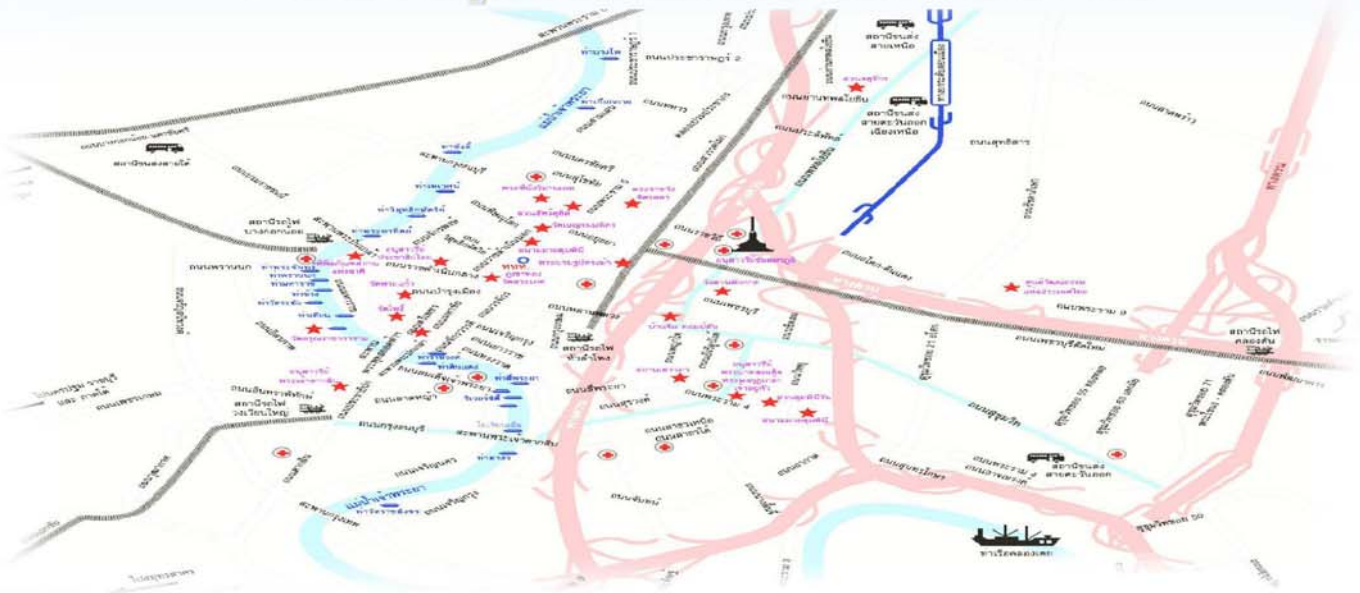


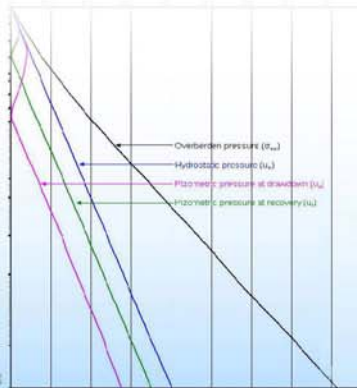
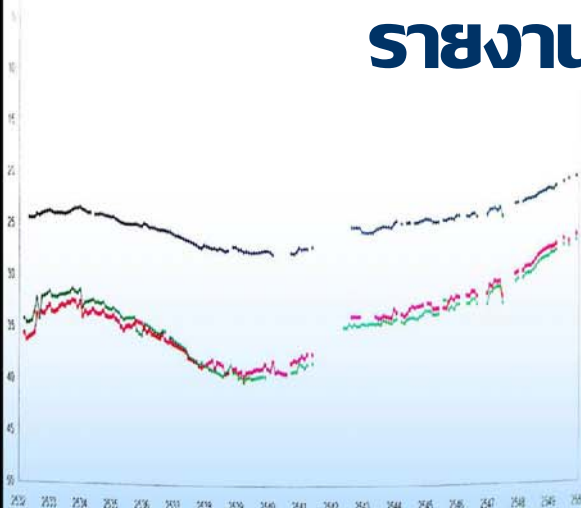


กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

โครงการศึกษาผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดิน เนื่องจากการคั่นตัวของแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาล บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล



รายงานสำหรับผู้บริหาร



บริษัท เซเวน แอสซีเอต คอนซัลแตนท์ จำกัด

พฤษภาคม 2555

บทคัดย่อ

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้ว่าจ้างบริษัท เซเว่น แอสโซซิเอต คอนซัลแตนท์ จำกัด ทำการศึกษาผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดิน เนื่องจากการคืนตัวของแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาล บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยเริ่มต้นสัญญาในเดือนมกราคม 2553

ทั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำที่มีต่อชั้นดินและโครงสร้างใต้ดิน และสร้างฐานข้อมูลและข้อมูลเชิงวิเคราะห์ ในการบริหารจัดการ ป้องกัน และแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำบาดาลอันมีต่อโครงสร้างใต้ดิน ทั้งในปัจจุบันและที่อาจเป็นไปได้ในอนาคต

โครงการนี้เลือกพื้นที่มุ่งเน้นศึกษาหกพื้นที่ในบริเวณกรุงเทพฯ เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีการพัฒนาสูง มีอาคารสูงจำนวนมาก พื้นที่เมืองเก่าของกรุงเทพฯ ที่เจริญมาก่อนปี 2500 พื้นที่ที่มีอาคารโบราณสถานที่สำคัญ ตลอดจนตรวจสอบความปลอดภัยของระบบรถไฟฟ้าใต้ดินเป็นการเบื้องต้น

ในแต่ละพื้นที่มุ่งเน้นศึกษาดังกล่าว ที่ปรึกษาได้ทำการเจาะสำรวจชั้นดินจำนวนหนึ่งหลุม ลึกประมาณ 80 ม. ซึ่งครอบคลุมความลึกของโครงสร้างและชั้นดินที่ได้รับผลกระทบจากโครงสร้างใต้ดินเช่นฐานรากลึกและติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำและการทรุดตัวหรือยกตัวของชั้นดินตลอดความลึก พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์วัดการทรุดตัวที่ผิวดิน ที่ปรึกษาได้ทำการทดสอบกำลังของชั้นดินที่หลุมเจาะสำรวจ ส่วนตัวอย่างดินที่เก็บด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพิเศษ ได้นำไปทดสอบคุณสมบัติชั้นพื้นฐาน คุณสมบัติด้านการทรุดตัวอัดตัว และการรับแรงเฉือนรวมทั้งการทดสอบแรงกดสามแกน

ที่ปรึกษาได้ทำการวิเคราะห์การแปรความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำในชั้นน้ำพระประแดงและแรงดันน้ำในชั้นดิน 80 ม. ระหว่างช่วงประมาณปี 2500 ถึง 2580 ในพื้นที่มุ่งเน้นศึกษา และผลที่มีต่อการแปรเปลี่ยนของคุณลักษณะของชั้นดิน ในด้านแรงเค้นประสิทธิผล และผลสืบเนื่องทางคุณสมบัติการรับแรงเฉือนและการทรุดตัวอัดตัว ทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่จะต่อเสถียรภาพของฐานรากตื้นและฐานรากลึกในระหว่างช่วงปีดังกล่าว ตลอดจนการทรุดตัวของฐานรากและพื้นผิวดิน การศึกษาได้ครอบคลุมปัญหาของอุโมงค์และสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับชั้นใต้ดินและการรั่วซึม และยังได้ศึกษาเค้าโครงของปัญหาในลักษณะเดียวกับพื้นที่กรุงเทพฯ ที่อาจเกิดขึ้นได้ในจังหวัดปริมณฑล

ผลของการสำรวจและวิเคราะห์ให้ข้อมูลและเหตุผล สรุปเป็นข้อเสนอแนะเกณฑ์ควบคุมระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดงในบริเวณกรุงเทพฯ ไม่ให้สูงเกินกว่า -9 ม. ถึง -14 ม. ตามอัตราการฟื้นคืนตัวของชั้นน้ำพระประแดง จนกว่าจะมีผลการวิจัยในประเทศไทย ที่ใช้เป็นรากฐานของการกำหนดกฎเกณฑ์มาตรการในการควบคุมระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง ให้ฟื้นคืนสูงกว่าที่แนะนำดังกล่าวได้

สารบัญ

หน้า

สารบัญ

สารบัญรูป

สารบัญตาราง

บทที่ 1 บทนำ

1.1	หลักการและเหตุผล	1-1
1.2	วัตถุประสงค์และเป้าหมายของโครงการ	1-2
1.2.1	วัตถุประสงค์	1-2
1.2.2	เป้าหมาย	1-2
1.3	พื้นที่ศึกษาและดำเนินการ	1-2
1.4	สรุปวิธีดำเนินการโครงการ	1-4

บทที่ 2 ข้อมูลพื้นที่ศึกษาและดำเนินการ

2.1	สภาพภูมิประเทศ	2-1
2.2	สภาพภูมิอากาศ	2-1
2.3	สภาพอุทกวิทยา	2-2
2.3.1	สภาพลุ่มน้ำ	2-2
2.3.2	ปริมาณน้ำท่า	2-2
2.4	สภาพธรณีสังฐาน และธรณีวิทยา	2-2
2.4.1	ธรณีสังฐาน	2-2
2.4.2	ธรณีวิทยา	2-3
2.5	อุทกธรณีวิทยา	2-4
2.6	ข้อมูลการใช้น้ำ	2-5
2.6.1	การประปานครหลวง	2-5
2.6.2	การประปาส่วนภูมิภาค	2-6
2.6.3	การใช้น้ำบาดาล	2-6
2.6.4	สรุปแนวโน้มความต้องการน้ำผิวดินและน้ำบาดาล	2-7

บทที่ 3 การศึกษาสภาพอุทกธรณีวิทยาน้ำบาดาล

3.1	กรอบแนวคิดของการศึกษาภาพตัดขวางชั้นดินและชั้นน้ำบาดาล	3-1
3.2	การรวบรวมข้อมูลหลุมเจาะสำรวจชั้นดินและชั้นหิน	3-1
3.3	การจัดทำภาพตัดขวางชั้นดินและชั้นน้ำบาดาล	3-2
3.4	การแปลความหมายลักษณะอุทกธรณีวิทยาจากภาพตัดขวางชั้นดินและชั้นน้ำบาดาล	3-2

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.1 ภาพตัดขวางแนวเหนือ-ใต้	3-4
3.4.2 ภาพตัดขวางแนวตะวันตก-ตะวันออก	3-4
3.5 การศึกษาการคืบตัวของระดับน้ำบาดาล	3-6
บทที่ 4 ข้อมูลคุณลักษณะของชั้นดินที่ก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินในพื้นที่ศึกษา	
4.1 ประวัติการตกตะกอน (Sedimentation) ของชั้นดินในพื้นที่ศึกษา	4-1
4.2 การแบ่งชั้นดิน (Subsoil Stratification) ในเขตพื้นที่ศึกษา	4-5
บทที่ 5 การเจาะสำรวจทดสอบ	
5.1 แผนรายการ (Program) และวิธีเจาะสำรวจทดสอบ (Boring and Testing)	5-1
5.2 ผลการเจาะสำรวจทดสอบ	5-3
บทที่ 6 การติดตั้งและตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ (Instrumentation) วัดแรงดันน้ำใต้ดิน (Piezometric Pressure) การทรุดตัวในระดับลึก (Deep Settlement) ของชั้นดิน และการทรุดตัวที่ผิวดิน (Surface Settlement)	
6.1 การติดตั้งและตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ (Instrumentation)	6-1
6.2 พฤติกรรมของแรงดันน้ำใต้ดิน (Piezometric Pressure)	6-1
6.3 พฤติกรรมทรุดตัว (Settlement) ของชั้นดิน	6-3
บทที่ 7 ผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาลที่มีต่อแรงดันน้ำในชั้นดินที่ได้รับผลกระทบจากโครงสร้างใต้ดิน	
7.1 การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำของชั้นน้ำพระประแดง ในพื้นที่มุ่งเน้นศึกษา บริเวณกรุงเทพฯ	7-1
7.2 การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ ในชั้นดินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดิน ในพื้นที่มุ่งเน้นศึกษาบริเวณกรุงเทพฯ	7-1
บทที่ 8 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดิน ที่มีต่อคุณลักษณะของชั้นดินที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างใต้ดิน	
8.1 ผลกระทบต่อแรงกดทับประสิทธิผล (Effective Overburden Pressure)	8-1
8.2 ผลกระทบต่อคุณลักษณะของกำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength Characteristics)	8-1

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 9 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินที่มีต่อโครงสร้างใต้ดิน	
9.1 งานวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินที่มีต่อโครงสร้างใต้ดิน	9-1
9.2 ผลกระทบต่อเสถียรภาพของฐานรากตื้น	9-2
9.3 ผลกระทบต่อเสถียรภาพของฐานรากลึก	9-2
9.4 ผลกระทบต่อเสถียรภาพของชั้นใต้ดิน ปัญหาแรงดันยกโครงสร้าง (Uplift Pressure) และปัญหาน้ำรั่วซึม	9-7
9.5 การทรุดตัวเป็นอาณาบริเวณกว้าง (Regional Land Subsidence)	9-7
9.6 การทรุดตัวของฐานรากตื้น	9-8
9.7 การทรุดตัวของฐานรากลึก	9-11
9.8 ผลกระทบต่อระบบบ่อโม่งค์และรถไฟฟ้าใต้ดิน	9-11
บทที่ 10 ข้อเสนอแนะและคำถาม-คำตอบ	
10.1 ข้อเสนอแนะ	10-1
10.2 คำถาม-คำตอบ ประชาชนควรรู้	10-5

สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 1.3-1	พื้นที่ดำเนินการศึกษาปัญหาผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดินเนื่องจากการคืบตัวของแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาลบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล	1-3
รูปที่ 3.3-1	ตำแหน่งของภาพตัดขวางชั้นดินและชั้นน้ำบาดาลทั้ง 8 แนว	3-3
รูปที่ 4.1-1	แผนที่ธรณีวิทยาแสดงตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Quaternary Period) บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง	4-2
รูปที่ 4.1-2	ชั้นดินบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง	4-3
รูปที่ 4.1-3	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเสนอโดยนักวิจัยต่างๆ ในประเทศไทย	4-5
รูปที่ 4.2-1	ตัวอย่างระดับและชั้นดินหลัก (Major Subsoil Strate) ในบริเวณกรุงเทพฯ	4-6
รูปที่ 5.1-1	แสดงตำแหน่งการเจาะสำรวจชั้นดินติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำ และการอัดตัวทรุดตัวของชั้นดิน	5-2
รูปที่ 5.1-2	สรุปการแบ่งชั้นดินหลัก (Major Subsoil Stratification) และระดับ-ประเภทชั้นดิน ที่ทดสอบ Consolidation Test และ Triaxial Compression Test ที่หลุมเจาะในพื้นที่มุ่งเน้นศึกษาทั้งหมด (BH-1 ถึง BH-6)	5-4
รูปที่ 5.2-1	สรุปค่า Basic Soil Properties ที่หลุมเจาะสำรวจสวนจตุจักร (BH-1)	5-5
รูปที่ 5.2-2	สรุป Compression Characteristics ในรูปแบบ Void Ratio แปรตาม Effective Vertical Stress จากการทดสอบแบบ Conventional Oedometer Test ด้วยตัวอย่างดินเหนียวในหลุมเจาะสำรวจ BH-1 (สวนจตุจักร)	5-6
รูปที่ 5.2-3	สรุป Compression Characteristics ในรูปแบบ Void Ratio แปรตาม Effective Vertical Stress จากการทดสอบแบบ Constant Rate of Strain Test ด้วยตัวอย่างดินเหนียวในหลุมเจาะสำรวจ BH-1 (สวนจตุจักร)	5-7
รูปที่ 5.2-4	ผลการทดสอบ Conventional Oedometer Test และ Design Parameter ที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมอัดตัวคายน้ำ พื้นที่สวนจตุจักร (BH-1)	5-8
รูปที่ 5.2-5	Stress Path และ p' - q Failure Envelope จากผลการทดสอบ CU' Test ด้วยตัวอย่าง Soft Clay จากทั้งหมดตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา (BH - 1 ถึง BH - 6)	5-9
รูปที่ 5.2-6	Stress Path และ p' - q Failure Envelope จากผลการทดสอบ CU' Test ด้วยตัวอย่าง Stiff Clay เหนือ First Sand จากทั้งหมดตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา (BH - 1 ถึง BH - 6)	5-10
รูปที่ 5.2-7	Stress Path และ p' - q Failure Envelope จากผลการทดสอบ CU' Test ด้วยตัวอย่าง Hard Clay ใต้ First Sand จากตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา (BH - 2 ถึง BH - 4)	5-11

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 5.2-8	สรูปเปรียบเทียบ Undrained Shear Strength ที่ได้จากการทดสอบ CU' Test กับการทดสอบ Unconfined Compression Test และ Field Vane Shear Test พร้อมด้วยผลการทดสอบ Standard Penetration Test ที่สวนจตุจักร (BH-1)	5-13
รูปที่ 5.2-9	ความสัมพันธ์ของ Undrained Shear Strength (c_u) และ Consolidated Pressure at 9-14 Shearing (σ'_{cs}) จากตัวอย่าง Soft Clay ทั้งหกตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา (BH-1 ถึง BH-6)	5-14
รูปที่ 5.2-10	ความสัมพันธ์ของ Undrained Shear Strength (c_u) และ Consolidated Pressure at Shearing (σ'_{cs}) จากตัวอย่าง Stiff Clay เหนือ First Sand ทั้งหกตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา (BH-1 ถึง BH-6)	5-15
รูปที่ 5.2-11	ความสัมพันธ์ของ Undrained Shear Strength (c_u) และ Consolidated Pressure at Shearing (σ'_{cs}) จากตัวอย่าง Hard Clay ใต้ First Sand ทั้งหกตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา (BH-1 ถึง BH-6)	5-16
รูปที่ 6.2-1	การแปรค่าแรงดันน้ำใต้ดินตามความลึกที่ตำแหน่งสวนจตุจักร (BH-1)	6-2
รูปที่ 6.2-2	รวม Design Piezometric Pressure Profile ทั้งหกตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา (BH-1 ถึง BH-6)	6-4
รูปที่ 6.2-3	เปรียบเทียบการแปรเปลี่ยนของแรงดันน้ำตามกาลเวลา กับการแปรเปลี่ยน ของการทรุดตัวในชั้นดินที่ระดับความลึกต่างๆ	6-5
รูปที่ 7.1-1	ผลการตรวจวัดระดับน้ำที่ชั้นน้ำพระประแดงตำแหน่ง PD 0034 ใกล้เคียงกับหลุมเจาะสำรวจ BH-1 (สวนจตุจักร)	7-2
รูปที่ 7.2-1	วิเคราะห์การลดต่ำลง (Drawdown) และฟื้นคืนสูงขึ้น (Recovery) ของแรงดันน้ำใต้ดินในชั้นดินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดิน ระหว่างปี 1960(2503) ถึง 2032(2575) ตำแหน่งสวนจตุจักร (BH-1)	7-3
รูปที่ 8.1-1	ตัวอย่างสภาพชั้นดินและ Vertical Pressure Distribution ในบริเวณกรุงเทพฯ	8-2
รูปที่ 8.2-1	Undrained Shear Strength (c_u) ของดินเหนียว ที่ระดับความลึกต่างๆ ในช่วงที่แรงดันน้ำลดลง (Drawdown) ปี 1960(2503) ถึง 1997(2540) และช่วงที่แรงดันน้ำฟื้นคืนสูงขึ้น Recovery ปี 1997(2544) ถึง 2032(2575) บริเวณหลุมเจาะ BH-1 (สวนจตุจักร)	8-3
รูปที่ 9.3-1	การแปรเปลี่ยนของ Pile Load Resistance เสาเข็มตอกขนาด □□ 0.30 x 0.30 ม. ลึก 25.0 ม. ใช้กับอาคารประมาณ 4 - 7 ชั้น ตำแหน่งสวนจตุจักร (BH-1) เมื่อก่อสร้างในเวลาต่างกัน ตามการแปรเปลี่ยนของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง	9-5

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 9.3-2 การแปรเปลี่ยนของ Pile Load Resistance เสาเข็มเจาะขนาด \varnothing 1.2 ม. ลึก 54.0 ม. ใช้กับอาคารประมาณ 20 - 40 ชั้น ตำแหน่งสวนจตุจักร (BH-1) เมื่อก่อสร้างในเวลาต่างกัน ตามการแปรเปลี่ยนของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง	9-6
รูปที่ 9.5-1 ผลการวิเคราะห์คำนวณ Total Settlement จากผลการทดสอบ Oedometer Test (OED) เปรียบเทียบกับ Constant Rate of Strain Test (CRS)	9-10
รูปที่ 9.7-1 การทรุดตัวของเสาเข็มตอกลึก 24 - 26 ม. ใช้กับอาคารประมาณ 4 - 7 ชั้น เมื่อก่อสร้างในเวลาต่างกัน ตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง	9-14
รูปที่ 9.7-2 การทรุดตัวของเสาเข็มเจาะลึก 49 - 54 ม. ใช้กับอาคารประมาณ 20 - 40 ชั้น เมื่อก่อสร้างในเวลาต่างกัน ตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง	9-15

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.6-1 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำบาดาลจำแนกตามประเภทการใช้ประโยชน์	2-6
ตารางที่ 3.2-1 แหล่งข้อมูลหลุมเจาะบ่อบาดาลและบ่อสังเกตการณ์	3-1
ตารางที่ 3.3-1 จำนวนข้อมูลหลุมเจาะสำรวจชั้นดินชั้นหินในขอบเขตพื้นที่โครงการ	3-2
ตารางที่ 4.1-1 เวลาทางธรณีวิทยา (Geological Time Scale)	4-2
ตารางที่ 4.1-2 อายุของชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) ที่ระดับความลึก 15 ถึง 20 ม. โดย Radio Carbon Dating	4-9
ตารางที่ 4.1-3 ช่วงเวลาที่ระดับน้ำทะเลขึ้นสูงสุดในสมัย Halocene และเริ่มลดลง จนถึงระดับปัจจุบัน ของประเทศไทยและทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้	4-11
ตารางที่ 9.3-1 สรุปการแปรเปลี่ยนของ Pile Load Resistance ของฐานรากเสาเข็มประเภทต่างๆ เมื่อก่อสร้างในเวลาต่างกัน ตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง	9-4
ตารางที่ 9.5-1 สรุปผลวิเคราะห์ Total Settlement BH-1 ถึง BH-6 จากผลการทดสอบ Oedometer Test (OED) และ Constant Rate of Strain Test (CRS)	9-9
ตารางที่ 9.7-1 สรุป Settlement ของฐานรากเสาเข็มประเภทต่างๆ เมื่อก่อสร้างในเวลาต่างกัน ตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง	9-13

บทที่ 1

บทนำ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

การใช้น้ำบาดาลในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในช่วงระยะเวลาประมาณ 50 ปีที่ผ่านมา แบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่มีการใช้น้ำบาดาลมาก และช่วงที่ใช้น้ำบาดาลลดลงเนื่องจากการควบคุม การสูบน้ำบาดาล ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในชั้นน้ำบาดาล (Aquifer) บริเวณพื้นที่โครงการ โดยในช่วงเวลาดังกล่าวที่มีการใช้น้ำบาดาลมาก ทำให้ระดับน้ำลดลงอย่างมาก และช่วงเวลาต่อมาเมื่อมีการ ควบคุมการใช้น้ำอย่างเข้มงวด พร้อมกับใช้มาตรการทางเศรษฐกิจที่ทำให้การใช้น้ำบาดาลลดลง จึงทำให้ บางส่วนของพื้นที่โครงการมีการฟื้นคืนตัวของแรงดันน้ำบาดาลซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงแรงดันของน้ำ ในชั้นดิน (Piezometric Pressure) ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่อาจก่อให้เกิดปัญหาภัยกับโครงสร้างทางวิศวกรรม ที่ใต้ทำการออกแบบตามเกณฑ์เมื่อครั้งระดับน้ำและแรงดันน้ำยังมีการลดลงอย่างมาก

บริเวณกรุงเทพฯ และปริมณฑลมีการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดิน (Substructure) ประเภทต่างๆ อาทิเช่น ชั้นใต้ดินลึกลงไป 3 - 10 ม. เสาเข็มตอกลึก 22 - 25 ม. เสาเข็มเจาะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ลึก 50 - 60 ม. อุโมงค์รถไฟใต้ดินและอุโมงค์ส่งน้ำที่ความลึก 20 - 30 ม. เป็นต้น การออกแบบเสาเข็มเพื่อรองรับน้ำหนัก ของโครงสร้างนั้นถูกกำหนดภายใต้ข้อกำหนดทางด้านคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของดิน และระดับความแข็งแรง ของชั้นดินที่รองรับโครงสร้างนั้น โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของชั้นใต้ดินที่สำคัญประการหนึ่งคือ ระดับแรงดันของน้ำในชั้นดิน และองค์ประกอบของเนื้อดินในระดับความลึกต่างๆ ของชั้นดินในบริเวณกรุงเทพฯ และปริมณฑล ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) จากระดับพื้นดินจนถึงความลึก ประมาณ 15 ม. ต่อมาเป็นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) จนถึงระดับความลึกประมาณ 20 ม. ตามด้วยชั้นดินทราย ชั้นแรก (First Sand Layer) ซึ่งพบได้ถึงระดับความลึกประมาณ 30 ม. ถัดลงมาพบดินเหนียวแข็งมาก (Hard Clay) จนถึงความลึกประมาณ 45 ม. ก็จะพบชั้นทรายชั้นที่สอง (Second Sand Layer) ลึกลงไปจนถึง ระดับประมาณ 60 ม. ต่อจากนั้นไปจะเป็นชั้นดินเหนียวสลับกับชั้นดินทรายและกรวด (Gravel) ลงไปจนกระทั่ง ถึงความลึกประมาณ 1,000 ม. จึงจะถึงชั้นหินดาน (Bed Rock) ทั้งนี้ชั้นทรายชั้นกรวดที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด ตั้งแต่ชั้นทรายชั้นแรกแล้วแต่เป็นชั้นน้ำบาดาลตลอดพื้นที่ราบแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

การสูบน้ำบาดาลอย่างต่อเนื่องจากชั้นน้ำบาดาลดังกล่าวที่ระดับความลึกต่างๆ จนถึงระดับความลึก ประมาณ 400 ม. มีผลทำให้ระดับน้ำหรือแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาลลดต่ำลง ซึ่งผลสะสมทำให้แรงดันน้ำ ในชั้นดินต่างๆ ที่มีต่อผลกระทบโครงสร้างใต้ดินลดลงตามด้วย ทำให้แรงดันกดทับประสิทธิผล (Effective Overburden Pressure) เพิ่มสูงขึ้น ผลที่ตามมาคือดินเหนียวเกิดการอัดตัว (Compression) ก่อให้เกิด การทรุดตัว (Settlement) ของพื้นดินเป็นอาณาบริเวณกว้าง (Regional Land Subsidence) ผลของการ ลดแรงดันน้ำในชั้นดินยังทำให้แรงเค้นประสิทธิผล (Effective Stress) ของดินเพิ่มสูงขึ้น ทำให้กำลังประสิทธิผล (Effective Strength) หรือความแข็งแรงของดินเพิ่มสูงขึ้นด้วย

ในทางตรงกันข้าม เมื่อแรงดันน้ำใต้ดินพื้นคืนเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการสูบน้ำบาดาลลดลง หรือหยุดสูบน้ำบาดาล แรงดันของน้ำจะเพิ่มขึ้นทำให้ Effective Stress ของดินลดต่ำลง และยังมีแรงดันยกโครงสร้าง (Uplift Pressure) เพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย ผลก็คือส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ของโครงสร้างที่ออกแบบภายใต้สภาพแรงดันน้ำต่ำมีค่าลดลง ซึ่งเป็นประเด็นที่ควรแก่การศึกษาในเชิงควบคุมความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับธรณี (Geo - Risk Control) โดยเฉพาะในปัจจุบันประเทศไทยและบริเวณใกล้เคียงมีความเสี่ยงจากธรณีพิบัติภัยเนื่องจากแผ่นดินไหวรุนแรงและถล่มขึ้น ทั้งนี้จากข้อมูลในปัจจุบันพบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำและแรงดันน้ำใต้ดินภายหลังจากการควบคุมการสูบน้ำบาดาลโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

การควบคุมการลดต่ำลงของระดับน้ำและแรงดันน้ำ มีประโยชน์ในการควบคุมการทรุดตัวของแผ่นดิน แต่ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำและแรงดันน้ำอาจจะก่อให้เกิดผลเสียต่อโครงสร้างใต้ดินเนื่องจากกำลังของดินลดต่ำลง กล่าวคือต้องทราบเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการที่แรงดันน้ำจะพื้นคืนเพิ่มขึ้นจนเข้าขั้นวิกฤตต่อโครงสร้างใต้ดิน (Critical Recovery Criteria) เพื่อที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาลจะสามารถกำหนดมาตรการควบคุมน้ำบาดาลในอนาคตไม่ให้อันตรายถึงขั้นวิกฤตดังกล่าวได้ อีกประการหนึ่งนั้น โครงสร้างใต้ดินที่ออกแบบก่อสร้างในปัจจุบัน จะต้องมีความปลอดภัยทั้งในขณะที่แรงดันน้ำลดต่ำลงและเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์และเป้าหมายของโครงการ

1.2.1 วัตถุประสงค์

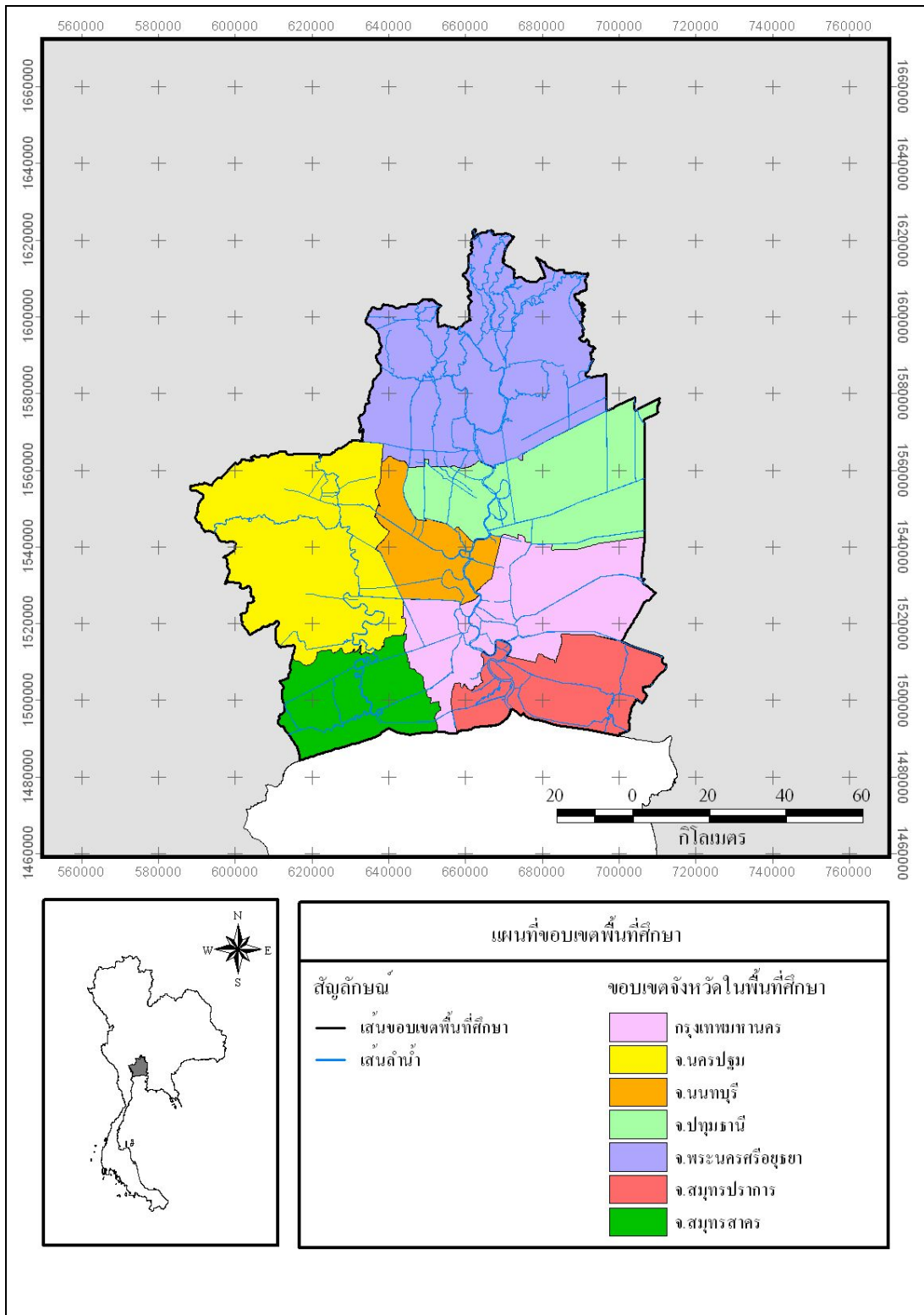
- 1) ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำที่มีต่อชั้นดินที่ก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินและผลที่มีต่อโครงสร้างใต้ดิน
- 2) สร้างฐานข้อมูลและเครื่องมือเชิงวิเคราะห์ในการบริหารจัดการ ป้องกันและแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาลอันมีต่อโครงสร้างใต้ดิน ทั้งในปัจจุบันและที่อาจเป็นไปได้ในอนาคต

1.2.2 เป้าหมาย

- 1) ทราบถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ ต่อความแข็งแรงของชั้นดินและโครงสร้างต่างๆ
- 2) มีระบบฐานข้อมูล และมาตรการเพื่อการจัดการที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงการควบคุมการทรุดตัวของแผ่นดินและความแข็งแรงของโครงสร้างทางวิศวกรรม

1.3 พื้นที่ศึกษาและดำเนินการ

พื้นที่การจัดทำฐานข้อมูลจะครอบคลุมบริเวณกรุงเทพฯ และปริมณฑล ซึ่งเกิดปัญหาอันเนื่องมาจากแรงดันน้ำใต้ดินได้รับผลกระทบจากการสูบน้ำบาดาล ได้แก่จังหวัดกรุงเทพมหานคร นนทบุรี ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา นครปฐม สมุทรสาคร สมุทรปราการ ดังแสดงในรูปที่ 1.3-1



รูปที่ 1.3-1 พื้นที่ดำเนินการศึกษาปัญหาผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดิน เนื่องจากการคืบตัวของแรงดันน้ำ
 ในชั้นน้ำบาดาลบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

การศึกษาสำรวจในรายละเอียด รวมทั้งการเจาะสำรวจชั้นดินและการวัดแรงดันน้ำ ตลอดจนการอัดตัว
ทรุดตัวของชั้นดิน จะมุ่งเน้นศึกษา (Focus) ในจำนวน 6 ตำแหน่งดังต่อไปนี้ คือ

ก) จำนวน 3 ตำแหน่งที่มีโครงสร้างใต้ดินซึ่งมีลักษณะและปริมาณที่เป็นตัวแทนของบริเวณที่มี
การพัฒนาสูงในกรุงเทพฯ กล่าวคือมีอาคารสูง ตั้งอยู่บนฐานรากลึก เช่น เสาเข็มเจาะที่มีความลึกเกินกว่า 30 ม.
มีชั้นใต้ดินที่มีโครงสร้างกันดินประเภทต่างๆ มีอุโมงค์ขนาดใหญ่ เช่น อุโมงค์ส่งน้ำหรือระบายน้ำ และส่วนใหญ่
ก่อสร้างในช่วงเวลา 30 ปีที่ผ่านมา ซึ่งแรงดันน้ำใต้ดินลดต่ำลงเนื่องจากการสูบน้ำบาดาล ทำให้ดินมีกำลังสูงขึ้น
มีส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) สูงขึ้น

ข) จำนวน 1 ตำแหน่งในพื้นที่เมืองเก่าของกรุงเทพฯ เช่น อำเภอพระนคร สัมพันธวงศ์ ฯลฯ ซึ่งมี
อาคารเก่าฐานรากตื้นที่มีอายุหลายสิบปี อยู่มาตั้งแต่ก่อนที่จะมีปัญหาแรงดันน้ำใต้ดินลดต่ำลงเนื่องจากการสูบ
น้ำบาดาล เป็นอาคารอายุมากที่อาจจะทนความเปลี่ยนแปลงของแรงเครียดได้น้อย แต่ในขณะเดียวกัน
มีความสำคัญเชิงประวัติศาสตร์

ค) จำนวน 1 ตำแหน่งในบริเวณพื้นที่ของอาคารโบราณสถานในกรุงเทพฯ ซึ่งเป็นมรดกอันล้ำค่า
ของชาติ และอาจปรากฏปัญหาทางด้านโครงสร้างแล้ว เช่น พระที่นั่งอนันตสมาคม ฯลฯ

ง) พิสูจน์ย้ำความปลอดภัยของระบบรถไฟใต้ดินซึ่งก่อสร้างเสร็จแล้ว รวมทั้งสถานีรถไฟใต้ดิน
จำนวน 1 ตำแหน่ง

1.4 สรุปวิธีดำเนินการโครงการ

งานโครงการศึกษานี้มีวิธีดำเนินการโครงการโดยสรุปดังนี้ คือ

1) คัดเลือกตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา (Focus) (**หัวข้อ 1.3**) จำนวน 6 ตำแหน่ง เพื่อทำการเจาะสำรวจ
ทดสอบ ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดพฤติกรรมของน้ำใต้ดินและชั้นดิน และวิเคราะห์พฤติกรรมทางวิศวกรรมของ
โครงสร้างใต้ดิน โดยเรียงตามลำดับหมายเลขหลุมเจาะดังนี้

- BH-1 สวนจตุจักร
- BH-2 สวนลุมพินี
- BH-3 สนามเสือป่า
- BH-4 สวนรมณีนารถ
- BH-5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
- BH-6 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) ทำการเจาะสำรวจชั้นดินลึกอย่างน้อย 80 ม. ที่เกี่ยวเนื่องกับโครงสร้างใต้ดิน และทดสอบในหลุม
เจาะ (In-Situ Test) ดังนี้

- ก) เจาะหลุมเจาะด้วยวิธีเจาะปั่นล้าง (Wash Boring) และเก็บตัวอย่างคงสภาพ (Undisturbed
Sampling)
 - ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) เก็บตัวอย่างด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างแบบลูกสูบ
Osterberg Piston Sampler

