



การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเส้นอัตราลักษณ์ของดินที่ผสมมาโครและไมโครพลาสติก

SOIL WATER RETENSION CURVE OF SOIL MIXED WITH
MACRO- AND MICROPLASTICS



จัดทำโดย

กชมน	พุ่มมณี	60010003
ณรงค์ศักดิ์	อ่านโรส	60010279
ธนวรรณ	จอมพงษ์	60010406

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. วิรุพห์ คำชุม

รศ.ดร. แหลมทอง เหล่าคงถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

SOIL WATER RETENSION CURVE OF SOIL MIXED WITH
MACRO- AND MICROPLASTICS

KOTCHAMON PUMMANEE

NARONGSAK ARNTAISONG

THANAWAN JOMPONG

ADVISOR

ASST.PROF.DR. VIROON KAMCHOOM

ASST.PROF.DR. LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANK




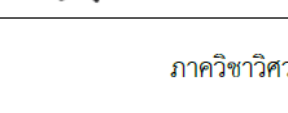
ACADEMIC YEAR 2020

ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโรงงานพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเส้นอัตตลักษณ์ของดินที่ผสมมาโครและไมโครพลาสติก		
นักศึกษา	กชมน	พุ่มฉวี	60010003
	ณรงค์ศักดิ์	อ่านไธสง	60010279
	ธนวรรณ	จอมพงษ์	60010406
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วิรุฬห์ คำชุม		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร		

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. วิรุฬห์ คำชุม	
รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร	
ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤษ์	
ดร.ณัฐดนัย สีนสมุทรมดุง	

ภาควิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศิธร)

หัวหน้าภาควิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 31/05/64

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเส้นอัตรลักษณ์ของดินที่ผสมมาโครและไมโครพลาสติก

นางสาวกชมน พุ่มมณี รหัสประจำตัว 60010003

นายณรงค์ศักดิ์ อานโรสง รหัสประจำตัว 60010279

นางสาวธรรณวรรณ จอมพงษ์ รหัสประจำตัว 60010406

ผศ.ดร.วิรุพห์ คำชุม

รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปัญหาขยะพลาสติกเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อโลกของเราอย่างมาก โดยในปัจจุบันขยะพลาสติกเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ใช้เวลานานในการกำจัดหรือทำลายขยะ ทางผู้จัดทำได้เล็งเห็นปัญหานี้ จึงอยากนำขยะพลาสติกเอามาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด จากการศึกษาพบว่า พลาสติกสามารถนำมาใช้ในการเสริมกำลังของดินได้ และถูกใช้อย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม การศึกษาการใช้พลาสติกปรับปรุงคุณภาพดินนั้น ไม่ได้ให้ความสนใจกับคุณสมบัติเชิงอุทกวิทยามากนัก โดยจะศึกษาผลระหว่าง ช่องว่างระหว่างดินกับพลาสติก และการกั้นน้ำของพลาสติก ว่าปัจจัยใดมีผลต่อคุณสมบัติเชิงอุทกวิทยามากกว่ากัน ดังนั้นผู้ศึกษาจึงศึกษาโดยใช้ “เส้นโค้งความอึมน้ำ” ซึ่งเป็นคุณสมบัติเชิงอุทกวิทยาของดิน ที่เป็นตัวแปรสำคัญในการพิจารณาเสถียรภาพของดิน โดยการศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกพิจารณาใช้พลาสติกในการปรับปรุงคุณภาพดินซึ่งจะสามารถใช้ประโยชน์จากพลาสติกที่ผ่านการใช้งานมาแล้วได้

ในการศึกษานั้นจะทำการใช้พลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนกับโพลีฟลูออรีนและดินลูกรัง เป็นตัวอย่างทดลอง โดยแบ่งตัวอย่างเป็น ดินเปล่า, ดินผสมพลาสติก 1.0% โดยมีมวลทั้งหมด 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก (ขนาดเล็กกว่า 2.5 มิลลิเมตร) ขนาดกลาง (ขนาด 2.5-4 มิลลิเมตร) และขนาดใหญ่ (ขนาดใหญ่กว่า 4 มิลลิเมตร) ซึ่งการทดลองจะใช้วิธีการหา Soil water retention curve on dry process จำลองการไหลของน้ำในดิน โดยเป็นการไหลจากสภาวะเปียกไปแห้งในดินที่อึมตัวด้วยน้ำ

ผลการศึกษาเส้นอัตรลักษณ์ของดิน (Soil Water Retention Curve) พบว่า เส้นอัตรลักษณ์ของดินผสมพลาสติกขนาดเล็ก 1.0% โดยมีมวลนั้นจะส่งผลให้การไหลของน้ำในดินต่ำที่สุดจากตัวอย่างทั้งหมด โดยเนื่องจากผลของคุณสมบัติในการกั้นน้ำของพลาสติกนั้นมีผลต่ออัตราการไหลของน้ำในดิน ถ้า

หากเปลี่ยนเป็นพลาสติกที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือมีพื้นที่ผิวสัมผัสเยอะจะทำให้มีช่องว่างมากขึ้นและส่งผลให้การไหลของน้ำในดินสูงขึ้น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

SOIL WATER RETENSION CURVE OF SOIL MIXED WITH MACRO- AND MICROPLASTICS

Kotchamon Pummanee Student ID. 60010003

Narongsak Arntaisong Student ID. 60010279

Thanawan Jompong Student ID. 60010406

Asst.Dr. Viroon Kamchoom

Asst.Prof.Dr.Laemthong Laokhongthavorn

Academic Year 2020

ABSTRACT

Plastic waste is a problem that affects our planet a lot. At present, plastic waste is increasing rapidly. It takes a long time to dispose of or destroy garbage. The organizers realized this problem and wanted to make the most of plastic waste. According to many researches told that plastic waste has been widely used for reinforcing in geotechnical engineering. However, a lot of researchers don't pay attention to the hydraulic properties, that have 2 main problem about the void ratio and hydrophobic when we add plastic flakes into soil which one has higher affect hydraulic properties. Therefore, we decide to study in the "Hydraulic Conductivity and Soil Water Retention Curve (SWRC)" These hydraulic properties are the key parameters when analysis in reinforced slope stability. Furthermore, our experiment which about plastic flakes in soil improvement can be an alternative choice to reduce plastic waste that increasing every day.

In this study, our plastic flakes consisted of Polyethylene, Polypropylene and lateral soil. Our experiment has soil sample which use lateritic soil mix with plastic flakes at 1.0% by dry soil weight in soil acrylic column. There are 3 sizes, small (smaller than 2.5 mm), medium (2.5-4 mm) and large (larger than 4 mm). And demonstrate hydraulic properties by Soil water retention curve in "saturated soil"

The result show that small plastic 1.0% by mass make the permeability lowest among all samples because hydrophobic properties of plastics affect the water flow rate in the soil. If replacing it with a larger plastic or having a larger surface area, it will increase void in soil and permeability.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรุฬห์ คำชุม และ รศ.ดร. แผลมทอง เหล่าคงถาวร ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง คอยแนะนำช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหา คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดี พวกเราผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุก ๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ โดยคณาจารย์ทุกท่าน ได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดียิ่ง ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการสอบปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำปริญญานิพนธ์ รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้และศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรัก กำลังใจ และสนับสนุนการศึกษาของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

กชมน พุ่มมณี 60010003

ณรงค์ศักดิ์ อานไธสง 60010279

ธนวรรณ จอมพงษ์ 60010406

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญตาราง.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.2 Simple Model on Water Retention and Permeability in Soil Mixed with Lignocellulose Fibres.....	5
2.1.3 Shear Strength Improvement of Lateritic Soil Mixed With Waste Plastic Flakes .	7
2.2 Permeability	8
2.2.1 กฎของดาร์ซี	9
2.2.2 กฎของการไหลต่อเนื่อง.....	9
2.2.3 การหาสัมประสิทธิ์ของน้ำ ในดินแบบความดันน้ำคงที่.....	10
2.2.4 ปริมาณน้ำในดิน (Water Content)	11
2.3 Fiber-reinforcement.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใ้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง Soil-Column	30
3.3.2 การเก็บข้อมูล คุณสมบัติทางไฮดรอลิกของดิน ด้วยวิธี Instantaneous Profile Method...	31
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
3.4.1 เส้นอัตราลักษณะของดิน (SWRC)	33
บทที่ 4 สรุปผลการศึกษา.....	34
4.1 บทนำ.....	34
4.2 ผลการศึกษาจากแบบจำลอง.....	34
4.2.1 การเตรียมตัวอย่าง Soil-Column	30
4.2.2 การเตรียมตัวอย่าง Soil-Column	30
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา.....	40
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	40
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	40
บรรณานุกรม.....	41
ภาคผนวก	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.1 Soil-cement composite material.....	4
รูปที่ 2.2 Water Retention curve (WRC) และ Fit กราฟตาม van Genuchten model.....	4
รูปที่ 2.3 ตารางบอกค่าคุณสมบัติของดิน	5
รูปที่ 2.4 ลักษณะของปอกกะจาและไยมะพร้าว.....	6
รูปที่ 2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	6
รูปที่ 2.6 soil water retention curve ของ ดินผสมปอกกะจา และดินผสมไยมะพร้าว.....	7
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Internal fraction angle และ Percent plastic.....	7
รูปที่ 2.8 (ซ้าย) ดินหลวม น้ำไหลผ่านง่าย สัมประสิทธิ์ความชื้นได้สูง (ขวา) ดินแน่น น้ำไหลผ่านยาก สัมประสิทธิ์ความชื้นได้ต่ำ	8
รูปที่ 2.9 แสดงแบบความดันน้ำค้างที่	10
รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบของดิน	11
รูปที่ 2.11 ดินลูกรัง.....	16
รูปที่ 2.12 เส้นโค้งการบดอัด (Compaction curve)	17
รูปที่ 2.13 Soil Moisture Censor.....	18
รูปที่ 2.14 Suction Censor.....	18
รูปที่ 2.15 เส้นอัตตลักษณ์ของดิน (Soil Water Characteristic Curve).....	19
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงการกระจายขนาดของดิน	22
รูปที่ 3.2 กราฟCompaction Curve ของดินเปล่า.....	26
รูปที่ 3.3 ขึ้นพลาสติกตัวอย่างที่จะนำมาแยกขนาด	26
รูปที่ 3.4 กราฟการกระจายขนาดของพลาสติก.....	27
รูปที่ 3.5 ขึ้นพลาสติก3ขนาดที่ผ่านการ sieve	27
รูปที่ 3.6 Data logger.....	28
รูปที่ 3.7 ขนาดmoisture sensor	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.8 วิธีการคาลิเบตmoisture sensor	29
รูปที่ 3.9 ขนาดsuction sensor	29
รูปที่ 3.10 วิธีการคาลิเบตsuction sensor.....	29
รูปที่ 3.11 ท่อนอะคริลิค	30
รูปที่ 3.12 การบดอัดที่ 80% compaction ที่ละ 2 ซม.....	31
รูปที่ 3.13 การแช่ตัวอย่างเพื่อให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ	31
รูปที่ 3.14 การติดตั้งเซนเซอร์และวางบนเครื่องชั่งเพื่อเก็บข้อมูล	32
รูปที่ 4.1 กราฟระหว่างVolumetric Water Content กับ Metric Suction ของดินเปล่า.....	34
รูปที่ 4.2 กราฟระหว่างVolumetric Water Content กับ Metric Suction ของดินผสมพลาสติกขนาดเล็ก.....	35
รูปที่ 4.3 กราฟระหว่างVolumetric Water Content กับ Metric Suction ของดินผสมพลาสติกขนาดใหญ่.....	35
รูปที่ 4.4 กราฟระหว่างVolumetric Water Content กับ Metric Suction ของดินผสมพลาสติกขนาดกลาง.....	36
รูปที่ 4.5 กราฟSWRC เปรียบเทียบระหว่างดินเปล่า ดินผสมพลาสติกขนาดเล็กและใหญ่.....	36
รูปที่ 4.6 กราฟระหว่าง Permeability(m/s)และMatric suction(kpa) ของดินเปล่า.....	37
รูปที่ 4.7 กราฟระหว่าง Permeability(m/s)และMatric suction(kpa) ของดินผสมพลาสติกเล็ก.....	37
รูปที่ 4.8 กราฟระหว่าง Permeability (m/s)และMatric suction(kpa) ของดินผสมพลาสติกใหญ่.....	38
รูปที่ 4.9 กราฟระหว่าง Permeability(m/s)และMatric suction(kpa) ของดินผสมพลาสติกกลาง.....	38
รูปที่ 4.10 กราฟระหว่าง Permeability(m/s)และMatric suction(kpa)	39
รูปที่ 5.1 กราฟSWRC เปรียบเทียบระหว่างดินเปล่า ดินผสมพลาสติกขนาดเล็กและใหญ่.....	38
รูปที่ 6.1 กราฟเปรียบเทียบเซนเซอร์วัด Gravimetric Water Content	42
รูปที่ 6.2 การคำนวณการหาDry densityและwater content	42
รูปที่ 6.3 กราฟCompaction Curve เปรียบเทียบค่าDry densityและwater content.....	42
รูปที่ 6.4 ค่าMaximum Dry densityและOptimum moisture content	42
รูปที่ 6.5 กราฟGrain size distribution เปรียบเทียบระหว่างดินกับพลาสติก	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 1 ค่า Permeability in saturated condition	37
ตารางที่ 2 การคำนวณ Gravimetric water content และ Volumetric water content	44
ตารางที่ 3 การคำนวณการแปลงค่าMoistureและSuctionจากเซนเซอร์ ของดินเปล่า	45
ตารางที่ 4 การคำนวณค่าด้วย Van-Genuchten model เพื่อนำ Fit curve SWRC ของดินเปล่า	46
ตารางที่ 5 การคำนวณการแปลงค่าMoistureและSuctionจากเซนเซอร์ ของดินผสมพลาสติกเล็ก	47
ตารางที่ 6 การคำนวณค่าด้วย Van-Genuchten model เพื่อนำ Fit curve SWRC ของดินผสมพลาสติกเล็ก.....	49
ตารางที่ 7 การคำนวณการแปลงค่าMoistureและSuctionจากเซนเซอร์ ของดินผสมพลาสติกใหญ่.....	50
ตารางที่ 8 การคำนวณค่าด้วย Van-Genuchten model เพื่อนำ Fit curve SWRC ของดินผสมพลาสติกใหญ่	51
ตารางที่ 9 การคำนวณการแปลงค่าMoistureและSuctionจากเซนเซอร์ ของดินผสมพลาสติกกลาง.....	52
ตารางที่ 10 การคำนวณค่าด้วย Van-Genuchten model เพื่อนำ Fit curve SWRC ของดินผสมพลาสติกกลาง	53
ตารางที่ 11 ตารางการคำนวณ ขนาดความกว้างและความยาวของพลาสติกขนาดใหญ่.....	54
ตารางที่ 12 ตารางการคำนวณ ขนาดความกว้างและความยาวของพลาสติกขนาดกลาง.....	55
ตารางที่ 13 ตารางการคำนวณ ขนาดความกว้างและความยาวของพลาสติกขนาดเล็ก	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาเรื่องการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมเชิงอุทกวิทยาของดินนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบสิ่งก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมปฐพี เช่น การสร้างถนน, งานก่อสร้างใต้ดิน, งานเขื่อน เป็นต้น ซึ่งพฤติกรรมเชิงอุทกวิทยานั้นมีผลต่อปัญหาการพังทลายและการเคลื่อนตัวของดินที่อาจส่งผลทำให้โครงสร้างเสียหายได้ โดยจำนวนพลาสติกนั้นมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในทุกๆวัน การรีไซเคิลเพียงอย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอสำหรับปริมาณพลาสติกที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ด้วยเหตุนี้ความต้องการจัดการขยะพลาสติกจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งขยะพลาสติกนั้นมีพฤติกรรมเป็นวัสดุเสริมแรงและสามารถใช้เสริมความมั่นคงของดินหรือใช้ในการพัฒนาคุณภาพดินในรูปแบบอื่น

โดยจากการศึกษาเรื่อง (Soil water retention curve of soil mixed with macro- and microplastics) ในการวิจัยนี้ได้ใช้พลาสติกประเภทPolypropylene (PP) และ Polyethylene (PE) ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม Dow Chemical Thailand LTD. มาผสมกับดินลูกรัง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางHydraulicของดินลูกรังที่ผสมเศษพลาสติก นำมาวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงของดิน ซึ่งส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพและความมั่นคงของดินเพื่อที่จะนำไปใช้ในงานวิศวกรรมต่อไป โดยการศึกษาของผู้จัดทำก็เป็นอีกช่องทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากเศษพลาสติกที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว

1.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเส้นโค้งการอุ้มน้ำ(Soil Water Retention Curve: SWRC)ของดินลูกรังผสมกับซีเมนต์และเศษพลาสติกที่ขนาดต่างกัน
- เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลซึม(Permeability)ของดินลูกรังผสมกับซีเมนต์และเศษพลาสติกที่ขนาดต่างกัน
- เพื่อศึกษานาขนาดของพลาสติกที่เหมาะสมที่จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานวิศวกรรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. พลาสติกที่ใช้ในการวิจัย คือ พลาสติกประเภท Polypropylene (PP) และ Polyethylene (PE) ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรม Dow Chemical Thailand LTD.
2. ดินลูกรัง จาก
 - 2.1. มีขนาดคละผ่านตะแกรงเบอร์ 4
 - 2.2. ค่าความหนาแน่นที่ 80% Standard Proctor
3. ศึกษาคุณสมบัติของดินที่ผสมเศษพลาสติก
 - 3.1. Bare Soil Properties;
 - Grain Size Analysis: ASTM D422
 - Compaction Test: ASTM D698-78, ASTM D1557-78
 - Specific Gravity of Soil: ASTM D854
 - 3.2. Plastic Characteristics;
 - ขนาดพลาสติกแต่ละชนิด: ขนาดเล็ก มีขนาดน้อยกว่า 2.5 มิลลิเมตร
ขนาดกลาง มีขนาด 2.5-4 มิลลิเมตร
ขนาดใหญ่ มีขนาดใหญ่มากกว่า 4 มิลลิเมตร
 - 3.3. Hydraulic Properties;
 - Soil Suction
 - Volumetric Water Content
 - Soil-Water Retention Curve (SWRC)
 - Permeability
4. ศึกษาโดยใช้เฉพาะวิธี Instantaneous Profile Method; Dry process
5. ศึกษาการไหลซึมแบบ 1 มิติเท่านั้น (1-Dimension Permeability)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. กำหนดหัวข้อของงานวิจัยที่สนใจจะศึกษา
2. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการทำวิจัย
3. ค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4. รวบรวมข้อมูลที่ค้นคว้าได้ และวิเคราะห์หาประยุกต์กับงานวิจัย

5. ปรับแก้เครื่องมือและสร้างสมการสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณความชื้นในดินและเครื่องมือวัดความดันของน้ำในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่แต่งขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นมีมติเห็นชอบจากคณะกรรมการบริหารงานวิจัยและพัฒนางานวิจัย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6. จัดเตรียมกระบอกอัลครีติกและบดอัดดินตามที่กำหนด
7. ทำการเก็บข้อมูลปริมาณความชื้นในดินและความดันของน้ำในดิน โดยวิธี Instantaneous Profile Method ในขั้นตอน Dry Process
8. ประมวลผลข้อมูลทั้งหมด และเปรียบเทียบข้อมูล
9. สรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำเศษพลาสติกไปประยุกต์ใช้กับการปรับปรุงคันดินถมได้
2. สามารถนำเครื่องมือวัด Soil Suction และ Moisture Content ไปใช้วัดพฤติกรรมของดินในสนามจริงได้
3. เข้าใจพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่าง Soil Suction กับ ปริมาณน้ำในดินที่ผสมเศษพลาสติก
4. ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมด้านการไหลซึมและเส้นอัตรลักษณะ(SWRC)ของดินที่ผสมเศษพลาสติก
5. เพิ่มช่องทางการกำจัดและลดปริมาณพลาสติกใช้แล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

