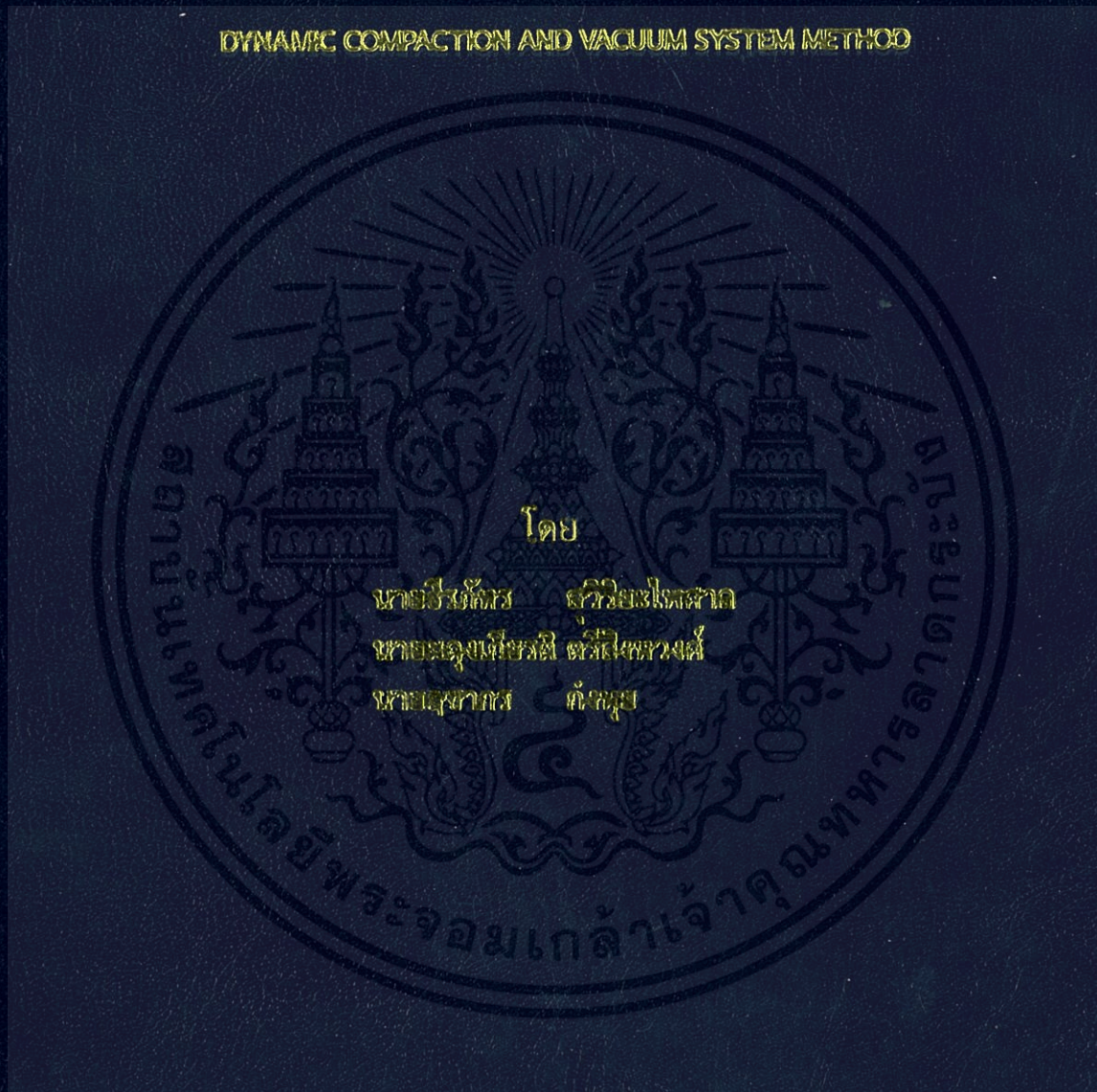


การออกแบบการตรวจวัดการทรุดตัว และการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำของดิน เนื่องจากการปรับปรุง

คุณภาพดินด้วยวิธีอัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ

DESIGN OF CONSOLIDATION SETTLEMENT AND PORE PRESSURES MEASUREMENT BY
DYNAMIC COMPACTION AND VACUUM SYSTEM METHOD



โครงการวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

การออกแบบการตรวจวัดการทรุดตัว และการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำของดิน เนื่องจากการปรับปรุง
คุณภาพดินด้วยวิธีอัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ
DESIGN OF CONSOLIDATION SETTLEMENT AND PORE PRESSURES MEASUREMENT BY
DYNAMIC COMPACTION AND VACUUM SYSTEM METHOD



โดย
นายธีรภัทร สุวีริยะไพศาล
นายผดุงเกียรติ ตรีสิงหวงศ์
นายฤชากร กังหุย

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานปีการศึกษา 2555 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONSOLIDATION SETTLEMENT AND PORE PRESSURES MEASUREMENT BY DYNAMIC
COMPACTION AND VACUUM SYSTEM METHOD



Mr. Teerapat Suviriyapaisal
Mr. Phadungkiat Treesinghavong
Mr. Ruchakorn Konghui

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อปี 2012 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การออกแบบการตรวจวัดการทรุดตัว และการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำของดิน
เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีอัดแบบกระแทกร่วมกับระบบ
สุญญากาศ

DESIGN OF CONSOLIDATION SETTLEMENT AND PORE PRESSURES
MEASUREMENT BY DYNAMIC COMPACTION AND VACUUM SYSTEM
METHOD

นักศึกษา นายธีรภัทร สุวิริยะไพศาล รหัสประจำตัว 52010525
นายผดุงเกียรติ ตรีสิงหวงศ์ รหัสประจำตัว 52010735
นายฤชากร กังหุย รหัสประจำตัว 52011008

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพจน์ ศรีนิล

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.สุพจน์ ศรีนิล	
ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤษ์	
อ.อุษะ ศิริแก้ว	

สถานที่สอบ ณ อาคาร สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 21 มีนาคม 2556 เวลาสอบ 9.00 – 9.30 น.

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

()

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพจน์ ศรีนิล)

ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

วันที่ 21 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556

หัวข้อโครงการพิเศษ การออกแบบการตรวจวัดการทรุดตัว และการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำของดิน เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบดอัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ

DESIGN OF CONSOLIDATION SETTLEMENT AND PORE PRESSURES MEASUREMENT BY DYNAMIC COMPACTION AND VACUUM SYSTEM METHOD

นักศึกษา	นายธีรภัทร สุวีริยะไพศาล	รหัสประจำตัว	52010525
	นายผดุงเกียรติ ตรีสิงหวงศ์	รหัสประจำตัว	52010735
	นายฤชากร กังหุย	รหัสประจำตัว	52011008
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพจน์ ศรีนิล		
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2555		

บทคัดย่อ

การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อน ด้วยการใช้ระบบสุญญากาศร่วมกับการบดอัดแบบกระแทก (หรือเรียกโดยทั่วไปว่า HVDM ; High Vacuum Densification Method) วิธีการนี้เป็นการนำระบบสุญญากาศมาใช้เพื่อสูบน้ำออกทำให้เกิดแรงดันน้ำในเชิงลบ และใช้การบดอัดแบบกระแทกแทนการใช้น้ำหนักบรรทุกในตามวิธีปรับปรุงคุณภาพดินแบบ PVDs ซึ่งไม่เพียงแต่เพื่อเพิ่มแรงดันน้ำในเชิงบวกอีกทั้งยังก่อให้เกิดชั้นดินหนาขึ้นที่ชั้นบนที่ช่วยป้องกันการเกิดการทรุดตัวในภายหลังอีกด้วย งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงกระบวนการทำงานของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบดอัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ ตามมาด้วยการออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการทรุดตัว และแรงดันน้ำในพื้นที่ และการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีนี้ในไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : CONSOLIDATION SETTLEMENT AND PORE PRESSURES MEASUREMENT
BY DYNAMIC COMPACTION AND VACUUM SYSTEM METHOD

Student : MR. TEERAPAT SUVIRIYAPAISAL ID. 52010525
MR. PHADUNGIAT TREESINGHAVONG ID. 52010735
MR. RUCHAKORN KONGHUI ID. 52011008

Advisor : ASST.PROF.SUPOJ SRINIL

Degree : BACHELOR CIVIL ENGINEERING

Year : 2012

ABSTRACT

A soft clay improvement technique by using vacuum and dynamic compaction (commonly referred to as HVDM; High Vacuum Densification Method). This method is using vacuum dewatering to have negative pore water pressure and dynamic compaction, which instead of preloading in PVDs method, to does not generating only positive pore water pressure but also making a thick-layer, helps to protect the lateral consolidation. In this research, the working principles of the HVDM are presented, followed by design instrument-installation to measure consolidation and pore pressures in the area, and this improvement in Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการที่โครงการพิเศษนี้จะสำเร็จลุล่วงได้นั้น ต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งแด่ ผศ. สุพจน์ ศรีนิล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการพิเศษนี้ รวมถึง อ. อุเบ ศิริแก้ว และคณาจารย์ท่านอื่นๆ ที่ให้การสนับสนุนคอยคำแนะนำ ข้อเสนอแนะต่างๆสำหรับการทำโครงการพิเศษนี้เป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาของการศึกษาโครงการพิเศษนี้ อีกทั้งคำสั่งสอนต่างๆที่มีค่ามากมายนอกเหนือจากทางวิศวกรรม ซึ่งถือเป็นสิ่งมีค่าเป็นอย่างมากในการนำไปปรับปรุง และประยุกต์ใช้ต่อไปได้ในอนาคต

นอกจากนี้ ทางคณะผู้จัดทำขอกล่าวขอบคุณอย่างซาบซึ้งสำหรับ รุ่นพี่ที่ให้การช่วยเหลือคือ นายหุทส์ส ฟอร์ดบิล ที่ช่วยเหลือ และให้การสนับสนุนในทุกๆด้าน อีกทั้งยังเป็นผู้ดำเนินโครงการหลักของโครงการพิเศษนี้ และนางสาวมาฤชา ชูนาวา ที่ช่วยเหลือในด้านงานเอกสาร และติดต่อประสานงานกับทางอาจารย์ ทำให้สามารถดำเนินโครงการพิเศษนี้ได้อย่างราบรื่นยิ่งขึ้น และยังมีเพื่อนๆน้องๆที่เข้ามาช่วยในโครงการพิเศษนี้ จนทำให้โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อย่างไรก็ตามการทำโครงการพิเศษนี้ถือเป็นเกียรติอย่างยิ่งกับทางคณะผู้จัดทำโครงการ ที่ได้รับความร่วมมือ และช่วยเหลือจากทางบริษัท ทำอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน)(ทอท.) สำหรับพื้นที่ของสนามบินสุวรรณภูมิ และการบริการต่าง อาทิเช่น การช่วยเหลือด้านไฟฟ้าและสุขาภิบาล การอนุญาตให้เข้าไปใช้ห้องสมุดของทางทำอากาศยาน เป็นต้น รวมถึงบริษัทต่างๆที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอมอบคำขอบคุณอันพิเศษสุดแด่ ครอบครัวของทางคณะผู้จัดทำที่คอยให้กำลังใจ และให้การช่วยเหลือตลอดมาในทุกๆเรื่อง ทำให้ทางคณะผู้ทำโครงการพิเศษนี้กำลังใจ สามารถทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นายธีรภัทร สุวีริยะไพศาล

นายผดุงเกียรติ ตรีสิงหวงศ์

นายฤชชากร กังหุย

ผู้ทำโครงการพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ ใช้นับคะแนนด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฎ
	สารบัญรูป	ฏ
	คำอธิบายสัญลักษณ์	ณ
	คำอธิบายคำย่อ	ต
1	บทนำ	1
	1.1 กล่าวนำ	1
	1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	1.4 สมมุติฐาน	2
	1.5 ขอบเขต และข้อจำกัดทางการศึกษา	3
	1.6 ขั้นตอนการศึกษา	3
	1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
	1.8 ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
	1.9 แผนดำเนินการ	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และส่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
2	วรรณกรรมปริทัศน์	6
2.1	กล่าวนำ	6
2.2	บทความที่เกี่ยวข้อง	7
2.3	หลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	14
3	การออกแบบ	23
3.1	กล่าวนำ	23
3.2	หลักการเลือกพื้นที่ที่เหมาะสม	23
3.3	การทดสอบคุณสมบัติดินในห้องปฏิบัติการ	28
3.4	ขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบำบัดแบบกระทรงร่วมกับระบบสุญญากาศ	34
3.5	การออกแบบ Spacing ของท่อแนวตั้ง	35
3.6	การออกแบบความยาวของท่อแนวตั้ง	36
3.7	การออกแบบตม้มน้ำหนัก	36
3.8	การออกแบบแนวการทุบของตม้มน้ำหนัก	38
3.9	การออกแบบอิทธิพลระบายน้ำของท่อแนวตั้ง	39
3.10	การออกแบบตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดในสนาม	39
3.11	การออกแบบอุปกรณ์	40
3.12	ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์	49
3.13	ขั้นตอนการวัดเก็บค่าผลการทดลอง	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
4	การเก็บบันทึกผลการทดลอง	54
4.1	กล่าวนำ	54
4.2	การเก็บบันทึกผลการทดลอง	54
4.3	การเก็บค่าระดับน้ำ	54
4.4	การเก็บค่าการทรุดตัว	56
4.5	การเก็บค่าแรงดันน้ำ	58
5	สรุปผล	61
5.1	บทนำ	61
5.2	การเลือกพื้นที่	61
5.3	ความจำเป็นในการทดสอบคุณสมบัติดินในห้องปฏิบัติการ	61
5.4	สรุปขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบดอัดแบบกระแทก ร่วมกับระบบสุญญากาศ	61
5.5	Spacing ของท่อแนวตั้ง	62
5.6	ความยาวของท่อแนวตั้ง	62
5.7	ตึมน้ำหนัก	62
5.8	แนวการทุบของตึมน้ำหนัก	62
5.9	อิทธิพลระบายน้ำของท่อแนวตั้ง	62
5.10	ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดในสนาม	63
5.11	อุปกรณ์อื่นๆ	63
5.12	การติดตั้งอุปกรณ์	63
5.13	การวัดเก็บค่าผลการทดลอง	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ เรื่อง

หน้า

บรรณานุกรม

64

ภาคผนวก ก.

ผก1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ อนุญาตถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	เรื่อง	หน้า
1.1	ตารางแสดงแผนการดำเนินการทั้งหมด	5
2.1	ตารางแสดงค่า n สำหรับดินชนิดต่างๆ	7
2.2	แสดงวิธีการที่ใช้ในแต่ละรอบและผลการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในการทดลองของ Ir Kenny Yee	9
2.3	ตารางเปรียบเทียบการปรับปรุงคุณภาพดินที่ 1 st และ 2 nd Runways of Pudong Airport	13
3.1	ตารางสรุปลักษณะชั้นดินก่อนการทดสอบ	26
3.2	ตารางสรุปผลการทดสอบดินก่อนการทดสอบ	27
3.3	ตารางแสดงการคำนวณแรงที่ระยะความลึกต่างๆ	37
4.1	ตารางแสดงระยะของระดับน้ำต่ำกว่าระดับผิวดิน	55
4.2	ตารางสำหรับเก็บค่าการทรุดตัว	57
4.3	ตารางบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และผู้เข้าถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	เรื่อง	หน้า
2.1	กราฟความสัมพันธ์ค่าพลังงานและค่าสัมประสิทธิ์ n เพื่อหาค่าระดับความลึกที่มีผลจากแรงกระทำ	8
2.2	ภาพแสดงการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการบดอัดแบบกระแทกในการทดลองของ Ir Kenny Yee	9
2.3	ภาพแสดงวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินโดยการบดอัดแบบกระแทกของ Ir Kenny Yee	10
2.4	ภาพตัดแสดงวิธีการติดตั้งอุปกรณ์การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี Menard Vacuum Consolidation (MVC)	10
2.5	ภาพแสดงกลไกการทำงานของ Vacuum Consolidation	11
2.6	กราฟแสดงผลการทรุดตัวจากการใช้วิธีปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี Menard Vacuum Consolidation (MVC)	11
2.7	ภาพแสดงการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี HVDM	12
2.8	ภาพแสดงผลการทรุดตัวจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี HVDM	12
2.9	กราฟแสดงค่าแรงดันที่เกิดขึ้นในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี HVDM โดย Robert Y. Liang, และ S. Xu	13
2.10	ภาพอธิบายลักษณะการเกิดการยุบตัว	14
2.11	ภาพแสดงการอธิบายส่วนประกอบต่างๆ ของแผ่นวัดการทรุดตัว	16
2.12	รูปตัดแสดงการติดตั้ง Standpipe Piezometer	17
2.13	แสดงขั้นตอนการติดตั้ง Standpipe Piezometer	17
2.14	ภาพแสดงระดับชั้นน้ำใต้ดิน บ่อสูบ และบ่อสังเกตการณ์	18
2.15	แสดงภาพการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นบาดาล	19
2.16	แสดงภาพการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นให้น้ำบาดาล	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และนำข้อมูลข้างต้นไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	เรื่อง	หน้า
2.17	Smear Zone	21
2.18	Radial Consolidation of Clay by Sand Drain Considering Smear Effects	21
2.19	การกระจายของหน่วยแรงโดยวิธีประมาณ	22
3.1	ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณพื้นที่ที่เหมาะสม	24
3.2	ภาพการเจาะสำรวจดินในสนาม	24
3.3	ท่อ PVC ที่ใช้เก็บตัวอย่างดิน	25
3.4	ตัวอย่างดินที่เก็บมาจากสนาม	25
3.5	ชุดอุปกรณ์ทดสอบ Liquid Limit	28
3.6	ลักษณะการปั้นดินทดสอบ Plastic Limit	29
3.7	เครื่องทดสอบแบบคานงัด	30
3.8	แผ่นน้ำหนัก ที่ใช้สำหรับทดสอบ	30
3.9	ภาพการเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบการทรุดตัว	31
3.10	ขณะทำการทดลองการทดสอบการทรุดตัว	31
3.11	ภาพการทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยวิธี Hydrometer Analysis	32
3.12	ภาพแสดงการทดสอบหาค่าความชื้นน้ำของดินแบบไม่รักษาระดับน้ำ	33
3.13	ตัวอย่างการวางแนว Spacing	35
3.14	แสดงการกระจายแรงของตุ้มน้ำหนักที่ระยะความลึกต่างๆด้วยวิธีการคำนวณโดยประมาณ	37
3.15	แสดงแนวการหุบดัดในแต่ละวงรอบการทำงาน	38
3.16	ภาพแปลนแสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดในสนาม	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และตั้งชื่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	เรื่อง	หน้า
3.17	ภาพแสดงการติดตั้ง Piezometer (ซ้าย) และ Surface Settlement Plate (ขวา)	40
3.18	Geotextile ชนิด Non-Woven Geotextile	41
3.19	ท่อเหล็กที่จะใช้เป็นท่อแนวตั้งสำหรับดูดน้ำ	41
3.20	ฝาครอบหัวท่อเหล็ก	42
3.21	เหล็กหางปลาไหล ที่ใช้ต่อเข้ากับฝาครอบหัวท่อเหล็ก	42
3.22	สายยาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร	43
3.23	ข้อต่อสามทาง ใช้สำหรับเชื่อมต่อแนวนอน ขนาด 55x18 PVC 13.5	43
3.24	Surface Settlement Plate	44
3.25	Standpipe Piezometer	45
3.26	Vacuum Pump	45
3.27	ข้อมูลถึงความดัน	46
3.28	ภาพถึงความดัน	46
3.29	Observation Well	47
3.30	ภาพขณะทำการเทคอนกรีตลงในแบบหล่อตุ้มคอนกรีต	48
3.31	ตุ้มน้ำหนัก หลังถอดแบบแล้ว	48
3.32	ภาพการใช้พลั่วในการขุดน้ำก่อนที่จะทำการฝังท่อแนวตั้ง	49
3.33	ภาพท่อเหล็กที่ทำการสวม Geotextile แล้ว	49
3.34	ภาพการฝังท่อเหล็กลงในรูที่ได้ทำการเจาะไว้	49
3.35	ภาพการติดตั้ง Surface Settlement Plate	50
3.36	ภาพแสดงการวางท่อแนวนอน (Horizontal Drains)	51
3.37	ภาพแสดงการต่อเชื่อมท่อแนวตั้งเข้ากับท่อแนวนอน	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และทำซ้ำอย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	เรื่อง	หน้า
3.38	ภาพแสดงพื้นที่ที่ทดลองหลังจากติดตั้งวางแนวท่อเสร็จแล้ว	52
3.39	การวัดแรงดันน้ำในพื้นที่แต่ละจุด	52
3.40	การใช้กล้องระดับวัดค่าระดับ	53
4.1	แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแต่ละวัน	55
4.2	ภาพแสดงตำแหน่ง Settlement Plate แต่ละจุด	56
4.3	แสดงกราฟการเกิดการทรุดตัวที่เกิดขึ้น	57
4.3	ภาพแสดงตำแหน่งการวาง Piezometer	58
4.4	ภาพแสดงระยะความลึกที่ติดตั้ง Piezometer ในแต่ละจุด	58
4.5	แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ	59
4.6	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำกับการทรุดตัว	60
ผ.ก.1	Soil Symbols	ผก2
ผ.ก.2	Soil Classification	ผก3
ผ.ก.3	Pasticity Chart	ผก4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