- ดินเหนียวแข็ง (Stiff to Hard Clay) เก็บตัวอย่างโดยวิธี Coring ด้วย Mazier Sampler
- ข) ทดสอบ In-Situ Test
- ทดสอบ Field Vane Shear Test เพื่อหาค่ากำลัง Undrained Shear Strength ของ Soft Clay ด้วย Geonor Vane
 - ทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) ชั้นดินทุกประเภทตลอดความลึกของหลุมเจาะ ซึ่งเก็บได้ตัวอย่างไม่คงสภาพ (Disturbed Sample) ด้วย
- 3) งานทดสอบในห้องปฏิบัติการด้วยตัวอย่างที่เก็บได้ตามข้อ (2) ประกอบด้วย
- ก) ทดสอบคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของดิน (Basic Soil Properties) ทุกประเภท
- ข) ทดสอบคุณลักษณะการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Characteristics) ของทุกชั้นดินเหนียว
- แบบปกติด้วยเครื่องมือ Oedometer (Conventional Oedometer Test)
 - แบบอัตราความเครียดคงที่ (Constant Rate of Strain Consolidation Test)
- ค) ทดสอบกำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength Test) ของทุกชั้นดินเหนียว
- Unconfined Compression Test
 - Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Water Pressure Measurement (CU') ทั้งแบบ Compression และแบบ Rebound
- ง) ทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินทรายด้วยวิธี Direct Shear Test
- 4) ทำการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ (Instrumentation) วัดค่าพฤติกรรมของแรงดันน้ำและชั้นดิน ตลอดความลึกดังกล่าวในข้อ (2)
- ก) วัดแรงดันน้ำในชั้นดิน (Piezometric Pressure) ด้วย Vibrating Wire Piezometer
- ข) วัดการทรุดตัวของชั้นดินในระดับลึก (Deep Settlement) ด้วย Spider Magnetic Extensometer
- ค) วัดการทรุดตัวที่ผิวดินด้วย Surface Settlement Point
- 5) ทำการวิเคราะห์ศึกษาการเปลี่ยนแปลงแรงดันในชั้นดินตลอดความลึก 80 ม. ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดิน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำหรือแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาล
- 6) ทำการวิเคราะห์ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำที่มีต่อคุณลักษณะของชั้นดินตลอดความลึก 80 ม. ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดิน
- 7) ทำการวิเคราะห์ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำที่มีต่อโครงสร้างใต้ดิน
- ก) เสถียรภาพของโครงสร้างใต้ดิน
- ฐานรากตื้น
 - ฐานรากลึก

- ชั้นใต้ดิน
 - ปัญหาแรงดันยกโครงสร้าง (Uplift Pressure) และปัญหาน้ำรั่วซึม
- ข) การทรุดตัว
- การทรุดตัวเป็นอาณาบริเวณกว้าง (Regional Land Subsidence)
 - การทรุดตัวของฐานราก
 - ผลกระทบต่อระบบอุโมงค์และรถไฟฟ้าใต้ดิน
- 8) ให้ข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้
- ก) เภณที่ที่แรงดันน้ำใต้ดินจะฟื้นคืนเพิ่มขึ้น จนเข้าขั้นวิกฤตต่อโครงสร้างใต้ดินในพื้นที่ต่างๆ
 - ข) การตรวจสอบการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างใต้ดิน เพื่อแก้ไขบรรเทาปัญหาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดิน
 - ค) การติดตามตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำ การทรุดตัวอัดตัว และพฤติกรรมของชั้นดิน

บทที่ 2

ข้อมูลพื้นที่ศึกษาและดำเนินการ

บทที่ 2

ข้อมูลพื้นที่ศึกษาและดำเนินการ

2.1 สภาพภูมิประเทศ

โครงการศึกษาผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดินเนื่องจากการคืบตัวของแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาลบริเวณ กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ครอบคลุมพื้นที่บริเวณกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง 6 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดนนทบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ สมุทรสาคร นครปฐม และพระนครศรีอยุธยา มีพื้นที่ทั้งสิ้นประมาณ 10,300 ตร.กม. หรือประมาณ 1 ใน 3 ของพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง

สภาพภูมิประเทศของพื้นที่โครงการฯ ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง (Flood Plain) ของแม่น้ำสายสำคัญในที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนล่าง ทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออกติดต่อกับพื้นที่ลอนลาดต่ำและพื้นที่ลอนลาด ทางทิศใต้ลาดลงสู่ทะเลต่อเนื่องลงไปถึงที่ราบน้ำขึ้นถึง (Tidal Flat) ระดับความสูงของพื้นดินโดยเฉลี่ยสูงประมาณ 0 - 10 ม. เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (รทก.) โดยมีบางส่วนบริเวณทางทิศเหนือของจังหวัด นครปฐมที่มีสภาพเป็นพื้นที่ลอนลาดต่ำ ที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึงของแม่น้ำสายสำคัญในภาคกลางตอนล่างมีความลาดเทของพื้นที่ประมาณ 1:25,000 มีแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแม่น้ำสายสำคัญที่ไหลผ่านจากตอนเหนือของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ผ่านจังหวัดปทุมธานี นนทบุรี กรุงเทพมหานคร และไหลลงสู่อ่าวไทยที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ นอกจากนี้ยังมีแม่น้ำท่าจีนซึ่งแยกจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดชัยนาท ไหลผ่านจังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม และไหลลงสู่อ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรสาคร

2.2 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่โครงการ มีลักษณะภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน (Tropical Monsoon Climate) ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงฤดูหนาวระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อมีความกดอากาศสูงที่พาคความหนาวเย็นจากประเทศจีนแผ่ลงมาประมาณปีละ 15 ถึง 30 ครั้ง และได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งพาคความชุ่มชื้นจากทะเลอันดามันและอ่าวไทยเข้าสู่ประเทศไทยระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายนซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูฝน และระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงกลางฤดูฝนที่มีฝนตกชุก

สภาพภูมิอากาศบริเวณพื้นที่โครงการ ค่อนข้างร้อนชื้นและอบอ้าวตลอดทั้งปี มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 25.9 - 30.0 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยทั้งปีสูงถึง 73.2% ในช่วงฤดูฝนมีปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยระหว่าง 159.4 - 267.8 มม. ในช่วงฤดูหนาวมีปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยระหว่าง 5.9 - 37.3 มม. โดยส่วนมากมักมีฝนน้อยในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม และในช่วงฤดูร้อนมีปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยระหว่าง 39.0 - 77.0 มม. และการกระจายปริมาณฝนเชิงพื้นที่ พบว่า มีปริมาณฝนเฉลี่ยระหว่าง 850 - 1650 มม.ต่อปี ทั้งนี้พบว่า ด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษาบริเวณจังหวัดปทุมธานี นนทบุรี กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ มีปริมาณฝนสูงกว่าด้านตะวันตกของพื้นที่ศึกษาบริเวณจังหวัดพระนครศรีอยุธยา นครปฐม และสมุทรสาคร

2.3 สภาพอุทกวิทยา

2.3.1 สภาพลุ่มน้ำ

สภาพอุทกวิทยาของลุ่มน้ำในพื้นที่โครงการครอบคลุมพื้นที่ตอนล่างของที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา และที่ราบลุ่มแม่น้ำท่าจีน และบางส่วนของพื้นที่ ลุ่มน้ำป่าสัก ลุ่มน้ำบางปะกง และลุ่มน้ำแม่กลอง แม่น้ำเจ้าพระยา ไหลจากตอนเหนือของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ผ่านจังหวัดปทุมธานี นนทบุรี กรุงเทพมหานคร และไหลลงอ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรปราการ แม่น้ำท่าจีนซึ่งแยกจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดชัยนาท ไหลผ่านจังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม และไหลลงอ่าวไทยที่จังหวัดสมุทรสาคร นอกจากนี้แม่น้ำทั้งสองนี้แล้วยังมีคลองอีกหลายสายน้ำ ซึ่งใช้ประโยชน์ในการคมนาคมทางน้ำ การชลประทาน และการระบายน้ำ

2.3.2 ปริมาณน้ำท่า

พื้นที่โครงการตั้งอยู่ในขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำหลัก 2 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำเจ้าพระยาและลุ่มน้ำท่าจีน ปริมาณผลผลิตน้ำท่าในขอบเขตพื้นที่ศึกษาซึ่งมีพื้นที่รับน้ำประมาณ 10,300 ตร.กม. มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยประมาณ 3,053.26 ล้าน ลบ.ม. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ากับพื้นที่รับน้ำของลุ่มน้ำย่อยข้างเคียงซึ่งมีลักษณะทางกายภาพของพื้นที่รับน้ำใกล้เคียงกัน ที่ให้ผลผลิตน้ำท่าส่วนใหญ่ระหว่าง 0.13 - 0.40 ล้าน ลบ.ม. ต่อตร.กม.

2.4 สภาพธรณีสังฐาน และธรณีวิทยา

2.4.1 ธรณีสังฐาน

พื้นที่โครงการตั้งอยู่ในตอนล่างของพื้นที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนล่างรูปร่างคล้ายสามเหลี่ยม มียอดของสามเหลี่ยมอยู่ที่จังหวัดชัยนาทมีฐานของสามเหลี่ยมแผ่กว้างลงมาทางใต้ถึงปากอ่าวไทยบริเวณดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำเจ้าพระยาในปัจจุบัน จังหวัดลพบุรี สระบุรี นครนายก ปราจีนบุรี และฉะเชิงเทรา เป็นขอบของสามเหลี่ยมทางทิศตะวันออก และจังหวัดอุทัยธานี กาญจนบุรี และราชบุรี เป็นขอบของสามเหลี่ยมทางทิศตะวันตก พื้นที่บริเวณใจกลางของสามเหลี่ยม คือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี และนครนายก พื้นที่ส่วนที่เป็นฐานของสามเหลี่ยม คือ จังหวัดปทุมธานี นนทบุรี กรุงเทพฯ สมุทรสาคร และสมุทรปราการ

ที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนล่างเป็นแหล่งสะสมตะกอนร่วมยุคควอเทอร์นารี ภายใต้สภาพแวดล้อมทางน้ำพาและสภาพแวดล้อมชายฝั่ง (Fluvial and Marine Sediment) รอบๆ ที่ราบทางทิศตะวันออกและตะวันตกพบตะกอนจากเนินตะกอนรูปพัดและตะกอนจากตะพักลำน้ำ ชั้นหินที่มีดินเหนียวมากจากการสลายตัวของหินปูนและชั้นมาร์ลของตะพักโครงสร้าง (Structural Terrace) ของกลุ่มหินปูนสระบุรี (Saraburi Group) ทางทิศตะวันออกบริเวณจังหวัดลพบุรีและสระบุรี เศษหินและหินผุบนพื้นที่เกือบราบ (Peneplain) ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้บริเวณจังหวัดปราจีนบุรีและฉะเชิงเทรา

2.4.2 ธรณีวิทยา

ที่ราบภาคกลางตอนล่าง มีลักษณะเป็นธรณีวิทยาหินแข็งประกอบด้วยหินที่มีอายุมากที่สุด คือ พรีแคมเบรียน (Precambrian) จนถึงหินที่มีอายุน้อยที่สุดในยุคจูแรสซิก (Jurassic) ทั้งทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก จึงเป็นต้นกำเนิดของตะกอนที่ถูกแม่น้ำพัดพาไปสะสมในแอ่งสะสมตะกอนซึ่งประกอบด้วยตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Quaternary Deposits) ประกอบด้วย ตะกอนร่วนถึงตะกอนที่ถูกกัดทับจนเกือบแข็งของกรวด หินทราย หินทรายแป้ง และดินเหนียว ซึ่งเกิดจากกระบวนการธรรมชาติ คือ การถูกชะล้างพังทลาย การพัดพา และการตกตะกอนสะสมในแอ่ง (Basin)

ลักษณะการสะสมตะกอนควอเทอร์นารีจากขอบแอ่งมีลำดับเรียงกันมาตามลักษณะธรณีสัณฐานกล่าวคือ เป็นแนวสะสมตะกอนเชิงเขา (Qc, Plio-Ple) ได้แก่ ตะกอนประเภทหินปูนและดินมาร์ล ชั้นศิลาแลงเศษหินเชิงเขา และหินผุของหินแกรนิตและหินแปร ตั้งแต่ปลายยุคเทอร์เชียรีถึงต้นสมัยไพลสโตซีน ตะกอนตะพักลำน้ำระดับสูง (Qt1 Plio-E-Ple) ประกอบด้วย กรวด หินทราย และดินเหนียว ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนทิศทางการไหลของทางน้ำ และการลดระดับลงของทางน้ำ ทำให้เกิดแนวตะพักเป็นขั้นๆตามระดับความสูงซึ่งอาจถูกแบ่งย่อยเป็นตะพักลำน้ำระดับสูง (High Terrace) ตะพักลำน้ำระดับกลาง (Middle Terrace) และตะพักลำน้ำระดับต่ำ (Low Terrace) ตั้งแต่สมัยไพลสโตซีนถึงต้นสมัยไพลสโตซีน เนินตะกอนน้ำพารูปพัดเก่า คือ ตะกอนรูปพัดดอนเจดีย์ (Don Chedi Alluvial Fan) ซึ่งเกิดจากการพัดพาและสะสมตะกอนของลำห้วยต่างๆ ซึ่งเป็นสาขาของแม่น้ำสุพรรณบุรีในสมัยไพลสโตซีน และเนินตะกอนรูปยุค ประกอบด้วย ชั้นกรวดสลับกับชั้นทรายและชั้นทรายแป้งและดินเหนียว มีดินลูกรังปิดทับอยู่ผิวบนเสมอ เช่น เนินตะกอนน้ำพารูปพัดกำแพงแสน หรือตะกอนรูปพัดแม่กลอง มีอายุการสะสมตะกอนสมัยไพลสโตซีนตอนกลางถึงตอนปลาย

ตอนกลางของแอ่งมีลักษณะการสะสมตะกอนแบบดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ ประกอบด้วยชั้นทรายแป้งปนดินเหนียว บางแห่งเป็นดินร่วน และรองรับด้วยชั้นดานหินปูน ตั้งแต่ทางตอนเหนือของเมืองชัยนาทลงมาทางใต้จรดพื้นที่ของจังหวัดอ่างทอง ถัดลงมาเป็น การสะสมตะกอนบริเวณดินดอนสามเหลี่ยมน้ำกร่อย ตะกอนส่วนใหญ่ประกอบด้วย ดินเหนียวสีเทาดำ-สีดำ พบกระจายเป็นบริเวณกว้างมากตั้งแต่ทางตอนเหนือของจังหวัดอยุธยา จังหวัดกรุงเทพฯและปริมณฑลทั้งหมด และรวมขอบเขตทางด้านตะวันออกของที่ราบลุ่มภาคกลาง ได้แก่ บางส่วนของจังหวัดนครนายก ปราจีนบุรี และฉะเชิงเทรา ทางทิศตะวันตกของที่ราบลุ่มภาคกลาง ได้แก่ บางส่วนของจังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม และราชบุรี อายุการสะสมตัวของดินดอนสามเหลี่ยมธารน้ำและดินดอนสามเหลี่ยมน้ำกร่อยในสมัยไพลสโตซีนตอนปลาย (Late Pleistocene) และลักษณะการสะสมตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง หาดสันดอน และตะกอนที่ราบน้ำขึ้นถึง โดยตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง ได้แก่ ตะกอนของคันดินธรรมชาติและตะกอนหลังคันดิน ซึ่งประกอบด้วย ชั้นทรายและชั้นทรายละเอียด พบกระจายเป็นบริเวณกว้างขนานไปกับลำน้ำสายหลักที่ไหลผ่านที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง หาดสันดอน ประกอบด้วยชั้นทรายและทรายแป้ง มีจุดประสมเหล็กและแร่จาร์ไรต์ (Jarosite) เปลือกหอยและเศษไม้ บางแห่งมีชั้นดินเหนียวสลับสีขาว-น้ำตาลแดง ตะกอนที่ราบน้ำขึ้นถึงประกอบด้วยชั้นดินเหนียวเนื้อทรายแป้ง มีจุดประสมเหล็ก เม็ดแร่แมงกานีส แร่จาร์ไรต์ (Jarosite) สีเทาดำ-ดำ อายุของชั้นตะกอนทั้ง 3 หน่วย อยู่ในสมัยโฮโลซีน (Holocene) ตะกอนของแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำสาขาและดินดอนสามเหลี่ยมดังกล่าวสามารถแยกออกได้เป็นสองลักษณะ คือ 1) ตะกอนส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำโดยตรง (Fluvial Environment) ได้แก่ ตะกอน

เหนือบริเวณพื้นที่จังหวัดชัยนาท สิงห์บุรี อ่างทอง และลพบุรี ส่วนใหญ่ประกอบด้วย กรวด ทราย และทรายแป้ง 2) ตะกอนส่วนที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลขึ้นลง (Coastal Environment) ได้แก่ ตะกอนบริเวณพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี นครนายก ฉะเชิงเทรา ปทุมธานี นนทบุรี กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ และสมุทรสาครส่วนใหญ่เป็นดินตะกอนซึ่งประกอบด้วยทรายแป้งและดินเหนียว

2.5 อุทกธรณีวิทยา

อุทกธรณีวิทยาที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างประกอบด้วย ชั้นน้ำบาดาลในตะกอนหินร่วน และชั้นน้ำบาดาลในหินแข็ง บริเวณในขอบเขตพื้นที่โครงการมีลักษณะอุทกธรณีวิทยาเป็นชั้นน้ำบาดาลตะกอนน้ำพา (Alluvium Aquifers: Qfd) ซึ่งชั้นน้ำบาดาลของตะกอนน้ำหลาก (River Flood Plain) ที่มีการเก็บกักน้ำบาดาลอยู่ในช่องว่างของชั้นกรวด ทราย พบกระจายตัวเป็นแนวยาวตั้งแต่พื้นที่จังหวัดชัยนาท สิงห์บุรี อ่างทอง สุพรรณบุรี พระนครศรีอยุธยา นครปฐม ปทุมธานี นนทบุรี ทางทิศตะวันออกของจังหวัดราชบุรี กรุงเทพฯ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม และสมุทรปราการ น้ำบาดาลส่วนใหญ่เป็นน้ำจืด ยกเว้นในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล บางส่วนน้ำบาดาลคุณภาพน้ำเป็นน้ำกร่อย และน้ำเค็ม โดยสามารถแบ่งขอบเขตของชั้นน้ำบาดาลได้ดังนี้

1) ชั้นน้ำกรุงเทพ (Bangkok Aquifer) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชั้นน้ำย่อย คือ ชั้นน้ำกรุงเทพชั้นบน อยู่ลึกจากผิวดินประมาณ 16 - 30 ม. และชั้นน้ำกรุงเทพชั้นล่าง อยู่ลึกจากผิวดินประมาณ 30 - 40 ม. มีความหนาประมาณ 30 - 50 ม. ซึ่งทั้ง 2 ชั้นน้ำถูกคั่นด้วยชั้นดินเหนียว ตะกอนในชั้นน้ำประกอบด้วย ตะกอนทรายละเอียด ทรายหยาบและกรวด ที่มีการคั่นขนาดไม่ตึงค่อนข้างดี มีคุณสมบัติในการกักเก็บน้ำมากแต่คุณภาพน้ำไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการบริโภคได้ ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำกร่อยหรือเค็ม ยกเว้น พื้นที่ด้านตะวันตกเฉียงใต้ของกรุงเทพมหานคร คุณภาพของน้ำพอใช้อุปโภคได้ คือ มีปริมาณคลอไรด์ 250 - 500 มก.ต่อลิตร ชั้นน้ำบาดาลมีค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (Transmissivity) 3,950 ตารางเมตรต่อวัน และมีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำ (Storage Coefficient) 1×10^{-4}

2) ชั้นน้ำพระประแดง (Phra Pradang Aquifer) พบที่ความลึกประมาณ 100 ม. มีความหนาเฉลี่ย 20 - 50 เมตร คุณสมบัติในการกักเก็บน้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ดี ให้น้ำในเกณฑ์ 50 - 100 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง คุณภาพน้ำมีตั้งแต่จืด กร่อย จนถึงเค็ม มีค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ 1,700 - 3,000 ตร.ม.ต่อวัน และมีค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำ 1×10^{-4}

3) ชั้นน้ำนครหลวง (Nakhon Luang Aquifer) พบที่ความลึกประมาณ 150 ม. มีความหนาเฉลี่ย 50 - 70 ม. ประกอบด้วย ตะกอนกรวดทรายที่มีการคั่นขนาดปานกลางถึงดี (Moderately to Well Sorted) มีคุณสมบัติในการเก็บกักน้ำดี ให้น้ำในเกณฑ์ 50 - 200 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ 1,700 - 3,000 ตร.ม.ต่อวัน คุณภาพส่วนใหญ่เป็นน้ำจืด ยกเว้นในพื้นที่ฝั่งธนบุรีและตอนใต้ของกรุงเทพมหานครที่มีคุณภาพน้ำกร่อยจนถึงเค็ม

4) ชั้นน้ำนนทบุรี (Nonthaburi Aquifer) พบที่ความลึกประมาณ 200 ม. และความหนาเฉลี่ย 30 - 70 ม. คุณสมบัติของการเก็บกักน้ำคล้ายคลึงกับชั้นน้ำนครหลวง

5) ชั้นน้ำสามโคก (Sam Khok Aquifer) พบที่ความลึกประมาณ 250 ม. และมีความหนาเฉลี่ย 40 - 60 ม. ประกอบด้วยกรวดทรายมีการคั่นขนาดดีพอใช้ บ่อน้ำบาดาลที่เจาะลึกถึงชั้นน้ำนี้จะอยู่บริเวณตอนเหนือของจังหวัดนนทบุรีถึงจังหวัดปทุมธานี เป็นชั้นน้ำที่ให้น้ำในปริมาณมากอยู่ในเกณฑ์ 50 - 150 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ 5,000 ตร.ม.ต่อวัน คุณภาพน้ำดียกเว้นในพื้นที่ฝั่งธนบุรีและตอนใต้ของกรุงเทพมหานคร คุณภาพน้ำกร่อยหรือเค็ม

6) ชั้นน้ำพญาไท (Phaya Thai Aquifer) พบที่ความลึกประมาณ 350 ม. และมีความหนาเฉลี่ย 40 - 60 ม. ประกอบด้วยกรวดทราย มีดินเหนียวแทรกสลับ การคั่นขนาดดีพอใช้ มีคุณสมบัติการกักเก็บน้ำคล้ายกับชั้นน้ำสามโคก

7) ชั้นน้ำบาดาลธนบุรี (Thonburi Aquifer) พบที่ความลึกประมาณ 450 ม. และมีความหนาเฉลี่ย 50 - 100 ม. ประกอบด้วยกรวดทรายโดยมีดินเหนียวชั้นบางๆ แทรกสลับชั้นกรวดทรายที่มีการคั่นขนาดดี คุณสมบัติการกักเก็บน้ำจะด้อยกว่าชั้นอื่นๆ ที่อยู่ข้างบนเนื่องจากมีดินเหนียว แทรกสลับอยู่ คุณภาพน้ำส่วนใหญ่คุณภาพดียกเว้นด้านตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้ของฝั่งธนบุรีน้ำจะกร่อยหรือเค็ม

8) ชั้นน้ำบาดาลปากน้ำ (Pak Nam Aquifer) ลึกประมาณ 450 - 550 ม. มีความหนาของชั้นน้ำ 80 - 120 ม. กรวดทรายมีการคั่นขนาดดี และมีดินเหนียวแทรกสลับชั้นอยู่ ให้น้ำอยู่ในเกณฑ์ 50 - 100 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง ชั้นทรายที่ระดับลึกตั้งแต่ 550 ม. ลงไปจะให้น้ำคุณภาพดีที่สุด แหล่งน้ำบาดาลในบริเวณตอนเหนือของแอ่งเจ้าพระยา-ท่าจีน ตั้งแต่จังหวัดชัยนาทจนถึงจังหวัดสิงห์บุรี ชั้นน้ำบาดาลอยู่ที่ระดับลึก 20 - 50 ม. ให้น้ำอยู่ในเกณฑ์ 30 - 50 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง บางแห่งมากถึง 80 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง

2.6 ข้อมูลการใช้

2.6.1 การประปาครหลวง

การประปาครหลวงให้บริการน้ำประปาในเขตพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ และนนทบุรี โดยมีโรงงานผลิตน้ำทั้งหมด 4 แห่ง ได้แก่ โรงงานผลิตน้ำบางเขน โรงงานผลิตน้ำสามเสน โรงงานผลิตน้ำธนบุรี และโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ ซึ่งปัจจุบันได้ยกเลิกการผลิตระบบประปาอิสระ และจากระบบประปาจากบ่อบาดาลส่วนกลาง จากรายงานประจำปีล่าสุด ปีงบประมาณ 2552 พบว่าในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา มีแนวโน้มเพิ่มปริมาณน้ำผลิตจ่ายทั้งหมดให้สูงขึ้น ปัจจุบันอยู่ที่ 1,736.4 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี หรือประมาณ 4.76 ล้าน ลบ.ม.ต่อวัน โดยมีปริมาณน้ำจำหน่ายทั้งหมด 1,250.3 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี หรือประมาณ 3.42 ล้าน ลบ.ม.ต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 72 ของปริมาณน้ำผลิต เพื่อให้บริการพื้นที่ทั้งสิ้น 2,329.3 ตร.ม. หรือคิดเป็นจำนวนผู้ใช้น้ำทั้งสิ้น 1,920,155 ราย

2.6.2 การประปาส่วนภูมิภาค

พื้นที่ศึกษาอยู่ภายใต้การดูแลของการประปาส่วนภูมิภาคที่ 4 เขตที่ 2 และ 3 โดยให้บริการประปาในเขตพื้นที่จังหวัดปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา สมุทรสาคร และนครปฐม จากสถิติข้อมูลจำนวนผู้ใช้น้ำและการผลิตน้ำประปา พบว่า ความต้องการน้ำจากระบบประปาส่วนภูมิภาคในพื้นที่รับบริการมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปัจจุบันให้บริการผู้ใช้น้ำทั้งสิ้น 364,696 ราย มีปริมาณน้ำจำหน่ายประมาณ 184.9 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี หรือประมาณ 0.51 ล้าน ลบ.ม.ต่อวัน ดังนั้นหากประมาณการใช้น้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาคในปีล่าสุด (ปี พ.ศ. 2552) เทียบต่อจำนวนผู้ใช้น้ำ เท่ากับ 506.99 ลบ.ม.ต่อคนต่อปี ทั้งนี้แหล่งน้ำส่วนใหญ่ของการประปาส่วนภูมิภาคนั้นยังคงใช้บ่อบาดาลในการผลิตน้ำประปา

2.6.3 การใช้น้ำบาดาล

สำนักควบคุมกิจการน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้ทำรายงานการรวบรวมข้อมูลตำแหน่งบ่อบาดาลของภาคเอกชนจากข้อมูลจำนวนบ่อทั้งหมด 4,548 บ่อ โดยสรุปปริมาณการใช้น้ำบาดาลในเขตพื้นที่ศึกษา ตามประเภทการใช้ประโยชน์ ได้แก่ การใช้เพื่ออุปโภค-บริโภค การใช้เพื่อธุรกิจ และการใช้เพื่อการเกษตรกรรม พบว่า การใช้น้ำบาดาลของภาคเอกชนในเขตพื้นที่ศึกษานั้น นำไปใช้เพื่อประโยชน์ทางด้านธุรกิจเป็นหลัก โดยมีปริมาณน้ำตามใบอนุญาตสูงสุดอยู่ที่จังหวัดสมุทรสาคร สมุทรปราการ และพระนครศรีอยุธยา ตามลำดับ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการประกอบงงานด้านอุตสาหกรรมจำนวนมาก

ตารางที่ 2.6-1 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำบาดาลจำแนกตามประเภทการใช้ประโยชน์

จังหวัด	อุปโภค-บริโภค		ธุรกิจ		เกษตรกรรม		รวมทุกประเภท	
	จำนวนบ่อ	ปริมาณน้ำตามใบอนุญาต (ลบ.ม./วัน)	จำนวนบ่อ	ปริมาณน้ำตามใบอนุญาต (ลบ.ม./วัน)	จำนวนบ่อ	ปริมาณน้ำตามใบอนุญาต (ลบ.ม./วัน)	จำนวนบ่อ	ปริมาณน้ำตามใบอนุญาต (ลบ.ม./วัน)
กรุงเทพมหานคร	85	9,535	180	53,315	13	602	278	63,452
นครปฐม	156	22,765	607	130,378	24	909	787	154,052
นนทบุรี	37	2,508	117	20,573	3	135	157	23,216
ปทุมธานี	195	27,096	456	96,978	14	1,115	665	125,189
สมุทรปราการ	74	4,639	782	229,374	3	75	859	234,088
สมุทรสาคร	179	27,582	876	248,201	3	85	1,058	275,868
พระนครศรีอยุธยา	297	46,155	406	158,556	41	4,095	744	208,806
รวม	1,023	140,280	3,424	937,375	101	7,016	4,548	1,084,671

ที่มา : สำนักควบคุมกิจการน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551)

2.6.4 สรุปแนวโน้มความต้องการน้ำผิวดินและน้ำบาดาล

การสรุปแนวโน้มความต้องการน้ำผิวดินและน้ำบาดาล สามารถประเมินได้เฉพาะแนวโน้มความต้องการ
ประปาเพื่อการอุปโภค-บริโภคจากการเปลี่ยนแปลงของประชากรในพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาความต้องการใช้
น้ำจากปี พ.ศ. 2552 เป็นปีฐาน พบว่า ในอนาคตจะมีผู้รับบริการประปานครหลวงเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 51,005
ราย และมีผู้รับบริการประปาภูมิภาคเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 26,557 คน หรือคิดเป็นความต้องการน้ำประปาเพิ่มขึ้น
เฉลี่ยปีละ 25.86 และ 13.46 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี ตามลำดับ

บทที่ 3

การศึกษาสภาพอุทกธรณีวิทยาน้ำบาดาล

บทที่ 3 การศึกษาสภาพอุทกธรณีวิทยาน้ำบาดาล

3.1 กรอบแนวคิดของการศึกษาภาพตัดขวางชั้นดินและชั้นน้ำบาดาล

การศึกษาค้นคว้านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงเพิ่มเติมข้อมูลภาพตัดขวางชั้นดินและชั้นน้ำบาดาลในขอบเขตพื้นที่ศึกษา 7 จังหวัด บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ตามวัตถุประสงค์ของโครงการฯ ที่มุ่งเน้นทำการศึกษาลงของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ (หมายรวมถึงการลดระดับ และ/หรือ การคืนตัวของน้ำบาดาล) ต่อโครงสร้างใต้ดิน และโครงสร้างอาคารรวมทั้งฐานรากส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับความลึกไม่เกิน 80 ม. โดยภาพตัดขวางที่ได้จากโครงการฯ นี้ จะนำไปใช้อธิบายถึงคุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยา และใช้ในการเปรียบเทียบและปรับปรุงค่าระดับขอบเขตบนและล่างของระบบชั้นน้ำบาดาลในขั้นตอนการออกแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในขอบเขตพื้นที่โครงการฯ ต่อไป

3.2 การรวบรวมข้อมูลหลุมเจาะสำรวจชั้นดินและชั้นหิน

การรวบรวมข้อมูลหลุมเจาะสำรวจและบ่อสังเกตการณ์ ได้ดำเนินการร้องขอข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งจากทางราชการและเอกชน โดยผลการเจาะสำรวจชั้นดินและชั้นหิน และวิเคราะห์ทางปฐพีกลศาสตร์นั้นจะนำไปในการศึกษาภาพตัดขวางและวิเคราะห์ผลกระทบจากการคืนตัวของแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาลต่อโครงสร้างใต้ดินในลำดับถัดไป โดยมีแหล่งข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3.2-1

ตารางที่ 3.2-1 แหล่งข้อมูลหลุมเจาะบ่อบาดาลและบ่อสังเกตการณ์

หน่วยงาน	ข้อมูลที่ขอความอนุเคราะห์
กรมทรัพยากรธรณี	- ข้อมูลแผนที่แสดงลักษณะธรณีวิทยา 1:50,000 - ข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้าง
สำนักโยธาธิการ กรุงเทพมหานคร	- ข้อมูลชุดเจาะสำรวจชั้นดิน
กรมโยธาธิการและผังเมือง	- ข้อมูลชุดเจาะสำรวจชั้นดิน
กรมชลประทาน	- ข้อมูลแสดงอัตราการซึมผ่านของฝน - ข้อมูลแสดงปริมาณของน้ำท่า - ข้อมูลแสดงการระเหยของน้ำบาดาล - ข้อมูลการใช้น้ำประเภทต่างๆ
กรมอุตุนิยมวิทยา	- ข้อมูลแผนที่แสดงจุดสถานีวัดน้ำฝน - แผนที่แสดงปริมาณน้ำฝน รายเดือน/ปี
การประปาส่วนภูมิภาค	- ข้อมูลแสดงปริมาณการใช้น้ำในเขตภูมิภาค
การประปานครหลวง	- ข้อมูลแสดงปริมาณการใช้น้ำในเขตนครหลวง - ข้อมูลชุดเจาะสำรวจชั้นดินอุโมงค์ส่งน้ำ
การรถไฟฟ้ามหานครแห่งประเทศไทย	- ข้อมูลชุดเจาะสำรวจชั้นดิน
การทางพิเศษแห่งประเทศไทย	- ข้อมูลชุดเจาะสำรวจชั้นดิน

3.3 การจัดทำภาพตัดขวางชั้นดินและชั้นน้ำบาดาล

การรวบรวมข้อมูลหลุมเจาะสำรวจชั้นดินชั้นหิน บ่อน้ำบาดาลอุปก-บริโกค บ่อน้ำบาดาลประปาชุมชน และบ่อสังเกตการณ์ ทั้งของภาครัฐและภาคเอกชน โดยมีรายละเอียดข้อมูลพื้นฐานของบ่อน้ำบาดาล ได้แก่ หมายเลขบ่อ วันที่เจาะ ความลึก ระดับน้ำ ตำแหน่งพิกัด หรือ สถานที่เจาะ เป็นต้น ข้อมูลธรณีวิทยาหลุมเจาะ และ ข้อมูลการหยั่งธรณีหลุมเจาะแบบไฟฟ้า (E-Log) โดยมีข้อมูลได้จากระบบฐานข้อมูลพสุธาราของ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล แสดงดังตารางที่ 3.3-1

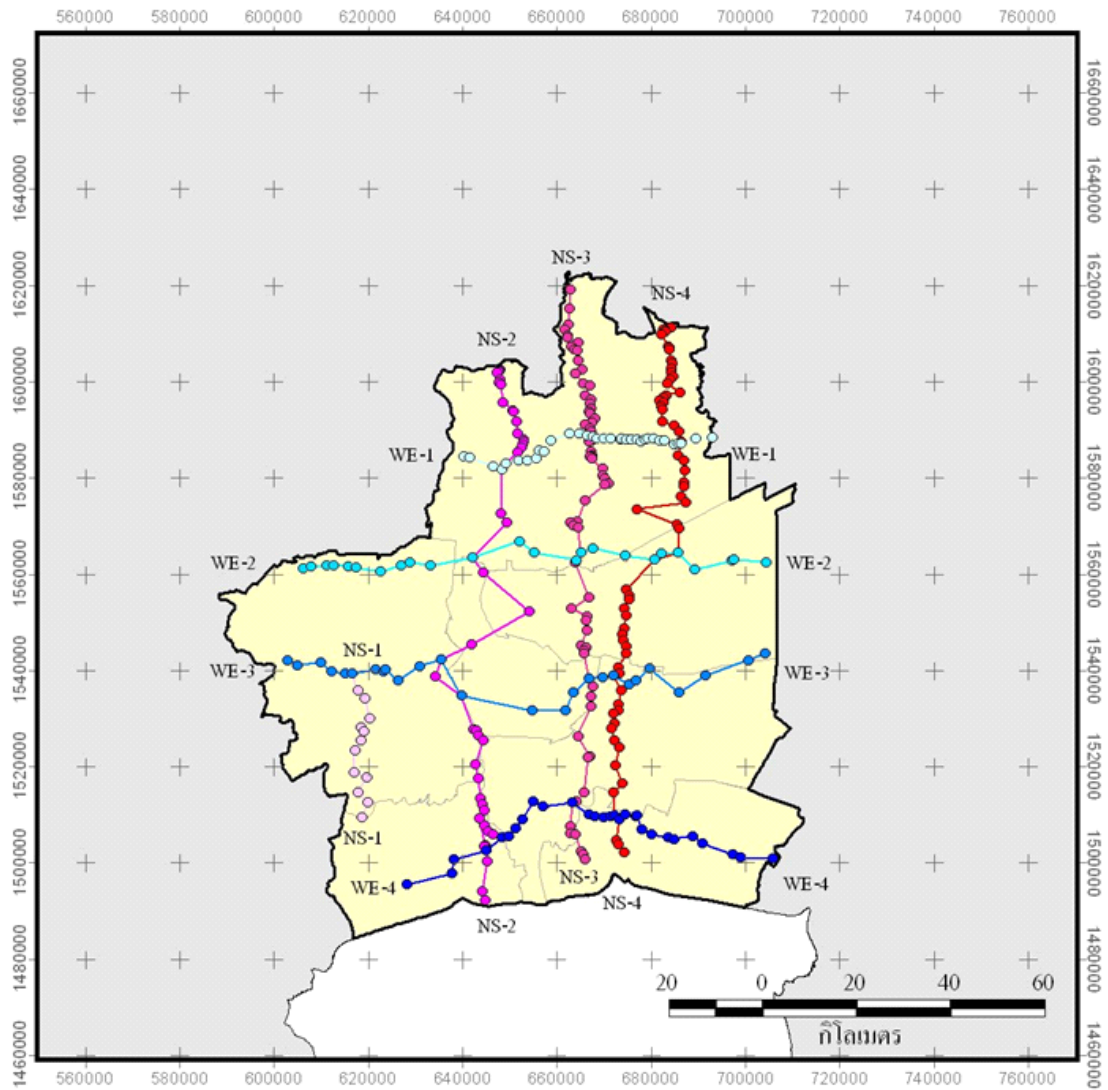
ตารางที่ 3.3-1 จำนวนข้อมูลหลุมเจาะสำรวจชั้นดินชั้นหินในขอบเขตพื้นที่โครงการ

จังหวัด	ข้อมูลหลุมเจาะที่มี Lithology		ข้อมูลหลุมเจาะที่มี E-log	
	ทั้งหมด	ในภาพตัดขวาง	ทั้งหมด	ในภาพตัดขวาง
กรุงเทพมหานคร	169	36	14	12
นครปฐม	1,065	55	233	27
นนทบุรี	176	5	15	5
ปทุมธานี	401	36	82	15
สมุทรปราการ	272	26	33	12
พระนครศรีอยุธยา	1,824	145	576	88
สมุทรสาคร	585	18	44	13
รวม	4,492	321	997	172

หลังจากรวบรวมและคัดเลือกข้อมูลหลุมเจาะแล้ว จึงนำเข้าสู่ข้อมูลในโปรแกรม Rockwork และทำการกำหนดรายละเอียดข้อมูลหลุมเจาะ ได้แก่ พิกัด ความลึกบ่อ ระดับปากบ่อ และรายละเอียดชั้นดินและชั้นหินตามระดับความลึกต่างๆ รวมทั้ง E-log ของแต่ละบ่อ โดยโปรแกรมจะแสดงขอบเขตของแต่ละหน่วยของชั้นดินชั้นหินตามความลึก และตำแหน่งพิกัดในขอบเขตพื้นที่ศึกษา จากนั้นจึงทำการสร้างแนวของภาพตัดขวางชั้นดินโดยสรุปเป็นแนวภาพตัดขวางในพื้นที่โครงการทั้ง 8 แนว แสดงดังรูปที่ 3.3-1

