รายงานการวิจัย

เครื่องทดสอบค่าการไหลตามแนวของวัสดุสังเคราะห์

TRANSMISSIVITY APPARATUS FOR GEOSYNTHETICS

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจาก

กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รายงานการวิจัย

เครื่องทดสอบค่าการไหลตามแนวของวัสดุสังเคราะห์

TRANSMISSIVITY APPARATUS FOR GEOSYNTHETICS

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจาก

กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้นับเงินสนับสนุนจากกองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทำให้ผู้วิจัยมีโอกาสในการสร้างผลงานจากการวิจัยนี้ได้จนสำเร็จผลเป็นที่น่าพอใจ นอกจากนั้นยังมีทีมงานผู้ช่วยวิจัยที่ได้สละเวลาในการทดลอง และปรับปรุงจนสำเร็จลุล่วง

ผลงานวิจัยนี้จะไม่เกิดขึ้น ถ้าปราศจากการสนับสนุนแหล่งทุนและคณะผู้วิจัยดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องไว้ ณ ที่นี้

ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข
หัวหน้าโครงการวิจัย
ธันวาคม 2559

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก

สารบัญ ..... ข

สารบัญตาราง ..... ง

สารบัญรูป ..... จ

บทที่

1 **บทนำ** 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 2

1.3 ขอบเขตการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ 2

บทที่

2 **ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** 3

2.1 บทนำ 3

2.2 หลักการทดสอบของเครื่องทดสอบค่าการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ 3

2.3 พลังงานการไหล 3

2.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Determination of Coefficient of Permeability) 10

2.4.1 วิธีการหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านโดยวิธีคงที่ระดับน้ำ (Constant head test) 10

2.4.2 วิธีการหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านโดยวิธีเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (Falling head test) 11

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5 กรณีศึกษา 13

2.5.1 การพิจารณาอัตราการไหล ตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ชนิดระบายน้ำ ที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่ำ 13

2.5.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการไหล ของแผ่นวัสดุสังเคราะห์เสริมกำลังดิน ภายใต้ความเค้นหลักที่กดทับ 14

2.5.3 การศึกษาลักษณะของค่าอัตราการซึมผ่านของแผ่นวัสดุเสริมแรงดินในห้องปฏิบัติการ 17

บทที่

3 การพัฒนาเครื่องมือ 19

3.1 รายละเอียดและเทคนิค 19

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 20

3.3 การเลือกพารามิเตอร์ในการทดสอบ 24

3.4 ขั้นตอนการใช้งานและการทดสอบ 24

3.5 การคำนวณ 25

3.6 บทสรุป 27

รายการอ้างอิง 28

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบปกติและผลจากการคำนวณ 14
2.2 คุณสมบัติของ Smart Geotextile และ Geonet Composites 15
2.3 เงื่อนไขการทดสอบ 17
3.1 ค่าการปรับแก้อุณหภูมิ 26

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 แบบจำลองเครื่องมือทดสอบค่า Transmissivity ของ Geosynthetic 4
2.2 แสดงเฮทรวม เฮทความดันและเฮทระดับจากการไหลของน้ำผ่านดิน 6
2.3 การเปลี่ยนแปลงระหว่างความเร็วของการไหลเทียบ
กับความลาดเชิงชลศาสตร์ 7
2.4 การหาความเร็วการไหลที่แท้จริง 8
2.5 การเปลี่ยนแปลงความเร็วในการไหลเทียบกับความลาดเชิงชลศาสตร์ 9
2.6 อุปกรณ์และลักษณะทดสอบการซึมผ่านแบบคงที่ระดับน้ำ 11
2.7 อุปกรณ์และลักษณะทดสอบการซึมผ่านแบบเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ 12
2.8 ความสัมพันธ์ของค่าการไหลตามแนวแกนกับความลาดเชิงชลศสาสตร์
สำหรับแผ่น Geocomposites ชนิด Biplanar 13
2.9 ความสัมพันธ์ของค่าการไหลตามแนวแกนกับความลาดเชิงชลศสาสตร์
สำหรับแผ่น Geocomposites ชนิด Triplanar 14
2.10 ความหนาที่เปลี่ยนแปลงต่อความเค้นที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างการทดสอบ 15
2.11 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ลดลงต่อความเค้นที่เพิ่มขึ้น 16
2.12 ค่าอัตราการไหลตามแนวที่ลดลงต่อความเค้นที่เพิ่มขึ้น 16
2.13 การเปรียบเทียบผลของจำนวนชั้นแผ่นวัสดุ 18
2.14 การเปรียบเทียบผลของความหนาชั้นทราย 18
3.1 เครื่องต้นแบบทดสอบค่าการไหลตามแนวของวัสดุ 20
3.2.1 ฐานรองรับวัสดุทดสอบ 20
3.2.2 ชุดอ่างเก็บน้ำ 21
3.2.3 แม่แรงไฮโดรลิค 21
3.2.4 ชุดฐานติดตั้งแม่แรงไฮโดรลิค 22
3.2.5 อุปกรณ์ควบคุมการให้แรง 22
3.2.6 อ่างการไหลออกของน้ำ 23
3.2.7 ชุดโครงสร้างเหล็กรองรับเครื่องทดสอบ 23
3.5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล
และความลาดชันเชิงชลศาสตร์ 25
3.5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและค่าความเค้นหลัก 26

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย

วัสดุสังเคราะห์คือวัสดุที่ผลิตจากวัสดุโพลิเมอร์ (Polymeric material) เพื่อนำมาใช้ในงานด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค (Geotechnical Engineering) และงานวิศวกรรมชายฝั่ง เช่น เขื่อนดิน กำแพงกันดิน งานระบบระบายน้ำ ป้องกันน้ำ งานกรองวัสดุ งานแยกชั้นวัสดุ และงานป้องกันการกัดเซาะของริมฝั่งแม่น้ำและชายทะเล เป็นต้น วัสดุสังเคราะห์ได้รับการยอมรับและใช้งานกันอย่างแพร่หลายในหลายโครงการก่อสร้างของหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน ค่าการไหลผ่านตามแนว (Transmissivity) ของวัสดุสังเคราะห์เป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการออกแบบและเลือกใช้วัสดุสังเคราะห์ ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายวัสดุสังเคราะห์ต้องรับผิดชอบทดสอบค่าการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ ตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM D4716) ตามจำนวนตัวอย่างที่กำหนดโดยเจ้าของโครงการ เครื่องทดสอบค่าการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ในประเทศไทยมีเพียงเครื่องเดียวและตั้งอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT) ด้วยเหตุนี้เอง ตัวอย่างที่ต้องทดสอบจึงมีปริมาณมากเกินกว่าความสามารถในการทดสอบ และส่งผลให้ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายวัสดุสังเคราะห์ต้องทนรอผลทดสอบเป็นเวลานาน หากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีสามารถผลิตเครื่องทดสอบการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ขึ้นได้ก็จะมีส่วนช่วยลดภาระการทนรอผลทดสอบให้แก่ผู้ผลิต ผู้จำหน่าย และเจ้าของโครงการ อีกทั้งยังสร้างรายได้และสร้างชื่อเสียงให้กับมหาวิทยาลัยฯ

ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเครื่องมือต้นแบบ ซึ่งไม่เพียงแต่สามารถทดสอบการไหลผ่านของน้ำตามแนววัสดุสังเคราะห์ภายใต้สภาวะไร้ดินโอบล้อม ตามมาตรฐานของ ASTM (เพื่อให้บริการแก่หน่วยงานภาครัฐและเอกชน) แต่ยังสามารถทดสอบการไหลผ่านของน้ำตามแนววัสดุสังเคราะห์ภายใต้สภาวะที่ถูกโอบล้อมด้วยดิน ซึ่งเป็นสภาพใช้งานจริง (เพื่อการวิจัย) ได้ด้วย ในขณะที่เครื่องทดสอบค่าการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ที่มีอยู่ในปัจจุบันทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทดสอบได้เฉพาะในสภาวะที่ไม่มีดินโอมล้อม การทดสอบทำโดยการให้ความเค้นกดทับบนตัวอย่างวัสดุสังเคราะห์โดยการถ่ายแรงผ่านแผ่นเหล็ก ความเค้นที่กดลงบนแผ่นเหล็กจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักกดทับที่เกิดขึ้นจริงในสภาวะใช้งานในสนาม แม้ว่าการทดสอบเช่นนี้จะสามารถจำลองสภาวะความเค้นได้ใกล้เคียงกับสภาพจริงในสนามขณะใช้งาน แต่การทดสอบในเช่นนี้ละเลยการอุดตันของอนุภาคเม็ดดินในรู (Clogging) ของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ (เนื่องจากแผ่นวัสดุสังเคราะห์ได้รับแรงกดผ่านแผ่นเหล็กที่ปราศจากดินโอบล้อม)

ในความเป็นจริง วัสดุสังเคราะห์ที่ใช้งานจริงในสนามได้รับความเค้นกดทับจากมวลดิน ซึ่งอนุภาคของดินจะเข้าไปอุดตันตามรูของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ และทำให้ความสามารถในการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ลดลงตามเวลาการใช้งาน ดังนั้น การไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบแบบปราศจากดินโอบล้อมจึงมีค่าสูงเกินความเป็นจริง โครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาเครื่องทดสอบค่าการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ต้นแบบ ซึ่งสามารถทดสอบทั้งในสภาวะที่มีและปราศจากดินโอบล้อมได้ในเครื่องเดียว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อพัฒนาเครื่องทดสอบค่าการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ต้นแบบ ซึ่งสามารถทดสอบทั้งในสภาวะที่มีและปราศจากดินโอบล้อมได้ในเครื่องเดียว เครื่องทดสอบที่พัฒนาขึ้นนอกจากจะสร้างศักยภาพและการแข่งขันด้านงานวิจัย แล้วยังสามารถให้บริการวิชาการแก่หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1) พัฒนาเครื่องทดสอบค่าการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ต้นแบบ ซึ่งสามารถทดสอบทั้งในสภาวะที่มีและปราศจากดินโอบล้อมได้ในเครื่องเดียว