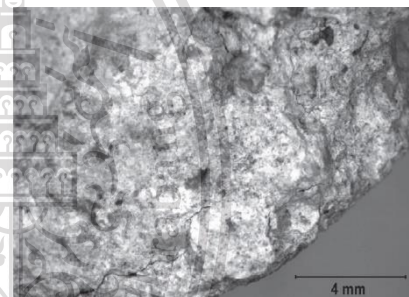
2.1.1 Water retention curve of soil-cement composite material

By Norambuena-Contreras, José 4 October 2015

จุดประสงค์งานวิจัยเพื่อนำเสนอผลการทดลองทางห้องปฏิบัติการและขั้นตอนที่ใช้ในการกำหนด Water retention curve (WRC : เป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้นที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง the matric suction (ψ) และ water content (θ) ของวัสดุพูนที่ประเมินภายใต้สถานะที่ไม่อิ่มตัวของวัสดุผสมดินซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างทางเท้า โดยการวัด Water content และ Matric suction ในดินผสมกับซีเมนต์พอร์ตแลนด์ 3.5% โดยใช้เครื่องมือวัดแรงดันดิน ค่าที่เหมาะสมของ WRC ถูกคำนวณตามทฤษฎีแบบจำลอง Four-parameter ของ van Genuchten

ดินที่ใช้เป็นชั้นปรับปรุงชั้นล่างในการก่อสร้างทางเท้าถูกนำมาวิเคราะห์ในการศึกษานี้ ดินถูกนำออกมาจากการก่อสร้างส่วนของถนนที่ตั้งอยู่ในเมืองซานทานแดร์ภาคเหนือของสเปน ด้วยเหตุนี้การระบุและจำแนกประเภทของวัสดุจึงเป็นไปตามคำแนะนำของมาตรฐานยุโรป ประกอบด้วยส่วนผสมของดินเหนียวปนทรายแป้ง (silty-clay soil) กับปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ 3.5% ตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ไม่ถูกรบกวนจำนวน 9 ตัวอย่าง ขนาดตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 มม. และความสูง 20 มม. แต่ละตัวอย่างถูกเก็บไว้ในภาชนะบรรจุจนกระทั่งตัวอย่างถูกทดสอบ

จากกราฟอัตราการคงค้างของน้ำในดิน จะเห็นว่าเมื่อ Water content เพิ่มขึ้น ค่า Matric suction จะลดลง ซึ่งจากการทดลองที่ปริมาณ Water content น้อยวัสดุ soil-cement ก็จะสามารถดูดซึมน้ำได้สูง ทำให้มี Suction มาก ส่งผลให้ดินมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่เมื่อมีวัสดุปริมาณ Water content ที่เพิ่มขึ้น ก็จะสามารถดูดน้ำได้น้อยลง ทำให้มีค่า Suction น้อยลง ส่งผลให้ดินมีความแข็งแรงน้อยลงตามไปเช่นกัน



รูปที่ 2.1 Soil-cement composite material

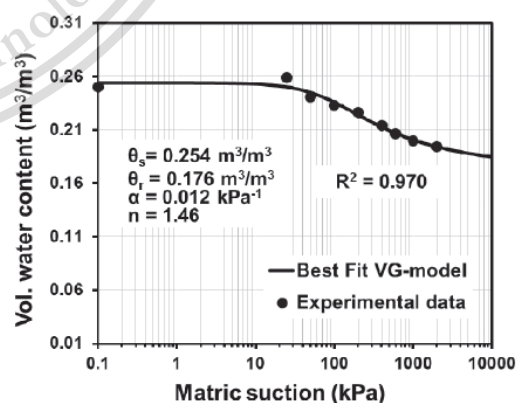


Figure 6. Water retention curve (WRC) and fitting parameters (θ_s , θ_r , α , n) according to the van Genuchten model (VG).

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Fit กราฟตาม van Genuchten model

2.1.2 Simple Model on Water Retention and Permeability in Soil Mixed with Lignocellulose Fibres

By Ni Junjun , Sanandam Bordoloi , Garg Ankit , Shao Wei , and Sreedeeep S., Received April 3

จุดประสงค์งานวิจัยเพื่อคุณสมบัติการกักเก็บน้ำและการซึมผ่าน ของดินผสมกับเส้นใยลิกโนเซลลูโลส ซึ่งมาจาก ปอกระเจา (jute) กับ กากไยมะพร้าว (coir) และดูโครงสร้างช่องว่างของเส้นใย (ความพรุน) ซึ่งเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ทำการทดสอบโดยการผสมดินกับไยมะพร้าว และ ผสมดินกับปอกระเจา โดยทำการเอาไยมะพร้าวกับปอกระเจามาหาคุณสมบัติก่อน ใยที่เอามาทดสอบเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.2 mm ความยาว 14 mm ความพรุน 0.7 เอามาเปรียบเทียบกันได้ดังตาราง

Index properties	Coir	Jute
Bio-chemical composition		
Cellulose (%)	43.4±2.45	60±3.2
Hemicellulose (%)	14.7±2.32	22.1±0.98
Lignin (%)	38.3±3.1	15.9±2.45
Ash (%)	2±0.36	1±0.76
Physical properties		
Natural moisture content (%)	7.5±0.9	10.1±1.1
Specific gravity (g/cc)	1.24±0.1	1.12±0.2
Breaking tensile strength (MPa)	150±14	500±23
Elongation at break (%)	26±2.75	10±2.4

Index properties	Value
Specific gravity	2.58
Particle-size distribution (%)	
Coarse sand (4.75 mm – 2 mm)	0
Medium sand (2 mm – 0.425 mm)	7
Fine sand (0.425 mm–0.075 mm)	19
Silt (0.075 mm – 0.002 mm)	50
Clay (<0.002 mm)	24
Specific gravity	2.58
Atterberg limit (%)	
Plastic limit	24
Liquid limit	42
Plasticity index	18
Shrinkage index	21.3
Standard compaction tests	
Maximum dry density (kg/m ³)	1690
Optimum moisture content (%)	17

รูปที่ 2.3 ตารางบอกค่าคุณสมบัติของดิน

จะเห็นได้ว่า ปอกระเจา มีเซลลูโลสสูง (60±3.2%) ทำให้ปอกระเจาเป็นเส้นใยที่แข็งแรงและมี tensile strength สูง (500±23MPa) และมี strain to failure ต่ำ(10±2.4%) ส่วน ไยมะพร้าวมีลิกนินสูง (38.3±3.1%) และมีค่า elongation (26±2.75%) จากตารางที่ 2 ดินที่นำมาทดสอบมาจากเนินเขาทาง ตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย ทดสอบผ่าน ASTM มีทราย 26% ตะกอน 50% ดินเหนียว 24% liquid limit 42% plastic limit 24% ซึ่งเป็นดิน low plastic silt (ML) และมี Maximum Dry Density (MDD) 1690 kg/m³ Optimum moisture content 17%

จากรูปข้างล่างจะเห็นได้ว่า ไยมะพร้าวจะค่อนข้างหยาบกว่าไยของปอกระเจา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

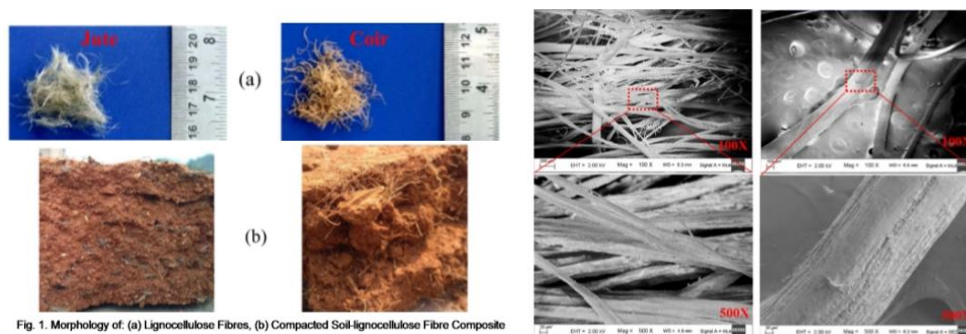


Fig. 1. Morphology of: (a) Lignocellulose Fibres, (b) Compacted Soil-lignocellulose Fibre Composite

รูปที่ 2.4 ลักษณะของปอกกะจาและใยมะพร้าว

การเตรียมตัวอย่างทดสอบเอาดินมาบดอัดในกระบอก PVC โดยมีความเส้นผ่านศูนย์กลาง 300 mm ความสูง 250 mm โดยวางไว้บนฐานที่เป็นรูและมีกระดาษกรองวางไว้ด้านล่างเพื่อป้องกันการสูญเสียดิน โดยตัวอย่างนี้ถูกบดอัดคงที่ 0.9 MDD เป็นระดับที่จับยึดกันแน่นในเขื่อน เอาดินที่อบและเส้นใย 0.75 % มาผสมกันในมันเข้ากัน เอาสเปรย์ฉีดน้ำพรมดินกับเส้นใยที่ผสมกัน และจากนั้นก็ผสมต่อเอาจให้ดินกับเส้นใยจับตัวเป็นก้อน ทำไปเรื่อยๆจนปริมาณน้ำในดินมี 17 % (w/w) จากนั้นเอาดินที่ผสมกับเส้นใยไปเก็บไว้ในถุงพลาสติกปิดผนึก 24 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นในดินสมดุล หลังจากนั้นหีบสุมดินในถุงมาวัด water content และ dry density ซึ่งจากการวัดได้ความต่างน้อยกว่า 2% แสดงว่าดินได้ผสมอย่างสม่ำเสมอ ก่อนทำการบดอัด เอาน้ำมันหล่อลื่นทาไปที่กระบอกดินเพื่อลดแรงเสียดทาน โดยแบ่งดินเป็น 3 ชั้นความหนาเท่าๆกัน ความสูงของดินคือ 170 mm ทำ 9 ตัวอย่าง พอบดอัดเสร็จ เอาคอลัมน์ไปวางไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิ ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$) และความชื้นสัมพัทธ์ ($40 \pm 5\%$) และมีเซนเซอร์วัดความชื้น 2 ตัว MPS6 suction sensor กับ EC-5 volumetric water content sensor ติดตั้งลงมาจากดิน 40 mm โดยเซนเซอร์ทั้งสองตัวจะส่งข้อมูลมายัง Em 50 Data logger ระบบจะบันทึกข้อมูล SWRC(soil water retention curve) ตลอดระยะเวลา



Fig. 3. Test Set-up for Measuring Suction and Moisture Content on Soil and Soil-fibre Composites (unit: mm)

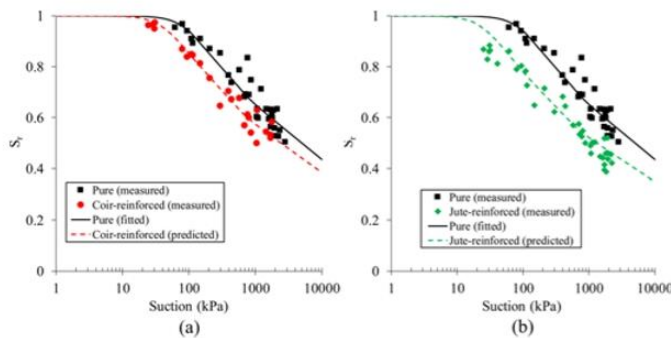
รูปที่ 2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพียงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Bordoloi เขาทดสอบโดยใช้ปริมาณเส้นใยที่เอาไปผสม 3 ค่า 0.5% 0.75% 1% ทั้งใยมะพร้าวผสมดินกับ ปอกระเจาผสมดิน และใช้ค่าบดอัดต่างกัน 2 ค่า 0.9 MDD 1.05 MDD



รูปที่ 2.6 soil water retention curve ของ ดินผสมปอกระเจา และ ดินผสมใยมะพร้าว

จากการทดสอบทำโมเดลหาค่าการกักเก็บและค่าการซึมผ่านของดินผสมเส้นใยมะพร้าวและปอกระเจา ทำให้ทราบว่าเส้นใยทั้งสองมีความพรุนสูงทำให้ค่า AEV ลดลงจาก 8KPa ไป 2-3 KPa ซึ่งยิ่งเส้นใยมีความพรุนสูงและมีช่องว่างเยอะจะทำให้ค่า AEV ลดลง และค่าการซึมผ่านของน้ำในดินเพิ่มขึ้นเนื่องจากการไหลที่เพิ่มขึ้น

ตามเซลลูโลส ซึ่งจากการทดลองได้ค่าการกักเก็บน้ำ 15% ค่ากาซึมผ่าน 28%

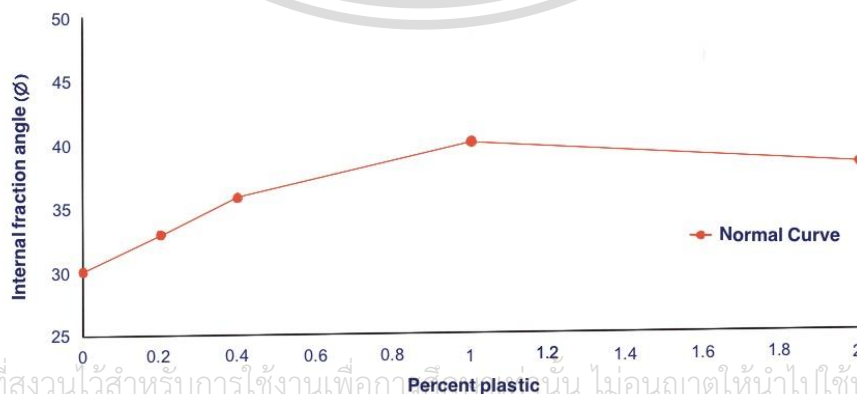
2.1.3 Shear Strength Improvement of Lateritic Soil Mixed With Waste Plastic Flakes

By บุญยกร อินทร์คง, ปณิธาน ปิตมานุรักษ์, ปุญญพัฒน์ แป๊ะชวด, ธนกฤต จูอาภรณ์

เป็นการศึกษาพฤติกรรมรับแรงเฉือนของดินลูกรังที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเศษขยะพลาสติก และเพื่อหาสัดส่วนพลาสติกที่เหมาะสม

โดยผสมดินลูกรังกับเศษขยะพลาสติกประเภท PE และ PP โดยเปอร์เซ็นต์พลาสติกที่ผสมกับดินได้แก่ 0% 0.2% 1% และ 2% โดยน้ำหนักดินแห้ง และทำการเฉือนด้วย Direct Shear Test ;ASTM D 3080

ในสถานะอิ่มตัวด้วยน้ำและไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ จากการทดลองได้ สัดส่วนที่ทำให้กำลังรับแรงเฉือนเพิ่มได้ดีที่สุด คือ 1% โดยน้ำหนักดินแห้ง และต้องทดสอบในสถานะอิ่มตัวด้วยน้ำ



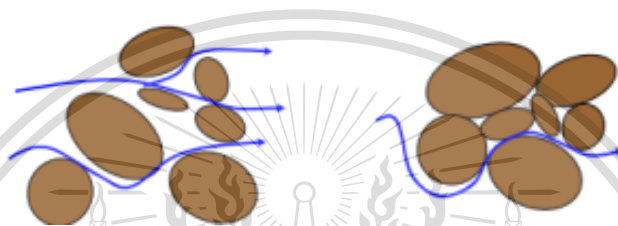
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Internal friction angle และ Percent plastic ที่มีการนำไปใช้

การแสดงอัตราส่วนพลาสติกที่ดีที่สุด สังเกตได้ว่าที่พลาสติก 1% ดินลูกรังจะมีค่า มุมเสียดทาน ภายใต้อัตราส่วนสูงสุด

2.2 Permeability

Permeability หรือความซึมได้ของน้ำ คือ ความสามารถที่มวลดินยอมให้น้ำซึมผ่านไปได้หากมวลดินยอมให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย หมายถึงความซึมได้ของน้ำสูงเรียกว่า “Pervious Soil” และถ้ามวลดินไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านหรือซึมผ่านได้ยาก เรียกว่า “Impervious Soil”



รูปที่ 2.8 (ซ้าย) ดินหยาบ น้ำไหลผ่านง่าย สัมประสิทธิ์ความซึมได้สูง
(ขวา) ดินแน่น น้ำไหลผ่านยาก สัมประสิทธิ์ความซึมได้ต่ำ

ในมวลดินที่อัดตัว ช่องว่างระหว่างเม็ดดินซึ่งมีน้ำอยู่ต่อเนื่องกัน การไหลซึมของน้ำผ่านมวลดิน เป็นแบบ Laminar Flow ผ่านช่องคดเคี้ยวระหว่างเม็ดดิน ในขณะเดียวกันแรงดันของน้ำ ก็จะเสียไปเพราะแรงเสียดทานของผิวช่องเม็ดดิน Darcy (ปี ค.ศ. 1856) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสได้เสนอกฎแห่งการไหลซึมไว้ว่า ความเร็วของการไหลซึมของของเหลวผ่านตัวกลางพรุนจะเป็นปฏิภาคกับไฮดรอลิกส์เกรเดียน (Hydraulic Gradient) มวลดินเป็นวัสดุที่มีช่องว่างต่อเนื่องในระหว่างเม็ดดิน ซึ่งน้ำสามารถไหลซึมผ่านได้ โดยมวลดินที่น้ำไหลซึมผ่านได้ง่าย ได้แก่ ดินจำพวกกรวดทราย ส่วนมวลดินที่น้ำ ไหลซึมผ่านได้ยากได้แก่ดิน ที่มีดินเหนียวปนอยู่หรือดินเหนียวล้วน ถ้าน้ำไหลผ่านมวลดินได้ง่ายค่าสัมประสิทธิ์จะมีมาก นั่นคือดินจะมีช่องว่างมาก หรือดินอยู่ในสภาพหลวมและถ้าค่าสัมประสิทธิ์มีค่าน้อยเท่าใดก็แสดงว่าดินนั้นมีความหนาแน่นมาก ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้สามารถวัดความหนาแน่นของดินได้อีกวิธีหนึ่ง

การทดสอบในห้องปฏิบัติการจะมีอยู่ 2 วิธี คือ การทดสอบแบบความดันน้ำคงที่ สำหรับทดสอบกับ ดินเม็ด หยาบ และการทดสอบแบบความดันน้ำเปลี่ยนแปลง สำหรับทดสอบกับดินเม็ดละเอียด ถ้าหากสภาพดินที่แตกต่างกันหลายชั้นก็สามารถจะหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ โดยการนำค่าดังกล่าวของแต่ละชั้นมาใช้ในการแทนค่าสมการซึ่งพิจารณาได้ 2 ทิศทางคือ ทิศทางตั้งฉากกับชั้นดิน และทิศทางขนานกับชั้นดินนอกจากนี้แล้วยังสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ได้จากการทดสอบในสนามอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.1 กฎของดาร์ซี