3.4 การแปลความหมายลักษณะอุทกธรณีวิทยาจากภาพตัดขวางชั้นดินและชั้นน้ำบาดาล

การวิเคราะห์ลักษณะอุทกธรณีวิทยาของภาพตัดขวางชั้นดินและชั้นน้ำบาดาลจากภาพตัดขวางชั้นดินและชั้นน้ำบาดาลทั้งสิ้น 8 แนว โดยมีภาพตัดขวางในแนวเหนือ-ใต้จำนวน 4 แนว และภาพตัดขวางในแนวตะวันออก-ตะวันตกจำนวน 4 แนว แปลความหมายจาก ข้อมูลหยั่งธรณีหลุมเจาะแบบไฟฟ้า (Electronic log, E-log) ประกอบด้วย Self potential log (SP log) และ Resistivity log รายละเอียดของชั้นดินชั้นหิน (Lithologic Log) ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล และอื่นๆ เช่น ลักษณะธรณีวิทยาพื้นผิว ข้อมูลเจาะสำรวจทางปฐพีกลศาสตร์ เป็นต้น



แผนที่ตำแหน่งหลุมเจาะตามแนวคัดขวาง		
สัญลักษณ์	กลุ่มหลุมเจาะตามแนวคัดขวาง	
—	○ NS-1	○ WE-1
—	○ NS-2	○ WE-2
○	○ NS-3	○ WE-3
	○ NS-4	○ WE-4
—		
—		
○		

รูปที่ 3.3-1 ตำแหน่งของภาพตัดขวางชั้นดินและชั้นน้ำบาดาลทั้ง 8 แนว

ในการแบ่งชั้นน้ำบาดาลในภาพตัดขวาง พิจารณาจากลักษณะความต่อเนื่องในแนวตั้ง และความต่อเนื่องในแนวระดับของชั้นหินอุ้มน้ำ (ชั้นกรวดทราย) และชั้นหินกั้นน้ำ (ชั้นดินเหนียว) จากความสอดคล้องกันของขอบเขตของชั้นดินชั้นหินที่พบตามความลึกจากบ่อข้างเคียง ร่วมกับการวิเคราะห์ความเชื่อมโยงจากผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เช่น คลอไรด์และซัลเฟต ที่ได้จากบ่อสังเกตการณ์ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ซึ่งมีการอ้างอิงขอบเขตชั้นน้ำจากระดับความลึกของสกรีนในแบบจำลองภาพตัดขวาง นอกจากนี้ คุณภาพน้ำบาดาลยังแสดงถึงความเชื่อมโยงถึงแนวโน้มการรั่วซึมของน้ำเค็ม (จากน้ำบาดาลชั้นบน) ผ่านชั้นดินเหนียวที่แสดงถึงความไม่ต่อเนื่องของระบบน้ำบาดาลในพื้นที่โครงการ โดยมีสรุปลักษณะอุทกธรณีวิทยาจากภาพตัดขวางชั้นดินและชั้นน้ำบาดาลดังนี้

3.4.1 ภาพตัดขวางแนวเหนือ-ใต้

จากลักษณะทางธรณีวิทยาพื้นผิว พบว่า แนว NS1 พบลักษณะทางธรณีวิทยา 2 แบบ ได้แก่ แหล่งสะสมตะกอนตะกอนน้ำ (Terrace) พบในแนวที่ตัดผ่านบริเวณพื้นที่อำเภอกำแพงแสน และบางส่วนของอำเภอมืองนครปฐมนั้น ซึ่งเป็นตะกอนน้ำที่ยื่นมาจากบริเวณทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของจังหวัดสุพรรณบุรี มักพบชั้นกรวดสลับชั้นทราย ชั้นทรายแป้ง และดินเหนียว หรือมีดินลูกรังสะสมปิดทับตะกอนรูปพัดยุคเก่า กลายเป็นเนินตะกอนน้ำพารูปพัดกำแพงแสน (Kamphaeng Sean Alluvial Fan) ถัดลงมาทางทิศใต้พบแหล่งสะสมตะกอนของดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ มักพบชั้นทราย ชั้นทรายแป้งปนดินเหนียว หรือชั้นดินเหนียวปิดทับ จากลักษณะทางธรณีวิทยาจึงพบชั้นหินอุ้มน้ำในแนว NS1 ประกอบด้วย ชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนตะกอนน้ำ และชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนน้ำพา

ส่วนลักษณะทางธรณีวิทยาพื้นผิวของแนว NS2 NS3 และ NS4 นั้นเป็นลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ตอนกลางของที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง คือ เป็นแหล่งสะสมตะกอนน้ำพาบริเวณปากแม่น้ำ ที่ราบน้ำท่วมถึง และตะกอนดินสะสมที่ราบน้ำท่วมถึงริมทางแม่น้ำสายเก่า ซึ่งทำให้พบชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนน้ำพา

3.4.2 ภาพตัดขวางแนวตะวันตก-ตะวันออก

ภาพตัดขวางแนวตะวันตก-ตะวันออก เป็นแนวที่ตัดขวางเส้นทางลำธารของพื้นที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนล่าง ซึ่งประกอบด้วยเส้นลำธารสายน้อย-ใหญ่มากมาย อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาเฉพาะเส้นแม่น้ำหลัก ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชั้นน้ำบาดาลที่ปรากฏกับเส้นทางน้ำ (เก่า) โดยแนว WE1 นั้นได้ตัดผ่านแม่น้ำน้อย และจุดบรรจบระหว่างแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำลพบุรี และแม่น้ำป่าสัก ส่วนแนว WE2, WE3 และ WE4 นั้นตัดผ่านเส้นแม่น้ำหลักของแม่น้ำท่าจีนและแม่น้ำเจ้าพระยา

ลักษณะทางธรณีวิทยาพื้นผิวของทั้ง 4 แนวนั้นเป็นลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ตอนกลางของที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง คือ เป็นแหล่งสะสมตะกอนน้ำพาบริเวณปากแม่น้ำ ที่ราบน้ำท่วมถึง และตะกอนดินสะสมที่ราบน้ำท่วมถึงริมทางแม่น้ำสายเก่า ซึ่งทำให้พบชั้นหินอุ้มน้ำตะกอนน้ำพา

จากผลศึกษาภาพตัดขวางของชั้นดินชั้นหินทั้ง 8 แนวนั้น แสดงให้เห็นถึงความไม่ต่อเนื่องของระบบน้ำบาดาลของพื้นที่โครงการ ซึ่งเมื่อทำการแปลความหมายจากข้อมูล E-logs ร่วมกับลักษณะของชั้นดินชั้นหินและผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล จึงสามารถคาดคะเนและแปลความหมายทางอุทกธรณีวิทยาที่พบใน 4 ชั้นน้ำ คือ ชั้นน้ำกรุงเทพ ชั้นน้ำพระประแดง ชั้นน้ำนครหลวง และชั้นน้ำนทบุรี มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ชั้นน้ำกรุงเทพ

ชั้นน้ำกรุงเทพถูกปิดทับด้วยชั้นดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok Clay) ซึ่งประกอบด้วย ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) หนาประมาณ 0 - 20 ม. และชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) หนาประมาณ 3 - 50 ม. ชั้นน้ำกรุงเทพฯ พบอยู่ลึกประมาณ 15 - 30 ม. จากระดับผิวดิน ความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำประมาณ 20 - 60 ม. กระจายทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา ดินเหนียวที่ปิดกั้นชั้นบนส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวสีดำ สีเทาดำ สีเทา หรือ สีน้ำตาลเทา ชั้นหินอุ้มน้ำมีลักษณะเป็นชั้นทรายสีเหลืองถึงน้ำตาล หนาละเอียดถึงหยาบ การคัดขนาดเลวถึงปานกลาง มีแร่ประกอบของควอตซ์ เฟลด์สปาร์ บางแห่งพบเชลล์ หรือ ดินลูกรัง ชั้นดินเหนียวแทรกสลับในชั้นน้ำกรุงเทพส่วนใหญ่พบเป็นดินเหนียวสีเหลือง-น้ำตาล ถึง สีน้ำตาลเข้ม บางแห่งเป็นชั้นดินเหนียวปนทราย หรือ ปนทรายแป้ง ชั้นน้ำมีคุณภาพน้ำกร่อยถึงเค็ม

2. ชั้นน้ำพระประแดง

ชั้นน้ำพระประแดงพบชั้นดินเหนียวหนาประมาณ 10 - 15 ม. กั้นระหว่างชั้นน้ำกรุงเทพ และชั้นน้ำพระประแดง ชั้นน้ำพระประแดงพบที่ความลึก 60 - 90 ม. จากระดับพื้นดิน หนาประมาณ 20 - 50 ม. พบเลนส์ของดินเหนียวแทรกสลับชั้นกรวดและชั้นทราย ความหนาของชั้นน้ำทางทิศเหนือบางกว่าทางทิศใต้ ซึ่งพบว่าในทางทิศเหนือมักปรากฏเลนส์ของดินเหนียวแทรกสลับชั้นทรายบางๆ หลายๆ ชั้นอย่างไม่ต่อเนื่อง แต่ในเลื่อนลงมาจากตอนกลางถึงทางทิศใต้ชั้นทรายจะหนาขึ้น บางบริเวณพบชั้นกรวดละเอียดปนทราย ชั้นน้ำมีคุณภาพน้ำจืด แต่ในหลายพื้นที่ส่วนใหญ่มีคุณภาพน้ำกร่อยถึงเค็ม

3. ชั้นน้ำนครหลวง

ชั้นน้ำนครหลวงพบที่ความลึก 125 - 180 ม. จากระดับพื้นดิน มีความหนาประมาณ 15 - 75 ม. พบเลนส์ของชั้นดินเหนียวหนาประมาณ 2 - 10 ม. และชั้นกรวดหนาประมาณ 3 - 10 ม. แทรกสลับชั้นตะกอนทราย จากภาพตัดขวางพบว่าการแทรกสลับของชั้นดินเหนียวกับชั้นน้ำทางทิศตะวันออกแตกต่างจากทางทิศตะวันตก กล่าวคือ ทางทิศตะวันออกชั้นดินเหนียวแบ่งชั้นน้ำนครหลวงออกเป็น 3 ชั้นย่อย ส่วนทางทิศตะวันตกชั้นดินเหนียวในพื้นที่แบ่งชั้นน้ำนครหลวงออกเป็น 2 ชั้นย่อย พบความหนาของชั้นน้ำนครหลวงเพิ่มขึ้นทางทิศตะวันตกและทางทิศเหนือของพื้นที่ศึกษา

นอกจากนี้ พบว่าชั้นดินเหนียวที่กั้นชั้นน้ำพระประแดงออกจากชั้นน้ำนครหลวง มีความหนาประมาณ 2 - 15 ม. และในทางใต้ของพื้นที่พบว่าชั้นดินเหนียวที่กั้นชั้นน้ำพระประแดงและชั้นน้ำนครหลวง หนาไม่ต่อเนื่อง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการรั่วซึมระหว่างชั้นน้ำทั้งสอง

ตอนล่างของชั้นน้ำนครหลวงพบชั้นดินเหนียวแข็งและชั้นดินเหนียวปนทราย หนาประมาณ 4 - 15 ม. กั้นชั้นน้ำนครหลวงออกจากชั้นน้ำนทบุรี นอกจากนี้ พบว่าทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศ

ตะวันตกเฉียงใต้ มีความหนาของชั้นดินเหนียวไม่ต่อเนื่อง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการรั่วซึมระหว่างชั้นนํ้านครหลวงและชั้นนํ้านนทบุรี คุณภาพน้ำของชั้นนครหลวงโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ดี แต่บางแห่งพบค่าคลอไรด์และซัลเฟตสูงขึ้น และแสดงแนวโน้มว่ามีการรั่วซึมของน้ำกร่อยและน้ำเค็มจากชั้นน้ำพระประแดง

4. ชั้นนํ้านนทบุรี

ชั้นนํ้านนทบุรีพบที่ความลึก 170 - 200 ม. จากระดับผิวดิน มีความหนาประมาณ 30 - 70 ม. มีลักษณะทางกายภาพคล้ายคลึงกับชั้นนํ้านครหลวง ประกอบด้วยชั้นตะกอนของทราย และชั้นกรวด มีเลนส์ของดินเหนียวแทรกสลับ ชั้นนํ้านนทบุรีถูกแบ่งออกเป็นชั้นย่อย อย่างน้อย 3 ชั้น แต่ละชั้นมีความหนาประมาณ 10 - 40 ม. คุณภาพน้ำของชั้นนํ้าอยู่ในเกณฑ์ดี

3.5 การศึกษาการคืบตัวของระดับน้ำบาดาล

ผลการศึกษาการคืบตัวของระดับน้ำบาดาลและแนวโน้มความเป็นไปได้ของการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้น้ำบาดาลในเบื้องต้นจากกล่าวถึงพฤติกรรมและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลใน 3 ชั้นน้ำ คือ ชั้นน้ำพระประแดง ชั้นนํ้านครหลวง และชั้นนํ้านนทบุรี ซึ่งเป็นชั้นน้ำที่มีการเจาะบ่อบาดาลและสูบใช้ทั่วไป โดยสรุปผลจากบ่อสังเกตการณ์ในพื้นที่โครงการฯ จำนวนทั้งสิ้น 167 บ่อ ทั้งนี้พบว่า ระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ส่วนใหญ่จะเริ่มมีการคืบตัวของระดับน้ำประมาณในช่วงปี พ.ศ. 2538 - 2541 (ค.ศ. 1995-1998) โดยมีรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแต่ละพื้นที่ดังนี้

กรุงเทพมหานคร พบว่าทั่วทั้งพื้นที่กรุงเทพมหานครมีแนวโน้มที่ระดับน้ำบาดาลเพิ่มสูงขึ้น โดยทั่วไปเพิ่มขึ้นระหว่าง 5 - 20 ม. ในทุกชั้นน้ำ โดยมีบางพื้นที่เช่น เขตประเวศ มีนบุรี บางเขน พระโขนง และบางกะปิที่มีการคืบตัวของระดับน้ำมากกว่า 20 ม. โดยพบการคืบตัวสูงสุดที่บ่อสังเกตการณ์ NB45 ที่มีระยะพื้นตัวของน้ำบาดาลในชั้นนํ้านนทบุรี 30.45 ม. คิดเป็นระยะพื้นตัวประมาณ 2.18 ม. ต่อปี

นนทบุรี พบว่าทั่วทั้งพื้นที่มีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำระหว่าง 3 - 15 ม. ในทุกชั้นน้ำ โดยบ่อสังเกตการณ์ NB4 อำเภอบางบัวทอง มีระยะพื้นตัวของน้ำบาดาลในชั้นนํ้านนทบุรี 15.54 ม. คิดเป็นระยะพื้นตัวประมาณ 1.20 ม. ต่อปี

ปทุมธานี พบว่ามีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำระหว่าง 5 - 20 ม. ในทุกชั้นน้ำ โดยบ่อสังเกตการณ์ NB34 อำเภอลองหลวงมีระยะพื้นตัวของน้ำบาดาลสูงที่สุดในชั้นนํ้านนทบุรี เท่ากับ 21.67 ม. คิดเป็นระยะพื้นตัวประมาณ 2.17 ม. ต่อปี แต่กลับพบว่าบางพื้นที่ เช่น บ่อสังเกตการณ์ในเขตอำเภอรัญบุรี คลองหลวง หนองเสือ และลำลูกกา ระดับน้ำบาดาลยังมีแนวโน้มลดลงหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำอย่างเด่นชัด

นครปฐม พบว่าเป็นพื้นที่ที่ไม่แสดงแนวโน้มของการพื้นตัวของน้ำบาดาลอย่างชัดเจน โดยพบว่าพื้นที่ในเขตอำเภอมืองนครปฐมและอำเภอดอนตูมแสดงแนวโน้มการลดลงของระดับน้ำบาดาล พื้นที่ที่มีระดับการ

คืบตัวของน้ำบาดาลสูงสุด คือ บ่อสังเกตการณ์ NB61 อำเภอสามพราน มีระยะพื้นตัวของน้ำบาดาลในชั้นน้ำ
นันทบุรี 17.81 ม. คิดเป็นระยะพื้นตัวประมาณ 1.27 ม. ต่อปี

พระนครศรีอยุธยา พบว่ามีบ่อสังเกตการณ์ที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้้น้อยกว่าในพื้นที่อื่นๆ แต่พบว่ามี
เพิ่มขึ้นของระดับน้ำในเขตอำเภอวังน้อยและอำเภอบางไทรในช่วงระหว่าง 5 - 15 ม. ในทุกชั้นน้ำ

สมุทรปราการ พบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกับจังหวัดกรุงเทพมหานคร คือ ท่วมทั้งพื้นที่ที่มีแนวโน้มของ
การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำบาดาล ในช่วงระหว่าง 5 - 20 ม. ในทุกชั้นน้ำ และพบว่าในเขตพื้นที่อำเภอบางพลีมี
ระดับสูงชันมากกว่า 20 ม. โดยเฉพาะบ่อสังเกตการณ์ NB29 อำเภอบางพลี มีระยะพื้นตัวของน้ำบาดาลใน
ชั้นน้ำนันทบุรี 26.90 ม. คิดเป็นระยะพื้นตัวประมาณ 1.92 ม. ต่อปี

สมุทรสาคร พบว่ามีแนวโน้มของการเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำบาดาลแต่เนื่องจากจำนวนบ่อสังเกตการณ์
ที่พบในพื้นที่มีน้อยและมีข้อมูลระดับน้ำบางบ่อมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างระหว่าง 5 - 30 ม. จึงพบว่าค่า
สังเกตการณ์ที่วัดได้จากพื้นที่จังหวัดสมุทรสาครสูงกว่าและแตกต่างจากพื้นที่จังหวัดอื่นๆ พื้นที่ที่มีระดับการคืบ
ตัวของน้ำบาดาลสูงสุดพบที่ บ่อสังเกตการณ์ NL24 อำเภอเมืองสมุทรสาคร มีระยะพื้นตัวของน้ำบาดาลในชั้น
น้ำนครหลวง 32.75 ม. คิดเป็นระยะพื้นตัวประมาณ 2.34 ม. ต่อปี

บทที่ 4

ข้อมูลคุณลักษณะของชั้นดิน
ที่ก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

บทที่ 4

ข้อมูลคุณลักษณะของชั้นดินที่ก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

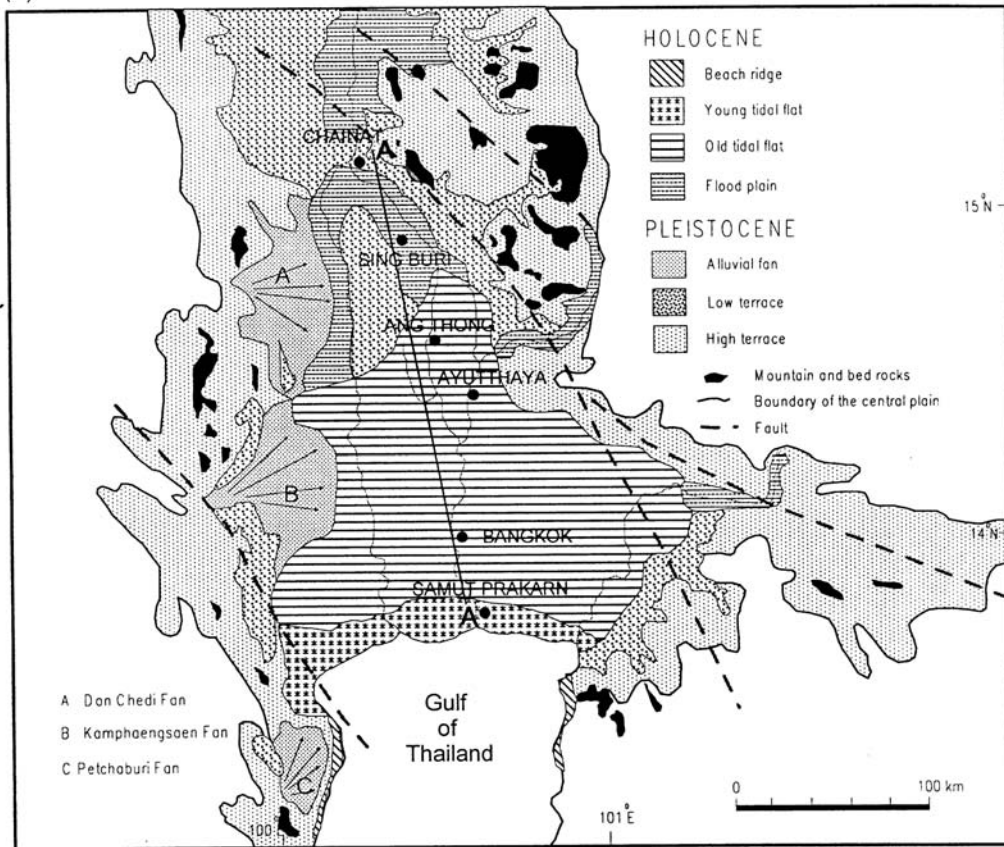
4.1 ประวัติการตกตะกอน (Sedimentation) ของชั้นดินในพื้นที่ศึกษา

กรุงเทพมหานครและปริมณฑลตั้งอยู่บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ซึ่งก่อเกิดในสมัย Pleistocene Epoch (1.8 - 0.01 ล้านปี) เมื่อพื้นแผ่นดินบริเวณนี้มีการเคลื่อนตัว ทำให้เกิดกลุ่มรอยเลื่อน (Fault Zone) และเกิดการยุบตัว ครอบคลุมตั้งแต่จังหวัดนครสวรรค์ถึงอ่าวไทย จากข้อมูล Aeromagnetic และข้อมูลหลุมเจาะน้ำบาดาล พบว่าในปัจจุบันความหนาของดินตะกอนที่ทับบนชั้นหินฐาน มีความหนา ประมาณ 500 - 2,000 ม.

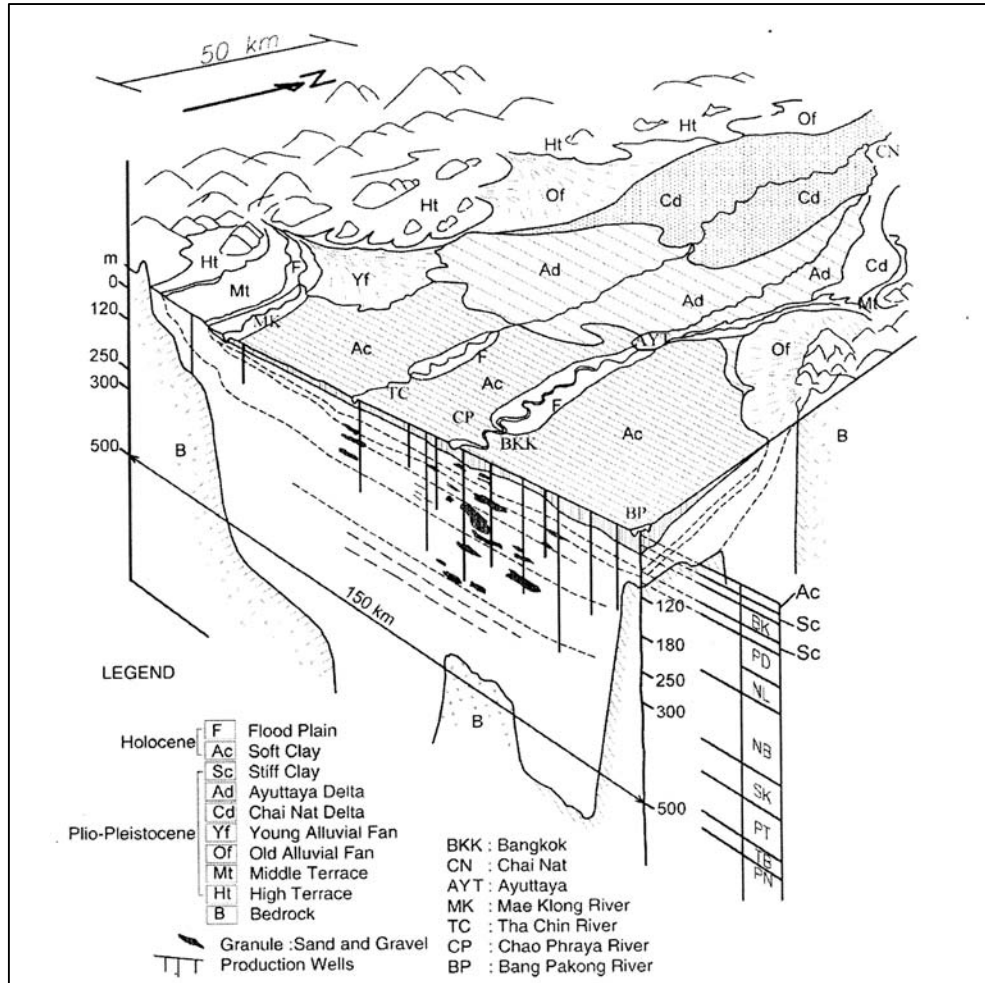
การเคลื่อนตัวของโครงสร้างธรณีวิทยาดังกล่าว ทำให้บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาและอ่าวไทยมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ มีมุมลาดไปทางทิศใต้ และส่งผลต่อแนวการไหลของแม่น้ำสายโบราณในพื้นที่ภาคกลาง ซึ่งเรียกว่าระบบแม่น้ำซุนดา (Sunda River System) และที่รู้จักในปัจจุบันได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำท่าจีน เป็นต้น ในช่วงเวลาตั้งแต่สมัย Pleistocene Epoch ถึงสมัย Holocene Epoch (0.01 ล้านปี) ระบบแม่น้ำโบราณได้พัดพาตะกอนจากภูเขาทางทิศตะวันตกและทิศเหนือ มาทับถมบนชั้นหินฐานบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา รวมทั้งบริเวณอ่าวไทยในปัจจุบัน และเกิดเป็นดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ รูปที่ 4.1-1 แสดงการกระจายตัวของดินตะกอนบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างซึ่งเกิดใน Quaternary Period (2.6 - 0 ล้านปี) และรูปที่ 4.1-2 แสดงภาพสามมิติของชั้นดินและชั้นหินฐานบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของชั้นดินตะกอนที่ระดับความลึก 260 ถึง 300 ม. ซึ่งเกิดในสมัย Pleistocene Epoch สันนิษฐานได้ว่าชั้นดินตะกอนนี้ตกตะกอนในสภาวะแวดล้อมน้ำจืด และภูมิอากาศแห้งแล้ง ขนาดตะกอนประกอบด้วย กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว และเมื่อพิจารณาชั้นดินในช่วงระดับความลึก 100 ถึง 400 ม. พบว่า อัตราส่วนความหนาของชั้นดินเหนียวต่อชั้นทรายและกรวด เท่ากับ 1:3 นอกจากนี้ ชั้นทรายที่ระดับความลึก 20 ถึง 30 ม. รวมไปถึงชั้นทรายสลับดินเหนียวถึงความลึกประมาณ 100 ม. เกิดจากการสะสมของตะกอนสมัย Pleistocene Epoch เช่นกัน

ปลายสมัย Pleistocene Epoch เป็นช่วงเวลาที่เกิดภูเขาน้ำแข็งสูงสุดครั้งล่าสุด (Last Glacial Maximum (LGM)) ระดับน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงทั่วโลก และลดลงเฉลี่ยประมาณ 116 ม. ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลในปัจจุบัน (MSL) ส่งผลให้แผ่นดินบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา รวมทั้งอ่าวไทยอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเล และเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นดินซุนดา (Sunda Land) ซึ่งเชื่อมเกาะบอร์เนียว (Borneo) ซา (Java) และ สุมาตรา (Sumatra) กับผืนทวีปเอเชีย โดยมีพื้นที่ประมาณ 2.37 ล้าน ตร.กม. หรือประมาณห้าเท่าของประเทศไทยในปัจจุบัน ในช่วงเวลาดังกล่าว ภูมิอากาศมีสภาพแห้งแล้ง และเกิดการฟุ้งของดิน และตะกอนถูกพัดพาไปโดยธารน้ำ ทำให้เกิดเนินตะกอนน้ำพารูปพัด (Alluvial Fan) บริเวณพื้นที่ภาคกลางตอนล่าง และอ่าวไทย



รูปที่ 4.1-1 แผนที่ธรณีวิทยาแสดงตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Quaternary Period)
บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

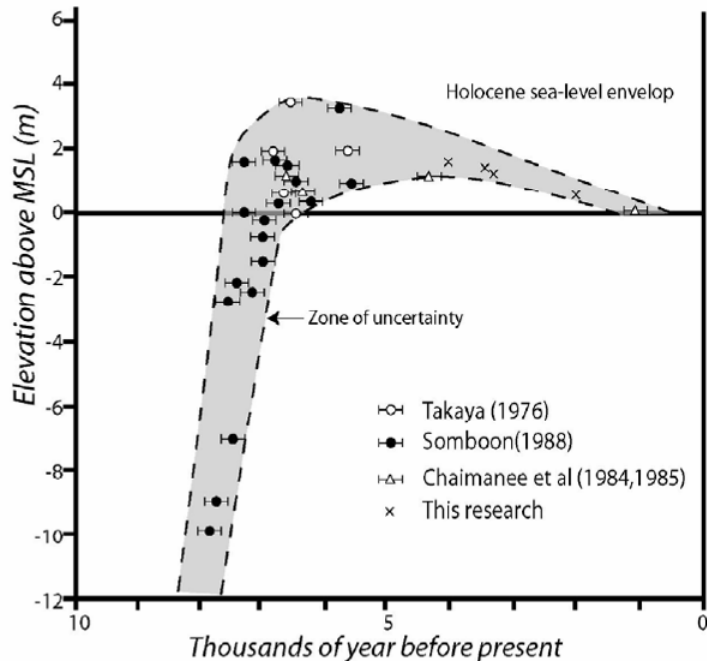


รูปที่ 4.1-2 ชั้นดินบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

ชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) ที่ระดับความลึกประมาณ 15 ถึง 20 ม. เป็นดินชั้นบนสุดของตะกอนปลายสมัย Pleistocene Epoch ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือ (Salt Content) พบว่ามีปริมาณเกลือน้อยมาก ซึ่งบ่งชี้ว่า ชั้นดินเหนียวแข็งนี้เกิดขึ้นบนบกบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood Plane Deposit) และได้ผ่านกระบวนการ Weathering Process ทั้งนี้ กระบวนการดังกล่าวทำให้ดินตะกอนมีคุณสมบัติแบบ Overconsolidated Clay ผลการวิเคราะห์อายุของชั้นดินเหนียวแข็ง โดย Radiocarbon Dating พบว่ามีอายุประมาณ 11,170 ถึง 69,000 ปี

ระดับน้ำทะเลของประเทศไทยในสมัย Holocene เคยขึ้นสูงสุดในช่วง 5,500 ถึง 7,300 ปีก่อนปัจจุบัน และเริ่มลดลงในช่วง 2,250 ถึง 6,500 ปี ดังแสดงในรูปที่ 4.1-3 การศึกษาธรณีสิ่งแวดล้อมวิทยา อายุของซากพืช ซากสัตว์บริเวณพื้นที่ภาคกลางและอ่าวไทย พบว่าในช่วงเวลา 6,500 ถึง 4,000 ปี ระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นจาก -12.5 ม. ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลปัจจุบัน (MSL) และสูงสุดถึง +3.5 ม. เหนือระดับน้ำทะเลปัจจุบัน (MSL) การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลทำให้ความเร็วของกระแสของแม่น้ำในภาคกลางลดลง และเกิดการสะสมของตะกอนปากแม่น้ำ กลายเป็นดินดอนปากแม่น้ำเจ้าพระยา ขบวนการตกตะกอนบริเวณพื้นที่ภาคกลางตอนล่างเกิดจากปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ (1) กระแสน้ำ (Fluvial) ทำให้เกิดการตกตะกอนบริเวณตอนบนของที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งมีสภาพแวดล้อมเป็นน้ำกร่อย พบบริเวณจังหวัดชัยนาท สิงห์บุรี และอ่างทอง ตะกอนดังกล่าวประกอบด้วย ทราย ซึ่งมีดินเหนียวและกรวดแทรกตัว มีความหนาประมาณ 1 - 18 ม. และ (2) น้ำขึ้นน้ำลงของทะเล (Tidal) ทำให้เกิดการตกตะกอนบนพื้นที่ส่วนใหญ่ของที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ตะกอนเหล่านี้ประกอบด้วย ดินเหนียวอ่อนที่ตกตะกอนในทะเล (Soft Marine Clay) หรือ ดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok Clay) อายุของชั้นดินกรุงเทพที่ระดับความลึกประมาณ 1 - 11 ม. ตรวจสอบโดย Radio Carbon Dating จากซากพืช และซากสัตว์ทะเล (Marine Fauna) มีอายุประมาณ 1,000 ปี ถึง 8,400 ปี ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือ (Salt Content) พบว่า มีปริมาณคลอไรด์สูงถึง 1.9 - 3.6 g/kg

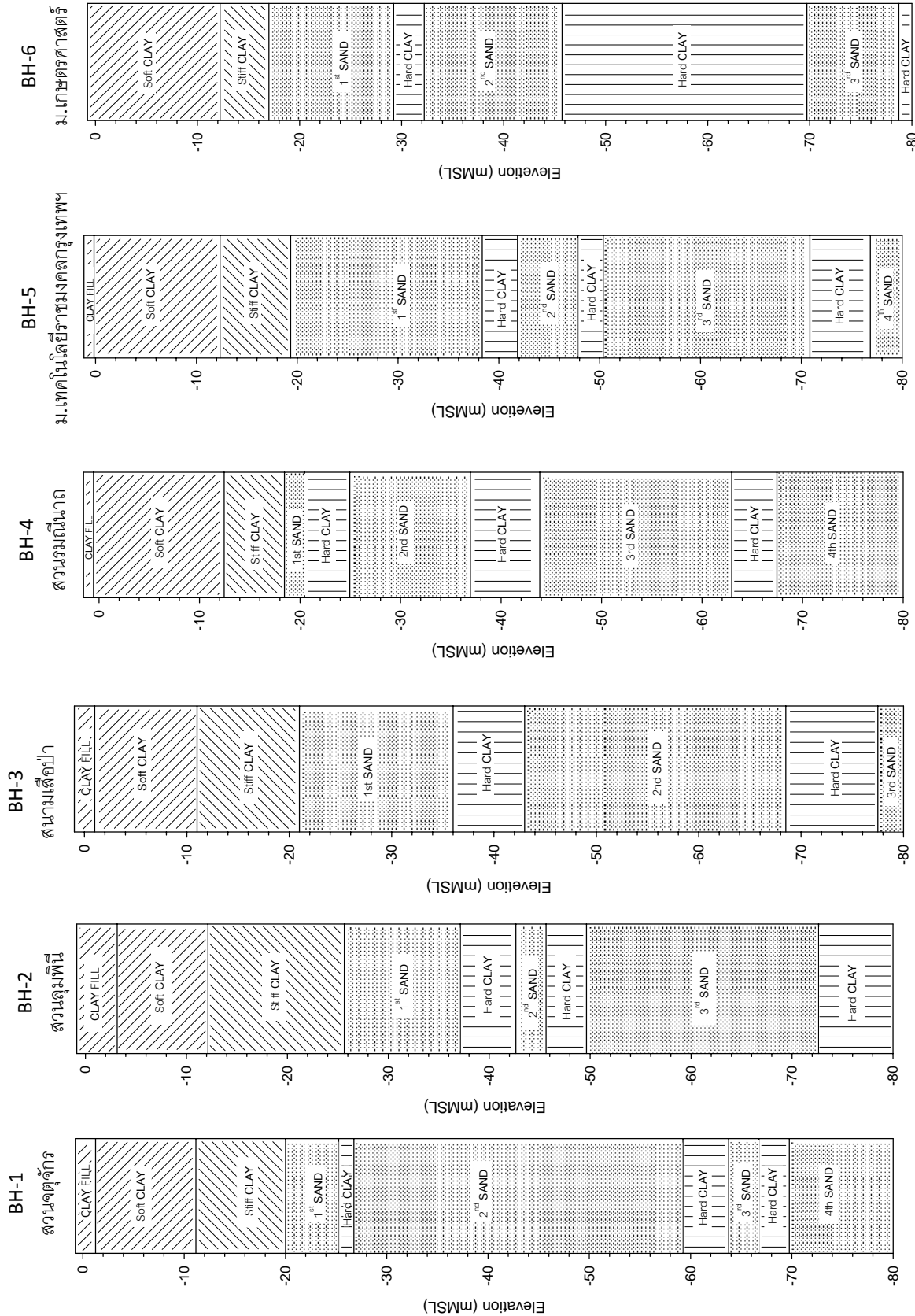
ในเวลาต่อมา ระดับน้ำทะเลลดลงจนถึงระดับปัจจุบันเมื่อประมาณ 1,500 ปี ทำให้บางแห่งเกิดเป็นทะเลสาบน้ำกร่อย เช่น บริเวณจังหวัดปทุมธานี เป็นต้น และเกิดชั้นดินตะกอนน้ำกร่อย (Intertidal Brackish Deposit) ตกทับถมที่ผิวบน ดินตะกอนน้ำกร่อยมีเม็ดดินขนาดเล็ก ประกอบด้วย ดินเหนียว (Clay) และดินเหนียวที่มีสารอินทรีย์ประกอบ (Peaty Clay) นอกจากนี้ยังพบทรายละเอียดแทรกบ้าง และเปลือกหอย เป็นต้น ซึ่งบ่งชี้ถึงสภาพการตกตะกอนในทะเลตื้น และเป็นพื้นที่ป่าโกงกางในสมัย Holocene Epoch ในปัจจุบัน ผิวดินบริเวณภาคกลางตอนล่างมีระดับความสูงเฉลี่ยประมาณ 2 ม. เหนือระดับน้ำทะเล (MSL) และมีอัตราส่วนความลาดชัน (Y:H) โดยเฉลี่ยน้อยกว่า 2.7:100,000



รูปที่ 4.1-3 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลเสนอโดยนักวิจัยต่างๆ ในประเทศไทย

4.2 การแบ่งชั้นดิน (Subsoil Stratification) ในเขตพื้นที่ศึกษา

ผิวดินในบริเวณกรุงเทพฯ โดยทั่วไปปกคลุมด้วยดินเหนียว Weathered Clay และ/หรือ ดินถมหนาประมาณ 1 – 2 ม. ตามด้วยชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) จนถึงความลึกประมาณ 12 - 15 ม. อยู่เหนือชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) จนถึงระดับความลึกประมาณ 20 - 25 ม. ตามด้วยชั้นดินทรายชั้นแรก (First Sand Layer) ซึ่งพบได้ถึงระดับความลึกประมาณ 30 – 40 ม. ถัดลงมาเป็นดินเหนียวแข็งมาก (Hard Clay) จนถึงความลึกประมาณ 40 - 45 ม. จะพบชั้นทรายชั้นที่สอง (Second Sand Layer) ลึกลงไปจนถึงระดับประมาณ 50 - 60 ม. ต่อจากนั้นไปจะเป็นชั้นดินเหนียวสลับกับชั้นดินทราย ลงไปจนกระทั่งถึงความลึกประมาณ 500 - 2,000 ม. จึงจะถึงชั้นหินดาน (Bed Rock) ในชั้นดินหลัก (Major Subsoil Strata) ที่เป็นดินเหนียวบ่อยครั้งมีชั้นดินทราย หรือชั้นดินทรายมีชั้นดินเหนียวแทรกสลับหนาประมาณ 2 – 4 ม. (รูปที่ 4.2-1)



