

การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยการทุบด้วยตุ้ม
บดอัดและการดูดน้ำในแบบจำลองขนาดเล็ก

THE STUDY OF BANGKOK SOFT CLAY IMPROVEMENT BY
HAMMERING COMPACTION AND SOIL SUCTION IN SMALL MODEL



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯโดยการทุบด้วยตุ้ม
บดอัดและการดูดน้ำในแบบจำลองขนาดเล็ก

THE STUDY OF BANGKOK SOFT CLAY IMPROVEMENT BY
HAMMERING COMPACTION AND SOIL SUCTION IN SMALL MODEL



นางสาวรัตนภรณ์

ธรรมเจริญ

นางสาวเรวดี

ดวงแก้ว

นายวรุฒ

อภิชาติวรกิจ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ปีการศึกษา 2556 นี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF BANGKOK SOFT CLAY IMPROVEMENT BY
HAMMERING COMPACTION AND SOIL SUCTION IN SMALL MODEL



MS. RATTANAPHON THAMCHAROEN
MS. RAWADEE DUANGKAEW
MR. VARUT APICHARTWORAKIT

A SPECIALPROJECT 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

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯโดยการทุบด้วย
ตุ้มบดอัดและการดูดน้ำในแบบจำลองขนาดเล็ก
THE STUDY OF BANGKOK SOFT CLAY IMPROVEMENT BY
HAMMERING COMPACTION AND SOIL SUCTION IN SMALL
MODEL

นักศึกษา นางสาวรัตนภรณ์ ธรรมเจริญ รหัส 53011360
นางสาวเรวดี ดวงแก้ว รหัส 53011370
นายวรุฒ อภิชาติวรภิจ รหัส 53011434

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.สุพจน์ ศรีนิล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ชนาดล คงสมบูรณ์

อ.อุษะ ศิริแก้ว

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
รศ.สุพจน์	ศรีนิล	
ผศ.ดร.ชนาดล	คงสมบูรณ์	
ผศ.สมเกียรติ	ขวัญฤกษ์	
อ.ปรีชานันท์	ศรีแก้ว	
อ.อุษะ	ศิริแก้ว	

สถานที่สอบ ห้องประชุมสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วัน/เดือน/ปีที่สอบ 25 มีนาคม 2557 เวลา 13.00 – 14.00 น.

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(..........)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าพระยาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 31 เดือน มีนาคม พ.ศ.2557

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯโดยการทาบด้วยตุ้มบดอัดและการดูตื้นน้ำในแบบจำลองขนาดเล็ก			
นักศึกษา	นางสาวรัตนภรณ์	ธรรมเจริญ	รหัส	53011360
	นางสาวเรวดี	ดวงแก้ว	รหัส	53011370
	นายวรุฒ	อภิชาติวรกิจ	รหัส	53011434
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.สุพจน์	ศรีนิล		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร.ธนาตล	คงสมบูรณ์		
	อ.อุบะ	ศิริแก้ว		
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา	
ปีการศึกษา	2556			

บทคัดย่อ

ในอดีตจนถึงปัจจุบันปัญหาสำคัญที่มีผลกระทบต่อโครงการก่อสร้างต่าง ๆ ที่วางตัวอยู่บนพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ คือ ปัญหาการทรุดของดิน เนื่องจากคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนสามารถรับกำลังแบกทานได้น้อยมีปริมาณความชื้นในดินและมีการยุบอัดตัวสูง ดังนั้นแนวทางในการแก้ไขปัญหานี้คือการเร่งการทรุดตัวของดินก่อนการก่อสร้างเพื่อลดการทรุดตัวของดินที่เกิดขึ้นภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จและเพื่อเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของดินทั้งยังสามารถลดความเสียหายที่อาจจะเกิดต่อโครงสร้างในบริเวณนั้นได้

ด้วยเหตุนี้คณะทำงานจึงได้ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ด้วยวิธีการทาบดินด้วยตุ้มบดอัดและวิธีการดูตื้นน้ำออกจากดินเหนียว โดยทำการทดลองในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว และถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม.ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม. ทั้งนี้เพื่อเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของดินและศึกษาพฤติกรรมของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อได้รับการปรับปรุงคุณภาพแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	THE STUDY OF BANGKOK SOFT CLAY IMPROVEMENT BY HAMMERING COMPACTION AND SOIL SUCTION IN SMALL MODEL		
Name	MISS RATTANAPHON THAMCHAROEN		ID.53011360
	MISS RAWADEE DUANGKAEW		ID.53011370
	MR. VARUT APICHARTVORAKIT		ID.53011434
Advisor	ASST. SUPHOT SRINIL		
Co-Advisor	ASST. THANADOL KONGSOMBOON		
	ASST. UBA SIRIKAEW		
Degree	BACHELOR OF ENGINEERING		
Year	2013		

Abstract

From the past to present, the main problem which affect the structure on Bangkok clay is soil settlement. According to the condition of clay, low bearing capacity high percentage of water content and high consolidation. The solution of this problem is speed up the settlement before the construction start so the settlement will be decrease after the construction is finished also increase the bearing capacity of soil and decrease the damage of nearby structure. For this reason, we have studied the solution to improve Bangkok clay condition by hammering compaction and water suction. The experiment use 6 inches diameter model and 24 centimeters wide 53 centimeters long and 40 centimeters deep aluminium bucket to increase the bearing capacity and study the behavior of the modified soil after the improvement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ รศ. สุพจน์ ศรีนิล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ โดยท่านได้คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำต่างๆ เมื่อเกิดปัญหาขึ้นในการทำโครงการ รวมทั้ง ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ธนาตล คงสมบูรณ์ อาจารย์ อุษะศิริแก้ว ที่ช่วยให้คำปรึกษาคำแนะนำต่าง ๆ ด้านวิศวกรรมและข้อคิดเห็นที่จะนำมาเพื่อปรับปรุงให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ เหล่าคณาจารย์สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้ แก่ผู้จัดทำโครงการพิเศษ จนสามารถนำมาพัฒนาให้งานวิจัยนี้ลุล่วง

ขอขอบคุณ นายหฤทส์ภ ฟูบอล ที่คอยช่วยเหลือในเรื่องข้อมูลต่างๆ ซึ่งมีความสำคัญมาก ในการประกอบการใช้ทำวิจัยของผู้ประพันธ์ให้สำเร็จ

ขอขอบคุณ นายศรคม ศรีสนั่น และสมาชิกในกลุ่มที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับดินที่นำมาใช้ในการวิจัยให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆของผู้จัดทำโครงการพิเศษที่คอยให้คำปรึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้ประพันธ์ตลอดการทำวิจัยนี้

ท้ายที่สุด ขอขอบพระคุณสมาชิกครอบครัวของผู้จัดทำโครงการพิเศษทุกคนที่คอยให้กำลังใจห่วงใย และให้การช่วยเหลือผู้ประพันธ์เสมอมาตลอดการทำวิจัยนี้

นางสาวรัตนภรณ์ ธรรมเจริญ

นางสาวเรวดี ดวงแก้ว

นายวรุฒ อภิชาติวรภิกข

คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน(ภาษาไทย)	I
	ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	II
	หน้าอ努มัติ	III
	บทคัถยอภาษาไทย	IV
	บทคัถยอภาษาอังกฤษ	X
	กิตติกรรมประกาศ	XII
	สารบัญ	VII
	สารบัญตาราง	XIII
	สารบัญรูป	XV
1	บทนำ	
	1.1 กล่าวนำ	1
	1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
	1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	1.4 ขอบเขตของการศึกษา	2
	1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
	1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1 ความหมายของดิน	4
	2.2 คุณสมบัติพื้นฐานของดิน	5
	2.3 สภาพชั้นดินทั่วไปบริเวณกรุงเทพฯ	6
	2.4 ส่วนประกอบและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน	8
	2.5 น้ำในดิน	9
	2.6 เทคนิคการทุบอัดดิน (Dynamic compaction)	10
	2.6.1 การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเทคนิคการทุบอัดดิน (Dynamic compaction)	10
	2.6.2 ข้อดีและข้อเสียของวิธี Dynamic compaction	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ซึ่งมิให้อีกการคัดลอกเลียนแบบ และผู้ผู้ใดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.7 การทรุดตัว	13
	2.7.1 ชนิดของการทรุดตัว	13
	2.7.2 ทฤษฎีของการยุบอัดตัวของดิน	14
	2.8 Piezometer	16
	2.9 การทดสอบที่เกี่ยวข้อง	16
	2.9.1 การทดลองการหาปริมาณความชื้นในดิน (Water content)	16
	2.9.2 Compaction	17
	2.9.3 Consolidation Test การทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำของดิน	18
	2.10 การทดสอบแรงเฉือน	20
	2.11 ระบบสุญญากาศ (Vacuum Method)	20
3	วิธีดำเนินการทดลอง	
	3.1 แผนผังการดำเนินการ	22
	3.1.1 แบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว	22
	3.1.2 แบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.	23
	3.2 การทดลองในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว	24
	3.2.1 วัสดุ - อุปกรณ์ที่ใช้	24
	3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมและติดตั้งอุปกรณ์	27
	3.2.2.1 การเตรียมตัวอย่างดิน	27
	3.2.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำ	30
	3.2.2.3 การติดตั้งท่อสำหรับดูดน้ำในดิน	31
	3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง	33
	3.2.3.1 ขั้นตอนการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด	33
	3.2.3.2 ขั้นตอนการดูดน้ำในดิน	33
	3.2.4 ขั้นตอนการวัดผลการทดลอง	34
	3.2.4.1 ขั้นตอนวัดผลหลังจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด	34
	3.2.4.2 ขั้นตอนวัดผลหลังจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด และดูดน้ำออกแล้ว	36

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.3 การทดลองในแบบจำลองถังอลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.	38
	3.3.1 วัสดุ – อุปกรณ์ที่ใช้	38
	3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมและติดตั้งอุปกรณ์	40
	3.3.2.1 การเตรียมตัวอย่างดิน	40
	3.3.2.2 ขั้นตอนเตรียมอุปกรณ์ทดสอบน้ำ	42
	3.3.2.3 ขั้นตอนติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบน้ำ	42
	3.3.3 ขั้นตอนการทดลอง	44
	3.3.4 ขั้นตอนการวัดผล	46
	3.3.4.1 วัดปริมาณน้ำที่ตุ่ตออกมาจากดิน	46
	3.3.4.2. วัดปริมาณน้ำในดิน (% Water content)	46
	3.3.4.3. วัดกำลังรับแรงเฉือนในดิน	47
	3.3.4.4. วัดระยะการทรุดตัว	49
4	ผลการทดลอง	
	4.1 การทดลองการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering Compaction) และการดูตื้น้ำออกจากดินเหนียวในแบบจำลองขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว	50
	4.1.1 การทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering Compaction)	53
	4.1.1.1 แรงดันน้ำในท่อวัดระดับน้ำ (piezometer)	
	4.1.1.1.1 ตารางบันทึกผลระดับน้ำในท่อวัดระดับน้ำและ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำในท่อ กับช่วงเวลาของตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่าง	54
	4.1.1.1.2 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันน้ำของท่อกับช่วงเวลา ของตัวอย่างดิน ทั้ง 3 ตัวอย่าง	63
	4.1.1.2 วัดปริมาณน้ำในดิน (%water content)	64
	4.1.1.2.1 ตารางบันทึกผลปริมาณน้ำในดินก่อนและหลัง การทุบดินด้วยตุ้มบดอัด	67

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.1.2 การดูตุน้ำออกจากดิน	68
	4.1.2.1 ปริมาณน้ำที่ดูตุน้ำออกจากดิน	69
	4.1.2.1.1 ตารางบันทึกผลปริมาณน้ำที่ดูตุน้ำออกจาก ตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่าง	70
	4.1.2.1.2 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำที่ดูตุน้ำกับ ช่วงเวลา ของตัวอย่างดิน ทั้ง 3 ตัวอย่าง	70
	4.1.2.2 ปริมาณน้ำในดิน (%water content)	71
	4.1.2.2.1 ตารางบันทึกผลปริมาณน้ำในดินก่อนและหลังมี การดูตุน้ำออกจากดินของทั้ง 3 ตัวอย่าง	71
	4.1.2.2.2 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังการดู น้ำออกจากดินของทั้ง 3 ตัวอย่าง	74
	4.1.2.3 หาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน	75
	4.1.2.3.1 ตารางบันทึกผลกำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นทั้งก่อน และหลังการดูตุน้ำออกจากดินทั้ง 3 ตัวอย่าง	76
	4.1.2.3.2 กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังรับแรงเฉือน กับช่วงเวลาก่อนและหลังการ ดูตุน้ำออกจากดิน	78
	4.2 การดูตุน้ำออกจากดินเหนียวโดยใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศ ในแบบจำลอง ถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.	79
	4.2.1 ปริมาณน้ำที่ดูตุน้ำออกจากดิน	80
	4.2.2 ปริมาณน้ำในดิน (%water content)	82
	4.2.2.1 ตารางบันทึกผลปริมาณน้ำในดินก่อนและหลังการดูตุน้ำ ออกจากดิน ที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B บริเวณผิวดินและลึกลงไปดิน	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.2.2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลังการดูน้ำ ที่บริเวณผิวดิน และลึกลงไปใต้ดิน ของตำแหน่ง A1, A2, A3 ใน ตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B	86
	4.2.2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลังดูน้ำ ที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B ที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน	91
	4.2.3 กำลังรับแรงเฉือนของดิน	94
	4.2.4 ระยะเวลาทรุดตัว	100
5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
	5.1 สรุปผลการทดลอง	103
	5.1.1 การทดลองหุบดินด้วยตุ้มบดอัดและการดูน้ำออกจาก ดินเหนียวในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว	103
	5.1.1.1 การหุบดินด้วยตุ้มบดอัด	103
	5.1.1.2 การดูน้ำออกจากดิน	105
	5.1.2 การดูน้ำออกจากดินเหนียวโดยใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศ ในแบบจำลองถังอะลูมิเนียม	108
	5.1.3 สรุปผลการทดลองทั้ง 2 แบบจำลอง	112
	5.1.3.1 ปริมาณน้ำในดิน	112
	5.1.3.2 กำลังรับแรงเฉือนของดิน	115
	5.1.3.3 size effect ที่มีผลต่อการทดลอง	118
	5.2 ข้อเสนอแนะ	119
	5.2.1 ภายในแบบจำลองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว	119
	5.2.2 ภายในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม.	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	บรรณานุกรม	120
	ภาคผนวก	
	ข้อมูลดินที่ใช้ในการทดลอง	ผก1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ตารางแสดงข้อมูลชั้นดิน	8
2.2	ตารางแสดงผลการคำนวณพลังงานของแต่ละแบบอัดดิน	12
4.1	แสดงผลระดับน้ำในท่อวัดระดับน้ำ A1 และ A2 ของตัวอย่าง A	55
4.2	แสดงผลระดับน้ำในท่อวัดระดับน้ำ B1 และ B2 ของตัวอย่าง B	58
4.3	แสดงผลระดับน้ำในท่อวัดระดับน้ำ C1 และ C2 ของตัวอย่าง C	61
4.4	แสดงปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนหุบ-หลังหุบ ของตัวอย่าง A	64
4.5	แสดงปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนหุบ-หลังหุบ ของตัวอย่าง B	65
4.6	แสดงปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนหุบ-หลังหุบ ของตัวอย่าง C	66
4.7	แสดงปริมาณน้ำที่ตูดออกจากตัวอย่าง A	69
4.8	แสดงปริมาณน้ำที่ตูดออกจากตัวอย่าง B	69
4.9	แสดงปริมาณน้ำที่ตูดออกจากตัวอย่าง C	70
4.10	แสดงปริมาณน้ำในดินก่อนการดูดและหลังการดูดน้ำออก ของตัวอย่าง A	71
4.11	แสดงปริมาณน้ำในดินก่อนการดูดและหลังการดูดน้ำออก ของตัวอย่าง B	72
4.12	แสดงปริมาณน้ำในดินก่อนการดูดและหลังการดูดน้ำออก ของตัวอย่าง C	73
4.13	แสดงกำลังรับแรงเฉือนของดินกับช่วงเวลาของตัวอย่าง A	76
4.14	แสดงกำลังรับแรงเฉือนของดินกับช่วงเวลาของตัวอย่าง B	77
4.15	แสดงกำลังรับแรงเฉือนของดินกับช่วงเวลาของตัวอย่าง C	77
4.16	แสดงปริมาณน้ำที่ตูดออกมาจากตัวอย่างดิน A และ B	80
4.17	แสดงปริมาณน้ำในดินก่อนและหลังการดูดน้ำออกจากดินที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A บริเวณผิวดิน	82
4.18	แสดงปริมาณน้ำในดินก่อนและหลังการดูดน้ำออกจากดินที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A บริเวณลึกลงไปใต้ดิน	83
4.19	แสดงปริมาณน้ำในดินก่อนและหลังการดูดน้ำออกจากดินที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B บริเวณผิวดิน	84
4.20	แสดงปริมาณน้ำในดินก่อนและหลังการดูดน้ำออกจากดินที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B บริเวณลึกลงไปใต้ดิน	85
4.21	แสดงกำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A บริเวณผิวดิน ทั้งก่อนและหลังการดูดน้ำ	94

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
4.22	แสดงกำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A บริเวณลึกลงไปในดิน ทั้งก่อนและหลังการดูดน้ำ	95
4.23	แสดงกำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B บริเวณผิวดิน ทั้งก่อนและหลังการดูดน้ำ	97
4.24	แสดงกำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B บริเวณลึกลงไปในดิน ทั้งก่อนและหลังการดูดน้ำ	98
4.25	แสดงระดับความสูงดิน ที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A	100
4.26	แสดงระดับความสูงดิน ที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B	101
5.1	แสดงแรงดันน้ำและปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อทำการทุบดิน ด้วยตุ้มบดอัด ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการทุบบนตัวอย่าง A, B และ C แตกต่างกัน	103
5.2	แสดงปริมาณน้ำที่ดูดออกมาได้ทั้งหมดจากมวลดินของตัวอย่าง A, B และ C	105
5.3	แสดงการปริมาณน้ำในดินที่ช่วงเวลาต่างกันของตัวอย่าง A, B และ C	106
5.4	แสดงกำลังรับแรงเฉือนของดิน ที่ช่วงเวลาต่างกัน ของตัวอย่าง A, B และ C	107
ผ.1	ตารางแสดงผลการทดลองหาปริมาณความชื้นของดินที่สภาวะพลาสติก และขีดจำกัดเหลว	ผก2
ผ.2	ตารางแสดงค่าขีดจำกัดพลาสติกและขีดจำกัดเหลวจากข้อมูลดิน	ผก3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อ	หน้า
2.1	ผังแสดงส่วนประกอบของดิน	6
2.2	รูปตัดแสดงชั้นดินกรุงเทพฯ จากทิศเหนือไปทิศใต้ (ว.ส.ท. 2520)	7
2.3	รูปตัดแสดงชั้นดินบริเวณใกล้เคียงกรุงเทพฯ จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก	7
2.4	ขั้นตอนการทำงานของ Dynamic compaction	10
2.5	ระยะประสิทธิผลของการทุบอัดแบบกระแทก	11
2.6	การเปลี่ยนแปลงแรงดันระหว่างการยุบอัดตัวของดิน	15
2.7	อุปกรณ์การทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำของดิน	19
2.8	Oedometer	19
3.1	แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 นิ้ว	22
3.2	แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.	23
3.3	อุปกรณ์ในการทดลอง	24
3.4	ตุ้มบดอัด (Compaction Hammer) เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้วหนัก 5.5ปอนด์	24
3.5	สายน้ำเกลือเพื่อทำเป็นท่อวัดแรงดันน้ำและหลอดเก็บตัวอย่าง	25
3.6	กระบอกฉีดยาใช้ในการดูดน้ำ	26
3.7	pocket vane shear ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.774 ซม.	26
3.8	วางแผ่นผ้าใยสังเคราะห์ก่อนใส่ดิน	27
3.9	ใส่ตัวอย่างดินลงไปแบบอัดดิน	28
3.10	ใช้แผ่นพลาสติกยึดดินให้แน่น	28
3.11	ใส่ดินลงไปให้ได้ระดับ 11 ซม. วางแผ่นผ้าใยสังเคราะห์อีกชั้นแล้วตามด้วย น้ำหนักกดทับ	29
3.12	นำแบบอัดดินนี้ใส่ในอ่างพลาสติกที่มีน้ำอยู่	29
3.13	ติดตั้งท่อวัดระดับน้ำลงไปดิน	30
3.14	ติดตั้งท่อโดยมีระยะห่างจากกึ่งกลางแบบวัดดิน 5 ซม.	31
3.15	ติดตั้งท่อดูดน้ำ	32
3.16	ใส่ทรายลงไปเป็นตัวช่วยดิน	32
3.17	ทุบอัดตัวอย่างดินตามจำนวนครั้งที่ออกแบบไว้	33
3.18	ดูดน้ำออกจากตัวอย่างดินด้วยกระบอกฉีดยา	34
3.19	ใช้น้ำหนักกระป๋องกับดินเปียก	35

สารบัญรูป(ต่อ)

3.20	นำตัวอย่างดินไปอบ	35
3.21	ขีดเส้นไว้เพื่อวัดระดับน้ำในท่อต่อไป	36
3.22	วัดกำลังรับแรงเฉือนของดิน	37
3.23	ถังอลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.	38
3.24	ดินเหนียวอ่อนที่นำมาใช้ในการทดลอง	38
3.25	ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 ซม. และ แผ่นผ้าใยสังเคราะห์ชนิด TS 30	39
3.26	ปั๊มสุญญากาศต่อเข้ากับปั๊มดูดน้ำ	39
3.27	อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน	40
3.28	การเก็บตัวอย่างดิน	41
3.29	การปั่นดินให้เข้ากัน	41
3.30	ท่อที่ใช้ในการดูดน้ำโดยมีแผ่นผ้าใยสังเคราะห์หุ้มที่ปลายท่อ	42
3.31	ระยะการติดตั้งท่อดูดน้ำ	43
3.32	ติดตั้งท่อดูดน้ำไว้ที่กึ่งกลางถังอลูมิเนียม	43
3.33	การติดตั้งอุปกรณ์การดูดน้ำ	44
3.34	ดูดน้ำออกจากดิน	45
3.35	น้ำที่ออกมาจากดิน	45
3.36	ภาพแปลนบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินในถังอลูมิเนียม	46
3.37	ใช้เหล็กปาดผิวดินไปวัดปริมาณน้ำในดิน	46
3.38	ใช้หลอดเก็บตัวอย่างดินเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.164 ซม.	47
3.39	วัดกำลังแรงเฉือนของดินที่ผิวดิน	48
3.40	วัดกำลังแรงเฉือนของดินที่ลึกลงไป	48
3.41	ใช้เวอเนียร์คาลิเปอร์วัดระยะการทรุดตัวของดิน	49
4.1	ตัวอย่าง A ,B และC ในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว	50
4.2	การเตรียมตัวอย่างดินให้ใกล้เคียงธรรมชาติก่อนการทดลอง	51
4.3	การติดตั้งท่อวัดระดับน้ำและท่อดูดลงในตัวอย่าง	51
4.4	ระยะการติดตั้งท่อวัดระดับน้ำและท่อดูดน้ำ	52
4.5	การทุบดินด้วยตุ้มบดอัด	53
4.6	หลังการทุบดินแล้ว	53
4.7	ตุ้มบดอัด (Compaction Hammer) เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนัก 5.5ปอนด์	53
4.8	แสดงการปล่อยตุ้มบดอัดลงบนตัวอย่างA จำนวน 1 ครั้ง	54

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	ชื่อ	หน้า
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำในท่อ A1 และ A2 กับช่วงเวลาของตัวอย่าง A	56
4.10	แสดงการปล่อยตุ้มบดอัดลงบนตัวอย่าง B จำนวน 2 ครั้ง	57
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำในท่อ B1 และ B2 กับช่วงเวลาของตัวอย่าง B	59
4.12	แสดงการปล่อยตุ้มบดอัดลงบนตัวอย่าง C จำนวน 4 ครั้ง	60
4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำในท่อ C1 และ C2 กับช่วงเวลาของตัวอย่าง C	62
4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำในท่อ A1, A2, B1, B2, C1 และ C2 กับช่วงเวลา ของตัวอย่าง A, B, และ C	63
4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังการทุบแบบไดนามิก ของตัวอย่าง A, B และ C	67
4.16	การดูดน้ำโดยใช้กระบอกฉีดยา	68
4.17	น้ำที่ดูดออกมาจากตัวอย่างดิน	68
4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่ดูดออกมาได้กับช่วงเวลาของตัวอย่าง A,B และ C	70
4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนดูดน้ำ-หลังดูดน้ำของตัวอย่าง A,B และ C	74
4.20	pocket vane shear ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.774 ซม.	75
4.21	แสดงการวัดกำลังแรงเฉือนบนผิวหน้าดิน	76
4.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดินกับเวลาก่อนดูดน้ำ - หลังดูดน้ำ	78
4.23	ตัวอย่าง A และ B ในแบบจำลองถึงอะลูมิเนียมขนาด ว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.	79
4.24	การติดตั้งท่อดูดน้ำลงในตัวอย่าง A และ B	79
4.25	แสดงตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B	80
4.26	ปริมาณน้ำที่ดูดออกมาได้จากตัวอย่าง A และ B	81

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	ชื่อ	หน้า
4.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังการดูดน้ำที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน ของตำแหน่ง A1	86
4.28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังการดูดน้ำที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน ของตำแหน่ง A2	87
4.29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังการดูดน้ำที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน ของตำแหน่ง A3	87
4.30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังการดูดน้ำที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน ของตำแหน่ง B1	88
4.31	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังการดูดน้ำที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน ของตำแหน่ง B2	89
4.32	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังการดูดน้ำที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน ของตำแหน่ง B3	89
4.33	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน (%water content)กับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำ ที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A ที่บริเวณผิวดิน	91
4.34	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน (%water content) กับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำ ที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A ที่บริเวณลึกลงไปใต้ดิน	92
4.35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน (%water content) กับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำ ที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B ที่บริเวณผิวดิน	92
4.36	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน (%water content) กับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำ ที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B ที่บริเวณลึกลงไปใต้ดิน	93
4.37	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับตำแหน่งที่วัดแรงเฉือน A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A บริเวณผิวดิน ทั้งก่อนและหลังการดูดน้ำ	95
4.38	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับตำแหน่งที่วัดแรงเฉือน A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A บริเวณลึกลงไปใต้ดิน ทั้งก่อนและหลังการดูดน้ำ	96

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	ชื่อ	หน้า
4.39	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับตำแหน่งที่วัดแรงเฉือน B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B บริเวณผิวดิน ทั้งก่อนและหลังการตูดน้ำ	97
4.40	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับตำแหน่งที่วัดแรงเฉือน B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B บริเวณลึกลงไปใต้ดิน ทั้งก่อนและหลังการตูดน้ำ	98
4.41	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของระดับดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังตูดน้ำที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A	100
4.42	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของระดับดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังตูดน้ำที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B	101
5.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำที่ A1, A2, B1, B2, C1 และ C2 กับช่วงเวลา	104
5.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลัง การทุบดินด้วยตุ้มบดอัด ของตัวอย่าง A, B และ C	104
5.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน ที่ช่วงเวลาต่างกัน ของตัวอย่าง A, B และ C	106
5.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน ที่ช่วงเวลาต่างกัน ของตัวอย่าง A, B และ C	107
5.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของระดับดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลังตูดน้ำ ที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A และ B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B	108
5.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังตูดน้ำที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน	109
5.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังตูดน้ำที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	ชื่อ	หน้า
5.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำ ที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A บริเวณผิวดินและลึกลงไปดิน	110
5.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำ ที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B บริเวณผิวดินและลึกลงไปดิน	110
5.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำออกจากดิน ของตัวอย่าง A , B และ C ในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 นิ้ว	112
5.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำที่ตำแหน่ง A1, A2 และ A3 บริเวณผิวดินในแบบจำลองถึงอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.	113
5.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำที่ตำแหน่ง A1 , A2 และ A3 บริเวณลึกลงไปดินในแบบจำลองถึงอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.	113
5.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำที่ตำแหน่ง B1 , B2 และ B3 บริเวณผิวดินในแบบจำลองถึงอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.	114
5.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำที่ตำแหน่ง B1 , B2 และ B3 บริเวณลึกลงไปดินในแบบจำลองถึงอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.	114
5.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับเวลาก่อนและหลังดูดน้ำออกจากดิน ของตัวอย่าง A , B และ C ในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 นิ้ว	115
5.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับเวลาก่อนและหลังดูดน้ำออกจากดินที่ตำแหน่ง A1 , A2 และ A3 บริเวณผิวดินของตัวอย่าง A ในแบบจำลองถึงอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.	115

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	ชื่อ	หน้า
5.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับเวลาก่อนและหลังดูดน้ำออกจากดินที่ตำแหน่ง A1 , A2 และ A3 บริเวณลึกลงไปในดินของตัวอย่าง A ในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.	116
5.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับเวลาก่อนและหลังดูดน้ำออกจากดินที่ตำแหน่ง B1 , B2 และ B3 บริเวณผิวดินของตัวอย่าง B ในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.	116
5.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับเวลาก่อนและหลังดูดน้ำออกจากดินที่ตำแหน่ง B1 , B2 และ A3 บริเวณลึกลงไปในดินของตัวอย่าง B ในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.	117
ผ.1	แผนที่เส้นทางไปศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคเพื่อนำดินมาใช้ในการทดลอง	ผก1
ผ.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับจำนวนการเคาะ	ผก2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ปัญหาสำคัญที่มีผลกระทบต่อโครงการก่อสร้างต่างๆที่วางตัวอยู่บนพื้นที่ดินเหนียวอ่อน คือ ปัญหาการทรุดของดินที่เกิดจากมีน้ำหนักมากกดทับให้ดินเกิดการยุบตัวในแนวดิ่ง เนื่องจากคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนเป็นที่ทราบกันดีว่า สามารถรับกำลังแบกทานได้น้อยมีปริมาณความชื้นสูงและมีการยุบตัวสูงซึ่งพื้นที่ของจังหวัดกรุงเทพมหานครมีลักษณะทางกายภาพเป็นดินเหนียวอ่อน การจะก่อสร้างโครงการบนพื้นที่ดังกล่าวจึงควรพิจารณาถึงการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อลดการทรุดตัวของดินภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จทั้งยังสามารถลดความเสียหายที่อาจจะเกิดต่อโครงสร้างในบริเวณนั้นได้ ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลดต่ำลงเช่นกันโดยเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนที่ผ่านมาได้มีการศึกษาและนำไปใช้กับโครงการขนาดใหญ่และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น :

- การใช้แผ่นระบายน้ำในแนวดิ่ง (Prefabricated vertical drains ; PVDs) ร่วมกับน้ำหนักกดทับ (Preloading)
- การใช้สุญญากาศ (Vacuum) ร่วมกับแผ่นระบายน้ำในแนวดิ่ง (PVDs)
- เสาเข็มดิน-ซีเมนต์ (Stone columns)
- การให้ความร้อน (Thermal treatment)
- การผสมสารเคมี (Chemical mixing)
- การใช้ไฟฟ้า (Electro-Osmosis)
- การบดอัดแบบไดนามิกลึก (Deep dynamic compaction)

ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ จะมุ่งเน้นในเรื่องการทุบดินด้วยตุ้มบดอัดและการดูดน้ำออกจากดิน โดยมีหลักการทำงานคือ การส่งพลังงานจากการทุบอัดลงไปบริเวณผิวหน้าดินเพื่อทำให้ดินมีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น หลังจากนั้นทำการดูดน้ำเพื่อเร่งการทรุดตัวของดิน ซึ่งในโครงการพิเศษจะทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวในแบบจำลอง

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การบดอัดแบบไดนามิกเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยอาศัยหลักการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู ใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกข้อมูล และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
หนาแน่นเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นยังทำให้แรงดันน้ำในดินเปลี่ยนแปลงไป เทคนิคการบดอัดแบบได
นามิกส่วนใหญ่นิยมใช้กับดินทราย แต่ก็มีกรณีศึกษาได้ชี้ให้เห็นไว้ว่าเทคนิคนี้สามารถนำมาใช้กับดิน

เหนียวชุ่มน้ำได้(Mernard ; 1975) ฉะนั้นเทคนิคนี้จึงมีความน่าสนใจที่จะนำมาศึกษาในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เพื่อลดผลกระทบที่จะสร้างความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้างจากการทรุดตัวของดินในอนาคตได้

โครงการพิเศษในครั้งนี้จะศึกษาเกี่ยวกับ เทคนิคการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering Compaction) บนดินเหนียวในแบบจำลองโดยใช้พลังงานจากการปล่อยตุ้มน้ำหนักตามแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อทำให้เกิดพลังงานบริเวณผิวดินส่งลงไปชั้นดินด้านล่าง เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแรงดันน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งศึกษาการดูน้ำออกจากดิน เพื่อช่วยเร่งการทรุดตัวของดิน ซึ่งภายหลังการทดลองจะสามารถนำผลไปวิเคราะห์และพิจารณาถึงการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนในกรุงเทพฯ ในโครงการขนาดใหญ่ต่อไปในอนาคตได้

1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อทำการทดลองการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเทคนิคการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering Compaction) และการดูน้ำในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้วและถึงอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม.ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.

2. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแรงดันน้ำและปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อได้รับพลังงานจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัดแตกต่างกันในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว

3. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของปริมาณน้ำในดินและกำลังรับแรงเฉือนของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำการดูน้ำออกจากแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว และแบบจำลองถึงอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม.ยาว 53 ซม. ลึก40 ซม.

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. ทำการทดลองโดยใช้เทคนิคการปรับปรุงดินเหนียวซึ่งเป็นดินเหนียวที่ได้มาจากศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค ตั้งอยู่เลขที่ 88 ถ.บางนา-ตราด กม.1, เขตบางนา กทม. 10260 ที่ความลึก 6-10 เมตรด้วยวิธีการทุบดินโดยใช้ตุ้มบดอัด (Compaction Hammer) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว น้ำหนัก 5.5 ปอนด์ ในแบบอัดดิน CBR (Compaction Mold) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว

2. ทำการดูน้ำจากตัวอย่างดินในแบบจำลองขนาด 6 นิ้ว เพื่อศึกษาปริมาณน้ำในดิน (Water Content) และกำลังรับแรงเฉือนของดินที่เปลี่ยนแปลงไป

3. ทำการทดลองดูน้ำออกจากดินเหนียวเพื่อศึกษาพฤติกรรมของดินเหนียวที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการดูน้ำออก ดินที่นำมาใช้ในการทดลองคือดินเหนียวหน้าแลบคอนตัก ตึกสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยทำการทดลองในถึงอะลูมิเนียมขนาด 24 ซม.ยาว 53 ซม. ลึก40 ซม.

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาหลักการทำงานของเทคนิคการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering Compaction) และการดูตื้น้ำโดยใช้กระบอกฉีดยา
2. ออกแบบวิธีการทดลองในแบบจำลอง
3. เตรียมตัวอย่างดินเหนียวและจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์
4. ติดตั้งอุปกรณ์ในแบบจำลอง
5. ทดลองด้วยเทคนิคการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด(Hammering Compaction) พร้อมเก็บข้อมูลก่อน ระหว่างและหลังการทดลอง
6. ทำการดูตื้น้ำออกจากตัวอย่างดิน ด้วยกระบอกฉีดยา พร้อมเก็บข้อมูลก่อน ระหว่างและหลังการทดลอง
7. รวบรวมผลการทดลอง
8. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.สามารถพิจารณาถึงการนำเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเทคนิคการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด(Hammering Compaction)และการดูตื้น้ำออกจากดิน มาใช้ในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการขนาดใหญ่ในอนาคตได้
2. ทำให้ทราบพฤติกรรมแรงดันน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป โดยให้พลังงานในการทุบดินแตกต่างกันเมื่อได้รับการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเทคนิคการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด(Hammering Compaction)บนดินเหนียวในแบบจำลองขนาด 6 นิ้ว
3. ทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในดินและกำลังรับแรงเฉือนของดินเมื่อมีการดูตื้น้ำออกจากตัวอย่างดินหลังจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัดบนดินเหนียวในแบบจำลองขนาด 6 นิ้ว
4. ทำให้ทราบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในดินกำลังรับแรงเฉือน และระยะการทรุดตัวของดินเมื่อมีการดูตื้น้ำออกจากตัวอย่างดินในแบบจำลองถึงอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ความหมายของดิน

ดินเป็นสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ เกิดจากการสลายตัวผุพังของหินชนิดต่าง ๆ โดยใช้เวลาที่นานมาก หินที่สลายตัวผุพังร่อนนี้จะมีขนาดต่าง ๆ กัน เมื่อผสมรวมกับซากพืช ซากสัตว์ น้ำ อากาศ ก็กลายเป็นเนื้อดินซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้จะมากน้อยแตกต่างกันไปตามชนิดของดิน

กระบวนการสร้างดิน การเกิดดินนั้นต้องใช้ระยะเวลาในการเปลี่ยนและสลายตัวของสสาร ดินกำเนิดดิน สำหรับลำดับขั้นของการสร้างดิน เป็นดังนี้

1. การสลายตัวของหินและแร่ตามธรรมชาติ จากที่มีขนาดใหญ่จนมีขนาดเล็กลง กลายเป็นวัตถุต้นกำเนิดดินซึ่งวัตถุต้นกำเนิดดินนี้มีธาตุอาหารเพียงพอ ที่จะใช้ในการเจริญเติบโตของพืชได้ จากวัตถุต้นกำเนิดดินที่เกิดอยู่ตรงบริเวณหินและแร่สลายตัว ส่วนมาก จะถูกธรรมชาติพัดพาเอาอนุภาคไปทับถมในที่แห่งใหม่ และกลายเป็นวัตถุต้นกำเนิดดินในที่นั้นๆ ต่อไป

2. กระบวนการเพิ่มเติมสาร อินทรีย์ให้กับวัตถุต้นกำเนิดดินจากซากของสสาร เช่น ซากพืช ซากสัตว์ มูลสัตว์ เมื่อเกิดการสลายตัวตามธรรมชาติจนกลายเป็น ฮิวมัส (Humus) ซึ่งมี สีน้ำตาลดำ จัดว่าเป็นดิน ที่มีประโยชน์ต่อพืชมาก เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของพืช

3. การผสมคลุกเคล้าของวัตถุต้นกำเนิดดินและฮิวมัส พวกจุลินทรีย์และสัตว์อาศัยอยู่ในดิน จะมีส่วน ในการสร้างดินจากสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย หิน และแร่ธาตุต่างๆ ให้ผุพังร่อนมีขนาดเล็กลงจนกลายเป็นดิน ทำให้เกิดชั้นดินที่มีสีน้ำตาลดำแยกต่างจากชั้นดินอื่นๆ อีกทั้งมีแร่ธาตุอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช

ปัจจัยที่มีผลต่อการกำเนิดดิน

ดินจะเกิดขึ้นได้เร็วหรือช้า จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ภูมิอากาศภูมิอากาศจะเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ น้ำ และความชื้น ซึ่งมีอิทธิพล ต่อการสลายตัวของหินและแร่ธาตุทั้งทางตรงและทางอ้อม

2. วัตถุต้นกำเนิดดิน คือ หินและแร่ที่สลายตัว ซึ่งจะมีผลต่อความรวดเร็วในการแปรสภาพของหินตลอดจนชนิดและลักษณะของดิน

3. สิ่งมีชีวิตในดิน สิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์จะมีอิทธิพลในแง่การเพิ่มสารอินทรีย์ให้แก่ดิน ได้แก่ จุลินทรีย์จำพวก เห็ด รา แบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้อัปโหลดเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ถูกกีดเซาะได้ง่ายทำให้เกิดดินได้รวดเร็ว

วิศวกรได้แบ่งวัสดุที่ตกตะกอนทับถมกันเป็นผิวโลกออกเป็นดินและหิน ดินคือส่วนที่ตกตะกอนทับถมกันไม่แน่น เช่น กรวด(Gravel) ทราย (Sand) ตะกอนทราย (Silt) และดินเหนียว (Clay) หรือส่วนผสมของสิ่งเหล่านี้ ซึ่งอาจเป็นพวกที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesion) หรือไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesion less) ก็ได้สามารถแยกออกจากกันได้ง่ายๆ เช่น นำไปละลายน้ำ เป็นต้น หินคือส่วนที่แข็งและยึดจับตัวกันแน่นมาก ไม่สามารถแยกออกจากกันได้ง่ายๆ เหมือนดิน

Residual soil คือ ดินส่วนที่ยังไม่ถูกเคลื่อนย้ายหรืออยู่ห่างจากตำแหน่งกำเนิด

Top soil คือดินส่วนที่อยู่บนผิวซึ่งอาจจะเกิดการเนาเปื้อยผุพังและสลายตัวของพวกพืชและสัตว์ที่ล้มตายทับถมกันเป็นเวลานาน จะมีสารอินทรีย์ (Organic matter) สูงและมีหน่วยน้ำหนักต่ำ ดังนั้น โดยปกติจะต้องขุดออกหรือไม่นำมาใช้ในงานด้านวิศวกรรม

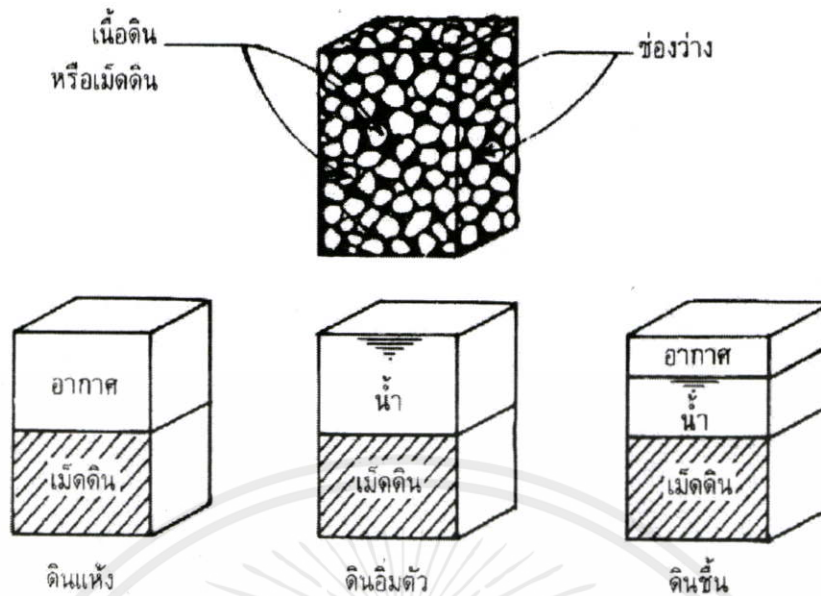
2.2 คุณสมบัติพื้นฐานของดิน

ส่วนประกอบของมวลดิน (Soil Phases) ประกอบด้วย 3 ส่วน (3 Phase) คือ

1. เนื้อดินที่เป็นของแข็ง (Solid Phase)
2. น้ำหรือความชื้นในมวลดิน (Liquid Phase)
3. อากาศ หรือช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ยังไม่ถูกแทนที่ด้วยน้ำ (Air Phase)

คุณสมบัติทั้ง3ส่วนนี้ มีความสำคัญในการกำหนดคุณสมบัติทางด้านกายภาพอื่นๆ และคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ผังแสดงส่วนประกอบของดิน

