

การทดสอบอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิต
ภายใต้ความเค้นกดทับของชั้นดิน



นายอภิรักษ์ บุริตรธรรม

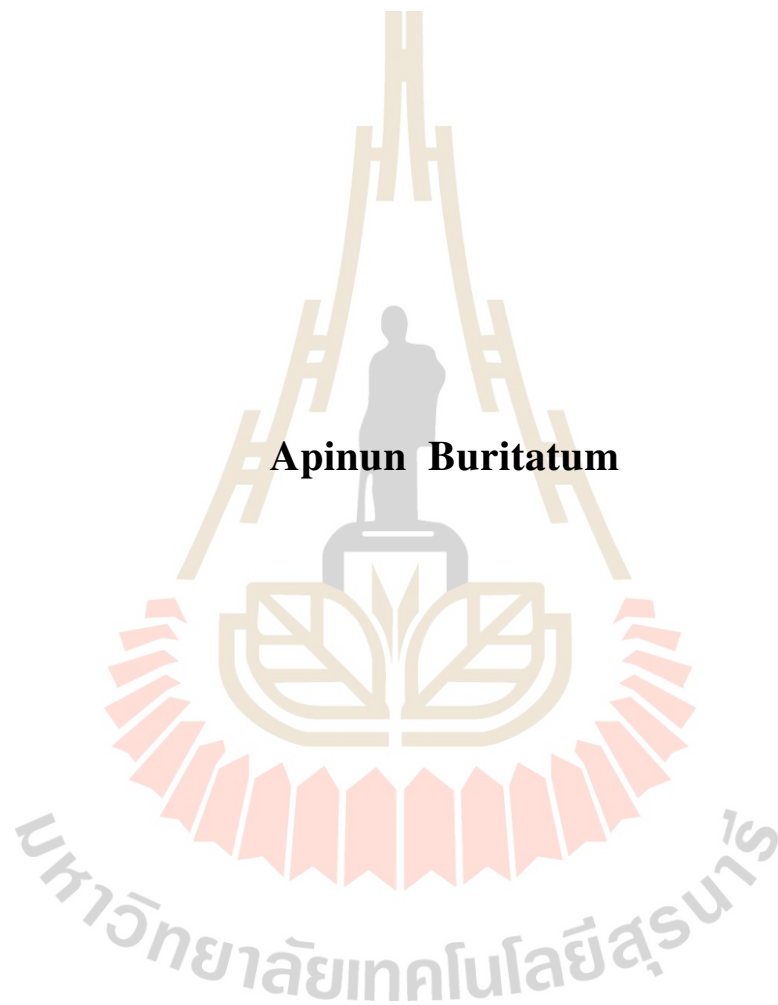
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2559

**HYDRAULIC TRANSMISSIVITY OF GEOCOPOSITES
UNDER PRESSURE OF SOIL LAYER**

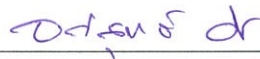


**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2016**

การทดสอบอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิต
ภายใต้ความเค้นกดทับของชั้นดิน

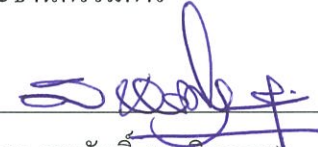
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร. อ. วิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)

ประธานกรรมการ



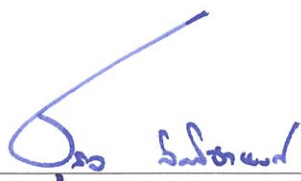
(ศ. ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร. พรพจน์ ตันเต็ง)

กรรมการ



(ศ. ดร. ชูกิจ ลิ้มปิงานงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม



(รศ. ร. อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อภินันท์ บุริตธรรม : การทดสอบอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิตภายใต้ความเค้นกดทับของชั้นดิน (HYDRAULIC TRANSMISSIVITY OF GEOCOMPOSITES UNDER PRESSURE OF SOIL LAYER) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข, 56 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการไหลตามแนวของวัสดุจีโอคอมโพสิตในห้องปฏิบัติการภายใต้ความเค้นกดทับความลาดเชิงกลศาสตร์ และดินประเภททั้ง 2 ด้าน การศึกษานี้ใช้เครื่องทดสอบอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นเฉพาะเพื่อให้สามารถจำลองสถานะที่วัสดุจีโอคอมโพสิตถูกล้อมรอบด้วยดิน แผ่นจีโอคอมโพสิตถูกประกบด้วยดินทรายปนดินเหนียวในสองกรณี คือจีโอคอมโพสิตถูกประกบด้วยชั้นดินด้านล่าง และถูกประกบด้วยชั้นดินสองด้าน (ด้านบนและล่าง) ความเค้นกดทับในแนวตั้งบนจีโอคอมโพสิตเท่ากับ 50 100 และ 150 กิโลปาสกาล อัตราการไหลตามแนวมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 4716 (ไม่มีดินประกบ) เมื่อถูกประกบด้วยชั้นดินด้านล่าง ขณะที่ อัตราการไหลตามแนวของวัสดุจีโอคอมโพสิตจะลดลงเป็นอย่างมากเมื่อถูกประกบด้วยชั้นดินสองชั้น การลดลงของอัตราการไหลเกิดจากการคอดของจีโอคอมโพสิตและการอุดตันของดินเม็ดละเอียดเมื่อถูกกระทำด้วยความเค้นกดทับในแนวตั้งส่งผลให้พื้นที่ระบายน้ำของวัสดุจีโอคอมโพสิตลดลง อัตราการไหลมีค่าลดลงอย่างมากตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณดินเม็ดละเอียด

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนักศึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

APINUN BURITATUM : HYDRAULIC TRANSMISSIVITY OF
GEOCOMPOSITES UNDER PRESSURE OF SOIL LAYER.

THESIS ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., 56 PP.

HYDRAULICS TRANSMISSIVITY/SOIL SURROUNDED/GEOCOMPOSITE

This research conducts a series of hydraulic transmissivity tests to examine the performance of real condition in the field of geocomposite using a developed transmissivity test apparatus. Two scenarios were conducted in which the geocomposite material was placed on a soil layer for case 1. For the second scenario the geocomposite was embedded between soil layers, subsequently the soil-geocomposite systems were subjected to different magnitudes of vertical effective stress at 50 100 and 150 kPa, respectively. The obtained results indicated that the transmissivity of geocomposite was slightly changed for the first condition (case 1) compared to conventional method, namely ASTM D 4716. The significant reduction was found to be due to clogging, bending of geocomposite layer

School of Civil Engineering

Academic Year 2016

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

The image shows two handwritten signatures in blue ink. The top signature is for the student and the bottom one is for the advisor. Both signatures are written over horizontal lines that serve as a baseline for the text.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่อไปนี้ ที่ได้ช่วยชี้แนะให้คำปรึกษารวมถึงการช่วยเหลืออย่างดีเสมอมา ไม่ว่าจะเป็นการให้ความรู้ให้และแนะนำสิ่งที่จะต้องจงงานงานวิจัยนี้สามารถริเริ่ม และลุล่วงไปได้ด้วยดีเสมอมา ก่อนอื่นผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณบุพการี ผู้ให้กำเนิดและอบรมสั่งสอนให้ความรู้ด้วยดีเสมอมา

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้โอกาสทางการศึกษา ถ่ายทอดวิชาความรู้ แนวคิด เป็นแบบอย่างในการดำเนินชีวิต และให้คำปรึกษาเรื่องงานวิจัยตลอดจนช่วยตรวจแก้ไขเนื้อหาวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ ดันเส็ง กรรมการ ที่กรุณาถ่ายทอดวิชาความรู้ทั้งด้านวิชาการและประสบการณ์ ให้แนวคิด ตลอดจนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณ คุณอาทิตย์ อุดมชัย คุณวิษณุกร สมิงทอง รวมถึงบุคลากรเจ้าหน้าที่สาขาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่กรุณาช่วยเหลือให้คำปรึกษาชี้แนะและช่วยเหลือจนกระทั่งการทำวิจัยครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

และขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์เสริมศักดิ์ ดิยะแสงทอง อาจารย์ ดร.เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและเปิดโอกาสด้านการศึกษาให้ทางผู้วิจัยมาโดยตลอด จนกระทั่งงานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อภิรักษ์ บูริตธรรม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 พลังงานการไหล.....	4
2.3 กฎของดาร์ซี.....	7
2.4 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน.....	9
2.5 การหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในห้องปฏิบัติการ.....	11
2.6 อัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์.....	15
2.7 กรณีศึกษา.....	17
3 วิธีการดำเนินการ	25
3.1 บทนำ.....	25
3.2 การทดสอบหาคณสมบัตินิพินฐาน.....	26
3.3 คณสมบัตินิพินฐานของตัวอย่าง.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ.....	28
3.5 รายละเอียดเครื่องทดสอบ.....	29
3.6 ทดสอบอัตราการไหลตามแนว.....	30
3.7 เงื่อนไขการทดสอบ.....	31
4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์.....	34
4.1 บทนำ.....	34
4.2 อัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิต โดยการทดสอบตามมาตรฐาน.....	30
4.3 อัตราการไหลตามแนวของวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิตเมื่อใช้ดินประกบ.....	35
4.4 อัตราการไหลตามแนวของวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิตเมื่อใช้ดินประกบ และเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียด.....	39
5 บทสรุป.....	45
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	45
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	46
รายการอ้างอิง.....	47
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	49
ประวัติผู้เขียน.....	50

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสำหรับดินชนิดต่างๆ..... 10
2.2	ค่าปรับแก้อุณหภูมิจ..... 17
2.3	แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบปกติและผลจากการคำนวณ..... 19
2.4	คุณสมบัติของ Smart Geotextile และ Geonet Composites..... 20
2.5	เงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการซึมผ่านของแผ่นวัสดุเสริมแรงดินในห้องปฏิบัติการ..... 22
3.1	เงื่อนไขการทดสอบ..... 32
4.1	ผลการทดสอบอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงศาสตร์ต่าง โดยการทดสอบมาตรฐาน..... 35
4.2	ผลการทดสอบอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงศาสตร์ต่าง เมื่อใช้ดินประเภทด้านเดียว..... 37
4.3	ผลการทดสอบอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงศาสตร์ต่าง เมื่อใช้ดินประเภทสองด้าน..... 39
4.4	ผลการทดสอบอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงศาสตร์ต่าง เมื่อใช้ดินประเภทด้านเดียว และเพิ่มปริมาตรดินเม็ดละเอียด..... 42
4.5	ผลการทดสอบอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงศาสตร์ต่าง เมื่อใช้ดินประเภทสองด้าน และเพิ่มปริมาตรดินเม็ดละเอียด..... 44

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผ่นวัสดุสังเคราะห์จีโอบีโอโพลีเมอร์	1
1.2	เครื่องทดสอบอัตราการไหลตามแนว	2
2.1	เขตรวมเขตความดัน และเขาระดับจากการไหลของน้ำผ่านดิน	6
2.2	การเปลี่ยนแปลงระหว่างความเร็วของการไหลเทียบกับความลาดเชิงชลศาสตร์	6
2.3	การหาความเร็วการไหลที่แท้จริง	8
2.4	การเปลี่ยนแปลงความเร็วในการไหลเทียบกับความลาดเชิงชลศาสตร์	9
2.5	การทดสอบแบบคงที่ระดับน้ำ	12
2.6	การทดสอบแบบเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ	14
2.7	กราฟแสดงอัตราการไหล และความเค้นหลักของผลการทดสอบปกติ	16
2.8	กราฟแสดงอัตราการไหล และความลาดเชิงชลศาสตร์ของผลการทดสอบปกติ	17
2.9	กราฟการทดสอบ และความสัมพันธ์ของแผ่น Geocomposites ชนิด Biplanar	18
2.10	กราฟการทดสอบ และความสัมพันธ์ของแผ่น Geocomposites ชนิด Triplanar	18
2.11	ความหนาที่เปลี่ยนแปลงต่อความเค้นที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างการทดสอบ	20
2.12	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ลดลงต่อความเค้นที่เพิ่มขึ้น	21
2.13	ค่าอัตราการไหลตามแนวที่ลดลงต่อความเค้นที่เพิ่มขึ้น	21
2.14	การเปรียบเทียบผลเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นแผ่นวัสดุ	23
2.15	การเปรียบเทียบผลเมื่อเพิ่มของความหนาชั้นทรายรอง	24
3.1	แผนการดำเนินงานวิจัย	25
3.2	การกระจายตัวของเม็ดดิน	26
3.3	ขนาดคละของทรายเมื่อเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 20	27
3.4	ขนาดคละของทรายเมื่อเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 60	27
3.5	ขนาดคละของทรายเมื่อเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 80	28
3.6	เครื่องทดสอบอัตราการไหลตามแนว	30
3.7	การทดสอบปกติตามมาตรฐาน	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 การทดสอบเมื่อใช้ดินเป็นตัวกลางการให้ความชื้น.....	31
4.1 ค่าอัตราการไหลตามแนวต่อความเค้นที่ความลาดเชิงศาสตร์ต่างๆ ในการทดสอบตามมาตรฐาน.....	34
4.2 ค่าอัตราการไหลตามแนวต่อความเค้นที่ความลาดเชิงศาสตร์ต่างๆ ในการทดสอบเมื่อใช้ดินประกบด้านเดียว.....	36
4.3 ค่าอัตราการไหลตามแนวต่อความเค้นที่ความลาดเชิงศาสตร์ต่างๆ ในการทดสอบเมื่อใช้ดินประกบสองด้าน.....	38
4.4 ค่าอัตราการไหลตามแนวต่อความลาดเชิงศาสตร์ที่ความเค้นต่างๆ ในการทดสอบเมื่อใช้ดินประกบด้านเดียว และเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียด.....	40
4.5 ค่าอัตราการไหลตามแนวต่อความเค้นที่ความลาดเชิงศาสตร์ต่างๆ ในการทดสอบเมื่อใช้ดินประกบสองด้าน และเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียด.....	43



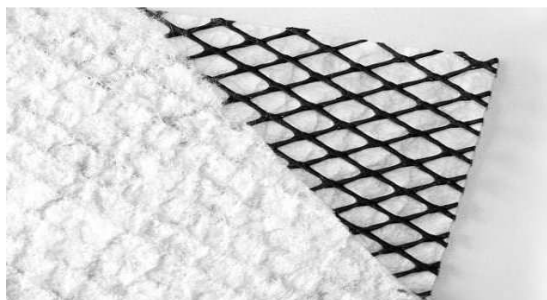
บทที่ 1

บทนำ

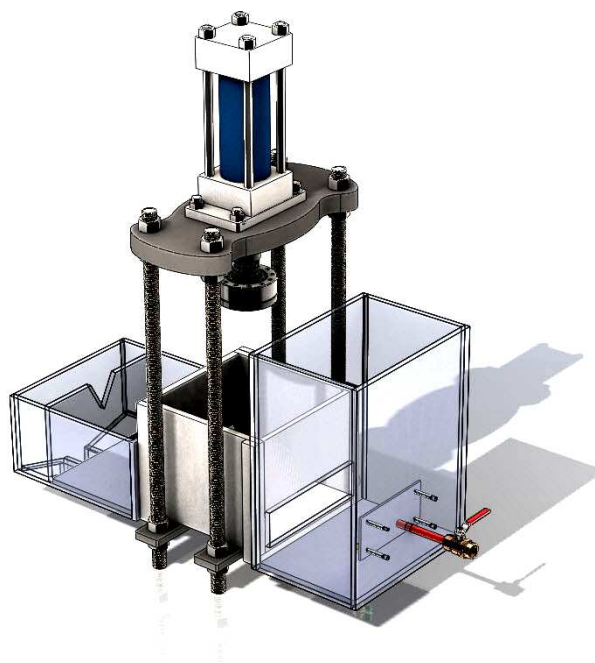
1.1 ที่มาความสำคัญและปัญหา

จีโอคอมโพสิต คือ วัสดุสังเคราะห์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในงานด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค โดยมีหน้าที่เป็นวัสดุกรอง และระบายน้ำออกจากมวลดินทั้งในแนวราบและแนวตั้ง เกิดจากการนำเอาข้อดีของจีโอเทคไทล์ซึ่งทำหน้าที่เป็นชั้นกรอง มารวมกับของวัสดุสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ ตัวอย่างเช่น จีโอเทคไทล์- จีโอกรีด เป็นต้น การติดตั้งวัสดุจีโอคอมโพสิตเพื่อการระบายน้ำออกจากมวลดินในแต่ละพื้นที่ย่อมมีสถานะของการใช้งานแตกต่างกันไป ดังนั้นก่อนการใช้งานวัสดุจีโอคอมโพสิตทุกครั้งจึงจำเป็นต้องทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ เพื่อนำข้อมูลจากการทดสอบไปใช้ในการออกแบบให้สอดคล้องกับสถานะของการใช้งานจริง และค่าอัตราการไหลตามแนว (Hydraulic Transmissivity) ถือเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบและใช้งานวัสดุจีโอคอมโพสิต

