (ข้อมูลการใช้น้ำบาดาลจากพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่)



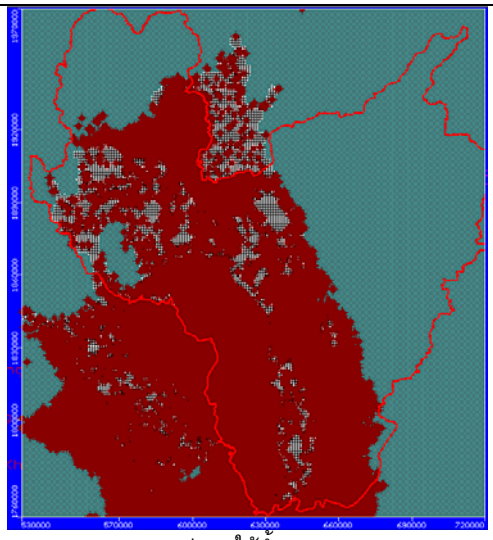
(ก) พื้นที่เติมน้ำ



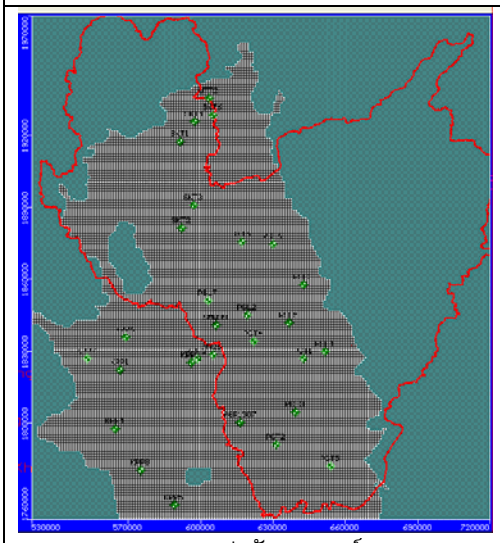
(ข) ขอบเขตแม่น้ำ



(ค) ค่าเฮดเริ่มต้น



(ง) บ่อสูบใช้น้ำบาดาล



(จ) บ่อสังเกตการณ์

รูปที่ 9-4 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองการไหลของน้ำบาดาล

2) การปรับเทียบแบบจำลอง

การปรับเทียบค่าพารามิเตอร์เป็นการปรับค่าพารามิเตอร์ที่นำเข้าแบบจำลองจนเฮดที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองและค่าที่วัดจากสนามมีความใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จากบ่อสังเกตการณ์ 33 บ่อ รูปที่ 9-4จ และทำการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน และสัมประสิทธิการกักเก็บน้ำให้อยู่ในช่วงค่าที่เป็นไปได้ของพารามิเตอร์นั้นๆ โดยปรับพารามิเตอร์ทีละชุดให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากค่าที่ประมาณไว้ในเบื้องต้น จนเฮดที่วัดในสนามและจากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันที่สุด ซึ่งเกณฑ์ที่ตั้งไว้ในการทำแบบจำลองครั้งนี้ให้รูปแบบของการกระจายของเฮดน้ำบาดาลที่ได้จากการคำนวณในแบบจำลองกับการกระจายของเฮดที่ได้จากในสนามมีความแตกต่างเฉลี่ยไม่เกิน 1 ม. ถ้าเฮดที่ได้จากการวัดในสนามและจากการคำนวณมีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วงไม่เกิน 1 ม. ถือได้ว่าผลการจำลองนี้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

9.6.4 ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาล

1) การปรับเทียบพารามิเตอร์และชุดข้อมูลที่ได้

ผลจากการปรับเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนของเฮดที่วัดได้จากสนามและเฮดที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 0.893 ม. รายละเอียดดังรูปที่ 9-5

2) การไหลของน้ำบาดาล

การไหลของน้ำบาดาลจากการจำลองสอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ ซึ่งมีการไหลของน้ำจากพื้นที่ที่มีเฮดสูง ในบริเวณด้านทิศตะวันตก ทิศเหนือ และทิศตะวันออก ที่มีลักษณะเป็นขอบแอ่ง ไหลลงไปบริเวณตอนกลางของพื้นที่ที่มีเฮดของน้ำต่ำ ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน และไหลลงสู่ลงทิศใต้ ทิศทางการไหลของน้ำบาดาลมีการเปลี่ยนแปลงจากสภาพธรรมชาติ เนื่องจากการสูบใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตรเป็นจำนวนมาก จึงมีลักษณะการเกิดกรวยน้ำลด เช่น พื้นที่ใน อ.เมือง อ.บางระกำ อ.บางกระทุ่ม จ.พิษณุโลก และบริเวณ อ.วชิรบารมี อ.โพธิ์ประทับช้าง อ.โพทะเล จ.พิจิตร ดังรูปที่ 9-5

3) สมดุลน้ำบาดาล

สมดุลน้ำบาดาลในพื้นที่ 3 จังหวัดที่ได้จากการจำลองมีปริมาณการไหลเข้าจากแหล่งต่างๆ เท่ากับ 7,394,982,912 ลบ.ม. และปริมาณการไหลออกทั้งหมดเท่ากับ 4,720,157,688 ลบ.ม. รายละเอียดดังตารางที่ 9-10 มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการกักเก็บเท่ากับ -568,904,080 ลบ.ม. เมื่อพิจารณาการสูญเสียน้ำจากแหล่งกักเก็บในแต่ละปีสามารถคำนวณการลดระดับของน้ำบาดาลระดับตื้นเฉลี่ยทั้งพื้นที่ประมาณ 0.15 ม./ปี (ค่าอัตราการให้น้ำจำเพาะเฉลี่ย Average specific yield เท่ากับ 0.2)

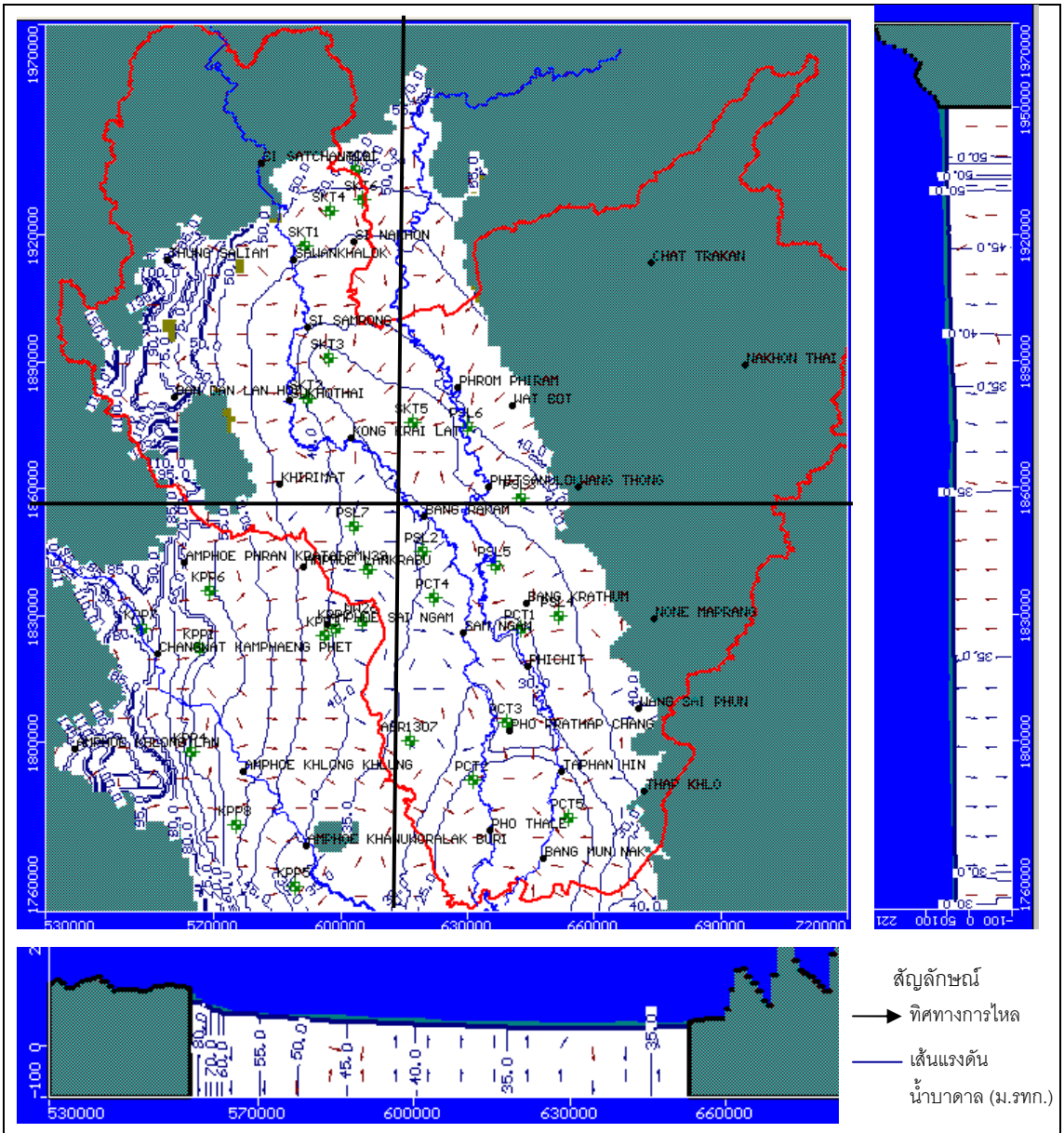
ตารางที่ 9-10 สมดุลน้ำบาดาลในรอบหนึ่งปี

ปริมาณการไหลเข้า (ลบ.ม.)	ปริมาณการไหลออก (ลบ.ม.)
ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้า (well) = 0.00	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล (well) = 7,784,781,824
ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ = 6,980,332,544	ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ = 0.00
ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ = 414,650,368	ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ = 179,105,168
รวมปริมาณน้ำไหลเข้า = 7,394,982,912	รวมปริมาณน้ำไหลออก = 7,963,886,992
ปริมาณการไหลเข้า - ปริมาณการไหลออก= -568,904,080 ลบ.ม. การลดลงของระดับน้ำบาดาล คำนวณจาก (ปริมาณการไหลเข้า – ปริมาณการไหลเข้า) / พื้นที่ / Sy = (-568,904,080 /18,082,000,000)/0.2 = -0.15 เมตรต่อปี	

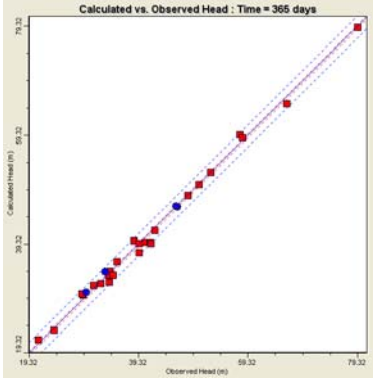
ความลึกของระดับน้ำบาดาลจากผิวดินที่ได้จากผลการจำลองสามารถแบ่งออกเป็นช่วงความลึก 6 ช่วง รายละเอียดตามตารางที่ 9-12 และรูปที่ 9-6 ซึ่งความลึกของระดับน้ำที่ควรมีการจัดการเติมน้ำเพื่อฟื้นฟูระดับน้ำให้มีการยกระดับขึ้นอยู่ในช่วงความลึกมากกว่า 6 ม. ขึ้นไป ดังนั้นปริมาณน้ำผิวดินที่สามารถยกระดับน้ำขึ้น 2 ม. เมื่อมีการจัดการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลพิจารณาจากพื้นที่ในแบบจำลองแล้วสรุปได้ดังตารางที่ ตารางที่ 9-11

ตารางที่ 9-11 ความลึกของระดับน้ำบาดาลจากผิวดินที่ได้จากผลการจำลอง

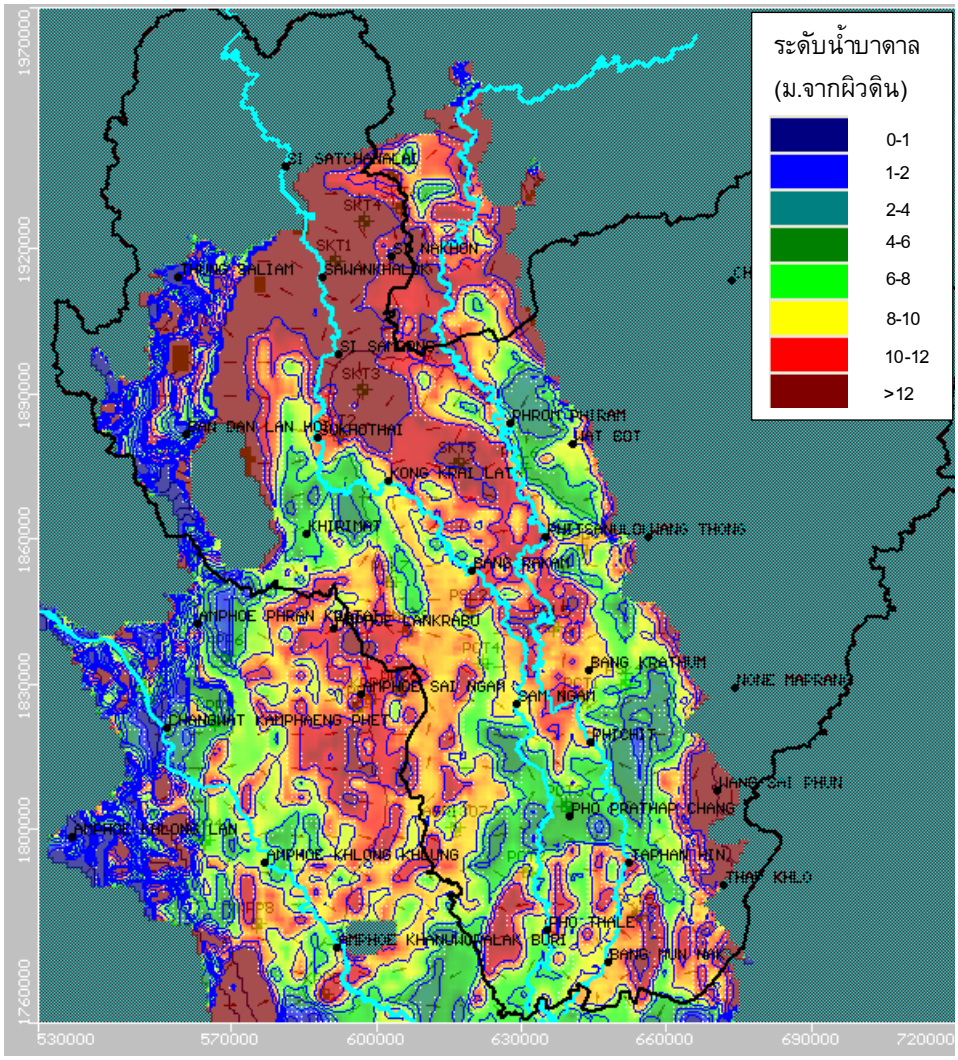
ความลึกของ ระดับน้ำบาดาล (ม.)	พื้นที่ (ตร.ม.)	ปริมาณน้ำผิวดิน ที่สามารถยกระดับน้ำขึ้น 2 ม. (ลบ.ม.)
0-8	7,588,082,774	-
8-10	4,925,375,630	1,970,150,252.00
10-12	2,879,671,875	1,151,868,750.00
>12	2,688,869,721	1,075,547,888.40
รวม	18,082,000,000	4,197,566,890.40



ความคลาดเคลื่อนที่ตรวจสอบ	ค่าความคลาดเคลื่อน (ม.)
Residual Mean	-0.115
Absolute Residual Mean	0.752
Standard error of the estimation	0.181
Root mean squared	0.964



รูปที่ 9-5 ผลการจำลองทิศทางการไหลของน้ำบาดาล



รูปที่ 9-6 ระดับความลึกของน้ำบาดาลจากระดับผิวดินในสภาวะปัจจุบัน

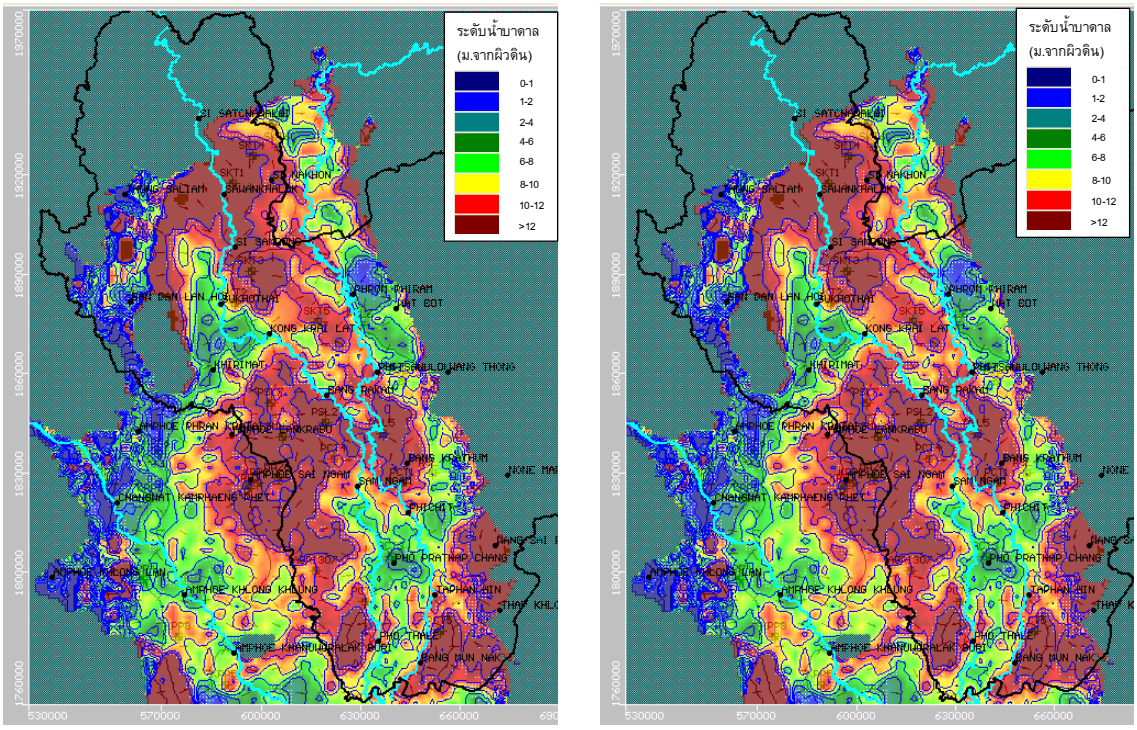
9.6.5 ผลการจำลองการไหลของน้ำบาดาลรอบ 10 ปี

การไหลของน้ำบาดาลจากการจำลองสอดคล้องกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ ซึ่งมีการไหลของน้ำจากพื้นที่ที่มีเฮดสูงในบริเวณที่เป็นขอบแอ่ง ไหลลงไปบริเวณตอนกลางของพื้นที่ที่มีเฮดของน้ำต่ำ ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน และไหลลงสู่ลงทิศใต้ และมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลเนื่องจากการสูบใช้น้ำบาดาล

สมดุลน้ำบาดาลในรอบ 10 ปี พื้นที่ 3 จังหวัดที่ได้จากการจำลองมีปริมาณการไหลเข้าจากแหล่งต่างๆ เท่ากับ 73,564,926,720 ลบ.ม. และปริมาณการไหลออกทั้งหมดเท่ากับ 79,212,051,840 ลบ.ม. รายละเอียดดังตารางที่ 9-12 ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณการกักเก็บเท่ากับ -5,647,125,120 ลบ.ม. เมื่อพิจารณาการสูญเสียน้ำจากแหล่งกักเก็บในสิบปีสามารถคำนวณการลดระดับของน้ำบาดาลระดับตื้นทั้งพื้นที่ ได้เท่ากับ -1.5 ม. ใน10 ปี โดยมีค่าอัตราการให้น้ำจำเพาะเท่ากับ 0.2 ความลึกของระดับน้ำบาดาลจากผิวดินในระเวลา 5 ปี และ 10 ปี แสดงดังรูปที่ 9-7 ขนาดพื้นที่ของแต่ละช่วงเวลาแสดงดังตารางที่ 9-13