รูปที่ 4.2-1 ตัวอย่างระดับและชั้นดินหลัก Major Subsoil Strate) ในบริเวณกรุงเทพ

บทที่ 5

การเจาะสำรวจทดสอบ

บทที่ 5 การเจาะสำรวจทดสอบ

5.1 แผนรายการ (Program) และวิธีเจาะสำรวจทดสอบ (Boring and Testing)

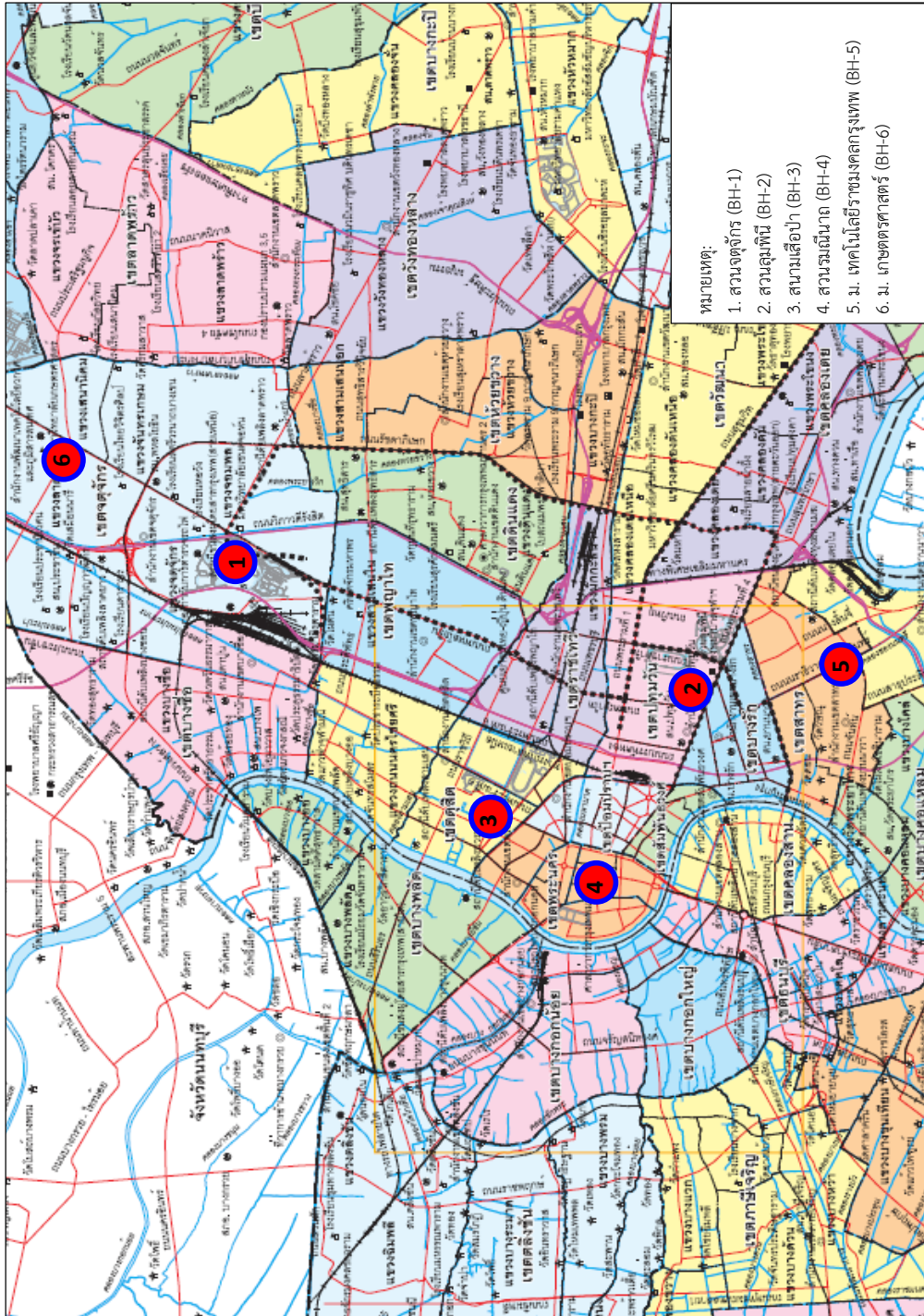
1. พื้นที่มุ่งเน้นศึกษา และตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจ

ตามหลักการกำหนดพื้นที่ศึกษาและดำเนินการในบทที่ 1 หัวข้อ 1.3 ที่ปรึกษาเลือกพื้นที่มุ่งเน้นศึกษาที่เป็นตัวแทนของปัญหาโครงสร้างใต้ดินต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น เนื่องจากการคืบตัวของแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาล จำนวน 6 พื้นที่ (รูปที่ 5.1-1) และทำการเจาะสำรวจทดสอบชั้นดินความลึกอย่างน้อย 80 ม. จำนวน 1 หลุมในแต่ละพื้นที่ดังกล่าว ดังนี้

- BH-1 สวนจตุจักร ใกล้ชิดกับอาคารสูงตามแนวถนนวิภาวดีรังสิตและพหลโยธิน และมีอุโมงค์พร้อมด้วยสถานีใต้ดินระดับลึกของระบบรถไฟใต้ดิน
- BH-2 สวนลุมพินี ใกล้ชิดกับอาคารสูงพร้อมด้วยชั้นใต้ดินบริเวณถนนสีลม
- BH-3 สนามเสือป่า และ BH-4 สวนรมณีนาถ ประกอบเป็นแกนจากบริเวณพระที่นั่งอนันตสมาคมถึงวัดสุทัศน์ ผ่านบริเวณวัดเบญจมบพิตร วัดบวรนิเวศ วัดราชนันทดาราม วัดสระเกศ ถนนราชดำเนิน เขตพระนคร และเขตป้อมปราบศัตรูพ่าย
- BH-5 ม. เทคโนโลยีราชชมงคลกรุงเทพ ใกล้ชิดกับอาคารสูงพร้อมด้วยชั้นใต้ดินบริเวณถนนสาทร
- BH-6 ม. เกษตรศาสตร์ ใกล้ชิดกับอาคารสูงพร้อมด้วยชั้นใต้ดินตามแนวถนนวิภาวดี พื้นที่กำลังพัฒนาอาคารสูงตามแนวถนนเกษตรนวมินทร์ ตลอดจนอาคารสูงภายใน ม. เกษตรศาสตร์เอง

2. การเจาะสำรวจ เก็บตัวอย่าง และทดสอบชั้นดิน

- 1) เริ่มต้นการเจาะในระดับตื้นด้วย Auger Boring ตามด้วย Rotary Wash Boring จนถึงระดับความลึกไม่น้อยกว่า 80 ม.
- 2) เก็บตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) ในชั้นดินเหนียว Soft Clay ด้วย Osterberg Piston Sampler และในชั้นดินเหนียว Stiff Clay และ Hard Clay ด้วย Mazier Sampler
- 3) เก็บตัวอย่างไม่คงสภาพ (Disturbed Sample) ในชั้นดินเหนียวและชั้นดินทรายในกระบอก Split Spoon ที่ใช้ในการทดสอบ Standard Penetration Test
- 4) การทดสอบในหลุมเจาะ (in-Situ Test) ประกอบด้วย Geonor Field Vane Shear Test ในชั้นดิน Soft Clay และ Standard Penetration Test ตลอดทุกชั้นดินในหลุมเจาะ



รูปที่ 5.1-1 แสดงตำแหน่งการเจาะสำรวจชั้นดินติดตื้นอยู่บริเวณน้ำและมีการอัดตัวทรุดตัวของชั้นดิน

3. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

- 1) ทดสอบคุณสมบัติชั้นพื้นฐาน (Basic Soil Properties) ของดินเหนียวและดินทราย
- 2) ทดสอบคุณสมบัติการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) ของดินเหนียว ทั้งด้วยวิธี Conventional Oedometer Test จำนวน 144 ตัวอย่าง และวิธี Constant Rate of Strain Test จำนวน 56 ตัวอย่าง ดังที่แสดงระดับความลึกและชั้นดินหลักที่ทำการทดสอบในรูปที่ 5.1-2
- 3) ทดสอบคุณสมบัติการรับแรงเฉือน (Shear Strength) ด้วยวิธี Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Water Pressure Measurement ทั้งแบบ Compression และแบบ Rebound เป็นจำนวนรวมทั้งสิ้น 48 ชุดๆ ละ 3 ตัวอย่าง ดังที่แสดงระดับความลึกและชั้นดินหลักที่ทำการทดสอบในรูปที่ 5.1-2 พร้อมด้วยการทดสอบ Unconfined Compression Test

5.2 ผลการเจาะสำรวจทดสอบ

1. การแบ่งชั้นดิน (Subsoil Stratification)

ระดับความลึกและการแบ่งชั้นดินหลักที่หลุมเจาะในพื้นที่มุ่งเน้นศึกษาทั้งหก แสดงสรุปได้ดังในรูปที่ 5.1-2

2. คุณสมบัติชั้นพื้นฐาน (Basic Soil Properties)

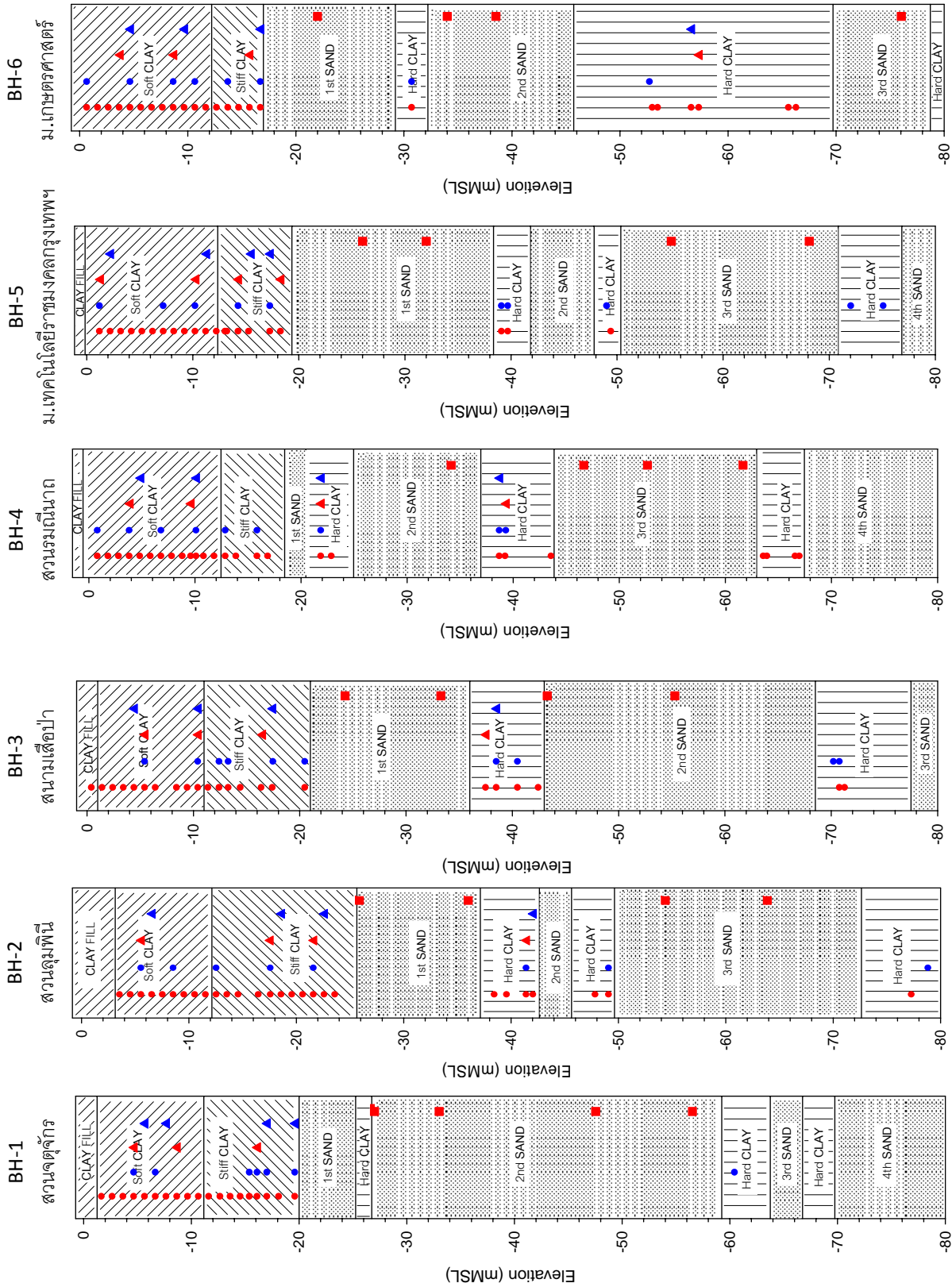
คุณสมบัติชั้นพื้นฐานที่ทดสอบ ประกอบด้วย Natural Water Content, Liquid Limit และ Plastic Limit, Total Unit Weight, Specific Gravity, Gradation และ Undrained Shear Strength จากการทดสอบ Unconfined Compression Test ซึ่งแสดงสรุปผลการทดสอบคุณสมบัติชั้นพื้นฐานพร้อมด้วยผลการทดสอบ In-Situ Vane Shear Test และ Standard Penetration Test (บทที่ 5 หัวข้อ 5.1 ข้อ 2(4)) เป็นตัวอย่างในรูปที่ 5.2-1

3. คุณลักษณะการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) ของดินเหนียว

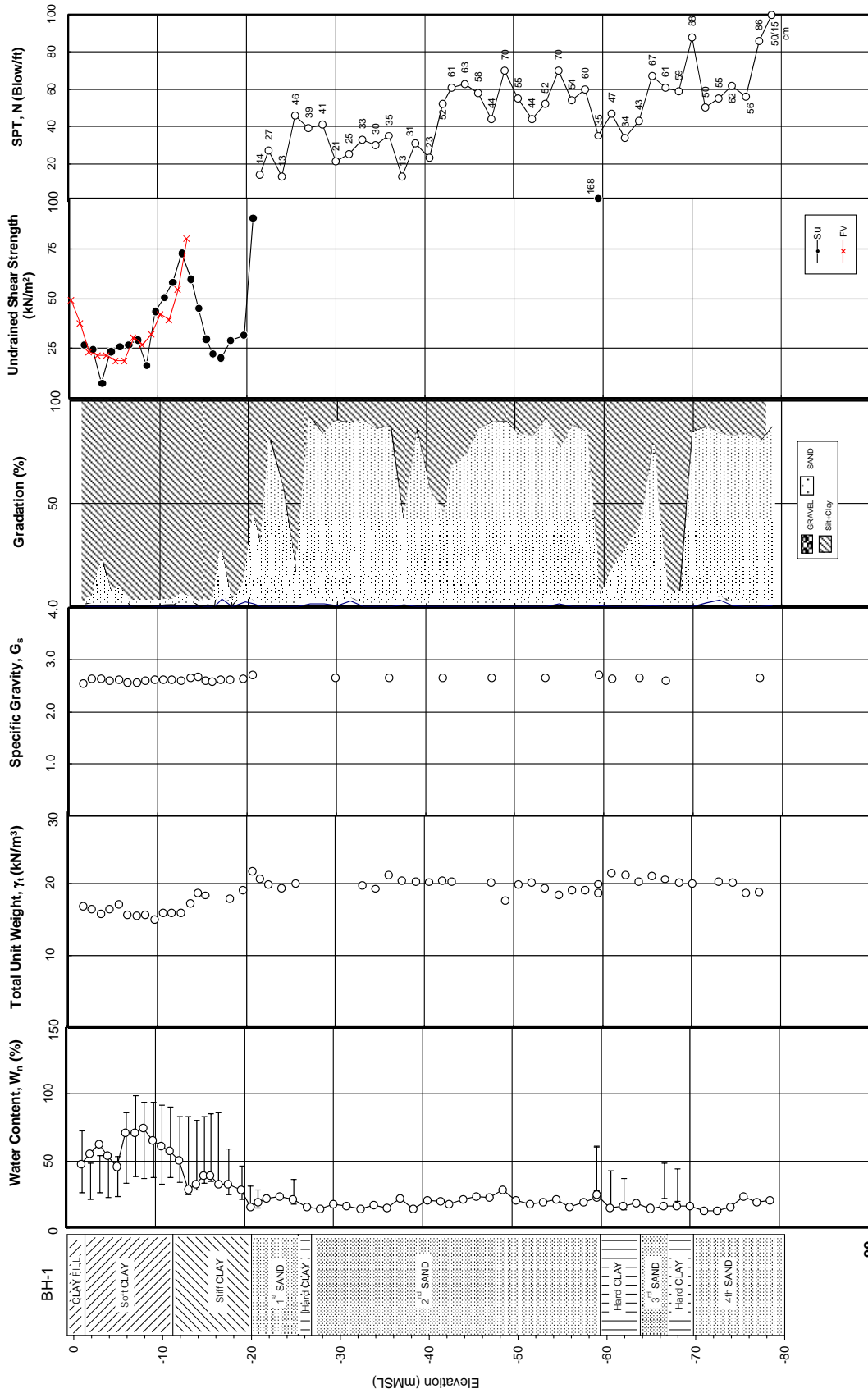
คุณลักษณะการอัดตัว (Compression Characteristics) ในรูปแบบ Plot ของ Void Ratio แปรตาม Effective Vertical Stress จากการทดสอบ Conventional Oedometer Test และจากการทดสอบ Constant Rate of Strain Test แสดงสรุปผลการทดสอบเป็นตัวอย่างในรูปที่ 5.2-2 และรูปที่ 5.2-3 ตามลำดับ และสรุปคุณลักษณะ Preconsolidation Pressure, Overconsolidation Ratio, Rate of Compression และ Swelling ตลอดจน Coefficient of Consolidation จากการทดสอบ Conventional Oedometer Test เป็นตัวอย่างในรูปที่ 5.2-4

4. คุณลักษณะด้านกำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength Characteristics)

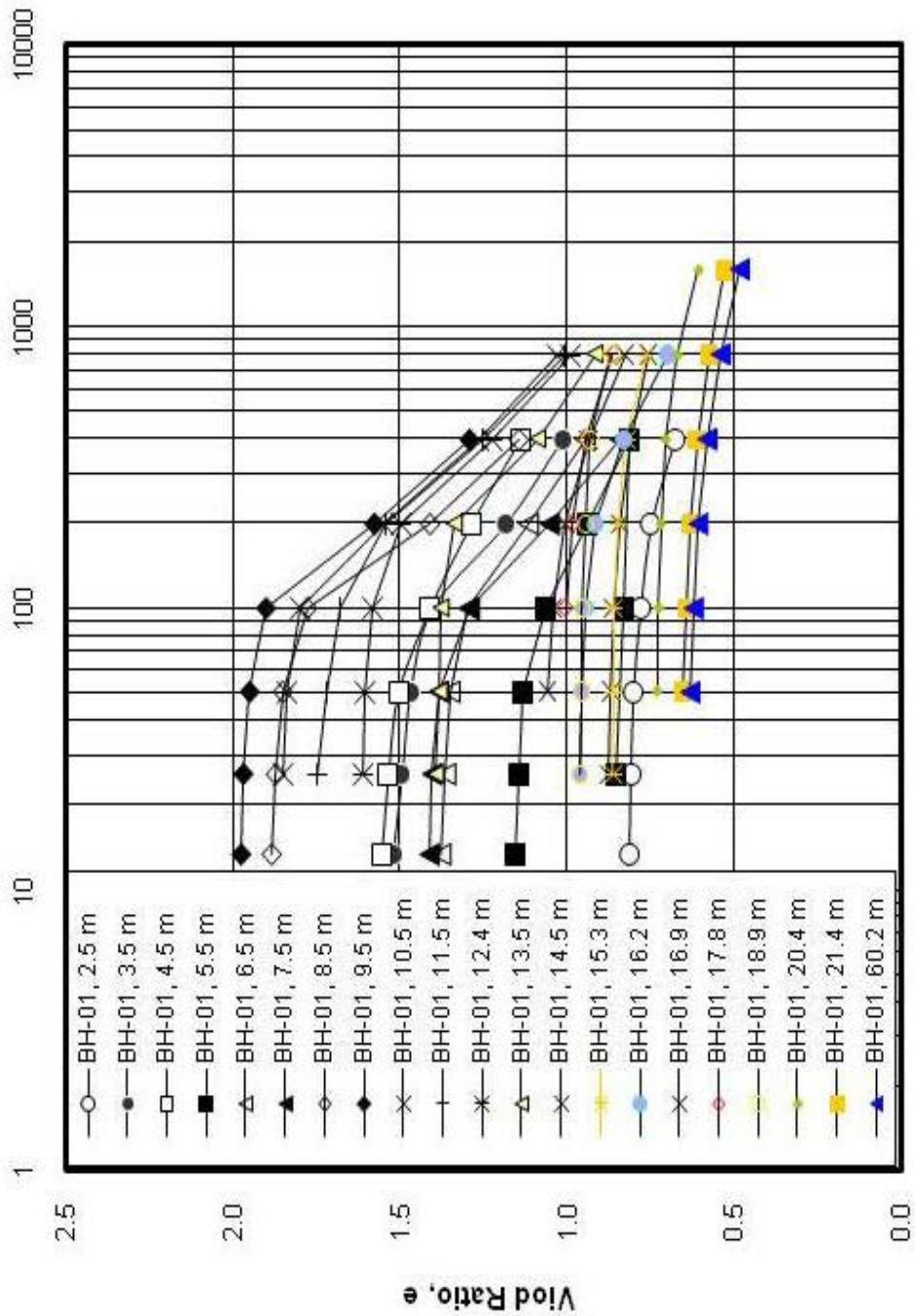
1) ผลการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Water Pressure Measurement (CU') แสดงในรูปแบบ Stress Path และ p' - q Failure Envelope ของตัวอย่างชั้นดิน Soft Clay, Stiff Clay เหนือชั้น First Sand, และ Hard Clay ใต้ชั้น First Sand จากทั้งหก ตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา (BH-1 ถึง BH-6) ในรูปที่ 5.2-5, 5.2-6 และ 5.2-7 ตามลำดับ



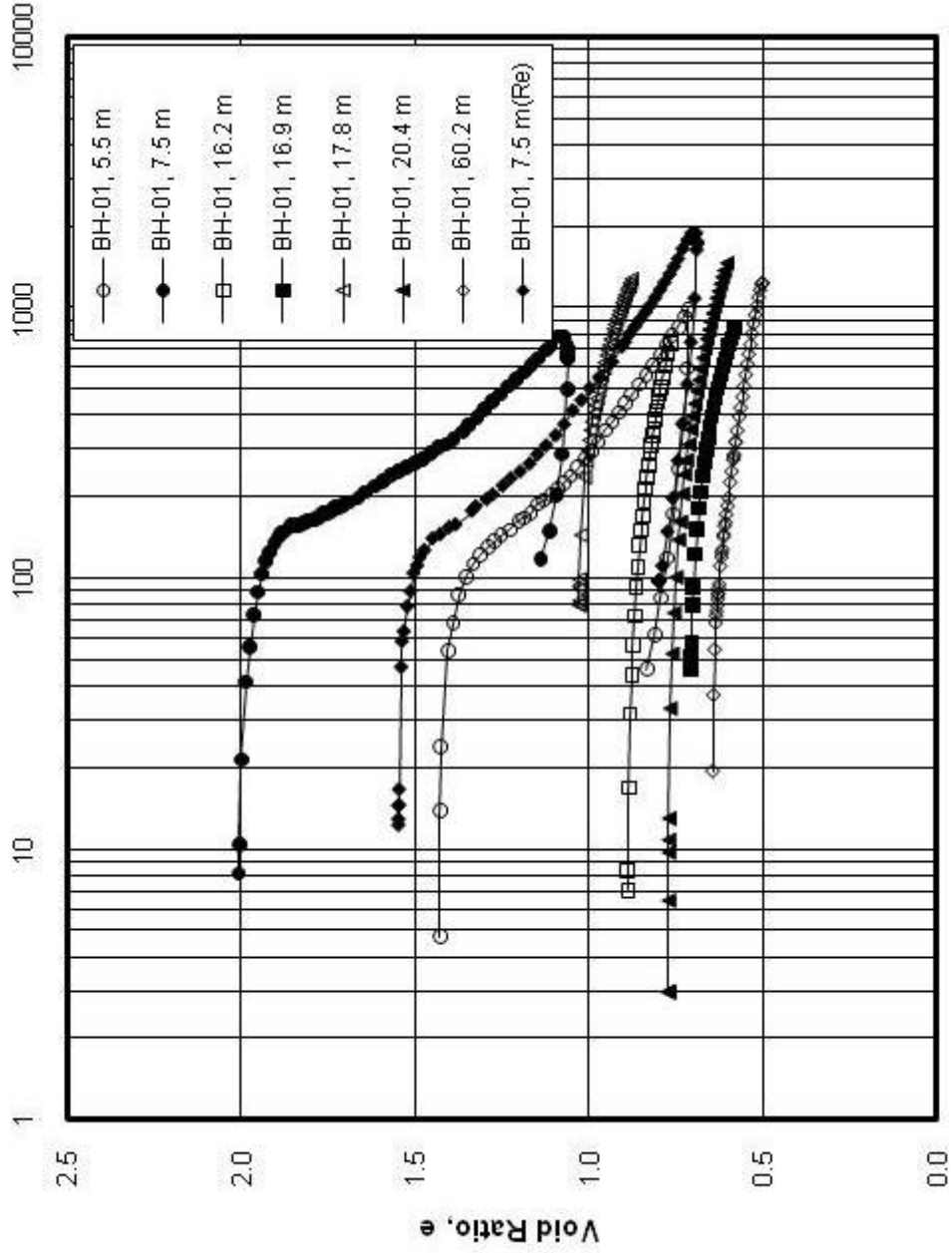
รูปที่ 5.1-2 สรุปการแบ่งชั้นดินหลัก (Major Subsoil Stratification) และระดับ-ประเภทดินที่ทดสอบ Consolidation Test และ Triaxial Compression Test ที่ผสมเจาะในพื้นที่ทุ่งเนินศึกษาทุ่งทก (BH-1 ถึง BH-6)



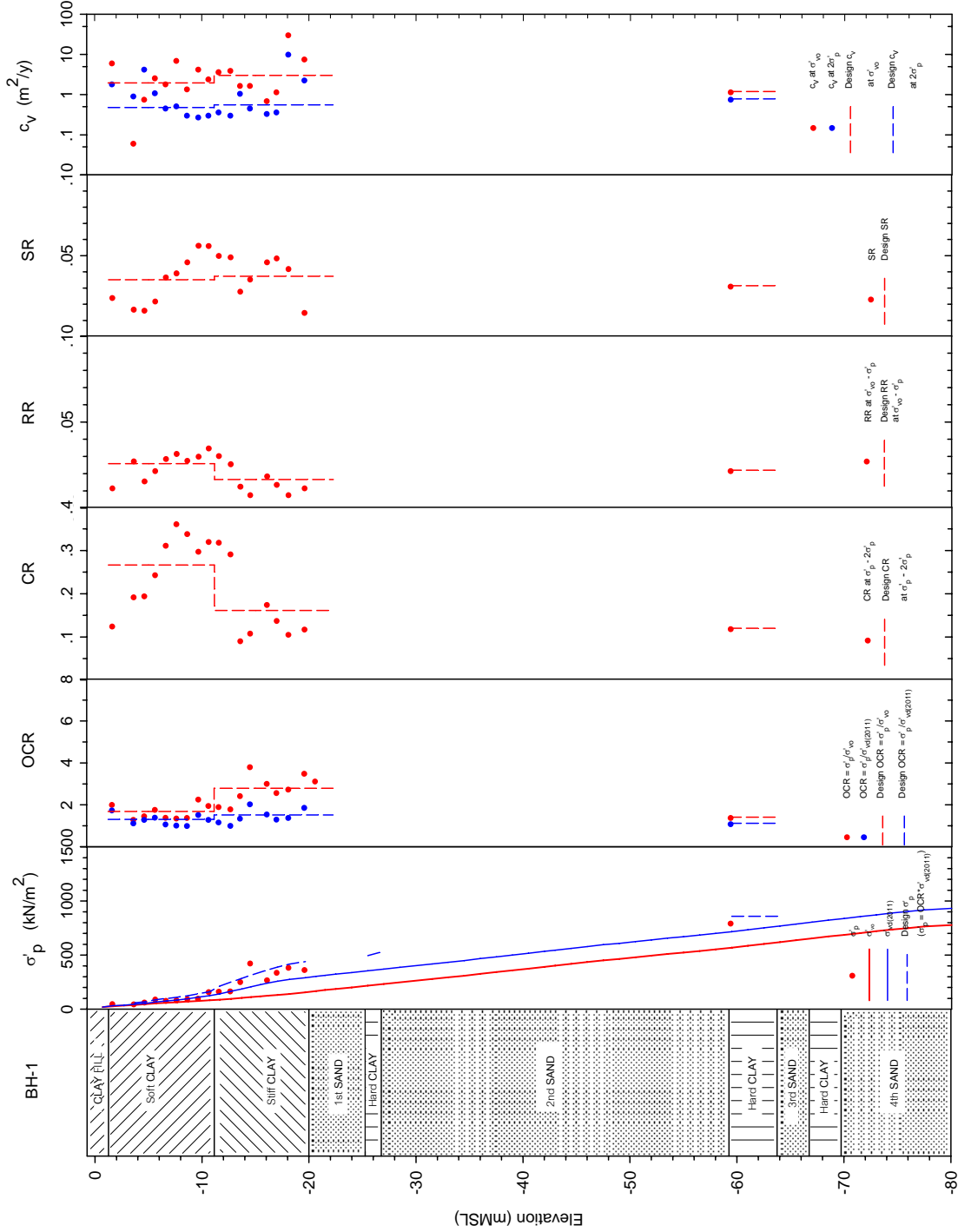
รูปที่ 5.2-1 สรุปค่า Basic Soil Properties ที่พบเจาะสำรวจสวนจตุจักร (BH-1)



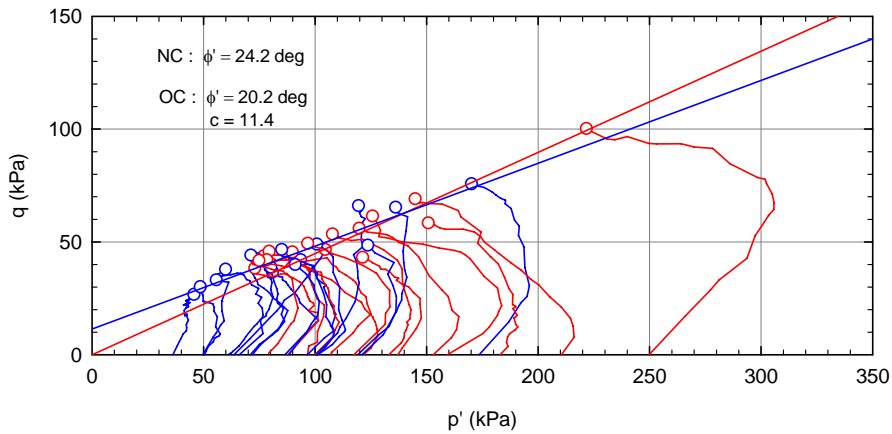
รูปที่ 5.2-2 สรุป Compression Characteristics ในรูปแบบ Void Ratio แปรตาม Effective Vertical Stress จากการทดสอบแบบ
 Conventional Oedometer Test ด้วยตัวอย่างดินเหนียวในหลุมเจาะสำรวจ BH-1 (สวนจตุจักร)



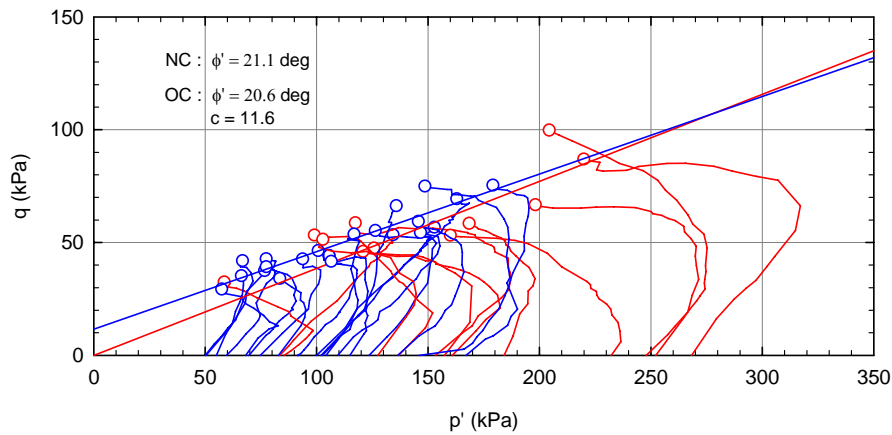
รูปที่ 5.2-3 สรุป Compression Characteristics ในรูปแบบ Void Ratio แปรตาม Effective Vertical Stress จากการทดสอบแบบ Constant Rate of Strain Test ด้วยตัวอย่างดินเหนียวในหลุมเจาะสำรวจ BH-1 (ส่วนจุดจักร)



รูปที่ 5.2-4 ผลการทดสอบ Conventional Oedometer Test และ Design Parameter ที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการมัตตัวค้ำยัน
 ชั้นที่ 1 ส่วนเจาะจักร (BH-1)



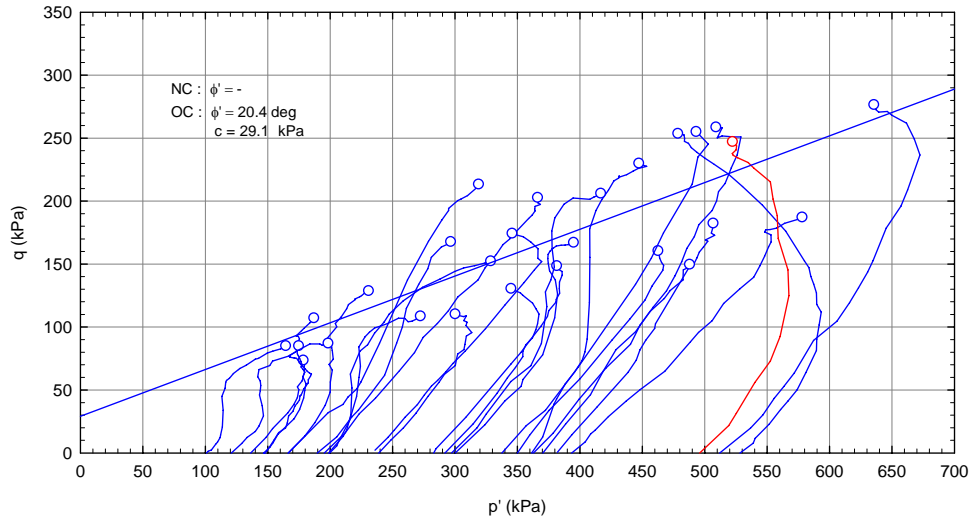
ก) Compression



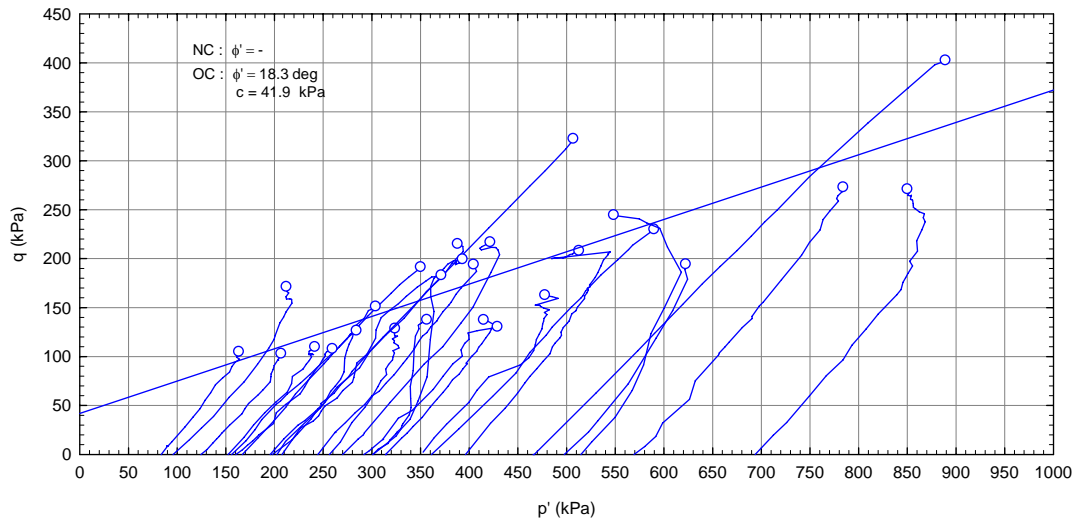
ข) Rebound

- p' - q K_f Line ของ Normally Consolidated Clay (NC)
- p' - q K_f Line ของ Overconsolidated Clay (OC)

5.2-5 Stress Path และ p' - q Failure Envelope จากผลการทดสอบ CU' Test
 ด้วยตัวอย่าง Soft Clay จากทั้งหกตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา (BH - 1 ถึง BH - 6)



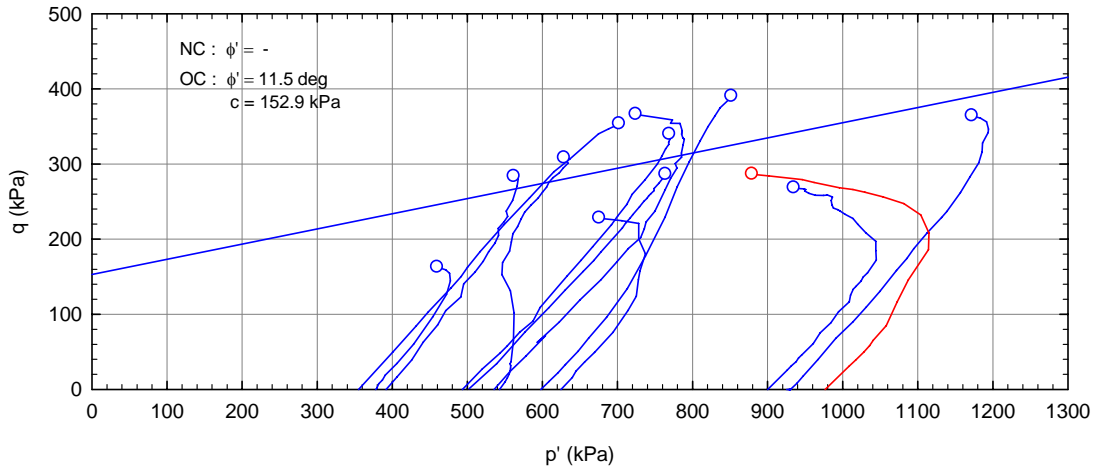
ก) Compression



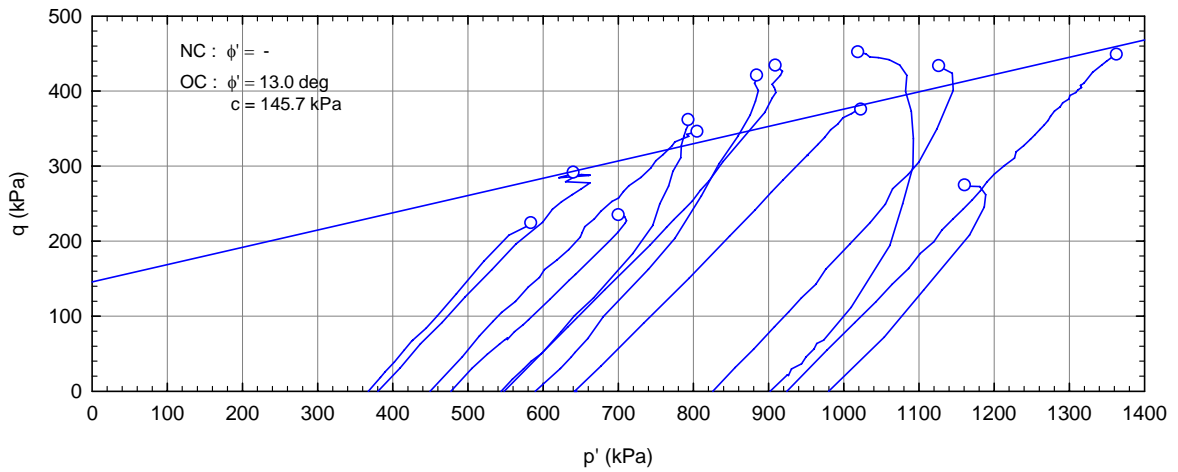
ข) Rebound

— p'-q K_f Line ของ Overconsolidated Clay (OC)

