อิทธิพลของวัสดุป้องกันการกัดเซาะและพืชพรรณต่อพารามิเตอร์การกัดเซาะของดิน จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

Influence of Erosion Control Materials and Plant to Erodibility Parameters Implemented by Laboratory Submerged Jet Erosion Test

สุรัติ เส็มหมัด[1,*] จิดาภา โพธิ์ทอง[2] ปาณิศา ไตรยศ[2] สลิลทิพย์ อ่อนหนองหว้า[2] และ อภินิติ โชติสังกาศ[2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย
[2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
**Corresponding author; E-mail address: surat_se@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

การกัดเซาะเป็นจุดเริ่มต้นของการพิบัติทางธรณีเทคนิคหลาย ๆ รูปแบบ เช่น ดินถล่ม การพิบัติของเขื่อนจากการกัดเซาะภายใน รวมถึงการถดถอยของตลิ่งแม่น้ำ ส่งผลกระทบอย่างมากต่อชีวิตและทรัพย์สิน ปัจจุบันได้มีการใช้พืชพันธุ์ร่วมกับวิธีทางวิศวกรรมเพื่อป้องกันและแก้ปัญหาการกัดเซาะอย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบการกัดเซาะโดยใช้เครื่องมือ Submerged jet device ตัวอย่างดินแบบเปลี่ยนสภาพจากทางหลวงมอเตอร์เวย์หมายเลข 7 กรุงเทพฯ – พัทยา ถูกเก็บมาทำการทดสอบการกัดเซาะด้วยเครื่องมือ Submerged jet device เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของการกัดเซาะของดิน (หน่วยแรงเฉือนวิกฤตและสัมประสิทธิ์การกัดเซาะ) โดยทำการทดสอบทั้งกรณีสภาพดินเปลือยและดินที่ถูกปกคลุมด้วยวัสดุป้องกันการกัดเซาะ เช่น ผ้าห่มดินและแผ่นป้องกันการกัดเซาะ รวมถึงการปกคลุมด้วยหญ้ารูซี่และหญ้าแพรก ผลการทดสอบพบว่า หน่วยแรงเฉือนวิกฤตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีการปกคลุมหน้าดินด้วยวัสดุป้องกันการกัดเซาะ อีกทั้ง การมีหญ้ารูซี่และหญ้าแพรกปกคลุมดินเป็นตัวช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะของดิน ผลการทดสอบบ่งชี้ถึงประสิทธิผลที่ดีของวิธีการใช้พืชพันธุ์ร่วมกับวิธีทางวิศวกรรมในการป้องกันและลดความรุนแรงของการกัดเซาะ

คำสำคัญ: การกัดเซาะ, submerged jet test, ชีววิศวกรรมปฐพี, วัสดุป้องกันการกัดเซาะ, หญ้ารูซี่

Abstract

Erosion can cause many geotechnical problems, such as landslides, piping failure in dams, as well as riverbank retreat, which provides a huge impact on life and property. Currently, vegetation has been used in conjunction with engineering methods, namely soil-bioengineering, for preventing and controlling erosion effectively. In this study, submerged jet erosion tests were conducted to determine erodibility parameters (critical shear stress and erodibility coefficients) with soil samples collected from Motorway 7 (Bangkok-Pattaya). The erosion testing was carried out on the bare soil samples and covered by erosion control materials (erosion control blanket and erosion control mat), including transplanted by Ruzi and Bermuda grass. The results showed that critical shear stress significantly increased when covering the soil with erosion control materials, and the presence of Ruzi and Bermuda grass can also reduce the erodibility coefficient. The study results can imply the good effectiveness of how the soil bioengineering approach is used to prevent and reduce the severity of erosion.