(ที่มา: การออกแบบการพัฒนากำลังของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการบดอัดกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ, 2556)

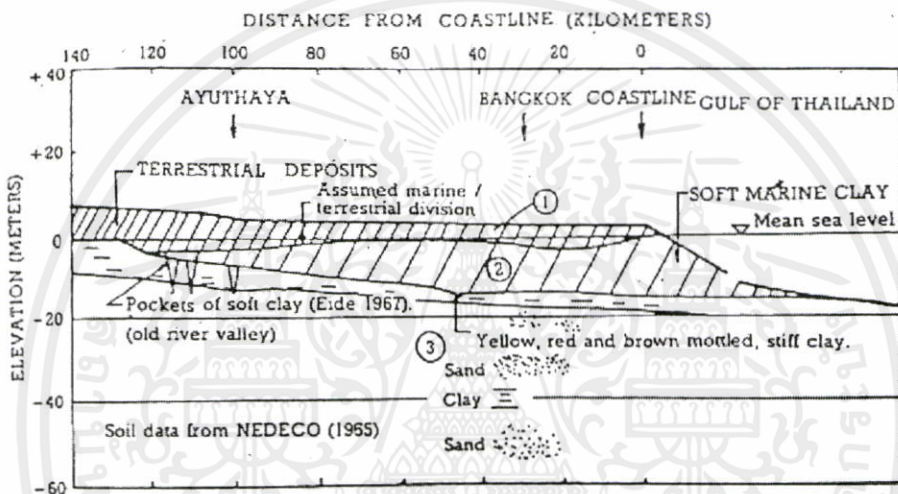
2.3 สภาพชั้นดินทั่วไปบริเวณกรุงเทพฯ

พบว่าดินในกรุงเทพฯ และปริมณฑล เป็นดินรากลุ่มแม่น้ำซึ่งมีลักษณะค่อนข้างราบและสม่ำเสมอ ดินชั้นแรกจะเป็นดินเหนียว (clay) ถัดลงมาจะเป็นชั้นดินเหนียวปนทรายที่ค่อนข้างแข็ง (stiff clay) และจะพบชั้นทรายชั้นที่ 1 อยู่ที่บริเวณความลึก 14-27 เมตรโดยมีความลึกน้อยกว่า ที่ทางเหนือกรุงเทพฯ และลึกมากขึ้นตามลำดับ โดยเทลาดไปทางตะวันออกบริเวณอำเภอบางบ่อ บางพลี จะมีความลึกประมาณ 27 เมตร หากน้ำหนักรากอากาศมากเกินกว่า จะให้ ชั้นทรายชั้นที่ 1 รับ ก็จะต้องเพิ่มความยาวเสาเข็มให้มากขึ้น โดยให้มีความลึกยิ่งขึ้น จะพบชั้นดินเหนียว (clay) ใต้ชั้นทรายและพบชั้นดินเหนียวแข็ง (stiff clay) ที่ระดับความลึกประมาณ 45-48 เมตร และจะพบชั้นทรายชั้นที่ 2 ที่ระดับความลึก 55-65 เมตร โดยประมาณ

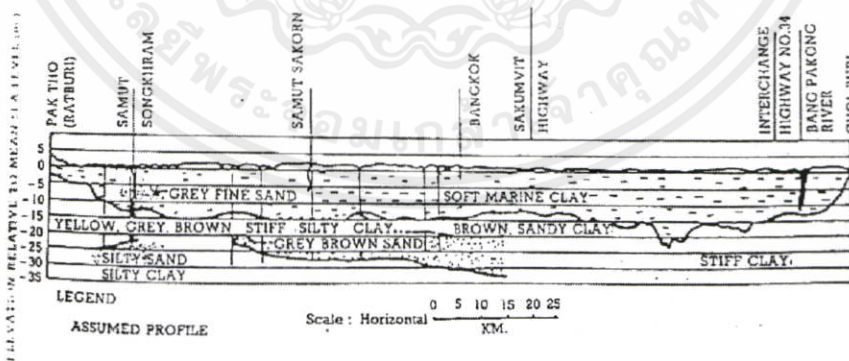
รูปที่ 2.2 และ 2.3 แสดงรูปตัดของชั้นดินบริเวณใกล้เคียงกรุงเทพฯ รูปที่ 2.2 แสดงรูปตัดจากอ่าวไทยไปยังอยุธยา (นั่นคือจากทิศใต้ไปทิศเหนือ) ความหนาของชั้นดินอ่อนที่เกิดจาก Marine Deposit เพิ่มขึ้นเมื่อใกล้อ่าวไทย และดินเหนียวบริเวณนั้นมีสมบัติทางวิศวกรรมค่อนข้างเหลว จากกรุงเทพฯ ไปยังอยุธยา ความหนาของชั้นดินอ่อนลดลง ความหนาของชั้นดินที่เป็น Terrestrial Deposit เพิ่มขึ้น จนกระทั่งเลยอยุธยาไป ชั้นดินอ่อนขาดหายไป โดยชั้นดินมีเพียง Terrestrial Deposit ซึ่งเป็นดินเหนียวแข็งปานกลางตั้งอยู่บนชั้นดินเหนียวแข็ง อายุของดินมี

แนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นจากอ่าวไทยไปยังอยุธยาเช่นกัน ดินเหนียวบริเวณที่บริเวณที่อยุธยาจะมีสภาพอัดแน่นเกินตัวมากกว่าดินบริเวณอ่าวไทย

รูปที่ 2.3 แสดงรูปตัดของชั้นดินในบริเวณกรุงเทพฯ จากชลบุรีไปราชบุรี จะเห็นว่าดินอ่อนเป็นแอ่งอยู่ และแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนมีความไม่แน่นอน ความหนาของดินอ่อนใกล้แม่น้ำบางปะกง มีถึง 20 เมตร ความหนาของดินอ่อนเริ่มลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อใกล้จังหวัดชลบุรีและจากสมุทรสงครามไปยังจังหวัดชลบุรีโดยทั่วไปอายุของดินอ่อนจะน้อยที่สุดบริเวณใกล้จังหวัดชลบุรี จากนั้นอายุของดินและสภาพอัดแน่นเกินตัวมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในทิศทางไปยังจังหวัดราชบุรี



รูปที่ 2.2 รูปตัดแสดงชั้นดินกรุงเทพฯ จากทิศเหนือไปทิศใต้ (ว.ส.ท. 2520)



รูปที่ 2.3 รูปตัดแสดงชั้นดินบริเวณใกล้เคียงกรุงเทพฯ จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ส่วนประกอบและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน

ดินเหนียวกรุงเทพฯมีเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นแร่เคลย์ จากการตรวจสอบวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์พบว่าประกอบด้วย แร่มอนโมริลโลไนต์ถึง 60% แร่เคลอิโอลิไนต์ 25% และแร่อิไลไรต์ 15% มีน้ำปนอยู่ในเนื้อดิน 24-30% มีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 5.5 มีค่าความเหนียวนำกระแสไฟฟ้าสูงมาก จากการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมพบว่าดินเหนียวกรุงเทพฯ มีเนื้อนิ่มจึงมีความแกร่งต่ำ ความหยุ่นสูง จึงสามารถหดตัวและขยายตัวได้มาก มีค่าดัชนีพลาสติกสูง แต่ความไวในการทำปฏิกิริยาต่อน้ำค่อนข้างต่ำ ประกอบกับมีเนื้อค่อนข้างตันน้ำจึงซึมผ่านได้ยากมากมีshear strength ประมาณ 20-40 kPa

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลชั้นดิน

ชนิดดิน	Wn%	Gs	e	$\gamma_d(t/m^3)$	$\gamma_{sat}(t/m^3)$
ดินกรุงเทพฯ-ชั้นเปลือกบน	50	2.69			
ดินกรุงเทพฯ-ชั้นดินอ่อน	50-120	2.67	1.4-2.2		
ดินกรุงเทพฯ-ชั้นดินแข็ง	20-40	2.75	0.6-1.0		
ดินอ่อนบางเลน-นครปฐม	50-90		1.1-2.3	0.8-1.3	
ดินบดอัดเชื่อมมูลบน	14	2.65		1.87	
ทรายกรองน้ำเชื่อมมูลบน		2.70		1.95	
โคลนวิทยาศาสตร์สารละลาย Bentonite		2.70			1.12
ดินตะกอนขุดลอกจากทะเล	250	2.65			
Uniform sand, loose	32		0.85	1.43	1.89
Uniform sand, dense	19		0.51	1.75	2.09
Loess (Wind blown silt)	21		0.99	1.36	1.86
Glacial Till	9		0.25	2.12	2.32
Very soft organic clay	110		3.00	0.68	1.43
Na- Montmorillonite	194		5.20	0.43	1.23

ที่มา อ.วรากร ไม้เรียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ มีปริมาณความชื้นสูง ทำให้ดินมีความอ่อนตัว รับกำลังแบกทานได้น้อย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งปลูกสร้างเกิดการทรุดตัวและสร้างความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้างนั้นๆในภายหลังได้ ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะปรับปรุงคุณภาพของดินบริเวณนี้

2.5 น้ำในดิน

น้ำอยู่ในช่องว่างของเม็ดดินได้ 5 รูปแบบ คือ น้ำที่มาจากน้ำบาดาล (Ground Water) น้ำที่ค้างอยู่ในดินเนื่องจากแรงตึงผิวของน้ำ (Capillary Moisture) และน้ำที่ปนอยู่ในอากาศในสภาพเป็นไอ (Water Vapor) ส่วนชนิดของน้ำที่เหลืออยู่ 2 รูปแบบ มีเฉพาะในดินที่มีธาตุดินเหนียว ได้แก่ น้ำที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาทางฟิสิกส์และเคมี คือ Absorbed Water และ Water of Hydration ปริมาณความชื้นของดินที่ใช้กันในภาคปฏิบัติ จะหมายถึง น้ำ 3 ชนิดแรกเท่านั้น ซึ่งจะอธิบายต่อไปอย่างละเอียด

ดินที่อยู่ใต้ระดับน้ำบาดาล จะเป็นดินที่น้ำจากดินมาจากน้ำบาดาล และดินจะอึดตัวด้วยน้ำ นอกจากนั้นน้ำในช่องว่างหรือน้ำในโพรงเม็ดดินจะต่อเนื่องกันและสามารถเคลื่อนตัวได้สะดวกด้วยผลของการเปลี่ยนแปลงของพลังในน้ำ

น้ำส่วนที่เป็นมาจากแรงตึงผิวของน้ำซึ่งทำให้เกิดแรง Capillary ดึงน้ำขึ้นมาในดินที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาล อาจทำให้ดินส่วนที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาลอึดตัวด้วยน้ำ หรือไม่อึดตัวด้วยน้ำ นอกจากนี้แรงโน้มถ่วงไม่สามารถทำให้น้ำชนิดนี้เคลื่อนตัวได้

อากาศที่อยู่ในโพรงดินที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาลจะมีไอน้ำปนอยู่ ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเท่ากับ 100 % และความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงในดินที่อยู่ใกล้กับผิวดิน

ผลของแรงตึงผิวทำให้เกิดแรง Capillary จะทำให้น้ำถูกดูดขึ้นมา การอึดตัวด้วยน้ำของดินที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาลมักจะเกิดในดินเม็ดละเอียด เพราะมีแรง Capillary สูง ดินเม็ดละเอียดที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาลจึงมีโอกาสอยู่ในสภาพอึดตัวด้วยน้ำ และความดันน้ำในโพรงจะต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ถ้าพิจารณาให้ความดันบรรยากาศเท่ากับศูนย์ ความดันน้ำในโพรงของเม็ดดินละเอียดที่อึดตัวด้วยน้ำแต่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาลจะต่ำกว่าศูนย์คือติดลบ

$$U = -\gamma_w \times hc \quad (2.1)$$

โดยที่ U คือ ความดันน้ำในโพรง
 γ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ
 hc คือ ระยะส่วนสูงวัดจากระดับน้ำทะเล

ค่า h_c สูงขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ดินเหนียวที่มีค่า h_c สูงเกิน 10 เมตรได้ ส่วนทรายแป้งและทราย h_c สูงสุดจะประมาณ 3 เมตร และ 1 เมตร ตามลำดับ ดินในช่วงความลึกเห็นอระดบน้ำบาดาลดังกล่าว จะอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ สูงไปจากนั้นดินจะมีโอกาสที่จะไม่อิ่มตัวด้วยน้ำและปริมาณของอากาศในช่องว่างระหว่างเม็ดดินก็จะมากขึ้น

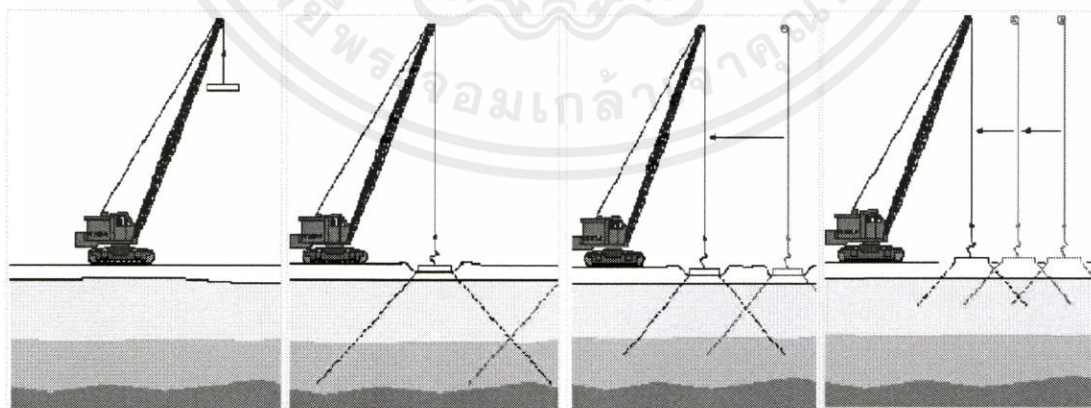
2.6 เทคนิคการทุบตอัดดิน (Dynamic compaction)

2.6.1 การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเทคนิคการทุบตอัดดิน (Dynamic compaction)

การบดอัดแบบกระแทก (Dynamic compaction) เป็นรูปแบบที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินมานานแล้ว การทิ้งน้ำหนักลงบนผิวดินเป็นที่กล่าวถึงและนำทฤษฎีไปใช้งานในยุค 1970 เป็นเทคนิคของ Menard เทคนิคนี้ประกอบไปด้วยการทิ้งตุ้มน้ำหนักลงบนพื้นดินอ่อนอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีน้ำหนักตั้งแต่ 10 ถึง 150 ตัน ระยะตกกระทบตั้งแต่ 10 ถึง 40 เมตร เพื่อให้มีความอัดแน่นบนบริเวณผิวดินของดิน

การประยุกต์ใช้การบดอัดแบบกระแทก มีประเภทและวัสดุที่ใช้แตกต่างกันออกไป ตามการใช้งานและพิจารณาตามเงื่อนไขของการใช้งาน โดยปกติแล้วดินที่จะนำมาพิจารณาในการใช้การบดอัดแบบกระแทกหรือการถ่วงน้ำหนักจะใช้กับทรายตามธรรมชาติหรือดินที่เป็นกรวดเท่านั้น เพราะว่าโดยทั่วไปมักจะเกี่ยวข้องกับเศรษฐศาสตร์ในการใช้

การทุบตอัดแบบกระแทกจะขึ้นอยู่กับประเภทวัสดุอุปกรณ์ เช่น การใช้ Hydraulic กับพื้นที่ที่เป็นตะกอนทราย ดินเหนียว หรือดินเหนียวเม็ดละเอียด เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพมากสำหรับดินที่มีความชื้น หรือกรวด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

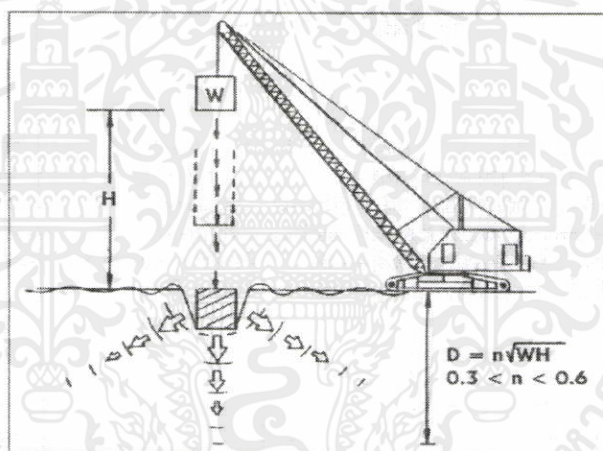
รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการทำงานของ Dynamic compaction

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา หรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ที่มา: การออกแบบการพัฒนากำลังของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วย

วิธีการบดอัดกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ, 2556)

ปัจจัยที่เหมาะสมมากที่สุดที่จะปรับปรุงโดยวิธีการทุบอัดดินแบบกระแทกจะเป็นดินที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้กับระดับพื้นดิน ซึ่งมีความสามารถในการกระจายตัวของแรงดันน้ำส่วนเกิน ทั้งนี้เพราะว่าดินที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินจะมีสัดส่วนของการถ่ายเทพลังงานจลน์เปลี่ยนแปลงไปเป็นแรงดันน้ำส่วนเกินได้มากกว่าดินที่มีระดับน้ำใต้ดินลึก ขั้นตอนการทุบอัดแบบกระแทกเหล่านี้ได้รับการศึกษาแล้วว่า ระหว่างมุมและความลึกในการปรับปรุงคุณภาพดินนี้ มีความสัมพันธ์กัน และเกี่ยวพันไปถึงตัวแปรอื่นๆ โดยวิศวกรจะเป็นผู้ตัดสินใจในการนำทฤษฎีมาใช้ ในปัจจุบันไม่มีกระบวนการออกแบบการปรับปรุงดินในชั้นดินที่อึดตัว เนื่องจากในดินที่อึดตัวมีค่าตัวแปรมากมาย ในกรณีที่ดินอึดตัวต้องพิจารณาถึง จุดอึดตัวค่าสัมประสิทธิ์การบดอัดตัวค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ค่าเหล่านี้ควรศึกษาควบคู่กันกับแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทุบอัดแบบกระแทกการปรับปรุงดินที่มีเม็ดขนาดเล็กๆ หรือดินเหนียวที่อึดตัวมีความต้องการพลังงานที่ใช้ในการทุบอัดที่สูงเพื่อประสิทธิภาพในการส่งถ่ายพลังงานลงสู่ดินในระดับลึกโดยพิจารณาระยะประสิทธิผลของการบดอัดแบบกระแทกจากรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ระยะประสิทธิผลของการทุบอัดแบบกระแทก

(ที่มา: การออกแบบการพัฒนากำลังของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการบดอัดกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ, 2556)

$$D = n\sqrt{W \times H} \quad (2.2)$$

โดยที่ D = ระยะลึกประสิทธิผล , เมตร

n = ค่าคงที่ 0.3 - 0.5 สำหรับดินเหนียว , 0.5 - 1 สำหรับดินทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ W = น้ำหนักของตุ้ม , ตัน และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H = ความสูงของตุ้มจากพื้นดิน , เมตร

Mernard (1970) ได้ทำการทดลองแล้วตั้งทฤษฎีไว้ว่า ระยะลึกประสิทธิผลของการบดอัดแบบกระแทกจะขึ้นอยู่กับรากที่สองของพลังงานที่เกิดจากความสูงและน้ำหนักของวัสดุที่จะนำมาทำการบดอัด หรือนำมากระแทก และคูณด้วยค่าคงที่ซึ่งมีค่าประมาณ 0.3 - 0.5 สำหรับดินเหนียว , 0.5 - 1 สำหรับดินทรายขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน หากดินมีความหนาแน่นมาก ก็จะมีค่าคงที่ที่มากกว่า เพราะมีการส่งถ่ายพลังงานที่ดีกว่า

ในการพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการบดอัด เพื่อที่จะนำไปออกแบบตัวแปรเบื้องต้นสำหรับการปรับปรุงคุณภาพดิน จะใช้ค่าเฉลี่ยของพลังงานที่คำนวณได้จากสมการที่ (2.3)

$$\text{พลังงานในการทุบอัด } AE = nmgh(2.3)$$

AE = พลังงานในการทุบอัด , N-m

n = จำนวนครั้งที่ปล่อยตุ้มน้ำหนักต่อจุด

m = น้ำหนักของตุ้ม , kg.

h = ความสูงที่ยกตุ้มน้ำหนัก ,m.

จะได้ พลังงานเนื่องจากการทุบอัดในแต่ละจุดดังนี้
เมื่อ $W = 2.495 \text{ kg}$, $H = 0.05\text{m}$ และ $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

ตารางที่ 2.2 แสดงผลการคำนวณพลังงานของแต่ละแบบอัดดิน

รายละเอียดการบดอัดดิน	ตัวอย่าง A	ตัวอย่าง B	ตัวอย่าง C
จำนวนครั้งในการทุบ n , ครั้ง	1	2	4
พลังงานในการทุบ AE , N-m	1.224	2.448	4.895

2.6.2 ข้อดีและข้อเสียของวิธี Dynamic compaction

ข้อดี

1. ช่วยเสริมประสิทธิภาพของดินในส่วนผิวที่ถูกบดอัดทำให้ดินมีความสามารถทางวิศวกรรมเพิ่มขึ้นและเกิดการระบายน้ำออกจากมวลดินได้เร็วขึ้น การพัฒนาคุณสมบัติการรับแรงมีความรวดเร็วมากขึ้น

2. สามารถลดปริมาณงานดินถมเพื่อการปรับปรุงความมั่นคงของลาดดิน แตกต่างจากการทำงาน Preloading ซึ่งต้องทำการเสริม Pressure Beam ด้านข้าง ส่งผลให้ลดปัญหาจากมลภาวะเนื่องจากการขนส่ง และผลกระทบต่อกระบวนการก่อสร้าง

3. สามารถสร้างชั้นที่บ้น้ำในส่วนบน ซึ่งจะทำให้ดินบริเวณนั้นมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและไม่เกิดการทรุดตัว

ข้อเสีย

- 1.การออกแบบให้ตรงตามผลการตรวจวัดในสนามต้องอาศัยประสบการณ์ที่ผ่านมาในอดีตช่วยในการคำนวณ
- 2.ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการควบคุมคุณภาพงานเพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพซึ่งต้องมีความรู้ในการออกแบบและการควบคุมงานก่อสร้าง
- 3.ต้องใช้เครื่องจักรจำนวนมากเนื่องจากเพื่อนำมาเป็นน้ำหนักกดทับเร่งกระบวนการทรุดตัว และยังเกิดเสียงดังมากในเวลางาน ไม่เหมาะที่จะใช้ในบริเวณชุมชนเมือง

2.7 การทรุดตัว

คือ การยุบตัวลงในแนวตั้ง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดิน ซึ่งเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้ฐานรากของอาคารเกิดการพังเสียหายขึ้นได้

2.7.1 ชนิดของการทรุดตัว

การทรุดตัวของชั้นดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

1.การทรุดตัวทันที (Immediate หรือ Initial หรือ Elastic Settlement) เกิดขึ้นทันทีเมื่อถูกแรงกระทำ โดยที่มวลดินยังมีปริมาตรคงที่ ดังนั้นเมื่อมีการยุบตัวในด้านหนึ่งก็จะมีการขยายในอีกด้านหนึ่ง ปริมาณการทรุดตัวในลักษณะนี้ จึงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางอิลาสติกของมวลดินและหน่วยแรงกระทำต่างๆ การทรุดตัวในลักษณะนี้มักไม่ค่อยเกิดปัญหากับสิ่งก่อสร้าง ในกรณีที่น้ำหนักโครงสร้าง (Dead Load) มากกว่าน้ำหนักจร (Live Load) มากๆ เพราะการทรุดตัวแบบนี้จะเกิดขึ้นทันทีเมื่อการก่อสร้างเสร็จ

2.การทรุดตัวจากการบีบน้ำออกจากมวลดิน (Primary Consolidation Settlement) จะเกิดขึ้นในดินอ่อนตัวหรือเกือบอ่อนตัว โดยในระยะแรกน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นจะถูกถ่ายกับความดันน้ำในดิน จึงมีความดันน้ำสูงกว่าบริเวณข้างเคียง ซึ่งไม่ได้รับอิทธิพลของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหรือเรียกกันว่า “ Excess Pore Pressure ” และตามธรรมชาติของน้ำจะต้องไหลจากความดันสูงไปสู่ความดันต่ำ จึงค่อยๆ ไหลออกไปทางที่สะดวกที่สุด โดยแทรกออกไปตามช่องว่างระหว่างเนื้อดินมากขึ้นตามลำดับ และจะหยุดเมื่อความดันน้ำกลับมาเท่ากันอีกครั้ง ซึ่งอาจกินเวลาหลายๆเดือน หรือนานเป็นสิบๆ ปี ในดินเหนียว เมื่อน้ำไหลออกไปจากมวลดินในที่อ่อนตัว ปริมาตรก็จะลดลง การทรุดตัวด้านข้างของชั้นดินถูกจำกัดเอาไว้ ก็จะทำให้เกิดการทรุดตัวในแนวตั้ง ทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งก่อสร้าง เพราะเกิดขึ้นภายหลังได้รับน้ำหนักบรรทุกแล้วเป็นเวลานาน ซึ่งการปรับตัวของสิ่งก่อสร้างให้เสร็จสมบูรณ์แล้วเป็นไปได้นยาก จึงเกิดความเสียหายขึ้นได้ การทรุดตัวลักษณะนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ คือ

1.)ค่าความชื้นน้ำของดิน,K

2.)ความหนาของชั้นดิน,H

3.)ความยืดหยุ่นของโครงสร้างดิน, M_v

4.)หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้น

ดังนั้น ในชั้นดินทรายการทรุดตัวจะเกิดขึ้นได้เร็วมาก เพราะค่า k ของทรายสูงมาก มีปัญหาน้อย เมื่อมีสิ่งก่อสร้างอยู่บนชั้นทราย

3.การทรุดตัวระยะที่สอง (Secondary Consolidation) เป็นกาทรุดตัวที่เกิดเนื่องจากการทรุดตัวในการบีบน้ำออก ถึงแม้ว่าความดันน้ำจะเข้าสู่สภาพสมดุลแล้วก็ตาม แต่ดินบางชนิดก็ยังไม่หยุดทรุดตัว คาดกันว่าเกิดจาก การยุบตัวในลักษณะพลาสติก (Plastic Deformation) หรือการจัดตัวของโครงสร้างดินใหม่ ซึ่งมักมีปริมาณไม่มากนัก จึงไม่นำมาพิจารณาในการวิเคราะห์การทรุดตัวโดยทั่ว ๆ ไป

2.7.2 ทฤษฎีของการยุบอัดตัวของดิน

เนื่องจากชั้นดินเหนียวที่มีการยุบอัดตัวเกิดขึ้นนั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน ดังนั้นจึงสมมติว่าดินเหนียวอิมตัว ในรูปที่ 2.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงแรงดันระหว่างการยุบอัดตัวของดิน

สมมติให้ชั้นดินเหนียวอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน ที่ระดับใดๆ ในชั้นดินนี้ แรงดันประสิทธิผลจะหาได้จากสมการ

$$\sigma\sigma = \sigma\sigma + u$$

(2.4)

โดยที่ $\sigma\sigma =$ แรงดันในแนวตั้งทั้งหมด (Total vertical pressure)

$\sigma'\sigma =$ แรงดันประสิทธิผล (Effective stress หรือ Intergranular)

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

ดังนั้นที่ระดับ A-A แผนผังแรงดันของดินนี้จะเขียนดังรูป ที่ 2.6 (ก)

เมื่อน้ำหนักกด p กระทำต่อดินอิมตัวในทันที น้ำหนักกดทั้งหมดนี้จะถูกรับโดยน้ำ ดังนั้นสมการแรงดันประสิทธิผลเป็น

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

(2.5)

และแผนผังแรงดันในชั้นดินเหนียวกรณีนี้จะเขียนได้ดังรูปที่ 2.6 (ข)

ในกรณีดังแสดงในรูป 2.6 (ข) นี้ น้ำจะถูกรับแรงดัน p และแรงดันจำนวนนี้จะถูกกำจัดออก ในชั้นทรายซึ่งอยู่บนชั้นดินเหนียวนี้จะถูกกำจัดออกอย่างรวดเร็วเนื่องจากความสามารถในการยอมให้น้ำไหลซึมผ่านของทรายสูง ในชั้นดินเหนียวแรงดันนี้จะถูกขจัดออกช้ามาก เนื่องจากความสามารถในการยอมให้น้ำไหลซึมผ่านของดินเหนียวต่ำ แต่เส้นขอบเขตระหว่างดินเหนียวกับทรายจะถูกขจัดออกได้เร็วเช่นกัน ส่วนในเนื้อดินเหนียวเองแทบขจัดไม่ได้เลย ดังนั้นหลังจากช่วงเวลา

t แรงดันน้ำส่วนเกิน (Excess Pore-Water Pressure) นี้ จะถูกขจัดออกไปหมดที่เส้นขอบเขต และแรงดันนี้จะถ่ายทอดไปยังเนื้อดินเป็นแรงดันประสิทธิผล สมการประสิทธิผลภายหลังเวลา t จะเขียนได้เป็น

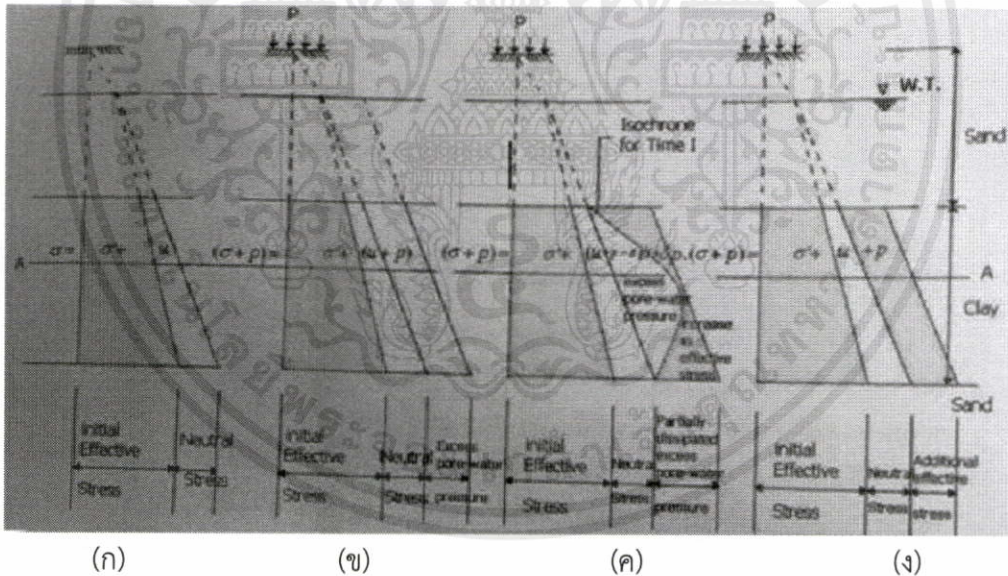
$$(\sigma\sigma + p) = (\sigma\sigma' + \delta\delta p) + (u + p - \delta\delta p) \tag{2.6}$$

และแผนผังแรงดันในกรณีเขียนได้ดังรูปที่ 2.6 (ค)

การเพิ่มแรงดันต้นประสิทธิผลนี้ ทำให้ดินเกิดการยุบตัวขึ้น การยุบตัวของดินจะสิ้นสุดต่อเมื่อแรงดันน้ำส่วนเกินทั้งหมดถูกถ่ายทอดไปยังเนื้อดินและสมการแรงดันประสิทธิผลจะเป็น

$$(\sigma\sigma + p) = (\rho' + p) + u \tag{2.7}$$

แรงดันน้ำส่วนเกินทั้งหมดจะถูกขจัดออกไป และแผนผังแรงดันเขียนได้ดังรูปที่ 2.6 (ง)



รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงแรงดันระหว่างการยุบตัวของดิน
(ที่มา :เอกสารประกอบการเรียนปฐพีกลศาสตร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 Piezometer

มาตรวัดความดันน้ำใต้ดิน คือ เครื่องมือที่ใช้วัดความดันน้ำในดินที่ตำแหน่งที่กำหนด เครื่องมือนี้ประกอบด้วยหัววัดความดันน้ำ ซึ่งเป็นหินพรุน (Porous Stone) หรือเซรามิก ที่น้ำในดินสามารถซึมเข้าออกได้ ความดันน้ำในหัววัดความดันน้ำจะถูกวัดด้วยอุปกรณ์วัดความดัน ซึ่งมี 3 ประเภท ได้แก่

- 1.มาตรวัดความดันน้ำใต้ดินชนิดท่อเย็น(Standpipe Piezometer)
- 2.มาตรวัดความดันน้ำใต้ดินชนิดวัดการสั่นของลวด(Vibrating Wire Piezometer)
- 3.มาตรวัดความดันน้ำใต้ดินชนิดใช้แรงอัดอากาศ(Pneumatic Piezometer)

การใช้งานขึ้นอยู่กับชนิดของดินและความละเอียดที่ต้องการวัด ในกรณีที่ดินเป็นดินที่น้ำซึมผ่านได้ง่าย เช่น ดินทราย การวัดความดันน้ำอาจตรวจวัดโดยการวัดระดับน้ำในท่อที่ต่อกับหัววัดความดันน้ำชนิดท่อเย็น แต่ในกรณีที่ดินเป็นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก เช่น ดินเหนียว การวัดความดันน้ำจะต้องใช้อุปกรณ์วัดความดันที่มีความไวค่อนข้างสูง เช่น มาตรวัดความดันน้ำใต้ดินชนิดวัดการสั่นของลวด หรือ มาตรวัดความดันน้ำใต้ดินชนิดใช้แรงอัดอากาศความละเอียดของการวัดความดันน้ำในดินจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ ± 1.0 ของค่าความดันที่วัดหัววัดความดันน้ำต้องสะอาดไม่อุดตัน รอยต่อระหว่างท่อกับหัววัด

ความดันน้ำและระหว่างท่อกับท่อจะต้องไม่มีรอยรั่วซึม

2.9 การทดสอบที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 การทดสอบการหาปริมาณความชื้นในดิน (Water content)

ความชื้นของดินตามธรรมชาติ (Natural Water Content) เป็นการทดสอบพื้นฐานที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของดิน เช่น แรงเฉือน อัตราส่วนช่องว่างในดิน การทรุดตัวของดิน เป็นต้น ค่าพิกิตแอดเตอร์เบอร์ก (Atterberg Limits) ต่างๆ ที่ทดสอบก็คือค่าความชื้นของดินนั่นเอง (ในสถานะต่างกับความชื้นตามธรรมชาติ) การทดสอบความชื้นของดินจึงมีความจำเป็นในงานทดสอบดินในทางปฏิบัติ ความชื้นของดินหาได้จากการนำตัวอย่างดินที่มีขนาดน้ำหนักมากพอ (สำหรับขนาดเม็ดดินแต่ละชนิด) ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105-5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 18 - 24 ชั่วโมง จนดินแห้งและมีน้ำหนักคงที่ แล้วคิดความชื้นของดินเป็นสัดส่วนต่อน้ำหนักดินแห้งเป็นเปอร์เซ็นต์ ดินที่มีเม็ดละเอียดจะมีความชื้นได้สูงกว่าดินที่มีเม็ดหยาบ เนื่องจากดินเม็ดละเอียดมีพื้นที่เฉพาะ (Specific Surface) ซึมซับน้ำได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทดสอบหาปริมาณความชื้น

1. ตู้อบไฟฟ้ามีขนาดปริมาตรพอเหมาะมีชั้นตะแกรงสำหรับวางกระป๋องตัวอย่างดินสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 105 ± 5 องศาเซลเซียส
2. เครื่องชั่งอ่านละเอียด 0.01 กรัม (Catalogue ELE) สำหรับชั่งตัวอย่างไม่เกิน 100 กรัมอ่านละเอียด 0.1 กรัมสำหรับชั่งตัวอย่าง 100-1000 กรัมและอ่านละเอียด 1 กรัมสำหรับชั่งตัวอย่างที่หนักกว่า
3. กระป๋องใส่ตัวอย่างดินเป็นภาชนะรูปทรงกระบอกมีฝาปิดหรือไม่มีฝาปิดก็ได้ทำจากโลหะกันสนิมเช่นอลูมิเนียม

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำความสะอาดกระป๋องตัวอย่างดินตรวจสอบเบอร์กระป๋องชั่งน้ำหนักกระป๋อง (W1)
2. บรรจุตัวอย่างดินลงในกระป๋อง
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินเปียกรวมกระป๋อง (W2)
4. นำกระป๋องตัวอย่างเข้าอบในตู้อบ
5. หลงอบตัวอย่างไว้ข้ามคืน (ประมาณ 18-24 ชั่วโมง) นำกระป๋องตัวอย่างดินออกจากตู้อบแล้วนำไปชั่ง (W3)
6. ขั้นตอนการคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำในดิน(\%)} = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100$$

เมื่อ :

W1 = น้ำหนักกระป๋องดิน (กรัม)

W2 = น้ำหนักตัวอย่างดินเปียก + กระป๋อง (กรัม)

W3 = น้ำหนักตัวอย่างดินแห้ง + กระป๋อง (กรัม)

2.9.2 Compaction

จุดประสงค์ของการบดอัดดิน

- เพิ่มความหนาแน่น
- เพิ่มกำลังรับแรงเฉือนทำให้เพิ่มกำลังแบกทาน (Bearing Capacity) ของดิน
- เพิ่มโมดูลัสความเค้น-ความเครียด หมายถึง ลดการทรุดตัวทันทีทันใด (Immediate Settlements)
- เพิ่ม Stiffness ของดินจึงลดการทรุดตัวในระยะยาว (Long-term Settlements)
- ลดช่องว่างระหว่างดินและการซึมผ่านน้ำ (Permeability)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการบดอัดดิน

- ค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)
- ปริมาณความชื้นในดิน (Moisture Content)
- ผลกระทบเนื่องจากพลังงานบดอัด (Amount of Compaction)
- ผลกระทบเนื่องจากชนิดของดิน (Soil Type)

ผลกระทบของการบดอัดที่มีต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียว

- ผลต่อกำลังเฉือน (Strength) ของดินเหนียว
- ผลต่อการยุบอัดตัว (Compressibility) ของดินเหนียว
- ผลต่อความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) ของดินเหนียว
- ผลต่อการดูดซับน้ำ (Water Absorption) ของดินเหนียว

2.9.3 Consolidation Test การทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำของดิน

มาตรฐาน : ASTM D-854

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาค่า Coefficient of Consolidation (C_v), Compression Index (C_c)
2. เพื่อหาค่า Coefficient of Volume Compressibility (M_v)

การอัดตัวคายน้ำคือพฤติกรรมของดินดินเหนียวอิ่มตัวเมื่ออยู่ภายใต้แรงกดโดยในช่วงแรกน้ำที่อยู่ในมวลดินจะรับน้ำหนักที่เกิดจากแรงกดทั้งหมดเมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะถูกระบายออกจากมวลดินทำให้เนื้อดินรับแรงกดแทนน้ำและเคลื่อนตัวชิดกันแทนช่องว่างที่เกิดจากการไหลออกของน้ำจึงเป็น

สาเหตุทำให้ดินยุบตัวลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุ - อุปกรณ์



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์การทดสอบการยุบอัดตัวของดิน

(ที่มา: http://www.kkw.rmutr.ac.th/dream8/pdf/lab_soil/Consolidation%20Test.pdf)



รูปที่ 2.8 Oedometer

(ที่มา: http://www.kkw.rmutr.ac.th/dream8/pdf/lab_soil/Consolidation%20Test.pdf)

วิธีการทดสอบ

นำตัวอย่างดินคงสภาพแต่งให้ได้ขนาดโดยการใช้วงแหวน (Cutting Ring) กดลงบนตัวอย่างดินแล้วใช้เลื่อยเส้นลวดตัดแต่งผิวบนและล่างของตัวอย่างดินให้เรียบ จากนั้นติดตั้งดินลงใน Consolidation Cell ปรับตมน้ำหนักเพื่อให้คานงัดอยู่ในแนวสมดุลหมุนที่รับคานงัดให้สัมพันธ์กับคานงัดวางน้ำหนักกดทับตามที่ได้คำนวณไว้ ปรับมาตรวัดการยุบตัวให้เท่ากับศูนย์หมุนที่รับคานงัดลงให้สุด เมื่อทดสอบเสร็จชั่งน้ำหนักตัวอย่างและนำเข้าตู้อบ

2.10 การทดสอบแรงเฉือน

สำหรับดินเหนียวอ่อน-ถึงอ่อนมาก (Soft to very soft Clay) วิธีการทดสอบเพื่อหาแรงเฉือนของดินจากตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed sample) เก็บด้วยกระบอกบาง (Thin Wall Tube) ที่ใช้อยู่ทั่วไปไม่เหมาะสม เนื่องจากตัวอย่างดินอาจจะถูกรบกวน (Disturbed) ในระหว่างการเก็บด้วยเหตุผลหลายประการ เช่น ผลกระทบจากเครื่องมือเก็บตัวอย่าง และวิธีการเจาะการลดความเค้นกดทับเหนือระดับ (Overburden Pressure) เมื่อนำตัวอย่างดินขึ้นจากหลุมเจาะเป็นต้น จึงนิยมใช้การทดสอบดินเหนียวอ่อนนี้ด้วยการใช้ใบพัดรูปกากบาท (Cross Blade) กดลงไปดินแล้วจึงหมุนก้านที่ต่อบนผิวดินและวัดแรงบิด (Torque) ที่จะทำให้เกิดการวิบัติรอบใบพัด จากค่าแรงบิดที่วัดได้และขนาดของใบพัดสามารถนำมาคำนวณแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ของดินได้ วิธีการทดสอบนี้เป็นที่ยอมรับว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับหาแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อน เพราะเป็นการทดสอบในที่ (In Situ Test) ไม่ต้องเก็บตัวอย่างดิน ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงการที่ดินอ่อนจะถูกรบกวนในขณะที่เก็บตัวอย่างและจากลักษณะใบพัดที่กระทำดินรอบ ๆ ให้วิบัติสามารถอ่านค่าแรงบิดได้ละเอียดสามารถนำไปคำนวณแรงเฉือนของดินเหนียวที่มีกำลังต่ำๆได้โดยละเอียดถูกต้อง ค่าแรงเฉือนที่ทดสอบสูงสุดด้วยวิธีนี้ประมาณ 5-6 ตัน/ม² เรียกการทดสอบนี้ว่าการทดสอบแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด

การทดสอบแรงเฉือนในที่ด้วยใบพัด จากอดีตตั้งแต่ได้มีการเริ่มใช้ จนถึงปัจจุบันถือได้ว่าเป็นวิธีหาแรงเฉือนดินเหนียวอ่อน (แบบไม่ระบายน้ำ) ที่ถูกต้องที่สุดและนิยมใช้ค่าแรงเฉือนในการวิเคราะห์เสถียรภาพคันลาด (Slope Stability Analysis)

ระยะความลึกที่ทดสอบได้สามารถในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง (Soft to Medium Clay) สำหรับในบริเวณดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok Clay) เคยทดสอบถึงความลึกประมาณ 17 เมตร

2.11 ระบบสุญญากาศ (Vacuum Method)