ตารางที่ 9-12 สมดุลน้ำบาดาลในรอบสิบปี

ปริมาณการไหลเข้า (ลบ.ม.)	ปริมาณการไหลออก (ลบ.ม.)
ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้า (well) = 0.00	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล (well) = 77847,076,864
ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ = 69,796,093,952	ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ = 0.00
ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ = 3,768,832,768	ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ = 1,364,974,976
รวมปริมาณน้ำไหลเข้า = 73,564,926,720	รวมปริมาณน้ำไหลออก = 79,212,051,840
ปริมาณการไหลเข้า - ปริมาณการไหลออก = -5,647,125,120 ลบ.ม. การลดลงของระดับน้ำบาดาล คำนวณจาก (ปริมาณการไหลเข้า – ปริมาณการไหลเข้า) / พื้นที่ /Sy = (-5,647,125,120/18,082,000,000)/0.2 = - 1.56 ม.ใน 10 ปี	



(ก) ระยะเวลา 5 ปี (ข) ระยะเวลา 10 ปี

รูปที่ 9-7 ระดับความลึกของน้ำบาดาลจากจากระดับผิวดิน ระยะเวลา 5 ปี และ 10 ปี

ตารางที่ 9-13 ความลึกของระดับน้ำบาดาลจากผิวดินที่ได้จากผลการจำลองระยะเวลา 10 ปี

ความลึกของระดับน้ำบาดาล (ม.)	พื้นที่ (ตร.ม.)	ปริมาณน้ำผิวดินที่สามารถยกระดับน้ำขึ้น 2 เมตร (ลบ.ม.)
0-8	7,751,240,694	-
8-10	4,065,939,799	1,577,740,730.00
10-12	3,063,480,064	1,242,908,116.40
>12	3,201,339,443	1,443,643,114.40
รวม	18,082,000,000	4,264,291,960.80

9.6.6 การจัดลำดับความสำคัญและกำหนดพื้นที่เป้าหมายในการเติมน้ำ

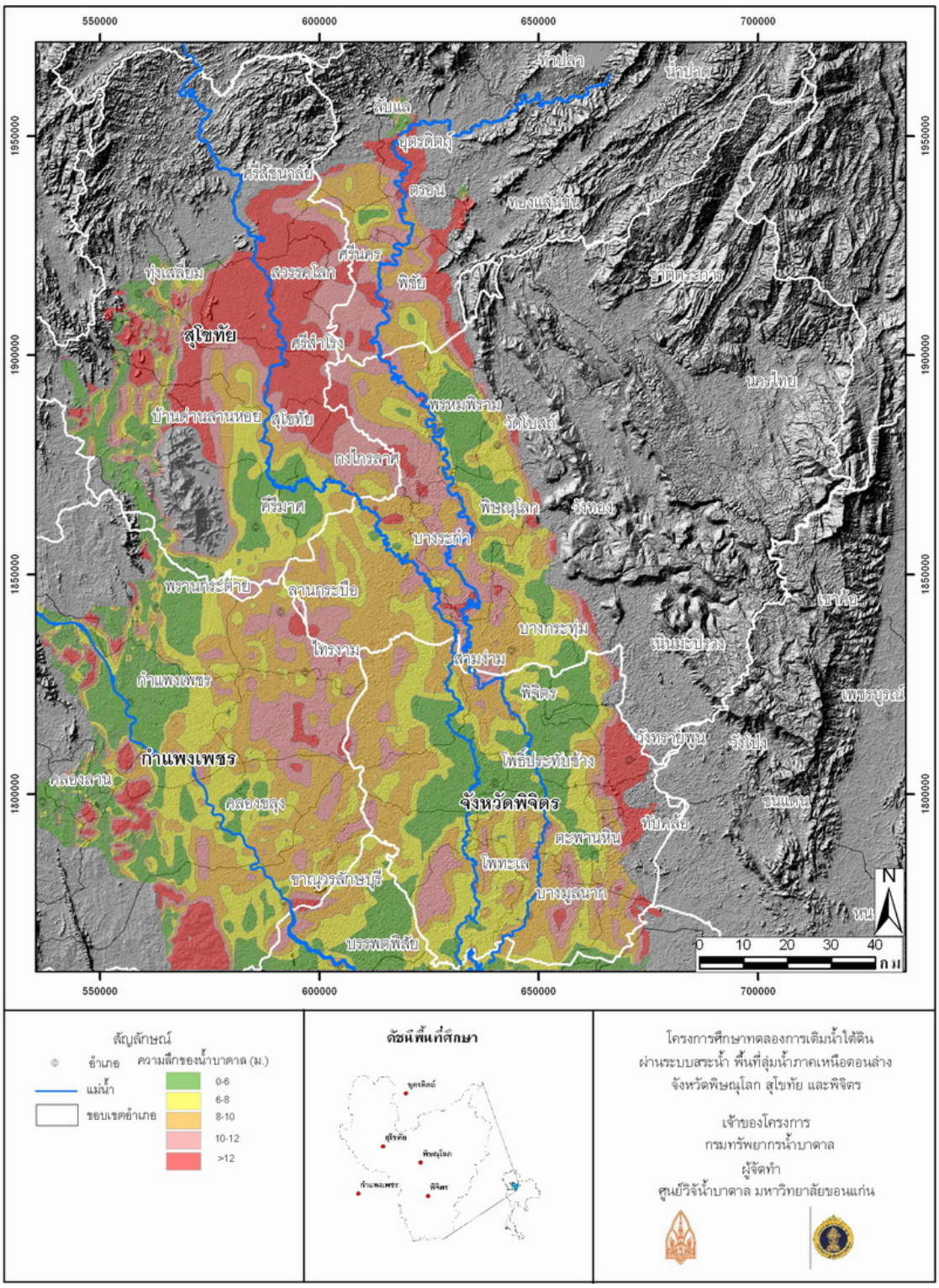
การลดลงของระดับน้ำบาดาลจนถึงระดับที่ไม่สามารถสูบน้ำบาดาลในสภาวะปกติได้ ต้องมีการทรุดบ่อลงไปตามระดับน้ำเพื่อที่จะสามารถสูบมาใช้ประโยชน์ ซึ่งระดับที่ต้องมีการทรุดบ่ออยู่ลึกกว่าระดับผิวดินมากกว่า 6 ม. ขึ้นไป ซึ่งถือว่าเป็นบริเวณที่สมควรมีการเติมน้ำเพื่อฟื้นฟูระดับน้ำบาดาลให้มีการยกระดับตัวขึ้น จากผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ระดับความลึกของน้ำบาดาลจากผิวดินพบมากในบริเวณที่มีการใช้น้ำบาดาลในปริมาณมาก เช่น บริเวณพื้นที่ชลประทานจากบ่อบาดาล อ. สวรรคโลก ศรีนคร จ. สุโขทัย อ.บางระกำ อ. เมือง จ. พิษณุโลก อ. โพธิ์ประทับช้าง อ.โพทะเล จ.พิจิตร แสดงในรูปที่ 9-9 ซึ่งสามารถสรุปพื้นที่ที่ต้องมีการจัดการเติมน้ำได้ดังตารางที่ 9-14

ตารางที่ 9-14 ตารางสรุปพื้นที่เป้าหมายที่ต้องมีการเติมน้ำ

พื้นที่	จังหวัด	อ.	ตำบล
วิกฤติมากที่สุด ระดับน้ำ > 12 ม.	สุโขทัย	สวรรคโลก	ในเมือง วังขอนไม้ นาทุ่ง ป่ากุมเกาะ ย่านยาว คลองกระจง เมืองบางขลัง หนองกลับ คลองยาง ปากน้ำ
		เมือง	บ้านสวน ตาลเตี้ย
		กงไกรลาศ	ไกรใน
		ศรีสำโรง	บ้านเกาะตาเลี้ยง วังสีก บ้านนา วัดเกาะนาขุนไกร
		ศรีนคร	หาดเสี้ยว ท่าชัย นครเดิฐ
	พิจิตร	วังทรายพูน	หนองพระ
		ทับคล้อ	เขาทราย
	พิษณุโลก	บางระกำ	หนองกุลา
		เมือง	งิ้วราย
	กำแพงเพชร	ขาณุวรลักษบุรี	วังชะพลู
		ไทรงาม	หนองแม่แตง
วิกฤติมาก ระดับน้ำ 10-12 ม.	สุโขทัย	สวรรคโลก	ปากน้ำ
		ศรีสำโรง	บ้านซ่าน วังทอง ราวต้นจันทร์
		ศรีนคร	คลองมะพลับ ศรีนคร นครเดิฐ
		เมือง	ตาลเตี้ย บ้านสวน
		กงไกรลาศ	ไกรกลาง กกแรต ดงเดือย ไกรนอก
	พิจิตร	โพทะเล	ท่าขมิ้น ทะนง
		ตะพานหิน	ดงตะขบ
		บางมูลนาก	ลำปะดา ภูมิ
		กิ่ง อ.ดงเจริญ	สำนักขุนเณร ห้วยพุก
	พิษณุโลก	พรหมพิราม	ศรีภิรมย์ วงฆ้อง วังวน พรหมพิราม ท่าช้าง มะตูม
		เมือง	ไผ่ขอนดอน บ้านกร่าง ท่าทอง ท่าโพธิ์ บึงพระ วัดพริก
		บางระกำ	นิคมพัฒนา หนองกุลา
		บางกระทุ่ม	ท่าตาล บ้านไร่
	กำแพงเพชร	ลานกระบือ	บึงทับแรต หนองหลวง ลายกระบือ ช่องลม ประชาสุขสันต์
		ไทรงาม	ไทรงาม หนองไม้กอง หนองคล้า หนองแม่แตง พานทอง
		ทรายทองวัฒนา	ทุ่งทอง
	อุตรดิตถ์	พิชัย	คอรุม ท่ามะเฟือง พญาแมน ในเมือง ไร่อ้อย

ตารางที่ 9-14 ตารางสรุปพื้นที่เป้าหมายที่ต้องมีการเติมน้ำ (ต่อ)

พื้นที่	จังหวัด	อ.	ตำบล
วิกฤติ ระดับน้ำ 8-10 ม.	สุโขทัย	เมือง	วังทองแดง บ้านกล้วย ยางซ้าย
		กงไกรลาศ	ไกรนอก ป่าแฝก กง
		ศรีสำโรง	ราวต้นจันทน์ วังใหญ่ บ้านไร่
	พิจิตร	วชิรบารมี	หนองหลุม วังโมกข์ บึงบัว บ้านนา
		สามง่าม	กำแพงดิน สามง่าม เนินปอ หนองโสน
		เมือง	ย่านยาว คลองคะเชนทร์
		โพธิ์ประทับช้าง	เนินสว่าง ทุ่งใหญ่ ไผ่ท่าโพธิ์ ดงเสือเหลือง
		บึงนาราง	บึงนาราง แหลมรัง บางลาย
		ตะพานหิน	ทับหมัน
		บางมูลนาก	ท้ายทุ่ง วังตะกู เนินมะกอก วังสำโรง
		กิ่ง อ. ดงเจริญ	สำนักขุนเณร ห้วยพุก ห้วยร่วม
	พิษณุโลก	บางระกำ	ชุมแสงสงคราม คุยม่วง ท่านางงาม นิคมพัฒนา บางระกำ บึงกอก หนองกุลา ปลักแรด วังอีทก พันเสา บ่อทอง
		เมือง	วังน้ำคู้ งิ้วงาม
		พรหมพิราม	ตลุกเทียม ศรีภิรมย์ วังวน
		วังทอง	วังทองแดง วังพิกุล ท่าหมื่นราม พันชาลี
		วัดโบสถ์	ท่างาม
		บางกระทุ่ม	ท่าตาล นครป่าหมาก บางกระทุ่ม
	กำแพงเพชร	ขาณุวรลักษบุรี	บึงสามัคคี วังชะโอน ระหาร ยางสูง โค้งไผ่ เกาะตาล แสนตอ
		ไทรงาม	มหาชัย หนองไม้กรอง หนองทอง
		พรานกระต่าย	คลองพิไกร เขาคีรีส
		เมือง	นิคมทุ่งโพธิ์ทะเล
		ทรายทองวัฒนา	ทุ่งทอง
		ลานกระบือ	บึงทับแรต หนองหลวง



รูปที่ 9-8 แผนที่แสดงความลึกของระดับน้ำบาดาล

9.6.7 การจำลองสภาพแหล่งน้ำบาดาลในอนาคตกรณีที่มีการจัดการเติมน้ำบาดาล

จากผลการจำลองน้ำบาดาลในหัวข้อข้างต้นพบว่าในระยะเวลา 1 ปี มีการใช้น้ำบาดาลมากกว่าการเพิ่มเติมน้ำ ส่งผลให้ทั้งระบบมีการเสียสมดุลเท่ากับ 346,059,832 ลบ.ม./ปี หรือมีการลดระดับของน้ำบาดาลทั้งพื้นที่เท่ากับ 0.15 ม./ปี แนวทางการจัดการทรัพยากรน้ำบาดาลสำหรับพื้นที่นี้จึงควรมีการลดหรือควบคุมปริมาณการใช้น้ำบาดาลและการเพิ่มเติมน้ำผ่านระบบสระหรือวิธีอื่นๆ ที่เหมาะสมในบริเวณที่มีศักยภาพ การจำลองเพื่อศึกษาแนวทางการเติมน้ำในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1) วัตถุประสงค์การจำลองเพื่อศึกษาแนวทางการเติมเพื่อจำลองการเติมน้ำในพื้นที่ที่มีศักยภาพด้วยปริมาณการเติมน้ำที่สามารถทำให้ระบบเกิดความสมดุล ในระยะเวลา 1 ปี

2) เพื่อจำลองให้ระบบน้ำบาดาลเกิดความสมดุล ในระยะเวลา 10 ปี

ข้อมูลปริมาณการเพิ่มเติมน้ำและจำนวนสระที่ใช้ในแบบจำลองพิจารณาจากข้อมูลดังนี้

กำหนดให้มีอัตราการเติมน้ำ 0.2 ม./วัน ซึ่งเป็นอัตราการเติมน้ำที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษาซึ่งพิจารณาจากผลการทดลองเติมน้ำผ่านสระ

- ระยะเวลาการเติมน้ำ 120 วัน ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน (กรกฎาคม – ตุลาคม) และมีน้ำผิวดินที่สามารถใช้เป็นน้ำดิบได้
- พื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำ อยู่ใกล้กับแหล่งน้ำผิวดิน ถนน และใกล้กับพื้นที่เป้าหมาย มีระดับน้ำบาดาลลึกมากกว่า 6 เมตร ดังรูปที่ 9-8 กำหนดให้พื้นที่เติมน้ำมีขนาด 62.5 ไร่ หรือคิดเป็น 10 เปอร์เซนต์ของกริดเซลล์ (1 กริดเซลล์เท่ากับ 6.25 สระ)
- จำนวนพื้นที่เติมน้ำ คำนวณได้จากอัตราการเติมน้ำและปริมาณน้ำที่ทำให้ระบบสมดุล

อัตราการเติมน้ำ 0.2 ม./วัน X 120 วัน /ปี X (10^6X 10% ตร.ม.) = 2,400,000 ลบ.ม./ปี

ปริมาณน้ำที่ต้องการเพิ่มเพื่อทำให้ระบบสมดุล คือ 346,059,832 ลบ.ม./ปี

จำนวนพื้นที่เติมน้ำเท่ากับ -568,904,080/2,400,000 = 237 กริดเซลล์ หรือคิดเป็น 14,812 ไร่ สามารถทำให้ระบบเกิดความสมดุล

- กรณีเติมน้ำด้วยวิธีการเติมผ่านบ่อน้ำบาดาลระดับลึกเพื่อกักเก็บและสูบกลับมาใช้เติมในพื้นที่ชลประทานน้ำบาดาล บริเวณอ.สวรคโลก อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย เติมในชั้นน้ำลึกที่ประมาณ 100 ม. ด้วยอัตรา 1,200 ลบ.ม./วัน เติมในชั้นน้ำตื้นที่ประมาณ 30 ม. ด้วยอัตรา 840 ลบ.ม./วัน ในช่วงฤดูฝนเดือน ก.ค - ต.ค.
- กรณีที่ต้องการให้ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ปรับตัวสูงขึ้น 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี สามารถดำเนินการได้โดยการเพิ่มพื้นที่ในการเติมน้ำให้ครอบคลุมพื้นที่วิกฤติ เพื่อให้ปริมาณการเติมน้ำมากขึ้นและส่งผลให้ระดับน้ำมีการปรับตัวขึ้น 2 ม. โดยกำหนดให้มีการเติมน้ำด้วยอัตราเท่ากับ 0.2 ม./วัน

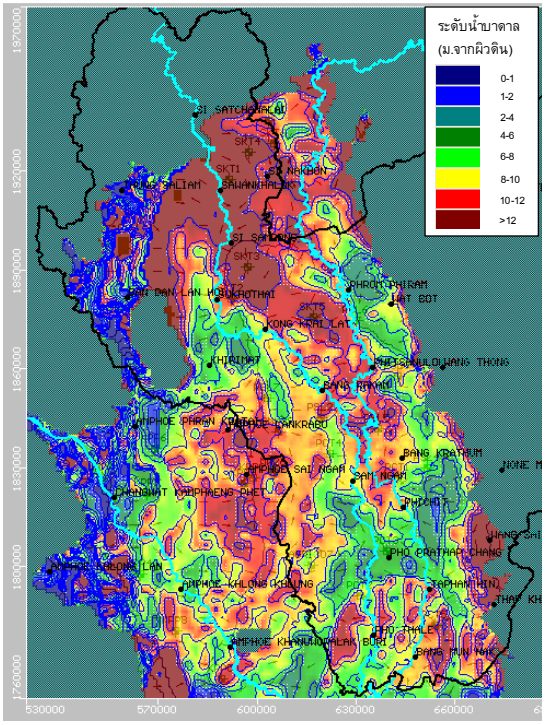
9.6.8 ผลการจำลอง

1) กรณีเติมน้ำให้เกิดความสมดุล

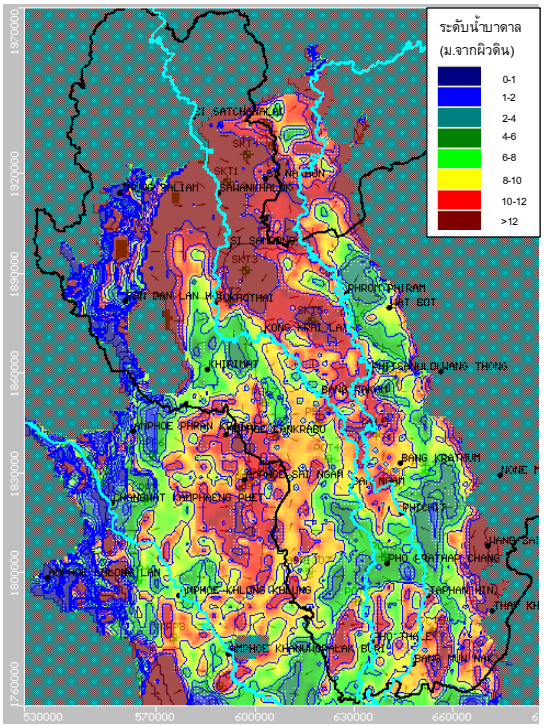
ผลการจำลองการเติมน้ำผ่านในพื้นที่ที่ระดับน้ำลด พบว่า ในช่วงฤดูแล้งมีการใช้น้ำบาดาลทำให้เกิดกรวยน้ำลดบริเวณที่มีการสูบใช้น้ำบาดาลมาก ในช่วงฤดูฝนในบริเวณที่มีการเติมน้ำพบว่าระดับน้ำมีการยกตัวขึ้น สมดุลน้ำบาดาลในรอบปีมีปริมาณการเพิ่มเติมน้ำบาดาลตามธรรมชาติและปริมาณการเพิ่มเติมน้ำจากการทดลองเติมน้ำรวม 7,975,252,801 ลบ.ม. และปริมาณการใช้น้ำบาดาล 7,965,520,528 ลบ.ม./ปี ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณการกักเก็บเท่ากับ 9,732,273 ลบ.ม. ระบบน้ำบาดาลเกิดความสมดุลและมีระดับคงตัว ดังแสดงในตารางที่ 9-15 จำนวนพื้นที่เติมน้ำที่ทำให้ระบบเกิดความสมดุลจากผลการจำลองมีพื้นที่ประมาณ 10,625 ไร่ ทั้งนี้รวมบ่อทรายเก่าจำนวน 2,550 ไร่และปริมาณน้ำผิวดินที่สามารถทำให้ระบบมีความสมดุลประมาณ 576,716,288 ล้าน ลบ.ม. การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลเมื่อมีการเติมน้ำแสดงได้ดังรูปที่ 9-9