Keywords: erosion, submerged jet test, soil-bioengineering, erosion control material, ruzi grass

1. บทนำ

ปัญหาดินถล่มในปัจจุบันได้มีผลกระทบอย่างมากต่อการใช้งานในพื้นที่ต่าง ๆ อาทิ การใช้พื้นที่เพื่อการเกษตรกรรม การใช้ถนน หรือบ้านเรือนต่าง ๆ ซึ่งใกล้กับพื้นที่สูงชันและใกล้ริมน้ำ จากปัญหาที่กล่าวมานี้ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงค่อนข้างสูง ปัจจุบันได้ทำการศึกษาการปรับปรุงเสถียรภาพของลาด (Slope stabilization) โดยได้นำพืชพรรณมาประยุกต์กับวิธีทางวิศวกรรมปฐพี (Soil bioengineering) เพื่อแก้ปัญหา ซึ่งเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับธรรมชาติอย่างยั่งยืน และยังเป็นการประยุกต์ใช้วัสดุในพื้นที่ พืชพรรณที่ปลูกบนลาดดินมีแนวโน้มที่ทำให้ความแข็งแรงโดยรวมของลาดดินเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา เนื่องจากรากพืชได้หยั่งลึกลงไปในดิน โดยวิธีที่กล่าวมาข้างต้นมีราคาถูกกว่าโครงสร้างทางวิศวกรรม โดยทั่วไปจะเสื่อมสภาพไปตามเวลา (Limited life structure)

การกัดเซาะเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลดินด้วยแรงดันหรือแรงทางชลศาสตร์ [1] โดยเป็นจุดเริ่มต้นที่จะนำไปสู่การสูญเสียเสถียรภาพของลาดดิน การกัดเซาะจะเกิดขึ้นเมื่อหน่วยแรงเฉือนที่กระทำต่อตลิ่งมีค่าเกินกว่าค่าความต้านทานการกัดเซาะของดิน สมการในการคำนวณค่าอัตราการกัดเซาะของดินเม็ดเนื่องจากการไหลของน้ำถูกนำเสนอโดยนักวิจัยหลายท่าน [2-6] ได้แสดงในสมการที่ 1

$$\varepsilon = k_d(\tau - \tau_c)^a \quad (1)$$

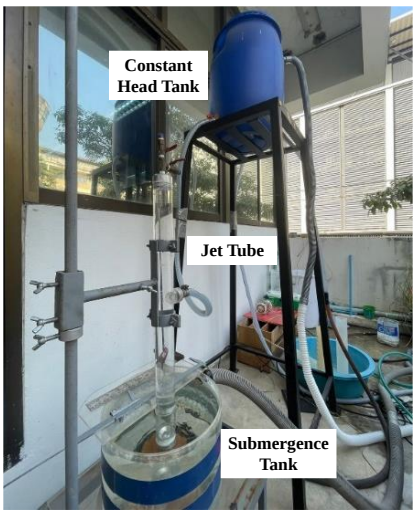
เมื่อ ε คืออัตราการกัดเซาะ (Erosion rate, m/s), k_d คือสัมประสิทธิ์การกัดเซาะ (Erodibility coefficient, $m^3/N.s$), τ คือค่าหน่วยแรงเฉือนที่ขอบ (Boundary shear stress, Pa), τ_c คือหน่วยแรงเฉือนวิกฤตของดิน (Critical shear stress, Pa), และ a คือค่ายกกำลังเอกซ์โพเนนเชียล โดยทั่วไปแล้ว พิจารณาให้เป็น 1 พารามิเตอร์การกัดเซาะของดินเป็นตัวแปรสำคัญที่สามารถบอกถึงความสามารถในการต้านทานการกัดเซาะได้ ประกอบไปด้วยค่าหน่วยแรงเฉือนวิกฤตและค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะของดิน พารามิเตอร์ทั้งสองนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่าง ทั้งทางด้านปัจจัยทางกายภาพ เช่น พิกัดเหลว [7] และ ปริมาณตะกอนทราย-ดินเหนียว [8]

การวัดค่าพารามิเตอร์การกัดเซาะสามารถทำได้โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Submerged Jet Device ซึ่งถูกพัฒนาโดย [6] การทดสอบลักษณะนี้เป็นที่นิยมมากกว่าการทดสอบในรางน้ำเปิด (Flume Study) เนื่องจากสามารถใช้ทดสอบตัวอย่างดินในสนาม อย่างไรก็ตาม งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการพัฒนาเครื่องมือให้สามารถทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อความสะดวกในการเตรียมตัวอย่างและทดสอบ โดยทำการทดสอบทั้งในสภาพดินที่มีและไม่มีการปกคลุมผิวดินด้วยแผ่นป้องกันการกัดเซาะเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการป้องกันลาดดิน

