

การศึกษาแรงดันน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ
หลังการปรับปรุงด้วยเทคนิค HVDM เปรียบเทียบกับการทุบอัด
แบบไดนามิก

COMPARISON GROUND WATER PRESSURE OF BANGKOK
SOFT CLAY BY HVDM AND DYNAMIC COMPACTION

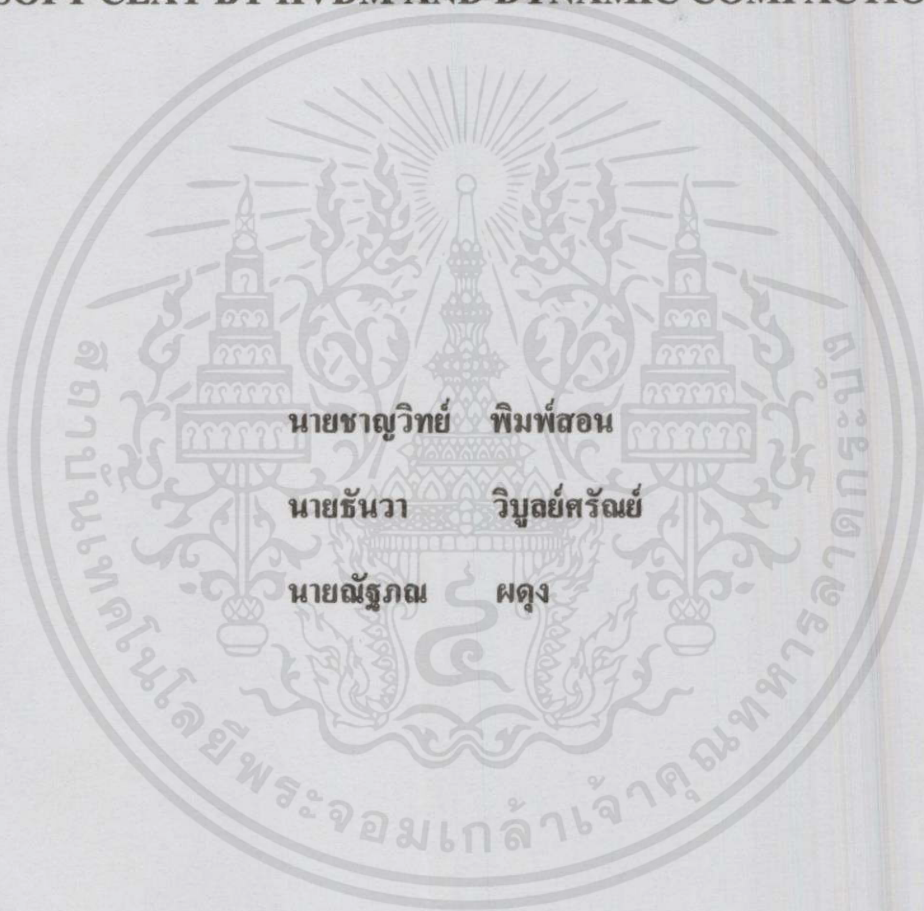


นายชาณุวิทย์ พิมพ์สอน
นายธันวา วิบูลย์ศรีณย์
นายณัฐภณ ผดุง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การศึกษาแรงดันน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ
หลังการปรับปรุงด้วยเทคนิค HVDM เปรียบเทียบกับการทุบอัด
แบบไดนามิก

COMPARISON GROUND WATER PRESSURE OF BANGKOK
SOFT CLAY BY HVDM AND DYNAMIC COMPACTION



นายชาญวิทย์ ทิมพ์สอน

นายธันวา วิบูลย์ศรีณย์

นายณัฐภณ ผดุง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและรูปภาพไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหานี้ไปเผยแพร่หรือจำหน่ายซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

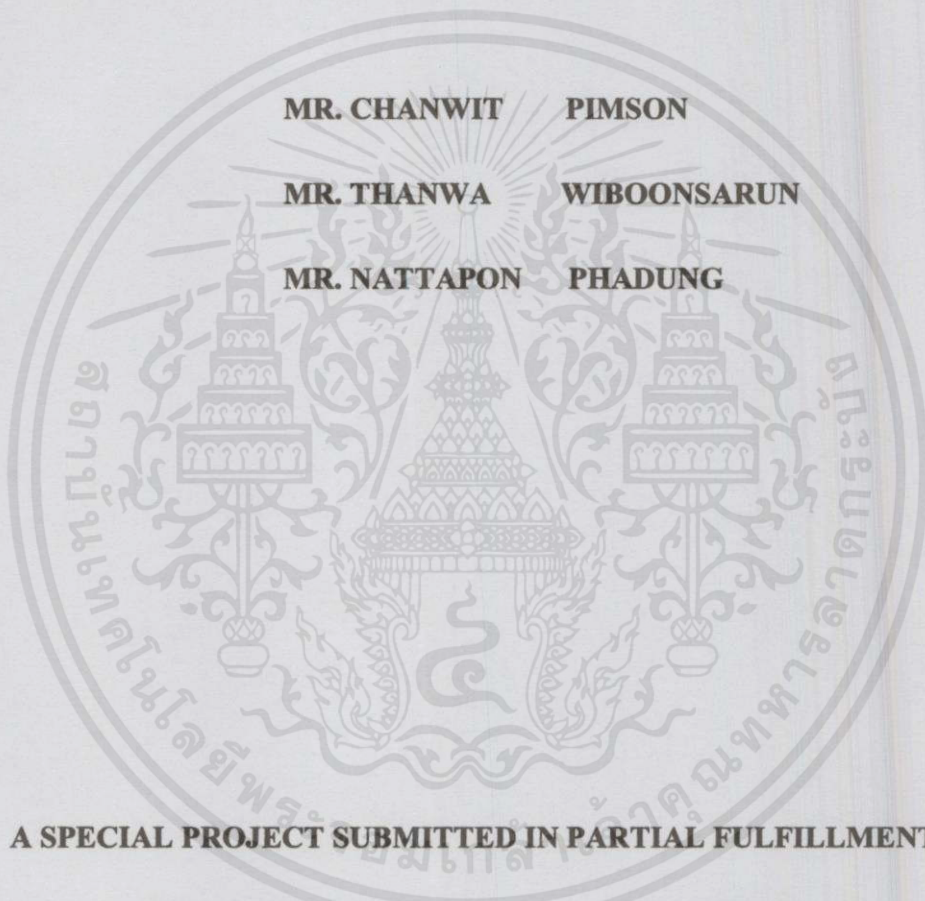
ปีการศึกษา 2557

**COMPARISON GROUND WATER PRESSURE OF BANGKOK
SOFT CLAY BY HVDM AND DYNAMIC COMPACTION**

MR. CHANWIT PIMSON

MR. THANWA WIBOONSARUN

MR. NATTAPON PHADUNG



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
YEAR 2014

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาแรงดันน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในดินเหนียวอ่อนที่ผ่านการ
ปรับปรุงด้วยเทคนิค HVDM และวิธี COMPACTION

นักศึกษา นายชาญวิทย์ พิมพ์สอน รหัสนักศึกษา54010316
นายธันวา วิบูลย์ศรีณย์ รหัสนักศึกษา54010617
นายณัฐภณ ผดุง รหัสนักศึกษา54010679

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. สุพจน์ ศรีนิล

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

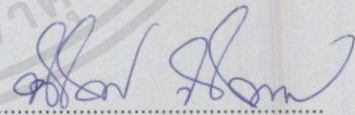
ปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.สุพจน์ ศรีนิล	
ผศ.ดร.ธนาตล คงสมบูรณ์	
อาจารย์ อุษะ ศิริแก้ว	
ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	

วัน/เดือน/ปี/ ที่สอบ 24 เมษายน 2558 เวลาสอบ 09.00น. - 12.00น

สถานที่สอบ. CV - 303

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช)

ประธานภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 20 เดือน กรกฎาคม พ.ศ.2558

25 พ.ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาแรงดันน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ หลังการปรับปรุงด้วยเทคนิค HVDM เปรียบเทียบกับการทาบดอัด

แบบไดนามิก

นายชาญวิทย์	พิมพ์สอน	54010316
นายธันวา	วิบูลย์ศรีธัญย์	54010617
นายณัฐภณ	ผดุง	54010679
รศ.สุพจน์	ศรีนิล	อาจารย์ที่ปรึกษา
อ.อุษะ	ศิริแก้ว	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อน ด้วยเทคนิคการใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการบดอัดแบบไดนามิก (High Vacuum Densification Method ; HVDM) ได้มีการศึกษาและพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ.2000 ในประเทศจีน หลักการทางานของเทคนิคนี้คือ "การทำให้เกิดความหนาแน่นด้วยสุญญากาศร่วมกับการทาบดอัด" งานวิจัยในครั้งนี้จะศึกษาเกี่ยวกับแรงดันน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อใช้การปรับปรุงโดยวิธี HVDM และการทาบดอัดแบบไดนามิก การศึกษาดังนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบคือ ทำการทดลองใช้ท่อระบายน้ำในทางแนวตั้งร่วมกับระบบสุญญากาศและการทาบดอัด บนพื้นที่ที่คุณสมบัติเป็นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระดับน้ำใต้ดินที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งผลจากงานวิจัยในครั้งนี้พบว่าระยะเวลาในการสูดน้ำที่เหมาะสมบนพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เมื่อได้รับการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเทคนิคการใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการทาบดอัดแบบไดนามิกนั้น ควรมีระยะเวลามากกว่า 3 ชั่วโมง เพื่อน้ำในมวลดินสามารถระบายออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงหากต้องการปรับปรุงดินในชั้นความลึกมากๆ ควรคำนึงถึงพลังงานที่ใช้ในการทาบดอัด รวมถึงระยะเวลาที่พลในการทาบดอัดด้วย และการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเทคนิคการใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการทาบดอัดแบบไดนามิกมีแนวโน้มที่จะสามารถลดระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ทดลองได้เมื่อกำหนดพลังงานในการทาบดอัด ความดันสุญญากาศ และระยะเวลาในการสูดน้ำออกจากมวลดินได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISON GROUND WATER PRESSURE OF BANGKOK SOFT CLAY BY HVDM AND DYNAMIC COMPACTION

Mr. Chanwit	Pimson	54010316
Mr. Thanwa	Wiboonsarun	54101617
Mr. Nattapon	Phadung	54010679
Asst. Prof. Supoj	Srinil	Advisor
Miss Uba	Sirikeaw	Co-advisor

Year 2014

ABSTRACT

The innovation to improve quality of soft clay by using technique of a vacuum system with dynamic compaction (High Vacuum Densification Method; HVDM) has been studied and developed since 2000 A.D. in China. The working principle of this technique uses “an atmospheric pressure combining with high vacuum in conjunction with the compaction hammer”. This research will study about the behavior of underground water pressure have affected by HVDM technic and Dynamic compaction technic. In this case study, conducted experiments using vertical drains combined with vacuum and dynamic compaction in soft Bangkok clay to study the behavior of groundwater level changes. The result from this research showed that the suitable time of vacuum should more than 3 hours due to the efficiency of water draining, To improve in a deeper depth of soil should considerate the energy and the dominated radius of dynamic compaction. HVDM technic can reduce ground water level in area of the experiment when using the appropriate energy of dynamic compaction and vacuum including the suitable duration of de-watering by vacuum.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ กลุ่มของข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.สุพจน์ ศรีนิล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ให้ความกรุณา อนุเคราะห์ ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะและแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ ตลอดระยะเวลาการศึกษานี้ท่านได้ให้ความรู้ทางวิชาการและประสบการณ์ในการทำงานที่ดีแก่กลุ่มของข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่กระจ่างชัดเจนของท่านเพื่อความสมบูรณ์ของ โครงการ พร้อมกันนี้ขอขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่เคยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนแก่กลุ่มของข้าพเจ้าเสมอมา

ท้ายที่สุดนี้ คุณงามความดีทุกอย่างที่เกิดจากความรู้ในโครงการฉบับนี้ กลุ่มของข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา ผู้เป็นที่รักยิ่งที่ได้มอบความรัก ความหวังใยและเป็นกำลังใจให้ตลอดมา และมอบให้กับครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้กับกลุ่มของข้าพเจ้า

ชาญวิทย์ พิมพ์สอน

ธันวา วิบูลย์ศรีณย์

ณัฐภณ ผดุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 หลักการทำงานของ High Vacuum Densification Method (HVDM).....	6
2.3 ทฤษฎีการซุบอัดตัวของดิน.....	9
2.4 อัตราการอัดตัวคายน้ำสำหรับแผ่นระบายน้ำแนวตั้ง.....	13
2.5 ทฤษฎีการไหลซึมของน้ำในดิน (Permeability).....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	22
3.1 ผังการดำเนินงานวิจัย.....	22
3.2 แนวคิดในการออกแบบการทดลอง.....	23
3.2.1 คຸ້มน้ำหนัก.....	24
3.2.2 ท่อระบายน้ำในแนวตั้ง (Pipe Vertical Drain).....	24
3.2.3 บ่อสังเกตระดับน้ำ (Observation Well).....	26
3.2.4 เครื่องสูบน้ำสุญญากาศ (Vacuum Pump).....	27
3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในแปลงการทดลอง.....	30
3.4 วิธีการทดลอง.....	32
3.4.1 วิธีการทดลองที่แปลงการทดลอง.....	32
3.4.2 กระบวนการและขั้นตอนการทดลอง.....	32
3.4.3 วิธีการนำตัวอย่างดินไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการ.....	42
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	46
4.1 กล่าวนำ.....	46
4.2 คุณสมบัติของดิน.....	47
4.2.1 พิกัดของอัตรตะเบีร์ก (Atterburg's limit).....	47
4.2.2 ปริมาณน้ำในดิน (Water content).....	48
4.2.3 หน่วยน้ำหนัก (Unit weight).....	49
4.2.4 ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific gravity).....	50
4.2.5 เครื่องทดสอบแรงเฉือนแบบพกพา (Pocket Vane shear test).....	50
4.2.6 กำลังแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined compress strength).....	51
4.2.7 การยุบอัดตัวของดิน (Consolidation test).....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

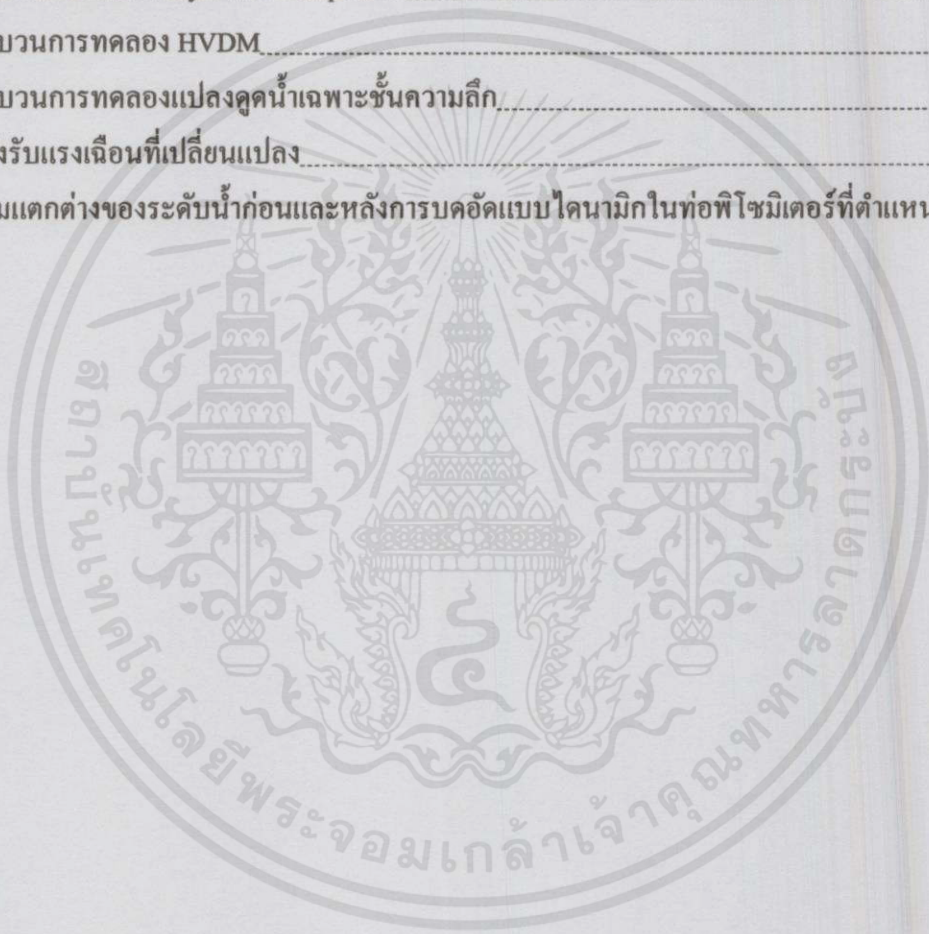
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ค่าระดับน้ำใต้ดิน.....	53
4.3.1 ค่าระดับน้ำบริเวณแปลง Dynamic Compaction.....	53
4.3.2 ค่าระดับน้ำบริเวณแปลง HVDM.....	57
4.3.3 ค่าระดับน้ำบริเวณแปลงคูน้ำเฉพาะชั้นความลึก.....	64
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	68
5.1 ระดับน้ำบริเวณแปลง Dynamic Compaction.....	68
5.2 ระดับน้ำบริเวณแปลง HVDM.....	69
5.3 ระดับน้ำบริเวณคูน้ำเฉพาะความลึก.....	73
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	74
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	74
6.1.1 ผลสรุปจากการทดลองในแปลง Dynamic Compaction.....	74
6.1.2 ผลสรุปจากการทดลองในแปลง HVDM.....	74
6.1.3 ผลสรุปจากการทดลองในแปลงคูน้ำเฉพาะชั้นความลึก.....	75
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	75
บรรณานุกรม.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 Time Factor.....	12
3.1 คุณสมบัติของเครื่องสูบน้ำสุญญากาศที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.2 กระบวนการและขั้นตอนการทดลอง Dynamic Compaction.....	33
3.3 ขั้นตอนการทดลอง Dynamic Compaction.....	33
3.4 กระบวนการทดลอง HVDM.....	34
3.5 กระบวนการทดลองแปลงคูน้ำเฉพาะชั้นความลึก.....	40
4.1 กำลังรับแรงเฉือนที่เปลี่ยนแปลง.....	51
5.1 ความแตกต่างของระดับน้ำก่อนและหลังการบดอัดแบบไดนามิกในท่อพีโซมิเตอร์ที่ตำแหน่ง A.....	68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 ภาพตัดจำลองการปรับปรุงดินด้วยวิธี HVDM (Liang and Xu. 2010).....	6
2.2 ลักษณะของข้อต่อและท่อระบายน้ำในแนวนอน (Liang and Xu. 2010).....	7
2.3 ลักษณะของแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นจากการดูดด้วยสุญญากาศและการบดอัด (Harutus. 2014).....	8
2.4 การเปลี่ยนแปลงความดันระหว่างการยุบอัดตัวของดิน (Harutus. 2014).....	10
2.5 ภาพตัดแสดงแผ่นระบายน้ำ การดำเนินการระบายน้ำและการรบกวนดิน.....	14
2.6 ลักษณะการจัดวางแผ่นระบายน้ำแนวตั้ง (Harutus. 2014).....	16
2.7 การทดสอบหาสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ในชั้นดิน ที่มีของเขตไม่จำกัด (Unconfined Flow) (Harutus. 2014)	20
2.8 การทดสอบหาสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ในชั้นดิน ที่มีขอบเขตจำกัด (Confined Flow) (Harutus. 2014)	21
3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย.....	22
3.2 แนวคิดในการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องการทดลอง.....	23
3.3 คຸ້ມນ້ຳໜັກມາຕຣູນ SPT.....	24
3.4 ผ้าใยสังเคราะห์ (Geotextile).....	25
3.5 ท่อระบายน้ำในแนวตั้ง.....	25
3.6 บ่อสังเกตระดับน้ำ.....	26
3.7 เครื่องมือวัดระดับน้ำพร้อมเทปวัดระยะ (Water Level Meter).....	27
3.8 ดัชนีความดัน.....	28
3.9 เครื่องสูบน้ำสุญญากาศ.....	28
3.10 การต่อเครื่องสูบน้ำสุญญากาศเข้ากับดัชนีความดัน.....	29
3.11 ข้อต่อระหว่างเครื่องสูบน้ำสุญญากาศเข้ากับดัชนีความดัน.....	29
3.12 แปลนการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง.....	30
3.13 ทูบบดอัดด้วยคຸ້ມນ້ຳໜັກ.....	30
3.14 พื้นดินบริเวณที่ผ่านการทุบ.....	31
3.15 ผังขั้นตอนการทดลอง.....	32
3.16 แผนผังการปฏิบัติงาน Dynamic Compaction.....	33
3.17 การเก็บตัวอย่างดินแบบไม่ถูกรบกวน (Undisturbed Soil Sampling).....	35
3.18 นำดินที่เก็บตัวอย่างมาทดสอบกำลังรับแรงเฉือน.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงาน วัตถุประสงค์ให้มาใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในวงการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยไว้ก่อน และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
3.19 เครื่องมือ Pocket Vane Shear.....	36
3.20 นำดินที่เก็บตัวอย่างมาทดสอบหาปริมาณน้ำในดิน (Water Content).....	36
3.21 การเก็บค่าระดับปากท่อ.....	37
3.22 วัดระดับน้ำ.....	37
3.23 กระบวนการควบแน่นด้วยระบบสุญญากาศ.....	38
3.24 กระบวนการทุบบดแบบไดนามิก.....	39
3.25 การเก็บระดับปากท่อหลังกระบวนการทุบบดแบบไดนามิก.....	39
3.26 แผนผังการทดลองแปลงควบแน่นเฉพาะชั้นความลึก โดยใช้ตุ้มน้ำหนัก 3 ตัน ยกสูง 2 เมตร.....	41
3.27 การหาปริมาณน้ำในมวลดิน (Water Content).....	42
3.28 การทดลองหาหน่วยน้ำหนักของดิน.....	43
3.29 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน.....	43
3.30 การทดสอบหาค่าลึรับแรงเฉือนของดิน.....	44
3.31 การทดสอบหาค่าการทรุดตัวของดิน.....	45
3.32 การทดสอบหาขนาดของเม็ดดิน (Hydrometer).....	45
4.1 ค่าพิคคของออตเตเบอร์ก (Atterburg's Limit).....	47
4.2 กราฟแสดงค่าพิคคของออตเตเบอร์ก (Atterburg's Limit).....	47
4.3 ปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลง.....	48
4.4 กราฟแสดงปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลง.....	48
4.5 หน่วยน้ำหนักของดินที่เปลี่ยนแปลง.....	49
4.6 กราฟแสดงหน่วยน้ำหนักของดินที่เปลี่ยนแปลง.....	49
4.7 กราฟแสดงความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน.....	50
4.8 ค่าลึรับแรงเฉือนที่เปลี่ยนแปลง.....	50
4.9 กราฟแสดงค่าลึรับแรงเฉือนที่เปลี่ยนแปลง.....	51
4.10 ค่าลึรับแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัดที่เปลี่ยนแปลง.....	52
4.11 ค่าสัมประสิทธิ์การยุบบดที่เปลี่ยนแปลง.....	52
4.12 แผนผังแปลง Dynamic Compaction.....	53
4.13 ระดับน้ำในท่อ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆ จำนวนการทุบ 20 ครั้ง.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.14 กราฟแสดงระดับน้ำในท่อ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆ จำนวนการทาบ 30 ครั้ง.....	54
4.15 ระดับน้ำในท่อ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่จำนวนการทาบ 30 ครั้ง.....	55
4.16 กราฟแสดงระดับน้ำในท่อ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆที่จำนวนการทาบ 30 ครั้ง.....	55
4.17 ระดับน้ำในท่อ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆ จำนวนการทาบ 40 ครั้ง.....	56
4.18 กราฟแสดงระดับน้ำในท่อ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆที่จำนวนการทาบ 40 ครั้ง.....	56
4.19 แผนผังแปลง HVDM.....	57
4.20 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆในรอบที่ 1.....	58
4.21 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line y-y ในรอบที่ 1.....	58
4.22 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line z-z ในรอบที่ 1.....	59
4.23 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line x-x ในรอบที่ 1.....	59
4.24 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆในรอบที่ 2.....	60
4.25 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line y-y ในรอบที่ 2.....	60
4.26 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line z-z ในรอบที่ 2.....	61
4.27 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line x-x ในรอบที่ 2.....	61
4.28 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆในรอบที่ 3.....	62
4.29 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line y-y ในรอบที่ 3.....	62
4.30 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line z-z ในรอบที่ 3.....	63
4.31 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line x-x ในรอบที่ 3.....	63
4.32 แผนผังแปลงบริเวณแปลงคูน้ำเฉพาะชั้นความลึก.....	64
4.33 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer เมื่อสูบน้ำออกจาก Piezometer ตำแหน่ง A.....	65
4.34 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer เมื่อสูบน้ำที่ A.....	65
4.35 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer เมื่อสูบน้ำออกจาก Piezometer ตำแหน่ง B.....	66
4.36 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer เมื่อสูบน้ำที่ B.....	66
4.37 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer เมื่อสูบน้ำออกจาก Piezometer ตำแหน่ง C.....	67
4.38 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer เมื่อสูบน้ำที่ C.....	67
5.1 กราฟแสดงระดับน้ำในท่อสังเกตตำแหน่งที่ 1 ระหว่างการทดลอง.....	70
5.2 กราฟแสดงระดับน้ำในท่อสังเกตตำแหน่งที่ 2 ระหว่างการทดลอง.....	70
5.3 กราฟแสดงระดับน้ำในท่อสังเกตตำแหน่งที่ 3 ระหว่างการทดลอง.....	71

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
5.4 กราฟแสดงระดับน้ำในท่อสังเกตตำแหน่งที่ 4 ระหว่างการทดลอง.....	71
5.5 กราฟแสดงระดับน้ำในท่อสังเกตตำแหน่งที่ 4 ระหว่างการทดลอง.....	71
5.6 กราฟแสดงระดับน้ำในท่อสังเกตตำแหน่งที่ 4 ระหว่างการทดลอง.....	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ชั้นดินอ่อนของกรุงเทพฯ เป็นชั้นดินที่เกิดจากการตกตะกอนทับถมของเม็ดดินที่ไหลมาตามแม่น้ำจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำบริเวณภาคกลางของประเทศไทย โดยเฉพาะเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลที่เป็นพื้นที่ราบลุ่ม ได้มีการสำรวจพบว่า มีความหนาของชั้นดินอ่อนระหว่าง 12-16 เมตร เมื่อนับจากชั้นดินชั้นบนสุด ซึ่งพบว่าค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินก่อนการก่อสร้าง (ALLOWABLE BEARING CAPACITY) ในช่วงความลึก 8-10 เมตร จะมีค่าต่ำ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.0-2.0 ตัน / ตร.ม. ค่าความชื้นเปลี่ยนแปลงหรือความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 100-70 % ค่าPLASTICITY INDEX (P.I) มีค่าอยู่ระหว่าง 30-50 % ซึ่งหมายความว่า ชั้นดินอ่อนของกรุงเทพฯ จะมีอัตราการทรุดตัว (CONSOLIDATION SETTLEMENT) ในอัตราที่สูง และมีผลทำให้เกิดการอัดตัวของชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการทรุดตัวของแผ่นดิน ซึ่งเกิดจากการอัดตัวของชั้นดินและช่องว่างระหว่างเม็ดดิน เนื่องจากการอัดตัวเป็นผลจากการลดลงของแรงดันน้ำ การลดลงของระดับน้ำใต้ดิน หรือการลดลงของแรงดันน้ำในชั้นน้ำภายใต้แรงดัน (Confined aquifer) ก่อให้เกิดการจัดเรียงของเม็ดดินใหม่ทำให้เม็ดดินไถลกันมากขึ้นและทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินลดลง ซึ่งหากมีส่วนผสมของดินเหนียวและช่องว่างระหว่างเม็ดดินมากเท่าไร การอัดตัวของเม็ดดินก็จะยิ่งสูงขึ้น การอัดตัวของเม็ดดินและการทรุดตัวของแผ่นดินจะพบได้ในพื้นที่หลายแห่งของโลก รวมไปถึงในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยสาเหตุหลักของการทรุดตัวนั้นเกิดจากการสูบน้ำบาดาล และน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างและวัสดุต่าง ๆ ที่กดทับในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งแผ่นดินทรุดในกรุงเทพมหานครได้มีการเกิดขึ้นมาเรื่อย ๆ โดยเห็นได้อย่างชัดเจน เช่น ถนนทรุด เป็นหลุมยุบ พบการทรุดตัวของบันไดขึ้นอาคารสูง ๆ พบรอยแตกร้าว และบางแห่งพบพื้นที่ที่มีการลาดเอียงไม่เท่ากัน นอกจากนี้แล้วยังพบว่ามีการทรุดตัวและมีน้ำท่วมขังเป็นแอ่งกระทะอีกด้วย