การเลือกใช้พลังงานจากระบบสุญญากาศในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเทคนิค HVDM อาจจะไม่มีการคำนวณในการนำไปใช้ที่ชัดเจน แต่การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องของกรณีศึกษาในพื้นที่ทดลองจริงที่ผ่านมาพบว่า ความดันสุญญากาศที่ทำให้ความดันน้ำในดินมีค่าเท่ากับหนึ่งความดันบรรยากาศ (100 กิโลปาสกาล) หรือ 760 mmhg โดยไม่คำนึงถึงปรากฏการณ์ cavitations ที่มีโอกาสเกิดขึ้น (Liang and Xu, 2012) ทำให้ค่ากำลังแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดิน (Undrain Shear Strength) ที่มีการยุบอัดคาน้ำปกติ (Normal consolidation) เพิ่มจากประมาณ 50 ไปถึง 80 กิโลปาสกาล และกำลังรับน้ำหนักของดินเพิ่มขึ้นจากประมาณ 15 ไปถึง 25 กิโลปาสกาล อีกกรณีศึกษาที่เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกความดันของสุญญากาศคือ การปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้แถบระบายน้ำแนวตั้งแบบสังเคราะห์ร่วมกับระบบสุญญากาศและให้น้ำหนักกดทับล่วงหน้า (PVD +

Vacuum + Preloading) โดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย(AIT) ในพื้นที่สนามบินสุวรรณภูมิ ซึ่งได้
แนะนำค่าเฉลี่ยความดันสุญญากาศ 50 ถึง 60 กิโลปาสคาล ที่วัดได้ใน PVD และ 70 ถึง 90 กิโล
ปาสคาลที่ปัมสุญญากาศ (Bergado et al, 2006) (เมื่อ PVD เทียบเท่ากับท่อระบายน้ำแนวตั้ง



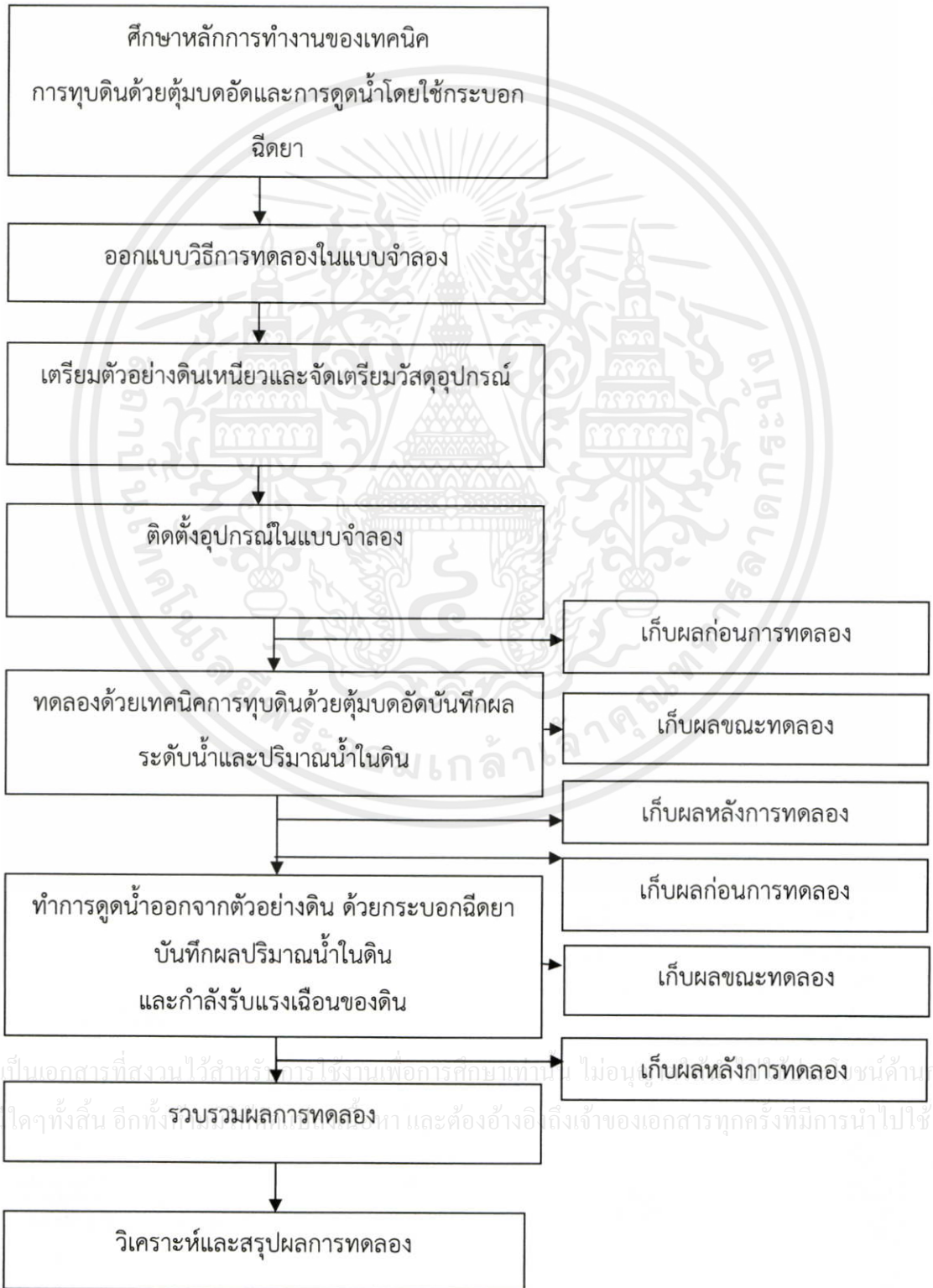
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

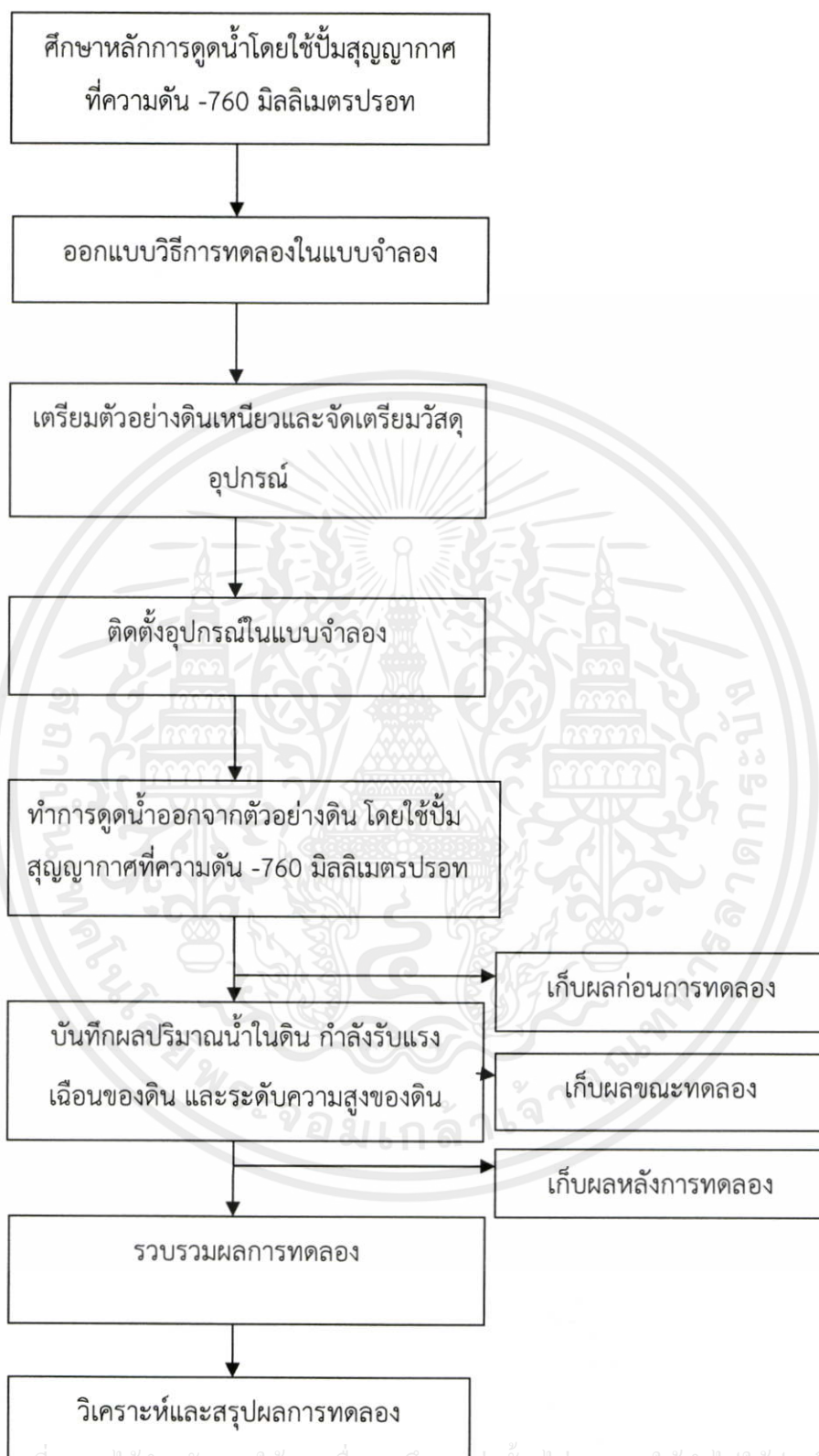
3.1 แผนผังการดำเนินการทดลอง

3.1.1 แบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 นิ้ว



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 นิ้ว

3.1.2 แบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ภายในเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้าะให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทดลองในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม.

ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.

3.2 การทดลองในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว

3.2.1 วัสดุ - อุปกรณ์ที่ใช้



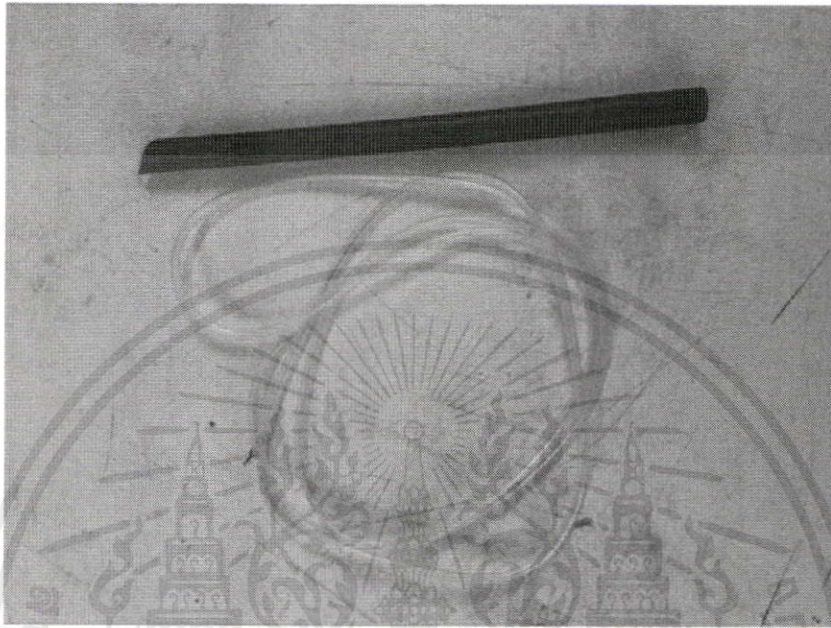
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ในการทดลอง

- 1.) ต้มบดอัด (Compaction Hammer) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนัก 5.5ปอนด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านงาน วิศวกรรมโยธา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.4 ต้มบดอัด (Compaction Hammer) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนัก 5.5 ปอนด์

- 2.) แบบจำลองเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ที่ใช้ในการทดลอง CBR จำนวน 3 ตัวอย่าง
- 3.) อ่างพลาสติกขนาดใหญ่
- 4.) สายน้ำเกลือเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 มม. ยาว 30 ซม.

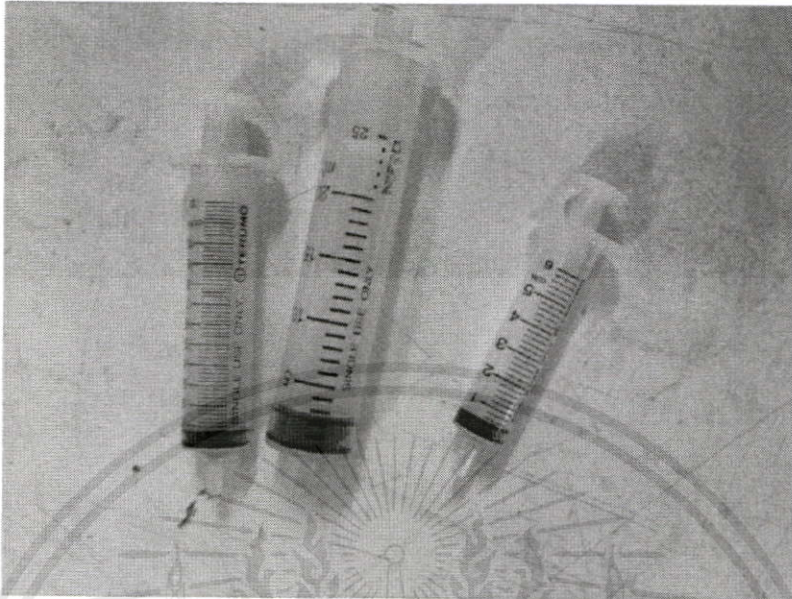


รูปที่ 3.5 สายน้ำเกลือเพื่อทำเป็นท่อวัดแรงดันน้ำและหลอดเก็บตัวอย่าง

- 5.) แผ่นผ้าใยสังเคราะห์ชนิด TS 30
- 6.) ก้านลูกโป่งเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.1 มม.
- 7.) หลอดเก็บตัวอย่างดินเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.164 ซม.
- 8.) ลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.) ครอบอกฉีดยา ขนาด 5,10 และ 20 มล.



รูปที่ 3.6 ครอบอกฉีดยาใช้ในการตุน้ำ

10.) pocket vane shear ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.774 ซม.



รูปที่ 3.7 pocket vane shear ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.774 ซม.

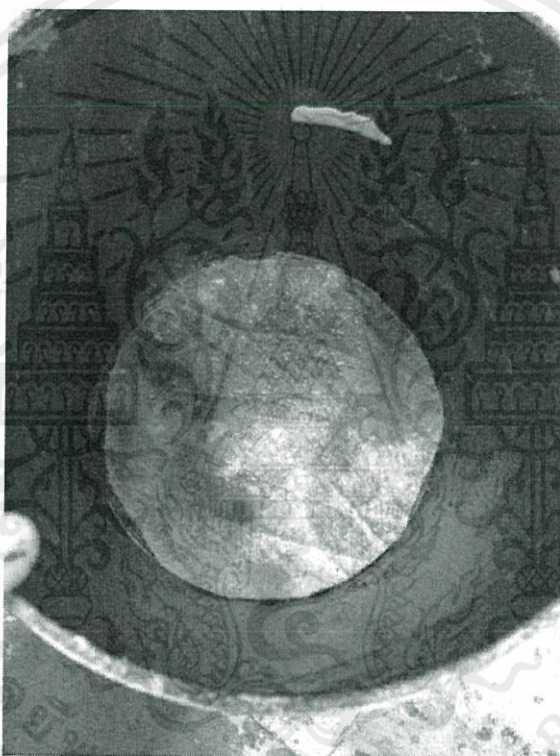
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งไปงานรับตรวจโรงงานเพื่อตรวจสอบขบวนการในโรงงานนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้รับมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.) แผ่น PVC

3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมและติดตั้งอุปกรณ์

3.2.2.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

การเตรียมตัวอย่างดิน เป็นการทำให้ดินคงสภาพตามธรรมชาติ โดยการนำตัวอย่างดินใส่ในแบบอัดดินที่เตรียมไว้ 3 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างใส่ดินสูง 11 ซม. แล้วนำแบบอัดดินนี้ใส่ในอ่างพลาสติกที่มีน้ำอยู่ จากนั้นใส่น้ำหนักกดทับหนัก 3.454 กก. บนตัวอย่างดิน เพื่อให้ดินไม่มีช่องว่างในดินเหลืออยู่ และต้องให้น้ำในอ่างพลาสติกเท่ากับน้ำในแบบอัดดินทิ้งไว้ 3 วัน ทั้งนี้จะมีการใส่แผ่นผ้าใยสังเคราะห์ไว้ด้านล่างและบนของดิน ป้องกันเมื่อเม็ดดินไหลออกจากแบบอัดดิน

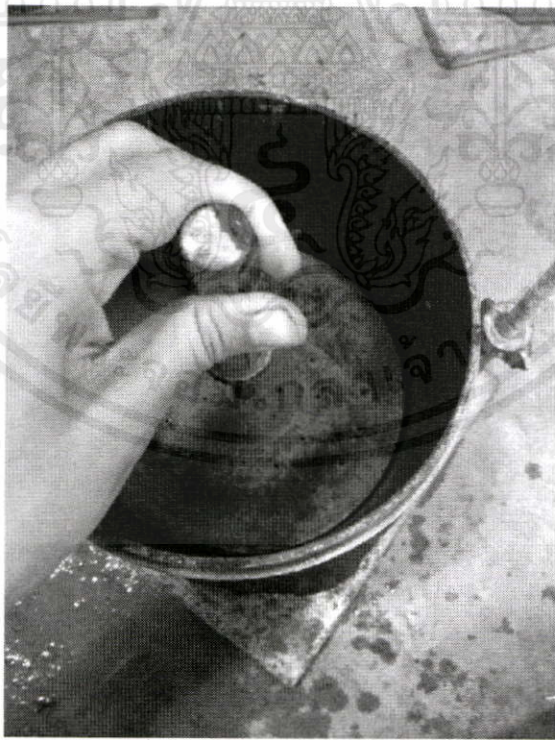


รูปที่ 3.8 วางแผ่นผ้าใยสังเคราะห์ก่อนใส่ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



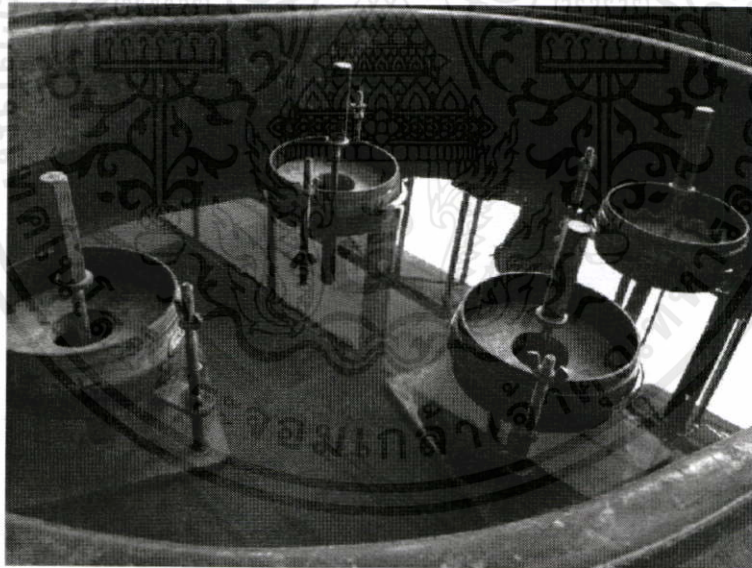
รูปที่ 3.9 ใส่ตัวอย่างดินลงไปแบบอัดดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้รูปที่ 3.10 ใช้แผ่นพลาสติกเกลี่ยดินให้แน่น เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ใส่ดินลงไปให้ได้ระดับ 11 ซม. วางแผ่นผ้าใยสังเคราะห์อีกชั้นแล้วตามด้วยน้ำหนักกดทับ



รูปที่ 3.12 นำแบบอัดดินนี้ใส่ในอ่างพลาสติกที่มีน้ำอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 การติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำ

ใช้สายน้ำเกลือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 มม. เป็นท่อวัดแรงดันน้ำ (Open stand pipe) โดยท่อน้ำมีความสูง 30 ซม. เจาะรูรอบๆ เป็นระยะ 4 ซม. จากปลายท่อ หุ้มปลายท่อด้วยแผ่นผ้าใยสังเคราะห์ที่ได้ทำการเย็บไว้แล้ว ติดตั้งโดยหารใช้ลวดพันเข้ากับตัวท่อ เพื่อให้เสียบเข้าไปในดินได้โดยไม่งอ จากนั้นเสียบท่อลงไปในตัวอย่างดินละ 2 ท่อมีระยะห่างจากท่อถึงกลางแบบอัดดิน 5 ซม. และมีความลึกจากระดับผิวดินลงไป 9 ซม. ใส่ทรายที่อ้อมตัวด้วยน้ำทับบนผิวดิน ความหนาชั้นทราย 2.5 ซม. เพื่อเป็นการเตรียมตัวอย่างดินให้ใกล้เคียงกับธรรมชาติ (Cut Clay) และเป็นการรองรับพลังงานในการบดอัดให้กระจายสู่ดินเหนียวดียิ่งขึ้น ทั้งนี้มีการติดตั้งแผ่น PVC เพื่อช่วยในการสังเกตระดับน้ำที่เปลี่ยนไป ทิ้งไว้ให้น้ำในดินไหลเข้าสู่ตัวท่อ



รูปที่ 3.13 ติดตั้งท่อวัดระดับน้ำลงไปในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ติดตั้งท่อโดยมีระยะห่างจากกึ่งกลางแบบวัดดิน 5 ซม.

3.2.2.3 การติดตั้งท่อสำหรับดูน้ำในดิน

ติดตั้งท่อดูน้ำพร้อมกับท่อวัดแรงดันน้ำ โดยใช้ก้านลูกโป่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

5.1 มม. สูง 20 ซม. เจาะรูรอบๆเป็นระยะ 5 ซม. จากปลายท่อ หุ้มปลายท่อด้วยแผ่นใยสังเคราะห์ที่ได้ทำการเย็บไว้แล้ว จากนั้นเสียบลงไปในตัวอย่างดินละ 1 ท่อ โดยระยะห่างจากท่อถึงกึ่งกลางแบบวัดดิน 6 ซม. และมีความลึกจากระดับผิวดินลงไป 9 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ติดตั้งท่อดูดน้ำ



รูปที่ 3.16 ใส่ทรายลงไปในตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆในเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.3.1 ขั้นตอนการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด

ทำการทุบตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ด้วยตุ้มบดอัด (Compaction Hammer) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนัก 5.5 ปอนด์ ระยะยก 5 ซม. จากผิวทรายที่ทับหน้าดิน โดยจำนวนครั้งในการทุบแต่ละแบบอัดดินต่างกัน 1 , 2 และ 4 ครั้งเพื่อวัดปริมาณน้ำในดินและระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา



รูปที่ 3.17 ทุบอัดตัวอย่างดินตามจำนวนครั้งที่ออกแบบไว้

3.2.3.2 ขั้นตอนการดูน้ำในดิน

ใช้กระบอกฉีดยาขนาด 5 , 10 , 20 มล. ในการดูน้ำออกจากดิน โดยแต่ละตัวอย่างจะใช้เวลาในการดูน้ำออกประมาณ 10 นาที แล้วดูปริมาณน้ำที่ออกมา เพื่อวัดปริมาณน้ำในดินกำลังรับแรงเฉือนและความหนาแน่นของตัวอย่างดินหลังจากการดูน้ำออกแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น "ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"



รูปที่ 3.18 คูดน้ำออกจากตัวอย่างดินด้วยกระบอกฉีดยา

3.2.4 ขั้นตอนการวัดผลการทดลอง

3.2.4.1 ขั้นตอนวัดผลหลังจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด วัดปริมาณน้ำในดิน (% Water content)

- 1.) ชั่งน้ำหนักกระป๋องแห้ง
- 2.) เก็บตัวอย่างดินโดยใช้หลอดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.164 ซม. ใส่ลงในกระป๋องแห้ง
- 3.) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินที่เก็บได้
- 4.) นำไปอบแห้ง แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก
- 5.) คำนวณปริมาณน้ำในดิน (% Water content)

จากสมการ

$$\% \text{ Water Content} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำ (Ww)}}{\text{น้ำหนักดินแห้ง (Ws)}} \times 100\%$$

- 6.) ทำการวัดปริมาณน้ำในดินทั้งก่อนและหลังจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัดแบบไดนามิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ชั่งน้ำหนักกระป๋องกับดินเปียก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.20 นำตัวอย่างดินไปอบ

วัดระดับน้ำในท่อ

สังเกตระดับน้ำในท่อ หลังจากน้ำในดินไหลเข้าสู่ท่อแล้วขีดไว้เป็นระดับอ้างอิง เมื่อเวลาผ่านไปจะใช้ไม้บรรทัดเป็นตัววัดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในท่อ จะทำการวัดระดับน้ำก่อนทาบ หลัง ทาบทันที และตามระยะเวลาที่กำหนดไว้



รูปที่ 3.21 ไม้เพื่อวัดระดับน้ำในท่อต่อไป

3.2.4.2 ขั้นตอนวัดผลหลังจากการทาบดินด้วยคัมบอดัดและดูตุน้ำออกจากดินแล้ว วัดปริมาณน้ำในดิน (% Water content)

1. ชั่งน้ำหนักกระป๋องแห้ง
2. เก็บตัวอย่างดินโดยใช้หลอดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.164 ซม. ใส่ลงในกระป๋องแห้ง
3. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินที่เก็บได้
4. นำไปอบแห้ง แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณปริมาณน้ำในดิน (% Water content)

จากสมการ

$$\% \text{ Water Content} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำ (Ww)}}{\text{น้ำหนักดินแห้ง (Ws)}} \times 100\%$$

น้ำหนักดินแห้ง (Ws)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
6. ทำการวัดระดับน้ำในดินทั้งก่อนดูตุน้ำและหลังการดูตุน้ำออกแล้วทุกครั้ง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัดกำลังรับแรงเฉือนในดิน

ใช้ Pocket Vane Shear ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.774 ซม. วัดกำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยการกดเครื่องมือลงไปบนดินแล้วอ่านค่าที่เกิดขึ้น เก็บค่ากำลังรับแรงเฉือนทั้งก่อนการตุดน้ำและหลังการตุดน้ำทุกครั้ง



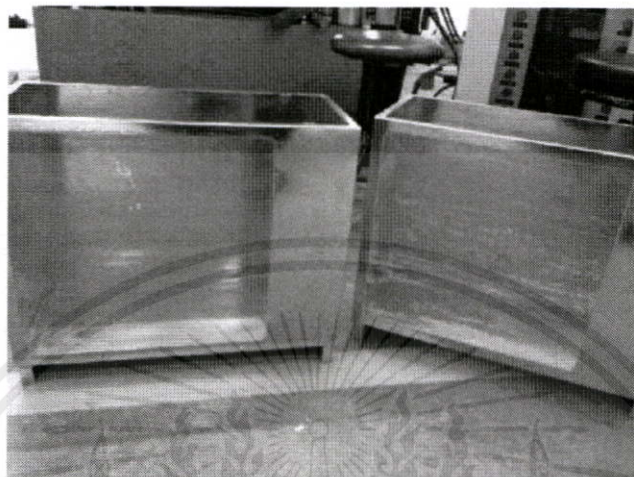
รูปที่ 3.22 วัดกำลังรับแรงเฉือนของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลองในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.

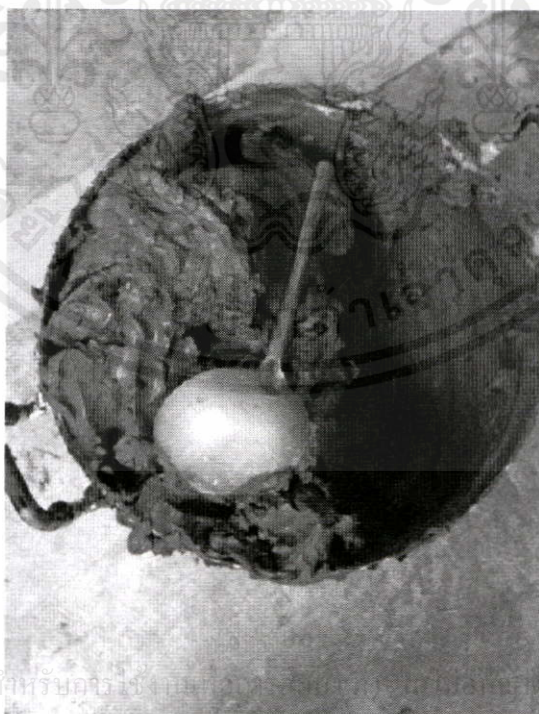
3.3.1 วัสดุ – อุปกรณ์ที่ใช้

- 1.) ถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.



รูปที่ 3.23 ถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.

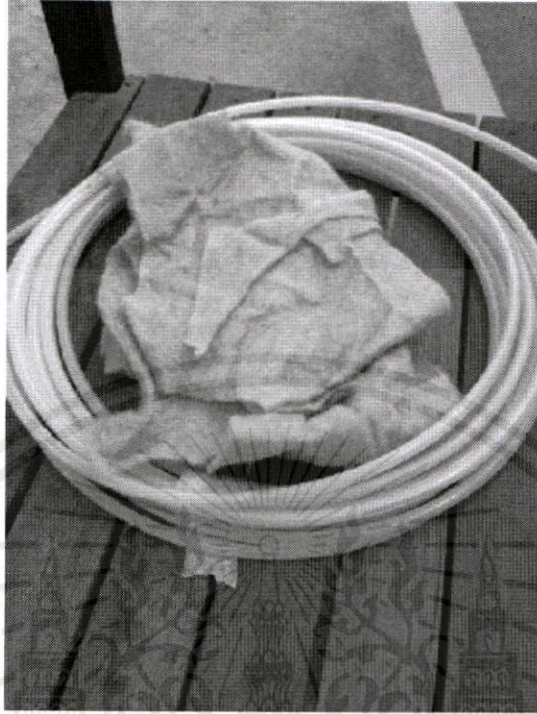
- 2.) ดินตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเท่านั้นให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.24 ดินเหนียวอ่อนที่นำมาใช้ในการทดลอง

3. ท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 ซม.



รูปที่ 3.25 ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 ซม. และ แผ่นผ้าใยสังเคราะห์ชนิด TS 30

4.) ปัมสุญญากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิ

ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

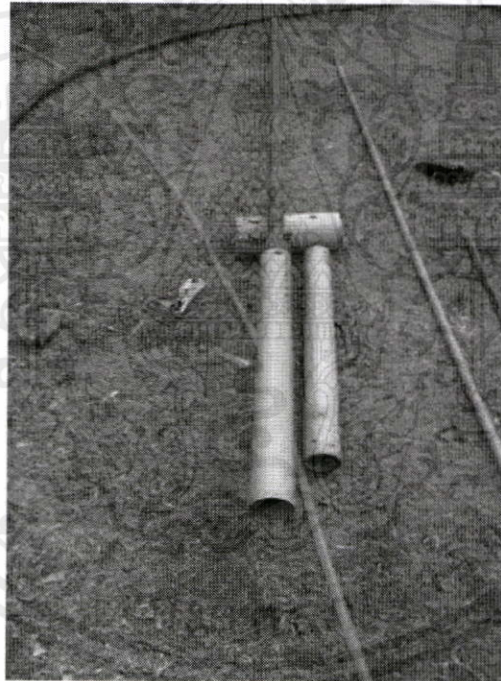
รูปที่ 3.26 ปัมสุญญากาศต่อเข้ากับปั้มนวดน้ำ

- 5.) แผ่นผ้าใยสังเคราะห์ชนิด TS 30
- 6.) หลอดเก็บตัวอย่างดินเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.164 ซม.
- 7.) pocket vane shear ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.774 ซม.
- 8.) ปัมดูดน้ำ
- 9.) ครอบเก็บตัวอย่างดิน เส้นผ่านศูนย์กลาง 7 ซม.

3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมและติดตั้งอุปกรณ์

3.3.2.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

ทำการขุดเจาะดินแบบ UnDisturb บริเวณหน้าแลบคอนตัก ตึกสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ระดับความลึก 2.50 เมตร ถึงระดับความลึก 7.00 เมตร จากผิวดิน เพื่อนำตัวอย่างดินมาใช้ในการทดลอง โดยขั้นแรกทำการปั่นดิน (Disturb) ให้เข้ากันก่อนแล้ววัดปริมาณน้ำในดิน



รูปที่ 3.27 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 การเก็บตัวอย่างดิน

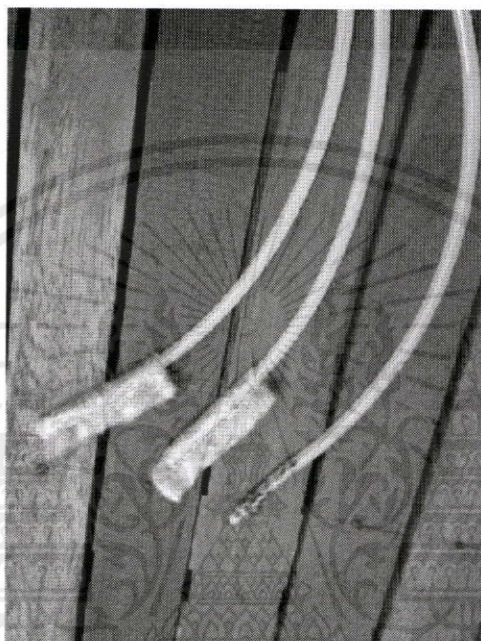


รูปที่ 3.29 การปั่นดินให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 ขั้นตอนเตรียมอุปกรณ์ท่อดูดน้ำ

ใช้ท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 ซม. มาตัดให้ได้ความยาว 25 ซม. นำท่อมาเจาะรูเป็นระยะ 4 ซม. จากปลายท่อ จากนั้นหุ้มปลายท่อด้วยผ้าใยสังเคราะห์ที่เย็บไว้แล้วโดยผ้านั้นมี ความสูง 6 ซม. เพื่อนำท่อนี้ไปติดตั้งในถังอะลูมิเนียมขนาด กว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม. ภายหลังจากการใส่ดินลงไปจนถึงอะลูมิเนียมแล้ว

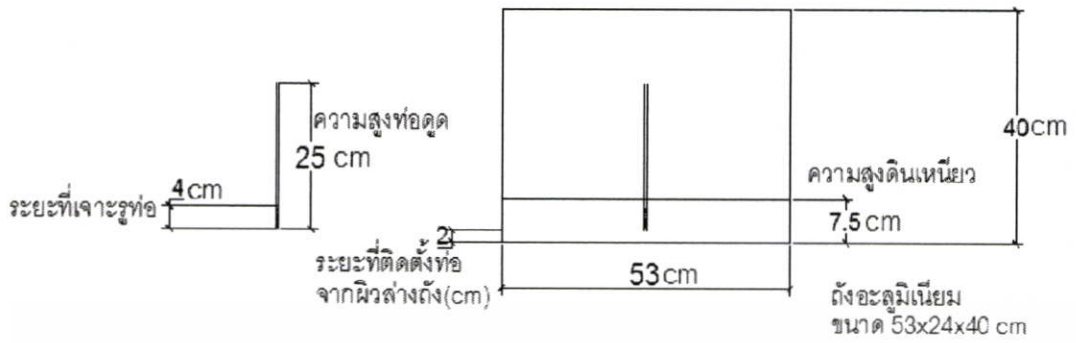


รูปที่ 3.30 ท่อที่ใช้ในการดูดน้ำโดยมีแผ่นผ้าใยสังเคราะห์หุ้มที่ปลายท่อ

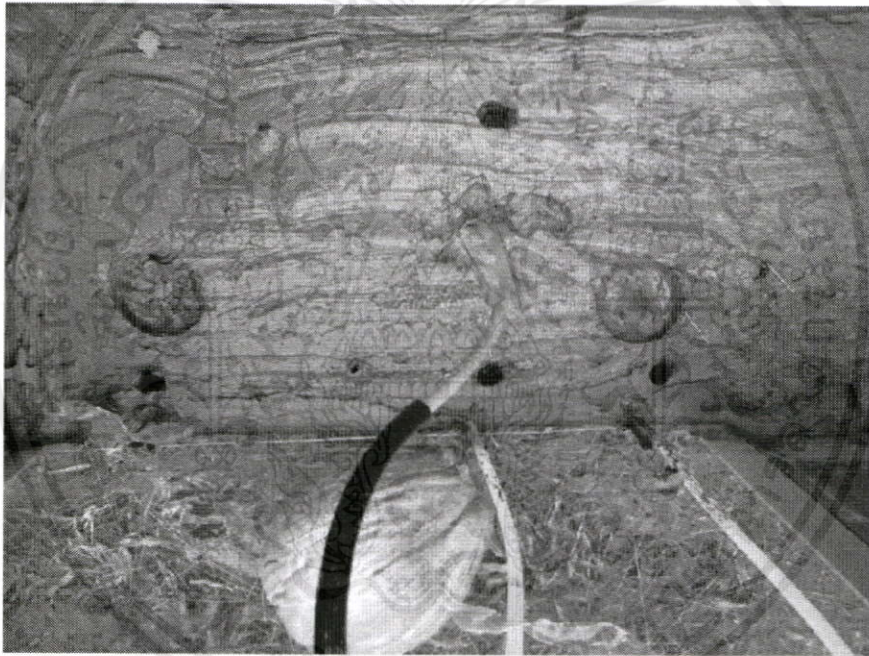
3.3.2.3 ขั้นตอนติดตั้งอุปกรณ์ท่อดูดน้ำ

ทำการติดตั้งท่อดูดน้ำที่ได้เตรียมไว้ลงในถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม. ที่บริเวณกึ่งกลางถัง โดยเว้นระยะห่างจากผิวล่างของถังถึงปลายท่อเป็นระยะ 2 ซม. ซึ่งทำการติดตั้งท่อดูดน้ำในตัวอย่าง A และ B ตัวอย่างละ 1 ท่อ ภายหลังจากการใส่ดินลงไปจนถึง อะลูมิเนียมแล้ว โดยความสูงดินคือ 7.5 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.31 ระยะการติดตั้งท่อคูดน้ำ



รูปที่ 3.32 ติดตั้งท่อคูดน้ำไว้ที่กึ่งกลางถังอะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ติดตั้งปั้มน้ำเข้ากับปั้มนสุญญากาศและติดตั้งปั้มนสุญญากาศเข้ากับท่อดูดน้ำในตัวอย่าง จากนั้นเปิดระบบแล้วทำการปรับความดันของปั้มนสุญญากาศให้อยู่ที่ -760 มิลลิเมตรปรอท รักษาระดับความดันให้คงที่แล้วเริ่มเปิดวาล์วเพื่อสูดน้ำออกจากดิน โดยใช้เวลาทั้งหมด 45 นาที จึงปิดเครื่อง เปิดวาล์วเพื่อปล่อยน้ำที่สูดออกมาได้ นำน้ำที่ได้มาวัดปริมาณน้ำ

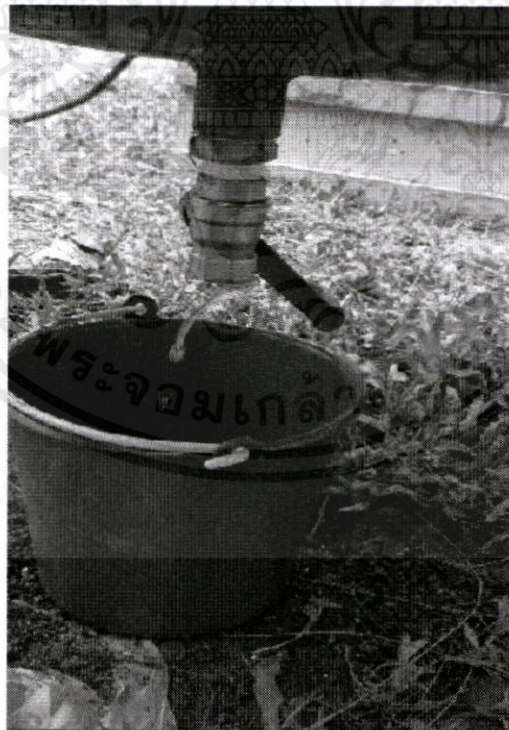


รูปที่ 3.33 การติดตั้งอุปกรณ์การดูดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 ดูดน้ำออกจากดิน



รูปที่ 3.35 น้ำที่ออกมาจากดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

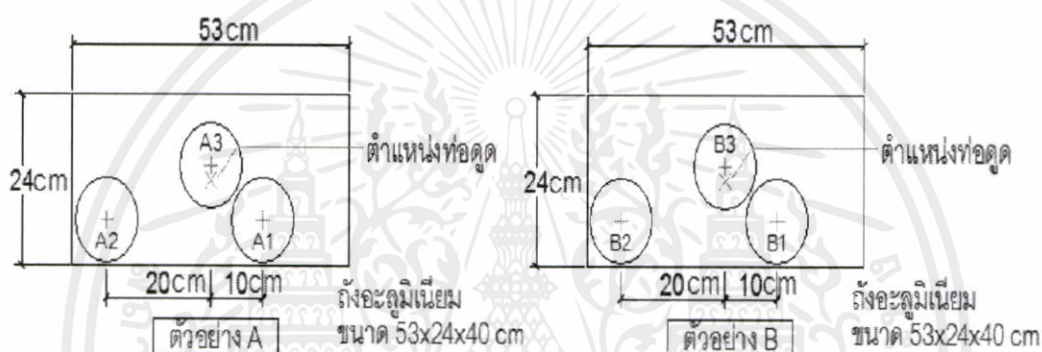
3.3.4 ขั้นตอนการวัดผล

3.3.4.1 วัดปริมาณน้ำที่ตุ่ตออกมาจากดิน

หลังจากการตุ่ตน้ำโดยใช้ปั้มสุญญากาศเป็นระยะเวลา 45 นาทีแล้ว เปิดวาล์วเพื่อดูปริมาณน้ำที่ตุ่ตออกมาจากดินได้

3.3.4.2 วัดปริมาณน้ำในดิน (% Water content)

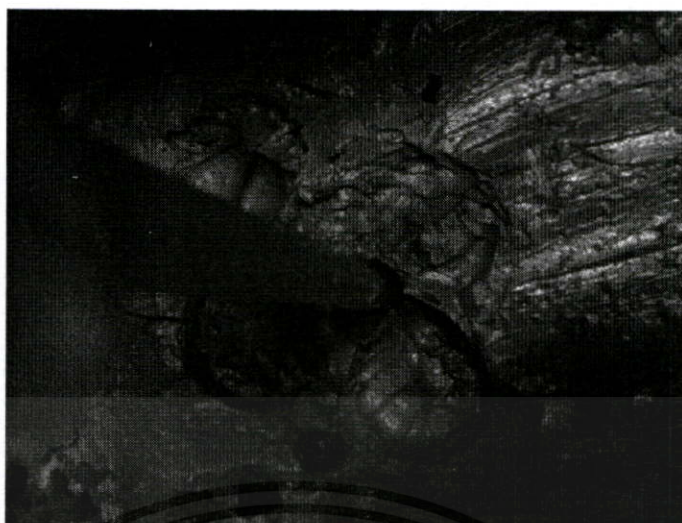
หลังจากที่ติดตั้งอุปกรณ์ทุกอย่างเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการวัดปริมาณน้ำในดินที่ตำแหน่งต่าง ๆ นั่นคือ ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A และ ตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B ทั้งบริเวณผิวดินและลึกลงไปในดิน ซึ่งวัดค่าทั้งก่อนการตุ่ตน้ำและหลังการตุ่ตน้ำ เพื่อดูปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3.36 ภาพแปลนบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินในถังอะลูมิเนียม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.37 ใช้เหล็กปาดผิวดินไปวัดปริมาณน้ำในดิน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.38 ใช้หลอดเก็บตัวอย่างดินเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.164 ซม.

