ความแข็งแรงเฉือนของดินเสริมกำลังด้วยระบบรากต้นกระถินเทพา

Shear strength of soil reinforced by Acacia Mangium Willd's Root.

มัณฑนา นันติ[1] พานิช วุฒิพฤกษ์[2] อิทธิพล มีผล[3] ศิริพัฒน์ มณีแก้ว[4,*]

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและการศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

[2,3,4] อาจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

**Corresponding author; E-mail address: s6102032856148@email.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่มีการเสริมกำลังด้วยรากกระถินเทพาเปรียบเทียบกับดินเปล่า โดยได้ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของต้นกระถินเทพา ค่าความต้านทานแรงดึงของรากกระถินเทพา ค่ากำลังแรงเฉือนของดินที่เสริมด้วยรากกระถินเทพา นอกจากนี้ยังศึกษาแรงดึงของระบบรากกระถินเทพาในช่วงการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน นำต้นกระถินเทพามาปลูกในกระบอกพีวีซี เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร นำมาต่อเรียงกัน 3 ท่อน แล้วหุ้มด้วยถุงพลาสติกเพื่อป้องกันความชื้น จากนั้นวัดขนาดและการเจริญเติบโต จากการศึกษาพบว่าต้นกระถินเทพาเติบโตอย่างรวดเร็วภายใน 12 เดือนมีความสูงมากกว่า 1 เมตร จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงของรากพบว่ารากของต้นกระถินเทพาสามารถต้านทานแรงดึง 1,495 กรัมต่อตารางเซนติเมตร การทดสอบแรงเฉือนของดินที่เสริมความแข็งแรงด้วยระบบรากกระถินเทพาเมื่อเวลาผ่านไป 12 เดือนการเจริญเติบโตส่งผลต่อกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.139 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงถอนดึงของต้นกระถินเทพาเมื่ออายุ 12 เดือนเท่ากับ 55 กิโลกรัม กล่าวได้ว่าแรงเฉือนของดินที่เสริมกำลังด้วยรากกระถินเทพาและความต้านทานแรงดึงของรากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของการปลูกและความชื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อเสถียรภาพของลาดดินอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: ต้นกระถินเทพา, ความแข็งแรงเฉือนของดิน, การเสริมแรงด้วยราก, เสถียรภาพของดิน

Abstract

This research is to study the engineering properties of soil reinforced with Acacia root compared with bare soil. The growth rate of Acacia, the tensile strength of the Acacia root and Shear strength of soil reinforced by Acacia Root were studied. Moreover, the pulling strength of the Acacia root system at different growing period was also studied. Acacia trees were planted into PVC cylinders, 15 cm in diameter, and 10 cm in length each, arranged in 3 pieces and covered with plastic bags to prevent moisture loss, then measured the size and growth of the Acacia tree. The Acacia tree has a rapid growth within 12 months, and the Acacia tree had a height of more than 1 meter. The root tensile strength test found that the root of the Acacia tree had a tensile strength of 1,495 grams per square centimeter. The shear strength test of the soil reinforced with the Acacia root system over time showed that growth increased shear strength. At the same time, the tensile strength of the root is equal to 0.139 kg per square centimeter at 12 months of planting. The pulling force of the 12-month-old Acacia tree was 55 kg. The shear strength of the Acacia root reinforced soil, and the tensile strength tended to increase with the age of planting and the different moisture content, which significantly influenced the stability of soil slope.

Keywords: Acacia Mangium, Shear Strength of Soil, Roots Reinforcement, Stability of Soil Slope