2. การทดสอบการกัดเซาะ

เครื่องมือทดสอบการกัดเซาะ Submerged jet device ได้ถูกดัดแปลงเพื่อให้สามารถทดสอบดินเปลี่ยนสภาพในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักที่สำคัญได้แก่ Submerged tank Acyclic tube และ Constant head storage ดังแสดงในรูปที่ 1 หลักการทำงานของเครื่องมือทดสอบนี้ใช้ Constant head storage ในการให้กำเนิดการไหลแบบ Jet flow ผ่านช่องเปิดขนาดเล็ก ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของแรงดันน้ำและหน่วยแรงเฉือนกระทำต่อผิวดิน ในขณะทดสอบสามารถวัดค่าระยะการกัดเซาะโดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ หน่วยแรงเฉือนวิกฤต (Critical shear stress) สามารถคำนวณจากระยะการกัดเซาะสมดุล (Equilibrium scour depth) แสดงดังสมการที่ 2 ซึ่งเป็นระยะสูงสุดที่ดินไม่สามารถถูกกัดเซาะ

เมื่อ τ_o คือหน่วยแรงสูงสุดที่ช่องเปิด (Maximum stress at the nozzle, Pa), J_P คือระยะที่หน่วยแรงเฉือนคงที่ (Potential core length, m), J_e คือระยะการกัดเซาะสมดุล (Equilibrium jet scour depth, m), C_d คือสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion constant = 6.3), d_o คือขนาดของช่องเปิด Orifice (Jet nuzzle diameter, m), C_f คือสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Coefficient of friction = 0.00416), U_o คือความเร็วของน้ำบริเวณช่องเปิด (Velocity at nuzzle, m/s), h คือส่วนต่างของระดับน้ำ (Differential head, m)



รูปที่ 1 Submerged jet device ในห้องปฏิบัติการ

$$\tau_c = \tau_o \left(\frac{J_P}{J_e}\right)^2 \quad (2)$$

$$J_P = C_d d_o \quad (3)$$

$$\tau_c = \rho C_f U_o^2 \quad (4)$$

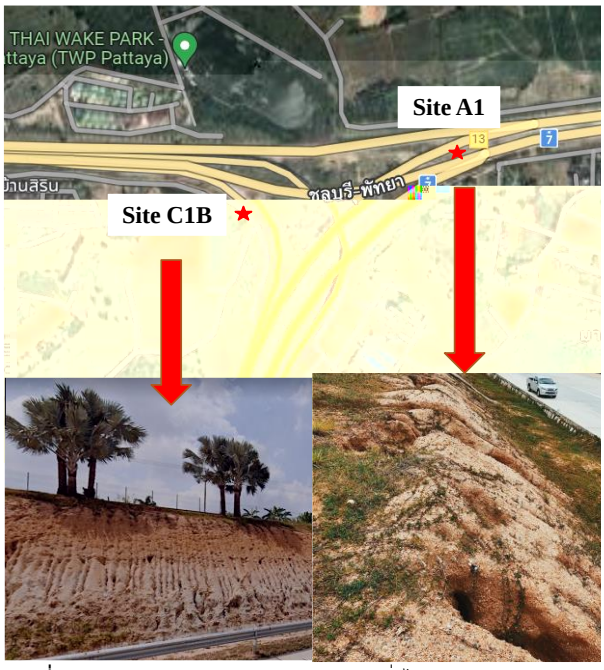
$$U_o = \sqrt{2gh} \quad (5)$$

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างดินแปลี่ยนสภาพถูกเก็บมาจากบริเวณคันทางมอเตอร์เวย์ทางหลวงหมายเลข 7 กรุงเทพฯ-พัทยา (รูปที่ 2) เพื่อนำทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆ ประกอบด้วย การจำแนกดิน (Soil Classification ASTM D2487, Unified Soil Classification System, USCS) ดังแสดงในตารางที่ 1 และค่าพารามิเตอร์การกัดเซาะ (Erodibility parameters) เพื่อประเมินแนวทางการป้องกันการกัดเซาะ