รูปที่ 5.2-6 Stress Path และ p'-q Failure Envelope จากผลการทดสอบ CU' Test ด้วยตัวอย่าง Stiff Clay เหนือ First Sand จากทั้งหกตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา (BH - 1 ถึง BH - 6)



ก) Compression



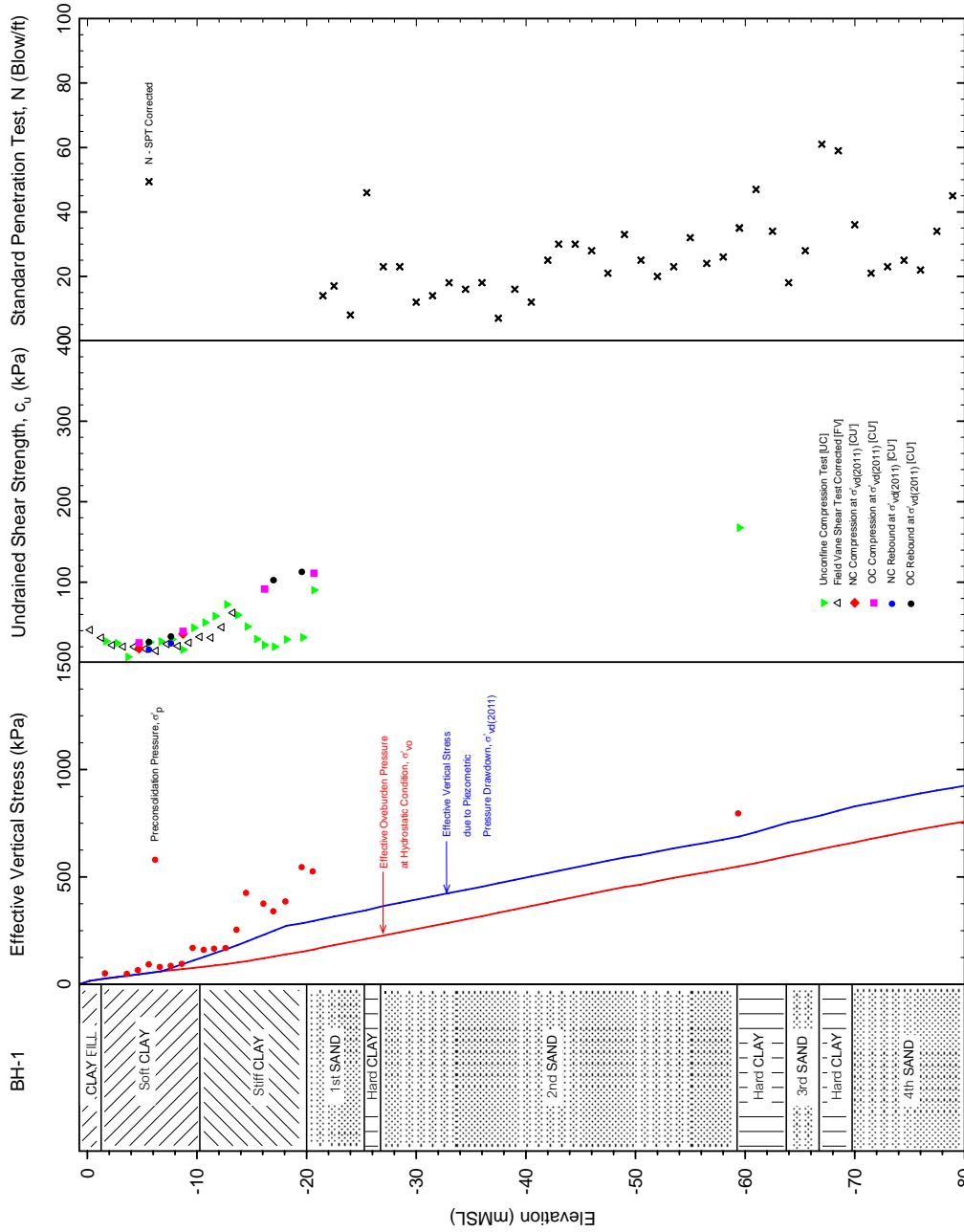
ข) Rebound

— p'-q K_f Line ของ Overconsolidated Clay (OC)

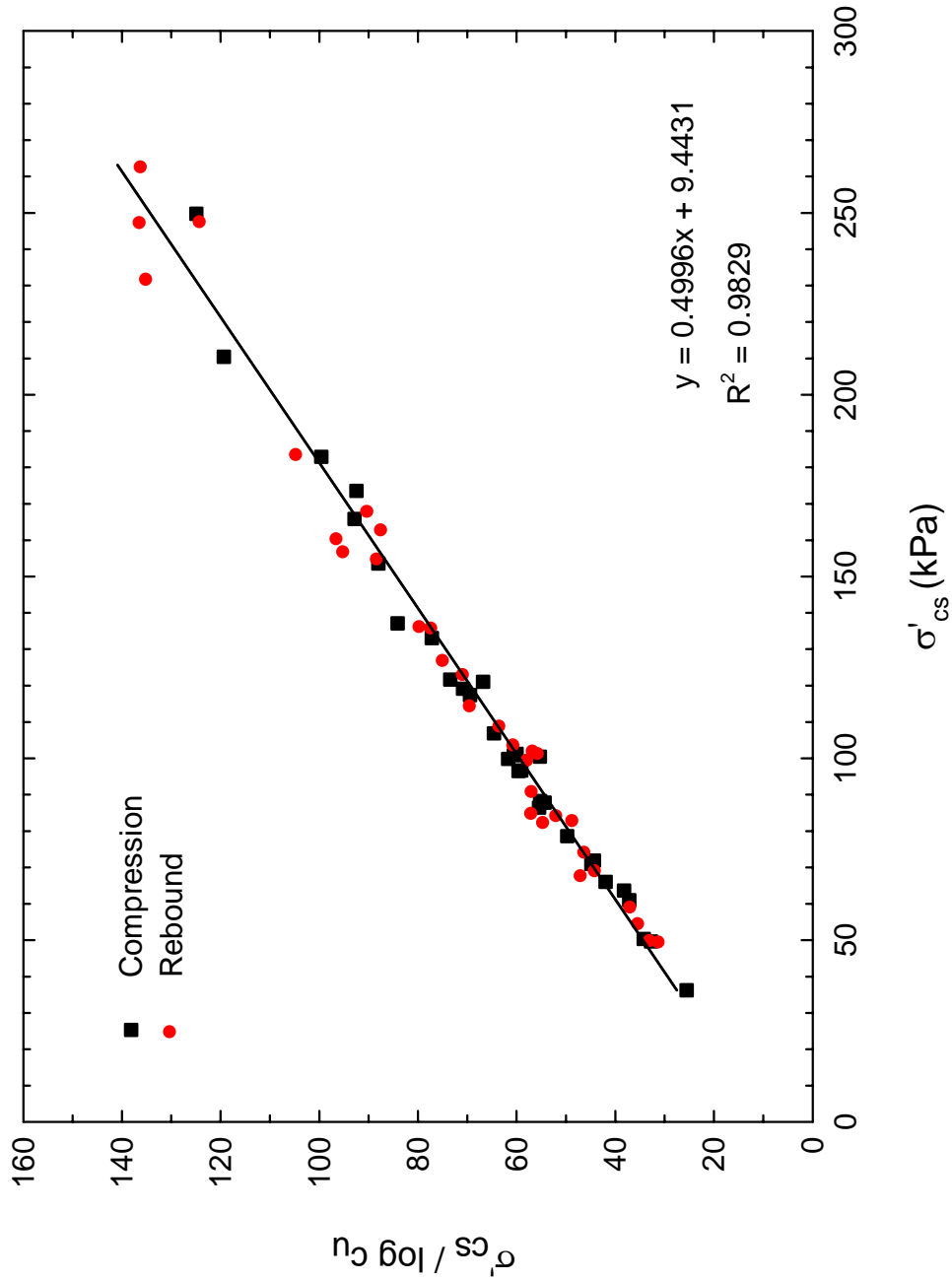
รูปที่ 5.2-7 Stress Path และ p'-q Failure Envelope จากผลการทดสอบ CU' Test ด้วยตัวอย่าง Hard Clay ใต้ First Sand จากตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา (BH - 2 ถึง BH - 4)

2) ค่า q ที่ failure (q_f) ใน Plot ที่แสดงในข้อ (1) คือค่า Undrained Shear Strength (c_u) ที่ได้จากการทดสอบ CU' ซึ่งในตัวอย่างรูปที่ 5.2-8 แสดงค่าดังกล่าวที่ทดสอบแบบ Compression และแบบ Rebound เมื่อค่า Consolidation Pressure at Shearing ในการทดสอบเท่ากับค่า Effective Vertical Stress ในชั้นดินในปี 2011(2554) โดยแปรค่าตามระดับความลึกในชั้นดินประเภทต่างๆ พร้อมการเปรียบเทียบกับค่า Undrained Shear Strength ที่ได้จากการทดสอบ Unconfined Compression Test และ Field Vane Shear Test และยังแสดงกำลังของชั้นดินในรูปแบบ Blow Count จากการทดสอบ Standard Penetration Test

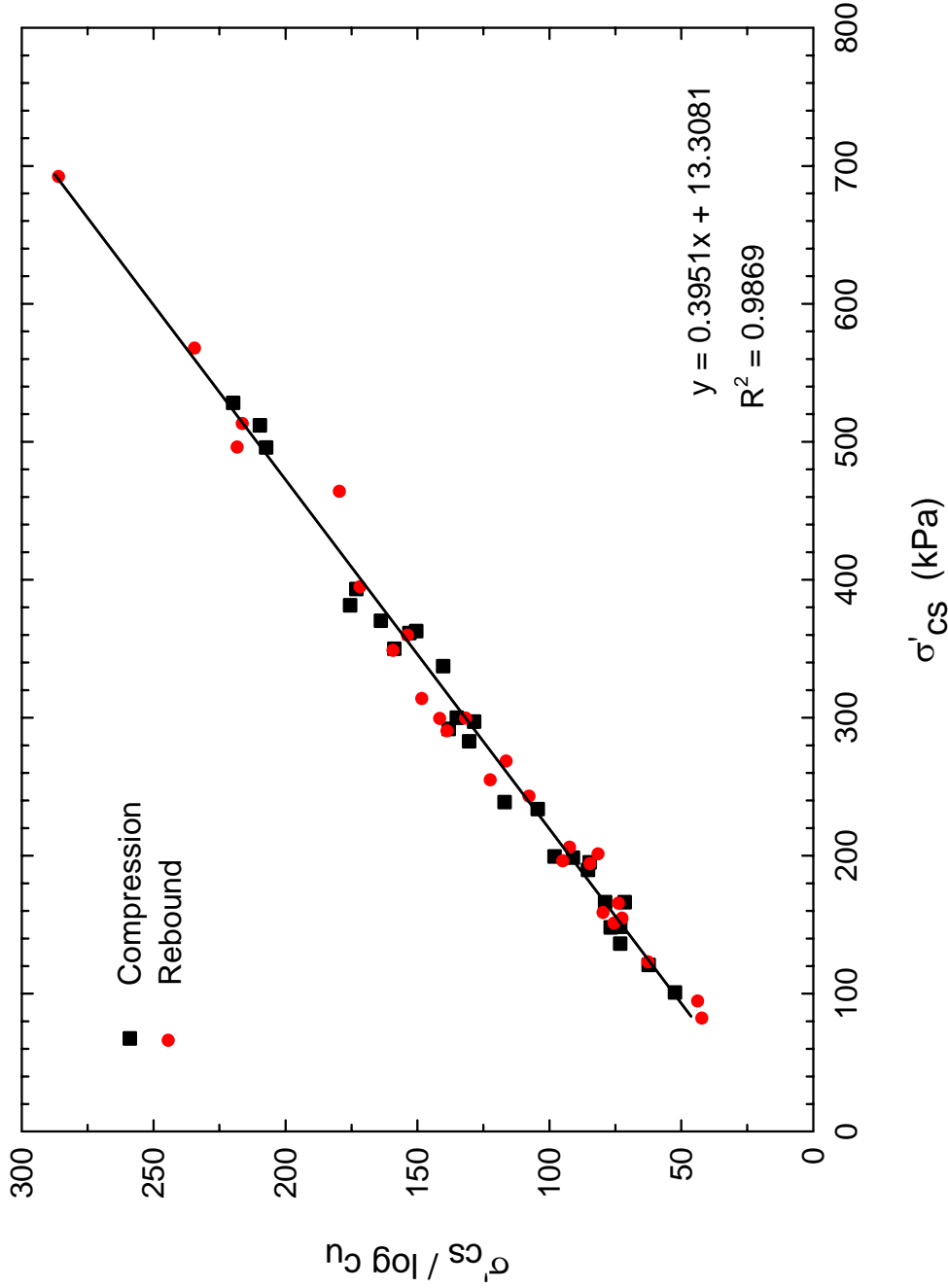
3) รูปที่ 5.2-9, 5.2-10 และ 5.2-11 เป็น Design Chart สำหรับหาค่า Undrained Shear Strength (c_u) จากการทดสอบ CU' ที่ Vertical Effective Stress ใดๆ ในชั้นดิน ตามการแปรเปลี่ยนของแรงดันน้ำ โดย Plot ความสัมพันธ์ระหว่างค่า c_u และ Consolidation Pressure at Shearing (ดูข้อ (2)) จากตัวอย่างชั้นดิน Soft Clay, Stiff Clay เหนือน้ำ First Sand, และ Hard Clay ใต้ชั้น First Sand จากทั้งหกตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา (BH-1 ถึง BH-6) ตามลำดับ



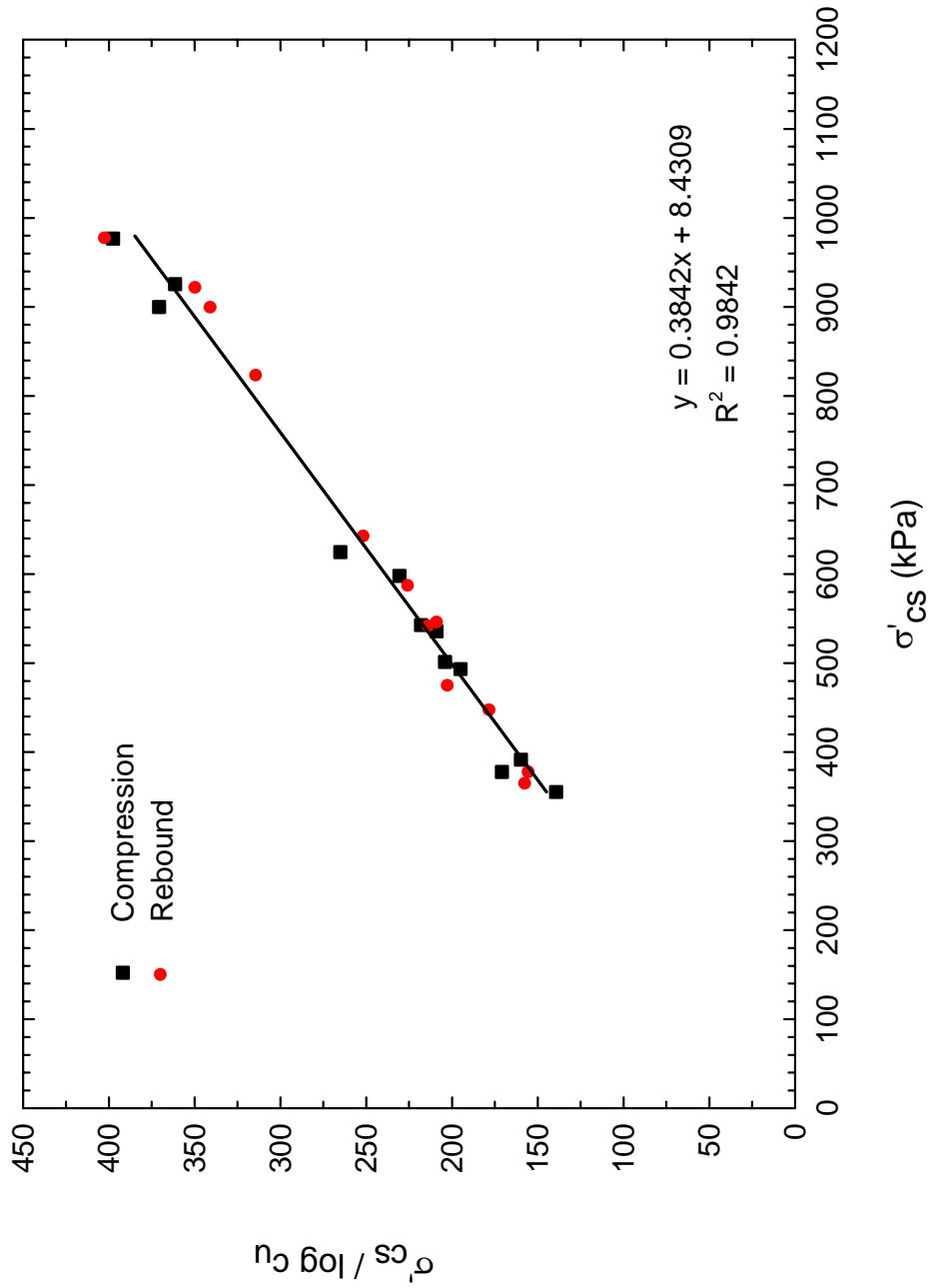
รูปที่ 5.2-8 สรุปเปรียบเทียบ Undrained Shear Strength ที่ได้จากการทดสอบ CU' Test กับ การทดสอบ Unconfined Compression Test และ Field Vane Shear Test พร้อมด้วยผลการทดสอบ Standard Penetration Test ที่สามงัดจึก (BH-1)



รูปที่ 5.2-9 ความสัมพันธ์ของ Undrained Shear Strength (c_u) และ Consolidated Pressure at Shearing (σ'_{cs}) จากตัวอย่าง Soft Clay ที่งัดตำแหน่งนี้ศึกษา (BH - 1 ถึง BH - 6)



รูปที่ 5.2-10 ความสัมพันธ์ของ Undrained Shear Strength (c_u) และ Consolidated Pressure at Shearing (σ'_{cs}) จากตัวอย่าง Stiff Clay เหนือ First Sand ทั้งหมดตำแหน่งนี้ศึกษา (BH - 1 ถึง BH - 6)



รูปที่ 5.2-11 ความสัมพันธ์ของ Undrained Shear Strength (c_u) และ Consolidated Pressure at Shearing (σ'_{cs}) จากตัวอย่าง Hard Clay ใต้ First Sand ทั้งหมดที่เก็บมาในชั้นศึกษา (BH - 1 ถึง BH - 6)

บทที่ 6

การติดตั้งและตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ (Instrumentation)
วัดแรงดันน้ำใต้ดิน (Piezometric Pressure)
การทรุดตัวในระดับลึก (Deep Settlement) ของชั้นดินและ
การทรุดตัวของผิวดิน (Surface Settlement)

บทที่ 6

การติดตั้งและตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ (Instrumentation) วัดแรงดันน้ำใต้ดิน (Piezometric Pressure) การทรุดตัวในระดับลึก (Deep Settlement) ของชั้นดิน และการทรุดตัวที่ผิวดิน (Surface Settlement)

6.1 การติดตั้งและตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ (Instrumentation)

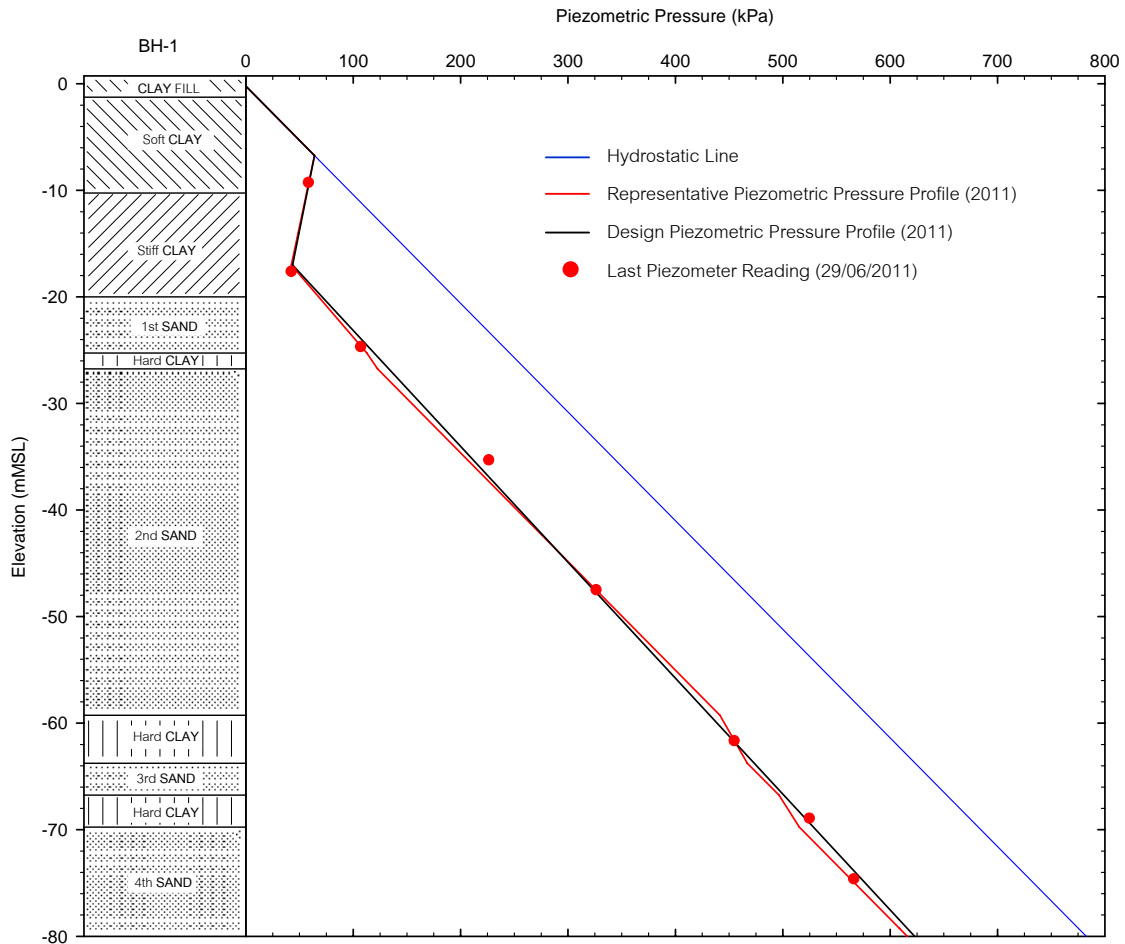
การติดตั้งและตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ประกอบด้วย

- 1) ติดตั้งตรวจวัดแรงดันน้ำใต้ดิน (Piezometric Pressure) ด้วย Vibrating Wire Piezometer
- 2) ติดตั้งตรวจวัดการทรุดตัวในระดับลึก (Deep Settlement) ของชั้นดินด้วย Spider Magnetic Extensometer
- 3) ติดตั้งตรวจวัดการทรุดตัวที่ผิวดินด้วย Surface Settlement Point

6.2 พฤติกรรมของแรงดันน้ำใต้ดิน (Piezometric Pressure)

พฤติกรรมของแรงดันน้ำในชั้นดินจากผิวดินถึงระดับความลึกประมาณ -80 ม.รทก. ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดินในพื้นที่มุ่งเน้นศึกษา จากการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์สรุปได้ดังนี้คือ

- 1) ตั้งแต่ใกล้ผิวดินที่ระดับความลึกประมาณ 0 ม.รทก. จนถึงประมาณ -7 ม.รทก. ในชั้นดิน Soft Clay Piezometric Pressure อยู่ในสถานะ Hydrostatic (รูปที่ 6.2-1 เป็นตัวอย่าง)
- 2) ต่อจากประมาณ -7 ม.รทก. Piezometric Pressure ลดต่ำลงเบี่ยงเบนออกจากเส้น Hydrostatic อย่างแหลมคม จนเหลือค่าประมาณ 40 kPa โดยส่วนใหญ่ที่ระดับประมาณ -17 ถึง -18 ม.รทก. ในชั้นดิน Upper Stiff Clay ซึ่งแนวโน้มตามความลึกของ Piezometric Pressure ในช่วงนี้อาจจะแทนที่ในเชิงง่าย (Simplified) ได้ด้วยเส้นตรง
- 3) ต่ำจากประมาณ -17 ถึง -18 ม.รทก. เข้าไปในชั้นดิน Lower Stiff Clay เหนือชั้น First Sand และ ลึกลงไปผ่านชั้น Sand และ Hard Clay ชั้นต่างๆ Piezometric Pressure แปรค่าเพิ่มขึ้นตามความความลึกอย่างค่อนข้างสม่ำเสมอ และแทนที่โดยประมาณได้ด้วยเส้นตรงที่ทำมุมชันกว่าเส้น Hydrostatic และไม่ตัดแกน ค่าแรงดันน้ำเป็นศูนย์ จนกระทั่งลึกลงไปในชั้นน้ำพระประแดง Piezometric Pressure มีแนวโน้มต่ำกว่า Hydrostatic ประมาณ 150 - 170 kPa



รูปที่ 6.2-1 การแปรค่าแรงดันน้ำใต้ดินตามความลึกที่ตำแหน่งสวนจตุจักร (BH-1)

4) ค่าแรงดันน้ำใต้ดินที่วัดได้ ประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำใต้ดิน (Piezometric Pressure) ซึ่งก็คือแรงดันน้ำในโพรงดิน (Pore Water Pressure) อันเนื่องจากการสูบน้ำบาดาล และเมื่อชั้นดินได้รับแรงกระทำเพิ่ม (Loading) หรือแรงกระทำลด (Unloading)

5) เส้น Design Piezometric Pressure Profile ที่ตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษาทั้งหมดตำแหน่ง (รูปที่ 6.2-2) ตั้งแต่ชั้นดิน Stiff Clay เหนือชั้น First Sand ลงไป แสดงพฤติกรรมที่ใกล้เคียงกันมาก โดยที่ไม่ปรากฏแนวโน้มที่แตกต่างกัน ระหว่างตำแหน่งที่อาจจะได้รับอิทธิพล (Influence) จากอาคารตั้งแต่ 4 ชั้นขึ้นไป กับตำแหน่งอื่นๆ ซึ่งอยู่ห่างไกลจากอาคารบ้านเรือนยิ่งกว่า

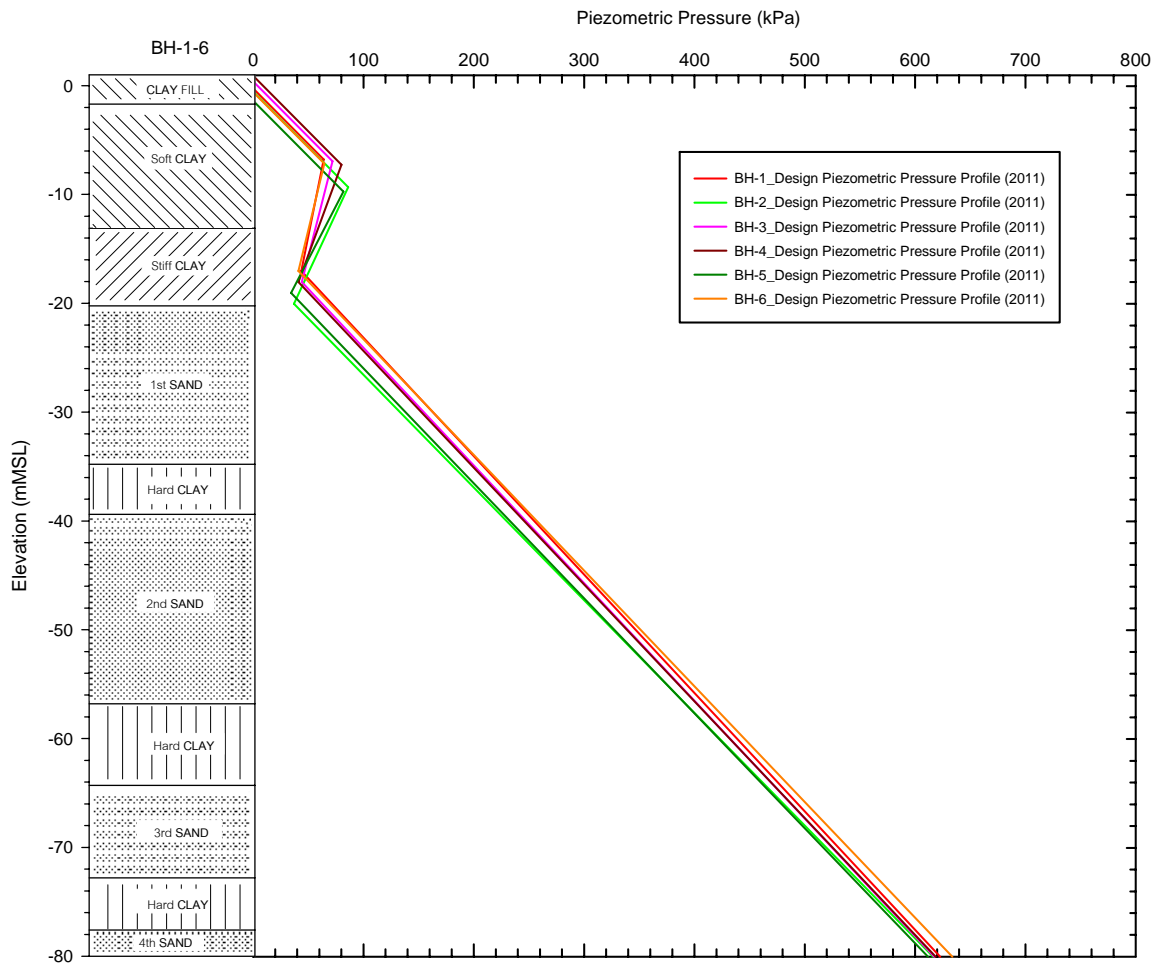
6) ค่าแรงดันน้ำในชั้นดินที่สำคัญ ภายในเวลาประมาณ 310 วัน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2553 จากระดับความลึกประมาณ -7 ม.รทก. ลงไปจนถึงระดับ -80 ม.รทก. ส่วนใหญ่อ่านค่าเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 3 - 6 kPa เป็นส่วนน้อยที่ไม่ปรากฏแนวโน้มในทางเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจน และมีบ้างที่อ่านค่าแรงดันน้ำลดลงประมาณ 3 ถึง 5 kPa (รูปที่ 6.2-3 เป็นตัวอย่าง)

6.3 พฤติกรรมการทรุดตัว (Settlement) ของชั้นดิน

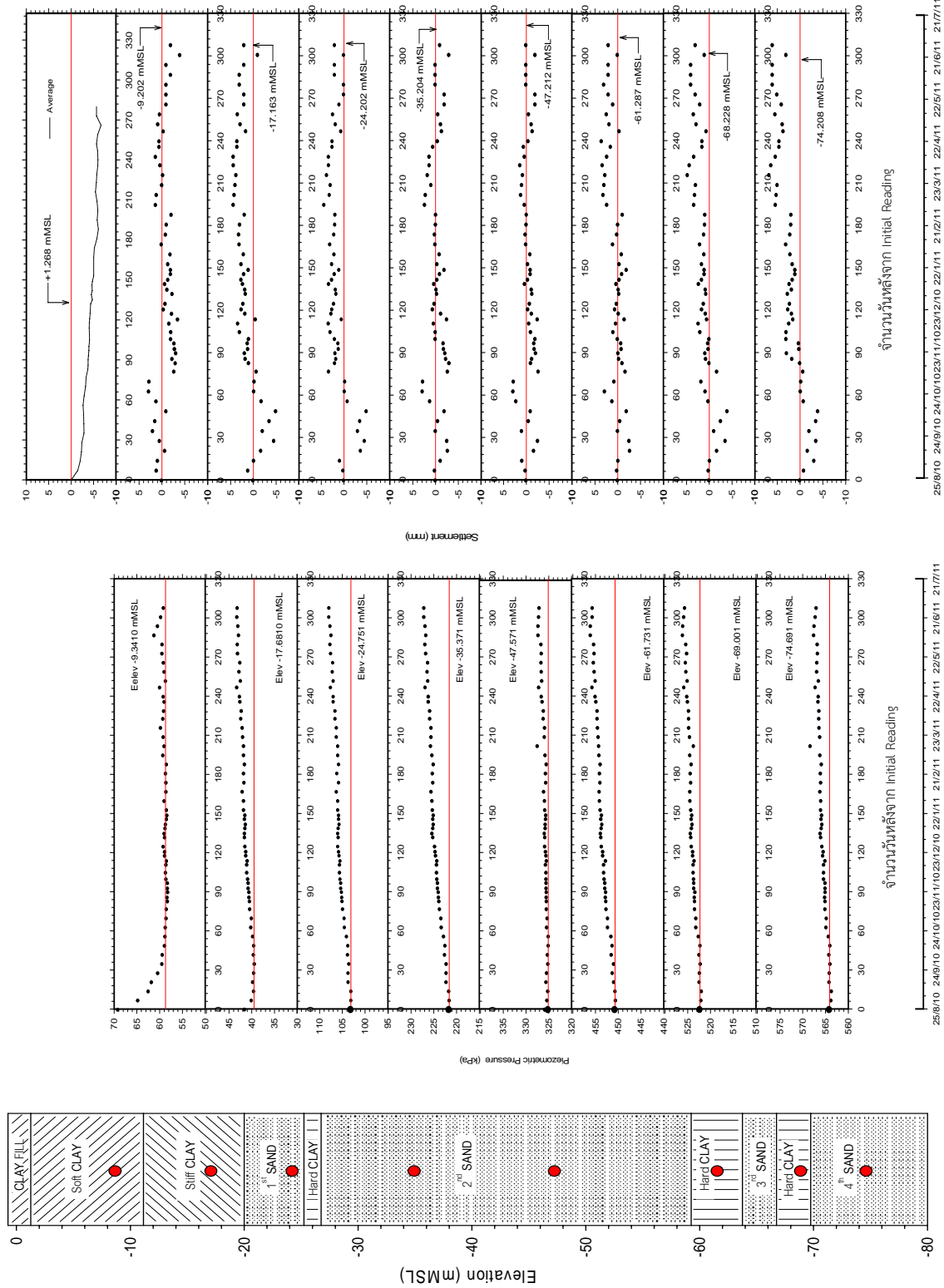
1) การทรุดตัวที่ผิวดิน (Surface Settlement) ภายในระยะเวลาประมาณ 310 วัน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2553 แปรค่าทรุดตัวประมาณ -3 ถึง -5 มม. (รูปที่ 6.2-3 เป็นตัวอย่าง) และไม่ปรากฏแนวโน้มการทรุดตัวที่ผิวดินแตกต่างกัน ระหว่างตำแหน่งที่อาจจะได้รับอิทธิพล (Influence) จากอาคารตั้งแต่ 4 ชั้นขึ้นไป กับตำแหน่งอื่นๆ ซึ่งอยู่ห่างไกลจากอาคารบ้านเรือนยิ่งกว่า

2) ที่ระดับใกล้ผิวดินในชั้นดิน Soft Clay จนถึงระดับความลึกประมาณ -6 ม.รทก. ภายในเวลาประมาณ 310 วัน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2553 ปรากฏค่าการยกตัว (Up-Heave) ประมาณ 3 - 7 มม. ส่วนในทุกชั้นดินที่สำคัญส่วนใหญ่อ่านค่ายกตัวประมาณ 2 - 6 มม. หรือไม่แสดงแนวโน้มในทางยกตัวหรือทรุดตัวที่ชัดเจน และมีบางค่าในชั้น Sand ที่ไปทางทรุดตัวประมาณ -4 มม.