ตารางที่ 9-15 สมดุลน้ำบาดาลกรณีที่มีการเติมน้ำให้เกิดความสมดุลในรอบหนึ่งปี

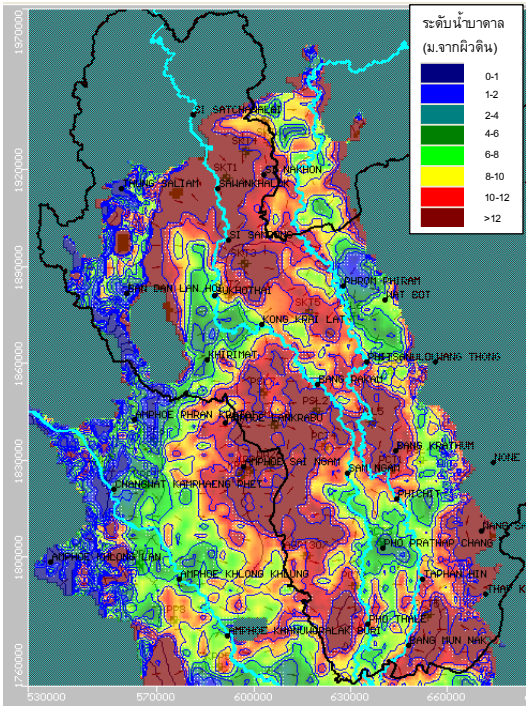
ปริมาณการไหลเข้า (ลบ.ม.)	ปริมาณการไหลออก (ลบ.ม.)
ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้า (well) = 4,296,033	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล (well) =7,785,010,176
ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ = 7,557,048,832	ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ = 0.00
ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ = 413,907,936	ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ = 180,510,352
รวมปริมาณการไหลเข้า = 7,975,252,801	รวมปริมาณการไหลออก = 7,965,520,528
ปริมาณการไหลเข้า – ปริมาณการไหลออก = 9,732,273 ลบ.ม./ปี	



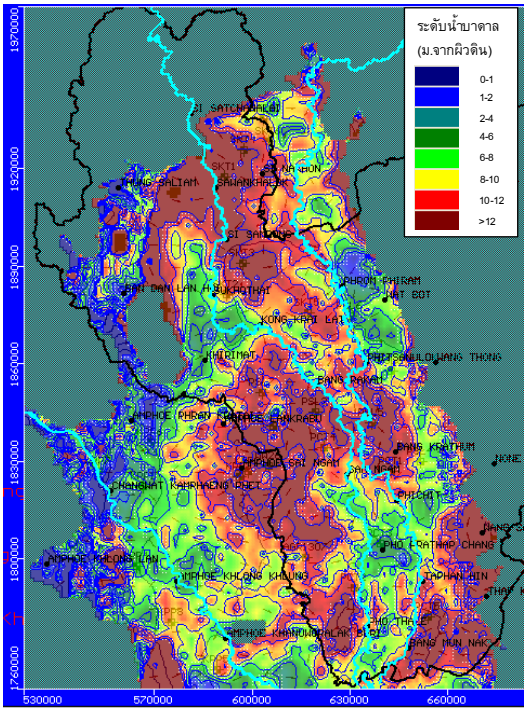
(ก) กรณีที่ไม่มีการเติมน้ำในสภาวะปัจจุบัน



(ข) กรณีที่มีการเติมน้ำในสภาวะปัจจุบัน



(ค) กรณีที่ไม่มีการเติมน้ำในระยะเวลา 10 ปี



(ง) กรณีที่มีการเติมน้ำในระยะเวลา 10 ปี

รูปที่ 9-9 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเมื่อมีการเติมน้ำให้เกิดความสมดุล

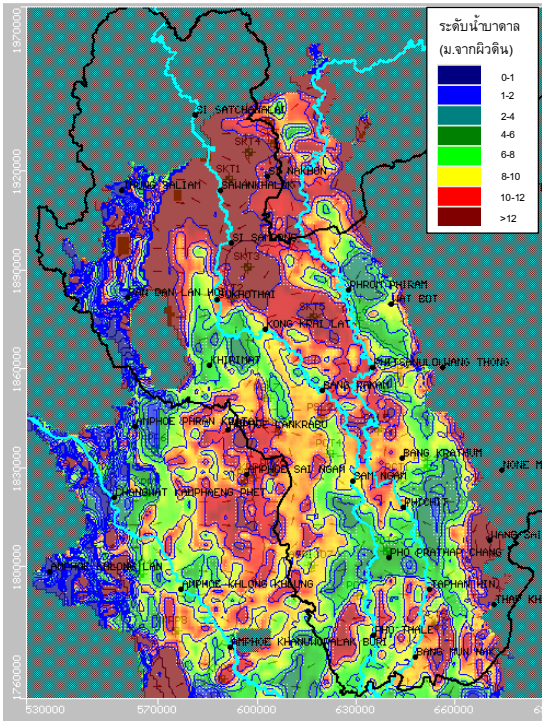
2) กรณีที่ต้องการให้ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ปรับตัวสูงขึ้น 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี

ผลการจำลองการเติมน้ำผ่านสระในพื้นที่ที่ระดับน้ำลด พบว่ารูปแบบการไหลของน้ำบาดาลมีการไหลคล้ายคลึงกับแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ ในช่วงฤดูแล้งมีการใช้น้ำบาดาลทำให้เกิดกรวยน้ำลดบริเวณที่มีการสูบใช้น้ำบาดาลมาก ในช่วงฤดูฝนในบริเวณที่มีการเติมจะพบว่าระดับน้ำมีการยกตัวขึ้น สมดุลน้ำบาดาลในรอบหนึ่งปีมีปริมาณการเพิ่มเติมน้ำบาดาลตามธรรมชาติและปริมาณการเพิ่มเติมน้ำจากการทดลองเติมน้ำรวม 8,437,104,705 ลบ.ม. และปริมาณการใช้น้ำบาดาล 7,965,785,632 ลบ.ม./ปี ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณการกักเก็บเท่ากับ 471,319,073 ลบ.ม. รายละเอียดแสดงในตารางที่ 9-16 การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทั้งพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่เมื่อมีการเติมน้ำด้วยอัตรา 0.2 ม./วัน เท่ากับ 0.22 ม./ปี จำนวนพื้นที่เติมน้ำที่ทำให้ระบบมีการยกตัวของระดับน้ำขึ้น 2 ม. ที่ได้จากผลการจำลองมีพื้นที่ประมาณ 18,938 ไร่ ซึ่งรวมพื้นที่บ่อทรายเก่าจำนวน 2,550 ไร่ด้วย ปริมาณน้ำผิวดินที่สามารถทำให้ระดับน้ำปรับตัวขึ้น 2 ม. 1,044 ล้าน ลบ.ม. การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลเมื่อมีการเติมน้ำแสดงได้ดังรูปที่ 9-10

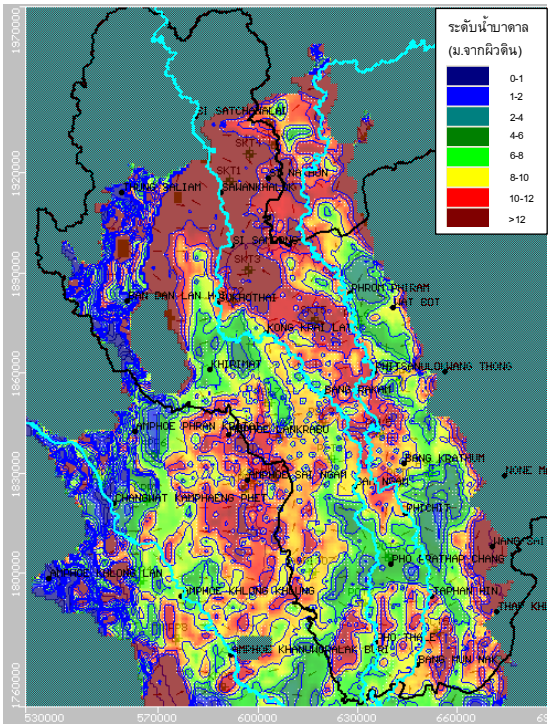
ตารางที่ 9-16 สมดุลน้ำบาดาลในรอบหนึ่งปีกรณีที่มีการเติมน้ำให้ระดับน้ำเพิ่มขึ้น 2 ม.

ปริมาณการไหลเข้า (ลบ.ม.)	ปริมาณการไหลออก (ลบ.ม.)
ปริมาณน้ำบาดาลที่ไหลเข้า (well) = 4,296,033	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล (well) = 7,785,010,176
ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ = 8,019,569,664	ปริมาณการเพิ่มเติมน้ำ = 0.00
ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ = 413,239,008	ปริมาณรั่วซึมจากแม่น้ำ = 180,775,456
รวมปริมาณการไหลเข้า = 8,437,104,705	รวมปริมาณการไหลออก = 7,965,785,632
ปริมาณการไหลเข้า - ปริมาณการไหลเข้า = 471,319,073 ลบ.ม./ปี การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำบาดาล คำนวณจาก (ปริมาณการไหลเข้า – ปริมาณการไหลเข้า)/พื้นที่/Sy = (471,319,073 / 10,493,917,226) / 0.2 = 0.22 เมตรใน 1 ปี การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำ10 ปี = 2.22 ม.	

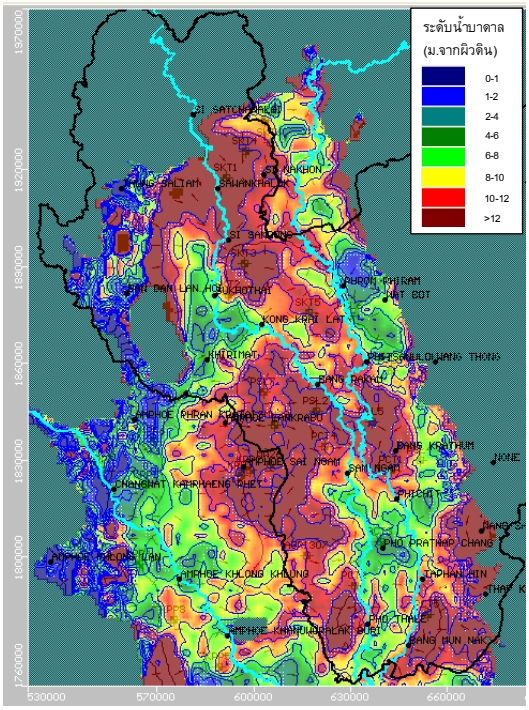
เมื่อทำการทดลองเติมน้ำในแบบจำลองน้ำบาดาลพบว่าในช่วงฤดูแล้งมีการสูบใช้น้ำบาดาลเพื่อใช้ในการเกษตรมากจนทำให้ระดับน้ำลดลง และในช่วงที่มีการเติมน้ำมีการยกระดับน้ำขึ้นในบริเวณที่มีการเติมน้ำ ขนาดพื้นที่ความลึกของระดับน้ำบาดาลในช่วงความลึก 10-12 ม. มีจำนวนลดลงเมื่อมีการเติมน้ำ และขนาดพื้นที่ความลึกของน้ำบาดาลระหว่าง 0-10 ม.มีจำนวนพื้นที่เพิ่มมากขึ้น เป็นผลจากการยกระดับน้ำบาดาลในบริเวณที่มีความลึกมากเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนพื้นที่ในแบบจำลองในระยะเวลา 10 ปีโดยที่ไม่มีการเติมน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 9-17 แสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำในพื้นที่ที่มีระดับน้ำบาดาลลดจะสามารถทำให้ระดับน้ำปรับตัวขึ้น



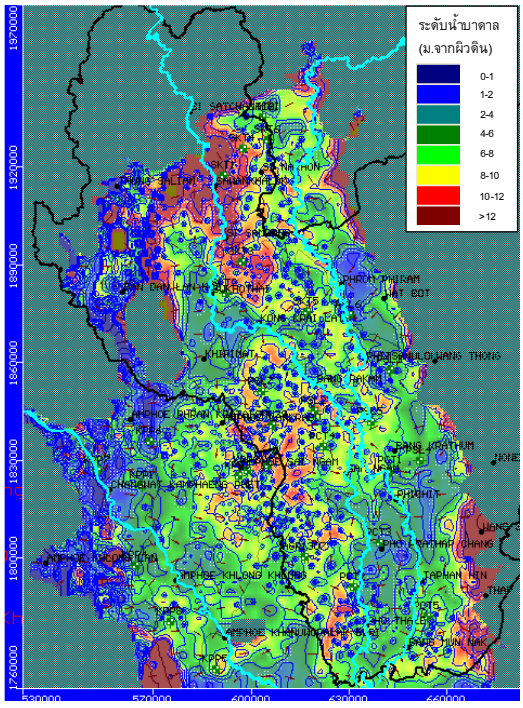
(ก) กรณีที่ไม่มีการเติมน้ำในสภาวะปัจจุบัน



(ข) กรณีที่มีการเติมน้ำเพิ่มขึ้น 2 ม. ในสภาวะปัจจุบัน



(ค) กรณีที่ไม่มีการเติมน้ำในระยะเวลา 10 ปี



(ง) กรณีที่มีการเติมน้ำเพิ่มขึ้น 2 ม. ระยะเวลา 10 ปี

รูปที่ 9-10 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเมื่อมีการเติมน้ำเพื่อยกระดับน้ำ 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี

ตารางที่ 9-17 การเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ความลึกของระดับน้ำเมื่อมีการเติมน้ำ

ความลึกของระดับน้ำบาดาล (ม.)	ขนาดพื้นที่ก่อนการเติมน้ำ (ตร.ม.)			ขนาดพื้นที่หลังการเติมน้ำ (ตร.ม.)			
	สภาวะปัจจุบัน	ระยะเวลา 10 ปี	การเปลี่ยนแปลงของขนาดพื้นที่ระยะเวลา 10 ปีกับสภาวะปัจจุบัน	กรณีเติมน้ำให้สมดุล ระยะเวลา 10 ปี	การเปลี่ยนแปลงของขนาดพื้นที่กรณีเติมน้ำให้สมดุลกับแบบจำลองระยะเวลา 10 ปี	กรณีเติมน้ำยกระดับขึ้น 2 ม. ระยะเวลา 10 ปี	การเปลี่ยนแปลงของขนาดพื้นที่กรณีเติมน้ำให้สมดุลกับแบบจำลองระยะเวลา 10 ปี
0-8	7,588,082,774	7,421,270,098	- 166,812,676	7,751,240,694	+ 329,970,596	7,995,806,547	+ 574,536,449
8-10	4,925,375,630	3,944,351,825	- 981,023,805	4,065,939,799	+ 121,587,974	4,258,026,526	+ 313,674,701
10-12	2,879,671,875	3,107,270,291	+ 227,598,416	3,063,480,064	- 43,790,227	3,021,884,727	- 85,385,564
>12	2,688,869,721	3,609,107,786	+920,238,065	3,201,339,443	- 407,768,343	2,806,282,200	- 802,825,586
รวม	18,082,000,000	18,082,000,000		18,082,000,000		18,082,000,000	

9.7 การศึกษาศักยภาพเบื้องต้นในการเติมน้ำด้วยวิธีต่าง ๆ

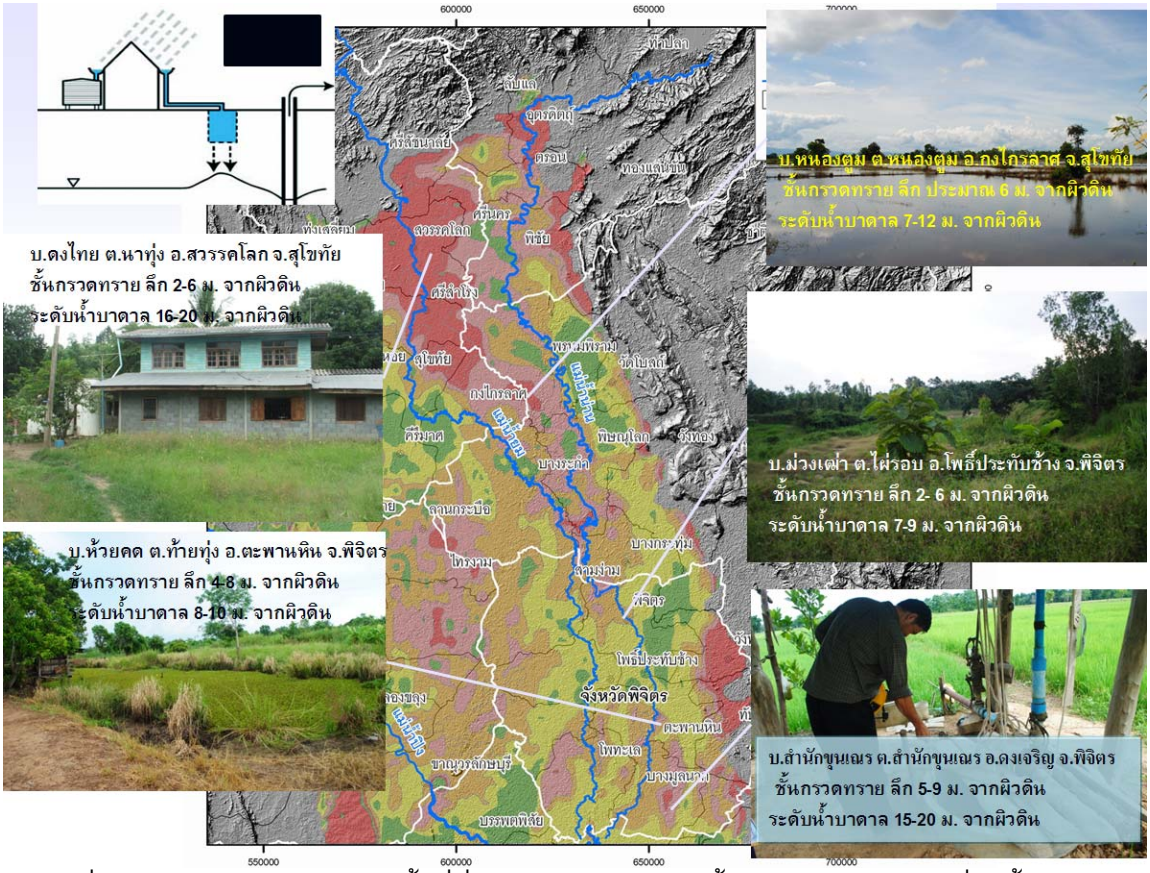
จากการสำรวจภาคสนามในเบื้องต้นพบว่าในพื้นที่ 3 จังหวัด มีหลายพื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่อการเติมน้ำบาดาล เมื่อพิจารณาวิธีการเติมน้ำที่มีความเหมาะสมนำมาใช้ในพื้นที่ 3 จังหวัดในช่วงระยะเวลาอันสั้นมีวิธีที่เหมาะสม ได้แก่ การเก็บเกี่ยวน้ำฝน การเติมน้ำผ่านสระ การเติมน้ำผ่านฝายเติมน้ำ และการเติมผ่านบ่อน้ำบาดาลระดับลึกเพื่อกักเก็บและสูบกลับขึ้นมาใช้ ส่วนวิธีอื่นๆ อีกหลายวิธีที่นำเสนอในบทที่ 2 อาจมีความจำเป็นในอนาคตระยะยาว การจัดการเติมน้ำโดยวิธีการต่างๆ ต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และองค์ประกอบโดยรวมของพื้นที่ลุ่มน้ำ