มาตรฐาน ASTM D 4716 ค่าอัตราการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ (Hydraulic Transmissivity Test) ที่ใช้ในปัจจุบันเป็นการจำลองการไหลผ่านตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ภายใต้ความเค้นที่กระทำผ่านเหล็กฉิวเรียบของเครื่องทดสอบ ซึ่งเป็นการบังคับหน้าตัดของตัวอย่างให้เกิดความสม่ำเสมอตลอดการทดสอบ แต่สภาพจริงในสนามจีโอคอมโพสิตติดตั้งในดินบดอัด และเนื่องจากดินไม่ใช่วัสดุเนื้อเดียวกันดังเช่นแผ่นเหล็ก ในขณะที่วัสดุจีโอคอมโพสิตถูกติดตั้งและได้รับความเค้นจึงเกิดผลกระทบที่อาจลดประสิทธิภาพของวัสดุจีโอคอมโพสิต ดังนั้น อัตราการไหลตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบที่ปราศจากดินประกบจึงมีค่าสูงเกินความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในสนาม



รูปที่ 1.1 แผ่นวัสดุสังเคราะห์ จีโอคอมโพสิต



รูปที่ 1.2 เครื่องทดสอบอัตราการไหลตามแนว

งานวิจัยนี้จึงต้องการทดสอบอัตราการไหลตามแนวที่สอดคล้องกับสภาวะการใช้งานจริงที่วัสดุจีโอคอมโพสิตได้รับผลกระทบจากความเค้นกดทับของชั้นดินขณะถูกติดตั้งและใช้งาน โดยการใช้ดินประภทวัสดุจีโอคอมโพสิตขณะทำการทดสอบ เพื่อจำลองรูปแบบความเค้นกดทับที่เกิดจากชั้นดินบีบอัด จนทำให้วัสดุจีโอคอมโพสิตเกิดการคั่งอและพื้นที่การไหลในหน้าตัดลดลง นอกจากนี้อนุภาคขนาดเล็กของเม็ดดินยังก่อให้เกิดการอุดตันตามช่องการไหลและชั้นกรองของแผ่นวัสดุจีโอคอมโพสิต ซึ่งจะส่งผลให้ความสามารถในการระบายน้ำและอัตราการไหลตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ลดลง โดยคณะวิจัยได้พัฒนาเครื่องทดสอบอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่สามารถทดสอบได้ในสภาวะที่ไม่มีดินประภท (มาตรฐาน ASTM D 4716) และทดสอบโดยการใช้ดินประภทแผ่นวัสดุจีโอคอมโพสิต ซึ่งเป็นสภาวะที่เกิดกับการใช้งานจริงในภาคสนาม รวมทั้งการศึกษาค่าอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิตภายใต้ความความเค้นกดทับที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่างๆ ทั้งสภาวะที่มีดินและไม่มีดินประภท นอกจากนี้ยังได้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณดินเม็ดละเอียดที่มีผลกระทบต่ออัตราการไหลตามแนวของแผ่นจีโอคอมโพสิต เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาและประเมินความเป็นไปได้ที่จะใช้เป็นข้อพึงระวังในการออกแบบเพื่อใช้งานวัสดุจีโอคอมโพสิตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิต ที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่างๆ ภายใต้การให้ความเค้นผ่านแผ่นเหล็ก ซึ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 4716

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิต ภายใต้การการให้ความเค้นผ่านแผ่นเหล็กและการให้ความเค้นผ่านดินประยกบ

1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณดินเม็ดละเอียดกับอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ จีโอคอมโพสิต

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

แผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดสอบค่าการไหลตามแนวเป็นวัสดุจีโอคอมโพสิต และทรายที่ใช้ในการประกบวัสดุจีโอคอมโพสิตมีขนาดละเอียดไม่ค้ำ เพื่อจำลองอิทธิพลของดินเม็ดละเอียด ผู้วิจัยได้เพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียด (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) ในดินทรายทดสอบในปริมาณร้อยละ 20, 60 และ 80 ของปริมาณทรายโดยน้ำหนัก ความเค้นกดทับในแนวดิ่งที่กระทำบนแผ่นวัสดุจีโอคอมโพสิตเท่ากับ 50, 100 และ 150 กิโลปาสกาล ค่าความลาดเชิงชลศาสตร์เท่ากับ 0.1, 0.3, 0.5 และ 1.0 ดินที่ประกบชั้นบนและชั้นล่างของแผ่นวัสดุจีโอคอมโพสิตมีความหนาชั้นละ 0.05 เมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ จีโอคอมโพสิต

1.4.2 ทราบถึงอัตราการไหลตามแนวเมื่อใช้ดินกดทับแผ่นวัสดุสังเคราะห์ จีโอคอมโพสิต

1.4.3 ทราบว่าปริมาณดินเม็ดละเอียดที่เพิ่มมากขึ้นมีผลต่ออัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิต หรือไม่

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

งานวิจัยในบทนี้จะศึกษาทฤษฎีการไหล และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อแสดงให้เห็นว่าชั้นดิน หรือเม็ดดินมีผลกระทบอย่างมากในการลดลงของอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์หิโอะคอมโพสิตในสภาวะที่ถูกประกบด้วยดินชนิดต่างๆ และเนื่องจากการเป็นการไหลผ่านโดยมีผลกระทบของความเค้นที่กระทำต่อชั้นดิน ที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่างๆ จึงจะใช้ทฤษฎีคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านชั้นดินของ Darcy (1856) เป็นทฤษฎีพื้นฐานของงานวิจัย และจะกล่าวถึงการทดสอบอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์หิโอะคอมโพสิตตามมาตรฐาน ASTM D 4716 เพื่อนำผลข้อมูลไปประยุกต์ในงานวิจัยต่อไป

2.2 พลังงานการไหล (Head)

การไหลซึมของน้ำในมวลดินระหว่างจุดสองจุดจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีความแตกต่างของพลังงานรวม (Total energy) จากทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล เฮอร์นูลรี ได้นำเสนอสมการพลังงานรวมที่จุดใดๆ เมื่อน้ำเกิดการเคลื่อนที่ว่าเป็นผลรวมของพลังงานศักย์ (Potential energy) พลังงานเนื่องจากความดัน (Pressure energy) และพลังงานเนื่องจากความเร็ว (Velocity energy)

$$E = mgz + uV + \frac{mv^2}{2} \quad (2.1)$$

- เมื่อ E คือ พลังงานรวมที่จุดใดๆ
 m คือ มวลของน้ำ
 g คือ ค่าความโน้มถ่วงของโลก
 z คือ ระยะในแนวดิ่งเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง
 u คือ ความดันของน้ำ
 V คือ ปริมาตรของน้ำ
 v คือ ความเร็วในการไหลของน้ำ

ในทางปฏิบัติ พลังงานรวมต่อน้ำหนักของน้ำ ($W = mg = \gamma_w V$) หรือเรียกว่าเฮทรวม (Total head) นิยมใช้ในการคำนวณ ซึ่งเป็นพลังงานในหน่วยของความยาว ดังนี้

$$\frac{E}{W} = h = z + \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} \quad (2.2)$$

สมการที่ 2.2 เรียกว่าสมการเบอร์นูลลี และเมื่อน้ำไหลผ่านดินพลังงานเนื่องจากความเร็วในการไหลมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับพลังงานอื่นๆ จึงสามารถละทิ้งได้ ดังนั้น พลังงานรวมที่จุดใดๆ ในรูปของเฮทรวมที่จุดใดๆ คือ

$$h = z + \frac{u}{\gamma_w} \quad (2.3-ก)$$

หรือ

$$h = h_e + h_p \quad (2.3-ข)$$

เมื่อ h_e คือ เฮทระดับ และ h_p คือ เฮทความดัน ซึ่งเป็นพลังงานการไหลของน้ำผ่านดินในรูปของหน่วยความยาว

รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮทความดัน เฮทระดับ และเฮทรวม ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของน้ำ จะเห็นว่า เมื่อน้ำไหลผ่านดินจากจุด A ไป B เป็นระยะทาง L จะเกิดการสูญเสียพลังงานในการไหล (Δh) โดยที่การสูญเสียพลังงานระหว่างจุดสองจุดใดๆ จะเป็นผลต่างของพลังงานรวมระหว่างจุดสองจุดนั้น ดังนั้น

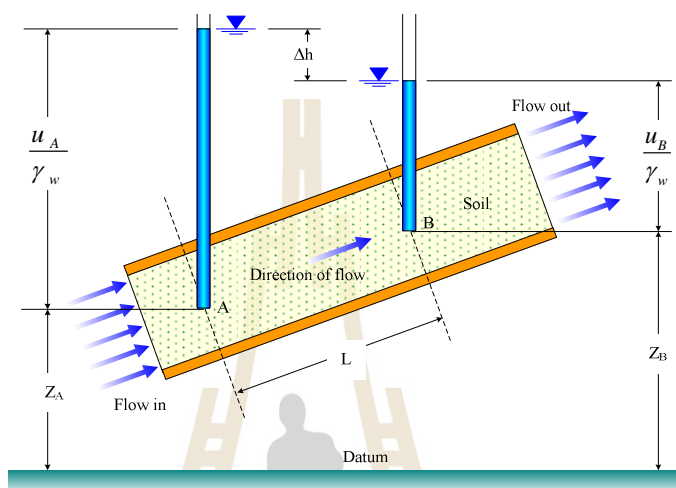
$$\Delta h = h_A - h_B = \left(z + \frac{u}{\gamma_w} \right)_A - \left(z + \frac{u}{\gamma_w} \right)_B \quad (2.4)$$

เมื่อ Δh คือ การสูญเสียพลังงานเมื่อน้ำไหลผ่านดินจากจุด A ไป B เป็นระยะทาง L นอกจากนี้ การสูญเสียของพลังงานในการไหลยังสามารถเขียนให้อยู่ในรูปตัวแปรไร้หน่วยได้ดังนี้

$$\Delta h = iL \quad (2.5)$$

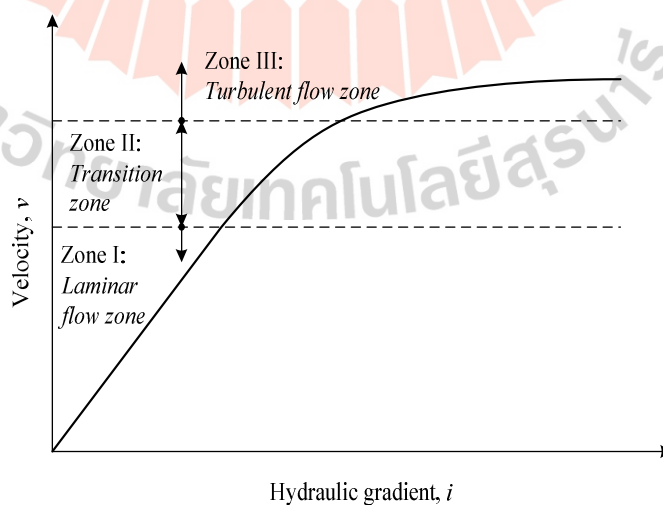
$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad (2.6)$$

เมื่อ i คือความลาดเชิงชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) ซึ่งเป็นตัวแปรไร้หน่วย



รูปที่ 2.1 แสดงเฮทรวม เฮทความดันและ เฮทระดับจากการไหลของน้ำผ่านดิน

โดยทั่วไปแล้วการเปลี่ยนแปลงระหว่างความเร็วของการไหลเทียบกับความลาดเชิงชลศาสตร์ สามารถแสดงดังในรูปที่ 2.2 ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 โซน ได้แก่ 1 โซนการไหลแบบเชิงเส้น 2 โซนการเปลี่ยนแปลง และ 3 โซนการไหลแบบปั่นป่วน



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงระหว่างความเร็วของการไหลเทียบกับความลาดเชิงชลศาสตร์

สำหรับการไหลของน้ำผ่านตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ถ้าช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีขนาด เล็กๆ แล้ว ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลจะแปรผัน โดยตรงกับความลาดเชิงชลศาสตร์ ดังนี้

$$v \propto i \quad (2.7)$$

2.3 กฎของดาร์ซี (Darcy's law)

การไหลซึมผ่านของน้ำผ่านดินที่มีขนาดเท่ากับหรือเล็กกว่าทรายสามารถอธิบายได้โดยกฎของดาร์ซี (Darcy's Law) Darcy (1856) กล่าวว่าอัตราการไหลซึม (Rate of seepage, q) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่หน้าตัดของดิน (A) และความลาดทางชลศาสตร์ (Hydraulics gradient, i)

Darcy (1856) ได้เสนอสมการความเร็วในการไหลของน้ำผ่านดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ดังนี้

$$v = ki \quad (2.8)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วในการไหล (Discharge velocity) ซึ่งเท่ากับปริมาณการไหลของน้ำ (Q) ผ่านพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด (A) ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง (t) และ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Coefficient of permeability) ของดิน ดังนั้น

$$\frac{Q}{t} = q = vA = kiA \quad (2.9)$$

เมื่อ q คือ อัตราการไหลของน้ำผ่านดิน

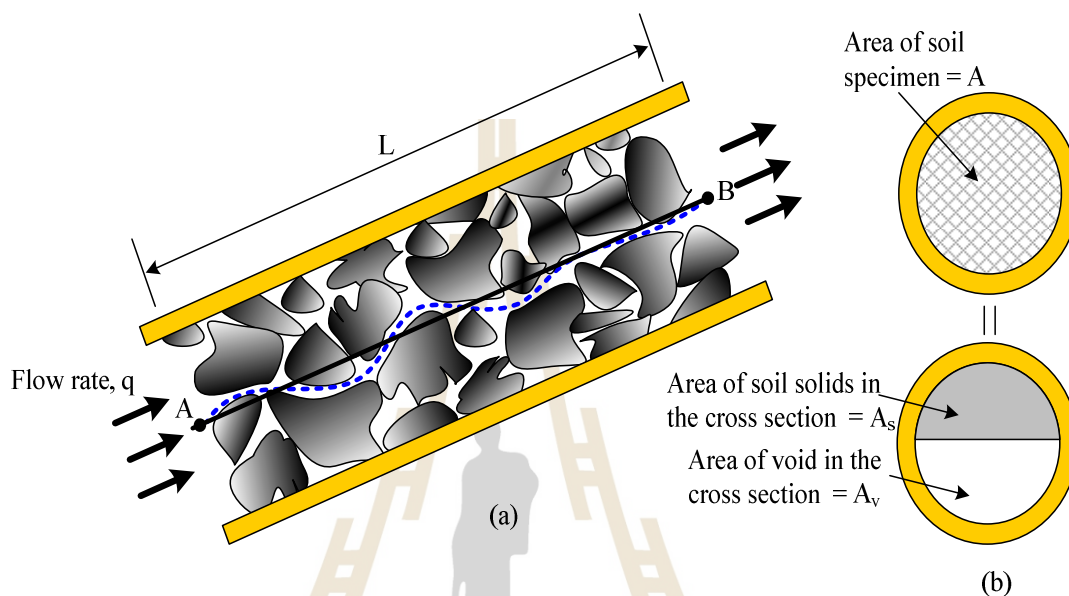
ความเร็วในการไหล (Discharge velocity) ในสมการ 2.9 เป็นความเร็วของการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของดิน แต่ในความเป็นจริงน้ำจะไหลผ่านตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ดังนั้นความเร็วในการไหลที่แท้จริง (Seepage velocity, v_s) จะมีค่ามากกว่า v ในอัตราการไหลเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดการไหลที่แท้จริงมีค่าน้อยกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ดังนี้

$$q = vA = v_s A_v \quad (2.10-ก)$$

$$v_s = v \frac{A}{A_v} = v \frac{AL}{A_v L} = v \frac{V}{A_v V_v} = \frac{v}{n} = v \left(\frac{1+e}{e} \right) \quad (2.10-ข)$$

เมื่อ e คือ อัตราส่วนโพรง และ n คือ ความพรุน

ในทางปฏิบัติ ค่าความเร็วของการไหล (Discharge velocity) นิยมนำมาใช้ในการศึกษา และวิเคราะห์งานทางด้านวิศวกรรมปฐพีมากกว่า เนื่องจากเป็นค่าที่สามารถหาได้ง่าย



รูปที่ 2.3 การหาความเร็วการไหลที่แท้จริง

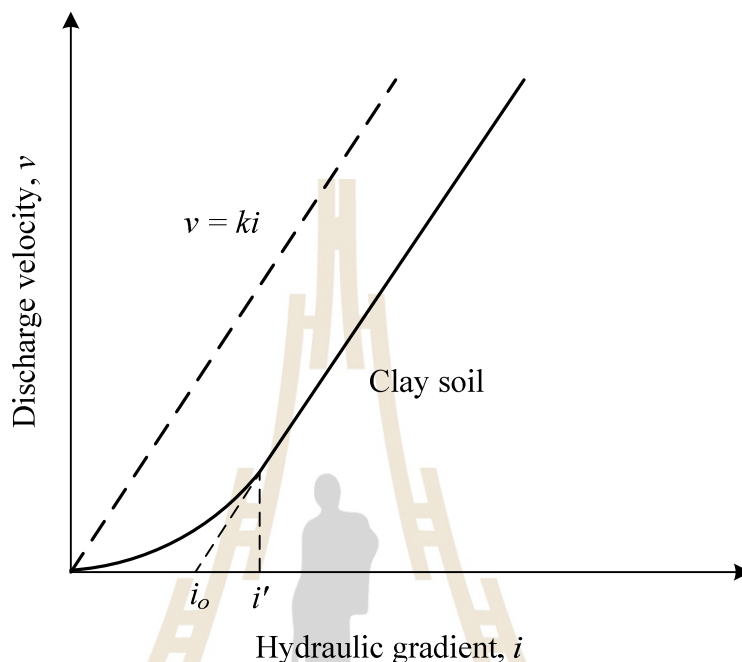
จากกฎของดาร์ซีตามสมการที่ 2.8 ความเร็วในการไหล (Discharge velocity) จะแปรผันเชิงเส้นตรงกับความลาดเชิงชลศาสตร์ และผ่านจุดกำเนิด (Origin) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 อย่างไรก็ตาม Hansbo (1960) ได้รายงานผลทดสอบดินเหนียวคงสภาพ Swedish clay 4 ชนิด พบว่า ในช่วงที่ความลาดเชิงชลศาสตร์มีค่าต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหลกับความลาดเชิงชลศาสตร์ไม่เป็นเส้นตรง (รูปที่ 2.4) โดยอาศัยผลทดสอบดินเหนียวดังกล่าว Hansbo (1960) ได้เสนอสมการความเร็วในการไหลของน้ำผ่านดิน ดังนี้

$$v = k(i - i_0) \quad (i \geq i_0) \quad (2.11-ก)$$

$$v = ki^m \quad (i < i_0) \quad (2.11-ข)$$

เมื่อ m คือ ค่าคงที่ และมีค่าเท่ากับ 1.5 สำหรับ Swedish clay ทั้ง 4 ชนิด

อย่างไรก็ตาม ได้มีการศึกษากับดินชนิดอื่นๆ อีกโดยละเอียด Mitchell (1976) พบว่า สมการตามกฎของดาร์ซีให้ผลถูกต้องมากที่สุด