3) เปรียบเทียบการแปรเปลี่ยนของแรงดันน้ำตามกาลเวลา และการแปรเปลี่ยนของการทรุดตัว ที่ตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษาทั้งหมดตำแหน่ง จากตัวอย่างรูปที่ 6.2-3 เห็นได้ว่า ตลอดความลึกทั่วทุกชั้นดินที่สำคัญ ตั้งแต่ระดับประมาณ -80 ม.รทก. ขึ้นไป ส่วนใหญ่ปรากฏแรงดันน้ำเพิ่มขึ้นหรือไม่แสดงแนวโน้มในทางลดลงหรือเพิ่มขึ้นที่ชัดเจนหรือมีนัยสำคัญ ส่วนการทรุดตัวในชั้นดินไปในทางยกตัวหรือไม่แสดงแนวโน้มในทางทรุดตัวลงหรือยกตัวที่ชัดเจนหรือมีนัยสำคัญ เป็นเช่นนี้จนถึงอุปกรณ์ตรวจวัดที่ติดตั้งในชั้นดินระดับบนสุด คือระหว่าง -4 ถึง -9 ม.รทก. ทั้งนี้ แสดงว่า แรงดันน้ำใต้ดินไม่ได้ลดลงและไม่เกิดการทรุดตัว อย่างน้อยจนถึงระดับความลึก -4 ถึง -9 ม.รทก. ส่วนการทรุดตัวที่ผิวดิน (ข้อ 1) ไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำใต้ดิน แต่เกิดจากการรับแรงที่ผิวดิน (Surface Loading) เป็นสำคัญ



รูปที่ 6.2-2 รวม Design Piezometric Pressure Profile ทั้งหมดตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา (BH-1 ถึง BH-6)



● Elevation of Instrumentation

รูปที่ 6.2-3 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำตามกาลเวลา กับการเปลี่ยนแปลงของอัตราการทรุดตัวในชั้นดินที่ระดับความลึกต่างๆ ที่ตำแหน่งสวนจตุจักร (BH-1)

บทที่ 7

ผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาลที่มี
ต่อแรงดันน้ำในชั้นดินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดิน

บทที่ 7

ผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาล ที่มีต่อแรงดันน้ำในชั้นดินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดิน

7.1 การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำของชั้นน้ำพระประแดง ในพื้นที่มุ่งเน้นศึกษาบริเวณกรุงเทพฯ

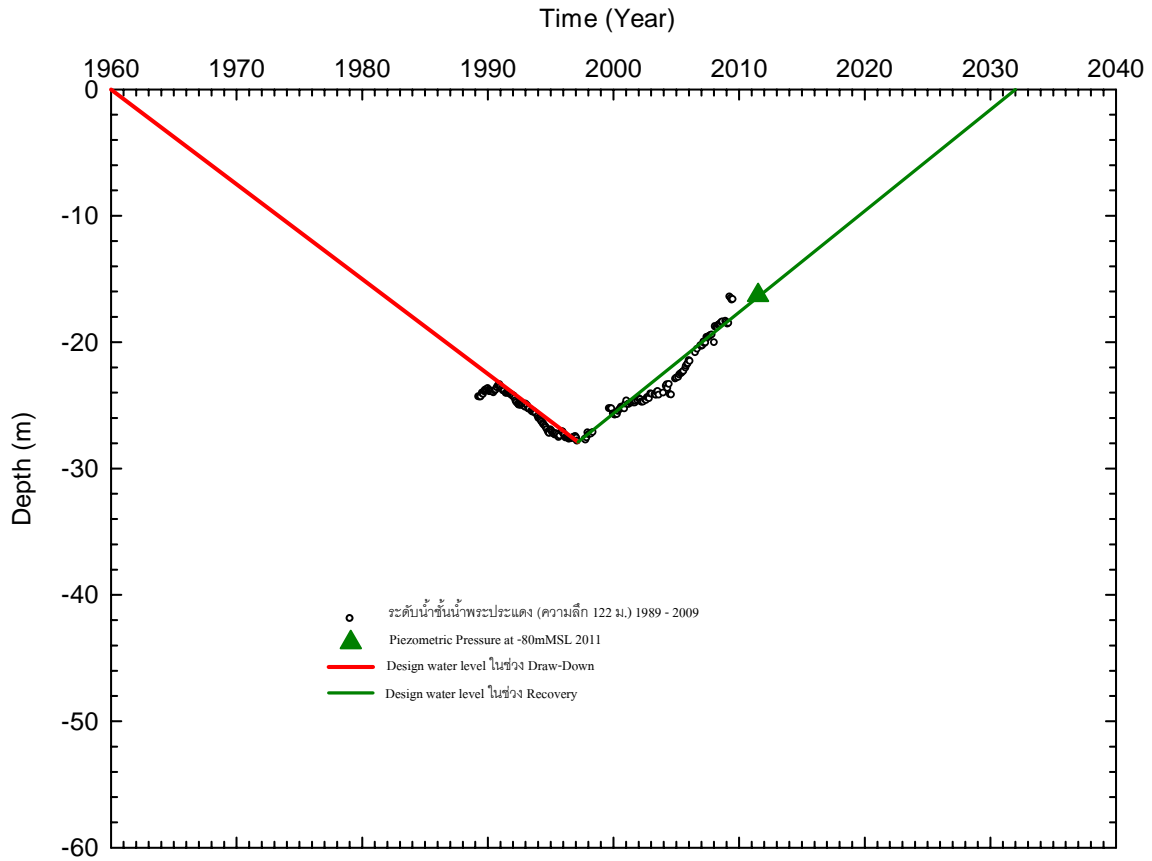
1) แรงดันน้ำหรือระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดงเริ่มวัดปี 1987(2530) – 1989(2532) วัดได้ประมาณ -24 ม. ต่อมาลดลงต่ำสุดในปี 1997(2540) วัดได้ประมาณ -27 ถึง -28 ม. หลังจากนั้นพื้นดินสูงขึ้นวัดได้ในปี 2007(2550) – 2009(2552) ประมาณ -15 ถึง -18 ม. ทั้งนี้ เมื่อคาดการณ์ตามแนวโน้มเดิม ระดับน้ำใต้ดินจะฟื้นคืนสู่สภาวะ Hydrostatic ประมาณปี 2032(2575) – 2035(2578) (รูปที่ 7.1-1 เป็นตัวอย่าง)

2) การเจาะสำรวจทดสอบชั้นดิน พร้อมด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดพฤติกรรมของแรงดันน้ำและชั้นดิน จนถึงระดับลึกประมาณ 80 ม. เป็นระดับที่ลึกถึงชั้นน้ำพระประแดง

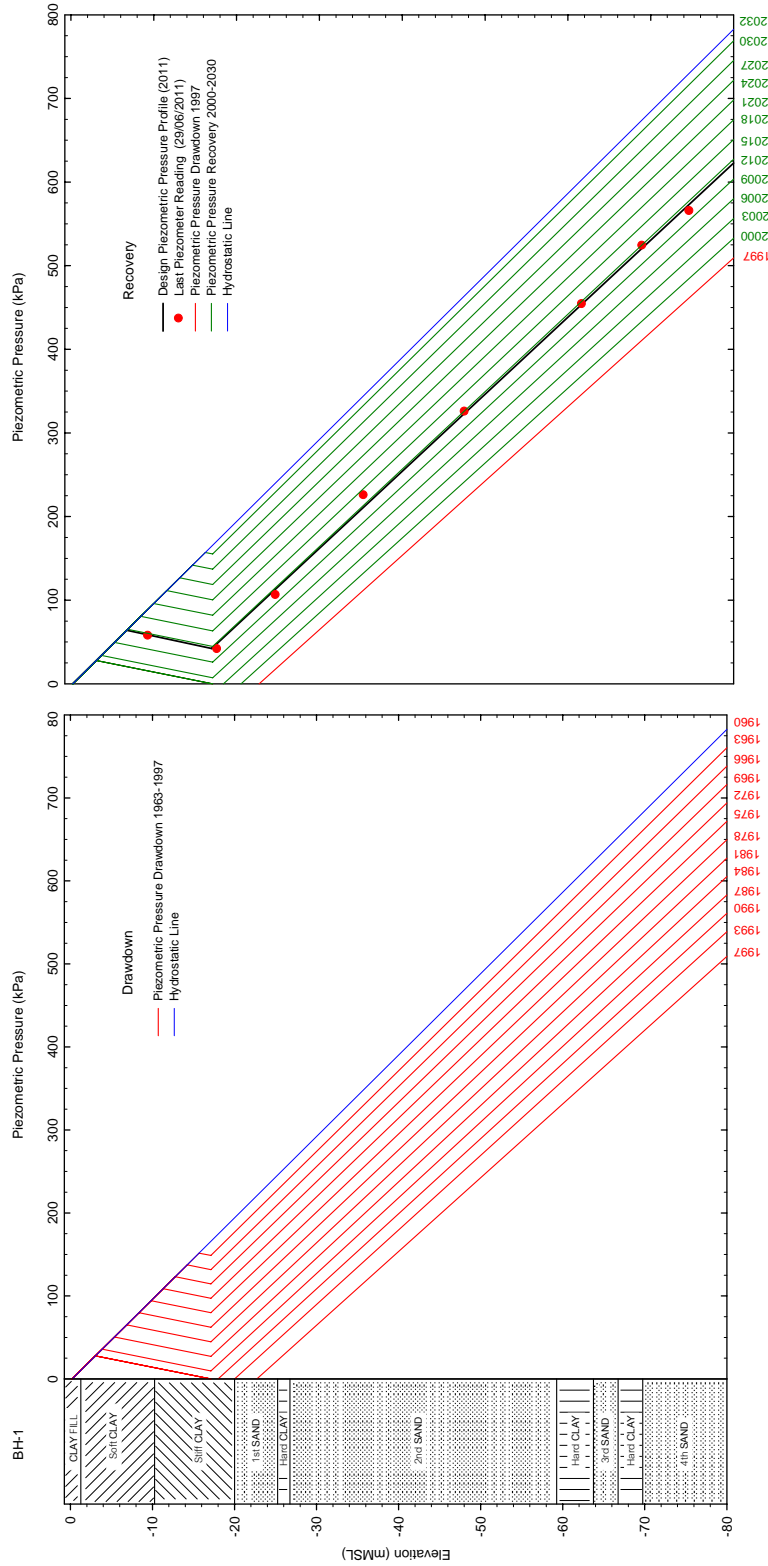
7.2 การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ ในชั้นดินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดิน ในพื้นที่มุ่งเน้นศึกษาบริเวณ กรุงเทพฯ

1) จากตัวอย่างรูปที่ 7.1-1 เห็นได้ว่า แรงดันน้ำที่ระดับความลึก -80 ม.รทก. แปรเปลี่ยนตามกาลเวลา ประมาณได้ใกล้เคียงตามการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำหรือระดับน้ำตามกาลเวลาของชั้นน้ำพระประแดง

2) ตามแนวโน้มคุณลักษณะของการแปรค่า Piezometric Pressure ตามความลึกที่สรุปใน บทที่ 6 หัวข้อ 6.2(1) ถึง (3) สามารถสร้าง Piezometric Pressure Profile และการแปรของ Piezometric Pressure Profile ตามกาลเวลา ได้ตามการแปรเปลี่ยนของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง ที่เป็นการวิเคราะห์ประเมินแบบง่าย (Simplified) (รูปที่ 7.2-1 เป็นตัวอย่าง)



รูปที่ 7.1-1 ผลการตรวจวัดระดับน้ำที่ชั้นน้ำพระประแดงตำแหน่ง PD 0034 ใกล้เคียงกับหลุมเจาะสำรวจ BH-1 (สวนจตุจักร)



รูปที่ 7.2-1 วิเคราะห์ประเมินการลดต่ำลง (Drawdown) และที่คืนสูงขึ้น (Recovery) ของแรงดันน้ำใต้ดินในชั้นดินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดิน
 ระหว่างปี 1960(2503) ถึง 2032(2575) ตำแหน่งสวนจตุจักร (BH-1)

บทที่ 8

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดิน ที่มีต่อคุณลักษณะของชั้นดินที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างใต้ดิน

8.1 ผลกระทบต่อแรงกดทับประสิทธิผล (Effective Overburden Pressure)

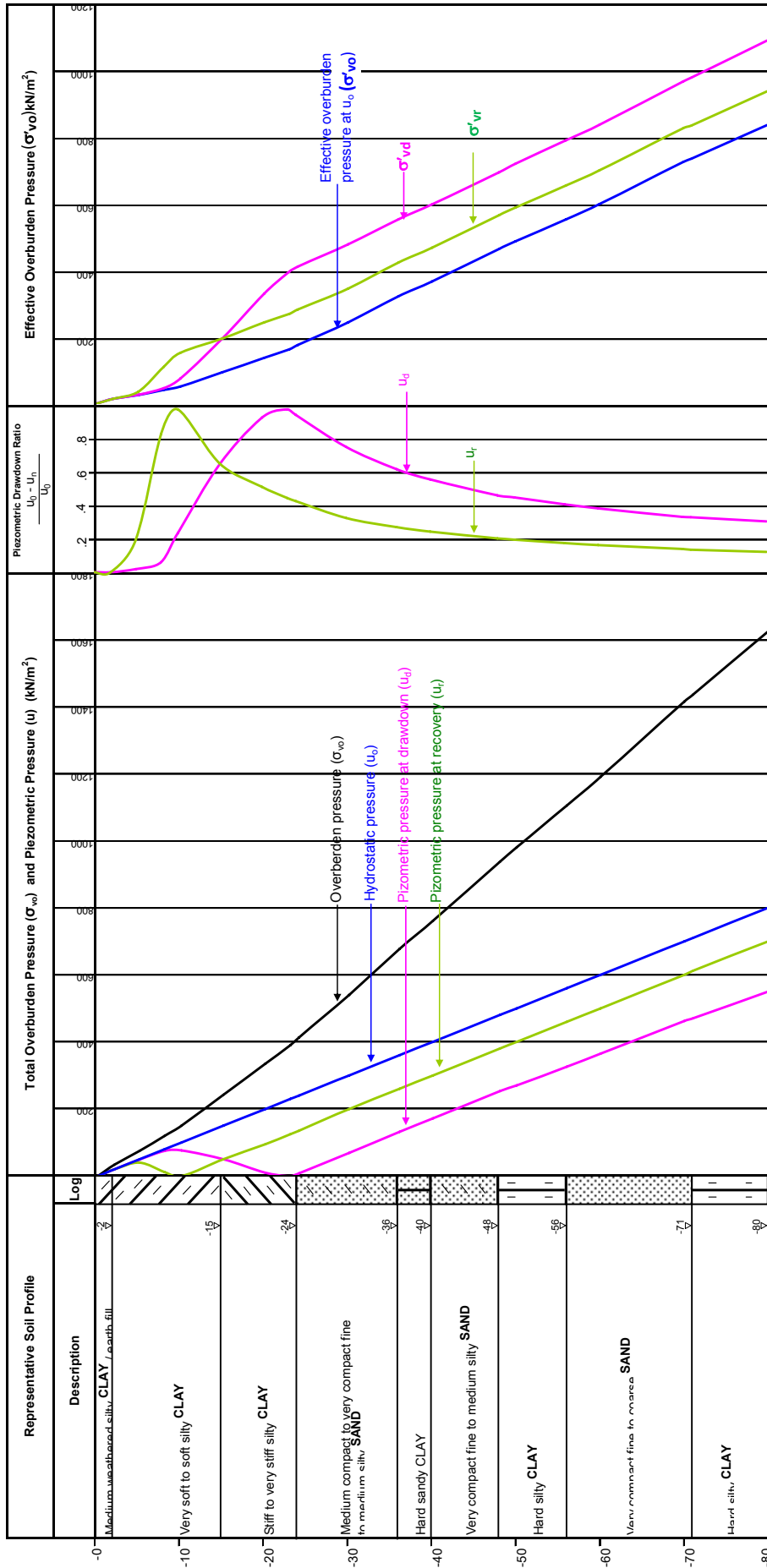
การแปรเปลี่ยนของแรงกดทับประสิทธิผลตามความลึก เมื่อแรงดันน้ำใต้ดินในชั้นดินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดินเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาล แสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่

8.1-1

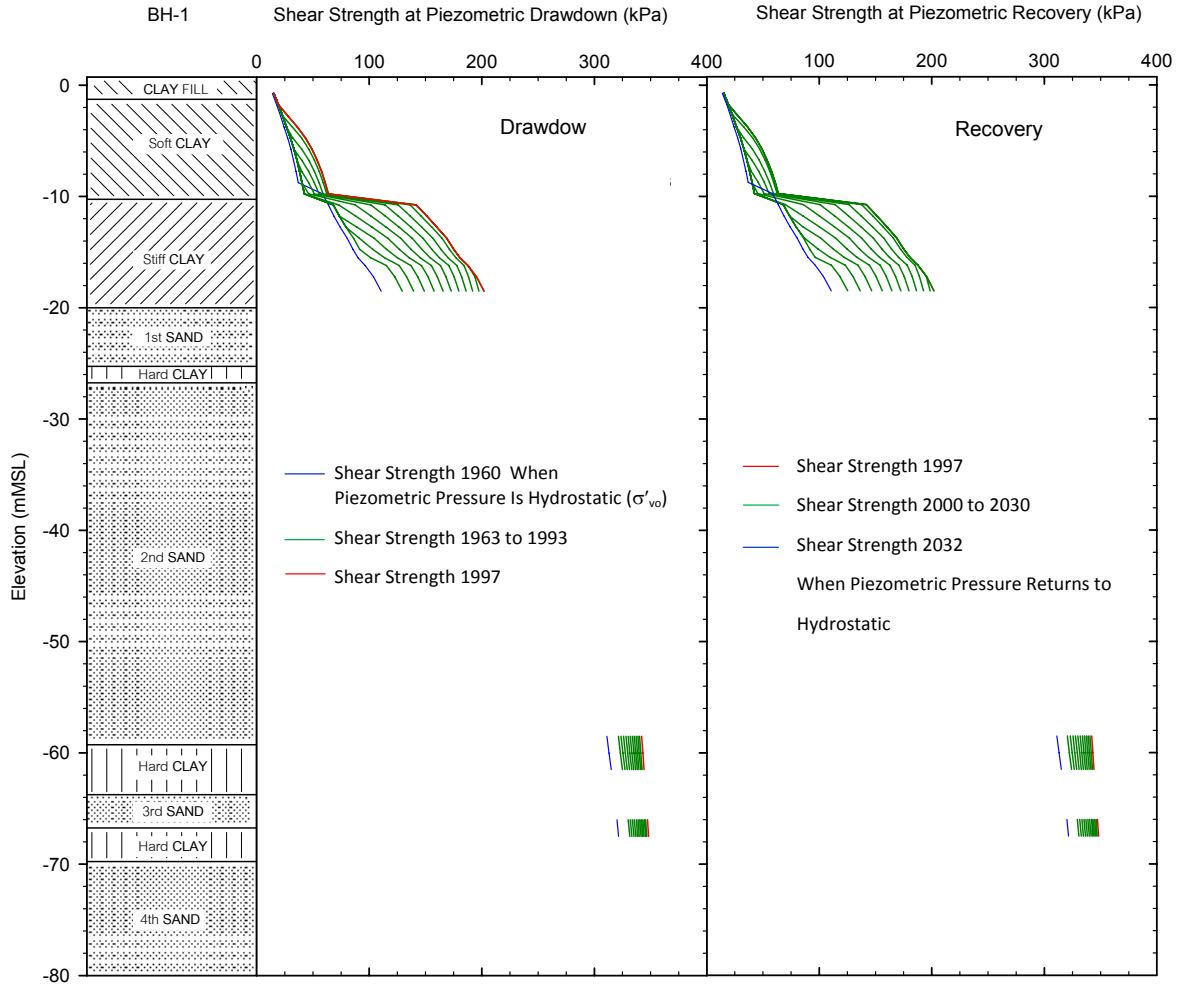
8.2 ผลกระทบต่อคุณลักษณะของกำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength Characteristics)

เมื่อแรงกดทับประสิทธิผล หรือ Effective Vertical Stress แปรเปลี่ยนตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำใต้ดินในชั้นดินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดิน ค่า Undrained Shear Strength ย่อมแปรเปลี่ยนตาม ดังที่หาได้จาก Design Chart ที่วิเคราะห์จากผลการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Water Pressure Measurement ที่แสดงในบทที่ 5 หัวข้อ 5.2 ข้อ 4(3) การแปรค่า Undrained Shear Strength ตามความลึกที่วิเคราะห์ด้วยวิธีดังที่กล่าวมาแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 8.2-1

การแปรค่า Shear Strength ตามการแปรของค่า Effective Stress เห็นได้ชัดจากการทดสอบ Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Water Pressure Measurement เมื่อวัด Effective Stress Path โดยแปรค่า All-Around Consolidation Pressure ที่ใช้ในการ Consolidate แต่ละตัวอย่างดินจนสิ้นสุด Primary Consolidation แล้วทำการ Shear ตัวอย่างดินภายใต้ Consolidation Pressure นั้น



รูปที่ 8.1-1 ตัวอย่างสภาพชั้นดินและ Vertical Pressure Distribution ในบริเวณกรุงเทพฯ



รูปที่ 8.2-1 Undrained Shear Strength (c_u) ของดินเหนียว ที่ระดับความลึกต่างๆ ในช่วงที่แรงดันน้ำลดลง (Drawdown) ปี 1960(2503) ถึง 1997(2540) และช่วงที่แรงดันน้ำฟื้นคืนสูงขึ้น Recovery ปี 1997(2544) ถึง 2032(2575) บริเวณหลุมเจาะ BH-1 (สวนจตุจักร)

บทที่ 9

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดิน
ที่มีต่อโครงสร้างใต้ดิน

บทที่ 9

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินที่มีต่อโครงสร้างใต้ดิน

9.1 งานวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินที่มีต่อโครงสร้างใต้ดิน

1. งานวิเคราะห์ศึกษา

งานวิเคราะห์ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินที่มีต่อโครงสร้างใต้ดินในงานโครงการศึกษานี้ ประกอบด้วย

1) ประเด็นที่วิเคราะห์ศึกษา มีดังนี้คือ

- เสถียรภาพของโครงสร้างใต้ดิน
 - แรงแบกทาน (Bearing Capacity) ของฐานรากวางอยู่บนดิน
 - กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม (Pile Load Resistance)
 - แรงดันด้านข้าง (Lateral Pressure)
 - แรงดันยกโครงสร้าง (Uplift Pressure)
- การทรุดตัว
 - การทรุดตัวเป็นอาณาบริเวณกว้าง (Regional Land Subsidence)
 - การทรุดตัวของโครงสร้างใต้ดิน รวมทั้งการทรุดตัวของอุโมงค์และระบบรถไฟใต้ดิน

2) ประเภทฐานรากที่วิเคราะห์ ประกอบด้วย

- ฐานรากตื้น
 - ฐานแผ่ (Spread Footing) ขนาดประมาณ 2 x 2 ม.
 - ฐานแพ (Mat Foundation) ของโบราณสถานที่มีขนาดไม่ต่ำกว่า 10 x 10 ม.
 - ฐานรากเสาเข็ม (Pile Foundation) ยาวประมาณ 6 ม.
- ฐานรากลึก
 - ฐานรากเสาเข็มตอกรูปตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ยาวประมาณ 25 ม. ขนาด 0.30 x 0.30 ม. และ 0.35 x 0.35 ม.
 - ฐานรากเสาเข็มเจาะรูปตัดวงกลม ยาวประมาณ 40 ม. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.00 ม. และ 1.20 ม.
 - ฐานรากเสาเข็มเจาะรูปตัดวงกลม ยาวประมาณ 50 - 55 ม. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.20 ม. และ 1.50 ม.

3) โครงสร้างใต้ดินประเภทอื่นๆ

- ชั้นใต้ดิน
- อุโมงค์และระบบรถไฟใต้ดิน

2. แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดิน และช่วงระยะเวลาที่วิเคราะห์ศึกษา

- 1) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดิน วิเคราะห์ศึกษากรณีที่ระดับน้ำหรือแรงดันน้ำในชั้นน้ำประปาแดง แปรเปลี่ยนตามแนวโน้มที่แสดงโดยผลการวัดระดับน้ำโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล จากบ่อสังเกตการณ์ที่อยู่ใกล้ตำแหน่งเจาะสำรวจและติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดในงานโครงการศึกษานี้ ระหว่างประมาณปี 1987(2530) ถึง 2009(2552) และทำการคาดการณ์ (Projection) ตามแนวโน้มดังกล่าว
- 2) การวิเคราะห์ศึกษาครอบคลุมช่วงระยะเวลาตั้งแต่แรงดันน้ำใต้ดินเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงจากสถานะ Hydrostatic ประมาณปี 1960(2503) จนกระทั่งลดลงต่ำสุดประมาณปี 1997(2540) แล้วฟื้นคืนสูงขึ้นจนกระทั่งฟื้นตัวกลับสู่ในสถานะ Hydrostatic อีกประมาณในปี 2032 (2575) – 2037(2580)

9.2 ผลกระทบต่อเสถียรภาพของฐานรากตื้น

1) ฐานแพ (Mat Foundation) ของโบราณสถานที่มีขนาดตั้งแต่ 10 ม. เป็นต้นไปในพื้นที่มุ่งเน้นศึกษา ล้วนแล้วแต่ก่อสร้างก่อนปี 1960(2503) ซึ่งแรงดันน้ำตลอดชั้นดินยังอยู่ในสถานะ Hydrostatic ในเวลาต่อมาในช่วงระดับความลึกประมาณ 7 ม. ลงไปแรงดันน้ำใต้ดินลดลง ทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินสูงขึ้น ดังนั้นเสถียรภาพของโบราณสถานก็จะสูงขึ้นเช่นกัน จนถึงประมาณปี 1997(2540) ต่อมาแรงดันน้ำฟื้นคืนสูงขึ้นและเมื่อฟื้นคืนเป็น Hydrostatic ประมาณตั้งแต่ปี 2030(2573) เป็นต้นไป เสถียรภาพของโบราณสถานจะปรับกลับเข้าใกล้ค่าเดิมในอดีต ด้วยเหตุนี้ ผลของแรงดันน้ำใต้ดินลดลงหรือเพิ่มขึ้นไม่ส่งผลให้กำลังรับน้ำหนักของดินฐานรากอาคารโบราณสถานลดลงไปกว่าเมื่อก่อสร้างแต่อย่างใด

2) เหตุผลทำนองเดียวกับข้อ (1) ใช้ได้กับฐานแผ่ (Spread Footing) หรือฐานรากเสาเข็ม (Pile Foundation) บนเสาเข็มสั้น สำหรับอาคารที่ก่อสร้างก่อนที่แรงดันน้ำใต้ดินจะลดลงจนก่อให้เกิดเป็นปัญหา

3) ฐานรากตื้นสำหรับอาคารขนาดเล็ก เช่น Spread Footing ขนาด 2 x 2 ม. หรือ Pile Foundation ขนาดเสาเข็มยาว 6 ม. ถ้ายางลงไปในชั้นดินระดับตื้นซึ่งแรงดันน้ำยังคงอยู่ที่ Hydrostatic ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในระดับลึกลงไป จึงไม่มีผลกระทบต่อกำลังรับน้ำหนักของฐานราก

9.3 ผลกระทบต่อเสถียรภาพของฐานรากลึก

1) เสถียรภาพของฐานรากลึก จะเป็นฐานรากเสาเข็มตอก เสาเข็มเจาะ, Diaphragm Wall, Continuous Wall, ฯลฯ ล้วนแล้วแต่มีหลักการทางปฐพีกลศาสตร์ (Soil Mechanics) เดียวกัน อีกทั้งเสถียรภาพของเสาเข็มกลุ่ม เสาเข็มแพ (Mat Pile Foundation) จะเป็นการรับแรงกดอัด (Compression) รับแรงดึง (Tension) หรือรับแรงด้านข้าง (Lateral Force) ย่อมมีรากฐานมาจากกำลังรับน้ำหนัก (Pile Load

Resistance) ของเสาเข็มเดี่ยว ดังนั้น ที่ปรึกษาจึงแสดงหลักการเสถียรภาพของฐานรากลึก ด้วยการวิเคราะห์ Pile Load Resistance ของเสาเข็มเดี่ยว

2) กฎกระทรวงมหาดไทยฉบับที่ 6 กำหนดให้อาคารที่ตั้งอยู่บนฐานรากเสาเข็มมีส่วนความปลอดภัยอย่างน้อย 2.0 ไม่ว่าจะเป็นครณีใด และในทางปฏิบัติทางวิศวกรรมที่ได้มาตรฐานจะกำหนดส่วนความปลอดภัยอย่างน้อยระหว่าง 2.5 ถึง 2.0 ทั้งนี้ ส่วนความปลอดภัยในที่นี้ หมายถึงอัตราส่วนระหว่าง กำลังรับน้ำหนักประลัย (Ultimate Pile Load Resistance) ที่ได้จากการทดสอบ Static Load Test บนเสาเข็มที่เพิ่งจะก่อสร้างแล้วเสร็จ กับกำลังที่ยอมให้เสาเข็มรับได้ในการใช้รับน้ำหนักอาคาร (Allowable Working Load)

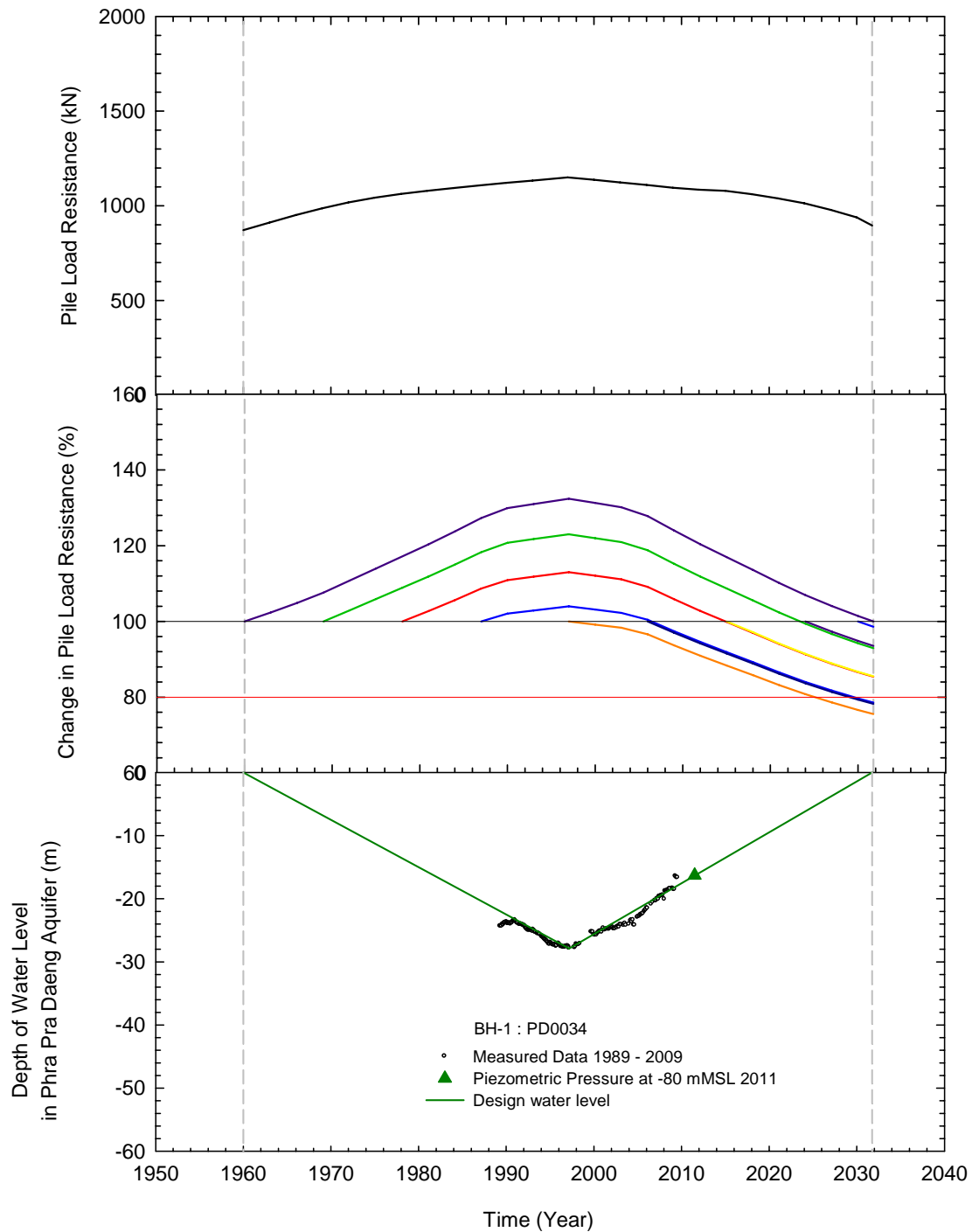
3) เสาเข็มตอกลึก 24 – 26 ม. ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดิน First Sand สำหรับอาคารสูง 4 – 7 ชั้นที่ก่อสร้างในปีต่างๆ กัน เมื่อวิเคราะห์คำนวณ Pile Load Resistance หรือค่ากำลังประลัย (Ultimate Load) จากการทดสอบ Static Pile Load Test จะได้ค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากการแปรเปลี่ยนของแรงดันน้ำใต้ดินเมื่อเริ่มต้นพิจารณาในปีหนึ่งๆ แล้วเปรียบเทียบกับกรณีที่ก่อสร้างเสาเข็มต้นเดียวกันในเงื่อนไขเดียวกันในปีต่อมา พบว่ากรณีเสาเข็มมี Pile Load Resistance ลดลงไปเหลือ 80% (ค่าส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ลดจาก 2.5 เป็น 2.0 ถ้า Working Load คงเดิม) ในเวลาเร็วที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเสาเข็มที่ก่อสร้างในปี 1997(2540) คือในปี 2012(2555) – 2027(2570) เมื่อระดับน้ำในชั้นน้ำพระปะแดงพื้นดินสูงชันถึงประมาณ -6 ถึง -14 ม. และเมื่อแรงดันน้ำพื้นกลับคืนเป็น Hydrostatic ในปี 2026(2560) – 2037(2580) จะมี Pile Load Resistance เหลือ 57 – 76% เมื่อเทียบกับเสาเข็มที่ก่อสร้างในปี 1997(2540) ดังที่สรุปในตารางที่ 9.3-1 (รูปที่ 9.3-1 เป็นตัวอย่าง)

4) โดยเงื่อนไขเดียวกับข้อ (2) เสาเข็มเจาะลึก 49 – 55 ม. ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดิน Second Sand สำหรับอาคารสูง 20 – 40 ชั้น กรณีเสาเข็มมี Pile Load Resistance ลดลงไปเหลือ 80% (ค่า Factor of Safety ลดจาก 2.5 เป็น 2.0 ถ้า Working Load คงเดิม) ในเวลาเร็วที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเสาเข็มที่ก่อสร้างในปี 1997(2540) คือในปี 2018(2561) – 2021(2564) เมื่อระดับน้ำในชั้นน้ำพระปะแดงพื้นดินสูงชันถึงประมาณ -8 ถึง -14 ม. และเมื่อแรงดันน้ำพื้นกลับคืนเป็น Hydrostatic ในปี 2026(2560) – 2037(2580) จะมี Pile Load Resistance เหลือ 62– 70% เมื่อเทียบกับเสาเข็มที่ก่อสร้างในปี 1997(2540) ดังที่สรุปในตารางที่ 9.3-1 (รูปที่ 9.3-2 เป็นตัวอย่าง)

5) ข้อมูลเสาเข็มมี Pile Load Resistance ของเสาเข็มลดลงไปเหลือ 80% (ค่า Factor of Safety ลดจาก 2.5 เป็น 2.0 ถ้า Working Load คงเดิม) ดังกล่าวในข้อ (3) และ (4) สอดคล้องกับระดับน้ำในชั้นน้ำพระปะแดงประมาณไม่สูงกว่า -10 ม. เมื่ออัตรา Recovery ตั้งแต่ปี 2012(2555) เป็นต้นไปประมาณเท่ากับหรือต่ำกว่า 0.8 ม./ปี และประมาณไม่สูงกว่า -15 ม. ในกรณีที่อัตรา Recovery ตั้งแต่ปีดังกล่าวเป็นต้นไปมีค่าประมาณไม่ต่ำกว่า 0.8 ม./ปี

ตารางที่ 9.3-1 สรุปการเปลี่ยนแปลงของ Pile Load Resistance ของฐานรากเสาเข็มประเภทต่างๆ เมื่อก่อสร้างในเวลาต่างกัน ตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง

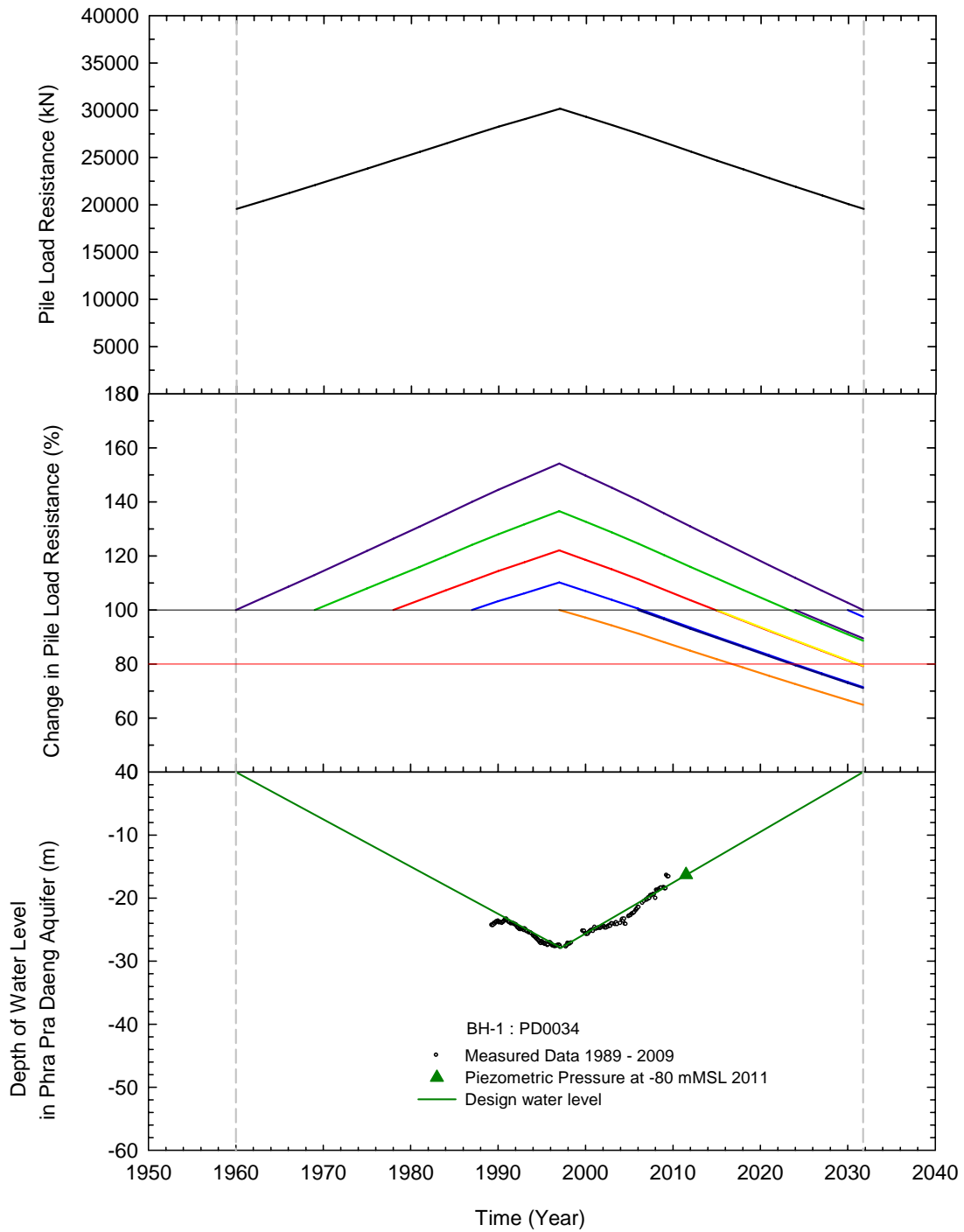
บริเวณ	หลุมเจาะสำรวจ	อัตรา Recovery ของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง (ม./ปี)	ประเภทฐานราก	กรณี Pile Load Resistance ลดเหลือ 80% เร็วที่สุด				กรณี Pile Load Resistance ลดลงต่ำสุดเมื่อคืนสู่ Hydrostatic				
				ปีก่อสร้างแรกเปรียบเทียบ	Pile Load Resistance ในปีก่อนสร้างแรกเปรียบเทียบ (kN)	ปีเร็วที่สุดที่ลดเหลือ 80%	ระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง (ม.)	ปีก่อสร้างแรกเปรียบเทียบ	Pile Load Resistance ในปีก่อนสร้างแรกเปรียบเทียบ (kN)	ปีที่ลดต่ำสุด	อัตราส่วน Pile Load Resistance ลดต่ำสุดต่อในปีแรกเปรียบเทียบ	
สวนจตุจักร	BH-1	0.80	เสาเข็มตอก □ 0.30x0.30 ม. เสาเข็มตอก □ 0.35x0.35 ม. ลึก 26 ม. ใช้กับอาคาร 4-7 ชั้น	1997 (2540)	1554 1869	2024 (2567) 2024 (2567)	-6.2	1997 (2540)	1554 1869	2032 (2575) 2032 (2575)	75.54 75.65	
			เสาเข็มเจาะ Dia. 1.0 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. ลึก 42 ม. ใช้กับอาคาร 20 ชั้น	1993 (2536)	12427 15732	2018 (2561) 2018 (2561)		-11.3	1993 (2536)	12427 15732	2032 (2575) 2032 (2575)	63.65 63.55
			เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.5 ม. ลึก 54 ม. ใช้กับอาคาร 20 - 40 ชั้น	1997 (2540)	30163 39608	2018 (2561) 2018 (2561)			-11.3	1997 (2540)	30163 39608	2032 (2575) 2032 (2575)
สวนลุมพินี	BH-2	0.83	เสาเข็มตอก □ 0.30x0.30 ม. เสาเข็มตอก □ 0.35x0.35 ม. ลึก 26 ม. ใช้กับอาคาร 4-7 ชั้น	1997 (2540)	2147 2615	2027 (2570) 2027 (2570)	-6.5	1997 (2540)		2147 2615	2035 (2578) 2035 (2578)	75.00 73.84
			เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.5 ม. ลึก 51 ม. ใช้กับอาคาร 20 - 40 ชั้น	1997 (2540)	2363 31523	2021 (2564) 2021 (2564)		-12	1997 (2540)	2363 31523	2035 (2578) 2035 (2578)	66.97 66.63
			เสาเข็มตอก □ 0.30x0.30 ม. เสาเข็มตอก □ 0.35x0.35 ม. ลึก 24 ม. ใช้กับอาคาร 4 - 7 ชั้น	1997 (2540)	1992 2431	2021 (2564) 2021 (2564)			-11	1997 (2540)	1992 2431	2037 (2580) 2037 (2580)
สนามเสือป่า	BH-3	0.70	เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.5 ม. ลึก 49 ม. ใช้กับอาคาร 20 - 40 ชั้น	1997 (2540)	22978 30407	2021 (2564) 2021 (2564)	-11	1997 (2540)		22978 30407	2037 (2580) 2037 (2580)	65.51 65.44
			เสาเข็มตอก □ 0.30x0.30 ม. เสาเข็มตอก □ 0.35x0.35 ม. ลึก 26 ม. ใช้กับอาคาร 4-7 ชั้น	1993 (2536) 1997 (2540)	1960 2451	2027 (2570) 2024 (2567)		-6.8 -9	1993 (2536) 1997 (2540)	1960 2451	2037 (2580) 2037 (2580)	73.27 72.10
			เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.5 ม. ลึก 53 ม. ใช้กับอาคาร 20 - 40 ชั้น	1997 (2540)	24030 31808	2021 (2564) 2021 (2564)	-10.8		1997 (2540)	24030 31808	2037 (2580) 2037 (2580)	66.93 66.78
ม.เทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพฯ	BH-5	0.83	เสาเข็มตอก □ 0.30x0.30 ม. เสาเข็มตอก □ 0.35x0.35 ม. ลึก 25 ม. ใช้กับอาคาร 4 - 7 ชั้น	1987 (2530)	2541 3116	2024 (2567) 2024 (2567)		-9.6	1987 (2530)	2541 3116	2035 (2578) 2035 (2578)	65.41 64.66
			เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.5 ม. ลึก 53 ม. ใช้กับอาคาร 20 - 40 ชั้น	1997 (2540)	34548 45326	2018 (2561) 2018 (2561)	-14.4		1997 (2540)	34548 45326	2035 (2578) 2035 (2578)	62.30 62.38
			เสาเข็มตอก □ 0.30x0.30 ม. เสาเข็มตอก □ 0.35x0.35 ม. ลึก 25 ม. ใช้กับอาคาร 4 - 7 ชั้น	1997 (2540)	3140 3796	2012 (2555) 2012 (2555)			-14	1997 (2540)	3140 3796	2026 (2569) 2026 (2569)
ม.เกษตรศาสตร์	BH-6	1.00	เสาเข็มเจาะ Dia. 1.0 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. ลึก 35 ม. ใช้กับอาคาร 20 ชั้น	1997 (2540)	14333 18014	2012 (2555) 2012 (2555)	-14	1997 (2540)		14333 18014	2026 (2569) 2026 (2569)	59.78 59.66
			เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.5 ม. ลึก 55 ม. ใช้กับอาคาร 20 - 40 ชั้น	1997 (2540)	29117 37857	2015 (2558) 2018 (2561)		-11.2 -8.0	1997 (2540)	29117 37857	2026 (2569) 2026 (2569)	68.83 69.82



รูปที่ 9.3-1 การแปรเปลี่ยนของ Pile Load Resistance เสาเข็มตอกขนาด □□ 0.30 x 0.30 ม. ลึก 25.0 ม.