ทำการทดลองในทรายโดยให้น้ำไหลผ่านทรายที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และให้น้ำไหลด้วยความเร็วที่ช้ามากลักษณะการไหลเป็นแบบลามิน่า และสภาพการไหลอยู่ในลักษณะคงตัว ดาร์ซีได้เขียนเป็นสมการว่า

$$v = k i$$

เมื่อ v = ความชันทางชลศาสตร์

k = สัมประสิทธิ์ของการซึม

i = เป็นค่าสัดส่วนระหว่างผลต่างของเฮดทั้งหมดกับความยาวของเส้นน้ำไหลซึม

และปริมาณอัตราการไหล q หาได้จาก

$$q = v A$$

$$q = k i A$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดของดินที่น้ำ ไหลผ่านในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของการไหลของน้ำ

2.2.2 กฎของการไหลต่อเนื่อง

จะพิจารณาถึงการไม่สูญหายของน้ำในมวลดินด้วยกฎนี้ทำให้เกิดสมการที่ครอบคลุมการไหลซึมผ่านน้ำ มวลดิน เมื่อพิจารณาว่าดินเป็นสารที่มีสมบัติทางด้าน การซึมผ่านมวลดิน เท่ากันทุกด้าน

สัมประสิทธิ์ของการซึมของดิน (ค่า k) ทั่ว ไปอยู่ระหว่าง 1 ถึง 10^{-9} ซม.ต่อวินาทีดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าทั่วไปของสัมประสิทธิ์การซึม (ซม.ต่อวินาที)

ชนิดของดิน	ค่า k (ซม.ต่อวินาที)
กรวด	$1-10^2$
กรวดเม็ดละเอียด, ทรายหยาบ	$1-10^{-3}$
ทรายละเอียดและซิลท์ ดัไม่แน่น	$10^{-3}-10^{-5}$
ซิลท์อัดแน่นและซิลท์ นดินเหนียว	$10^{-5}-10^{-6}$
ดินเหนียวปนซิลท์และดินเหนียว	$10^{-6}-10^{-9}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 สัมประสิทธิ์ของการซึมขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของชนิดของเม็ดดินอย่างมาก การเก็บตัวอย่าง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ดินมาทดสอบในห้องทดลอง มักให้ผลที่ไม่ดีเท่ากับการทดลองในสนาม เนื่องจากผลของการที่ตัวอย่างถูก
 This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

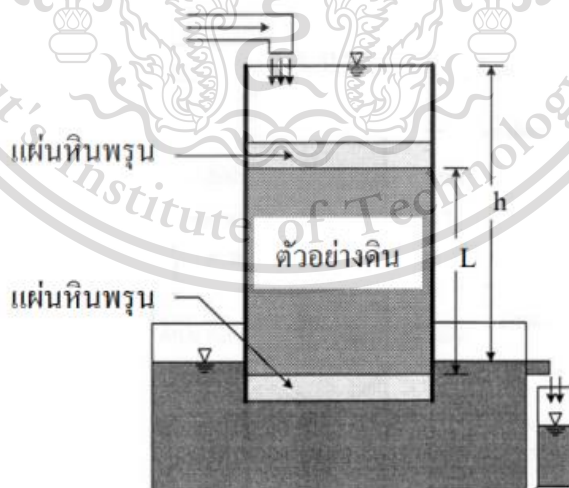
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รบกวน และการที่ส่วนประกอบของตัวอย่างดินแตกต่างกันออกไปจากดินในสนาม

ตัวประกอบที่มีผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์ของการซึม ค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมขึ้นขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลายอย่างดังนี้

1. ความหนืดและความหนาแน่นของของเหลวที่ไหล
2. ขนาดและความต่อเนื่องของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ซึ่งน้ำ จะต้องไหลผ่านสิ่งเหล่านี้
 - 1) ขนาดและรูปร่างเม็ดดิน เมื่อดินมีขนาดเม็ดละเอียดมากขึ้น ค่า k จะลดลง
 - 2) อัตราส่วนช่องว่างและความหนาแน่นของดิน
 - 3) การอิมตัวด้วยน้ำ
 - 4) โครงสร้างการเรียงตัวของเม็ดดิน
 - 5) เมื่อมีปริมาณของดินเม็ดละเอียดเพิ่มขึ้น ค่า k จะลดลง
3. การต่อเนื่องและการเป็นเนื้อเดียวกันของชนิดดินในธรรมชาติโดยถ้าชั้นดินมีดินชนิดอื่นปนแทรกอยู่ ดินที่แทรกนี้จะมีส่วนเข้าไปส่งผลกระทบบต่อค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมของมวลดินทั้งหมด

2.2.3 การหาสัมประสิทธิ์ของน้ำ ในดินแบบความดันน้ำคงที่



รูปที่ 2.9 แสดงแบบความดันน้ำคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$Q = A k i$$

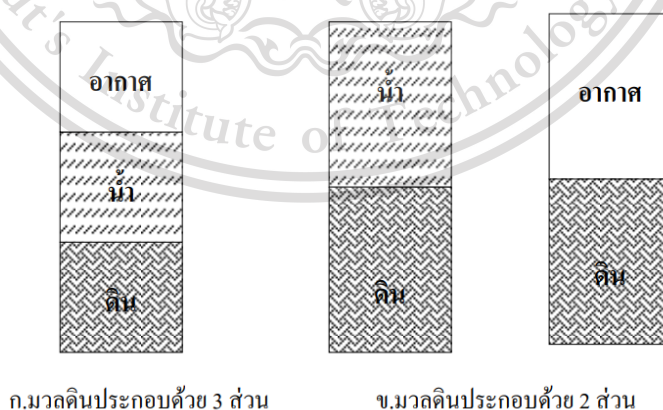
$$k = \frac{Q}{A i t} = \frac{Q L}{A t h}$$

- เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านมวลดิน
 A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน
 t = เวลาของน้ำที่ไหลซึมผ่านดิน
 h = ระดับน้ำในช่วงความยาวการไหลซึม
 L = ความยาวของตัวอย่างดิน

2.2.4 ปริมาณน้ำในดิน (Water Content)

มวลดินประกอบด้วยส่วนที่เป็นเม็ดดินหรือมวลของแข็ง ซึ่งเป็นอนุภาคของแร่และอินทรีย์สารโดยอนุภาคมีรูปร่าง 3 มิติ มีผลทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเม็ด ภายในช่องว่างจะบรรจุด้วยมวลของน้ำและมวลของอากาศ ซึ่งจะเรียกว่า ดินชื้นหรือดินเปียก บางสภาวะช่องว่างระหว่างเม็ดดินอาจมีเฉพาะมวลของน้ำ จะเรียกว่า สภาวะอิ่มตัว หรืออาจมีเฉพาะมวลของอากาศจะเรียกว่าอยู่ในสภาพดินแห้ง การหาปริมาณความชื้นในมวลดินคือ การหาอัตราส่วนระหว่างมวลหรือน้ำหนักของน้ำต่อมวลหรือน้ำหนักของเม็ดดินที่มีอยู่ในมวลดิน

ดินตามธรรมชาตินั้นองค์ประกอบของมวลดิน มี 3 ส่วนใหญ่ๆ ส่วนแรกคือ ส่วนที่เป็นเม็ดดินหรือของแข็ง ส่วนที่สองคือส่วนที่เป็นน้ำหรือของเหลวและส่วนที่สามคือส่วนที่เป็นอากาศหรือก๊าซ ทั้งนี้ดินไม่จำเป็นต้องมีส่วนประกอบครบทั้ง 3 ส่วน อาจจะมีส่วนประกอบเพียง 2 ส่วนก็ได้ขึ้นอยู่กับสภาวะของมวลดินเป็นเกณฑ์ดังแสดงส่วนประกอบของมวลดินดังภาพที่



รูปที่ 2.10 แสดงส่วนประกอบของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การแสดงปริมาณน้ำในดินที่นิยมทั่วไป มี 3 วิธี

1) ปริมาณความชื้นดินโดยน้ำหนัก (Gravimetric water content)

เป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักของความชื้นดินกับน้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยวัดอาจแสดงสัดส่วนของน้ำหนักเป็นกรัมต่อกรัม หรือแสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก (% by weight) ก็ได้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการหาค่าความชื้นดิน

$$\theta_m = \frac{m_w}{m_s}$$

2) ปริมาณความชื้นดินโดยปริมาตร (volume water content)

เป็นปริมาณความชื้นดินที่เปรียบเทียบระหว่างปริมาตรของความชื้นดินกับปริมาตรดิน หน่วยวัดอาจแสดงเป็น เช่น มิลลิลิตร/มิลลิลิตร หรือ ร้อยละโดยปริมาตร (% by volume) ก็ได้

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_s}$$

3) ปริมาณความชื้นดินเป็นความสูงของน้ำ (depth water content)

เป็นการคำนวณจากสัดส่วนหรือร้อยละของความชื้นดินโดยปริมาตรหรือน้ำหนัก โดยจะต้องระบุความลึกของดิน มีหน่วยเช่นเดียวกับหน่วยความสูงของดินที่ใช้ในการคำนวณ เช่น ซม. มิลลิเมตร หรือ นิ้ว เช่น ความชื้นของน้ำในดินที่ตลอดความลึก 50 เซนติเมตรจะมีความสูงเท่ากับ 13 เซนติเมตรเมื่อดินมีปริมาณความชื้น 20% และมีค่าความหนาแน่นรวมของดินเท่ากับ 1.3 กรัมต่อมิลลิลิตร มักใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำเพื่อการชลประทาน

$$V_w = \theta_v A z$$

2.3 Fiber-reinforcement

Fiber reinforcement จัดเป็นวัสดุ composite ประกอบด้วยการรวมวัสดุมากกว่า 2 ประเภทเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปคอมโพสิตจะมีวัสดุที่เป็นเนื้อหลัก (matrix) และวัสดุเสริมแรง (reinforcement materials) ที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อหลักนั้น วัสดุที่เป็นเนื้อหลัก มีหน้าที่รองรับวัสดุเสริมแรง ในขณะที่วัสดุเสริมแรงจะช่วยเพิ่ม หรือปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อหลัก ให้สูงขึ้น ซึ่งวัสดุเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเส้น ก้อน อนุภาค หรือเกล็ดก็ได้ แทรกอยู่ในวัสดุเนื้อหลัก (base materials) อย่างโลหะ เซรามิกส์ หรือโพลีเมอร์ ผลของการรวมวัสดุต่างกัน 2 ประเภทเข้าด้วยกันทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ซึ่งในการทดลองของเราจะใช้วัสดุหลักเป็นดิน และวัสดุเป็นเศษพลาสติก

โดยการหากล้างด้านทานแรงเฉือนของวัสดุ fiber-reinforcement สามารถอ้างอิงจากการทดลองล้างด้านทานแรงเฉือนของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติก ทำให้ทราบว่าเมื่อเรานำพลาสติกมาเสริมแรงให้กับดินด้วยเปอร์เซ็นต์พลาสติกโดยน้ำหนักดินแห้งที่ต่างกัน นั้นสามารถเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนตั้งตารางเปรียบเทียบด้านล่าง โดยกำหนดให้ ความลึกและ Normal Stress มีขนาดเท่ากันจะได้ค่าดังนี้

ตาราง 2.2 เปรียบเทียบ Shear Stress ของดินลูกรังผสมเศษขยะพลาสติกที่ 0%, 0.2%, 0.4%, 1%, 2% โดยน้ำหนักดินแห้ง

% Plastic	Depth (m.)	Normal Stress (KPa.)	Shear Stress (KPa.)
0 %	5.00	71.78	43.72
0.2 %	5.00	71.78	44.19
0.4 %	5.00	71.78	55.56
1 %	5.00	71.78	62.34
2 %	5.00	71.78	57.31

2.4 คุณสมบัติเชิงกลของพลาสติก

พลาสติกที่นำมาทดสอบมาจากโรงงานอุตสาหกรรม มีด้วยกัน 2 ชนิด

2.4.1 Polypropylene (PP)

เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกที่เบาที่สุด มีสมบัติเชิงกลดีมาก เหนียว ทนต่อแรงดึง แรงกระแทกและทรงตัวดี มีจุดหลอมตัวที่ 165 °C ใสน้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก มีการนำเอา PP ไปใช้งานในลักษณะเดียวกับ PE เมื่อต้องการให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น PP ได้ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น ใช้ทำถุงร้อน ฟิล์มใส ฟิล์มห่อหุ้ม หรือบรรจุอาหารที่ไม่ต้องการให้ออกซิเจนซึมผ่าน พลาสติกหุ้มของบุหรี เชือก แห อวน ถังน้ำมัน ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ ภาชนะเครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น

2.4.2 Polyethylene (PE)

เป็นเทอร์โมพลาสติก มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี , มีความเหนียว และทนทานต่อแรงดึงปานกลาง พวกที่มีความหนาแน่นต่ำจะใสมากแต่จะขุ่นเมื่อความหนาแน่นสูง ปกติจะไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 °C จะเริ่มละลาย PE ได้ถูกจำแนกเป็นหลายชนิด ตัวหลักๆ ที่ใช้กันมากคือ LDPE , LLDPE , MDPE , HDPE การใช้งานของ PE กว้างขวางมาก ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ เช่น ขวด, แผงบรรจุยา, และสายน้ำเกลือ, ชิ้นส่วนรถยนต์, เชือก, แห, อวน, ถุงพลาสติก, ท่อ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และรางน้ำ, เครื่องใช้ในครัวเรือน, ของเด็กเล่น, ฉนวนหุ้มสายไฟ, สายเคเบิล, ดอกไม้พลาสติก, เคลือบหลังพรม, ฝ้าโพลีเอสเตอร์, แผ่นฟิล์มสำหรับการบรรจุหีบห่อ, แผ่นฟิล์มที่ใช้ในการเกษตร เป็นต้น

2.5 คุณสมบัติพื้นฐานของดิน

2.5.1 สมบัติการซึมผ่านน้ำ (Hydraulic Conductivity)

2.5.1.1 ความชื้นน้ำของดิน

ในมวลดินจะประกอบไปด้วยส่วนของเม็ดดิน ช่องว่างระหว่างเม็ดดินซึ่งเรียงตัวคดเคี้ยวไปมาต่อเนื่องกัน การไหลของน้ำผ่านดินเกิดขึ้นได้เมื่อมีพลังงานต่างกันระหว่างจุดสองจุดในดินโดยไหลจากจุดที่มีพลังงานสูงกว่าไปยังจุดที่มีพลังงานต่ำน้ำจะไหลผ่านช่องว่างเหล่านี้ ดังนั้นหากช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีขนาดเล็กน้ำก็จะไหลผ่านได้ยากกว่าดินที่มีช่องว่างขนาดใหญ่ ความสามารถของมวลดินที่ยอมให้น้ำไหลผ่านเรียกว่า “ความชื้นน้ำของดิน” (Hydraulic Conductivity) ซึ่งค่าที่จะบอกถึงความชื้นน้ำในดินได้เรียกว่า “สัมประสิทธิ์ความชื้นได้” หรือ “Coefficient of Permeability, k ” นอกจากช่องว่างระหว่างเม็ดดินแล้วยังมีอิทธิพลอื่นๆ ที่มีผลต่อการไหลซึมผ่านของน้ำในดิน ได้แก่

1. การกระจายตัวของเม็ดดิน (Particle Size Distribution)
2. รูปร่างและผิวของเม็ดดิน (Particle Shape and Texture)
3. องค์ประกอบแร่ธาตุในมวลดิน (Mineralogical Composition)
4. อัตราส่วนช่องว่างของดิน (Voids Ratio)
5. ระดับความอิ่มตัว (Degree of Saturation)
6. ลักษณะโครงสร้างของมวลดิน (Soil Fabric)
7. คุณสมบัติของของเหลวในช่องว่าง (Nature of Fluid)

2.5.1.2 แรงดึงดูดน้ำในดิน (Soil suction)

แรงดึงดูดน้ำในดิน คือแรงดูดยึดที่ดินมีกับน้ำที่อยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดินซึ่งจะมีค่ามากขึ้นเมื่อความชื้นในดินลดลง และเมื่อช่องว่างระหว่างอนุภาคดินมีขนาดเล็กลง น้ำในช่องว่างดินที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินจะอยู่ใต้อิทธิพลของแรงดึงดูดที่เรียกว่า แรงดึงดูดเมทริกหรือแรงคาพิลลารี (Matric or Capillary suction) และแรงดึงดูดออสโมติก (Osmotic suction) คือความสามารถในการดูดน้ำเข้าหา

ตัวเองของดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของสารละลายเกลือของน้ำในดินด้วย โดยดินที่มีสารละลายเกลือปนอยู่ในน้ำมากความสามารถในการดูดน้ำเข้าหาตัวเองจะได้น้ำมากด้วย (Fredlund and Rahardjo, 1993) ซึ่งมีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ความสัมพันธ์ดังสมการ โดยที่ u_a คือแรงดันอากาศในช่องว่างดิน และ u_w คือ แรงดันน้ำในดิน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\Psi = (u_a - u_w) + \pi$$

แรงดึงดูดเมทริกหรือแรงคาพิวลาสามารถหาได้ด้วยการใช้หม้อแรงดัน (Pressure plate) ตามมาตรฐาน ASTM D6836-02 ทดสอบหาค่าแรงคาพิวลา เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและแรงดึงดูดเมทริกหรือแรงคาพิวลา (Soil Water Characteristic Curve : SWCC)

2.5.1.3 กฎการไหลของดาร์ซี (Darcy's Law)

ในปี ค.ศ. 1856 Darcy ได้พบความสัมพันธ์ระหว่างการไหลของน้ำผ่านทรายว่า “อัตราการไหลจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความชันชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient)” คือ

$$v \propto i$$

$$V = ki$$

เมื่อ v = อัตราการไหลของน้ำผ่านดิน

i = ความชันทางชลศาสตร์

k = สัมประสิทธิ์ความซึมของดิน (Permeability of Soil)

$$q = vA$$

$$q = kiA$$

เมื่อ q = ปริมาณการไหลของน้ำผ่านดินต่อหนึ่งหน่วยเวลา

A = พื้นที่หน้าตัดของดินในทิศทางตั้งฉาก (Cross-Sectional Area)

สัมประสิทธิ์การซึมได้ของดินเป็นคุณสมบัติเฉพาะสำหรับดินแต่ละชนิด จึงต้องมีการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมของดิน สำหรับดินนั้นๆ

ตาราง 2.3 ค่าโดยทั่วไปของสัมประสิทธิ์การซึมได้ของดินชนิดต่างๆ

ชนิดของดิน	สัมประสิทธิ์การซึมได้	
	cm/sec	ft/min
ทรายสะอาด (Clean Sand)	1-100	2-200
ทรายเม็ดหยาบ (Coarse Sand)	1-0.01	2-0.02
ทรายเม็ดละเอียด (Fine Sand)	0.01-0.001	0.02-0.002
ดินตะกอน (Silt)	0.001-0.00001	0.002-0.00002
ดินเหนียว (Clay)	<0.000001	<0.000002

2.5.2 ลักษณะดินที่นำมาทดลอง

ดินที่นำมาทดลองเป็นดินลูกรัง คือ ดินที่พบชั้นลูกรัง ชั้นกรวด ชั้นเศษหิน หรือ พบเศษหินกรวด หินมนเล็ก มากกว่า 35 % ของเนื้อดินโดยปริมาตร เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย, บางพื้นที่เป็นดินเหนียวปน หินกรวด หินมนเล็ก, บางพื้นที่เป็นดินที่เกิดจากการสลายตัวของหิน แล้วกลายสภาพมาเป็นลูกรัง เป็นดินที่มีความหนาแน่นสูง แต่ ศักยภาพในการเกษตรต่ำมาก ลักษณะสี แดง เหลือง ตามแต่พื้นที่ ราคาถูก เหมาะสำหรับใช้ในงานทำถนน หรือลานจอดรถ



รูปที่ 2.11 ดินลูกรัง

2.5.3 การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction)