- 1.) ชั่งน้ำหนักกระป๋องแห้ง
- 2.) เก็บตัวอย่างดินโดยใช้หลอดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.164 ซม. ใส่ลงในกระป๋องแห้ง
- 3.) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินที่เก็บได้
- 4.) นำไปอบแห้ง แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก
- 5.) คำนวณปริมาณน้ำในดิน (% Water content)

จากสมการ

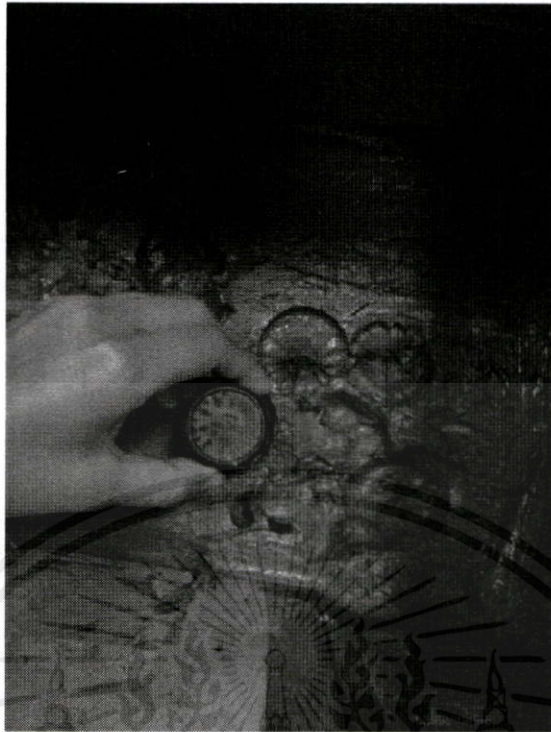
$$\% \text{ Water Content} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำ (Ww)}}{\text{น้ำหนักดินแห้ง (Ws)}} \times 100\%$$

- 6.) ทำการวัดปริมาณน้ำในดินทั้งก่อนและหลังจากการดูดนํ้าออกจากดิน

3.3.4.3 วัดกำลังรับแรงเฉือนในดิน

ใช้ Pocket Vane Shear ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.774 ซม. วัดกำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยการกดเครื่องมือลงไปในดินแล้วอ่านค่าที่เกิดขึ้น ทำการวัดกำลังแรงเฉือนที่ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A และ ตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B ทั้งบริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน เพื่อวัดกำลังรับแรงเฉือนทั้งก่อนการดูดนํ้าและหลังการดูดนํ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.39 วัดกำลังแรงเฉือนของดินที่ผิวดิน



รูปที่ 3.40 วัดกำลังแรงเฉือนของดินที่ลึกลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.4 วัดระยะการทรุดตัว

วัดความสูงของดินก่อนการตุดน้ำและหลังจากการตุดน้ำ โดยใช้เวอเนียร์คาลิปเปอร์ เพื่อวัดระยะการทรุดตัวของดินที่เกิดขึ้นภายหลังจากการตุดน้ำออกแล้ว



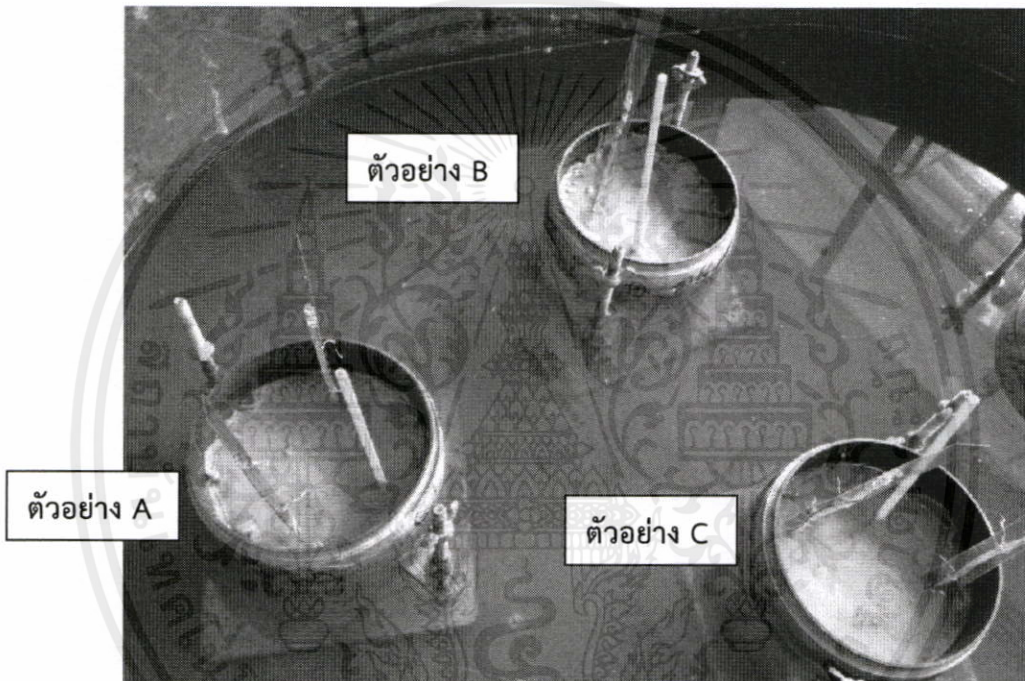
รูปที่ 3.41 ใช้เวอเนียร์คาลิปเปอร์วัดระยะการทรุดตัวของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

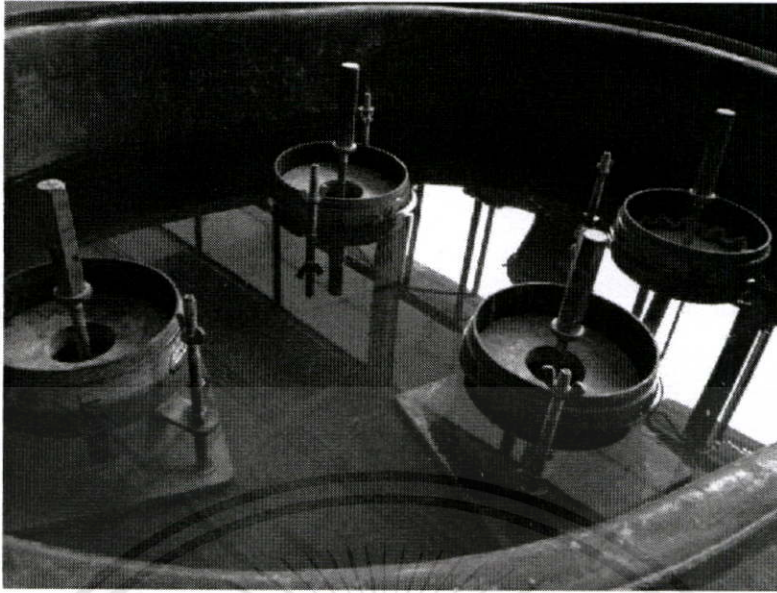
4.1 การทดลองการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering Compaction) และการดูดน้ำออกจากดินเหนียวในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ได้ทำการทดลองในแบบอัดดินจำนวน 3 ตัวอย่าง นั่นคือตัวอย่าง A , B และ C



รูปที่ 4.1 ตัวอย่าง A , B และ C ในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว

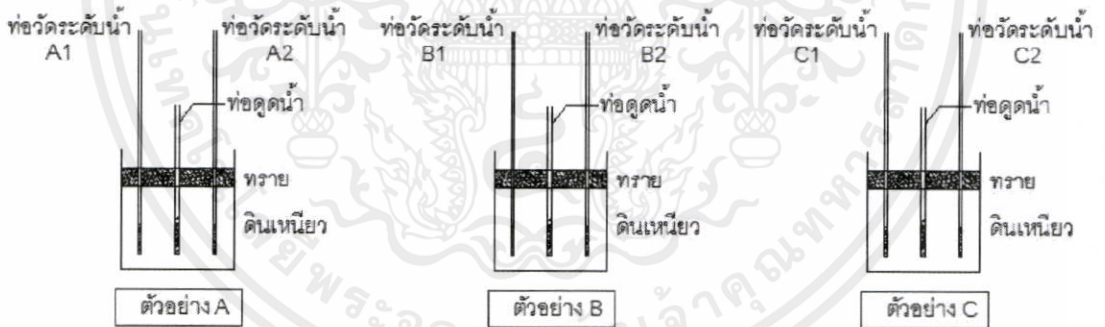
โดยใช้ตัวอย่างดินเหนียวจาก ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคตั้งอยู่เลขที่ 88 ถนนนา-ตราด กม.1, เขตบางนา กทม. 10260 โดยมีการใช้ดินดำหรือดินเหนียวที่มีความลึกในช่วง 6-10 เมตร และทางกลุ่มของข้าพเจ้าก็ได้รับความช่วยเหลือจากกลุ่มของนายศรคม ศรีสนั่น ที่ได้แบ่งดินส่วนหนึ่งมาให้กลุ่มของข้าพเจ้าได้ทำการทดลองในครั้งนี้ ซึ่งเป็นดิน remolded มีปริมาณน้ำในดินเริ่มต้นใกล้เคียงกัน คือ $54 \pm 1\%$

แต่ละตัวอย่างใส่ดินลงไปหนาเท่ากันคือ 11 ซม. และมีชั้นทรายทับผิวดิน 2.5 ซม. ทำการเตรียมตัวอย่างดินให้ใกล้เคียงกับธรรมชาติ โดยการนำตัวอย่างที่ใส่ดินเหนียวแล้วไปแช่ลงในอ่างที่มีน้ำอยู่ จากนั้นใส่น้ำหนักกดทับหนัก 3.454 กก. บนตัวอย่างดิน เพื่อให้ดินไม่มีช่องว่างในดินเหลืออยู่ เป็นระยะเวลา 3 วัน



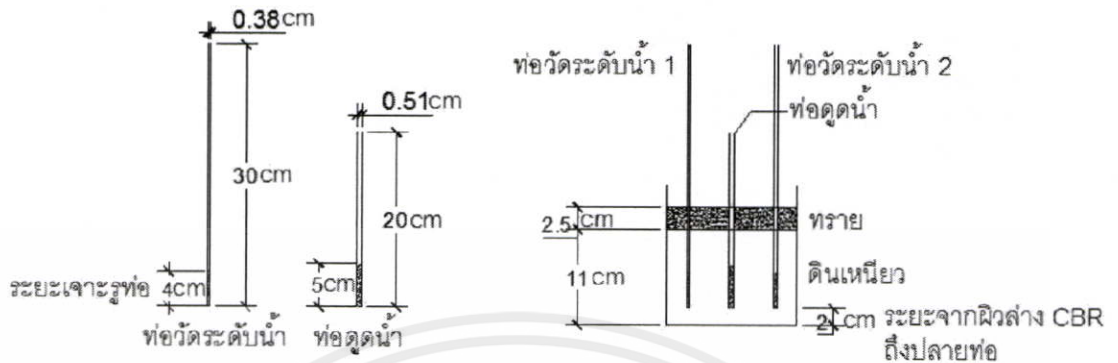
รูปที่ 4.2 การเตรียมตัวอย่างดินให้ใกล้เคียงธรรมชาติก่อนการทดลอง

ทำการติดตั้งท่อวัดระดับน้ำในมวลดินตัวอย่างละ 2 ท่อ นั่นคือ ท่อ A1 , A2 ในตัวอย่าง A ,
ท่อ B1 , B2 ในตัวอย่าง B และ ท่อ C1 , C2 ในตัวอย่าง C พร้อมทั้งติดตั้งท่อดูดน้ำตัวอย่างละ 1 ท่อ



รูปที่ 4.3 การติดตั้งท่อวัดระดับน้ำและท่อดูดลงในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ระยะการติดตั้งท่อดัชนีระดับน้ำและท่อดูดน้ำ

จากนั้นทำการทุบดินโดยใช้ตุ้มบดอัด (Compaction Hammer) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้วหนัก 5.5 ปอนด์ บนตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่างที่เตรียมไว้ โดยมีจำนวนครั้งในการทุบบดอัดแตกต่างกัน คือ ตัวอย่าง A ทุบ 1 ครั้ง , ตัวอย่าง B ทุบ 2 ครั้ง และตัวอย่าง C ทุบ 4 ครั้ง ทำการวัดระดับน้ำในท่อดัชนีระดับน้ำทั้งก่อนและหลังจากการทุบบดอัดแล้วอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 6 วันและวัดปริมาณน้ำในดิน (%water content) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งก่อนการทุบบดอัดและหลังการทุบบดอัดทันที

จากนั้นทำการดูดน้ำออกจากดินโดยใช้กระบอกฉีดยา ขนาด 5 , 10 และ 20 มล. จำนวน 3 ครั้ง แต่แต่ละครั้งใช้ระยะเวลาประมาณ 10 นาที ทำการวัดปริมาณน้ำที่ดูดออกมาได้ วัดปริมาณน้ำในดิน (%water content) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งก่อนดูดน้ำและหลังการดูดน้ำทั้ง 3 ครั้ง รวมทั้งวัดค่ากำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นโดยใช้ pocket vane shear ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.774 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering Compaction)



รูปที่ 4.5 การทุบดินด้วยตุ้มบดอัด



รูปที่ 4.6 หลังการทุบดินแล้ว



รูปที่ 4.7 ตุ้มบดอัด (Compaction Hammer) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนัก 5.5ปอนด์

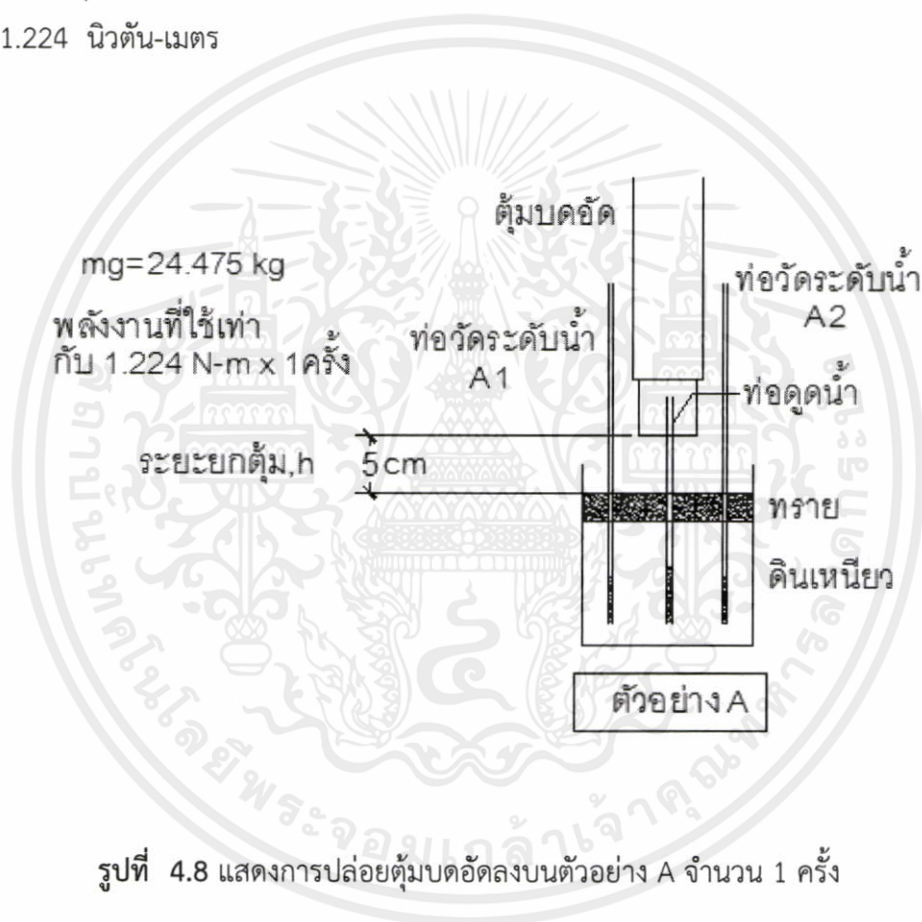
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.1 แรงดันน้ำในท่อวัดระดับน้ำ (piezometer)

4.1.1.1.1) ตารางบันทึกผลระดับน้ำในท่อวัดระดับน้ำ (piezometer) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำในท่อ กับช่วงเวลา ของตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่าง โดยให้เวลาที่ศูนย์ เป็นเวลาที่ทำการทุบดิน

ตัวอย่าง A

จากการวัดระดับน้ำหลังจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering Compaction) โดยการปล่อยตุ้มน้ำหนัก (Compaction Hammer) ลงบนตัวอย่าง A จำนวน 1 ครั้ง พลังงานที่ใช้เท่ากับ 1.224 นิวตัน-เมตร



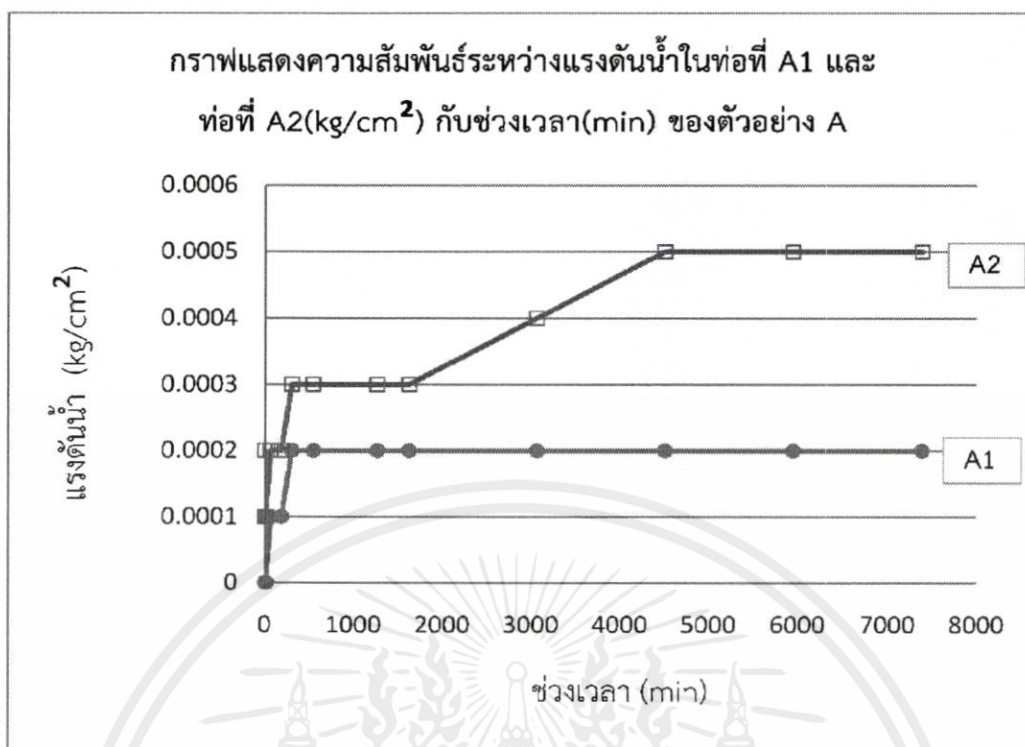
รูปที่ 4.8 แสดงการปล่อยตุ้มบดอัดลงบนตัวอย่าง A จำนวน 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลระดับน้ำในท่อวัดระดับน้ำ A1 และ A2 ของตัวอย่าง A

วันที่	เวลา	ช่วงเวลา (นาที)	ท่อ A1 Δu (ซม.)	ท่อ A2 Δu (ซม.)	แรงดันน้ำท่อA1 (กก./ซม. ²)	แรงดันน้ำท่อA2 (กก./ซม. ²)
7/2/2557	12:15	0	0.1	0.2	0.0001	0.0002
7/2/2557	12:20	5	0.0	0.1	0.0000	0.0001
7/2/2557	12:30	15	0.0	0.1	0.0000	0.0001
7/2/2557	13:20	65	0.1	0.2	0.0001	0.0002
7/2/2557	14:20	185	0.1	0.2	0.0001	0.0002
7/2/2557	16:20	305	0.2	0.3	0.0002	0.0003
7/2/2557	20:20	545	0.2	0.3	0.0002	0.0003
8/2/2557	8:20	1265	0.2	0.3	0.0002	0.0003
8/2/2557	14:20	1625	0.2	0.3	0.0002	0.0003
9/2/2557	14:20	3065	0.2	0.4	0.0002	0.0004
10/2/2557	14:20	4505	0.2	0.5	0.0002	0.0005
11/2/2557	14:20	5945	0.2	0.5	0.0002	0.0005
12/2/2557	14:20	7385	0.2	0.5	0.0002	0.0005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



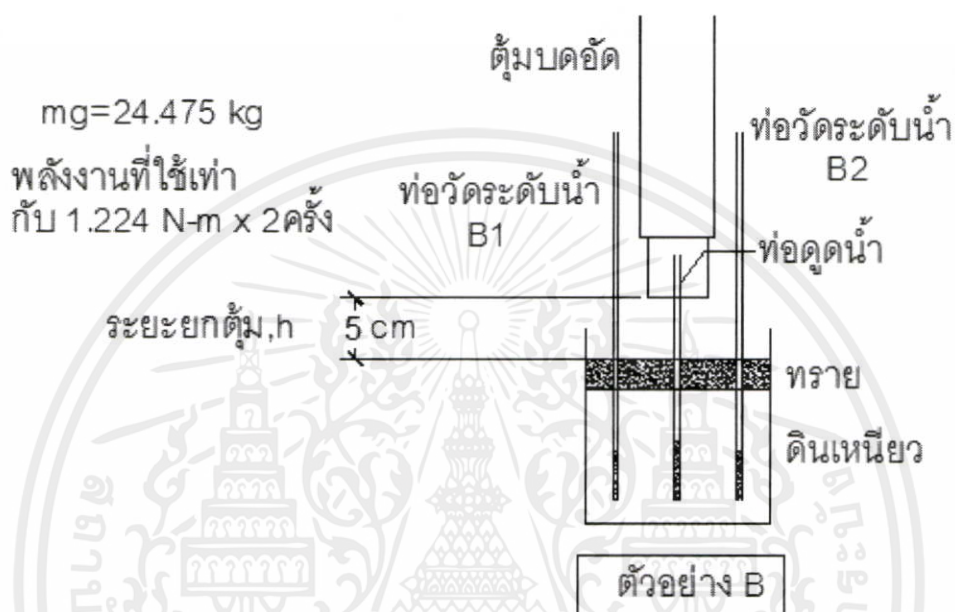
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำในท่อ A1 และ A2 กับช่วงเวลา ของตัวอย่าง A

จากการวัดระดับน้ำหลังจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัดลงบนตัวอย่าง A โดยการปล่อยตุ้ม (Compaction Hammer) จำนวน 1 ครั้ง พลังงานเท่ากับ 1.224 นิวตัน-เมตร พบว่า ระดับน้ำในท่อวัดระดับน้ำ A1 และ A2 มีการเพิ่มขึ้นหลังจากการทุบที่ เมื่อเวลาผ่านไป ท่อ A2 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 4505 นาที (75 ชั่วโมง 5 นาที) ส่วนท่อ A1 มีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำ และเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 305 นาที (5 ชั่วโมง 5 นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง B

จากการวัดระดับน้ำหลังจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering Compaction) โดยการปล่อยตุ้มน้ำหนัก (Compaction Hammer) ลงบนตัวอย่าง B จำนวน 2 ครั้ง พลังงานที่ใช้เท่ากับ 2.448 นิวตัน-เมตร



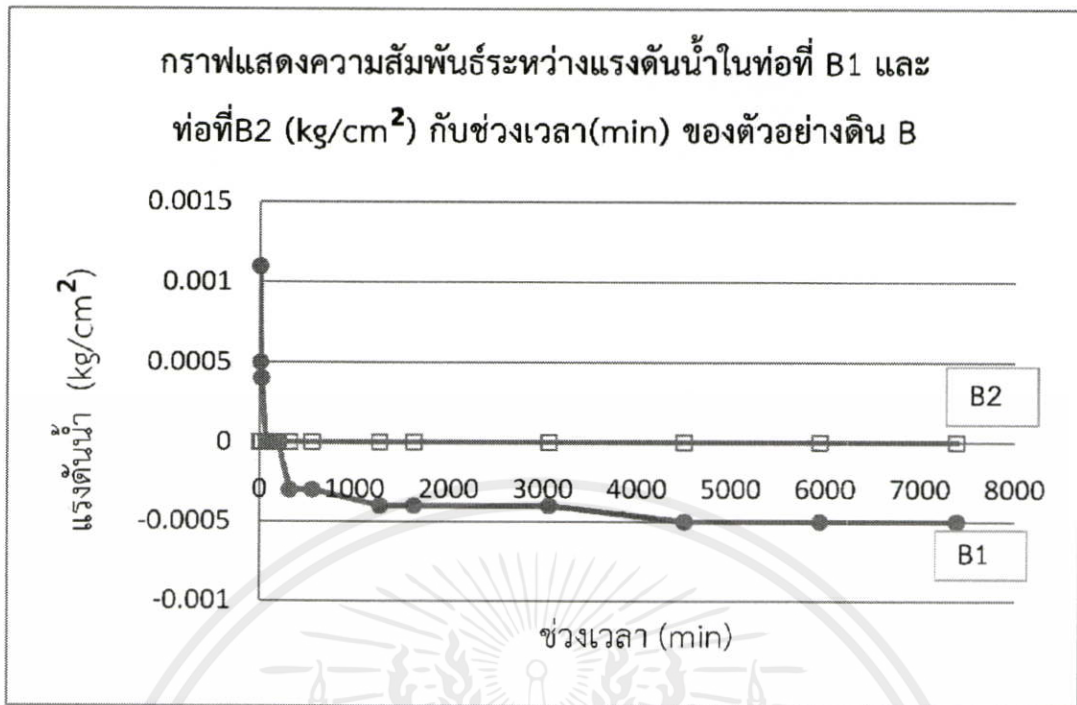
รูปที่ 4.10 แสดงการปล่อยตุ้มบดอัดลงบนตัวอย่าง B จำนวน 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลระดับน้ำในท่อวัดระดับน้ำ B1 และ B2 ของตัวอย่าง B

วันที่	เวลา	ช่วงเวลา (นาที)	ท่อ B1 Δu (ซม.)	ท่อ B2 Δu (ซม.)	แรงดันน้ำท่อB1 (กก./ซม. ²)	แรงดันน้ำท่อB2 (กก./ซม. ²)
7/2/2557	12:07	0	1.1	0	0.0011	0
7/2/2557	12:13	6	0.5	0	0.0005	0
7/2/2557	12:23	16	0.4	0	0.0004	0
7/2/2557	13:13	66	0.0	0	0.0000	0
7/2/2557	14:13	186	0.0	0	0.0000	0
7/2/2557	16:13	306	-0.3	0	-0.0003	0
7/2/2557	20:13	546	-0.3	0	-0.0003	0
8/2/2557	8:13	1266	-0.4	0	-0.0004	0
8/2/2557	14:13	1626	-0.4	0	-0.0004	0
9/2/2557	14:13	3066	-0.4	0	-0.0004	0
10/2/2557	14:13	4506	-0.5	0	-0.0005	0
11/2/2557	14:13	5946	-0.5	0	-0.0005	0
12/2/2557	14:13	7386	-0.5	0	-0.0005	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



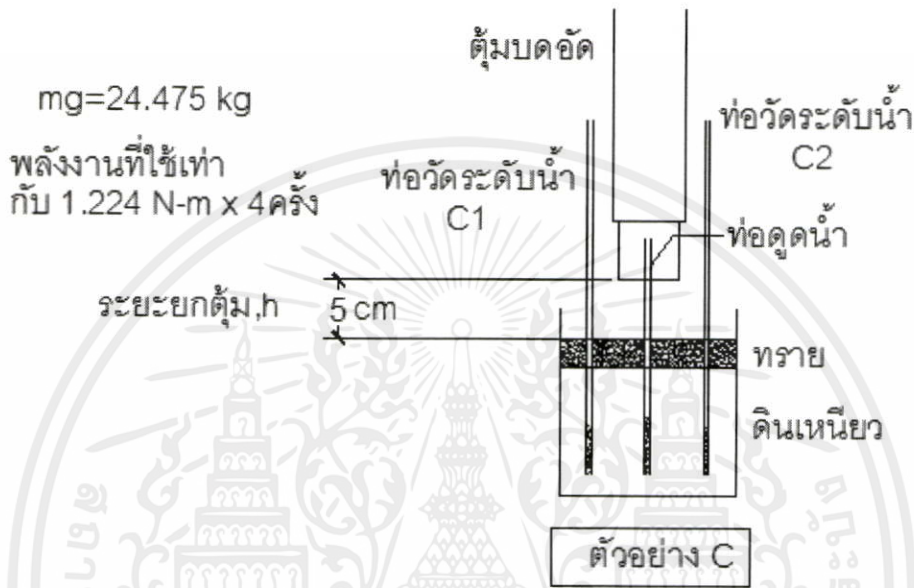
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำในท่อ B1 และ B2 กับช่วงเวลา ของตัวอย่าง B

จากการวัดระดับน้ำหลังจากการทุบดินด้วยดัมบดอัดลงบนตัวอย่าง B โดยการปล่อยตุ้ม (Compaction Hammer) ลงบนตัวอย่าง B จำนวน 2 ครั้ง พบว่า ระดับน้ำในท่อวัดระดับน้ำ B1 มีการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดหลังจากการทุบทันที และเมื่อเวลาผ่านไประดับน้ำในท่อมีการลดลงเรื่อยๆ และคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 4506 นาที (75 ชั่วโมง 5 นาที) ส่วนท่อวัดระดับน้ำ B2 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย คาดว่าน่าจะซึบรอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง C

จากการวัดระดับน้ำหลังจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering Compaction) โดยการปล่อยตุ้มบดอัด (Compaction Hammer) ลงบนตัวอย่าง C จำนวน 4 ครั้ง พลังงานที่ใช้เท่ากับ 4.896 นิวตัน-เมตร



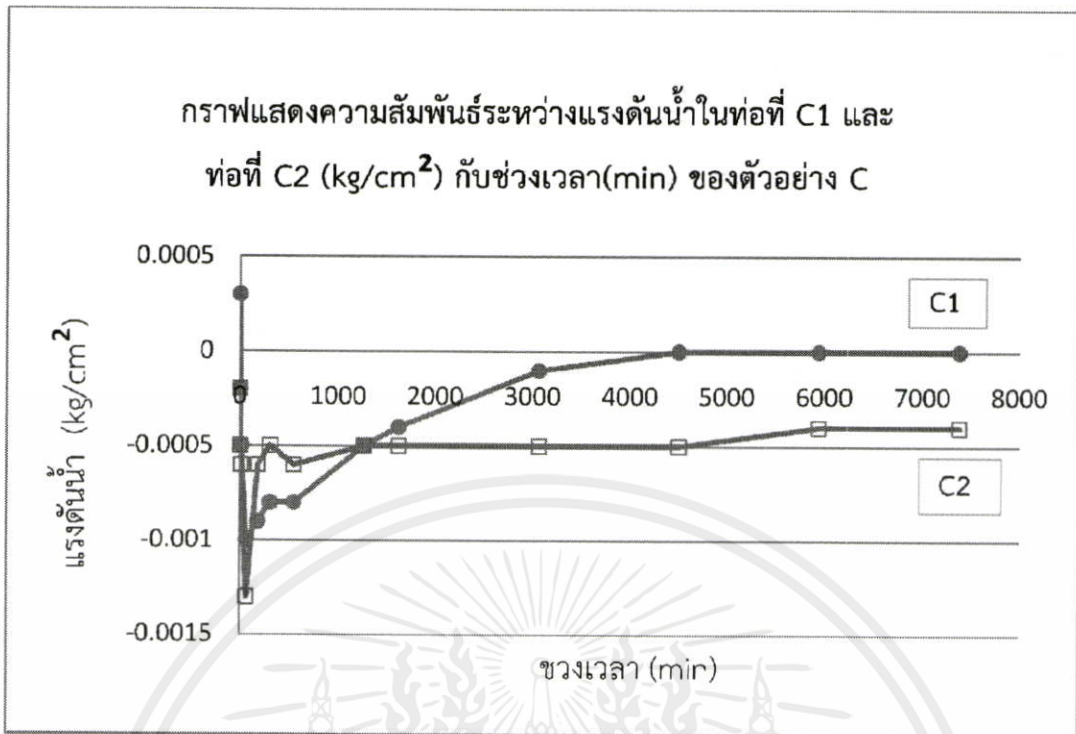
รูปที่ 4.12 แสดงการปล่อยตุ้มบดอัดลงบนตัวอย่าง C จำนวน 4 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลระดับน้ำในท่อวัดระดับน้ำ C1 และ C2 ของตัวอย่าง C

วันที่	เวลา	ช่วงเวลา (นาที)	ท่อ C1 Δu (ซม.)	ท่อ C2 Δu (ซม.)	แรงดันน้ำท่อC1 (กก./ซม. ²)	แรงดันน้ำท่อC2 (กก./ซม. ²)
7/2/2557	12:10	0	0.3	-0.2	0.0003	-0.0002
7/2/2557	12:15	5	-0.2	-0.5	-0.0002	-0.0005
7/2/2557	12:25	15	-0.5	-0.6	-0.0005	-0.0006
7/2/2557	13:15	65	-1.0	-1.3	-0.001	-0.0013
7/2/2557	14:15	185	-0.9	-0.6	-0.0009	-0.0006
7/2/2557	16:15	305	-0.8	-0.5	-0.0008	-0.0005
7/2/2557	20:15	545	-0.8	-0.6	-0.0008	-0.0006
8/2/2557	8:15	1265	-0.5	-0.5	-0.0005	-0.0005
8/2/2557	14:15	1625	-0.4	-0.5	-0.0004	-0.0005
9/2/2557	14:15	3065	-0.1	-0.5	-0.0001	-0.0005
10/2/2557	14:15	4505	0.0	-0.5	0.0000	-0.0005
11/2/1957	14:15	5945	0.0	-0.4	0.0000	-0.0004
12/2/2557	14:15	7385	0.0	-0.4	0.0000	-0.0004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

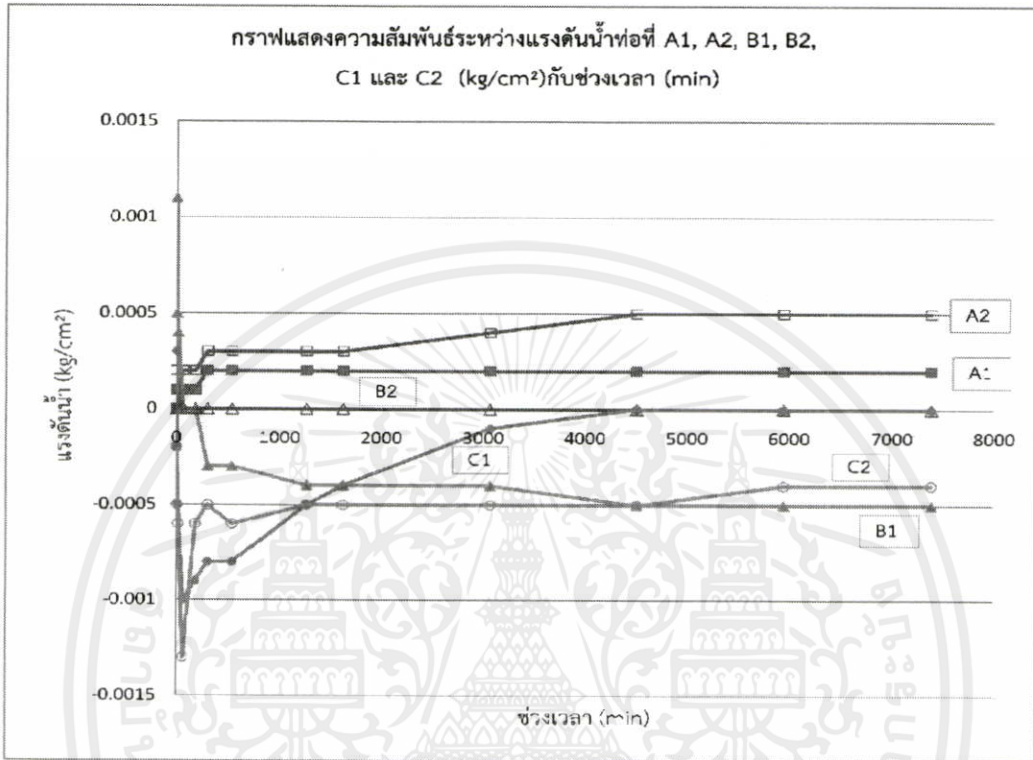


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำในท่อ C1 และ C2 กับช่วงเวลา ของตัวอย่าง C

จากการวัดระดับน้ำหลังจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัดลงบนตัวอย่าง C โดยการปล่อยตุ้ม (Compaction Hammer) ลงบนตัวอย่าง C จำนวน 4 ครั้ง พบว่า ระดับน้ำในท่อวัดระดับ C1 มีการเพิ่มขึ้นหลังจากการทุบทันที เมื่อเวลาผ่านไประดับน้ำในท่อมีการลดลงเรื่อยๆถึงจุดๆหนึ่งและค่อยๆเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนถึงระดับเดิมก่อนมีการทุบอัด ที่เวลา 4505 นาที (75 ชั่วโมง 5 นาที) ส่วนระดับน้ำในท่อวัดระดับน้ำ C2 มีการลดลงหลังจากการทุบทันทีและเพิ่มขึ้นจนเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.1.2) กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำของท่อวัดระดับน้ำท่อ A1 , A2 , B1 , B2 , C1 และ C2 (กก./ซม.²) กับ ช่วงเวลา (นาที) ของตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่าง



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำในท่อ A1 , A2 , B1 , B2 , C1 และ C2 กับ ช่วงเวลา ของตัวอย่าง A , B , และ C

จากกราฟจะเห็นได้ว่าการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering Compaction) ลงบนตัวอย่างดิน A , B และ C ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะปล่อยตุ้ม (Compaction Hammer) จำนวนครั้งแตกต่างกัน นั่นคือ 1 , 2 และ 4 ครั้งตามลำดับ แรงดันน้ำที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลง นั่นคือ ช่วงแรกที่มีการทุบบดอัด ระดับน้ำในท่อ A1 , A2, B1 และ C1 เพิ่มขึ้นหลังจากมีการทุบที่ ยกเว้นระดับน้ำในท่อ B2 ที่ไม่สามารถอ่านค่าได้ และท่อ C2 ที่มีการลดลงของระดับน้ำ เมื่อทำการตรวจวัดต่อไป เวลาผ่านไป 5 นาที ระดับน้ำในท่อที่มีการลดลงเกือบทุกท่อยกเว้นท่อ B2 ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และมีการลดลงเรื่อยๆตามเวลาที่ผ่านไปจนถึงช่วงระยะเวลาหนึ่ง ระดับน้ำในท่อค่อยๆเพิ่มขึ้น ยกเว้นท่อ B1 ที่มีการลดลงไปเรื่อยๆโดยไม่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเลย และท่อ B2 ที่ไม่สามารถอ่านค่าได้ ซึ่งการทิ้งตุ้มบดอัด (Compaction Hammer) นั้นเป็นการเพิ่มแรงดันน้ำที่อยู่ในมวลดินให้สูงขึ้น ทำให้ระดับน้ำในท่อนั้นมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อแรงดันน้ำถูกบีบออกมาจากมวลดิน ดินจึงมี

ความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าระดับน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นเพราะพลังงานที่ให้ลงไปบนตัวอย่างดิน

4.1.1.2 วัดปริมาณน้ำในดิน (%water content)

4.1.1.2.1) ตารางบันทึกผลปริมาณน้ำในดินก่อนและหลังการทุบดินด้วยตุ้ม

บดอัด

ตัวอย่าง A

ความสูงดินในแบบอัดดินก่อน Consolidate	11	ซม.
จำนวนท่อ Piezometer ในโมล	2	ท่อ
ความสูงดินในแบบอัดดินหลัง Consolidate	10.85	ซม.
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อวัดระดับน้ำ	3.8	มม.
ระยะเวลา Consolidate	3	วัน
ระยะห่างจากท่อวัดระดับน้ำถึงกลางแบบอัดดิน	5	ซม.
น้ำหนักแผ่นเพลทที่กดทับ	3.454	กก.
ความสูงของทรายในแบบอัดดิน	2.5	ซม.
ความสูงที่ยก	5	ซม.
จำนวนครั้งในการทุบ	1	ครั้ง

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนทุบ-หลังทุบ ของตัวอย่าง A

วันที่	เวลา	หมายเลข	น้ำหนัก กระป๋อง กระป๋อง (กรัม)	ก่อนอบ	หลังอบ	% Water Content	
				น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน(กรัม)	น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน(กรัม)		เฉลี่ย
7/2/2557	ก่อนทุบ	5	13.53	20.56	18.00	57.27	
		6	14.12	21.71	19.10	52.41	54.84
7/2/2557	หลังทุบ ทันที	5	9.33	16.62	14.10	52.83	
		6	9.41	14.92	13.02	52.63	52.73

จากตารางผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering
เอกสาร Compaction) ลงบนตัวอย่าง A จำนวน 1 ครั้ง หลังจากการทุบทันทีปริมาณน้ำในดินมีค่าลดลงเมื่อการค่า
ไม่ว่าการเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำในดินก่อนการทุบบดอัด ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง B

ความสูงดินในแบบอัดดินก่อน Consolidate	11	ซม.
จำนวนท่อ Piezometer ในโมล	2	ท่อ
ความสูงดินในแบบอัดดินหลัง Consolidate	10.85	ซม.
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อวัดระดับน้ำ	3.8	มม.
ระยะเวลา Consolidate	3	วัน
ระยะห่างจากท่อวัดระดับน้ำถึงกลางแบบอัดดิน	5	ซม.
น้ำหนักแผ่นเพลทที่กดทับ	3.454	กก.
ความสูงของทรายในแบบอัดดิน	2.5	ซม.
ความสูงที่ยึก	5	ซม.
จำนวนครั้งในการทุบ	2	ครั้ง

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนทุบ-หลังทุบ ของตัวอย่าง B

วันที่	เวลา	หมายเลข กระป๋อง	น้ำหนัก กระป๋อง (กรัม)	ก่อนอบ	หลังอบ	% Water Content	
				น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน(กรัม)	น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน(กรัม)		เฉลี่ย
7/2/1957	ก่อนทุบ	1	12.98	26.61	21.86	53.49	
		2	13.23	23.58	19.88	55.64	54.57
7/2/2557	หลังทุบ ทันที	1	8.95	15.79	13.45	52.00	
		2	10.50	15.51	13.79	52.28	52.14

จากตารางผลการทดลองจะเห็นว่าจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering Compaction) ลงบนตัวอย่าง B จำนวน 2 ครั้ง หลังจากการทุบทันทีปริมาณน้ำในดินมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำในดินก่อนการทุบบดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง C

ความสูงดินในแบบอัดดินก่อน Consolidate	11	ซม.
จำนวนท่อ Piezometer ในโมล	2	ท่อ
ความสูงดินในแบบอัดดินหลัง Consolidate	10.85	ซม.
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อวัดระดับน้ำ	3.8	มม.
ระยะเวลา Consolidate	3	วัน
ระยะห่างจากท่อวัดระดับน้ำถึงกลางแบบอัดดิน	5	ซม.
น้ำหนักแผ่นเพลทที่กดทับ	3.454	กก.
ความสูงของทรายในแบบอัดดิน	2.5	ซม.
ความสูงที่ยึก	5	ซม.
จำนวนครั้งในการทุบ	4	ครั้ง