1. บทนำ

ความเสื่อมโทรมตามธรรมชาติของดิน ไม่ว่าจะเป็นพื้นที่ใด ต้นไม้ทุกประเภทจะทำหน้าที่ป้องกันการกัดเซาะและพังทลายของหน้าดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ปัญหาการบุกรุกทำลายป่า ทำให้ดินถูกน้ำฝนที่ตกลงมากัดเซาะและพังทลายต่อหน้าดินทำให้ดินสูญเสียความสมบูรณ์ และเกิดปัญหาการพังทลายของลาดดิน ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ทางการเกษตรและสิ่งปลูกสร้าง แต่หากดินนั้นมีต้นไม้หรือพืชปกคลุมหนาแน่นโอกาสการพังทลายของลาดดินก็จะน้อยลง เนื่องจากรากพืชจะทำหน้าที่ช่วยยึดหน้าดินไว้ และการดูดซับน้ำของรากพืชก็เป็นการช่วยลดปริมาณน้ำในดินลงได้เป็นอย่างดี การที่ดินมีปริมาณน้ำในดินมากเกินไปจะส่งผลทำให้ความสามารถในการรับแรงเฉือนของดินลดลง โอกาสเกิดการพังทลายและการกัดเซาะก็สูงขึ้นตามด้วยเช่นกัน และจะทำให้เสถียรภาพของดินลดลงตามไปด้วย การแก้ปัญหาเสถียรภาพของดินเพื่อให้ดินมีความปลอดภัยสามารถทำได้หลายวิธี อาทิเช่น วิธีนิเวศน์วิศวกรรมหรือชีววิศวกรรมซึ่งหมายถึงการสร้างสมดุลตามธรรมชาติ โดยนำประโยชน์จากรากพืชมาป้องกันการกัดเซาะและพังทลายของดิน เป็นการสร้างสมดุลคืนสู่ธรรมชาติหรือกล่าวอีกแบบคือรากพืชสามารถทำหน้าที่เป็นวัสดุเสริมความแข็งแรงให้กับดินตามธรรมชาติได้เป็นอย่างดี [1] การนำรากพืชไปใช้เป็นวัสดุเสริมแรงของลาดดินเป็นการเพิ่มเสถียรภาพของลาดดิน โดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพ (Biotechnical stabilization) ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักอยู่ 2 ประการคือ ป้องกันการชะล้างพังทลายของลาดดินและป้องกันการกัด

เซาะ รากพืชจะสามารถยึดเกาะดินไว้ได้ แม้ต้นพืชจะถูกถอนออกจากดินก็ตาม รากพืชมีคุณสมบัติช่วยรับแรงดึงของดินได้ดี กำลังของรากพืชจะเพิ่มขึ้นตามอายุของการปลูก และยังช่วยป้องกันการพังทลายและกัดเซาะหน้าดินได้ [2] ได้ทดสอบแรงเฉือนตรงของดินที่เสริมความแข็งแรงด้วยรากต้น Pinus Radiata อายุ6 – 8 ปี ในดินตะกอนปนทราย [8] ได้ศึกษาได้เสริมความแข็งแรงเฉือนของดินด้วยรากหญ้าแฝกลุ่ม โดยศึกษาความแข็งแรงเฉือนโดยตรงในสนามของดินที่เสริมด้วยหญ้าแฝกลุ่มและไม่ได้เสริมด้วยหญ้าแฝกลุ่ม พบว่า กำลังรับแรงเฉือนของดินที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของรากหญ้าแฝกลุ่มที่มีอยู่ในพื้นที่หน้าตัดการเฉือน [3-5] ได้ทำการศึกษาค่าความแข็งแรงดึงของรากไม้ พบว่า Rocky Mountain Doughlas fir, Coastas Doughlas และ Spruce-Hemlock เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรากเพิ่มขึ้นจะส่งให้ค่าความแข็งแรงดึงของรากมีค่าที่ลดลง ยกเว้นรากของต้น Birch [7] ได้ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินโดยใช้หญ้าแฝกพบว่าแรงดึงของรากเป็นสัดส่วนกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากพืช และความแข็งแรงเฉือนของดินที่เสริมรากพืชสูงกว่าดินที่ไม่เสริมด้วยราก [9,12] ศึกษาความแข็งแรงของดินที่เสริมด้วยรากกระถินเทพาที่ปลูกในห้องปฏิบัติการพบว่ากระถินเทพมีแนวโน้มสูงขึ้นตามอายุการปลูก โดยค่าแรงดึงของรากกระถินเทพามีแนวโน้มสูงขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ความแข็งแรงเฉือนของดินที่เสริมด้วยรากกระถินเทพาจะมีค่าสูงกว่าดินที่ไม่เสริมรากกระถินเทพา นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความแข็งแรงเฉือนของดินที่เสริมรากกระถินเทพาและไม่เสริมรากกระถินเทพาแปรผกผันกับอายุการปลูก เนื่องจากปริมาณความชื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อกำลังรับแรงเฉือนของดิน [10,11] ได้ศึกษาการเสริมความแข็งแรงให้แก่ดินด้วยรากหญ้าแฝกผ่านการทดสอบการเฉือนตรงในสนาม