การบดอัดดินคือ การปรับปรุงคุณภาพดินโดยการประยุกต์ใช้พลังงานเชิงกล ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพดินปริมาณความชื้นที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่นจะปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการบดอัดโดยอาศัยการสั่นสะเทือนและสำหรับดินเม็ดละเอียด สามารถทดสอบการบดอัดดินได้ในห้องปฏิบัติการ โดยวิธีของ Proctor การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Test) จะต้องทดลองบดอัดตัวอย่างดินด้วยวิธีการตามมาตรฐาน (เช่น ASTM D698 ASTM D1557 เป็นต้น) ที่ปริมาณความชื้นต่าง ๆ กันประมาณ 4-5 ค่า คำนวณความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินในการบดอัดตัวอย่างดินแต่ละครั้ง แล้วพล็อตเส้นโค้งเรียบผ่านจุดที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุด

(Maximum Dry Density) และความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Water Content) ดังรูปที่ 2.4

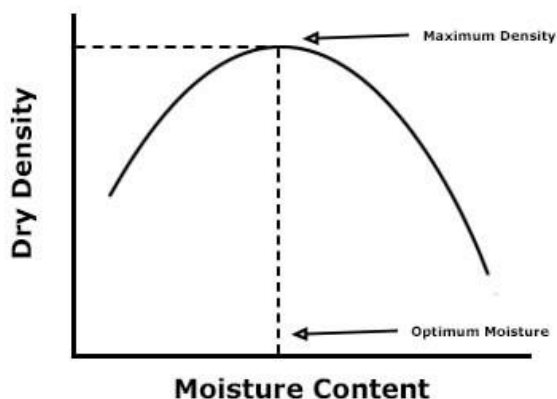
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Proctor Curve (Moisture Density Curve)



รูปที่ 2.12 เส้นโค้งการบดอัด (Compaction curve)

สามารถใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการพล็อตเส้นโค้งการบดอัด (Compaction curve) แล้วอ่านค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและความชื้นที่เหมาะสมได้จากกราฟโดยตรงหรือ พล็อตเส้นโค้งการบดอัดโดยใช้เส้นแนวโน้ม (trend line) จากนั้นคำนวณความหนาแน่นแห้งสูงสุดและความชื้นที่เหมาะสมจากสมการของเส้นแนวโน้มที่ได้จากโปรแกรม Microsoft Excel

2.6 การทดสอบการไหลซึมด้วย Instantaneous Profile Method

2.6.1 Instantaneous Profile Method

Instantaneous Profile Method ได้ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในการหาความนำชลศาสตร์ (Hydraulic Conductivity) สำหรับดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยวิธีนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ แรงดันของน้ำในดิน (Suction) และ ปริมาณความชื้นในดิน (Water Content) ในกระบอกดิน ซึ่งวัดเป็นความสัมพันธ์กับเวลาโดยความสัมพันธ์ที่พิจารณาทั้งความชื้นเพิ่ม และความชื้นลด (Dry and Wet Process)

เส้นโค้งการอุ้มน้ำ (Soil-Water Retention Curve) คือความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันของน้ำในดิน และปริมาณความชื้นในดิน ใช้ศึกษาคุณสมบัติของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ โดยเส้นโค้งนี้จะมีพฤติกรรมขึ้นอยู่กับประเภทของดิน ซึ่งสามารถใช้คาดการณ์การกักเก็บน้ำในดิน ปริมาณน้ำสำหรับพืช และ เสถียรภาพของดินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.2 เครื่องมือวัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor)

เครื่องมือวัดความชื้นในดินดังภาพ 2.9 เป็นเครื่องมือสำหรับอ่านปริมาณความชื้นที่อยู่โดยรอบดินโดยใช้ก้านทั้งสองหยั่งลงไปในดินมีความยาวรวมกัน 12 ซม. ความกว้างฐาน 2.5 ซม. และความกว้างก้านเป็น 2 ซม. ซึ่งจะอ่านค่าความต้านทานเพื่อที่นำไปหาความชื้นในดินได้ปริมาณน้ำที่มากจะทำให้ดินสามารถนำไฟฟ้าได้ดีเนื่องจากความต้านทานน้อยขณะที่ถ้าดินนั้นมีปริมาณน้ำน้อยจะทำให้ดินสามารถนำไฟฟ้าได้ไม่ดีเนื่องจากความต้านทานสูง



รูปที่ 2.13 Soil Moisture Sensor

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดความชื้นในดินกับปริมาณความชื้นในดินจริงจำเป็นต้องทำการปรับแก้เนื่องจากมีตัวแปรหลายอย่างที่ส่งผลต่อค่าเช่นชนิดของดินอุณหภูมิและคุณสมบัติการนำไฟฟ้าเป็นต้นซึ่งสามารถวัดค่าได้ตั้งแต่ 0-100% และมีความแม่นยำอยู่ที่ 1 -2%

2.6.3 เครื่องมือวัดความดันของน้ำในดิน (Suction censor)

เครื่องมือวัดความดันของน้ำในดินดังภาพ 2.10 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซม. และความยาวรวมเซนเซอร์เป็น 5 ซม. ลักษณะของเครื่องมือประกอบด้วยแผ่นเซรามิกสำหรับวัดความดันของน้ำในดินโดยแผ่นเซรามิกเชื่อมต่อกับเซนเซอร์เพื่อทำการต่อเข้ากับอุปกรณ์เก็บข้อมูลเมื่อนำเซรามิกสัมผัสกับดินที่ต้องการวัดความดันของน้ำในดินเซนเซอร์จะทำการวัดปริมาณน้ำบนแผ่นเซรามิกและใช้คุณสมบัติการเก็บน้ำของแผ่นเซรามิกเพื่อหาความดันน้ำในดินซึ่งสามารถวัดค่าได้ตั้งแต่ 0-100 kPa และมีความแม่นยำอยู่ที่ 0.25 kPa



รูปที่ 2.14 Suction Censor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเชิงวิชาการเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.4 เส้นอรรถลักษณะของดิน (Soil Water Characteristic Curve, SWCC)

เส้นอรรถลักษณะของดิน หรือความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับแรงดูด เป็นสมบัติพื้นฐานของดิน ไม่อ้อมตัวด้วยน้ำที่สามารถใช้ทำนายพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น กำลังเฉือนของดินสัมพันธ์กับการนำความร้อนยิ่งไปกว่านั้นเส้นอรรถลักษณะยังมีความสำคัญในการนำไปใช้ในการวิเคราะห์แรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในดิน อันนำไปสู่การวิเคราะห์อัตราส่วนความปลอดภัยที่เกิดขึ้นต่อไป

โดยนิยามของเส้นอรรถลักษณะ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของดินกับแรงดูด (ภาพที่ 2.6) ซึ่งความชื้นสามารถแสดงได้ในหลายรูปแบบ เช่น ระดับความอ้อมตัว (Degree of Saturation) ความชื้นโดยปริมาตร (Volumetric Water Content) หรือความชื้นโดยน้ำหนัก (Gravimetric Water Content) แต่ทั่วไปแล้วนิยมนำเสนอเส้นอรรถลักษณะในรูปแบบความชื้นที่เป็นความชื้นโดยปริมาตร เนื่องจากความสัมพันธ์ที่ได้จำเป็นในการวิเคราะห์การไหลซึมแบบ Transient Flow และความชื้นที่นิยมนำเสนออีกรูปแบบหนึ่งคือระดับความอ้อมตัว เนื่องจากเส้นอรรถลักษณะที่เป็นความสัมพันธ์ของระดับความอ้อมตัวกับแรงดูดใช้ในการคำนวณหาค่า Air Entry Value ได้ชัดเจนที่สุด (อภินิติ, 2555)



รูปที่ 2.15 เส้นอรรถลักษณะของดิน (Soil Water Characteristic Curve)

ที่มา: Lu and Likos (2004)

เส้นอรรถลักษณะโดยทั่วไปไม่มีความเป็น Hysteresis คือมีกราฟความสัมพันธ์ที่ได้ในสภาวะที่ดินกำลังเปียก (Wetting / Sorption) และในสภาวะที่ดินกำลังแห้ง (Drying / Desorption) ไม่เป็นเส้นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

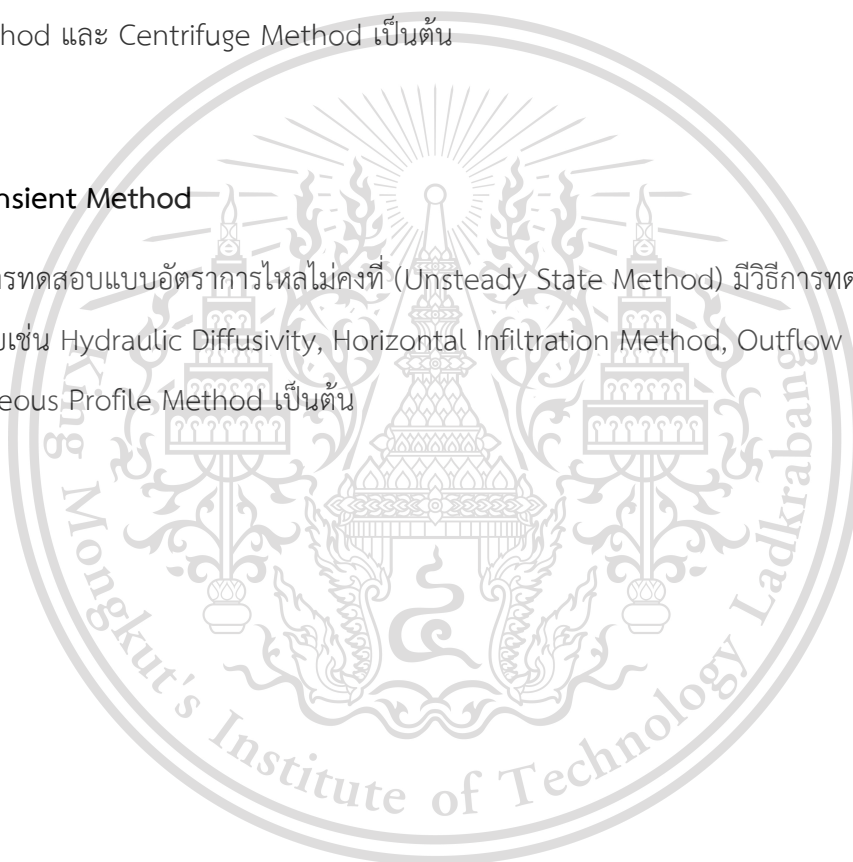
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.5 Steady State Method

เป็นวิธีที่ใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านด้วยน้ำโดยมีค่า Hydraulic head gradient ค่าแรงดูดเมทริกซ์และปริมาณความชื้นตลอดทั้งตัวอย่างดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำมีค่าคงที่ซึ่งเป็นสภาวะเริ่มต้นในสภาวะนี้อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ตัวอย่างดินจะมีค่าเท่ากับอัตราการไหลออกจากตัวอย่างดินค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (k) จะสัมพันธ์กับค่าแรงดูดเมทริกซ์หรือปริมาณความชื้นนั้น ๆ ซึ่งการทดลองสามารถทำซ้ำที่ค่าค่าแรงดูดเมทริกซ์หรือปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันและการทดสอบสามารถทำได้ทั้งตัวอย่างดินบดอัดและตัวอย่างดินที่เก็บแบบคงสภาพโดยการทดสอบหาฟังก์ชันสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำกรณี Steady State Method มีอยู่หลายวิธีอาทิ Constant-Head Method, Constant-Flow Method และ Centrifuge Method เป็นต้น

2.6.6 Transient Method

การทดสอบแบบอัตราการไหลไม่คงที่ (Unsteady State Method) มีวิธีการทดสอบที่หลากหลายเช่น Hydraulic Diffusivity, Horizontal Infiltration Method, Outflow Methods และ Instantaneous Profile Method เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมวัสดุ

3.1.1 การเตรียมดินลูกรัง

- ดินลูกรังที่นำมาใช้ในงานวิจัย มาจาก จ.ฉะเชิงเทรา

1. นำดินลูกรังไปอบที่ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรง โดยให้ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เท่านั้น

2. หลังจากนั้น นำดินที่ร่อนผ่านตะแกรงแล้วนำไปทดสอบหาค่าคุณสมบัติดิน ดังนี้

1) การหาขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis ; ASTM D422)

ในมวลดินจะประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด ซึ่งขนาดของเม็ดดินจะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของมวลดินอย่างมาก เช่น ค่าความซึมน้ำ (Permeability) อัตราการทรุดตัว (Rate of Settlement) ความสามารถในการก้ำกึ่ง (Strength) ของมวลดิน เป็นต้น เพราะฉะนั้นเราจึงต้องทราบขนาดคละของเม็ดดินเพื่อให้เหมาะกับการก่อสร้าง

วิธีการทดลอง

1. เรียงตะแกรงจากใหญ่ไปเล็ก จากเบอร์ $\frac{3}{8}$ นิ้ว เบอร์ 4 เบอร์ 10 เบอร์ 40 เบอร์ 100 เบอร์ 200 ตามลำดับ
2. ใส่ตัวอย่างดินในตะแกรงที่เรียงลำดับจากใหญ่ไปเล็ก ปิดฝาด้านบน และร่อนด้วยอากาศ ด้านล่าง แล้วใช้เครื่องเขย่าประมาณ 10 นาที
3. แยกตะแกรงแต่ละอันออกมาจากเครื่องเขย่าแล้วทำการชั่งจะเป็นน้ำหนักตะแกรง + น้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด (เพราะฉะนั้นจะได้น้ำหนักของดินที่ค้างแต่ละตะแกรง โดยนำ (น้ำหนักตะแกรง + น้ำหนักดินค้าง) - น้ำหนักตะแกรง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

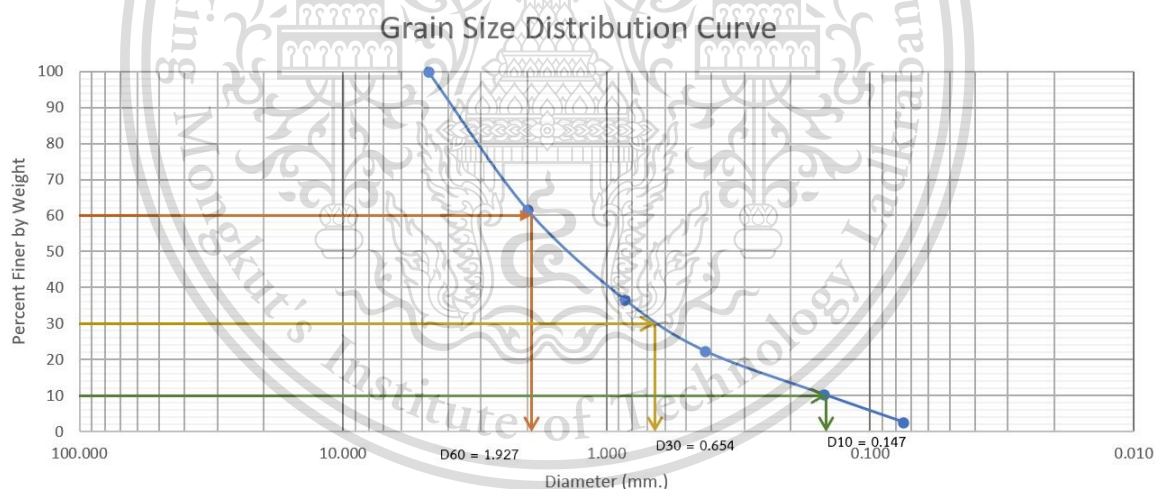
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลที่ได้จากการทดลอง

ตารางข้อมูลขนาดคละและชนิดของเม็ดดิน

Sieve NO.	Sieve Opening (mm.)	Weight of Sieve (g.)	Weight of Sieve + Soil (g.)	Weight of Sieve + Retained (g.)	Cumulative Retained (g.)	Cumulative Retained (%)	Percent Finer (%)
4	4.750	486	486	0	0	0	100
10	2.000	486	870	384	384	38.4	61.6
20	0.850	382	633	251	635	63.5	36.5
40	0.425	371	512	141	776	77.6	22.4
100	0.150	326	447	121	897	89.7	10.3
200	0.075	309	386	77	974	97.4	2.6
Pan	-	381	408	27	1001	100	0



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงการกระจายขนาดของดิน

จากกราฟสรุปได้ว่า ค่าที่ D 60 เท่ากับ 1.927, D 30 เท่ากับ 0.654, D 10 เท่ากับ 0.147 และมีค่า Cu เท่ากับ 13.10, Cc เท่ากับ 1.51

2) ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil ; ASTM D854)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน คือค่าที่แสดงให้เห็นว่า ดินที่นำมาทดสอบมีความหนาแน่นเป็นกี่เท่าของน้ำ ซึ่งจะเท่ากับอัตราส่วนของน้ำหนักของดินในอากาศต่อ น้ำหนักน้ำที่อุณหภูมิ 4°C ที่มีปริมาตรเท่ากับดินที่ทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำตัวอย่างดินที่แห้งประมาณ 50 g ไปใส่น้ำกลั่นแล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นดินประมาณ 10 นาที
2. เทส่วนผสมของดินและน้ำลงในขวด Pycnometer ถึงประมาณ $\frac{3}{4}$ ของคอขวด และใช้กระบอกฉีดยาน้ำกลั่นล้างดินที่ติดอยู่ให้หมด
3. ไล่ฟองอากาศด้วยการต้มให้เดือดบน Hot Plate ประมาณ 10 นาที แล้วนำขวดแก้วออกมาปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องทดลอง
4. ปรับระดับน้ำดินให้เท่ากับขีดบอกปริมาตร 250 หรือ 500 cm^3 วัดอุณหภูมิน้ำดินในขวด เช็ดขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่ง
5. เทแล้วล้างน้ำดินในขวดลงในภาชนะแล้วนำไปอบให้แห้ง
6. นำมาชั่งหาน้ำหนักดินแห้ง W_s

โดยเราจะทำการทดลองทั้งหมด 2 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

ผลที่ได้จากการทดลอง

ข้อมูล Calibration of Pycnometer

PYCNOMETER CALIBRATION 1			PYCNOMETER CALIBRATION 2		
NO.	Flask + Water (g.)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	NO.	Flask + Water (g.)	Temperature (C)
1	678.496	40	1	656.828	39
2	679.31	34	2	656.923	37
3	679.532	30	3	657.705	32
4	679.852	28	4	657.841	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางข้อมูลความถ่วงจำเพาะของดิน

Trial NO.		1(26)	2(no name)
Temperature	, C	32	34
Flask + Water	, g	657.515	679.513
Flask + Water +Soil	, g	688.541	710.135
Container No.		Ex.1	Ex.2
Dry Soil + Container	, g	154.61	146.46
Weight of Container	, g	104.48	97.01
Dry Soil	, g	50.13	49.45
GT		0.9951	0.9944
GS		2.611	2.612
Average GS		2.611	

ดังนั้นจากการทดลองพบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน มีค่าเท่ากับ 2.611

3) การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Test ; ASTM D698-78)

การบดอัดดินคือ การปรับปรุงคุณภาพดินโดยการประยุกต์ใช้พลังงานเชิงกล ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพดินปริมาณความชื้นที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับดินที่ไม่มีความเชื่อมโยงแน่นจะปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการบดอัดโดยอาศัยการสั่นสะเทือนและสำหรับดินเม็ดละเอียด สามารถทดสอบการบดอัดดินได้ในห้องปฏิบัติการ วิธีการทดสอบที่ใช้คือ วิธีทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)

ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้ Mold ขนาด $\varnothing 4 \times 4.6$ วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของ Mold และนำไปหาปริมาตร
2. ชั่งน้ำหนักของ Mold ที่ประกอบ base plate หลังจากนั้นประกอบ collar เข้าไป
3. นำดิน 5 kg มาผสมน้ำให้มีความชื้น โดยเราใช้น้ำเริ่มแรกที่ 10% ของตัวอย่างดิน จากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากันพยายามให้ทุกส่วนในดินมีความชื้นที่เท่ากัน
4. ใช้ช้อนตักดินใส่ Mold ที่ละชั้น ซึ่งเราจะแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่าๆกัน แล้วใช้ Rammer ขนาด 5.5 lb บดอัดดินแต่ละชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง

5. ถอด collar ออก แล้วใช้ไม้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบ Mold ออกและปรับแต่งผิวดินให้เรียบเสมอขอบ Mold และนำไปชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6. เอาดินออกจาก Mold แล้วนำตัวอย่างดินบริเวณกลางอย่างน้อย 100 g ไปหาปริมาณความชื้น โดยนำไปชั่งแล้วนำไปใส่ตู้อบ
 7. นำตัวอย่างดินที่เหลื้อมาผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 3% คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วทำการทดสอบตามข้อ 3-6 จนกระทั่งน้ำหนักดินใน Mold ที่ชั่งลดลง โดยทำการเพิ่มปริมาณน้ำไปเรื่อยๆทั้งหมด 5 ค่า
- คำนวณความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินในการบดอัด ตัวอย่างดินแต่ละครั้ง แล้วพล็อตเส้นโค้งเรียบผ่านจุดที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) และความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Water Content)

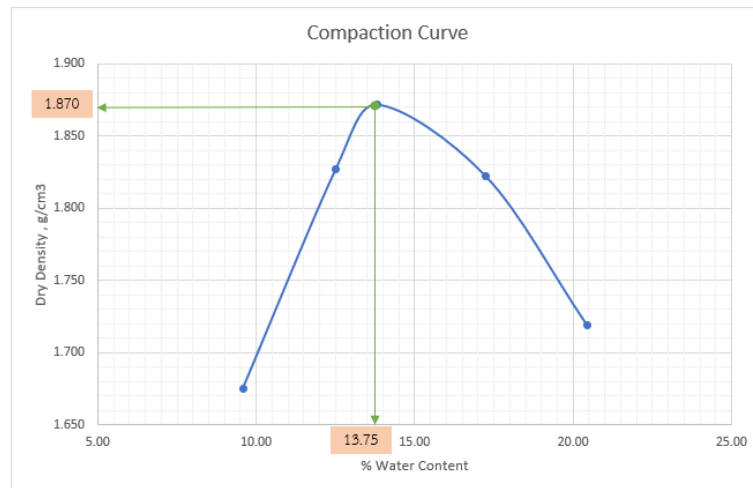
ผลที่ได้จากการทดลอง

Type of Compaction : STANDARD PROCTOR TEST 1					
MODE SIZE	4" x 4.6"	MOLD VOLUME		924.306	cm ²
DENSITY DETERMINATION :					
Trail NO.	1(S-24)	2(M-275)	3(M-32)	4(J-35)	5(M-22)
WT. of Soil + Mold , g	5406	5609	5678	5684	5623
WT. of Mold , g	3709	3709	3709	3709	3709
WT. of Soil in Mold , g	1697	1900	1969	1975	1914
WET Density , g/cm ³	1.836	2.056	2.130	2.137	2.071
DRY Density , g/cm ³	1.675	1.827	1.872	1.823	1.719
WATER CONTENT :					
Wet Soil + Container , g	163.17	131.73	115.29	124.55	162.18
Dry Soil + Container , g	150.89	119.26	102.99	108.27	137.82
WT. of Container , g	22.75	19.60	13.90	13.84	18.62
WT. of Water , g	12.28	12.47	12.30	16.28	24.36
WT. of Dry Soil , g	128.14	99.66	89.09	94.43	119.20
% Water Content	9.58	12.51	13.81	17.24	20.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.2 กราฟCompaction Curve ของดินเปล่า

- Max Dry Density = 1.87 g/cm^3 ที่ Optimum Moisture Content = 13.75%
- Degree of compaction 80% proctor = 1.496 g/cm^3 ที่ Optimum Moisture Content = 13.75%

3.1.2 การเตรียมพลาสติก

การทดสอบหาขนาดของพลาสติก

วิธีการทดลอง

1. นำพลาสติกไปเข้าตู้อบ ที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.3 ชั้นพลาสติกตัวอย่างที่จะนำมาแยกขนาด

2. เรียงตะแกรงจากใหญ่ไปเล็ก จากเบอร์ $3/8$ นิ้ว เบอร์ 4 เบอร์ 10 ตามลำดับ

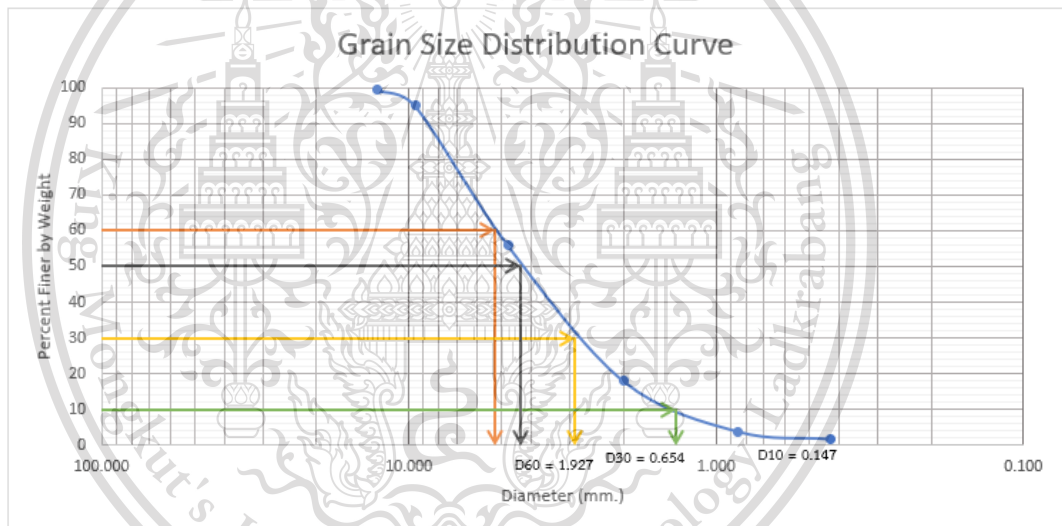
3. ใส่พลาสติกในตะแกรงที่เรียงลำดับจากใหญ่ไปเล็ก ปิดฝาด้านบน และรองด้วยกระดาษด้านล่าง แล้วเขย่าด้วยมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Sieve NO.	Sieve Opening (mm.)	Weight of Sieve (g.)	Weight of Sieve + Soil (g.)	Weight of Sieve + Retained (g.)	Cumulative Retained (g.)	Cumulative Retained (%)	Percent Finer (%)
1/2"	12.700	497.91	498.28	0.37	0.37	0.74	99.26
3/8"	9.525	527.81	529.98	2.17	2.54	5.08	94.92
4	4.750	485.83	505.36	19.53	22.07	44.14	55.86
10	2.000	486.16	505.13	18.97	41.04	82.08	17.92
20	0.850	394.88	401.94	7.06	48.1	96.2	3.8
40	0.425	573.69	574.75	1.06	49.16	98.32	1.68



รูปที่ 3.4 กราฟการกระจายขนาดของพลาสติก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดรูปที่ 3.5 ขึ้นพลาสติก3ขนาดที่ผ่านการ sieve ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จะได้พลาสติกที่ค้ำในแต่ละตะแกรง โดยพลาสติกที่ค้ำบนตะแกรง เบอร์ 4 เราจะเรียกว่า พลาสติกขนาดใหญ่ พลาสติกที่ค้ำบนตะแกรง เบอร์ 10 เราจะเรียกว่า พลาสติกขนาดกลาง พลาสติกที่ผ่านตะแกรง เบอร์ 10 เราจะเรียกว่า พลาสติกขนาดเล็ก

อัตราส่วนช่องว่างของดินผสมพลาสติกแต่ละขนาด (Void ratio)

	Saturated VMC (max)	GS	Dry Density (g/cm ³)	Void ratio
Bare soil	51.983	2.611	1.870	0.7258
Soil + small plastic	46.355	2.611	1.840	0.6578
Soil + medium plastic	46.238	2.611	1.800	0.6707
Soil + large plastic	44.598	2.611	1.810	0.6433

3.2 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 การเตรียม Sensor และ Data logger

- Data logger

- กล่องสำหรับเก็บข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์ 4 ตัว เป็นค่าโวลต์ โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 10 วินาที



รูปที่ 3.6 Data logger

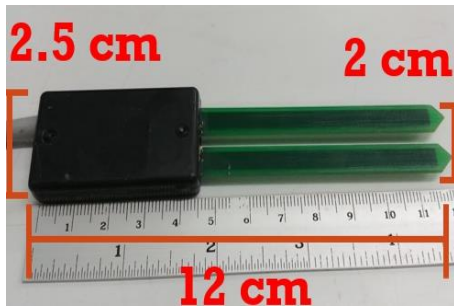
- Moisture Sensor

- นำไปคาไลเบตที่ความหนาแน่นเท่ากับการวิจัย และเพิ่มปริมาณน้ำ 5 ค่า เพื่อสร้างสมการเปรียบเทียบ จากโวลต์ เป็น Volumetric water content

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.7 ขนาด moisture sensor

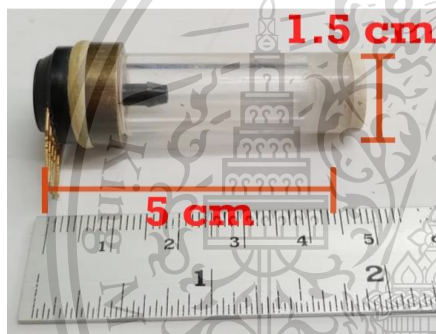


รูปที่ 3.8 วิธีการคาลิเบต moisture sensor

- Suction Sensor

- ทำการ Saturate เซรามิค และเซนเซอร์

- นำไปคาลิเบตกับตัวปั๊มสุญญากาศ วัดค่าความดันขาไปและขากลับ 0-600 mmhg วัดค่าที่ละ 100 mmhg เพื่อสร้างสมการปรับเทียบ จากโวลต์ เป็น kpa



รูปที่ 3.9 ขนาด suction sensor



รูปที่ 3.10 วิธีการคาลิเบต suction sensor

3.2.2 การเตรียมกระบอกดิน

- กระบอกอะคริลิก

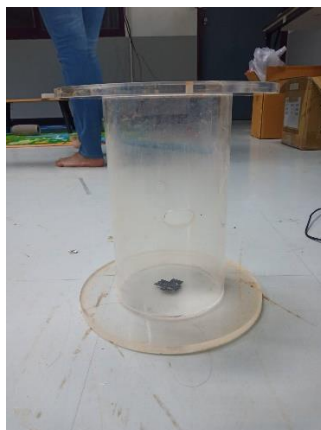
- กระบอกอะคริลิก 1 ท่อน มีขนาดรัศมีวงใน 14 ซม. รัศมีวงนอก 15 ซม. ปีกกว้าง 5 ซม. โดยมีความสูง 27 ซม. เป็นท่อตัน เจาะรูตรงกลาง ขนาด 6 มม.

- มีรูสำหรับเสียบเซนเซอร์ที่ตรงกันข้ามของฝั่ง ฝั่งละ 1 รู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.11 ท่อนอะคริลิก

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง Soil-Column

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของตัวอย่างดิน เพื่อหาพื้นที่หน้าตัดและปริมาตรจริง
2. ทำการบดอัดดินลงกระบอก Soil-Column โดยบดอัดที่ความชื้นโดยมวลที่กรณีต่างๆ และที่ Maximum Dry Density 80-90% Compaction ซึ่งแบ่งบดอัดชั้นละ 2 ซม. โดยเตรียมตัวอย่างดินตามกรณีศึกษาทั้ง 4 กรณี
 - 1.1) การบดอัดดินเพียงอย่างเดียว
 - 1.2) การบดดินที่ผสมพลาสติกขนาดเล็ก 1.0% โดยมวล
 - 1.3) การบดดินที่ผสมพลาสติกขนาดกลาง 1.0% โดยมวล
 - 1.4) การบดดินที่ผสมพลาสติกขนาดใหญ่ 1.0% โดยมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.12 การบดอัดที่ 80% compaction ที่ละ 2 ซม.

3. นำตัวอย่างที่ทำการบดอัดแล้วไปแช่น้ำ เพื่อให้ตัวอย่างอยู่ในสภาวะอิ่มด้วยน้ำ



รูปที่ 3.13 การแช่ตัวอย่างเพื่อให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่สู่สาธารณะหรือเพื่อการค้า

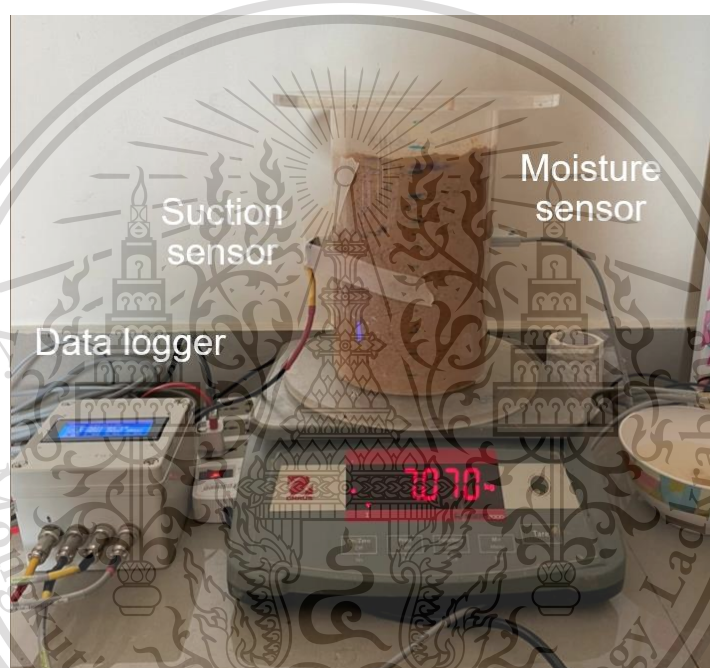
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- Dry process: การวัดค่าโดยการปล่อยให้น้ำระเหยออกจากกระบอกทางด้านบน และปิดรูระบายน้ำ

1. ติดตั้ง Suction และ Moisture Sensor เข้ากับ Data logger เช็คสภาพการใช้งานเบื้องต้น
2. ปิดกระบอก Soil-Column เพื่อไม่ให้น้ำไหลออกทางก้นกระบอก
3. วางตัวอย่างบนเครื่องชั่งเพื่อวัดค่าน้ำหนักแรกของตัวอย่างที่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ
4. ทำการเก็บข้อมูล Moisture Sensor, Suction Sensor และน้ำหนักจากเครื่องชั่งจนกว่าค่า Suction sensor จะเป็น 70 kPa



รูปที่ 3.14 การติดตั้งเซนเซอร์และวางบนเครื่องชั่งเพื่อเก็บข้อมูล

5. ทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับตัวอย่างดินที่กล่าวมาทั้ง 4 ตัวอย่าง

- การหาค่า Permeability

1. นำตัวอย่างที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำมาวางเหนือขวดเก็บปริมาตรน้ำ
2. เริ่มจับเวลาเมื่ออัตราการไหลของน้ำผ่านรูกระบอกคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.15 การวัดปริมาณเพื่อหาค่า permeability

3. เมื่อครบเวลานำขวดไปชั่งหาปริมาณภายในขวดเพื่อนำไปคำนวณหาค่าความชื้นน้ำของตัวอย่างดิน

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 เส้นอัตราลักษณะของดิน (SWRC)

- นำข้อมูลไปพลอตกราฟระหว่าง Metric Suction (kpa) ในแกน X และ Volumetric Water Content(%) ในแกน Y ในการวิเคราะห์ Dry Process
- ทำการ Fitted curve โดยใช้ Van Genuchten model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 บทนำ

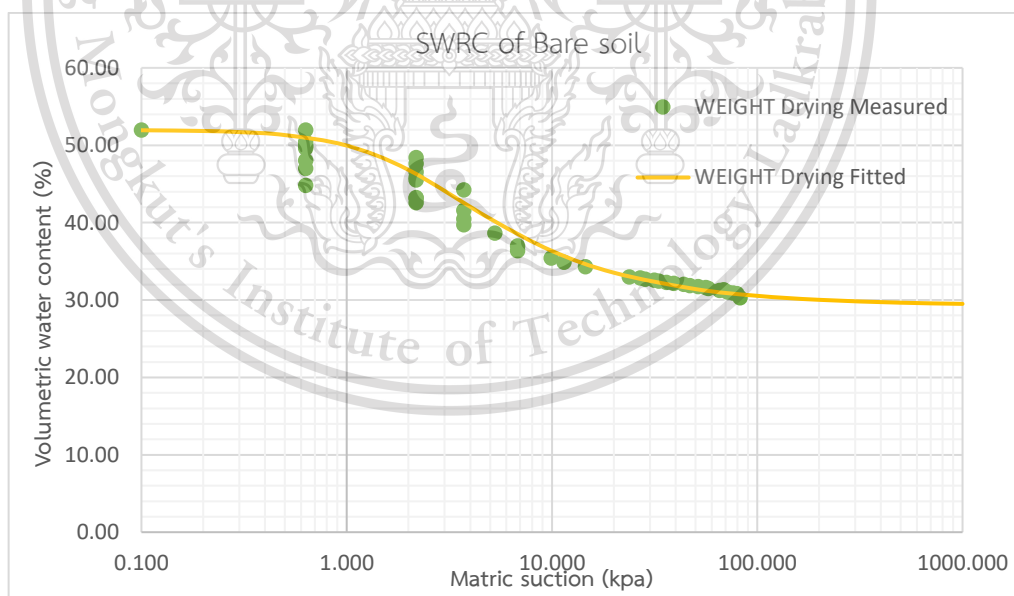
ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงอุทกวิทยาของดินที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเศษพลาสติกที่ใช้งานแล้ว เพื่อใช้ในการพิจารณาในการเลือกขนาดของพลาสติกที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ลดอัตราการไหลของน้ำผ่านดินที่จะส่งผลให้ดินทรุดตัวได้ โดยทำการเปรียบเทียบการไหลผ่านของน้ำในดิน ระหว่างดินบดอัด กับดินที่บดอัดผสมกับพลาสติก 1% โดยมวลของพลาสติกทั้ง 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก, กลาง และใหญ่

4.2 ผลการศึกษาจากแบบจำลอง

จากการทดลองจะแสดงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงอุทกวิทยา ของดินที่บดอัดที่ 80% ของ Maximum Dry Density ซึ่งบดอัดผสมกับเศษพลาสติกที่ใช้งานแล้ว 1.0% โดยมวลแห้งของดิน