ความหมาย

D	ระยะความลึกที่มีผลจากแรงกระทำ
W	น้ำหนักของตัววัตถุที่ใช้ปล่อยลงมา
H	ระยะความสูงที่ใช้ในการปล่อยวัตถุลงมา
n	ค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นผลจาก ชนิดของดิน ชนิดของวัตถุที่ใช้ปล่อย วิธีการปล่อย และอื่นๆ
σ	ค่าแรงดันประสิทธิผลในดิน
σ'	ค่าแรงดันในดิน
u	แรงดันน้ำ
p	น้ำหนักที่เป็นแรงกระทำที่ผิวดิน
δ_i	Immediate Settlement หรือ Elastic Settlement
C_d	คือค่าปัจจัยที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติด้านรูปร่าง และความแข็งแรงของดิน
q	ค่าหน่วยแรงที่กระทำบนผิวดิน
B	ค่าระยะตามยาวด้านสั้นที่รับแรง
μ	ค่าอัตราส่วนของปัวซอง (Poisson Ratio)
E	ค่า Modulus of Elasticity
δ_c	Primary Settlement
C_c	ค่า Compression Index
e_0	ค่าอัตราส่วนช่องว่างตั้งต้น
H_0	ค่าความสูงของดินที่นำมาทดสอบ
σ'_{vf}	ค่าความเค้นสุดท้าย (Final Vertical Stress)
σ'_{v0}	ค่าความเค้นเริ่มต้น (Initial Vertical Stress)
C_c	คือค่า Compression Index
e_0	ค่าอัตราส่วนช่องว่างตั้งต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และส่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

ความหมาย

H_0	ค่าความสูงของดินที่นำมาทดสอบ
σ'_{vf}	ค่าความเค้นสุดท้าย (Final Vertical Stress)
σ'_{v0}	ค่าความเค้นเริ่มต้น (Initial Vertical Stress)
C_r	Recompression Index
σ'_{vc}	ค่าความเค้นก่อนการยุบตัว (Preconsolidation Stress)
δ_s	การที่ดินเกิดการล้า (Secondary Settlement)
C_a	ค่า Secondary Compaction Index
t	ค่าระยะเวลาหลังจากที่เกิดการยุบตัวไปแล้ว
t_{90}	ค่าระยะเวลาที่เกิดการยุบตัวที่ 90%
Q	อัตราการสูบ
K	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึม
h	ความสูงของน้ำในบ่อสังเกตการณ์
h_w	ความสูงของน้ำในบ่อบาดาล
r	รัศมีจากศูนย์กลางบ่อบาดาล ถึงศูนย์กลางบ่อสังเกตการณ์
r_w	รัศมีของบ่อบาดาล
GT	ค่าปรับแก้ที่ค่าอุณหภูมิต่างๆ ในการทดสอบ Specific Gravity of Soil Test
S	ระยะ Spacing
B	ความกว้างของฐาน
L	ความยาวของฐาน
H	ความลึกจากผิวดิน
q_s	หน่วยแรงที่ผิวดิน
σ_z	แรงที่ระยะความลึกต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายคำย่อ

คำย่อ

ความหมาย

HVDM High Vacuum Densification Method

PVDs Prefabricated Vertical Drains



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดแต่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้มีการคิดค้น และพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินมากมาย เพื่อที่จะแก้ปัญหาต่างๆในการก่อสร้างจากการที่ดินมีกำลังและเสถียรภาพไม่เพียงพอจนทำให้เกิดผลกระทบในภายหลัง อีกทั้งยังรวมถึงตอบสนองความต้องการในการลดระยะเวลาและงบประมาณด้านรายจ่ายในการปรับปรุงคุณภาพดินในแต่ละการก่อสร้างให้น้อยลง ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพดินในปัจจุบันมีอยู่หลากหลายวิธีการที่ได้ถูกนำมาใช้ไม่ว่าจะเป็น การใช้ Prefabricated Vertical Drains (PVDs) ร่วมกับการใช้น้ำหนักกดทับ การใช้ PVDs ร่วมกับระบบสุญญากาศ การทำซีเมนต์คอลัมน์ การผสมสารเคมีลงไป ในดิน การใช้แรงบดอัดแบบกระแทก และอื่นๆอีกหลากหลายวิธีการที่ได้ถูกคิดค้นขึ้น แต่วิธีเหล่านี้ก็ยังคงต้องใช้งบประมาณ และระยะเวลานานกว่าจะทำให้ดินมีเสถียรภาพ และกำลังที่เพียงพอต่อความต้องการในการก่อสร้าง จึงยังจำเป็นต้องมีการวิจัย และพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินรูปแบบใหม่ เพื่อเพียงพอตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน

ในบทนี้ได้กล่าวถึงที่มา และความสำคัญ วัตถุประสงค์ สมมุติฐาน ขอบเขตและข้อจำกัดต่างๆ รวมถึงขั้นตอนในการศึกษา ของโครงการพิเศษนี้ ซึ่งเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินที่นับว่ายังใหม่ในประเทศไทย เนื่องจากยังไม่เคยมีการนำมาใช้งานจริงในประเทศไทย จึงเป็นโอกาสอันดีในการศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินชนิดนี้เพื่อนำมาเป็นกรณีศึกษา และนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยต่อไปได้ในอนาคต

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินมากมายหลายวิธีการด้วยกัน และหนึ่งในนั้นก็คือ การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการทำให้เกิดความหนาแน่นด้วยสุญญากาศกำลังสูง (High Vacuum Densification Method; HVDM) เป็นผลงานการวิจัยของประเทศจีนเพื่อใช้ในการเร่งการทรุดตัวของดินในพื้นที่ที่เป็นดินเหนียวอ่อน การปรับปรุงดินด้วยวิธีนี้ได้รับการยอมรับและใช้งานจริงในประเทศจีนและประเทศอื่นๆอย่างกว้างขวาง ซึ่งประสบผลสำเร็จในโครงการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวขนาดใหญ่มาแล้วหลายโครงการในประเทศจีน แต่ในประเทศไทยยังไม่มีการวิจัยที่รองรับอย่างเป็นทางการเกี่ยวกับวิธีการนี้ จึงยังไม่มีมีการนำวิธีการนี้มาใช้งานจริงในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการทำให้เกิดความหนาแน่นด้วยสุญญากาศกำลังสูง (HVDM) นี้เป็นวิธีที่จะช่วยเร่งกระบวนการการทรุดตัวของดิน โดยระบบสุญญากาศจะเป็นตัวที่ใช้ในการลดแรงดันน้ำในดิน (Pore water pressure) แล้วเปลี่ยนไปเป็นความเค้น (Effective stress) โดยที่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเค้นรวม (Total stress) และใช้การกระแทกเสริมเพื่อเร่งให้เกิดกระบวนการทรุดตัวเร็วขึ้น และได้มีการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบผลจากการใช้วิธีการนี้กับวิธีการอื่นมากมายในต่างประเทศ ซึ่งให้ผลยืนยันได้เป็นอย่างดีไม่ว่าในด้านระยะการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาในการปรับปรุงดินที่น้อยลง และค่าใช้จ่ายที่ลดลง

การออกแบบการตรวจวัดการทรุดตัว และการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำของดิน เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีอัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ นี้เป็นการออกแบบการปรับปรุงคุณภาพดินที่ใช้ทฤษฎีและขั้นตอนในการปฏิบัติเดียวกันกับการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการทำให้เกิดความหนาแน่นด้วยสุญญากาศกำลังสูง (HVDM) แต่จะมีความแตกต่างในด้านการใช้วัสดุ และอุปกรณ์บางอย่างเพื่อให้มีความเหมาะสม โดยคาดว่าจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพดินนี้ไปศึกษาต่อ หรือประยุกต์ใช้ในอนาคตต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อเข้าใจถึงวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีอัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ
2. เพื่อทราบแนวทางในการตรวจสอบหาพฤติกรรมทรุดตัว และการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ

ในดินจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีอัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ

1.4 สมมุติฐาน

การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีนี้จะทำให้เกิดแรงดันน้ำที่เป็นลบเมื่อทำการปรับปรุงด้วยแรงดันสุญญากาศ และกลายเป็นบวกเมื่อทำการอัดแบบกระแทก โดยในช่วงแรกจะมีการขึ้นลงของแรงดันน้ำที่สูง พร้อมกับเกิดการทรุดตัวที่มาก และลดลงเรื่อยๆเมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพดินในวงรอบต่อไป โดยหลังการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีนี้แล้วจะก่อให้เกิดชั้นดินหนาซึ่งช่วยในการรับแรง ทำให้การทรุดตัวที่เกิดขึ้นต่อไปในภายหลังยากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขต และข้อจำกัดทางการศึกษา

1. ศึกษากระบวนการดำเนินการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบำบัดแบบกระทงร่วมกับระบบสุญญากาศ
2. ศึกษาวิธีการตรวจวัดลักษณะพฤติกรรมเกิดการทรุดตัว และการเปลี่ยนแปลงความดันน้ำในดินที่เกิดขึ้น
3. ออกแบบให้พื้นที่ในการทดลองแต่ละแปลง มีขนาดแปลงละประมาณ 16.5 x 21 เมตร ทั้งหมด 3 แปลง แบ่งเป็น พื้นที่อ้างอิง 1 แปลง และพื้นที่ทำการทดสอบ 2 แปลง โดยแบ่งเป็นดำเนินการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบำบัดแบบกระทงร่วมกับระบบสุญญากาศ และการใช้การบำบัดแบบกระทงเพียงอย่างเดียว

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

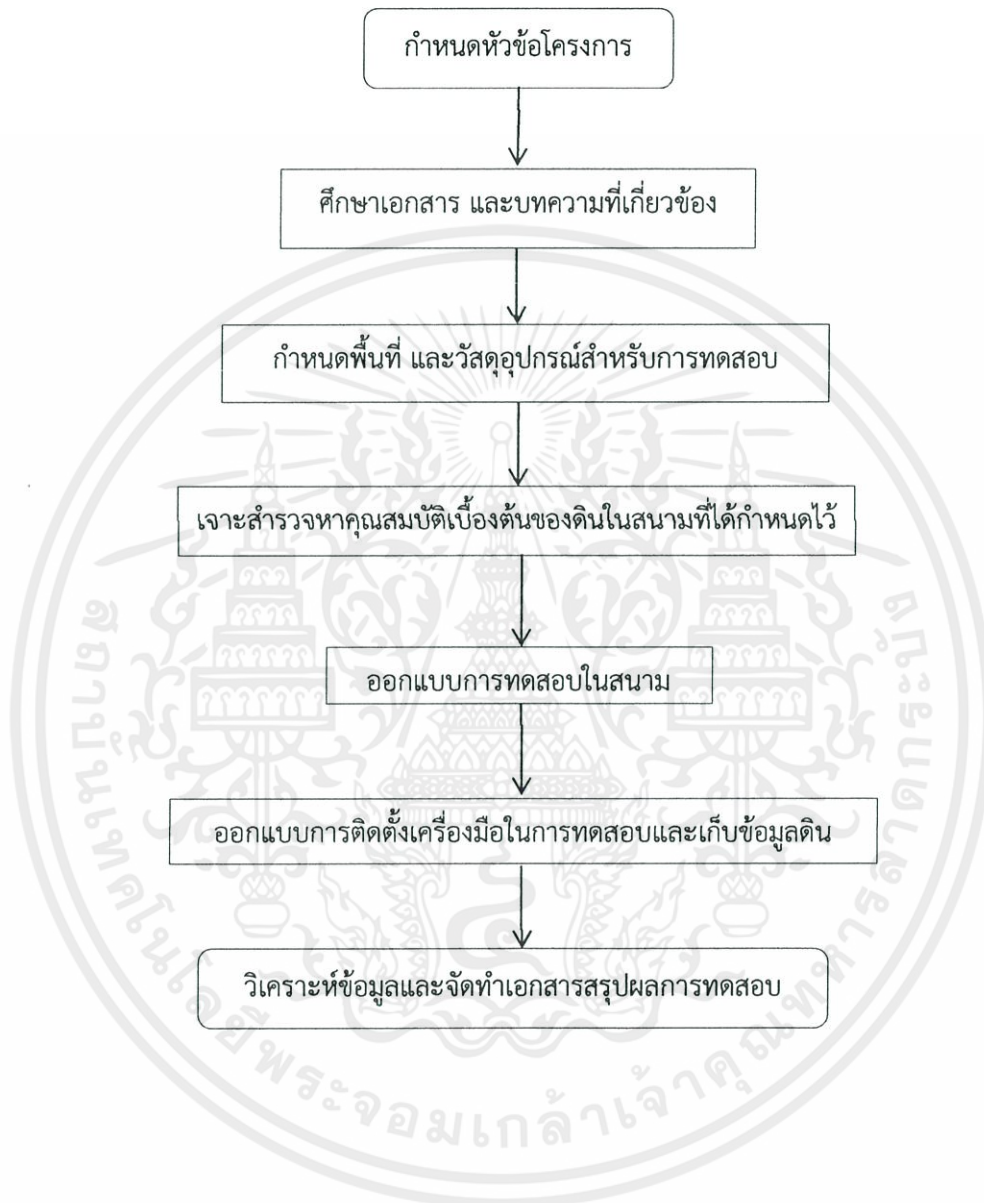
1. การกำหนดหัวข้อการวิจัย (Problem Identification or Statement of Problem)
2. การแจกแจงประเด็น (วัตถุประสงค์การวิจัย) (Objective of Study)
3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)
4. การตั้งสมมติฐาน, การกำหนดขอบเขต (Scope of Study)
5. การออกแบบวิจัย (Methodology)
6. กำหนดพื้นที่ตัวอย่าง (Area Sample)
6. การเก็บข้อมูล (Data Gathering)
7. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)
8. การตีความของการวิเคราะห์นั้น (Data Interpretation)
9. การสรุปและการเผยแพร่ (Conclusion and Recommendation)

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจกระบวนการและวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบำบัดแบบกระทงร่วมกับระบบสุญญากาศได้
2. สามารถนำการออกแบบไปใช้ในการตรวจวัดพฤติกรรมทรุดตัว และการเปลี่ยนแปลงความดันน้ำในดินจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบำบัดแบบกระทงร่วมกับระบบสุญญากาศได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และตั้ง 3 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 ขั้นตอนการดำเนินการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.9 แผนดำเนินการทั้งหมด

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงแผนการดำเนินการทั้งหมด

รายการ	ปี 2555							ปี 2556			
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
ศึกษาโครงการและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	[Black bar from May to September]							[Red bar from July to December]			
ร่างรูปแบบโครงการ	[Black bar from August to December]							[Red bar from October to February]			
สำรวจหาพื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง	[Black bar from October to November]							[Red bar from November to January]			
จัดหาเครื่องมือและเครื่องจักร	[Black bar from December to February]							[Red bar from February to April]			
ทำการทดลองเก็บตัวอย่างดินและบันทึกผล	[Black bar from February to March]							[Red bar from March to April]			
นำตัวอย่างดินมาทดสอบและบันทึกผล	[Black bar from March to April]							[Red bar from April to May]			
นำข้อมูลมาวิเคราะห์และจัดทำเอกสาร	[Black bar from April to May]							[Red bar from May to June]			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 กล่าวนำ

วิธีการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบดอัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศนี้เป็นการนำวิธีปรับปรุงคุณภาพดินที่เคยมีมาก่อนหน้านี้นี้มารวมกันคือ วิธีการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการบดอัดแบบกระแทก (Dynamic compaction) และวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการใช้ระบบสุญญากาศเร่งการทรุดตัว (Vacuum consolidation) ซึ่งนับเป็นการที่ได้ทำในสิ่งที่เป็นไปได้ในอดีตให้เป็นไปได้ นั่นคือการที่สามารถนำการบดอัดแบบกระแทกมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินในดินเหนียวถึงดินเหนียวอ่อนมากได้ จากเดิมที่หากใช้การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการบดอัดแบบกระแทกในดินเหนียวถึงดินเหนียวอ่อน จะทำให้ตุ่มน้ำหนักที่ใช้ถูกดินดูดและดึงออกมาได้ยาก ทำให้ไม่เหมาะสมอย่างยิ่งในการที่จะใช้วิธีการบดอัดแบบกระแทกในดินเหนียวอ่อน โดยข้อดีของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบดอัดแบบกระแทกนั้นคือการที่สามารถเร่งการทรุดตัวได้เร็วกว่าการใช้น้ำหนักกดทับ (Preloading) และการใช้ระบบสุญญากาศนับว่าเป็นวิธีการที่สามารถลดแรงดันน้ำในดิน (Pore water pressure) ได้อย่างรวดเร็ววิธีหนึ่ง ทำให้สามารถลดระยะเวลาในการปรับปรุงคุณภาพดินไปได้อย่างมาก จึงนับได้ว่าเป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินที่มีประสิทธิภาพสูงวิธีหนึ่ง

ในบทนี้ได้กล่าวถึงบทความ หลักการ และทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยได้อธิบายตั้งแต่การใช้เฉพาะการบดอัดแบบกระแทก (Dynamic compaction) การใช้ระบบสุญญากาศเพื่อเร่งการทรุดตัว (Vacuum consolidation) ไปจนถึงต้นแบบของวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินนี้ หรือ HVDM และยังได้กล่าวถึงทฤษฎีที่นับได้ว่าเป็นพื้นฐานของการปรับปรุงคุณภาพดิน ซึ่งจะช่วยให้สามารถเข้าใจถึงหลักการของการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการบดอัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศนี้ได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 บทความที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 Dynamic Compaction

ในอดีตได้มีการทดลองวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบดอัดแบบกระแทก เป็นผลงานวิจัยของ Ir Kenny Yee (1999) โดยได้ใช้วิธีการโดยการปล่อยวัตถุที่มีมวลหนักมาก ๆ ลงมายังผิวดินเพื่อทำให้ดินเกิดการทรุดตัว และยังทำให้ดินมีความหนาแน่นและแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งได้เสนอสมการในการหาระยะความลึกที่ได้รับผลจากแรงกระแทกจากสมการ

$$D = n\sqrt{W \cdot H} \quad (2.1)$$

- โดย D คือ ระยะความลึกที่มีผลจากแรงกระแทก (เมตร)
 W คือ น้ำหนักของตัววัตถุที่ใช้ปล่อยลงมา (ตัน)
 H คือ ระยะความสูงที่ใช้ในการปล่อยวัตถุลงมา
 n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นผลจาก ชนิดของดิน ชนิดของวัตถุที่ใช้ปล่อยวิธีการปล่อย และอื่นๆ ซึ่งดูได้จากตารางที่ 2.1

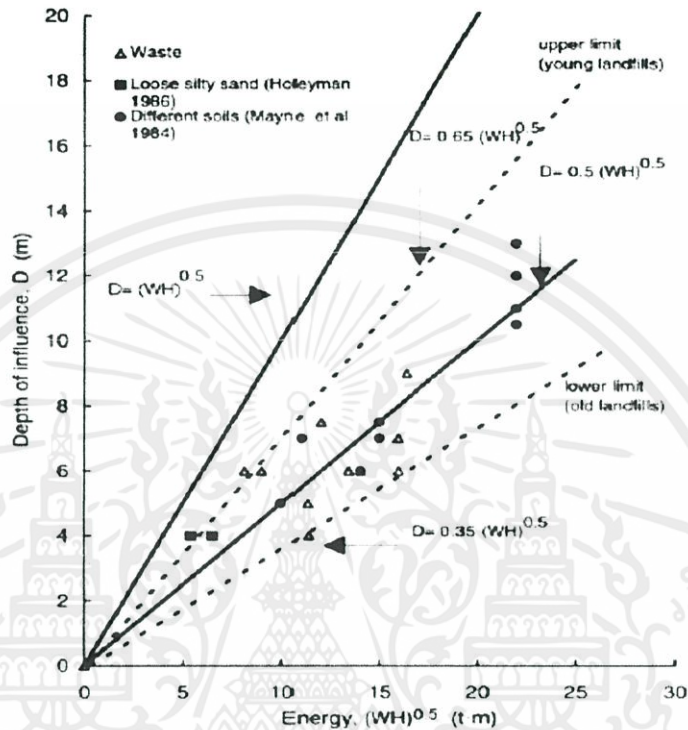
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่า n สำหรับดินชนิดต่างๆ

Source	n-values	Soil Type
Menard & Broise (1975)	1.00	All soils
Leonards, Cutter & Holtz (1980)	0.50	-
Smoltczyk (1983)	0.50	Soils with unstable structure
	0.67	Silts and sand
	1.00	Pure frictional soils
Lukas (1980)	0.65 - 0.80	-
Mayne, Jones & Dumas (1984)	0.30 - 0.80	-
Gambin (1985)	0.50 - 1.00	-
Qian (1987)	0.65	Fine sand
	0.66	Soft clay
	0.55	Loess
Van Impe (1989)	0.65	Silty sand
	0.35	Municipal waste
	0.50	Clayey sand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่การศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 7 อย่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source	n-values	Soil Type
Yee, Setiawan & Baxter (1998)	0.50	Calcareous sand / Coral sand
Faisal, Yee & Varaksin (1997)	0.33 - 0.39	Municipal waste



รูปที่ 2.1 กราฟความสัมพันธ์ค่าพลังงานและค่าสัมประสิทธิ์ n เพื่อหาค่าระดับความลึกที่มีผลจากแรงกระทำ