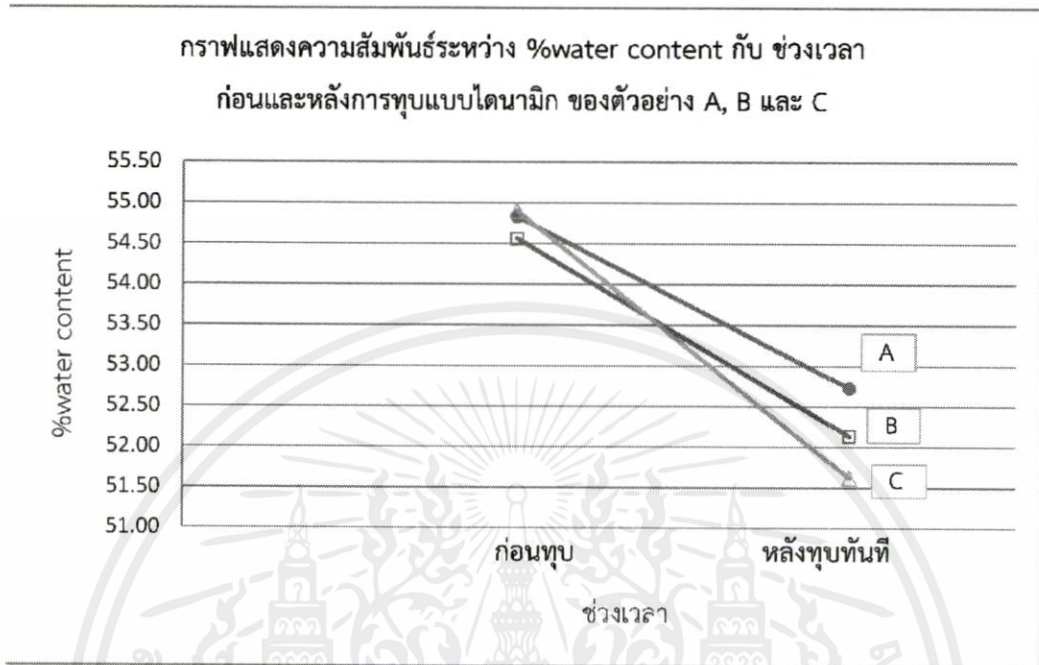
ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนทุบ - หลังทุบ ของตัวอย่าง C

วันที่	เวลา	หมายเลข กระป๋อง	น้ำหนัก กระป๋อง (กรัม)	ก่อนอบ	หลังอบ	% Water Content	
				น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน(กรัม)	น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน(กรัม)		เฉลี่ย
7/2/2557	ก่อนทุบ	3	13.52	23.83	20.18	54.80	
		4	16.01	29.00	24.39	55.01	54.91
7/2/2557	หลังทุบ	3	8.98	16.72	14.10	51.17	
		4	9.85	16.07	13.94	52.08	51.63

จากตารางผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering Compaction) ลงบนตัวอย่าง C จำนวน 4 ครั้ง หลังจากการทุบทันทีปริมาณน้ำในดินมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำในดินก่อนการทุบบดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2.2) กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำในดิน (%water content) ก่อนและหลังการทุบดินด้วยตุ้มบดอัดในตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่าง

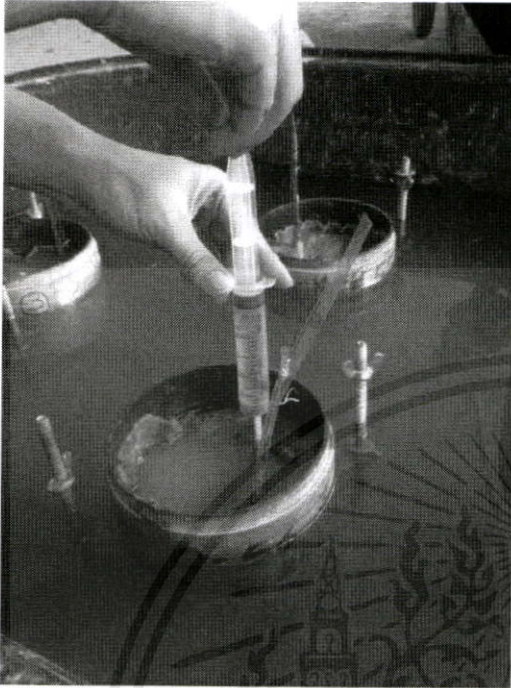


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลา ก่อนและหลังการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด ของตัวอย่าง A , B และ C

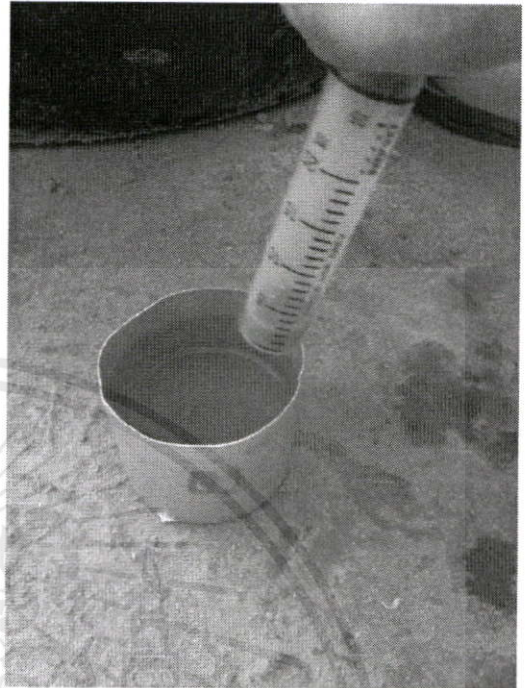
จากกราฟแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำในดิน (%water content) หลังจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัด (Hammering Compaction) แล้วมีแนวโน้มลดลง ซึ่ง ตัวอย่าง A ปล่อยตุ้มบดอัดจำนวน 1 ครั้ง ทำให้ปริมาณน้ำในดินลดลงจาก 54.84 % เป็น 52.73 % ตัวอย่าง B ปล่อยตุ้มบดอัดจำนวน 2 ครั้ง ทำให้ปริมาณน้ำในดินลดลงจาก 54.57 % เป็น 52.14 % และ ตัวอย่าง C ปล่อยตุ้มบดอัดจำนวน 4 ครั้ง ทำให้ปริมาณน้ำในดินลดลงจาก 54.90 % เป็น 51.63 % จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำในดิน (%water content) ลดลงตามสัดส่วนพลังงานที่เพิ่มขึ้น ยิ่งให้พลังงานแก่ดินมากก็จะเป็นการบีบน้ำออกจากดินได้สูง ปริมาณน้ำในดินลดลง ทำให้ดินมีความหนาแน่นมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การดูน้ำออกจากดิน



รูปที่ 4.16 การดูน้ำโดยใช้กระบอกฉีดยา



รูปที่ 4.17 น้ำที่ดูตูดออกมาจากตัวอย่างดิน

หลังจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัดลงบนตัวอย่างดิน โดยการปล้อยตุ้ม (Compaction Hammer) ลงบนตัวอย่าง A จำนวน 1 ครั้ง , ตัวอย่าง B จำนวน 2 ครั้ง และ ตัวอย่าง C จำนวน 4 ครั้ง เป็นระยะเวลา 4 วัน แล้วได้ทำการดูน้ำออกจากมวลดินทั้ง 3 ตัวอย่างดิน โดยใช้กระบอกฉีดยา ขนาด 5 , 10 และ 20 มล. ทำการดูน้ำให้ได้ปริมาณน้ำที่ออกมามากที่สุดจำนวน 3 ช่วงเวลา แต่ละช่วงเวลาจะใช้เวลาประมาณ 10 นาที ได้ทำการวัดปริมาณน้ำที่ดูตูดออกจากดิน , ปริมาณน้ำในดิน (%water content) ที่เกิดการเปลี่ยนแปลง และกำลังรับแรงเฉือนของดินที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.1 ปริมาณน้ำที่ตูดออกจากดิน

4.1.2.1.1) ตารางบันทึกผลปริมาณน้ำที่ตูดออกมาจากตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณน้ำที่ตูดออกจากตัวอย่าง A

วัน	เวลา	ช่วงเวลา	ระดับน้ำในท่อ A1 (ซม.)		ระดับน้ำในท่อ A2 (ซม.)		ระดับน้ำในอ่าง (ซม.)		ปริมาณน้ำที่ตูดออก (มล.)
			ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
12/2/2557	18:56	ตูดน้ำครั้งที่1	0.6	0.6	-0.2	-0.2	14.9	14.9	2.5
13/2/2557	11:33	ตูดน้ำครั้งที่2	0.6	0.6	-0.2	-0.2	14.7	14.7	2.6
13/2/2557	16:28	ตูดน้ำครั้งที่3	0.6	0.6	-0.3	-0.3	14.6	14.5	7.3
								รวม	12.4

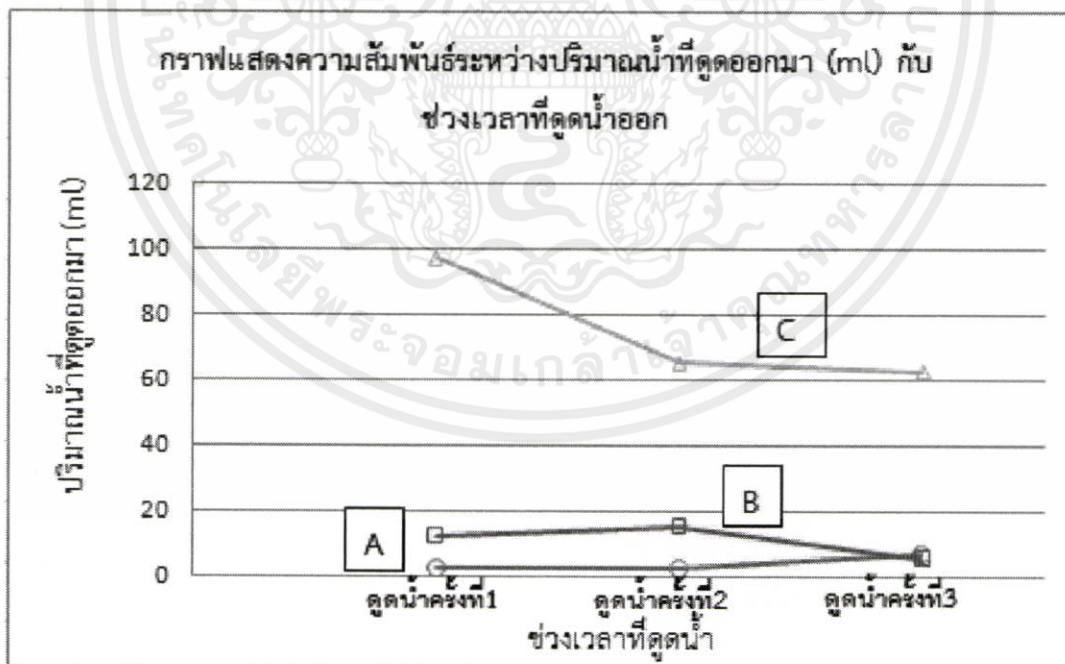
ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณน้ำที่ตูดออกจากตัวอย่าง B

วัน	เวลา	ช่วงเวลา	ระดับน้ำในท่อ B1 (ซม.)		ระดับน้ำในท่อ B2 (ซม.)		ระดับน้ำในอ่าง (ซม.)		ปริมาณน้ำที่ตูดออก (มล.)
			ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
12/2/2557	18:48	ตูดน้ำครั้งที่1	-0.4	-0.3	-	-	14.9	14.9	12.3
13/2/2557	11:09	ตูดน้ำครั้งที่2	-0.3	-0.5	-	-	14.7	14.7	15.3
13/2/2557	16:11	ตูดน้ำครั้งที่3	-0.8	-1.1	-	-	14.6	14.5	5.5
								รวม	33.1

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณน้ำที่ตูดออกจากตัวอย่าง C

วัน	เวลา	ช่วงเวลา	ระดับน้ำในท่อ C1 (ซม.)		ระดับน้ำในท่อ C2 (ซม.)		ระดับน้ำในอ่าง (ซม.)		ปริมาณน้ำที่ตูดออก (มล.)
			ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	
12/2/2557	18:50	ตูดน้ำครั้งที่1	-	-	0.4	0.4	14.9	14.9	97.2
13/2/2557	11:09	ตูดน้ำครั้งที่2	-	-	0.2	0.0	14.7	14.7	65.0
13/2/2557	16:11	ตูดน้ำครั้งที่3	-	-	0.0	-1.3	14.6	14.5	62.4
							รวม		224.6

4.1.2.1.2) กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ตูดออกมาได้ (มล.) กับ ช่วงเวลา ของตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่ตูดออกมาได้กับช่วงเวลาของตัวอย่าง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 A , B และ C

จากกราฟจะเห็นได้ว่าการดูดน้ำออกจากดินจำนวน 3 รอบ ตัวอย่าง A ปล่อยตุ้มบดอัด จำนวน 1 ครั้ง ปริมาณน้ำที่ดูดออกมาได้รวม 12.4 มล. , ตัวอย่าง B ปล่อยตุ้มบดอัด จำนวน 2 ครั้ง ปริมาณน้ำที่ดูดออกมาได้รวม 33.1 มล. และตัวอย่าง C ปล่อยตุ้มบดอัด จำนวน 4 ครั้ง ปริมาณน้ำที่ดูดออกมาได้รวม 224.6 มล. กล่าวได้ว่าการใส่พลังงานเข้าไปในดินทำให้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกิน ซึ่งสามารถดูดน้ำส่วนเกินนี้ออกมาได้ ดังนั้นแรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นและปริมาณน้ำที่ดูดออกจากดินนี้จะเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนพลังงานที่ใส่ลงไป

4.1.2.2 ปริมาณน้ำในดิน (%water content)

4.1.2.2.1) ตารางบันทึกผลปริมาณน้ำในดินก่อนและหลังมีการดูดน้ำออกจากดินของทั้ง 3 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.10 แสดงปริมาณน้ำในดินก่อนการดูดและหลังการดูดน้ำออก ของตัวอย่าง A

วันที่	เวลา	หมายเลข กระป๋อง	น้ำหนัก กระป๋อง (กรัม)	ก่อนอบ	หลังอบ	% Water Content	
				น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน (กรัม)	น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน (กรัม)		
12/2/2557	ก่อนดูดน้ำ	5	13.46	22.85	19.50	55.46	
		6	12.92	21.46	18.45	54.43	54.95
12/2/2557	ดูดน้ำครั้งที่1	5	9.34	15.17	13.13	53.83	
		6	9.45	16.07	13.75	53.95	53.89
13/2/2557	ดูดน้ำครั้งที่2	5	9.28	17.10	14.41	52.44	
		6	9.39	17.44	14.55	56.01	54.22
13/2/2557	ดูดน้ำครั้งที่3	5	13.49	20.21	17.87	53.42	
		6	12.90	21.04	18.22	53.01	53.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 แสดงปริมาณน้ำในดินก่อนการดูดและหลังการดูดน้ำออก ของตัวอย่าง B

วันที่	เวลา	หมายเลข กระป๋อง	น้ำหนัก กระป๋อง (กรัม)	ก่อนอบ	หลังอบ	% Water Content	
				น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน (กรัม)	น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน (กรัม)		
12/2/2557	ก่อนดูดน้ำ	1	13.24	19.21	17.13	53.47	
		2	13.13	21.74	18.77	52.66	53.07
12/2/2557	ดูดน้ำครั้งที่1	3	8.98	14.74	12.79	51.18	
		4	9.85	16.67	14.34	51.89	51.54
13/2/2557	ดูดน้ำครั้งที่2	1	8.93	15.57	13.3	51.95	
		2	10.47	18.76	15.93	51.83	51.89
13/2/2557	ดูดน้ำครั้งที่3	1	13.3	21.24	18.56	50.95	
		2	13.17	20.6	18.12	50.10	50.53

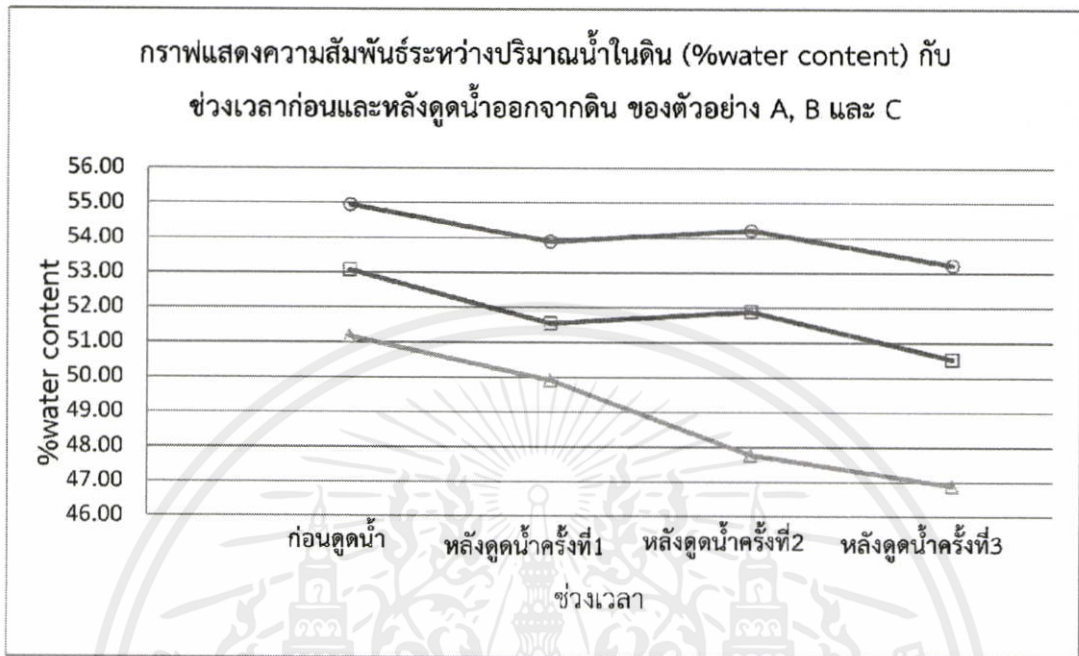
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงปริมาณน้ำในดินก่อนการดูดและหลังการดูดน้ำออก ของตัวอย่าง C

วันที่	เวลา	หมายเลข กระป๋อง	น้ำหนัก กระป๋อง (กรัม)	ก่อนอบ	หลังอบ	% Water Content	
				น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน (กรัม)	น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน (กรัม)		
12/2/2557	ก่อนดูดน้ำ	3	12.96	21.45	18.54	52.15	
		4	15.94	24.20	21.44	50.18	51.17
12/2/2557	ดูดน้ำครั้งที่1	7	8.42	13.56	11.87	48.99	
		8	9.83	17.10	14.65	50.83	49.91
13/2/2557	ดูดน้ำครั้งที่2	3	8.95	15.35	13.25	48.84	
		4	9.81	16.28	14.22	46.71	47.77
13/2/2557	ดูดน้ำครั้งที่3	3	12.97	19.37	17.30	47.81	
		4	15.97	22.86	20.69	45.97	46.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2.2) กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังการดูดน้ำออกจากดินของทั้ง 3 ตัวอย่าง



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนดูดน้ำ-หลังดูดน้ำของตัวอย่าง A , B และ C

จากกราฟจะเห็นได้ว่าหลังจากการดูดน้ำออกจากดินทั้ง 3 ครั้ง พบว่า ปริมาณน้ำที่ดูดขึ้นมาได้ ในตัวอย่าง A ที่ใส่พลังงานทุบดินลงไป 1.224 นิวตัน-เมตร มีปริมาณน้ำที่ดูดได้รวม 12.4 มล. ในตัวอย่าง B ที่ใส่พลังงานทุบดินลงไป 2.448 นิวตัน-เมตร มีปริมาณน้ำที่ดูดได้รวม 33.1 มล. และในตัวอย่าง C ที่ใส่พลังงานทุบดินลงไป 4.896 นิวตัน-เมตร มีปริมาณน้ำที่ดูดได้รวม 224.6 มล. สังเกตได้ว่าปริมาณน้ำที่ดูดออกมาได้แปรผันกับพลังงานที่ใช้ในการทุบดิน ซึ่งเป็นไปได้ว่าพลังงานในการทุบดินได้ก่อให้เกิดแรงดันน้ำในมวลดินที่มากกว่า จึงมีปริมาณน้ำที่ถูกบีบออกมามากกว่า

ส่วนผลการทดสอบปริมาณน้ำในมวลดิน (%water content) มีผลการทดลองสอดคล้องกันที่ว่า ในตัวอย่าง A ที่ใส่พลังงานในการทุบ 1.224 นิวตัน-เมตร มีปริมาณน้ำในมวลดินก่อนดูดน้ำ 54.95 % และลดลงไปเรื่อยๆจนหลังการดูดครั้งที่ 3 เหลือปริมาณน้ำในดิน 53.22% และหลังจากการดูด 1 วัน ปริมาณน้ำมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย 52.74 % ส่วนในตัวอย่าง B ที่ใส่พลังงานในการทุบ 2.448 นิวตัน-เมตร มีปริมาณน้ำในมวลดินก่อนดูดน้ำ 53.07 % และลดลงไปเรื่อยๆจนหลังการดูดครั้งที่ 3 เหลือปริมาณน้ำในดิน 50.53 % และหลังจากการดูด 1 วัน ปริมาณน้ำมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อย 51.39 % และในส่วนตัวอย่าง C ที่ใส่พลังงานในการทุบ 4.896 นิวตัน-เมตร มีปริมาณน้ำในมวลดินก่อนดูดน้ำ 51.17 % และลดลงไปเรื่อยๆจนหลังการดูดครั้งที่ 3 เหลือปริมาณน้ำในดิน 46.89 %

สามารถสรุปได้ว่าพลังงานที่ใส่เข้าไปในดินจะสามารถบีบน้ำออกจากมวลดินได้ โดยที่พลังงานทุบดินที่สูงกว่าจะบีบน้ำออกจากมวลดินได้มากกว่า และตรวจพบได้ว่าปริมาณน้ำในมวลดิน (% Water content) หลังจากการทุบแล้วมีค่าน้อยลงเมื่อใช้พลังงานการทุบที่มากขึ้นด้วย สอดคล้องกับการดูน้ำออกจากมวลดิน ซึ่งเมื่อใส่พลังงานในการทุบมากขึ้นก็จะสามารถดูน้ำขึ้นมาได้มากขึ้น

4.1.2.3 หาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยใช้ Pocket Vane Shear ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.774 ซม. วัดกำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยการกดเครื่องมือลงไปบนดินแล้วอ่านค่าที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.20 pocket vane shear ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.774 ซม.

หลังจากการดูน้ำออกจากมวลดิน ได้ทำการวัดแรงเฉือนในมวลดิน โดยใช้ pocket vane shear ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.774 ซม. ทำการทดสอบกับผิวหน้าตัวอย่างดินทั้งตัวอย่าง A , B และ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 แสดงการวัดกำลังแรงเฉือนบนผิวหน้าดิน

4.1.2.3.1) ตารางบันทึกผลกำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังการ
ดูดน้ำออกจากดินทั้ง 3 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.13 แสดงกำลังรับแรงเฉือนของดินกับช่วงเวลาของตัวอย่าง A

วันที่	เวลา	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือน ของดิน (กก./ซม. ²)
12/2/2557	ก่อนดูดน้ำ	0.4	0.008
12/2/2557	หลังดูดน้ำครั้งที่ 1	0.5	0.010
13/2/2557	หลังดูดน้ำครั้งที่ 2	0.5	0.010
13/2/2557	หลังดูดน้ำครั้งที่ 3	0.5	0.010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 แสดงกำลังรับแรงเฉือนของดินกับช่วงเวลาของตัวอย่าง B

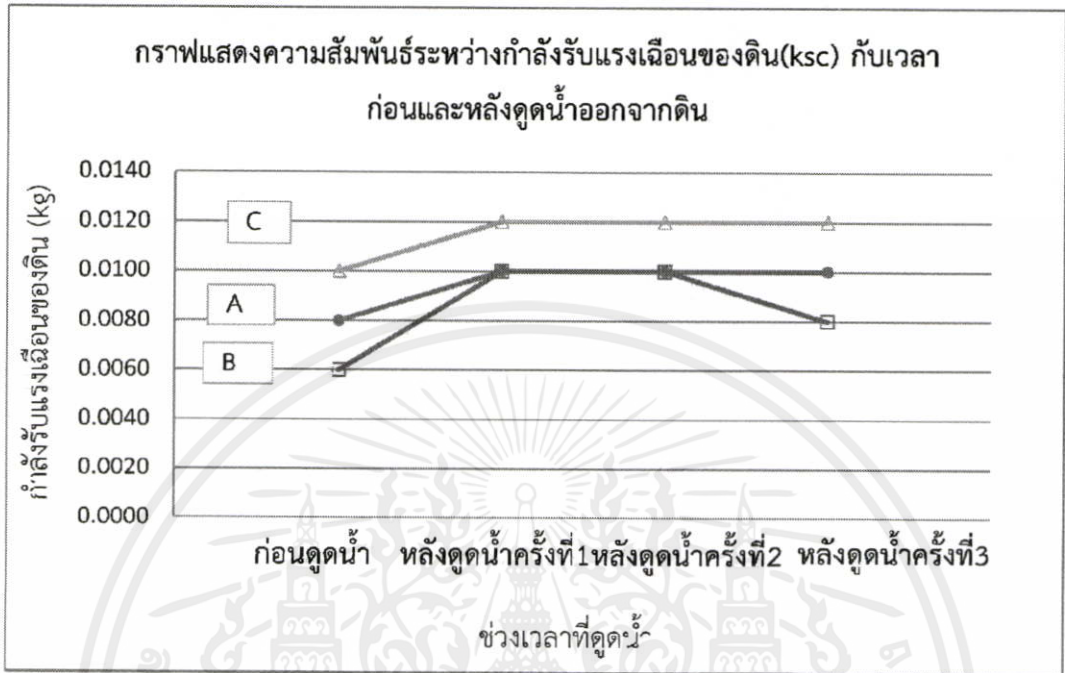
วันที่	เวลา	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือน ของดิน (กก./ซม. ²)
12/2/2557	ก่อนตูดน้ำ	0.3	0.006
12/2/2557	หลังตูดน้ำครั้งที่ 1	0.5	0.010
13/2/2557	หลังตูดน้ำครั้งที่ 2	0.5	0.010
13/2/2557	หลังตูดน้ำครั้งที่ 3	0.4	0.008

ตารางที่ 4.15 แสดงกำลังรับแรงเฉือนของดินกับช่วงเวลาของตัวอย่าง C

วันที่	เวลา	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือน ของดิน (กก./ซม. ²)
12/2/2557	ก่อนตูดน้ำ	0.5	0.010
12/2/2557	หลังตูดน้ำครั้งที่ 1	0.6	0.012
13/2/2557	หลังตูดน้ำครั้งที่ 2	0.6	0.012
13/2/2557	หลังตูดน้ำครั้งที่ 3	0.6	0.012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.3.2) กราฟเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือน (กก/ชม²) กับช่วงเวลาก่อนและหลังการดูน้ำออกจากดิน



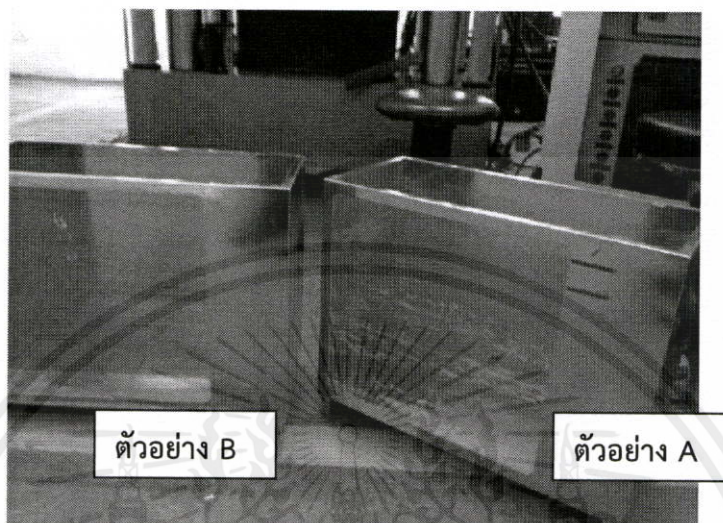
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดินกับเวลาก่อนดูน้ำ - หลังดูน้ำ

จากกราฟจะเห็นได้ว่าการดูน้ำออกจากมวลดิน พบว่ากำลังรับแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นกว่าก่อนการดูน้ำออกจากดิน โดยตัวอย่าง A ก่อนการดูน้ำมีกำลังรับแรงเฉือน 0.008 กก/ชม² ภายหลังจากการดูน้ำออกพบว่ามีกำลังรับแรงเฉือน เท่ากับ 0.010 กก/ชม² ส่วนในตัวอย่าง B ก่อนการดูน้ำมีกำลังรับแรงเฉือน 0.006 กก/ชม² ภายหลังจากการดูน้ำออกพบว่ามีกำลังรับแรงเฉือน เท่ากับ 0.008 กก/ชม² และในตัวอย่าง C ก่อนการดูน้ำมีกำลังรับแรงเฉือน 0.010 กก/ชม² ภายหลังจากการดูน้ำออกพบว่ามีกำลังรับแรงเฉือน เท่ากับ 0.012 กก/ชม² ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพลังงานในการทุบดินที่มากกว่า ทำให้ตัวอย่างดินมีความหนาแน่นกว่า และสามารถบีบน้ำออกมาได้มากกว่าด้วย ชั้นดินจึงมีกำลังรับแรงเฉือนที่สูงกว่า

ในการทดสอบนี้ได้ใช้ดินเหนียวอ่อนมาก เตรียมตัวอย่างดินแบบ Remolded ซึ่งมีกำลังรับแรงเฉือนที่ต่ำมาก และการใช้การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบ vane shear test ที่แข็ง ทำให้การอ่านค่าไม่ละเอียดชัดเจนมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

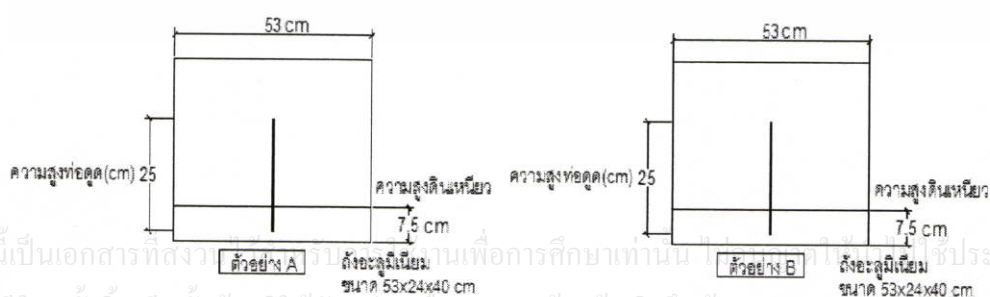
4.2 การตุดน้ำออกจากดินเหนียวโดยใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศ ในแบบจำลองถึง อะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม. ได้ทำการทดลองในถังอะลูมิเนียม 2 ตัวอย่าง นั่นคือ ตัวอย่าง A และ B



รูปที่ 4.23 ตัวอย่าง A และ B ในแบบจำลองถึงอะลูมิเนียมขนาด กว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.

โดยใช้ดินเหนียวจากบริเวณหน้าแลบคอนกรีต ตึกสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ระดับความลึก 2.5 ถึง 7.0 เมตร ซึ่งได้รับความช่วยเหลือจากพี่ทีมงานของอาจารย์อุษะที่ทำการขุดดินด้วยวิธี Undisturb มาทำการทดลองในครั้งนี้ ซึ่งทำให้เป็นดิน disturb โดยการใช้เครื่องปั้นดิน มีปริมาณน้ำในดินเริ่มต้นของทั้ง 2 ตัวอย่างใกล้เคียงกันคือ $115 \pm 2 \%$

แต่แต่ละตัวอย่างใส่ดินเข้าไปในถังอะลูมิเนียมหนาเท่ากันคือ 7.5 ซม. และทำการติดตั้งท่อตุดน้ำตัวอย่างละ 1 ท่อ ที่บริเวณกึ่งกลางถึงอะลูมิเนียม



รูปที่ 4.24 การติดตั้งท่อตุดน้ำลงในตัวอย่าง A และ B

จากนั้นทำการรดน้ำ 1 ครั้ง จากท่อจุด ในตัวอย่าง A และในตัวอย่าง B โดยใช้ปั๊มสุญญากาศที่ความดัน -760 มิลลิเมตรปรอท โดยใช้ระยะเวลาในการรดในแต่ละตัวอย่างประมาณ 45 นาที ทำการวัดระดับน้ำที่ตุ่ดออกมาจากดิน, วัดระยะเวลาการทรุดตัวที่เกิดขึ้นหลังจากการรดน้ำออกแล้ว และทำการวัดปริมาณน้ำในดิน (%water content) ที่เปลี่ยนแปลงไปรวมทั้งวัดค่ากำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นทั้งก่อนการรดน้ำและหลังจากรดน้ำ โดยการวัดปริมาณน้ำในดิน (%water content) และกำลังรับแรงเฉือนโดยใช้ pocket vane shear ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.774 ซม. นั้นจะวัดที่ตำแหน่งต่างๆ นั่นคือวัดที่ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B ทั้งบริเวณผิวดินและบริเวณลึกลงจากผิวดิน



รูปที่ 4.25 แสดงตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B

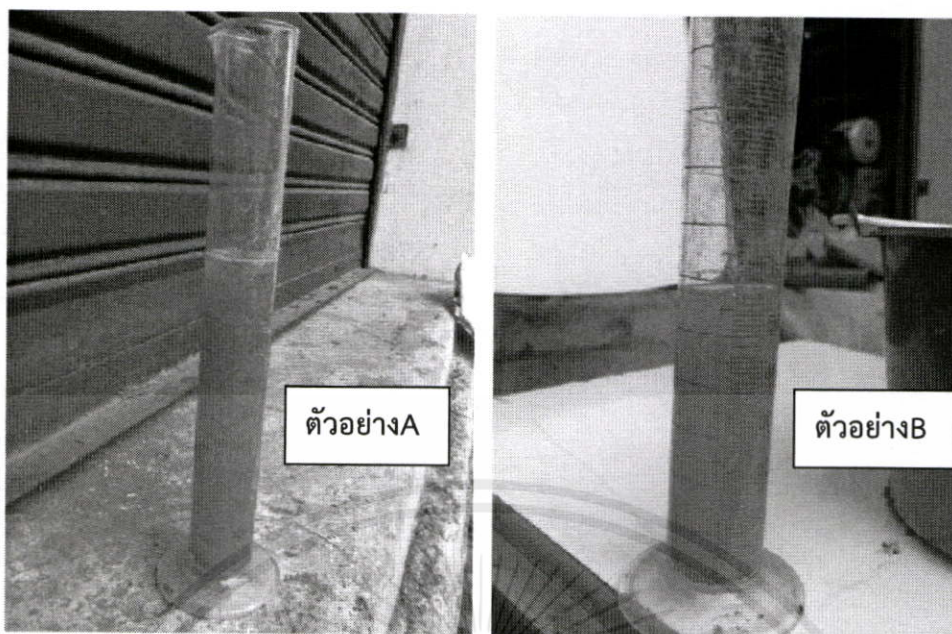
4.2.1 ปริมาณน้ำที่ตุ่ดออกจากดิน

ตารางบันทึกผลปริมาณน้ำที่ตุ่ดออกมาจากตัวอย่างดินทั้ง 2 ตัวอย่าง นั่นคือจากตัวอย่าง A และ B โดยใช้ปั๊มสุญญากาศที่ความดัน -760 มิลลิเมตรปรอท และใช้ระยะเวลาในการรดเท่ากันคือ 45 นาที

ตารางที่ 4.16 แสดงปริมาณน้ำที่ตุ่ดออกมาจากตัวอย่างดิน A และ B

ตัวอย่าง	วัน	เวลาเริ่มรดน้ำ	ระยะเวลาที่ใช้ในการรด (นาที)	ปริมาณน้ำที่ตุ่ดออกมาได้ (มล.)
A	18/3/2557	13:07	45	97
B	17/3/2557	15:23	45	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ปริมาณน้ำที่ดูดออกมาได้จากตัวอย่าง A และ B

หลังจากการดูดน้ำออกจากตัวอย่างดินโดยใช้ปั๊มสุญญากาศที่ความดัน -760 มิลลิเมตรปรอท เป็นระยะเวลา 45 นาที พบว่า ปริมาณน้ำที่ดูดออกมาจากตัวอย่าง A ได้ 97 มล. และตัวอย่าง B ได้ 58 มล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ปริมาณน้ำในดิน (%water content)

4.2.2.1) ตารางบันทึกผลปริมาณน้ำในดินก่อนและหลังการรดน้ำออกจากดินโดยใช้ปั๊มสุญญากาศที่ความดัน -760 มิลลิเมตรปรอท ที่ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B บริเวณผิวดินและลึกลงไปดิน

ตารางที่ 4.17 แสดงปริมาณน้ำในดินก่อนและหลังการรดน้ำออกจากดินที่ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A บริเวณผิวดิน

วัน	ช่วงเวลา	ตำแหน่ง	น้ำหนัก กระป๋อง (กรัม)	ก่อนอบ	หลังอบ	%water content
				น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน(กรัม)	น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน(กรัม)	
18/3/2557	ก่อนรดน้ำ	A1	14.70	46.12	29.42	113.45
		A2	12.68	58.46	34.04	114.33
		A3	12.62	45.03	27.81	113.36
18/3/2557	หลังรดน้ำทันที	A1	15.66	33.54	24.14	110.85
		A2	15.53	41.08	27.55	112.56
		A3	15.65	37.07	25.94	108.16
19/3/2557	หลังรดน้ำครั้งที่1	A1	13.37	29.85	21.23	109.67
		A2	13.20	26.06	19.32	110.13
		A3	13.44	30.29	21.59	106.75
19/3/2557	หลังรดน้ำครั้งที่2	A1	12.76	27.72	19.92	108.94
		A2	14.64	29.20	21.62	108.60
		A3	14.69	30.19	22.22	105.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้พิมพ์ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 แสดงปริมาณน้ำในดินก่อนและหลังการดูน้ำออกจากดินที่ตำแหน่ง A1 , A2 , A3
ในตัวอย่าง A บริเวณลึกลงไปดิน

วัน	ช่วงเวลา	ตำแหน่ง	น้ำหนัก กระป๋อง (กรัม)	ก่อนอบ	หลังอบ	%water content
				น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน(กรัม)	น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน(กรัม)	
18/3/2557	ก่อนดูน้ำ	A1	13.48	18.29	15.71	115.70
		A2	13.39	17.77	15.43	114.71
		A3	13.45	16.50	14.88	113.29
18/3/2557	หลังดูน้ำทันที	A1	13.22	17.47	15.22	112.50
		A2	12.77	15.76	14.17	113.57
		A3	9.04	12.19	10.54	110.00
19/3/2557	หลังดูน้ำครั้งที่1	A1	13.52	17.80	15.54	111.88
		A2	16.21	20.46	18.21	112.50
		A3	13.52	17.09	15.23	108.77
19/3/2557	หลังดูน้ำครั้งที่2	A1	13.19	17.44	15.20	111.44
		A2	12.85	16.96	14.79	111.86
		A3	12.99	16.83	14.83	108.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 แสดงปริมาณน้ำในดินก่อนและหลังการดูดน้ำออกจากดินที่ตำแหน่ง B1 , B2 , B3
ในตัวอย่าง B บริเวณผิวดิน

วัน	ช่วงเวลา	ตำแหน่ง	น้ำหนัก กระป๋อง (กรัม)	ก่อนอบ	หลังอบ	%water content
				น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน(กรัม)	น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน(กรัม)	
17/3/1957	ก่อนดูดน้ำ	B1	13.48	31.67	21.82	118.11
		B2	14.55	40.23	26.31	118.37
		B3	13.23	34.98	23.24	117.28
17/3/1957	หลังดูดน้ำทันที	B1	11.54	28.11	19.22	115.76
		B2	12.78	30.54	21.00	116.06
		B3	11.02	27.67	18.81	113.74
18/3/1957	หลังดูดน้ำครั้งที่1	B1	9.00	22.93	15.57	112.02
		B2	10.51	35.78	22.42	112.17
		B3	9.46	29.28	18.88	110.40
18/3/1957	หลังดูดน้ำครั้งที่2	B1	9.25	22.17	15.45	108.39
		B2	13.40	26.78	19.80	109.06
		B3	12.87	25.52	19.00	106.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

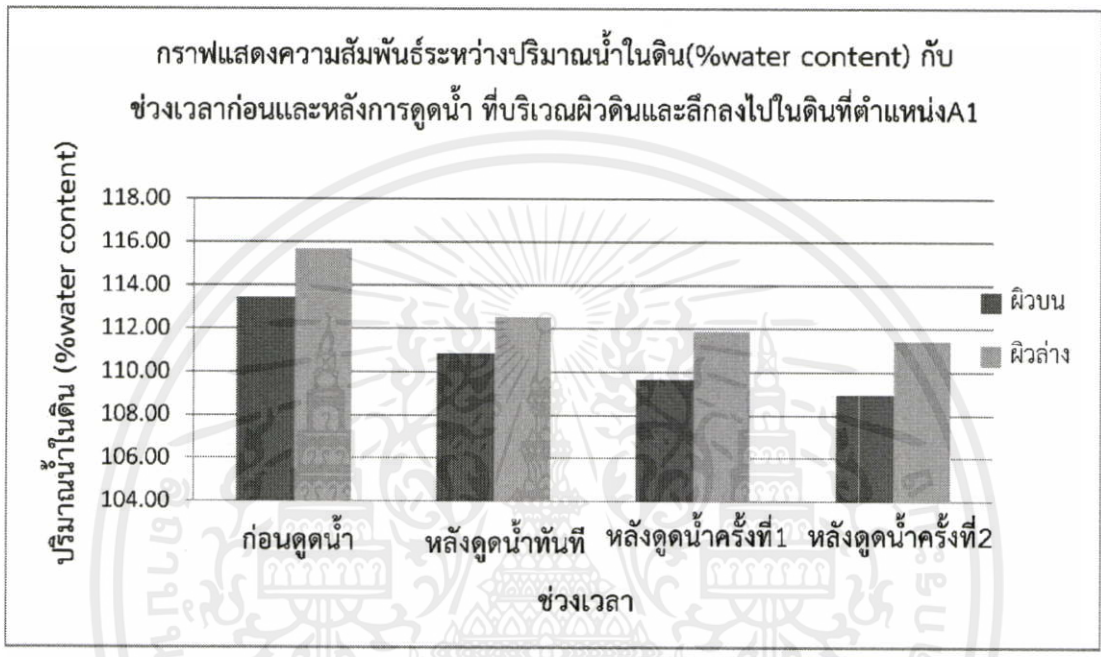
ตารางที่ 4.20 แสดงปริมาณน้ำในดินก่อนและหลังการดูดน้ำออกจากดินที่ตำแหน่ง B1 , B2 , B3
ในตัวอย่าง B บริเวณลึกกลงไปในดิน

วัน	ช่วงเวลา	ตำแหน่ง	น้ำหนัก กระป๋อง (กรัม)	ก่อนอบ	หลังอบ	%water content
				น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน(กรัม)	น้ำหนัก กระป๋อง+ ดิน(กรัม)	
17/3/1957	ก่อนดูดน้ำ	B1	13.54	20.04	16.51	118.86
		B2	15.69	20.81	18.04	117.87
		B3	14.72	19.42	16.87	118.60
17/3/1957	หลังดูดน้ำทันที	B1	13.39	18.15	15.60	115.38
		B2	13.51	19.00	16.06	115.29
		B3	15.64	20.35	17.84	114.09
18/3/1957	หลังดูดน้ำครั้งที่1	B1	13.23	18.00	15.45	114.86
		B2	14.68	19.92	17.11	115.64
		B3	13.54	18.22	15.74	112.73
18/3/1957	หลังดูดน้ำครั้งที่2	B1	13.02	16.73	14.75	114.45
		B2	16.23	20.64	18.29	114.08
		B3	13.54	18.34	15.80	112.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน (%water content) กับ ช่วงเวลาก่อนและหลังการรดน้ำ ที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน ของตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ใน ตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B