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงความเร็วในการไหลเทียบกับความลาดเชิงศาสตร

2.4 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

สัมประสิทธิ์การซึมผ่านเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน ขนาดโพรงระหว่างเม็ดดิน และระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ Kozeny (1927) Carman (1956) และ Taylor (1948) ได้เสนอสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน โดยอาศัยกฎของ Poiseuille ดังนี้

$$k = D_s^2 \frac{\gamma}{\eta} \frac{e^3}{(1+e)} C \quad (2.12)$$

เมื่อ	D_s	คือ ขนาดของเม็ดขนาดโดยขนาดหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการไหลซึมของของเหลว
	γ	คือ หน่วยน้ำหนักของของเหลว
	η	คือ ความหนืดของของเหลว
	e	คือ อัตราส่วนโพรง
	C	คือ ค่าคงที่

สมการนี้แสดงให้เห็นว่า สัมประสิทธิ์การซึมผ่านแปรผันโดยตรงกับกำลังสองของขนาดเม็ดดินประสิทธิผล ซึ่งตรงกับความจริงที่ว่าขนาดของเม็ดดินยิ่งเล็กลง โพรงระหว่างเม็ดดินก็ต้องเล็กลงและทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านและขนาดของเม็ดดินนี้เหมาะกับทราย และดินตะกอน เพราะดินประเภทนี้มีขนาดที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ Hesari ใช้ค่า D_{10} สำหรับสร้างความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเม็ดดินและสัมประสิทธิ์การซึมผ่านดังนี้

$$k = 100 D_{10}^2 \quad (2.13)$$

เมื่อ k มีหน่วยเป็น เซนติเมตรต่อวินาที และ D_{10} คือ ขนาดของเม็ดดินที่มีส่วนเล็กกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักทั้งหมด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

Lambe and Witman (1979) และ Nagara and Muira (2001) กล่าวว่าดินเม็ดละเอียดมีอิทธิพลอย่างมากต่อสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ด้วยเหตุนี้เอง สมการที่ (2.13) ไม่สามารถใช้ในการประมาณสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดินเม็ดละเอียดได้ เนื่องจากอิทธิพลระยะสั้น (Short range force) และระยะไกล (Long range force) ด้วยเหตุนี้เอง ดินสองชนิดที่มีอัตราส่วนโพรงเท่ากัน อาจมีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่างกัน และในทำนองเดียวกัน ดินที่มีอัตราส่วนโพรงต่างกันอาจมีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเท่ากัน สัมประสิทธิ์การซึมผ่านเป็นค่าที่แปรผันตรงกับขนาดของเม็ดดินสำหรับดินเม็ดหยาบ และแปรผันตรงตามแฟรคบริคสำหรับดินเม็ดละเอียด ตามชนิดดิน

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสำหรับดินชนิดต่างๆ (Das, 1983)

ชนิดของดิน	สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (ซม.ต่อวินาที)
กรวดละเอียด, ทรายขนาดกลางถึงหยาบ	$1.0 - 10^2$
ทรายเม็ดละเอียด, ดินตะกอนหลวม	$10^{-3} - 1.0$
ดินตะกอนแน่น, ดินตะกอนปนดินเหนียว	$10^{-5} - 10^{-3}$
ดินเหนียวปนดินตะกอน, ดินเหนียว	$10^{-9} - 10^{-6}$

2.5 การหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในห้องปฏิบัติการ

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในห้องปฏิบัติการที่นิยมอยู่ 3 วิธีด้วยกัน แต่เพียงวิธีเดียวที่เชื่อได้ว่าค่าที่ได้มานี้จะต้องต่ำกว่าค่าจริงในสนาม ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีขนาดเล็กเกินไป และในสภาพจริงมักปรากฏชั้นทรายบางๆแทรกอยู่ในชั้นดินเหนียว จึงทำให้การซึมผ่านของน้ำเร็วขึ้น Bergado et al (1992) แนะนำว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในสนามของดินเหนียวกรุงเทพมหานครมีค่าประมาณ 4 เท่าของค่าที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการ

2.5.1 การทดสอบแบบคงที่ระดับน้ำ (Constant Head Test)

เครื่องมือการทดสอบที่แสดงอยู่ในรูปที่ 2.5 การสูญเสียพลังงาน (Head loss) ที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบนี้มีค่าคงที่ สัมประสิทธิ์การซึมผ่านสามารถคำนวณได้จากการบันทึกปริมาณน้ำที่ไหลออก (Outflow water) และเวลาที่ใช้

จากสมการของดาร์ซี ปริมาณน้ำ (Q) ในเวลา (t) ใดๆ สามารถหาได้จาก

$$Q = qt = kiAt \quad (2.14)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณน้ำที่ไหล
 t คือ ช่วงเวลาใดๆ
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างในขณะทดสอบ
 i คือ ความลาดเชิงชลศาสตร์ ซึ่งเท่ากับ $\frac{h}{L}$ เมื่อ L คือ ความยาวของตัวอย่าง
 ดังนั้น

$$Q = k \frac{h}{L} At \quad (2.15)$$

$$k = \frac{QL}{hAt} \quad (2.16)$$

$$q = kiA \quad (2.17ก)$$

$$q = k \frac{h}{L} A \quad (2.17ข)$$

$$q = -a \frac{dh}{dt} \quad (2.17ค)$$

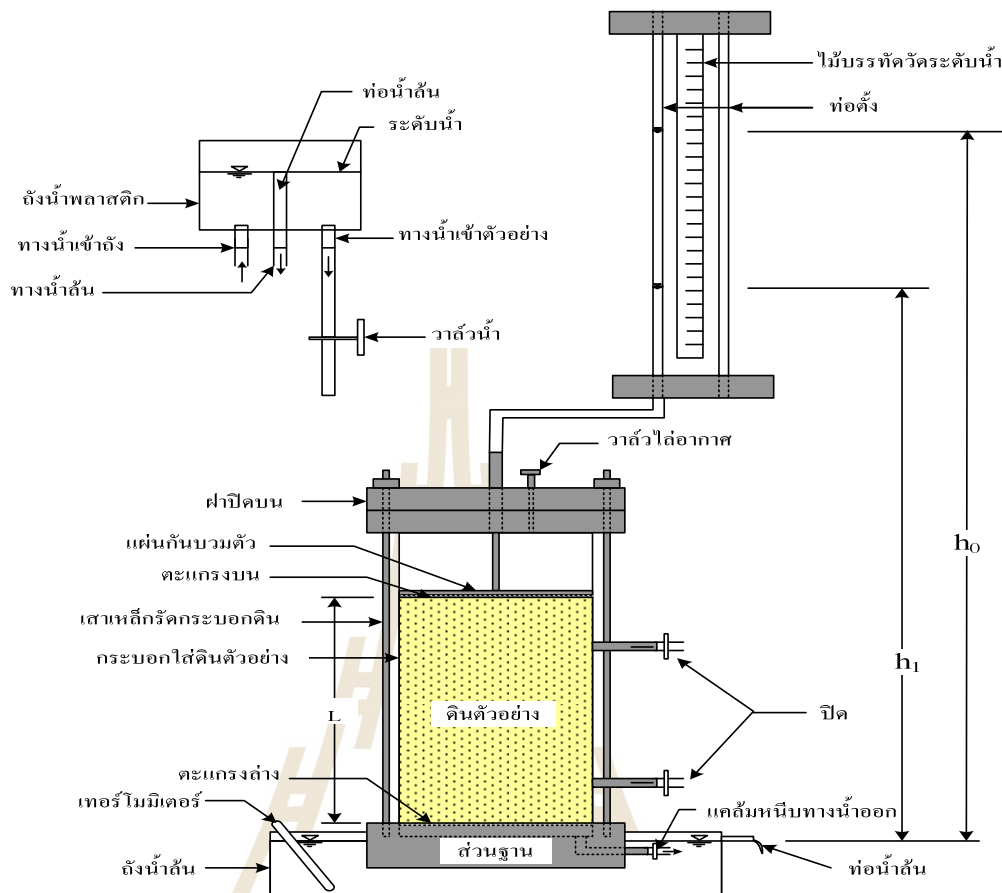
- เมื่อ h คือ พลังงานที่สูญเสียเนื่องจากการไหลของน้ำผ่านดิน
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของดินตัวอย่าง
 a คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ (Burette)
 L คือ ความยาวของดินตัวอย่าง

จากสามการที่ (2.17) จะได้ว่า

$$\int_0^t dt = \int_{h_1}^{h_2} \frac{aL}{Ak} \left(\frac{-dh}{h} \right) \quad (2.18)$$

$$k = \frac{aL}{A\Delta t} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (2.19)$$

$$k = 2.303 \frac{aL}{A\Delta t} \log \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (2.20)$$



รูปที่ 2.6 การทดสอบแบบเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ

2.5.3 การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

สำหรับดินเหนียวที่มีสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ต่ำมาก การทดสอบโดยสองวิธีแรกอาจจะให้ค่าที่ละเอียดไม่เพียงพอ ถ้าความลาดเชิงชลศาสตร์ที่ใช้ในการทดสอบไม่มากพอ ในกรณีเช่นนี้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสามารถคำนวณได้โดยข้อมูลที่ได้อาจจากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ

$$k = c_v \gamma_w m_v \tag{2.21}$$

- เมื่อ c_v คือ สัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำ (Coefficient of consolidation)
 m_v คือ ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวของปริมาตร (Volume coefficient of compressibility)

และเมื่อ $m_v = \Delta e / \Delta \sigma(1 + e)$ และ $T_v = c_v \times t / H_{dr}^2$ ดังนั้น สมการที่ (2.21) เขียนใหม่ได้เป็น

$$k = \frac{T_v \times \gamma_w \times \Delta e \times H_{dr}^2}{t \times \Delta \sigma(1 + e)} \quad (2.21)$$

2.6 อัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์

ค่าอัตราการไหลตามแนวนั้นสามารถพิจารณาได้จากการวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างทดสอบภายใต้ความเค้นหลักที่กดทับ และการคงที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ ซึ่งการเลือกใช้ค่าคงของความเค้นหลัก และความลาดเชิงชลศาสตร์ที่ในการทดสอบให้ตรงตามลักษณะนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่ง

2.6.1 การเลือกใช้ค่าความลาดชันในเชิงชลศาสตร์

2.6.1.1 วัสดุที่ใช้ทดสอบนั้นจะถูกกำหนดคุณลักษณะจำเพาะที่ต้องใช้ไว้ครบถ้วน ในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ให้ใช้ค่าตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้ 0.05, 0.1, 0.25, 0.5 และ 1

2.6.1.2 สำหรับการทดสอบที่ต้องการประสิทธิภาพที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง ในภายหลังจำเป็นต้องทราบคุณลักษณะจำเพาะที่แท้จริงของภาคสนาม กรณีที่ไม่ทราบให้ใช้ค่าตามเงื่อนไขต่อไปนี้

- ความลาดชันเชิงชลศาสตร์เท่ากับ 1 สำหรับการไหลเนื่องจากแรงโน้มถ่วง
- ความลาดชันเชิงชลศาสตร์เท่ากับ 0.1 สำหรับการไหลเนื่องจากแรงดัน

2.6.2 การเลือกการให้ค่าความเค้นหลัก

วัสดุที่ใช้ทดสอบนั้นจะถูกกำหนดคุณลักษณะจำเพาะที่ต้องใช้ไว้ครบถ้วน ในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ให้ใช้ค่าตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้ 10, 25, 50, 100, 250 และ 500 kPa

2.6.3 การการคำนวณ

คำนวณอัตราการไหลตามแนว ทำได้โดยการพิจารณาค่าเฉลี่ยอัตราการไหลผ่านตัวอย่างที่ได้จากการวัดปริมาณน้ำต่อเวลาของผลทดสอบแต่ละตัวอย่าง

$$q_w = \frac{Q_t}{W} \quad (2.22)$$

เมื่อ q_w คือ อัตราการไหลผ่านตัวอย่างทดสอบ (ลบ.ม / วินาที-เมตร)

Q_t คือ การวัดปริมาตรของน้ำเทียบกับเวลา โดยใช้ค่าเฉลี่ย (ลบ.ม / วินาที)

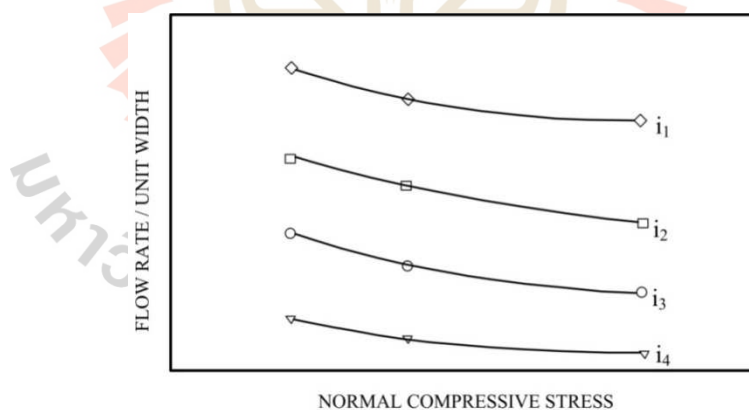
W คือ ความกว้างของตัวอย่างทดสอบ (เมตร)

ผลการทดสอบจะถูกแสดงในรูปแบบกราฟโดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความลาดชันเชิงซลศาสตร์ หรือ ค่าความเค้นที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในรูป 2.7 ถึง 2.8

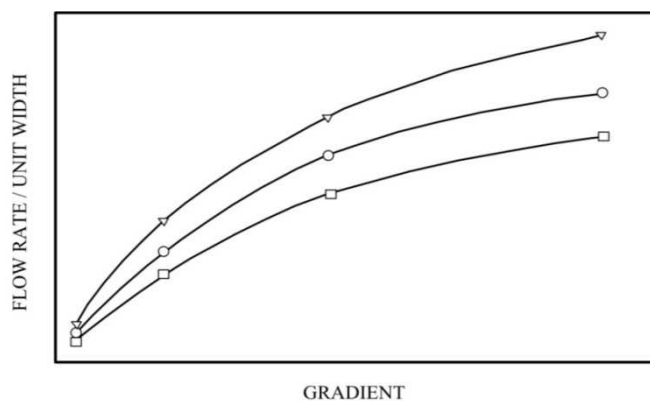
การคำนวณอัตราการไหลตามแนว

$$\theta = \frac{R_i Q_i L}{WH} \quad (2.23)$$

- เมื่อ θ คือ อัตราการไหลตามแนว (ตร.ม/วินาที)
 R_i คือ ค่าปรับแก้อุณหภูมิ (ตารางที่ 2.2)
 Q_i คือ ผลเฉลี่ยของการวัดปริมาตร เทียบกับเวลา (ลบ.ม /วินาที)
 L คือ ความยาวของตัวอย่างทดสอบที่ถูกกระทำภายใต้ความเค้น (เมตร)
 W คือ ความกว้างของตัวอย่างทดสอบ (เมตร)
 H คือ ค่าผลต่างของความดัน (เมตร)



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงอัตราการไหลและความเค้นหลักของผลการทดสอบปกติ



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงอัตราการไหลและความลาดเชิงกลศาสตร์ของผลการทดสอบปกติ

ตารางที่ 2.2 ค่าปรับแก้อุณหภูมิ

Temperature (°c)	R_T
19	1.025
20	1.000
21	0.976
22	0.953
23	0.931

เมื่อ $R_t = (-0.0234T) + 1.4687$

2.7 กรณีศึกษา

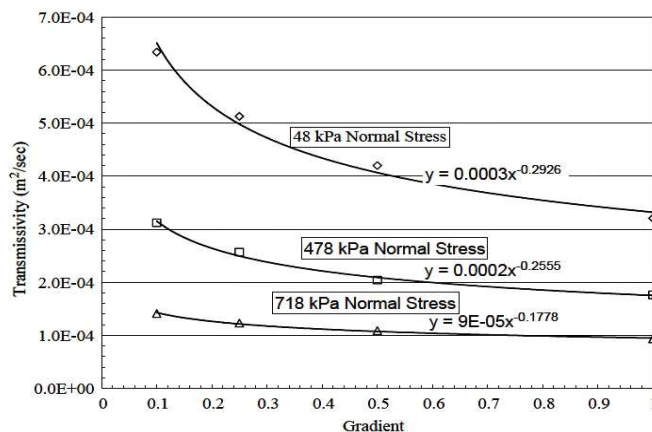
2.7.1 การพิจารณาอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ชนิดระบายน้ำที่ความลาดเชิงกลศาสตร์ต่ำ