โดยปกติแล้วในประเทศไทยเป็นบริเวณที่พบปัญหาการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อน และปัญหาการทรุดตัวจากการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในปริมาณมาก ซึ่งหากมีการก่อสร้างโดยไม่กระทำการปรับปรุงดินเดิมก็จะทำให้เกิดปัญหาการทรุดตัวตามมาภายหลังการก่อสร้างเกิดการแตกร้าว ซึ่งการแก้ไขปัญหานี้ในประเทศไทยมีหลายวิธี แล้วแต่ความเหมาะสม ไม่ว่าจะวิธีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำวิธีตามปัจจัยต่างๆของโครงการก่อสร้าง อาทิเช่น การถมวัสดุ (preloading) พร้อมทั้งติดตั้งท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำวิธีตามปัจจัยต่างๆของโครงการก่อสร้าง อาทิเช่น การถมวัสดุ (preloading) พร้อมทั้งติดตั้งท่อ

ระบายน้ำตามแนวตั้ง (Prefabricated Vertical Drain หรือ PVD) ซึ่งเป็นวิธีใช้สำหรับ drain น้ำออกจากดินเหนียวอ่อน เพื่อเป็นการลดระยะเวลาในการให้น้ำหนักกดทับก่อน โดยการอัดตัวแบบคายน้ำ โดยที่ PVD จะทำให้ดินมีกำลังสูงขึ้นและลดการทรุดตัว ภายหลังการให้น้ำหนักกดทับก่อน เพื่อเป็นการลดความเสียหายของสิ่งปลูกสร้าง อันเนื่องมาจากการทรุดตัวซึ่งมีคุณสมบัติการยุบอัดตัวสูงและกำลังต่ำ อีกวิธีคือ Soil cement column คือ การทำให้ดินมีกำลังเพิ่มขึ้น โดยทำให้เป็นเสาเหมือนเสาเข็มเจาะเป็นแถวหลายแถวเรียงชิดติดกัน ซึ่งสามารถรับแรงดันด้านข้างของดิน ได้เป็นอย่างดี เพิ่มความตึบแน่น รับแรงกดจากน้ำหนักที่กระทำด้านบนได้มากขึ้น และเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้ดีขึ้นในเชิงวิศวกรรมฐานราก และในทางปฏิบัติ นอกเหนือจากสามวิธีข้างต้นแล้วยังมีอีกหลายวิธีที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน เช่น การใช้ความร้อนร่วมในการใช้เสาซีเมนต์หรือแม้แต่การทดแทนที่ด้วยวัสดุน้ำหนักรวม การปรับปรุงคุณภาพดินวิธีต่างๆที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น วิศวกรจะเป็นผู้เลือกใช้วิธีปรับปรุงคุณภาพดิน ซึ่งจะเลือกตามความเหมาะสมของสภาพของดินหรือคุณสมบัติของดินในบริเวณที่จะทำการปรับปรุง ค่าใช้จ่าย รวมถึงระยะเวลาในการปรับปรุง ซึ่งในปัจจุบันการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนได้มีการพัฒนาวิธีการปรับปรุงดินโดยการใช้สูญญากาศร่วมกับแผ่นระบายน้ำแนวตั้งร่วมกับการทุบอัด (High Vacuum Densification Method หรือ HVDM) ซึ่งเป็นวิธีที่ประสิทธิภาพสูง โดยใช้ระยะเวลาในการทำให้ดินเหนียวอ่อนทรุดตัวไปได้ในระยะเวลาอันสั้น เมื่อเทียบกับวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินวิธีอื่นๆ

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในโครงการก่อสร้างต่างๆ ไป ก่อนเริ่มทำการก่อสร้างโครงสร้างจำเป็นต้องมีการปรับปรุงดินให้สามารถรับน้ำหนักที่มากกดทับได้ โดยไม่มีการวิบัติ หรือการทรุดตัวของดินที่มากเกินไป โดยเฉพาะในโครงการขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่ที่ทำการก่อสร้างที่กว้างขวาง ต้องมีการเลือกใช้วิธีการปรับปรุงดินที่มีความเหมาะสม ทั้งในด้านวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์และระยะเวลาการก่อสร้าง โดยวิธีการปรับปรุงดินด้วยวิธี High Vacuum Densification Method (HVDM) ถูกนำมาได้ใช้อย่างประสบความสำเร็จบริเวณเมืองเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีนเป็นที่แรก หลักการนั้นวิธีนี้จึงถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายทั้งในมณฑลต่างๆในประเทศจีน รวมถึงประเทศอื่นๆในทวีปเอเชีย เช่น เวียดนาม มาเลเซีย และอินโดนีเซีย ปัจจุบันการปรับปรุงดินบริเวณชายฝั่งในประเทศจีนกว่า 9 ล้านตารางเมตรส่วนใหญ่ใช้วิธี HVDM เป็นหลัก โดยหลักการวิธีนี้อาศัยการทุบอัดร่วมกับระบบสูญญากาศ เพื่อทำให้น้ำในที่อยู่มวลดินถูกระบายออกอย่างรวดเร็วส่งผลให้ดินมีการทรุดตัวในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งวิธีนี้ส่งผลต่อแรงดัน

ของน้ำใต้ดินเกิดการเปลี่ยนแปลงไป รวมไปถึงคุณสมบัติของดินด้วย (Liang and Xu, 2010),[1]

การศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับแรงดันน้ำใต้ดินที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากการทดลองด้วยวิธี HVDM รวมถึงศึกษาคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนทั้งก่อนและหลังการทดลองด้วยวิธี HVDM

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาแรงดันน้ำใต้ดินที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการทดลองด้วยวิธี HVDM
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินเหนียวที่ผ่านการทดลองด้วยวิธี HVDM และ Compaction

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้จะทำการปรับปรุงชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพด้วยวิธี HVDM และ Dynamic Compaction โดยฝังท่อลึก 6 เมตรจากระดับผิวดินบริเวณท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ตำบลหนองปรือ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ เพื่อศึกษาแรงดันของน้ำใต้ดินที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการทดลองที่ระดับความลึกจากผิวดิน 2 , 4 และ 6 เมตรตามลำดับ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาทฤษฎีหลักการของเทคนิคการปรับปรุงดินแบบ HVDM และ Dynamic Compaction
- 2) กำหนดพื้นที่ที่จะทำการวัดระดับน้ำใต้ดิน
- 3) จัดหาอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดระดับน้ำใต้ดิน
- 4) ติดตั้งอุปกรณ์บริเวณที่จะเจาะสำรวจ
- 5) ทำการทดลอง วัดระดับน้ำใต้ดิน
- 6) เก็บข้อมูลระดับน้ำที่ได้ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงดินแบบ HVDM
- 7) ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ
- 8) รวบรวมผลการทดลอง
- 9) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1)สามารถหาความสัมพันธ์ของแรงดันน้ำกับกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ระดับต่างๆของดินที่ผ่านการปรับปรุงได้

2)ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของวิธีการปรับปรุงดินด้วย HVDM และ Dynamic Compaction

3)เป็นแหล่งข้อมูลให้แก่นักศึกษาหรือบุคคลที่สนใจนำไปพัฒนาหรือศึกษาต่อในอนาคต
เนื่องจากในประเทศไทยวิธี HVDM เป็นวิธีที่ใหม่ ยังไม่ได้เป็นที่รู้จักและนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 บทนำ

เทคนิคการปรับปรุงดินเหนียวอ่อนโดยการใช้สูญญากาศร่วมกับแผ่นระบายน้ำ แนวคิดร่วมกับการบดอัดแบบไดนามิก(HVDM : High Vacuum Densification Method) เป็นวิธีที่เรียกได้ว่าเป็นเทคโนโลยีการปรับปรุงดินที่รวดเร็ว โดยอาศัยหลักการของการระบายน้ำออกจากมวลดิน การบีบตัวคายน้ำ และการเพิ่มความหนาแน่น โดยใช้ระบบสูญญากาศเพื่อดูดน้ำออกจากมวลดินทำให้เกิดแรงดันน้ำเชิงลบ และการทุบอัดในระดับลึกทำให้เกิดแรงดันน้ำเชิงบวก ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการลดลงของช่องว่างและปริมาณน้ำในมวลดิน รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงรวมไปถึงค่า Stiffness ของดิน (Liang and Xu. 2010) ,[1]

การนำเอาวิธีที่ HVDM มาใช้กับการปรับปรุงดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เป็นวิธีใหม่ในประเทศไทยที่ยังไม่เคยมีใครศึกษาหรือนำมาใช้อย่างแพร่หลายจากปัญหาของคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เช่น มีปริมาณน้ำในมวลดินที่มาก กำลังรับแรงเฉือนที่ต่ำ มีการยุบอัดตัวและค่า Sensibility ที่สูง ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านการทรุดตัวต่อโครงสร้างที่อยู่ด้านบน ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างทั่วไป เช่น ดิค บ้านพักอาศัย ฯลฯ และโครงสร้างอาคารขนาดใหญ่ เช่น โครงการสนามบินสุวรรณภูมิ โรงงานขนาดใหญ่ เป็นต้น ล้วนแต่ประสบปัญหาเกี่ยวกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯทั้งสิ้น ประสิทธิภาพของการใช้วิธี HVDM ในพื้นที่ดินเหนียวกรุงเทพฯ ขึ้นอยู่กับความบึงจัย เช่น ลักษณะของชั้นดิน ระดับน้ำใต้ดิน พลังงานในการบดอัด พลังงานที่ใช้ในการดูดน้ำ ระยะห่างระหว่างท่อหรือแผ่นระบายน้ำแนวตั้ง เป็นต้น

งานวิจัยในครั้งนี้จะมุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับแรงดันน้ำในบริเวณที่ทำการปรับปรุงดิน ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร โดยศึกษาจากระดับน้ำใต้ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงไป รวมถึงคุณสมบัติของดินเหนียวที่ได้รับการปรับปรุงด้วย โดยในบทนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาและทำการรวบรวมหลักการ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการประกอบการวิเคราะห์และสรุปผลการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการทำงานของ High Vacuum Densification Method (HVDM)

(Liang and Xu. 2010) , [1]

ขั้นที่ 1 สำรวจลักษณะของดินบริเวณที่จะทำการปรับปรุง เช่น ความหนาของชั้นดิน รูปแบบการวางตัวของชั้นดินเหนียว พร้อมหาคุณสมบัติพื้นฐานของดินที่สำคัญ ได้แก่ กราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน (Gradation Curve) ปริมาณความชื้น Atterberg's Limit สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำไหลผ่าน ความสามารถในการยุบตัวของดิน(m_v) สัมประสิทธิ์การยุบตัวของดิน(c_v) รวมถึงการทดสอบในสนาม ได้แก่ SPT หรือ CPT จากนั้นนำข้อมูลไปออกแบบแผนผังในการวางท่อ ระยะห่างและตำแหน่งของท่อสุญญากาศ พลังงานในการใช้การบดอัดในระดับลึก ระยะเวลาในการสูบน้ำ และจำนวนรอบในการทำการปรับปรุงดิน

ขั้นที่ 2 ติดตั้งท่อสุญญากาศฝังลงไปดิน และท่อระบายน้ำในแนวนอน ท่อสุญญากาศที่ใช้ควรเป็นท่อเหล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1 - 1.25 นิ้ว ความหนาอย่างน้อย 8 นิ้ว ท่อสุญญากาศมีการเจาะรูโดยรอบและหุ้มด้วยผ้าใยสังเคราะห์เพื่อป้องกันดินเข้ามาอุดตันในท่อ ท่อระบายน้ำในแนวนอนโดยทั่วไปใช้พีวีซี โดยจะเชื่อมกับท่อสุญญากาศด้วยข้อต่อ ดังรูป 2.2



รูป 2.1 ภาพตัดจำลองการปรับปรุงดินด้วยวิธี HVDM (Liang and Xu. 2010) , [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



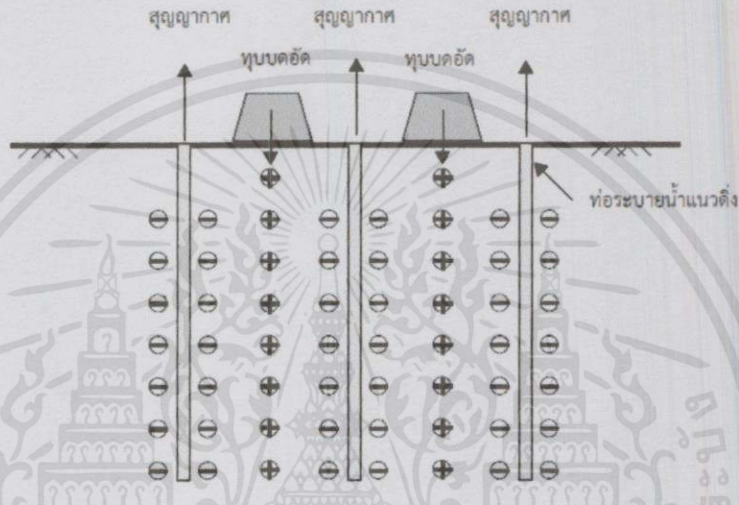
รูป 2.2 ลักษณะของข้อต่อและท่อระบายน้ำในแนวนอน (Liang and Xu. 2010),[1]

ขั้นที่ 3 เริ่มการเปิดระบบสุญญากาศเพื่อดูดน้ำออกจากดินบริเวณที่ฝังท่อ ในขั้นตอนนี้จะเกิดการลดปริมาณน้ำในมวลดิน ทำให้ค่าความเค้นประสิทธิผลเพิ่มขึ้นประมาณ 50 ถึง 80 KPa โดยระยะเวลาในการดูดน้ำออกขึ้นอยู่กับระยะห่างของท่อสุญญากาศ สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำไหลผ่านของดินในแนวนอน ควรพิจารณาการอุดตันทางระบายน้ำในชั้นดิน(Smearing effect)ด้วย เมื่อเสร็จสิ้นในขั้นตอนนี้ควรทิ้งไว้ 7 วันก่อนเริ่มดำเนินการขั้นต่อไป

ขั้นที่ 4 ทำการบดอัดในระดับลึก เพื่อทำให้เกิดความดันน้ำเชิงบวกและลดปริมาณช่องว่างในมวลดิน ตัวแปรควบคุมที่สำคัญของการบดอัด คือ น้ำหนักและขนาดของลูกตุ้ม ความสูงของการปล่อย ระยะห่างในแนวนอน จำนวนครั้งในการทุบบดอัดต่อหนึ่งจุด ในการออกแบบว่าจะใช้พลังงานในการบดอัดปริมาณเท่าไร สามารถตรวจสอบได้จากดินบริเวณที่ ถูกบดอัดไม่ควรเกิดการพังทลายแบบแรงเฉือนโดยไม่ระบายน้ำ (Undrain Shear Failure) หรือปรากฏการณ์ Rubber Soil ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมของตุ้มน้ำหนักควรอยู่ระหว่าง 1 ถึง 1.5 เมตร น้ำหนักประมาณ 20 ถึง 70 ตัน ความสูงในการปล่อยอยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 เมตร จากพื้นดิน ระยะเวลาในขั้นตอนนี้ประมาณ 7 วันโดยครอบคลุมพื้นที่ 10,000 ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ขั้นที่ 5 ทำการดูดด้วยระบบสุญญากาศรอบที่สอง ทำให้เกิดการกระจายของแรงดันน้ำอย่างรวดเร็วและลดปริมาณน้ำและช่องว่างในมวลดิน ระบบการดูดน้ำด้วย

สูญญากาศทำให้เกิดแรงดันน้ำเชิงลบ ผสมกับการบดอัดในระดับลึกทำให้เกิดแรงดันน้ำเชิงบวกดังรูป 2.3 ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของแรงดันน้ำที่สูงมาก ปฏิกิริยานี้ช่วยให้เกิดการเร่งการกระจายแรงดันส่งผลให้ปริมาณความชื้นในมวลดินลดลงอย่างรวดเร็ว ระยะเวลาในขั้นตอนนี้ประมาณ 7 วันหรือน้อยกว่า



รูป 2.3 ลักษณะของแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นจากสุญญากาศและการบดอัด (Harutus. 2014) , [2]

ขั้นที่ 6 ตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ โดยเฉพาะค่าปริมาณความชื้น แรงดันน้ำ ระดับน้ำใต้ดินและระยะการทรุดตัวของดิน พร้อมทั้งทำการทดสอบในสนาม การหาค่า Blow count โดยวิธี SPT หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อปรับค่าตัวแปรต่างๆที่จะใช้ในการทำการปรับปรุงรอบต่อไป เช่น ระยะห่างและความลึกของท่อสูญญากาศ พลังงานในการบดอัด ระยะห่างในการปล่อย เป็นต้น เมื่อเสร็จขั้นตอนนี้ถือว่าเสร็จสิ้น 1 วงรอบของการปรับปรุงดินแบบ HVDM

ขั้นที่ 7 ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 4 – 6 จนกว่าผลที่ได้ออกมาจะอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้

โดยการปรับปรุงดินแบบ HVDM ที่มีประสิทธิผลทำเพียง 2 วงรอบก็ควรได้คุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เช่น ความแข็งแรงของดินตรวจสอบได้จากการทดสอบ SPT หรือ CPT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ หรือระยะการทรุดตัวหลังจากการปรับปรุงดินเสร็จสิ้น

2.3 ทฤษฎีการยุบอัดตัวของดิน

ดินอึดตัวเมื่อรับน้ำหนักหรือแรงกดอัด เช่น น้ำหนักจากดินที่อยู่เหนือชั้นขึ้นไป หรือน้ำหนักจากฐานรากของโครงสร้างอาคาร ปริมาตรของมันก็ลดลง แต่เนื่องจากทั้งเนื้อดิน และน้ำที่อยู่ในช่องว่างถือว่าไม่สามารถยุบอัดตัวลงได้ (Incompressible) ดังนั้น ปริมาตรที่เปลี่ยนไป จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินสามารถระบายออกไปได้ ทำให้ช่องว่างลดลง เม็ดดินเคลื่อนตัวเข้าใกล้กัน กระบวนการเช่นนี้เรียกว่า การยุบอัดตัวของดิน

ขนาดของการยุบอัดตัวของดินขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินที่เรียกว่า “ความสามารถในการยุบอัดตัว” (Compressibility) ส่วนอัตราในการยุบอัดตัวของดินขึ้นอยู่กับ “ความสามารถในการไหลซึมผ่านได้ของน้ำในดิน” (Permeability) เมื่อรวมความสามารถในการยุบอัดตัวของดินและความสามารถในการไหลซึมผ่านได้ของน้ำในดินเข้าด้วยกัน ก็จะเป็นคุณสมบัติของดินที่เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของการยุบอัดตัวของดิน (Coefficient of Consolidation)

เนื่องจากชั้นดินเหนียวที่มีการยุบอัดตัวเกิดขึ้นนั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน ดังนั้นจึงสมมติว่าดินเหนียวนั้นอึดตัวสมมติให้ชั้นดินเหนียวอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน ที่ระดับใดๆ ในชั้นดินนี้ แรงดันประสิทธิผลจะหาได้จากสมการ

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2.1)$$

ในเมื่อ σ = แรงดันในแนวตั้งทั้งหมด (Total vertical pressure)

σ' = แรงดันประสิทธิผล (Effective stress หรือ Intergranular pressure)

u = แรงดันน้ำ (Neutral stress หรือ Pore-water pressure)

เมื่อน้ำหนักกด p กระทำต่อดินอึดตัว ในทันทีทันใด น้ำหนักกดทั้งหมดนี้จะถูกรับโดยน้ำ ดังนั้นสมการแรงดันประสิทธิผลจะเป็น

$$(\sigma + p) = \sigma' + (u + p) \quad (2.2)$$

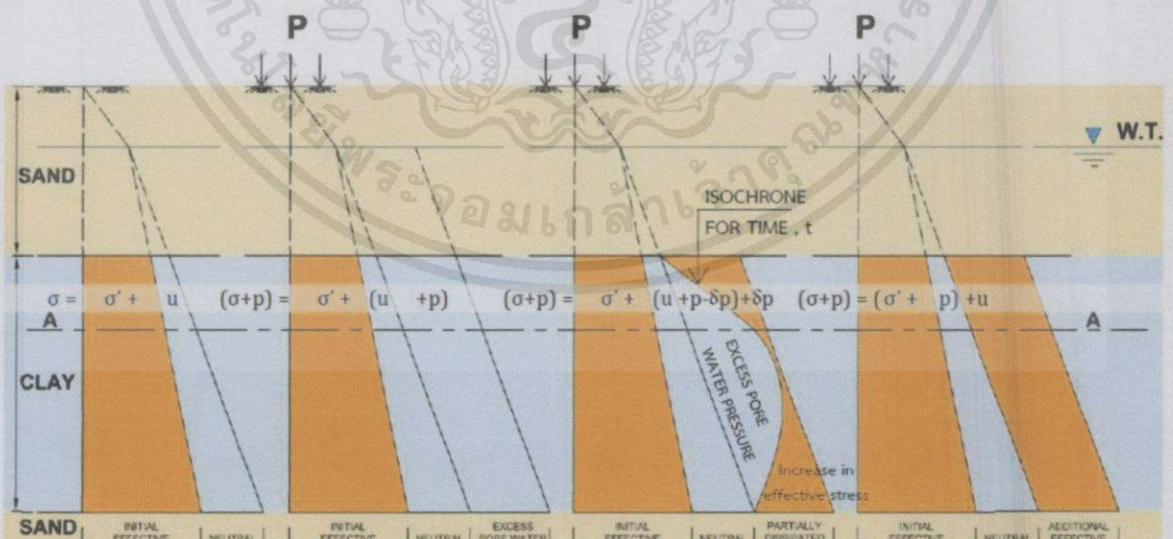
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีนี้ น้ำถูกบีบแรงดัน p และแรงดันจำนวนนี้จะเริ่มถูกขจัดออก ในชั้นทราย ซึ่งอยู่บนชั้นดินเหนียวนี้ จะถูกขจัดออกอย่างรวดเร็วเนื่องจากความสามารถในการยอมให้น้ำไหลซึมผ่านของทรายสูง ในชั้นดินเหนียวแรงดันนี้จะถูกขจัดออกช้ามาก เนื่องจากความสามารถในการยอมให้น้ำไหลซึมผ่านของดินเหนียวต่ำ แต่ที่เส้นขอบเขตระหว่างดินเหนียวกับทรายจะถูกขจัดออกได้เร็วเช่นกัน ส่วนในเนื้อดินเหนียวเองแทบจะขจัดไม่ได้เลย ดังนั้นหลังจากช่วงเวลา t แรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess pore-water pressure) นี้ จะถูกขจัดออกไปหมดที่เส้นขอบเขต และแรงดันนี้จะถ่ายทอดไปยังเนื้อดินเป็นแรงดันประสิทธิผล สมการแรงดันประสิทธิผลภายหลังเวลา t จะเขียนได้เป็น

$$(\sigma + p) = (\sigma' + \delta p) + (u + p - \delta p) \tag{2.3}$$

การเพิ่มแรงดันประสิทธิผลนี้ทำให้ดินเกิดการยุบอัดตัวขึ้น การยุบอัดตัวขึ้นการยุบอัดตัวของดินจะสิ้นสุดต่อเมื่อแรงดันน้ำส่วนเกินทั้งหมดถูกถ่ายออกไปยังเนื้อดิน และสมการแรงดันประสิทธิผลจะเป็น

$$(\sigma + p) = (\sigma' + p) + u \tag{2.4}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูแบบ ไม่ใช่อะไรที่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.4 การเปลี่ยนแปลงความดันระหว่างการยุบอัดตัวของดิน (Harutus. 2014),[2]

ข้อสมมติฐานของทฤษฎีการยุบอัดตัวของดิน

ทฤษฎีของการยุบอัดตัวของดิน มีข้อสมมติฐานดังนี้

1. ดินเหนียวจะต้องอิ่มตัว
2. น้ำสามารถระบายออกได้ในแนวตั้งเท่านั้น
3. กฎของคาร์ซี ใช้ได้เฉพาะกับดินพวกเม็ดละเอียด
4. เนื้อดินไม่สามารถยุบอัดตัวลงได้
5. หน่วยแรงทั้งหมดที่กระทำบนระนาบนอนใดๆ จะต้องคงที่ตลอดเวลาระหว่างการยุบอัดตัวของ
6. ดินดินเหนียวไม่สามารถขยายตัวทางด้านข้างได้

เนื่องจากพฤติกรรมของดินในธรรมชาติจะไม่เป็นไปตามข้อสมมติฐานเหล่านี้ทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะคาดคะเนค่าการยุบอัดตัวของดินได้ถูกต้องแน่นอน ซึ่งจะต้องคำนึงถึงเสมอในการประมาณค่าการทรุดตัว

สัมประสิทธิ์ของความสามารถในการยุบอัดตัว (Coefficient of Compressibility, m_v) คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินต่อหน่วยปริมาตรของดินต่อหน่วยปริมาตรเดิม เนื่องจากน้ำหนักหรือหน่วยแรงกดอัดที่เพิ่มขึ้น

$$m_v = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (2.5)$$

V_0 คือ ปริมาตรเดิมของดิน

ΔV คือ ปริมาตรที่เปลี่ยนไป

Δp คือ น้ำหนักหรือแรงกดที่เพิ่มขึ้น

สัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวของดิน (Coefficient of Consolidation, c_v) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการไหลซึมผ่านได้ของน้ำในดิน และความสามารถในการยุบอัดตัวของดิน ดังสมการต่อไปนี้

$$c_v = \frac{k}{m_v \gamma_w} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยาคำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K คือ สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดิน (Coefficient of Permeability)

γ_w คือ หน่วยน้ำหนักของน้ำ มีค่า 9.81 กิโลนิวตัน / ลูกบาศก์เมตร

ระดับขั้นการยุบอัดตัวของดิน (Degree of Consolidation, U_v) คือ อัตราส่วนของ การทรุดตัวภายหลังช่วงเวลา t ต่อการทรุดตัวสุดท้ายทั้งหมด เป็นเปอร์เซ็นต์ หาได้ดังสมการ

$$U_v = \frac{\text{Settlement after time } t}{\text{Total final settlement}} \times 100\% \quad (2.7)$$

Time factor (T_v) เป็นค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับระดับขั้นการยุบอัดตัวของดิน (U_v) ความสัมพันธ์ระหว่าง T_v กับ U_v สามารถหาได้จากตาราง 2.1

ตาราง 2.1 Time Factor

Degree of Consolidation, U_v (%)	Time Factor, T_v
0	0.0000
5	0.0020
10	0.0078
15	0.0177
20	0.0314
25	0.0491
30	0.0707
35	0.0962
40	0.1260
45	0.1590
50	0.1970
55	0.2390
60	0.2860
65	0.3420
70	0.4030
75	0.4770
80	0.5670
85	0.6740
90	0.8480
95	1.1290
100	Infinite

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเร็วของการยุบอัดตัว (Rate of Consolidation, t) คือ เวลาที่ใช้ในการยุบอัดตัวของดินหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$t = \frac{T_v d^2}{c_v} \quad (2.8)$$

d คือ ระยะทางไกลที่สุดที่น้ำไหลออกจากมวลดิน (Drainage path)

2.4 อัตราการอัดตัวคายน้ำสำหรับแผ่นระบายน้ำแนวดิ่ง

Hansbo (1979),[3] ได้ปรับปรุงสมการอัตราการอัดตัวคายน้ำในแนวนอนของ Barron (1948) เพื่อใช้กับแผ่นระบายน้ำแนวดิ่งเพื่อปรับแก้อิทธิพลของรูปร่าง ลักษณะ และการติดตั้งแผ่นระบายน้ำแนวดิ่ง สมการระดับการอัดตัวคายน้ำในแนวนอนมีแสดงดังนี้

$$U_h = 1 - \exp \left[\frac{-8T_h}{F} \right] \quad (2.9)$$

$$T_h = \frac{c_h t}{D_e^2} \quad (2.10)$$

$$F = F_n + F_s + F_r \quad (2.11)$$

U_h คือ ระดับขั้นการอัดตัวคายน้ำของดินในแนวนอน (Degree of Consolidation for Horizontal Drainage)