1.3.2) ความลาดเชิงชลศาสตร์ของเครื่องทดสอบสามารถปรับค่าได้จาก 0 ถึง 1

1.3.3) ความเค้นกดทับสามารถปรับค่าได้จาก 0 ถึง 250 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.4.1) เครื่องทดสอบค่าการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ต้นแบบเป็นนวัตกรรมซึ่งสามารถทดสอบทั้งในสภาวะที่มีและปราศจากดินโอบล้อมได้ในเครื่องเดียว ผลการวิจัยที่ได้จากเครื่องทดสอบต้นแบบจะเป็นประโยชน์ต่อวงการวิชาการและวงการวิชาชีพ และสามารถเผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติ

1.4.2) เครื่องทดสอบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถยื่นเพื่อขออนุสิทธิบัตร/สิทธิบัตร

1.4.3) เครื่องทดสอบสอบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ค่าการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์เพื่อให้บริการแก่ผู้ผลิต ผู้จำหน่าย และเจ้าของโครงการ

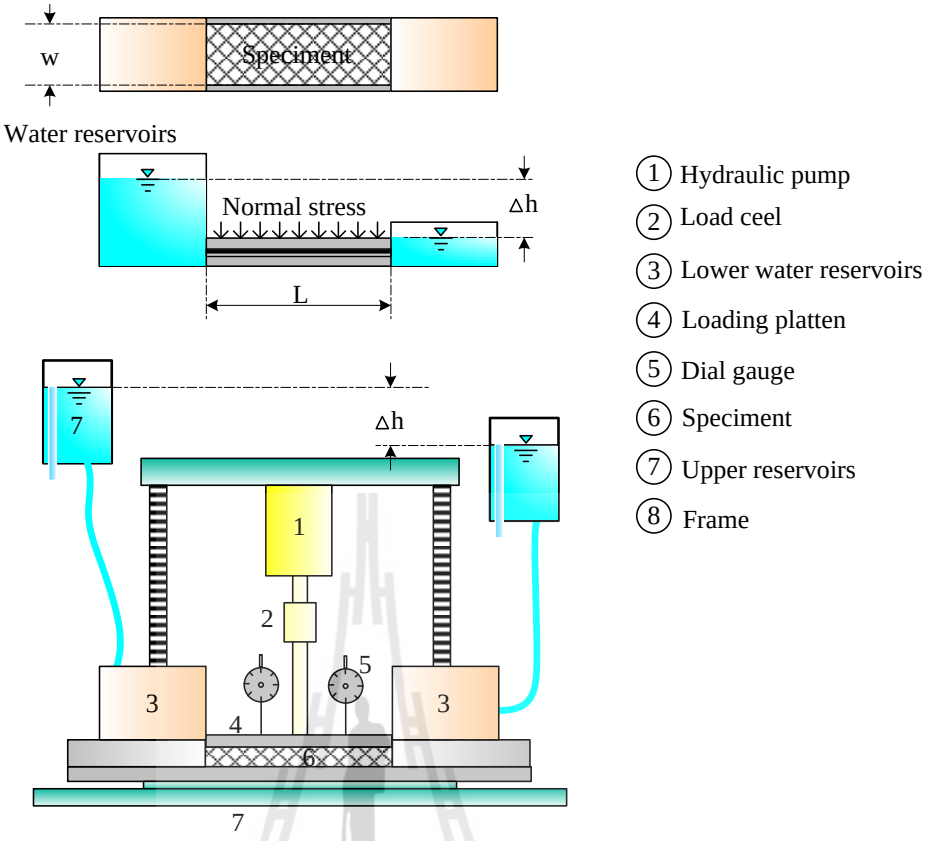
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

บทนี้กล่าวถึงพฤติกรรมอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ Geocomposites ภายใต้การกดทับในสภาวะความเค้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อทดสอบโดยการทดสอบแบบมาตรฐาน และศึกษาอิทธิผลของอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ดังกล่าวเมื่อมีดินเป็นตัวกลาง ซึ่งขั้นตอนการทดสอบจะยึดตามมาตรฐาน ASTM D 4716 และเนื่องจากการทดสอบนี้ใช้ดินเป็นตัวกลางการให้ความเค้นจึงจะใช้ทฤษฎีคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านชั้นดินของ Darcy (1856) เป็นทฤษฎีพื้นฐานของงานวิจัย และจะกล่าวถึงการใช้งานแผ่นวัสดุสังเคราะห์ Geocomposites ในการระบายน้ำแนวราบในชั้นดิน เพื่อที่จะได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยต่อไป

2.2 หลักการทดสอบของเครื่องทดสอบค่าการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์

การทดสอบค่าการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์มีลักษณะคล้ายกับการทดสอบค่าการไหลซึมผ่าน การทดสอบค่าการไหลผ่านตามแนวของวัสดุสังเคราะห์เป็นการทดสอบอัตราการไหลต่อหน่วยความกว้าง ภายในระนาบการไหลตามแนวแกนของแผ่นใยสังเคราะห์ ภายใต้ความเค้นที่แตกต่างกันและเฮทของน้ำที่คงที่ (constant head) ความเค้นกดทับและเฮทของน้ำจะจำลองสภาพจริงสนามให้มากที่สุด รูปที่ 2.1 แสดงแบบจำลองเครื่องมือทดสอบค่าการไหลตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ต้นแบบ การทดสอบจะทำการวัดอัตราการไหลต่อหน่วยความกว้างของตัวอย่างและทำการวัดส่วนต่างของเฮทระดับ แล้วคำนวณหาค่าการไหลตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ตามสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แบบจำลองเครื่องมือทดสอบค่า Transmissivity ของ Geosynthetic

$$\theta = \frac{qL}{wh} \qquad (2.1)$$

เมื่อ θ คือการไหลผ่านตามแนววัสดุสังเคราะห์

q คืออัตราการไหล

L คือความยาวของตัวอย่างทดสอบ

w คือความกว้างของตัวอย่าง

h คือส่วนต่างของระดับน้ำเมื่อน้ำไหลผ่านตัวอย่าง

2.3 พลังงานการไหล

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

$$E = mgz + uV + \frac{mv^2}{2} \qquad (2.2)$$

เมื่อ E คือพลังงานรวมที่จุดใดๆ

m คือมวลของน้ำ

g คือค่าความโน้มถ่วงของโลก

z คือระยะในแนวดิ่งเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง

u คือความดันของน้ำ

V คือปริมาตรของน้ำ

v คือความเร็วในการไหลของน้ำ

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

$$\frac{E}{W} = h = z + \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} \qquad (2.3)$$

สมการที่ 2.3 เรียกว่าสมการเบอร์นูลรี่ และเมื่อน้ำไหลผ่านดินพลังงานเนื่องจากความเร็วในการไหลมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับพลังงานอื่นๆ จึงสามารถละทิ้งได้ ดังนั้น พลังงานรวมที่จุดใดๆ ในรูปของเฮทรวมที่จุดใดๆ คือ

$$h = z + \frac{u}{\gamma_w} \qquad (2.4\text{-ก})$$

หรือ

$$h = h_e + h_p \qquad (2.4\text{-ข})$$

เมื่อ h_e คือเฮทระดับ และ h_p คือเฮทความดัน ซึ่งเป็นพลังงานการไหลของน้ำผ่านดินในรูปของหน่วยความยาว

รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฮทความดัน เฮทระดับ และเฮทรวม ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของน้ำ จะเห็นว่า เมื่อน้ำไหลผ่านดินจากจุด A ไป B เป็นระยะทาง L จะเกิดการสูญเสียพลังงานในการไหล (Δh) โดยที่การสูญเสียพลังงานระหว่างจุดสองจุดใดๆ จะเป็นผลต่างของพลังงานรวมระหว่างจุดสองจุดนั้น ดังนั้น

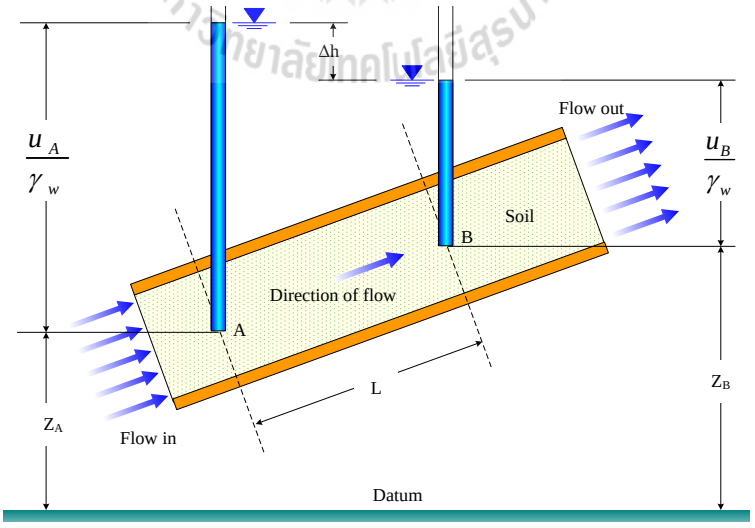
$$\Delta h = h_A - h_B = \left(z + \frac{u}{\gamma_w} \right)_A - \left(z + \frac{u}{\gamma_w} \right)_B \tag{2.5}$$

เมื่อ Δh คือการสูญเสียพลังงานเมื่อน้ำไหลผ่านดินจากจุด A ไป B เป็นระยะทาง L นอกจากนี้การสูญเสียของพลังงานในการไหลยังสามารถเขียนให้อยู่ในรูปตัวแปรไร้หน่วยได้ดังนี้

$$\Delta h = iL \tag{2.6}$$

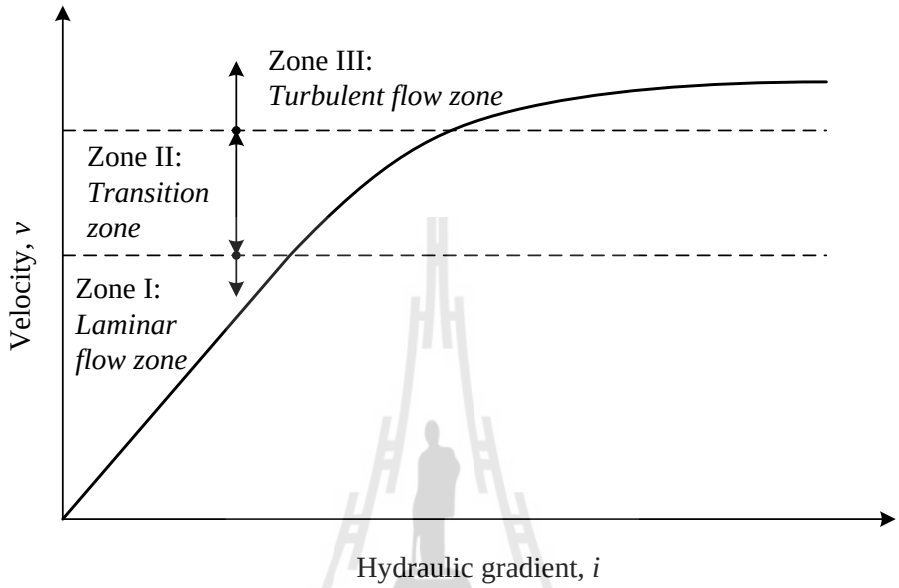
$$i = \frac{\Delta h}{L} \tag{2.7}$$

เมื่อ i คือความลาดเชิงชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) ซึ่งเป็นตัวแปรไร้หน่วย



รูปที่ 2.2 แสดงเฮทรวม เฮทความดันและเฮทระดับจากการไหลของน้ำผ่านดิน

โดยทั่วไปแล้ว การเปลี่ยนแปลงระหว่างความเร็วของการไหลเทียบกับความลาดเชิงชลศาสตร์ สามารถแสดงดังในรูปที่ 2.3 ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 โซน ได้แก่ 1) โซนการไหลแบบเชิงเส้น (Laminar flow zone) 2) โซนการเปลี่ยนแปลง (Transition zone) และ 3) โซนการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent zone)



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงระหว่างความเร็วของการไหลเทียบกับความลาดเชิงชลศาสตร์

สำหรับการไหลของน้ำผ่านตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ถ้าช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีขนาดเล็กๆ แล้ว ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการไหล จะแปรผันโดยตรงกับความลาดเชิงชลศาสตร์ ดังนี้

$$v \alpha i \tag{2.8}$$

2.4 กฎของดาร์ซี่ (Darcy's Law)

Darcy (1856) ได้เสนอสมการความเร็วในการไหลของน้ำผ่านดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ดังนี้

$$v = ki \tag{2.9}$$

เมื่อ v คือความเร็วในการไหล (Discharge velocity) ซึ่งเท่ากับปริมาณการไหลของน้ำ (Q) ผ่านพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด (A) ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง (t) และ k คือค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Coefficient of permeability) ของดิน ดังนั้น

$$\frac{Q}{t} = q = vA = kiA \tag{2.10}$$

เมื่อ q คืออัตราการไหลของน้ำผ่านดิน

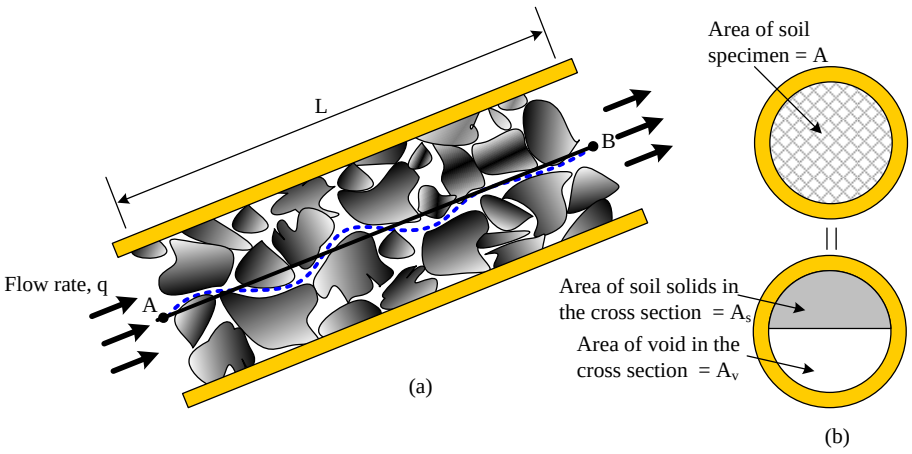
ความเร็วในการไหล (Discharge velocity) ในสมการ 2.10 เป็นความเร็วของการไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของดิน แต่ในความเป็นจริง น้ำจะไหลผ่านตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ดังนั้นความเร็วในการไหลที่แท้จริง (Seepage velocity, v_s) จะมีค่ามากกว่า v ในอัตราการไหลเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดการไหลที่แท้จริงมีค่าน้อยกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ดังนั้น

$$q = vA = v_s A_v \tag{2.11-ก}$$

$$v_s = v\frac{A}{A_v} = v\frac{AL}{A_v L} = v\frac{V}{A_v V_v} = \frac{v}{n} = v\left(\frac{1+e}{e}\right) \tag{2.11-ข}$$

เมื่อ e คืออัตราส่วนโพรง และ n คือความพรุน

ในทางปฏิบัติ ค่าความเร็วของการไหล (Discharge velocity) นิยมนำมาใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์งานทางด้านวิศวกรรมปฐพีมากกว่า เนื่องจากเป็นค่าที่สามารถหาได้ง่าย



รูปที่ 2.4 การหาความเร็วการไหลที่แท้จริง

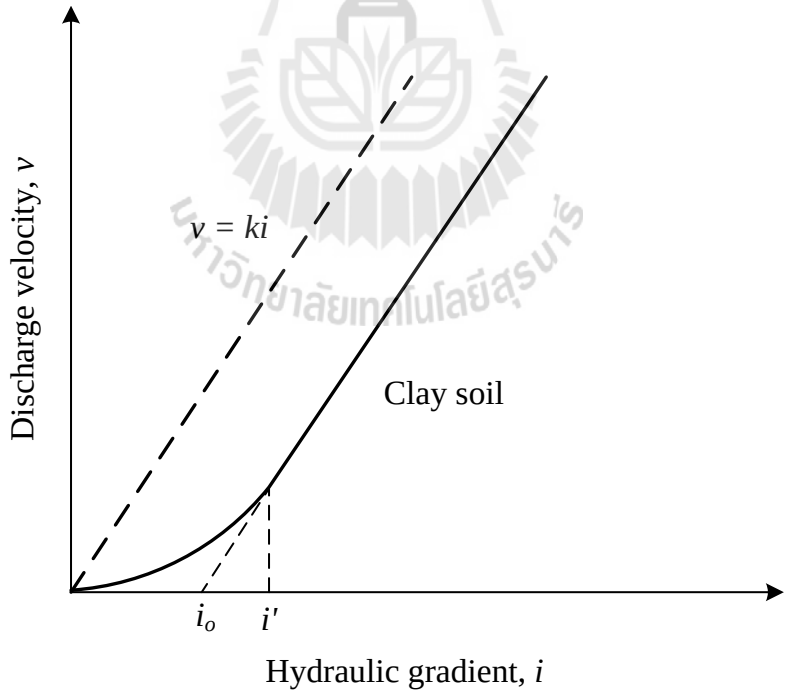
จากกฎของดาร์ซี่ตามสมการที่ 2.9 ความเร็วในการไหล (Discharge velocity) จะแปรผันเชิงเส้นตรงกับความลาดเชิงชลศาสตร์ และผ่านจุดกำเนิด (Origin) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 อย่างไรก็ตาม Hansbo (1960) ได้รายงานผลทดสอบดินเหนียวคงสภาพ Swedish clay 4 ชนิด พบว่า ในช่วงที่ความลาดเชิงชลศาสตร์มีค่าต่ำ ความสัมพันธ์ระว่างความเร็วในการไหลกับความลาดเชิงชลศาสตร์ไม่เป็นเส้นตรง (รูปที่ 2.5) โดยอาศัยผลทดสอบดินเหนียวดังกล่าว Hansbo (1960) ได้เสนอสมการความเร็วในการไหลของน้ำผ่านดิน ดังนี้

$$v = k(i - i_o) \qquad (i \geq i') \qquad \text{(2.12-ก)}$$

$$v = ki^m \qquad (i < i') \qquad \text{(2.12-ข)}$$

เมื่อ m คือค่าคงที่ และมีค่าเท่ากับ 1.5 สำหรับ Swedish clay ทั้ง 4 ชนิด

อย่างไรก็ตาม ได้มีการศึกษากับดินชนิดอื่นๆ อีกโดยละเอียด Mitchell (1976) พบว่าสมการตามกฎของดาร์ซี่ให้ผลถูกต้องมากที่สุด



รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงความเร็วในการไหลเทียบกับความลาดเชิงชลศาสตร์

2.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Determination of Coefficient of Permeability)

การทดสอบสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในห้องปฏิบัติการมี 2 วิธี ได้แก่

1) วิธีการหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านโดยวิธีคงที่ระดับน้ำ (Constant head test)

2) วิธีเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (Falling head test)

การเลือกว่าวิธีทดสอบที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของดิน วิธีการหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านโดยวิธีคงที่ระดับน้ำจะเหมาะสมสำหรับดินเม็ดหยาบเท่านั้น (ดินตัวอย่างต้องมีปริมาณดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่าร้อยละ 10) ส่วนการหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านโดยวิธีเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจะมีเหมาะสมกับทั้งดินเม็ดหยาบและดินเม็ดละเอียด

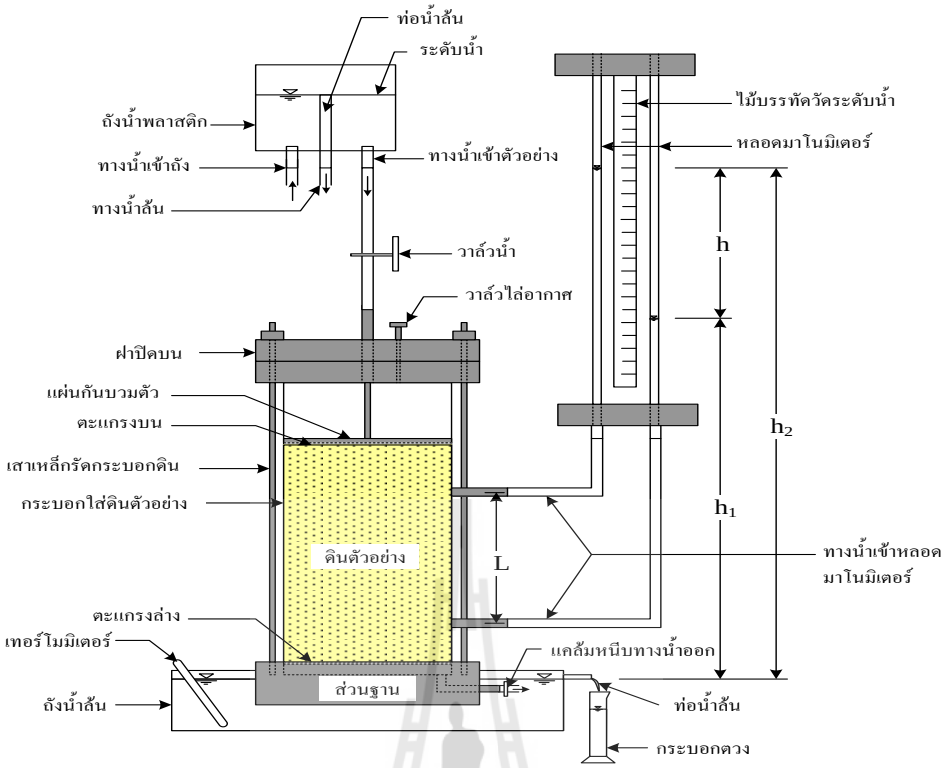
2.4.1 วิธีการหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านโดยวิธีคงที่ระดับน้ำ (Constant head test)

เครื่องมือทดสอบและลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบการซึมผ่านโดยวิธีคงที่ระดับน้ำดังแสดงในรูปที่ 2.6 ในการทดสอบด้วยวิธีนี้ การสูญเสียพลังงาน (Head loss) จะถูกรักษาให้มีค่าคงที่ในระหว่างการทดสอบ สัมประสิทธิ์การซึมผ่านสามารถคำนวณได้จากการวัดปริมาณน้ำที่ไหลออก (Out flow) และเวลาที่ใช้ในการทดสอบ ดังนี้

$$Q = Avt = A(ki)t = A(k\frac{h}{L})t \qquad (2.13\text{-ก})$$

$$k = \frac{QL}{Ath} \qquad (2.13\text{-ข})$$

เมื่อ Q คือปริมาณของน้ำที่ไหลผ่านดินตัวอย่างที่มีพื้นที่หน้าตัด A ในช่วงเวลา t ส่วน h คือการสูญเสียพลังงาน ซึ่งเท่ากับความแตกต่างของระดับน้ำที่อ่านได้จากช่องวัดความดันน้ำทางน้ำเข้าและทางน้ำออก และ L คือระทางในการไหล



รูปที่ 2.6 อุปกรณ์และลักษณะทดสอบการซึมผ่านแบบคงที่ระดับน้ำ

2.4.2 วิธีการหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านโดยวิธีเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (Falling head test)

รูปที่ 2.7 แสดงเครื่องมือทดสอบและลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบการซึมผ่านโดยวิธีคงที่ระดับน้ำ การทดสอบด้วยวิธีนี้จะปล่อยน้ำผ่านท่อตั้งให้ไหลผ่านดินตัวอย่าง และบันทึกพลังงานเริ่มต้นที่ระดับน้ำอยู่ที่ตำแหน่ง h_o ที่เวลา $t=0$ การทดสอบดำเนินต่อไปโดยปล่อยให้น้ำไหลผ่านดินตัวอย่างเพื่อบันทึกพลังงานช่วงสุดท้าย h_1 ที่เวลา $t=t_1$ อัตราการไหลของน้ำผ่านดินคือ

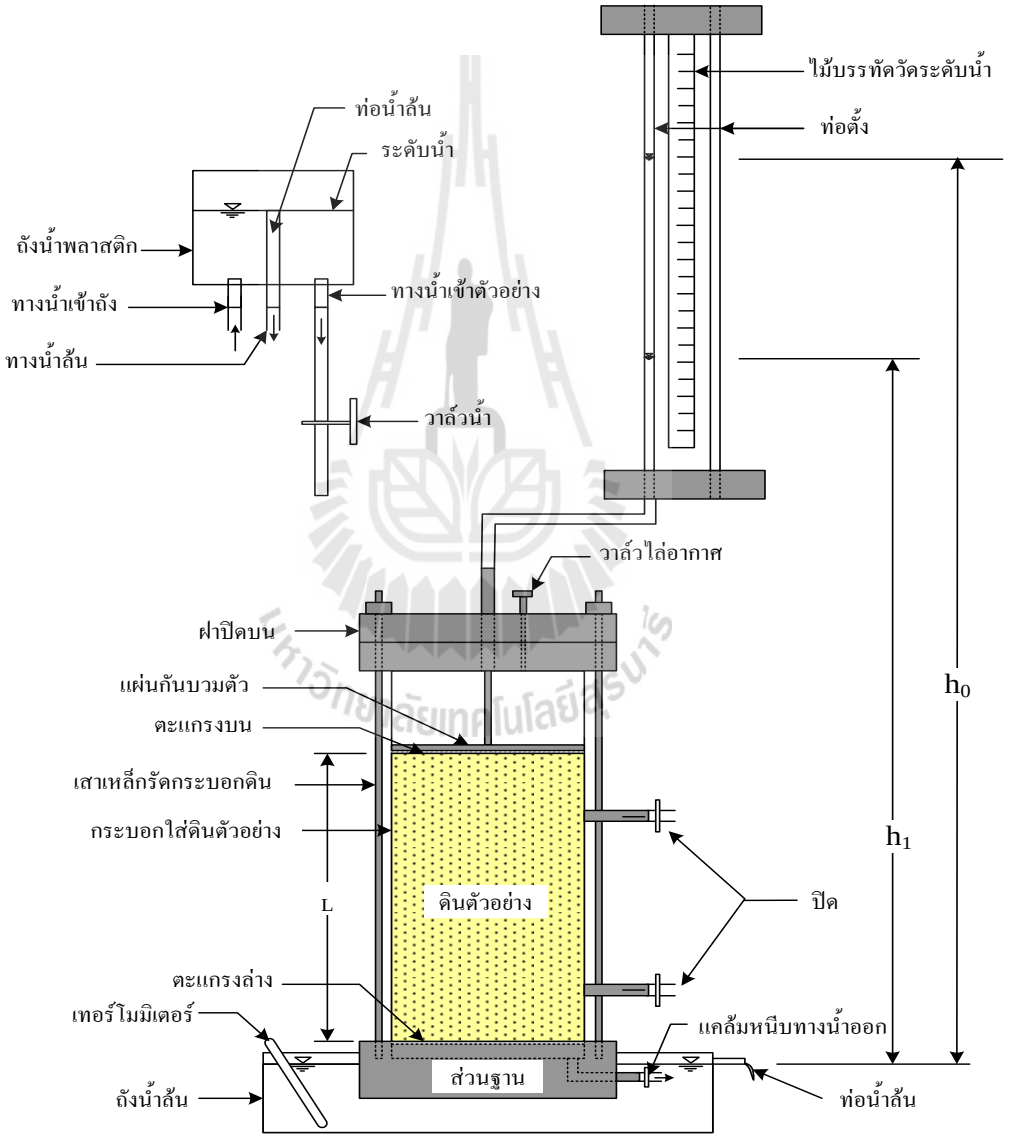
$$q = kiA = k(\frac{h}{L})A = -a\frac{dh}{dt} \qquad (2.14)$$

เมื่อ a คือพื้นที่หน้าตัดของหลอดน้ำท่อตั้ง L คือความยาวของดินตัวอย่าง h_0 คือเฮทความดันเริ่มต้นการทดสอบ h_1 คือเฮทความดันหลังสิ้นสุดการทดสอบ และ t คือเวลาที่ใช้ทั้งหมดที่ระดับน้ำในหลอดน้ำเคลื่อนที่จาก h_0 มายัง h_1 เมื่ออินทิเกรตสมการที่ 2.14 เทียบกับเวลาจะได้

$$\int_0^{t_1} dt = \int_{h_o}^{h_1} \frac{aL}{Ak} dt \left(\frac{-dh}{h} \right) \tag{2.15}$$

$$k = \frac{aL}{A(\Delta t)} \ln \left(\frac{h_0}{h_1} \right) \tag{2.16-ก}$$

$$k = 2.303 \frac{aL}{A(\Delta t)} \log \left(\frac{h_0}{h_1} \right) \tag{2.16-ข}$$



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์และลักษณะทดสอบการซึมผ่านแบบเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ

2.5 กรณีศึกษา

2.5.1 การพิจารณาอัตราการไหลตามแนวของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ชนิดระบายน้ำที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ต่ำ

Narejo (2005) ได้ศึกษาค่าอัตราการไหลของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ที่ความลาดเชิงชลศาสตร์เท่ากับ 0.1, 0.25, 0.5 และ 1.0 การทดสอบเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำที่ค่าความลาดเชิงชลศาสตร์ต่ำนั้นทำได้ค่อนข้างยาก การศึกษาจึงใช้ลักษณะผลทดสอบบนพื้นฐานของการวัดค่าจากการทดสอบปกติ แล้วนำไปคำนวณเป็นเป็นสมการการคำนวณค่าอัตราการไหลตามแนวที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ที่ต่ำได้โดยอาศัยความสัมพันธ์แบบไร้เชิงเส้นของกราฟ การคำนวณค่าอัตราการไหลตามแนวที่ความลาดเชิงชลศาสตร์ที่ต่ำสามารถแสดงดังสมการที่ 2.17

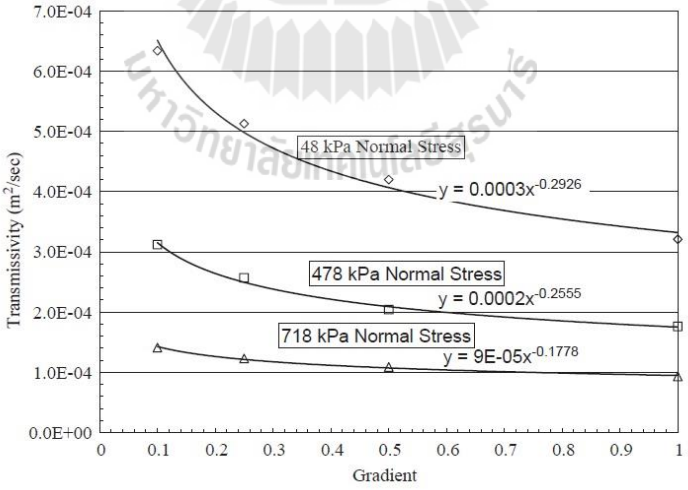
$$y = ax^b \tag{2.17}$$

โดยที่

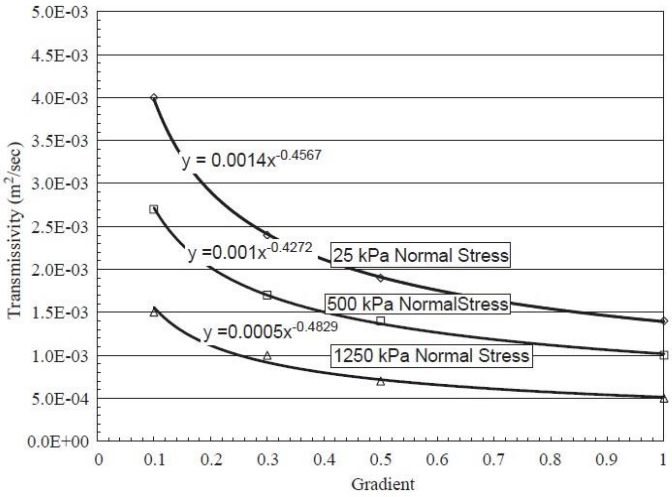
y คือ ค่าอัตราการไหลตามแนว

x คือ ความลาดเชิงชลศาสตร์

a และ b คือ ค่าคงที่จากความสัมพันธ์ของกราฟ



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของค่าการไหลตามแนวแกนกับความลาดเชิงชลศสาสตร์สำหรับแผ่น Geocomposites ชนิด Biplanar



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของค่าการไหลตามแนวแกนกับความลาดเชิงชลศาสตร์ สำหรับแผ่น Geocomposites ชนิด Triplanar

ตารางที่ 2.1 แสดงผลของการทดสอบที่วัดได้จริงโดยใช้ Pressure Transducer เป็นเครื่องมือวัดและค่าที่ได้จากผลการคำนวณจากสมการ ผลทดสอบพบว่าการไหลตามแนวที่ได้จากการคำนวณของตัวอย่าง A, B และ C มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบปกติและผลจากการคำควณ

Test no.	Calculated transmissivity at 0.02 gradient from the relationships in Fig. 4 (m^2/s)	Measured transmissivity, with gradient measured using pressure transducer (m^2/s)	% difference
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

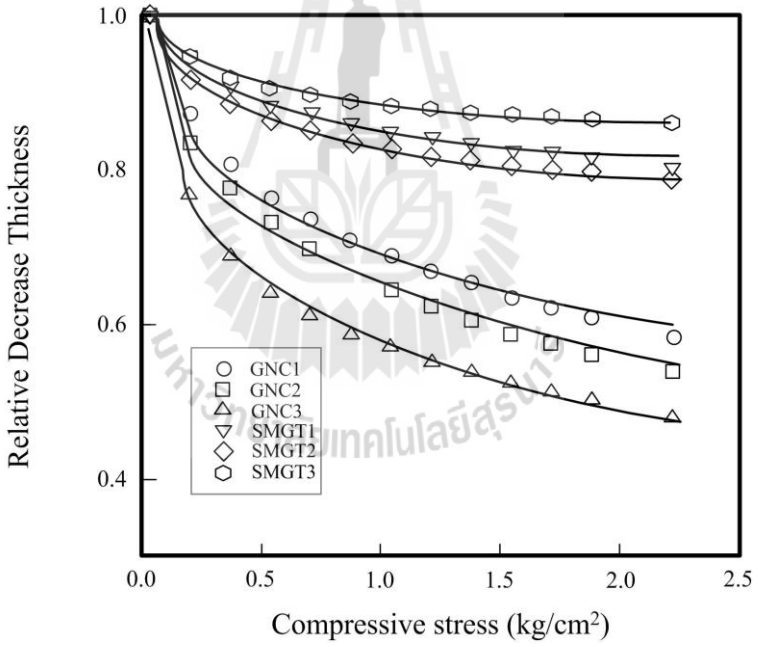
2.5.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการไหลของแผ่นวัสดุสังเคราะห์เสริมกำลังดินภายใต้ความเค้นหลักที่กดทับ

Jeon et al. (2003) ได้ศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลภายใต้ความหนาที่ลดลงของแผ่นวัสดุสังเคราะห์เสริมกำลังดิน เมื่อความเค้นหลักเพิ่มขึ้น โดยใช้แผ่นตัวอย่างคือ Smart Geotextile (SMGT) และ Geonet Composites (GNC) ที่ความหนาแตกต่างกัน และมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2.2 ผลทดสอบพบว่าเมื่อความหนาของแผ่นวัสดุต่างกัน ค่าอัตราการไหลตามแนวที่วัดได้

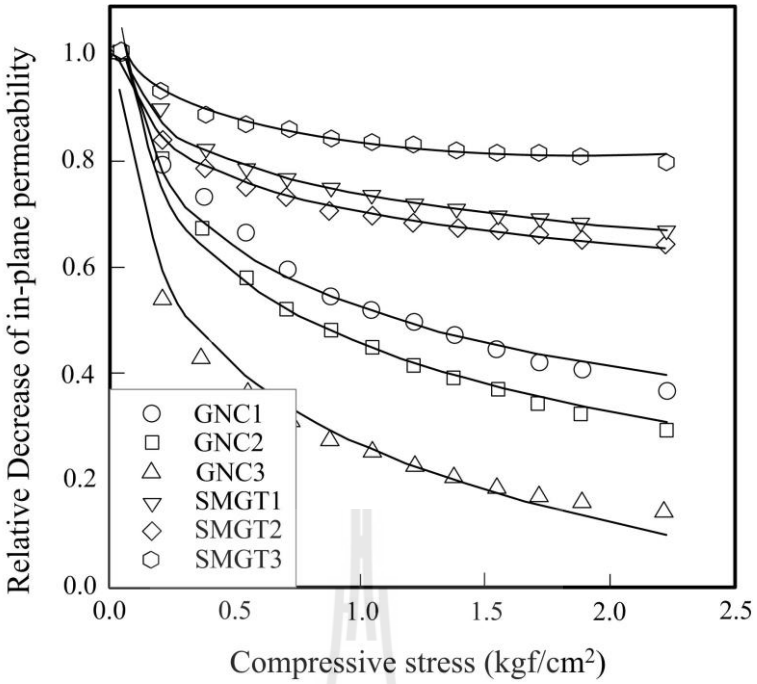
จะมีค่าไม่เท่ากัน ความหนาของแผ่นวัสดุจะลดลงตามความเค้นหลักที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับความหนาเริ่มต้นของตัวอย่างทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2.10 และยังพบว่าความหนาถูกลดลงตามความเค้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน และค่าอัตราการไหลตามแนวของตัวอย่างทดสอบลดลงด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และ 2.12 โดยที่ Smart Geotextile มีค่าที่ต่ำกว่า Geonet Composites

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของ Smart Geotextile และ Geonet Composites

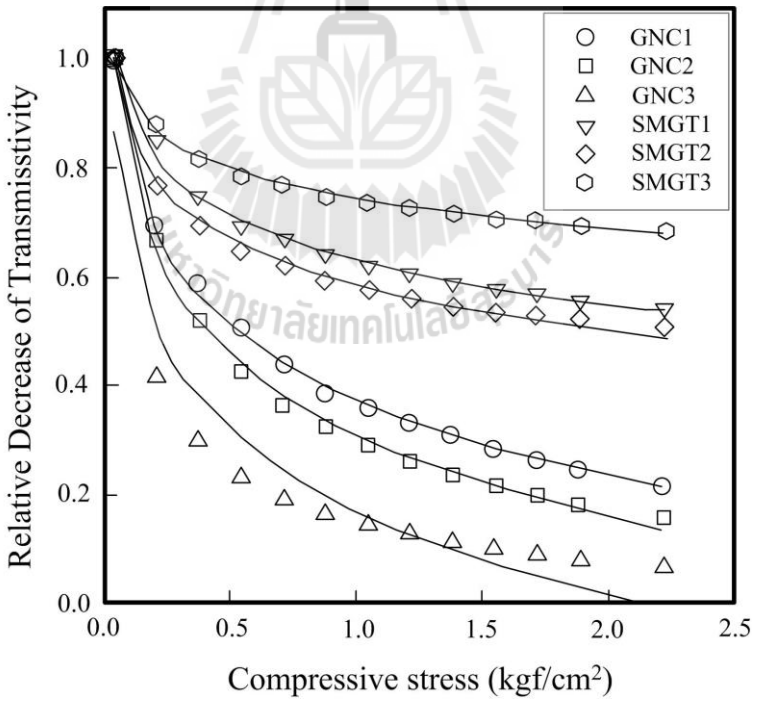
Geosynthetic for drainage		Thickness (mm)	Composition	Drainage layer
Smartgeotextiles	SMGT1	1.2	Non-woven/drainage layer/non-woven	20-1000 Denier waste PP or PET fiber used
	SMGT2	1.4		Accumulation by the web
	SMGT3	1.7		Pre-punched non-wovens
Geonet composites	GNC1	1.2	Non-woven/drainage core/non-woven	Two-layer HDPE core
	GNC2	1.5		
	GNC3	1.7		



รูปที่ 2.10 ความหนาที่เปลี่ยนแปลงต่อความเค้นที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างการทดสอบ



รูปที่ 2.11 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่ลดลงต่อความเค้นที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.12 ค่าอัตราการไหลตามแนวที่ลดลงต่อความเค้นที่เพิ่มขึ้น

2.5.3 การศึกษาลักษณะของค่าอัตราการซึมผ่านของแผ่นวัสดุเสริมแรงดินในห้องปฏิบัติการ

Raisinghani and Viswanadham (2010) ได้ศึกษาอัตราการซึมผ่านของแผ่นวัสดุเสริมแรงดิน โดยการทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงชนิดของดิน จำนวนชั้นแผ่นวัสดุ ผลกระทบเนื่องจากชั้นทรายรองพื้น และอิทธิผลความหนาของทรายรอง ค่าความเค้นหลักทดสอบเริ่มต้นที่ 50 kPa จนถึง 200 kPa เงื่อนไขการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2.3 ผลทดสอบพบว่าเมื่อความเค้นหลักเพิ่มขึ้น ค่าอัตราการซึมผ่านจะลดลง

ตารางที่ 2.3 เงื่อนไขการทดสอบ

Sr.No.	Test legend	Configuration details	Thickness of sand cushion t (mm)	Soil type	Geosynthetic 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	1L NWSC	10	B	NW	1
13	T23	1L NWSC	20	B	NW	1
14	T18	3L NW	0	B	NW	3
15	T19	3L NWSC	5	B	NW	3

โดยที่

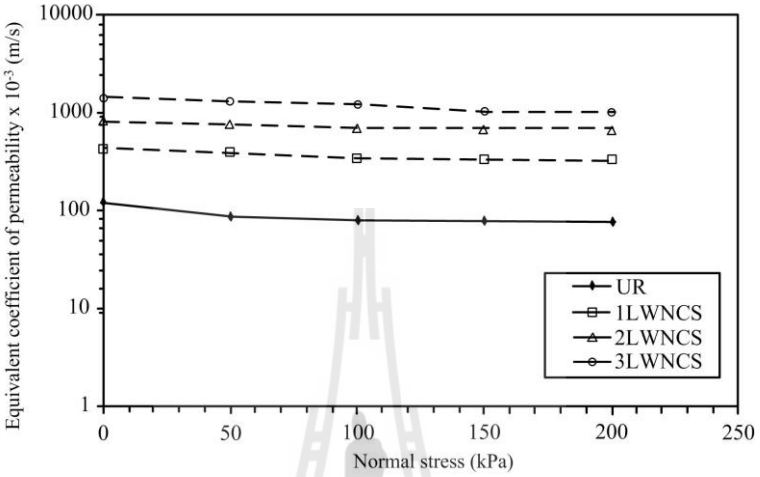
– คือไม่เสริมแผ่นวัสดุ

NW คือ เสริม Non woven Geotextile

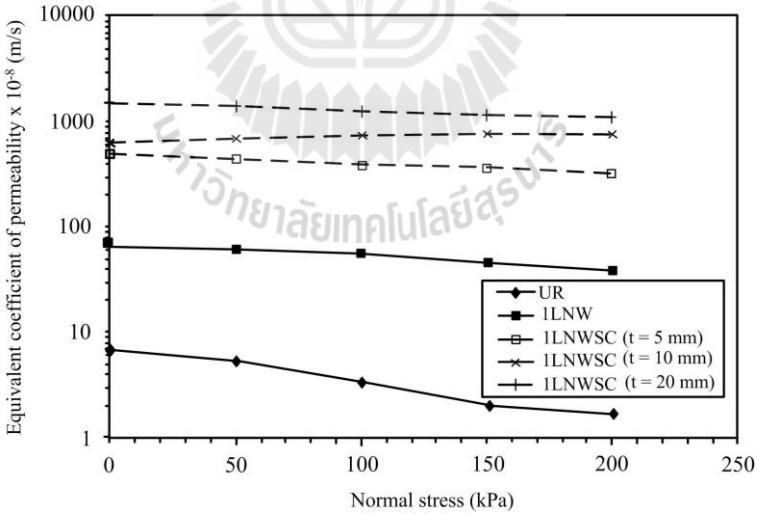
L คือ จำนวนชั้นที่ใช้

SC คือ เสริมชั้นทรายรอง

รูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นว่าเมื่อจำนวนชั้นการเสริมเพิ่มมากขึ้น การซึมผ่านของน้ำเป็นไปได้ง่าย เช่น การเสริมสามชั้นให้ค่าการซึมผ่านที่สูงกว่าการเสริมหนึ่งชั้นและสองชั้น รูปที่ 2.14แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของความหนาชั้นทรายรองที่ไม่ทึบน้ำมีผลต่อการซึมผ่านอย่างชัดเจน ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าจำนวนชั้นของการเสริมแผ่นวัสดุ และความหนาทรายมีผลต่อการซึมผ่านของน้ำ



รูปที่ 2.13 การเปรียบเทียบผลของจำนวนชั้นแผ่นวัสดุ



รูปที่ 2.14 การเปรียบเทียบผลของความหนาชั้นทราย

บทที่ 3
การพัฒนาเครื่องมือ

3.1 รายละเอียดและเทคนิค

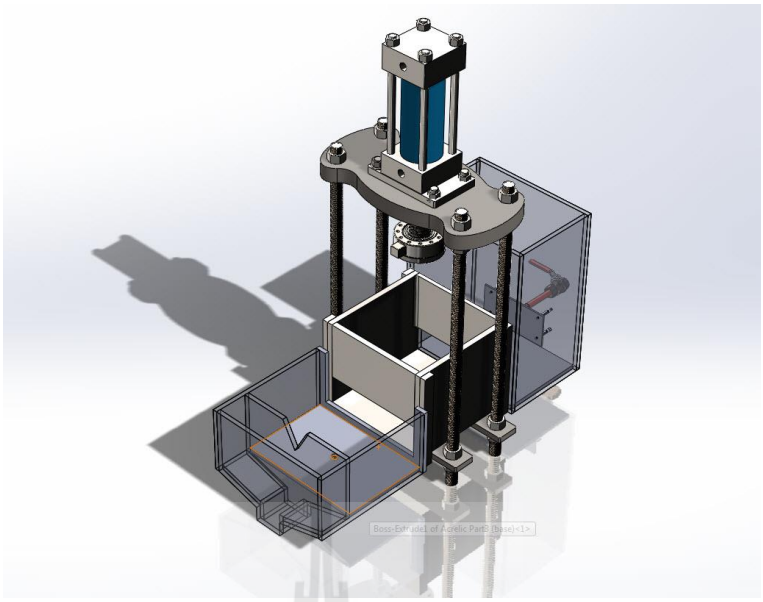
เครื่องต้นแบบทดสอบค่าการไหลตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ เป็นเครื่องที่ใช้ในการศึกษาอัตราการไหลในแนวยาวของวัสดุสังเคราะห์ต้นแบบ ซึ่งสามารถทดสอบทั้งในสภาวะที่มีหรือปราศจากดินโอบล้อมได้ในเครื่องเดียว เครื่องทดสอบจะทำงานโดยการจำลองความเค้นหลักที่แผ่นวัสดุจะได้รับเมื่อใช้งานจริงในภาคสนามตามคุณลักษณะจำเพาะของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ หรือตามค่าความเค้นที่ออกแบบไว้ในการใช้งานจริง ซึ่งเครื่องทดสอบจะสามารถคงที่ค่าความลาดชันเชิงชลศาสตร์โดยใช้หลักความแตกต่างของค่าความดันของเหลวที่ต้องการใช้ในการทดสอบ และบันทึกค่าอัตราการไหลที่ความเค้นต่างๆ เพื่อที่จะบันทึกค่าและนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในด้านกว้างของแผ่นวัสดุต้นแบบ

การทดสอบนี้จะครอบคลุมวิธีการพิจารณาค่าอัตราการไหลในด้านกว้างของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ ภายใต้ความเค้นคงที่และความเค้นต่างๆ ที่กดทับ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพิจารณาสภาพการไหลจริงในการใช้งานในภาคสนามของแผ่นวัสดุสังเคราะห์

กลไกการทดสอบของเครื่องมือการทดสอบค่าการไหลตามแนวของวัสดุสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลักคือ

1. กลไกการให้แรง ทำหน้าที่จำลองค่าความเค้นที่แผ่นวัสดุจะได้รับจริงในการใช้งานใน ส่วนของการให้แรงนั้นจะกระทำผ่านแผ่นระนาบและกดทับแผ่นวัสดุ โดยเครื่องให้แรงนั้นต้องสามารถให้ค่าความเค้นกับตัวอย่างได้ในช่วง 10–500 กิโลปาสคาล ด้วยค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 1

2. กลไกการไหลผ่าน ทำหน้าที่กำหนดความลาดชันเชิงชลศาสตร์โดยกำหนดความแตกต่างของระดับน้ำ และใช้เพื่อบันทึกค่าอัตราการไหลผ่านแผ่นวัสดุ โดยวัสดุที่ใช้งานในส่วนนี้ต้องเป็นวัสดุที่ไม่มีการรั่วซึมของน้ำ ความสูงต้องเพียงพอที่จะคงที่ค่าความแตกต่างของระดับของเหลวที่กำหนดค่าความลาดชันเชิงชลศาสตร์ได้ ดังแสดงในรูป 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องต้นแบบทดสอบค่าการไหลตามแนวของวัสดุ

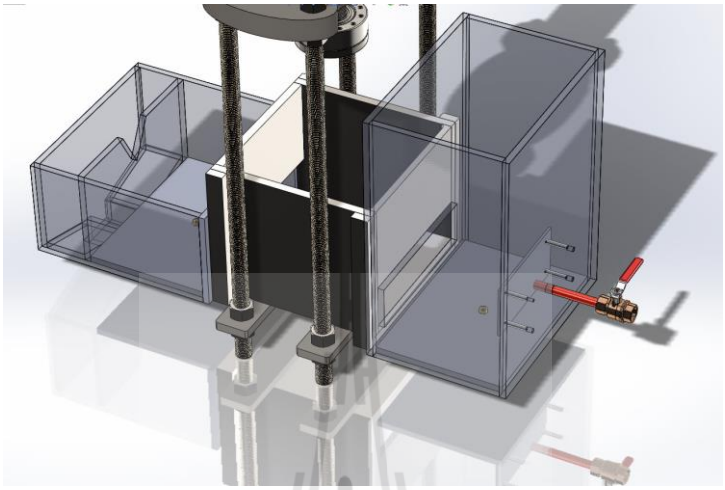
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

องค์ประกอบของเครื่องต้นแบบทดสอบค่าการไหลตามแนวของวัสดุ ประกอบด้วย

ก. ฐานรองรับวัสดุ ภายในด้านข้างและด้านล่างเป็นแผ่นเหล็กเรียบ ซึ่งขนาดของฐานจะต้องเพียงพอสำหรับขนาดของวัสดุทดสอบที่กำหนดในมาตรฐาน ระหว่างผิวสัมผัสจะต้องไม่เกิดการรั่วซึมของน้ำเมื่อน้ำไหลผ่านตัวอย่างขณะทำการทดสอบ ดังแสดงในรูป 3.2.1

รูปที่ 3.2.1 ฐานรองรับวัสดุทดสอบ

ข. อ่างเก็บน้ำ เป็นพลาสติกที่มีขนาดเต็มความกว้างของฐานรองรับวัสดุเพื่อให้น้ำที่ผ่านตัวอย่างทดสอบไหลได้เต็มความกว้างของแผ่นวัสดุ ความสูงอย่างน้อยเท่ากับความยาวรวมของตัวอย่างทดสอบและต้องสามารถคงที่ระดับน้ำที่ระดับต่างๆ ได้ ดังแสดงในรูป 3.2.2

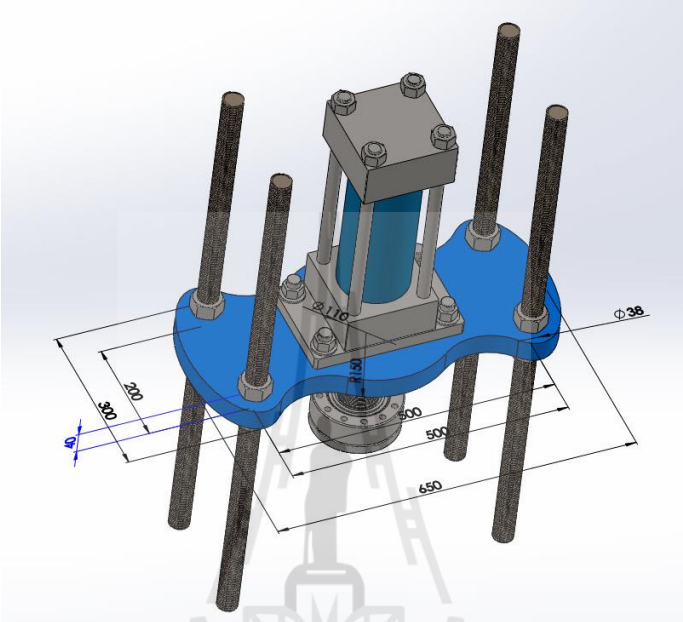


รูปที่ 3.2.2 ชุดอ่างเก็บน้ำ

ค. กลไกการให้แรง เป็นแม่แรงไฮโดรลิคที่สามารถจำลองความเค้นที่เกิดขึ้นต่อแผ่นวัสดุสังเคราะห์ ซึ่งอุปกรณ์ให้แรงต้องให้ความเค้นคงที่ได้ในช่วง 10-500 กิโลปาสคาล ในพื้นที่รับแรง 305x305 มิลลิเมตร โดยความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ไม่เกินร้อยละ 1 ดังแสดงในรูป 3.2.3

รูปที่ 3.2.3 แม่แรงไฮโดรลิค

ง. ชุดฐานติดตั้งแม่แรงไฮโดรลิค เป็นแผ่นเหล็กที่สามารถรองรับน้ำหนักของแม่แรงได้ ติดตั้งอยู่บนเสาเหล็กเกลียวที่มีความสูงเพียงพอสำหรับชุดแม่แรง และสามารถปรับระดับความสูงต่ำของแผ่นเหล็กที่ติดตั้งแม่แรงได้ โดยระดับของแผ่นเหล็กนั้นต้องอยู่ในระดับที่เสมอกันทั้งด้านยาวและด้านกว้าง ดังแสดงในรูป 3.2.4

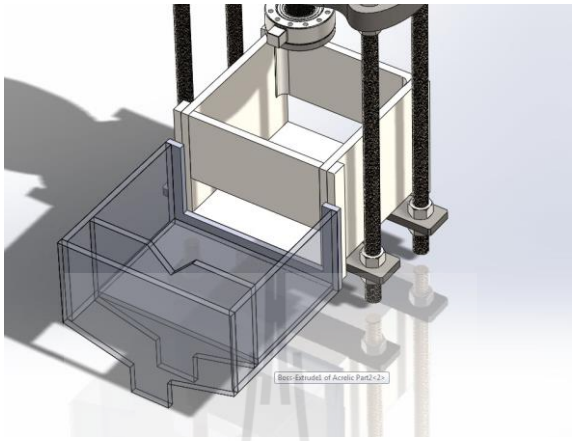


รูปที่ 3.2.4 ชุดฐานติดตั้งแม่แรงไฮโดรลิค

จ. อุปกรณ์ควบคุมการให้แรง ต้องสามารถควบคุมค่าการให้แรงได้อย่างสม่ำเสมอและต้องคงที่แรงได้เมื่อถึงค่าที่กำหนดไว้ โดยการแสดงผลของหน้าจอเป็นแบบดิจิตอลเพื่อทำการตั้งค่าและอ่านค่าได้อย่างแม่นยำ ดังแสดงในรูป 3.2.5

รูปที่ 3.2.5 อุปกรณ์ควบคุมการให้แรง

ฉ. อ่างการไหลออก เป็นพลาสติกที่มีขนาดเต็มความกว้างของฐานรองรับวัสดุในด้านการไหลออกของน้ำที่ผ่านตัวอย่าง โดยความสูงของอ่างนั้นจะต้องสูงกว่าผิวของตัวอย่างทดสอบที่วางติดตั้งในฐานรองรับ ดังแสดงในรูป 3.2.6



รูปที่ 3.2.6 อ่างการไหลออกของน้ำ

ช. ชุดโครงสร้างเหล็กรองรับเครื่องทดสอบ เป็นโครงเหล็กที่สามารถติดตั้งเครื่องทดสอบได้โดยมั่นคงและไม่เกิดการสั้นสะเทือน หรือเสียรูปขณะติดตั้งและขณะทำการทดสอบ ดังแสดงในรูป 3.2.7

รูปที่ 3.2.7 ชุดโครงสร้างเหล็กรองรับเครื่องทดสอบ

3.3 การเลือกพารามิเตอร์ในการทดสอบ

ก. การเลือกความลาดชันในเชิงชลศาสตร์ วัสดุที่ใช้ทดสอบนั้นจะถูกกำหนดคุณลักษณะจำเพาะที่ต้องใช้ไว้ครบถ้วน ในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ให้ใช้ค่าตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้ 0.05, 0.1, 0.25, 0.5 และ 1.0

สำหรับการทดสอบที่ต้องการประสิทธิภาพที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริงในภายหลัง จำเป็นต้องทราบคุณลักษณะจำเพาะที่แท้จริงของภาคสนาม กรณีที่ไม่ทราบให้ใช้ค่าตามเงื่อนไขต่อไปนี้

– ความลาดชันเชิงชลศาสตร์ที่น้อยสุดเท่ากับ 1.0 สำหรับการไหลเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

– ความลาดชันเชิงชลศาสตร์น้อยสุดเท่ากับ 0.1 สำหรับการไหลเนื่องจากแรงดัน

ข. การเลือกใช้ค่าความเค้น วัสดุที่ใช้ทดสอบนั้นจะถูกกำหนดคุณลักษณะจำเพาะที่ต้องใช้ไว้ครบถ้วน ในกรณีที่ไม่ได้ระบุไว้ให้ใช้ค่าตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้ 10, 25, 50, 100, 250 และ 500 กิโลปาสคาล

3.4 ขั้นตอนการใช้งานและการทดสอบ

ก. วางแผ่นวัสดุทดสอบที่บริเวณชั้นล่างของฐานรองรับตัวอย่าง โดยส่วนที่เป็นบริเวณที่ถูกติดตั้งตัวอย่างทดสอบ ผิวสัมผัสของส่วนดังกล่าวควรที่จะกันน้ำรั่วซึม เพื่อให้การไหลผ่านบริเวณที่ทำการทดสอบมีประสิทธิภาพ

ข. เปิดเครื่องควบคุมการให้แรง และเตรียมป้อนค่าแรงที่ต้องการใช้ในการทดสอบที่เครื่องควบคุม โดยค่าที่ถูกป้อนลงไปจะแสดงในหน้าจอดิจิตอล

ค. ปล่อยน้ำใส่ในอ่างเก็บน้ำในระดับที่เพียงพอต่อการคงที่ค่าความลาดชันเชิงชลศาสตร์

ง. ให้แรงต่อตัวอย่างทดสอบด้วยความเค้นกดทับเล็กน้อย ผ่านแผ่นเหล็กที่ใช้กดทับแผ่นตัวอย่างด้วยค่า 5–10 กิโลปาสคาล และเพิ่มระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำช้าๆ เพื่อปล่อยให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างจนเข้าสู่สภาวะที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ขณะทดสอบ ตัวอย่างต้องอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำอยู่ตลอดเวลา

จ. หลังจากกดแผ่นวัสดุตัวอย่างด้วยความเค้นต่ำเป็นเวลา 15 นาทีแล้ว ทำการเพิ่มแรงผ่านเครื่องควบคุมเพื่อให้ได้ค่าความเค้นตามต้องการ และเพิ่มระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้ตรงกับความลาดชันเชิงชลศาสตร์ที่เลือกใช้ในการทดสอบ

ฉ. ปล่อยให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างทดสอบเป็นปริมาตรอย่างน้อย 0.0005 ลบ.ม. บันทึกเวลาการไหลหลังจากที่น้ำไหลผ่านตัวอย่างทดสอบไปแล้ว (ในปริมาณ 0.0005 ลบ.ม.) เมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที ให้บันทึกปริมาณการไหลสะสมในเวลา 15 นาที เพื่อคำนวณอัตราการไหลของน้ำที่ส่งผ่าน หลังจากนั้นให้ทำการทดสอบในขั้นตอนนี้ซ้ำอีกอย่างน้อย 3 ครั้ง

ช. เพิ่มค่าความเค้นและทำการทดสอบซ้ำตามขั้นตอน จ.– ฉ. จนกระทั่งถึงค่าความเค้นสูงสุดที่ต้องการใช้ในการทดสอบ

3.5 การคำนวณ

อัตราการไหลเฉลี่ยคำนวณได้ดังนี้

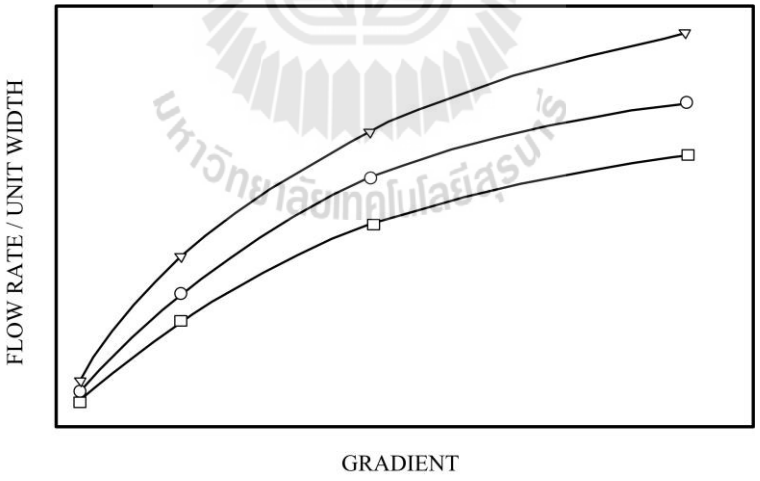
$$q_w = \frac{Q_t}{W} \tag{3.1}$$

q_w คืออัตราการไหลที่ส่งผ่านตัวอย่าง (ลบ.ม / วินาที – เมตร)

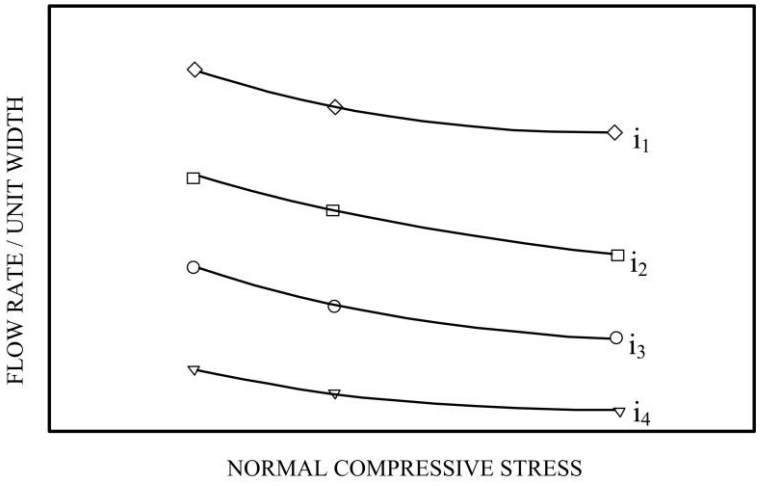
Q_t คือการวัดปริมาตรของน้ำเทียบกับเวลา โดยใช้ค่าเฉลี่ย (ลบ.ม / วินาที)

W คือความกว้างของตัวอย่างทดสอบ (เมตร)

ผลการทดสอบจะถูกแสดงในรูปแบบกราฟโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความลาดชันเชิงชลศาสตร์ หรือค่าความเค้นที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในรูป 3.5.1 และ 3.5.2 ตามลำดับ



รูปที่ 3.5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความลาดชันเชิงชลศาสตร์



รูปที่ 3.5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและค่าความเค้นหลัก

การคำนวณอัตราการส่งผ่านทางชลศาสตร์

$$\theta = \frac{R_t Q_t L}{WH} \tag{3.2}$$

θ คืออัตราการส่งผ่านทางชลศาสตร์ (ตร.ม. / วินาที)

R_t คือค่าปรับแก้อุณหภูมิ (ตารางที่ 1)

Q_t คือผลเฉลี่ยของการวัดปริมาตร เทียบกับเวลา (ลบ.ม / วินาที)

L คือความยาวของตัวอย่างทดสอบที่ถูกกระทำภายใต้ความเค้น (เมตร)

W คือความกว้างของตัวอย่างทดสอบ (เมตร)

H คือค่าผลต่างของความดัน (เมตร)

ตารางที่ 3.1 ค่าการปรับแก้อุณหภูมิ

Temperature C	R_t
19	1.025
20	1.000
21	0.976
22	0.953
23	0.931

$R_t = (-0.0234T) + 1.4687$

Where T = temp. C

3.6 บทสรุป

เครื่องต้นแบบทดสอบค่าการไหลตามแนวของวัสดุสังเคราะห์ เป็นเครื่องที่ใช้ในการศึกษาอัตราการไหลในแนวกว้างของวัสดุสังเคราะห์ต้นแบบ ซึ่งอาศัยหลักการจำลองความเค้นหลักที่แผ่นวัสดุจะได้รับเมื่อใช้งานจริงในภาคสนามตามคุณลักษณะจำเพาะของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ เครื่องตนแบบดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นมาให้สามรถใช้งานได้ง่ายและมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือสูง กลไกหลักของเครื่องทดสอบนี้แบ่งเป็นหลักๆ อยู่ 2 ส่วนคือ 1) กลไกการให้แรง จะประกอบด้วยแม่แรงไฮโดรลิค และชุดเครื่องควบคุมการให้แรง รวมทั้งแผ่นเหล็กสำหรับติดตั้ง และ 2) กลไกการไหลผ่าน ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลและกำหนดความลาดชันเชิงชลศาสตร์ได้

วัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาเครื่องต้นแบบทดสอบค่าการไหลตามแนวแกนคือ สามารถทดสอบและวิเคราะห์ผลค่าการไหลในด้านกว้างของแผ่นวัสดุสังเคราะห์ ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเสียในกรณีที่จ้างหน่วยงานอื่นเพื่อให้ได้มาซึ่งผลการทดสอบ เพราะการทดสอบแต่ละครั้งจำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นมูลค่าที่ค่อนข้างสูง และนักศึกษาของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สามารถใช้เพื่อศึกษาสำหรับงานวิจัยและใช้ในการทดสอบคุณสมบัติดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลที่ได้จากการทดสอบสำหรับเครื่องทดสอบค่าการไหลตามแนว หลังจากทดลองทำการทดสอบนั้นผลที่ได้นั้นมีประสิทธิภาพเชื่อถือได้ เนื่องจากเครื่องทดสอบนั้นได้พัฒนาขึ้นมาโดยหลักมาตรฐานและใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มรคุณภาพเชื่อถือได้ ซึ่งในภายภาคหน้าอาจนำไปประยุกต์เพื่อสร้างงานวิจัยที่เป็นนวัตกรรมในการพัฒนาต่อไป

รายการอ้างอิง

สุขสันติ หอพิบูลสุข และรุ้งลาวัลย์ ราชัน (2554). **ปฐพีกลศาสตร์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แมคกรอ–ฮิล.

American Society of Testing and Materials (ASTM) (1989). **Annual Book of ASTM Standards**, Section 4, Construction, Vol. 04.08 Soil and Rock; Building Stones, Philadelphia, 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 Mechanic, 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 Mechanic, john Wiley & son, New york.