9.7.1 การเติมน้ำบาดาลผ่านการเก็บเกี่ยวน้ำฝน

การเติมน้ำบาดาลผ่านการเก็บเกี่ยวน้ำฝนสามารถเริ่มดำเนินการได้ในเกือบทุกพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยและมีต้นทุนต่ำ คือ การเติมน้ำจากการเก็บเกี่ยวน้ำฝน (roof top rain water harvesting) ซึ่งสามารถส่งเสริมให้ประชาชนใช้บ่อบาดาลที่มีอยู่เติมน้ำที่เหลือจากการเก็บไว้ในภาชนะรองรับน้ำฝนนำมาเติมผ่านบ่อน้ำบาดาล ที่มีอยู่แล้วหรืออาจขุดบ่อน้ำตื้นขึ้นมาเพื่อเติมน้ำก็ได้ วิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องทำการบำบัดน้ำดิบและไม่ใช้พื้นที่มากจึงสามารถทำได้โดยมีต้นทุนต่ำ มีการทดลองในเขตพื้นที่ศึกษาหลายแห่ง เช่น บ้านบึงกอก อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก และวชิรบารมี พบว่าได้ผลดี จึงควรเร่งส่งเสริมให้ประชาชนมีความเข้าใจและมีส่วนร่วมในการขยายโครงการให้มากขึ้น วิธีการนี้เหมาะที่จะดำเนินการในเขตที่อยู่อาศัยทั้งในเขตชนบทและเขตเมือง เนื่องจากในพื้นที่เมืองมักมีระบบหลังคาขนาดใหญ่ของหน่วยงานเอกชน รวมถึงสถาบันการศึกษาที่เหมาะกับการเก็บเกี่ยวน้ำฝนมาก โดยเฉพาะที่สำนักงานทรัพยากรน้ำบาดาลเขตทั้ง 12 เขต ซึ่งรายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่เติมน้ำผ่านการเก็บเกี่ยวน้ำฝนมีรายละเอียดดังตารางที่ 9-18 ตัวอย่างพื้นที่เหมาะสมสำหรับการเติมน้ำบาดาลผ่านการเก็บเกี่ยวน้ำฝนแสดงในรูปที่ 9-11

ตารางที่ 9-18 ปัจจัยในการคัดเลือกพื้นที่การเติมน้ำผ่านการเก็บเกี่ยวน้ำฝน

ปัจจัย	ระดับความเหมาะสม	คะแนน	ค่าถ่วงน้ำหนัก
มีการลดของระดับน้ำบาดาล			40
เฉลี่ยปีละมากกว่า 30 ซม.	มากที่สุด	3	
20-30 ซม.	มาก	2	
10-20 ซม.	ปานกลาง	1	
ความหนาของชั้นน้ำบาดาล			30
มากกว่า 15 ม.	มากที่สุด	3	
10-15 ม.	มาก	2	
5-10 ม.	ปานกลาง	1	
ที่ตั้งของหมู่บ้านหรือแหล่งชุมชน			20
ตั้งอยู่บนเนินกรวดทราย	มากที่สุด	3	
ตั้งอยู่บนพื้นที่ราบ	มาก	2	
ตั้งอยู่บนพื้นที่ลุ่ม	ปานกลาง	1	
รางรับน้ำฝน			10
หลังคามีรางรับน้ำฝนและถังรองน้ำฝนขนาดใหญ่	มากที่สุด	3	
หลังคามีรางรับน้ำฝน	มาก	2	
หลังคาไม่มีรางรับน้ำฝน	ปานกลาง	1	



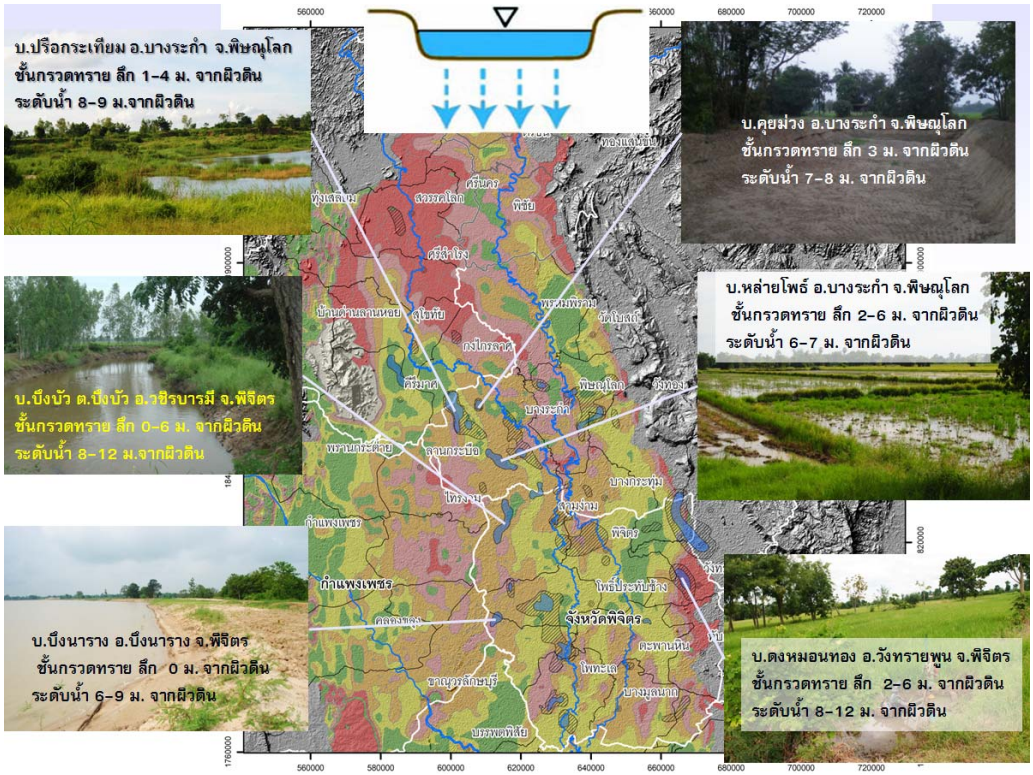
รูปที่ 9-11 ตัวอย่างโครงการและพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำบาดาลจากการเก็บเกี่ยวน้ำฝน

9.7.2 การเติมน้ำบาดาลผ่านสระเติมน้ำ

การเติมน้ำผ่านสระเป็นอีกวิธีการเติมน้ำที่ควรส่งเสริมให้มีการดำเนินการในพื้นที่ ทั้งนี้พื้นที่ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ ควรเป็นพื้นที่สาธารณะประโยชน์ที่มีชั้นดินเหนียวไม่หนามาก หรือขุดลอกพื้นที่คลองระบายน้ำฝนข้างถนนหลวง หรือพื้นที่เหมืองทรายเก่า อยู่ในพื้นที่ที่มีการใช้น้ำบาดาลระดับตื้นปริมาณมาก อยู่ไม่ไกลจากแหล่งน้ำดิบมากเกินไป ควรเร่งส่งเสริม ให้ความรู้ และขอความร่วมมือจากประชาชนและหน่วยงานท้องถิ่นให้บูรณาการใช้เป็นแหล่งเติมน้ำสู่ชั้นน้ำบาดาลไว้ใช้ในฤดูแล้ง และใช้เป็นสระหน่วงน้ำหรือแก้มลิงเพื่อป้องกันอุทกภัยและเก็บน้ำไว้ใช้ได้ด้วย ซึ่งรายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่เติมน้ำผ่านสระมีรายละเอียดดังตารางที่ 9-19 ตัวอย่างพื้นที่เหมาะสมสำหรับการเติมน้ำบาดาลผ่านสระเติมน้ำแสดงในรูปที่ 9-12

ตารางที่ 9-19 ปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่การเติมน้ำผ่านสระ

ปัจจัย	ระดับความเหมาะสม	คะแนน	ค่าถ่วงน้ำหนัก
มีการลดของระดับน้ำบาดาล			40
เฉลี่ยปีละมากกว่า 30 ซม.	มากที่สุด	3	
20-30 ซม.	มาก	2	
10-20 ซม.	ปานกลาง	1	
ความลึกถึงชั้นทราย (ความหนาของชั้นดินเหนียว)			30
น้อยกว่า 2 ม.	มากที่สุด	3	
2-3 ม.	มาก	2	
3-4 ม.	ปานกลาง	1	
ความหนาของชั้นน้ำบาดาล			20
มากกว่า 15 ม.	มากที่สุด	3	
10-15 ม.	มาก	2	
5-10 ม.	ปานกลาง	1	
ระยะทางจากแหล่งน้ำผิวดิน			10
ไม่เกิน 200 ม.	มากที่สุด	3	
200-500 ม.	มาก	2	
500-1000 ม.	ปานกลาง	1	



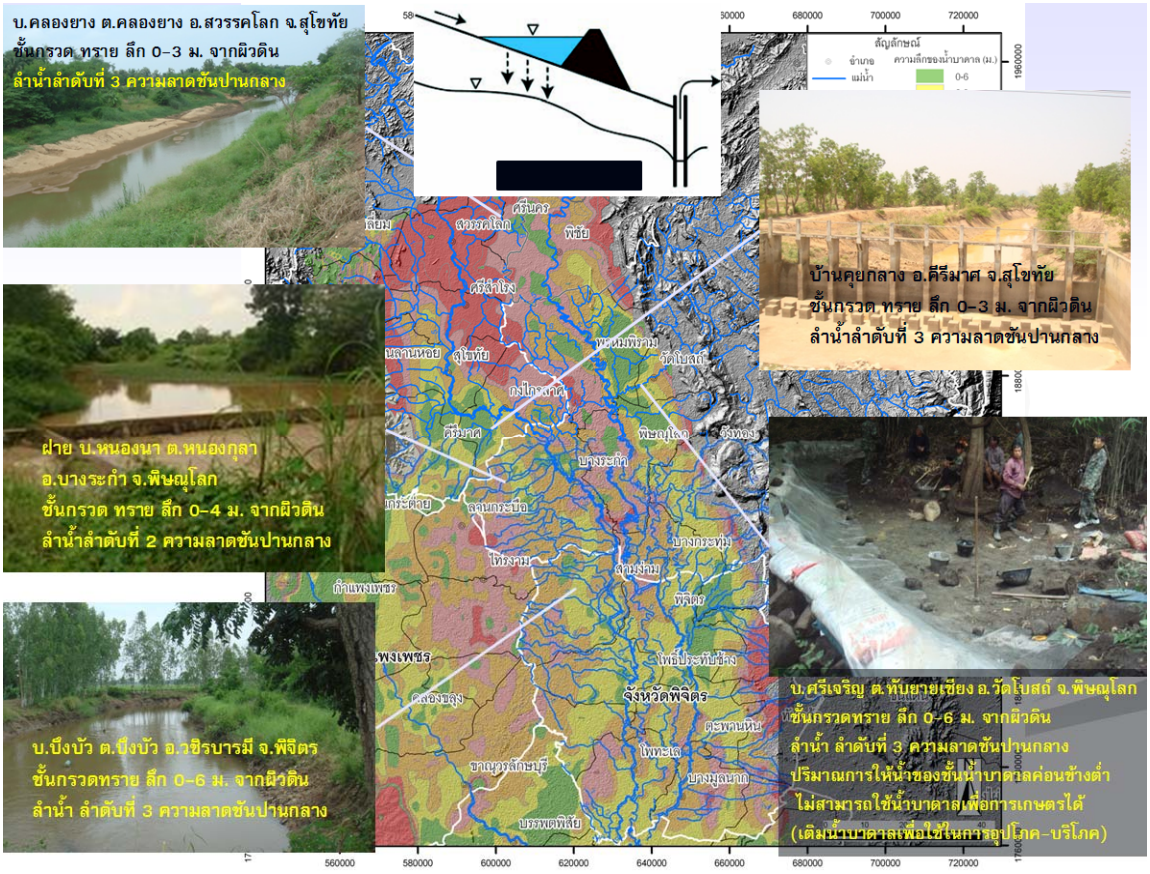
รูปที่ 9-12 ตัวอย่างโครงการและพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำบาดาลผ่านสระ

9.7.3 การเติมน้ำบาดาลผ่านฝายเติมน้ำ

การเติมน้ำผ่านฝายเติมน้ำ มีความเหมาะสมในพื้นที่ต้นน้ำของแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน หรือเขตที่ลาดเชิงเขา วิธีการนี้เป็นการเพิ่มเวลาหน่วงน้ำลดปัญหาอุทกภัยและช่วยให้เกิดการขยายเวลาการเติมน้ำในพื้นที่เติมน้ำของแอ่งเจ้าพระยาตอนบน เหมาะที่จะเร่งดำเนินการเพื่อลดการปัญหาอุทกภัยและแก้ปัญหาภัยแล้งในเขตพื้นที่ตอนเหนือและพื้นที่ด้านตะวันตกของ จ.สุโขทัย รวมทั้งพื้นที่ด้านทิศตะวันออกของ จ.พิษณุโลก จากการสำรวจภาคสนามพบว่า มีฝายหรือเขื่อนเก็บน้ำขนาดใหญ่และขนาดกลางของกรมชลประทานทำหน้าที่เหล่านี้แล้วบางส่วน และยังพบว่ามีการพัฒนาน้ำบาดาลจากการเติมน้ำเหล่านี้มาใช้อย่างมีนัยสำคัญ แต่ยังมีพื้นที่ร่องเขาหรือทางน้ำขนาดเล็ก (ephemeral stream) อีกจำนวนมากที่ยังไม่มีการพัฒนาโครงสร้างเพื่อการกักเก็บน้ำ จึงเป็นโอกาสที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาลจะเร่งส่งเสริมโครงการลักษณะนี้ในพื้นที่ คณะทำงานยังพบว่าในกรณีที่เกษตรขุดสระน้ำไว้ใช้ในแปลงเกษตรกรรมในเขตที่ลาดเชิงเขา ระดับน้ำบาดาลในบ่อน้ำตื้นจะมีระดับตื้นด้วยแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของระบบการเก็บน้ำเติมน้ำต่อระดับน้ำใต้ดิน หากมีการส่งเสริมให้เกษตรกรมีการขุดสระกักเก็บน้ำนอกจากจะมีน้ำผิวดินเก็บไว้ใช้ในช่วงต้นฤดูแล้งแล้วยังจะมีน้ำที่ซึมผ่านลงไปสู่ชั้นน้ำบาดาลตื้นไว้ใช้ในช่วงที่แล้งมากๆ อีกด้วย ซึ่งรายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่เติมน้ำแบบฝายเติมน้ำมีรายละเอียดดังตารางที่ 9-20 ตัวอย่างพื้นที่เหมาะสมสำหรับการเติมน้ำบาดาลผ่านฝายเติมน้ำ แสดงในรูปที่ 9-13

ตารางที่ 9-20 ปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่การเติมน้ำโดยฝายเติมน้ำ

ปัจจัย	ระดับความเหมาะสม	คะแนน	ค่าถ่วงน้ำหนัก
ความลาดชัน			40
ปานกลาง (2-5 %)	มากที่สุด	3	
ต่ำ (น้อยกว่า 2 %)	มาก	2	
สูง (มากกว่า 5 %)	ปานกลาง	1	
ลำดับของลำน้ำ (stream order)			
ลำดับที่ 3 ขึ้นไป	มากที่สุด	3	
ลำดับที่ 2	มาก	2	
ลำดับที่ 1	ปานกลาง	1	
มีการลดของระดับน้ำบาดาล			20
เฉลี่ยปีละมากกว่า 30 ซม.	มากที่สุด	3	
20-30 ซม.	มาก	2	
10-20 ซม.	ปานกลาง	1	
ระยะทางจากแหล่งน้ำผิวดิน			10
ไม่เกิน 200 เมตร	มากที่สุด	3	
200-500 เมตร	มาก	2	
500-1000 เมตร	ปานกลาง	1	



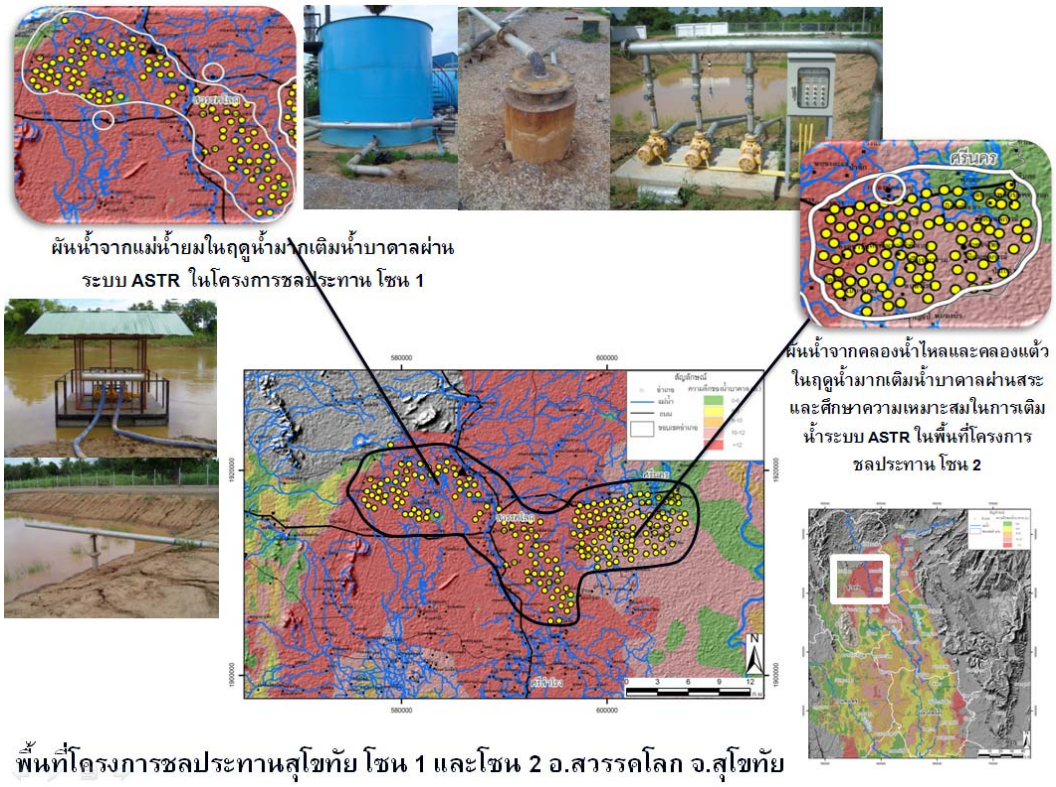
รูปที่ 9-13 ตัวอย่างโครงการและพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำบาดาลผ่านฝายเติมน้ำ

9.7.4 การเติมน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาลระดับลึกเพื่อกักเก็บและสูบกลับขึ้นมาใช้

การเติมผ่านบ่อน้ำบาดาลระดับลึกเพื่อกักเก็บและสูบกลับขึ้นมาใช้ (ASTR) เป็นวิธีการที่เหมาะต่อพื้นที่ที่มีการใช้น้ำบาดาลระดับลึกปริมาณมาก เช่น พื้นที่โครงการสูบน้ำบาดาลเพื่อการชลประทานในเขต อ.สวรรคโลก และ อ.ศรีนคร จ.สุโขทัย ที่มีการเจาะพัฒนาน้ำบาดาลระดับลึกมาใช้ในงานชลประทาน 204 บ่อ และมีการใช้น้ำบาดาลระดับตื้นโดยเกษตรกรเองอีกจำนวนมาก ควรทำการนำน้ำผิวดินจากแม่น้ำยมมากักเก็บในระดับลึกในฤดูน้ำหลากเพื่อช่วยลดความขาดดุลของน้ำบาดาลที่นำมาใช้ในการเกษตร โดยการอัดผ่านบ่อน้ำบาดาลลงในชั้นน้ำบาดาลระดับลึกกระจายไปในพื้นที่โครงการชลประทานซึ่งรายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่เติมน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาลระดับลึกเพื่อกักเก็บและสูบกลับขึ้นมาใช้ มีรายละเอียดดังตารางที่ 9-22 ตัวอย่างพื้นที่เหมาะสมสำหรับการเติมน้ำบาดาลผ่านบ่อน้ำบาดาลระดับลึกเพื่อกักเก็บและสูบกลับขึ้นมาใช้ แสดงในรูปที่ 9-14

ตารางที่ 9-21 ปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่การเติมน้ำผ่านบ่อน้ำบาดาลระดับลึกเพื่อกักเก็บและสูบกลับขึ้นมาใช้