4.2.1 Soil Water Retention Curve (SWRC)

- ดินเปล่าเพียงอย่างเดียว



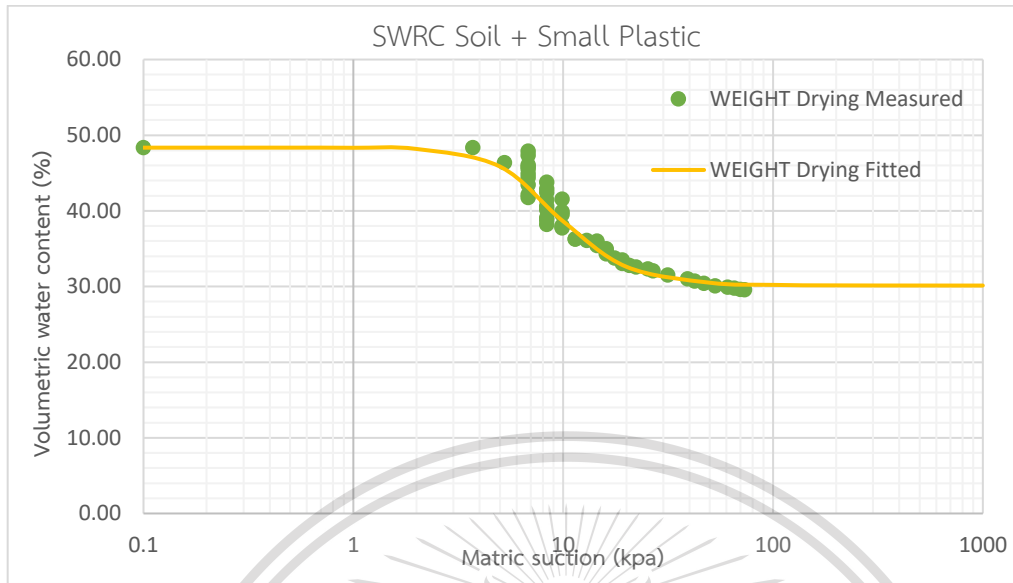
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Volumetric Water Content กับ Metric Suction ของดินเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

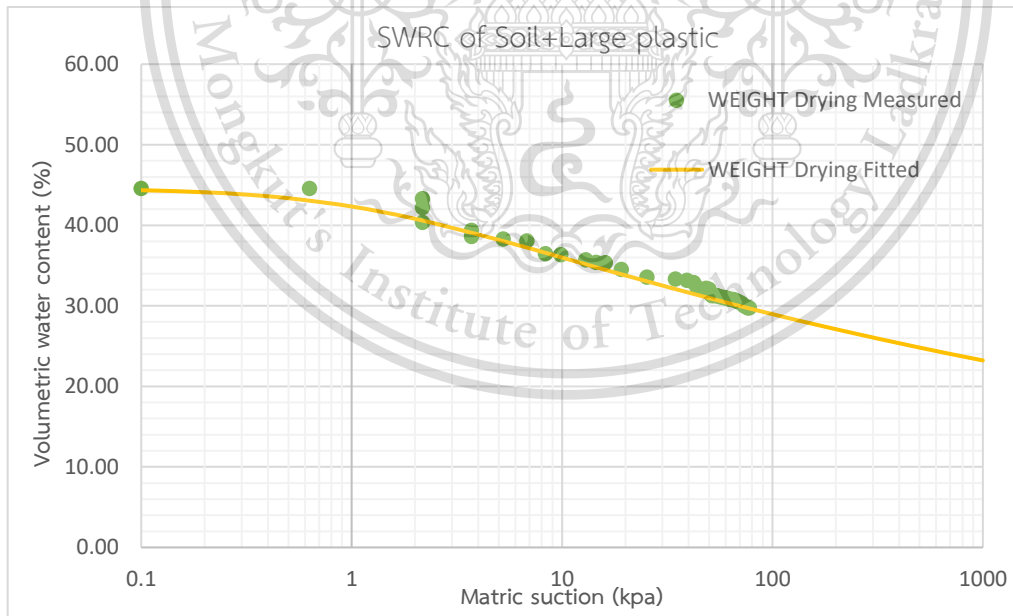
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- ดินที่ผสมพลาสติกขนาดเล็ก 1.0% โดยมวล



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Volumetric Water Content กับ Metric Suction ของดินผสมพลาสติกขนาดเล็ก

- ดินที่ผสมพลาสติกขนาดเล็ก 1.0% โดยมวล



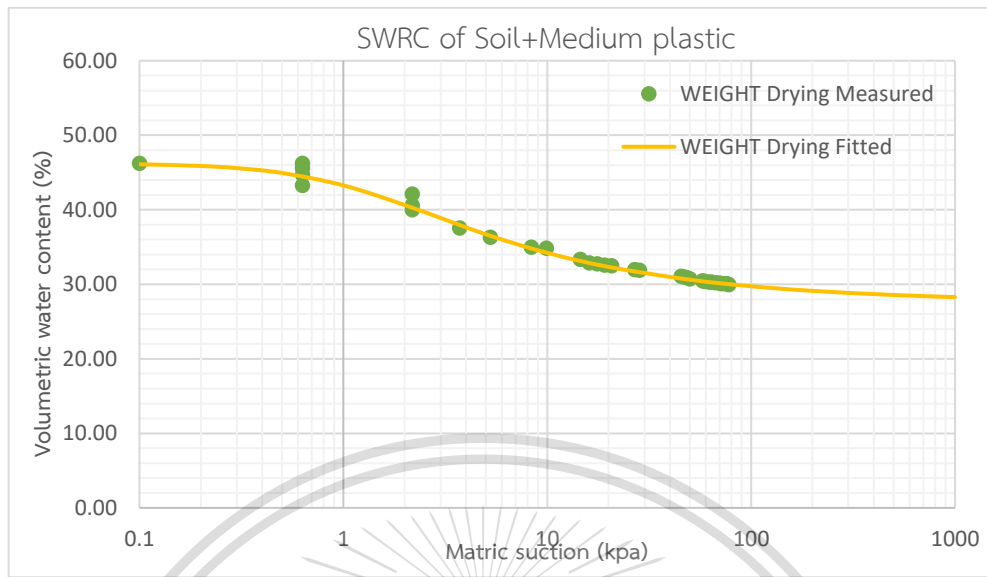
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Volumetric Water Content กับ Metric Suction ของดินผสมพลาสติกขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

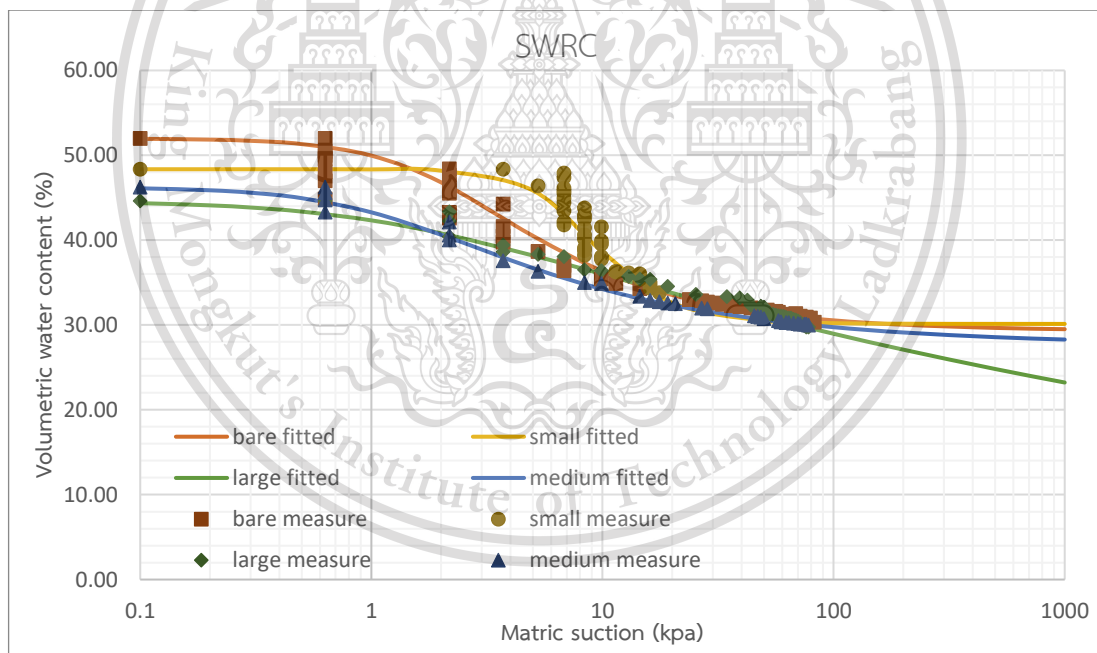
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- ดินที่ผสมพลาสติกขนาดกลาง 1.0% โดยมวล



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Volumetric Water Content กับ Matric Suction ของดินผสมพลาสติกขนาดกลาง



รูปที่ 4.5 กราฟ SWRC เปรียบเทียบระหว่างดินเปล่า ดินผสมพลาสติกขนาดเล็กและใหญ่

จากรูปที่ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบกราฟแสดงเส้นโค้งความชื้นที่บ่งบอกถึงความอุ้มน้ำของดิน โดยทำการ Fit curve ด้วย Van-Genuchten model ในดินเปล่าและดินที่ผสมพลาสติก 1.0% โดยมวล จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่เชิงพาณิชย์ การนำเนื้อหาไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ถือว่าผิดกฎหมาย

กราฟทำให้ทราบว่า ดินที่ผสมพลาสติกจะมีความสามารถอุ้มน้ำได้ดีกว่าดินเปล่าเนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติพื้นผิวประเภทไม่ชอบน้ำหรือไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic Surface) พลาสติกขนาดเล็กที่มีขนาดของพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยกว่าพลาสติกขนาดกลางและใหญ่ทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้

This material is reserved for educational use only; not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

มากกว่า ซึ่งสังเกตได้จากกราฟSWRC ที่ค่าmatric suction = 0.1 kpa ดินเปล่า, ดินผสมพลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ค่าwater contentของตัวอย่างทั้ง3ในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำจะลดลงเรื่อยๆ และพลาสติกขนาดเล็กยังมีการแทนที่ในช่องว่างได้มากกว่าพลาสติกที่มีขนาดกลางและใหญ่ จึงทำให้ตัวอย่างดินที่ผสมพลาสติกขนาดเล็กมีช่องว่างน้อยกว่าดินที่ผสมกับพลาสติกขนาดกลางและใหญ่

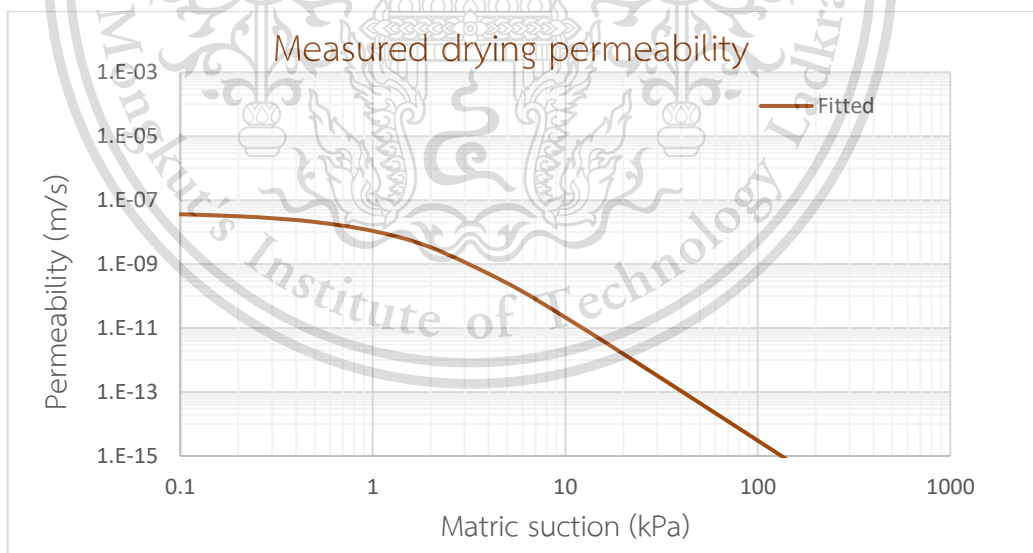
4.2.2 Permeability (K)

ตารางที่1 ค่า Permeability in saturated condition

Soil type	K(m/s)	เปรียบเทียบกับดินเปล่า
Bare soil	4.44×10^{-8}	
Soil + small plastic	7.96×10^{-8}	มากกว่า 79.28%
Soil + medium plastic	7.56×10^{-7}	มากกว่า 1602.7%
Soil + large plastic	3.52×10^{-7}	มากกว่า 692.79%

และทำการทำนายค่าPermeability(k predict) จากสมการที่เกิดจากการFitted curve ด้วย Van-Genuchten model และค่าPermeabilityในดินที่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ(k sat)

- ดินเปล่าเพียงอย่างเดียว



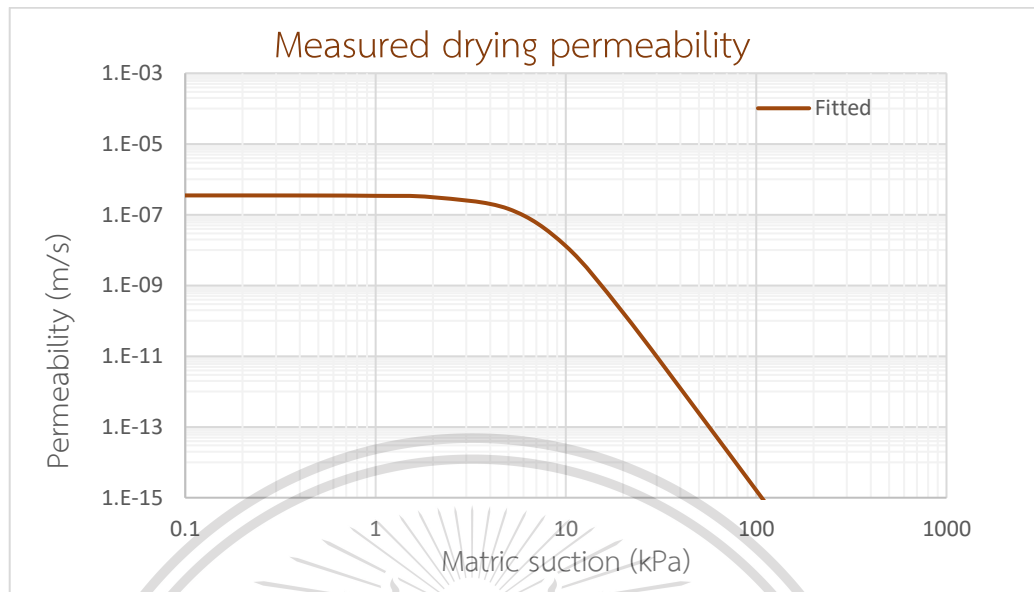
รูปที่ 4.6 กราฟระหว่าง Permeability (m/s) และ Matric suction (kpa) ของดินเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

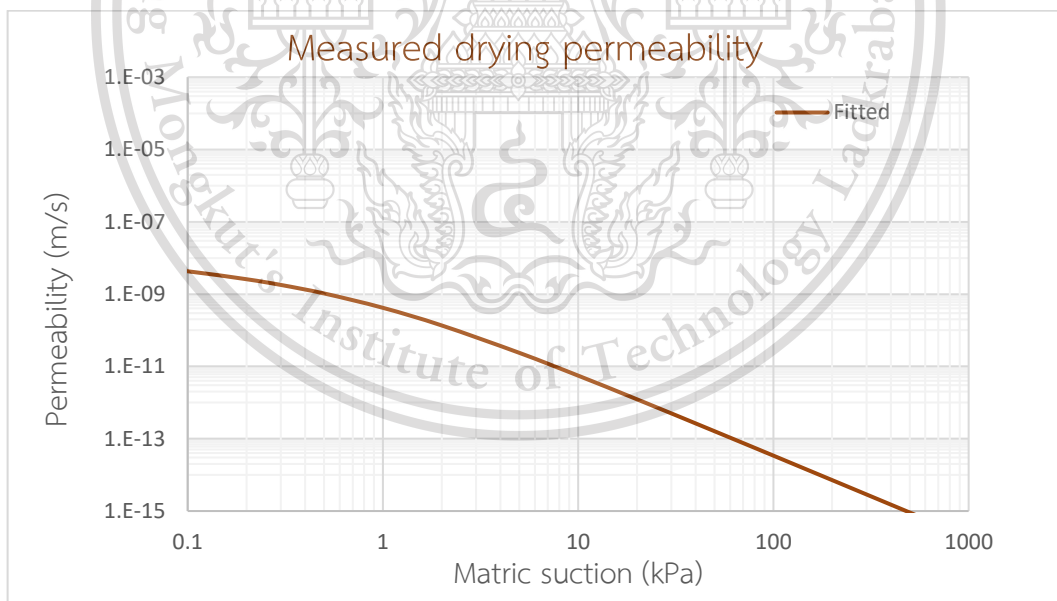
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- ดินที่ผสมพลาสติกขนาดเล็ก 1.0% โดยมวล



รูปที่ 4.7 กราฟระหว่าง Permeability (m/s) และ Matric suction (kpa) ของดินผสมพลาสติกขนาดเล็ก

- ดินที่ผสมพลาสติกขนาดใหญ่ 1.0% โดยมวล



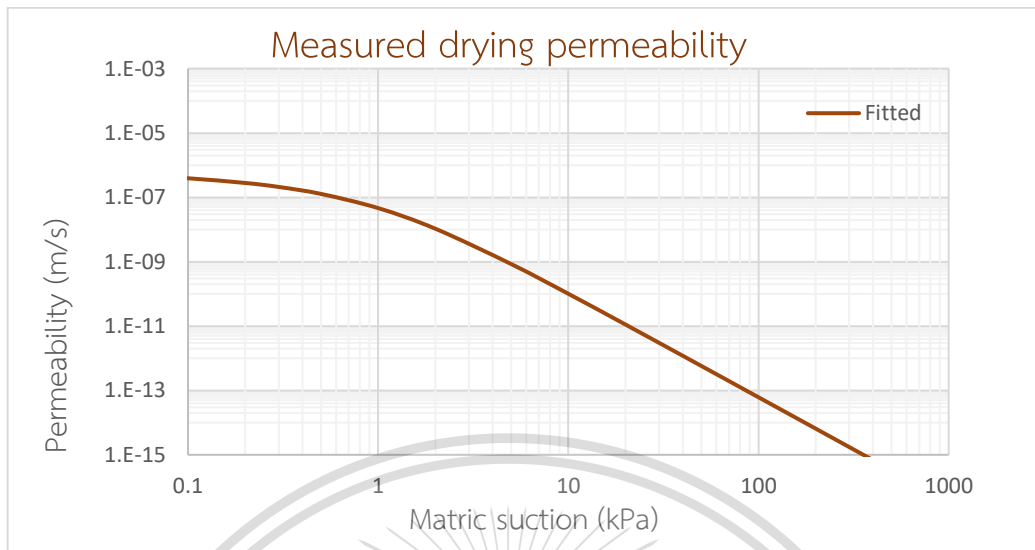
รูปที่ 4.8 กราฟระหว่าง Permeability (m/s) และ Matric suction (kpa) ของดินผสมพลาสติกขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