Dhani B. Narejo (2005) ได้ศึกษาว่าการทดสอบค่าอัตราการไหลของแผ่นวัสดุสังเคราะห์เมื่อความลาดเชิงกลศาสตร์ต่ำ (น้อยกว่า 0.1) นั้นจะสามารถวัดค่าให้มีผลที่แม่นยำในการทดสอบนั้นค่อนข้างยาก และจากลักษณะทั่วไปของกราฟการทดสอบที่ความลาดเชิงกลศาสตร์ปกตินั้นพบว่ากราฟโดยทั่วไปนั้นมีลักษณะเป็นแบบไร้เชิงเส้น ซึ่งจากการศึกษาบนพื้นฐานของการวัดค่าจากการทดสอบปกตินั้นจะสามารถนำมาพิจารณาและเกิดเป็นสมการการคำนวณค่าอัตราการไหลตามแนวที่ความลาดเชิงกลศาสตร์ที่ต่ำได้โดยอาศัยความสัมพันธ์แบบไร้เชิงเส้นของกราฟ

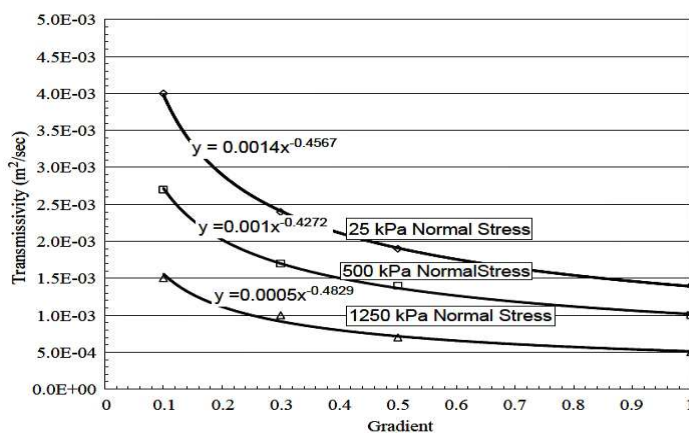
ผลการทดสอบปกติโดยรูปที่ 2.8 และ 2.9 แสดงค่าการทดสอบของแผ่น จีโอคอมโพสิต ชนิด Biplanar และ Triplanar ที่ความลาดเชิงชลศาสตร์เท่ากับ 0.1, 0.25, 0.5 และ 1 ซึ่งจากความสัมพันธ์ของกราฟจะได้สมการว่า

$$y = ax^b \tag{2.24}$$

เมื่อ y คือ ค่าอัตราการไหลตามแนว
 x คือ ความลาดเชิงชลศาสตร์
 a และ b คือ ค่าคงที่จากความสัมพันธ์ของกราฟ



รูปที่ 2.9 กราฟการทดสอบและความสัมพันธ์ของแผ่นจีโอคอมโพสิต ชนิด Biplanar



รูปที่ 2.10 กราฟการทดสอบและความสัมพันธ์ของแผ่นจีโอคอมโพสิต ชนิด Triplanar

และตารางที่ 2.3 แสดงผลของการทดสอบที่วัดได้จริงโดยใช้ Pressure Transducer เป็นเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากผลการคำนวณจากสมการ โดยพบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นค่อนข้างที่จะใกล้เคียง

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบปกติและผลจากการคำนวณ

Test No.	Calculate transmissivity at 0.02 gradient from the relationships (m^2/s)	Measure transmissivity with gradient measure using pressure transducer (m^2/s)	Percent of different (%)
A	8.5×10^{-3}	8.1×10^{-3}	5.0
B	6.6×10^{-3}	6.0×10^{-3}	9.5
C	5.0×10^{-4}	5.2×10^{-4}	4.0

2.7.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการไหลของแผ่นวัสดุสังเคราะห์เสริมกำลังดินภายใต้ความเค้นหลักที่กดทับ

Han Yong Jeon et al (2003) ได้ศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลและความหนาที่ลดลงของแผ่นวัสดุสังเคราะห์เสริมกำลังดิน เมื่อความเค้นหลักเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าเมื่อความหนาของแผ่นวัสดุต่างกัน ค่าอัตราการไหลตามแนวที่วัดได้จะมีค่าไม่เท่ากัน โดยแผ่นตัวอย่างวัสดุที่ใช้คือ Smart Geotextile และ Geonet Composites ในขั้นตอนการทดสอบนั้นจะใช้ค่าความหนาของตัวอย่างแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ดังที่ระบุในตารางที่ 2.4

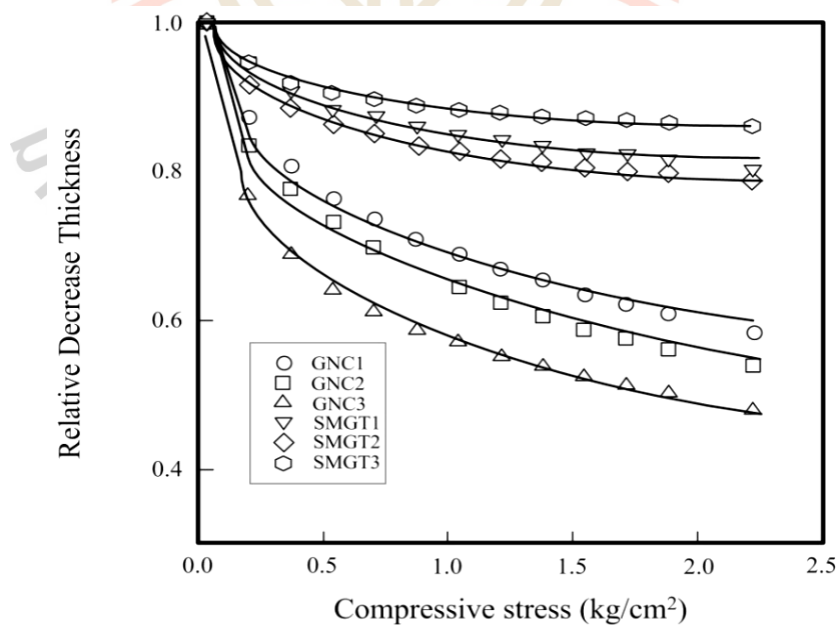
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของ Smart Geotextile และ Geonet Composites

Geosynthetic for drainage	Thickness (mm)	Compression	Drainage layer
Smartgeotextile		Non-woven/drainage Layer/non-woven	20-1000 Denier waste PP or PET fiber used
SMGT1	1.2		
SMGT2	1.4		Accumulation
SMGT3	1.7		by the web
Geonet composites		Non-woven/drainage core/non-woven	Two layer HDPE core
GNC	1.2		
GNC2	1.5		
GNC3	1.7		

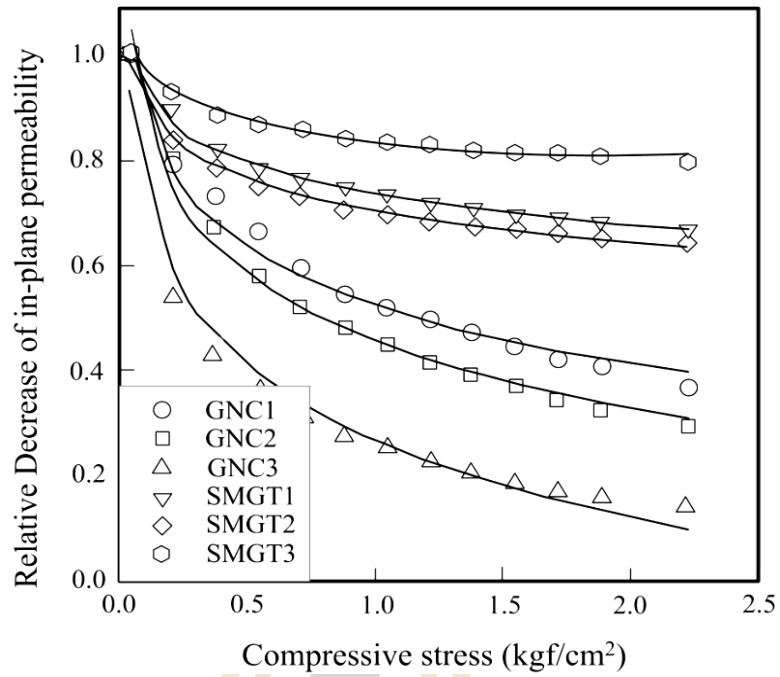
โดยที่ SMGT คือ Smart Geotextile

GNC คือ Geonet Composites

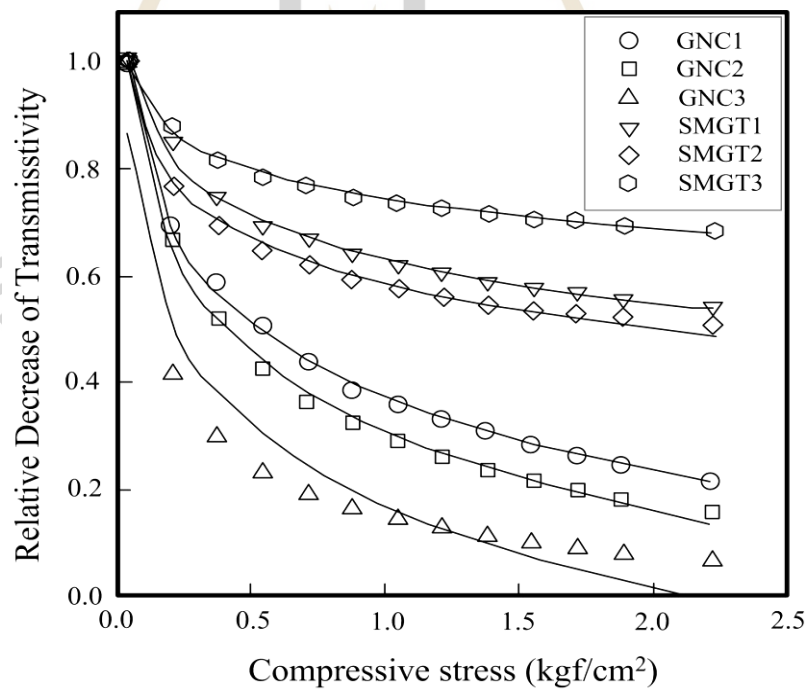
ซึ่งจากการทดสอบพบว่า ความหนาของแผ่นวัสดุจะลดลงตามความเค้นหลักที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับความหนาเริ่มต้นของตัวอย่างทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2.10-



รูปที่ 2.11 ความหนาที่เปลี่ยนแปลงต่อความเค้นที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างการทดสอบ



รูปที่ 2.12 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ลดลงต่อความเค้นที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.13 ค่าอัตราการไหลตามแนวที่ลดลงต่อความเค้นที่เพิ่มขึ้น

และยังพบว่าเมื่อความหนาถูกลดลงตามความเค้นที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน และค่าอัตราการไหลตามแนวของตัวอย่างทดสอบลดลงด้วยเช่นกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 2.11 และ 2.12 โดยที่ Smart Geotextile มีค่าที่ต่ำกว่า Geonet Composites

2.7.3 การศึกษาลักษณะของค่าอัตราการซึมผ่านของแผ่นวัสดุเสริมแรงดินในห้องปฏิบัติการ

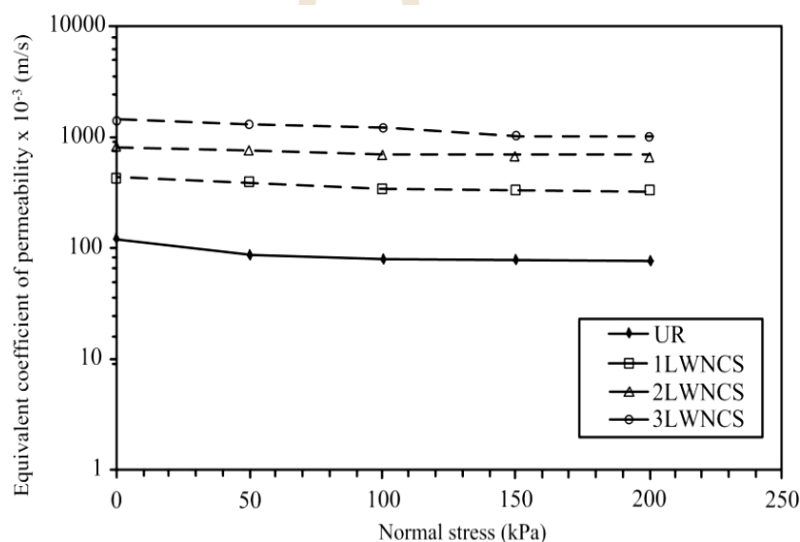
D.V. Raisinghani and B.V.S. Viswanadham (2010) ได้ศึกษาอัตราการซึมผ่านของแผ่นวัสดุเสริมแรงดิน โดยการทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงชนิดของดิน จำนวนชั้นแผ่นวัสดุ ผลกระทบเนื่องจากชั้นทรายรองพื้น รวมถึงอิทธิพลความหนาของทรายรอง โดยทดสอบจากค่าความเค้นหลักเริ่มต้นที่ 50 kPa จนถึง 200 kPa จนพบว่าเมื่อความเค้นหลักเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าอัตราการซึมผ่านลดลง โดยเงื่อนไขการทดสอบแสดงอยู่ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เงื่อนไขการทดสอบค่าอัตราการซึมผ่านของแผ่นวัสดุเสริมแรงดินในห้องปฏิบัติการ

Sr.No	Test Legend	Configuration Detail	Thickness of Sand Crush (mm)	Soil Type	Geo Synthetic Type	Number of layer
1	T1	UR	0	A	-	0
2	T8	1L NW	0	A	NW	1
3	T9	2L NW	0	A	NW	2
4	T10	3L NW	0	A	NW	3
5	T11	1L NWSC	5	A	NW	1
6	T12	2L NWSC	5	A	NW	2
7	T13	3L NWSC	5	A	NW	3
8	T14	UR	0	B	-	0
9	T20	1L NW	0	B	NW	1
10	T24	SC	5	B	-	-
11	T21	1L NWSC	5	B	NW	1
12	T22	2L NWSC	10	B	NW	1
13	T23	3L NWSC	20	B	NW	1
14	T18	3L NW	0	B	NW	3
15	T19	3L NWSC	5	B	NW	3

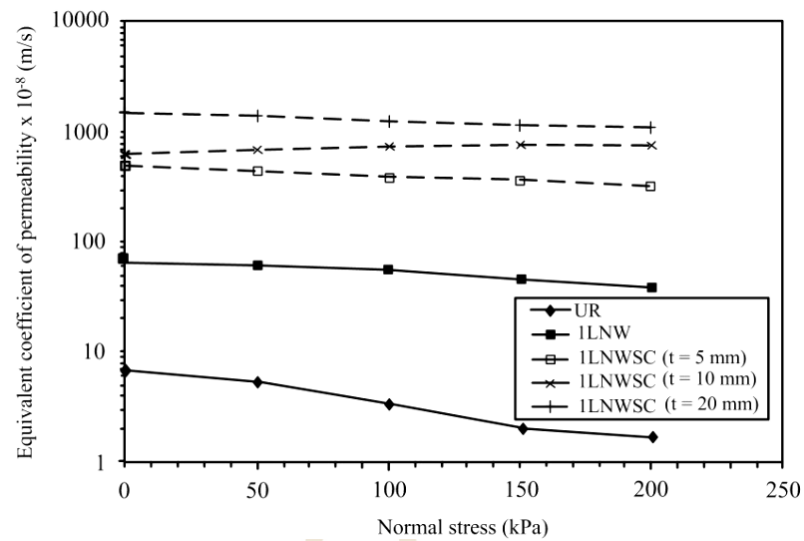
- โดยที่ - คือ ไม่เสริมแผ่นวัสดุ
 NW คือ เสริม Non woven Geotextile
 L คือ จำนวนชั้นที่ใช้
 SC คือ เสริมชั้นทรายรอง

จากรูปที่ 2.15 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบจำนวนชั้นที่เสริมแผ่นวัสดุสังเคราะห์สังเกตว่าเมื่อจำนวนชั้นการเสริมเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การซึมผ่านของน้ำเป็นไปได้ง่าย เช่น เมื่อเปรียบเทียบผลทดสอบ โดยที่การเสริมสามชั้นจะสามารถซึมผ่านได้ง่ายที่สุด และจากรูปที่ 2.16 พบว่าอิทธิพลของความหนาชั้นทรายรองที่ไม่ทึบน้ำมีผลต่อการซึมผ่านอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงสามารถบอกได้ว่าจำนวนชั้นของการเสริมแผ่นวัสดุ และความหนาทรายมีผลต่อการซึมผ่านของน้ำ



รูปที่ 2.14 การเปรียบเทียบผลเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นแผ่นวัสดุ

รูปที่ 2.13 ได้อธิบายถึงพฤติกรรมของอัตราการไหลที่ลดลงเรื่อยๆเมื่อความเค้นหลักเพิ่มขึ้น สังเกตว่า UR (ไม่มีการเสริมแผ่นวัสดุและไม่เสริมชั้นทราย) มีค่าการไหลที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การเสริมเพิ่มวัสดุที่จำนวนชั้นต่างๆ และในทำนองเดียวกันในการทดสอบที่สภาวะเดียวกันแต่มีการเสริมแผ่นวัสดุที่จำนวน 3 ชั้นเกิดการระบายน้ำดีที่สุดเมื่อเทียบโดยอัตราการไหล