ปัจจัย	ระดับความเหมาะสม	คะแนน	ค่าถ่วงน้ำหนัก
มีการใช้น้ำบาดาลระดับลึก และเกิดการลดของระดับน้ำบาดาล			40
เฉลี่ยปีละมากกว่า 30 ซม.	มากที่สุด	3	
20-30 ซม.	มาก	2	
10-20 ซม.	ปานกลาง	1	
ความหนาของชั้นน้ำบาดาล			30
มากกว่า 15 ม.	มากที่สุด	3	
10-15 ม.	มาก	2	
5-10 ม.	ปานกลาง	1	
ระยะทางจากแหล่งน้ำผิวดิน			20
ไม่เกิน 200 ม.	มากที่สุด	3	
200-500 ม.	มาก	2	
500-1000 ม.	ปานกลาง	1	
อยู่นอกเขตพื้นที่น้ำท่วม			10
ไม่เคยท่วม	มากที่สุด	3	
ท่วมทุก 5 ปี	มาก	2	
ท่วมทุก 2 ปี	ปานกลาง	1	



รูปที่ 9-14 ตัวอย่างโครงการและพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำบาดาล
ผ่านบ่อน้ำบาดาลระดับลึกเพื่อกักเก็บและสูบกลับขึ้นมาใช้

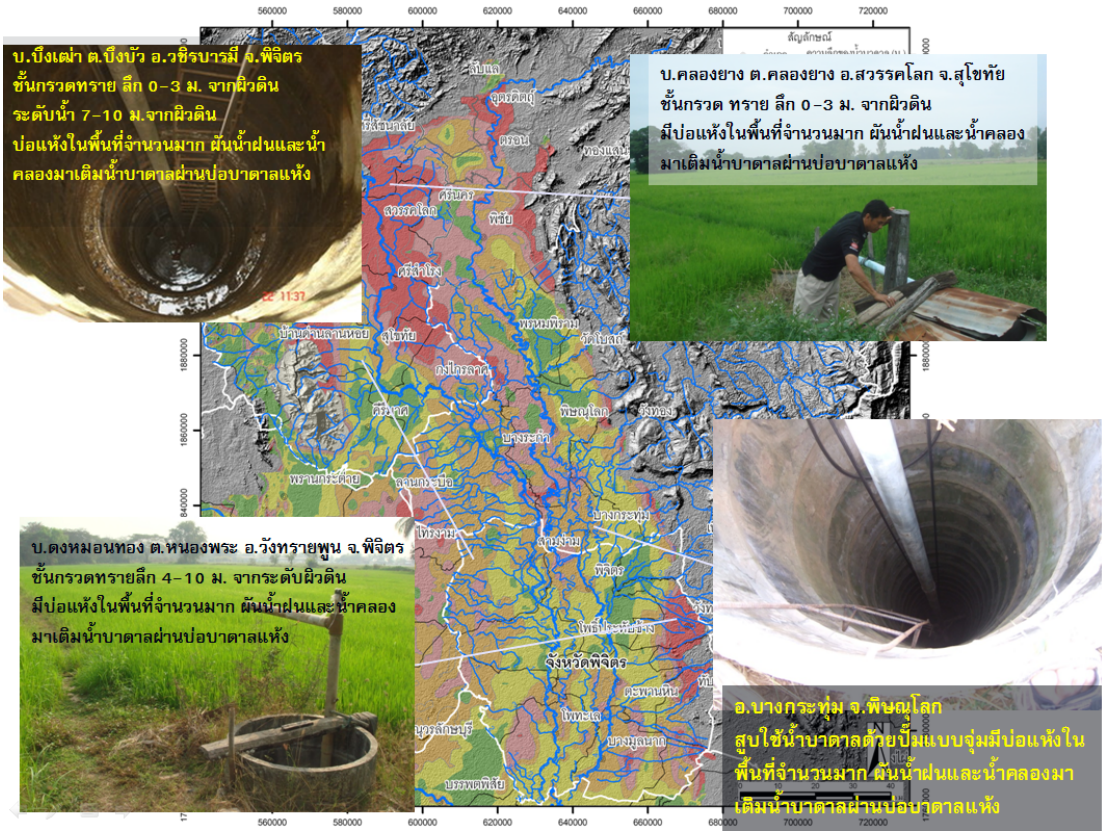
9.7.5 การเติมน้ำผ่านบ่อแห้ง

การเติมผ่านบ่อแห่งเป็นการเติมน้ำในบริเวณที่มีการใช้น้ำในระดับตื้น ซึ่งส่งผลให้ระดับน้ำลดลงมาก การเติมน้ำด้วยวิธีสามารถผันน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินให้เติมลงไปสู่ชั้นน้ำบาดาลโดยตรง ชั้นน้ำบาดาลต้องมีความสามารถยอมให้น้ำซึมผ่านได้ดี คุณภาพของแหล่งน้ำที่ใช้เติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำเดิม บริเวณพื้นที่ชุมชนน้ำที่ไหลบ่าในฤดูฝนสามารถทำร่องระบายเติมผ่านตัวกรองลงสู่บ่อบาดาลได้ ซึ่งรายละเอียดข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่เติมน้ำแบบบ่อแห้งมีรายละเอียดดังตารางที่ 9-22 ตัวอย่างพื้นที่เหมาะสมสำหรับการเติมน้ำบาดาลผ่านบ่อแห้งแสดงในรูปที่ 9-15

นอกจากปัจจัยทางอุทกธรณีวิทยาและความต้องการใช้น้ำของประชาชนที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมในการเติมน้ำด้วยวิธีต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีมีปัจจัยด้านการบริหารจัดการโครงการเพื่อให้โครงสร้างเหล่านี้มีระบบการเติมน้ำที่ดี เช่น การเข้าถึงพื้นที่ และความร่วมมือของประชาชน เป็นต้น จากที่ได้ทำการสำรวจในสนามเพิ่มเติมในบริเวณที่มีความลึกของชั้นทรายตื้นโดยใช้ข้อมูลจากลักษณะชั้นดินจากข้อมูลหลุมเจาะจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล สามารถสรุปพื้นที่ที่ศักยภาพในการเติมน้ำได้ในเบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 9-23

ตารางที่ 9-22 ปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือกพื้นที่การเติมน้ำผ่านบ่อแห้ง

ปัจจัย	ระดับความเหมาะสม	คะแนน	ค่าถ่วงน้ำหนัก
ระยะทางจากแหล่งน้ำผิวดิน			50
ไม่เกิน 200 ม.		3	
200-500 ม.		2	
500-1000 ม.		1	
มีการลดของระดับน้ำบาดาล			30
เฉลี่ยปีละมากกว่า 30 ซม.		3	
20-30 ซม.		2	
10-20 ซม.		1	
ความหนาของชั้นน้ำบาดาล			20
มากกว่า 15 ม.	มากที่สุด	3	
10-15 ม.	มาก	2	



รูปที่ 9-15 ตัวอย่างโครงการและพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำบาดาลผ่านฝายเติมน้ำ

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
1	บ.คลองยาง ต.คลองยาง อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย	X: 590774 Y: 1917423	กรวด ทราย 0-3 ม.	18 ม. ไม่ทรุด 6 ม.	คลองชลประทาน/สวน พริก มะม่วง ฝรั่ง มะนาว อ้อย (เริ่มใช้น้ำบาดาลในการปลูกอ้อย)	น้ำฝน คลองระบาย/เกษตรกรรม	ผันน้ำจากคลองระบายเพื่อเติมน้ำผ่านสระเพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง/ ไม่เร่งด่วน	
2	บ.คลองปู ต.คลองยาง อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย	X: 600184 Y: 1917699	กรวด ทราย 0-3 ม.	40-44 ม. ไม่ทรุด (ใช้สูบแบบจุ่ม) - ม.	น้ำฝนและน้ำบาดาล/ ทำนา 3 ครั้ง/ปีและปลูกผักบุ้ง	น้ำฝน คลองระบาย/เกษตรกรรม	ผันน้ำจากคลองระบายเพื่อเติมน้ำผ่านสระเพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง/ เร่งด่วน	
3	บ.คุ้งยาง ต.คลองยาง อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย (โครงการชลประทานสุโขทัย โซน 1)	X: 585907 Y: 1919945	กรวด ทราย 6-10 ม.	30 ม. ทรุด 10 ม. บ่อโครงการชลประทานลึก 120 ม. 13 ม.	น้ำคลอง น้ำบาดาล/ ทำนา 3 ครั้ง/ปี	น้ำฝน แม่น้ำยม/เกษตรกรรม	ผันน้ำจากแม่น้ำยมในฤดูน้ำมากมาเติมน้ำบาดาลผ่านระบบ ASTR เพื่อใช้ในพื้นที่โครงการชลประทานฯ โซน 1 / เร่งด่วนมาก	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/ อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/ การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/ การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
4	บ.นิคมสหกรณ์ ต.คลองมะพลับ อ.ศรีนคร จ.สุโขทัย (โครงการชลประทานสุโขทัย โซน 2)	X: 604230 Y: 1914346	กรวด ทราย 6-10 ม.	บ่อโครงการชลประทานลึก 70-130 ม. - -	น้ำคลอง น้ำบาดาล/ ทำนา 3 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลอง/ เกษตรกรรม	ผันน้ำจากคลองน้ำไหลและคลองแต้วในฤดูน้ำมากมาเติมน้ำบาดาลผ่านระบบสระเติมน้ำเพื่อใช้ในพื้นที่โครงการชลประทานฯ โซน 2/ เร่งด่วน	
5	บ.คุ้งยาง ต.คลองยาง อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย	X: 585907 Y: 1919945	กรวด ทราย 6-10 ม.	30 ม. ทรุด 10 ม. -	น้ำคลอง น้ำบาดาล/ ทำนา 3 ครั้ง/ปี	น้ำฝน แม่น้ำยม เกษตรกรรม	ผันน้ำจากแม่น้ำยมในฤดูน้ำมากมาเติมน้ำผ่านสระเติมน้ำ (ขุดลอกหนอง) เพื่อลดน้ำท่วมและเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง/ เร่งด่วนมาก	
6	บ.ดงไทย ต.นาทุ่ง อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย	X: 582313 Y: 1913568	ทราย กรวดลูกรัง 2-6 ม.	38-40 ม. ทรุด 10-16 ม. 16-20 ม.	คลองชลประทานและน้ำบาดาล/ ทำนา 3 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลอง เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านสระหรือคลอง เพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง วิธีการขึ้นอยู่กับการจัดหาพื้นที่ที่เป็นไปได้ / เร่งด่วนมาก	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
7	บ.ถนนพระร่วง ต.นาทุ่ง อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย	X: 604959 Y: 1827820	ทราย กรวด ลูกรัง 6 ม.	36-40 ม. ทรุด 14 ม. - ม.	คลองชลประทาน และน้ำบาดาล/ ทำนา 3 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลอง เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านสระหรือคลอง เพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง วิธีการขึ้นอยู่กับการจัดหาพื้นที่ที่เป็นไปได้/ เร่งด่วนมาก	
8	บ.ไทยชนะศึก ต.ไทยชนะศึก อ.ทุ่งเสลี่ยม จ.สุโขทัย	X: 567500 Y: 1915831	ทราย 2 ม.	18- 19 ม. ไม่ทรุด - ม.	คลองชลประทาน และน้ำบาดาล/ ทำนา 3 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลอง เกษตรกรรม	น้ำมาก เตรียมทำแผนการเติมน้ำในระยะยาว/ ไม่เร่งด่วน	
9	บ.นาสระลอย ต.บ้านป้อม อ.คีรีมาศ จ.สุโขทัย	X: 583633 Y: 1871593	กรวด ทราย ไม่มีข้อมูล	- ม. - ม. - ม.	น้ำฝน ไม่มีน้ำบาดาล/ ทำนา 1 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลอง เกษตรกรรม	ผันน้ำในคลองมาเติมผ่านสระน้ำในพื้นที่ที่ต้องการเพิ่มผลผลิตจากการทำนาปรังโดยใช้น้ำบาดาล/ ไม่เร่งด่วน	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/ อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การ ทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/ การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/ การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
10	บ.ทุ่งหลวง ต.ทุ่งหลวง อ.คีรีมาศ จ.สุโขทัย	X: 584149 Y: 1865722	กรวด ทราย -	มีการเจาะบ่อแต่ ไม่มีน้ำบาดาล บ่อน้ำประปา บาดาลก็ไม่มีน้ำ	คลองชลประทาน และน้ำฝน/ ทำนา 1-2 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลอง เกษตรกรรม	ผันน้ำในคลองมาเติม ผ่านสระน้ำในพื้นที่ที่ ต้องการเพิ่มผลผลิต จากการทำนาปรังโดย ใช้น้ำบาดาล/ ไม่เร่งด่วน	
11	บ.หนองตูม ต.หนองตูม อ.กงไกรลาศ จ.สุโขทัย	X: 599936 Y: 1863095	กรวด ทราย 6 ม.	8-18 ม. 0-3 ม. 7 ม.	น้ำฝน และน้ำ บาดาล/ ทำนา 2 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลอง เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านสระ หรือคลอง เพื่อกักเก็บ ไว้ใช้ในฤดูแล้ง วิธีการ ขึ้นอยู่กับการจัดหา พื้นที่ที่เป็นไปได้/ ไม่เร่งด่วน	
12	บ.ศรีเจริญ ต.ทับ ยายเชียง อ.วัดโบสถ์ จ.พิษณุโลก	X: 637162 Y: 1896086	กรวด ทราย 6 ม.	4 ม. ไม่ทรุดบ่อ 3-4 ม.	น้ำฝน/ ทำนา 1 ครั้ง/ปี (มีน้ำบาดาลตื้นใช้ อุปโภค)	น้ำฝน อุปโภคบริโภค และ เกษตรกรรม	สร้างฝายเติมน้ำ เติมน้ำ บาดาลเพื่อกักเก็บไว้ใช้ ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับ น้ำบาดาลเพิ่มความชุ่ม ชื้นให้กับพื้นที่ เกษตรกรรม/ ไม่เร่งด่วน	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
13	บ.มุง ต.บ้านมุง อ.เนินมะปราง จ.พิษณุโลก	X: 6680587 Y: 1831909	ตื้น: ตะกอนเชิงเขา/ ลึก: หินปูน หินผุ 0 ม.	5-8 ม. ไม่ทรุดบ่อ 3-4 ม.	น้ำฝน/ ทำนา 1 ครั้ง/ปี บ่อน้ำตื้นใช้ในครัวเรือน ปลูกพืชใช้น้ำน้อย ข้าวโพด ถั่ว	น้ำฝน อุปโภคบริโภค	เติมน้ำบาดาลผ่านสระหรือคลอง เพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง วิธีการขึ้นอยู่กับการจัดหาพื้นที่ที่เป็นไปได้/ ไม่เร่งด่วน	
14	บ.ดงไผ่ ต.วังพิกุล อ.วังทอง จ.พิษณุโลก	X: 642702 Y: 1855802	ตะกอนน้ำพา 6 ม.	ตื้น 24 ม. ลึก 60-80 ม.	คลองชลประทาน ฝน และน้ำบาดาล/ ทำนา 3 ครั้ง/ปี มีบ่อ 30-40 บ่อ (submerge)	น้ำฝน คลองชลประทาน/ เกษตรกรรม	ผันน้ำจากคลองมาเติมน้ำบาดาลผ่านสระ เพื่อฟื้นฟูชั้นน้ำบาดาลตื้น/ ไม่เร่งด่วน	
15	บ.ดินทอง ต.ดินทอง อ.วังทอง จ.พิษณุโลก	X: 653140 Y: 1855874	ตะกอนเชิงเขา 4-6 ม.	6-8 ม. ไม่ทรุดบ่อ 6 ม.	น้ำฝน และใช้น้ำบาดาลตื้น 6-8 ม. ใช้อุปโภค/ ข้าวโพด มัน สัมปะหลัง ทำนา 1 ครั้ง/ปี	น้ำฝน เกษตรกรรม	สร้างสระเติมน้ำ เติมน้ำบาดาลเพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาลเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่เกษตรกรรม/ ไม่เร่งด่วน	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/ อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การ ทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/ การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/ การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
16	บ.คุยม่วง ต.คุยม่วง อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	X: 608694 Y: 1858821	ตะกอนน้ำพา 3 ม.	11-40 ม. 4-14 ม. (2549) 7-8 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล ทำนา 2 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลอง เกษตรกรรม	ผันน้ำจากคลอง ใกล้เคียงเพื่อเติมน้ำ บาดาลผ่านสระที่ขุดไว้ แล้วในพื้นที่ของ อบต. คุยม่วง เพื่อกักเก็บไว้ ใช้ในฤดูแล้ง ช่วย ยกระดับน้ำบาดาล / เร่งด่วน	
17	บ.หล่ายโพธิ์ ต.ปลักแรด อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	X: 619334 Y: 1845244	ตะกอนน้ำพา 2-6 ม.	16 ม. 4-6 ม. (2545) 6-7 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล ทำนา 3 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลอง เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านสระ เพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดู แล้ง ช่วยยกระดับน้ำ บาดาลเพิ่มความชุ่มชื้น ให้กับพื้นที่เกษตรกรรม ลดปัญหาน้ำท่วม / เร่งด่วน	
18	บ.บึงนาราง ต.บึงนาราง กิ่งอ.บึงนาราง จ.พิจิตร	X: 621674 Y: 1790298	ตะกอนน้ำพา 0 ม.	-	น้ำฝน น้ำบาดาล ทำนา 2 ครั้ง/ปี	น้ำฝน เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านสระ เพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดู แล้ง ช่วยยกระดับน้ำ บาดาลเพิ่มความชุ่มชื้น ให้กับพื้นที่เกษตรกรรม ลดปัญหาน้ำท่วม / ไม่เร่งด่วน	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
19	บ.ทุ่งพรหมทอง ต.บางลาย อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร	X: 630601 Y: 1790678	ตะกอนน้ำพา 2-4 ม.	ตื้น 12-30 ม. (น้ำแห้ง) ลึก 60-104 ม. 6-10 ม. 10 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล ทำนา 2 ครั้ง/ปี	น้ำฝน น้ำคลอง เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านสระ โดยผันน้ำจากคลองที่อยู่ใกล้พื้นที่เข้ามาเติมในพื้นที่ที่ใช้น้ำบาดาลมาก เพื่อฟื้นฟูชั้นน้ำบาดาลตื้น กักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง และช่วยลดปัญหาน้ำท่วม / เร่งด่วนมาก	
20	บ.ท้ายน้ำ ต.ท้ายน้ำ อ.โพทะเล จ.พิจิตร	X: 631878 Y: 1785568	ตะกอนน้ำพา 6 ม.	ตื้น 24 ม. ลึก 60 ม. ทรุด 12 ม. -	น้ำฝน น้ำบาดาล ทำนา 2 ครั้ง/ปี	น้ำฝน น้ำคลอง เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านสระ เพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาลเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่เกษตรกรรม/ เร่งด่วนมาก	
21	บ.เนินโพธิ์ ต.ท้ายน้ำ อ.โพทะเล จ.พิจิตร	X: 628924 Y: 1788148	ตะกอนน้ำพา 4-6 ม.	ใช้น้ำลึก80-90ม. 14 ม. -	น้ำฝน น้ำบาดาล ทำนา 2 ครั้ง/ปี	น้ำฝน น้ำคลอง เกษตรกรรม	เติมน้ำผ่านสระเพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาล โดยใช้พื้นที่สาธารณะและใช้น้ำที่ระบายในฤดูฝนจากคลองที่ผ่านพื้น/ เร่งด่วนมาก	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
22	บ.ทะนง ต.ทะนง อ.โพทะเล จ.พิจิตร	X: 629964 Y: 1775740	ตะกอนน้ำพา 4-6 ม.	ตื้น 18 ม. ทรุด 6 ม. ลึก 60 ม. ทรุด 10 ม. -	น้ำฝน น้ำบาดาล ทำนา 2 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลอง เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลเพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาลเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่เกษตรกรรม / เร่งด่วนมาก	
23	บ.หนองประทุม ต.ท่าขมิ้น อ.โพทะเล จ.พิจิตร	X: 630797 Y: 1772466	ตะกอนน้ำพา 2-6 ม.	18-24 ม. ทรุด 10 ม. 6-7 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล ทำนา 2 ครั้ง/ปี	น้ำฝน เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านสระเพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาลเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่เกษตรกรรม/ เร่งด่วนมาก	
24	บ.ท่าเสา ต.ท่าเสา อ.โพทะเล จ.พิจิตร	X: 630299 Y: 1769949	ตะกอนน้ำพา 0 ม.	6-8 ม. ไม่ทรุดบ่อ - ม.	น้ำชลประทาน น้ำบาดาล ทำนา 2 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลอง เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลเพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาลเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่เกษตรกรรม / ไม่เร่งด่วน	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
25	บ.ทุ่งโคราช ต.แหลมรัง อ.บึงนาราง จ.พิจิตร	X: 619982 Y: 1795220	ตะกอนน้ำพา 2-4 ม.	10-12 ม. ไม่ทรุดบ่อ - ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ อ้อย ขิง อ้อย ข้าวโพด	น้ำฝน คลอง เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านสระเพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาลเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่ เกษตรกรรม/ ไม่เร่งด่วน	
26	บ.สามปลัก ต.ไผ่รอบ อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร	X: 618160 Y: 1807186	ตะกอนน้ำพา 2-6 ม.	14-18 ม. ทรุด 6 ม. (2542) 6-8 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ ทำนา 2-3 ครั้ง/ปี นาข้าวและไร่อ้อย	น้ำฝน คลองระบายน้ำ เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านสระโดยใช้น้ำจากคลองระบายน้ำเพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาลเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่ เกษตรกรรม/ เร่งด่วน	
27	บ.ม่วงเฒ่า ต.ไผ่รอบ อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร	X: 615766 Y: 1806961	ตะกอนน้ำพา 2-6 ม.	14-16 ม. ทรุด 4 ม. 7 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ ทำนา 2-3 ครั้ง/ปี นาข้าวและไร่อ้อย	น้ำฝน คลอง เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านบ่อทรายเก่า เพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาลเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่ เกษตรกรรม / เร่งด่วน	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/ อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/ การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/ การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
28	บ.ตลุกหิน ต.วังทับไทร อ.สากเหล็ก จ.พิจิตร	X: 664985 Y: 1821248	ตะกอนน้ำพา -	20 ม. ทรุด 4 ม. (2552) 5-8 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ ทำสวนมะม่วง (80% ใช้น้ำบาดาล)	น้ำฝน เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านสระที่ได้จากการลอกบ่อดินเก่า เพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาล/ เร่งด่วน	
29	บ.หนองพระ ต.หนองพระ อ.วังทรายพูน จ.พิจิตร	X: 664633 Y: 1811920	ทราย หินทราย/ -	- - -	น้ำฝน/ ทำนา 1 ครั้ง/ปี	น้ำฝน เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านสระเพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาลเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่เกษตรกรรม/ ไม่เร่งด่วน	
30	บ.ดงหมอนทอง ต.หนองพระ อ.วังทรายพูน จ.พิจิตร	X: 667226 Y: 1809915	ทราย 4-10 ม.	12 ม. ทรุด 4-5 ม. 6 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ ปลูกถั่วเขียว และทำนา 2-3 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลองระบาย เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลเพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาลเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่เกษตรกรรม/ เร่งด่วน	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
31	บ.หนองอ้ายตู้ ต.ทับคล้อ อ.ทับคล้อ จ.พิจิตร	X: 669957 Y: 1791580	ตะกอนน้ำพา 2 ม.	16 ม. ทรุด 5-6 ม. 6 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ ทำนา 1 ครั้ง/ปี ปลูกผักหน้าแล้ง	น้ำฝน คลองระบาย เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลเพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาลเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่เกษตรกรรม / เร่งด่วน	
32	บ.สำนักขุนเณร ต.สำนักขุนเณร กิ่งอ.ดงเจริญ จ.พิจิตร	X: 664755 Y: 1772047	ตะกอนน้ำพา 5-8 ม.	36 ม. ทรุด 9-18 ม. (2548) 15-20 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ ทำนา 2 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลองระบาย เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลเพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาลเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่เกษตรกรรม / เร่งด่วน	
33	บ.ห้วยคด ต.ท้ายทุ่ง อ.ตะพานหิน จ.พิจิตร	X: 649301 Y: 1782865	ตะกอนน้ำพา 4 ม.	30 ม. ทรุด 5-7 ม. (2540) -	น้ำฝน น้ำชลประทาน น้ำบาดาล/ ทำนา 2-3 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลอง เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านสระโดยใช้น้ำจากคลองระบายหรือคลองชลประทานช่วงน้ำมากเพื่อกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง ช่วยยกระดับน้ำบาดาลเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่เกษตรกรรม / เร่งด่วน	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/ อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การ ทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/ การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/ การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
34	บ.ป่าแดง ต.หนองพะยอม อ.ตะพานหิน จ.พิจิตร	X: 654345 Y: 1798697	ทราย 3-6 ม.	ไม่ใช้บ่อน้ำบาดาลเพื่อการเกษตรกรรม	น้ำฝน คลอง/ ทำนา 2-3 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลองระบาย เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านสระโดยใช้น้ำคลองเพื่อช่วยยกระดับน้ำบาดาลเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่เกษตรกรรม / ไม่เร่งด่วน	
35	บ.บึงบัว ต.บึงบัว อ.วชิรบารมี จ.พิจิตร	X: 611296 Y: 1823900	กรวด ทราย 0-6 ม.	24 ม. ทรุด 4-7 ม. (2540) 8-12 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ ทำนา 1-2 ครั้ง/ปี (บ่อลึก100ม.ใช้สูบแบบจุ่ม)	น้ำฝน คลองระบาย เกษตรกรรม	ผันน้ำคลองเพื่อเติมผ่านสระเพื่อช่วยยกระดับน้ำบาดาล / เร่งด่วน	
36	บ.บึงเฒ่า ต.บึงบัว อ.วชิรบารมี จ.พิจิตร	X: 611582 Y: 1818142	กรวด ทราย 0-1 ม.	8-12 ม. ทรุด 3 ม. (2543) 6-7 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ ทำนา ปลูกข้าวโพด อ้อย	น้ำฝน คลองระบาย เกษตรกรรม	ผันน้ำคลองเพื่อเติมผ่านสระเพื่อช่วยยกระดับน้ำบาดาล / เร่งด่วน	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
37	บ.เนินพลวง ต.เนินสว่าง อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร	X: 642926 Y: 1803117	ทราย 0-3 ม.	20-30 ม. ทรุด 10-14 ม. (2543) -	น้ำฝน น้ำบาดาล/ทำนา 1-2 ครั้ง/ปี (บ่อลึก100ม.ใช้สูบแบบจุ่ม)	น้ำฝน คลองระบาย เกษตรกรรม	ผันน้ำคลองเพื่อเติมผ่านสระเพื่อช่วยยกระดับน้ำบาดาล / เร่งด่วน	
38	บ.เนินตาล ต.ไผ่รอบ อ.โพธิ์ประทับช้าง จ.พิจิตร	X: 629513 Y: 1810071	ทราย 0-4 ม.	ตื้น: 15-30 ม. ทรุด 16 ม. (2543) ลึก: 60-80 ม.ใช้สูบแบบจุ่ม	น้ำฝน น้ำบาดาล/ทำนา 3 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลองระบาย เกษตรกรรม	ผันน้ำคลองเพื่อเติมผ่านสระเพื่อช่วยยกระดับน้ำบาดาล / เร่งด่วน	
39	บ.หนองกรด ต.ประชาสุขสันต์ อ.ลานกระบือ จ.กำแพงเพชร	X: 604959 Y: 1827820	กรวด ทราย 0-2 ม.	14-15 ม. ทรุด 2-4 ม. 8-9 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ทำนา 3 ครั้ง/ปี	คลองระบาย เกษตรกรรม	ผันน้ำคลองเพื่อเติมผ่านสระเพื่อช่วยยกระดับน้ำบาดาล / เร่งด่วน	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
40	บ.ปรือกระเทียม ต.บึงกอก อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	X: 607950 Y: 1844100	กรวด ทราย 1-4 ม.	14-15 ม. 4-6 ม. 8-9 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ทำนา 2-3 ครั้ง/ปี	น้ำฝน ทางระบาย เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านบ่อทรายเก่า โดยผันน้ำที่ระบายจากชุมชนและทางหลวง เพื่อฟื้นฟูชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นและสูบใช้ในฤดูแล้ง/เร่งด่วน	
41	บ.เสวยซุง ต.บึงกอก อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	X: 601860 Y: 1843536	กรวด ทราย 1-4 ม.	14-15 ม. 4-6 ม. 8-9 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ทำนา 2-3 ครั้ง/ปี	น้ำฝน ทางระบาย น้ำ เกษตรกรรม	เติมน้ำบาดาลผ่านบ่อทรายเก่า โดยผันน้ำที่ระบายจากชุมชนและทางหลวง เพื่อฟื้นฟูชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นและสูบใช้ในฤดูแล้ง/เร่งด่วน	
42	บ.หนองนา ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	X: 606674 Y: 1841375	กรวด ทราย 1-4 ม.	14-15 ม. 4-6 ม. 8-9 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ทำนา 2-3 ครั้ง/ปี	น้ำในทางระบายน้ำ เกษตรกรรม	เติมน้ำผ่านฝายเติมน้ำโดยขุดลอกตะกอนหน้าฝายในคลองลานบ้าและเติมน้ำผ่านคลองระบายน้ำ โดยลอกคลองระบายน้ำ เพื่อฟื้นฟูน้ำบาดาลระดับตื้นและกักเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง/เร่งด่วน	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/ อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ ความลึกถึงราย	ความลึกบ่อ/การ ทรุดปอ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/ การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/ การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
43	บ.หนองตะเคียน ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	X: 605920 Y: 1833081	กรวด ทราย 1-4 ม.	14-15 ม. 4-6 ม. 8-9 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ ทำนา 2-3 ครั้ง/ปี	น้ำในทางระบายน้ำ เกษตรกรรม	เติมน้ำผ่านสระ โดยใช้ น้ำที่กักเก็บในสระเก็บ น้ำและปล่อยให้ซึมลงสู่ แหล่งน้ำบาดาล บางส่วน เพื่อฟื้นฟูชั้น น้ำบาดาลระดับตื้นและ นำกลับมาใช้ในฤดูแล้ง/ เร่งด่วน	
44	บ.หนองตะเคียน ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	X: 605920 Y: 1833081	กรวด ทราย 1-4 ม.	14-15 ม. 4-6 ม. 8-9 ม.	น้ำฝน น้ำบาดาล/ ทำนา 2-3 ครั้ง/ปี	น้ำในคลอง เกษตรกรรม	เติมน้ำผ่านฝายเติมน้ำ โดยการลอกฝายกั้นน้ำ และปล่อยให้ซึมลงสู่ แหล่งน้ำบาดาล บางส่วน เพื่อฟื้นฟูชั้น น้ำบาดาลระดับตื้นและ นำกลับมาใช้ในฤดูแล้ง/ เร่งด่วน	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/ อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การ ทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/ การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/ การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
45	บ.บ่อฟ้า ต.หนองหัววัว อ.พรานกระต่าย จ.สุโขทัย	X: 584149 Y: 1865722	กรวด ทราย -	- - -	คลองชลประทาน และน้ำฝน/ ทำนา 1-2 ครั้ง/ปี	น้ำฝน คลอง ชลประทาน เกษตรกรรม	เติมน้ำผ่านคลอง ชลประทานที่ผ่านพื้นที่ ช่วยยกระดับน้ำบาดาล เพิ่มความชุ่มชื้นให้กับ พื้นที่เกษตรกรรม/ ไม่เร่งด่วน	
46	บ.ท่าวิเศษ ต.บ้านใหม่ไชย มงคล อ.ทุ่งเสลี่ยม จ.สุโขทัย	X: 567500 Y: 1915831	ตะกอนเชิงเขา 2-4 ม.	- ไม่ทรุด 3-4 ม.	น้ำฝน/ ทำนา 1 ครั้ง/ปี	น้ำฝน เกษตรกรรมและ อุปโภคบริโภค	เติมน้ำบาดาลผ่านสระ น้ำในไร่นา เพื่อกักเก็บ ไว้ใช้ในฤดูแล้งผ่านบ่อ น้ำตื้นเพิ่มความชุ่มชื้น ให้กับพื้นที่เกษตรกรรม / ไม่เร่งด่วน	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
47	บ.บึงกอก ต.บึงกอก อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก	X: 610000 Y: 1845000	ตะกอนน้ำพา 2 ม.	18- 19 ม. ไม่ทรุด - ม.	คลองชลประทาน และน้ำบาดาล/ ทำนา 3 ครั้ง/ปี	น้ำฝน / อุปโภคบริโภค	เติมน้ำบาดาลจากการ เก็บเกี่ยวน้ำฝน / เร่งด่วน	
48	อ.วชิรบารมี	X: 605438 Y: 1824419	ตะกอนน้ำพา 2-4 ม.	- - -	-	น้ำในคลองระบาย น้ำข้างถนน	เติมน้ำบาดาลผ่านการ ขุดลอกคลองระบายน้ำ ตามแนวถนน กำแพงเพชร - พิจิตร/ ไม่เร่งด่วน	
49	อ่างเก็บน้ำแม่สูง ต.ป่างิ้ว อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย	X: 575099 Y: 1940690	-	- - -	น้ำฝน น้ำ ชลประทาน/ ทำนา ไร่	อ่างเก็บน้ำ/ เกษตรกรรมและ อุปโภคบริโภค	ศึกษาการเติมน้ำ บาดาลจากอ่างเก็บน้ำ ไม่เร่งด่วน	