T_h คือ Time Factor

C_h คือ สัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำของดินในแนวนอน (Coefficient of Consolidation for Horizontal Drainage) หาได้จาก $C_h = \frac{k_h}{m_v \gamma_w}$

F คือ แฟคเตอร์ซึ่งรวมอิทธิพลของระยะห่างระหว่างแผ่นระบายน้ำแนวดิ่ง (F_n)

การรบกวนดิน (Smear effect, F_s) และการต้านทานการระบายของแผ่นระบายน้ำแนวดิ่ง (Well-resistance, F_r) โดยสามารถหาได้จากสมการนี้

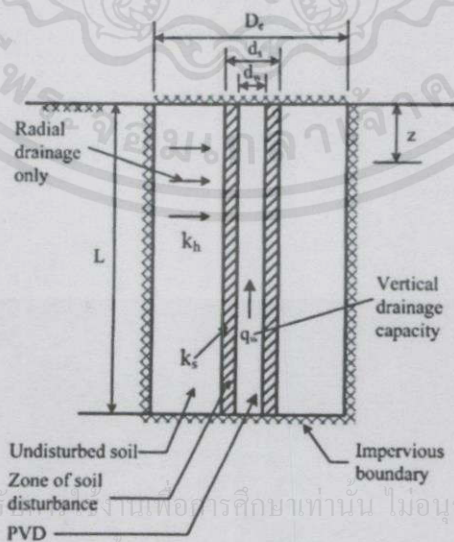
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_n = \ln\left(\frac{D_e}{d_w}\right) - \frac{3}{4} \tag{2.12}$$

$$F_s = \left(\frac{k_h}{k_s} - 1\right) \ln\left(\frac{d_s}{d_w}\right) \tag{2.13}$$

$$F_r = \frac{2}{3} \pi L^2 \frac{k_h}{q_w} \tag{2.14}$$

เมื่อ D_e คือ เส้นผ่านศูนย์กลางอิทธิพลของแผ่นระบายน้ำในแนวดิ่ง
 d_w คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของแผ่นระบายน้ำแนวดิ่ง (Equivalent Diameter)
 d_s คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของโซนที่ถูกครอบงวนรอบแผ่นระบายน้ำ
 k_s คือ สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำในแนวนอนในโซนที่ถูกครอบงวน
 k_h คือ สัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำในแนวนอนในโซนที่ไม่ถูกครอบงวน
 L คือ ความยาวของแผ่นระบายน้ำแนวดิ่งเมื่อการระบายน้ำเกิดขึ้นในทิศทางเดียว (Single Drainage) และมีค่าเท่ากับ 0.5 เท่าของความยาวแผ่นระบายน้ำแนวดิ่งเมื่อการระบายน้ำเกิดขึ้นในสองทิศทาง (Double Drainage)
 q_w คือ ความสามารถในการระบายน้ำของแผ่นระบายน้ำแนวดิ่งที่ความลาดเชิง
 ชลศาสตร์เท่ากับหนึ่ง ดังรูป 2.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.5 ภาพตัดแสดงแผ่นระบายน้ำ การดำเนินการระบายน้ำและการรบกวนดิน

คุณสมบัติของแผ่นระบายน้ำและโชนอิทธิพล

Hansbo (1979) เสนอให้ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของแผ่นระบายน้ำแวนดิ่ง (Equivalent Diameter, d_w) ในการคำนวณอัตราการอัดตัวคายน้ำในแนวรัศมี โดยนิยามว่าเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีเส้นรอบรูปเท่ากับเส้นรอบรูปของแผ่นระบายน้ำแวนดิ่ง แต่เนื่องจากอิทธิพลของขอบแผ่นระบายน้ำแวนดิ่ง เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าที่ Hansbo (1979) เสนอจะให้ระดับการอัดตัวคายน้ำในแนวรัศมีสูงกว่าความเป็นจริง ต่อมา Rixner et al (1986) และ Hansbo (1987) จึงได้เสนอสมการใหม่ที่สร้างจากการคำนวณทางวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ดังนี้

$$d_w = \frac{a+b}{2} \quad (2.15)$$

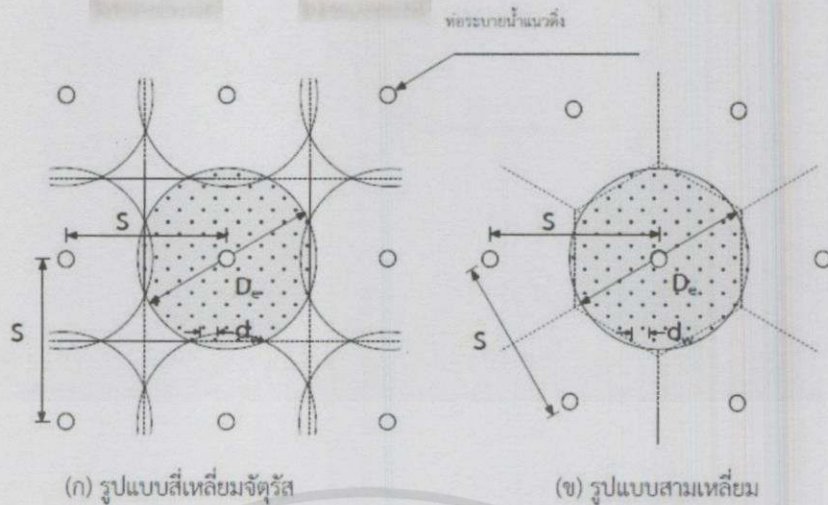
เมื่อ a, b คือ ความหนาและความกว้างของแผ่นระบายน้ำแวนดิ่งตามลำดับ การจัดวางแผ่นระบายน้ำในแนวดิ่งทั่วไปจะเป็นแบบสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมคางหมู รูป 2.5 โดยลักษณะการจัดวางจะเป็นตัวกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางอิทธิพลของแผ่นระบายน้ำในแนวดิ่ง (D_e) สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$D_e = 1.13S \quad \text{สำหรับการจัดวางแบบสี่เหลี่ยม}$$

$$D_e = 1.05S \quad \text{สำหรับการจัดวางแบบสามเหลี่ยม}$$

โดยการจัดวางแบบสี่เหลี่ยมจะเป็นที่นิยมมากกว่า เนื่องจากมีความสะดวกในการจัดวาง ตรวจสอบและควบคุม แต่การจัดวางแบบสี่เหลี่ยมจะทำให้การอัดตัวคายน้ำที่สม่ำเสมอมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) รูปแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส

(ข) รูปแบบสามเหลี่ยม

รูป 2.6 ลักษณะการจذبวางแผนระบายน้ำแนวตั้ง (Harutus, 2014)

2.5 ทฤษฎีการไหลซึมของน้ำในดิน(Permeability)

ช่องว่างในดินไม่ใช่เป็นโพรงแยกอยู่โดดๆไว้เก็บกักน้ำเหมือนอ่างเก็บน้ำ แต่เป็นช่องเล็กๆคดเคี้ยวไปมาต่อเนื่องกันระหว่างเม็ดดิน ซึ่งน้ำจะไหลผ่านได้ ดังนั้นเมื่อน้ำมีความดันหรือระดับต่างกันระหว่าง 2 จุดในดิน ก็จะมีการไหลของน้ำผ่านช่องว่างเหล่านี้ ความสามารถที่น้ำไหลซึมผ่านดินได้นี้ เรียกว่าความซึมได้ของน้ำในดิน(k) การที่น้ำจะไหลซึมผ่านไปได้เร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน เช่น ดินพวกกรวด หรือทรายจะยอมให้น้ำไหลซึมผ่านไปได้เร็ว ค่า k จะสูง เรียกว่าดินที่น้ำสามารถไหลซึมผ่านได้ง่าย (Pervious soil) ส่วนดินพวกตะกอนทรายหรือดินเหนียว จะยอมให้น้ำไหลซึมผ่านไปได้ช้า ค่า k จะต่ำ เรียกว่า ดินที่น้ำสามารถไหลซึมผ่านได้ยาก (Impervious soil)

การที่ดินยอมให้น้ำไหลซึมผ่านได้นี้ มีความสำคัญต่องานโยธาที่เกี่ยวข้องกับการรั่วซึมของน้ำใต้เขื่อน การระบายน้ำจากพื้นดิน และการลดระดับน้ำใต้ดินเป็นอย่างมาก

การไหลซึมของน้ำผ่านดิน จะเป็นแบบการไหลช้าๆผ่านไปตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ในขณะที่เดียวกันแรงดันหรือระดับของน้ำก็จะสูญเสียไปเพราะแรงเสียดทานของผิวช่องเม็ดดิน ความเร็วของการไหลของน้ำในดิน สามารถเขียนเป็นสูตรตามกฎของดาร์ซี (Darcy) ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$v = ki \tag{2.16}$$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเมื่อ v คือ ความเร็วของการไหลซึม

k คือ สัมประสิทธิ์ความซึมได้ (Coefficient of permeability)

i คือ ความชันทางชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) = $\Delta h / \Delta L$

Δh = ความต่างของระดับน้ำในช่วงความยาวของการไหลซึม L

ΔL = ช่วงความยาวของการไหลซึม (ที่ความต่างของระดับน้ำ h)

ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านดิน สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$q = Av \quad (2.17)$$

$$\frac{Q}{t} = Aki \quad (2.18)$$

$$Q = Akit \quad (2.19)$$

ในเมื่อ q คือ ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านดินในช่วงเวลา t

Q คือ ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านดิน

t คือ ช่วงเวลา (ที่ปริมาณน้ำ Q ไหลซึมผ่าน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดซึ่งน้ำไหลซึมผ่าน

ค่าความซึมได้ของน้ำในดิน (k) จะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสิ่งต่อไปนี้

1. ขนาดของเม็ดดิน ค่าความซึมได้ของน้ำในดินจะเป็นปฏิภาคกับกำลังรับแรงของเม็ดดิน (D) ในกรณีที่เป็นกรวดหรือทรายสามารถใช้สมการของฮาเซนของความซึมได้ของน้ำในดินกับขนาดเม็ดดิน ได้ดังนี้

$$k = 10D_{10}^2 \text{ มม./วินาที} \quad (2.20)$$

ในเมื่อ D คือ ขนาดเม็ดดิน (มม.) ที่มีส่วนที่เล็กกว่าขนาดนี้เป็นจำนวน 10 เปอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คุณสมบัติของของเหลวในช่องว่าง ของเหลวในช่องว่างที่เกี่ยวข้องในงานทางวิศวกรรมก็คือ น้ำ คุณสมบัติของน้ำที่สำคัญที่จะเปลี่ยนแปลงก็คือความหนืด (Viscosity) ความหนืดของน้ำจะผกผันไปตามอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดจะลดลง ทำให้น้ำไหลซึมผ่านได้ง่าย อุณหภูมิมาตรฐานของค่าความซึมได้ของน้ำในดินคือ 20 ซ

ค่าความซึมได้ของน้ำในดินที่อุณหภูมิต่างๆ กับที่ 20 ซ° หาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$k_{20^{\circ}\text{C}} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20^{\circ}\text{C}}} \quad (2.21)$$

ในเมื่อ $k_{20^{\circ}\text{C}}$ คือ สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินที่อุณหภูมิ 20 ซ°

K_T คือ สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำในดินที่อุณหภูมิ T ซ°

μ_T คือ ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ T ซ°

$\mu_{20^{\circ}\text{C}}$ คือ ความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ 20 ซ°

3. อัตราส่วนช่องว่างของดิน ดินที่มีอัตราส่วนช่องว่างมาก น้ำยอมไหลสะดวกกว่า ดินที่มีอัตราส่วนช่องว่างน้อย เช่น ทรายหลวม น้ำยอมไหลได้สะดวกและรวดเร็วกว่าในทรายอัดแน่น

4. รูปร่างและการจัดเรียงตัวของช่องว่าง ช่องว่างของดินที่มีรูปร่างและการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบเป็นแถวเป็นแนวในทิศทางการไหลของน้ำ น้ำยอมไหลได้สะดวกและเร็วกว่าในช่องว่างของดินที่มีรูปร่างและการจัดเรียงตัวแบบระเกะระกะสลับซับซ้อนและคดเคี้ยวไปมา

5. ระดับความอิ่มตัว ในดินที่ไม่อิ่มตัว ช่องว่างจะมีฟองอากาศอยู่ด้วยซึ่งจะคอยกั้นการไหลของน้ำ ทำให้น้ำไหลซึมผ่านไม่สะดวก ดังนั้น ถ้าระดับความอิ่มตัวของดินเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้ค่าความซึมได้ของน้ำในดินเพิ่มขึ้นด้วย

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ในสนาม

1. หาจากหลุมเจาะ (Borehole techniques)

ทำโดยการเจาะฝังท่อลงไปดิน ถ้าชั้นดินที่ต้องการหาค่าความซึมได้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินให้ใช้วิธีสูบน้ำลงไปหลุมเจาะ ถ้าชั้นดินอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน จะใช้วิธีสูบน้ำเข้าในหรือออกจากหลุมเจาะก็ได้ แล้ววัดอัตราการไหลของน้ำที่จะรักษาระดับความดันคงที่ ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$k = \frac{-q}{5.5rh} \tag{2.22}$$

ในเมื่อ k คือ สัมประสิทธิ์ความซึมได้

q คือ อัตราการไหลของน้ำลงไปในหลุมเจาะเพื่อที่จะรักษาระดับความดันให้คงที่เหนือระดับน้ำใต้ดิน

r คือ รัศมีของกระบอกเจาะ

h คือ ระดับน้ำที่รักษาไว้เหนือระดับใต้ดินความถูกต้องของวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความชำนาญของวิศวกรเป็นส่วนใหญ่

2.หาจาก Well-point (Well-point techniques)

2.1 การทดสอบหาสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ในชั้นดิน ที่มีขอบเขตไม่จำกัด (Unconfined flow)

วิธีนี้นอกจากเป็นวิธีการที่ใช้ลดระดับน้ำใต้ดินแล้ว ยังสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้อีกด้วยทำได้โดยการเจาะฝังก่อลงไปดิน แล้วสูบน้ำออกจาก Well point เมื่อน้ำถูกสูบน้ำออก ระดับน้ำใต้ดินจะลดลงเป็นรูปกรวย (Cone) ดังแสดงในรูป 3.8 ถ้าเจาะหลุมสังเกต (Observation bore hole) ขึ้นอีก 2 หลุม ซึ่งอยู่ห่างจาก Well point ออกเป็นระยะ r_1 และ r_2 จะได้ระดับน้ำเหนือชั้นดินที่ไม่ยอมให้น้ำไหลซึมผ่าน h_1 และ h_2 ตามลำดับ ดังรูป 2.7 ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้สามารถหาได้ดังต่อไปนี้

พิจารณาการไหลของน้ำในแนวราบไปยังดินที่ระยะ r ห่างจาก Well point ระดับน้ำเหนือชั้นดินที่ไม่ยอมให้น้ำไหลซึมผ่านเท่ากับ h อัตราการไหลของน้ำ Q/t คืออัตราซึ่งน้ำถูกสูบน้ำออกมา

พื้นที่ผิวของดินที่ระยะ r ห่างจาก Well point ซึ่งน้ำไหลผ่านจะเท่ากับพื้นที่ผิวของรูปทรงกระบอกรัศมี r สูง h

ดังนั้น พื้นที่ที่น้ำไหลผ่าน $A = 2\pi rh$

ความชันทางชลศาสตร์ $i = \frac{dh}{dr}$

จากกฎของดาร์ซี $Q = Akit$

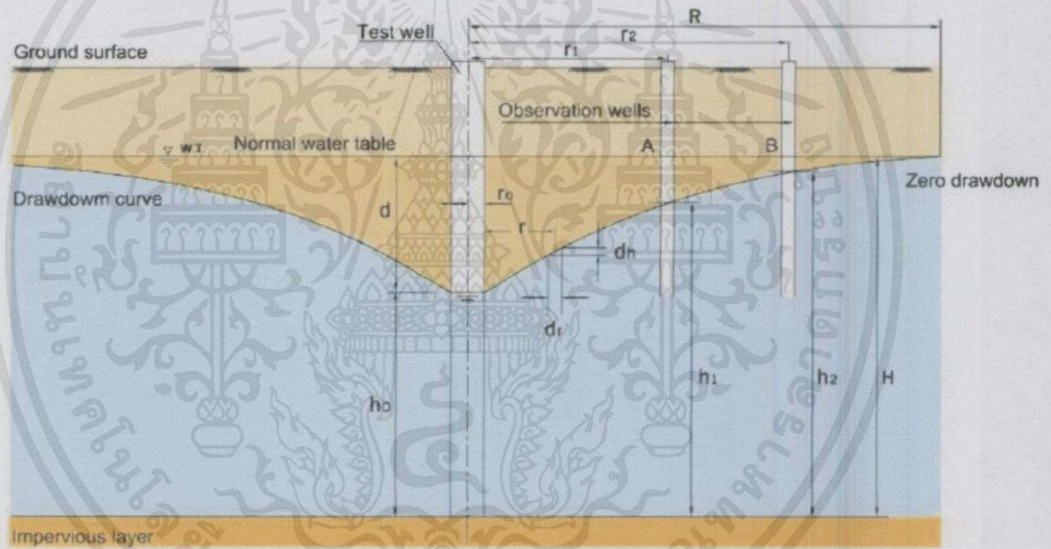
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้อง $\frac{Q}{t} = 2\pi rh \times k \times \frac{dh}{dr}$ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dr}{r} = \frac{k}{\frac{Q}{t}} 2\pi h dh$$

อินทิเกรต r_2 ถึง r_1 และ h_2 ถึง h_1 จะได้

$$\log \frac{r_2}{r_1} = k \frac{2\pi (h_2^2 - h_1^2)}{Q/t} \tag{2.23}$$

$$k = \frac{Q \ln \frac{r_2}{r_1}}{\pi t (h_2^2 - h_1^2)} \tag{2.24}$$



รูป 2.7 การทดสอบหาสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ในชั้นดิน ที่มีขอบเขตไม่จำกัด (Unconfined Flow) (Harutus. 2014),[2]

ผลจากวิธีนี้จะเชื่อถือได้มากน้อยแค่ไหน ขึ้นอยู่กับความชำนาญในการปฏิบัติ และข้อบกพร่องอาจจะเกิดจากสิ่งต่างๆดังนี้ เช่น ดินอาจจะไม่เป็นเนื้อเดียวกันหมด และชั้นดินที่ไม่ยอมให้น้ำไหลซึมผ่านอาจไม่อยู่ในแนวราบ การสูบน้ำออกควรจะต้องสูบน้ำจนกระทั่งมีอัตราการไหลคงที่ก่อนที่จะมีการวัดปริมาณน้ำ และหลุมเจาะสังเกตจะต้องไม่ใกล้ Well point จนเกินไป เพราะการก้ำกั้วไม่อย่างนั้นดินจะถูกกรบกำนและระดับน้ำจะลดเร็วเกินไป ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การทดสอบหาสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ในชั้นดิน ที่มีขอบเขตจำกัด

(Confined Flow)

ในกรณีชั้นดินที่ต้องการค่าความซึมได้อยู่ระหว่างชั้นดินที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ยาก ดังรูป 2.8 ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมสามารถหาได้ดังต่อไปนี้

จากสูตร

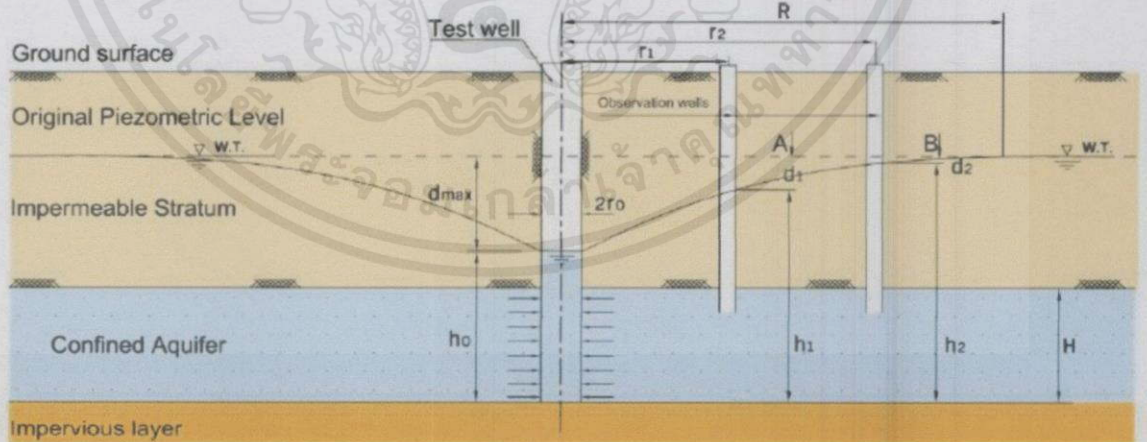
$$Q = Akit$$

$$Q/t = 2\pi rh \times k \times dh/dr$$

$$dr/r = k \ 2\pi / (Q / t) \ h \ dh$$

อินทิเกรต r_2 ถึง r_1 และ h_2 ถึง h_1 จะได้

$$\log_e \frac{r_2}{r_1} = k \frac{2\pi H}{Q/t} (h_2 - h_1), k = \frac{Q \ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi H t (h_2 - h_1)}$$



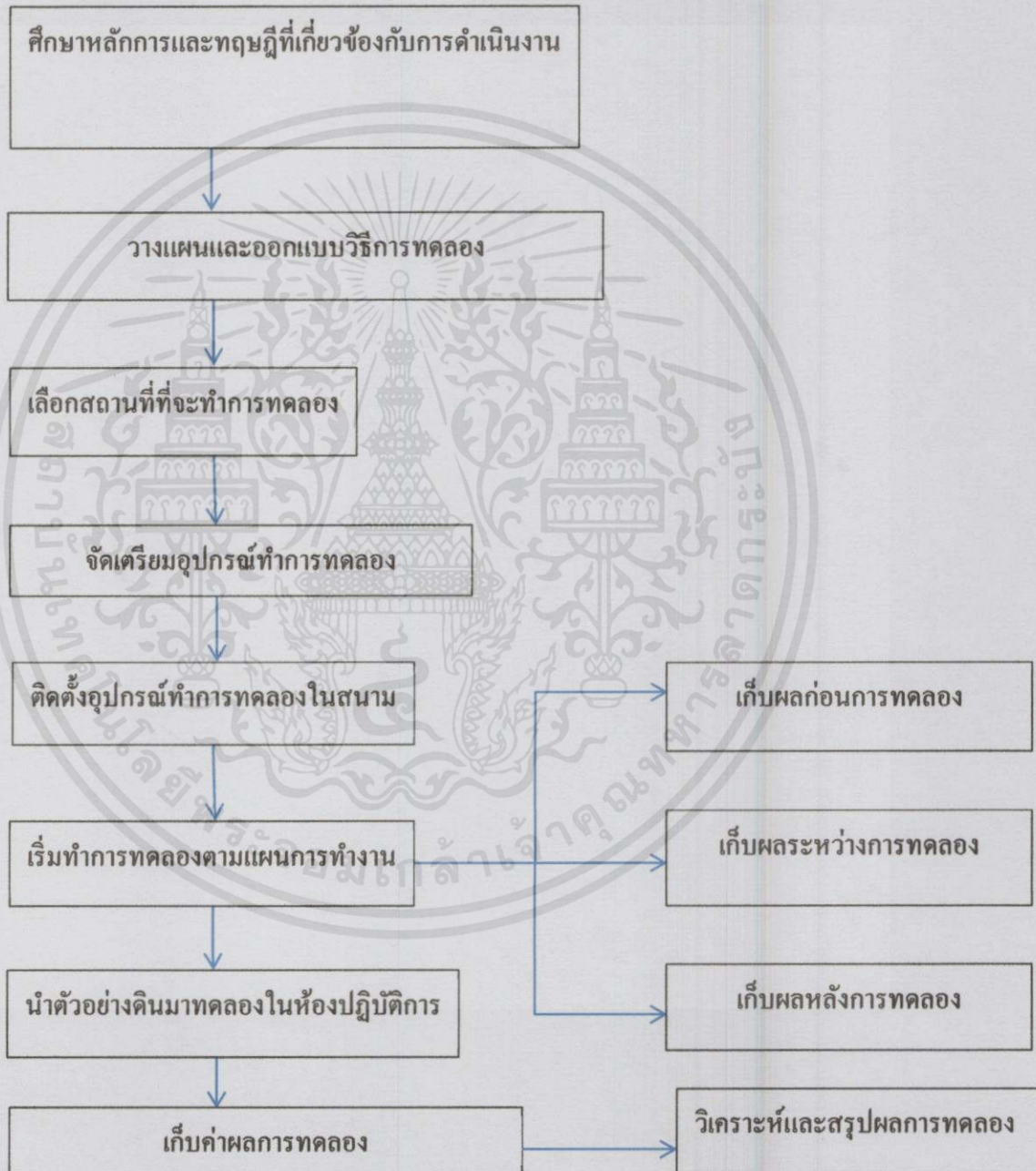
รูป 2.8 การทดสอบหาสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ในชั้นดิน ที่มีขอบเขตจำกัด (Confined Flow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวน วิชาสำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น จึงขอสงวนลิขสิทธิ์ไว้ด้วย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (Harutus.2014)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 ฟังการดำเนินงานวิจัย

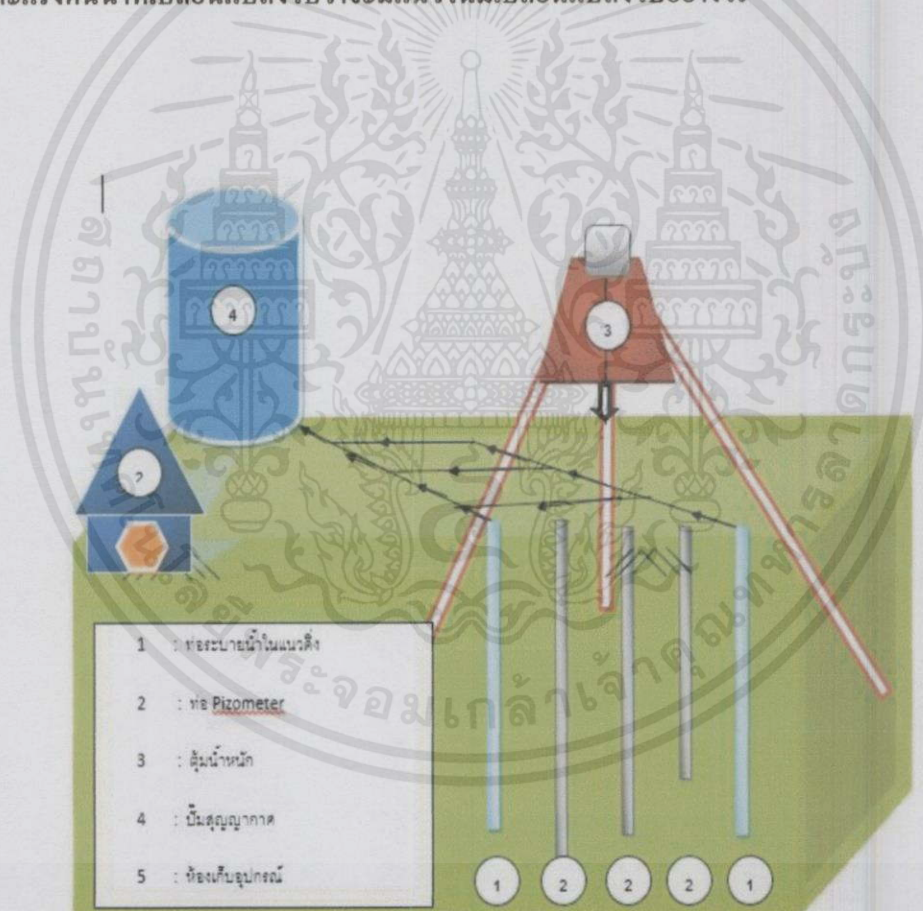


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

3.2 แนวคิดในการออกแบบการทดลอง

การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเทคนิค HVDM เป็นวิธีการทุบอัดเพื่อระบายน้ำออกจากมวลดินร่วมกับการดูดน้ำออกจากมวลดินด้วยระบบสุญญากาศ (Liang and Xu, 2010 Mostafa) [6] แนวคิดในการออกแบบการทดลองครั้งนี้จะใช้ตุ้มน้ำหนัก 3.0 ตัน ขนาดหน้าตัด 50 เซนติเมตร ยกสูง 5 เมตร ในการทุบอัดดินแล้วดูดน้ำออกด้วยระบบสุญญากาศ ในการทดลองนี้จะมีการติดตั้งชุดอุปกรณ์ในการสังเกตระดับน้ำ ได้แก่ 1. ท่อ Piezometer เพื่อวัดระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป และ 2. บ่อ Observation well เพื่อคอยสังเกตการณ์ว่าระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรในขณะที่ทำการทดลอง หลังจากนั้นจะนำดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเทคนิค HVDM กับดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยการทุบอัดแบบไดนามิกอย่างเดี่ยว มาเปรียบเทียบกันเพื่อดูค่ากำลังรับแรงเฉือน ค่าการทรุดตัว และแรงดันน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปว่าจะมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร



รูป 3.2 แนวคิดในการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ตุ่มน้ำหนัก

ตุ่มน้ำหนักที่ถูกนำมาใช้ในการอัดแบบไดนามิกเพื่อเร่งให้น้ำถูกระบายออกมาจากมวลดิน โดยการใช้ตุ่มน้ำหนักกระแทกลงบนผิวดิน ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้ตุ่มน้ำหนัก 3.0 ตัน ขนาดหน้าตัด 50 เซนติเมตร



รูป 3.3 ตุ่มน้ำหนัมาตรฐาน SPT

3.2.2 ท่อระบายน้ำในแนวตั้ง (Pipe Vertical Drain)

ท่อระบายน้ำในแนวตั้ง เลือกใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 1/4" (31.75 มิลลิเมตร) หนา 2 มิลลิเมตร ยาว 6 เมตร เจาะรูโดยรอบและหุ้มด้วยผ้าใยสังเคราะห์ (Geotextile) ดังรูป 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.4 ผ้าใยสังเคราะห์ (Geotextile)

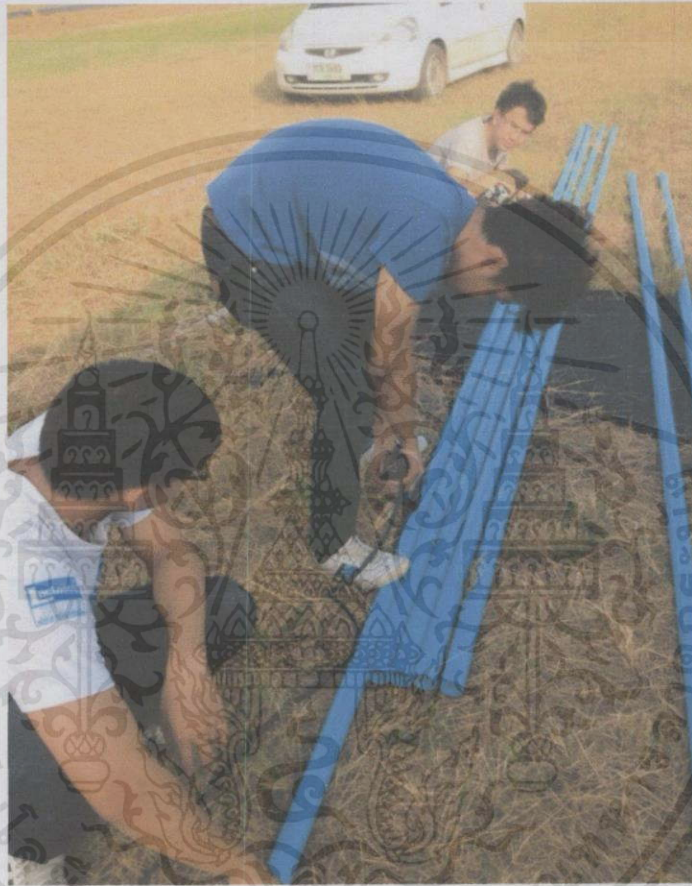


รูป 3.5 ท่อระบายน้ำในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 บ่อสังเกตระดับน้ำ (Observation Well)

บ่อสังเกตระดับน้ำใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ½“ ยาว 4 เมตร เจาะรูโดยรอบ และหุ้มด้วยผ้าใยสังเคราะห์ (Geotextile) เพื่อใช้สังเกตระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงการทดลอง โดยใช้เครื่องมือวัดระดับน้ำพร้อมเทปวัดระยะ (Water Level Meter) ดังรูป 3.7



รูป 3.6 บ่อสังเกตระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.7 เครื่องมือวัดรับน้ำพร้อมเทปวัดระยะ (Water Level Meter)

3.2.4 เครื่องสูบน้ำสุญญากาศ (Vacuum Pump)

ในการทดลองครั้งนี้เลือกเครื่องสูบน้ำสุญญากาศ รุ่น VK-120 Single – Stage Liquid Ring Vacuum Pump ดังรูป 3.8 มีคุณสมบัติเครื่องดังตาราง 3.1 โดยได้ติดตั้งระบบเข้ากับถังความดัน (Pressure Tank) ความจุ 500 ลิตร

ตาราง 3.1 คุณสมบัติของเครื่องสูบน้ำสุญญากาศที่ใช้ในการทดลอง

Model	Capacity (m ³ /hr)	Ultimate Pressure (Torr)	Motor Power (kW)	Service Water (L/min)	Inter Port	Outlet Port	Weight (kg)
VK-120	120	25	4	18	G 1 1/2"	68	68.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.8 ตั้งความดัน



รูป 3.9 เครื่องสูบน้ำสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



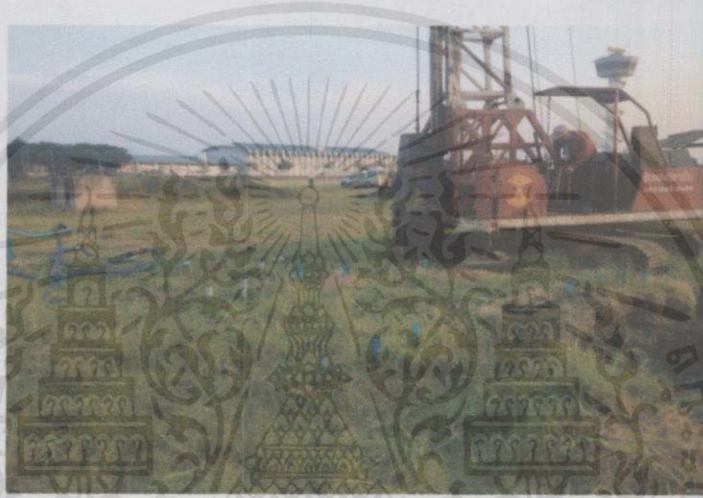
รูป 3.10 การต่อเครื่องสูบน้ำสูญญากาศเข้ากับถังความดัน



รูป 3.11 ข้อต่อระหว่างเครื่องสูบน้ำสูญญากาศเข้ากับถังความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งอุปกรณ์ในแปลงการทดลองได้แสดงดังรูป 3.11 ซึ่งแปลงการทดลองตั้งอยู่ที่บริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ มีขนาด 40 × 40 เมตร ได้ติดตั้งท่อพีโซมิเตอร์ (สัญลักษณ์สี่เหลี่ยม) ที่ความลึกต่างๆ ได้แก่ 2 เมตร 4 เมตร และ 6 เมตรจากผิวดิน ตามลำดับและท่อระบายน้ำในแนวดิ่งจำนวน 4 ท่อ (สัญลักษณ์สามเหลี่ยม) ถูกติดตั้งลึกประมาณ 6 เมตรจากผิวดิน นอกจากนี้ยังมีบ่อสังเกตการณ์ (สัญลักษณ์วงกลม) จำนวน 6 บ่อติดตั้งห่างจากท่อระบายน้ำในแนวดิ่ง 0.7, 1.4 และ 2.1 เมตรตามลำดับและมีความลึกแต่ละท่อ 6 เมตรจากผิวดิน ส่วนจุด X คือจุดที่ทำการทวบดอัดแบบไดนามิก จะทำการทวบกระจายทั่วทั้งพื้นที่แปลงทดลองในรูป 3.13



รูป 3.13 ทวบดอัดด้วยต้อน้ำหนัก

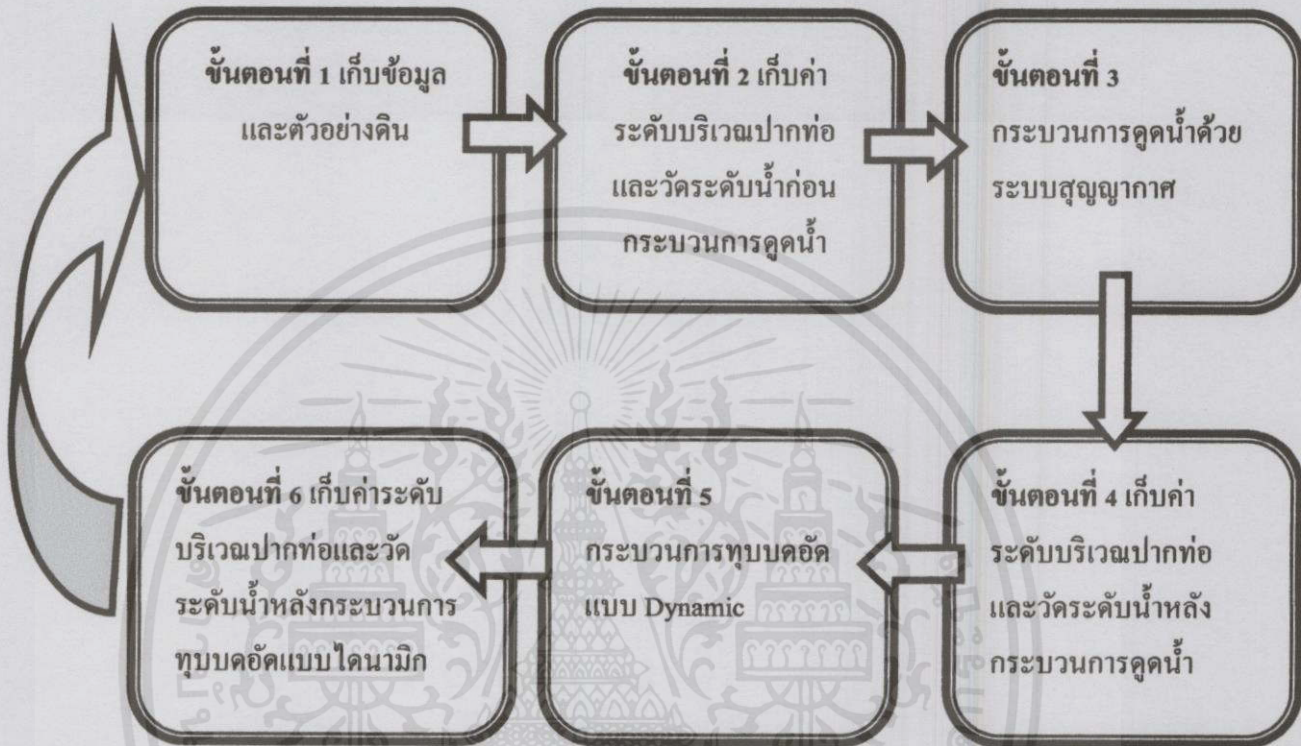


รูป 3.14 พื้นดินบริเวณที่ผ่านการทวบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะที่ซึ่งมีลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในตัวเอง ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง



รูป 3.15 ผังขั้นตอนการทดลอง

3.4.2 กระบวนการและขั้นตอนการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 3 แปลงการทดลอง

- 1) Dynamic Compaction
- 2) HVDM
- 3) แปลงคูน้ำเฉพาะชั้นความลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Dynamic Compaction

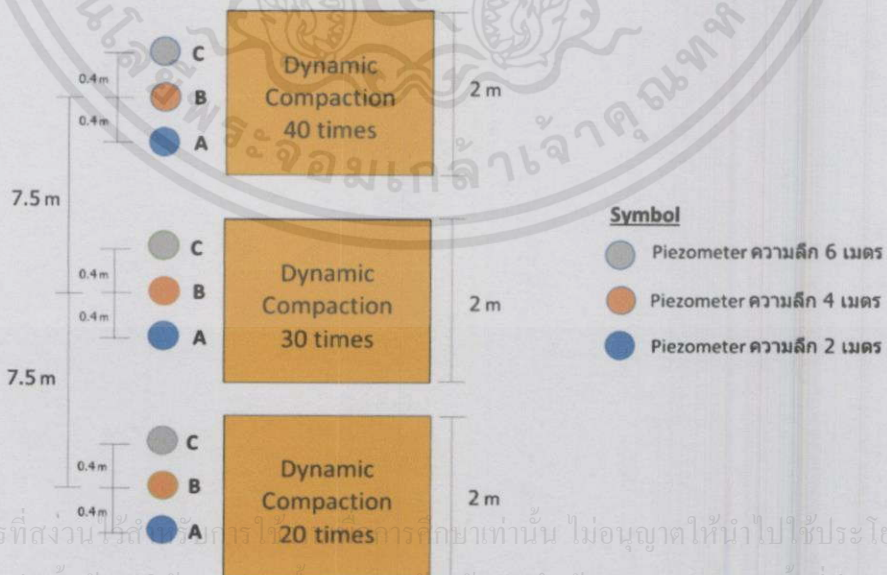
ตาราง 3.2 กระบวนการและขั้นตอนการทดลอง Dynamic Compaction

แปลงทดลอง	กระบวนการทดลอง		หมายเหตุ
	ทุบดิน		
1	20 ครั้ง	-เก็บตัวอย่างก่อนการทดลอง	
2	30 ครั้ง	-เก็บตัวอย่างหลังการทดลอง	
3	40 ครั้ง		

กระบวนการทดลองดังแสดงในตาราง 3.2 จะแบ่งเป็น 3 แปลงการทดลองดังตาราง 3.3

ตาราง 3.3 ขั้นตอนการทดลอง Dynamic Compaction

ลำดับ	ขั้นตอน/การทดลอง	แปลง1	แปลง2	แปลง3	หมายเหตุ
1	เก็บข้อมูลและตัวอย่างดินก่อนการทุบ	1 ครั้ง	1 ครั้ง	1 ครั้ง	- ใช้ตุ้มหนัก
2	วัดระดับน้ำใน Piezometer	3 ครั้ง	4 ครั้ง	5 ครั้ง	3,000 กก.
3	ทุบดินจำนวน 10 ครั้ง	2 รอบ	3 รอบ	4 รอบ	- ยก 5 เมตร
4	เก็บข้อมูลและตัวอย่างดินหลังการทดลอง	1 ครั้ง	1 ครั้ง	1 ครั้ง	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.16 แผนผังการปฏิบัติงาน Dynamic Compaction

2) HVDM

ตาราง 3.4 กระบวนการทดลอง HVDM

รอบการทดลอง	กระบวนการทดลอง		หมายเหตุ
	คูณน้ำด้วยระบบสุญญากาศ	ทุบดิน	
รอบที่ 1	3 ชั่วโมง	30 ครั้ง	เก็บตัวอย่างดินก่อนและหลังการทดลอง
รอบที่ 2	3 ชั่วโมง	30 ครั้ง	
รอบที่ 3	3 ชั่วโมง	30 ครั้ง	

กระบวนการทดลองดังแสดงในตาราง 3.3 แต่ละรอบการทดลองมีกระบวนการดังนี้
ขั้นตอนที่ 1 เก็บข้อมูลและตัวอย่างดินก่อนทดลอง

โดยจะทำการเก็บตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวน (Undisturbed Soil Sampling) (รูป 3.14) ที่
ชั้นความลึกต่างๆเพื่อนำไปหาค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบพกพา (Pocket Vane Shear Test) (รูป 3.18
) โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า “Pocket Vane Shear” (รูป 3.19) หนัชน้ำหนักดิน (Total Unit Weight)
และปริมาณน้ำในดิน (Water Content) (รูป 3.20)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.17 การเก็บตัวอย่างดินแบบไม่ถูกรบกวน (Undisturbed Soil Sampling)



รูป 3.18 นำดินที่เก็บตัวอย่างมาทดสอบกำลังรับแรงเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.19 เครื่องมือ Pocket Vane Shear



รูป 3.20 นำดินที่เก็บตัวอย่างมาทดสอบหาปริมาณน้ำในดิน (Water Content)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 เก็บค่าระดับปากท่อและวัดระดับน้ำก่อนกระบวนการคูน้ำ

ขั้นตอนนี้จะเก็บค่าระดับปากท่อ (รูป 3.21)และวัดระดับน้ำ (รูป 3.22) เพื่อเอาไว้เปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่จะเปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังการทดลอง



รูป 3.21 การเก็บค่าระดับปากท่อ



รูป 3.22 วัดระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และห้องวิจัยของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการสูบน้ำด้วยระบบสุญญากาศ

ในขั้นตอนนี้จะใช้ระบบสุญญากาศในการสูบน้ำออกจากดินผ่านท่อระบายน้ำในแนวตั้งที่ได้ติดตั้งไว้ ระยะเวลาในการสูบน้ำของแต่ละรอบการทดลองแสดงไว้ในตาราง 3.4 โดยในขณะที่ทำการสูบน้ำออกจากดินจะทำการวัดระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาต่างๆไว้ ดังแสดงในรูป 3.23



รูป 3.23 กระบวนการสูบน้ำด้วยระบบสุญญากาศ

ขั้นตอนที่ 4 เก็บค่าระดับปากท่อและวัดระดับน้ำหลังกระบวนการสูบน้ำ

ในขั้นตอนนี้จะมีวิธีการเหมือนขั้นตอนที่ 2 ดังรูป 3.25

ขั้นตอนที่ 5 กระบวนการทุบคอคัดแบบ Dynamic

จำนวนการทุบคอคัดแบบ Dynamic แต่ละรอบการทดลองได้แสดงไว้ดังตาราง 3.3 โดยใช้ค้อนน้ำหนักน้ำหนัก 3.0 คัน ยกสูง 5 เมตร น้ำหนักถูกทิ้งอิสระตามแรงโน้มถ่วงของโลก ดังรูป 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.24 กระบวนการทาบอดแบบไดนามิก

ขั้นตอนที่ 6 เก็บค่าระดับปากท่อและวัดระดับน้ำหลังกระบวนการทาบอด

ขั้นตอนนี้จะมีวิธีการทดลองเหมือนกับขั้นตอนที่ 2 เพื่อเอาไว้เปรียบเทียบระดับดินที่จะเปลี่ยนแปลงไปหลังกระบวนการทาบอดแบบไดนามิก



รูป 3.25 การเก็บระดับปากท่อหลังกระบวนการทาบอดแบบไดนามิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในชื่อและสิ่งพิมพ์ของเอกสารฉบับนี้ที่มีการนำไปใช้

3) แปลงคูคน้ำเฉพาะชั้นความลึก

ตาราง 3.5 กระบวนการทดลองแปลงคูคน้ำเฉพาะชั้นความลึก

แปลงทดลอง	กระบวนการทดลอง		หมายเหตุ
	เวลาคูคน้ำ	ทุบดิน	
1	60	50	เริ่มทุบที่นาที่ 40
2	40	50	เริ่มทุบที่นาที่ 30
3	60	50	เริ่มทุบที่นาที่ 40

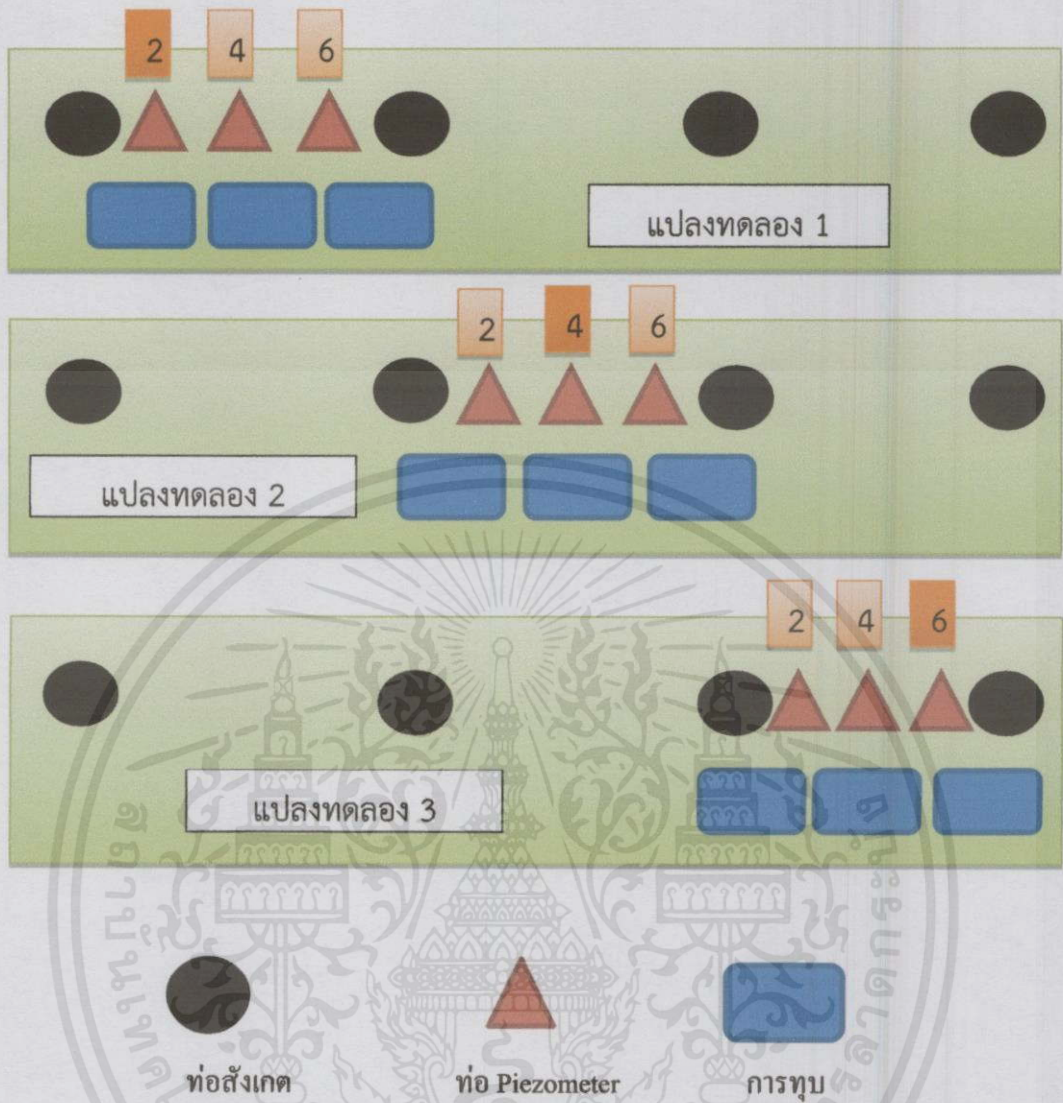
ขั้นตอนการทดลอง

แปลงการทดลองที่ 1 เริ่มคูคน้ำออก ณ หลุมตำแหน่งที่ 2 โดยคูคเป็นระยะเวลา 60 นาที ทำการวัดค่าที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 และ 60 นาที เพื่อวัดระดับน้ำใน Piezometer และระดับน้ำใต้ดิน ทำการทุบบดอัด 20 ครั้ง ณ นาที่ที่ 40 บดอัด 20 ครั้ง ณ นาที่ที่ 50 และทำการบดอัดครั้งสุดท้าย 10 ครั้ง ณ นาที่ที่ 60 (หากมีการทุบบดอัด ต้องทำการทุบบดอัดก่อนที่จะทำการวัดระดับน้ำใน Piezometer และระดับน้ำใต้ดินทุกครั้ง)

แปลงการทดลองที่ 2 เริ่มคูคน้ำออก ณ หลุมตำแหน่งที่ 4 โดยคูคเป็นระยะเวลา 60 นาที ทำการวัดค่าที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 และ 40 นาที เพื่อวัดระดับน้ำใน Piezometer และระดับน้ำใต้ดิน ทำการทุบบดอัด 20 ครั้ง ณ นาที่ที่ 30 บดอัดอีก 30 ครั้ง ณ นาที่ที่ 40 (หากมีการทุบบดอัด ต้องทำการทุบบดอัดก่อนที่จะทำการวัดระดับน้ำใน Piezometer และระดับน้ำใต้ดินทุกครั้ง)

แปลงการทดลองที่ 3 เริ่มคูคน้ำออก ณ หลุมตำแหน่งที่ 6 โดยคูคเป็นระยะเวลา 60 นาที ทำการวัดค่าที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 และ 60 นาที เพื่อวัดระดับน้ำใน Piezometer และระดับน้ำใต้ดิน ทำการทุบบดอัด 20 ครั้ง ณ นาที่ที่ 40 บดอัด 20 ครั้ง ณ นาที่ที่ 50 และทำการบดอัดครั้งสุดท้าย 10 ครั้ง ณ นาที่ที่ 60 (หากมีการทุบบดอัด ต้องทำการทุบบดอัดก่อนที่จะทำการวัดระดับน้ำใน Piezometer และระดับน้ำใต้ดินทุกครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.26 แผนผังการทดลองแปลงจุดน้ำเฉพาะชั้นความลึก โดยใช้ตมหนัก 3 ตัน ยกสูง 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 วิธีการนำตัวอย่างดินไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการ

1. การทดสอบหาปริมาณน้ำในมวลดิน (Water Content) เป็นการหาข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่างดิน เพื่อหาปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในมวลดิน



รูป 3.27 การหาปริมาณน้ำในมวลดิน (Water content)

2. การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของดิน (Unit Weight)

การทดลองครั้งนี้ผู้จัดทำได้นำน้ำหนักดินมาเปรียบเทียบกับปริมาตรของวงแหวน Consolidation ที่สามารถทราบปริมาตรที่แน่นอนได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 2.1 วัดปริมาตรของวงแหวน
- 2.2 กัดดินใส่ในวงแหวน
- 2.3 แล่วนวงแหวนที่มีดินไปชั่งน้ำหนัก
- 2.4 ชั่งน้ำหนักวงแหวนที่ไม่มีดิน
- 2.5 คำนวณหาหน่วยน้ำหนักของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.28 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของดิน

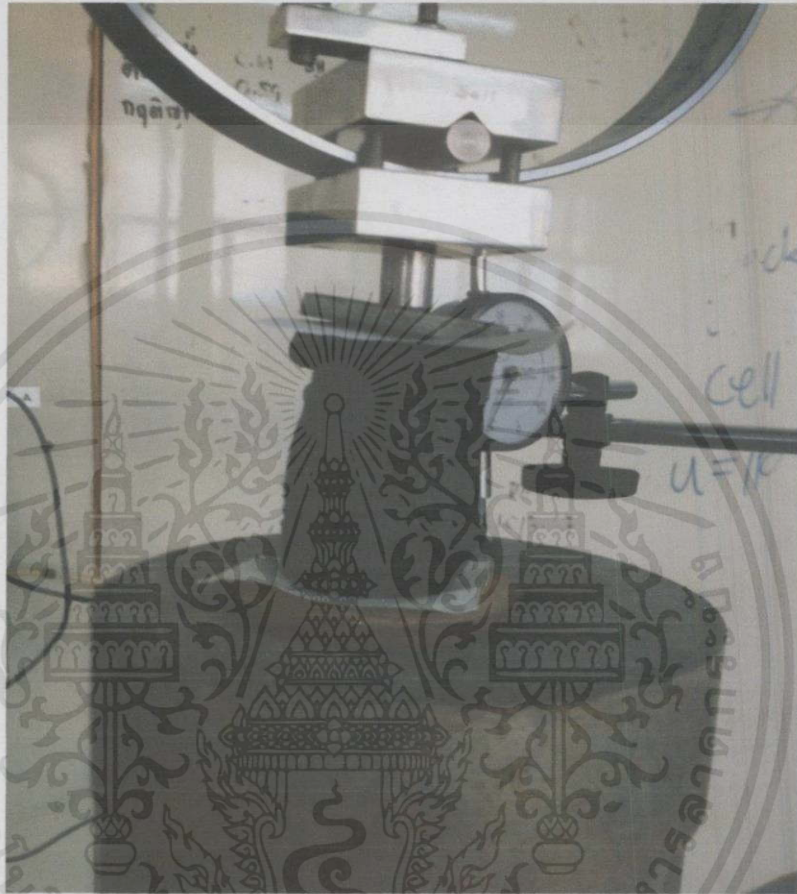
3. การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน (Specific Gravity Of Soil) ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน คือ ค่าที่แสดงให้เห็นว่าวัตถุที่มีความหนาแน่นเป็นกี่เท่าของน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสมาชิกโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

รูป 3.29 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน

4. การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน (Unconfined compressive strength) เป็นการนำดินมาทดสอบจนถึงจุดที่ดินเกิดการวิบัติแบบเฉือนเป็นระนาบ ดังรูป 3.30 ซึ่งจะเรียกค่าที่ได้จากการทดสอบครั้งนี้ว่า ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear strength)