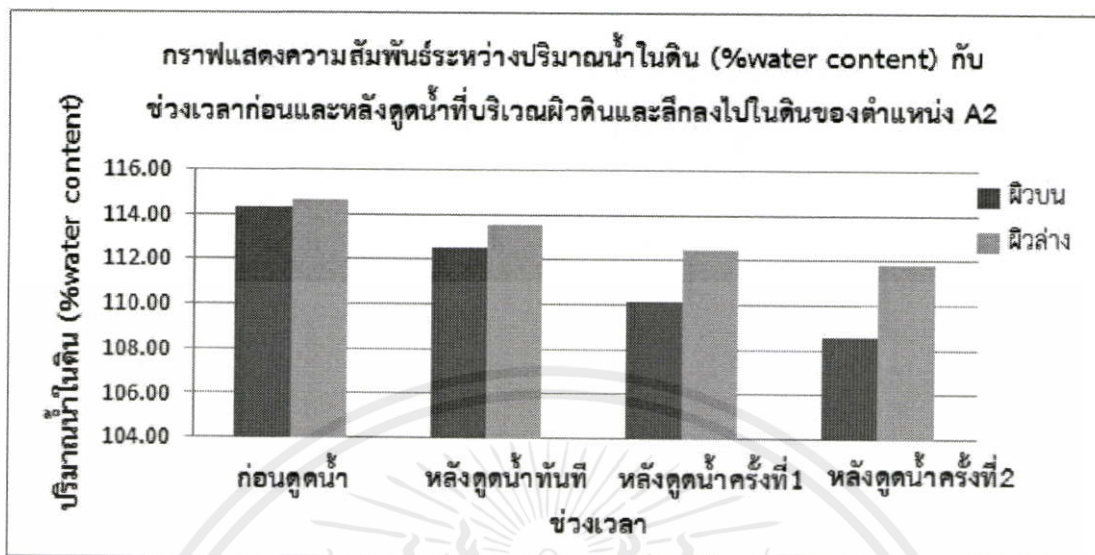
ตัวอย่าง A ตำแหน่ง A1



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังการรดน้ำ ที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน ของตำแหน่ง A1

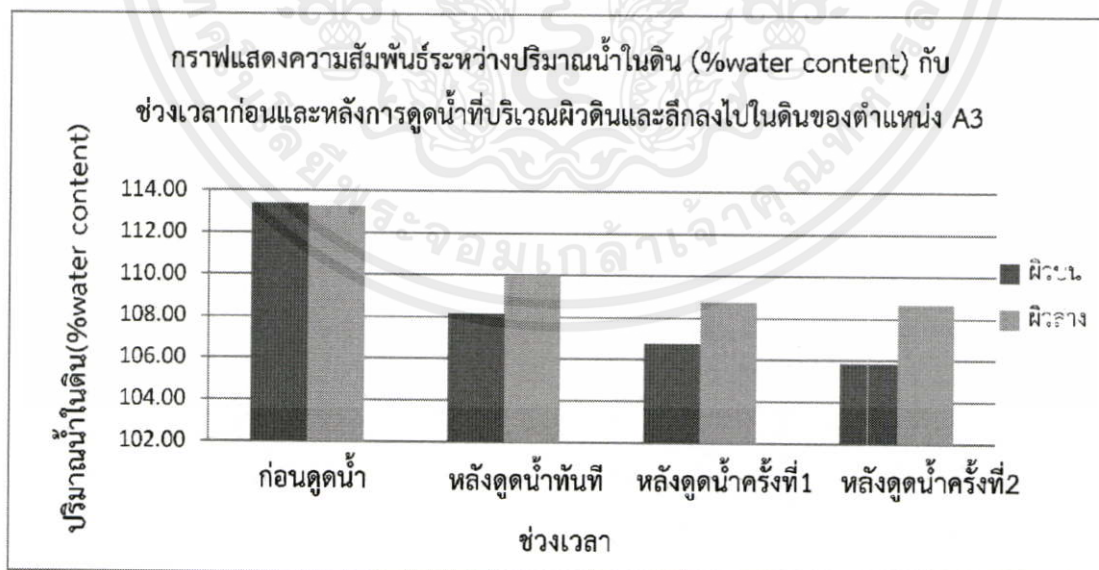
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง A ตำแหน่ง A2



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลา ก่อนและหลังการรดน้ำ ที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน ของตำแหน่ง A2

ตัวอย่าง A ตำแหน่ง A3

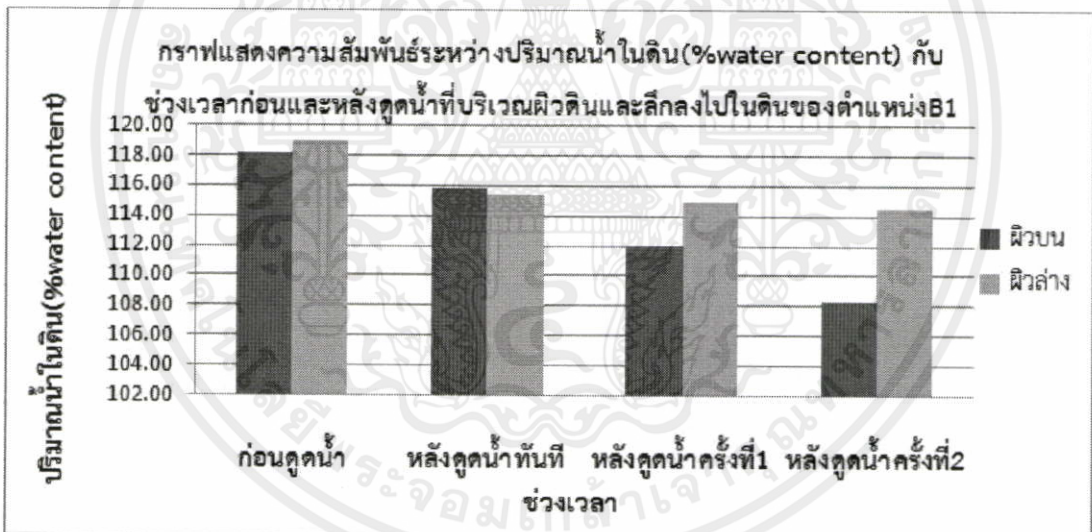


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลา ก่อนและหลังการรดน้ำ ที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน ของตำแหน่ง A3

จากกราฟปริมาณน้ำในดินที่ตำแหน่ง A1 , A2 และ A3 ในตัวอย่าง A ที่ช่วงเวลาก่อนการรดน้ำจะมีปริมาณน้ำในดินเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกันทั้งบริเวณผิวดินและบริเวณลึกลงไปใต้ดิน ทั้งนี้เพราะมีการปั่นดินให้เข้ากันก่อนที่จะนำดินนั้นมาใช้ทำการทดลอง เมื่อทำการรดน้ำออกจากดินโดยใช้ปั๊มสุญญากาศที่ความดัน -760 มิลลิเมตรปรอท จะพบว่าหลังจากการรดน้ำออกทันทีนั้นปริมาณน้ำในดินลดลงจากตอนก่อนรดน้ำอย่างเห็นได้ชัดทั้งบริเวณผิวดินและบริเวณลึกลงไปใต้ดิน และเมื่อเวลาผ่านไปได้ทำการวัดปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงไปพบว่าหลังรดน้ำครั้งที่ 1 และหลังรดน้ำครั้งที่ 2 นั้น ปริมาณน้ำในดินมีการลดลงเล็กน้อยที่บริเวณผิวดินและมีค่าที่ใกล้เคียงกันที่บริเวณลึกลงไปใต้ดิน

และจากกราฟจะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่ง A1 , A2 และ A3 ในตัวอย่าง A หลังจากการรดน้ำแล้ว ที่ช่วงเวลาเดียวกันปริมาณน้ำในดินบริเวณผิวดินจะมีค่าน้อยกว่าบริเวณลึกลงไปใต้ดิน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่บริเวณผิวดินของดินน้ำจะเกิดการระเหยทำให้ผิวดินมีปริมาณน้ำในดินที่วัดได้น้อยกว่าปริมาณน้ำในดินที่บริเวณลึกลงไปใต้ดิน

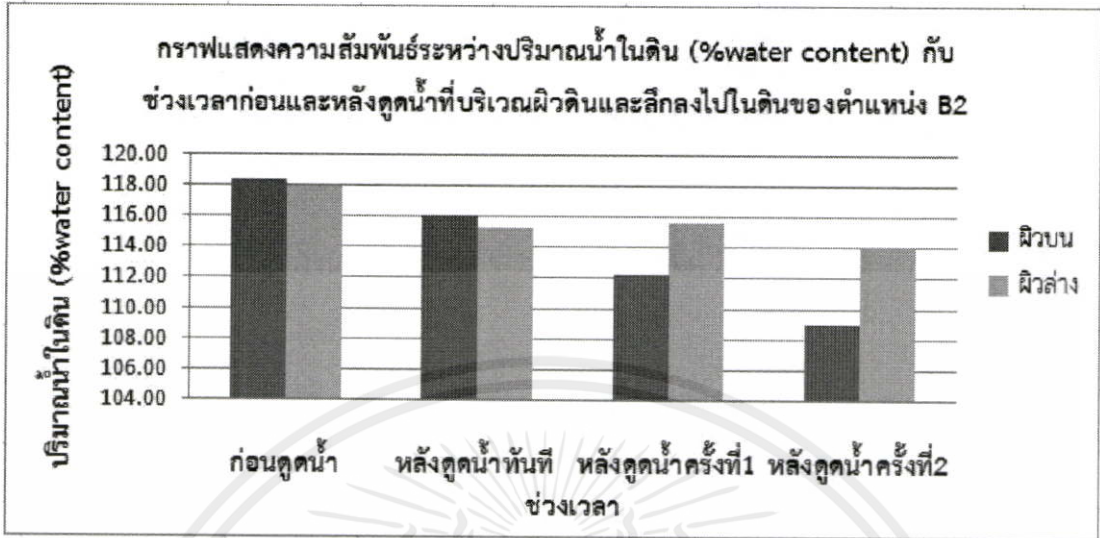
ตัวอย่าง B ตำแหน่ง B1



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังการรดน้ำที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน ของตำแหน่ง B1

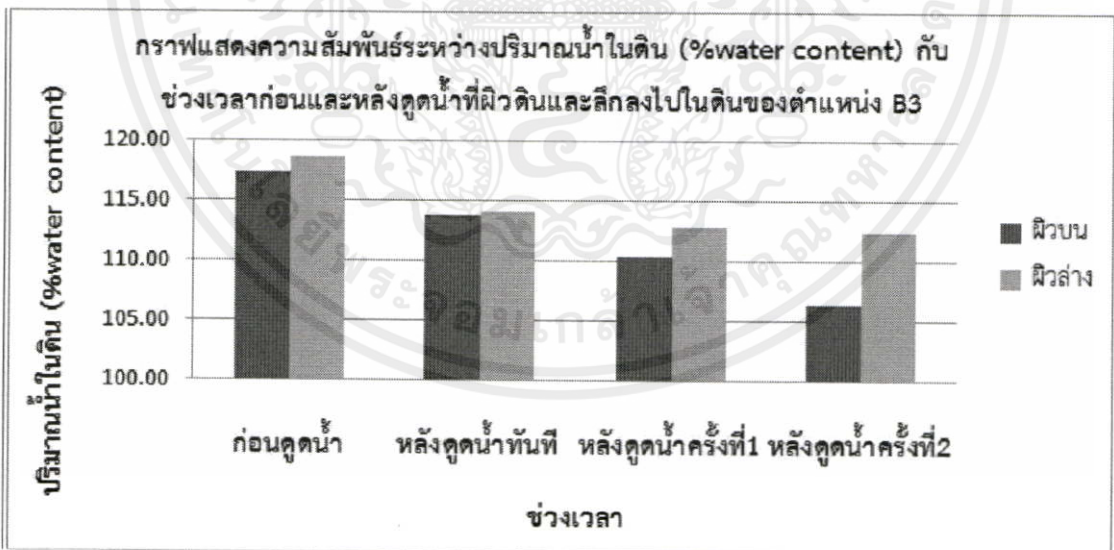
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง B ตำแหน่ง B2



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังการตุน้ำ ที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน ของตำแหน่ง B2

ตัวอย่าง B ตำแหน่ง B3



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังการตุน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน ของตำแหน่ง B3 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

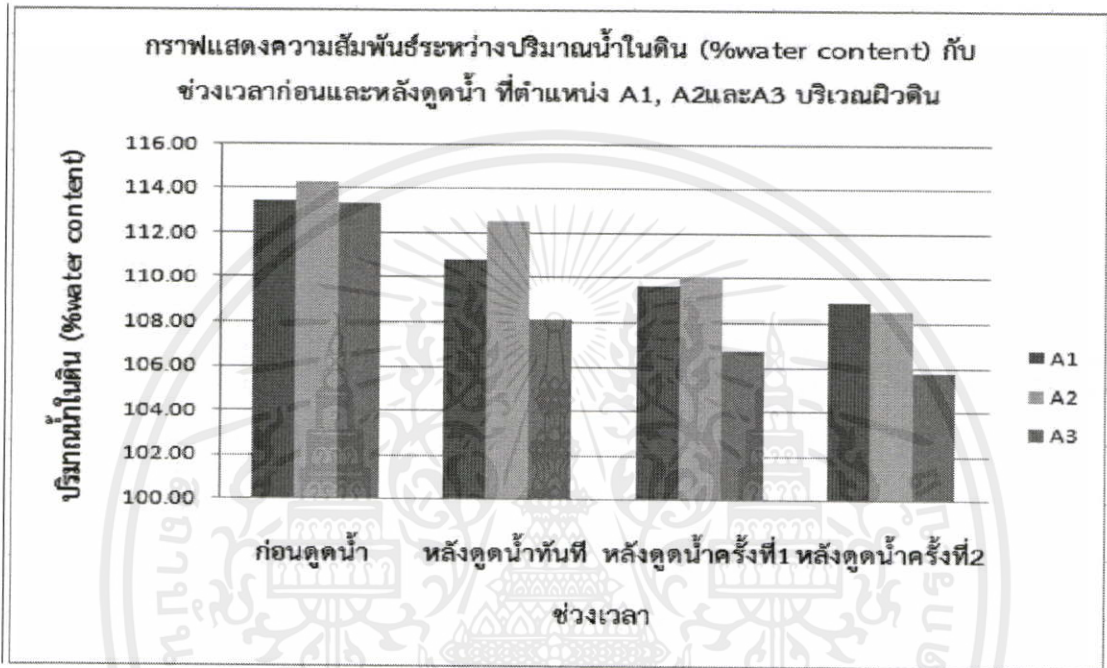
จากกราฟปริมาณน้ำในดินที่ตำแหน่ง B1, B2 และ B3 ในตัวอย่าง B ที่ช่วงเวลาก่อนการดูดน้ำจะมีปริมาณน้ำในดินเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกันทั้งบริเวณผิวดินและบริเวณลึกลงไปดินทั้งนี้เพราะมีการปั่นดินให้เข้ากันก่อนที่จะนำดินนั้นมาใช้ทำการทดลอง เมื่อทำการดูดน้ำออกจากดินโดยใช้ปั๊มสุญญากาศที่ความดัน -760 มิลลิเมตรปรอท จะพบว่าหลังจากการดูดน้ำออกทันทีนั้นปริมาณน้ำในดินลดลงทั้งบริเวณผิวดินและบริเวณลึกลงไปดิน อย่างเห็นได้ชัดและเมื่อเวลาผ่านไปพบว่าหลังดูดน้ำครั้งที่ 1 ปริมาณน้ำในดินทั้งบริเวณผิวดินและบริเวณลึกลงไปดินมีการลดลง รวมทั้งหลังดูดน้ำครั้งที่ 2 ปริมาณน้ำในดินยังมีแนวโน้มลดลงไปอีกโดยเฉพาะบริเวณผิวดินที่มีการลดลงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนบริเวณลึกลงไปดินนั้นปริมาณน้ำในดินมีค่าใกล้เคียงกับช่วงเวลาหลังดูดน้ำครั้งที่ 1 หรืออาจมีการลดลงมากกว่าหลังดูดน้ำครั้งที่ 1 เล็กน้อย

และจากกราฟจะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่ง B1 , B2 และ B3 ในตัวอย่าง B หลังจากการดูดน้ำแล้วที่ช่วงเวลาเดียวกัน นั่นคือช่วงเวลาหลังดูดน้ำทันที, หลังดูดน้ำครั้งที่ 1 และหลังดูดน้ำครั้งที่ 2 ปริมาณน้ำในดินบริเวณผิวดินจะมีค่าน้อยกว่าบริเวณลึกลงไปดิน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่บริเวณผิวน้ำของดินน้ำจะเกิดการระเหยทำให้ผิวน้ำดินมีปริมาณน้ำในดินที่วัดได้น้อยกว่าปริมาณน้ำในดินที่บริเวณลึกลงไปดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน (%water content) กับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำ ที่ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B ที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน

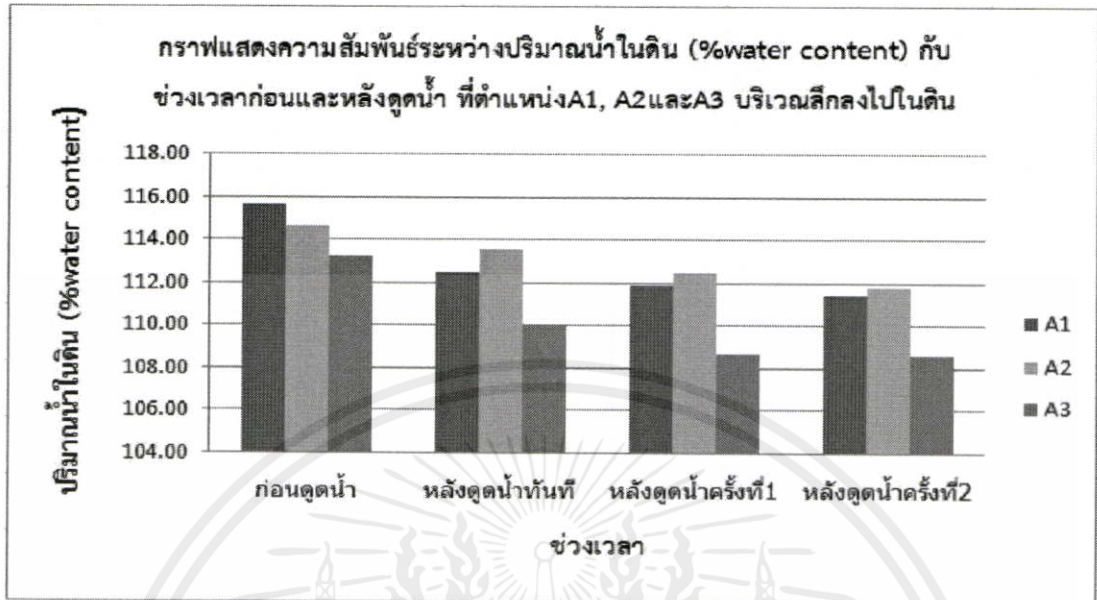
ตัวอย่าง A บริเวณผิวดิน



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน (%water content) กับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำ ที่ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A ที่บริเวณผิวดิน

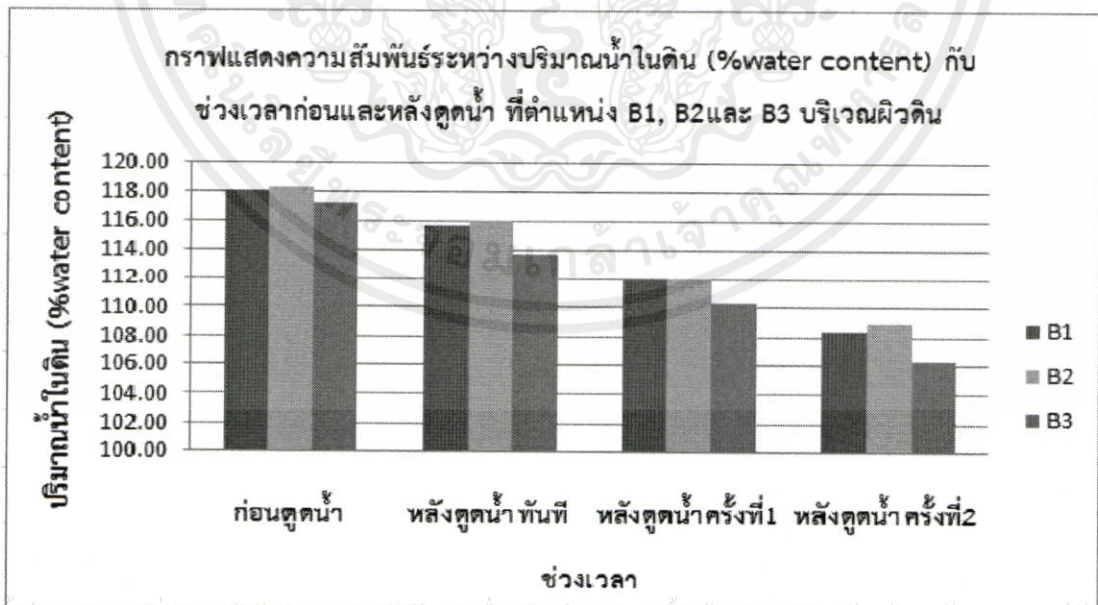
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง A บริเวณลึกลงไปในดิน



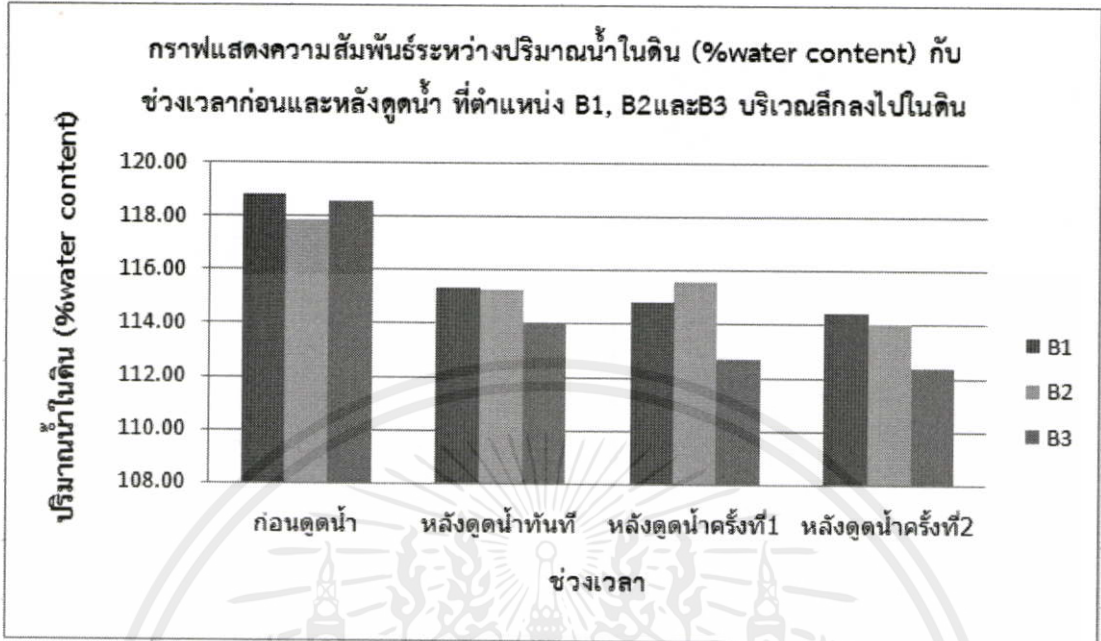
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน (%water content) กับช่วงเวลา ก่อนและหลังตุน้ำ ที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A ที่บริเวณลึกลงไปในดิน

ตัวอย่าง B บริเวณผิวดิน



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน (%water content) กับช่วงเวลา ก่อนและหลังตุน้ำ ที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B ที่บริเวณผิวดิน

ตัวอย่าง B บริเวณลึกลงไปในดิน



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน (%water content) กับช่วงเวลาก่อน และหลังตุน้ำ ที่ตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B ที่บริเวณลึกลงไปในดิน

จากกราฟปริมาณน้ำในดินของตัวอย่าง A และ B มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ที่ตำแหน่ง A1 หรือ B1 จะมีศูนย์กลางของการวัดค่าอยู่ห่างจากท่อตุน้ำเป็นระยะ 10 ซม., ตำแหน่ง A2 หรือ B2 มีศูนย์กลางของการวัดค่าอยู่ห่างจากท่อตุน้ำเป็นระยะ 20 ซม. และตำแหน่ง A3 หรือ B3 จะเป็นตำแหน่งที่มีการวัดค่าบริเวณใกล้ ๆ กับท่อตุน้ำ ซึ่งจะพบว่าที่ช่วงเวลาก่อนการตุน้ำปริมาณน้ำในดินเริ่มต้นของทั้งตัวอย่าง A และ B ที่ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B มีค่าที่ใกล้เคียงกัน นั่นคือ 115 ± 2 % ภายหลังจากการตุน้ำแล้วปริมาณน้ำในดินที่ช่วงเวลาเดียวกันของตำแหน่งต่าง ๆ มีค่าที่แตกต่างกัน นั่นคือ ที่ตำแหน่ง A2 หรือ B2 จะมีปริมาณน้ำในดินมากที่สุด รองลงมาคือตำแหน่ง A1 หรือ B1 และมีปริมาณน้ำในดินที่น้อยที่สุดที่ตำแหน่ง A3 หรือ B3 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับท่อตุน้ำมากที่สุด ทำให้เห็นได้ว่าบริเวณที่อยู่ใกล้กับท่อตุน้ำมากที่สุดจะได้รับอิทธิพลในการตุน้ำมากทำให้น้ำในดินบริเวณนั้นมีค่าน้อย ในขณะที่ตำแหน่งที่ห่างออกมาจากท่อตุน้ำอาจได้รับอิทธิพลในการตุน้ำน้อยเนื่องจากดินเหนียวมีความสามารถในการไหลซึมผ่านต่ำ จึงทำให้น้ำในดินเคลื่อนตัวเข้าหาท่อตุน้ำได้น้อยซึ่งอาจจะต้องใช้ระยะเวลาในการเคลื่อนตัวที่นานกว่านี้ ทำให้บริเวณที่อยู่ห่างไกลจากท่อตุน้ำออกไปอาจพบว่ามีน้ำเหลืออยู่จึงทำให้ปริมาณน้ำในดินมีค่าสูง นั่นคือยิ่งบริเวณที่ห่างออกมาจากท่อตุน้ำในดินก็จะยังคงมีอยู่มากเช่นกัน

4.2.3 กำลังรับแรงเฉือนของดิน

โดยใช้ Pocket Vane Shear ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.774 ซม. วัดกำลังรับแรงเฉือนของดิน โดยการกดเครื่องมือลงไปบนดินทั้งบริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดินที่ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B แล้วอ่านค่าที่เกิดขึ้น ซึ่งทำการวัดทั้งก่อนและหลังการดูดน้ำ

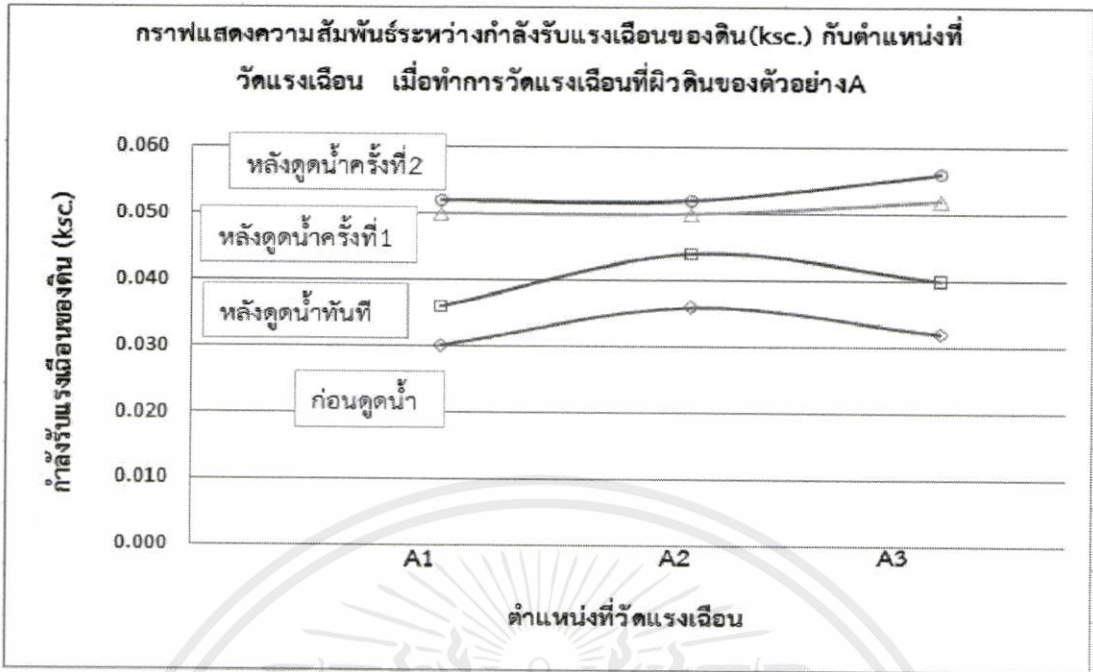
ตารางบันทึกผลกำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน (กก./ซม.²) กับตำแหน่งที่วัดแรงเฉือน A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน ทั้งก่อนและหลังการดูดน้ำ

ตัวอย่าง A บริเวณผิวดิน

ตารางที่ 4.21 แสดงกำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ที่ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A บริเวณผิวดิน ทั้งก่อนและหลังการดูดน้ำ

ตำแหน่ง	A1		A2		A3	
	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (กก/ซม. ²)	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (กก/ซม. ²)	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (กก/ซม. ²)
ก่อนดูดน้ำ	1.5	0.030	1.8	0.036	1.6	0.032
หลังดูดน้ำทันที	1.8	0.036	2.2	0.044	2.0	0.040
หลังดูดน้ำครั้งที่ 1	2.5	0.050	2.5	0.050	2.6	0.052
หลังดูดน้ำครั้งที่ 2	2.6	0.052	2.6	0.052	2.8	0.056

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

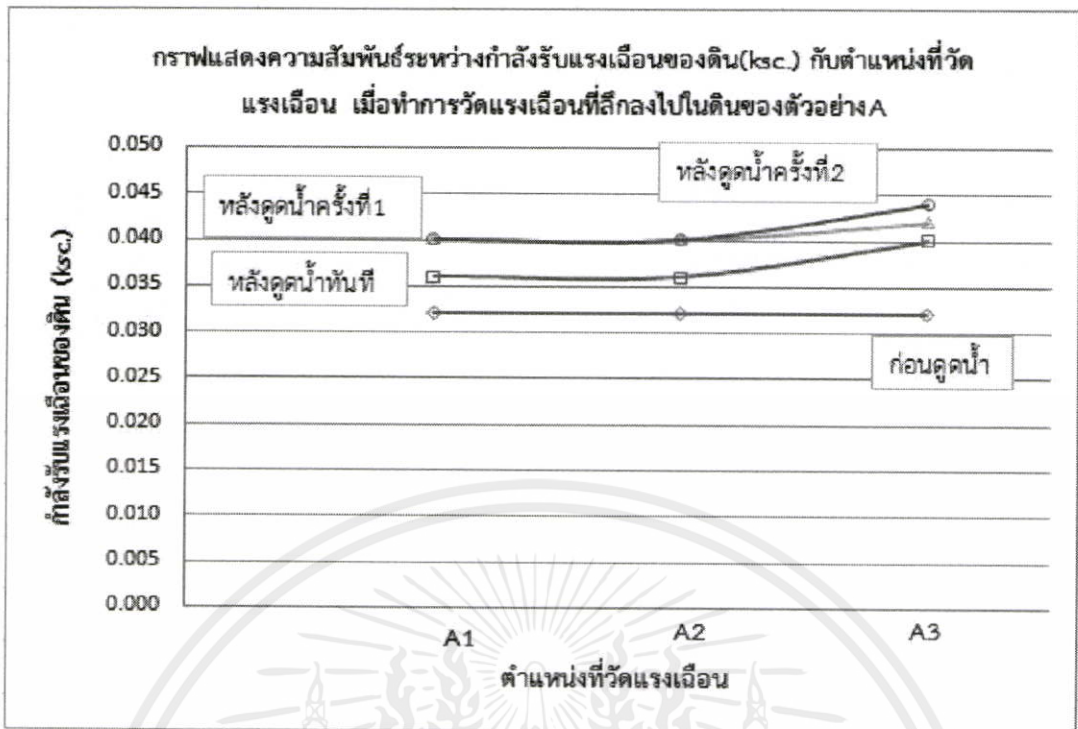


รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับตำแหน่งที่วัดแรงเฉือน A1 , A2, A3 ในตัวอย่าง A บริเวณผิวดิน ทั้งก่อนและหลังการตุน้ำ

ตัวอย่าง A บริเวณลึกลงไปใต้ดิน

ตารางที่ 4.22 แสดงกำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A บริเวณลึกลงไปใต้ดิน ทั้งก่อนและหลังการตุน้ำ

ตำแหน่ง	A1		A2		A3	
	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (กก/ซม. ²)	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (กก/ซม. ²)	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (กก/ซม. ²)
ก่อนตุน้ำ	1.6	0.032	1.6	0.032	1.6	0.032
หลังตุน้ำทันที	1.8	0.036	1.8	0.036	2.0	0.040
หลังตุน้ำครั้งที่ 1	2.0	0.040	2.0	0.040	2.1	0.042
หลังตุน้ำครั้งที่ 2	2.0	0.040	2.0	0.040	2.2	0.044



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับตำแหน่งที่วัดแรงเฉือน A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A บริเวณลึกกลงไปในดิน ทั้งก่อนและหลังการตูดน้ำ

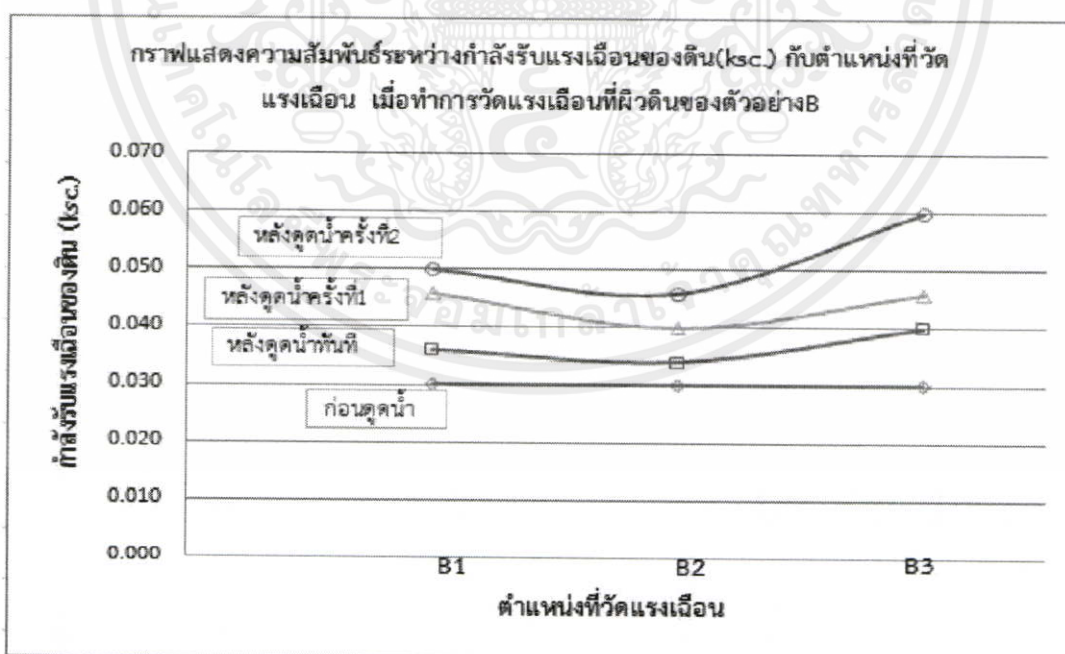
จากกราฟพบว่าในตัวอย่าง A ที่ตำแหน่งต่างกัน นั่นคือ ตำแหน่ง A1 , A2 และ A3 ทั้งบริเวณผิวดินและลึกกลงไปในดินมีค่ากำลังรับแรงเฉือนที่แตกต่างกัน โดยที่บริเวณผิวดินและลึกกลงไปในดินค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ตำแหน่ง A3 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับท่อตูดน้ำมากที่สุดนั้นจะมีค่ากำลังรับแรงเฉือนที่วัดได้มากที่สุดนั่นคือมากกว่าที่ตำแหน่ง A1 ซึ่งมีศูนย์กลางของการวัดค่าอยู่ห่างจากท่อตูดน้ำเป็นระยะ 10 ซม. และตำแหน่ง A2 มีศูนย์กลางของการวัดค่าอยู่ห่างจากท่อตูดน้ำเป็นระยะ 20 ซม. เป็นส่วนใหญ่ ทั้งช่วงเวลาหลังตูดน้ำทันที , หลังตูดน้ำครั้งที่ 1 และหลังตูดน้ำครั้งที่ 2 แต่ก็มีช่วงเวลาตำแหน่ง A3 สามารถวัดค่ากำลังรับแรงเฉือนได้น้อยกว่าตำแหน่งอื่น ส่วนที่ตำแหน่ง A1 และ A2 มีค่ากำลังรับแรงเฉือนที่วัดได้หลังจากการตูดน้ำแล้วทั้งที่บริเวณผิวดินและลึกกลงไปในดินส่วนใหญ่มีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะที่บริเวณลึกกลงไปในดิน ค่าที่วัดได้แทบไม่ต่างกันเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง B บริเวณผิวดิน

ตารางที่ 4.23 แสดงกำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ที่ตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B บริเวณผิวดิน ทั้งก่อนและหลังการดูดน้ำ

ตำแหน่ง	B1		B2		B3	
	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (กก/ซม. ²)	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (กก/ซม. ²)	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (กก/ซม. ²)
ก่อนดูดน้ำ	1.5	0.030	1.5	0.030	1.5	0.030
หลังดูดน้ำทันที	1.8	0.036	1.7	0.034	2.0	0.040
หลังดูดน้ำครั้งที่ 1	2.3	0.046	2.0	0.040	2.3	0.046
หลังดูดน้ำครั้งที่ 2	2.5	0.050	2.3	0.046	3.0	0.060



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

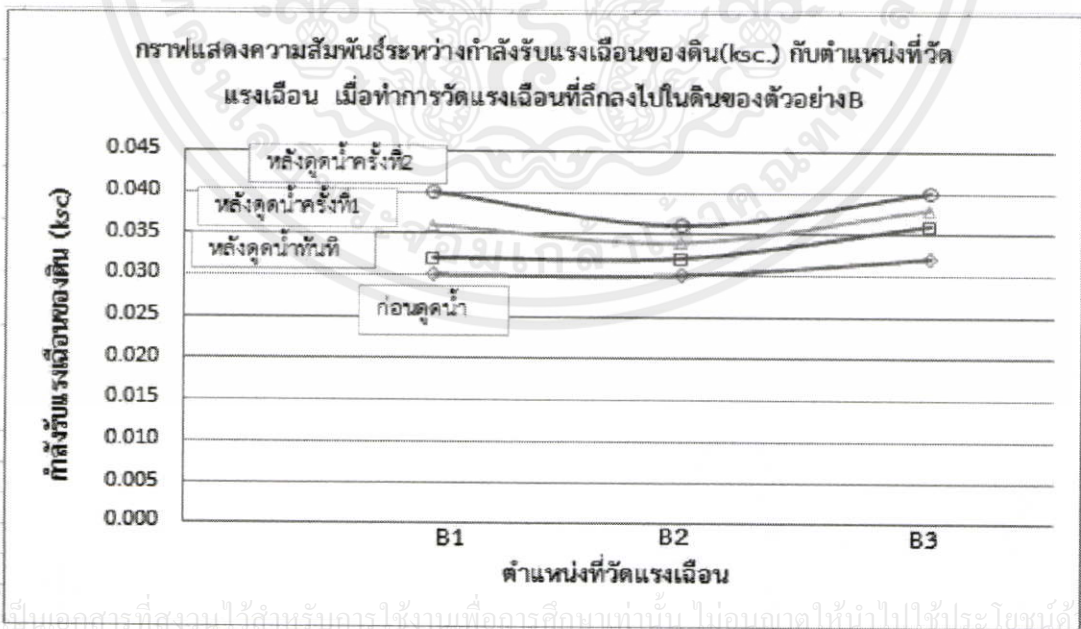
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับตำแหน่งที่วัดแรงเฉือน

B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B บริเวณผิวดิน ทั้งก่อนและหลังการดูดน้ำ

ตัวอย่างB บริเวณลึกลงไปในดิน

ตารางที่ 4.24 แสดงกำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ที่ตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B บริเวณลึกลงไปในดิน ทั้งก่อนและหลังการดูหน้า

ตำแหน่ง	B1		B2		B3	
	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (กก/ชม.²)	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (กก/ชม.²)	ค่าที่อ่านได้ (ช่อง)	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (กก/ชม.²)
ก่อนดูหน้า	1.5	0.030	1.5	0.030	1.6	0.032
หลังดูหน้าทันที	1.6	0.032	1.6	0.032	1.8	0.036
หลังดูหน้าครั้งที่1	1.8	0.036	1.7	0.034	1.9	0.038
หลังดูหน้าครั้งที่2	2.0	0.040	1.8	0.036	2.0	0.040



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรอ้างอิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับตำแหน่งที่วัดแรงเฉือน

B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B บริเวณลึกลงไปในดิน ทั้งก่อนและหลังการดูหน้า

จากกราฟพบว่าในตัวอย่าง B ที่ตำแหน่งต่างกัน นั่นคือ ตำแหน่ง B1 , B2 และ B3 ทั้งบริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดินมีค่ากำลังรับแรงเฉือนที่แตกต่างกัน โดยที่ตำแหน่ง B3 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับท่อตูดน้ำมากที่สุดนั้นที่ช่วงเวลาหลังตูดน้ำทันที , หลังตูดน้ำครั้งที่ 1 และหลังตูดน้ำครั้งที่ 2 จะสามารถวัดกำลังรับแรงเฉือนบริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดินได้มากกว่าตำแหน่ง B1 และ B2 ที่บริเวณการวัดเดียวกันอย่างเห็นได้ชัดเจน ที่ตำแหน่ง B1 ซึ่งมีศูนย์กลางของการวัดค่าอยู่ห่างจากท่อตูดน้ำเป็นระยะ 10 ซม. นั้นสามารถวัดกำลังรับแรงเฉือนได้น้อยกว่าตำแหน่ง B3 แต่มากกว่าตำแหน่ง B2 ทั้งที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดินที่ช่วงเวลาภายหลังจากการตูดน้ำออกแล้ว และตำแหน่ง B2 ซึ่งมีศูนย์กลางของการวัดค่าอยู่ห่างจากท่อตูดน้ำเป็นระยะ 20 ซม. สามารถวัดกำลังรับแรงเฉือนที่บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดินได้ค่าน้อยที่สุด

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดินกับตำแหน่งที่ทำการวัดที่ช่วงเวลาต่างกันนั้นทั้งบริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดินของตัวอย่าง A และ B

พบว่าทั้ง 2 ตัวอย่าง ที่ผิวดินนั้นจะมีกำลังรับแรงเฉือนที่มากกว่าที่บริเวณลึกลงไปใต้ดินที่ตำแหน่งการวัดเดียวกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่บริเวณผิวดินสัมผัสกับอากาศทำให้น้ำในดินเกิดการระเหยที่ผิวดิน ดินเกิดการแห้ง เมื่อทำการวัดแรงเฉือนจึงทำให้มีค่ากำลังรับแรงเฉือนที่มากกว่าบริเวณที่อยู่ลึกลงไปใต้ดิน