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือเพื่อให้สามารถนำมาใช้ในการทดสอบการกัดเซาะในห้องปฏิบัติการได้ ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบถูกนำมาเตรียมด้วยวิธีการบดอัดดินแบบ Static compaction กำหนดความหนาแน่นเท่ากับความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density) โดยใช้โมลอะคริลิคทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11.84 cm สูง 8.06 cm (ปริมาตร 886.55 cm^3) การเตรียมตัวอย่างดินได้กำหนดปริมาตรคงที่ และแบ่งชั้นการบดอัดเป็น 3 ชั้น และทำการทดสอบซ้ำ 2 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่างของการทดสอบ

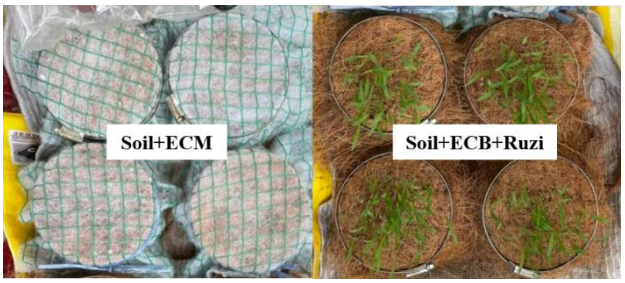
ในกรณีของการทดสอบการกัดเซาะสำหรับดินที่ถูกปกคลุมด้วยผลิตภัณฑ์ป้องกันการกัดเซาะเช่น Erosion control blanket (ผ้าห่มดิน) และ Erosion control mat ตัวอย่างดินหลังจากการบดอัดถูกปกคลุมด้วยวัสดุป้องกันการกัดเซาะ และปลูกหญ้ารูซี่ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 ตำแหน่งของตัวอย่างดินและลักษณะทั่วไปของปัญหาการกัดเซาะลาดดิน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานของดิน

Property	Site A1	Site C1B
Specific Gravity	2.62	2.70
#200 Passing	18.41	32.09
Liquid Limit (%)	31.4	31
Plastic Limit (%)	14.78	22.63
Plasticity Index (%)	16.62	8.37
Unified Soil Classification System	SC	SC
Maximum Dry Density (g/cm^3)	2.07	1.86
Optimum Water Content (%)	9.66	14.23



รูปที่ 3 ตัวอย่างดินและการปกคลุมด้วยผลิตภัณฑ์ป้องกันการกัดเซาะ

2.2 การคำนวนค่าพารามิเตอร์การกัดเซาะทดสอบการกัดเซาะโดยวิธี Submerged jet test

ค่าหน่วยแรงเฉือนวิกฤตของดินคำนวณจากการพล็อตข้อมูลจากการทดสอบ (สมการที่ 6-7) ร่วมกับการหาค่าความคลาดเคลื่อนน้อยสุดโดยการทำ Optimization เพื่อหาค่าระยะการกัดเซาะสมดุล (Equilibrium scour depth, J_e) โดยการกำหนดค่า A และ f_o เริ่มต้นเท่ากับ 1

$$x = [(f - f_o)^2 - A^2]^{0.5} \quad (6)$$

$$f = \log[J/d_o] - \log[(U_o t)/d_o] \quad (7)$$

โดยที่ $f_o = \log(J_e/d_o)$ และ $x = \log[(U_o t)/d_o]$ ค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะของดินถูกคำนวณหลังจากทราบค่าหน่วยแรงเฉือนวิกฤตของดินแล้ว สมการที่ 8 แสดงสมการในรูปแบบไร้มิติ (Dimensionless equation) ได้มาจากการผสมผสานสมการพื้นฐานของการกัดเซาะ (สมการที่ 1) ร่วมกับการทดสอบการกัดเซาะโดยใช้เครื่องมือ Submerged jet device การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะของดินทำได้โดยการทำ Optimization ของข้อมูลจากการทดสอบร่วมกับสมการที่ 8 โดยการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะของดินเริ่มต้นและเปลี่ยนแปลงค่าจนได้ค่า RMS น้อยที่สุด และทำการคำนวณซ้ำตั้งแต่เริ่มต้นโดยใช้ค่าพารามิเตอร์การกัดเซาะทั้งสองจากผลการคำนวณก่อนหน้าเป็นค่าเริ่มต้นของการคำนวณครั้งถัดไปจนกว่าผลการคำนวณเสถียร [9]