ตารางที่ 9-23 ตำแหน่งสำรวจพื้นที่ที่มีศักยภาพการเติมน้ำและวิธีการเติมน้ำที่เสนอแนะ (ต่อ)

ลำดับ	บ้าน/ตำบล/อำเภอ/จังหวัด	ตำแหน่ง	ชั้นน้ำบาดาล/ความลึกถึงทราย	ความลึกบ่อ/การทรุดบ่อ/ระดับน้ำ	แหล่งน้ำใช้/การใช้ที่ดิน	แหล่งน้ำดิบ/การใช้ประโยชน์	วิธีการ/ระดับความเร่งด่วน	ภาพประกอบ
50	อ่างเก็บน้ำบ้านบางลาด ต.หนองหัววัว อ.พรานกระต่าย จ.กำแพงเพชร	X:559166 Y: 1856532	-	- - -	น้ำฝน น้ำชลประทาน/ทำนา ไร่	อ่างเก็บน้ำ/เกษตรกรรมและอุปโภคบริโภค	ศึกษาการเติมน้ำบาดาลจากอ่างเก็บน้ำไม่เร่งด่วน	
51	อ่างเก็บน้ำคลองข้างใน ต.ศรีคีรีมาศ อ.คีรีมาศ จ.สุโขทัย	X:577437 Y: 1861863	-	- - -	น้ำฝน น้ำชลประทาน/ทำนา ไร่	อ่างเก็บน้ำ/เกษตรกรรมและอุปโภคบริโภค	ศึกษาการเติมน้ำบาดาลจากอ่างเก็บน้ำไม่เร่งด่วน	
52	ฝายบ้านคุยกลาง อ.คีรีมาศ จ.สุโขทัย	X: 587058 Y: 1860168	กรวด ทราย 1-4 ม.	- - -	น้ำฝน น้ำชลประทาน/ทำนา ไร่	น้ำในคลอง/เกษตรกรรม	ศึกษาการเติมน้ำบาดาลจากฝาย/ไม่เร่งด่วน	

บทที่ 10
สรุปและข้อเสนอแนะ

กรมทรัพยากรน้ำบาดาลได้จัดทำโครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลหรือชั้นน้ำใต้ดินที่เป็นตะกอนกรวดและทรายผ่านระบบสระน้ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่างครอบคลุมพื้นที่ จ.พิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ.2552 - เมษายน พ.ศ.2554 เพื่อแก้ไขปัญหาการลดระดับของน้ำบาดาลในระดับตื้นและป้องกันการขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตรกรรม โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาทดลองวิธีการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาลผ่านระบบสระน้ำหรือระบบอื่นๆ 2) ศึกษากระบวนการทางกายภาพ ชลศาสตร์ และเคมีของการเติมน้ำ 3) เป็นแนวทางการแก้ไขปัญหาภัยแล้งและอุทกภัยเชิงบูรณาการ 4) นำผลการศึกษาวิจัยและทดลองเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติ และ 5) สร้างองค์ความรู้และการถ่ายทอดเทคโนโลยี การดำเนินงานประกอบด้วยงานที่สำคัญ ได้แก่ การศึกษาสภาพอุทกธรณีวิทยา การศึกษาการใช้น้ำบาดาล การคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมการทดลองเติมน้ำผ่านสระ การศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์ การศึกษาแนวทางการจัดทำแผนหลักเพื่อแก้ไขปัญหาการลดระดับน้ำบาดาล การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องและประชาชน และการจัดประชุมนำเสนอและเผยแพร่ผลการศึกษา

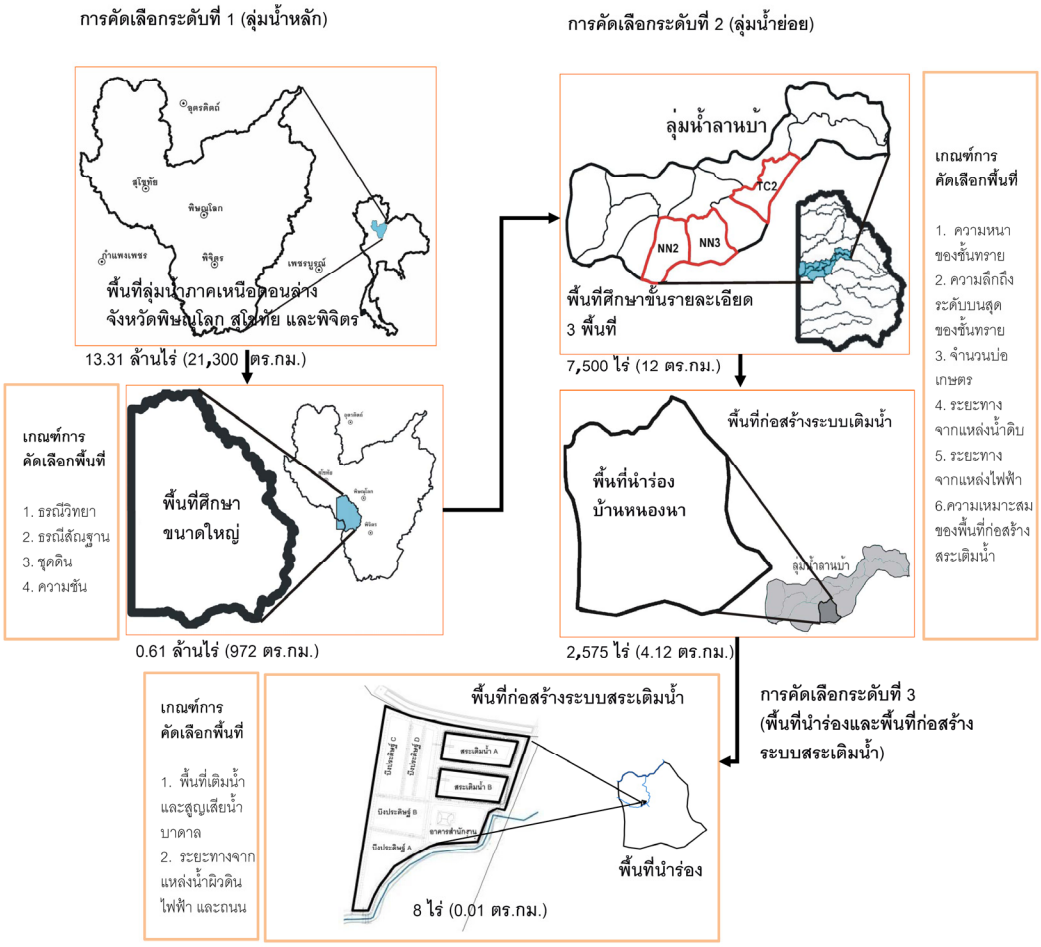
10.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็นพื้นที่ 5 ขนาด (รูปที่ 10-1) ตามขั้นตอนการคัดเลือกพื้นที่เหมาะสมในการเติมน้ำ คือ 1) พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จ.พิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร ขนาด 13.31 ล้านไร่ หรือ 21,300 ตร.กม. 2) พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่บริเวณด้านตะวันตกของแม่น้ำยมขนาด 6 แสนไร่ หรือ 972 ตร.กม. 3) พื้นที่ศึกษาขั้นรายละเอียดในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองลานบ้าขนาด 7,500 ไร่ หรือ 12 ตร.กม. 4) พื้นที่นำร่องบ้านหนองนา 2,575 ไร่ หรือ 4.12 ตร.กม. และ 5) พื้นที่ก่อสร้างระบบเติมน้ำ 8 ไร่ หรือ 0.01 ตร.กม. ตั้งอยู่ที่บ้านหนองนา ต.หนองกุลา อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก พื้นที่ศึกษาทั้งหมดได้นำเสนอในรูปแบบแผนที่และภาพตัดขวางทางอุทกธรณีวิทยาของชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้น สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำยมตอนล่างและพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยลานบ้าได้จัดทำเป็นแผนที่อุทกธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:50,000 และมาตราส่วน 1:10,000 ตามลำดับ