รูปที่ 2.14 การเปรียบเทียบผลเมื่อเพิ่มของความหนาชั้นทรายรอง

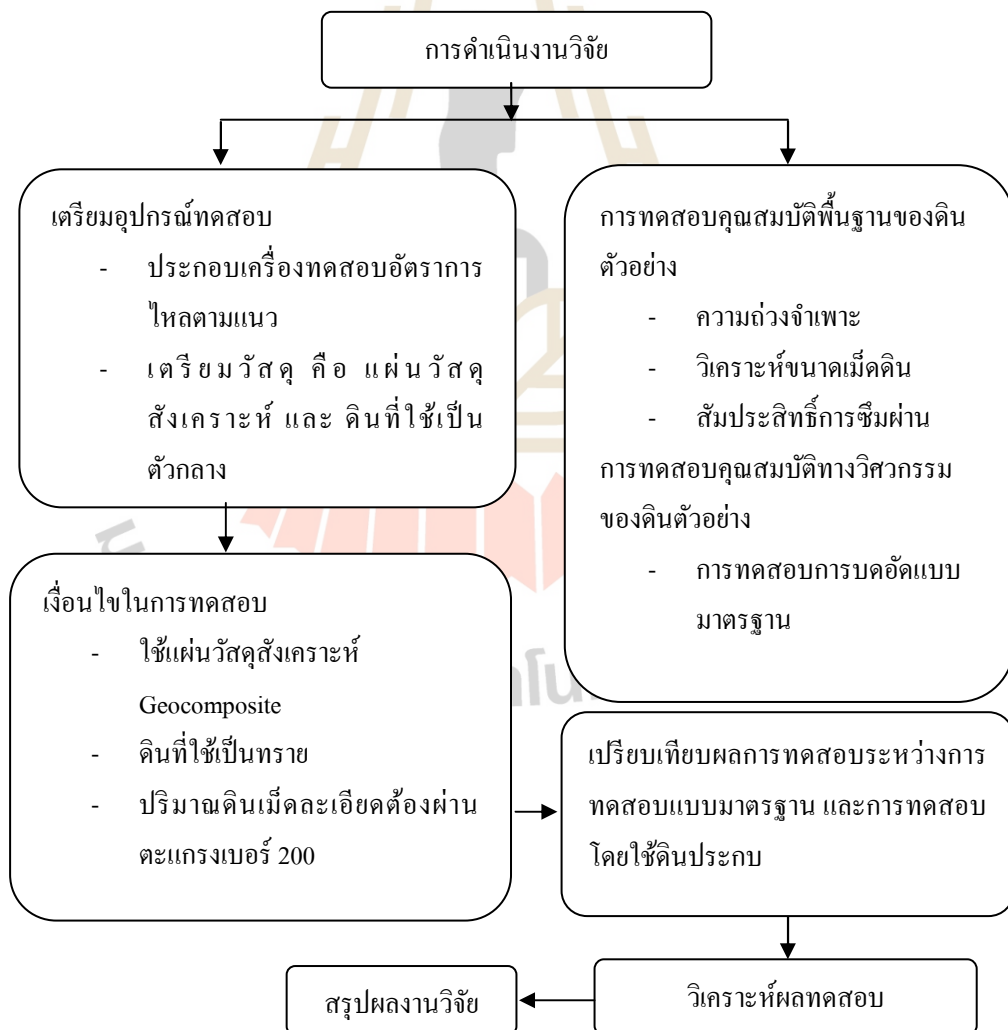
รูปที่ 2.14 ได้แสดงให้เห็นถึงอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเสริมแผ่นวัสดุโดยคงจำนวนชั้นการเสริมที่ 1 ชั้นแต่จะสังเกตว่าได้เพิ่มความหนาของชั้นทรายรองที่ประกบแผ่นวัสดุตัวอย่างอยู่ ซึ่งจากกรณีนี้เอง จึงสามารถสรุปผลได้ว่าความหนาของชั้นทรายที่รองนั้นก็ส่งผลต่ออัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่า ทรายที่ความหนาเท่ากับ 20 เซนติเมตรจะมีการระบายน้ำได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการทดสอบที่ไม่มีการเสริมวัสดุสังเคราะห์และไม่มีการเสริมชั้นทราย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

บทนี้กล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการดำเนินการทดสอบ การติดตั้งและการทำงานของเครื่องทดสอบ โดยจะเริ่มการเตรียมตัวอย่าง การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน จากนั้นจึงจะเริ่มทำการทดสอบแบบมาตรฐาน แล้วจึงจำลองการใช้ดินประกอบในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลตามแนว ซึ่งขั้นตอนการดำเนินการแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนงานดำเนินงานวิจัย

3.2 การทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐาน

ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

3.2.1 ความถ่วงจำเพาะของดิน (Specific gravity) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 854

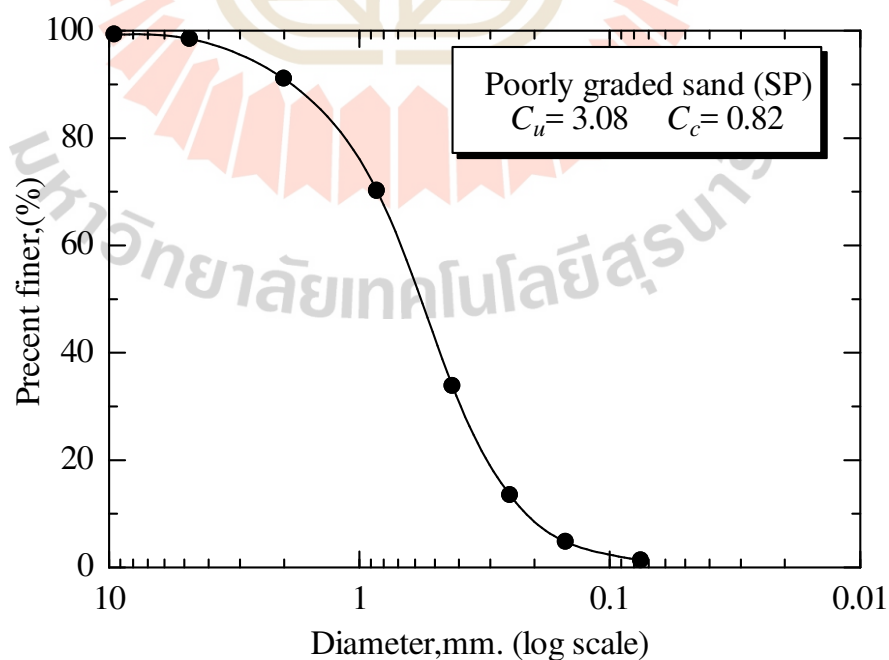
3.2.2 การวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินโดยใช้เกรง (Sieve analysis) ทดสอบโดยการร่อนผ่านตะแกรงตามมาตรฐาน ASTM D 422

3.2.3 ทดสอบสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM D 2434

3.3 คุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างทดสอบ

3.3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของทราย

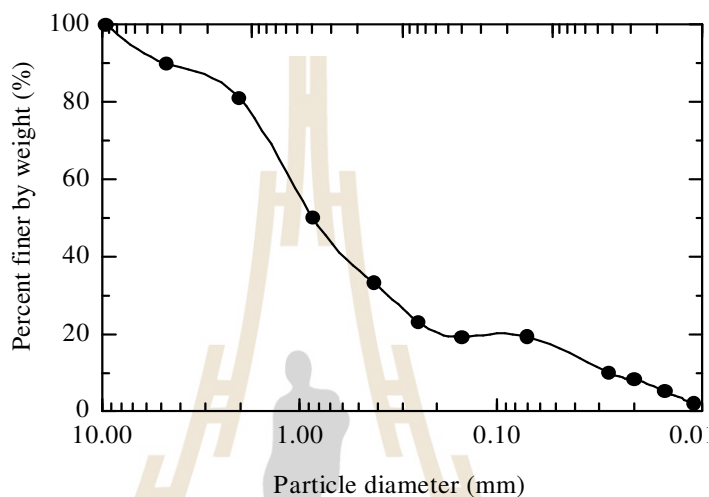
รูปที่ 3.2 แสดงการจำแนกขนาดคละของดินตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วยกรวดร้อยละ 0.3 ทรายร้อยละ 97 ดินตะกอนและดินเหนียวขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร ร้อยละ 2.7 ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 15 การกระจายของเม็ดดินเป็นดังนี้ ขนาดเฉลี่ย (D_{50}) เท่ากับ 0.53 มิลลิเมตร สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (C_u) เท่ากับ 3.08 และสัมประสิทธิ์ความโค้ง (C_c) เท่ากับ 0.82 จากการจำแนกตามระบบเอกภาพ (USCS) ดินตัวอย่างที่ทดสอบนี้จัดเป็นดินทรายที่มีขนาดคละไม่ดี (SP) มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.72 และมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเท่ากับ 2.3×10^{-2} เซนติเมตรต่อวินาที



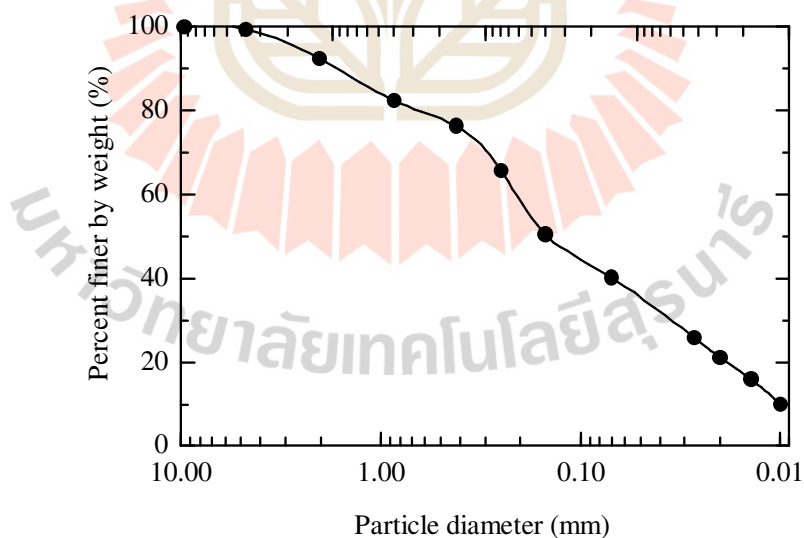
รูปที่ 3.2 การกระจายตัวของเม็ดดิน

3.3.2 คุณสมบัติพื้นฐานของดินเม็ดละเอียด

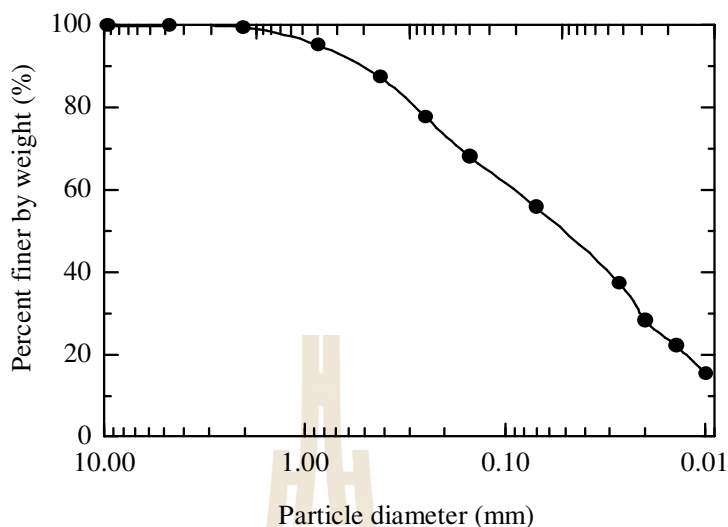
ดินเม็ดละเอียดที่ใช้เป็นดินเหนียว มีขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตรมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.70 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเท่ากับ 4.6×10^{-8} เซนติเมตรต่อวินาที เมื่อใช้เพิ่มปริมาณในทรายในอัตราส่วนร้อยละ 20, 60 และ 80 จะมีขนาดคละดังแสดงในรูปที่ 3.3 ถึง 3.5



รูปที่ 3.3 ขนาดคละของทรายเมื่อเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 20



รูปที่ 3.4 ขนาดคละของทรายเมื่อเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 60



รูปที่ 3.5 ขนาดคละของทรายเมื่อเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 80

3.3.3 คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุอิโคมโพลิต

วัสดุอิโคมโพลิต ประกอบด้วยวัสดุแกนกลางเป็นจีโอเน็ต และวัสดุชั้นกรอง ทั้งสองด้านที่ประกบเป็นจีโอเทคไทลซ์ชนิดไม่ถักทอ มีความหนาเท่ากับ 9.0 มิลลิเมตร กำลังแรงดึงด้านยาวเท่ากับ 21 กิโลนิวตันต่อเมตร กำลังแรงดึงด้านขวางเท่ากับ 17 กิโลนิวตันต่อเมตร ค่าอัตราการไหลตามแนวเท่ากับ 4.5×10^{-4} ตารางเมตรต่อวินาที ที่ความลาดเชิงชลศาสตร์เท่ากับ 1.0 และความเค้นเท่ากับ 50 กิโลปาสกาล ขนาดช่องเปิดประสิทธิผลเท่ากับ 0.9 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.07 ถึง 0.31

3.4 การบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ

ดินตัวอย่างจะถูกกลุ่มเก็บตัวอย่างและนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาดรูเปิด 19 มิลลิเมตร เพื่อคัดแยกส่วนผสมที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความไม่เหมาะสมทางด้านขนาดของวัสดุทดสอบกับแบบหล่อ (Mold) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 101.23 มิลลิเมตร และสูง 115.90 มิลลิเมตร การบดอัดดิน จะแปรผันปริมาณน้ำ 5 ถึง 7 จุด โดยการเติมน้ำใส่ลงไปดินตัวอย่าง จากนั้นทำการบดอัดด้วยพลังงานแบบมาตรฐาน (Standard Proctor) ตามมาตรฐาน ASTM D 698-70 เพื่อสร้างกราฟการบดอัดและหาค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด ($\gamma_{d,max}$) กับปริมาณความชื้นเหมาะสม (OWC) สำหรับนำไปควบคุมคุณภาพการบดอัดในแบบจำลอง จากผลทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานพบว่าปริมาณความชื้นเหมาะสมเท่ากับร้อยละ 6.3 หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดเท่ากับ 17 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร

3.5 รายละเอียดเครื่องทดสอบ

องค์ประกอบของ เครื่องทดสอบค่าการไหลตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ ประกอบด้วย

3.5.1 ฐานรองรับวัสดุ ภายในด้านข้างและด้านล่างเป็นแผ่นเหล็กเรียบ ซึ่งขนาดของฐานจะต้องเพียงพอสำหรับขนาดของวัสดุทดสอบที่กำหนดในมาตรฐาน ระหว่างผิวสัมผัสจะต้องไม่เกิดการรั่วซึมของน้ำเมื่อน้ำไหลผ่านตัวอย่างขณะทำการทดสอบ

3.5.2 อ่างเก็บน้ำ เป็นพลาสติกที่มีขนาดเต็มความกว้างของฐานรองรับวัสดุเพื่อให้ น้ำที่ผ่านตัวอย่างทดสอบไหลได้เต็มความกว้างของแผ่นวัสดุ ความสูงอย่างน้อยเท่ากับความยาวรวมของตัวอย่างทดสอบและต้องสามารถคงที่ระดับน้ำที่ระดับต่างๆได้

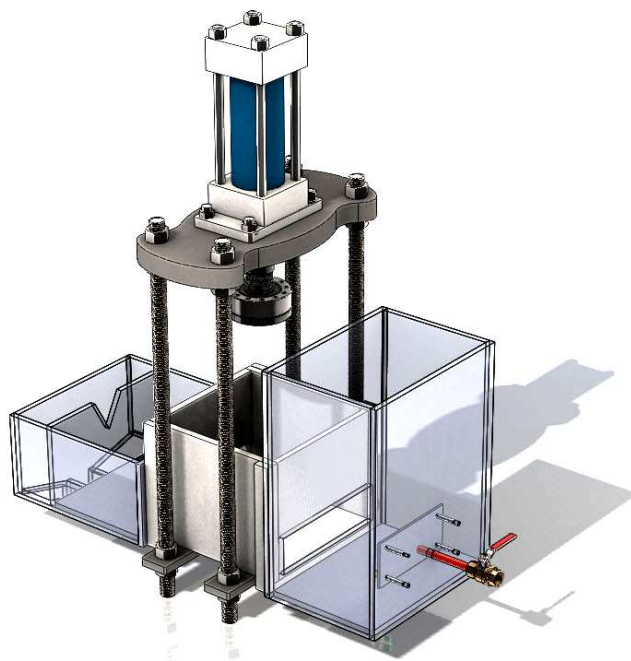
3.5.3 กลไกการให้แรง เป็นแม่แรงไฮดรอลิกที่สามารถให้ความเค้นที่เกิดขึ้นต่อแผ่นวัสดุสังเคราะห์ ซึ่งอุปกรณ์ให้แรงต้องให้ความเค้นคงที่ได้ในช่วง 10-500 kPa ในพื้นที่รับแรง 305×305 มิลลิเมตร โดยความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับคือ 1%