ปัจจุบันการแก้ปัญหาการกัดเซาะและการพังทลายของดินในเชิงวิศวกรรมจะสามารถแก้ปัญหาได้หลายวิธี แต่โดยส่วนมากจะใช้วัสดุสังเคราะห์ซึ่งไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีราคาแพง ตามประโยชน์ที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้ในการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษารากพืชกระถินเทพามาเป็นแนวทางในการแก้ปัญหา โดยรากพืชเป็นวัสดุที่มาจากธรรมชาติมาเสริมความแข็งแรงของดินและศึกษาการเจริญเติบโตของกระถินเทพา ความแข็งแรงของรากกระถินเทพา การรับแรงถอนดึงและกำลังการรับแรงเฉือนของดิน

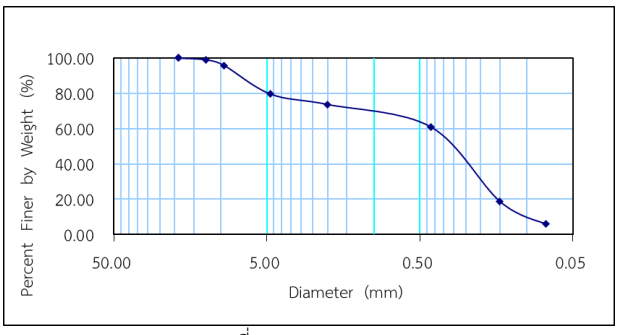
กระถินเทพาเป็นไม้ยืนต้นที่โตเร็ว [13] นิยมปลูกเป็นไม้เบิกนำ เพื่อการฟื้นฟูสภาพป่า มีระบบรากพืชที่หยั่งลึกและแผ่กระจายลงในดิน จึงทำให้กระถินเทพาเป็นพืชที่เหมาะสมที่จะปลูกเพื่อป้องกันการพังทลายของลาดดิน

2. สมบัติทางวิศวกรรมของดิน

ดินที่ใช้ในการทดสอบนำมาจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ การเก็บตัวอย่างดินแบบถูกรบกวน โดยมีสมบัติทางวิศวกรรมของดิน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางวิศวกรรม

สมบัติทางวิศวกรรม	ผลการวิเคราะห์
Water content (%)	16.05
Specific Gravity, Gs	2.58
Dry Unit Weight of Soil	1.73
Optimum Moisture Content	9.30
Liquid Limit, LL	34.5
Plastic Limit, PL	22.1
Plastic Index, PI	12.4
C_U	4.3
C_C	0.84
ประเภทของดิน	SP-SC



รูปที่ 1 ขนาดคละของดิน

จากตารางที่ 1 และรูปที่ 1 จะพบว่า ดินผ่านตะแกรง #200 < 50 % พิจารณาเป็นดินเม็ดหยาบ, ดินผ่านบนตะแกรง #4 > 50% แสดงว่าเป็นดินกลุ่ม S (ทราย), Cu = 4.3, Cc = 0.83 และ Plastic Index, PI = 12.4 ประเภทของดิน คือ SP-SC

3. การปลูกต้นกระถินเทพาในกระบอกทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นวิจัยเชิงทดลอง โดยการปลูกต้นกระถินเทพาในโรงเรือน ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยการเตรียมต้นกล้าที่มีความสูงลำต้น 15 เซนติเมตร ความยาวราก 10 เซนติเมตร นำมาปลูกในท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตรหรือ 6 นิ้ว จากนั้นนำท่อพีวีซีมาตัดท่อนละ 10 เซนติเมตร โดยนำมาเรียงต่อกัน จำนวน 3 ท่อน เพื่อรองรับการทดสอบแรงเฉือน จากนั้นทำการใส่ดินตัวอย่างแบบอิสระ ไม่ได้ทำการบดอัด และปลูกต้นกระถินเทพาลงในกระบอกทดลอง และหุ้มด้วยถุงพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ต้นกระถินเทพาทำการปลูกในโรงเรือนที่มีแสงแดดส่องถึงแต่ไม่ร้อนเกินไป ความเข้มข้นของแสงแดดประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ อากาศถ่ายเทสะดวก ทำให้มีการเจริญเติบโตได้ดี โดยมีระยะการปลูก 12 เดือน

รูปที่ 2 การเตรียมกล้าต้นกระถินเทพาก่อนทำการปลูก

รูปที่ 3 การปลูกต้นกระถินเทพาในกระบอกทดลอง

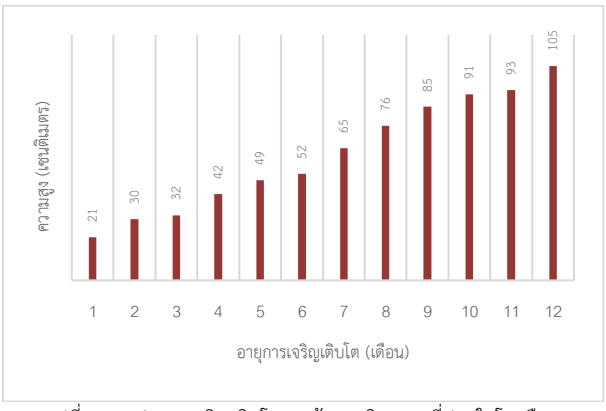
รูปที่ 4 การปลูกต้นกระถินเทพาในโรงเรือน

4. การเจริญเติบโตของต้นกระถินเทพา

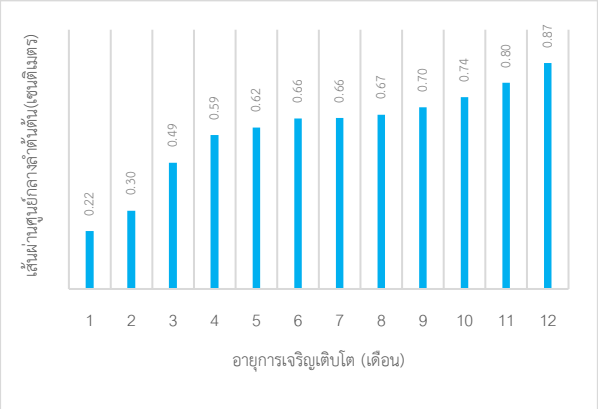
ต้นกระถินเทพาสามารถเจริญเติบโตและเหมาะสมกับอากาศในประเทศไทยได้เป็นอย่างดี [13] เจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่มีอากาศร้อนชื้นและเจริญเติบโตในทุกสภาพดิน โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีอากาศร้อนและแห้งแล้ง ในการปลูกต้นกระถินเทพาเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการปลูกในโรงเรือนที่จังหวัดสุรินทร์ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีอากาศร้อนและแห้งแล้งแต่ต้นกระถินเทพาก็ยังสามารถเจริญเติบโตได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 5 ถึงแม้กระถินเทพาจะไม่มีรากแก้วแต่ก็มีรากแขนงที่เติบโตออกจากโคนต้นมามากมาย ซึ่งรากแขนงจะมีส่วนช่วยในการเสริมเสถียรภาพของดินให้มีความแข็งแรงมากขึ้น เมื่อต้นกระถินเทพาเจริญเติบโตต่อไป

รูปที่ 5 ระบบรากต้นกระถินเทพา

จากการเจริญเติบโตของต้นกระถินเทพา วัดความสูงจากโคนต้นถึงยอดในอายุ 1-12 เดือน พบว่าต้นกระถินเทพา มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว โดยในเดือนที่ 12 ต้นกระถินเทพามีความสูงมากกว่า 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 6 ไม่เพียงแต่ความสูง ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นช่วงโคนต้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เพิ่มมากขึ้นเป็น 0.87 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 6 และมีแนวโน้มที่จะเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง

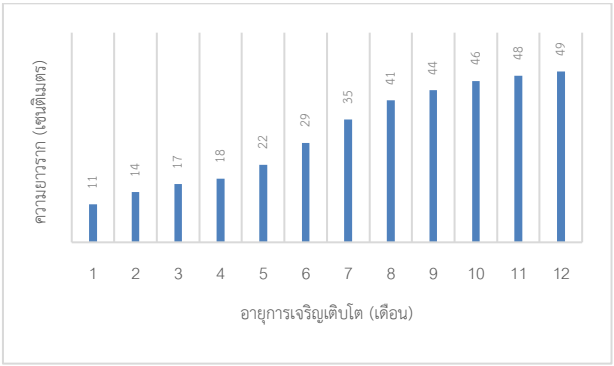


รูปที่ 6 กราฟความเจริญเติบโตของต้นกระถินเทพาที่ปลูกในโรงเรือน



รูปที่ 7 กราฟเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นกับอายุการเจริญเติบโตของต้นกระถินเทพาในแต่ละเดือน

ทางผู้วิจัยจึงได้มีการนำรากออกมาล้างทำความสะอาดและทำการวัดความยาวของรากฝอย ในระยะเวลา 12 เดือน พบว่าความยาวรากฝอยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ที่อายุ 12 เดือน มีความยาวรากถึง 49 เซนติเมตร โดยเฉลี่ย ดังแสดงในรูปที่ 8

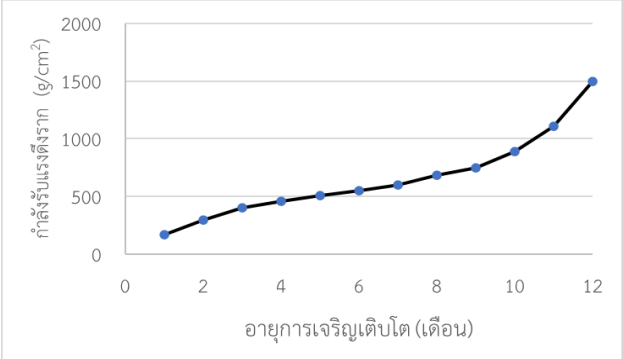


รูปที่ 8 ความยาวรากฝอยเฉลี่ยกับอายุการเจริญเติบโตของต้นกระถินเทพาในแต่ละเดือน

5. การรับกำลังแรงดึงของรากกระถินเทพา

ต้นกระถินเทพาเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิและสภาพอากาศพื้นที่ของประเทศไทยได้เป็นอย่างดี และมีรากฝอยเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ทางผู้วิจัยได้นำรากฝอยมาตัดและทำการทดสอบแรงดึงของรากเพียงอย่างเดียว เพื่อหาว่ารากฝอยมีกำลังพอที่สามารถช่วยรับแรงเฉือนของดินได้มากน้อยเพียงใด โดยใช้เครื่องทดสอบการรับกำลังแรงดึงของราก จับรากหัวท้ายทำการดึงและวัดแรงดึงราก ดังรูปที่ 9 จากผลการทดลองพบว่าในเดือนที่ 12 รากของต้นกระถินเทพามีความแข็งแรงสามารถรับแรงดึงได้ถึง 1,495 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งสามารถช่วยและรับกำลังแรงเฉือนของดินได้เป็นอย่างดี

รูปที่ 9 เครื่องทดสอบการรับกำลังแรงดึงของรากกระถินเทพา



รูปที่ 10 การรับกำลังแรงดึงของรากกระถินเทพาต่ออายุการเจริญเติบโตของต้นกระถินเทพาในแต่ละเดือน

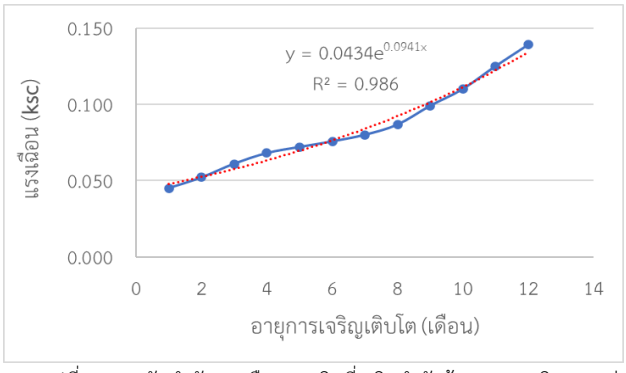
6. การรับกำลังแรงเฉือนของดินที่เสริมกำลังด้วยรากกระถินเทพา