ที่ตำแหน่งการวัดต่างกันค่ากำลังรับแรงเฉือนที่วัดได้ต่างกันด้วย บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดินที่ตำแหน่งใกล้กับท่อตูดน้ำมากที่สุด นั่นคือ A3 หรือ B3 จะมีค่ากำลังรับแรงเฉือนมากที่สุด รองลงมาคือตำแหน่ง A1 หรือ B1 และน้อยสุดที่ตำแหน่ง A2 หรือ B2 ทั้งนี้เกิดจากอิทธิพลของการตูดน้ำออกจากมวลดิน ยิ่งตำแหน่งที่ทำการวัดอยู่ใกล้กับท่อตูดน้ำมาก น้ำบริเวณนั้นจะสามารถเคลื่อนตัวออกมาได้ง่ายกว่าบริเวณที่อยู่ห่างไกลออกไป จึงทำปริมาณน้ำในดินบริเวณนั้นเหลืออยู่น้อยกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นจึงสามารถวัดค่ากำลังรับแรงเฉือนได้มากกว่าบริเวณอื่นด้วย

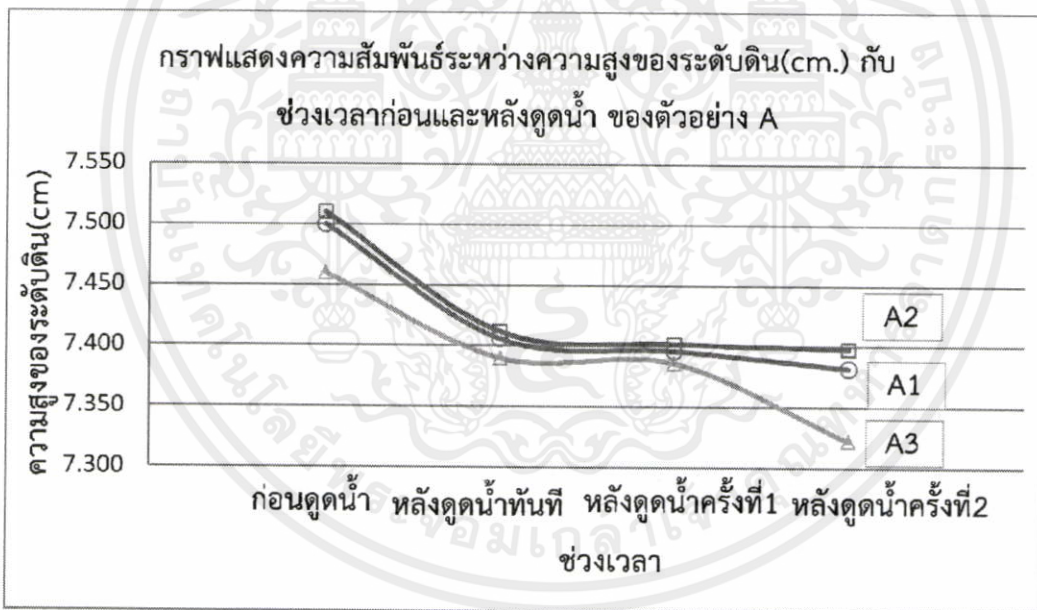
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ระยะการทรุดตัว

ตารางบันทึกผลระยะการทรุดตัวและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของระดับดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังดูน้ำ ที่ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B

ตารางที่ 4.25 แสดงระดับความสูงดิน ที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A

วัน	ช่วงเวลา	A1 (ซม.)	A2 (ซม.)	A3 (ซม.)
18/3/2557	ก่อนดูน้ำ	7.500	7.510	7.460
18/3/2557	หลังดูน้ำทันที	7.406	7.412	7.390
19/3/2557	หลังดูน้ำครั้งที่1	7.396	7.402	7.386
19/3/2557	หลังดูน้ำครั้งที่2	7.382	7.398	7.322



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของระดับดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังดูน้ำ ที่ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A

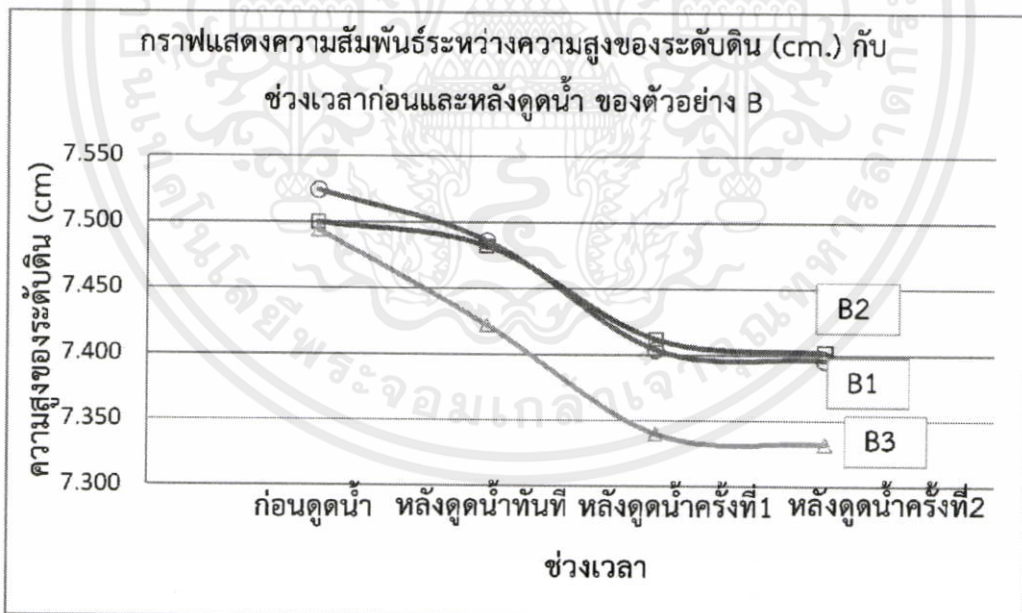
จากกราฟตัวอย่าง A ที่ตำแหน่ง A1 , A2 และ A3 ช่วงเวลาก่อนการดูน้ำนั้นระดับความสูงของดินที่ตำแหน่งต่างๆที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยทั้งนี้เป็นผลมาจากตอนเริ่มต้นใส่ดินลงไปในถังอะลูมิเนียม ดินมีความเหนียวชั้นการที่จะทำให้มีระดับที่เท่ากันเสมอนั้นเป็นไปได้ค่อนข้างยาก และภายหลังจากการดูน้ำออกจากดินแล้วพบว่า ความสูงของดินที่

ตำแหน่งต่าง ๆ มีค่าลดลงที่ช่วงเวลาเดียวกัน โดยเฉพาะที่ตำแหน่ง A3 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับท่อ ดุดมากที่สุดจะมีค่าความสูงที่วัดได้หลังจากการดูดน้ำแล้วน้อยสุด รองลงคือตำแหน่ง A1 ซึ่งมี ศูนย์กลางของการวัดค่าอยู่ห่างจากท่อดูดน้ำเป็นระยะ 10 ซม. และมีค่าระดับมากที่สุดที่ตำแหน่ง A2 ซึ่งมีศูนย์กลางของการวัดค่าอยู่ห่างจากท่อดูดน้ำเป็นระยะ 20 ซม.

และจากกราฟตัวอย่าง A จะเห็นได้ว่า ก่อนการดูดน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ นั้นคือ ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 จะมีค่าระดับเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมีการดูดน้ำออกจากดินแล้ว ทำให้ค่าระดับที่วัด ได้จากตำแหน่งต่าง ๆ ลดต่ำลง และมีแนวโน้มต่ำลงไปอีกเมื่อเวลาผ่านไป

ตารางที่ 4.26 แสดงระดับความสูงดิน ที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B

วัน	ช่วงเวลา	B1 (ซม.)	B2 (ซม.)	B3 (ซม.)
18/3/2557	ก่อนดูดน้ำ	7.524	7.500	7.494
18/3/2557	หลังดูดน้ำทันที	7.486	7.482	7.422
19/3/2557	หลังดูดน้ำครั้งที่1	7.404	7.412	7.340
19/3/2557	หลังดูดน้ำครั้งที่2	7.396	7.402	7.332



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของระดับดินกับช่วงเวลา ก่อนและหลังดูดน้ำ

ที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในห้องปฏิบัติการเท่านั้น มิใช่ผูกขาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
จากกราฟตัวอย่าง B ที่ตำแหน่ง B1, B2 และ B3 ช่วงเวลาก่อนการดูดน้ำจะเห็นได้ว่าค่า ระดับที่วัดได้ในตำแหน่งต่าง ๆ นั้นมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย และภายหลังจากการดูดน้ำออกจากดิน

แล้ว พบว่า ความสูงของดินที่ตำแหน่งต่างๆมีค่าลดลงที่ช่วงเวลาเดียวกัน โดยเฉพาะที่ตำแหน่ง A3 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับท่อดูดมากที่สุดจะมีค่าความสูงที่วัดได้หลังจากการดูดน้ำแล้วน้อยสุด รองลงคือตำแหน่ง A1 ซึ่งมีศูนย์กลางของการวัดค่าอยู่ห่างจากท่อดูดน้ำเป็นระยะ 10 ซม. และมีค่าระดับมากที่สุดที่ตำแหน่ง A2 ซึ่งมีศูนย์กลางของการวัดค่าอยู่ห่างจากท่อดูดน้ำเป็นระยะ 20 ซม.

และจากกราฟตัวอย่าง B จะเห็นได้ว่า ที่ตำแหน่งการวัดเดียวกัน นั่นคือตำแหน่ง B1 , B2 และ B3 เมื่อเวลาผ่านไปค่าระดับที่วัดได้มีแนวโน้มลดต่ำลงเรื่อยๆ

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของระดับดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำที่ตำแหน่งต่างๆในตัวอย่าง A และ B พบว่า

ในตัวอย่าง A และ B ที่ตำแหน่งต่างกันในช่วงเวลาเดียวกันนั้น ตำแหน่งที่ใกล้กับท่อดูดน้ำมากที่สุดจะสามารถวัดค่าความสูงของดินหลังจากการดูดน้ำได้น้อยที่สุด นั่นคือ ตำแหน่ง A1 หรือ B1 จะมีค่าระดับดินได้น้อยที่สุด รองลงมาคือตำแหน่ง A1 หรือ B1 และมีค่าระดับที่มากที่สุดตำแหน่ง A2 หรือ B2 ทั้งนี้เกิดจากอิทธิพลของการดูดน้ำออกจากดิน ยิ่งบริเวณที่อยู่ใกล้กับท่อดูดน้ำมาก น้ำบริเวณนั้นน้ำจะสามารถเคลื่อนที่ออกจากดินได้ง่ายที่สุดจึงทำให้เกิดการทรุดตัวมากสุด ในขณะเดียวกันบริเวณที่ห่างไกลออกไป อิทธิพลการดูดน้ำจะน้อยกว่าน้ำจึงเคลื่อนตัวออกได้ยากกว่า จึงทำให้บริเวณนั้นเกิดการทรุดตัวที่น้อยกว่าด้วย

และจากตัวอย่าง A และ B ที่ตำแหน่งเดียวกัน ในช่วงเวลาต่างกันนั้น พบว่าภายหลังจากการดูดน้ำออกจากดินแล้วค่าระดับความสูงของดินจะมีค่าลดระดับลงและลดต่ำลงอีกเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป ทั้งนี้เป็นผลมากจากการดูดน้ำออกจากมวลดินทำให้ดินเกิดการทรุดตัวลงเพื่อไปแทนที่ช่องว่างของน้ำที่ถูกดูดออกไป ดังนั้นค่าระดับที่วัดได้หลังจากการดูดน้ำจึงมีค่าลดลงกว่าในตอนเริ่มต้น และเมื่อเวลาผ่านไปคือหลังจากการดูดน้ำครั้งที่ 1 และ 2 นั้น ค่าระดับที่วัดได้ยังคงมีค่าต่ำลง อันเนื่องมาจากการดูดน้ำออกจากดินรวมทั้งมีการระเหยของน้ำที่บริเวณผิวหน้าดินด้วย จึงทำให้ดินแห้งและมีการลดระดับลงนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การทดลองทุบดินด้วยตุ้มบดอัดและการดูตุน้ำออกจากดินเหนียวในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว

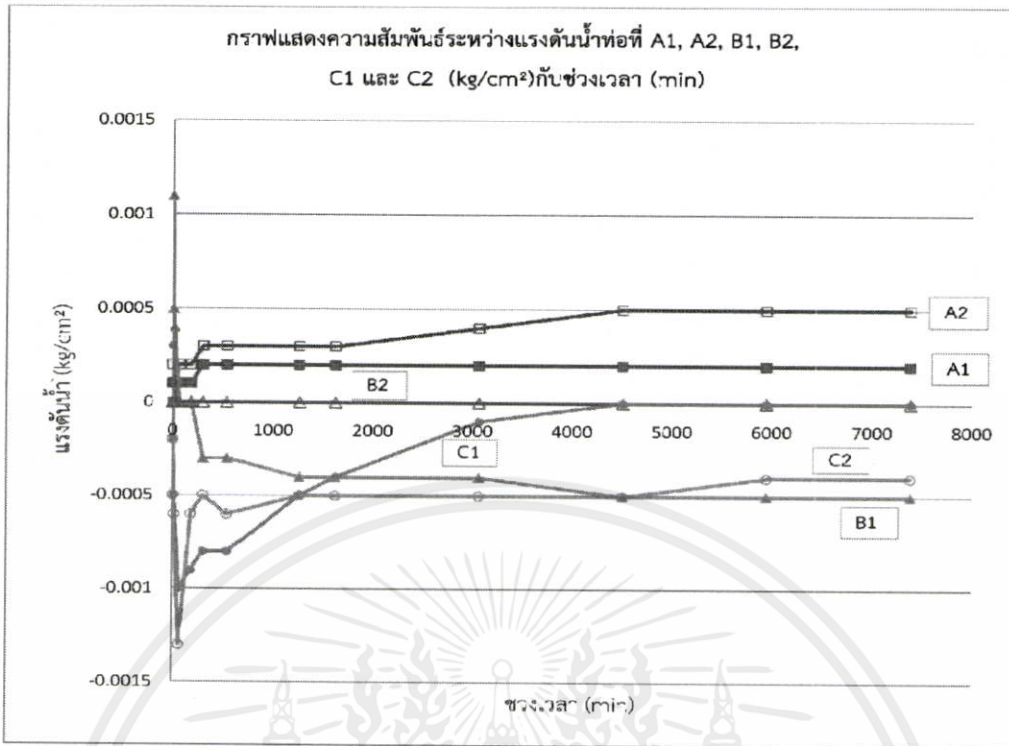
5.1.1.1 การทุบดินด้วยตุ้มบดอัด

ทำการทดลองในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ด้วยวิธีการทุบดินโดยใช้ตุ้มบดอัด (Compaction Hammer) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนัก 5.5 ปอนด์ ปล่องลงบนตัวอย่างดินทั้ง 3 ตัวอย่าง นั่นคือตัวอย่าง A, B และ C ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะมีความสูงดินและความสูงทรายที่ทับหน้าดินเท่ากันคือ 11 ซม. และ 2.5 ซม. ตามลำดับ มีระยะยกตุ้มสูงเท่ากันคือ 5 ซม. จากผิวทรายที่ทับหน้าดิน และมีจำนวนครั้งในการทุบบดอัดที่แตกต่างกัน คือ ตัวอย่าง A ทุบ 1 ครั้ง, ตัวอย่าง B ทุบ 2 ครั้ง และตัวอย่าง C ทุบ 4 ครั้ง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

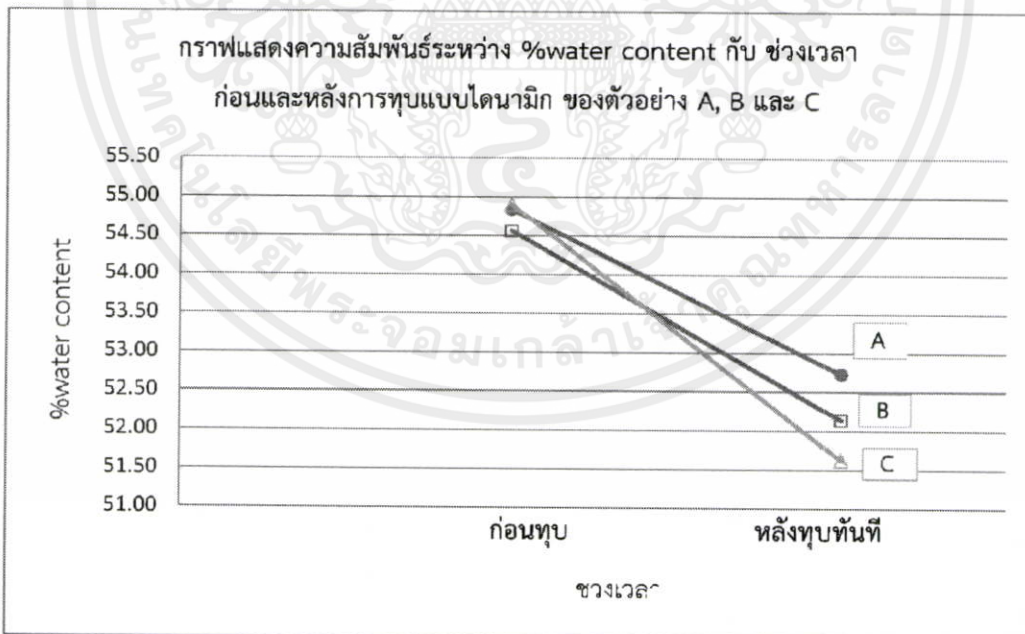
ตารางที่ 5.1 แสดงแรงดันน้ำและปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อทำการทุบดินด้วยตุ้มบดอัดซึ่งพลังงานที่ใช้ในการทุบบนตัวอย่าง A, B และ C แตกต่างกัน

ตัวอย่าง	ชื่อท่อ	จำนวนครั้งที่ใช้ในการทุบ (ครั้ง)	พลังงานที่ใช้ในการทุบ (นิวตัน - เมตร)	แรงดันน้ำเริ่มต้น (กก./ ซม. ²)	แรงดันน้ำหลังทุบทันที (กก./ ซม. ²)	แรงดันน้ำคงที่ (กก./ ซม. ²)	%water content	
							เริ่มต้น	หลังทุบทันที
A	A1	1	1.224	0	0.0001	0.0002		
	A2	1	1.224	0	0.0002	0.0005	54.84	52.73
B	B1	2	2.448	0	0.0011	-0.0005		
	B2	2	2.448	0	0.0000	0.0000	54.57	52.14
C	C1	4	4.896	0	0.0003	0.0000		
	C2	4	4.896	0	-0.0002	-0.0004	54.91	51.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามเผยแพร่โดยไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-2321-4141



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำที่ A1 , A2 , B1 , B2 , C1 และ C2 กับช่วงเวลา



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลังการทุบแบบไดนามิก ของตัวอย่าง A, B และ C

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองการทุบดินด้วยตุ้มบดอัดสรุปได้ว่า การที่ใช้พลังงานทุบอัดที่ต่างกันจะส่งผลให้แรงดันน้ำในดินและปริมาณน้ำในดิน (%water content) ก่อนและหลังการทุบอัดมีค่าที่ต่างกันด้วย โดยการทิ้งตุ้มบดอัด (Compaction Hammer) ลงไปบนผิวดินนั้นจะเป็นการเพิ่มแรงดันน้ำที่อยู่ในมวลดินให้สูงขึ้น ทำให้ระดับน้ำในท่อนั้นมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อแรงดันน้ำถูกบีบออกมาจากมวลดิน ดินจึงมีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำในดิน (%water content) ลดลง และยังให้พลังงานแก่ดินมากก็จะเป็นการบีบน้ำออกจากดินได้สูงขึ้นด้วย

5.1.1.2 การดูตุน้ำออกจากดิน

หลังจากการทุบดินด้วยตุ้มบดอัดบนตัวอย่างดิน โดยการปล่อยตุ้มบดอัดลงบนตัวอย่าง A จำนวน 1 ครั้ง, ตัวอย่าง B จำนวน 2 ครั้ง และ ตัวอย่าง C จำนวน 4 ครั้ง เป็นระยะเวลา 4 วันแล้วได้ทำการดูตุน้ำออกจากมวลดินทั้ง 3 ตัวอย่างดิน โดยใช้กระบอกฉีดยา ขนาด 5,10 และ 20 มล. ทำการดูตุน้ำให้ได้ปริมาณน้ำที่ออกมามากที่สุดจำนวน 3 ช่วงเวลา แต่ละช่วงเวลากจะใช้เวลาประมาณ 10 นาที ได้ผลสรุปดังนี้

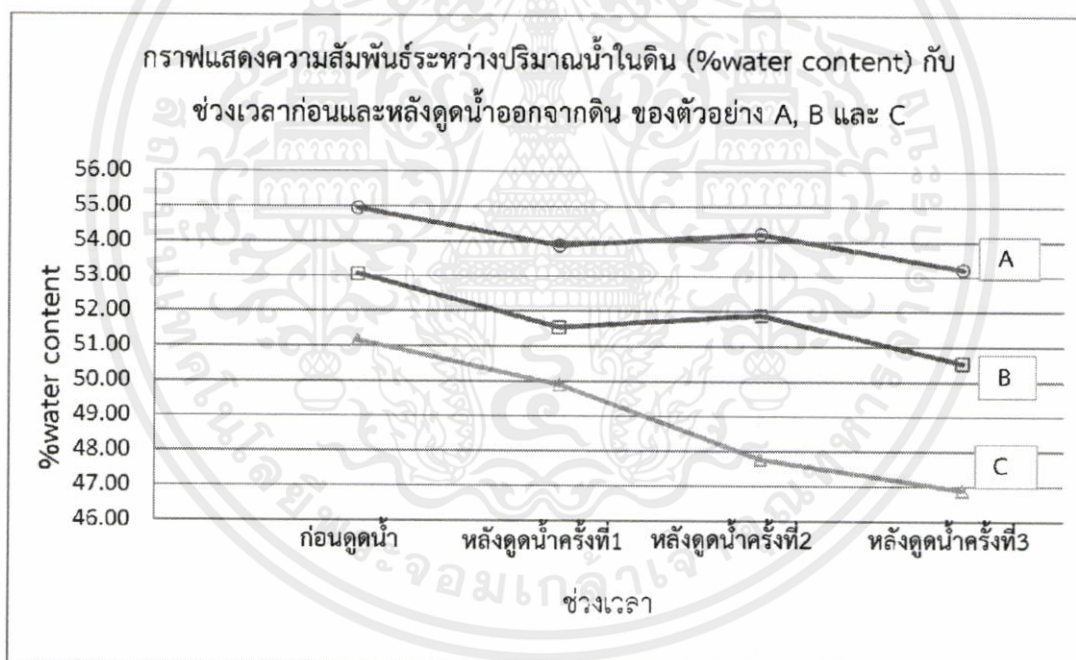
ตารางที่ 5.2 แสดงปริมาณน้ำที่ดูตุน้ำออกมาได้ทั้งหมดจากมวลดินของตัวอย่าง A, B และ C

ตัวอย่าง	จำนวนครั้งที่ใช้ในการทุบ (ครั้ง)	พลังงานที่ใช้ในการทุบ (นิวตัน-เมตร)	ปริมาณน้ำที่ดูตุน้ำออกมาได้ทั้งหมด(มล.)
A	1	1.224	12.4
B	2	2.448	33.1
C	4	4.896	224.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงปริมาณน้ำในดิน ที่ช่วงเวลาต่างกันของตัวอย่าง A, B และ C

ตัวอย่าง	จำนวนครั้งที่ใช้ในการทาบ (ครั้ง)	พลังงานที่ใช้ในการทาบ (นิวตัน-เมตร)	%water content			
			ก่อนดูดน้ำ	ดูดน้ำครั้งที่1	ดูดน้ำครั้งที่2	ดูดน้ำครั้งที่3
A	1	1.224	54.95	53.89	54.22	53.22
B	2	2.448	53.07	51.54	51.89	50.53
C	4	4.896	51.17	49.91	47.77	46.89

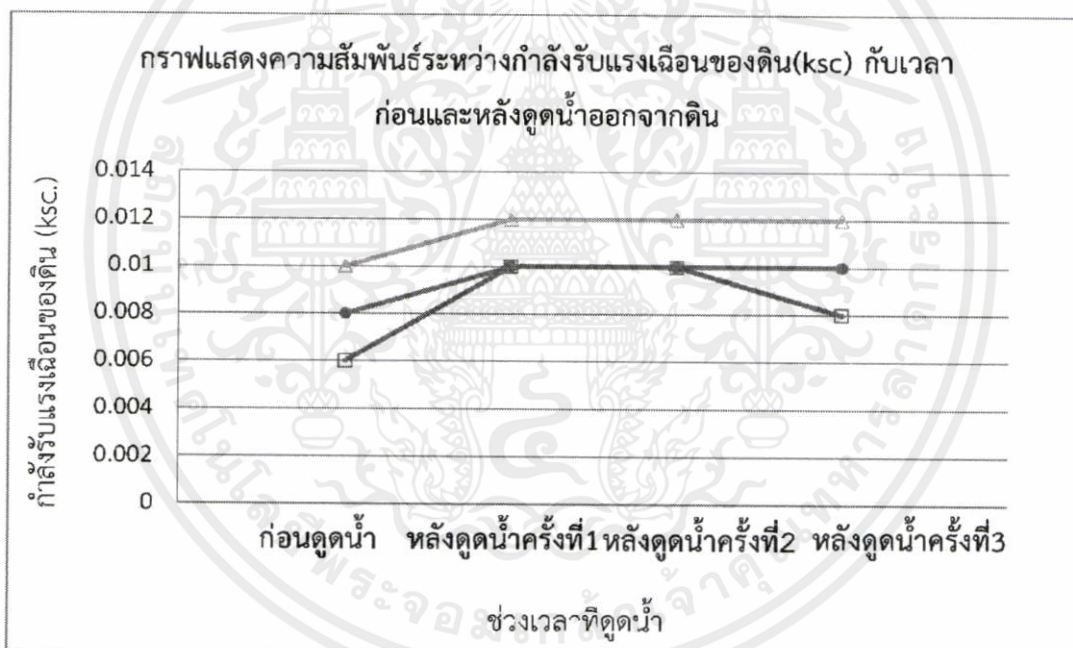


รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน ที่ช่วงเวลาต่างกันของตัวอย่าง A, B และ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงกำลังรับแรงเฉือนของดิน ที่ช่วงเวลาต่างกันของตัวอย่าง A, B และ C

ตัวอย่าง	จำนวนครั้งที่ใช้ในการทาบ (ครั้ง)	พลังงานที่ใช้ในการทาบ (นิวตัน-เมตร)	กำลังรับแรงเฉือนของดิน (กก/ซม. ²)			
			ก่อนตูดน้ำ	ตูดน้ำครั้งที่ 1	ตูดน้ำครั้งที่ 2	ตูดน้ำครั้งที่ 3
A	1	1.224	0.008	0.010	0.010	0.010
B	2	2.448	0.006	0.010	0.010	0.008
C	4	4.896	0.010	0.012	0.012	0.012

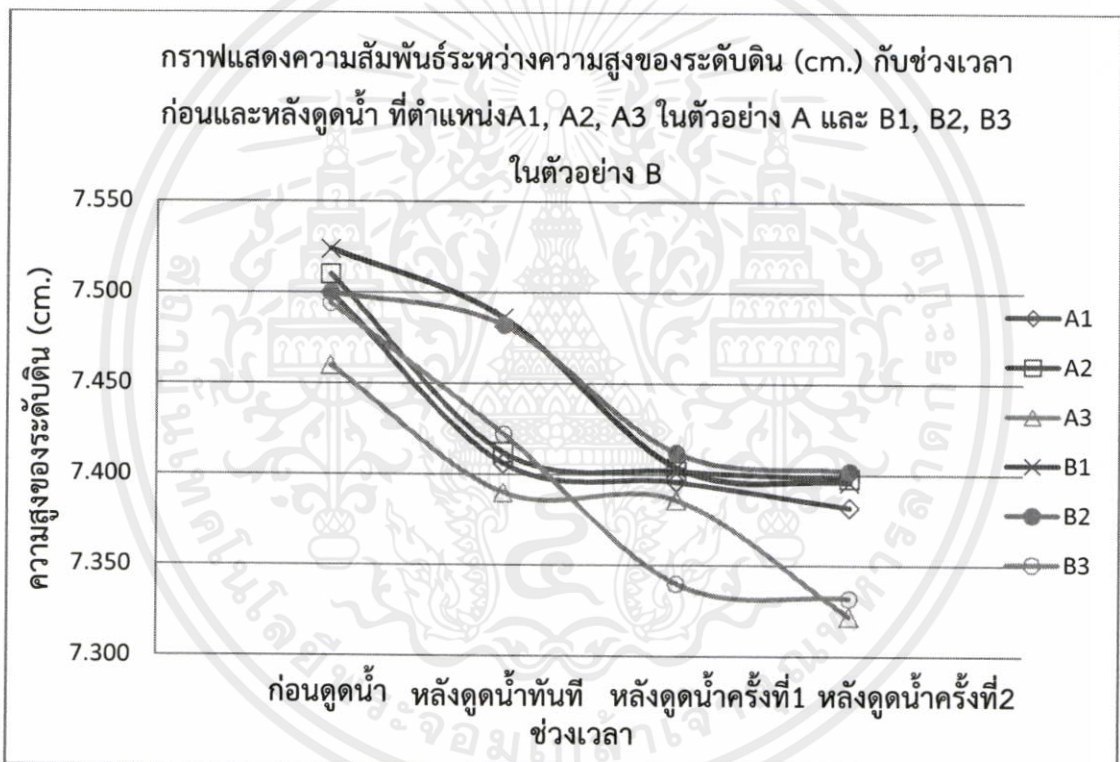


รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน ที่ช่วงเวลาต่างกันของตัวอย่าง A, B และ C

จากข้อมูลที่ได้หลังจากการตูดน้ำออกจากมวลดิน สรุปได้ว่าพลังงานที่ใส่เข้าไปในดินจะทำให้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกิน แรงดันน้ำส่วนเกินนี้สามารถตูดออกมาได้ โดยที่พลังงานทาบดินที่สูงกว่าจะบีบน้ำออกจากมวลดินได้มากกว่า ซึ่งจะส่งผลให้สามารถตูดน้ำออกจากดินได้เพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนพลังงานที่ใส่เข้าไป สอดคล้องกับปริมาณน้ำในมวลดิน (% Water content) ที่หลังจากการทาบแล้วจะมีค่าน้อยลง ดินนั้นจะมีความหนาแน่นที่มากขึ้น ทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินมีค่ามากขึ้น และ

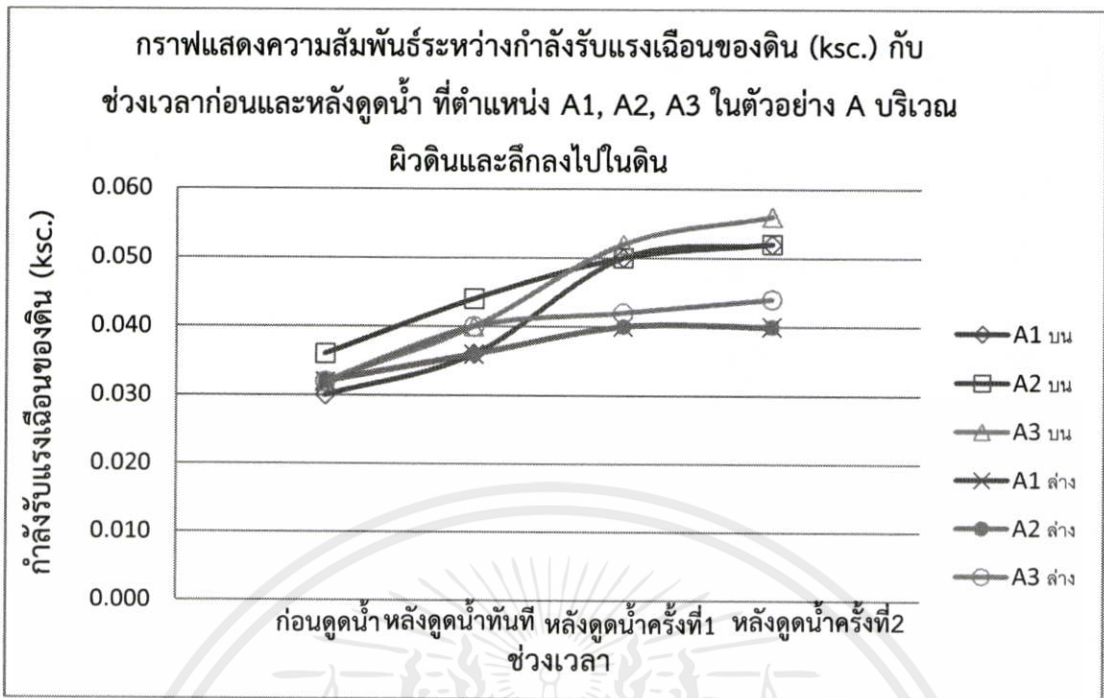
จะมากขึ้นตามพลังงานที่ใช้ในการทุบอัดที่มากกว่าด้วย แต่ในการทดลองในครั้งนี้ได้ใช้ดินเหนียวอ่อนมาก เตรียมตัวอย่างดินแบบ Remolded ซึ่งมีกำลังรับแรงเฉือนที่ต่ำมาก และการใช้การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบ vane shear test ที่แข็ง ทำให้การอ่านค่าไม่ละเอียดชัดเจนมากนัก

5.1.2 การดูตุน้ำออกจากดินเหนียวโดยใช้เครื่องปั๊มสุญญากาศ ในแบบจำลองถังอะลูมิเนียม ทำการทดลองในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม. จำนวน 2 ตัวอย่าง นั่นคือตัวอย่าง A และ B ที่มีความสูงของดินในตัวอย่างเริ่มต้นเท่ากันประมาณ 7.5 ซม. และปริมาณน้ำในดิน (%water content) เริ่มต้นที่ใกล้เคียงกัน $115 \% \pm 2 \%$ ด้วยวิธีการดูตุน้ำ 1 ครั้ง จากท่อดูดในตัวอย่าง A และในตัวอย่าง B โดยใช้ปั๊มสุญญากาศที่ความดัน -760 มิลลิเมตรปรอท ใช้ระยะเวลาในการดูตุน้ำในแต่ละตัวอย่างประมาณ 45 นาที สามารถสรุปผลได้ดังนี้

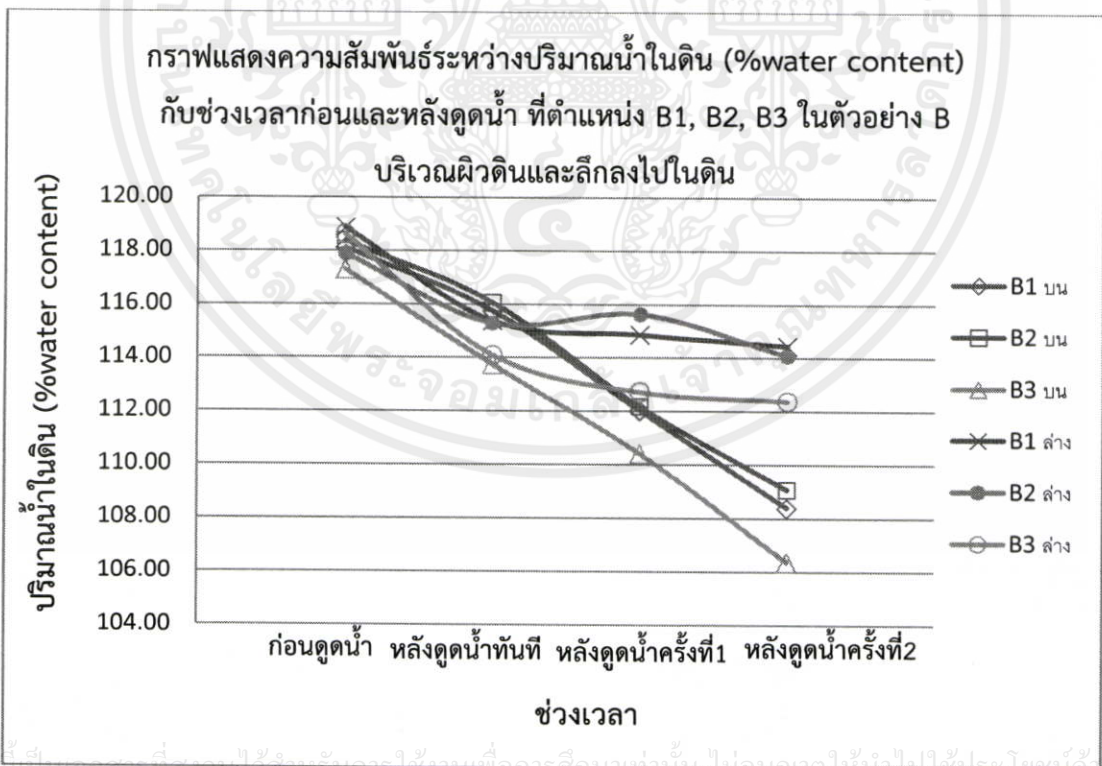


รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของระดับดิน กับช่วงเวลาดูตุน้ำ ก่อนและหลังดูตุน้ำ ที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A และ B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B

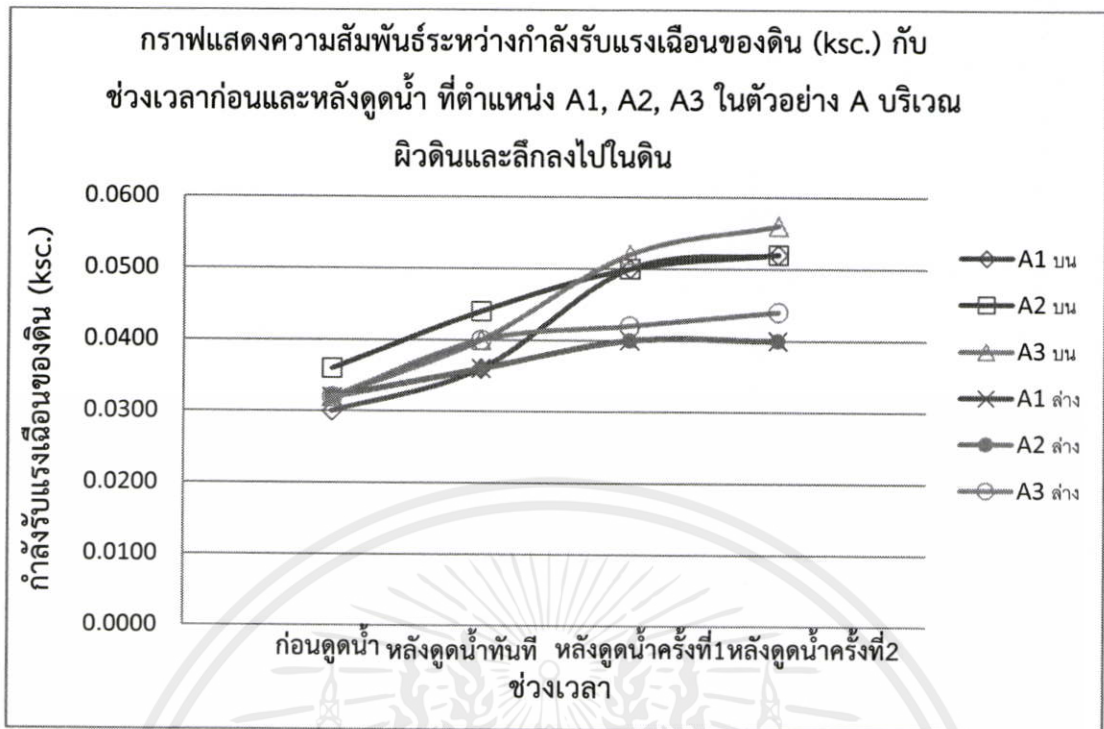
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



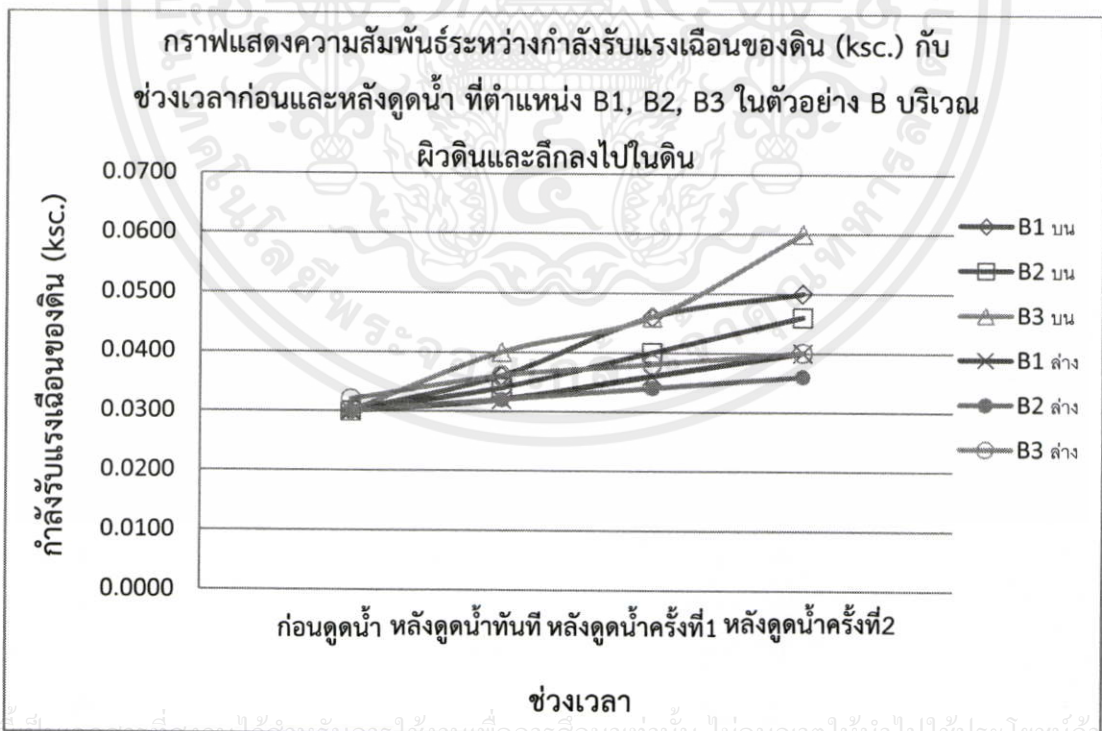
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำ ที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำในดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังดูดน้ำ ที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B บริเวณผิวดินและลึกลงไปใต้ดิน



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดินกับช่วงเวลาก่อนและหลังตุน้ำ
ที่ตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A บริเวณผิวดินและลึกลงไปดิน



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลังตุน้ำ
ที่ตำแหน่ง B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B บริเวณผิวดินและลึกลงไปดิน

ที่ช่วงเวลาต่างกันนั่นคือ ก่อนการดูดน้ำ, หลังการดูดน้ำทันที, หลังดูดน้ำครั้งที่ 1 และหลังดูดน้ำครั้งที่ 2 ที่ตำแหน่งเดียวกันนั้นคือ ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1 , B2 , B3 ในตัวอย่าง B ทั้งบริเวณผิวดินและลึกลงไปใตดินนั้น พบว่า ก่อนการดูดน้ำออกจากมวลดินนั้นปริมาณน้ำในดิน, กำลังรับแรงเฉือนของดิน และความสูงของดินในแต่ละตำแหน่งมีค่าเริ่มต้นที่ใกล้เคียงกัน ภายหลังจากการดูดน้ำออกจากดินแล้วปริมาณน้ำในดิน (%water content) มีแนวโน้มลดลง และลดลงเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งสอดคล้องกับกำลังรับแรงเฉือนของดินที่พบว่ามีการรับแรงเฉือนที่มากขึ้น รวมทั้งค่าระดับความสูงของดินที่วัดได้มีค่าน้อยลงไปด้วย