รูป 3.30 การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน

5. การทดสอบค่าการทรุดตัวของดิน (Consolidation) เป็นการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบว่าก่อนทำการปรับปรุงคุณภาพดินและหลังทำการปรับปรุงคุณภาพดิน ดินจะมีการทรุดตัวต่างกันหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.31 การทดสอบหาค่าการทรุดตัวของดิน

6. การทดสอบหาขนาดของเม็ดดิน (Hydrometer) เป็นการทดสอบหาขนาดของเม็ดเหนียว เนื่องจากเม็ดดินเหนียวมีขนาดเล็กจึงหาขนาดด้วยวิธีธรรมดาไม่ได้จึงต้องทำไฮโดรมิเตอร์



รูป 3.32 การทดสอบหาขนาดของเม็ดดิน (Hydrometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ไปในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีเกิดเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากท่านไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 กล่าวนำ

หลังจากการทดลองในสนามตามที่ได้เสนอไปแล้วในบทที่ 3 และได้เก็บรวบรวมตัวอย่างดินจากสนามทดลองทั้งก่อนการทดลอง และหลังการทดลอง รวมถึงข้อมูลระดับน้ำใต้ดินในบ่อสังเกต เพื่อนำไปหาคุณสมบัติต่างๆของดินที่เปลี่ยนแปลงไปในห้องทดลอง โดยมีข้อมูลดังต่อไปนี้

4.1.1 คุณสมบัติของดินประกอบด้วย

- 1.1 ปริมาณน้ำในดิน (Water content)
- 1.2 พิกัดของอัตราขีดจำกัด (Atterburg's limit)
- 1.3 หน่วยน้ำหนัก (Unit weight)
- 1.4 ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific gravity)
- 1.5 เครื่องทดสอบแรงเฉือนแบบพกพา (Pocket Vane shear test)
- 1.6 กำลังแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined compress strength)
- 1.7 การหาขนาดเม็ดดิน (Hydrometer analysis)
- 1.8 การยุบอัดตัวของดิน (Consolidation test)

4.1.2 ค่าระดับน้ำใต้ดิน

- 1.9 ค่าระดับน้ำบริเวณแปลง Dynamic Compaction
- 1.10 ค่าระดับน้ำบริเวณแปลง HVDM
- 1.11 ค่าระดับน้ำบริเวณแปลงคูน้ำเฉพาะชั้นความลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

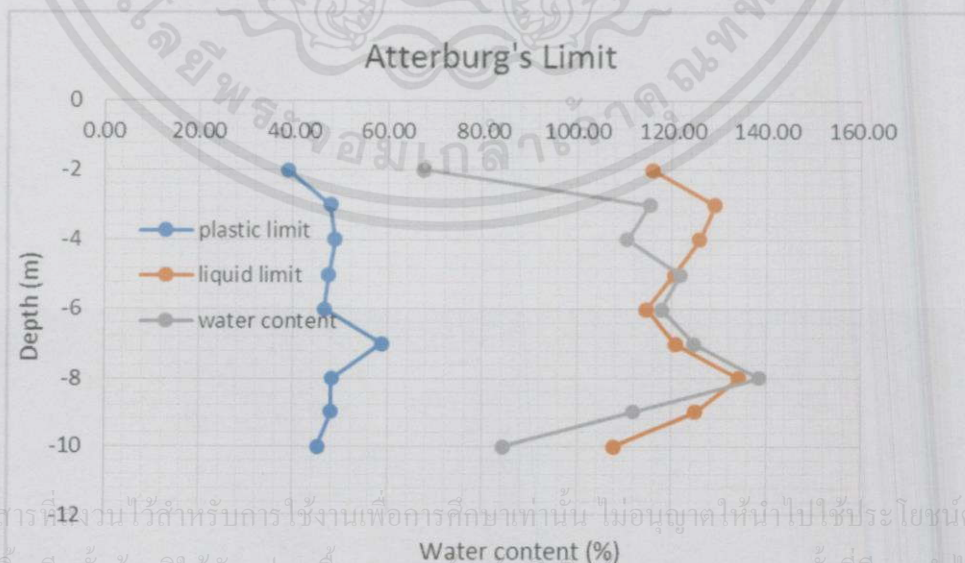
4.2 คุณสมบัติของดิน

ทำการเก็บตัวอย่างดินในสนามแบบไม่ถูกรบกวนที่ความลึกของชั้นดินต่างๆ จากนั้นนำไปหาค่าพิคคของออตตะเบอร์ก(Atterburg's limit)ปริมาณน้ำในดิน (Water content) ,หน่วยน้ำหนัก (Unit weight) ,ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific gravity) ,การแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined compress strength) ,เครื่องทดสอบแรงเฉือนแบบพกพา (Pocket Vane shear test) ,การหาขนาดเม็ดดิน (Hydrometer analysis) เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการทดลอง

4.2.1 พิกคของออตตะเบอร์ก (Atterburg's limit)

Depth (m)	Plastic limit	Liquid limit	Water content
2.00-3.00	38.85	115.95	67.61
3.00-4.00	47.86	129.17	115.36
4.00-5.00	48.86	125.85	110.66
5.00-6.00	47.46	120.49	121.77
6.00-7.00	46.52	114.64	117.84
7.00-8.00	58.68	120.86	124.77
8.00-9.00	48.11	134.22	138.67
9.00-10.00	47.98	125.03	111.78
10.00-11.00	45.09	107.76	84.31

รูป 4.1 ค่าพิคคของออตตะเบอร์ก (Atterburg's limit)



รูป 4.2 กราฟแสดงค่าพิคคของออตตะเบอร์ก (Atterburg's limit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 12 จำนวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ปริมาณน้ำในดิน (Water content)

Depth (m)	Water Content (%)		
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง HVDM	หลังการทดลอง Dynamic Compaction
2.00-3.00	67.610	89.600	110.380
3.00-4.00	115.360	84.710	106.470
4.00-5.00	110.660	88.680	116.120
5.00-6.00	121.770	87.680	128.710
6.00-7.00	117.840	107.970	124.070
7.00-8.00	124.770	117.460	119.180
8.00-9.00	138.670	124.820	115.240
9.00-10.00	111.780	94.430	137.770
10.00-11.00	84.310	136.270	99.740

รูป 4.3 ปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลง



รูป 4.4 กราฟแสดงปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 หน่วยน้ำหนัก (Unit weight)

Depth (m)	Unit weight (t/m ³)		
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง HVDM	หลังการทดลอง Dynamic Compaction
2.00-3.00	1.493	1.536	1.445
3.00-4.00	1.623	1.540	1.416
4.00-5.00	1.540	1.525	1.304
5.00-6.00	1.610	1.584	1.291
6.00-7.00	1.588	1.567	1.428
7.00-8.00	1.576	1.505	1.394
8.00-9.00	1.567	1.468	1.430
9.00-10.00	1.491	1.540	1.448
10.00-11.00	1.488	1.551	1.419

รูป 4.5 หน่วยน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง



รูป 4.6 กราฟแสดงหน่วยน้ำหนักของดินที่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific gravity)

Sample Depth(m)	GS
2.00-2.45	2.709
3.00-3.45	2.553
4.00-4.45	2.612
5.00-5.45	2.503
6.00-6.45	2.604
7.00-7.45	2.681
8.00-8.45	2.593
9.00-9.45	2.675
10.00-10.45	2.645

รูป 4.7 กราฟแสดงความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

4.2.5 เครื่องทดสอบแรงเฉือนแบบพกพา (Pocket Vane shear test)

Depth (m)	Shear Strength (ksc)		
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง HVDM	หลังการทดลอง Dynamic Compaction
2.00-3.00	0.046	0.130	0.095
3.00-4.00	0.039	0.060	0.060
4.00-5.00	0.023	0.040	0.029
5.00-6.00	0.033	0.035	0.028
6.00-7.00	0.031	0.065	0.031
7.00-8.00	0.045	0.096	0.066
8.00-9.00	0.059	0.086	0.045
9.00-10.00	0.067	0.100	0.100
10.00-11.00	0.026	0.075	0.035

รูป 4.8 กำลังรับแรงเฉือนเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.9 กราฟแสดงกำลังรับแรงเฉือนเปลี่ยนแปลง

4.2.6 กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined compress strength)

ตาราง 4.6 กำลังรับแรงเฉือนที่เปลี่ยนแปลง

Depth (m)	Undrain Shear Strangth (ksc)		
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง HVDM	หลังการทดลอง Dynamic Compaction
2.00-3.00	0.126	0.276	0.113
3.00-4.00	0.037	0.079	0.080
4.00-5.00	0.037	0.086	0.075
5.00-6.00	0.036	0.042	0.031
6.00-7.00	0.028	0.036	0.014
7.00-8.00	0.055	0.037	0.122
8.00-9.00	0.041	0.102	0.090
9.00-10.00	0.049	0.033	0.087
10.00-11.00	0.080	0.086	0.018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.10 กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัดที่เปลี่ยนแปลง

4.2.7 การยุบอัดตัวของดิน (Consolidation test)

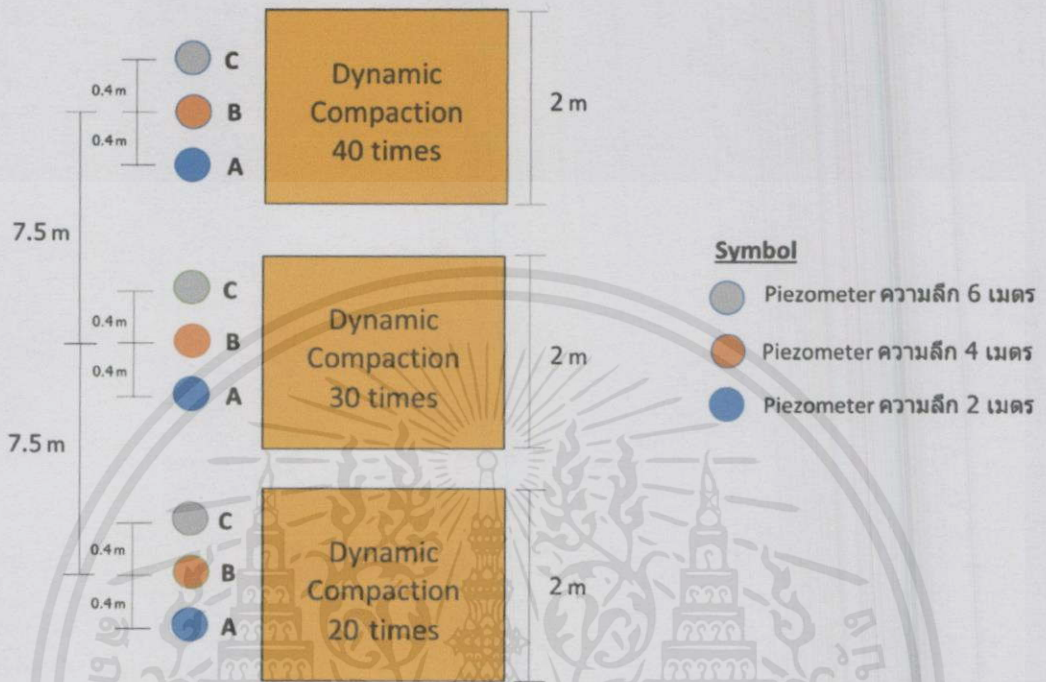
Depth (m.)	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง HVDM		หลังการทดลอง Dynamic Compaction	
	C_v (cm ² /sec)	t_{90} (day)	C_v (cm ² /sec)	t_{90} (day)	C_v (cm ² /sec)	t_{90} (day)
2.00-4.00	0.020803	46.720	0.00821	118.390	0.01080	89.990
4.00-6.00	0.011354	85.600	0.03935	24.700	0.00745	130.49
6.00-8.00	0.002294	423.65	0.01502	64.702	0.01302	74.650
8.00-10.00	0.001476	65.860	0.01652	58.820	0.00063	1551.500

รูป 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดที่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ค่ำระดับน้ำใต้ดิน

4.3.1 ค่ำระดับน้ำบริเวณแปลง Dynamic Compaction



รูป 4.12 แผนผังแปลง Dynamic Compaction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบที่ 1

ตึ่มน้ำหนัก 3 ตัน

ความสูงยก 5 เมตร

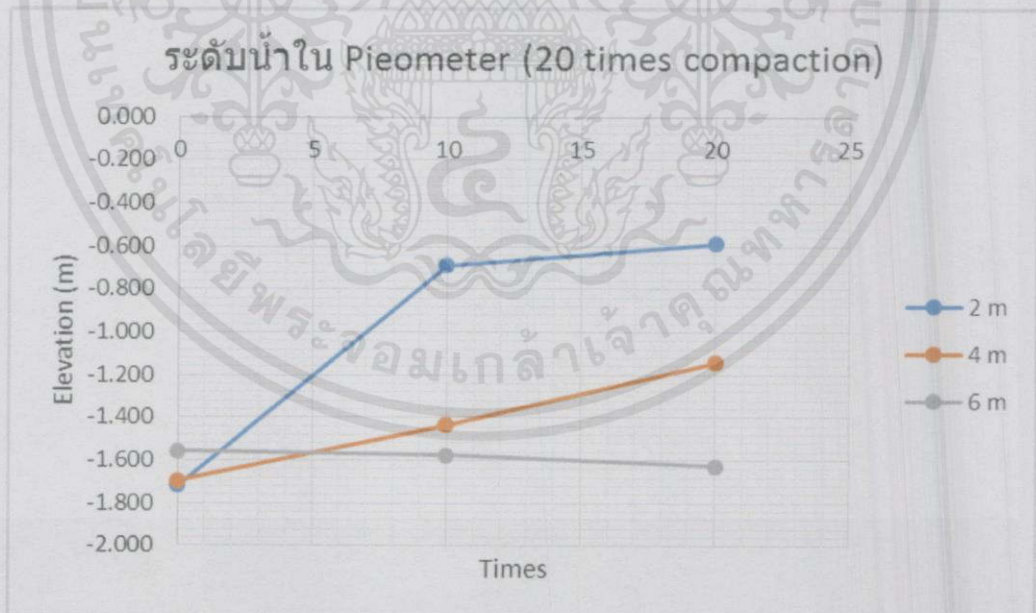
จำนวนการทุบ 20 ครั้ง

พลังงานในการทุบ 2943 kJ

ระยะความลึกอิทธิพล 1.55 เมตร

No.Blow	Station	A	B	C
	Status			
10	Before	-1.720	-1.696	-1.557
	After	-0.690	-1.436	-1.577
10	Before	-0.690	-1.436	-1.577
	After	-0.590	-1.143	-1.626

รูป 4.13 ระดับน้ำในท่อ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่จำนวนการทุบ 20 ครั้ง



รูป 4.14 กราฟแสดงระดับน้ำในท่อ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆจำนวนการทุบ 20 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบที่ 2

ตึมน้ำหนัก 3 ตัน

ความสูงยก 5 เมตร

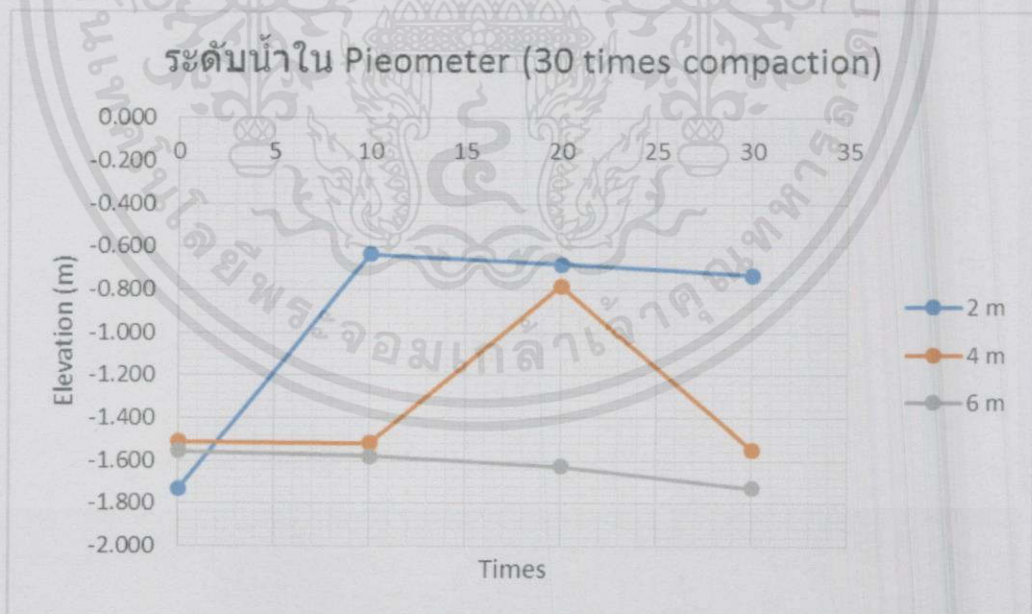
จำนวนการทาบ 30 ครั้ง

พลังงานในการทาบ 4414.5 kJ

ระยะความลึกอิทธิพล 1.55 เมตร

No.Blow	Station	A	B	C
	Status			
10	Before	-1.733	-1.512	-1.727
	After	-0.633	-1.517	-1.922
10	Before	-0.633	-1.517	-1.982
	After	-0.683	-0.782	-1.952
10	Before	-0.683	-0.782	-1.330
	After	-0.733	-1.547	-1.390

รูป 4.15 ระดับน้ำในท่อ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่จำนวนการทาบ 30 ครั้ง



รูป 4.16 กราฟแสดงระดับน้ำในท่อ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่จำนวนการทาบ 30 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบที่ 3

ตึมน้ำหนัก 3 ตัน

ความสูงยก 5 เมตร

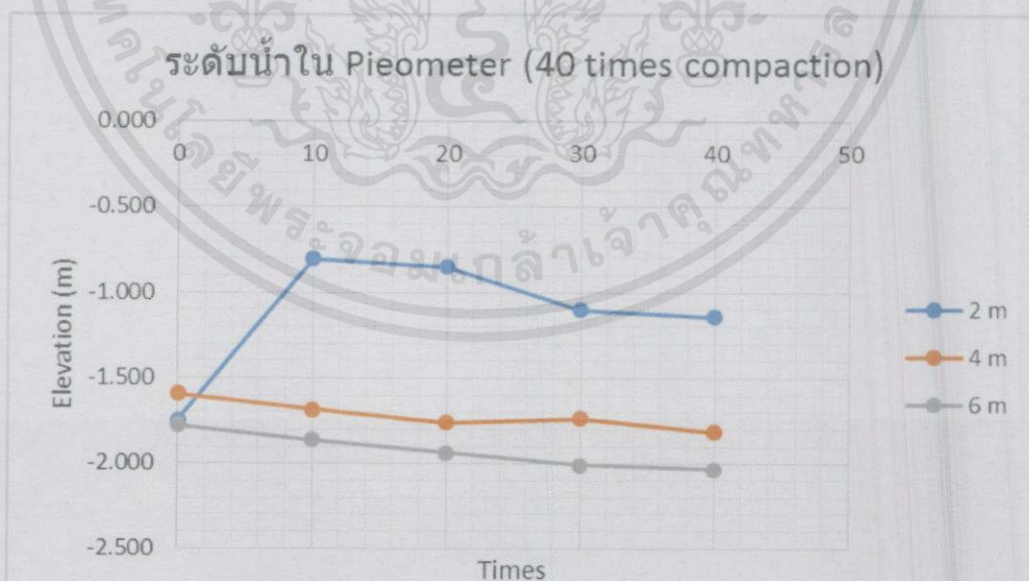
จำนวนการทุบ 40 ครั้ง

พลังงานในการทุบ 5886 kJ

ระยะความลึกอิทธิพล 1.55 เมตร

No.Blow	Station	A	B	C
10	Before	-1.747	-1.592	-1.772
	After	-0.802	-1.682	-1.862
10	Before	-0.802	-1.682	-1.862
	After	-0.852	-1.757	-1.937
10	Before	-0.852	-1.757	-1.937
	After	-1.102	-1.734	-2.007
10	Before	-1.102	-1.734	-2.007
	After	-1.142	-1.812	-2.032

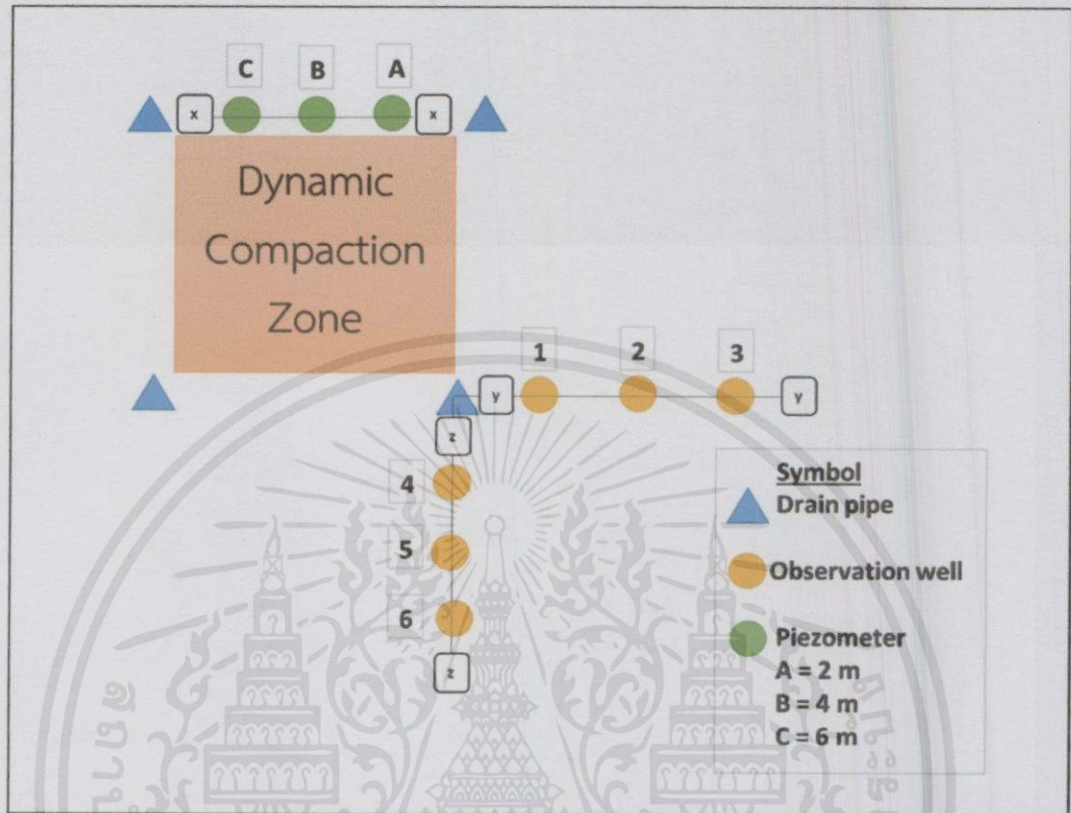
รูป 4.17 ระดับน้ำในท่อ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่จำนวนการทุบ 40 ครั้ง



รูป 4.18 กราฟแสดงระดับน้ำในท่อ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่จำนวนการทุบ 40 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาค้นหาไปใช้

4.3.2 ค่าระดับน้ำบริเวณแปลง HVDM



รูป 4.19 แผนผังแปลง HVDM

รอบที่ 1

ตึมน้ำหนัก 3 ตัน

ความสูงยก 2 เมตร

จำนวนการทุบ 25 ครั้ง

พลังงานในการทุบ 1471.5 kJ

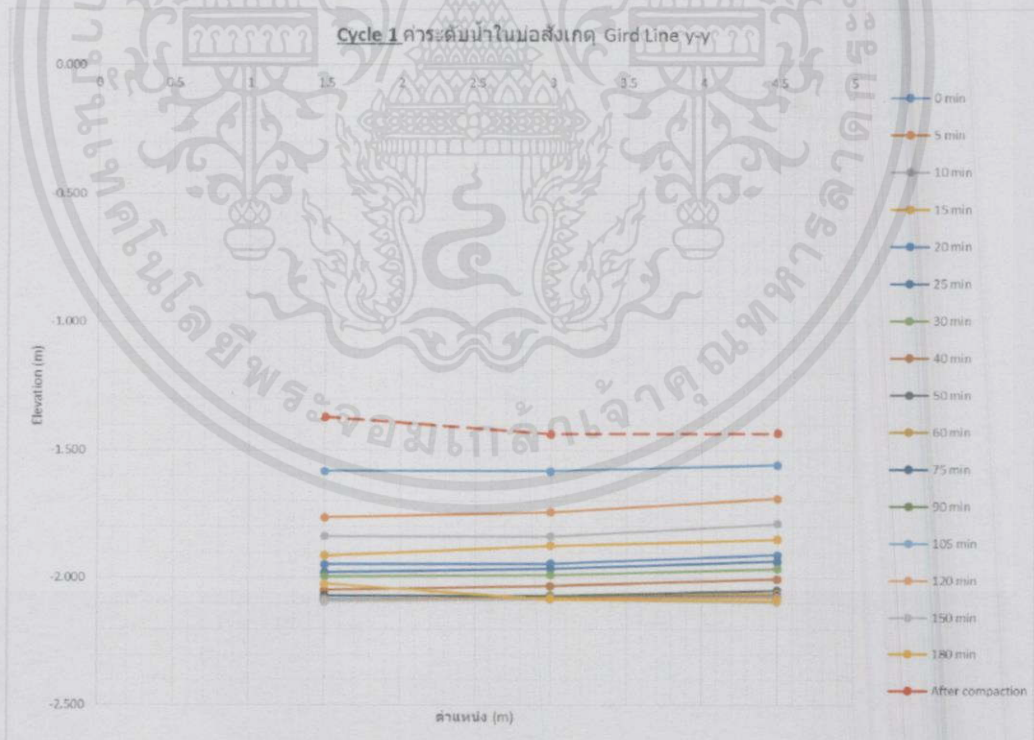
ระยะความลึกอิทธิพล 0.980 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

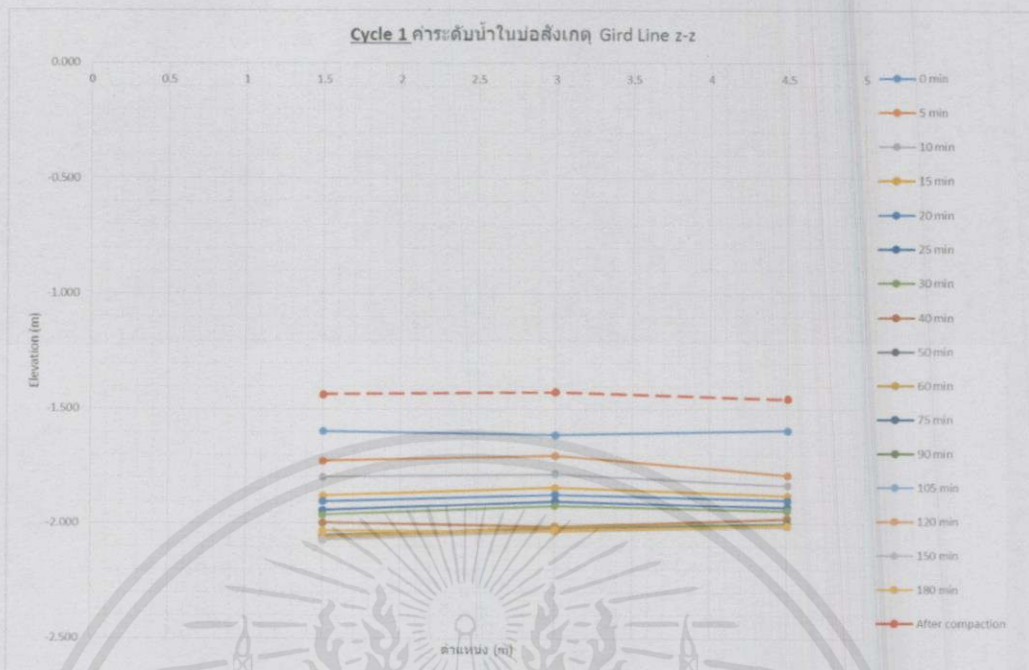
Vacuum										
Station Time (min)	1	2	3	4	5	6	A	B	C	remark
0	-1.583	-1.583	-1.558	-1.597	-1.613	-1.593	-0.683	-1.298	-1.773	
5	-1.763	-1.743	-1.688	-1.727	-1.703	-1.788	-0.678	-1.298	-1.773	
10	-1.838	-1.838	-1.788	-1.797	-1.783	-1.833	-0.678	-1.308	-1.773	
15	-1.913	-1.873	-1.848	-1.877	-1.843	-1.878	-0.684	-1.308	-1.778	
20	-1.948	-1.943	-1.908	-1.902	-1.873	-1.898	-0.683	-1.308	-1.778	
25	-1.978	-1.963	-1.933	-1.942	-1.903	-1.928	-0.688	-1.318	-1.778	
30	-1.993	-1.988	-1.963	-1.962	-1.923	-1.943	-0.688	-1.318	-1.798	
40	-2.048	-2.031	-2.003	-1.997	-2.013	-1.978	-0.688	-1.318	-1.798	
50	-2.068	-2.068	-2.046	-2.052	-2.018	-1.998	-0.688	-1.318	-1.784	
60	-2.088	-2.071	-2.060	-2.056	-2.013	-2.003	-0.690	-1.298	-1.771	
75	-2.088	-2.073	-2.068	-2.067	-2.023	-2.003	-0.693	-1.298	-1.778	
90	-2.085	-2.073	-2.073	-2.067	-2.023	-2.003	-0.693	-1.288	-1.775	
105	-2.083	-2.077	-2.070	-2.067	-2.028	-2.008	-0.708	-1.293	-1.775	
120	-2.088	-2.077	-2.076	-2.067	-2.026	-2.013	-0.708	-1.296	-1.775	
150	-2.093	-2.083	-2.094	-2.072	-2.033	-2.013	-0.723	-1.293	-1.788	
180	-2.023	-2.083	-2.088	-2.032	-2.033	-2.008	-0.728	-1.308	-1.783	