หลังจากได้ศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกระถินเทพาแล้ว ได้นำต้นกระถินเทพามาทดสอบแรงเฉือน Direct Shear Test [6] (ASTM D3030-98) โดยนำกระบอกทดสอบเข้ามาติดตั้งกับชุด Direct Shear Test ที่จัดทำขึ้นมา โดยได้นำกระบอกทดลองที่เสริมด้วยระบบรากกระถินเทพา ดังแสดงในรูปที่ 11 ตามระยะเวลาการปลูก 1-12 เดือน จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป การเจริญเติบโตมีผลต่อการรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้น ที่อายุ 12 เดือนอยู่ที่ 0.139 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อใช้สมการ Exponential มาทำนายค่าความแข็งแรงเฉือนของดินที่เสริมกำลังด้วยรากกระถินเทพาจะได้สมการ

$$y = 0.0434e^{0.0941x} \quad (1)$$

เมื่อ y คือ ผลลัพธ์ที่ได้ (แรงเฉือน), e คือ ค่าคงที่ 2.718 และ x คือ อายุการเจริญเติบโต (เดือน)

รูปที่ 11 เครื่องทดสอบการรับกำลังแรงเฉือนของดินที่เสริมกำลังด้วยรากกระถินเทพา (ด้านข้าง)



รูปที่ 12 การรับกำลังแรงเฉือนของดินที่เสริมกำลังด้วยรากกระถินเทพาต่ออายุการเจริญเติบโตของต้นกระถินเทพาในแต่ละเดือน

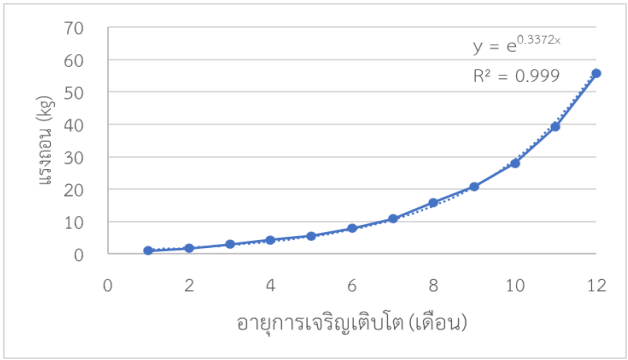
7. การรับกำลังแรงถอนดึง

ต้นไม้จะเกิดสภาวะของแรงถอน อาทิเช่น ลมพายุฝนกระหน่ำอย่างรุนแรงหรือมีแรงใดมากระทำต่อต้นไม้ แรงถอนดึงจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึง ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบแรงถอนดึง (Pull Out Test) โดยได้ทำการตัดลำต้นท่อนบนออกและติดตั้งชุดอุปกรณ์การถอนดึงโดยใช้ตาชั่งดิจิตอลเป็นตัววัดแรงในการถอนดึง ดังแสดงในรูปที่ 13 จากนั้น ได้ผลการทดสอบแรงถอนดึงที่อายุ 1-12 เดือน พบว่า แรงถอนดึงในเดือนที่ 12 ให้แรงถอนดึงสูงสุดถึง 55 กิโลกรัม และเมื่อลองสร้างสมการ Exponential มาทำนายค่าแรงถอนดึงของต้นกระถินเทพาก็จะได้สมการ

$$y = e^{0.337x} \quad (2)$$

เมื่อ y คือ ผลลัพธ์ที่ได้ (แรงถอนดึง),e คือ ค่าคงที่ 2.718 และ x คือ อายุการเจริญเติบโต (เดือน)

รูปที่ 13 เครื่องทดสอบการรับกำลังถอนดึงต้นกระถินเทพา



รูปที่ 14 การรับกำลังแรงถอนดึงต่ออายุการเจริญเติบโตของต้นกระถินเทพาในแต่ละเดือน

8. สรุป

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

1. การเจริญเติบโตและขนาดของต้นกระถินเทพาจะเพิ่มขึ้นตามอายุ เมื่อครบตามอายุการปลูก 12 เดือน พบว่าต้นกระถินเทพามีความสูงมากกว่า 1 เมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้นเป็น 0.87 เซนติเมตร