พื้นที่นำร่องบ้านหนองนาเป็นพื้นที่เหมาะสมในการก่อสร้างระบบสระเติมน้ำตามวิธีการคัดเลือกแบบ Boolean (Saraf, 2004) เนื่องจากมีความเหมาะสมมากที่สุดด้านอุทกธรณีวิทยา ได้แก่ ดินเหนียวหรือดินถมมีขนาดบางน้อยกว่า 3 ม. ชั้นกรวดทรายระดับตื้นมีความหนาและต่อเนื่องประมาณ 10-15 ม. จำนวนบ่อเกษตรประมาณ 100 บ่อ รวมทั้งมีความเหมาะสมด้านระยะทางจากแหล่งน้ำดิบ ไฟฟ้า ถนน และได้รับความร่วมมือจากประชาชนและหน่วยงานในท้องถิ่น

ผลการศึกษาสมดุลของน้ำบาดาลโดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในพื้นที่นำร่องบ้านหนองนาและพื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ในปัจจุบัน (พ.ศ. 2543) ซึ่งพบว่า ระบบน้ำบาดาลขาดดุล 0.23 ล้าน ลบ.ม. และ 51 ล้าน ลบ.ม. ทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลงปีละ 25 ซม. และ 26 ซม.ตามลำดับ ภายใน 20 ปี

ข้างหน้าหากไม่มีการเพิ่มเติมน้ำหรือลดปริมาณการใช้น้ำบาดาลชั้นหินอุ้มน้ำระดับตื้นอาจเสียหายอย่างถาวร



รูปที่ 10-1 ขั้นตอนการคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

10.2 การทดลองเติมน้ำ การประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนเบื้องต้น

การทดลองเติมน้ำ การประเมินค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนเบื้องต้น สรุปได้ดังนี้

1) การออกแบบและก่อสร้างระบบเติมน้ำ มีองค์ประกอบของระบบเติมน้ำผ่านสระ เช่น ระบบผันน้ำดิบด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ระบบการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบด้วยบึงประดิษฐ์ สระเติมน้ำ อาคารสำนักงานสนามและระบบควบคุม ระบบบำรุงรักษา และระบบประเมินผลการเติมน้ำ

2) การทดสอบระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ ในช่วงฤดูฝน (ก.ค. - ต.ค. 2553) จำนวน 18 การทดลอง พบว่า บึงประดิษฐ์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบสำหรับการเติมน้ำผ่านระบบสระ ได้แก่ บึงประดิษฐ์ที่ปลูกด้วยกกสามเหลี่ยม และอัตราการไหลของน้ำผ่านบึง 9.5 ลบ.ม./ชม. ซึ่งสามารถลดความขุ่นได้ร้อยละ 67

3) การทดลองเติมน้ำผ่านสระ พบว่า

(3.1) ปริมาณน้ำที่เติมได้ทั้งหมด 25,797 ลบ.ม. และอัตราการเติมน้ำอยู่ในช่วง 0.05 - 2.05 ม./วัน (60-2,460 ลม.ม./วัน/ตร.ม.)

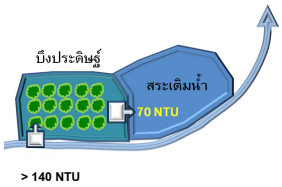
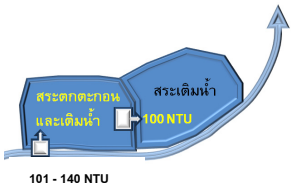
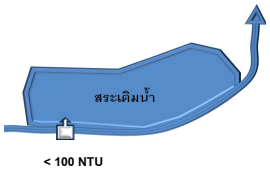
(3.2) การใช้และไม่ใช้วัสดุกรองสังเคราะห์ปูที่พื้นสระ มีค่าอัตราการซึมต่างกันน้อยมาก

(3.3) ลักษณะการซึมสามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วง คือ ช่วงวันที่ 1-4, 5-8, 9-15 และ 16-30 มีอัตราการซึม 0.14 ถึง 0.79, 0.78 ถึง 0.28, 0.27 ถึง 0.16 และ 0.15 ถึง 0.07 ม./วัน ตามลำดับ ซึ่งอัตราการซึมน้อยกว่า 0.15 ม./วัน เป็นช่วงที่เกิดการอุดตัน

(3.4) การประเมินปริมาณการเติมน้ำใต้ดินผ่านสระในช่วงฤดูฝน (ระยะเวลา 4 เดือน) กรณีน้ำที่ใช้เติมมีความขุ่น 70, 100 และ 140 NTU จะต้องมีการทำความสะอาดสระเติมน้ำอย่างน้อยปีละ 1, 2 และ 4 ครั้งตามลำดับ การเติมน้ำจึงจะมีประสิทธิภาพ และกรณีน้ำที่ใช้เติมมีความขุ่น 70 NTU และมีการทำความสะอาด 4 ครั้ง จะมีปริมาณการเติมน้ำสูงสุดประมาณ 63,000 ลบ.ม./ปี

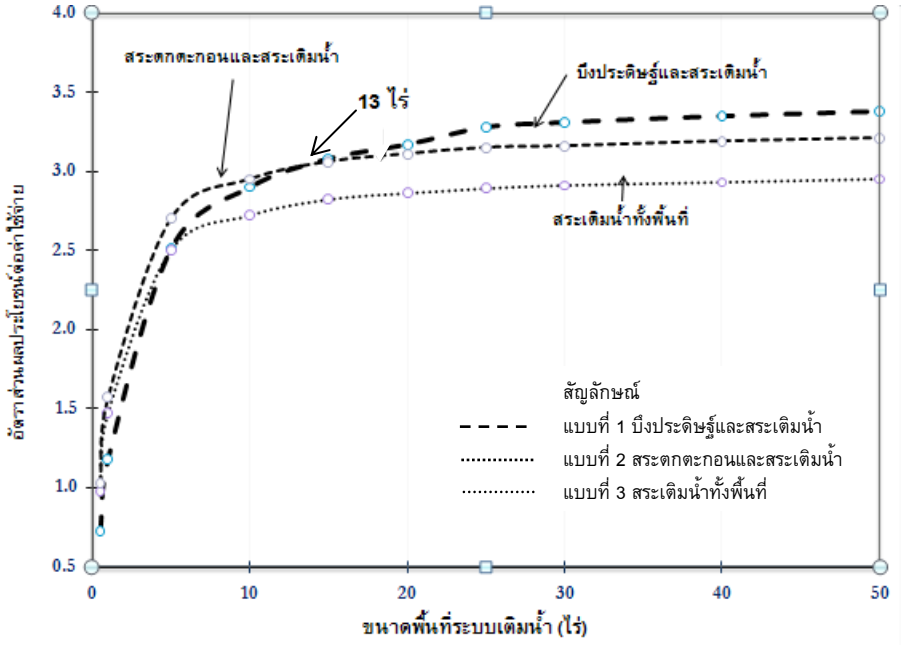
(3.5) แนวทางในการพัฒนาโครงการลักษณะนี้ในอนาคต 3 แบบ ดังนี้ (1) การออกแบบเป็นบึงประดิษฐ์และสระเติมน้ำในกรณีที่น้ำดิบมีความขุ่นมากกว่า 140 NTU (2) การออกแบบเป็นสระตกตะกอนและเติมน้ำในกรณีที่น้ำดิบมีความขุ่นอยู่ในช่วง 101-140 NTU และ (3) การออกแบบเป็นสระเติมน้ำทั้งพื้นที่ในกรณีที่น้ำดิบมีความขุ่นน้อยกว่า 100 NTU (ตารางที่ 10-1)

ตารางที่ 10-1 ความเหมาะสมของระบบเติมน้ำแบบต่างๆ

แบบที่ 1 (บึงประดิษฐ์และสระเติมน้ำ)  	เหมาะสำหรับแหล่งน้ำดิบที่มีความขุ่นมากกว่า 140 NTU มีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายสูงเมื่อระบบเติมน้ำมีพื้นที่ตั้งแต่ 10 ไร่ขึ้นไป และจะมีจุดคุ้มทุนภายในระยะเวลา 3 ปี
แบบที่ 2 (สระตกตะกอนและสระเติมน้ำ)  	เหมาะสำหรับแหล่งน้ำดิบที่มีความขุ่นระหว่าง 101 - 140 NTU มีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายสูงเมื่อระบบเติมน้ำมีพื้นที่ตั้งแต่ 10 ไร่ขึ้นไป และจะมีจุดคุ้มทุนภายในระยะเวลา 3 ปี
แบบที่ 3 (สระเติมน้ำทั้งพื้นที่)  	เหมาะสำหรับแหล่งน้ำดิบที่มีความขุ่นไม่เกิน 100 NTU มีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายสูงเมื่อระบบเติมน้ำมีพื้นที่ตั้งแต่ 10 ไร่ขึ้นไป และจะมีจุดคุ้มทุนภายในระยะเวลา 4 ปี

4) การติดตามผลกระทบด้านระดับและคุณภาพน้ำบาดาล การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 3.33 ม. น้ำบาดาลมีทิศทางการไหลจากพื้นที่สระเติมน้ำไปยังบริเวณโดยรอบสระและด้านทิศเหนือด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.07 ม./วัน การติดตามตรวจวัดคุณภาพน้ำบาดาลทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ยังไม่พบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำที่มีนัยสำคัญ

5) ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของระบบเติมน้ำนำร่องด้วยวิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายพบว่า หากขยายผลไปยังพื้นที่อื่นๆ ระบบเติมน้ำควรมีขนาดตั้งแต่ 10 ไร่ ขึ้นไปจึงจะคุ้มทุนภายในระยะเวลา 3 ปี (รูปที่ 10-2)



รูปที่ 10-2 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดระบบเติมน้ำและอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย

10.3 แนวทางการจัดทำแผนหลักและการแก้ไขปัญหาการลดระดับน้ำบาดาล

10.3.1 แนวทางการจัดทำแผนหลักการจัดการเติมน้ำบาดาล

แผนหลักการจัดการเติมน้ำบาดาลสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร ควรประกอบด้วย องค์ความรู้ กฎหมายและกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง การวางแผน การปฏิบัติตามแผน การจัดการ การวิจัย และการปฏิบัติตามกลยุทธ์

ปัจจัยความสำเร็จของการพัฒนาโครงการเติมน้ำบาดาล ประกอบด้วย ความต้องการโครงการ แหล่งน้ำดิบ ชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล คุณภาพน้ำ วิธีการเติมน้ำ โดยคำนึงถึงประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม กฎหมาย เศรษฐศาสตร์ สังคม การจัดการ และการเตรียมความพร้อมขององค์กร ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการดำเนินการด้านสถาบันและอำนาจหน้าที่ในการจัดการเติมน้ำบาดาล

การพัฒนาโครงการเติมน้ำบาดาลควรแบ่งเป็น 4 ระยะ คือ ระยะก่อนศึกษาความเหมาะสม ระยะศึกษาความเหมาะสม ระยะดำเนินการ และระยะเดินระบบและบำรุงรักษา

10.3.2 แนวทางการแก้ไขปัญหาการลดระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา

การแก้ไขปัญหาการลดระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาด้วยการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินด้วยวิธีการที่เหมาะสมโดยอาศัยผลการศึกษาจากแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์พบว่ามีแนวทางดำเนินการดังนี้

1) พื้นที่นำร่องบ้านหนองนา ควรมีการเติมน้ำผ่านสระเพื่อให้ระบบน้ำบาดาลเกิดความสมดุลต้องเติมน้ำประมาณ 0.23 ล้าน ลบ.ม. และใช้พื้นที่สระเติมน้ำ 6 ไร่ และหากต้องการให้ระดับน้ำบาดาลปรับตัวสูงขึ้น 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี โดยปริมาณการสูบใช้น้ำบาดาลเท่าเดิม ต้องเติมน้ำประมาณ 1.80 ล้าน ลบ.ม. และใช้พื้นที่สระเติมน้ำ 11 ไร่

2) พื้นที่ศึกษาขนาดใหญ่ ควรมีการเติมน้ำผ่านสระเพื่อให้ระบบน้ำบาดาลเกิดความสมดุลต้องเติมน้ำประมาณ 51 ล้าน ลบ.ม. และใช้พื้นที่สระเติมน้ำ 1,775 ไร่ และหากต้องการให้ระดับน้ำบาดาลปรับตัวสูงขึ้น 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี โดยปริมาณการสูบใช้น้ำบาดาลเท่าเดิม ต้องเติมน้ำประมาณ 1,060 ล้าน ลบ.ม. และใช้พื้นที่สระเติมน้ำ 2,975 ไร่

3) พื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่างควรมีการเติมน้ำผ่านสระและเติมน้ำผ่านบ่อทรายเก่า เพื่อให้ระบบน้ำบาดาลเกิดความสมดุลภายในระยะเวลา 10 ปี ต้องใช้พื้นที่สระเติมน้ำ 8,075 ไร่ และพื้นที่บ่อทราย 2,550 ไร่ ซึ่งพื้นที่ได้รับประโยชน์มีประมาณ 146,700 ไร่ และหากต้องการให้ระดับน้ำบาดาลปรับตัวสูงขึ้น 2 ม. ในระยะเวลา 10 ปี ควรเติมน้ำในพื้นที่วิกฤติที่มีระดับน้ำบาดาลลึกมากกว่า 8 ม. ด้วยปริมาณ 1,044 ล้าน ลบ.ม./ปี โดยใช้พื้นที่เติมน้ำ 16,388 ไร่ และพื้นที่บ่อทราย 2,550 ไร่ ซึ่งพื้นที่ได้รับประโยชน์มีประมาณ 365,000 ไร่

ทั้งนี้การพัฒนาระบบเติมน้ำให้เกิดผลสัมฤทธิ์ควรดำเนินการตามแผนบูรณาการการพัฒนาระบบเติมน้ำระหว่างกรมทรัพยากรน้ำบาดาลร่วมกับหน่วยงานราชการต่างๆ เช่น องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กรมชลประทาน กรมป่าไม้ กรมอุทยานสัตว์ป่าและพันธุ์พืช กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท เป็นต้น

10.4 ข้อเสนอแนะ

การดำเนินงานด้านการเติมน้ำผ่านสระในขั้นต่อไปควรคำนึงถึงปัจจัยด้านการปรับปรุงประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ การประเมินการอุดตันระดับลึกและการอุดตันทางชีวเคมี การปนเปื้อนในชั้นหินอุ้มน้ำ และผลกระทบเนื่องจากการขยายผลการศึกษาให้ครอบคลุมพื้นที่และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ดังนี้

1) การปรับปรุงประสิทธิภาพของบึงประดิษฐ์ เพื่อให้การเติมน้ำมีประสิทธิภาพและยั่งยืน รวมทั้งลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยบึงประดิษฐ์อาศัยกระบวนการทางธรรมชาติจึงไม่ต้องใช้สารเคมี กระบวนการสำคัญได้แก่ การตกตะกอน การดูดซึมของพืชและสาหร่าย การดูดซับของตะกอน การเปลี่ยนรูปทางเคมีในน้ำ การกรองผ่านพืชหรือจุลินทรีย์ที่ตาย และการซึมผ่านตะกอน (Hammer, 1989; Bavor and Mitcell, 1994) งานที่ควรดำเนินการเพิ่มเติม ได้แก่ การศึกษาแนวทางการลดความขุ่นของน้ำในบึงประดิษฐ์ให้ได้ประมาณร้อยละ 90 โดยพิจารณาชนิดและความหนาแน่นของพืช (พืชพืชถิ่นที่เหมาะสม คือ กกสามเหลี่ยม) ปริมาณตะกอนที่กำจัดได้ เวลา

ที่น้ำเดินทาง เพื่อให้ความขุ่นของน้ำที่ใช้เติมมีค่าต่ำกว่า 50 NTU ควรควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่านบึงประดิษฐ์ให้มีค่าไม่เกิน 10 ลบ.ม./ชม. และความขุ่นของน้ำดิบที่จุดเข้าบึงประดิษฐ์มีค่าไม่เกิน 150 NTU ควรทำการทดลองในระยะเวลานานกว่า 100 วัน รวมทั้งควรมีผู้เชี่ยวชาญด้านบึงประดิษฐ์ให้คำแนะนำ

2) การประเมินการอุดตันระดับลึกและการอุดตันทางชีวเคมี ซึ่งการอุดตันจากการเติมน้ำผ่านสระสามารถเกิดได้ที่พื้นสระและในชั้นดินใต้พื้นสระ จากกระบวนการทางกายภาพ เคมี หรือชีวภาพ งานที่ควรดำเนินการเพิ่มเติม ได้แก่ การหาความลึกของการอุดตันในชั้นดินด้วยการติดตามตรวจวัดแรงดันและคุณภาพน้ำในชั้นดินใต้พื้นสระ การศึกษารายละเอียดของดินและการเปลี่ยนแปลงความพรุนของดินทั้งในห้องปฏิบัติการและการทดลองในภาคสนาม (Pavelic et al., 2007)

3) การปนเปื้อนในชั้นหินอุ้มน้ำเนื่องจากการเติมน้ำผ่านสระ ต้องมีการศึกษาคุณภาพน้ำผิวดินที่ใช้เติมและคุณภาพน้ำบาดาลเบื้องต้นของพื้นที่นั้นๆ ว่ามีสารปนเปื้อนที่อาจกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กระทบต่อการใช้น้ำเพื่อการเกษตรหรือการอุปโภคบริโภคหรือไม่ การเก็บตัวอย่างน้ำต้องดำเนินการตามหลักวิชาการและส่งวิเคราะห์กับห้องปฏิบัติการมาตรฐาน โดยวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ไอออนหลัก โลหะหนัก ปุ๋ย สารกำจัดวัชพืช อินทรียสาร รวมทั้งจุลินทรีย์ที่ก่อเชื้อโรค มีการติดตามตรวจสอบทั้งคุณภาพน้ำที่ใช้เติมและน้ำบาดาลเพื่อศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเติมน้ำ รวมทั้งขอบเขตการปนเปื้อนในน้ำบาดาล

4) ผลกระทบเนื่องจากการขยายผลการศึกษาให้ครอบคลุมพื้นที่และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม สำหรับน้ำผิวดินที่ใช้เติมในพื้นที่นำร่องบ้านหนองนานับว่ามีปริมาณน้อยมากคือมีปริมาณเพียง 28,000 ลบ.ม.ในช่วงฤดูฝน และทั้งปีมีปริมาณเพียง 100,000 ลบ.ม. ซึ่งจะไม่สร้างผลกระทบเสียหายต่อระบบน้ำบาดาลหากมีการเติมน้ำผ่านสระเมื่อเทียบกับการเติมน้ำทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำภาคเหนือตอนล่าง ดังนั้นการขยายผลการเติมน้ำให้ครอบคลุมทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำควรพิจารณาประเด็นที่สำคัญดังนี้

(4.1) การเติมน้ำเพื่อรักษาสมดุลหรือเพื่อยกระดับน้ำบาดาลขึ้น 2 ม. อาจต้องใช้ระบบเติมน้ำประมาณ 700 แห่ง จึงต้องศึกษาวิธีดำเนินงานที่ไม่ส่งผลกระทบทั้งด้านเศรษฐกิจและสังคมต่อผู้ใช้น้ำด้านท้ายน้ำ

(4.2) กำหนดรูปแบบการใช้น้ำจากระบบการจัดการเติมน้ำเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ควรมีหน่วยงานหลักในการจัดเตรียมระบบเติมน้ำ การจัดการระบบเติมน้ำแบบเต็มระบบเพื่อช่วยลดพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมในพื้นที่ท้ายน้ำ

(4.3) การประเมินทรัพยากรแหล่งน้ำผิวดินเพื่อให้ทราบถึงปริมาณการไหลของน้ำผิวดินและช่วงเวลาที่มีปริมาณน้ำสูงสุดในแต่ละปี เพื่อกำหนดช่วงเวลาเติมน้ำได้อย่างเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน, 2540. การศึกษาเพื่อหาวิธีเหมาะสมเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำสำรองทางการเกษตร, โครงการพัฒนาน้ำบาดาลเพื่อการชลประทาน อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย, เสนอโดย บริษัท ปัญญาคอนซัลแตนท์ จำกัด และ Tahal Consulting Engineers LTD.