Dynamic Compaction										
Station Status	1	2	3	4	5	6	A	B	C	remark
Before	-2.023	-2.083	-2.088	-2.032	-2.033	-2.008	-0.728	-1.308	-1.783	
After	-1.371	-1.437	-1.434	-1.436	-1.426	-1.456	-0.744	-1.325	-1.790	

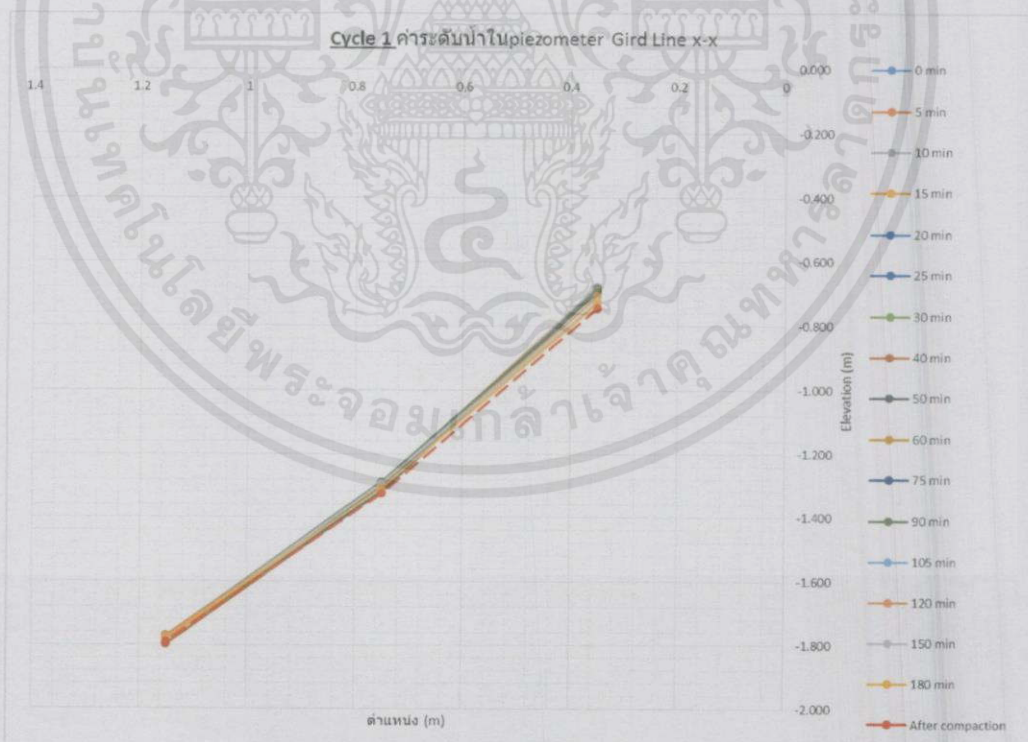
รูป 4.20 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆ ในรอบที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.22 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line z-z ในรอบที่ 1



รูป 4.23 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line x-x ในรอบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบที่ 2

ตึมน้ำหนัก 3 ตัน

ความสูงยก 2 เมตร

จำนวนการทุบ 25 ครั้ง

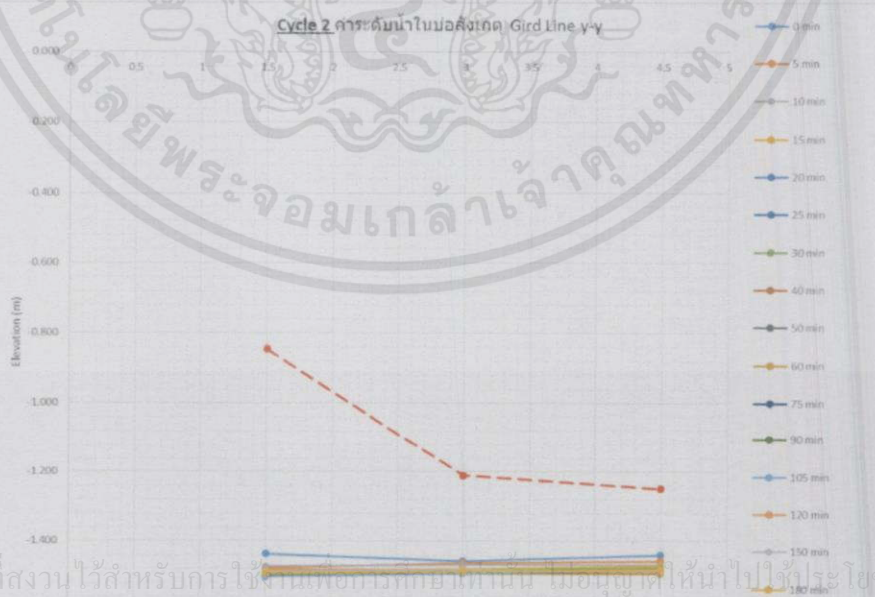
พลังงานในการทุบ 1471.5 kJ

ระยะความลึกอิทธิพล 0.980 เมตร

Vacuum										
Station Time (min)	1	2	3	4	5	6	A	B	C	remark
0	-1.436	-1.458	-1.440	-1.455	-1.458	-1.437	-0.932	-1.350	-1.889	
5	-1.478	-1.463	-1.458	-1.455	-1.433	-1.438	-0.933	-1.353	-1.888	
10	-1.473	-1.468	-1.468	-1.457	-1.433	-1.433	-0.941	-1.353	-1.895	
15	-1.485	-1.481	-1.473	-1.481	-1.452	-1.446	-0.938	-1.353	-1.898	
20	-1.488	-1.483	-1.478	-1.477	-1.443	-1.443	-0.938	-1.363	-1.888	
25	-1.488	-1.488	-1.478	-1.477	-1.418	-1.443	-0.943	-1.358	-1.888	
30	-1.488	-1.483	-1.478	-1.477	-1.443	-1.438	-0.943	-1.358	-1.888	
40	-1.493	-1.488	-1.483	-1.477	-1.443	-1.443	-0.938	-1.353	-1.888	
50	-1.498	-1.488	-1.488	-1.487	-1.453	-1.448	-0.943	-1.353	-1.888	
60	-1.493	-1.493	-1.493	-1.487	-1.463	-1.448	-0.943	-1.353	-1.883	
75	-1.495	-1.491	-1.488	-1.499	-1.463	-1.448	-0.950	-1.358	-1.893	
90	-1.498	-1.488	-1.488	-1.502	-1.458	-1.448	-0.948	-1.358	-1.888	
105	-1.503	-1.493	-1.483	-1.507	-1.448	-1.443	-0.948	-1.363	-1.893	
120	-1.482	-1.483	-1.490	-1.488	-1.446	-1.427	-0.947	-1.353	-1.883	
150	-1.488	-1.483	-1.488	-1.512	-1.458	-1.446	-0.963	-1.358	-1.893	
180	-1.493	-1.488	-1.483	-1.502	-1.458	-1.438	-0.958	-1.358	-1.893	

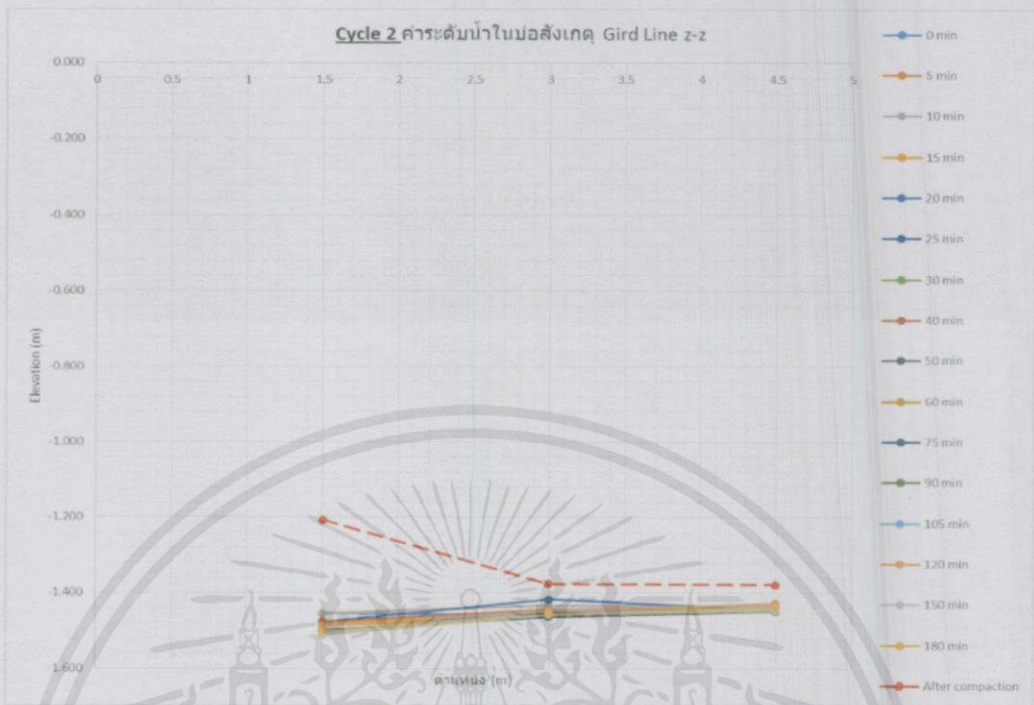
Dynamic Compaction										
Station Status	1	2	3	4	5	6	A	B	C	remark
Before	-1.493	-1.488	-1.483	-1.502	-1.458	-1.438	-0.958	-1.358	-1.893	
After	-0.846	-1.211	-1.249	-1.207	-1.376	-1.378	-0.968	-1.408	-1.943	

รูป 4.24 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆ ในรอบที่ 2

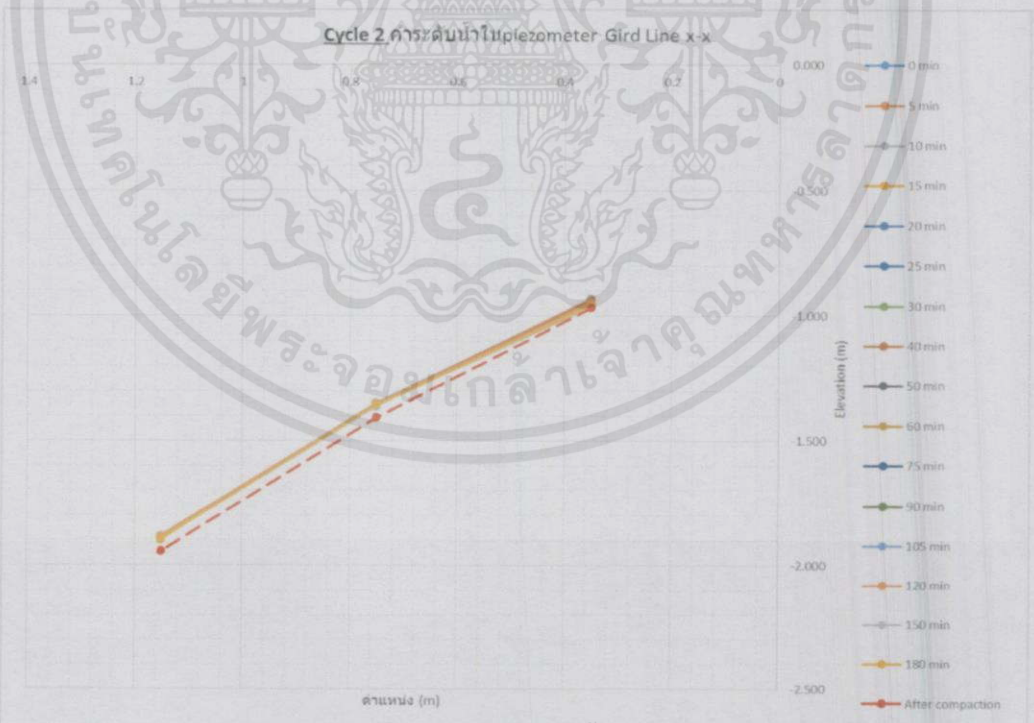


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า มีอยู่ผู้ใดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

รูป 4.25 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line y-y ในรอบที่ 2



รูป 4.26 ระดับน้ำในมอสังเกตแนว Grid line z-z ในรอบที่ 2



รูป 4.27 ระดับน้ำในมอสังเกตแนว Grid line x-x ในรอบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอบที่ 3

ตึมน้ำหนัก 3 ตัน

ความสูงยก 2 เมตร

จำนวนการทุบ 25 ครั้ง

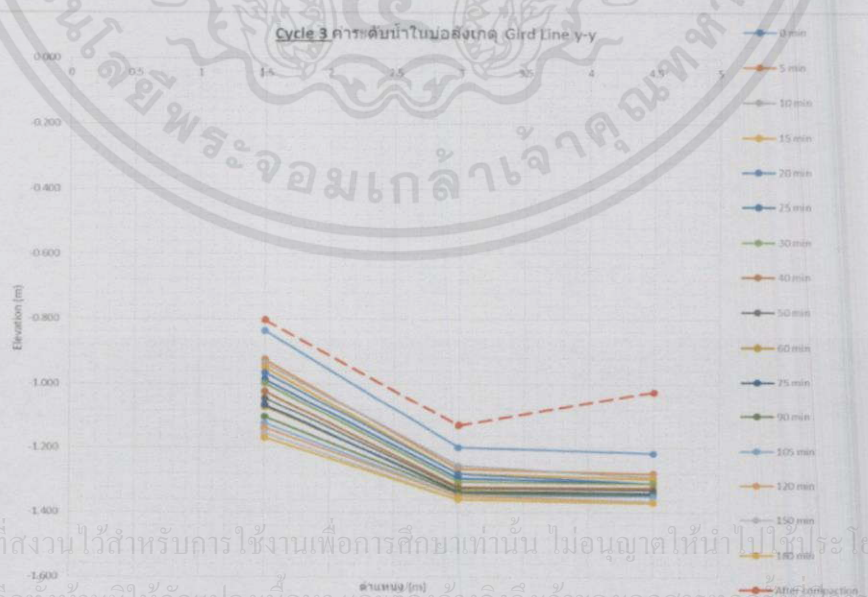
พลังงานในการทุบ 1471.5 kJ

ระยะความลึกอิทธิพล 0.980 เมตร

Vacuum										
Station Time (min)	1	2	3	4	5	6	A	B	C	remark
0	-0.836	-1.198	-1.216	-1.189	-1.374	-1.377	-0.952	-1.321	-1.876	
5	-0.925	-1.265	-1.279	-1.237	-1.379	-1.377	-0.942	-1.321	-1.866	
10	-0.935	-1.255	-1.290	-1.244	-1.386	-1.378	-0.932	-1.316	-1.876	
15	-0.948	-1.280	-1.295	-1.254	-1.386	-1.378	-0.932	-1.316	-1.876	
20	-0.965	-1.280	-1.310	-1.259	-1.386	-1.378	-0.942	-1.321	-1.876	
25	-0.985	-1.294	-1.310	-1.269	-1.386	-1.378	-0.937	-1.321	-1.876	
30	-0.998	-1.305	-1.310	-1.274	-1.386	-1.378	-0.937	-1.321	-1.876	
40	-1.023	-1.320	-1.325	-1.299	-1.386	-1.378	-0.937	-1.321	-1.876	
50	-1.043	-1.325	-1.330	-1.299	-1.386	-1.378	-0.937	-1.321	-1.876	
60	-1.070	-1.332	-1.341	-1.314	-1.386	-1.384	-0.935	-1.313	-1.876	
75	-1.064	-1.336	-1.341	-1.319	-1.386	-1.367	-0.932	-1.312	-1.886	
90	-1.103	-1.340	-1.345	-1.329	-1.386	-1.367	-0.932	-1.313	-1.876	
105	-1.123	-1.350	-1.350	-1.434	-1.386	-1.367	-0.932	-1.311	-1.876	
120	-1.138	-1.350	-1.365	-1.349	-1.386	-1.367	-0.932	-1.311	-1.876	
150	-1.153	-1.360	-1.365	-1.354	-1.386	-1.367	-0.932	-1.311	-1.876	
180	-1.168	-1.360	-1.370	-1.355	-1.386	-1.367	-0.932	-1.316	-1.876	

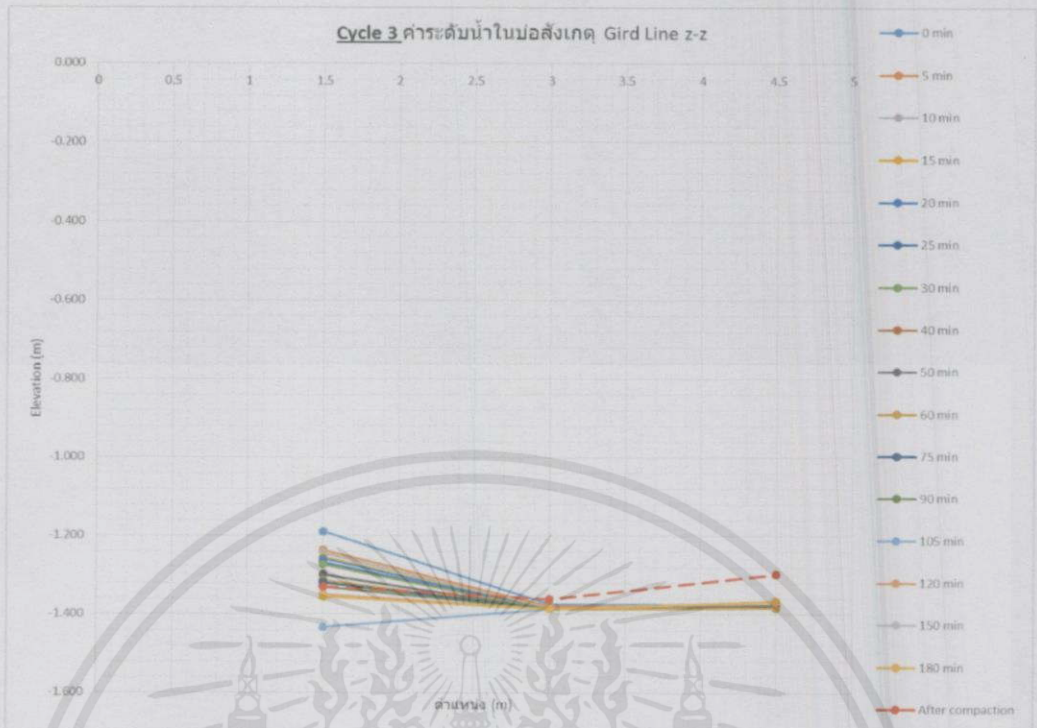
Dynamic Compaction										
Station Status	1	2	3	4	5	6	A	B	C	remark
Before	-1.168	-1.360	-1.370	-1.355	-1.386	-1.367	-0.932	-1.316	-1.876	
After	-0.803	-1.130	-1.025	-1.329	-1.361	-1.297	-1.412	-1.361	-1.946	

รูป 4.28 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer ณ ตำแหน่งต่างๆ ในรอบที่ 3

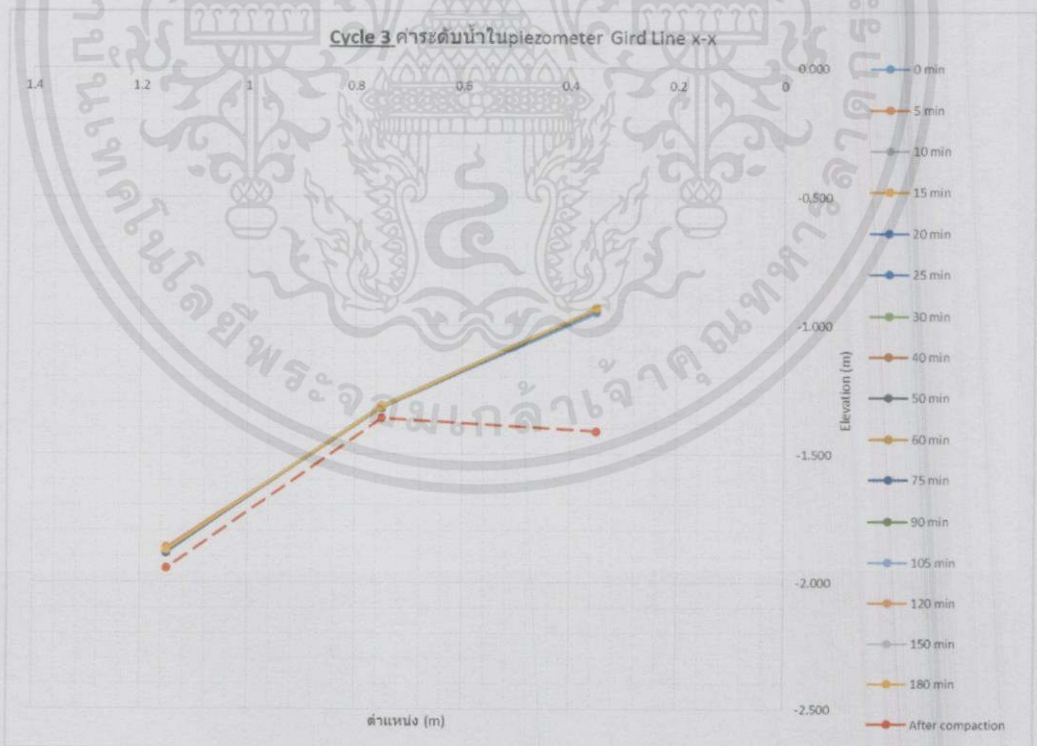


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.29 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line y-y ในรอบที่ 3



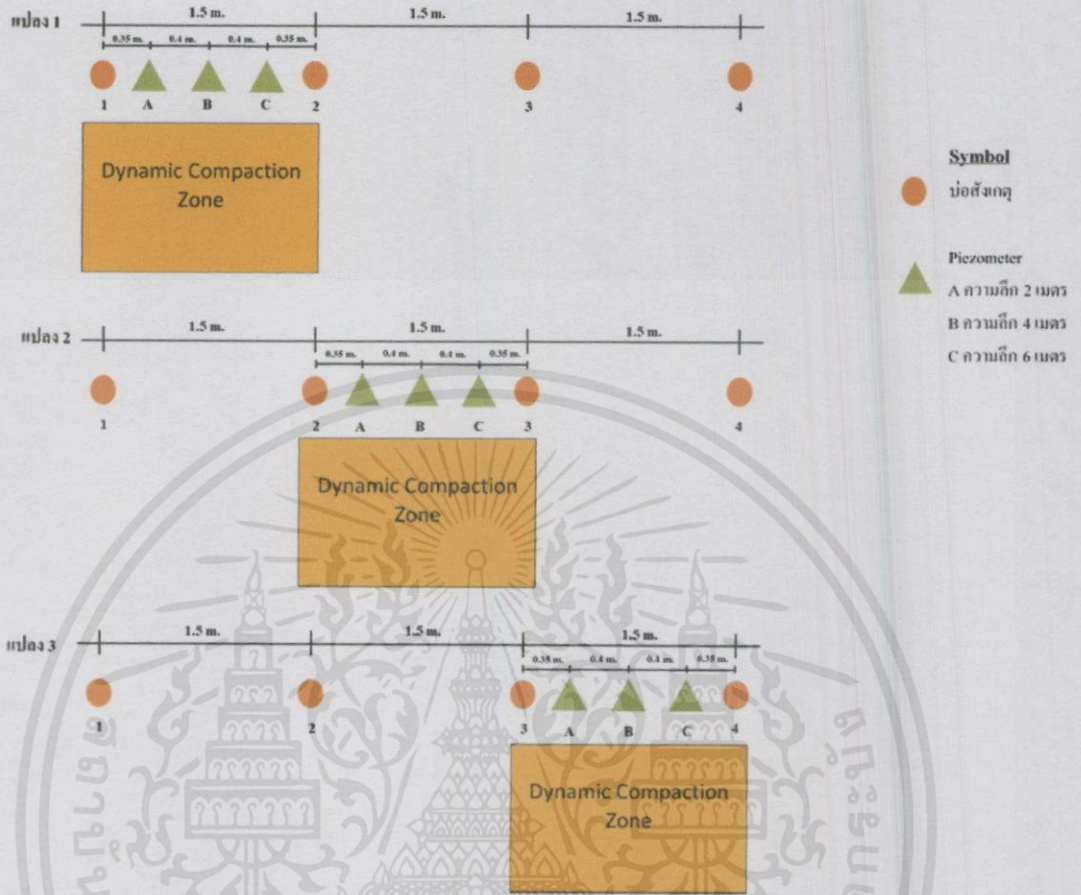
รูป 4.30 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line z-z ในรอบที่ 3



รูป 4.31 ระดับน้ำในบ่อสังเกตแนว Grid line x-x ในรอบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ค่าระดับน้ำบริเวณแปลงคูน้ำเฉพาะชั้นความลึก



รูป 4.32 แผนผังแปลงบริเวณแปลงคูน้ำเฉพาะชั้นความลึก

บริเวณแปลงที่ 1 เมื่อสูบน้ำออกจาก Piezometer ตำแหน่ง A

ความลึก Piezometer 2 m

ทำการทาบหลังจากเวลาผ่านไป 40 นาที

ค้ำน้ำหนัก 3 ตัน

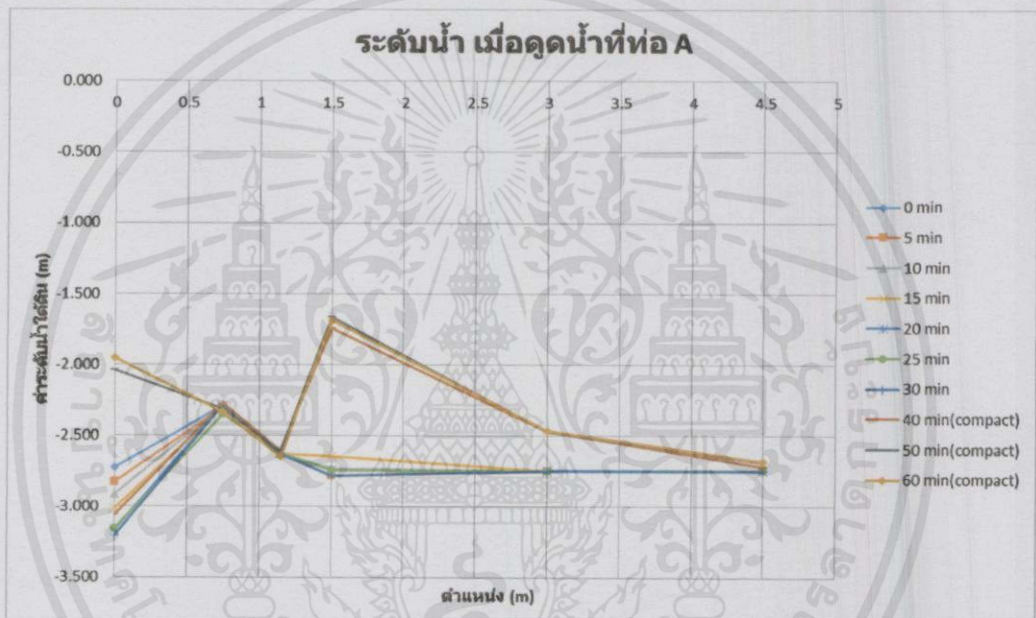
ความสูงยก 2 เมตร

จำนวนการทาบ 50 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษารายงาน ไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 พลังงานในการทาบ 2943 kJ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ระยะความลึกอิทธิพล 0.980 เมตร