2. รากกระถินเทพาสามารถรับกำลังแรงดึงได้เพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาผ่านไป พบว่าในเดือนที่ 12 รากของต้นกระถินเทพามีความแข็งแรงสามารถรับแรงดึงได้ถึง 1,495 กรัมต่อตารางเซนติเมตร

3. ดินที่เสริมกำลังด้วยระบบรากกระถินเทพา สามารถรับกำลังแรงเฉือนได้เพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาผ่านไปการเจริญเติบโตมีผลต่อการรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้น ที่อายุ 12 เดือนอยู่ที่ 0.139 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

4. เมื่อรากมีการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นตามอายุของการปลูก จะสามารถรับแรงถอนดึงได้มากขึ้น ตามความเติบโตของระบบราก ในเดือนที่ 12 ความสามารถรับแรงถอนดึงสูงสุดถึง 55 กิโลกรัม

จะเห็นได้ว่ากระถินเทพาสามารถเจริญเติบโตได้เร็ว สามารถรับกำลังแรงดึงราก แรงเฉือนและแรงถอนดึงได้เป็นอย่างดีเพิ่มขึ้นตามอายุการปลูก ซึ่งหมายถึงความมีเสถียรภาพของดินจะเพิ่มสูงขึ้นไปด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยและอาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ขอบคุณคณะครูแผนกวิชาช่างโยธา วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาแนะนำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Greenway. (1980). Slope stability. John Wiley & Son, New York, 327 p.

[2] Tien, H. Wu and Watson, Alex. (1998). In Site Shear tests of Soils block with Roots. Canadian Geotechnical Journal, Vol.35, No.4, pp. 541-559.

[3] Gray D.H. (1978). Role of Woody Vegetation in Reinforcing Soils and Stability Slope. Symposium on Soils Reinforcing and Stabilizing Techniques, Sydney, Australia, pp. 253-306.

[4] Turmanina V.I. (1965). The Strength of Tree Roots. Bullertin of Moscow Society of Naturalists Biological, Section70, pp. 36-45.

[5] Borroughs, E. R. and Thomas, RR. (1976). Root Strength of Douglas fir as a factor in Slope Stability. USAD Forest Services Review, Draft INT, pp. 1600-1612.

[6] ASTM D 3080-98, Standard Test Method for Direct Shear Test of Soil Under Consolidated Drained Conditions.

[7] Vootipreux, P. and Sungworntamsakul, W. (2003). Enginerring Properties of Soil Reinforced with Vetiver Grass Roots. Proceeding of 12th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Singapore, pp. 557-560.

[8] ดิถี แห่งเชาวนิช (1998). Vetiver Grass for Slope Stabilization and Erosion Control. Pacific Rim Vetiver Network Technical Bulletin, No.1998/2, pp. 4-16.

[9] พานิช วุฒิพฤกษณ์ และนรินทร์ ศรีดอกไม้ (2545). ความแข็งแรงของดินที่เสริมด้วยรากกระถินเทพาที่ปลูกในห้องปฏิบัติการ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8, ขอนแก่น, 23-25 ตุลาคม 2545.

[10] วราธร แก้วแสง (2544). คุณสมบัติด้านวิศวกรรมของดินร่วนเหนียวเสริมรากหญ้าแฝกดอนกลุ่มพันธ์ประจวบคีรีขันธ์สำหรับงานป้องกันลาดดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเขตธรณีวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 215 หน้า.

[11] จตุรงค์ เสาวภาคไพบูลย์ (2545). คุณสมบัติด้านวิศวกรรมของดินทรายตะกอนที่เสริมรากหญ้าแฝกลุ่มกลุ่มพันธ์สงขลา 3 และรากหญ้าแฝกดอนกลุ่มพันธ์นครสวรรค์ สำหรับงานป้องกันลาดดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 128 หน้า.

[12] พานิช วุฒิพฤกษ์ และนรินทร์ ศรีดอกไม้ (2545). คุณสมบัติด้านวิศวกรรมของดินที่เสริมรากกระถินเทพาสำหรับงานป้องกันกันลาดดิน. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 188 หน้า.

[13] ส่วนปลูกป่าภาคเอกชน สำนักส่งเสริมการปลูกป่า กรมป่าไม้. (2556). กระถินเทพา, หน้า 4-10.