$$T^* = 0.5 \ln\left(\frac{1+J^*}{1-J^*}\right) - J^* - 0.5 \ln\left(\frac{1+J_p^*}{1-J_p^*}\right) + J_p^* + \frac{{J_p^*}^3}{1-{J_p^*}^2} \quad (8)$$

$$J^* = J/J_e \quad (9)$$

$$T^* = t_m/T_r \quad (10)$$

$$T_r = J_e/k_d \tau_c \quad (11)$$

$$J_p^* = J_p/J_e \quad (12)$$

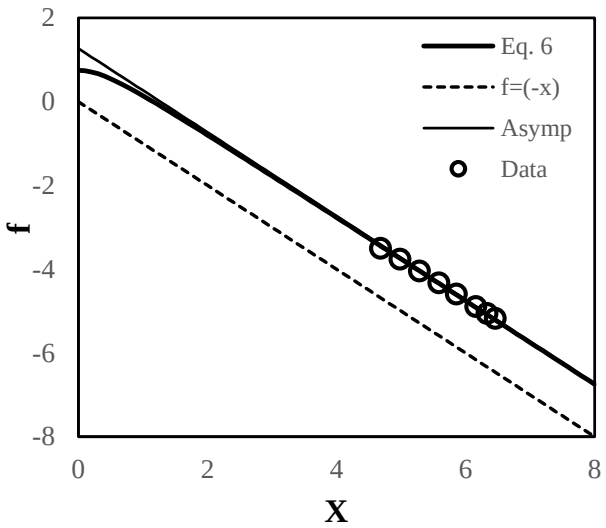
เมื่อ J คือระยะการกัดเซาะในแต่ละรอบการทดสอบ (Scour depth), t_m คือเวลาจากเริ่มทดสอบในแต่ละรอบ (Measured time), และ T_r คือเวลาอ้างอิง (Reference time)

3. ผลการทดสอบการกัดเซาะ

ผลการทดสอบการกัดเซาะในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย ค่าระยะการกัดเซาะที่ (ตรวจวัดด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์) ค่าระยะเวลา และความดันของน้ำ (ตารางที่ 2) ข้อมูลจากการวัดเหล่านี้ถูกใช้เพื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกัดเซาะและสามารถคำนวณค่าระยะการกัดเซาะสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาตลอดการทดสอบ ทั้งนี้ เพื่อควบคุมความคาดเคลื่อนจากขั้นตอนการทดสอบที่แตกต่างกัน การทดสอบการกัดเซาะของตัวอย่างทั้งหมดได้ควบคุมความดันคงที่ (1.32 เมตรของระดับน้ำ) และระยะห่างระหว่างตัวอย่างดินและช่องเปิด (Jet nozzle) เริ่มต้น (Initial jet scour depth) เท่ากับ 6 เซนติเมตร ซึ่งสัมพันธ์กับค่าหน่วยแรงเฉือนเริ่มต้นเท่ากับ 107.74 Pa

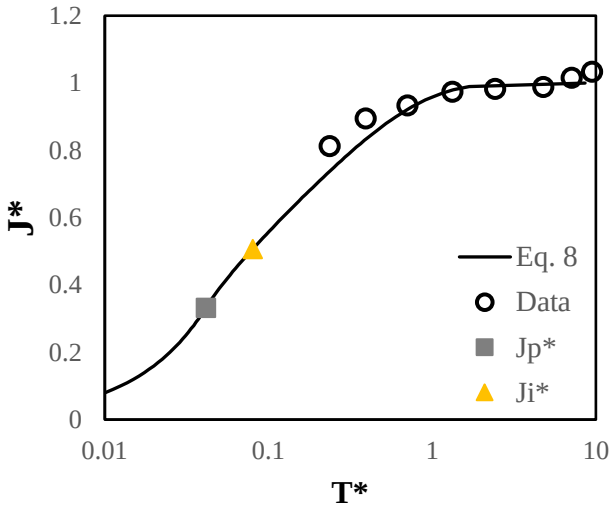
ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบการกัดเซาะโดยวิธี Submerged jet test และผลการคำนวณค่าระยะการกัดเซาะของตัวอย่างดิน C1B ในกรณีที่ไม่มีการปกคลุมด้วยวัสดุป้องกันการกัดเซาะ การคำนวณเริ่มจากการพล็อตข้อมูลที่ได้จากการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2 ร่วมกับสมการที่ 6 เพื่อประเมินค่าหน่วยแรงเฉือนวิกฤตของดินโดยหาค่าความคลาดเคลื่อนน้อยสุดจากการทำ Optimization การวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้เพื่อหาค่าระยะการกัดเซาะสมดุล (J_o) โดยการกำหนดค่า A และ f_o เริ่มต้นเท่ากับ 1

ผลการคำนวณได้แสดงดังรูปที่ 4 โดยที่ค่า A และ f_o เท่ากับ 0.521 และ 1.270 ตามลำดับ มีค่าสัมพันธ์กับค่าระยะการกัดเซาะสมดุลเท่ากับ 0.118 m และค่าหน่วยแรงเฉือนวิกฤตของดินคำนวณจากสมการที่ 2 เท่ากับ 11.96 Pa



รูปที่ 4 กราฟแสดงผลการหาค่าระยะการกัดเซาะสมดุลโดยใช้สมการที่ 6

ค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะของดินถูกคำนวณหลังจากทราบค่าหน่วยแรงเฉือนวิกฤตของดินแล้ว การคำนวณทำได้โดยการทำ Optimization ข้อมูลจากการทดสอบจากตารางที่ 2 ร่วมกับสมการที่ 8 โดยการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะของดินเริ่มต้นและเปลี่ยนแปลงค่าจนได้ค่า RMS น้อยที่สุด ผลการทำ Optimization ได้แสดงในรูปที่ 5 ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะของดินเท่ากับ 25.81 $cm^3/N.s$



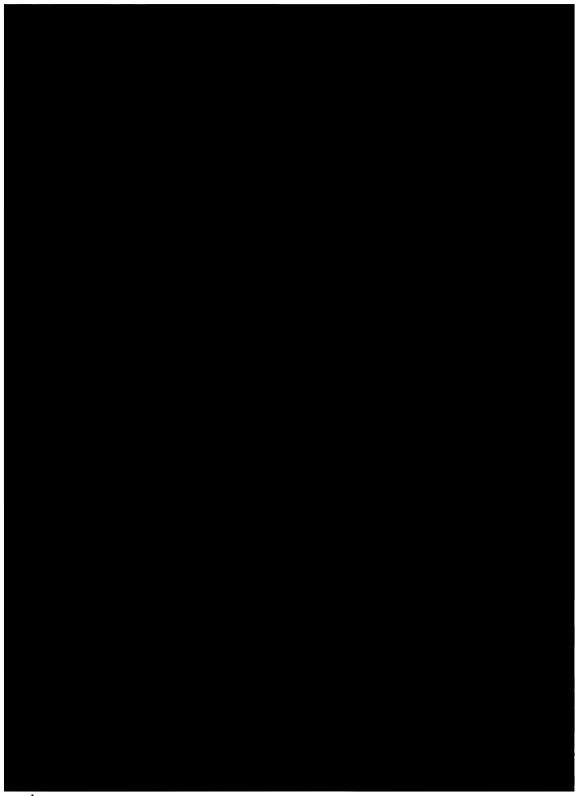
รูปที่ 5 กราฟแสดงผลการ Optimization เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะของดินโดยใช้สมการที่ 8

ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์การกัดเซาะได้แสดงในรูปที่ 6ก หน่วยแรงเฉือนวิกฤตเฉลี่ยของตัวอย่างดินบริเวณตำแหน่ง C1B มีค่าอยู่ในช่วง 12.7-16.81 Pa และมีค่าเพิ่มขึ้น 56.42 และ 42.72 % เมื่อมีการปกคลุมผิวดินด้วย ECM และ ECB ตามลำดับ และมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 28.3 Pa โดยมีค่าเพิ่มขึ้น 68.35% สำหรับตัวอย่างดินตำแหน่ง A1 การเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงเฉือนวิกฤตเป็นผลมากจากการใช้วัสดุป้องกันการกัดเซาะ ซึ่งสามารถลดแรงเฉือนของน้ำที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสได้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบและผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์การกัดเซาะ (ตัวอย่างดิน C1B bare soil) โดยใช้วิธี Scour depth method [9]

Time (min)	Head (in)	Point gauge reading (mm)	Measured Scour Depth (mm)	Predicted** Scour Depth (mm)
0	51.97	105*	0	0
1	51.97	141.1	36.1	31.4
2	51.97	150.8	45.8	38.44
4	51.97	155.4	50.4	45.73
8	51.97	160.2	55.2	53.08
15	51.97	161.1	56.1	58.83
30	51.97	161.8	56.8	67.18
45	51.97	165.1	60.1	66.1
60	51.97	167.2	62.2	52.74

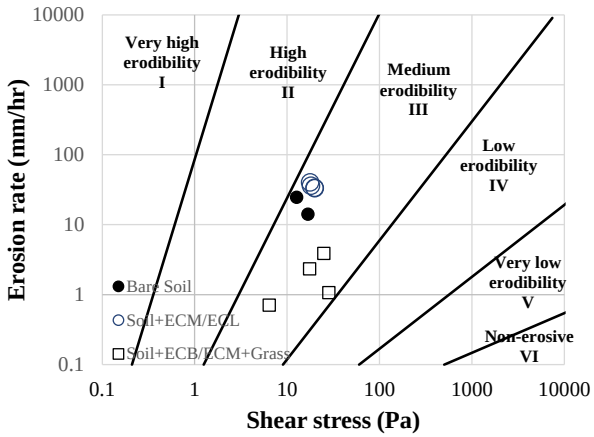
* Initial reading of jet scour depth ** Scour depth method



รูปที่ 6 พารามิเตอร์การกัดเซาะ ก.) หน่วยแรงเฉือนวิกฤต และ ข) สัมประสิทธิ์การกัดเซาะ

Note: Soil+ECM คือดินถูกปกคลุมด้วย Erosion control mat Soil+ECB คือดินถูกปกคลุมด้วย Erosion control blanket (ผ้าห่มดิน) Soil+ECM+Ber คือดินถูกปกคลุมด้วย Erosion control mat และปลูกหญ้าแพรกอายุ 2 สัปดาห์ และ Soil+ECB+Ruzi คือดินที่ถูกปกคลุมด้วย Erosion control blanket และปลูกหญ้ารูซี่อายุ 2 สัปดาห์

ค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะของดินเป็นปริมาณที่บ่งชี้ถึงอัตราการกัดเซาะ (Erosion rate) ผลการทดสอบการกัดเซาะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะเฉลี่ยมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดสำหรับดินบริเวณตำแหน่ง C1B ดังแสดงในรูปที่ 6ข เมื่อมีการปลูกหญ้ารูซี่แหละหญ้าแพรก ทั้งนี้เนื่องจากรากพืชเป็นตัวช่วยยึดดิน [10] ซึ่งทำให้ดินถูกกัดเซาะได้ยาก อัตราการกัดเซาะในกรณีนี้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในทางตรงข้าม สำหรับตัวอย่างดินตำแหน่ง A1 ค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะของดินเฉลี่ยมีแนวโน้มที่แปรปรวน ผลการทดสอบส่วนใหญ่พบว่า การป้องกันผิวดินด้วยวัสดุป้องกันการกัดเซาะและการปลูกพืชคลุมดินไม่มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะของดินลดลง ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างดินมีความหนาแน่นที่สูงมาก (ตารางที่ 1) รากพืชไม่สามารถหยั่งลงไปในดินได้



รูปที่ 7 การจำแนกกลุ่มของ Erodibility Class

ผลการทดสอบการกัดเซาะเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ทั้งสองสามารถนำมาจำแนกประเภทของดินตามแนวทางของ [11] ดังแสดงในรูปที่ 7 การจำแนกพบว่า ดินตัวอย่างทั้งสองตำแหน่งเป็นดินประเภท Medium erodibility บ่งบอกถึงการต้านทานการกัดเซาะของดินในระดับปานกลาง การปลูกพืชคลุมหน้าดินช่วยลดความรุนแรงของการกัดเซาะได้ อย่างไรก็ตาม ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบในครั้งนี้เป็นผลการทดสอบเบื้องต้นเนื่องจากมีปัจจัยที่ส่งกระทบต่อการทดสอบเช่น วัสดุคลุมดินไม่แนบสนิทกับผิวดิน รวมถึงระยะเวลาในการปลูกพืชน้อย หญ้ามีการเจริญเติบโตช้า อย่างไรก็ตาม การป้องกันการกัดเซาะของลาดดินและตลิ่งตามหลักการของ Soil bioengineering จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการผสมผสานระหว่างการใช้วัสดุป้องกันการกัดเซาะและพืชพรรณ ดังนั้น การวิจัยในอนาคตควรมีการทดสอบการกัดเซาะในสนามเพื่อครอบคลุมปัจจัยทางด้านการใช้วัสดุป้องกันร่วมกับการปลูกพืช รวมถึงปัจจัยทางการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

4. บทสรุป

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการปรับปรุงเครื่อง Submerged jet device เพื่อใช้ในการทดสอบหาค่าหน่วยแรงเฉือนวิกฤตและค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะของดิน รวมถึงการใช้วัสดุป้องกันการกัดเซาะร่วมกับการปลูกหญ้า ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์การกัดเซาะสามารถนำไปใช้ในการประเมินการกัดเซาะของลาดดินและตลิ่ง รวมทั้งการออกแบบการปรับปรุงเสถียรภาพ ผลการทดสอบพบว่า ค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงเฉือนวิกฤตอยู่ในช่วง 12.7-16.81 Pa และมีค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะอยู่ในช่วง 14.12-24.65 cm^3/N.s ซึ่งเป็นดินประเภท Medium erodibility การใช้วัสดุป้องกันการกัดเซาะร่วมกับการปลูกหญ้ารูซี่และหญ้าแพรก มีส่วนช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดเซาะของผิวสัมผัสและลดความรุนแรงของการกัดเซาะได้ ผลการทดสอบบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพเบื้องต้นของแนวทางการใช้หลักการทาง Soil bioengineering เพื่อป้องกันการกัดเซาะของลาดดินและตลิ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงความขอบคุณต่อคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ Geotechnical Innovation Laboratory ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สำหรับทุนวิจัยหลังปริญญาเอกในช่วงปี 2564-2565 และการทดสอบการกัดเซาะ

เอกสารอ้างอิง

[1] Rinaldi, M. and Nardi, L. (2013). Modeling interactions between riverbank hydrology and mass failures. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(10), pp. 1231-1240.

[2] Partheniades, E. (1965). Erosion and deposition of cohesive soils. *Journal of the Hydraulics Division*, 91(1), pp. 105-139.

[3] Arulanandan, K., Gillogley, E. and Tully, R. (1980). Development of a Quantitative Method to Predict Critical Shear Stress and Rate of Erosion of Natural Undisturbed Cohesive Soils. California Univ Davis Dept of Civil Engineering.

[4] Hanson, G.J. and Cook, K.R. (1997). Development of excess shear stress parameters for circular jet testing. *ASAE Paper*, 972227.

[5] Hanson, G.J. (1990). Surface erodibility of earthen channels at high stresses part I-open channel testing. *Transactions of the ASAE*, 33(1), pp. 127-0131.

[6] Hanson, G.J. (1990). Surface erodibility of earthen channels at high stresses part II-developing an in-situ testing device. *Transactions of the ASAE*, 33(1), pp. 132-0137.

[7] Smerdon, E.T. and Beasley, R.T. (1961). Critical tractive forces in cohesive soils. *Agricultural Engineering*. 42(1), pp. 26–29.

[8] Julian, J.P. and Torres, R. (2006). Hydraulic erosion of cohesive riverbanks. *Geomorphology*, 76(1-2), pp. 193-206.

[9] Daly, E.R., Fox, G.A., Miller, R.B. and Al-Madhhachi, A.S.T. (2013). A scour depth approach for deriving erodibility

parameters from jet erosion tests. *Transactions of the ASABE*, 56(6), pp. 1343-1351.

[10] Zhang, X. and Zhou, Z. (2019). Quantifying effects of root systems of planted and natural vegetation on rill detachment and erodibility of a loessial soil. *Soil and Tillage Research*, 195, pp. 104420.

[11] Briaud, J.L. (2010). Case histories in soil and rock erosion. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(4), pp. 653-654.