3.5.4 ชุดฐานติดตั้งแม่แรงไฮดรอลิก เป็นแผ่นเหล็กที่สามารถรองรับน้ำหนักของแม่แรงได้ ติดตั้งบนเสารองรับที่มีความสูงเพียงพอสำหรับชุดแม่แรง และสามารถปรับระดับความสูงต่ำของแผ่นเหล็กที่ติดตั้งแม่แรงได้ โดยระดับของแผ่นเหล็กนั้นต้องอยู่ในระดับที่เสมอกันทั้งด้านยาวและด้านกว้าง

3.5.5 อุปกรณ์ควบคุมการให้แรง ต้องสามารถควบคุมค่าการให้แรงได้อย่างสม่ำเสมอ และต้องคงที่แรงได้เมื่อถึงค่าที่กำหนดไว้ โดยการแสดงผลของหน้าจอเป็นแบบดิจิทัลเพื่อทำการตั้งค่าและอ่านค่าได้อย่างแม่นยำ

3.5.6 อ่างการไหลออก เป็นพลาสติกที่มีขนาดเต็มความกว้างของฐานรองรับวัสดุในด้านการไหลออกของน้ำที่ผ่านตัวอย่าง โดยความสูงของอ่างนั้นจะต้องสูงกว่าผิวของตัวอย่างทดสอบที่วางติดตั้งในฐานรองรับ

3.5.7 ชุดโครงรองรับเครื่องทดสอบ เป็นโครงเหล็กที่สามารถติดตั้งเครื่องทดสอบได้โดยมั่นคง และไม่เกิดอาการสั่นสะเทือน หรือเสียรูปขณะติดตั้งและขณะทำการทดสอบ



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบอัตราการไหลตามแนว

3.6 ทดสอบอัตราการไหลตามแนว

การทดสอบในงานวิจัยนี้จะยึดถือตามมาตรฐาน ASTM D 4716 และดินที่ใช้ประกอบแผ่นวัสดุนั้นจะต้องบดอัดที่ค่าความชื้นที่เหมาะสมโดยที่เงื่อนไขการทดสอบแสดงในตารางที่ 1

3.6.1 ผสมดินตัวอย่างในอัตราส่วนที่กำหนดในเงื่อนไขการทดสอบซึ่งระบุไว้ในตารางที่ 1

3.6.2 บดอัดดินตัวอย่างชั้นล่างของวัสดุ ในฐานของเครื่องทดสอบ

3.6.3 วางแผ่นวัสดุทดสอบที่บริเวณชั้นล่างของฐานรองรับตัวอย่าง โดยที่ส่วนที่เป็นบริเวณที่ถูกติดตั้งตัวอย่าง

3.6.4 ในกรณีที่ใช้ดินประกอบสองด้านบนและล่าง หลังจากติดตั้งตัวอย่างทดสอบแล้วเสร็จให้บดอัดดินชั้นบนก่อนที่จะทำการทดสอบ

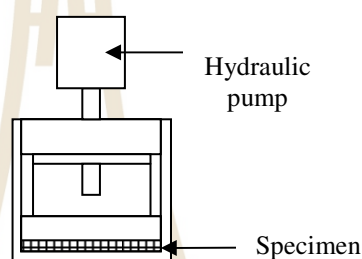
3.6.5 ติดตั้งอุปกรณ์ให้แรง และปล่อยน้ำใส่ในอ่างเก็บน้ำ

3.6.6 ให้แรงต่อตัวอย่างทดสอบด้วยความเค้นกดทับเล็กน้อยผ่านแผ่นเหล็กที่ใช้กดทับแผ่นตัวอย่างด้วยค่า 5-10 กิโลปาสคาล และเพิ่มระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำช้าๆเพื่อปล่อยให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างจนอยู่ในสภาวะที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งตัวอย่างจะต้องอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ตลอดเวลา

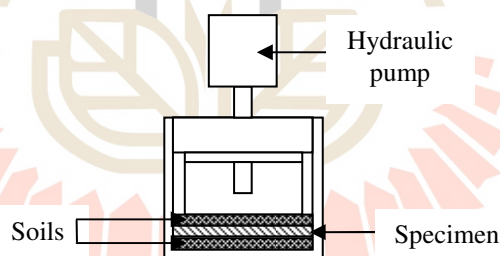
3.6.7 หลังจากกดแผ่นวัสดุตัวอย่างด้วยความเค้นข้างต้นเป็นเวลา 15 นาทีแล้ว ทำการเพิ่มแรงผ่านเครื่องควบคุมเพื่อให้ได้ค่าความเค้นตามต้องการ และเพิ่มระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้ตรงกับความลาดชันเชิงกลศาสตร์ที่เลือกใช้ในการทดสอบ

3.6.8 ปล่อยให้ น้ำไหลผ่านตัวอย่างทดสอบเป็นปริมาตรอย่างน้อย 0.0005 ลูกบาศก์เมตร บันทึกเวลาการไหลที่น้ำไหลผ่านตัวอย่าง 0.0005 ลูกบาศก์เมตร ทำซ้ำอีกอย่างน้อย 3 ครั้ง

3.6.9 หลังจากทดสอบจนครบทุกค่าความลาดเชิงกลศาสตร์ที่เลือกใช้แล้ว จึงจะเพิ่มความเค้นจนถึงค่าความเค้นสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.7 การทดสอบปกติตามมาตรฐาน



รูปที่ 3.8 การทดสอบเมื่อใช้ดินประกบตัวอย่างทดสอบ

3.7 เงื่อนไขการทดสอบ

การทดสอบในห้องปฏิบัติการกระทำภายใต้เงื่อนไข 8 เงื่อนไข ดังแสดงในตารางที่ 3.1 เพื่อศึกษาค่าอัตราการไหลตามแนวของ จีโอคอมโพสิต เมื่อทดสอบโดยใช้ดินประกบ โดยการคงที่ค่าความเค้นหลักที่ค่าหนึ่ง จากนั้นจึงเพิ่มค่าความลาดเชิงกลศาสตร์ทีละชั้น ซึ่งการทดสอบในกรณี ที่ 1 นั้นจะเป็นการทดสอบตามมาตรฐาน และจากกรณีที่ 2 เป็นต้นไปจะใช้ดินประกบผ่านตัวอย่างทดสอบโดยความหนาของชั้นดินที่ใช้จะคงที่ตลอดการทดสอบ

และจะแบ่งเป็นทดสอบโดยใช้ดินชั้นล่างเพียงชั้นเดียว และใช้ดินประกบสองชั้นบนและล่าง ซึ่ง
จะเริ่มจากการใช้ทรายอย่างเดียว และค่อยๆเพิ่มปริมาณของส่วนละเอียดขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดสอบ

Sample	Soil Surrounded Bottom Side (mm)	Soil Surrounded top Side (mm)	Percent by volume of Sand (%)	Percent by volume of Clays (%)
Std	0	0	0	0
Sand 100% (B)	50	0	100	0
Sand 100% (TB)	50	50	100	0
Clays 20% Sand 80% (B)	50	0	80	20
Clays 20% Sand 80% (TB)	50	50	80	20
Clays 60% Sand 40% (B)	50	0	40	60
Clays 60% Sand 40% (TB)	50	50	40	60
Clays 80% Sand 20% (B)	50	0	20	80
Clays 80% Sand 20% (B)	50	50	20	80

เมื่อ

- Std คือ การทดสอบตามมาตรฐาน
- Sand 100% (B) คือ การทดสอบโดยใช้ทรายประกบด้านเดียว
- Sand 100% (TB) คือ การทดสอบโดยใช้ทรายประกบสองด้าน
- Sand 80% Clays 20% (B) คือ การทดสอบโดยใช้ทรายร้อยละ 80 ต่อการใช้ดินเหนียวร้อยละ 20
ประกบด้านเดียว

- Sand 80% Clays 20% (TB) คือ การทดสอบโดยใช้ทรายร้อยละ 80 ต่อการใช้ดินเหนียวร้อยละ 20
ประกบสองด้าน
- Sand 40% Clays 60% (B) คือ การทดสอบโดยใช้ทรายร้อยละ 40 ต่อการใช้ดินเหนียวร้อยละ 60
ประกบด้านเดียว
- Sand 40% Clays 60% (TB) คือ การทดสอบโดยใช้ทรายร้อยละ 40 ต่อการใช้ดินเหนียวร้อยละ 60
ประกบสองด้าน
- Sand 20% Clays 80% (B) คือ การทดสอบโดยใช้ทรายร้อยละ 20 ต่อการใช้ดินเหนียวร้อยละ 80
ประกบด้านเดียว
- Sand 20% Clays 80% (TB) คือ การทดสอบโดยใช้ทรายร้อยละ 20 ต่อการใช้ดินเหนียวร้อยละ 80
ประกบสองด้าน



บทที่ 4

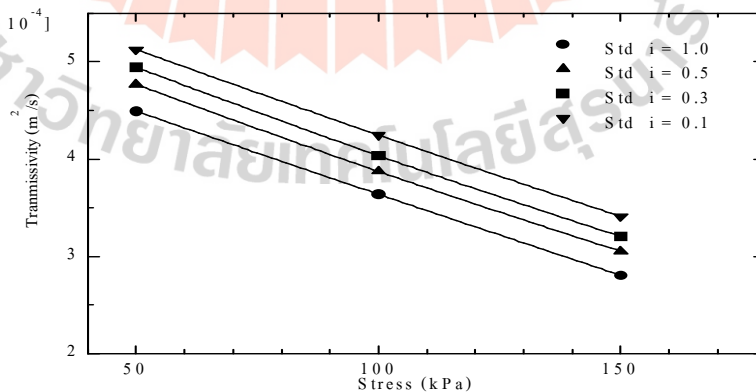
ผลการทดสอบและวิเคราะห์

4.1 บทนำ

บทนี้นำเสนออัตราการไหลตามแนวของวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิตในสถานะที่ถูกประกบด้วยชั้นดิน ที่ค่าความเค้นและความลาดเชิงศาสตร์ต่างๆ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลตามแนวที่ถูกประกบด้วยดินชนิดต่างๆทั้งด้านเดียว และทั้งสองด้าน โดยจะเปรียบเทียบกับผลทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 4716

4.2 อัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิตโดยการทดสอบมาตรฐาน

การทดสอบโดยวิธีมาตรฐานคือการจำลองรูปแบบการไหลผ่าน ภายใต้ความเค้นที่ความลาดเชิงศาสตร์ต่างๆ ซึ่งให้ความเค้นกระทำผ่านแผ่นเหล็กและบังคับหน้าตัดของจีโอคอมโพสิตให้อยู่ในสถานะที่ราบเรียบขณะที่ทำการทดสอบ ในการทดสอบนี้จะใช้ค่าความเค้นเท่ากับ 50, 100 และ 150 กิโลปาสคาล ความลาดเชิงศาสตร์อยู่เท่ากับ 0.1, 0.3, 0.5 และ 1.0 เพื่อศึกษาถึงอัตราการไหลตามแนวที่เปลี่ยนแปลงเมื่อความเค้นกดทับเพิ่มขึ้นที่ความลาดเชิงศาสตร์ต่างๆ



รูปที่ 4.1 อัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงศาสตร์ต่างๆ โดยการทดสอบมาตรฐาน

รูปที่ 4.1 แสดงอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่างๆ ผลการทดสอบมาตรฐานพบว่า อัตราการไหลตามแนวจะลดลงเมื่อความเค้นเพิ่มขึ้นในทุกความลาดเชิงชลศาสตร์ ยกตัวอย่างเช่น ที่ความลาดชลศาสตร์เท่ากับ 0.1 และความเค้นเท่ากับ 50 กิโลปาสกาล อัตราการไหลตามแนวจะลดลงร้อยละ 22.88 และ 23.47 เมื่อความเค้นเพิ่มขึ้นที่ 100 และ 150 กิโลปาสกาล เนื่องจากความเค้นที่กดทับจะทำให้ความหนาของแผ่นจีโอคอมโพสิตลดลง ส่งผลให้ช่องทางการไหลของน้ำที่ไหลผ่านตัวอย่างมีค่าลดลง ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่าง โดยการทดสอบมาตรฐาน

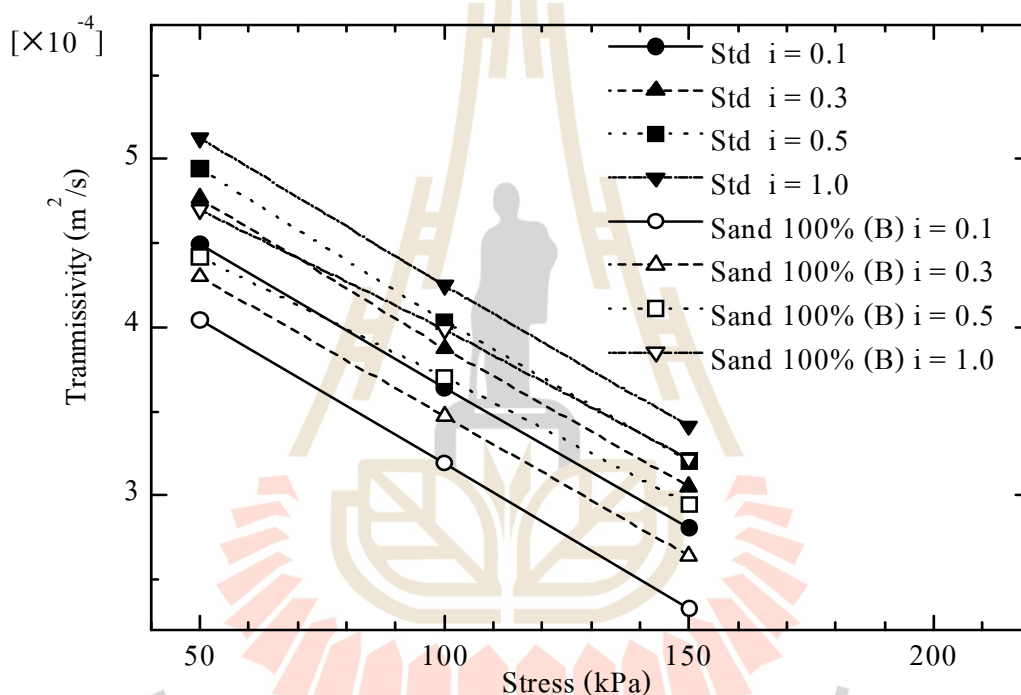
Stress 50 kPa		Stress 100 kPa		Stress 150 kPa	
Hydraulic Gradient	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)	Hydraulic Gradient	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)	Hydraulic Gradient	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)
0.1	0.000449	0.1	0.000364	0.1	0.000281
0.3	0.000476	0.3	0.000387	0.3	0.000305
0.5	0.000494	0.5	0.000403	0.5	0.000320
1.0	0.000512	1.0	0.000424	1.0	0.000341

4.3 อัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิต ในสถานะที่ถูกดินประกบ

งานวิจัยในหัวข้อนี้จะทดสอบอัตราการไหลตามแนวของวัสดุจีโอคอมโพสิตในสถานะที่ถูกประกบด้วยชั้นดินในแต่ละความเค้นที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่างๆ ซึ่งดินที่ประกบจะใช้ทรายหยาบที่มีขนาดละเอียด และแบ่งสถานะการประกบของชั้นดินเป็นสองกรณีคือ ประกบด้านล่างชั้นเดียว และประกบสองด้าน เพื่อจำลองสถานะที่วัสดุจีโอคอมโพสิตได้รับความเค้นเนื่องจากการกดอัด หรือการกดทับของชั้นดิน ซึ่งผลการทดสอบจะวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลทดสอบมาตรฐาน

4.3.1 อัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิต เมื่อใช้ดินประกบด้านเดียว การทดสอบมาตรฐานพบว่า อัตราการไหลตามแนวของวัสดุจีโอคอมโพสิตจะลดลงเมื่อความเค้นเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความเค้นที่กดทับจะลดความหนาของวัสดุจีโอคอมโพสิตทำให้พื้นที่ของช่องการไหลลดลง แต่การทดสอบมาตรฐานจะจำลองการให้ความเค้นผ่านแผ่นเหล็กและ

บังคับหน้าตัดของวัสดุให้อยู่ในสภาวะที่ราบเรียบอยู่เสมอ การคอดงของหน้าตัดวัสดุอาจยังเกิดขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้โคมโพสิตได้รับความเค้นที่เกิดจากการบดอัดเพื่อติดตั้งในภาคสนาม หัวข้อนี้จึงต้องการศึกษาอัตราการไหลตามแนวของวัสดุโคมโพสิตเมื่อถูกประกบด้วยชั้นดินและถูกกระทำด้วยความเค้นกดทับ โดยใช้ดินประกบกบชั้นล่างของวัสดุโคมโพสิตด้านเดียว ดินที่ใช้ทดสอบจะต้องบดอัดด้วยความเค้นสูงสุดในการทดสอบด้วยปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ทดสอบที่ความเค้น 50 100 และ 150 กิโลปาสกาล ที่ความลาดเชิงชลศาสตร์เท่ากับ 0.1, 0.3 0.5 และ 1.0 เพื่อนำผลทดสอบที่ได้วิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผลการทดสอบมาตรฐาน



รูปที่ 4.2 อัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่างๆ เมื่อใช้ดินประกบด้านเดียว