ใช้กับอาคารประมาณ 4 - 7 ชั้น ตำแหน่งสวนจตุจักร (BH-1) เมื่อก่อสร้างในเวลาต่างกัน

ตามการแปรเปลี่ยนของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง



รูปที่ 9.3-2 การแปรเปลี่ยนของ Pile Load Resistance เสาเข็มเจาะขนาด \varnothing 1.2 ม. ลึก 54.0 ม. ใช้กับอาคารประมาณ 20 - 40 ชั้น ตำแหน่งสวนจตุจักร (BH-1) เมื่อก่อสร้างในเวลาต่างกัน

ตามการแปรเปลี่ยนของระดับน้ำในชั้นน้ำประประแดง

6) ข้อสารสนเทศเกี่ยวกับค่า Pile Load Resistance ของเสาเข็มลดต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีทีก่อสร้างเสาเข็มต้นเดียวกันในเงื่อนไขเดียวกันในปีก่อนหน้านั้น ที่แสดงในข้อ (3) และ (4) เป็นข้อเตือนให้วิศวกรตรวจสอบทบทวนการออกแบบและก่อสร้างอาคารที่ดำเนินการแล้ว และควรแก่การพิจารณาในการออกแบบก่อสร้างอาคารใหม่

7) ค่า Pile Load Resistance ที่วิเคราะห์ประเมินในงานโครงการศึกษานี้ เป็นการประเมินค่าที่จะได้จากการทดสอบเสาเข็มด้วยวิธี Static Load Test ถึงขั้นวิบัติประลัย (Ultimate Failure) ในสถานะทดสอบเสาเข็มภายในระยะเวลาอันสั้นภายหลังจากก่อสร้างเสาเข็ม ซึ่งเสาเข็มต้นเดียวกันถ้าหากทิ้งไว้ในชั้นดินเป็นเวลานาน จะทดสอบได้ค่า Pile Load Resistance สูงขึ้น และเสาเข็มเมื่อรับแรงจากโครงสร้าง (Loading Condition) ในระยะยาว มีเวลาที่แรงดันน้ำส่วนเกินในโพรงดิน (Excess Pore Water Pressure) จะระบาย (Dissipate) ลดหายไป ตามทฤษฎีจะมี Pile Load Resistance สูงยิ่งขึ้นไปอีก อย่างไรก็ตามประเด็นเหล่านี้ไม่ครอบคลุมโดยกฎข้อบังคับและมาตรฐานในปัจจุบัน

8) ประเด็นสำคัญในเรื่องความปลอดภัยของฐานรากและของอาคาร คือการเคลื่อนตัว จะเป็นการทรุดตัวหรือยกตัวในแนวตั้ง หรือการเอียงตัวก็ตาม

9.4 ผลกระทบต่อเสถียรภาพของชั้นใต้ดิน ปัญหาแรงดันยกโครงสร้าง (Uplift Pressure) และปัญหาน้ำรั่วซึม

1) การออกแบบชั้นใต้ดินในบริเวณกรุงเทพฯ โดยการปฏิบัติตามปกติในทางวิศวกรรมจะออกแบบด้วยเงื่อนไขระดับน้ำอยู่ที่ระดับผิวดิน หรือคือแรงดันน้ำใต้ดินอยู่ในสถานะ Hydrostatic เช่นเดียวกับการออกแบบโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล

2) ส่วนปัญหาการรั่วซึมขึ้นอยู่กับรายละเอียดของงานก่อสร้าง ซึ่งในกรณีที่ก่อสร้างติดตั้งระบบป้องกันน้ำรั่วซึม ตามเงื่อนไขระดับน้ำอยู่เป็ยที่ระดับผิวดิน ปัญหาการรั่วซึมย่อมจะลดน้อยลง

3) Basement ที่อยู่ในชั้นดินเหนือระดับความลึกประมาณ 7 ม. น้ำใต้ดินยังคงอยู่ในสถานะ Hydrostatic อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ

9.5 การทรุดตัวเป็นอาณานิคมบริเวณกว้าง (Regional Land Subsidence)

1) การทรุดตัวเป็นอาณานิคมบริเวณกว้าง (Regional Land Subsidence) คือ Total Settlement ที่เป็นผลสะสมของการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง (Vertical Movement) ทั้งที่เป็นทรุดตัว (Settlement) หรือการยกตัว (Up-Heave) ในชั้นดินต่างๆ ตลอดความลึกของวัสดุไม่จับแข็งตัว (Unconsolidated Material) จนกระทั่งถึงหินดาน (Bed Rock) ที่ความลึกกว่า 1,000 ม. ในบริเวณกรุงเทพฯ

2) ผลจากการวิเคราะห์ Total Settlement หรือ Regional Land Subsidence ดังกล่าวข้างต้นสรุปได้ว่าการทดสอบแบบ Uedometer Test ให้ค่าการทรุดตัวสูงสุดประมาณ 600 ถึง 700 มม. ในระหว่างประมาณปี 1960(2503) ซึ่งแรงดันน้ำใต้ดินยังอยู่ในสภาวะ Hydrostatic ถึง 1997(2540) เมื่อแรงดันน้ำลดลงต่ำที่สุด หลังจากนั้นถึงประมาณปี 2035(2578) เมื่อแรงดันน้ำพื้นคืนสู่สภาวะ Hydrostatic เกิดจากยกตัว (Up-Heave) ประมาณ 175 – 225 มม. หรือประมาณ 30% - 40% ของการทรุดตัวสูงสุด ส่วนการทดสอบแบบ Constant Rate of Strain Test ให้ผลสรุปที่ใกล้เคียงกัน ดังสรุปในตารางที่ 9.5-1 (รูปที่ 9.5-1 เป็นตัวอย่าง)

3) Up-Heave หรือ Rebound) ตามการวิเคราะห์คำนวณดังกล่าวในข้อ (2) ยืนยันได้จากการวัดการทรุดตัวในระดับลึก (Deep Settlement) ของชั้นดินในงานโครงการศึกษานี้ และการวิเคราะห์ผลกระทบต่อ Undrained Shear Strength และ Pile Load Resistance ของเสาเข็มฐานรากลึก ซึ่งล้วนแล้วแต่บ่งชี้ว่าชั้นดินเกิด Volume Change ในทางบวมตัว

4) แต่กระนั้นก็ตามโดยทั่วไปที่ปรากฏหลังปี 2540/1997 คือผิวดินทรุดตัว แม้แต่ในงานโครงการนี้เองก็วัดได้ว่าการทรุดตัวที่ระดับผิวดิน การที่ปรากฏการทรุดตัวของผิวดิน ทั้งที่อยู่ในสภาวะบวมตัวหรือยกพื้นคืนตัว อาจจะเป็นเนื่องจากมีน้ำหนักกระทำที่ผิวดิน เช่นดินถม, Pavement, น้ำหนักสัญญาณจราจร ฯลฯ เป็นสำคัญ

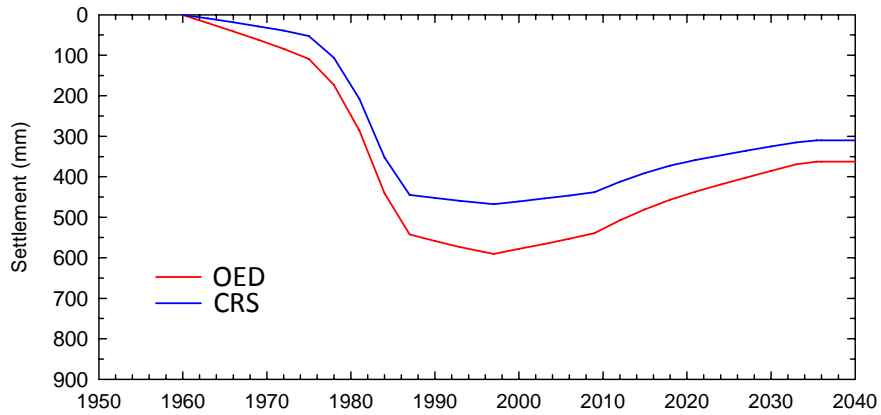
9.6 การทรุดตัวของฐานรากตื้น

1) การทรุดตัวหรือการยกตัวของฐานรากตื้น จะประมาณเท่ากับการทรุดตัวที่ผิวดิน คือทรุดตัวประมาณ 600 - 700 มม. และยกตัวประมาณ 175 - 225 มม.

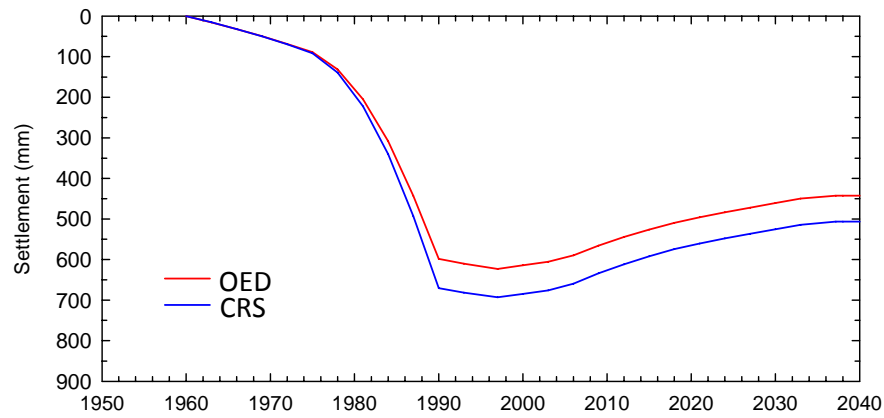
2) การทรุดตัวที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งโครงสร้างอาคาร อาจจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายทางโครงสร้าง แต่ Differential Settlement ที่เกิดขึ้นที่ฐานราก อาจจะทำให้อาคารเกิดการเอียงตัว หรือทำให้เกิดการเคลื่อนตัวแตกต่างกัน (Differential Movement) ในโครงสร้างส่วนบน โดยเฉพาะเกิดมุมบิด (Angular Distortion) ขึ้น ซึ่งหากการเอียงตัวหรือเกิด Distortion มากเกินกว่าที่โครงสร้างรับได้แล้ว ย่อมจะเกิดความวิบัติได้ ในกรณีอาคารโบราณสถานที่ก่อสร้างก่อนปี 1997(2503) หรืออาคารฐานรากตื้นอื่นใดที่ก่อสร้างก่อนที่แรงดันน้ำใต้ดินจะลดต่ำลงจนก่อเกิดปัญหา ได้ผ่านการทรุดตัวในช่วงแรงดันน้ำลดต่ำลง (Drawdown) จนเมื่อแรงดันน้ำลดลงต่ำสุดประมาณปี 1997(2540) แล้วไม่เกิดความเสียหายทางโครงสร้าง ย่อมมีความเป็นไปได้ที่จะไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากการยกตัวเมื่อแรงดันน้ำพื้นเพิ่มคืนตัว (Recovery) ซึ่งปริมาณการยกตัวมีน้อยกว่าการทรุดตัว ส่วนอาคารฐานรากตื้นในระยะหลัง โดยมากเป็นอาคารขนาดเล็กที่มีความสำคัญและมีมูลค่าน้อย

ตารางที่ 9.5-1 สรุปผลวิเคราะห์ Total Settlement BH-1 ถึง BH-6 จากผลการทดสอบ Oedometer Test (OED) และ Conxtant Rate of Strain Test (CRS)

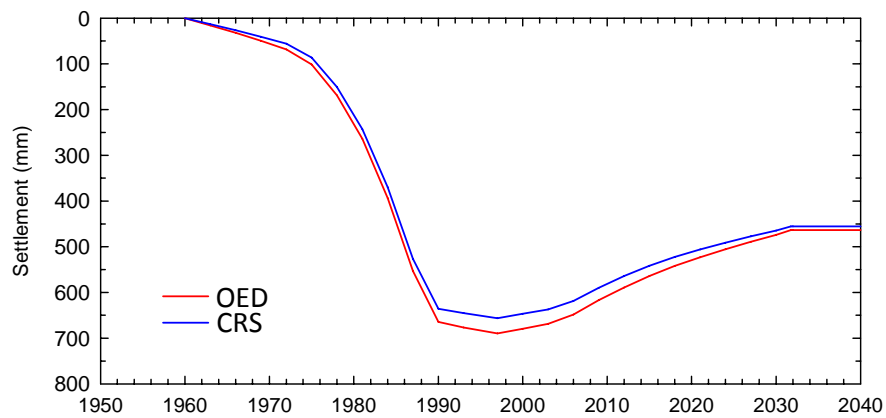
บริเวณ	หลุมเจาะ สำรวจ	จากผลการทดสอบ Oedometer Test (OED)			จากผลการทดสอบ Conxtant Rate of Strain Test (CRS)			% OED ต่อ CRS						
		Max. Settlement (มม.)	ปี	Up-Heave (มม.)	Max.Up-Heave (มม.)	ปี	Up-Heave (มม.)	Max.Up-Heave (มม.)	Max. Settlement	% Max. Settlement				
สวนตุ๊กตัก	BH-1	689.45	1997 (2540)	225.86	2032 (2575)	32.76	2032 (2575)	200.70	1997 (2540)	656.1	30.59	2032 (2575)	1.05	1.12
สวนสมเด็จพระ	BH-2	590.42	1997 (2547)	227.51	2035 (2578)	39.88	2035 (2578)	157.30	1997 (2547)	467.4	33.65	2035 (2578)	1.26	1.45
สวนเสือป่า	BH-3	623.06	1997 (2547)	180.65	2037 (2580)	28.99	2037 (2580)	186.50	1997 (2547)	693.1	26.92	2037 (2580)	0.9	0.97
สวนรมณีนาถ	BH-4	682.12	1997 (2547)	227.10	2037 (2580)	33.29	2037 (2580)	206.00	1997 (2547)	905.3	22.75	2037 (2580)	0.75	1.10
ม.เทคโนโลยี รามนครกรุงเทพ	BH-5	386.67	1997 (2547)	175.87	2035 (2578)	45.48	2035 (2578)	129.50	1997 (2547)	334.1	38.76	2035 (2578)	1.16	1.36
ม.เกษตรศาสตร์	BH-6	745.75	1997 (2547)	175.18	2026 (2569)	23.49	2026 (2569)	176.00	1997 (2547)	608.4	28.93	2026 (2569)	1.23	0.99



ก) สวนจตุจักร (BH-1)



ข) สวนลุมพินี (BH-2)



ค) สนามเสือป่า (BH-3)

รูปที่ 9.5-1 ผลการวิเคราะห์คำนวณ Total Settlement จากผลการทดสอบ Oedometer Test (OED)

เปรียบเทียบกับ Constant Rate of Strain Test (CRS)

9.7 การทรุดตัวของฐานรากลึก

1) เสาเข็มตอกลึก 24 - 26 ม. ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดิน First Sand สำหรับอาคารสูง 4 - 7 ชั้น การทรุดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำใต้ดินเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงแรงดันน้ำลดลง (Drawdown) ซึ่งหากเริ่มต้นใช้งานฐานรากในปี 1960(2503) เมื่อถึง 1997(2540) จะเกิดการทรุดตัวประมาณ 155 - 17 มม. หลังจากนั้นในช่วงแรงดันน้ำฟื้นคืนตัว เมื่อถึงประมาณปี 2032(2575) - 2037(2580) จะเกิดการยกตัวประมาณ 145 - 165 มม. ดังที่สรุปในตารางที่ 9.7-1 (รูปที่ 9.7-1 เป็นตัวอย่าง)

2) เสาเข็มเจาะลึก 49 - 55 ม. ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดิน Second Sand (ที่ ม. เกษตรศาสตร์ : BH-6 ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดิน Hard Clay ใต้ Second Sand) ใช้กับอาคาร 20 - 40 ชั้น ในกรณีที่เริ่มต้นใช้งานฐานรากในปี 1978 (2521) จะเกิดการทรุดประมาณ 40 - 50 มม. เมื่อถึงปี 1997(2540) ส่วนปริมาณการยกตัวหลังจากปี 1997(2540) จนถึงปี 2032(2575) - 2037(2580) ประมาณระหว่าง 105 - 130 มม. ดังที่สรุปในตารางที่ 9.7-1 (รูปที่ 9.7-2 เป็นตัวอย่าง)

3) การประมาณการทรุดตัวข้างต้น เป็นการประมาณการทรุดตัวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำใต้ดินเท่านั้น แต่โครงสร้างอาคารอาจจะมีการทรุดตัวหรือยกตัวนอกเหนือจากนั้นไป เนื่องจากเงื่อนไขการก่อเกิดแรง (Loading Condition) ของโครงสร้างอาคารเอง

4) เงื่อนไขที่ฐานรากลึกและโครงสร้างส่วนบนจะเกิดความเสียหายเนื่องจากการทรุดตัว เป็นเช่นเดียวกับฐานรากตื้น (ข้อ 15(2))

9.8 ผลกระทบต่อระบบอุโมงค์และรถไฟฟ้าใต้ดิน

1) การออกแบบงานโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล ออกแบบโครงสร้างใต้ดินในระยะกลางและระยะยาวตามเงื่อนไขการฟื้นคืน Piezometric Pressure ในชั้นดินกลับสู่สภาวะ Hydrostatic อย่างเต็มที่ การปฏิบัติเช่นนี้ เป็นการปฏิบัติโดยปกติในทางวิศวกรรม

2) ตั้งแต่ก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสวนจตุจักร ในโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคลแล้วเสร็จในปี 2004(2547) จนถึงประมาณปี 2032(2575) เมื่อแรงดันน้ำใต้ดินฟื้นคืนสู่สภาวะ Hydrostatic วิเคราะห์คำนวณการยกตัวแตกต่างระหว่างอุโมงค์และสถานีใต้ดิน อันเนื่องมาจากการฟื้นคืนตัวของแรงดันน้ำมีค่าประมาณ 21 มม. ซึ่งในงานโครงการดังกล่าวได้ติดตั้ง Transition Structure ระหว่างอุโมงค์และโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน ที่ยินยอมให้มีการเคลื่อนไหวทุกทิศทางเป็นปริมาณ 100 มม.

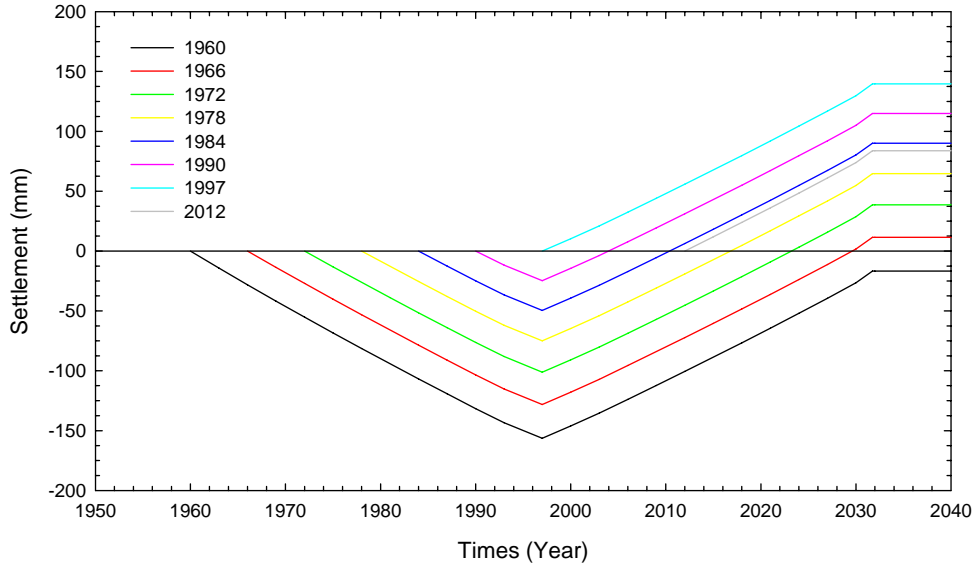
3) ส่วนการเคลื่อนตัวแตกต่างในแนวตั้งตามความยาว (Longitudinal Differential Vertical Movement) ของอุโมงค์เนื่องจากการฟื้นคืนตัวของแรงดันน้ำใต้ดิน วิเคราะห์คำนวณได้ว่าจะเกิดการยกตัวแตกต่างตามความยาวมีค่าระหว่าง 0.002 ถึง 0.013 มม./ม. เมื่อ Bottom Level ของอุโมงค์อยู่ที่ -20 ม.รทก.

โดยที่ Typical Tunnel Gradient ของโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล มีค่า 2% หรือ 20 มม./ม. ทั้งนี้ ขนาดของ Longitudinal Differential Vertical Movement ที่แสดงนี้ย่อมใช้ได้สำหรับการพิจารณาอุโมงค์อื่นๆ ในกรุงเทพฯ ที่ก่อสร้างหลังปี 1997(2540)

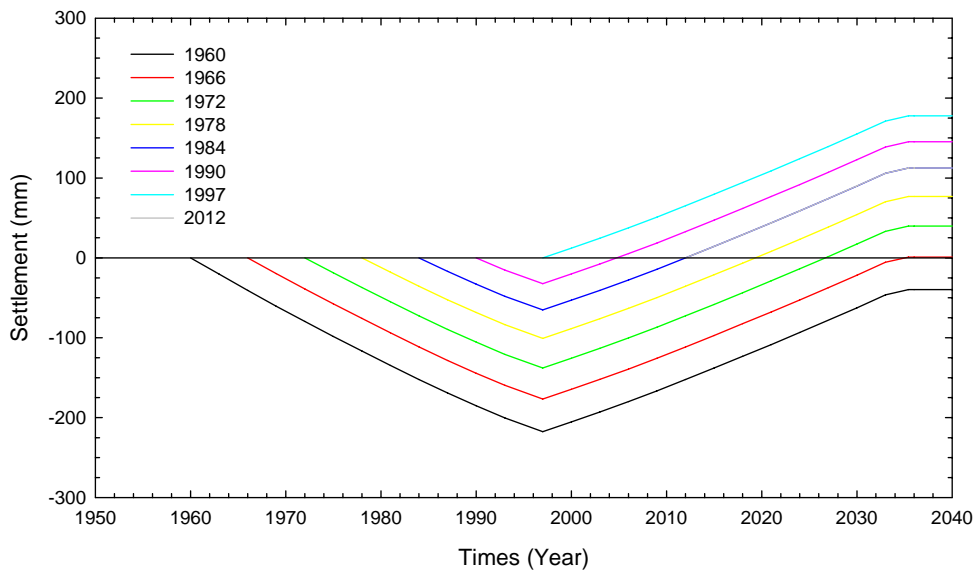
4) เช่นเดียวกับการทรุดตัวของฐานรากลึก (ข้อ 17(3))การประมาณการทรุดตัวข้างต้น เป็นการประมาณการทรุดตัวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำใต้ดินเท่านั้น แต่โครงสร้างอาคารอาจจะมีการทรุดตัวหรือยกตัวนอกเหนือจากนั้นไป เนื่องจากเงื่อนไขการก่อกองแรง (Loading Condition) ของโครงสร้างสถานีและอุโมงค์เอง

ตารางที่ 9.7-1 สรุป Settlement ของฐานรากเสาเข็มประเภทต่างๆ เมื่อก่อสร้างในเวลาต่างกัน
ตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง

บริเวณ	หลุมเจาะ สำรวจ	ประเภทฐานราก	กรณี Maximum Settlement		กรณี Maximum Up-Heave	
			ช่วงปีเกิด Settlement	Max. Settlement (มม.)	ช่วงปีเกิด Upheave	Max. Up-Heave (มม.)
สวนตุ๊กตาร	BH-1	เสาเข็มตอก □ 0.30x0.30 ม. เสาเข็มตอก □ 0.35x0.35 ม. ลึก 26 ม. ใช้กับอาคาร 4-7 ชั้น	1960(2503)-1997(2540)	156.4	1997(2540)-2032(2575)	139.7
		เสาเข็มเจาะ Dia. 1.0 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. ลึก 42 ม. ใช้กับอาคาร 20 ชั้น	1978(2521)-1997(2540)	42.5	1997(2540)-2032(2575)	115.14
		เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.5 ม. ลึก 54 ม. ใช้กับอาคาร 40 ชั้น	1978(2521)-1997(2540)	40.5	1997(2540)-2032(2575)	109.41
สวนลุมพินี	BH-2	เสาเข็มตอก □ 0.30x0.30 ม. เสาเข็มตอก □ 0.35x0.35 ม. ลึก 26 ม. ใช้กับอาคาร 4-7 ชั้น	1960(2503)-1997(2540)	217.4	1997(2540)-2036(2579)	177.7
		เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.5 ม. ลึก 51 ม. ใช้กับอาคาร 40 ชั้น	1978(2521)-1997(2540)	60.22	1997(2540)-2036(2579)	150.5
สนามเสือป่า	BH-3	เสาเข็มตอก* 0.30x0.30 ม. เสาเข็มตอก* 0.35x0.35 ม. ลึก 24 ม. ใช้กับอาคาร 4 - 7 ชั้น	1960(2503)-1997(2540)	173.7	1997(2540)-2037(2580)	127
		เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.5 ม. ลึก 49 ม. ใช้กับอาคาร 40 ชั้น	1978(2521)-1997(2540)	43.5	1997(2540)-2037(2580)	105.4
สวนรมณีนาถ	BH-4	เสาเข็มตอก □ 0.30x0.30 ม. เสาเข็มตอก □ 0.35x0.35 ม. ลึก 26 ม. ใช้กับอาคาร 4-7 ชั้น	1960(2503)-1997(2540)	190.2	1997(2540)-2037(2580)	165.1
		เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.5 ม. ลึก 53 ม. ใช้กับอาคาร 40 ชั้น	1978(2521)-1997(2540)	47.8	1997(2540)-2037(2580)	136.8
ม.เทคโนโลยี ราชมนักกรุงเทพฯ	BH-5	เสาเข็มตอก □ 0.30x0.30 ม. เสาเข็มตอก □ 0.35x0.35 ม. ลึก 25 ม. ใช้กับอาคาร 4 - 7 ชั้น	1960(2503)-1997(2540)	174.6	1997(2540)-2036(2579)	148.4
		เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.5 ม. ลึก 53 ม. ใช้กับอาคาร 40 ชั้น	1978(2521)-1997(2540)	50.1	1997(2540)-2036(2579)	130.5
ม.เกษตรศาสตร์	BH-6	เสาเข็มตอก □ 0.30x0.30 ม. เสาเข็มตอก □ 0.35x0.35 ม. ลึก 25 ม. ใช้กับอาคาร 4 - 7 ชั้น	1960(2503)-1997(2540)	157.1	1997(2540)-2026(2569)	111.4
		เสาเข็มเจาะ Dia. 1.0 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. ลึก 35 ม. ใช้กับอาคาร 20 ชั้น	1984(2527)-1997(2540)	49.0	1997(2540)-2026(2569)	112.2
		เสาเข็มเจาะ Dia. 1.2 ม. เสาเข็มเจาะ Dia. 1.5 ม. ลึก 55 ม. ใช้กับอาคาร 40 ชั้น	1978(2521)-1997(2540)	43.8	1997(2540)-2026(2569)	95.3



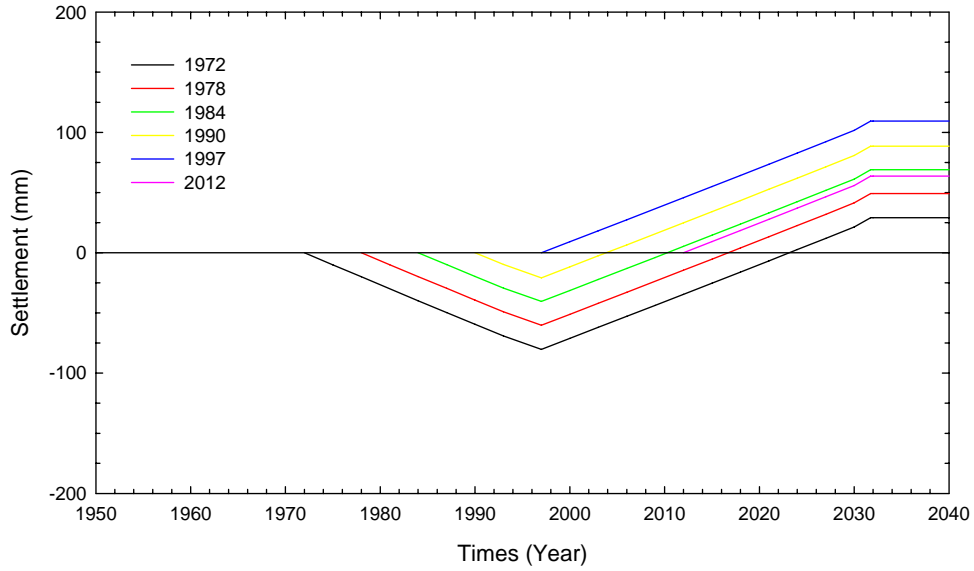
ก) สวนจตุจักร (BH-1) ลึก 25 .ม.



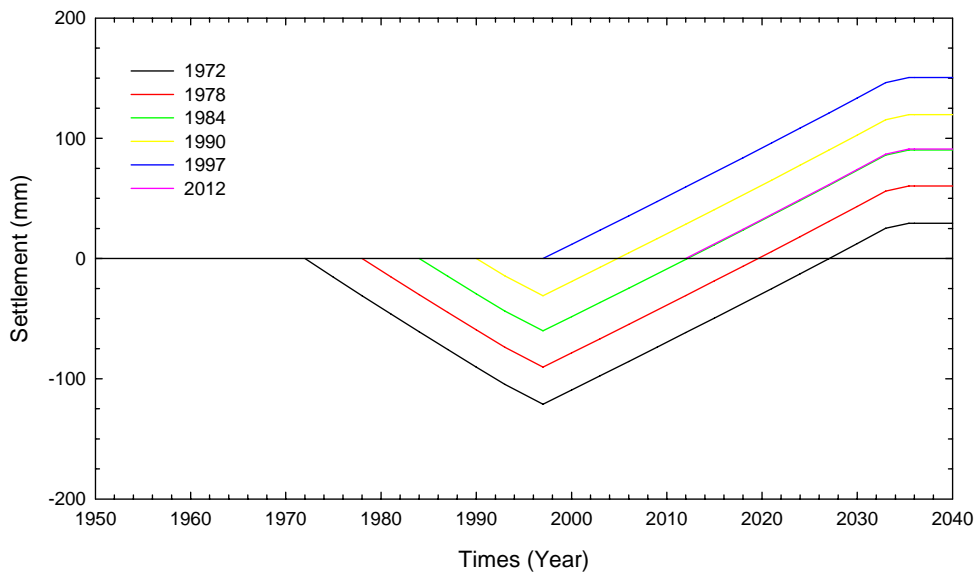
ข) สวนลุมพินี (BH-2) ลึก 26 ม.

รูปที่ 9.7-1 การทรุดตัวของเสาเข็มตอกลึก 24 - 26 ม. ใช้กับอาคารประมาณ 4 - 7 ชั้น เมื่อก่อสร้าง

ในเวลาต่างกัน ตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง



ก) สวนจตุจักร (BH-1) ลึก 54 ม.



ข) สวนลุมพินี (BH-2) ลึก 51 ม.

รูปที่ 9.7-2 การทรุดตัวของเสาเข็มเจาะลึก 49 - 54 ม. ใช้กับอาคารประมาณ 20 - 40 ชั้น

เมื่อก่อสร้างในเวลาต่างกัน ตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง

บทที่ 10

ข้อแนะนำและคำถาม-คำตอบ

บทที่ 10 ข้อเสนอแนะและคำถาม-คำตอบ

10.1 ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะการควบคุมระดับของการฟื้นคืนแรงดันน้ำใต้ดิน

1) หัวข้อ 10.1 ข้อ 8(1) สรุปรว่า จากการตรวจวัดในปี 2010(2553) - 2011(2554) แสดงว่าแรงดันน้ำใต้ดินตั้งแต่ระดับล่างขึ้นมาฟื้นคืนหรือหยุดการลดลงแล้ว ส่วนการทรุดตัวก็หยุดลงแล้วและไปในทางยกตัวจนถึงระดับดินใกล้เคียงผิวดินที่ความลึกประมาณ -4 ถึง -9 ม.รทก.