โดยได้ออกแบบการทดลองให้ทำการบดอัดในพื้นที่ที่มีรูปแบบการทุบเป็นแบบสามเหลี่ยมหรือคล้ายกับตารางหมากรุก ดังรูปที่ 2.2 และทำการถมดินลงไปในพื้นที่ที่ทำการบดอัดและทำซ้ำไปเรื่อยๆเป็นวงรอบ ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 2.2

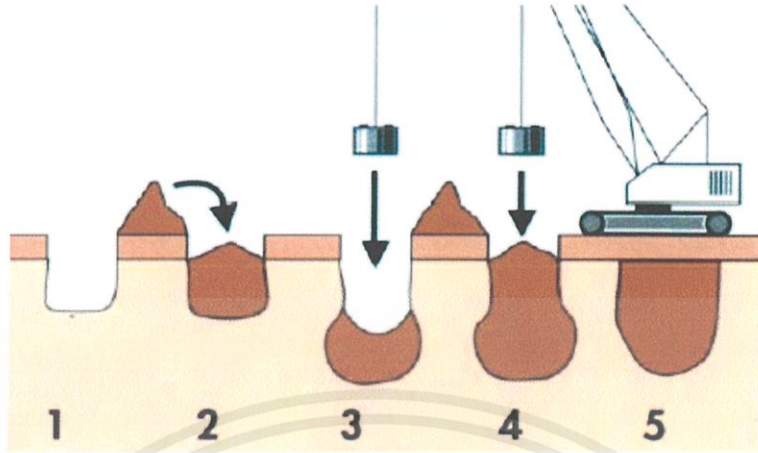
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงวิธีการที่ใช้ในแต่ละรอบและผลการทรุดตัวที่เกิดขึ้น ในการทดลองของ Ir Kenny Yee

Weight of Pounder		= 14 tons (1.83 m x 1.83 m)		
Maximum Drop Height		= 20 m		
Spacing of Compaction Points		= 6.7 m		
Number of Phase		= 3 phase		
Phase		Infrastructure Area	Structural Area	Settlement
1	First pass	8 blows/points	8 blows/points (50 tm/m ²)	0.29 m
	Second pass	(50tm/m ²)	6 blows/points (37 tm/m ²)	
2	First pass	8 blows/points (50tm/m ²)	10 blows/points (62 tm/m ²)	0.21 m
3		Ironing phase continuous overlapping prints (87 tm/m ²)	Ironing phase continuous overlapping prints (87 tm/m ²)	0.10 m



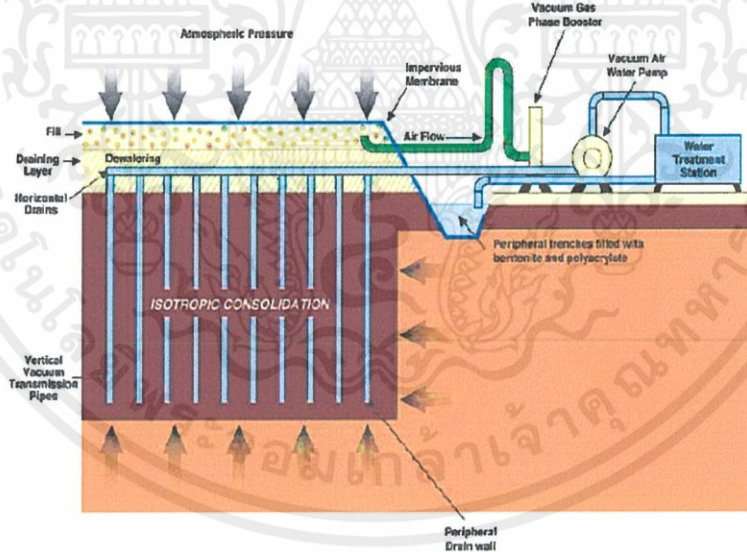
รูปที่ 2.2 ภาพแสดงการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการใช้วิธีการบดอัดแบบกระแทกในการทดลองของเอกสารนี้เป็นเอกสาร Ir Kenny Yee ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 9 องค์อึ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินโดยการบดอัดแบบกระแทกของ Ir Kenny Yee

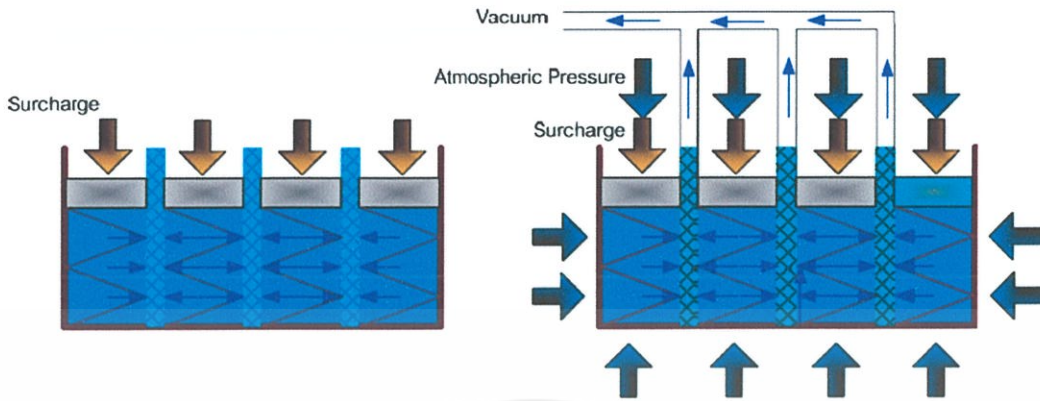
2.2.2 Vacuum Consolidation

งานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการใช้ระบบสุญญากาศในการเร่งการทรุดตัว โดย Frederic Masse, Charles A. Spaulding, Pr. Ihm Chol Wong, และ Serge Varaksin (2001) เป็นวิธีที่ชื่อว่า Menard Vacuum Consolidation (MVC)



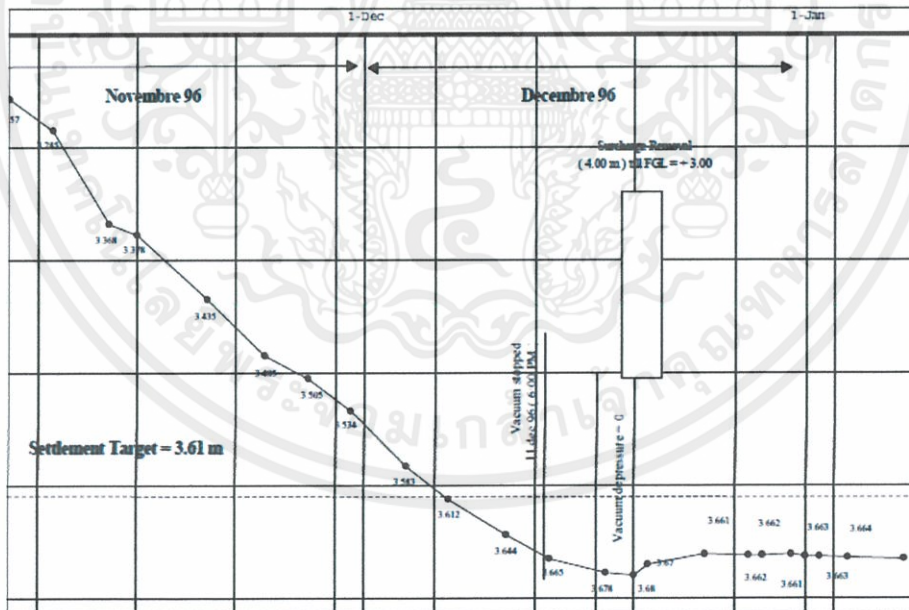
รูปที่ 2.4 ภาพตัด แสดงวิธีการติดตั้งอุปกรณ์การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี Menard Vacuum Consolidation (MVC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 10 ข้ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงกลไกการทำงานของ Vacuum Consolidation

จากพื้นที่ทดลองใช้การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีนี้ใน Kimhae, West of Pusan city, South Korea พื้นที่ประมาณ 80,000 ตารางเมตร ใช้น้ำหนักกดทับตั้งแต่ 3.3 ถึง 15.7 ตันต่อตารางเมตร โดยทำการปรับปรุงที่ระยะความลึก 0 ถึง 7 เมตร โดยได้ผลการทรุดตัวที่มากกว่าที่ได้กำหนดไว้ และหลังจากที่นำเอาน้ำหนักกดทับออกพร้อมกับหยุดการใช้ระบบสุญญากาศ ดินได้เกิดการขยายตัวกลับของดิน (Rebound) ดังรูปที่ 2.6

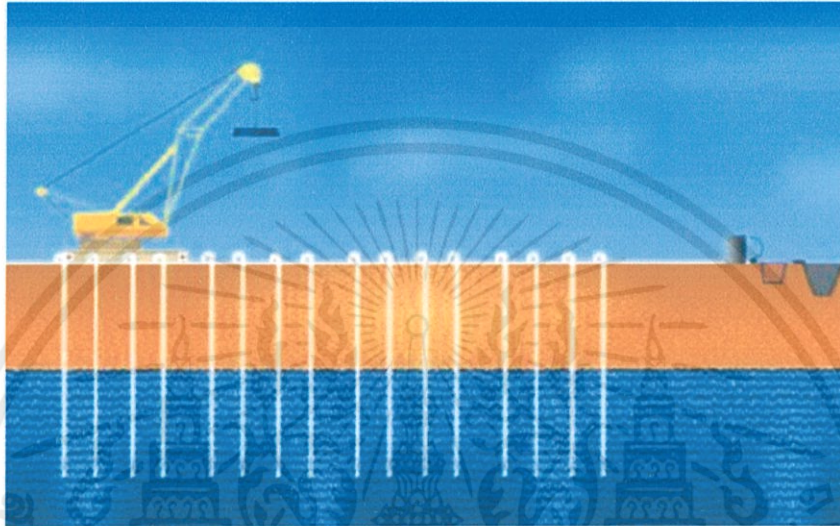


รูปที่ 2.6 กราฟแสดงผลการทรุดตัวจากการใช้วิธีปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี

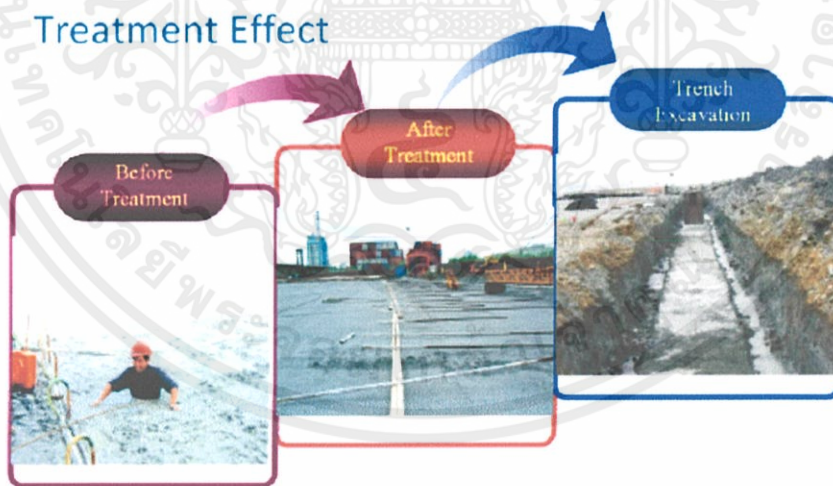
Menard Vacuum Consolidation (MVC) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับโครงการวิจัยที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 11 ข้ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 High Vacuum Densification Method (HVDM)

ต่อมาได้มีการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี HVDM โดย Robert Y. Liang, และ S. Xu (2011) เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการใช้แรงบดอัดด้วยการกระทำร่วมกับการใช้ระบบสุญญากาศ

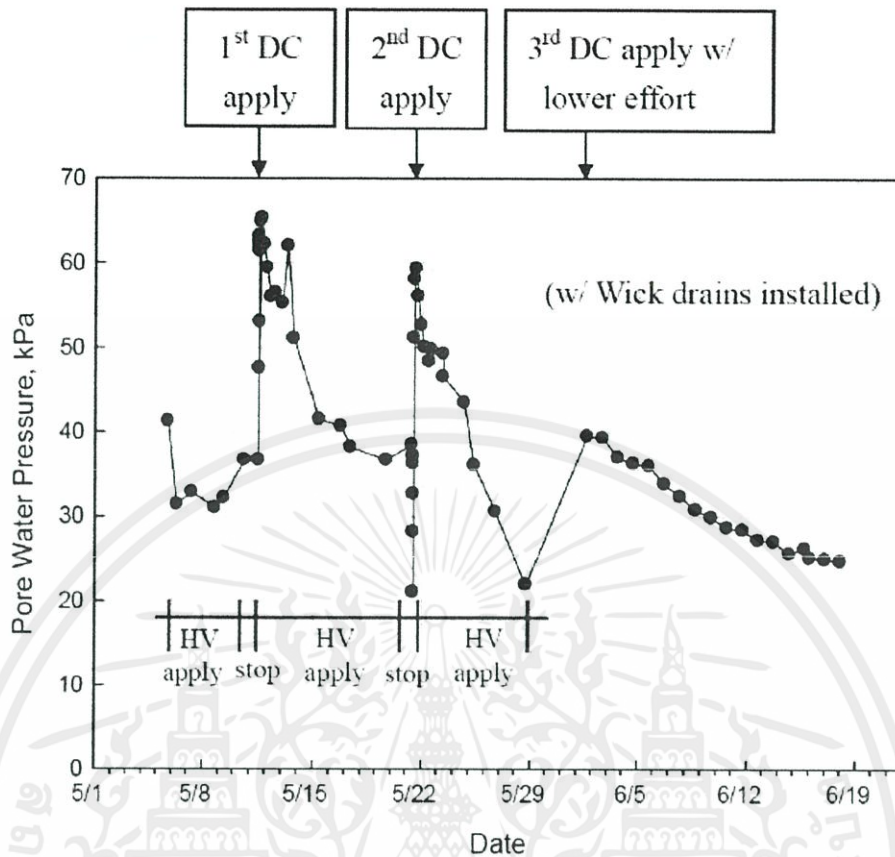


รูปที่ 2.7 ภาพแสดงการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี HVDM



รูปที่ 2.8 ภาพแสดงผลการหลุดตัวจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี HVDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 12 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงค่าแรงดันที่เพิ่มขึ้นในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี HVDM โดย Robert Y. Liang, และ S. Xu

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบการปรับปรุงคุณภาพดินที่ 1st และ 2nd Runways of Pudong Airport

Location	1 st Runway of Pudong Airport	2 nd Runway of Pudong Airport
Technique	Dynamic Compaction with Road Ballast	HVDM
Consolidation	35 cm	55.7 cm
Post-Treatment Settlement	30 cm	10 cm
Cost	High Cost	Saving of 120 Millions Yuan
Schedule	12 Months	4 Months

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 13 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการ และทฤษฎีที่ใช้

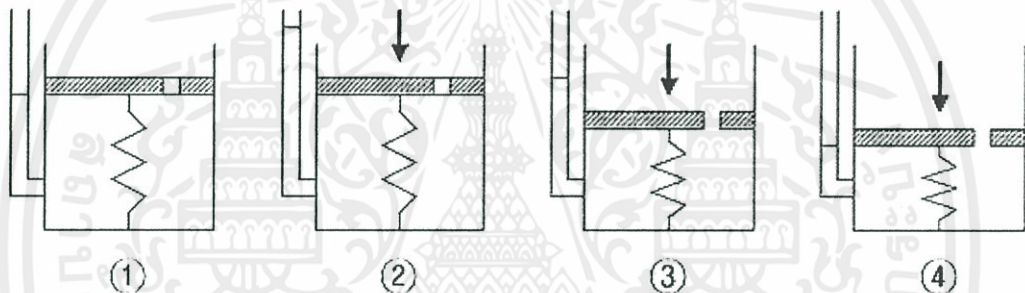
2.3.1 การยุบอัดตัวของดิน (Consolidation)

การยุบตัวของดิน เกิดจากการที่ดินที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน หรือดินอิ่มตัว ได้รับน้ำหนักกดทับ หรือแรงกดอัด เช่น น้ำหนักจากดินที่อยู่เหนือชั้นดินนั้นๆ ขึ้นไป หรือน้ำหนักจากฐานรากของโครงสร้างอาคาร เป็นต้น ทำให้ปริมาตรของดินลดลง โดยปริมาตรที่เปลี่ยนไปจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินสามารถระบายออกไปได้ ทำให้เม็ดดินเคลื่อนตัวเข้าหากัน เป็นผลทำให้ช่องว่างในเม็ดดินลดลง รูปที่ 2.9 ค่าแรงดันประสิทธิผลที่ระดับใดๆ ในชั้นดินสามารถหาได้จากสมการ

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

และเมื่อน้ำหนักกด p กระทำจนน้ำส่วนเกินถูกกำจัดออกไปทั้งหมด สามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

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



รูปที่ 2.10 ภาพอธิบายลักษณะการเกิดการยุบตัว

2.3.2 Immediate Settlement หรือ Elastic Settlement (δ_i)

เป็นการทรุดตัวที่เกิดขึ้นทันทีทันใดหลังจากได้รับแรงกระทำ หรือขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ Elastic ของดิน การทรุดตัวนี้ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำในดิน สามารถหาค่ายุบตัวได้จากสมการ

$$\delta_i = C_a q B \left(\frac{1-\mu^2}{E} \right) \quad (2.3)$$

โดย C_a คือค่าปัจจัยที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติด้านรูปร่าง และความแข็งแรงของดิน

q คือค่าหน่วยแรงที่กระทำบนผิวดิน

B คือค่าระยะตามยาวด้านสั้นที่รับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 14 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μ คือค่าอัตราส่วนของปัวซอง (Poisson Ratio)

E คือค่า Modulus of Elasticity

2.3.3 Primary Settlement (δ_c)

เป็นการทรุดตัวที่เกิดจากการทรุดตัวจนทำให้เกิดการสูญเสียน้ำในดิน ในข้อมูลการทดลองจะทำการสร้างกราฟระหว่างค่าความเครียด (Strain) หรือ ค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) กับค่าความเครียดประสิทธิผล (Effective Stress) ในกราฟ Logarithmic Scale เพื่อหาค่า Compression Index หรือ Recompression Index จากค่า slope และสามารถหาค่าการยุบตัวได้จากสมการ

$$\delta_c = \frac{C_c}{1+e_0} H_0 \log \left(\frac{\sigma'_{vf}}{\sigma'_{v0}} \right) \quad (2.4)$$

โดย C_c คือค่า Compression Index

e_0 คือค่าอัตราส่วนช่องว่างตั้งต้น

H_0 คือค่าความสูงของดินที่นำมาทดสอบ

σ'_{vf} คือค่าความเค้นสุดท้าย (Final Vertical Stress)

σ'_{v0} คือค่าความเค้นเริ่มต้น (Initial Vertical Stress)

C_c สามารถแทนที่ด้วย C_r (Recompression Index) ได้ สำหรับการยุบตัวเกินของดินเมื่อเกิดการยุบตัวขั้นแรกน้อยกว่าหรือมากกว่าขั้นสุดท้าย โดยต้องรวมสมการจากทั้งสองเข้าด้วยกัน จะได้สมการ

$$\delta_c = \frac{C_r}{1+e_0} H_0 \log \left(\frac{\sigma'_{vc}}{\sigma'_{v0}} \right) + \frac{C_c}{1+e_0} H_0 \log \left(\frac{\sigma'_{vf}}{\sigma'_{vc}} \right) \quad (2.5)$$

โดย σ'_{vc} คือค่าความเค้นก่อนการยุบตัว (Preconsolidation Stress)

2.3.4 Secondary Settlement หรือ การที่ดินเกิดการล้า (δ_s)

การทรุดตัวประเภทนี้เกิดจากการที่ดินรับแรงกระทำเป็นเวลานาน จนทำให้ดินเกิดการ

ล้า (Creep) สามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 15 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

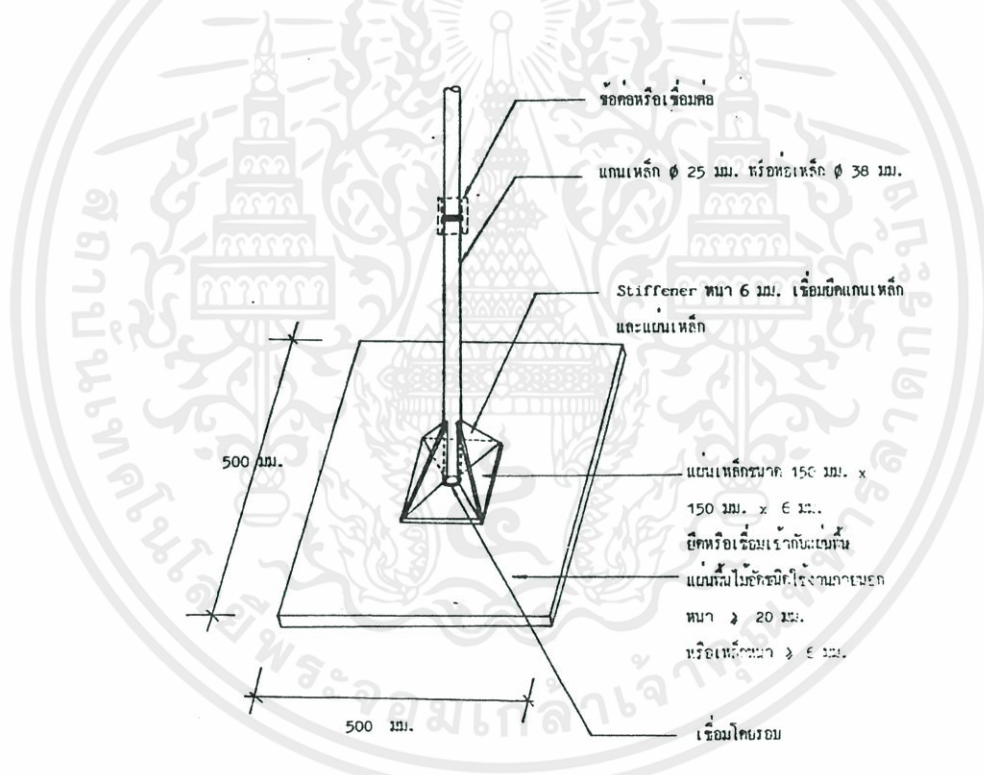
$$\delta_s = \frac{C_a}{1+e_0} H_0 \log \left(\frac{t}{t_{90}} \right) \quad (2.6)$$