Sta	1	2	3	4	A	B	C	remark
0	-2.725	-2.742	-2.743	-2.740		-2.287	-2.621	
5	-2.830	-2.785	-2.750	-2.749		-2.300	-2.625	
10	-2.912	-2.733	-2.746	-2.745		-2.290	-2.630	
15	-3.017	-2.645	-2.746	-2.748		-2.298	-2.631	
20	-3.170	-2.745	-2.750	-2.747		-2.285	-2.628	
25	-3.156	-2.745	-2.750	-2.745		-2.350	-2.625	
30	-3.210	-2.785	-2.750	-2.746		-2.286	-2.627	
40	-3.061	-1.744	-2.468	-2.713		-2.271	-2.604	compaction 20 time
50	-2.037	-1.666	-2.472	-2.687		-2.311	-2.614	compaction 20 time
60	-1.956	-1.688	-2.467	-2.679		-2.334	-2.649	compaction 10 time

รูป 4.33 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer เมื่อสูบน้ำออกจาก Piezometer ตำแหน่ง A



รูป 4.34 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer เมื่อสูบน้ำที่ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณแปลงที่ 2 เมื่อสูบน้ำออกจาก Piezometer ตำแหน่ง B

ความลึก Piezometer 4 m

ทำการทาบหลังจากเวลาผ่านไป 30 นาที

ตึมน้ำหนัก 3 ตัน

ความสูงยก 2 เมตร

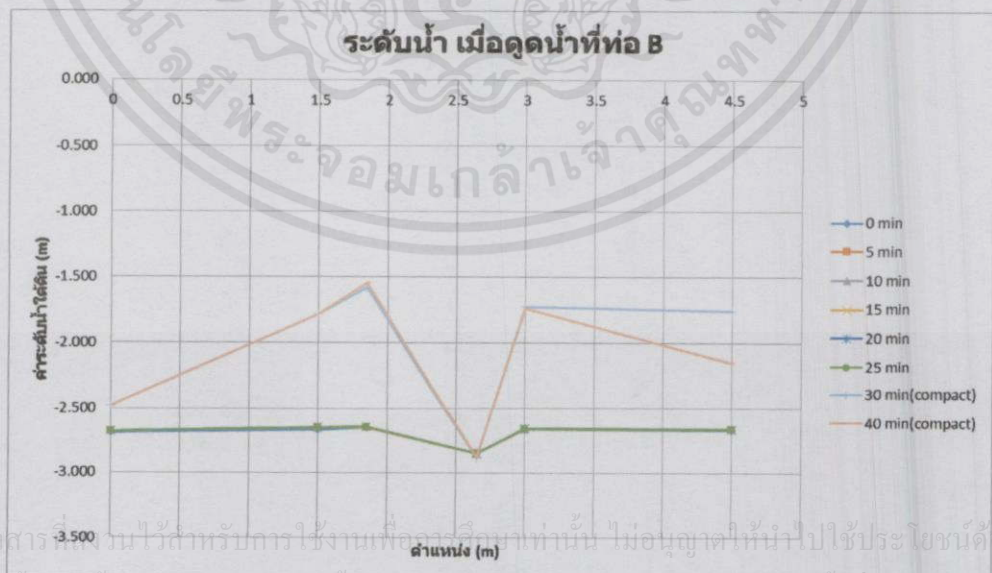
จำนวนการทาบ 50 ครั้ง

พลังงานในการทาบ 2943 kJ

ระยะความลึกอิทธิพล 0.980 เมตร

Sta Time(min)	1	2	3	4	A	B	C	remark
0	-2.693	-2.673	-2.665	-2.670	-2.655	0.000	-2.850	
5	-2.685	-2.653	-2.664	-2.663	-2.656	0.000	-2.853	
10	-2.685	-2.653	-2.666	-2.660	-2.649	0.000	-2.853	
15	-2.685	-2.653	-2.662	-2.665	-2.649	0.000	-2.853	ไม่มีน้ำไหลออก
20	-2.685	-2.653	-2.662	-2.665	-2.649	0.000	-2.853	ไม่มีน้ำไหลออก
25	-2.684	-2.652	-2.662	-2.665	-2.649	0.000	-2.853	ไม่มีน้ำไหลออก
30	-2.480	-1.785	-1.724	-1.757	-1.581	0.000	-2.884	compaction 20 times
40	-2.480	-1.785	-1.734	-2.147	-1.546	0.000	-2.879	compaction 30 times

รูป 4.35 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer เมื่อสูบน้ำออกจาก Piezometer ตำแหน่ง B



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.36 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer เมื่อสูบน้ำที่ B

บริเวณแปลงที่ 3 เมื่อสูบน้ำออกจาก Piezometer ตำแหน่ง C

ความลึก Piezometer 6 m

ทำการทาบหลังจากเวลาผ่านไป 40 นาที

ตึมน้ำหนัก 3 ตัน

ความสูงยก 2 เมตร

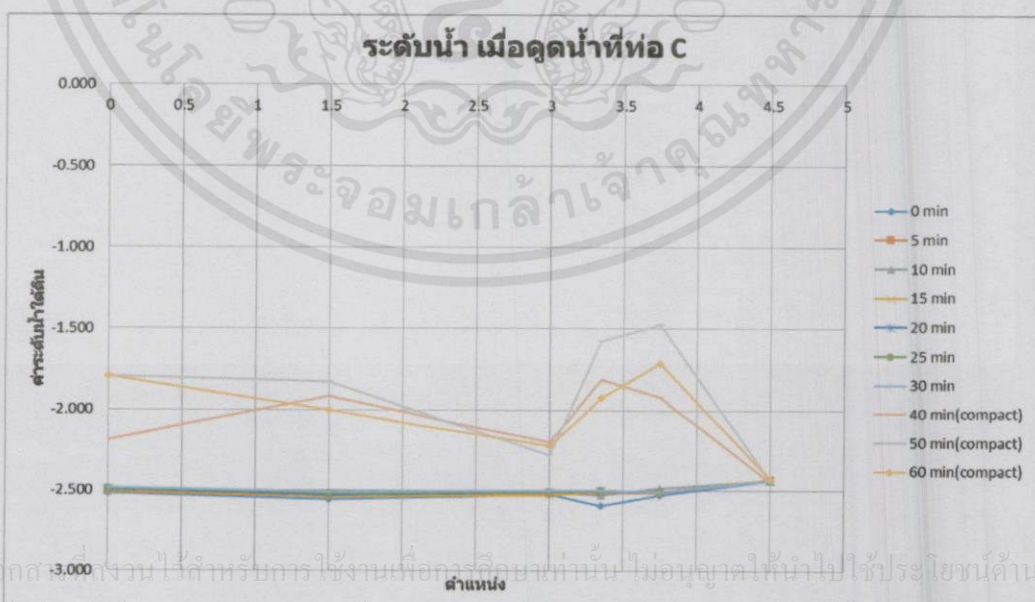
จำนวนการทาบ 50 ครั้ง

พลังงานในการทาบ 2943 kJr

ระยะความลึกอิทธิพล 0.980 เมตร

Sta	1	2	3	4	A	B	C	remark
0	-2.518	-2.558	-2.523	-2.438	-2.595	-2.531	-4.500	
5	-2.514	-2.537	-2.518	-2.434	-2.515	-2.516	-4.500	
10	-2.508	-2.528	-2.517	-2.439	-2.530	-2.486	-4.500	
15	-2.503	-2.538	-2.529	-2.434	-2.504	-2.511	-4.500	
20	-2.498	-2.528	-2.508	-2.439	-2.505	-2.511	-4.500	
25	-2.493	-2.518	-2.508	-2.439	-2.500	-2.511	-4.500	
30	-2.488	-2.508	-2.503	-2.439	-2.500	-2.511	-4.500	
40	-2.184	-1.918	-2.200	-2.448	-1.810	-1.922	-4.500	compaction 20 time
50	-1.794	-1.828	-2.280	-2.438	-1.575	-1.472	-4.500	compaction 20 time
60	-1.794	-2.003	-2.225	-2.428	-1.925	-1.712	-4.500	compaction 10 time

รูป 4.37 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer เมื่อสูบน้ำออกจาก Piezometer ตำแหน่ง c



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.38 ระดับน้ำในท่อสังเกต และ Piezometer เมื่อสูบน้ำที่ C

บทที่ 5

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการดำเนินงานวิจัยเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ระดับน้ำบริเวณแปลง DC
2. ระดับน้ำบริเวณแปลง HVDM
3. ระดับน้ำบริเวณแปลงคูน้ำเฉพาะชั้นความลึก

5.1 ระดับน้ำบริเวณแปลง DC

จากรูป 4.7 ,4.8 และ 4.9 พบว่า ระดับน้ำในท่อพีโซมิเตอร์ที่ตำแหน่ง A (ความลึก 2 เมตร) ทั้งสามแปลงการทดลอง จะได้รับอิทธิพลเนื่องจากการบดอัดด้วยค้อนน้ำหนักมากที่สุด โดยระดับน้ำมีการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงการทุบ 10 ครั้งแรก ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลความลึกจากการบดอัดแบบไดนามิกมีค่า 1.55 เมตร ซึ่งท่อพีโซมิเตอร์ที่ตำแหน่ง A มีความลึก 2 เมตร อยู่ใกล้กับอิทธิพลการบดอัดมากที่สุดและพบว่าระดับน้ำในท่อพีโซมิเตอร์ที่ตำแหน่ง C (ความลึก 6 เมตร) ทั้งสามแปลงมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากความลึกท่อพีโซมิเตอร์ห่างจากอิทธิพลการบดอัดมาก

ตาราง 5.1 ความแตกต่างของระดับน้ำก่อนและหลังการบดอัดแบบไดนามิกในท่อพีโซมิเตอร์ที่ตำแหน่ง A

No.Blow	พลังงานในการทุบ (kJ)	ระดับน้ำ (m)		Different
		Before	After	
20	2943.0	-1.720	-0.590	1.130
30	4414.5	-1.733	-0.733	1.000
40	5886.0	-1.747	-1.142	0.605

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

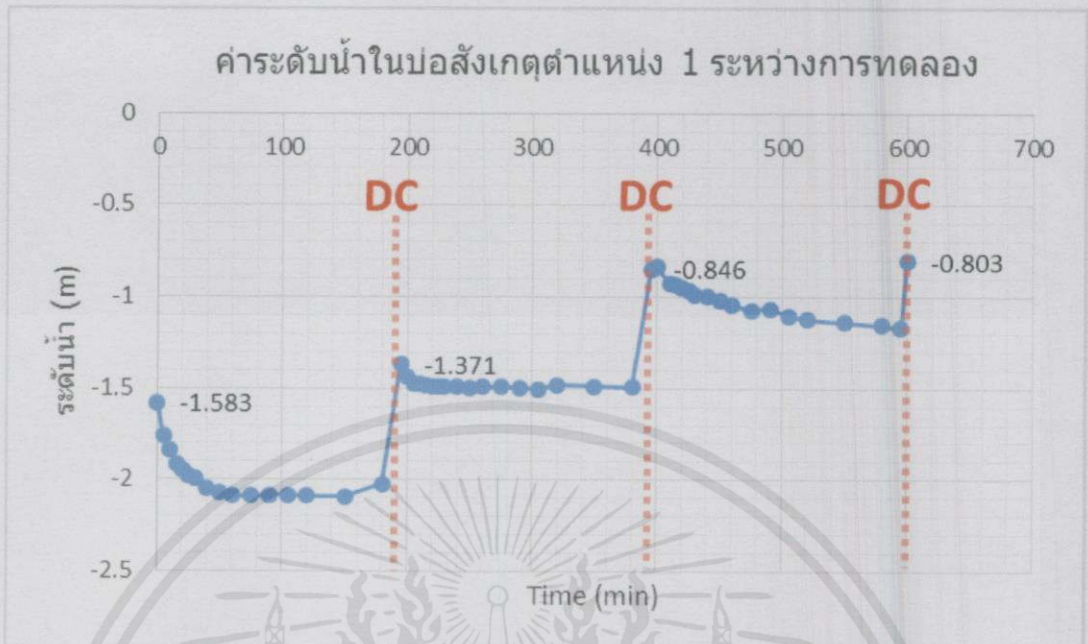
จากตาราง 5.1 เมื่อพิจารณาเฉพาะท่อพีโซมิเตอร์ที่ตำแหน่ง A มีความลึก 2 เมตร พบว่าเมื่อทวบค้อดดินแบบไดนามิกด้วยค้่มน้ำหน้กจำนวน 20 คร้ัง ความแตกต้งของระดับน้ำก่อกน และหล้งการบค้อดมีความเปล้ยนเปล้งมกที่สดุเท้กบ 1.130 เมตร ท้ั้งนี้เน้ืองจกท่อพีโซมิเตอร์ที่ ค้่าหน้ง A ความลึก 2 เมตร อยู่ใกล้ก้บอิทธิพลความลึกมกที่สดุเน้ือง

5.2 ระดับน้ำบริเวณแปลง HVDM

จากรูป 4.11 ,4.12 ,4.14 ,4.15 ,4.17 และ 4.18 พบว้ในแต่ละรอบการทดลอง ระดับน้ำในท่อสังกตที่ค้่าหน้ง 1 , 2 และ 3 (Grid line y-y) และในท่อสังกตที่ค้่าหน้ง 4 , 5 และ 6 (Grid line z-z) ลดลงตามระยะเวลาก้ใช้ในการคู้ดน้ำออก และหล้งจกการทวบค้อดด้วยค้่มน้ำหน้ก ระดับน้ำเปล้ขึ้นอย้างเห็น ได้ชัด

จากรูป 4.13,4.16 และ 4.19 พบว้ในแต่ละรอบการทดลอง ระดับน้ำในท่อพีโซ มิเตอร์ที่ค้่าหน้ง A , B และ C แทบไม่มีกรเปล้ยนเปล้งในท้้ขณะคู้ดน้ำออก และหล้งจกที่ด้รับ การบค้อดแบบไดนามิก

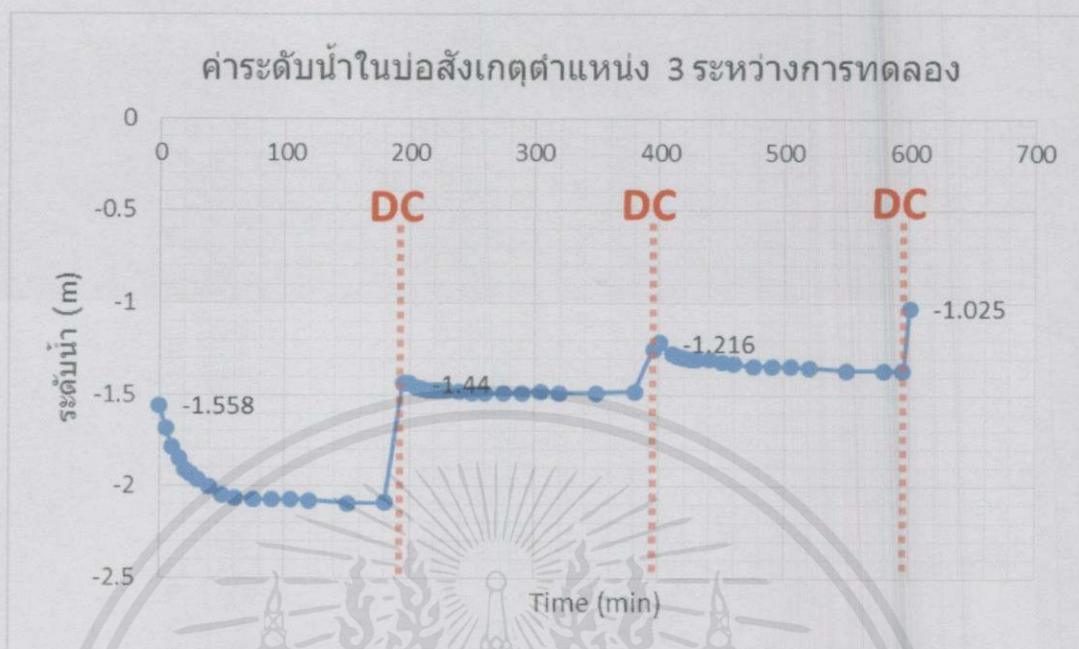
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ นำไปใช้ประโยชน์ ค้่านการค้่า
ไม่ว้กรณีใด ๆ ท้้งสิ้น อีกท้้งห้ามมิให้คัดเปล้งเน้ือหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกคร้ังที่มีกรนำ ไปใช้



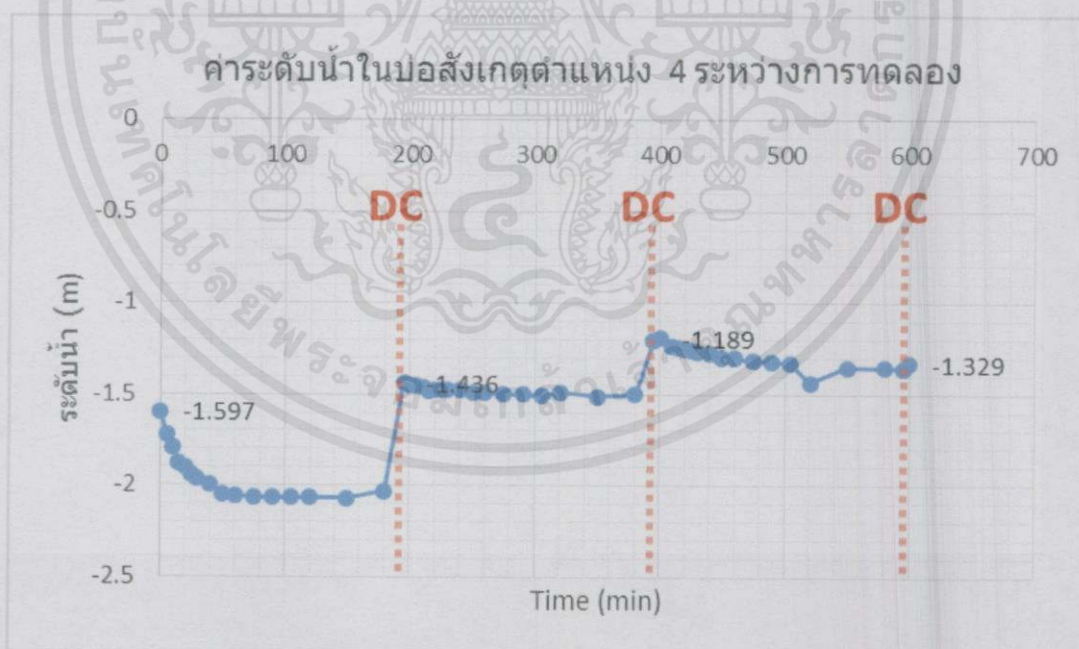
รูป 5.1 กราฟแสดงระดับน้ำในบ่อสังเกตตำแหน่งที่ 1 ระหว่างการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเนื้อหาในเอกสารนี้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

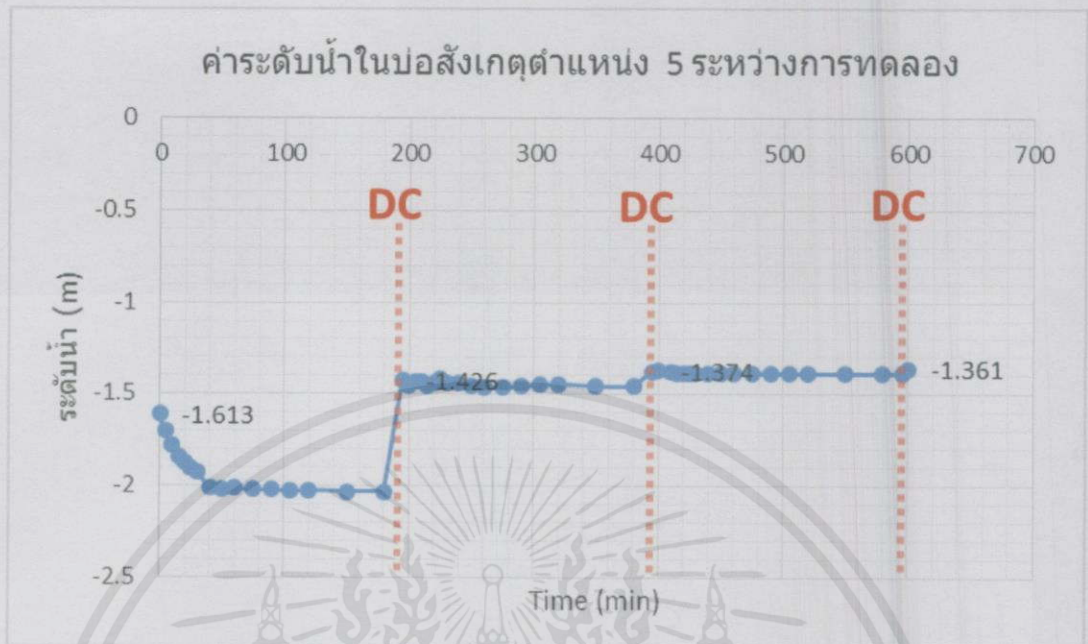


รูป 5.3 กราฟแสดงระดับน้ำในบ่อสังเกตตำแหน่งที่ 3 ระหว่างการทดลอง

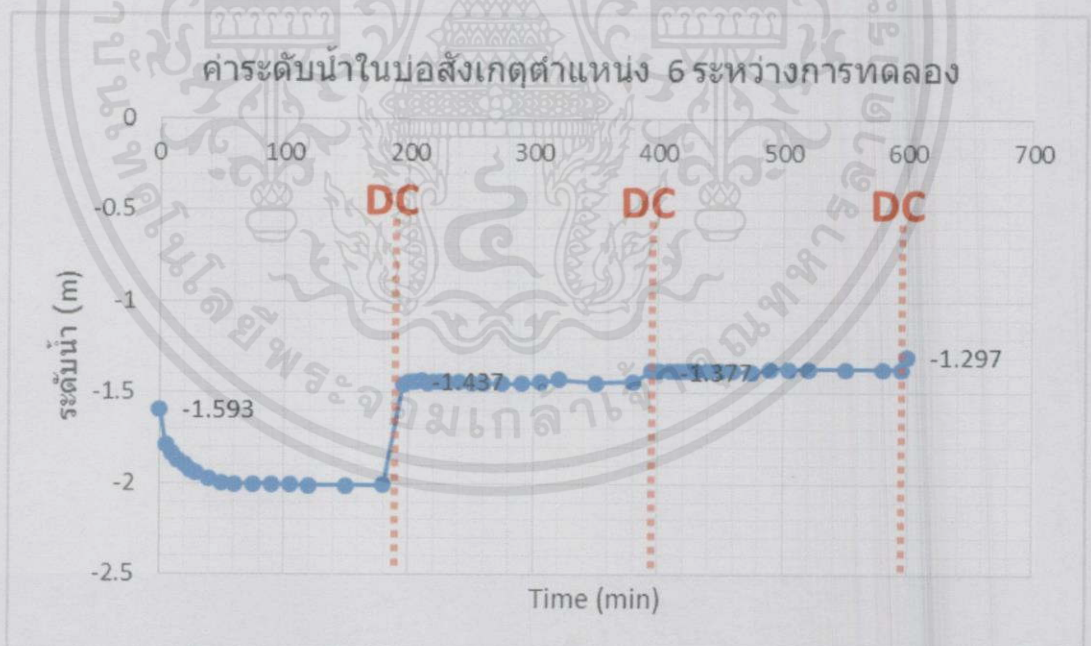


รูป 5.4 กราฟแสดงระดับน้ำในบ่อสังเกตตำแหน่งที่ 4 ระหว่างการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับบริษัท ซึ่งห้ามเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัท วิศวกรโยธาโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.5 กราฟแสดงระดับน้ำในบ่อสังเกตตำแหน่งที่ 4 ระหว่างการทดลอง



รูป 5.6 กราฟแสดงระดับน้ำในบ่อสังเกตตำแหน่งที่ 4 ระหว่างการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนพระอภัยมณีวิทยานานาชาติ
 หมายเหตุ (รูป 5.1-5.6) : DC หมายถึง กระบวนการทวนสอบด้วยไดนามิกไฮดรอนิคส์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 5.1-5.3 เมื่อพิจารณาตลอดรอบการทดลองทั้ง 3 รอบ ระดับน้ำในท่อสังเกตที่ตำแหน่ง 1 , 2 และ 3 (Gird line y-y) ลดลงอย่างเห็นได้ชัดในรอบแรกของการดูดน้ำออกด้วยระบบสุญญากาศ แต่ในรอบที่ 2 และ 3 ระดับน้ำลดลงเพียงเล็กน้อย และระดับน้ำมีการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อได้รับการทวบค้อดแบบไดนามิก ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำจะลดหลั่นลงตามรอบการทดลอง โดยระดับน้ำในท่อสังเกตที่ตำแหน่ง 1 ซึ่งมีระยะห่างจากท่อดูดน้ำ 1.5 เมตร มีระดับน้ำหลังการทดลองเทียบกับก่อนการทดลองเปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากท่อสังเกตที่ตำแหน่งที่ 1 อยู่ใกล้กับบริเวณที่ได้รับการทวบค้อดแบบไดนามิกมากที่สุด

จากรูป 5.4-5.6 เมื่อพิจารณาตลอดรอบการทดลองทั้ง 3 รอบ ระดับน้ำในท่อสังเกตที่ตำแหน่ง 4 , 5 และ 6 (Gird line z-z) มีแนวโน้มใกล้เคียงกับท่อสังเกตที่ตำแหน่ง 1 , 2 และ 3 (Gird line y-y) โดยระดับน้ำในท่อสังเกตที่ตำแหน่ง 4 ซึ่งมีระยะห่างจากท่อดูดน้ำ 1.5 เมตร มีระดับน้ำหลังการทดลองเทียบกับก่อนการทดลองเปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด

5.3 ระดับน้ำบริเวณแปลงดูดน้ำเฉพาะชั้นความลึก

จากรูป 4.21 พบว่าจากการดูดน้ำออกจากดินเหนียวที่ชั้นความลึก 2 เมตร ระดับน้ำในบ่อสังเกตข้างเคียงมีค่าลดลงเล็กน้อยตามเวลา และเมื่อทำการทวบค้อดแบบไดนามิกระดับน้ำมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาที่รูป 4.22 และ 4.23 ซึ่งดูดน้ำออกจากดินเหนียวที่ชั้นความลึก 4 เมตร และ 6 เมตร ตามลำดับ พบว่าระดับน้ำในบ่อสังเกตข้างเคียงแทบจะ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย ในขณะที่ดูดน้ำออก

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาแรงดันน้ำใต้ดินของดินเหนียวที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธี HVDM สามารถสรุปได้ตามการทดลองดังต่อไปนี้

6.1.1 ผลสรุปจากการทดลองในแปลง Dynamic Compaction

ค่าระดับน้ำในพิโซมิเตอร์ที่ตำแหน่ง A ความลึก 2 เมตร จะได้รับอิทธิพลจากการบดอัดแบบไดนามิกมากที่สุด โดยใช้ตุ้มน้ำหนักขนาด 3000 กิโลกรัม ยกสูงจากพื้นดิน 5 เมตร อิทธิพลความลึก 1.55 เมตร

การทุบอัดด้วยตุ้มน้ำหนักขนาด 3000 กิโลกรัม ยกสูงจากพื้นดิน 5 เมตร อิทธิพลความลึก 1.55 เมตร เป็นจำนวนทั้งสิ้น 20 ครั้ง ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำก่อนการทดลองเทียบกับหลังการทดลองในพิโซมิเตอร์ที่ตำแหน่ง A มากที่สุด เท่ากับ 1.130 เมตร

6.1.2 ผลสรุปจากการทดลองในแปลง HVDM

การทุบอัดแบบไดนามิกส่งผลให้เกิดแรงดันน้ำเชิงบวกขึ้นในดิน โดยสังเกตได้จากระดับน้ำในท่อสังเกตที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

ระดับน้ำในท่อสังเกตที่ตำแหน่ง 1 และ 4 ซึ่งมีระยะห่างจากท่อคูน้ำ 0.7 เมตร มีระดับน้ำหลังการทดลองเทียบกับก่อนการทดลองเปลี่ยนแปลงไปมากที่สุดเมื่อเทียบกับท่อ 2, 3, 5 และ 6 ทั้งนี้เนื่องจากท่อสังเกตที่ตำแหน่งที่ 1 และ 4 อยู่ใกล้กับบริเวณที่ได้รับการทุบอัดแบบไดนามิกมากที่สุด และค่าระดับน้ำในท่อสังเกตในทุกๆท่อหลังจากผ่านการทดลองในรอบแรก มีการลดลงเพียงเล็กน้อย

ระดับน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการปรับปรุงด้วยวิธี HVDM แต่ในการทดลองครั้งนี้สังเกตได้ว่าระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลง โดยมีการเพิ่มขึ้นและลดลง เมื่อทำการทุบอัดแบบ

ไดนามิกและการวัดด้วยสุญญากาศตามลำดับ เมื่อมองในภาพรวมระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.3 ผลสรุปจากการทดลองในแปลงคูน้ำเฉพาะชั้นความลึก

แรงดันเชิงลบจากระบบสุญญากาศอาจไม่เพียงพอที่จะดูดน้ำออกจากดินเหนียวที่มีความลึกมากกว่า 2 เมตร เนื่องจากในการคูน้ำออกจากดินที่ชั้นความลึก 4 เมตรและ 6 เมตรพบว่าระดับน้ำในบ่อสังเกตข้างเคียงมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย จึงควรเพิ่มแรงดันจากปั้มน้ำให้มากขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการคูน้ำในระดับความลึกที่มากขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดสอบการทวบดอัดแบบไดนามิกในดินเหนียวอ่อน ด้วยค้อนน้ำหนักขนาด 3000 กิโลกรัมยกสูงจากพื้นดิน 5 เมตร อิทธิพลความลึก 1.55 เมตรเมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านค่าใช้จ่าย ระยะเวลา และประสิทธิภาพในการทวบดอัดแบบไดนามิกแล้ว พบว่าการทวบเป็นจำนวนครั้งทั้งสิ้น 20 ครั้งเหมาะสมกับการทดลองนี้มากที่สุด

2. จากการทดลองหากต้องการที่จะปรับปรุงดินในชั้นความลึกที่ลึกกว่า 1.5 เมตร ควรเพิ่มระยะอิทธิพลความลึกจากการบดอัดแบบไดนามิกให้มากขึ้น โดยการเพิ่มน้ำหนักของค้อนน้ำหนักให้มีน้ำหนักมากขึ้นหรือเพิ่มระยะยกค้อนน้ำหนักให้สูงมากขึ้น

3. ในการทดลองแปลง HVDM ในช่วงการคูน้ำออกด้วยระบบสุญญากาศเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 3 ชั่วโมงต่อ 1 รอบการทดลอง จากการทดลองพบว่าในรอบการทดลองที่ 2 และ 3 ระดับน้ำมีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างช้าๆ แต่ในช่วงเวลาเพียงแค่ 3 ชั่วโมงจะไม่เพียงพอที่จะสามารถบ่งบอกความเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำได้อย่างชัดเจน จึงควรเพิ่มระยะเวลาในการคูน้ำด้วยระบบสุญญากาศเพิ่มขึ้นมากขึ้น หรือควรเพิ่มขนาดของแรงดันที่ใช้คูน้ำออกด้วยระบบสุญญากาศด้วยการเพิ่มแรงดันของระบบสุญญากาศด้วย

4. ในภาพรวมระดับน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนักจึงควรเพิ่มระยะเวลาในการคูน้ำด้วยระบบสุญญากาศเพิ่มขึ้นมากขึ้น และควรเพิ่มขนาดของแรงดันที่ใช้คูน้ำออกด้วยระบบสุญญากาศด้วยการเพิ่มแรงดันการระบบสุญญากาศ รวมถึงเพิ่มพลังงานในการทวบดอัดแบบไดนามิกอย่างมาก เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งควรพิจารณาจากประเภทของดิน ความลึกของท่อคูน้ำและขนาดของพื้นที่ทดลองด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะตีพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

มณเฑียร กังศศิเทียม. 2547. กลศาสตร์เชิงดินด้านวิศวกรรม. กรุงเทพฯ :

สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์.