2) หัวข้อ 10.1 ข้อ 12(3) สรุปรว่า เสาเข็มตอกลึก 24 - 26 ม. ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดิน First Sand สำหรับอาคารสูง 4 - 7 ชั้นที่ก่อสร้างในปีต่างๆ กัน เมื่อเปรียบเทียบกับเสาเข็มที่ก่อสร้างในปี 1997(2540) ซึ่งระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดงลดลงต่ำสุด จะมีกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม (Pile Load Resistance) ลดลงเหลือ 80% (ค่า Factor of Safety ลดจาก 2.5 เป็น 2.0 ถ้า Working Load คงเดิม) ในเวลาเร็วที่สุด ในปี 2012(2555) - 2027(2570) เมื่อระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดงฟื้นคืนสูงขึ้นถึงประมาณ -6 ถึง -14 ม. และเมื่อแรงดันน้ำพื้นกลับคืนเป็น Hydrostatic ในปี 2026(2569) - 2037(2580) จะมี Pile Load Resistance เหลือ 57 - 76%

3) หัวข้อ 10.1 ข้อ 12(4) สรุปรว่าโดยเงื่อนไขเดียวกับข้อ (2) เสาเข็มเจาะลึก 49 - 55 ม. ปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดิน Second Sand สำหรับอาคารสูง 20 - 40 ชั้น Pile Load Resistance จะลดลงเหลือ 80% (ค่า Factor of Safety ลดจาก 2.5 เป็น 2.0 ถ้า Working Load คงเดิม) ในเวลาเร็วที่สุด ในปี 2018(2561) - 2021(2564) เมื่อระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดงฟื้นคืนสูงขึ้นถึงประมาณ -8 ถึง -14 ม. และเมื่อแรงดันน้ำพื้นกลับคืนเป็น Hydrostatic ในปี 2026(2569) - 2037(2580) จะมี Pile Load Resistance เหลือ 62 - 70% เมื่อเทียบกับเสาเข็มที่ก่อสร้างในปี 1997(2540)

4) หัวข้อ 10.1 ข้อ 12(7) สรุปรว่า ค่า Pile Load Resistance ที่วิเคราะห์ประเมินในงานโครงการศึกษานี้ เป็นการประเมินค่าที่จะได้จากการทดสอบเสาเข็มด้วยวิธี Static Load Test ถึงขั้นวิบัติประลัย (Ultimate Failure) ในสภาวะทดสอบเสาเข็มภายในระยะเวลาอันสั้นภายหลังจากก่อสร้างเสาเข็ม ซึ่งเสาเข็มต้นเดียวกันถ้าหากทิ้งไว้ในชั้นดินเป็นเวลานาน จะทดสอบได้ค่า Pile Load Resistance สูงขึ้น และเสาเข็มเมื่อรับแรงจากโครงสร้าง (Loading Condition) ในระยะยาว มีเวลาที่ Excess Pore Water Pressure จะ Dissipate ลดหายไป ตามทฤษฎีจะมี Pile Load Resistance สูงยิ่งขึ้นไปอีก

5) อย่างไรก็ตาม ข้อเสนอแนะข้อ (4) ว่าในระยะยาวภายใต้การใช้งานเสาเข็มรับน้ำหนักอาคาร ตามทฤษฎีเสาเข็มจะมี Pile Load Resistance สูงกว่าการทดสอบในระยะเวลานั้นภายหลังจากก่อสร้างเสาเข็มในประเทศไทยยังไม่มีกรณีวิจัยที่ใช้เป็นรากฐานของการตัดสินใจเชิงนโยบายที่เกี่ยวกับความปลอดภัยของอาคารได้

6) ประเด็นชั้นใต้ดินในบริเวณกรุงเทพฯ หัวข้อ 10.1 ข้อ 13(1) สรุปว่าโดยการปฏิบัติตามปกติ ในทางวิศวกรรมจะออกแบบด้วยเงื่อนไขระดับน้ำอยู่ที่ระดับผิวดิน หรือคือแรงดันน้ำใต้ดินอยู่ในสภาวะ Hydrostatic เช่นเดียวกับการออกแบบโครงการรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล

7) แต่ประเทศไทยอาจจะปฏิบัติตามมาตรฐาน หรือปฏิบัติตามที่ควรในการออกแบบก่อสร้างอาคาร ไม่ทั่วถึง

8) จากผลการวิเคราะห์ประเมินการเปลี่ยนแปลงของ Pile Load Resistance โดยละเอียดตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำใต้ดิน ด้วยข้อมูลและเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ที่ปรึกษาได้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างอัตรา Recovery ในชั้นน้ำพระประแดงในพื้นที่มุ่งเน้นศึกษา ระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดงและปีเร็วที่สุดที่ Pile Load Resistance ลดลงเหลือ 80% แล้ววิเคราะห์เปรียบเทียบกับ Plot ของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดงที่เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา ตามฉากทัศน์ (Scenario) ของอัตรา Recovery ต่างๆ ภายหลัง 2012(2555) สรุปได้ Scenario การควบคุมระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดงดังแสดงข้างล่าง โดยมีอัตราการคืบตัว 0.50 ม./ปี ควบคุมระดับน้ำไว้ที่ -9.0 ม. เป็นฉากทัศน์กรณีที่ดีที่สุด อัตราการคืบตัว 1.00 ม./ปี ควบคุมระดับน้ำไว้ที่ -14.0 ม. เป็นฉากทัศน์กรณีเลวที่สุด และอัตราการคืบตัว 0.80 ม./ปี ควบคุมระดับน้ำไว้ที่ -12.0 ม. เป็นกรณีเฉลี่ยของงานวิเคราะห์ศึกษา

ฉากทัศน์อัตราการคืบตัว ของระดับน้ำ ในชั้นน้ำพระประแดง (ม./ปี)	ระดับน้ำในชั้นน้ำ พระประแดง	
	เมื่อกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม ลดลงเหลือ 80%	ปีที่เร็วที่สุด ที่ลดลงเหลือ 80% (ค.ศ./พ.ศ.)
0.50	-9.0	2027 (2570)
0.60	-10.0	2024 (2567)
0.70	-11.0	2021 (2564)
0.80	-12.0	2018 (2561)
0.90	-13.0	2015 (2558)
1.00	-14.0	2012 (2555)

9) ข้อเสนอแนะในข้อ (8) มีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ไขป้องกันไม่ให้โครงสร้างใต้ดินมีปัญหาด้านความปลอดภัย และการรักษาระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดงตามที่แนะนำ จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาการทรุดตัว ทั้งนี้ จนกว่าจะมีการวิจัยในประเทศไทย ที่ใช้เป็นรากฐานของการกำหนดกฎเกณฑ์มาตรการในการควบคุมระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดงให้สูงกว่าที่แนะนำในที่นี้ได้

2. ข้อเสนอแนะการออกแบบก่อสร้างฐานรากลึก

1) ในสภาวะที่แรงดันน้ำใต้ดินเปลี่ยนแปลงได้ ที่ปรึกษาแนะนำเกณฑ์ค่าส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ของเสาเข็มเดี่ยวเริ่มต้นขั้นต่ำสุด 2.5 และตงเกณฑ์ความปลอดภัยเมื่อค่า Factor of Safety ลดต่ำกว่า 2.0

2) ที่ปรึกษาแนะนำให้วิศวกรทำการตรวจสอบการออกแบบก่อสร้างอาคารที่มีผู้อาศัยหรือใช้งานจำนวนมาก และอาคารที่สำคัญอื่นๆ (เช่นเดียวกับการตรวจสอบความปลอดภัยจากแผ่นดินไหว) โดยตรวจสอบ ทบพวนกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม (Pile Load Resistance) การทรุดตัวของฐานรากและอาคารภายใต้ น้ำหนักใช้งาน (Working Load) ที่แท้จริง โดยเฉพาะการทรุดตัวแตกต่าง (Differential Settlement) และ ตรวจสอบ Working Load ที่แท้จริงว่าเกินกว่าที่ได้ออกแบบอาคารไว้หรือไม่

3) การตรวจสอบ Pile Load Resistance ควรหาข้อมูล Shear Strength ที่แปรเปลี่ยนตามการ แปรเปลี่ยนของ Effective Stress ที่แปรตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำใต้ดิน ซึ่งข้อมูลประเภทหนึ่งที่เหมาะสม คือผลจากการทดสอบ Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Water Pressure Measurement

4) การตรวจสอบการทรุดตัว ทั้งจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดิน และจากเงื่อนไขการก่อเกิดแรง (Loading Condition) ของอาคารเอง ด้วยการวิเคราะห์คำนวณตามทฤษฎีปฐพีกลศาสตร์ (Soil Mechanics) โดยใช้ข้อมูลจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มีความยุ่งยากโดยเฉพาะปัญหา Maximum Past Pressure และสภาวะ Overconsolidation หรือ Normal Consolidation และถึงอย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ Consolidation Settlement จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เป็นแต่เพียงการประเมิน ซึ่ง ต้องตรวจสอบยืนยันด้วยการวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดในสนาม และในเมื่อปัญหา Consolidation Settlement เป็นปัญหาที่ขึ้นอยู่กับกาลเวลาเป็นเวลายาวนาน (Long Term Time Dependent) การตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ ในสนามจึงควรทำติดต่อกันเป็นเวลานาน โดยเฉพาะในกรณีอาคารที่มีผู้อาศัยหรือใช้งานอาคารเป็นจำนวนมาก และอาคารที่สำคัญอื่นๆ

3. ข้อเสนอแนะการวิจัยปัญหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม (Pile Load Resistance) ภายใต้การรับแรง ในระยะยาว

ที่ปรึกษาแนะนำให้ทำการวิจัยเรื่อง Pile Load Resistance เมื่อเสาเข็มรับแรงจากโครงสร้าง (Loading Condition) ในระยะยาว ภายใต้เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดิน เพื่อเป็นรากฐานในการ กำหนดกฎเกณฑ์มาตรฐานในการควบคุมระดับน้ำในชั้นน้ำบาดาล ให้สูงยิ่งไปกว่าที่แนะนำไว้ในงานโครงการ ศึกษาในชั้นน้ำพระประแดง ได้โดยมีความมั่นใจในความปลอดภัย

4. ข้อเสนอแนะการออกแบบก่อสร้างชั้นใต้ดิน

ในกรณีที่มีการออกแบบก่อสร้างชั้นใต้ดินในส่วนที่เกี่ยวกับแรงดันน้ำผิวดินไปจากแบบแผนตามปกติ คือ ไม่ได้ออกแบบด้วยเงื่อนไขระดับน้ำอยู่ที่ระดับผิวดิน ซึ่งคือเงื่อนไขแรงดันน้ำใต้ดินอยู่ในสภาวะ Hydrostatic

วิศวกรควรตรวจสอบทบทวนการออกแบบก่อสร้าง โดยวิเคราะห์การแปรเปลี่ยนของแรงดันดินด้านข้าง (Lateral Earth Pressure) และแรงดันน้ำยกโครงสร้าง (Uplift Pressure)

5. ข้อเสนอแนะการเจาะสำรวจทดสอบชั้นดิน (Subsoil Investigation) และตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ (Instrumentation)

1) ควรทำการสำรวจทดสอบคุณสมบัติของชั้นดิน เพื่อตรวจสอบการออกแบบก่อสร้างที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดิน ด้วยข้อมูลการทดสอบ Shear Strength และ Consolidation ตามที่แนะนำไว้ในหัวข้อ 2(3) และ (4)

2) อุปกรณ์การตรวจวัดที่ติดตั้งในงานโครงการศึกษานี้ ควรทำการตรวจวัดต่อไป เพื่อให้ได้ข้อมูลพฤติกรรมแรงดันน้ำ และข้อมูลการทรุดตัวในระดับลึก ภายในช่วงความลึก 80 ม. ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดินที่ออกแบบก่อสร้างในปัจจุบันนี้

3) ที่ตำแหน่งเจาะสำรวจชั้นดินและตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ของงานโครงการศึกษานี้ควรทำการเจาะสำรวจต่อไปตลอดชั้นน้ำพระประแดง พร้อมทั้งติดตั้งตรวจวัดด้วยอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำใต้ดินและการทรุดตัวของชั้นดินต่างๆ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันในชั้นน้ำพระประแดงและในชั้นดินที่ได้รับผลกระทบจากโครงสร้างใต้ดินโดยละเอียด การเคลื่อนตัวในแนวตั้ง และคุณลักษณะของชั้นดินโดยเฉพาะในระดับที่ลึกกว่า 80 ม.

4) การเจาะสำรวจเพิ่มเติมดังกล่าวในข้อ (3) ควรจะติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำและการทรุดตัวโดยถี่เพื่อวัดพฤติกรรมโดยละเอียด บรรยายแนวโน้มความเปลี่ยนแปลงได้อย่างแม่นยำในช่วงแรกของชั้นดิน Soft Clay ที่แรงดันน้ำอยู่ในสภาวะ Hydrostatic แล้วเบนออกจากแนว Hydrostatic ในทางแรงดันน้ำลดลง เข้าไปในชั้นดิน Upper Stiff Clay จนเมื่อถึงชั้น Lower Stiff Clay จึงหักเหกลับเป็นแนวเกือบจะขนานกับ Hydrostatic

5) การติดตั้งอุปกรณ์ในข้อ (4) ควรจะถี่ยิ่งขึ้นในช่วงระดับจากผิวดินถึงประมาณความลึก 10 ม. เพื่อให้ได้ข้อมูลวิเคราะห์การทรุดตัวที่ผิวดิน ถึงแม้ว่าข้อมูลการวัดในงานโครงการนี้แสดงว่าเพียงลึกลงไปประมาณ 6 – 7 ม. ก็ปรากฏการยกตัวแล้ว

6) ควรทำการเจาะสำรวจชั้นดินและติดตั้งอุปกรณ์ เช่นเดียวกับที่ตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษาในงานโครงการศึกษานี้ ที่ตำแหน่งอื่นๆ ในบริเวณกรุงเทพฯ ที่มีการวัดการทรุดตัวที่ผิวดิน ตลอดจนการเคลื่อนตัวในระดับลึกลงไป เพื่อประโยชน์ในการ Calibrate ระหว่างผลของการวิเคราะห์คำนวณด้วยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการตรวจวัดในสนาม

7) ควรทำการเจาะสำรวจชั้นดินและติดตั้งอุปกรณ์เช่นเดียวกับงานโครงการศึกษานี้ ในจังหวัดปริมณฑลของกรุงเทพฯ ที่ประสบปัญหาเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะที่ตำแหน่งเดียวกันกับที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาลได้ทำการตรวจวัดแรงดันในชั้นน้ำบาดาลเป็นเวลานาน

10.2 คำถาม-คำตอบ ประชาชนควรรู้

1. ชั้นดินและชั้นน้ำบาดาลในบริเวณกรุงเทพฯ มีลักษณะเช่นไร?

ผิวดินบริเวณกรุงเทพฯ โดยทั่วไปปกคลุมด้วยชั้นเปลือกดินเหนียว Weathered Clay หรือดินถมหนา ประมาณ 1 - 2 ม. ตามด้วยชั้นดินเหนียวอ่อนที่อัดตัวทรุดตัวได้มาก จนถึงความลึกประมาณ 12 - 15 ม. ด้านล่างของชั้นดินเหนียวอ่อนเป็นชั้นดินแข็ง พบได้ระหว่างความลึกประมาณ 15 - 25 ม. ต่อจากนั้นเป็นชั้นดินทรายชั้นที่หนึ่งถึงความลึกประมาณ 30 - 40 ม. ลึกลงกว่านั้นพบชั้นดินเหนียวแข็งหนาประมาณ 3 - 10 ม. แทรกอยู่ระหว่างชั้นดินทรายชั้นที่สอง ชั้นที่สาม เป็นต้นลงไป ชั้นดินดังกล่าวเป็นชั้นดินตะกอนที่พัดพามาโดยน้ำ ที่ประกอบด้วยดินเหนียว ดินทราย และกรวดมีความหนาประมาณ 500 - 1,000 ม. จนกว่าจะถึงหินดาน

ในบริเวณกรุงเทพฯ ชั้นน้ำบาดาลประกอบด้วยชั้นทราย-กรวด ที่ขึ้นในแนวนอนโดยชั้นดินเหนียวซึ่งเป็นชั้นกั้นน้ำ ชั้นน้ำบาดาลที่สูบน้ำขึ้นมาใช้แล้ว มีดังต่อไปนี้

● ชั้นน้ำกรุงเทพฯ	ลึกประมาณ	50	เมตร
● ชั้นน้ำพระประแดง	ลึกประมาณ	100	เมตร
● ชั้นน้ำนครหลวง	ลึกประมาณ	150	เมตร
● ชั้นน้ำนนทบุรี	ลึกประมาณ	200	เมตร
● ชั้นน้ำสามโคก	ลึกประมาณ	300	เมตร
● ชั้นน้ำพญาไท	ลึกประมาณ	350	เมตร
● ชั้นน้ำธนบุรี	ลึกประมาณ	450	เมตร
● ชั้นน้ำปากน้ำ	ลึกประมาณ	550	เมตร

2. บริเวณกรุงเทพฯ มีโครงสร้างใต้ดินอะไรบ้าง อยู่ลึกเพียงใด?

โครงสร้างใต้ดินในบริเวณกรุงเทพฯ มีฐานรากตื้น ฐานรากลึก ชั้นใต้ดิน และอุโมงค์

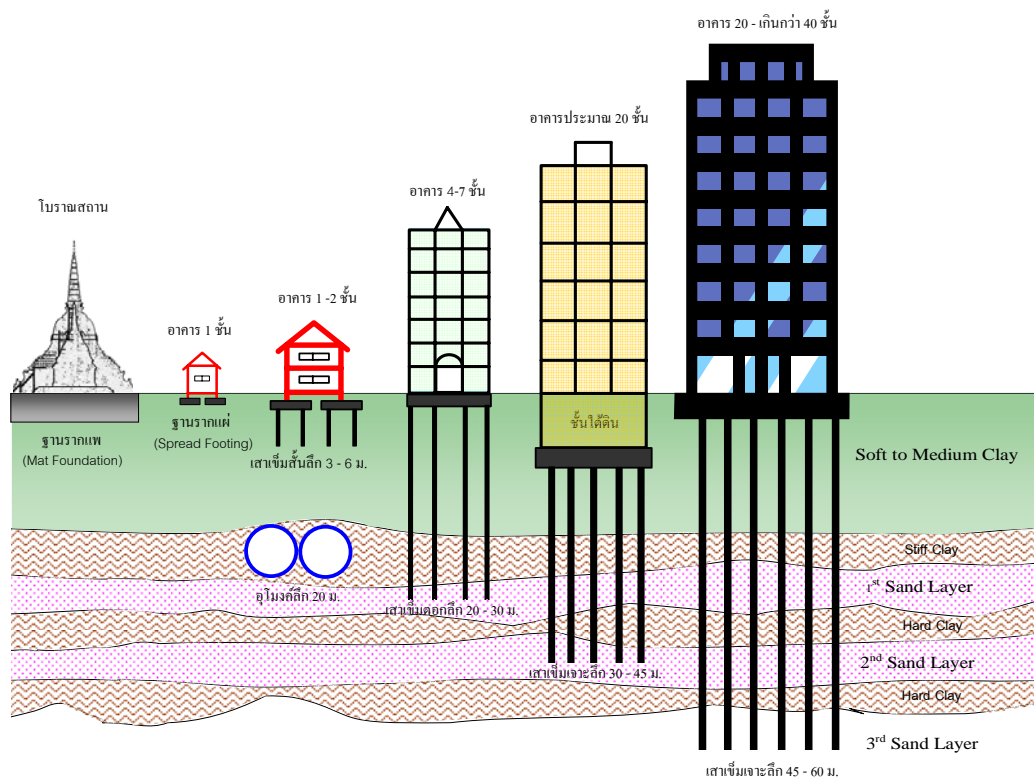
ฐานรากตื้นเป็นฐานรากที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงสู่ชั้นดินในระดับใกล้ผิวดิน ซึ่งในบริเวณกรุงเทพฯ เป็นชั้นดินเหนียวอ่อน ใช้เป็นฐานรากของอาคารในอดีต เช่นช่วงต้นของกรุงรัตนโกสินทร์ซึ่งเทคโนโลยีเสาเข็มยังไม่แพร่หลาย วัฒนาอารามที่มีขนาดใหญ่มีน้ำหนักมาก มีการก่อสร้างฐานรากแพ (Mat Foundation) ขนาดใหญ่ที่ทำด้วยท่อนซุงวางเรียงสลับกันเป็นชั้นๆ ในปัจจุบันนี้ฐานรากตื้นส่วนใหญ่เป็นฐานแผ่ (Spread Footing) ใช้กับอาคารขนาดเล็ก ฐานรากรับกำแพง เป็นต้น ที่จัดเป็นฐานรากตื้นยังมีฐานรากเสาเข็มสั้นลึกประมาณ 3 - 6 ม. มีขนาด 0.15 - 0.20 ม. ถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินเหนียวอ่อนผ่านทางแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม

ฐานรากลึกหมายถึงฐานรากที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงสู่ชั้นดินในระดับลึก โดยผ่านทางแรงเสียดทาน ที่ผิวเสาเข็ม และแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม ฐานรากลึกที่ก่อสร้างในบริเวณกรุงเทพฯ มีฐานรากเสาเข็มยาวที่ลึกประมาณ 20 - 30 ม. มีขนาด 0.20 - 0.60 ม. ใช้กับอาคารประมาณ 4 - 7 ชั้น ส่วนใหญ่เป็นเสาเข็มตอก ที่เป็นเสาเข็มเจาะก็มีบ้าง เสาเข็มลึกกว่านั้นเป็นเสาเข็มเจาะที่มีความลึกประมาณ 30 - 60 ม. มีขนาด 0.60 - 2.00 ม. เพื่อรับน้ำหนักบรรทุกจากอาคารประมาณ 20 ถึง 40 ชั้นขึ้นไป หรือใช้รับน้ำหนักสะพานข้ามแม่น้ำ เป็นต้น

เสาเข็มลึกตั้งแต่ 30 ม. เป็นต้นไปยังมีประเภทต่างๆ เช่นบาเรตไพโลรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ก่อสร้างด้วยวิธีคล้ายคลึงกับเสาเข็มเจาะ กำแพงไดอะแฟรมบอลลิ์ใช้กันดินในงานก่อสร้างชั้นใต้ดินลึก และเป็นฐานรากในตัว มีระบบการก่อสร้างคล้ายคลึงกับเสาเข็มบาเรตไพโล กำแพงที่ใช้เสาเข็มเจาะเรียงกันเรียกว่าเชคแค้นไพล์ ตลอดจนฐานรากเคของ ซึ่งเป็นโครงสร้างผนังกันดินแบบคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปเป็นชั้น ก่อสร้างด้วยวิธีจมลงไป ในชั้นดินที่ละส่วน โดยอาศัยการให้น้ำหนักบรรทุกทุกกระทำ และขุดดินออกเพื่อช่วยในการจม

ในบริเวณกรุงเทพฯ อาคารสูงโดยมากจะมีชั้นใต้ดินลึกตั้งแต่ประมาณ 3 ม. เป็นต้นไป และประเภทที่ลึกมากที่สุด คือสถานีรถไฟใต้ดินซึ่งอาจลึกถึง 20 ม.

โครงสร้างใต้ดินที่สำคัญในบริเวณกรุงเทพฯ ยังมีอุโมงค์รถไฟใต้ดิน และอุโมงค์ส่งน้ำ ซึ่งความลึกระดับกันอุโมงค์ที่เป็นตัวแทนในบริเวณกรุงเทพฯ อยู่ที่ประมาณ 20 ม.



ตัวอย่างโครงสร้างใต้ดินในบริเวณพื้นที่กรุงเทพฯ

3. ทำไมแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาล และในชั้นดินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดินในบริเวณกรุงเทพฯ และปริมณฑล จึงเกิดการเปลี่ยนแปลง?

เนื่องจากการสูบน้ำออกไปจากชั้นน้ำบาดาล ทำให้แรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาลลดต่ำลง เมื่อนั้น น้ำจะไหลจากชั้นดินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดินที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาลลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ทำให้แรงดันน้ำในชั้นดินนั้นลดต่ำลงด้วย ครั้นเมื่อลดหรือหยุดสูบน้ำบาดาล เกิดการไหลเติมน้ำในชั้นน้ำบาดาลโดยธรรมชาติ แรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาลจะฟื้นคืนสูงขึ้น มีผลทำให้แรงดันน้ำในชั้นดินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดินฟื้นคืนสูงขึ้นตามด้วย

4. การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรต่อชั้นดิน?

เมื่อแรงดันน้ำลดลง การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญประการแรก คือชั้นดินมีกำลังรับแรงเฉือนสูงขึ้น สามารถรับแรงได้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากมวลดินประกอบด้วยเม็ดดินและน้ำ น้ำรับแรงเฉือนไม่ได้ ส่วนที่รับแรงนั้นคือเม็ดดิน เมื่อแรงดันน้ำลดลงพร้อมกับที่น้ำไหลออกจากชั้นดิน ทำให้น้ำที่อยู่ในมวลดินลดลง เม็ดดินขยับเข้าใกล้กันยิ่งขึ้น ทำให้มีแรงดึงดูดหรือแรงเสียดทานเพิ่มมากขึ้น มวลดินก็จะรับแรงได้มากขึ้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อแรงดันน้ำฟื้นคืนสูงขึ้น มีน้ำไหลเติมเข้ามาในมวลดินมากขึ้น ระยะห่างระหว่างเม็ดดินเพิ่มมากยิ่งขึ้น แรงดึงดูดหรือแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดินลดน้อยลง มวลดินก็จะรับแรงได้น้อยลง

เมื่อแรงดันน้ำลดลงพร้อมกับที่น้ำไหลออกจากชั้นดิน ทำให้เม็ดดินขยับเข้าใกล้กันยิ่งขึ้น ปริมาตรของมวลดินจะลดลง ทำให้ชั้นดินเกิดการอัดตัวหดรัดตัว ครั้นเมื่อแรงดันน้ำฟื้นคืนสูงขึ้น น้ำไหลเติมกลับเข้าไปในมวลดิน มวลดินจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มปริมาตรและการยกตัวจะน้อยกว่าเมื่อหดรัดตัว แม้แต่ในกรณีแรงดันน้ำที่ลดลงและที่ฟื้นคืนจะเท่ากันก็ตาม

5. การเปลี่ยนแปลงของชั้นดิน อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ มีผลกระทบอย่างไรต่อโครงสร้างใต้ดิน?

เมื่อแรงดันน้ำลดต่ำลง กำลังต้านแรงเฉือนจะเพิ่มสูงขึ้น ชั้นดินสามารถรับแรงได้มากยิ่งขึ้น ทำให้เสถียรภาพของโครงสร้างใต้ดินดีขึ้น รับแรงได้เพิ่มขึ้นโดยมั่นคงยิ่งขึ้น แต่ในขณะเดียวกันชั้นดินก็เกิดการหดรัดตัว ทำให้โครงสร้างใต้ดินเกิดการหดรัดตัวตาม ในกรณีที่เป็นฐานรากรับน้ำหนักของอาคาร ฐานรากอาจจะหดรัดตัวเนื่องจากน้ำหนักของอาคารอยู่แล้ว การหดรัดตัวนี้จะบวกเข้ากับการหดรัดตัวอันเนื่องมาจากแรงดันน้ำใต้ดินลดต่ำลง การเคลื่อนตัวของฐานราก จะทำให้โครงสร้างส่วนบนที่อยู่เหนือฐานรากเคลื่อนตัวลงตาม ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดการบิดตัวในโครงสร้างส่วนบน หรือเกิดการเอียงตัว ทำให้โครงสร้างเกิดความเสียหายได้ ครั้นเมื่อแรงดันน้ำใต้ดินฟื้นคืนสูงขึ้น เสถียรภาพของโครงสร้างใต้ดินจะลดลง แต่ชั้นดินจะเกิดการยกตัว มีผลทำให้การหดรัดตัวของโครงสร้างลดลงตามด้วย

6. ในปัจจุบันนี้ แรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาล และในชั้นดินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดิน มีพฤติกรรมอย่างไร?

ผลการตรวจวัดระดับน้ำในบ่อสังเกตการณ์ชั้นน้ำประประแดงของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ที่อยู่ใกล้เคียงกับตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษา เมื่อเริ่มต้นสังเกตการณ์ในปี 2530 - 2532 วัดได้ประมาณ -24 ม. และ จนถึง

ประมาณปี 2540 - 2541 วัดได้ประมาณ -27 ถึง -28 ม. ต่อจากนั้นพื้นดินสูงขึ้นโดยตลอด จนถึงปี 2550 - 2552 เมื่อสิ้นสุดข้อมูลการตรวจวัด วัดระดับน้ำได้ -15 ถึง -18 ม.

ส่วนการวัดค่าแรงดันน้ำด้วยอุปกรณ์ติดตั้งในสนาม ในชั้นดินที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดินซึ่งลึกประมาณ 80 ม. ภายในระยะเวลาประมาณ 310 วัน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2553 ค่าแรงดันน้ำในทุกชั้นดินตั้งแต่ระดับล่างขึ้นไปอ่านค่าเพิ่มขึ้น หรือไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน จนถึงระดับลึกประมาณ 5 - 10 ม. ขึ้นไปถึงผิวดินแรงดันน้ำจึงมีแนวโน้มลดต่ำลง

7. พฤติกรรมการทรุดตัวของชั้นดิน และการทรุดตัวเป็นอาณาบริเวณกว้าง (Regional Land Subsidence) ในปัจจุบันนี้เป็นอย่างไร?

การตรวจวัดการทรุดตัวของชั้นดินต่างๆ ด้วยอุปกรณ์ติดตั้งในสนาม พร้อมกับการวัดแรงดันน้ำใต้ดิน ตั้งแต่ความลึกประมาณ 80 ม. ขึ้นไป แสดงผลในทางยกตัว หรือไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน จนถึงระดับลึกประมาณ 5 - 10 ม. ขึ้นไปถึงผิวดิน ซึ่งเป็นระดับเดียวกับที่แรงดันน้ำแสดงแนวโน้มไปทางลดลง วัดได้ผลว่าชั้นดินเกิดการทรุดตัว

การทรุดตัวที่ผิวดินเป็นผลรวมของการทรุดตัวหรือยกตัวตลอดทุกชั้นดิน จากผลการตรวจวัดพบว่าชั้นดินตั้งแต่ความลึกประมาณ 80 ม. ขึ้นไปเกิดการยกตัว แต่ที่ระดับลึกประมาณ 5 - 10 ม. ขึ้นไปถึงผิวดินปรากฏการทรุดตัว แสดงว่าสาเหตุที่การวัดด้วยอุปกรณ์ที่ผิวดินให้ผลไปในทางทรุดตัวประมาณ 3 - 5 มม. ในระยะเวลาประมาณ 1 ปี เป็นผลจากการทรุดตัวของชั้นดินในระดับตื้นใกล้ผิวดินประมาณความลึก 5 - 10 ม. ทั้งนี้ แสดงว่าในปัจจุบันนี้ การที่แรงดันน้ำใต้ดินลดลงและทำให้เกิดการทรุดตัวที่ผิวดินเป็นอาณาบริเวณกว้าง (Regional Land Subsidence) เนื่องจากการสูบน้ำบาดาลหยุดลงแล้ว ส่วนที่ยังเกิดการทรุดตัวที่ผิวดินประมาณ 3 - 5 มม. ในระยะเวลา 1 ปี ไม่ได้เกิดจากการสูบน้ำบาดาล แต่เกิดจากการรับแรงที่ผิวดินเช่นการถมดิน ฯลฯ หรือเกิดจากแรงจรใดๆ ที่กระทำต่อผิวดิน

8. การคั่นตัวของแรงดันน้ำใต้ดิน เปลี่ยนแปลงความปลอดภัยด้านเสถียรภาพของฐานรากที่ตำแหน่งมุ่งเน้นศึกษาอย่างไร?

เสถียรภาพของฐานรากลึกประเภทต่างๆ ล้วนแล้วแต่มีรากฐานทางปฐพีกลศาสตร์มาจากกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเดี่ยว

เมื่อแรงดันน้ำใต้ดินคั่นตัว จนกระทั่งกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มลดลงเหลือ 80% ค่าส่วนความปลอดภัยจะลดจาก 2.5 เป็น 2.0 ซึ่งเป็นเกณฑ์ข้างต่ำสุดตามกฎกระทรวงมหาดไทยฉบับที่ 6

ในสภาวะที่แรงดันน้ำใต้ดินลดต่ำลงตามกาลเวลา เมื่อก่อสร้างเสาเข็มในเวลาใด หากก่อสร้างเสาเข็มต้นเดียวกันในตำแหน่งเดียวกันในเวลาต่อมา เสาเข็มต้นหลังจะมีกำลังรับน้ำหนักมากขึ้น เนื่องจากชั้นดินมีกำลังรับแรงเฉือนสูงขึ้น ครั้นเมื่อแรงดันน้ำพื้นดินสูงขึ้น เสาเข็มต้นหลังจะมีกำลังรับน้ำหนักน้อยลง เนื่องจากชั้นดินมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำลง

การวิเคราะห์ประเมินกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มลึกที่ก่อสร้างในปีต่างๆ กัน พบว่าเสาเข็มลึกประเภทต่างๆ จะเป็นเสาเข็มตอกลึก 24 - 26 ม. ใช้กับอาคารสูงประมาณ 4 - 7 ชั้น หรือเสาเข็มเจาะลึก 35 - 55 ม. ใช้

กับอาคารสูงประมาณ 20 ชั้นถึงเกินกว่า 40 ชั้น จะมีกำลังรับน้ำหนักลดลงเหลือ 80% เมื่อเปรียบเทียบกับเสาเข็มที่ก่อสร้างในปี 2540 ซึ่งประมาณว่าระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดงลดลงต่ำที่สุด โดยเร็วที่สุดเมื่อระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดงพื้นดินสูงขึ้นไปประมาณ -6 ถึง -14 ม. ในปี 2555 - 2570 และเมื่อระดับน้ำคืบตัวถึง 0 ม. ประมาณในปี 2560 - 2580 กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มลึกลงเหลือประมาณ 57 - 76% ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ความปลอดภัยตามกฎกระทรวงมหาดไทยฉบับที่ 6 มาก

ทั้งนี้ ประเด็นสำคัญในเรื่องความปลอดภัยของฐานรากและของอาคาร คือการเคลื่อนตัว จะเป็นการทรุดตัวหรือยกตัวในแนวดิ่ง หรือการเอียงตัวก็ตาม

9. การคืบตัวของแรงดันน้ำใต้ดิน จะก่อให้เกิดปัญหาการทรุดตัวแก่ฐานรากอย่างไร?

เมื่อแรงดันน้ำใต้ดินลดต่ำลง ชั้นดินจะเกิดการอัดตัวทรุดตัว และปริมาณการทรุดตัวนี้จะบวกเข้ากับการทรุดตัวที่เกิดจากน้ำหนักของอาคารเอง ครั้นเมื่อแรงดันน้ำพื้นชั้นคืบตัว ชั้นดินจะเกิดการยกตัว และปริมาณการยกตัวนี้จะหักลบออกจากการทรุดตัวที่เกิดจากน้ำหนักของอาคาร ทั้งนี้ ปริมาณของการยกตัวจะต่ำกว่าการทรุดตัว แม้แต่ในกรณีที่ค่าแรงดันน้ำที่ลดต่ำลงจะเท่ากับค่าแรงดันน้ำที่พื้นชั้นคืบตัวก็ตาม

การทรุดตัวในชั้นดินเนื่องจากแรงดันน้ำลดต่ำลง และยกตัวเนื่องจากแรงดันน้ำพื้นชั้นคืบตัวดังกล่าวข้างต้น เป็นไปตามผลของการวิเคราะห์จากผลของการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และยืนยันโดยการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ติดตั้งในสนาม ซึ่งการทรุดตัวหรือยกตัวในชั้นดินนี้จะกระทำต่อโครงสร้างใต้ดินที่อยู่ระดับความลึกต่างๆ ตั้งแต่ฐานรากเสาเข็มเจาะลึกประมาณ 49 - 55 ม. ฐานรากเสาเข็มตอกลึกประมาณ 24 - 26 ม. จนถึงฐานรากตื้นที่อยู่ใกล้ผิวดิน

การทรุดตัวที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งโครงสร้างอาคาร อาจจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายทางโครงสร้าง แต่ถ้าหากฐานรากเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน อาจจะทำให้อาคารเกิดการเอียงตัว หรือทำให้โครงสร้างส่วนบนเกิดการบิดตัว ซึ่งหากเกิดการเอียงตัวหรือบิดตัวมากเกินไปที่โครงสร้างรับได้แล้ว จะทำให้เกิดวิบัติได้

ในกรณีอาคารโบราณสถานที่ก่อสร้างบนฐานรากตื้นก่อนปี 2503 หรืออาคารอื่นใดที่ก่อสร้างก่อนที่แรงดันน้ำใต้ดินจะลดต่ำลงจนก่อให้เกิดปัญหา ได้ผ่านการทรุดตัวในช่วงแรงดันน้ำลดต่ำลง จนถึงต่ำสุดเมื่อประมาณปี 2540 แล้วไม่เกิดความเสียหายทางโครงสร้าง ย่อมมีความเป็นไปได้ที่จะไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากการยกตัวเมื่อแรงดันน้ำคืบตัว โดยเฉพาะเมื่อปริมาณการยกตัวมีน้อยกว่าการทรุดตัว

10. การคืบตัวของแรงดันน้ำใต้ดิน จะมีผลกระทบต่ออุโมงค์และสถานีของระบบรถไฟฟ้าใต้ดิน?

การออกแบบงานโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายเฉลิมรัชมงคลซึ่งก่อสร้างแล้วเสร็จในปี 2547 ออกแบบก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินในระยะกลางและระยะยาวตามเงื่อนไขแรงดันน้ำใต้ดินพื้นดินคืบตัวจนมีค่าแรงดันเท่ากับเมื่อระดับน้ำอยู่ที่ผิวดิน และได้ออกแบบก่อสร้างมาตรการทางโครงสร้างเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวแตกต่างระหว่างอุโมงค์และสถานี

ตามตัวอย่างการออกแบบก่อสร้างอุโมงค์และสถานีของระบบรถไฟฟ้าใต้ดินของสายเฉลิมรัชมงคลระดับล่างสุดของอุโมงค์อยู่ที่ความลึกประมาณ 20 ม. ส่วนสถานีเป็นชั้นใต้ดินลึกประมาณ 20 ม. ตั้งอยู่บนเสาเข็มลึกประมาณ 50 ม. จากการวิเคราะห์ตามผลของการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่าการทรุดตัวแตกต่าง

ระหว่างอุโมงค์และสถานีมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับสมรรถนะของมาตรการทางโครงสร้างเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวแตกต่างระหว่างอุโมงค์และสถานี ส่วนความลาดเอียงที่เกิดจากการทรุดตัวแตกต่างตามแนวยาวของอุโมงค์ ก็มีค่าน้อยกว่ากันมากเมื่อเทียบกับความลาดเอียงตามเกณฑ์การออกแบบอุโมงค์

**11. ควรทำการควบคุมการคืนตัวของแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาลอย่างไร จึงจะไม่ทำให้โครงสร้างใต้ดิน
 สุ่มเสี่ยงต่อการรับผลกระทบ**

จากการวิเคราะห์ระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดง และปีเร็วที่สุดที่กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจะลดลงเหลือ 80% หรือคือเมื่อส่วนความปลอดภัยลดจาก 2.5 ลงเหลือ 2.0 และฉากทัศน์ของการคืนตัวของระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดงในอัตราต่างๆ สรุปได้ว่าควรทำการควบคุมการคืนตัวของแรงดันน้ำในชั้นน้ำพระประแดงตามฉากทัศน์ที่สรุปไว้ข้างล่าง โดยมีอัตราการคืนตัว 0.50 ม./ปี ควบคุมระดับน้ำไว้ที่ -9.0 ม. เป็นฉากทัศน์กรณีดีที่สุด อัตราการคืนตัว 1.00 ม./ปี ควบคุมระดับน้ำไว้ที่ -14.0 ม. เป็นฉากทัศน์กรณีเลวที่สุด และอัตราการคืนตัว 0.80 ม./ปี ควบคุมระดับน้ำไว้ที่ -12.0 ม. เป็นกรณีเฉลี่ยของงานวิเคราะห์ศึกษา

ฉากทัศน์อัตราการคืนตัว ของระดับน้ำ ในชั้นน้ำพระประแดง (ม./ปี)	ระดับน้ำในชั้นน้ำ พระประแดง	
	เมื่อกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม ลดลงเหลือ 80%	ปีที่เร็วที่สุด ที่ลดลงเหลือ 80% (ค.ศ./พ.ศ.)
0.50	-9.0	2027 (2570)
0.60	-10.0	2024 (2567)
0.70	-11.0	2021 (2564)
0.80	-12.0	2018 (2561)
0.90	-13.0	2015 (2558)
1.00	-14.0	2012 (2555)

12. ในสภาวะแรงดันน้ำใต้ดินคืนตัว ควรทำการตรวจสอบ และทำการออกแบบก่อสร้างอย่างไร?

วิศวกรควรทำการตรวจสอบการออกแบบก่อสร้างอาคารที่มีผู้อาศัยหรือใช้งานจำนวนมาก และอาคารที่สำคัญอื่นๆ (เช่นเดียวกับที่ตรวจสอบความปลอดภัยจากแผ่นดินไหว) โดยตรวจสอบทบทวนกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจากการวิเคราะห์คำนวณตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ที่ให้ข้อมูลการแปรเปลี่ยนกำลังรับแรงเฉือนตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำใต้ดิน ทั้งนี้การออกแบบก่อสร้างอาคารใหม่ก็มีหลักการเดียวกัน

ส่วนปัญหาการทรุดตัวควรทำการตรวจสอบการทรุดตัวของฐานรากและอาคารภายใต้น้ำหนักใช้งานที่แท้จริง ทั้งโดยการวิเคราะห์จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ในสนามติดต่อกันเป็นเวลานาน