- โดย C_a คือค่า Secondary Compaction Index
 t คือค่าระยะเวลาหลังจากที่เกิดการยุบตัวไปแล้ว
 t_{90} คือค่าระยะเวลาที่เกิดการยุบตัวที่ 90%

2.3.5 เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของมวลดิน (Settlement Plate)

เป็นเครื่องมือวัดการทรุดตัวของดิน โดยการวางแผ่นเหล็กที่ยึดติดกับท่อเหล็ก ตรงตำแหน่งที่ต้องการตรวจวัด และใช้กล้องระดับวัดระดับปลายท่อเพื่อหาค่าการทรุดตัว มีลักษณะดังรูปที่

2.11



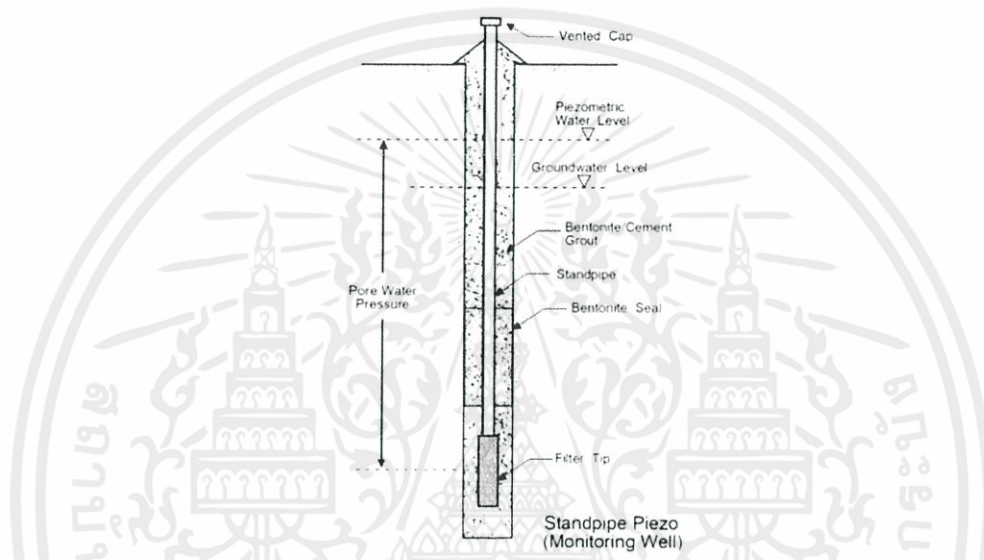
รูปที่ 2.11 ภาพแสดงการอธิบายส่วนประกอบต่างๆ ของแผ่นวัดการทรุดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 16 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

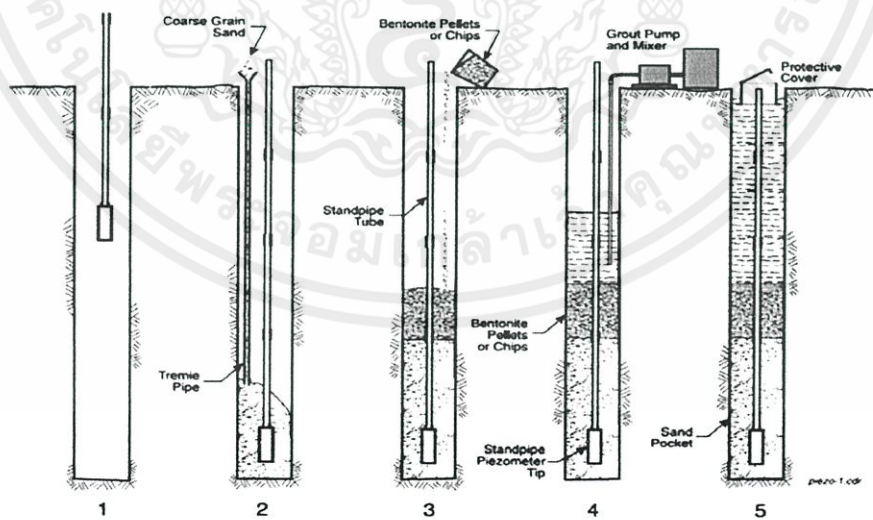
2.3.6 เครื่องมือวัดแรงดันน้ำใต้ดิน (Piezometer)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดค่าความดันน้ำ (Pore Water Pressure) ในชั้นดิน ณ ระดับความลึกต่างๆ แบ่งชนิดของเครื่องมือวัดแรงดันน้ำใต้ดินทั้งหมด 3 แบบ ได้แก่ แบบท่อปลายเปิด (Standpipe Piezometer), แบบใช้ระบบลม (Pneumatic Piezometer) และแบบใช้ระบบไฟฟ้า (Vibrating Wire Piezometer)

ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะในส่วนของเครื่องมือวัดแรงดันน้ำแบบท่อปลายเปิด ซึ่งเป็นชนิดที่ได้นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้



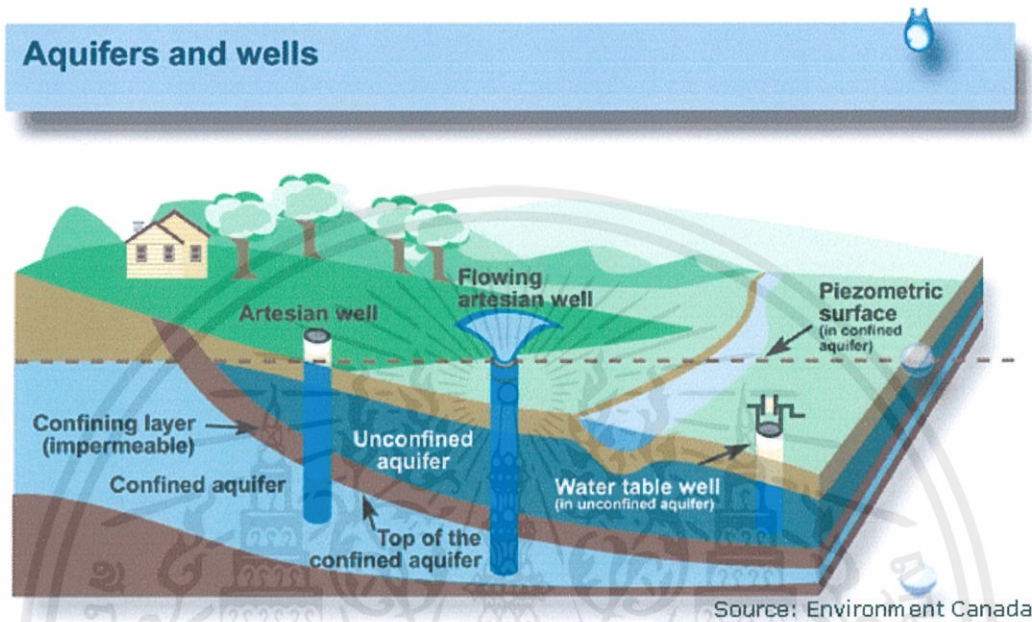
รูปที่ 2.12 รูปตัดแสดงการติดตั้ง Standpipe Piezometer



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 17 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 ชั้นน้ำใต้ดิน (Aquifer)

ในชั้นน้ำใต้ดินสามารถอธิบายการไหลคงที่ของน้ำใต้ดินเข้าบ่อบาดาล (Steady Groundwater Flow) ซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 2.14 สามารถแบ่งการไหลคงที่ของได้ 2 กรณี คือ ในชั้นให้น้ำใต้ดินอิสระ และชั้นให้น้ำบาดาล

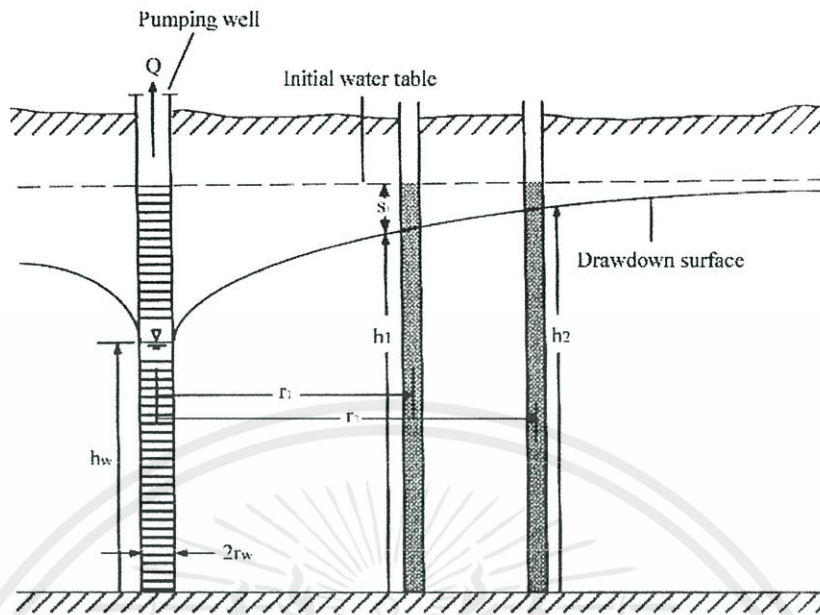


รูปที่ 2.14 ภาพแสดงระดับชั้นน้ำใต้ดิน บ่อสูบ และบ่อสังเกตการณ์

2.3.7.1 ชั้นให้น้ำใต้ดินอิสระ (unconfined aquifer)

ในชั้นให้น้ำใต้ดินอิสระ เมื่อมีการสูบน้ำใต้ดินจากบ่อบาดาลด้วยอัตราการสูบ Q คงที่ จะทำให้มีการไหลซึมของน้ำใต้ดินเข้าสู่บ่อสูบทุกทิศทาง ตามแนวรัศมีของวงกลม เรียกว่า การไหลตามแนวรัศมี (radial flow) ลักษณะเช่นนี้ จะเป็นผลทำให้ระดับน้ำใต้ดิน (water table) ค่อยๆลดระดับลง เกิดกรวยน้ำลด (drawdown curve) ดังแสดงในรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 18 อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงภาพการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นบาดาล

หากพิจารณาที่รัศมี r ใดๆ มีระดับน้ำใต้ดินขณะสูบ h สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูบ Q กับตัวแปรต่างๆได้ โดยใช้สมการการไหลต่อเนื่องและสมการของ Darcy ซึ่งในกรณีที่มีบ่อสังเกตการณ์ 1 บ่อ ที่รัศมี r ใดๆ ซึ่งสามารถหาอัตราการสูบได้จากสมการที่ 2.7

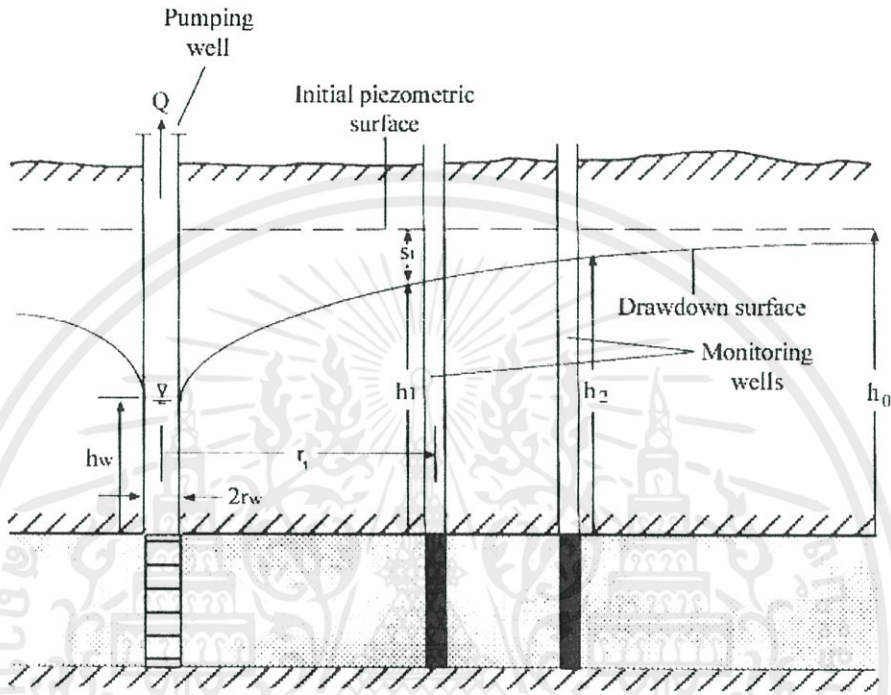
$$Q = \pi K \frac{h^2 - h_w^2}{\ln\left(\frac{r}{r_w}\right)} \quad (2.7)$$

- โดย Q คือ อัตราการสูบ
 K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึม
 h คือ ความสูงของน้ำในบ่อสังเกตการณ์
 h_w คือ ความสูงของน้ำในบ่อบาดาล
 r คือ รัศมีจากศูนย์กลางบ่อบาดาล ถึงศูนย์กลางบ่อสังเกตการณ์
 r_w คือ รัศมีของบ่อบาดาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 19 อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7.2 ชั้นให้น้ำบาดาล (Confined Aquifer)

ในชั้นให้น้ำบาดาล จะมีการไหลซึมสู่อ่างน้ำบาดาลในแนวราบ ซึ่งถ้ามีการสูบน้ำจากอ่างน้ำบาดาลด้วยอัตราการไหล Q คงที่ จะเกิดการไหลซึมเข้าสู่อ่างน้ำบาดาลในชั้นให้น้ำบาดาลหนา D เป็นผลทำให้ระดับความดันน้ำ (Piezometric Head) ลดระดับลงเป็นรูปกรวยน้ำลด ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงภาพการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นให้น้ำบาดาล

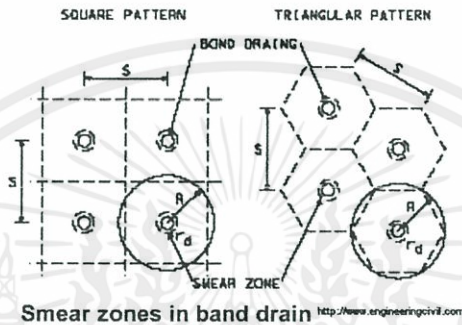
พิจารณาที่รัศมี r ใดๆ มีระดับน้ำใต้ดินขณะสูบ h สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูบ Q กับตัวแปรต่างๆได้ โดยใช้สมการการไหลต่อเนื่องและสมการของ Darcy สามารถหาอัตราการสูบได้ดังสมการที่ 2.8

$$Q = \frac{2\pi b(h-h_w)}{\ln\left(\frac{r}{r_w}\right)} \quad (2.8)$$

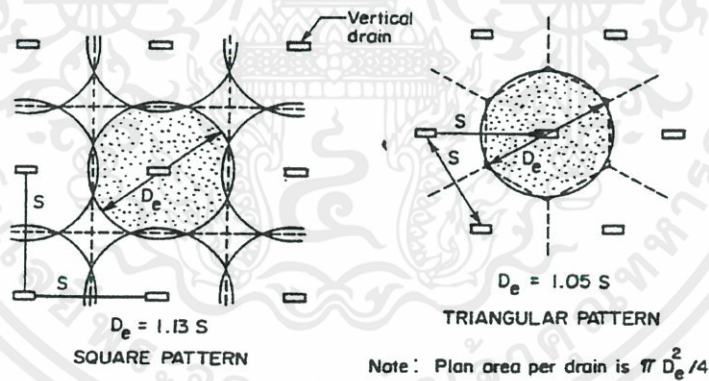
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 20ข้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.8 Smear Effect

ในการติดตั้งแผ่นระบายน้ำในแนวดิ่ง ต้องมีระยะห่างระหว่างท่อระบายน้ำในแนวดิ่งที่เหมาะสม เพราะว่าท่อระบายน้ำในแนวดิ่งแต่ละอันจะมีขอบเขตหรืออิทธิพลของการระบายน้ำอยู่ ถ้าขอบเขตหรืออิทธิพลของท่อระบายน้ำในแนวดิ่งซ้อนทับกันก็จะทำให้เกิดการระบายน้ำไม่เต็มประสิทธิภาพได้ การระบายน้ำได้ไม่เต็มประสิทธิภาพเนื่องมาจากสาเหตุที่กล่าวไปแล้วเรียกว่า " smear effect "



รูปที่ 2.17 Smear Zone



ก) รูปแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ข) รูปแบบสามเหลี่ยม

รูปที่ 2.18 Radial Consolidation of Clay by Sand Drain Considering Smear Effect

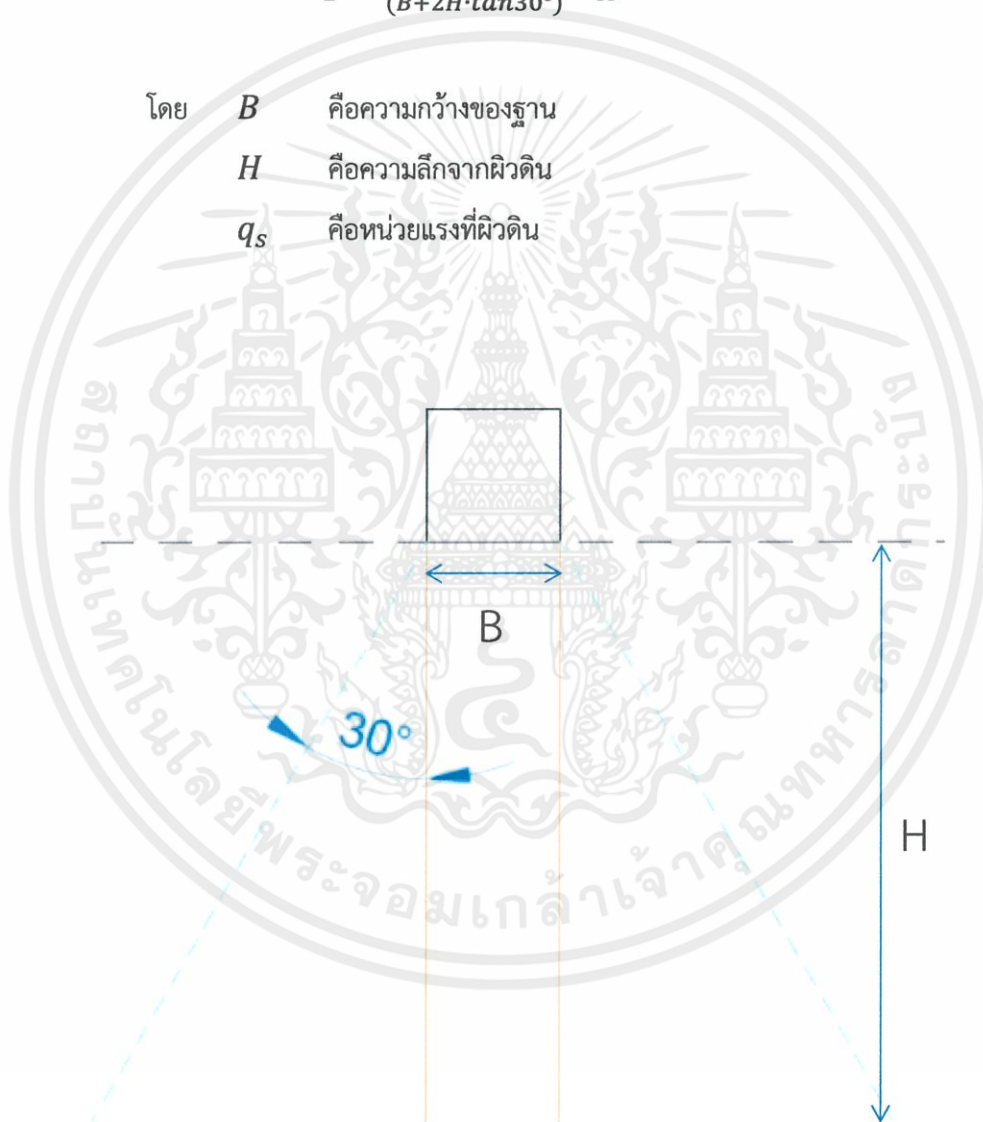
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 21 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.9 การกระจายแรงที่เกิดจากสิ่งก่อสร้าง

น้ำหนักของสิ่งก่อสร้างมักเป็นสิ่งที่ทำให้ดินเกิดการทรุดตัว ดังนั้นในการวิเคราะห์การทรุดตัวที่เกิดขึ้นนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทราบการกระจายแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นดิน การคำนวณแรงโดยประมาณ เป็นวิธีการคำนวณโดยการประมาณมุมที่กระทำในแนวตั้งเท่ากับ 30° ดังในรูปที่ 2.19 สามารถคำนวณแรงที่ระยะต่างๆได้จากสมการ

$$\sigma_z = \frac{B}{(B+2H \cdot \tan 30^\circ)} \cdot q_s \quad (2.9)$$

โดย B คือความกว้างของฐาน
 H คือความลึกจากผิวดิน
 q_s คือหน่วยแรงที่ผิวดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องเรียนเท่านั้น ผู้ใช้ควรนำใบไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 22 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 กล่าวนำ

จากที่ได้กล่าวมาในบทก่อนหน้า การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีนี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพดินที่นำเอาวิธีการปรับปรุงคุณภาพดิน 2 วิธีมาใช้ร่วมกันคือการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการเร่งการทรุดตัวด้วยระบบสุญญากาศ (Vacuum Consolidation) และการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบดอัดแบบกระแทก (Dynamic Compaction) โดยนำมาจัดวางให้เป็นระบบวงรอบโดยเริ่มจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีเร่งการทรุดตัวด้วยระบบสุญญากาศก่อน และตามด้วยการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบดอัดแบบกระแทกตามลำดับ และวนรอบการทำงานนี้ไปเรื่อยๆจนครบตามที่ได้กำหนด

ภายในบทนี้ได้กล่าวถึงหลักการในการเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพดินชนิดนี้ การคำนวณต่างๆ ในการออกแบบ และการออกแบบเลือกใช้อุปกรณ์ในการวางระบบ

3.2 หลักการเลือกพื้นที่ที่เหมาะสม

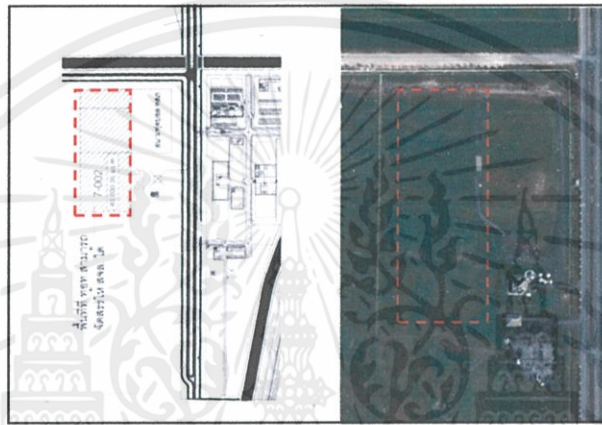
เกณฑ์ในการเลือกพื้นที่สำหรับการทดลองคือ พื้นที่นั้นจะต้องไม่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพดินมาก่อน หรือได้รับการปรับปรุงมาบางเป็นเวลานานแล้ว และเป็นพื้นที่ที่มีการยุบอัดคายตัวปกติ (Normal Consolidation) โดยในที่นี้จะเน้นดินในพื้นที่กรุงเทพฯหรือมีคุณสมบัติดินเป็นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Soft Bangkok Clay) เป็นหลัก

พื้นที่ตัวอย่างที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการบดอัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศภายในโครงการพิเศษนี้ได้ยกตัวอย่างพื้นที่ในเขตพื้นที่ของสนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำใต้ดินที่สูง ดินมีลักษณะเป็นดินเหนียวอ่อน จึงเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมเป็นอย่างมากสำหรับการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีนี้ โดยในพื้นที่ที่ได้นำมาเป็นตัวอย่างเป็นพื้นที่ดังรูปที่ 3.1 มีขนาดแปลงละ 16.5x21 เมตร และได้ทำการเจาะสำรวจดินในพื้นที่ตัวอย่างนี้เพื่อแสดงให้เห็นลักษณะชั้นดินที่เหมาะสม

ในการเจาะสำรวจชั้นดินได้กระทำโดยวิธีการฉีดล้าง (Wash Boring) เพื่อ

เก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพ (Undisturbed Sample) โดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างแบบกระบอกบาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Thin Wall Tube Sampler) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลางและเก็บตัวอย่างดินที่ไม่คงสภาพ (Disturbed Sample) โดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างแบบกระบอกผ่ามาตรฐาน (Split Spoon Sampler) ในชั้นดินเหนียวแข็งและชั้นทรายพร้อมกับทำการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) ตามมาตรฐาน ASTM D1586 เพื่อให้ได้ค่าความแน่นหรือกำลังของดิน ซึ่งในการเจาะสำรวจครั้งนี้ได้ทำการเจาะเก็บสำรวจลงไปลึก 20.45 เมตร และได้ลักษณะชั้นดินดังในตารางที่ 3.1 และพบว่าชั้นดินที่ระดับ 2 - 10 เมตรต่ำกว่าระดับผิวดินนั้นมีค่าความชื้นที่สูงมาก ดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายทางอากาศบริเวณพื้นที่ที่เหมาะสม

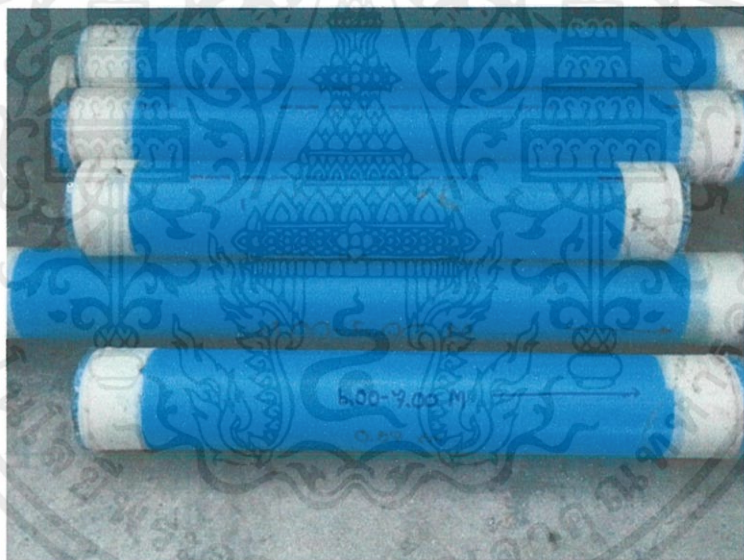


รูปที่ 3.2 ภาพการเจาะสำรวจดินในสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 24 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ท่อ PVC ที่ใช้เก็บตัวอย่างดิน



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างดินที่เก็บมาจากสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 25 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางสรุปลักษณะชั้นดินก่อนการทดสอบ

ความลึก, เมตร	ชนิดของดิน	ค่า SPT N Value, ครั้ง/ฟุต
0.00 - 0.40	ดินแข็งปนหิน, กรวด	5
0.40 - 2.00	ดินเหนียว, ตะกอน, ทรายละเอียดสีน้ำตาล	3
2.00 - 10.00	ดินเหนียวอ่อนมาก สีเทา	-
10.00 - 14.60	ตะกอน มีความเหนียว สีเทา	1 - 7
14.60 - 18.05	ดินเหนียวปนตะกอน ปนทรายละเอียด สีน้ำตาลปน เหลือง	7 - 41
18.05 - 20.45	ตะกอนปนทรายละเอียดมีความเหนียวสีน้ำตาล	41 - 46

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าในระดับ 0.00 - 2.00 เมตรต่ำกว่าระดับผิวดินนั้น ดินมีความแข็ง ซึ่งเป็นลักษณะของดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพดินมาแล้วโดยได้รับการปรับปรุงมาเป็นระยะเวลาหนึ่ง แต่ในระดับที่ลึกลงไปยังเป็นดินเหนียวอ่อนอยู่ จึงยังสามารถทำการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีนี้ได้

จากที่ได้ทำการสำรวจเก็บค่าระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่เป็นเวลา 3 วัน ภายหลังจากเสร็จสิ้นการเจาะสำรวจมีค่าระหว่าง 0.50 ถึง 1.70 เมตรที่ระดับต่ำกว่าผิวดิน ณ ขณะทำการสำรวจ

ทั้งนี้ระดับน้ำใต้ดินมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดทั้งปี ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศหรือปริมาณน้ำฝนที่ได้รับ

SUMMARY OF TEST RESULTS																	
PROJECT :		HVDM					LOCATION :									Suvamabhumi	
DATE		BORING NO. BH-1					OBSERVED WL. -8.00									m.	
SAMPLE No.	DEPTH (m)		WATER CONTENT (%)	ATTERBERG LIMITS (%)			WET UNIT WEIGHT (t/m ³)	SIEVE ANALYSIS					CLASSIFICATION	UNCONFINED SHEAR STRENGTH (t/sq.m.)	SPT (N) (blows/ft)		
	FROM	TO		LL	PL	PI		%FINER									
								NO. 3/8"	NO. 4	NO. 10	NO. 40	NO. 200					
SS-01	0.00	1.00	23.51												5		
SS-02	1.00	2.00	51.53												3		
ST-03	2.00	3.00	113.16	53.473	32.537	20.936	1.469						MH-OH		-		
ST-04	3.00	4.00	111.50	67.964	23.012	44.952							CH-OH		-		
ST-05	4.00	5.00	114.25	59.295	34.533	24.762	1.458						MH-OH		-		
ST-06	5.00	6.00		63.778	40.954	22.824							MH-OH		-		
ST-07	6.00	7.00	118.44	55.903	39.060	16.843	1.444						MH-OH		-		
ST-08	7.00	8.00	107.01	53.184	29.308	23.876							MH-OH		-		
ST-09	8.00	9.00		50.885	31.946	18.939	1.564						MH-OH		-		
ST-10	9.00	10.00	71.04	58.588	23.466	35.122							CH-OH		-		
SS-11	10.00	11.00	100.84												1		
SS-12	11.00	12.00	75.75												2		
SS-13	12.00	13.00	73.93												4		
SS-14	13.00	14.00	68.83												5		
SS-15	14.00	15.00	63.20												7		
SS-16	15.00	16.00	33.47												18		
SS-17	16.00	17.00	27.41												32		
SS-18	17.00	18.00	21.22												37		
SS-19	18.00	19.00	20.43												41		
SS-20	19.00	20.00	19.94												43		
SS-21	20.00	21.00	17.42												46		

27

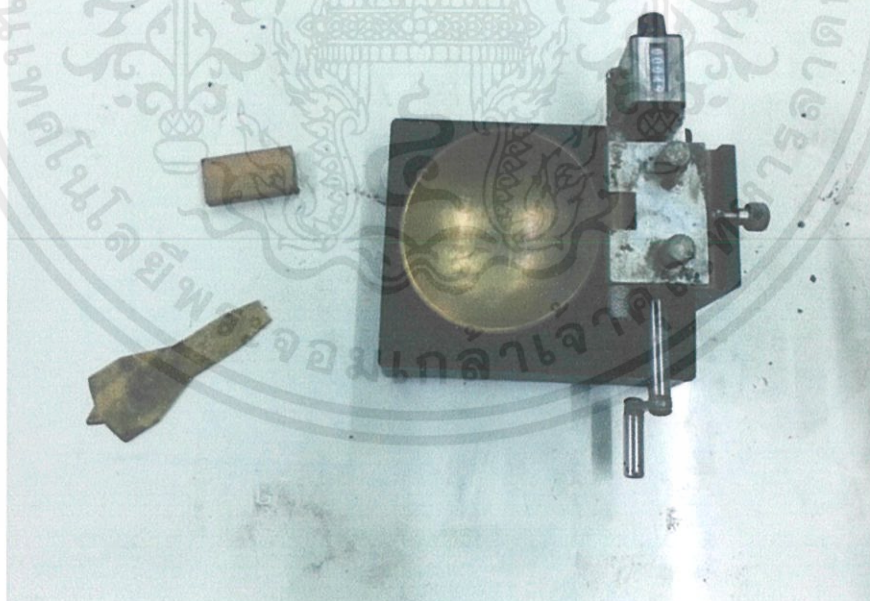
ตารางที่ 3.2 ตารางสรุปผลการทดสอบดินก่อนการทดสอบ

3.3 การทดสอบคุณสมบัติดินในห้องปฏิบัติการ

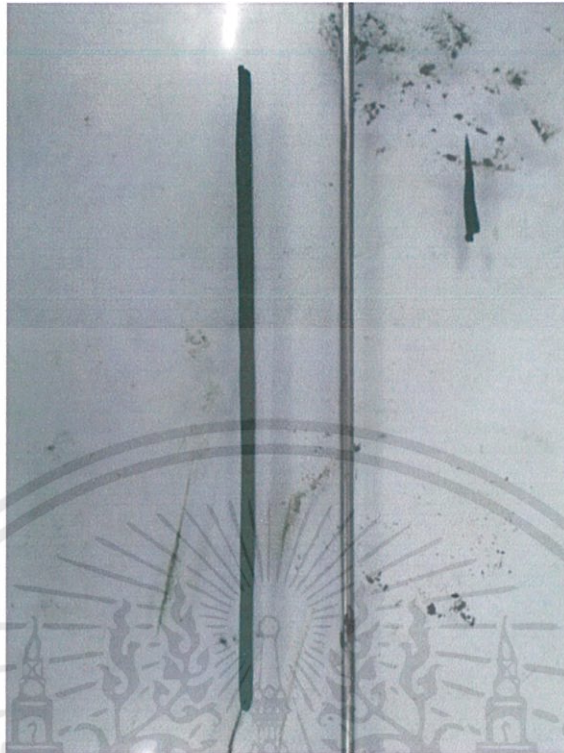
ก่อนที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพดินนั้นควรจะมีการตรวจสอบคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของดินในพื้นที่นั้นๆก่อนเสมอ โดยในที่นี้ได้นำเสนอการทดสอบคุณสมบัติของดินที่ควรจะมีการตรวจสอบ ทั้งนี้อาจจะทำการทดสอบคุณสมบัติด้วยวิธีอื่นอีกตามความสมควร

3.3.1 การทดสอบขีดจำกัดอะตตะเบิร์ก (Atterberg's Limits)

เป็นการทดสอบสำหรับหาค่า Liquid Limit และ Plastic Limit เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในจำแนกชนิดดิน (Soil Classification) และสามารถประมาณค่าการทรุดตัว (Settlement) ความสามารถในการซึมน้ำ (Permeability) ความสามารถการอัดตัว (Compressibility) ของดิน รวมถึงความสามารถในการรับน้ำหนัก (Strength) ของดินได้ ในการหาค่า Liquid Limit นั้นจะใช้ดินแห้งผสมน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ แล้วนำไปเคาะทดสอบในชุดอุปกรณ์ทดสอบ ตาม รูปที่ 3.3 และนำค่าจำนวนครั้งที่เคาะกับค่า Water Content มาพล็อตใน Logarithm Graph เพื่อหาค่า Liquid Limit จากค่า Water Content ที่จำนวนการเคาะ 25 ครั้ง และในการหาค่า Plastic Limit จะทำการปั้นดินให้มีขนาดเทียบเท่าเพลาลโลหะขนาด 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) แล้วนำดินที่ได้ไปหาค่า Plastic Limit จาก Water Content ที่ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์ทดสอบ Liquid Limit เดี้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 28 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ลักษณะการปั้นดินทดสอบ Plastic Limit

3.3.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil Test)

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ด (G_s) โดยหาค่าน้ำหนักน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ และหาค่าน้ำหนักน้ำกับดินที่ค่าอุณหภูมิหนึ่ง แล้วนำไปหาค่า G_s จากสมการ

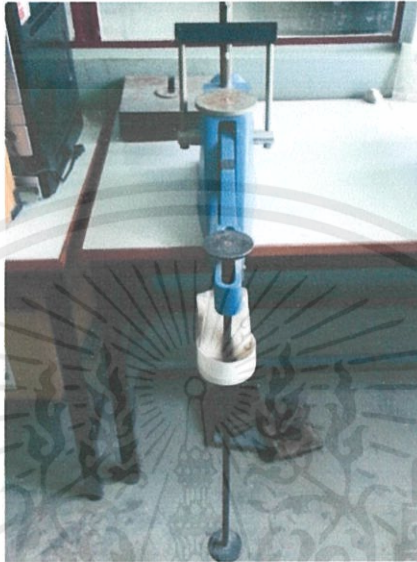
$$G_s = \frac{GT \times \text{Dry Soil}(g)}{(\text{Flask} + \text{Water}(g)) + (\text{Dry Soil}(g)) - (\text{Flask} + \text{Water} + \text{Soil}(g))} \quad (3.1)$$

โดย GT คือค่าปรับแก้ที่ค่าอุณหภูมิต่างๆ

3.3.3 การทดสอบการยุบตัวของดิน (Consolidation Test)

การทดสอบนี้มีไว้เพื่อใช้สำหรับหาค่า Coefficient of Consolidation (C_v), Compression Index (C_c), Coefficient of Volume Compressibility (M_v) เพื่อสามารถหาค่าการยุบตัวที่เกิดขึ้นในระยะต่างๆได้ และสามารถนำไปใช้หาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง เพื่อที่จะได้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 29 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

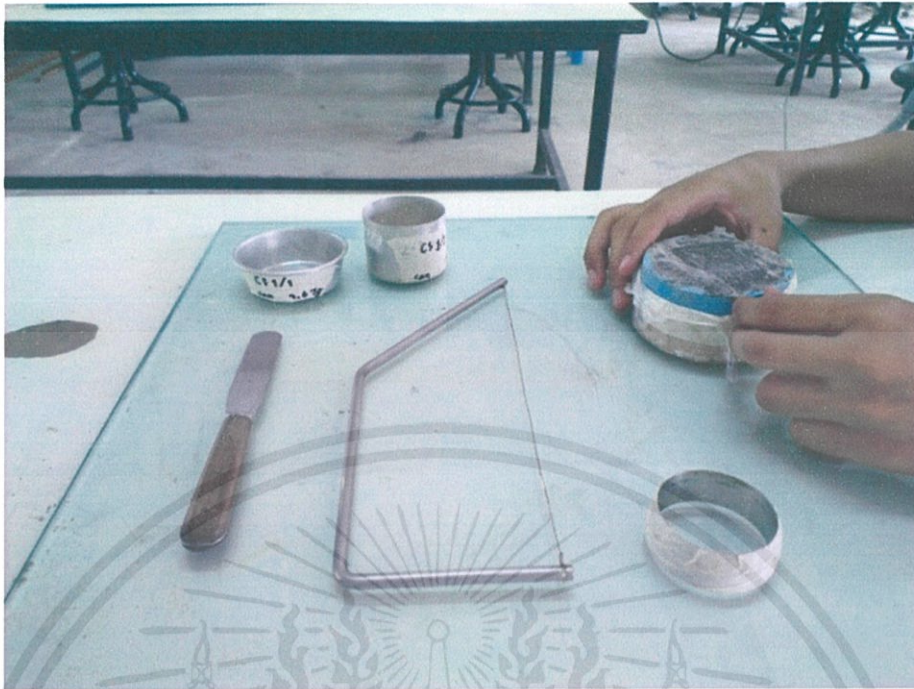
เปอร์เซ็นต์การทรุดตัวของดินตามที่ต้องการได้ โดยการนำดินมาบรรจุไว้ใน Cutting Ring และชุดอุปกรณ์ แล้วนำไปนำไปทดสอบในเครื่องทดสอบแบบคานงัดที่ค่าน้ำหนักต่างๆเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปพล็อตหาค่าการทรุดตัวที่ t_{90}



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบแบบคานงัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.8 แผ่นน้ำหนัก ที่ใช้สำหรับทดสอบ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 30 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ภาพการเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบการทนต์ตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.10 ขณะทำการทดลองการทดสอบการทนต์ตัวนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 31 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การหาขนาดเม็ดดินด้วยวิธี Hydrometer Analysis

เนื่องจากขนาดและความคละของเม็ดดินมีผลต่อความสามารถของดินในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ค่าความซึมน้ำของดิน (Permeability) อัตราการทรุดตัว (Settlement Rate) และความสามารถในการรับน้ำหนัก (Strength) ของดิน เป็นต้น จึงจำเป็นต้องทราบขนาดของเม็ดดินเพื่อสำหรับคาดคะเนผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นต่อไปได้ การหาขนาดเม็ดดินด้วยวิธี Hydrometer Analysis เป็นวิธีในการหาขนาดเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า sieve เบอร์ 200 โดยสามารถหาได้โดยนำดินแห้งปริมาณมากกว่า 50 กรัมมาปั่นรวมกันสารช่วยกระจายตัวเม็ดดิน และน้ำกลั่นปริมาณหนึ่ง และนำไปผสมกับน้ำกลั่นในกระบอกวัด ปริมาตรให้ได้ปริมาณ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วนำ Hydrometer วัดค่าที่เวลาต่างๆ

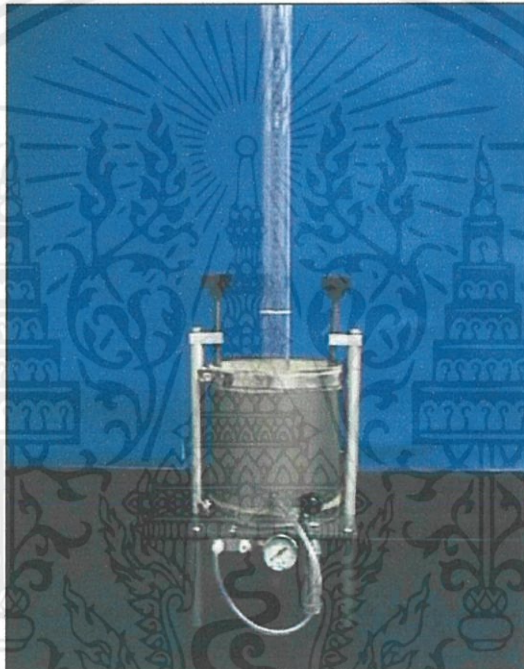


รูปที่ 3.11 ภาพการทดสอบหาขนาดเม็ดดินด้วยวิธี Hydrometer Analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การทดสอบหาค่าความซึมผ่านของดิน (Soil Permeability Test)

ใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน (Coefficient of Permeability) สำหรับใช้ในการหาค่าอัตราการไหลของน้ำที่ซึมผ่านเม็ดดินเข้ามาในท่อสุญญากาศที่เตรียมไว้ เพื่อที่จะสามารถประมาณระยะเวลาในการสูบน้ำในแต่ละครั้งได้ ซึ่งดินในที่นี้เป็นดินเหนียวอ่อนจึงทำการทดสอบแบบไม่รักษาระดับน้ำโดยการที่ต้องทำให้ดินตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ และทำการทดสอบโดยการจับเวลาที่ใช้ในการปล่อยให้น้ำในปริมาณที่กำหนดไหลซึมผ่านดิน แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความซึมผ่านน้ำของดินต่อไป



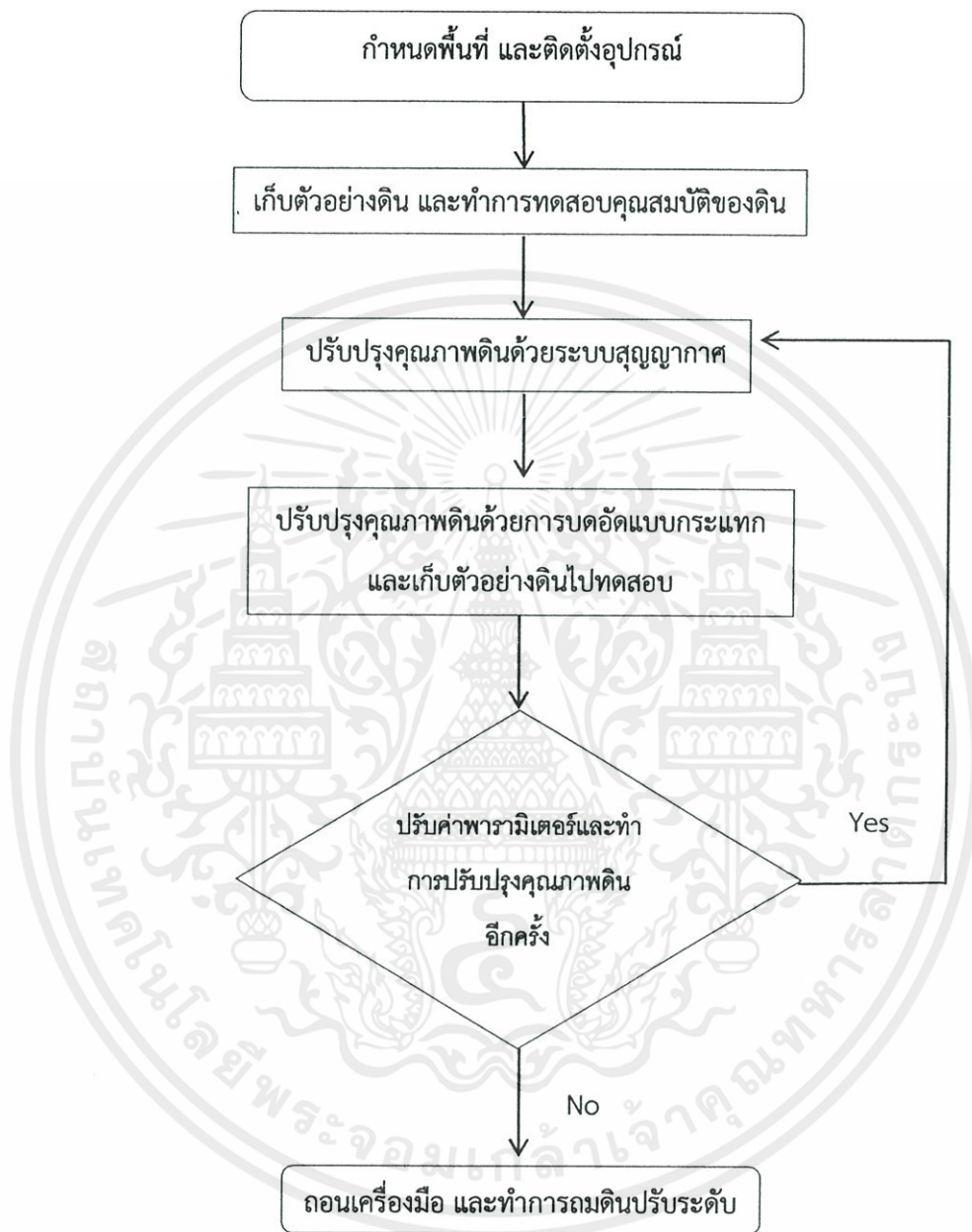
รูปที่ 3.12 ภาพแสดงการทดสอบหาค่าความซึมผ่านของดินแบบไม่รักษาระดับน้ำ

3.3.6 การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)

เป็นการหาค่าแรงเฉือนของดินเหนียวโดยที่ไม่มีแรงดันด้านข้าง และไม่มีภาระระบายน้ำ ในการทำการทดสอบนั้นจะต้องทำการเตรียมตัวอย่างดิน กำหนดให้ความสูงของตัวอย่างมีความสูงประมาณ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง และนำไปทดสอบในเครื่องกดตัวอย่างและบันทึกค่านำไปคำนวณต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 33 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบดอัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ

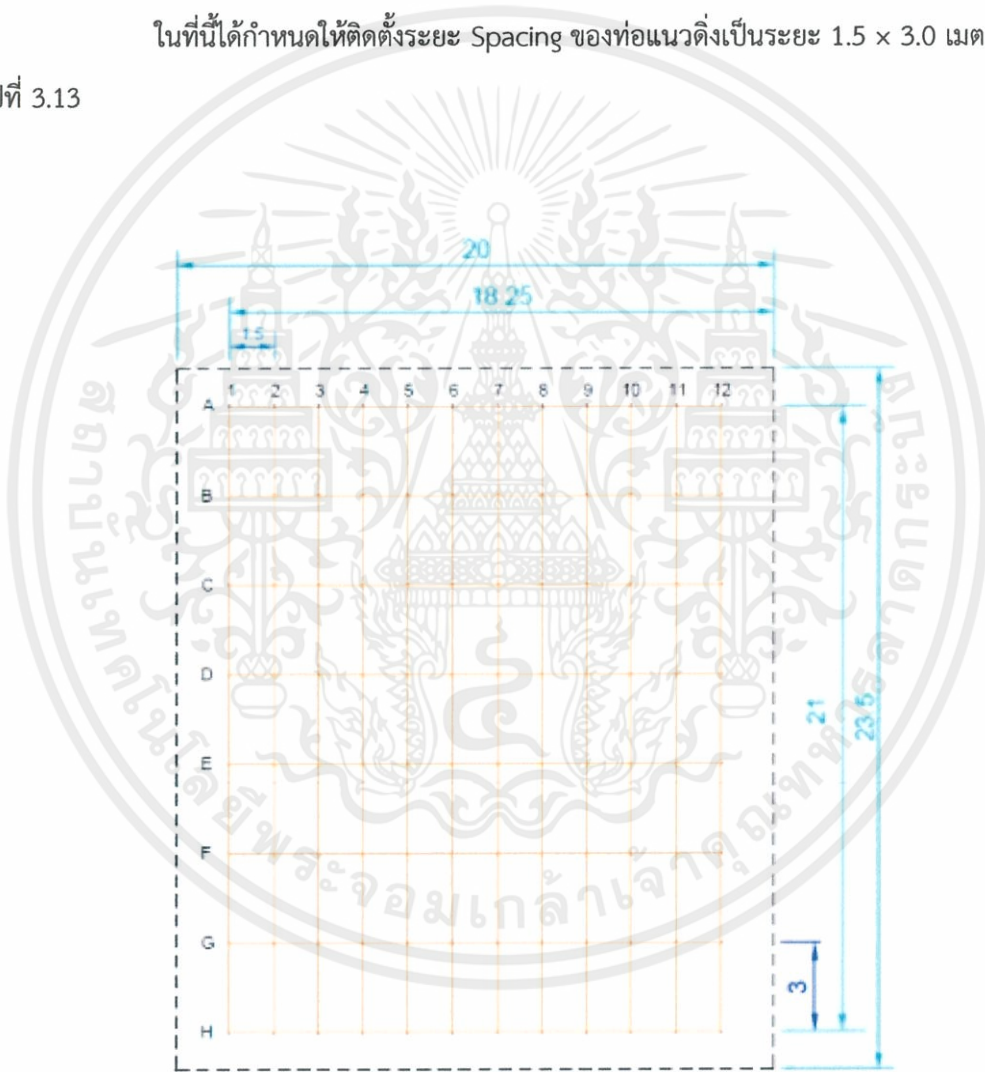


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 34 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบ Spacing ของท่อแนวตั้ง

ระยะ Spacing นั้นหากเป็นการปรับปรุงแบบ Vacuum Consolidation จำเป็นที่จะต้องวางแนว Spacing ให้เป็นลักษณะรูปสามเหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพื่อให้ได้ระยะรัศมีในการดูดที่เหมาะสมตามความต้องการ แต่ในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการบดอัดแบบกระทำร่วมกับระบบสุญญากาศนั้น ได้มีการนำค้อน้ำหนักมาเป็นตัวช่วยในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยจะทำหน้าที่เป็นเหมือนการนวดดินเร่งให้น้ำไหลเข้าสู่ท่อแนวตั้งเร็วขึ้น ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องวางแนว Spacing เป็นรูปสามเหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส อย่างไรก็ตามการปรับปรุงคุณภาพดินแบบ Vacuum Consolidation

ในที่นี้ได้กำหนดให้ติดตั้งระยะ Spacing ของท่อแนวตั้งเป็นระยะ 1.5 x 3.0 เมตร ดังในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างการวางแนว Spacing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณที่ขออนุญาตให้พิมพ์และอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 35 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การออกแบบความยาวของท่อแนวดิ่ง

ท่อแนวดิ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ฝังลงไปใต้ดินเพื่อใช้สำหรับรับน้ำในดินที่จะทำการสูบน้ำด้วยระบบสุญญากาศแล้วส่งต่อให้ท่อแนวนอนต่อไป ในการเลือกความยาวของท่อแนวดิ่งนั้นควรพิจารณาตามลักษณะดิน โดยควรให้มีความยาวลงไปในระดับต่ำกว่าชั้นดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวอ่อนถึงอ่อนมาก หรือในชั้นดินที่มีค่าความชื้นสูงมากๆ เนื่องจากดินในระดับนี้มีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ต่ำกว่าชั้นดินที่มีความแข็ง

จากพื้นที่ตัวอย่างได้เลือกใช้ความยาวท่อแนวดิ่งเป็นระยะ 6 เมตรที่ระยะต่ำกว่าผิวดิน จะเห็นว่าท่อแนวดิ่งอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อนมากเป็นระยะ 4 เมตร

3.7 การออกแบบค้ำน้ำหนัก

ค้ำน้ำหนักรถือเป็นหนึ่งในอุปกรณ์สำคัญในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีนี้ เพื่อใช้ในกระบวนการบำบัดแบบกระแส ซึ่งน้ำหนักของค้ำน้ำหนักรถือมีผลต่อการเร่งการทรุดตัว การเร่งให้น้ำไหลผ่านชั้นดินเหนียวเข้าสู่ท่อแนวดิ่ง และยังเพิ่มความหนาแน่นของดิน

ในที่นี้ได้กำหนดให้ค้ำน้ำหนักรถือเป็นค้ำน้ำหนักรถือคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ เมตร โดยคอนกรีตเสริมเหล็กมีค้ำหน่วยน้ำหนัก 2.4 ตันต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นค้ำน้ำหนักรถือที่กำหนดมีน้ำหนัก

$$W = 2.4 \left(\frac{t}{m^3} \right) \times 1.5m \times 1.5m \times 1.5m = 8.1 t \approx 8.0t$$

เมื่อกำหนดให้ปล่อยค้ำน้ำหนักรถือจากความสูง 8 เมตร และที่ค้ำน้ำหนักรถือ 8 ตัน โดยจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ n ประมาณ 0.5 เนื่องจากผิวดินมีลักษณะเป็นดินแข็งทำให้ระยะประสิทธิผลน้อยกว่าทุบลงในดินเหนียวอ่อนที่มีค่า n เท่ากับ 0.67 (Qian, 1987) ดังนั้นสามารถหาระยะประสิทธิผลได้

$$D = n\sqrt{W \cdot H} = 0.5\sqrt{8.0t \times 8.0m} = 4.0m$$

จะเห็นว่าระยะประสิทธิผลที่ได้มีค่าไม่ถึงระดับความยาวของท่อแนวดิ่ง แต่ยังคงอยู่ในระยะที่ยอมรับได้ เนื่องจากยังคงมีผลในระยะของดินเหนียวอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 36 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากคิดโดยวิธีการกระจายแรงที่เกิดจากสิ่งก่อสร้างด้วยวิธีการคำนวณแรงโดยประมาณ บนพื้นที่ 1.5x1.5 เมตร จะได้

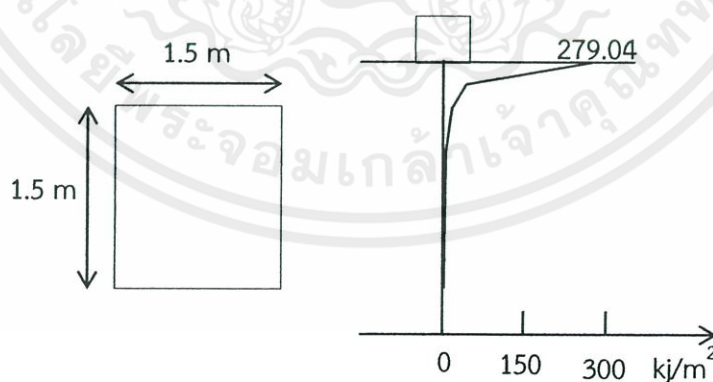
$$q_s \cdot L \cdot B = W \cdot h \cdot g = 8.0t \times 8.0m \times 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right) = 627.84kj$$

$$\sigma_z = \frac{L \cdot B}{(L + 2H \cdot \tan 30^\circ) \cdot (B + 2H \cdot \tan 30^\circ)} \cdot q_s$$

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงการคำนวณแรงที่ระยะความลึกต่างๆ

ความลึก (m)	ความยาวขยาย L', m	ความกว้างขยาย B', m	พื้นที่ขยาย m ²	σ_z (kj/m ²)
2	1.5+2.309	1.5+2.309	14.508	43.275
4	1.5+4.619	1.5+4.619	37.442	16.768
6	1.5+6.928	1.5+6.928	71.031	8.839
8	1.5+9.238	1.5+9.238	115.305	5.445
10	1.5+11.547	1.5+11.547	170.224	3.688
15	1.5+17.321	1.5+17.321	354.230	1.772
20	1.5+23.094	1.5+23.094	604.865	1.038

จะเห็นว่าหากคำนวณด้วยวิธีประมาณแรงที่ได้ส่งไปได้มากกว่า 4 เมตร

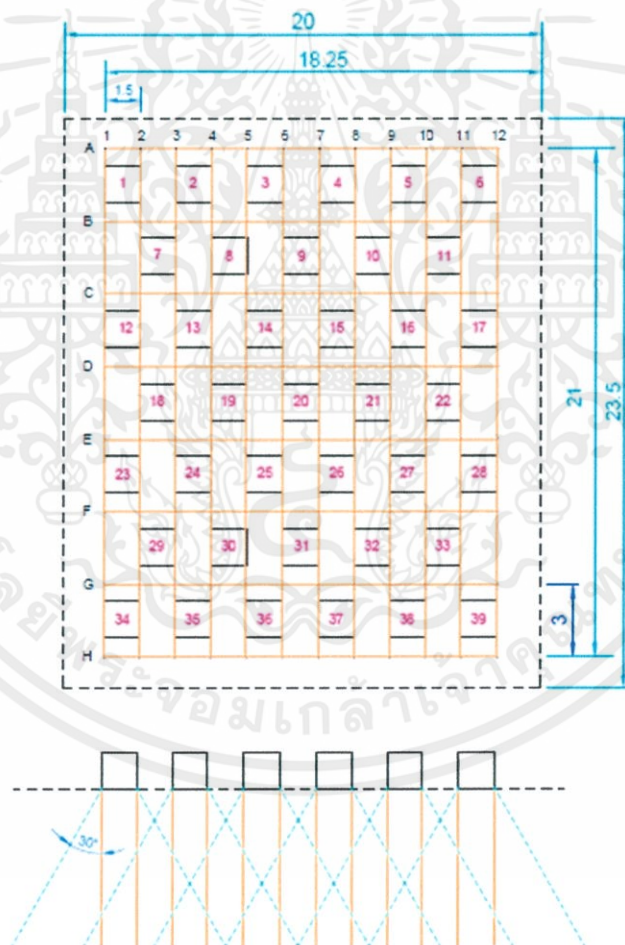


เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.14 แสดงการกระจายแรงของตึมน้ำหนักที่ระยะความลึกต่างๆด้วยวิธีการคำนวณโดยประมาณ เป็นการคำนวณคร่าวๆ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 37 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การออกแบบแนวการทาบของตม้้ำน้ำหนัก

การทาบตม้้ำน้ำหนักจะทำการทาบตม้้ำน้ำหนักจำนวน 3 ครั้งต่อจุด โดยใช้เวลาประมาณจุดละ 10 - 15 นาที เนื่องจากการที่จะปล่อยตม้้ำน้ำหนักโดยที่ไม่โดนท่อแวนอนนั้นจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงระยะในการปล่อย ทั้งนี้ระยะเวลาที่ใช้จริงนั้นจะขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ทำการปล่อยตม้้ำน้ำหนักด้วย โดยปัจจัยสำคัญที่นำมาพิจารณาในการออกแบบคือ เวลาการทำงานในแต่ละวงรอบให้พอดีกับเวลาทำงานในแต่ละวัน พลังงานที่ให้กับดิน และการนวดดินให้น้ำในดินเกิดการไหลเข้าสู่ท่อแนวตั้ง

ดังนั้นในการทาบตม้้ำน้ำหนักในพื้นที่ตัวอย่างจะกระทำได้ดังรูปที่ 3.15 และทำการสลับแนวการทาบในวงรอบถัดไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3.15 แสดงแนวการทาบตม้้ำน้ำหนักในแต่ละวงรอบการทำงาน ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 38 อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

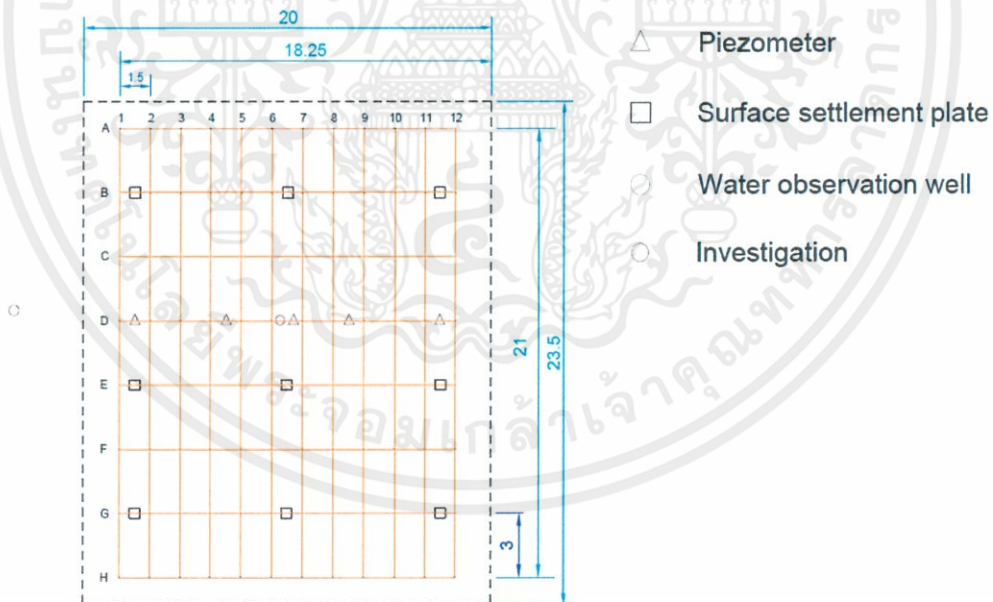
3.9 การออกแบบอิทธิพลระบายน้ำของท่อแวนดิง

เนื่องจากแนวการทาบดัดที่ได้กำหนดในแต่ละวงรอบมีแนวการทาบดัดรูปที่ 3.15 และระยะการกระจายแรงโดยวิธีประมาณนั้นตามตารางที่ 3.3 นั้น ระยะความลึกก่อน 4 เมตร มีระยะการกระจายแรงไปไม่ได้ไม่เพียงพอทำให้น้ำในบริเวณก่อนความลึก 4 เมตรไม่สามารถไหลเข้าสู่ท่อแวนดิงได้ด้วยการบดอัดแบบกระแทกเพียงอย่างเดียว ดังนั้นอิทธิพลการระบายน้ำของท่อแวนดิงจึงควรมีระยะอย่างน้อย

$$D_e = 1.13 \times Spacing = 1.13 \times 3m = 3.39m$$

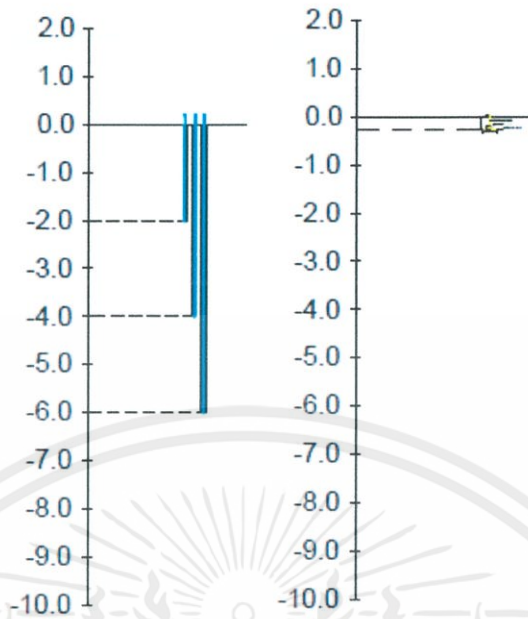
ทั้งนี้การที่จำทำให้ได้ระยะประสิทธิภาพตามต้องการนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของ Vacuum Pump และระยะห่างของ Vacuum Pump กับตำแหน่งของท่อแวนดิงนั้นๆ โดยยิ่งระยะห่างมาก การที่จะทำให้ได้ระยะตามที่ต้องการนั้นจำเป็นต้องใช้เครื่อง Vacuum Pump ที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นเช่นกัน

3.10 การออกแบบตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดในสนาม



รูปที่ 3.16 ภาพแปลนแสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดในสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 39 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 ภาพแสดงการติดตั้ง Piezometer (ซ้าย) และ Surface Settlement Plate (ขวา)

หากต้องการทราบค่าที่ละเอียดมากขึ้นสามารถติดตั้ง Deep Settlement Plate เพิ่มเติมเพื่อที่จะสามารถทราบการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในแต่ละระดับความลึกได้

3.11 การออกแบบอุปกรณ์

3.11.1 ท่อเหล็กแนวตั้ง

เป็นท่อที่ใช้สำหรับดูน้ำออกจากดิน โดยการนำท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ¼ นิ้ว ยาว 6 เมตร มาเจาะให้เป็นรู โดยมีการสลักกันของรู เพื่อให้น้ำเข้าไปในท่อได้อย่างสะดวก และมีการเย็บแผ่น Geotextile ซึ่งจะกรองสิ่งแปลกปลอมและเม็ดดินไม่ให้เข้าไปในท่อ มีเพียงแค่น้ำเท่านั้นที่ผ่านได้ เย็บ Geotextile เป็นถุงสวมท่อเหล็กไว้



รูปที่ 3.18 Geotextile ชนิด Non-Woven Geotextile



รูปที่ 3.19 ท่อเหล็กที่จะใช้เป็นท่อแนวตั้งสำหรับดูดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 41 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 ฝาครอบหัวท่อเหล็ก



รูปที่ 3.21 เหล็กหางปลาไหล ที่ใช้ต่อเข้ากับฝาครอบหัวท่อเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 42 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 สายยาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร



รูปที่ 3.23 ข้อต่อสามทาง ใช้สำหรับเชื่อมต่อแนวนอน ขนาด 55x18 PVC 13.5

3.11.2 Surface Settlement Plate

ใช้สำหรับวัดการทรุดตัวของผิวดิน โดยใช้แผ่นเหล็กสี่เหลี่ยมขนาด 40x40 เซนติเมตร เชื่อมติดกับท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ½ นิ้ว

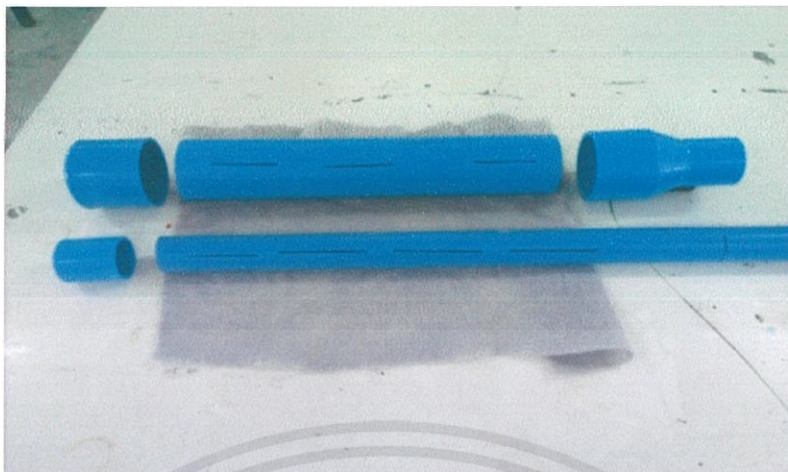
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 43 อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 Surface Settlement Plate

3.11.3 Standpipe Piezometer

ทำจากท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาวประมาณ 1 ½ ฟุต บากร่องสลักพื้นปลาเป็นแนวยาวพอสมควร พันด้วยผ้า Geotextile แล้วมัดแน่นด้วยลวด มีฝาปิดที่ปลาย และปลายอีกด้านสวมด้วยข้อต่อลดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้วเป็น 1 ¼ นิ้ว ภายในใส่ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว บากร่องแบบเดียวกัน ตรงปลายมีฝาปิด



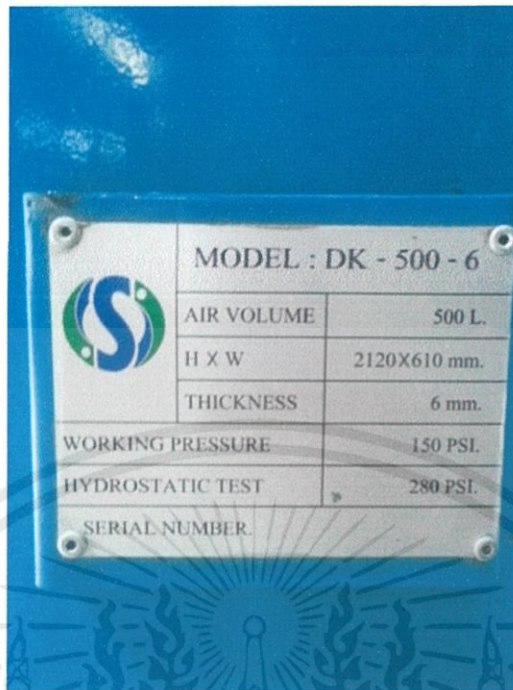
รูปที่ 3.25 Standpipe Piezometer

3.11.4 Vacuum Pump

เป็นเครื่องสูบน้ำซึ่งใช้แรงสุญญากาศในการสูบน้ำขึ้นมาจากดินโดยเริ่มจากเข้าสู่ท่อแนวตั้ง (Vertical Drains) แล้วผ่านเข้ามาสู่ท่อแนวนอน (Horizontal Drains) และสุดท้ายเข้าสู่บ่อพักน้ำ โดยจะทำการใช้เครื่องสูบน้ำสูบน้ำออกจากบ่อพักน้ำอีกทีหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.26 Vacuum Pump ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 45 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 ข้อมูลถึงความดัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.28 ภาพถึงความดัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 46 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11.5 Observation Well

เป็นบ่อที่ใช้สำหรับตรวจวัดระดับน้ำในบริเวณที่ทำการติดตั้งนั้น มีลักษณะแตกต่างจาก Piezometer ตรงที่ท่อสำหรับทำ Observation Well นั้น จะเจาะรูพรุนทั้งตัวท่อทำให้ไม่เกิดแรงดันที่แตกต่างกันระหว่างภายใน และภายนอกท่อ ทำให้ได้ระดับน้ำบริเวณนั้นโดยที่ไม่ผลจากแรงดันทำให้ระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นจากความเป็นจริง



รูปที่ 3.29 Observation Well

3.6.6 ตุ่มน้ำหนัก

ตุ่มน้ำหนักที่นำมาใช้ในการทดลองมีน้ำหนักประมาณ 8 ตัน ทำโดยการทำโครงเหล็ก ด้านในเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด 1.5x1.5x1.5 เมตร แล้วนำมาหล่อคอนกรีต โดยมีหัวอยู่ด้านบนทั้งหมด 8 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 ภาพขณะทำการเทคอนกรีตลงในแบบหล่อตุ้มคอนกรีต



รูปที่ 3.31 ตุ้มน้ำหนัก หลังถอดแบบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์

3.12.1 การติดตั้งท่อแนวตั้ง (Vertical Drains)

หลังจากออกแบบ Spacing ของท่อในสนามแล้ว ก็ทำการวางจุดการติดตั้งท่อลงในสนาม แล้วทำการฝังท่อ โดยใช้ Hand Auger ขุดนำในช่วง 30 เซนติเมตรแรก จากนั้นใช้พลั่วขุดลงไปแนวตั้งให้ลึกประมาณ 6 เมตร เพื่อทำการกดฝังท่อเหล็กที่สวมถุง Geotextile แล้วลงไป



รูปที่ 3.32 ภาพการใช้พลั่วในการขุดนำก่อนที่จะทำการฝังท่อแนวตั้ง



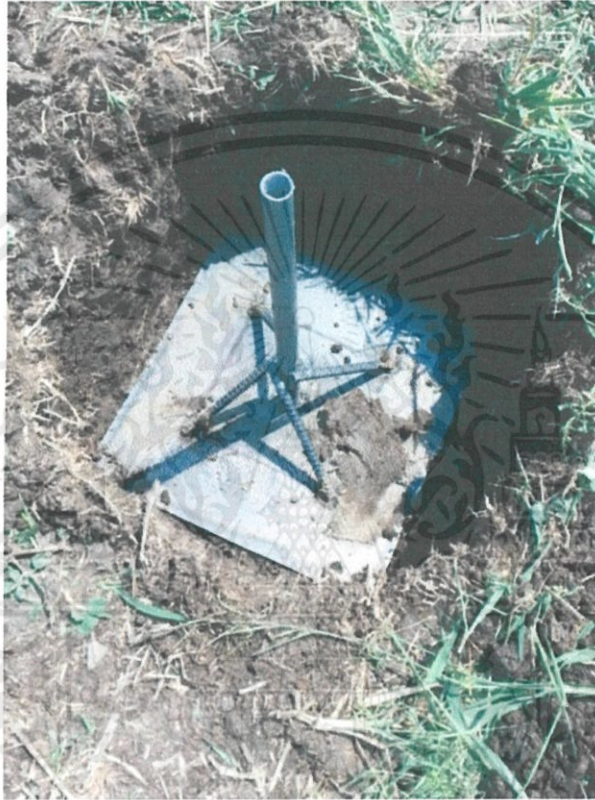
รูปที่ 3.33 ภาพท่อเหล็กที่ทำการสวม Geotextile แล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3.34 ภาพการฝังท่อเหล็กลงในรูที่ได้ทำการเจาะไว้ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และ 49 อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12.2 Surface Settlement Plate

หลังจากออกแบบตำแหน่งในการวาง Plate แล้ว ก็ทำการวางจุดในสนาม จากนั้นขุดดิน ลึกประมาณ 30 เซนติเมตร เพื่อฝัง Plate ลงไป โดยให้เสา Plate สูงพ้นผิวดินประมาณ 1 เมตร แล้วทำการถ่ายระดับเก็บค่าไว้



รูปที่ 3.35 ภาพการติดตั้ง Surface Settlement Plate

3.12.3 การติดตั้งท่อแนวนราบ (Horizontal Drains)

ท่อแนวนราบ ต่อกับท่อแนวดิ่ง โดยใช้ท่อโค้งใส่ต่อจากปลายฝาเกลียวของท่อแนวดิ่ง ออกมา ต่อเข้ากับข้อต่อ 3 ทาง หรือข้องอ 90 องศา แล้วใช้ลวดพันที่จุดต่อ ท่อแนวนอนจะต่อเป็นแนว จำนวน 8 แถว แล้วจะต่อรวมกับท่อแนวนราบชุดใหญ่ เพื่อต่อเข้าถึงความดัน และ vacuum pump ต่อไป เป็นลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.36 ภาพแสดงการวางท่อแนวนอน (Horizontal Drains)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.38 ภาพแสดงพื้นที่ที่ทดลองหลังจากติดตั้งวางแนวท่อเสร็จแล้ว

3.13 ขั้นตอนการวัดเก็บค่าผลการทดลอง

3.13.1 การวัดแรงดันน้ำในดิน (Piezometer)

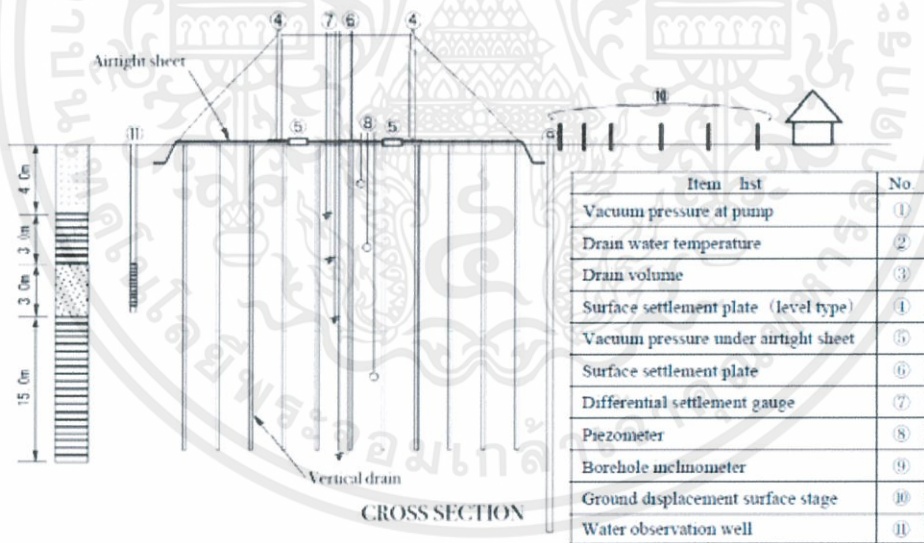


Figure 10: Schematic layout of full scale monitoring instrumentation

รูปที่ 3.39 การวัดแรงดันน้ำในพื้นที่แต่ละจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13.2 Settlement plate

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดการทรุดตัวทั้งหมดที่เกิดขึ้นของชั้นดิน ประกอบด้วยแผ่นเหล็กฐาน (Base Plate) และท่อเหล็กเชื่อมต่อติดกับแผ่นเหล็กฐาน การติดตั้งทำโดยวาง Base Plate บนผิวของชั้นทรายปรับระดับรองรับการถมคันดิน และก่อนที่จะทำการถมดินแต่ละชั้นจะต้องวัดค่าเริ่มต้น (Initial Elevation) ก่อนเสมอ เพื่อนำมาเป็นฐานข้อมูลเริ่มต้น และเปรียบเทียบกับผลการวัดค่าการทรุดตัวจากการถมดินแต่ละชั้น โดยในการวัดค่าจะใช้กล้องระดับ และไม่ระดับช่วยในการวัดค่า



รูปที่ 3.40 การใช้กล้องระดับวัดค่าระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 53 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การเก็บบันทึกผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

หลังจากที่ได้ทราบถึงการออกแบบในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบตุ้มน้ำหนัก การออกแบบระยะ Spacing ของท่อแวนดิ่ง การออกแบบวิธีการหุบ การออกแบบระยะประสิทธิผลจากการใช้ตุ้มน้ำหนักในการบดอัด เมื่อเริ่มทำการทดลองจำเป็นจะต้องมีการเก็บบันทึกผลต่างๆที่เกิดขึ้น

ภายในบทนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ รูปแบบการเก็บบันทึกผลการทดลอง และการนำผลที่ได้ไปพล็อตกราฟเพื่อใช้ในการนำเสนอต่อไป

4.2 การเก็บบันทึกผลการทดลอง

การเก็บค่าผลการทดลองนั้นจะทำการบันทึกผลที่เกิดขึ้นในพื้นที่ทดลองโดยแบ่งได้เป็นพื้นที่ที่ไม่ถูกการปรับปรุงคุณภาพดิน พื้นที่ที่ถูกปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการบดอัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ และพื้นที่การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีอื่นๆ ตามเห็นสมควรเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดลอง

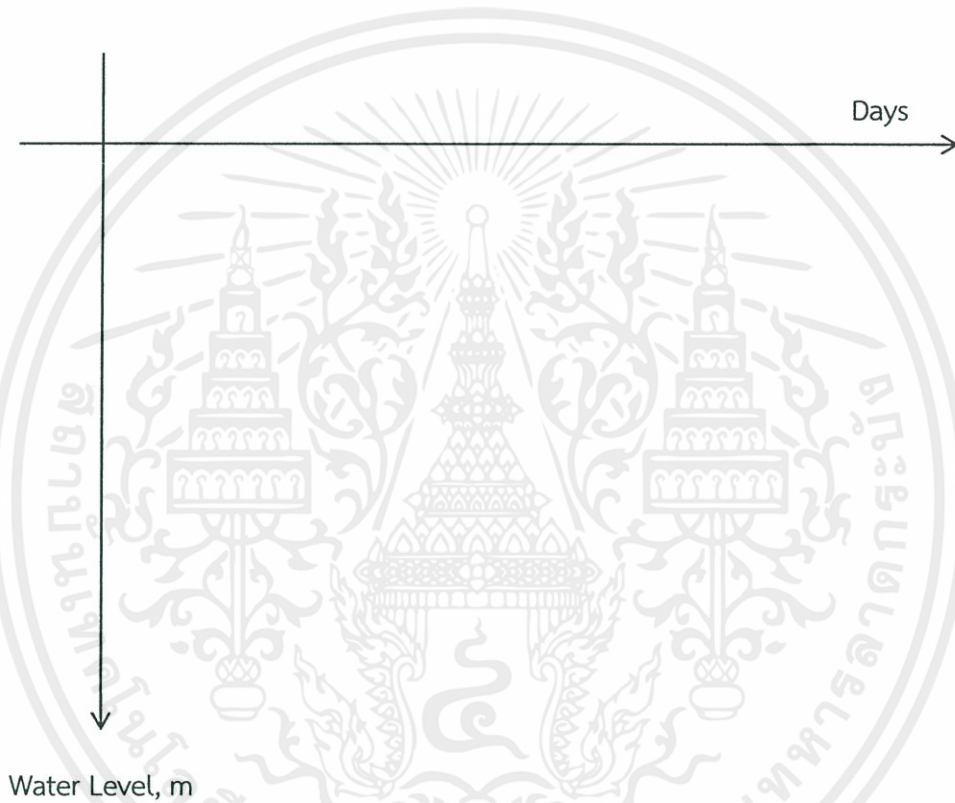
4.3 การเก็บค่าระดับน้ำ

ในการเก็บค่าระดับน้ำนั้นจะช่วยให้ทราบว่า การทรุดตัวนั้นเกิดการทรุดตัวที่ 100% แล้วหรือยัง โดยการนำค่าระดับน้ำจากพื้นที่ที่ไม่ถูกปรับปรุงคุณภาพดินกับพื้นที่ที่ถูกปรับปรุงคุณภาพดินมาเปรียบเทียบกัน โดยหากที่พื้นที่ที่ถูกปรับปรุงคุณภาพดินมีระดับน้ำเท่ากับระดับน้ำในพื้นที่ที่ไม่ถูกการปรับปรุงคุณภาพดิน นั้นหมายความว่าพื้นที่ที่ได้ถูกปรับปรุงคุณภาพดินนั้นได้เกิดการทรุดตัวครบที่ 100% แล้ว โดยสามารถบันทึกผลการทดลองได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงระยะของระดับน้ำต่ำกว่าระดับผิวดิน

Date	Time	WT พื้นที่ที่ไม่ได้ถูกปรับปรุง คุณภาพดิน, m	WT พื้นที่ที่ถูกปรับปรุงคุณภาพ ดินด้วยวิธี HVDM, m

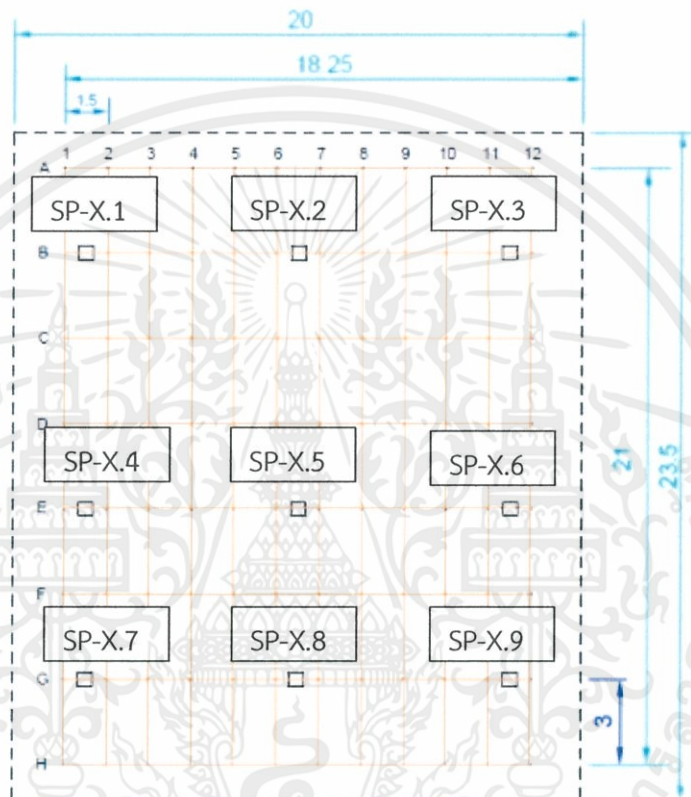


รูปที่ 4.1 แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การเก็บค่าการทรุดตัว

การทรุดตัวนั้นถือเป็นตัวชี้วัดว่าวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีนี้ได้ผลสำเร็จมากน้อยเพียงใด และเป็นตัวเปรียบเทียบกับวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินแบบอื่นๆว่าดีกว่าหรือแยกว่าได้อีกด้วย โดยผลที่ได้จะสามารถบันทึกผลการทดลองได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้ หากสมมุติพื้นที่ทดลองเป็นไปดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงตำแหน่ง Settlement Plate แต่ละจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางสำหรับเก็บค่าการทรุดตัว

Settlement Plate	Time		รอบที่ 1	
	หลัง VC	หลัง DC	หลัง VC	หลัง DC
SP - X.1				
SP - X.2				
SP - X.3				
SP - X.4				
SP - X.5				
SP - X.6				
SP - X.7				
SP - X.8				
SP - X.9				

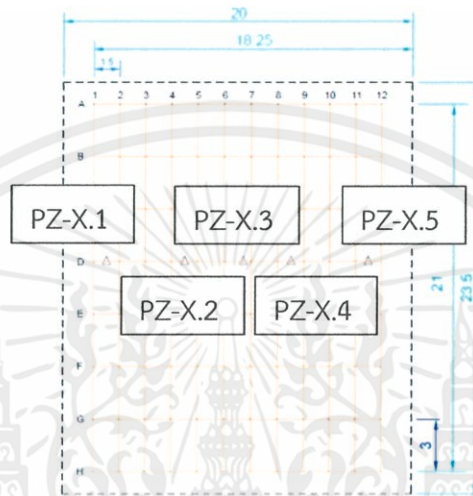


รูปที่ 4.3 แสดงกราฟการเกิดการทรุดตัวที่เกิดขึ้น

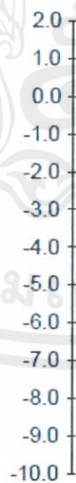
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น การนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การเก็บค่าแรงดันน้ำ

ค่าแรงดันน้ำนั้นจะเก็บได้จาก Piezometer ค่าแรงดันน้ำนั้นมีผลต่อการรับแรงและการทรุดตัวที่จะเกิดขึ้นในดินบริเวณนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องตรวจวัดผลที่เกิดขึ้นนี้ด้วย โดยผลที่ได้จะสามารถบันทึกผลการทดลองได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้ หากสมมุติพื้นที่ทดลองเป็นไปดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงตำแหน่งการวาง Piezometer



รูปที่ 4.4 ภาพแสดงระยะความลึกที่ติดตั้ง Piezometer ในแต่ละจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ

Piezometer, m		เวลา		แรงดันน้ำ	
		หลัง VC	หลัง DC	หลัง VC	หลัง DC
PZ-X.1	2				
	4				
	6				
PZ-X.2	2				
	4				
	6				
PZ-X.3	2				
	4				
	6				
PZ-X.4	2				
	4				
	6				
PZ-X.5	2				
	4				
	6				



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ระบุว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำกับการทรุดตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผล

5.1 บทนำ

ในทุกการทดลองจำเป็นต้องนำผลที่ได้มาสรุปเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นค่ามาตรฐานในการนำไปอ้างอิงผล เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคต ดังนั้นการสรุปผลการทดลองที่ได้มานั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมาก ต่อผู้ที่จะนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้ต่อไป

ภายในบทนี้ได้ทำการสรุปผลในด้านต่างๆ ในด้านการออกแบบต่างๆ ในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบำบัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ และการออกแบบการวัดการทรุดตัวและการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำที่เกิดขึ้น

5.2 การเลือกพื้นที่

ในการเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพดินนั้นควรเลือกพื้นที่ที่ไม่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพดินมาก่อน หรือได้รับการปรับปรุงมาบางเป็นเวลานานแล้ว และเป็นพื้นที่ที่มีการยุบอัดคายตัวปกติ (Normal Consolidation)

5.3 ความจำเป็นในการทดสอบคุณสมบัติดินในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบคุณสมบัติของดินก่อนที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพดินนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะจะเป็นผลทำให้สามารถออกแบบอุปกรณ์ต่างๆที่จะใช้ในการต่อไปได้อย่างเหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ

5.4 สรุปขั้นตอนในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบำบัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ

การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีบำบัดแบบกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศนั้นจะเริ่มจากการใช้ Vacuum Pump ดูดน้ำออกมาจากดินซึ่งทำให้เกิดความดันลบในดิน และใช้การบำบัดแบบกระแทกเพื่อนวดดินทำให้เกิดความดันบวก ซึ่งช่วยให้น้ำไหลเข้าไปในท่อแนวตั้ง เพิ่มความหนาแน่นของดินจนทำให้เกิดชั้นดินหนาที่มีความแข็งขึ้น โดยจะทำ 2 ขั้นตอนนี้เข้าไปมาจนครบรอบตามที่ได้กำหนด และทำการถมดินเพื่อปรับหน้าดินต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 Spacing ของท่อแนวดิ่ง

การออกแบบ Spacing ของท่อแนวดิ่งนั้น ไม่จำเป็นจะต้องออกแบบให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสามเหลี่ยม แต่ควรคำนึงความปลอดภัยในขั้นตอนการทาบอดัด เพื่อไม่ให้ตม้มน้ำหนักที่ถูกปล่อยลงมาไปโดนท่อแนวนอนจนทำให้เกิดความเสียหาย แต่ก็ไม่ควรจะให้ระยะ Spacing ที่ห่างเกินไป เพราะจะทำให้มีผลต่อการออกแบบเลือกใช้ Vacuum Pump, น้ำหนักของตม้มน้ำหนัก, และระยะยกตม้มน้ำหนัก ต่อไปได้

5.6 ความยาวของท่อแนวดิ่ง

การออกแบบความยาวของท่อแนวดิ่งนั้นควรให้ท่อฝังลึกลงไปถึงชั้นดินที่มีค่าความชื้นที่สูง ซึ่งเป็นชั้นดินที่มีความสามารถในการรับน้ำหนักได้น้อย ทำให้เกิดการทรุดตัวได้ง่าย โดยให้มีความลึกที่เหมาะสมตามสภาพของดินและการพิจารณาของผู้ออกแบบต่อไป

5.7 ตม้มน้ำหนัก

การออกแบบตม้มน้ำหนักนั้นจะต้องออกแบบให้สอดคล้องกับระยะยก เพื่อให้ได้ระยะประสิทธิผลที่เหมาะสม ถึงแม้ในความเป็นจริงการกระจายแรงที่เกิดขึ้นจะลงไปได้ลึกกว่าระยะประสิทธิผลก็ตาม แต่ก็มีค่าพลังงานที่ต่ำซึ่งอาจไม่เพียงพอที่จะใช้แรงให้น้ำในดินไหลเข้าไปในท่อแนวดิ่งได้

5.8 แนวการทาบของตม้มน้ำหนัก

การวางแนวการทาบอดัดนั้นควรคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการทาบ การถ่ายพลังงานลงไปในดิน และความสามารถในการแรงให้น้ำในดินไหลเข้าสู่ท่อแนวดิ่ง เพราะปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีผลต่อค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพดินทั้งสิ้น

5.9 อิทธิพลระบายนํ้าของท่อแนวดิ่ง

อิทธิพลระบายนํ้าของท่อแนวดิ่งนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยในหลายๆด้าน ทั้งในด้านของการใช้ระบบสูญญากาศ คือ ความสามารถของเครื่อง Vacuum Pump และระยะ Spacing ของท่อแนวดิ่ง และทางด้านของการใช้การบอดัดแบบกระแทก เช่น ขนาดของตม้มน้ำหนัก แนวการทาบของตม้มน้ำหนัก เป็นต้น ทั้งนี้ควรให้ออกแบบให้อิทธิพลระบายนํ้าของท่อแนวดิ่งสัมพันธ์ส่วนอื่นๆที่มีผลตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 62 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.10 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดในสนาม

การกำหนดตำแหน่งในติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้วัดค่าในกรณีของโครงการพิเศษนี้คือ Piezometer และ Settlement Plate ควรจะติดตั้งในตำแหน่งหลายๆ ตำแหน่ง กระจายกันไปเพื่อที่จะสามารถทราบค่ากลางของผลที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยตำแหน่งตรงกลางพื้นที่ทดลองคาดว่าเป็นตำแหน่งที่ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และค่อยๆลดลงตามระยะห่างจากศูนย์กลางพื้นที่ เนื่องจากตำแหน่งตรงกลางได้รับผลกระทบจากการปรับปรุงคุณภาพดินมากที่สุด

5.11 อุปกรณ์อื่นๆ

ในการกำหนดอุปกรณ์ที่ใช้นั้นขึ้นอยู่กับงบประมาณที่มี ยิ่งคุณภาพของอุปกรณ์สูงก็ยิ่งราคาสูงตามไปด้วยเช่นกัน แต่เนื่องจากงบประมาณที่มีนั้นมักจะมีย่างจำกัดดังนั้นในการเลือกใช้ควรคำนึงถึงความสามารถในการทนทานต่อแรงต่างๆเช่นแรงดันสุญญากาศ ได้เพียงพอ เพื่อที่จะทำให้เกิดปัญหาในขณะที่ทำการปรับปรุงคุณภาพดิน และในราคาที่ไม่แพงเกินไปนัก

5.12 การติดตั้งอุปกรณ์

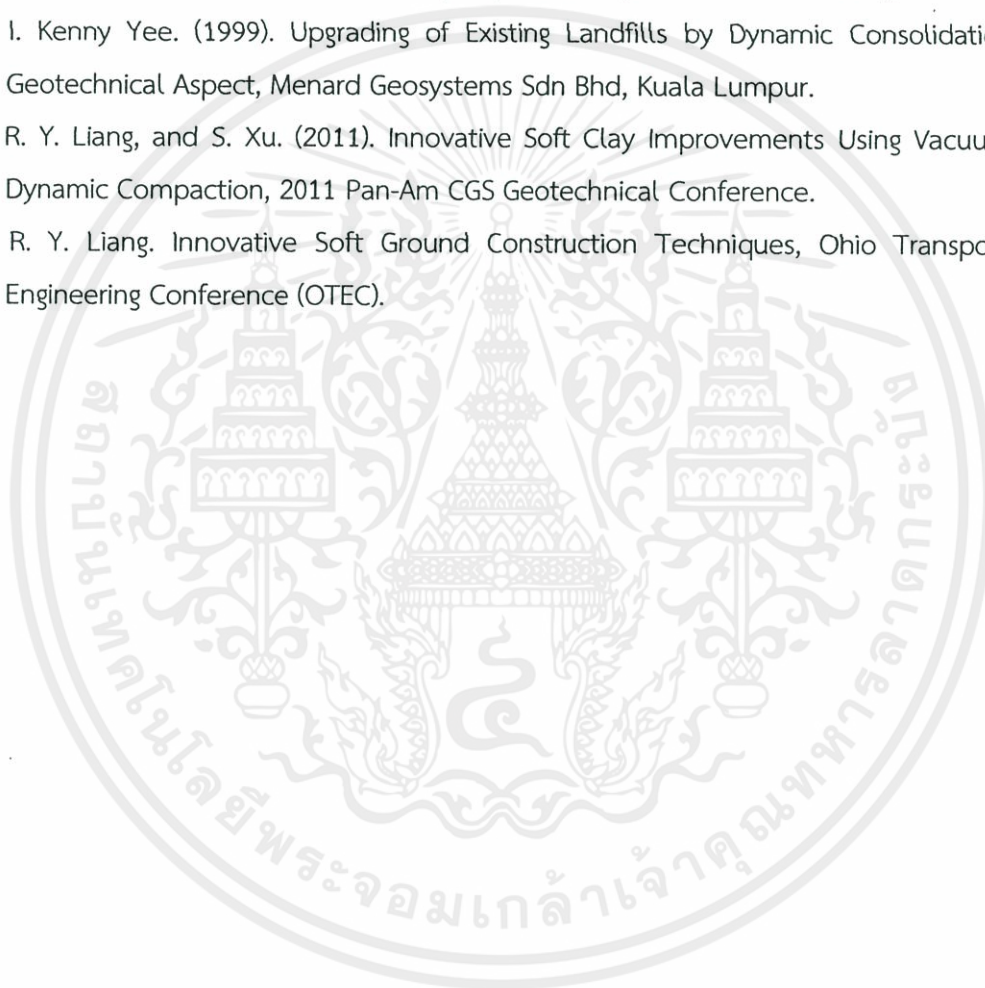
การติดตั้งอุปกรณ์นั้นควรตรวจสอบในส่วนข้อต่อต่างๆให้แน่น เนื่องจากจะมีผลต่อการใช้ระบบสุญญากาศ เพราะการต่อไม่แน่นทำให้ประสิทธิภาพของการสุบลดต่ำลงได้ และระยะการติดตั้งต้องไม่ให้ไปมีผลกระทบกับระบบในส่วนอื่นๆ

5.13 การวัดเก็บค่าผลการทดลอง

ในการเก็บค่าผลการทดลอง ในด้านการวัดแรงดันน้ำ หากเป็นไปได้ควรใช้ Piezometer แบบ Electronic เช่น ชนิด Vibrating Wire เพราะสามารถต่อเข้ากับ Data Logger ซึ่งจะช่วยให้สามารถเก็บค่าได้แบบ Real Time ทำให้ได้ค่าแรงดันน้ำในขณะนั้นจริงๆ ไม่จำเป็นต้องรอให้น้ำเข้ามาใน Piezometer เหมือนแบบ Stand Pipe เนื่องจากดินเหนียวมีค่าการซึมผ่านที่ต่ำทำให้น้ำไหลเข้ามาใน Piezometer ได้ช้า และในด้านการวัดการทรุดตัว ควรระวังตรวจ Settlement Plate ไม่ให้เอียง ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการหุบบอดัดแบบกระทก

บรรณานุกรม

- มณเฑียร กังคศิเทียม. (2547). กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระราชูปถัมภ์.
- สุพจน์ ศรีนิล, แหลมทอง เหล่าคงถาวร, ชลธี เร่บ้านเกาะ. (2555). คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: มิน เซอร์วิส ซัพพลาย
- F. Masse, C. A. Spaulding, S. Varaksin, and Pr. Ihm Chol Wong. (2001). *Prepared for Distribution to Attendees at Geo-Odyssey, ASCE/Virginia Tech, Blacksburg, VA USA.*
- I. Kenny Yee. (1999). Upgrading of Existing Landfills by Dynamic Consolidation - A Geotechnical Aspect, Menard Geosystems Sdn Bhd, Kuala Lumpur.
- R. Y. Liang, and S. Xu. (2011). Innovative Soft Clay Improvements Using Vacuum and Dynamic Compaction, 2011 Pan-Am CGS Geotechnical Conference.
- R. Y. Liang. Innovative Soft Ground Construction Techniques, Ohio Transportation Engineering Conference (OTEC).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และอ้างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การจำแนกชั้นดิน

- ก1 Soil Symbols
- ก2 Soil Classification
- ก3 Plasticity Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และผู้เข้าถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAJOR DIVISIONS		LETTER	SYMBOL		NAME
1	2		HATCHING	COLOR	
		3	4	5	6
COARSE-GRAINED SOILS	GRAVELS AND GRAVELLY SOILS	GW		RED	GRAVEL OR SANDY GRAVEL WELL GRADED
		GP			GRAVEL OR SANDY GRAVEL POORLY GRADED
		GM		YELLOW	SILTY GRAVEL OR SILTY SANDY GRAVEL
		GC			CLAYEY GRAVEL OR CLAYEY SANDY GRAVEL
	SANDS AND SANDY SOILS	SW		RED	SAND OR GRAVELLY SAND WELL GRADED
		SP			SAND OR GRAVELLY SAND POORLY GRADED
		SM		YELLOW	SILTY SAND OR SILTY GRAVELLY SAND
		SC			CLAYEY SAND OR CLAYEY GRAVELLY SAND
FINE-GRAINED SOILS	SILT AND CLAY SOILS (LOW LIQUID LIMIT)	ML		GREEN	SILTS, SANDY SILTS, GRAVELLY SILTS, OR DIATOMACEOUS SOILS
		CL			LEAN CLAYS, SANDY CLAYS, OR GRAVELLY CLAYS
		OL			ORGANIC SILTS OR LEAN ORGANIC CLAYS
	SILT AND CLAY SOILS (HIGH LIQUID LIMIT)	MH		BLUE	MICACEOUS SILTS, DIATOMACEOUS SOILS, OR ELASTIC SILTS
		CH			FAT CLAYS
		OH			FAT ORGANIC CLAYS
FIBROUS ORGANIC SOILS	PI		ORANGE	PEAT, HUMUS, AND OTHER ORGANIC SWAMP SOILS	

รูปที่ ผ.ก.1 Soil Symbols

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ไม่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 6.8 Unified Soil Classification System (USCS)

Major divisions	Subdivisions	USCS symbol	Typical names	Laboratory classification criteria	
Coarse-grained soils (More than 50% retained on No. 200 sieve)	Gravels (More than 50% of coarse fraction retained on No. 4 sieve)	GW	Well-graded gravels or gravel-sand mixtures, little or no fines	Less than 5% fines ^a	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3$
		GP	Poorly graded gravels or gravelly sands, little or no fines	Less than 5% fines ^a	Does not meet C_u and/or C_c criteria listed above
		GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	More than 12% fines ^a	Minus No. 40 soil plots below the A-line
		GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures	More than 12% fines ^a	Minus No. 40 soil plot on or above the A-line
	Sands (50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve)	SW	Well-graded sands or gravelly sands, little or no fines	Less than 5% fines ^a	$C_u > 6$ and $1 < C_c < 3$
		SP	Poorly graded sands or gravelly sands, little or no fines	Less than 5% fines ^a	Does not meet C_u and/or C_c criteria listed above
		SM	Silty sands, sand-silt mixtures	More than 12% fines ^a	Minus No. 40 soil plots below the A-line
		SC	Clayey sands, sand-clay mixtures	More than 12% fines ^a	Minus No. 40 soil plots on or above the A-line
Fine-grained soils (50% or more passes the No. 200 sieve)	Silt and clays (liquid limit less than 50)	ML	Inorganic silts, rock flour, silts of low plasticity	Inorganic soil	$PI < 4$ or plots below A-line
		CL	Inorganic clays of low plasticity, gravelly clays, sandy clays, etc.	Inorganic soil	$PI > 7$ and plots on or above A-line ^b
		OL	Organic silts and organic clays of low plasticity	Organic soil	LL (oven dried) / LL (not dried) < 0.75
	Silt and clays (liquid limit 50 or more)	MH	Inorganic silts, mucaceous silts, silts of high plasticity	Inorganic soil	Plots below A-line
		CH	Inorganic highly plastic clays, fat clays, silty clays, etc.	Inorganic soil	Plots on or above A-line
		OH	Organic silts and organic clays of high plasticity	Organic soil	LL (oven dried) / LL (not dried) < 0.75
Peat	Highly organic	PT	Peat and other highly organic soils	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor	

^a"Fines" are those soil particles that pass the No. 200 sieve. For gravels with between 5% to 12% fines, use of dual symbols required (i.e., GW-GM, GW-GC, GP-GM, or GP-GC). For sands with between 5% to 12% fines, use of dual symbols required (i.e., SW-SM, SW-SC, SP-SM, or SP-SC).

^bIf $4 < PI < 7$ and plots above A-line, then dual symbol (i.e., CL-ML) is required.

^c $C_u = D_{60} / D_{10}$, and $C_c = (D_{30})^2 / [(D_{10})(D_{60})]$ where D_x = soil particle diameter corresponding to $x\%$ finer by

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ ผ.ก.2 Soil Classification มุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ ผ.ก.3 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

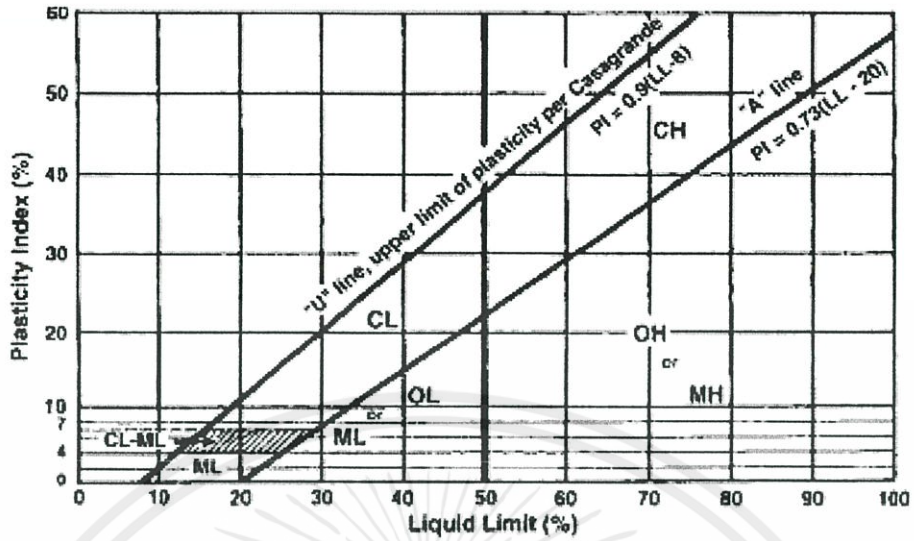


FIGURE 6.9 Plasticity chart.

รูปที่ ผ.ก.3 Plasticity Chart



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้