สุพจน์ ศรีนิล, แผลมทอง เหล่าคงถาวร และชลธี เร่บ้านเกาะ. 2555.

คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์. กรุงเทพฯ : มิน เซอร์วิส ซัพพลาย.

หฤทส์ถ์ พ่อบาล. 2557. “การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯด้วยเทคนิค HVDM.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ไทรภพ คนชม. 2556. “สัมประสิทธิ์ของการอัดตัวคาน้ำในแนวราบและแนวรัศมีของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จิราพร โพธิ์ชัย. 2546. “พฤติกรรมการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯเมื่อปรับปรุงด้วย PVD.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Liang, R.Y and Xu, S. “Innovative Soft Clay Improvements Using Vacuum and Dynamic Compaction” Department of Civil Engineering /University of Akron, Akron Ohio USA. Shanghai Geoharbor Group, Shanghai.

Indraratana, B and Rujikiatkamjorn, C. “Soft soils improved by prefabricated vertical drains.” Master.Thesis of university of Wollongong.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ข้อมูลค่าระดับปากท่อและระดับน้ำ

1.1 ค่าระดับปากท่อ

1.1.1 ระดับปากท่อในแปลงคูน้ำเฉพาะชั้นความลึก

ตาราง ผ1 ระดับปากท่อในแปลงคูน้ำเฉพาะชั้นความลึกที่ตำแหน่ง A และ B

Sta.	BS	HI	FS	Elev.	Remark
Piezometer Suction A					
BM1	0.980	0.980		0.000	ก่อนทบ
BM2	0.945				
1			1.590	-0.610	
A			1.570	-0.590	
B			1.560	-0.580	
C			1.545	-0.565	
2			1.635	-0.655	
3			1.660	-0.680	
4			1.660	-0.680	
Piezometer Suction B					
BM1	0.991	0.991		0.000	หลังทบ
BM2	0.960				
1			1.605	-0.614	
A			1.549	-0.558	
B			1.525	-0.534	
C			1.500	-0.509	
2			1.650	-0.659	
3			1.673	-0.682	
4			1.670	-0.679	
Piezometer Suction B					
BM1	0.982	0.982		0.000	ก่อนทบ
BM2	0.948				
1			1.764	-0.782	
A			1.604	-0.622	
B			1.645	-0.663	
C			1.661	-0.679	
2			1.760	-0.778	
3			1.722	-0.740	
4			1.690	-0.708	
Piezometer Suction B					
BM1	0.994	0.994		0.000	หลังทบ
BM2	0.952				
1			1.775	-0.781	
A			1.531	-0.537	
B			1.566	-0.572	
C			1.579	-0.585	
2			1.768	-0.774	
3			1.721	-0.727	
4			1.702	-0.708	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เนื้อหาใดๆ ของเอกสารนี้แก่บุคคลอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต
ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ2 ระดับปากท่อในแปลงดูน้ำเฉพาะชั้นความลึกที่ตำแหน่ง C

Piezometer Suction C					
BM1	0.988	0.988		0.000	ก่อนทบ
BM2	0.932				
1			1.748	-0.760	
A			1.545	-0.557	
B			1.521	-0.533	
C			1.591	-0.603	
2			1.663	-0.675	
3			1.683	-0.695	
4			1.754	-0.766	
BM1	0.994	0.994		0.000	หลังทบ
BM2	0.96				
1			1.754	-0.760	
A			1.455	-0.461	
B			1.472	-0.478	
C			1.582	-0.588	
2			1.668	-0.674	
3			1.650	-0.656	
4			1.758	-0.764	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.2 ระดับปากท่อในแปลง HVDM

ตาราง ผ3 ระดับปากท่อในแปลง HVDM

Sta.	BS	HI	FS	Elev.	Remark
BM	0.947	0.947		0.000	Cycle2
A			1.315	-0.368	ก่อนทบ
B			1.335	-0.388	
C			1.290	-0.343	
1			1.470	-0.523	
2			1.460	-0.513	
3			1.475	-0.528	
4			1.494	-0.547	
5			1.510	-0.563	
6			1.475	-0.528	
BM	0.928	0.928		0.000	หลังทบ
A			1.301	-0.373	
B			1.276	-0.348	
C			1.248	-0.320	
1			1.448	-0.520	
2			1.443	-0.515	
3			1.449	-0.521	
4			1.485	-0.557	
5			1.499	-0.571	
6			1.465	-0.537	
BM	0.938	0.938		0.000	Cycle3
A			0.818	0.120	
B			1.239	-0.301	
C			1.214	-0.276	
1			1.451	-0.513	
2			1.438	-0.500	
3			1.433	-0.495	
4			1.467	-0.529	
5			1.499	-0.561	
6			1.465	-0.527	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.3 ระดับปากท่อพิโซมิเตอร์ในแปลง Dynamic Compaction และ HVDM

ตาราง ผ4 ระดับปากท่อพิโซมิเตอร์ในแปลง Dynamic Compaction และ HVDM

Sta.	BS	HI	FS	Elev.	Remark
BM2	0.968	0.968		0.000	
SD1			1.468	-0.500	
SD2			1.585	-0.617	
SD3			1.570	-0.602	
SD4			1.619	-0.651	
SD5			1.712	-0.744	
SD6			1.439	-0.471	
SD7			1.505	-0.537	
SD8			1.609	-0.641	
SD9			1.610	-0.642	
A2			1.438	-0.470	Dynamic
A4			1.369	-0.401	
A6			1.375	-0.407	
B2			1.550	-0.582	
B4			1.482	-0.514	
B6			1.461	-0.493	
C2			1.551	-0.583	
C4			1.550	-0.582	
C6			1.500	-0.532	
D2			1.660	-0.692	
D4			1.539	-0.571	
D6			1.520	-0.552	
E2			1.620	-0.652	
E4			1.680	-0.712	
E6			1.590	-0.622	
BM3	1.344	0.776	1.536	-0.568	
SH1			1.353	-0.577	
SH2			1.515	-0.739	
SH3			1.417	-0.641	
SH4			1.423	-0.647	
SH5			1.485	-0.709	
SH6			1.363	-0.587	
SH7			1.348	-0.572	
SH8			1.539	-0.763	
SH9			1.392	-0.616	
A2			1.404	-0.628	HVDM
A4			1.396	-0.620	
A6			1.377	-0.601	
B2			1.415	-0.639	
B4			1.425	-0.649	
B6			1.470	-0.694	
C2			1.434	-0.658	
C4			1.465	-0.689	
C6			1.498	-0.722	
D2			1.452	-0.676	
D4			1.449	-0.673	
D6			1.415	-0.639	
E2			1.369	-0.593	
E4			1.350	-0.574	
E6			1.425	-0.649	
OW3			1.225	-0.449	
OW2			1.500	-0.724	
OW1			1.405	-0.629	
BM2			0.780	-0.004	
ΣBS	2.312	ΣFS	2.316		
diff	-0.004		$12\sqrt{K} =$	0.005367	OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ สำหรับใช้ในโครงการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ระดับน้ำ

1.2.1 ระดับน้ำในแปลง Dynamic Compaction

ตาราง ผ5 ระดับน้ำในท่อพีโซมิเตอร์ในแปลง Dynamic Compaction แปลงที่ 1

No.Blow	Station Status	A	B	C
10	Before	-1.720	-1.696	-1.557
	After	-0.690	-1.436	-1.577
10	Before	-0.690	-1.436	-1.577
	After	-0.590	-1.143	-1.626

ตาราง ผ6 ระดับน้ำในท่อพีโซมิเตอร์ในแปลง Dynamic Compaction แปลงที่ 2

No.Blow	Station Status	A	B	C
10	Before	-1.733	-1.512	-1.727
	After	-0.633	-1.517	-1.922
10	Before	-0.633	-1.517	-1.982
	After	-0.683	-0.782	-1.952
10	Before	-0.683	-0.782	-1.330
	After	-0.733	-1.547	-1.390

ตาราง ผ7 ระดับน้ำในท่อพีโซมิเตอร์ในแปลง Dynamic Compaction แปลงที่ 3

No.Blow	Station Status	A	B	C
10	Before	-1.747	-1.592	-1.772
	After	-0.802	-1.682	-1.862
10	Before	-0.802	-1.682	-1.862
	After	-0.852	-1.757	-1.937
10	Before	-0.852	-1.757	-1.937
	After	-1.102	-1.734	-2.007
10	Before	-1.102	-1.734	-2.007
	After	-1.142	-1.812	-2.032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 ระดับน้ำในแปลง HVDM

ตาราง ผ8 ระดับน้ำในแปลง HVDM รอบที่ 1

Vacuum										
Station Time (min)	1	2	3	4	5	6	A	B	C	remark
0	-1.583	-1.583	-1.558	-1.597	-1.613	-1.593	-0.683	-1.298	-1.773	
5	-1.763	-1.743	-1.688	-1.727	-1.703	-1.788	-0.678	-1.298	-1.773	
10	-1.838	-1.838	-1.788	-1.797	-1.783	-1.833	-0.678	-1.308	-1.773	
15	-1.913	-1.873	-1.848	-1.877	-1.843	-1.878	-0.684	-1.308	-1.778	
20	-1.948	-1.943	-1.908	-1.902	-1.873	-1.898	-0.683	-1.308	-1.778	
25	-1.978	-1.963	-1.933	-1.942	-1.903	-1.928	-0.688	-1.318	-1.778	
30	-1.993	-1.988	-1.963	-1.962	-1.923	-1.943	-0.688	-1.318	-1.798	
40	-2.048	-2.031	-2.003	-1.997	-2.013	-1.978	-0.688	-1.318	-1.798	
50	-2.068	-2.068	-2.046	-2.052	-2.018	-1.998	-0.688	-1.318	-1.784	
60	-2.088	-2.071	-2.060	-2.056	-2.013	-2.003	-0.690	-1.298	-1.771	
75	-2.088	-2.073	-2.068	-2.067	-2.023	-2.003	-0.693	-1.298	-1.778	
90	-2.085	-2.073	-2.073	-2.067	-2.023	-2.003	-0.693	-1.288	-1.775	
105	-2.083	-2.077	-2.070	-2.067	-2.028	-2.008	-0.708	-1.293	-1.775	
120	-2.088	-2.077	-2.076	-2.067	-2.026	-2.013	-0.708	-1.296	-1.775	
150	-2.093	-2.083	-2.094	-2.072	-2.033	-2.013	-0.723	-1.293	-1.788	
180	-2.023	-2.083	-2.088	-2.032	-2.033	-2.008	-0.728	-1.308	-1.783	

Dynamic Compaction										
Station Status	1	2	3	4	5	6	A	B	C	remark
Before	-2.023	-2.083	-2.088	-2.032	-2.033	-2.008	-0.728	-1.308	-1.783	
After	-1.371	-1.437	-1.434	-1.436	-1.426	-1.456	-0.744	-1.325	-1.790	

ตาราง ผ9 ระดับน้ำในแปลง HVDM รอบที่ 2

Vacuum										
Station Time (min)	1	2	3	4	5	6	A	B	C	remark
0	-1.436	-1.458	-1.440	-1.455	-1.458	-1.437	-0.932	-1.350	-1.889	
5	-1.478	-1.463	-1.458	-1.455	-1.433	-1.438	-0.933	-1.353	-1.888	
10	-1.473	-1.468	-1.468	-1.457	-1.433	-1.433	-0.941	-1.353	-1.895	
15	-1.485	-1.481	-1.473	-1.481	-1.452	-1.446	-0.938	-1.353	-1.898	
20	-1.488	-1.483	-1.478	-1.477	-1.443	-1.443	-0.938	-1.363	-1.888	
25	-1.488	-1.488	-1.478	-1.477	-1.418	-1.443	-0.943	-1.358	-1.888	
30	-1.488	-1.483	-1.478	-1.477	-1.443	-1.438	-0.943	-1.358	-1.888	
40	-1.493	-1.488	-1.483	-1.477	-1.443	-1.443	-0.938	-1.353	-1.888	
50	-1.498	-1.488	-1.488	-1.487	-1.453	-1.448	-0.943	-1.353	-1.888	
60	-1.493	-1.493	-1.493	-1.487	-1.463	-1.448	-0.943	-1.353	-1.883	
75	-1.495	-1.491	-1.488	-1.499	-1.463	-1.448	-0.950	-1.358	-1.893	
90	-1.498	-1.488	-1.488	-1.502	-1.458	-1.448	-0.948	-1.358	-1.888	
105	-1.503	-1.493	-1.483	-1.507	-1.448	-1.443	-0.948	-1.363	-1.893	
120	-1.482	-1.483	-1.490	-1.488	-1.446	-1.427	-0.947	-1.353	-1.883	
150	-1.488	-1.483	-1.488	-1.512	-1.458	-1.446	-0.963	-1.358	-1.893	
180	-1.493	-1.488	-1.483	-1.502	-1.458	-1.438	-0.958	-1.358	-1.893	

Dynamic Compaction										
Station Status	1	2	3	4	5	6	A	B	C	remark
Before	-1.493	-1.488	-1.483	-1.502	-1.458	-1.438	-0.958	-1.358	-1.893	
After	-0.846	-1.211	-1.249	-1.207	-1.376	-1.378	-0.968	-1.408	-1.943	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผ10 ระดับน้ำในแปลง HVDM รอบที่ 3

Vacuum										
Station Time (min)	1	2	3	4	5	6	A	B	C	remark
0	-0.836	-1.198	-1.216	-1.189	-1.374	-1.377	-1.000	-1.321	-1.876	
5	-0.925	-1.265	-1.279	-1.237	-1.379	-1.377	-0.990	-1.321	-1.866	
10	-0.935	-1.255	-1.290	-1.244	-1.386	-1.378	-0.980	-1.316	-1.876	
15	-0.948	-1.280	-1.295	-1.254	-1.386	-1.378	-0.980	-1.316	-1.876	
20	-0.965	-1.280	-1.310	-1.259	-1.386	-1.378	-0.990	-1.321	-1.876	
25	-0.985	-1.294	-1.310	-1.269	-1.386	-1.378	-0.985	-1.321	-1.876	
30	-0.998	-1.305	-1.310	-1.274	-1.386	-1.378	-0.985	-1.321	-1.876	
40	-1.023	-1.320	-1.325	-1.299	-1.386	-1.378	-0.985	-1.321	-1.876	
50	-1.043	-1.325	-1.330	-1.299	-1.386	-1.378	-0.985	-1.321	-1.876	
60	-1.070	-1.332	-1.341	-1.314	-1.386	-1.384	-0.983	-1.313	-1.876	
75	-1.064	-1.336	-1.341	-1.319	-1.386	-1.367	-0.980	-1.312	-1.886	
90	-1.103	-1.340	-1.345	-1.329	-1.386	-1.367	-0.980	-1.312	-1.876	
105	-1.123	-1.350	-1.350	-1.434	-1.386	-1.367	-0.980	-1.311	-1.876	
120	-1.138	-1.350	-1.365	-1.349	-1.386	-1.367	-0.980	-1.311	-1.876	
150	-1.153	-1.360	-1.365	-1.354	-1.386	-1.367	-0.980	-1.311	-1.876	
180	-1.168	-1.360	-1.370	-1.355	-1.386	-1.367	-0.980	-1.316	-1.876	

Dynamic Compaction										
Station Status	1	2	3	4	5	6	A	B	C	remark
Before	-1.168	-1.360	-1.370	-1.355	-1.386	-1.367	-0.980	-1.316	-1.876	
After	-0.803	-1.130	-1.025	-1.329	-1.361	-1.297	-1.460	-1.361	-1.946	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ผลระดับน้ำในแปลง HVDM เปรียบเทียบกับระยะเวลา

ตำแหน่ง เวลา(min)	1	2	3	4	5	6	A	B	C
0	-1.583	-1.583	-1.558	-1.597	-1.613	-1.593	-0.683	-1.298	-1.773
5	-1.763	-1.743	-1.688	-1.727	-1.703	-1.788	-0.678	-1.298	-1.773
10	-1.838	-1.838	-1.788	-1.797	-1.783	-1.833	-0.678	-1.308	-1.773
15	-1.913	-1.873	-1.848	-1.877	-1.843	-1.878	-0.684	-1.308	-1.778
20	-1.948	-1.943	-1.908	-1.902	-1.873	-1.898	-0.683	-1.308	-1.778
25	-1.978	-1.963	-1.933	-1.942	-1.903	-1.928	-0.688	-1.318	-1.778
30	-1.993	-1.988	-1.963	-1.962	-1.923	-1.943	-0.688	-1.318	-1.798
40	-2.048	-2.031	-2.003	-1.997	-2.013	-1.978	-0.688	-1.318	-1.798
50	-2.068	-2.068	-2.046	-2.052	-2.018	-1.998	-0.688	-1.318	-1.784
60	-2.088	-2.071	-2.060	-2.056	-2.013	-2.003	-0.690	-1.298	-1.771
75	-2.088	-2.073	-2.068	-2.067	-2.023	-2.003	-0.693	-1.298	-1.778
90	-2.085	-2.073	-2.073	-2.067	-2.023	-2.003	-0.693	-1.288	-1.775
105	-2.083	-2.077	-2.070	-2.067	-2.028	-2.008	-0.708	-1.293	-1.775
120	-2.088	-2.077	-2.076	-2.067	-2.026	-2.013	-0.708	-1.296	-1.775
150	-2.093	-2.083	-2.094	-2.072	-2.033	-2.013	-0.723	-1.293	-1.788
180	-2.023	-2.083	-2.088	-2.032	-2.033	-2.008	-0.728	-1.308	-1.783
195	-1.371	-1.437	-1.434	-1.436	-1.426	-1.456	-0.744	-1.325	-1.790
200	-1.436	-1.458	-1.440	-1.455	-1.458	-1.437	-0.932	-1.350	-1.889
205	-1.478	-1.463	-1.458	-1.455	-1.433	-1.438	-0.933	-1.353	-1.888
210	-1.473	-1.468	-1.468	-1.457	-1.433	-1.433	-0.941	-1.353	-1.895
215	-1.485	-1.481	-1.473	-1.481	-1.452	-1.446	-0.938	-1.353	-1.898
220	-1.488	-1.483	-1.478	-1.477	-1.443	-1.443	-0.938	-1.363	-1.888
225	-1.488	-1.488	-1.478	-1.477	-1.418	-1.443	-0.943	-1.358	-1.888
230	-1.488	-1.483	-1.478	-1.477	-1.443	-1.438	-0.943	-1.358	-1.888
240	-1.493	-1.488	-1.483	-1.477	-1.443	-1.443	-0.938	-1.353	-1.888
250	-1.498	-1.488	-1.488	-1.487	-1.453	-1.448	-0.943	-1.353	-1.888
260	-1.493	-1.493	-1.493	-1.487	-1.463	-1.448	-0.943	-1.353	-1.883
275	-1.495	-1.491	-1.488	-1.499	-1.463	-1.448	-0.950	-1.358	-1.893
290	-1.498	-1.488	-1.488	-1.502	-1.458	-1.448	-0.948	-1.358	-1.888
305	-1.503	-1.493	-1.483	-1.507	-1.448	-1.443	-0.948	-1.363	-1.893
320	-1.482	-1.483	-1.490	-1.488	-1.446	-1.427	-0.947	-1.353	-1.883
350	-1.488	-1.483	-1.488	-1.512	-1.458	-1.446	-0.963	-1.358	-1.893
380	-1.493	-1.488	-1.483	-1.502	-1.458	-1.438	-0.958	-1.358	-1.893
395	-0.846	-1.211	-1.249	-1.207	-1.376	-1.378	-0.968	-1.408	-1.943
400	-0.836	-1.198	-1.216	-1.189	-1.374	-1.377	-1.000	-1.321	-1.876
410	-0.925	-1.265	-1.279	-1.237	-1.379	-1.377	-0.990	-1.321	-1.866
415	-0.935	-1.255	-1.290	-1.244	-1.386	-1.378	-0.980	-1.316	-1.876
420	-0.948	-1.280	-1.295	-1.254	-1.386	-1.378	-0.980	-1.316	-1.876
425	-0.965	-1.280	-1.310	-1.259	-1.386	-1.378	-0.990	-1.321	-1.876
430	-0.985	-1.294	-1.310	-1.269	-1.386	-1.378	-0.985	-1.321	-1.876
440	-0.998	-1.305	-1.310	-1.274	-1.386	-1.378	-0.985	-1.321	-1.876
450	-1.023	-1.320	-1.325	-1.299	-1.386	-1.378	-0.985	-1.321	-1.876
460	-1.043	-1.325	-1.330	-1.299	-1.386	-1.378	-0.985	-1.321	-1.876
475	-1.070	-1.332	-1.341	-1.314	-1.386	-1.384	-0.983	-1.313	-1.876
490	-1.064	-1.336	-1.341	-1.319	-1.386	-1.367	-0.980	-1.312	-1.886
505	-1.103	-1.340	-1.345	-1.329	-1.386	-1.367	-0.980	-1.313	-1.876
520	-1.123	-1.350	-1.350	-1.434	-1.386	-1.367	-0.980	-1.311	-1.876
550	-1.138	-1.350	-1.365	-1.349	-1.386	-1.367	-0.980	-1.311	-1.876
580	-1.153	-1.360	-1.365	-1.354	-1.386	-1.367	-0.980	-1.311	-1.876
595	-1.168	-1.360	-1.370	-1.355	-1.386	-1.367	-0.980	-1.316	-1.876
600	-0.803	-1.130	-1.025	-1.329	-1.361	-1.297	-1.000	-1.361	-1.946

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 ระดับน้ำในแปลงคูน้ำที่ชั้นความลึกต่างๆ

ตาราง ผ12 ระดับน้ำในแปลงคูน้ำที่ชั้นความลึกที่ 2 เมตร

Sta Time(min)	1	2	3	4	A	B	C	remark
0	-2.725	-2.742	-2.743	-2.740		-2.287	-2.621	
5	-2.830	-2.785	-2.750	-2.749		-2.300	-2.625	
10	-2.912	-2.733	-2.746	-2.745		-2.290	-2.630	
15	-3.017	-2.645	-2.746	-2.748		-2.298	-2.631	
20	-3.170	-2.745	-2.750	-2.747		-2.285	-2.628	
25	-3.156	-2.745	-2.750	-2.745		-2.350	-2.625	
30	-3.210	-2.785	-2.750	-2.746		-2.286	-2.627	
40	-3.061	-1.744	-2.468	-2.713		-2.271	-2.604	compaction 20 time
50	-2.037	-1.666	-2.472	-2.687		-2.311	-2.614	compaction 20 time
60	-1.956	-1.688	-2.467	-2.679		-2.334	-2.649	compaction 10 time

ตาราง ผ13 ระดับน้ำในแปลงคูน้ำที่ชั้นความลึกที่ 4 เมตร

Sta Time(min)	1	2	3	4	A	B	C	remark
0	-2.693	-2.673	-2.665	-2.670	-2.655	0.000	-2.850	
5	-2.685	-2.653	-2.664	-2.663	-2.656	0.000	-2.853	
10	-2.685	-2.653	-2.666	-2.660	-2.649	0.000	-2.853	
15	-2.685	-2.653	-2.662	-2.665	-2.649	0.000	-2.853	ไม่มีน้ำไหลออก
20	-2.685	-2.653	-2.662	-2.665	-2.649	0.000	-2.853	ไม่มีน้ำไหลออก
25	-2.684	-2.652	-2.662	-2.665	-2.649	0.000	-2.853	ไม่มีน้ำไหลออก
30	-2.480	-1.785	-1.724	-1.757	-1.581	0.000	-2.884	compaction 20 times
40	-2.480	-1.785	-1.734	-2.147	-1.546	0.000	-2.879	compaction 30 times

ตาราง ผ14 ระดับน้ำในแปลงคูน้ำที่ชั้นความลึกที่ 6 เมตร

Sta Time(min)	1	2	3	4	A	B	C	remark
0	-2.518	-2.558	-2.523	-2.438	-2.595	-2.531	-4.500	
5	-2.514	-2.537	-2.518	-2.434	-2.515	-2.516	-4.500	
10	-2.508	-2.528	-2.517	-2.439	-2.530	-2.486	-4.500	
15	-2.503	-2.538	-2.529	-2.434	-2.504	-2.511	-4.500	
20	-2.498	-2.528	-2.508	-2.439	-2.505	-2.511	-4.500	
25	-2.493	-2.518	-2.508	-2.439	-2.500	-2.511	-4.500	
30	-2.488	-2.508	-2.503	-2.439	-2.500	-2.511	-4.500	
40	-2.184	-1.918	-2.200	-2.448	-1.810	-1.922	-4.500	compaction 20 time
50	-1.794	-1.828	-2.280	-2.438	-1.575	-1.472	-4.500	compaction 20 time
60	-1.794	-2.003	-2.225	-2.428	-1.925	-1.712	-4.500	compaction 10 time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้