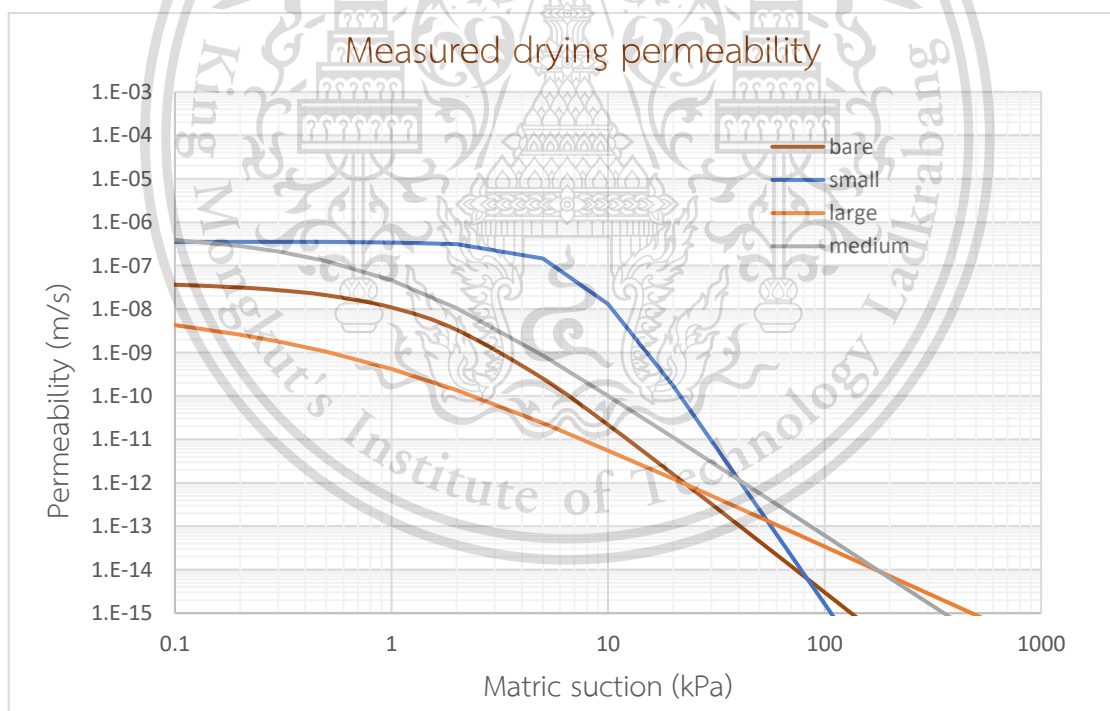
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- ดินที่ผสมพลาสติกขนาดกลาง 1.0% โดยมวล



รูปที่ 4.9 กราฟระหว่าง Permeability (m/s) และ Matric suction (kpa) ของดินผสมพลาสติกขนาดกลาง



รูปที่ 4.10 กราฟระหว่าง Permeability (m/s) และ Matric suction (kpa) ของดินผสมพลาสติกขนาดเล็ก

จากรูปที่ 4.10 พบว่า ดินที่ผสมพลาสติกขนาดใหญ่ จะมีได้ค่าอัตราการซึมผ่านน้อยกว่าดินที่ผสม

พลาสติกอีก 2 ขนาด อาจจะเป็นเพราะว่าพลาสติกมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก ยิ่งพลาสติกที่นำไปผสมมี
ขนาดใหญ่มาก ก็จะทำให้ค่าที่ได้มีน้อยลง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

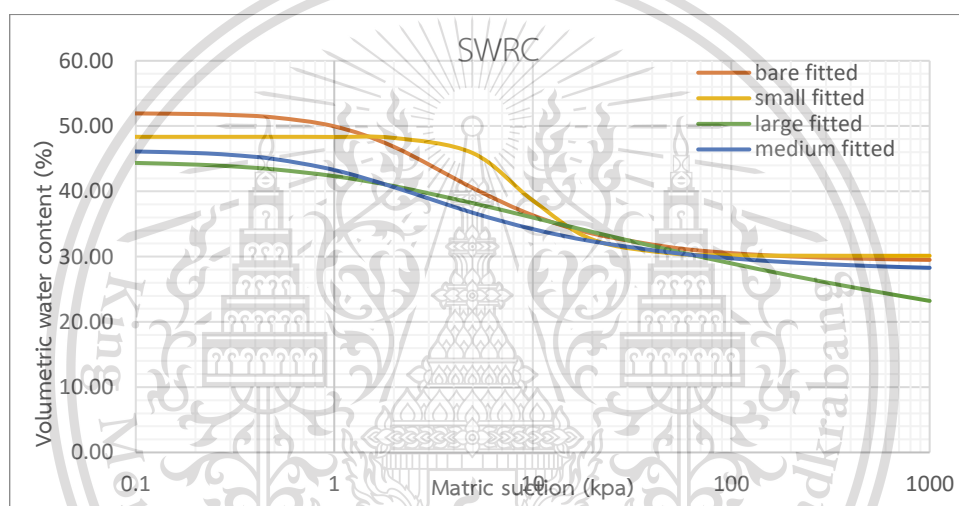
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงอุทกวิทยาของดินเปล่า และดินที่ผสมเศษพลาสติกที่ 1.0% โดยมวล ทั้ง 3 ขนาด ซึ่งใช้วิธี “SWRC on Dry process” ปรากฏว่า ดินที่ผสมด้วยพลาสติกขนาดเล็ก จะส่งผลให้การไหลของน้ำในดินต่ำที่สุด เนื่องจากผลHydrophobic ส่งผลมากกว่า การเกิดช่องว่างระหว่างดินและพลาสติก แต่ถ้าหากเปลี่ยนเป็นพลาสติกที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือมีพื้นที่ผิวสัมผัสเยอะจะทำให้มีช่องว่างมากขึ้นและส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำในดินสูงขึ้น



รูปที่ 5.1 กราฟSWRC เปรียบเทียบระหว่างดินเปล่า ดินผสมพลาสติกขนาดเล็กและใหญ่

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) สามารถนำข้อมูลไปศึกษาพัฒนาการปรับปรุงคุณภาพดินได้
- 2) ปรับเปลี่ยนความหลากหลายของดินที่ใช้ทดสอบ
- 3) ปรับเปลี่ยนวัสดุที่นำมาบดอัตร่วมกับดิน
- 4) ในการนำไปใช้ในงานจริงควรที่จะมีการวางระบบ ต่างๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เศษพลาสติกไหลออกสู่พื้นที่โดยรอบหรือสิ่งแวดล้อมข้าง อาจจะทำกรงกั้นไว้ที่ห่างไกลจากชุมชน หรือควรเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน จะได้ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

1. “Water retention curve of soil-cement composite material” Norambuena-Contreras, José4 October 2015
2. “Simple Model on Water Retention and Permeability in Soil Mixed with Lignocellulose Fibres” Ni Junjun , Sanandam Bordoloi , Garg Ankit , Shao Wei , and Sreedeeep S., Received April 3
3. “Shear Strength Improvement of Lateritic Soil Mixed with Waste Plastic Flakes”

วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2562)

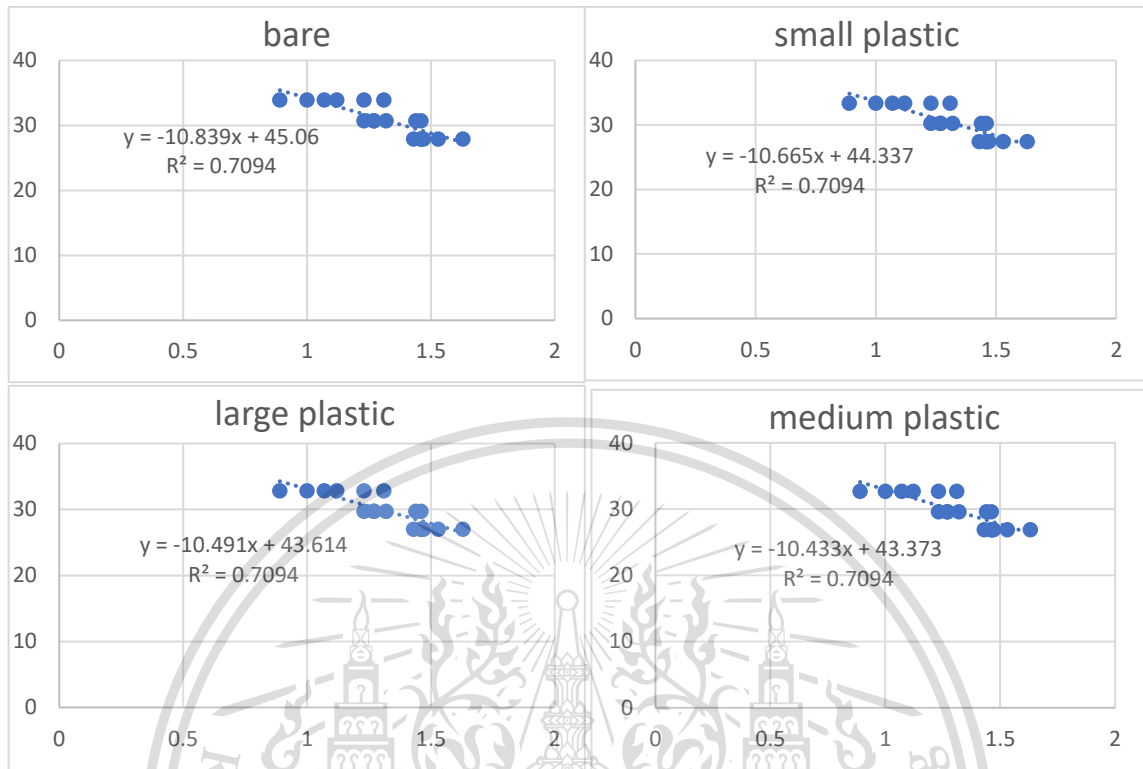


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก



รูปที่ 6.1 กราฟเปรียบเทียบเซนเซอร์วัด Gravimetric Water Content

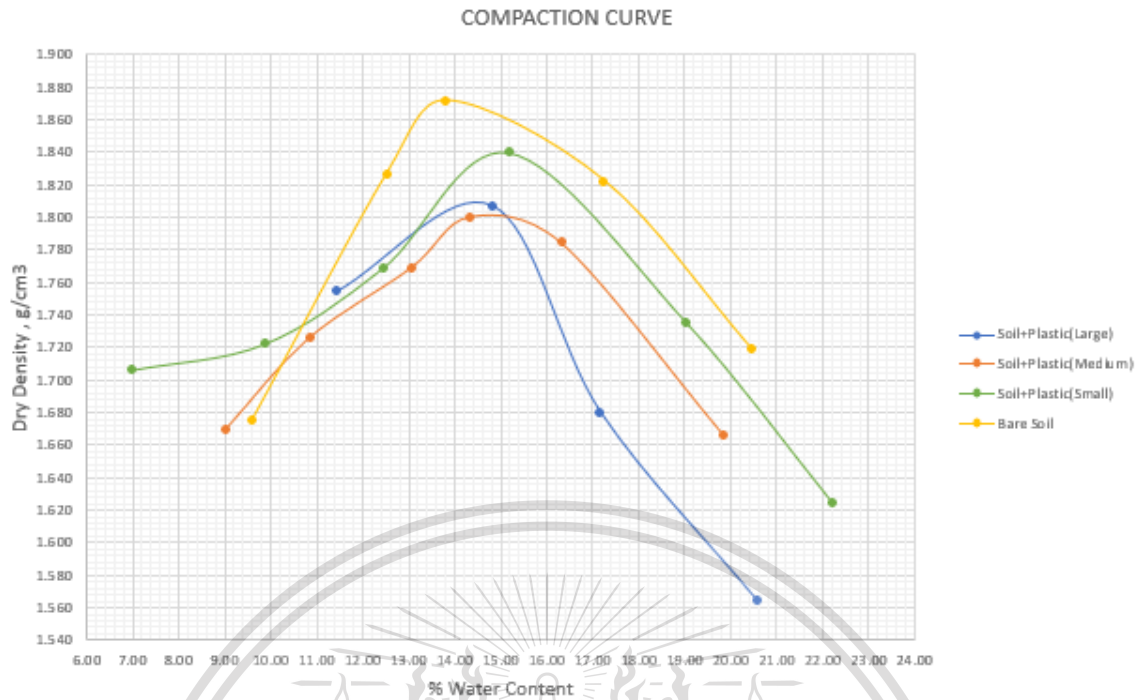
SOIL + PLASTIC (LARGE)						
DRY DENSITY , g/cm ³	1.755	1.808	1.881	1.565		
WATER CONTENT , %	11.43	14.80	17.16	20.55		
SOIL + PLASTIC (MEDIUM)						
DRY DENSITY , g/cm ³	1.670	1.726	1.769	1.801	1.785	1.666
WATER CONTENT , %	9.04	10.84	13.07	14.34	16.31	19.85
SOIL + PLASTIC (SMALL)						
DRY DENSITY , g/cm ³	1.706	1.722	1.769	1.840	1.736	1.625
WATER CONTENT , %	6.97	9.86	12.45	15.19	19.04	22.23
BARE SOIL (NO.1)						
DRY DENSITY , g/cm ³	1.675	1.827	1.872	1.823	1.719	
WATER CONTENT , %	9.58	12.51	13.81	17.24	20.44	
BARE SOIL (CHECK)						
DRY DENSITY , g/cm ³	1.760	1.819	1.863	1.868	1.776	1.734
WATER CONTENT , %	9.46	11.15	12.90	14.75	19.31	21.72

รูปที่ 6.2 ตารางคำนวณการหาDry densityและwater content

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 6.3 กราฟCompaction Curve เปรียบเทียบค่าDry densityและwater content

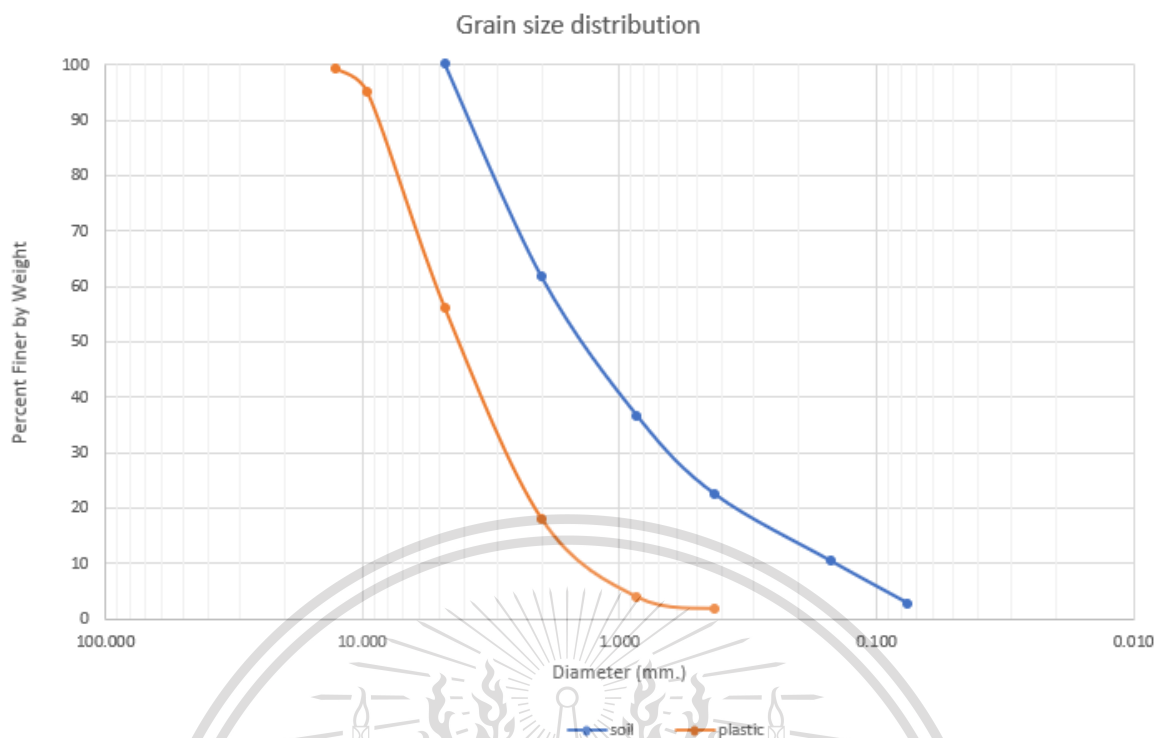
	Optimum Moisture Content (O.M.C) , %	Maximum Dry Density , g/cm ³
SOIL + PLASTIC (Large)	14.50	1.810
SOIL + PLASTIC (MEDIUM)	14.70	1.800
SOIL + PLASTIC (SMALL)	15.00	1.840
BARE SOIL	13.75	1.870
BARE SOIL (Check)	14.00	1.872

รูปที่ 6.4 ตารางค่าMaximum Dry densityและOptimum moisture content

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 6.5 กราฟ Grain size distribution เปรียบเทียบระหว่างดินกับพลาสติก

ตารางที่ 2 การคำนวณ Gravimetric water content และ Volumetric water content

TEST	Dry soil,(g)	weight of water,(g)	GWC%,(%)	Dry density, (g/cm ³)	VWC%,(%)
Bare Soil	5432.64	1553.36	28.59	1.87	53.47
Soil+ Small Plastic	5398.92	1419.08	26.28	1.84	48.36
Soil+ Large Plastic	4425.70	1090.30	24.64	1.81	44.59
Soil+ Medium Plastic	4401.30	1175.70	26.71	1.80	48.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3 การคำนวณการแปลงค่าMoistureและSuctionจากเซนเซอร์ ของดินเปล่า

Weight(kg.)	ค่าVolt		แปลง		น้ำหนักน้ำที่ หายไป(g.)	%WC
	Moisture(sen1)	Suction(sen3)	Moisture(sen1)	Suction(sen3)		
8.497	0.86	0.83	35.738	0.631	43	51.98
8.452	0.86	0.83	35.738	0.631	88	50.43
8.438	0.9	0.83	35.305	0.631	102	49.95
8.428	0.9	0.83	35.305	0.631	112	49.61
8.393	0.9	0.82	35.305	2.174	147	48.40
8.383	0.91	0.83	35.197	0.631	157	48.06
8.371	0.91	0.82	35.197	2.174	169	47.65
8.352	0.9	0.83	35.305	0.631	188	46.99
8.339	0.9	0.82	35.305	2.174	201	46.54
8.319	0.89	0.82	35.413	2.174	221	45.86
8.309	0.9	0.82	35.305	2.174	231	45.51
8.289	0.91	0.83	35.197	0.631	251	44.82
8.272	0.9	0.81	35.305	3.717	268	44.24
8.243	0.9	0.82	35.305	2.174	297	43.24
8.241	0.9	0.82	35.305	2.174	299	43.17
8.224	0.92	0.82	35.088	2.174	316	42.59
8.195	0.91	0.81	35.197	3.717	345	41.59
8.162	0.91	0.81	35.197	3.717	378	40.45
8.141	0.93	0.81	34.980	3.717	399	39.73
8.110	0.92	0.8	35.088	5.26	430	38.66
8.061	0.93	0.79	34.980	6.803	479	36.98
8.044	0.95	0.79	34.763	6.803	496	36.39
8.016	0.95	0.77	34.763	9.889	524	35.43
8.000	0.95	0.76	34.763	11.432	540	34.88
7.983	0.97	0.74	34.546	14.518	557	34.29
7.945	1.01	0.68	34.113	23.776	595	32.98
7.941	1.01	0.66	34.113	26.862	599	32.84
7.937	1	0.65	34.221	28.405	603	32.71
7.933	1.01	0.63	34.113	31.491	607	32.57
7.929	1	0.62	34.221	33.034	611	32.43
7.925	1.01	0.6	34.113	36.12	615	32.29
7.921	1.01	0.58	34.113	39.206	619	32.16
7.917	1.01	0.55	34.113	43.835	623	32.02
7.913	1.01	0.53	34.113	46.921	627	31.88
7.909	1.01	0.5	34.113	51.55	631	31.74
7.905	1.02	0.47	34.004	56.179	635	31.61
7.902	1.02	0.46	34.004	57.722	638	31.50
7.895	1.04	0.41	33.787	65.437	645	31.26
7.897	1.05	0.39	33.679	68.523	643	31.33
7.888	1.05	0.37	33.679	71.609	652	31.02
7.885	1.05	0.34	33.679	76.238	655	30.92
7.882	1.05	0.32	33.679	79.324	658	30.81
7.867	1.06	0.3	33.571	82.41	673	30.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำมาใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4 การคำนวณค่าด้วย Van-Genuchten model เพื่อนำ Fit curve SWRC ของดินเปล่า