กรมชลประทาน, 2546. โครงการศึกษาเพื่อทำแผนหลักรองรับการพัฒนาแหล่งน้ำและปรับปรุงโครงการชลประทาน สำหรับแผนฯ 9, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรธรณี, 2519. แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1 : 250,000, กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม.

กรมทรัพยากรธรณี, 2529. รายงานวิชาการ ฉบับที่ สธว. 23/2529, สำนักธรณีวิทยา, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรธรณี, 2539. แผนที่น้ำบาดาลจังหวัดสุโขทัย พิจิตร และพิษณุโลก, กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม.

กรมทรัพยากรธรณี, 2543. โครงการสำรวจออกแบบการระบายน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล พื้นที่ลุ่มน้ำแม่อาว จังหวัดลำพูน, เสนอโดยบริษัท วอเตอร์ รีซอร์ช เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด.

กรมทรัพยากรธรณี, 2544. ธรณีวิทยาประเทศไทย, เฉลิมพระเกียรติพระบาทมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเนื่องในโอกาสพระราชพิธีมหามงคล เฉลิมพระชนพรรษา 6 รอบ 5 ธันวาคม 2542, กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม, หน้า 199.

กรมทรัพยากรธรณี, 2545. โครงการศึกษาประเมินศักยภาพแหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ ระยะที่ 3 และการสำรวจออกแบบระบบเติมน้ำ, เสนอโดยบริษัท ปัญญาคอนซัลแตนท์ จำกัด และ Tahal Consulting Engineers LTD.

กรมทรัพยากรธรณี, 2549. รายงานวิชาการ ฉบับที่ สธว. 23/2549, กรุงเทพฯ: สำนักธรณีวิทยา,

กรมทรัพยากรธรณี, 2551. แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1: 50,000 ระวางอำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร (4942 II) ระวางอำเภอวชิรบารมี จังหวัดพิจิตร (5042 III), กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2548. โครงการศึกษาออกแบบก่อสร้างระบบเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล พื้นที่ลุ่มแม่น้ำชายฝั่งตะวันออก, เสนอโดยบริษัท ปัญญาคอนซัลแตนท์ จำกัด.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2549. การศึกษาการใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินบริเวณภาคกลางตอนบน, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550.รายงานวัดระดับน้ำบ่อสังเกตการณ์ภาคเหนือ, กรุงเทพฯ: สำนักอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจัดทำมาตรฐานการเจาะ สำรวจ และพัฒนาบ่อน้ำบาดาล (เล่มที่ 10/10), เสนอโดยมหาวิทยาลัยขอนแก่น.

กรมพัฒนาที่ดิน, 2543. แผนที่กลุ่มชุดดิน มาตราส่วน 1:50,000 (รายงานการใช้ประโยชน์ที่ดินรายจังหวัด), กรุงเทพฯ.

กรมโยธาธิการ, 2541 ก. การศึกษาทดลองอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดินบริเวณจังหวัดกำแพงเพชร, เสนอโดยศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมโยธาธิการ, 2541 ข. การศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรมโครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำใต้ดินจังหวัดสุโขทัย โดยศูนย์บริการวิชาการจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมอุตุนิยมวิทยา, 2552. ข้อมูลสภาพอากาศจังหวัดพิษณุโลก พิจิตร และสุโขทัย ปี 2540-2550, กรุงเทพฯ.

กรมอุตุนิยมวิทยา, 2553. ข้อมูลสภาพอากาศจังหวัดกำแพงเพชร ปี 2543-2552, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20, 2543. กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น, ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิชัย ศรีบุญลือ, 2552. อุทกวิทยา. ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2552. แผนที่แสดงน้ำท่วมตั้งแต่เดือนพฤษภาคม - ตุลาคม 2549, http://www.thaiwater.net/current/FloodAugToSep49.html

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2552. Gross Provincial Product (2009 Edition), http://www.nesdb.go.th/

สุจยา ยอดเพชร และเดชา นาวานุเคราะห์, 2544. การศึกษาคุณภาพน้ำแม่น้ำยม, วารสารวิจัยและฝึกอบรม พ.ค.-ส.ค. 2544, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. หน้า 21-32.

Abu-Taleb, M. F., 2003. Recharge of Ground-Water through Multi-Stage Reservoirs in a Desert Basin, Environmental Geology, 44:379-390.

Akan, A.O., 2006. Open Channel Hydraulics, Amsterdam: Elsevier.

American Society of Civil Engineers, 2001. Standard Guidelines for Artificial Recharge of Ground Water, EWRI/ASCE 34-01. ISBN: 0784405484.

Anbazhagan, S., Ramasamy, S.M., and Gupta, D.S., 2005. Remote Sensing and GIS for Artificial Recharge Study, Runoff Estimation and Planning in Ayyar Basin, Tamil Nadu. India Environ Geol, 48: 158-170.

Anderson, M.P., and Woessner, W.W., 1992. Applied Groundwater Modeling, Simulation of Flow and Advective Transport : Academic Press, Inc., 381 p.

Asano, T. 1985. Artificial Recharge of Ground-water, Butterworth Publishers, Boston, 767 pp.

Bavor, H.J., and Mitchell, D.S. 1994. Wetland Systems in Water Pollution Control [Eds.], Water Sci. Technol. 29(4), 336p.

Boogaard, F., Bruins, G., and Wentink, R., 2006. Wadi's: Aanbevelingen Voor Ontwerp, Aanleg en Beheer, Stichting RIONED.

Botzan, T.M., Necula, A.I., Marino, M.A., and Basa-gaoglu, H. 1999. Benefit-Cost Model for an Artificial Recharge Scenario in the San Joaquin Valley, California, Water Resources Management 13: 189-203.

Bouwer, H., 2002. Artificial Recharge of Groundwater: Hydrogeology and Engineering, Hydrogeology Journal, 10:121–142.

Bouwer, H., and Rice, R. C. 1989. Effect of Water Depth in Groundwater Recharge Basins on Infiltration Rate, Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 115(4): 556-568.

Braskerud, B.C. 2003. Clay particle retention in small constructed wetlands, Water Research 37 (2003) 3793–3802.

Brown, C.J., Hatfield, K., Newman M. 2006. Lessons Learned from a Review of 50 ASR Projects from the United States, England, Australia, India, and Africa, 2006 UCOWR Annual Conference Increasing Freshwater Supplies, Santa Fe, New Mexico, USA.

California Department of Water Resources (CDWR). 1991. California Well Standards, Water Wells, Monitoring Wells, Cathodic Protection Wells, Bulletin 74-90, Sacramento, CA.

Central Arizona Project. 2009. Agua Fria Recharge Project, Operations, http//:www.cap-az.com/operations/recharge/aguafria

Central Ground Water Board. 2000. Guide on Artificial Recharge to Ground Water, Ministry of Water Resources, New Delhi, May, 2000.

Central Groundwater Board. 2002. Master Plan for Artificial Recharge to Ground Water in India. Ministry of Water Resources, New Delhi, India.

Cruise, J.F., Sherif, M.M., and Singh, V. 2007. Elementary Hydraulics. Toronto, Thomson/ Nelson.

Dillon, P.J. 2005. Future Management of Aquifer Recharge, Hydrogeol J (2005) 13:313–316.

Dillon, P.J. and Molloy, R. 2006. Developing Aquifer Storage and Recovery (ASR) Opportunities in Melbourne, Technical Guidance for ASR, CSIRO Land and Water Science Report 4/06.

Dillon, P.J. and Pavelic, P. 1996. Guidelines on the quality of stormwater and treated wastewater for injection into aquifers for storage and reuse. Urban Water Research Association of Australia Research Report No. 109.

Dillon, P.J., Pavelic, P., Page, D., Beringen, H., and Ward, J. 2009. Managed Aquifer Recharge: An Introduction, Waterlines Report Series No. 13, Australia: the National Water Commission.

Domenico, P.A., and Schwartz, F.W. 1998. Physical and Chemical Hydrogeology, New York: John Wiley and Sons, 824 p.

Donovan, D.J., Katzer, T., Brothers, K., Cole, E., and Johnson, M. 2002. Cost-Benefit Analysis of Artificial Recharge in Las Vegas Valley, Nevada, J. Water Resour. Plng. and Mgmt., 128 (5): 356-365.

Dyhouse, G., Hatchett, J., and Benn, J. 2003. Floodplain Modeling using HEC-RAS, Waterbury,Conn.: Haestad Press.

Esfandiari-Baiat, M., and Rahbar, G. 2004. Monitoring of Inflow and Outflow Rate from Kaftari Artificial Recharge of Groundwater System in Dorz-Sayban Region in South-Eastern Iran.

FAO. 1992. Crop Water Requirements (Paper No 24), Rome.

FAO. 1998. Irrigation and Drainage (Paper No 56), Rome.

FAO. 2009. Infiltration Rate and Infiltration Test, Annex 2, http://www.fao.org/docrep/

Farr, E., and Henderson, W.C., 1986. Land Drainage, Longman Group Limited, New York.

Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO). 1984. Irrigation and Drainage (Paper No 24), Rome.

Fotheringham, S., Rogerson, P., 1995. Spatial Analysis and GIS, Taylor & Francis, London.

Fowler, L.C. 1995. Operation and maintenance of ground water facilities. American Society of Civil Engineers.

Ghayoumian, J., Mohseni Saravi, M., Feiznia, S., Nouri, B., and Malekian, A. 2007. Application of GIS Techniques to Determine Areas Most Suitable for Artificial Groundwater Recharge in a Coastal Aquifer in Southern Iran, Journal of Asian Earth Sciences, 30: 364–374.

Guymon, G.L. 1994. Unsaturated Zone Hydrology, New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 210 pp.

Hammer, D.A. 1989. Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and Agricultural, Lewis Publishers, 831p.

Hansen, C.V. and Aucott, W.R. 2000. Status of Groundwater Level and Storage Volume in the Equus Beds Aquifer Near Wichita Kansas, January 2000-2003: U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 03-4298.

Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C., and McDonald, M.G. 2000. MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model-User Guide to Modularization Concepts and the Ground-Water Flow Process, U.S. Geological Survey, Open-File Report 00-92.

Harrington, C.A., Scholz, M., Heal, K., Keohane, J., Dunne, E., Gouriveau, F. and Mustafa, A. 2008. Constructed Farm Wetlands (CFW): Design Manual for Scotland and Northern Ireland. Report Prepared for the Northern Ireland Environment Agency and the Scottish Environment Protection Agency.

Hua, G.F., Zhua, W., Zhao, L.F., and Huang, J.Y. 2010. Clogging Pattern in Vertical-Flow Constructed Wetlands: Insight from a Laboratory Study, Journal of Hazardous Materials 180: 668-674.

Hydraulic Engineering Center, 2001. HEC-RAS River Analysis System, Users Manual, U.S. Army Corps of Engineers.

Jain, S.C. 2001. Open-Channel Flow, New York: Wiley.

Kadlec, R.H. and Knight, R.L. 1996. Treatment Wetlands, Florida: CRC Press, Inc.

Kahlown, M A. 2004. Leaky Dam to Rejuvenate Depleting Aquifers in Balochistan.

Kantawanichkul, S., Karnchanawong, S., and Jing, S.R. 2009. Treatment of Fermented Fish Production Wastewater by Constructed Wetland System in Thailand, Chiang Mai J. of Sci. Vol. 36(2) : 149-157.

McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W. 1988. A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, Techniques of Water-Resources Investigations, Book 6, Chap. A1.

McDowell-Boyer, L.M., Hunt, J.R., and Sitar, N. 1986. Particle Transport through Porous Media, Water Resources Research, 22(13) 1901-21.

Mousavi, S.F., and Rezai, V. 1999. Evaluation of Scraping Treatments to Restore Initial Infiltration Capacity of Three Artificial Recharge Projects in Central Iran, Hydro-geology Journal, 7:490-500.

Murray,R., Tedoux, G., Ravenscroft, P., and Botha, F. 2007. Artificial Recharge Strategy, version 1.3, Department of Water Affairs and Forestry and Water Research Commission, South Africa.

Nadee, S., Srisuk, K., Sarapirom, P., Pavelic, P. and Uppasit, S. 2010. Field and Laboratory Experiments to Investigate Infiltration Processes and Clogging Effects from a Ponding Recharge System at Ban Nong Na, Bangrakum District, Phitsanulok Province, Lower Yom River Basin, Thailand, International Symposium on Managed Aquifer Recharge 7th, October 9-13, 2010. Abu Dhabi, United Arab Emirates.

Nissen-Petersen, E. 2006. Water from Roads, ASAL Consultants Ltd. for Danida in Kenia (Danish International Development Assistance), www.waterforaridland.com

OHL Brasil. 2007. Programa via de las agues, desarrollado por la concesionaria autovias, http://www.wbcsd.org/web/e3/partnerships/7Oct_WCF_BusinessNightSchoolPartnerships_ViadelasAguas.pdf

Oosterhuis, M., and Foekema, E. 2003. Bodembelasting van metalen in infiltratievoor-zieningen is gering, H2O. Volume 21; pp 24-26.

Page, D., Dillon, P.J., Purdie, M. and Rinck-Pfeiffer, S. 2006. A Risk Management Method for Stormwater Re-use. In: Delectic, A. and Fletcher, T. [Eds]. Proc. 7th International Conference on Urban Drainage Modelling and the 4th International Conference on Water Sensitive Urban Design; Book of Proceedings. Monash University, Clayton, Victoria, Australia, pp. 612-619.

Pavelic, P. 1996. International Experience: Aquifer Storage and Recovery, Section 1.

Pavelic, P. 2009. Advancements in Research and Adoption of Managed Aquifer Recharge in Australia.

Pavelic, P., Dillon, P.J., Barry, K.E., Vanderzalm, J.L., Correll, R.L., and Rinck-Pfeiffer, S.M. 2007. Water Quality Effects on Clogging Rates during Reclaimed Water ASR in Carbonate Aquifer, Journal of Hydrology, 334:1-16.

Pérez-Paricio, A. And Carrera, J., 1999. Clogging Handbook, EU Project on Artificial Recharge of Groundwater, Contract ENV4-CT95-0071, Technical University of Catalonia, Barcelona, Spain.

Poehrich, T. 1997. Aquifer Test for Window Version 2.5, Waterloo Hydrogeologic Inc.

Prommer, H. 2006. A Reactive Multicomponent Transport Model for Saturated Porous Media User's Manual Version 1.46.

Prudic, D.E. 1989. Document of a Computer Program to Simulate Stream-Aquifer Ralations using a Modular, Finite Difference, Groundwater Flow Model, U.S. Geological Survey, Open file report 88-729, 113 pp.

Prudic, D.E., Konikow, L.F., and Banta, E.R. 2004. A New Streamflow-Routing (SFR1) Package to Simulate Stream-Aquifer Interaction with MODFLOW-2000: U.S. Geological Survey Open file report 2004-1042.

Roberson, J.A., Cassidy, J.J., and Chaudry, M.H., 1998. Hydraulic Engineering, New York: Wiley.

Roehrich, T. 1997. Aquifer Test for Windows, version 2.54, Waterloo Hydrogeologic Inc.

Roscoe Moss Company, 1990. Handbook of Ground Water Development, Los Angeles: John Wiley & Sons, Inc.

s8684e/s8684e0a.htm.

Saraf, A., Kundu, P., and Sarma, B. 2004. Integrated Remote Sensing and GIS in Groundwater Recharge Investigation and Selection of Artificial Recharge Sites in a Hard Rock Terrain, Department of Earth Sciences, Indian Institute of Technology, Roorkee, ROORKEE-247667, India.

Saraf, A., Kundu, P., and Sarma, B. 2009. Integrated Remote Sensing and GIS in Groundwater Recharge Investigation and Selection of Artificial Recharge Sites in a Hard Rock Terrain, Department of Earth Sciences, Indian Institute of Technology, Roorkee, ROORKEE-247667, India.

Saykawlar, S., Sitiyod, P., Tiankham, K., and Meemotgit, W. 2000. Data Integration of Artificial Recharge for Sukhothai Groundwater Project, Zone I, Thailand, Symposium on Mineral, Energy, and Water Resources of Thailand : Toward the year 2000, October 28-29, 1999, Bangkok, Thailand.

Schlumberger Water Services. 2008. Visual MODFLOW Premium 4.3 User's Manual, Waterloo, Ontario, Canada.

Schmidt Ross, H.C, Ziegler, A.C., and Parkhurst, D.L. 2007. Geochemical Effects of Induced Stream-Water and Artificial Recharge on the Equus Beds Aquifer, South-Central Kansas, 1995-2004, USGS Scientific Investigations Report 2007-5025.

Schroeder, P. R., Lloyd, C.M., and Zappi, P.A. 1994. The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP3) Model, Risk Reduction Engineering Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, OHIO, USA.

Srisuk, K., and Sriboonlue, V. 1997. Conceptual Groundwater Model for Saline Water and Saline Soils in the Chi-Mun Basin, Northeast Thailand, International Symposium on Hydrology and Water Resources for Research and Development in Southeast Asia and the Pacific at Mekong Royal Hotel, Nong Khai, Thailand, 16-19 December 1997, p. 235-253.

Todd, D.K., 1982. Groundwater Hydrology, 2ed. John Wiley and Sons, 535p.

Toth, J. 1986. Regional groundwater theory, consequences, applications. World Federation of Hungarians, Hungarian Academy of Sciences, Federation of Technical and Scientific Societies. Budapest, Hungary.

Toth, J., 1963. A Theoretical Analysis of Groundwater Flow in a Small Drainage Basin: Jour. Geophys, Res, v. 68, p. 4795-4812. Also in benchmark Papers in Geology v. 72 Physical Hydrogeology, ed. by Freeze, R. A. and W. Back, Hutchison Ross Pub. Co., 1983, p. 328-345.

van Steenbergen, F., and Tuinhof, A. 2009. Managing the Water Buffer for Development and Climate Change Adaptation; Groundwater Recharge, Retention, Reuse and Rainwater Storage, International Hydrological Programme (IHP) of UNESCO.

Wu, J., Wu, Y., Lu, J., and Lee, L. 2007. Field Investigations and Laboratory Simulation of Clogging in Lixi Dam of Jinduicheng, China, Environ. Geol. 53:387-397.

Wu, Y., Tang Y., and Chengmin, H. 2009. Harvesting of Rainwater and Brooklets Water to Increase Mountain Agricultural Productivity: A Case Study from a Dry Valley of Southwestern China, Natural Resources Forum, 33, 1, 39 -48.

Zheng, C. 1996. A Modular Three-Dimensional Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion and Chemical Reaction of Contaminants in Groundwater Systems (MT3D), Reference Manual, Waterloo Hydrogeologic, SS. Papadopulos&Associate, Inc. Rockville, Maryland 20852.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
26/83 ซ.ท่านผู้หญิงพหล (ซอยงามวงศ์วาน 54)
ถ.งามวงศ์วาน แขวง ลาดยาว เขต จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

เว็บไซต์ประชาสัมพันธ์โครงการ
www.gw-mar.com

ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล
คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002
โทรศัพท์/โทรสาร ***: 6643-202-700***
Website : www.gwrckku.com
E-mail : gwrc@kku.ac.th