ที่บริเวณการวัดค่าต่างกัน นั่นคือบริเวณผิวดินและบริเวณลึกลงไปใตดิน ที่ช่วงเวลาเดียวกันและตำแหน่งเดียวกัน นั่นคือตำแหน่ง A1, A2, A3 ในตัวอย่าง A และ B1, B2, B3 ในตัวอย่าง B ภายหลังจากการดูดน้ำออกจากดินแล้ว พบว่า ปริมาณน้ำในดิน(%water content) และความสูงของดินนั้นมีแนวโน้มลดลงส่วนกำลังรับแรงเฉือนของดินมีค่าเพิ่มขึ้น และพบว่าที่บริเวณผิวดินมีค่าปริมาณน้ำในดิน (%water content) ที่น้อยกว่าบริเวณลึกลงไปใตดิน สอดคล้องกับกำลังรับแรงเฉือนของดิน บริเวณผิวดินที่มีค่ามากกว่าบริเวณลึกลงไปใตดิน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่บริเวณผิวดินของดิน น้ำจะเกิดการระเหยทำให้ผิวดินมีปริมาณน้ำในดินที่วัดได้น้อยกว่าจึงทำให้กำลังรับแรงเฉือนนั้นมีค่าที่มากกว่าด้วย

ที่ตำแหน่งต่างกัน นั่นคือ ตำแหน่ง A1 , A2 , A3 ในตัวอย่าง A และตำแหน่ง B1 , B2, B3 ในตัวอย่าง B ที่ช่วงเวลาเดียวกัน ทั้งบริเวณผิวดินและที่ลึกลงไปใตดิน ภายหลังจากการดูดน้ำออกจากดินแล้ว พบว่า ที่บริเวณ A3 หรือ B3 ซึ่งมีตำแหน่งวัดค่าบริเวณใกล้ๆกับท่อดูดน้ำนั้น จะมีปริมาณน้ำในดินน้อยที่สุดซึ่งสอดคล้องกับกำลังรับแรงเฉือนที่มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือที่ตำแหน่ง A1หรือ B1 มีศูนย์กลางของการวัดค่าอยู่ห่างจากท่อดูดน้ำเป็นระยะ 10 ซม. และมีปริมาณน้ำในดินมากที่สุดที่ตำแหน่ง A2 หรือ B2 มีศูนย์กลางของการวัดค่าอยู่ห่างจากท่อดูดน้ำเป็นระยะ 20 ซม. สอดคล้องกับกำลังรับแรงเฉือนของดินที่มีค่าน้อยที่สุดด้วย ทั้งนี้เป็นผลมาจากอิทธิพลการดูดน้ำของดิน นั่นคือบริเวณที่อยู่ใกล้กับท่อดูดน้ำมากที่สุดจะได้รับอิทธิพลในการดูดน้ำมากทำให้น้ำในดินบริเวณนั้นมีค่าน้อย ในขณะที่เดียวกันที่ตำแหน่งที่ห่างออกมาจากท่อดูดน้ำอาจได้รับอิทธิพลในการดูดน้ำน้อยเนื่องจากดินเหนียวมีความสามารถในการไหลซึมผ่านต่ำ

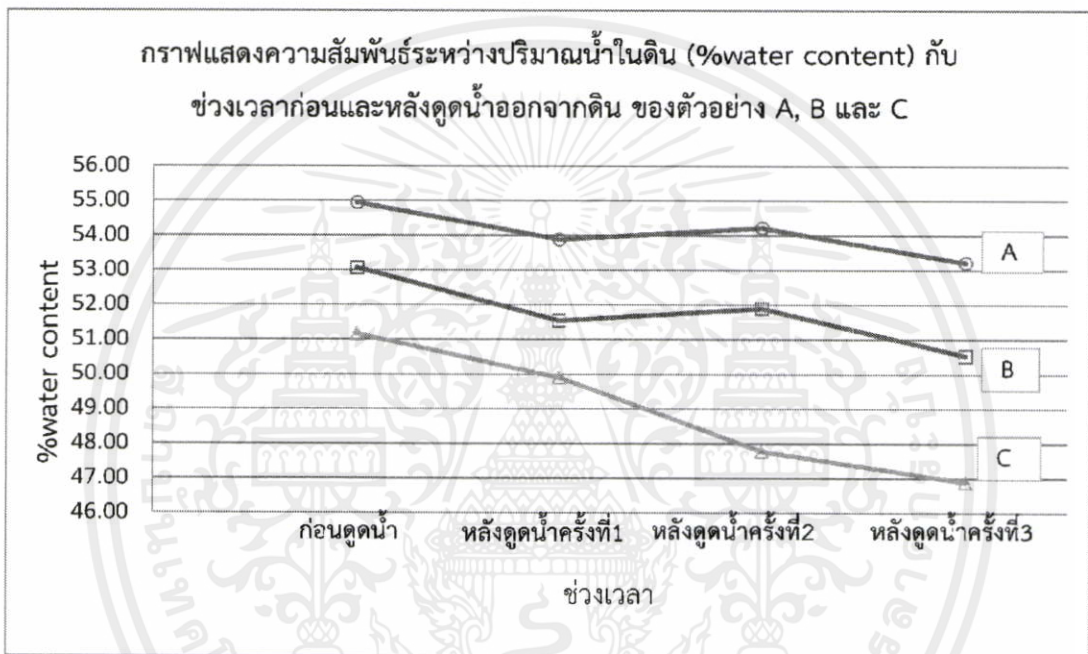
และจากการดูดน้ำออกจากมวลดินทำให้ค่าระดับของดินที่วัดได้ลดน้อยลงทั้งนี้เป็นเพราะมวลดินจะทรุดตัวลงเพื่อแทนที่น้ำที่ถูกดูดออกไปจากมวลดินทำให้ดินมีความหนาแน่นมากขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไปค่าระดับดินที่วัดได้น้อยลงไปอีกเล็กน้อย ทั้งนี้เกิดจากการดูดน้ำออกจากมวลดินรวมทั้งมีการระเหยของน้ำที่บริเวณผิวดินด้วย จึงทำให้ดินแห้งและมีการลดระดับลงนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 สรุปผลการทดลองทั้ง 2 แบบจำลอง

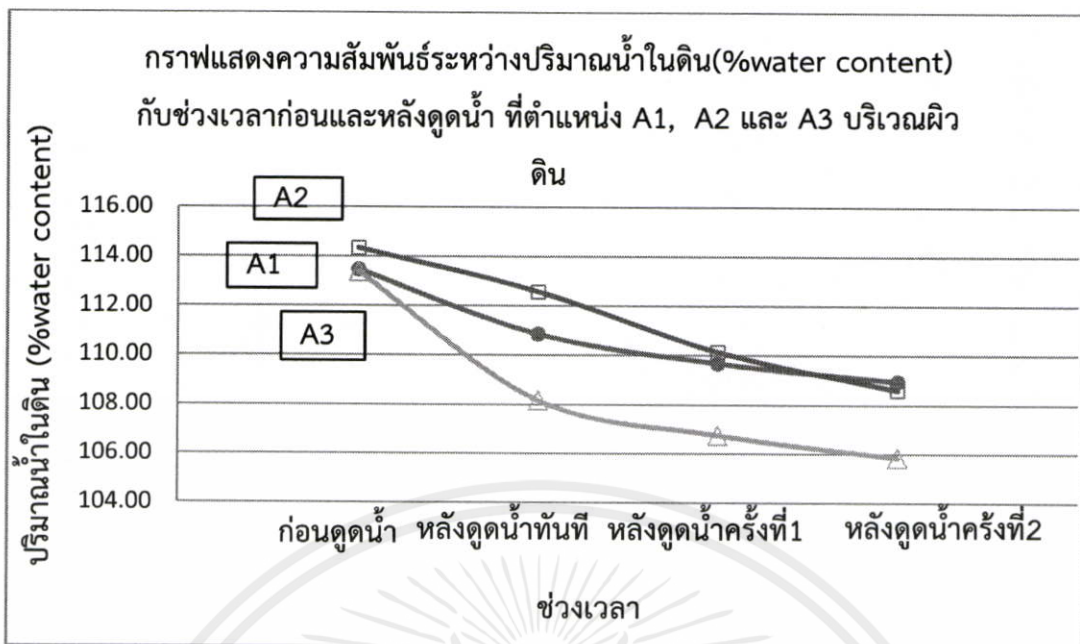
จากทำการทดลองปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวในแบบจำลอง 2 แบบ นั้นคือในแบบจำลอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว โดยการทุบดินด้วยตุ้มบดอัดและการดูน้ำออกจากดินด้วยกระบอก ฉีดยา และในแบบจำลองถึงอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม. โดยการดูน้ำ ออกจากดินด้วยปั๊มสุญญากาศ ใช้ความดันที่ -760 มิลลิเมตรปรอท

5.1.3.1 ปริมาณน้ำในดิน

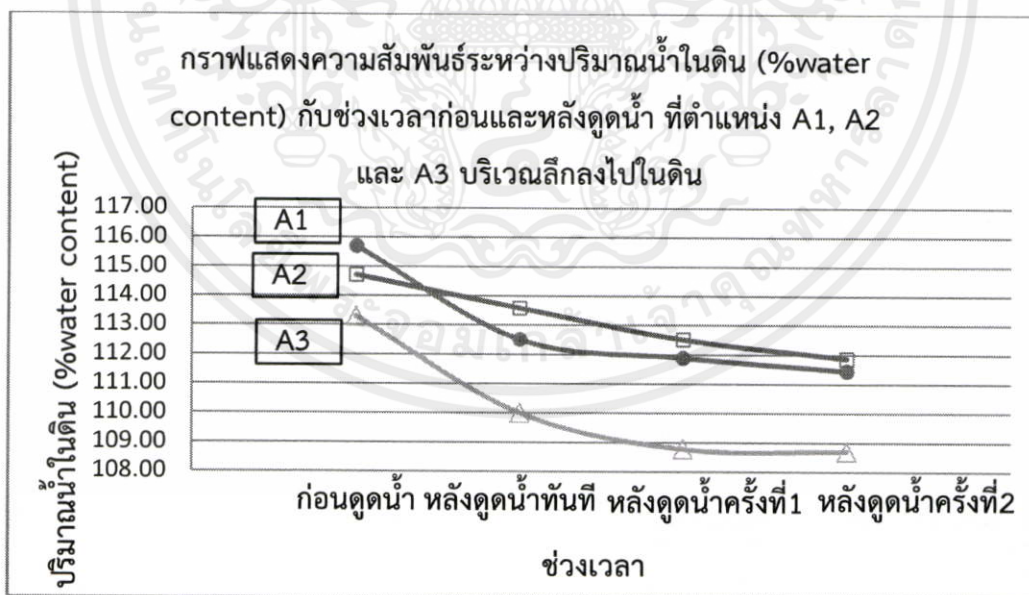


รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลังดูน้ำออก จากดิน ของตัวอย่าง A , B และ C ในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 นิ้ว

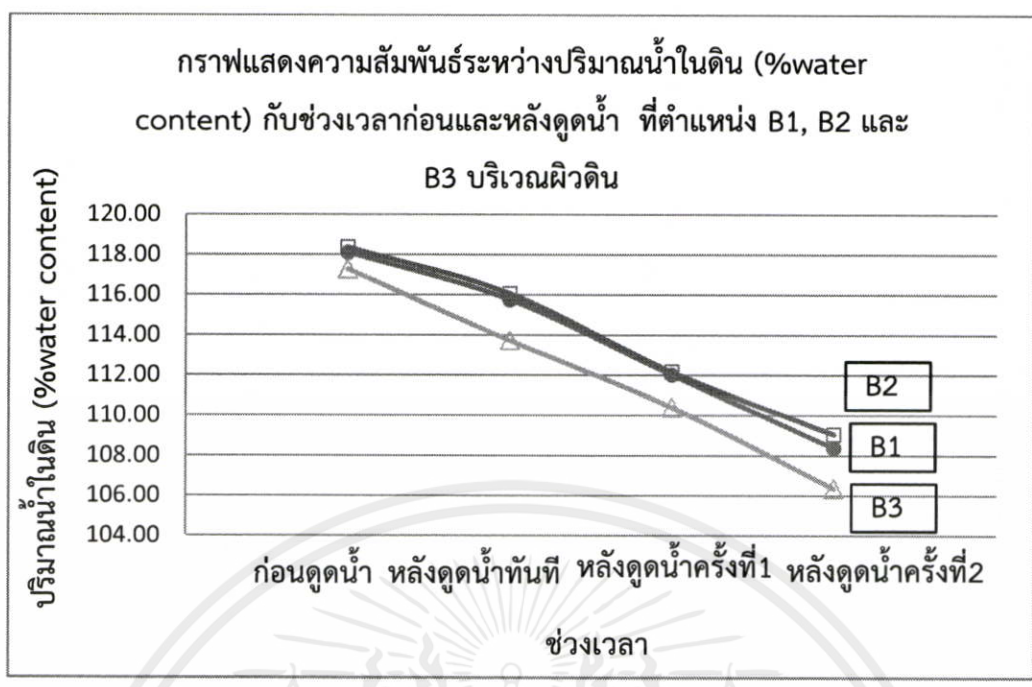
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



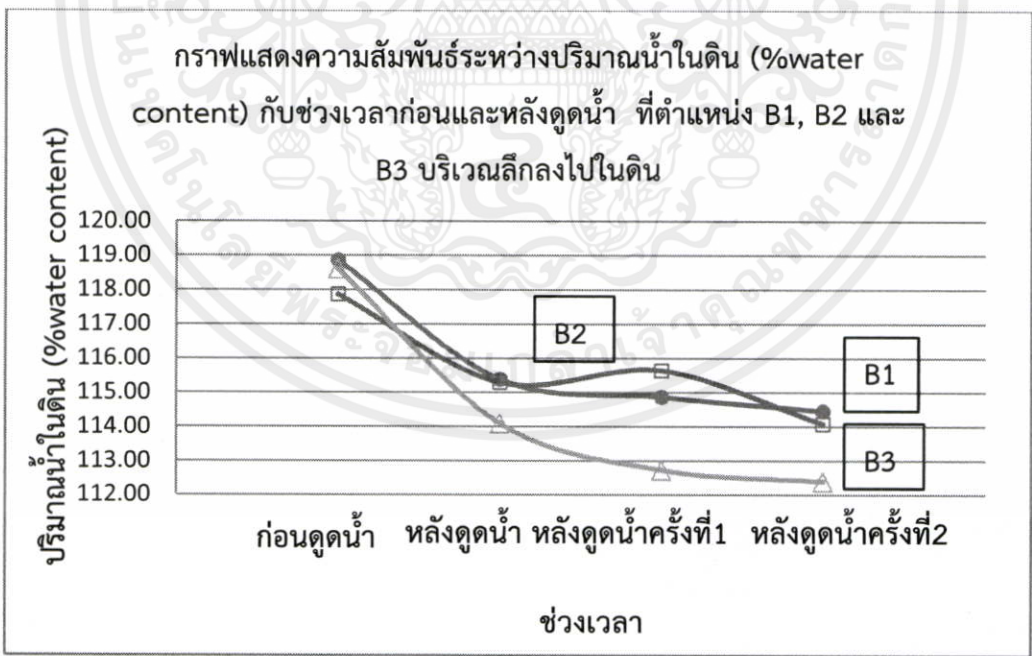
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลา ก่อนและหลังดูน้ำที่ ตำแหน่ง A1, A2 และ A3 บริเวณผิวดินในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลา ก่อนและหลังดูน้ำที่ ตำแหน่ง A1, A2 และ A3 บริเวณลึกกลงไปในดินในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาด กว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.

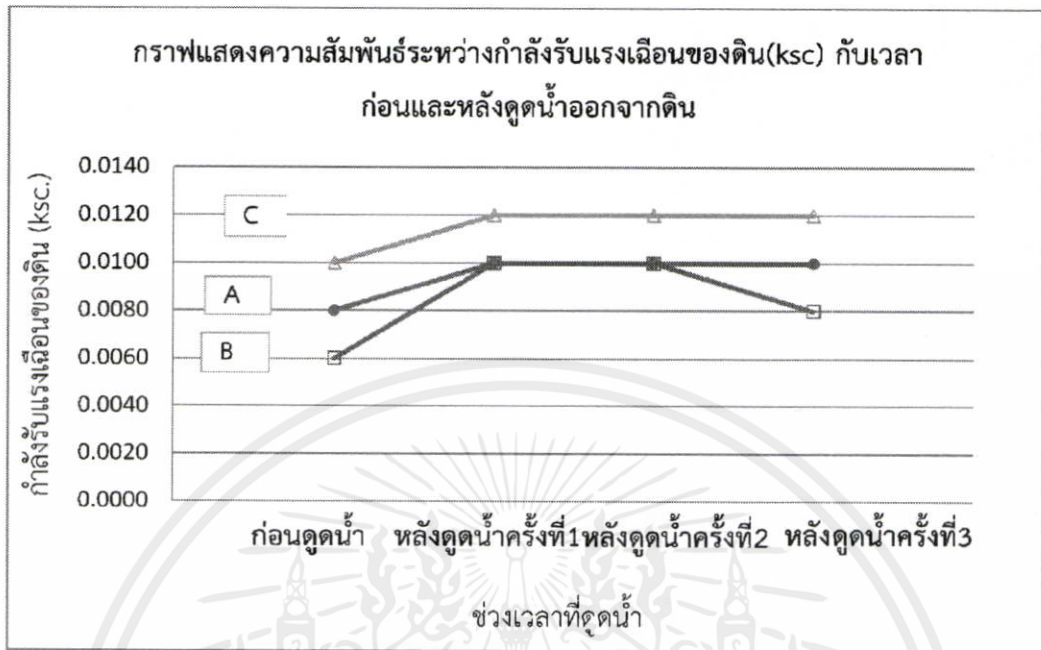


รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลังตุน้ำที่ตำแหน่ง B1 , B2 และ B3 บริเวณผิวดินในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.

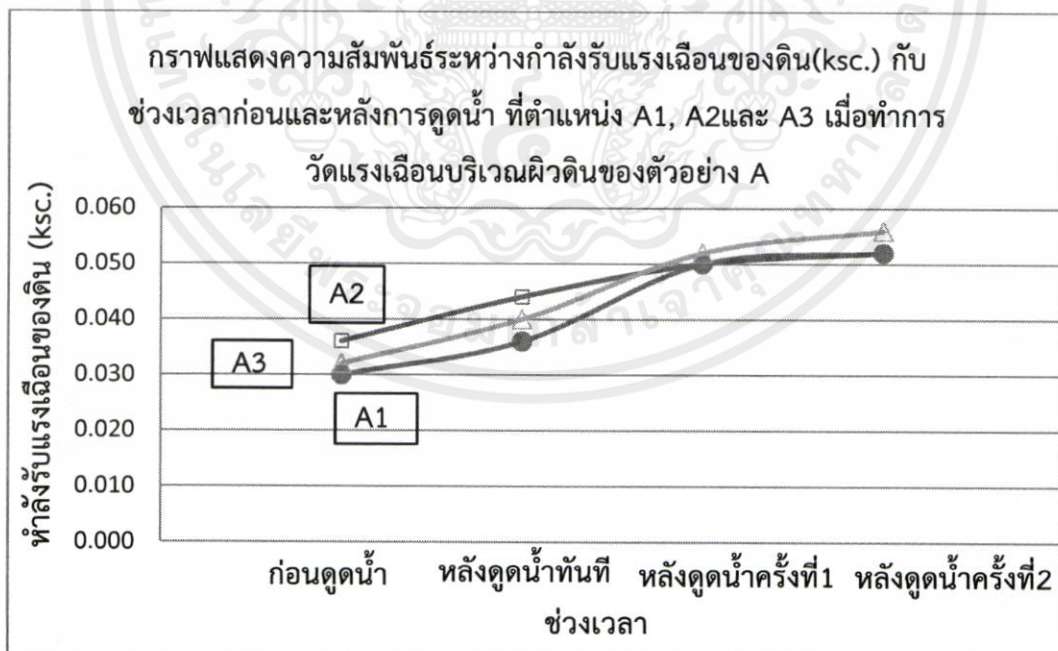


รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับช่วงเวลาก่อนและหลังตุน้ำที่ตำแหน่ง B1 , B2 และ B3 บริเวณลึกกลงไปในดินในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.

5.1.3.2 กำลังรับแรงเฉือนของดิน

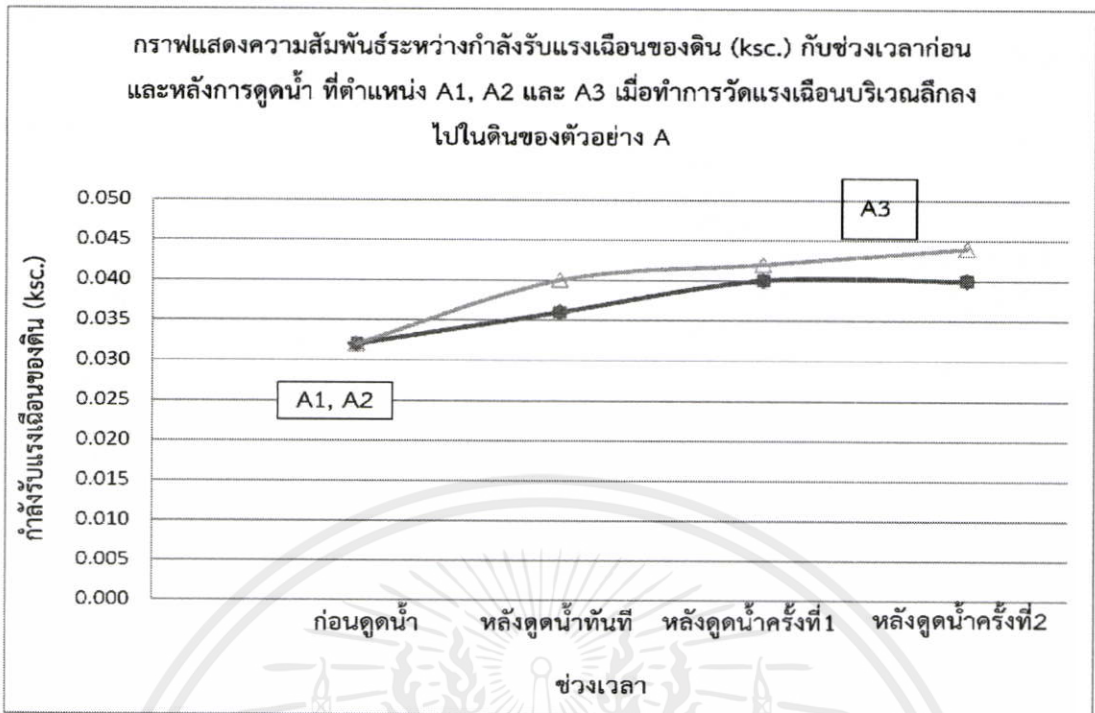


รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับเวลา ก่อนและหลังคุดน้ำ ออกจากดิน ของตัวอย่าง A ,B และ C ในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 นิ้ว

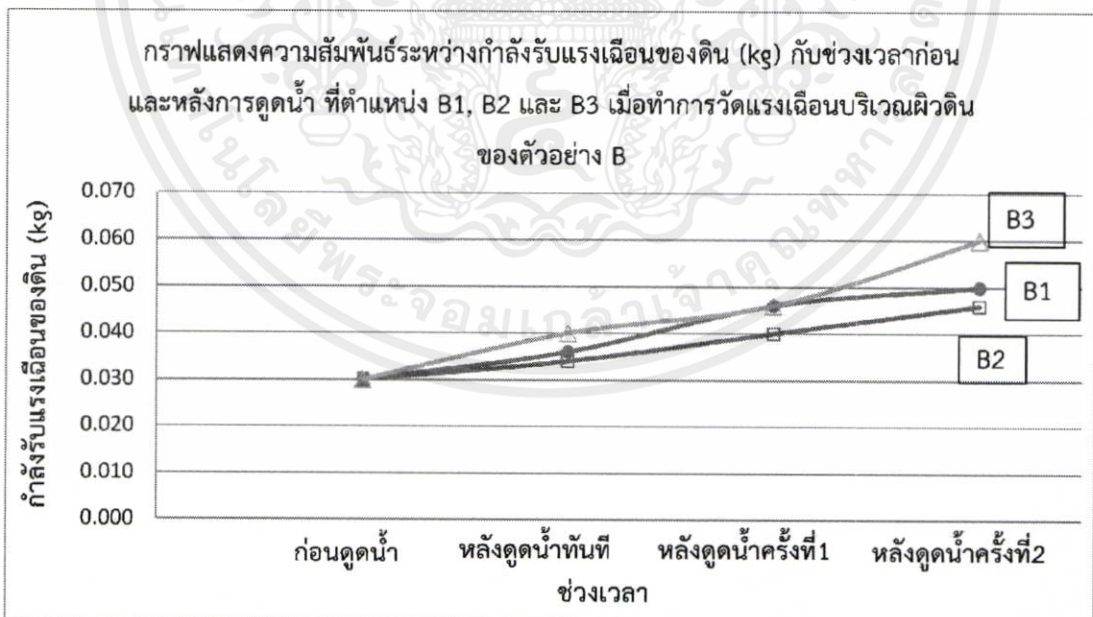


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

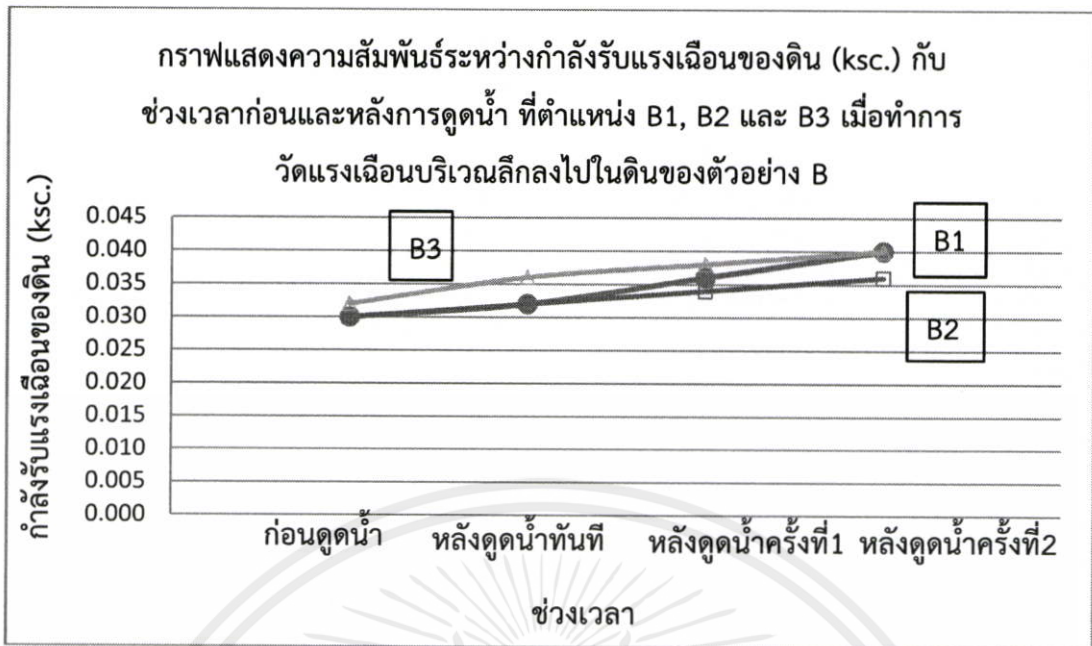
รูปที่ 5.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับเวลา ก่อนและหลังคุดน้ำ ออกจากดิน ที่ตำแหน่ง A1 , A2 และ A3 บริเวณผิวดินของตัวอย่าง A ในแบบจำลองถึง อะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับเวลาก่อนและหลังตุน้ำ ออกจากดินที่ตำแหน่ง A1 , A2 และ A3 บริเวณลึกลงไปในดินของตัวอย่าง A ในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับเวลาก่อนและหลังตุน้ำ ออกจากดินที่ตำแหน่ง B1 , B2 และ B3 บริเวณผิวดินของตัวอย่าง B ในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน กับเวลา ก่อนและหลังดูดน้ำ ออกจากดินที่ตำแหน่ง B1 , B2 และ A3 บริเวณลึกกลงไปในดินของตัวอย่าง B ใน แบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.

หลังจากการทำการทดลองทั้งในแบบจำลองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว และ ถัง อะลูมิเนียมกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม. พบว่าช่วงเวลาหลังจากการดูดน้ำทันทีปริมาณน้ำ ในดินลดลง และมีแนวโน้มลดลงไปอีกเมื่อระยะเวลาผ่านไป ทั้งนี้เป็นเพราะการดูดน้ำออกจากมวล ดินจึงทำให้ปริมาณน้ำที่ยังคงเหลืออยู่ในมวลดินลดต่ำลง ปริมาณน้ำในดิน(%water content) ที่วัด ได้ทั้ง 2 แบบจำลองจึงมีค่าต่ำลง แต่เนื่องด้วยดินเหนียวมีค่าความสามารถในการไหลผ่านต่ำจึงทำให้ ยังคงมีน้ำเหลืออยู่ในดิน ซึ่งสอดคล้องกับกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ภายหลังจากการดูดน้ำออกจาก ดินแล้วทำให้ดินมีค่ากำลังรับแรงเฉือนมากขึ้น ซึ่งในแบบจำลองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว นั้นค่ากำลังรับแรงเฉือนอาจมีค่าที่ใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เกิดจากการ ทดสอบนี้ได้ใช้ดินเหนียวอ่อนมาก เตรียมตัวอย่างดินแบบ Remolded ซึ่งมีกำลังรับแรงเฉือนที่ต่ำ มาก และการใช้การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบ vane shear test ที่แข็ง รวมทั้งแบบจำลอง CBR มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็ก ทำให้การอ่านค่าไม่ละเอียดชัดเจนมากนัก ส่วนในแบบจำลอง ถังอะลูมิเนียมจะสามารถเห็นความแตกต่างของกำลังรับแรงเฉือนทั้งก่อนการดูดน้ำและหลังการดูดน้ำ ได้ชัดเจนกว่า ซึ่งทั้ง 2 แบบจำลองนี้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ภายหลังจากการดูดน้ำออกจากดินแล้วมีค่าที่เพิ่มมากขึ้นนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3.3 size effect ที่มีผลต่อการทดลอง

1.) การดูตื้นน้ำออกจากดิน จากการที่ได้ทำการทดลองในแบบจำลองทั้ง 2 ตัวอย่าง โดยในแบบจำลองในถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. และลึก 40 ซม. จะมีปริมาณน้ำที่ดูตื้นออกจากดินได้น้อยกว่าในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ทั้งนี้เป็นเพราะถังอะลูมิเนียมมีขนาดใหญ่กว่า จึงทำให้บริเวณที่อยู่ไกลจากท่อดูตื้นน้ำออกไปได้รับอิทธิพลในการดูตื้นน้ำน้อยรวมทั้งดินเหนียวมีค่าสัมประสิทธิ์ในการไหลผ่านต่ำทำให้การเคลื่อนตัวของน้ำในดินช้า ซึ่งอาจจะต้องใช้ระยะเวลาในการดูตื้นน้ำนานกว่านี้จึงจะทำให้ปริมาณน้ำที่ดูตื้นออกมาได้มากขึ้น

2.) กำลังรับแรงเฉือน จากการวัดกำลังรับแรงเฉือนของดินในแบบจำลองทั้ง 2 แบบ พบว่าในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม. มีค่ากำลังรับแรงเฉือนก่อนและหลังการดูตื้นน้ำที่แตกต่างอย่างเห็นได้ชัดมากกว่าในแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ทั้งนี้เป็นเพราะแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว มีตำแหน่งการวัดแรงเฉือนที่ค่อนข้างจำกัด เมื่อใช้การวัดแรงเฉือนด้วยเครื่องมือ pocket vane shear ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.774 ซม. จึงทำให้การอ่านค่าไม่ละเอียดชัดเจนมากนัก

ดังนั้นจากการทดลองในแบบจำลองทั้ง 2 แบบ นั่นคือแบบจำลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว และแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม. สรุปได้ว่าขนาดของแบบจำลองที่ต่างกัน จะส่งผลต่อปริมาณน้ำที่ดูตื้นออกมาได้จากดินและกำลังรับแรงเฉือนที่ต่างกันด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ภายในแบบจำลองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว

1.) ภายในแบบจำลองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ถือว่าเป็นแบบจำลองขนาดเล็ก ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กตามไปด้วย ทำให้ผลที่ได้จากการทดลองอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย โดยเฉพาะท่อที่ใช้วัดระดับน้ำมีขนาดเล็กอาจเกิด Capillary ในท่อได้

2.) การใช้ pocket vane shear ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.774 ซม. ในการวัดค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวมีขนาดใหญ่มากหากเทียบกับขนาดของแบบจำลอง จึงทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่ชัดเจนเท่าที่ควร

3.) เมื่อทำการวัดค่าไปเรื่อยๆแล้วทำให้หน้าดินเกิดความเสียหายจึงส่งผลเสียในการวัดค่าครั้งต่อไปด้วย ดังนั้นหากต้องการศึกษาเพิ่มเติมและเห็นค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ชัดเจนมากกว่านี้ควรทำการทดลองในแบบจำลองที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

5.2.2 ภายในแบบจำลองถังอะลูมิเนียมขนาดกว้าง 24 ซม. ยาว 53 ซม. ลึก 40 ซม.

1.) การศึกษาพฤติกรรมของปริมาณน้ำในดินและกำลังรับแรงเฉือนของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำการดูน้ำออกจากดิน ผลที่ได้คือแต่ละตัวอย่างสามารถดูน้ำออกมาได้ไม่เท่ากัน ซึ่งจะเห็นว่าอุปกรณ์ที่ใช้เป็นท่อดูน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 ซม. ทำการเจาะรูที่ปลายท่อสูง 4 ซม. นำแผ่นผ้าใยสังเคราะห์มาหุ้มปลายแล้วเสียบลงไปที่ดินในขณะที่ทำการดูอาจจะมีดินบางส่วนเข้าไปอุดตันท่อทำให้น้ำไหลออกมาได้ไม่มากเท่าที่ควร ดังนั้นหากอยากให้ปริมาณน้ำออกมามากกว่านี้ควรทำการเพิ่มขนาดท่อและเจาะรูให้ใหญ่ขึ้น

2.) แบบจำลองนี้เป็นแบบเปิดทำให้น้ำระเหยออกจากผิวหน้าดิน ปริมาณน้ำในดินที่ผิวดินและลึกลงไปดินจึงต่างกันดังนั้นในการทดลองควรมีการตรวจสอบทั้งที่ผิวดินและลึกลงไปดินด้วย และหากอยากให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนขึ้นอาจจะต้องมีการทำการทดลองระบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ลักษณะดินในกรุงเทพฯ(ออนไลน์). (2554). สืบค้นจาก :
<http://www.thaiengineering.com/component/content/article/462.html>
[5 กรกฎาคม 2556]
- [2] ปังกร จงตระกูลรัตน์ และ ปณวัจน์ ชัยจิระไพศาล. (2555). การติดตามตรวจสอบทางอุทกวิทยาหน้าผิวดินในระยะดำเนินการของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ(ต่อเนื่อง) . วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร บัณฑิตสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] ณิชชญา สวัสดิผล, ณิชพงษ์ สินธุศิริ และ เดชพล ทองคำ. (2556). การออกแบบการพัฒนากำลังของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีการบดอัดกระแทกร่วมกับระบบสุญญากาศ . วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] มงคงเฉลิม คุณสมบัติ,ศรีธัญ เกียรติโชควิวัฒน์ และ สุขชัย แซ่สี. (2555). การศึกษาการทรุดตัวของชั้นดินฐานรากของคันดินถมรอบสนามบินสุวรรณภูมิ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร บัณฑิตสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] Menard .Dynamic compaction (ออนไลน์).สืบค้นจาก : www.menard-web.com
[3 กรกฎาคม 2556]
- [6] Menard, L.1975."Theoretical and practical aspect of dynamic consolidation."Geotechnique,25(1),3-17.
- [6] มาตรวัดความดันน้ำใต้ดิน(ออนไลน์). (2552). สืบค้นจาก :
<http://www.denichsoiltest.com/Piezometer.html> [20 สิงหาคม 2556]
- [7] งานติดตั้งและตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดทางธรณีเทคนิค(ออนไลน์). (2552).สืบค้นจาก :
<http://www.sts.co.th/service.php?id=21> [20 สิงหาคม 2556]
- [8] การทดลองหาขีดความชันเหลวของดิน(ออนไลน์). สืบค้นจาก :
<http://krumanit.cmtc.ac.th/main/images/stories/4.pdf> [20 สิงหาคม 2556]
- [9] Consolidation Test (ออนไลน์). (2552).สืบค้นจาก :
http://www.kkw.rmutr.ac.th/dream8/pdf/lab_soil/Consolidation%20Test.pdf
[20 สิงหาคม 2556]
- [10] Menard, L. 1975. "Theoretical and practical aspect of dynamic consolidation."Geotechnique, 25(1), 3-17.



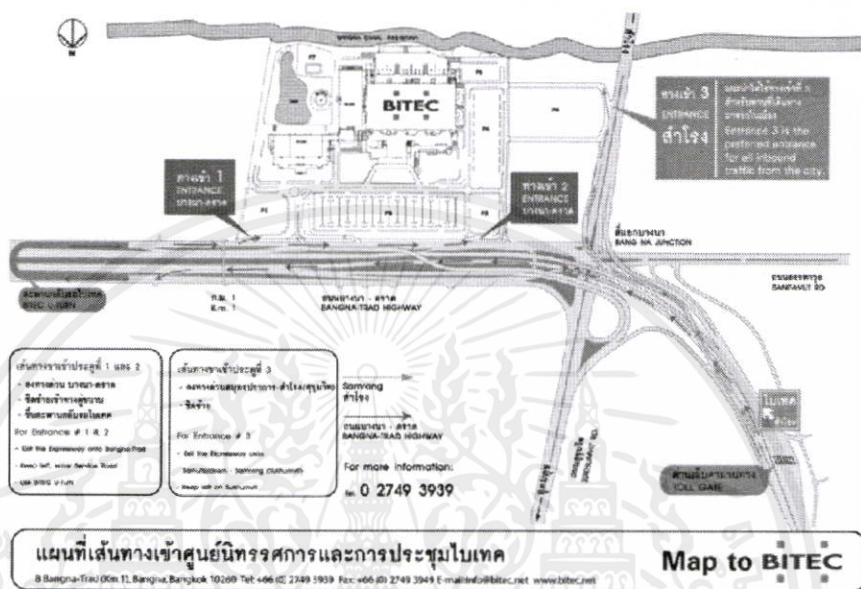
ภาคผนวก

ข้อมูลดินที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลดินที่ใช้ในการทดลอง

เราได้ทำการนำดินดำหรือดินเหนียวเพื่อมาใช้ในการทดสอบโครงการพิเศษ ซึ่งได้ดินมาจาก ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค ตั้งอยู่เลขที่ 88 ถ.บางนา-ตราด กม.1, เขตบางนา กทม. 10260 ที่ความลึก 6-10 เมตร



รูปที่ ผ.1 แผนที่เส้นทางไปศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทคเพื่อนำดินมาใช้ในการทดลอง (ที่มา : <http://www.kmutt.ac.th/congrat3k/journey.php>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของตัวอย่างดิน

จากการทดสอบดินดำที่เก็บมาจากศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค มาทำการทดสอบต่างๆ ดังนี้คือ Water Content , Atterberg's Limit , ความถ่วงจำเพาะของดิน , การหาขนาดเม็ดดิน (ด้วย Hydrometer Test) ซึ่งได้ค่าผลการทดสอบดังต่อไปนี้

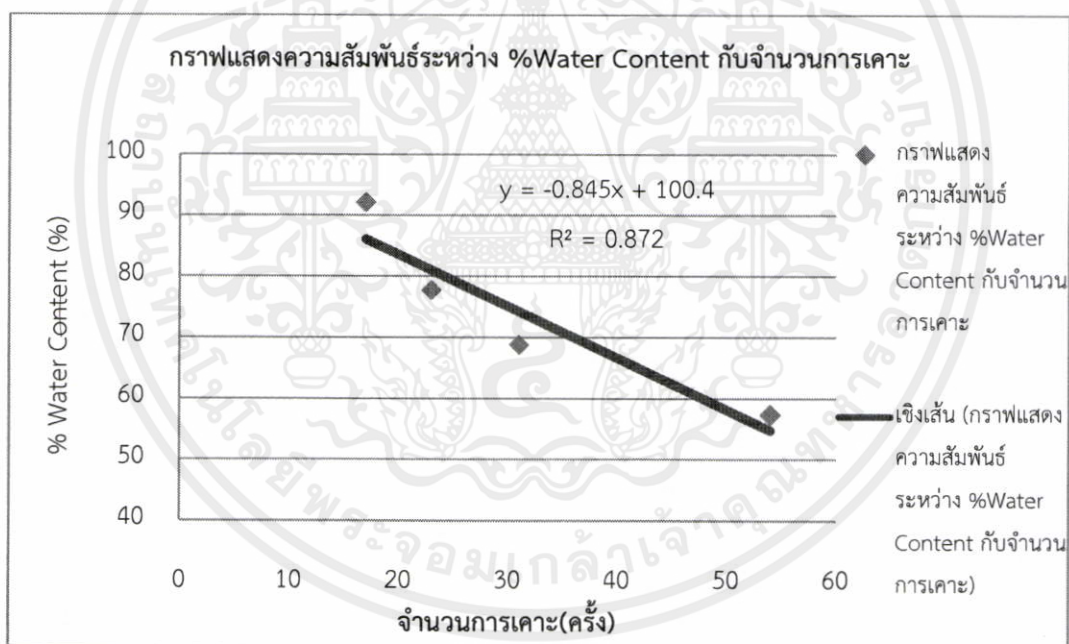
ตารางที่ ผ.1 ตารางแสดงผลการทดลองหาปริมาณความชื้นของดินที่สภาวะพลาสติกและขีดจำกัดเหลว

Plastic Limit Test				Natural Water Content		
Trial No.	1	2	3	1	2	3
Can No.	A - 01	A - 02	A - 03	H - 01	H - 02	H - 03
Wet Soil + Can	16.52	18.02	19.07	38.52	30.99	30.47
Dry Soil + Can	15.28	16.48	17.84	30.72	25.16	23.91
WT. of Can	11.99	13.09	15.13	15.9	13.27	11.96
WT. of Water	1.24	1.54	1.23	7.8	5.83	6.56
Wet of Dry Soil	3.29	3.39	2.71	14.82	11.89	11.95
%Water Content	37.69	45.43	45.39	52.63	49.03	54.9
Average	42.84			52.19		
Liquid Limit Test						
Determination No.	1	2	3	4	5	6
No. of Blow	54	31	23	17		
Can No.	B -01	B - 02	B - 03	B -04		
Wet Soil + Can	38.43	31.78	43.15	31.77		
Dry Soil + Can	29.75	23.43	31.58	22.95		
WT. of Can	14.61	11.29	16.71	13.37		
WT. of Water	8.68	8.35	11.57	8.82		
Wet of Dry Soil	15.14	12.14	14.87	9.58		
%Water Content	57.33	68.78	77.81	92.07		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.2 ตารางแสดงค่าขีดจำกัดพลาสติกและขีดจำกัดเหลวจากข้อมูลดิน

Plastic Limit	42.84
Liquid Limit	75.55
Plastic Index	32.71
Flow Index	0.69
Liquid Index	0.29



รูปที่ ผ.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน กับจำนวนการเคาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้