Fitting parameter		Measured		Fitted			
				suction	Big Theta	VWC	
		0.100	51.983				
		0.631	51.983	0.001	1.00	51.98	1.2678
a	0.4	0.631	50.434	0.002	1.00	51.98	1.2678
n	1.8	0.631	49.952	0.005	1.00	51.98	1.2678
m	0.4	0.631	49.608	0.01	1.00	51.98	1.26779
ThetaS	52.0	2.174	48.403	0.02	1.00	51.98	1.26775
ThetaR	29.3	0.631	48.059	0.05	1.00	51.97	1.26751
		2.174	47.646	0.1	1.00	51.94	1.26681
		0.631	46.992	0.2	0.99	51.84	1.26446
		2.174	46.545	0.3	0.99	51.70	1.26104
		2.174	45.856	0.5	0.97	51.32	1.25164
		2.174	45.512	1	0.91	49.96	1.21852
		0.631	44.823	2	0.77	46.82	1.14191
		3.717	44.238	5	0.49	40.50	0.98789
		2.174	43.240	10	0.31	36.34	0.88637
		2.174	43.171	20	0.19	33.53	0.81793
		2.174	42.586	50	0.09	31.42	0.76624
		3.717	41.588	100	0.06	30.54	0.74498
		3.717	40.452	200	0.03	30.03	0.7324
		3.717	39.729	500	0.02	29.66	0.72332
		5.26	38.662	1000	0.01	29.50	0.71962
		6.803	36.975				
		6.803	36.390				
		9.889	35.426				
		11.432	34.876				
		14.518	34.290				
		23.776	32.982				
		26.862	32.845				
		28.405	32.707				
		31.491	32.569				
		33.034	32.432				
		36.12	32.294				
		39.206	32.156				
		43.835	32.019				
		46.921	31.881				
		51.55	31.743				
		56.179	31.606				
		57.722	31.502				
		65.437	31.261				
		68.523	31.330				
		71.609	31.020				
		76.238	30.917				
		79.324	30.814				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างอังกถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 5 การคำนวณการแปลงค่าMoistureและSuctionจากเซนเซอร์ ของดินผสมพลาสติกเล็ก

Weight	ค่าVolt		แปลง		น้ำหนักน้ำที่หายไป (g.)	%WC
	Moisture(sen1)	Suction(sen0)	Moisture(sen1)	Suction(sen3)		
8.421	0.91	0.81	34.632	3.717	0	48.355
8.408	0.93	0.79	34.419	6.803	13	47.912
8.392	0.91	0.79	34.632	6.803	29	47.367
8.363	0.88	0.8	34.952	5.26	58	46.379
8.355	0.87	0.79	35.058	6.803	66	46.106
8.347	0.87	0.79	35.058	6.803	74	45.833
8.338	0.88	0.79	34.952	6.803	83	45.526
8.32	0.9	0.79	34.739	6.803	101	44.913
8.305	0.88	0.79	34.952	6.803	116	44.402
8.287	0.87	0.78	35.058	8.346	134	43.788
8.277	0.88	0.79	34.952	6.803	144	43.448
8.261	0.88	0.78	34.952	8.346	160	42.902
8.248	0.88	0.78	34.952	8.346	173	42.459
8.239	0.88	0.79	34.952	6.803	182	42.152
8.228	0.88	0.79	34.952	6.803	193	41.778
8.222	0.88	0.77	34.952	9.889	199	41.573
8.218	0.89	0.78	34.845	8.346	203	41.437
8.194	0.92	0.78	34.525	8.346	227	40.619
8.180	0.92	0.78	34.525	8.346	241	40.142
8.173	0.93	0.77	34.419	9.889	248	39.903
8.162	0.94	0.77	34.312	9.889	259	39.528
8.149	0.93	0.78	34.419	8.346	272	39.085
8.140	0.92	0.78	34.525	8.346	281	38.778
8.123	0.93	0.78	34.419	8.346	298	38.199
8.119	0.94	0.77	34.312	9.889	302	38.063
8.113	0.97	0.77	33.992	9.889	308	37.858
8.110	0.94	0.77	34.312	9.889	311	37.756
8.068	0.97	0.76	33.992	11.432	353	36.325
8.066	0.97	0.76	33.992	11.432	355	36.256
8.062	0.98	0.75	33.885	12.975	359	36.120
8.059	0.98	0.74	33.885	14.518	362	36.018
8.051	0.99	0.74	33.779	14.518	370	35.745
8.045	0.98	0.74	33.885	14.518	376	35.541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

8.041	0.98	0.74	33.885	14.518	380	35.404
8.029	1.00	0.73	33.672	16.061	392	34.995
8.018	1.00	0.73	33.672	16.061	403	34.621
8.009	1.01	0.73	33.565	16.061	412	34.314
7.993	1.02	0.72	33.459	17.604	428	33.769
7.986	1.02	0.71	33.459	19.147	435	33.530
7.979	1.02	0.71	33.459	19.147	442	33.291
7.972	1.02	0.71	33.459	19.147	449	33.053
7.965	1.01	0.70	33.565	20.69	456	32.814
7.958	1.05	0.69	33.139	22.233	463	32.576
7.951	1.05	0.67	33.139	25.319	470	32.337
7.944	1.05	0.66	33.139	26.862	477	32.099
7.927	1.07	0.63	32.925	31.491	494	31.519
7.913	1.14	0.58	32.179	39.206	508	31.042
7.904	1.14	0.56	32.179	42.292	517	30.735
7.895	1.15	0.53	32.072	46.921	526	30.429
7.885	1.16	0.49	31.966	53.093	536	30.088
7.880	1.17	0.44	31.859	60.808	541	29.917
7.876	1.19	0.41	31.646	65.437	545	29.781
7.872	1.19	0.38	31.646	70.066	549	29.645
7.870	1.2	0.36	31.539	73.152	551	29.577

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 6 การคำนวณค่าด้วย Van-Genuchten model เพื่อนำ Fit curve SWRC ของดินผสมพลาสติกเล็ก

Fitting parameter		Measured		Fitted			
				suction	Big Theta	WVC	
		0.100	48.355				
		3.717	48.355	0.001	1.00	48.35	1.1794
a	0.1	6.803	47.912	0.002	1.00	48.35	1.1794
n	3.1	6.803	47.367	0.005	1.00	48.35	1.1794
m	0.7	5.260	46.379	0.01	1.00	48.35	1.1794
ThetaS	48.4	6.803	46.106	0.02	1.00	48.35	1.1794
ThetaR	30.1	6.803	45.833	0.05	1.00	48.35	1.1794
		6.803	45.526	0.1	1.00	48.35	1.1794
		6.803	44.913	0.2	1.00	48.35	1.1794
		6.803	44.402	0.3	1.00	48.35	1.1794
		8.346	43.788	0.5	1.00	48.35	1.1793
		6.803	43.448	1	1.00	48.33	1.1789
		8.346	42.902	2	0.99	48.18	1.1751
		8.346	42.459	5	0.86	45.85	1.1183
		6.803	42.152	10	0.47	38.61	0.9418
		6.803	41.778	20	0.14	32.61	0.7955
		9.889	41.573	50	0.02	30.50	0.7440
		8.346	41.437	100	0.00	30.21	0.7369
		8.346	40.619	200	0.00	30.15	0.7353
		8.346	40.142	500	0.00	30.13	0.7349
		9.889	39.903	1000	0.00	30.13	0.7348
		9.889	39.528				
		8.346	39.085				
		8.346	38.778	19.147	33.530		
		8.346	38.199	19.147	33.291		
		9.889	38.063	19.147	33.053		
		9.889	37.858	20.690	32.814		
		9.889	37.756	22.233	32.576		
		11.432	36.325	25.319	32.337		
		11.432	36.256	26.862	32.099		
		12.975	36.120	31.491	31.519		
		14.518	36.018	39.206	31.042		
		14.518	35.745	42.292	30.735		
		14.518	35.541	46.921	30.429		
		14.518	35.404	53.093	30.088		
		16.061	34.995	60.808	29.917		
		16.061	34.621	65.437	29.781		
		16.061	34.314	70.066	29.645		
		17.604	33.769	73.152	29.577		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 7 การคำนวณการแปลงค่าMoistureและSuctionจากเซนเซอร์ ของดินผสมพลาสติกใหญ่

Weight(kg.)	ค่าVolt		แปลง		น้ำหนัก(g.)	%WC
	Moisture(sen3)	Suction(sen2)	Moisture(sen1)	Suction(sen3)		
7.070	1.52	0.83	27.668	0.631	0	44.60
7.039	1.52	0.82	27.668	2.174	31	43.33
7.012	1.54	0.82	27.458	2.174	58	42.23
6.967	1.57	0.82	27.143	2.174	103	40.39
6.943	1.58	0.81	27.038	3.717	127	39.40
6.924	1.58	0.81	27.038	3.717	146	38.63
6.916	1.58	0.80	27.038	5.26	154	38.30
6.910	1.59	0.79	26.933	6.803	160	38.05
6.872	1.60	0.78	26.828	8.346	198	36.50
6.869	1.61	0.77	26.723	9.889	201	36.38
6.853	1.62	0.75	26.619	12.975	217	35.72
6.845	1.62	0.74	26.619	14.518	225	35.40
6.844	1.63	0.73	26.514	16.061	226	35.36
6.824	1.63	0.71	26.514	19.147	246	34.54
6.801	1.65	0.67	26.304	25.319	269	33.60
6.795	1.68	0.61	25.989	34.577	275	33.35
6.791	1.68	0.58	25.989	39.206	279	33.19
6.784	1.68	0.56	25.989	42.292	286	32.90
6.770	1.70	0.55	25.779	43.835	300	32.33
6.767	1.71	0.52	25.674	48.464	303	32.21
6.764	1.71	0.51	25.674	50.007	306	32.08
6.744	1.71	0.50	25.674	51.55	326	31.27
6.744	1.70	0.49	25.779	53.093	326	31.27
6.744	1.70	0.48	25.779	54.636	326	31.27
6.741	1.70	0.47	25.779	56.179	329	31.14
6.739	1.70	0.46	25.779	57.722	331	31.06
6.738	1.70	0.45	25.779	59.265	332	31.02
6.737	1.70	0.44	25.779	60.808	333	30.98
6.736	1.70	0.44	25.779	60.808	334	30.94
6.735	1.71	0.43	25.674	62.351	335	30.90
6.733	1.72	0.42	25.569	63.894	337	30.82
6.733	1.73	0.41	25.465	65.437	337	30.82
6.729	1.74	0.40	25.360	66.98	341	30.65
6.727	1.74	0.39	25.360	68.523	343	30.57
6.724	1.75	0.38	25.255	70.066	346	30.45
6.720	1.76	0.37	25.150	71.609	350	30.28
6.714	1.75	0.36	25.255	73.152	356	30.04
6.711	1.75	0.35	25.255	74.695	359	29.92
6.707	1.75	0.34	25.255	76.238	363	29.75
6.707	1.76	0.33	25.150	77.781	363	29.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 8 การคำนวณค่าด้วย Van-Genuchten model เพื่อนำ Fit curve SWRC ของดินผสมพลาสติกใหญ่

Fitting parameter		Measured		Fitted			
		0.1	44.598	suction	Big Theta	VWC	
		0.631	44.598	0.001	1.00	44.60	1.08772
a	0.8	2.174	43.331	0.002	1.00	44.59	1.08767
n	1.1	2.174	42.226	0.005	1.00	44.59	1.08753
m	0.1	2.174	40.386	0.01	1.00	44.58	1.08728
ThetaS	44.6	3.717	39.404	0.02	1.00	44.56	1.08673
ThetaR	1.6	3.717	38.627	0.05	1.00	44.48	1.08496
		5.26	38.300	0.1	0.99	44.36	1.08187
		6.803	38.055	0.2	0.99	44.10	1.07555
		8.346	36.501	0.3	0.98	43.84	1.06935
		9.889	36.378	0.5	0.97	43.36	1.0576
		12.975	35.724	1	0.95	42.33	1.0324
		14.518	35.396	2	0.91	40.80	0.9952
		16.061	35.356	5	0.85	38.19	0.93138
		19.147	34.538	10	0.80	35.99	0.87776
		25.319	33.597	20	0.75	33.77	0.82375
		34.577	33.352	50	0.68	30.96	0.75518
		39.206	33.188	100	0.64	28.97	0.70652
		42.292	32.902	200	0.59	27.10	0.6609
		43.835	32.329	500	0.54	24.81	0.60517
		48.464	32.206	1000	0.50	23.22	0.56631
		50.007	32.084				
		51.55	31.266				
		53.093	31.266				
		54.636	31.266				
		56.179	31.143				
		57.722	31.061				
		59.265	31.020				
		60.808	30.980				
		60.808	30.939				
		62.351	30.898				
		63.894	30.816				
		65.437	30.816				
		66.98	30.65236				
		68.523	30.57056				
		70.066	30.44787				
		71.609	30.28428				
		73.152	30.0389				
		74.695	29.9162				
		76.238	29.75261				
		77.781	29.75261				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 9 การคำนวณการแปลงค่าMoistureและSuctionจากเซนเซอร์ ของดินผสมพลาสติกกลาง

Weight(kg.)	ค่าVolt		แปลง		น้ำหนัก(g.)	%WC
	Moisture(sen3)	Suction(sen2)	Moisture(sen1)	Suction(sen3)		
7.086	1.36	0.83	29.346	0.631	45	46.24
7.07	1.36	0.83	29.346	0.631	61	45.58
7.049	1.37	0.83	29.241	0.631	82	44.72
7.014	1.36	0.83	29.346	0.631	117	43.29
6.985	1.36	0.82	29.346	2.174	146	42.11
6.948	1.37	0.82	29.241	2.174	183	40.59
6.934	1.36	0.82	29.346	2.174	197	40.02
6.874	1.39	0.81	29.032	3.717	257	37.57
6.843	1.42	0.8	28.717	5.26	288	36.30
6.811	1.44	0.78	28.507	8.346	320	34.99
6.808	1.44	0.77	28.507	9.889	323	34.87
6.771	1.45	0.74	28.402	14.518	360	33.36
6.759	1.48	0.73	28.087	-16.061	372	32.86
6.756	1.47	0.72	28.192	17.604	375	32.74
6.752	1.48	0.71	28.087	19.147	379	32.58
6.75	1.48	0.7	28.087	20.69	381	32.50
6.737	1.49	0.66	27.982	26.862	394	31.96
6.735	1.5	0.65	27.878	28.405	396	31.88
6.715	1.53	0.54	27.563	45.378	416	31.06
6.713	1.53	0.53	27.563	46.921	418	30.98
6.711	1.53	0.52	27.563	48.464	420	30.90
6.707	1.53	0.51	27.563	50.007	424	30.74
6.701	1.56	0.46	27.248	57.722	430	30.49
6.698	1.56	0.45	27.248	59.265	433	30.37
6.696	1.56	0.43	27.248	62.351	435	30.29
6.696	1.57	0.42	27.143	63.894	435	30.29
6.694	1.57	0.4	27.143	66.98	437	30.21
6.693	1.57	0.38	27.143	70.066	438	30.17
6.691	1.57	0.37	27.143	71.609	440	30.08
6.691	1.57	0.35	27.143	74.695	440	30.08
6.691	1.58	0.34	27.038	76.238	440	30.08
6.688	1.57	0.33	27.143	77.781	443	29.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 10 การคำนวณค่าด้วย Van-Genuchten model เพื่อนำ Fit curve SWRC ของดินผสมพลาสติกกลาง

Fitting parameter		Measured		Fitted			
				suction	Big Theta	VWC	
		0.631	46.238				
		0.631	45.583	0.001	1.00	46.24	1.12775
a	0.8	0.631	44.724	0.002	1.00	46.24	1.12775
n	1.5	0.631	43.293	0.005	1.00	46.24	1.12772
m	0.3	2.174	42.107	0.01	1.00	46.23	1.12765
ThetaS	46.2	2.174	40.594	0.02	1.00	46.23	1.12746
ThetaR	27.6	2.174	40.021	0.05	1.00	46.19	1.1266
		3.717	37.567	0.1	0.99	46.11	1.12452
		5.26	36.300	0.2	0.98	45.87	1.11884
		8.346	34.991	0.3	0.97	45.59	1.11191
		9.889	34.868	0.5	0.93	44.94	1.09614
		14.518	33.355	1	0.84	43.27	1.05546
		16.061	32.864	2	0.70	40.64	0.99114
		17.604	32.742	5	0.49	36.71	0.89538
		19.147	32.578	10	0.36	34.22	0.8347
		20.69	32.496	20	0.25	32.34	0.78871
		26.862	31.965	50	0.16	30.62	0.74675
		28.405	31.883	100	0.11	29.74	0.72537
		45.378	31.065	200	0.08	29.12	0.7102
		46.921	30.983	500	0.05	28.56	0.6967
		48.464	30.901	1000	0.04	28.29	0.68988
		50.007	30.738				
		57.722	30.492				
		59.265	30.370				
		62.351	30.288				
		63.894	30.288				
		66.98	30.206				
		70.066	30.165				
		71.609	30.083				
		74.695	30.083				
		76.238	30.083				
		77.781	29.961				
		0.1	46.238				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 11 ตารางการคำนวณ ขนาดความกว้างและความยาวของพลาสติกขนาดใหญ่

ใหญ่	กว้าง(mm)	ยาว(mm)	ก/ช
1	7	9	1.285714
2	11	18	1.636364
3	5	11	2.2
4	9	17	1.888889
5	10	12	1.2
6	8	16	2
7	11	12	1.090909
8	9	15	1.666667
9	9	14	1.555556
10	10	16	1.6
11	10	15	1.5
12	3	8	2.666667
13	7	16	2.285714
14	9	11	1.222222
15	9	20	2.222222
16	4	12	3
17	9	16	1.777778
18	9	17	1.888889
19	4	14	3.5
20	8	17	2.125
Sum	161	286	38.31259
Average	8.05	14.3	1.91563
พื้นที่	115.115		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 12 ตารางการคำนวณ ขนาดความกว้างและความยาวของพลาสติกขนาดกลาง

กลาง	กว้าง(mm)	ยาว(mm)	ก/ย
1	2	3	1.5
2	2	5	2.5
3	2	5	2.5
4	3	4	1.333333
5	4	5	1.25
6	2	3	1.5
7	2	4	2
8	2	5	2.5
9	2	4	2
10	2	5	2.5
11	2	3	1.5
12	2	5	2.5
13	2	4	2
14	3	4	1.333333
15	2	3	1.5
16	3	4	1.333333
17	3	4	1.333333
18	4	4	1
19	2	3	1.5
20	2	3	1.5
Sum	48	80	35.08333
Average	2.4	4	1.754167
พื้นที่	9.6		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 13 ตารางการคำนวณ ขนาดความกว้างและความยาวของพลาสติกขนาดเล็ก

เล็ก	กว้าง(mm)	ยาว(mm)	ก/ข
1	1	2	2
2	1	3	3
3	1	4	4
4	3	6	2
5	1	4	4
6	2	2	1
7	3	4	1.333333
8	3	4	1.333333
9	2	2	1
10	3	4	1.333333
11	1	2	2
12	1	3	3
13	3	5	1.666667
14	2	3	1.5
15	2	3	1.5
16	3	3	1
17	1	2	2
18	2	3	1.5
19	2	4	2
20	1	3	3
Sum	38	66	40.16667
Average	1.9	3.3	2.008333
พื้นที่	6.27		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.