รูปที่ 4.2 แสดงอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่างๆ เมื่อใช้ทรายประกบโคมโพสิตด้านเดียว ผลการทดสอบพบว่าอัตราการไหลตามแนวมีค่าลดลงตามความลาดเชิงชลศาสตร์ที่ลดลงและความเค้นกดทับที่เพิ่มสูงขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ที่ความลาดเชิงชลศาสตร์เท่ากับ 0.1 อัตราการไหลตามแนวลดลงร้อยละ 9.97, 12.29 และ 17.0 สำหรับความเค้นกดทับที่ 50, 100 และ 150 กิโลปาสกาลตามลำดับ เมื่อเทียบกับการทดสอบมาตรฐาน และจะลดลงอย่างสอดคล้องกันในทุกความลาดเชิงชลศาสตร์ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เนื่องจากชั้นทรายที่

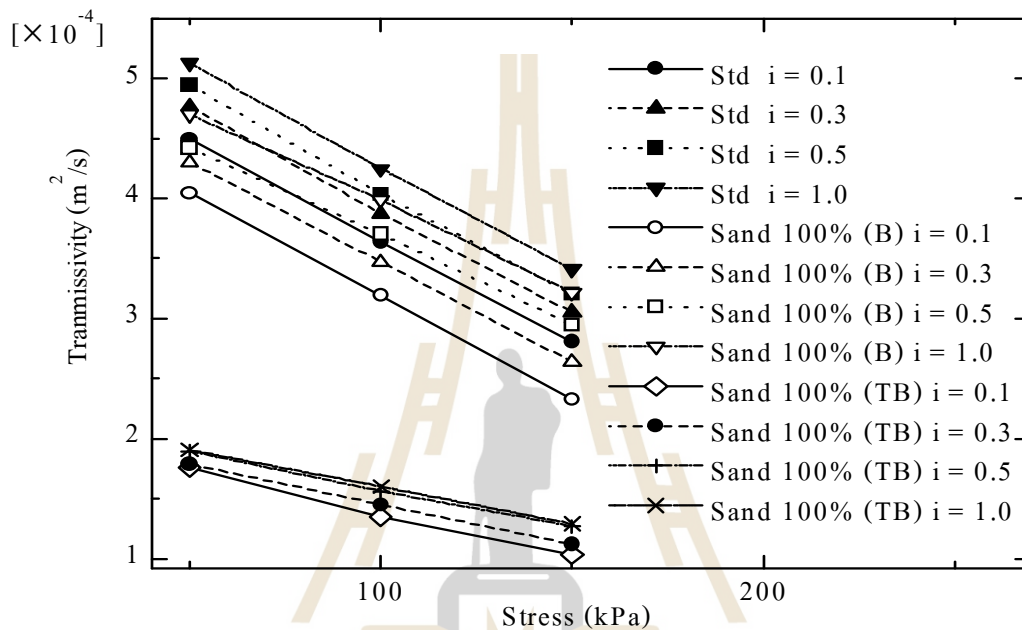
ประกบได้แผ่นจีโอคอมโพสิต จะบีบอัดตัวอย่างทดสอบได้มากกว่าการให้ความเค้นผ่านแผ่นเหล็ก เมื่อความเค้นสูงขึ้นชั้นทรายจึงเกิดการยุบตัวจนทำให้จีโอคอมโพสิตอัดตัวตามชั้นดินที่เสียบรูป จนกระทั่งเกิดการคององในหน้าตัดทำให้อัตราการไหลตามแนวลดลง แต่ค่าอัตราการไหลตามแนวยังเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากก่อนที่จะทำการทดสอบ ดินที่ใช้ประกบด้านล่างได้รับความเค้นจากการบดอัดจนแน่นและมีพื้นผิวเรียบทำให้ชั้นดินเกิดยุบตัวไม่มากเมื่อความเค้นเพิ่มขึ้น การตัดตัวของแผ่นวัสดุจีโอคอมโพสิตจึงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ทำให้ผลการทดสอบเมื่อใช้ดินประกบด้านเดียวมีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบมาตรฐาน

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงชันศาสตร์ต่าง
เมื่อใช้ดินประกบด้านเดียว

Stress 50 kPa		Stress 100 kPa		Stress 150 kPa	
Hydraulic Gradient	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)	Hydraulic Gradient	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)	Hydraulic Gradient	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)
0.1	0.000404	0.1	0.000319	0.1	0.000233
0.3	0.000430	0.3	0.000347	0.3	0.000264
0.5	0.000442	0.5	0.000370	0.5	0.000295
1.0	0.000470	1.0	0.000399	1.0	0.000322

4.3.2 อัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ จีโอคอมโพสิต เมื่อใช้ดินประกบสองด้าน ดินที่ประกบวัสดุจีโอคอมโพสิตมีอิทธิพลต่อการลดลงของอัตราการไหล เนื่องจากชั้นดินที่ประกบสามารถบีบอัดหน้าตัดของวัสดุได้มากกว่าแผ่นเหล็ก จะเห็นได้จากผลการทดสอบข้างต้นว่าอัตราการไหลตามแนวจะลดลงเพียงเล็กน้อยเทียบกับผลทดสอบมาตรฐานเมื่อทดสอบโดยใช้ดินประกบด้านเดียว นั่นเป็นเพราะดินชั้นล่างที่ใช้ประกบได้รับการบดอัดจนแน่นจึงยุบตัวได้ไม่มากเมื่อความเค้นเพิ่มสูงขึ้น และด้านบนของวัสดุจีโอคอมโพสิตยังคงถูกติดตั้งโดยปราศจากดินประกบ การคององเนื่องจากการบีบอัดของชั้นดินจึงเกิดขึ้นเพียงด้านล่างของแผ่นวัสดุเท่านั้น ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงทดสอบโดยใช้ดินประกบด้านล่างและด้านบนวัสดุของจีโอคอมโพสิต ซึ่งดินที่ใช้ประกบด้านบนของวัสดุจีโอคอมโพสิตจะยังไม่ได้รับการบดอัดเหมือนดินชั้นล่าง เนื่องจากมีความเป็นไปได้ว่าหากชั้นดินไม่ได้อยู่ในสภาพแน่นจะสามารถยุบตัวได้สูง เมื่อความเค้นกดทับเพิ่มมากขึ้นการบีบอัดของชั้นดินที่กระทำต่อวัสดุจีโอคอมโพสิตจึงอาจเกิดขึ้นได้มากกว่า โดยที่ดิน

ด้านบนของจีโอคอมโพสิตจะต้องเพิ่มน้ำจนอยู่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม และดินชั้นล่างจะต้องบดอัดด้วยความเค้นสูงสุดในการทดสอบด้วยปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ทดสอบที่ความเค้น 50 100 และ 150 กิโลปาสกาล ที่ความลาดเชิงชลศาสตร์เท่ากับ 0.1, 0.3 0.5 และ 1.0 เพื่อนำผลทดสอบที่ได้วิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผลการทดสอบมาตรฐาน



รูปที่ 4.3 อัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่างๆ เมื่อใช้ดินประกบสองด้าน

รูปที่ 4.3 แสดงอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่างๆ เมื่อใช้ทรายประกบสองด้าน ผลทดสอบอัตราการไหลตามแนวของจีโอคอมโพสิตเมื่อมีดินประกบสองด้านมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดตามการลดลงของความลาดเชิงชลศาสตร์ และการเพิ่มขึ้นของความเค้นกดทับ ยกตัวอย่างเช่น ที่ความลาดเชิงชลศาสตร์เท่ากับ 0.1 อัตราการไหลตามแนวมีค่าลดลงร้อยละ 60.94, 62.86 และ 63.29 สำหรับความเค้นกดทับที่ 50, 100 และ 150 กิโลปาสกาลตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลทดสอบมาตรฐาน และจะลดลงอย่างสอดคล้องกันในทุกค่าความลาดเชิงชลศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ผลทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าชั้นดินที่ใช้ประกบตัวอย่างจีโอคอมโพสิตมีอิทธิพลต่อการลดลงของอัตราการไหลอย่างมาก เนื่องจากวัสดุจีโอคอมโพสิตจะถูกบีบอัดด้วยชั้นดินทั้งด้านบนและด้านล่าง และค่าอัตราการไหลที่ลดลงเป็นสาเหตุจากการอัดตัวของดินชั้นบน เนื่องจากประกบดินชั้นบนยังไม่ได้รับการบดอัดจึงทำให้มีความแน่นต่ำกว่าดิน

ประกบชั้นล่างที่ได้รับการบดอัดจนแน่นและมีผิวเรียบ เมื่อให้ความเค้นสูงขึ้นดินที่ดินที่ประกบชั้นบนจึงเกิดยุบตัวจนกระทั่งเกิดแรงอัดที่หน้าตัดของวัสดุจีโอคอมโพสิต เนื่องจากดินไม่ใช่วัสดุเนื้อเดียวกันการยุบตัวที่เกิดขึ้นจึงไม่สม่ำเสมอทั้งชั้นดินส่งผลให้จีโอคอมโพสิตที่ติดตั้งอยู่ระหว่างชั้นดินได้รับความเค้นจนเกิดการคดงอ เมื่อความเค้นเพิ่มสูงขึ้นการอัดตัวก็จะสูงตาม จนกระทั่งช่องการไหลของน้ำมีพื้นที่ลดลง อนุภาคของดินจะเข้าไปอุดในช่องการไหลในหน้าตัดของแผ่นวัสดุจีโอคอมโพสิตส่งผลให้หน้าตัดของช่องการไหลในวัสดุจีโอคอมโพสิตมีพื้นที่ลดลง ทำให้ผลทดสอบอัตราการไหลตามแนวเมื่อใช้ดินประกบสองด้านมีค่าต่ำกว่าผลทดสอบมาตรฐานเป็นอย่างมาก

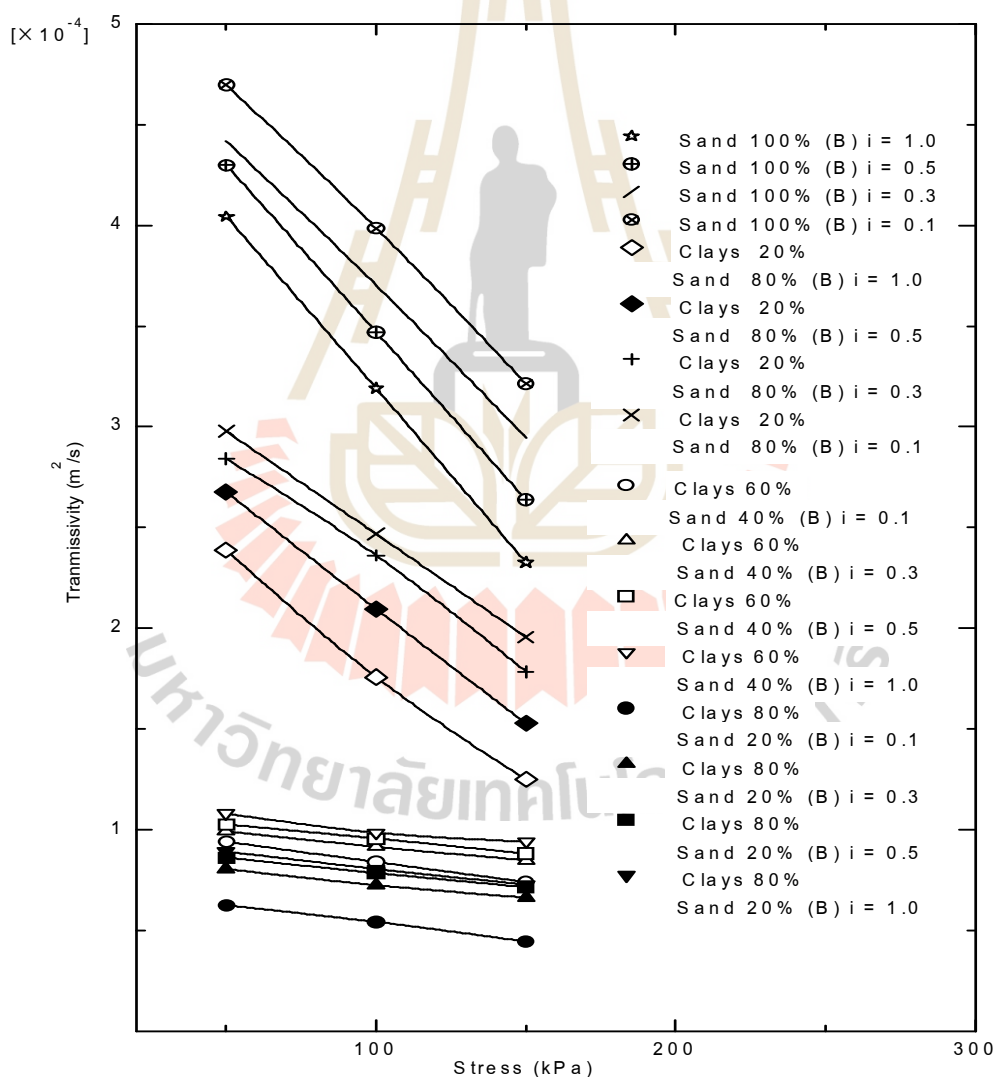
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงชันศาสตร์ต่าง
เมื่อใช้ดินประกบสองด้าน

Stress 50 kPa		Stress 100 kPa		Stress 150 kPa	
Hydraulic Gradient	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)	Hydraulic Gradient	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)	Hydraulic Gradient	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)
0.1	0.000175	0.1	0.000135	0.1	0.000103
0.3	0.000179	0.3	0.000145	0.3	0.000112
0.5	0.000190	0.5	0.000156	0.5	0.000127
1.0	0.000191	1.0	0.000160	1.0	0.000129

4.4 อัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ จีโอคอมโพสิต เมื่อใช้ดินประกบและเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียด

งานวิจัยในหัวข้อนี้จะทดสอบอัตราการไหลตามแนวของวัสดุจีโอคอมโพสิตในสภาวะที่ถูกประกบด้วยดินในแต่ละความเค้นที่ความลาดเชิงชันศาสตร์ต่างๆ ซึ่งดินที่ประกบจะใช้ทรายหยาบที่และเพิ่มดินเม็ดละเอียดเป็นปริมาณร้อยละ 20, 60, และ 80 ตามลำดับ ซึ่งจะแบ่งสภาวะการประกบของชั้นดินเป็นสองกรณีคือ ประกบด้านล่างชั้นเดียว และประกบสองด้าน เพื่อจำลองสภาวะที่วัสดุจีโอคอมโพสิตได้รับความเค้นกดทับของชั้นดิน และศึกษาอิทธิพลของปริมาณดินเม็ดละเอียดที่เพิ่มต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลตามแนว ซึ่งผลการทดสอบจะวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลทดสอบโดยใช้ทรายประกบ

4.4.1 อัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ จีโอคอมโพสิต เมื่อใช้ดินประเภท ดินเดี่ยวและเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียด การทดสอบกรณีก่อนหน้าพบว่า การคองของหน้าตัด จีโอคอมโพสิตเนื่องจากการบีบอัดของชั้นดินมีผลให้อัตราการไหลตามแนวลดลง แต่เนื่องจาก สถานะการใช้งานวัสดุจีโอคอมโพสิตไม่ได้มีเพียงดินเม็ดหยาบเท่านั้นอาจมีดินเม็ดละเอียดจำพวก ดินเหนียวปะปนอยู่ ซึ่งดินเม็ดละเอียดเหล่านี้เป็นอีกสาเหตุที่ลดประสิทธิภาพการระบายน้ำของจีโอคอมโพสิตเป็นอย่างมาก หัวข้อนี้จะกล่าวถึงปัจจัยเนื่องจากการอุดตันของเม็ดดินในแผ่นจีโอคอมโพสิตที่เป็นเหตุให้อัตราการไหลตามแนวลดลง ซึ่งจะเริ่มต้นจากการใช้ดินประเภทชั้นล่างด้าน เดี่ยวและเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียด



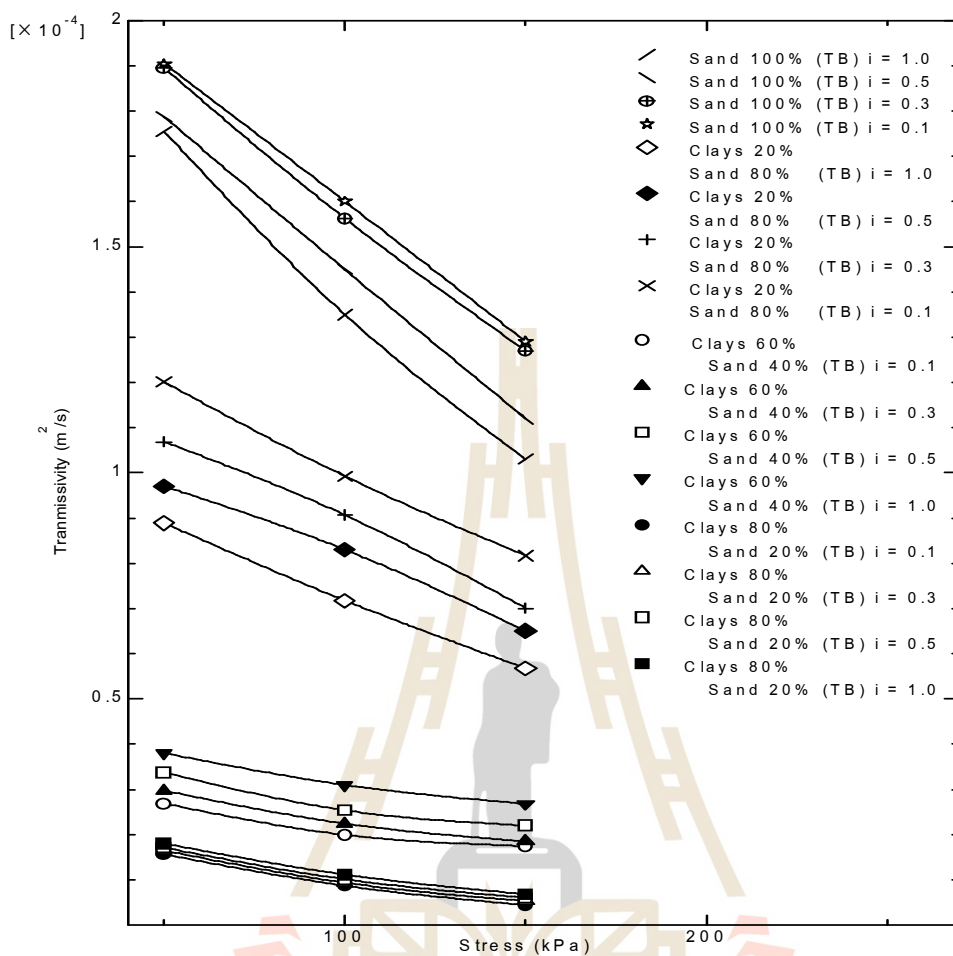
รูปที่ 4.4 อัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงชันศาสตร์ต่างๆ
เมื่อใช้ทรายประเภทดินเดี่ยวและเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียด

รูปที่ 4.4 แสดงอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่างๆเมื่อใช้ดินประเภทดินเดี่ยว และเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 20, 60 และ 80 ผลการทดสอบพบว่าอัตราการไหลตามแนวด้านมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดตามการลดลงของความลาดเชิงชลศาสตร์ และการเพิ่มขึ้นของความเค้นกดทับ ยกตัวอย่างเช่น ที่ค่าความลาดเชิงชลศาสตร์เท่ากับ 0.1 สำหรับความเค้นที่ 50 กิโลปาสกาลลดลงร้อยละ 40.98, 68.20, 80.91 สำหรับความเค้นที่ 100 กิโลปาสกาลลดลงร้อยละ 44.93, 73.71, 83.03 และสำหรับความเค้นที่ 150 กิโลปาสกาลลดลงร้อยละ 46.36, 76.75 และ 84.56 ตามลำดับ และทุกความลาดเชิงชลศาสตร์อัตราการไหลตามแนวมีค่าลดลงดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งสอดคล้องกับผลทดสอบการไหลที่ใช้ทรายประเภทดินเดี่ยว ซึ่งกรณีที่ใช้ทรายประเภทดินเดี่ยวอัตราการไหลตามแนวเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเทียบกับการทดสอบมาตรฐาน และผลทดสอบยังพบว่าเมื่อเพิ่มดินเม็ดละเอียดเป็นปริมาณร้อยละ 20 อัตราการไหลตามแนวของวัสดุอิโคมโพลีตีเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ 50 สำหรับทุกความเค้นกดทับที่ความลาดเชิงชลศาสตร์เดียวกัน และจะมีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบโดยใช้ทรายประเภท เนื่องจากดินเม็ดละเอียดที่มีปริมาณต่ำจะมีอนุภาคขนาดเล็กในชั้นทรายไม่มาก การยุบตัวของชั้นดินรวมถึงอุดตันในชั้นกรองและช่องการไหลจึงเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียดเป็นร้อยละ 60 และ 80 จะเห็นได้ชัดเจนว่าอัตราการไหลตามแนวมีค่าลดลงอย่างชัดเจนและเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าร้อยละ 50 เทียบกับการทดสอบโดยใช้ทรายประเภทดินเดี่ยวสำหรับทุกความเค้นกดทับที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ สาเหตุที่อัตราการไหลตามแนวลดลงอย่างมากเกิดจากเมื่อปริมาณดินเม็ดละเอียดที่เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณทรายในชั้นดินที่ประกบวัสดุอิโคมโพลีตี เนื่องจากดินเม็ดละเอียดปริมาณมากเกิดการยุบตัวได้สูงกว่าดินเม็ดหยาบที่ความเค้นกดทับเดียวกันแม้จะได้รับการบดอัดจนแน่นก่อนทำการทดสอบแล้ว แต่เมื่อความเค้นเพิ่มมากขึ้นปริมาณดินเม็ดละเอียดในชั้นดินจะสามารถยุบตัวได้ต่อเนื่องจนทำให้เกิดแรงอัดในหน้าตัดของแผ่นตัวอย่างทดสอบและบีบอัดตัวอย่างทดสอบได้มากกว่าชั้นทราย นอกจากนี้ดินเม็ดละเอียดที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะสามารถเข้าอุดตันช่องทางการไหลของวัสดุอิโคมโพลีตีเมื่อความเค้นเพิ่มสูงขึ้น การอุดตันจะเกิดขึ้นอย่างมากในชั้นกรองที่เป็นวัสดุอิโคเทคไทล์ และแทรกตัวเข้าไปอุดตันภายในวัสดุแกนกลางที่ทำหน้าที่เป็นช่องการไหลเมื่อดินเม็ดละเอียดได้รับความเค้นกดทับที่เพิ่มสูงขึ้น และอยู่ในสภาพที่อิ่มตัวด้วยน้ำจึงจับตัวอยู่ในช่องการไหล ทำให้ประสิทธิภาพในการระบายน้ำของอิโคมโพลีตีและอัตราการไหลตามแนวลดลงอย่างมาก

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงศาสตร์ต่าง
เมื่อใช้ดินประเภทดินเดี่ยว และเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียด

Hydraulic Gradient	Clays 20 %		Clays 60%		Clays 80 %	
	Stress (kPa)	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)	Stress (kPa)	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)	Stress (kPa)	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)
0.1	50	0.0002387	50	0.0000940	50	0.0000624
0.3		0.0002677		0.0000991		0.0000804
0.5		0.0002842		0.0001026		0.0000861
1.0		0.0002978		0.0001080		0.0000891
0.1	100	0.0001757	100	0.0000839	100	0.0000542
0.3		0.0002096		0.0000915		0.0000724
0.5		0.0002461		0.0000956		0.0000785
1.0		0.0002668		0.0000985		0.0000805
0.1	150	0.0001248	150	0.0000740	150	0.0000444
0.3		0.0001527		0.0000847		0.0000662
0.5		0.0002084		0.0000882		0.0000715
1.0		0.0002356		0.0000940		0.0000737

4.4.2 อัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ จีโอคอมโพสิต เมื่อใช้ดินประเภทสองด้านและเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียด ปริมาณดินเม็ดละเอียดที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้อัตราการไหลตามแนวของวัสดุจีโอคอมโพสิตเป็นอย่างมาก จะเห็นได้จากผลทดสอบข้างต้นว่าเมื่อปริมาณดินเม็ดละเอียดเพิ่มสูงขึ้นอัตราการไหลจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเทียบกับการทดสอบโดยใช้ทรายประเภท และมีความเป็นไปได้ว่าหากเพิ่มดินเม็ดละเอียดในปริมาณเท่ากันแต่ใช้การประกบของชั้นดินเป็นสองด้านแล้วอัตราการไหลตามแนวจะลดลงมากกว่าการประกบชั้นเดียว ในหัวข้อนี้จึงจะทำการทดสอบโดยใช้ดินประเภทสองด้านและเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียด เพื่อศึกษาอิทธิพลจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณดินเม็ดละเอียดและเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ โดยใช้ทรายประเภท



รูปที่ 4.5 อัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่างๆ
เมื่อใช้ดินประกบสองด้านและเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียด

รูปที่ 4.5 แสดงอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่างๆ เมื่อใช้ดินประกบสองด้าน และเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 20, 60 และ 80 ผลการทดสอบพบว่า อัตราการไหลตามแนวที่ค่าความลาดเชิงชลศาสตร์เท่ากับ 0.1 สำหรับความเค้นที่ 50 กิโลปาสคาลลดลงร้อยละ 44.84, 81.90, 91.08 สำหรับความเค้นที่ 100 กิโลปาสคาลลดลงร้อยละ 46.88, 82.98, 93.55 และสำหรับความเค้นที่ 150 กิโลปาสคาลลดลงร้อยละ 49.35, 83.02 และ 95.71 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าทุกความลาดเชิงชลศาสตร์อัตราการไหลตามแนวมีค่าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งสอดคล้องกับผลทดสอบที่ใช้ทรายประกบสองด้าน และแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าในกรณีดินประกบสองด้านอัตราการไหลตามแนวจะมีค่าที่ต่ำมากเมื่อปริมาณดินเม็ดละเอียดเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าต่ำกว่าทุกกรณีที่ได้ทดสอบมาก่อนหน้านี้ เมื่อเพิ่มความเค้นกดทับ

สูงขึ้นเรื่อยๆ ดินชั้นบนเกิดการอัดตัวและอนุภาคของเม็ดดินสามารถแทรกเข้าไปในวัสดุจีโอคอมโพสิตทำให้เกิดการอุดตัน นอกจากนี้ ดินชั้นล่างที่มีปริมาณดินเม็ดละเอียดสูง แม้จะได้รับการบดอัดมาก่อนที่จะทำการทดสอบจนอยู่ในสภาพแน่นแล้วแต่เมื่อความเค้นเพิ่มสูง อนุภาคของดินเม็ดละเอียดที่มีจำนวนมากก็สามารถแทรกตัวเข้าไปอุดตันในช่องกรไลได้ การคอดงและการอุดตันของอนุภาคดินเหนียวจึงทำให้ประสิทธิภาพในการระบายน้ำและอัตราการไหลตามแนวของจีโอคอมโพสิตลดลงอย่างมาก

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบอัตราการไหลตามแนวกับความเค้นที่ความลาดเชิงศาสตร์ต่าง
เมื่อใช้ดินประเภทสองค้ำ และเพิ่มปริมาตรดินเม็ดละเอียด

Hydraulic Gradient	Clays 20 %		Clays 60%		Clays 80 %	
	Stress (kPa)	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)	Stress (kPa)	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)	Stress (kPa)	Hydraulic Transmissivity (m ² /s)
0.1	50	0.0000889	50	0.0000299	50	0.00001565
0.3		0.0001644		0.0000317		0.00001649
0.5		0.0001689		0.0000337		0.00001714
1.0		0.0001783		0.0000362		0.00001806
0.1	100	0.0000718	100	0.0000229	100	0.00000871
0.3		0.0001302		0.0000244		0.00000939
0.5		0.0001369		0.0000254		0.00001014
1.0		0.0001452		0.0000268		0.00001118
0.1	150	0.0000568	150	0.0000186	150	0.00000442
0.3		0.0000951		0.0000205		0.00000530
0.5		0.0001085		0.0000220		0.00000607
1.0		0.0001197		0.0000229		0.00000684

บทที่ 5

บทสรุป

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์จีไอคอมโพสิตภายใต้สภาวะที่ถูกดินประกบ โดยจะแบ่งเป็น 2 สภาวะคือ ประกบด้านเดียว และประกบสองด้าน ซึ่งจะใช้ชั้นทรายที่มีความหนา 0.05 เมตร ในการประกบ เพื่อเปรียบเทียบต่อผลการทดสอบตามมาตรฐาน และเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียดที่มีขนาดเล็กกว่า 0.0075 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาอิทธิพลของดินเม็ดละเอียดที่ส่งผลต่ออัตราการไหลตามแนวของวัสดุจีไอคอมโพสิตเทียบกับการทดสอบโดยใช้ทรายประกบ ซึ่งวิธีการทดสอบได้ยึดถือตามรูปแบบการทดสอบมาตรฐาน ASTM D 4716 จากผลการดำเนินงานสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลงานวิจัย

1) อัตราการไหลตามแนวของวัสดุจีไอคอมโพสิตจากทดสอบตามมาตรฐานลดลงตามความเค้นกดทับที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความเค้นส่งผลให้ความหนาของวัสดุลดลงทำให้ช่องการไหลและอัตราการไหลตามแนวลดลง

2) ผลจากการศึกษาพบว่า ชั้นดินที่ประกบวัสดุจีไอคอมโพสิตมีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่ออัตราการไหลตามแนว อัตราการไหลตามแนว จีไอคอมโพสิตที่ถูกประกบด้วยดินสองด้านมีค่าต่ำกว่าอัตราการไหลตามแนวของจีไอคอมโพสิตที่ถูกประกบด้วยดินด้านเดียวอย่างมาก อัตราการไหลตามแนวของจีไอคอมโพสิตที่ประกบด้วยดินด้านเดียวมีค่าต่ำกว่าอัตราการไหลตามแนวของจีไอคอมโพสิตที่ไม่มีดินประกบเพียงเล็กน้อย ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าดินที่ประกบจีไอคอมโพสิตจะเกิดการอัดตัวเมื่อถูกกระทำด้วยความเค้นกดทับ และก่อให้เกิดการคอดของจีไอคอมโพสิต การประกบด้วยดินสองด้านก่อให้เกิดการคอดตัวของจีไอคอมโพสิตมากกว่าการประกบด้วยดินด้านเดียว การคอดตัวของจีไอคอมโพสิตทำให้การไหลผ่านของน้ำช้าลง ส่งผลให้อัตราการไหลผ่านน้อยลง

3) การศึกษาครั้งนี้ยังพบว่าปริมาณดินเม็ดละเอียดมีอิทธิพลต่ออัตราการไหลตามแนว ซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลลดลงอย่างมากทั้งในการทดสอบแบบประกบด้วยดินเพียงด้านเดียวและด้วยดินทั้งสองด้านเทียบกับการทดสอบโดยใช้ทรายประกบ

โดยที่การใช้ดินประคบทั้งสองด้านและเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียดมีค่าอัตราการไหลตามแนวต่ำทกว่าทุกกรณีที่ทำกรทดสอบ การลดลงของอัตราการไหลเกิดจากการอุดตันของดินเม็ดละเอียดในช่องกรไหลและชั้นกรองของจีโอคอมโพสิตภายใต้กรกระทำของความเค้นในแนวตั้ง ส่งผลให้พื้นที่ระบายน้ำลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิตภายใต้สภาวะที่ถูกดินประคบ ซึ่งเป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยการจำลองชั้นดินชนิดต่างๆที่กดทับในเครื่องทดสอบที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับงานวิจัย งานวิจัยนี้ควรนำเป็นพื้นฐานต่อยอดในการศึกษาพฤติกรรมของอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ชนิดอื่นๆต่อไป



รายการอ้างอิง

- สุขสันติ หอพิบูลสุข และ รุ่งลาวัลย์ ราชัน. (2554). **ปฐพีกลศาสตร์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล
- American Society of Testing and Materials (ASTM). (1989). Standard Test Method for Determining the (In-plane) Flow Rate per Unit Width and Hydraulic Transmissivity of a Geosynthetic Using a Constant Head. **ASTM D 4716**. West Conshohocken : PA.
- Bergado, D.T, Enriquez, A.S., Sampaco, C.L.,Alfaro,A.C., and Balasubramaniam, A.S.(1992),”Inverse analysis of geotechnical parameter on improved soft Bangkok clay” ,**Journal of Geotechnical Engineering Division**, ASCE, Vol118, No.7 pp.1012-1030
- Carman,P.E.(1956) Flowof Gases though Porous Media. **Academic Press**, New York
- Darcy, H. (1856), Les Fontaines Publiques de la ville de Dijon, **Dalmont**, Paris
- Das,B.M (1983), **Advance Soil Mechanics**, McGraw-Hill,Singapore
- Dhani B. Narejo (2005), Determination of transmissivity of synthetic drainage materials at low gradients. **Geotextiles and Geomembranes** Vol.23 pp. 534–539
- D.V. Raisinghani, B.V.S. Viswanadham (2010), Evaluation of permeability characteristics of a geosynthetic- reinforced soil through laboratory tests. **Geotextiles and Geomembranes**. Vol. 28 pp. 579–588
- Han Yong Jeon (2003). Analysis of the drainage performance of geotextile composites under confined loads. **Polymer Testing** Vol. 23 pp. 239–244
- Kozeny,J.J.(1933), “Theorie and Berechnvng der Bruuen” **Wasserkroft W.Wasser Wirtschoft**, Vol.29
- Taylor,D.W. (1948),**Fundamental of Soil Mechanics**, john Wiley & son,Newyork



ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในระหว่างการศึกษา

Apinun Buritatum, Suksun Horpibulsuk, Artit Udomchai. (2017) **HYDRAULIC TRANSMISSIVITY OF GEOCOMPOSITE CONFINED WITH SOIL**. 11 th SEATUC SYMPOSUIM 2017 HO CHI MINH CITY UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (HCMUT) 13-14 MARCH, 2017.

อภิวัฒน์ บุริตธรรม, สุขสันต์ หอพิบูลสุข, อาทิตย์ อุดมชัย (2561). อัตราการไหลตามแนวของวัสดุสังเคราะห์จีโอคอมโพสิต ภายใต้สภาวะที่ถูกประกบด้วยดิน. วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2561



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

อภิรักษ์ บุริตธรรม เกิดเมื่อวันที่ 21 เดือนเมษายน พ.ศ.2535 ณ อำเภอปักธงชัยจังหวัดนครราชสีมา ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจาก โรงเรียนยโสธรพิทยาคม ปีการศึกษา 2554 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพแผนกวิชาช่างก่อสร้าง จากวิทยาลัยเทคนิคยโสธร ปีการศึกษา 2554 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างโยธา จากคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และได้มีโอกาสเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2558



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี