

# คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่เสริมความแข็งแรงด้วยระบบรากพืชแบบผสมผสาน

## ENGINEERING PROPERTIES OF SOIL REINFORCEMENT WITH COMBINATION ROOTS SYSTEM

พานิช วุฒิพฤกษ์ (Panich Voottipruex)<sup>1</sup>

เชิดชนินทร์ หมดมลทิน (Chirdchanin Modmoltin)<sup>2</sup>

ชัยรัตน์ ชีระวัฒน์สุข (Chairat Teerawattanasuk)<sup>3</sup>

วรากร ไม้เรียง (Warakorn Mairaeng)<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup>สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ pnv@kmitnb.ac.th

<sup>2</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

<sup>4</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**บทคัดย่อ :** การเสริมความแข็งแรงให้แก่ลาดดิน โดยใช้พืชนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติความแข็งแรงของรากเป็นหลัก การศึกษาครั้งนี้เน้นที่ผลกระทบของระบบรากแบบผสมผสานต่อเสถียรภาพของลาดดิน การวิบัติที่เกิดขึ้นต่อลาดดินมักเกิดขึ้นได้ง่ายในลาดดินที่มีระบบพืชรากตื้นหรือพืชรากลึกมากกว่าที่จะเกิดในบริเวณที่เป็นป่าธรรมชาติที่หนาแน่นไปด้วยพืชต่างพันธุ์และมีระบบรากยาว ในการศึกษาครั้งนี้วิเคราะห์ความแข็งแรงของรากที่ใช้เป็นพืชเบิกนำหญ้าแฝกและกระถินเทพา โดยจะนำไปปลูกในแปลงทดลองที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือวิทยาเขตปราจีนบุรีในรูปแบบการปลูกที่ต่างกันเพื่อตรวจสอบการเจริญเติบโต จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติการยึดรั้งของราก โดยการติดตั้งพีซในสนามและทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินที่มีระบบรากพืชแพร่กระจายอยู่ทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการ จากผลการศึกษาของการใช้ระบบรากพืชแบบผสมผสานพบว่าสามารถช่วยเสริมความแข็งแรงแก่ดินได้และนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการพังทลายของลาดดินธรรมชาติได้

**ABSTRACT :** The mechanical stabilization of soil slopes by means of vegetation is mainly dependent on root strength properties. This study focussed on the effects of combination roots system on soil slope. The intensity of slope failures on moderate to steep slopes was generally higher in the slope occupying vegetation with shallow and weak root systems than that in the natural forest area which usually consists of indigenous trees with hard deep penetrating roots system. The pioneer species of vetiver grass and acacia mangium willd were selected to analyze the strength properties. In order to measure the growth rate, these species were planted in different pattern in a plot at King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok in Prachinburi campus. To assess the mechanisms of root anchorage and root reinforcement within one-year growth period, the plants were pullout to determine the pullout resistant and the roots permeated soil shear tests were conducted both in the field and in the laboratory. According to the combination of the root life, the test results reveal that the combination root system has significant affect on slope protection scheme. The study is successfully to propose the critical zone and selected soil moisture content to calculate the strength increment of the combination roots permeated soil system.

## 1. บทนำ

ในสภาพตามธรรมชาติไม่ว่าเป็นที่ราบหรือที่สูงชัน พืชทุกชนิดทำหน้าที่ปกป้องการกัดเซาะและพังทลายของหน้าดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อประชากรโลกมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดความต้องการในการขยายพื้นที่ครอบครองเพื่อการพัฒนาเป็นที่อยู่อาศัยและเกษตรกรรม ป่าไม้ตามธรรมชาติจึงถูกทำลายลงอย่างมาก ทำให้ลาดดินขาดเสถียรภาพ และเกิดการพังทลายในที่สุด โดยทั่วไปเสถียรภาพของลาดดินขึ้นอยู่กับสภาพทางธรณีวิทยา ลักษณะทางเรขาคณิต ความแข็งแรงของดิน สภาพภูมิอากาศ ระดับน้ำใต้ดิน การแก้ปัญหาความไม่เสถียรภาพของดินเพื่อทำให้ลาดดินนั้นปลอดภัย สามารถกระทำได้โดยวิธีทางชีววิศวกรรมหรือนิเวศน์วิศวกรรม ซึ่งหมายถึงการสร้างสมดุลของธรรมชาติ โดยนำประโยชน์ของรากพืชมาประยุกต์ใช้ในการป้องกันการเคลื่อนพังของดิน ไม่เพียงช่วยแก้ปัญหาแต่ยังมีความกลมกลืนกับสภาพแวดล้อมได้เป็นอย่างดี การแก้ไขอีกวิธีหนึ่งซึ่งในช่วงที่ผ่านมาได้มีการนำพืชมาใช้เพื่อประโยชน์ในการเพิ่มเสถียรภาพความลาด โดยได้รับการยอมรับว่าสามารถนำมาใช้เพื่อป้องกันการกัดเซาะของหน้าดินเนื่องจากน้ำฝนและน้ำป่าที่ไหลบ่า และยังมีส่วนช่วยเพิ่มความต้านทานการเนืองแ่ดิน ดินตะกอนปนทราย Wu et al. [1] ได้ศึกษาการทดสอบแรงเนืองโดยตรงของดินที่เกาะเวลส์ อลาสกา ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนามซึ่งการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถทดสอบสภาพอิมตัวและไม่อิมตัวของดิน Wu and Watson [2] ได้ทำการทดสอบแรงเนืองโดยตรงในสนามของระบบราก ของ Pinus Radiata อายุ 6-8 ปี Operstien and Fryman[3] ได้ทำการทดสอบแรงเนืองบนตัวอย่างดินซอล์กที่เสริมแรงด้วยรากของต้น Alfalfa, Rosemary, Pisticia Lentacia และ Meoporum Parvifolim อายุ 1-2 ปี Wu et al [1] ได้เสนอค่าเฉลี่ย 1.2 เท่าของกำลังรับแรงดึงและอัตราส่วนพื้นที่ราก Burroughs and Thomas [4], Gray [5] และ Turmanina [6] ได้ทำการศึกษาหาค่าความแข็งแรงดึงของรากต้นไม้ พบว่า Rocky Mountain Douglas fir, Coastal Douglas และ Spruce-Hemlock เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรากเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงของรากมีค่าที่ลดลงยกเว้นรากของต้น Birch

ปัจจัยหลักของรากพืชที่มีผลต่อความแข็งแรงเนืองของดินคือ ปริมาณและทิศทางการกระจายของรากพืช ความแข็งแรงต่อการรับแรงดึงของรากพืช โมดูลัสยืดหยุ่นของรากพืช ความแข็งแรงเนืองของดิน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างดินและรากพืช รากพืชมีผลต่อการกัดเซาะหน้าดิน และต่อเสถียรภาพของลาดดิน ทั้งลาดดินธรรมชาติ หรือลาดดินที่ถูกสร้างขึ้น ประสิทธิภาพของรากพืชต่อการกัดกร่อน หรือการเคลื่อนพังของลาดดินขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และขั้นตอนการพังทลายของดิน ในกรณีเสถียรภาพของลาดดินต่อการเคลื่อนพัง รากและลำต้นจะทำหน้าที่เสมือนวัสดุเสริมความแข็งแรงแก่ดิน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ระบายความชื้น หากลาดดินปราศจากรากพืชปกคลุม ทำให้ง่ายต่อการถูกกัดเซาะเวลาฝนตก ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญในการพิบัติของลาดดิน งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยทั่วไป ได้แก่ การเจริญเติบโตของพืชซึ่งมีผลโดยตรงกับขนาด ความลึกและการแผ่ขยายของรากพืช นอกจากนี้ยังทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงเนืองของรากพืชได้แก่ปริมาณความชื้นในดิน รูปแบบในการปลูก เพื่อช่วยหาพารามิเตอร์ในการออกแบบกำลังรับแรงเนืองของดินที่เสริมความแข็งแรงด้วยรากพืชแบบผสมผสานในสนาม

### 1.1 ชนิดของพืช

พืชที่ใช้ในการวิจัยนี้มีอยู่ 2 ชนิดคือ กระจดินเทพา และหญ้าแฝก

กระจดินเทพามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Acacia Mangium Leguminosae/Mimosaceae เป็นพันธุ์ไม้ต่างประเทศ มีถิ่นกำเนิดในรัฐควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย หมู่เกาะโมลัคกาส์ ประเทศอินโดนีเซีย และแถบตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศปาปัวนิวกินี โดยพบขึ้นอยู่ทั่วไปบริเวณเขตติดต่อระหว่างป่าชายเลนและแนวป่าไม้พุ่มเตี้ย ตลอดจนป่าตามริมฝั่งแม่น้ำและทุ่งหญ้าต่างๆ ไม่พบขึ้นในป่าดิบชื้นที่มีไม้ใหญ่ขึ้นหนาแน่น กระจดินเทพาจัดเป็นไม้บุกเบิกชนิดหนึ่งที่สามารถปรับตัวเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ซึ่งสภาพแวดล้อมถูกทำลาย ดังนั้นจึงมีการนำไปปลูกเป็นสวนป่าในหลายประเทศ เช่น มาเลเซีย ปาปัวนิวกินี เนปาล ฟิลิปปินส์ บังกลาเทศ เป็นต้น สำหรับประเทศไทยเริ่มมีการนำเข้ามาปลูกในปี พศ 2523 เนื่องจากกระจดินเทพามีคุณสมบัติเหมาะสมดังนี้ คือ เป็นไม้โตเร็ว มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าไม้

ซ้อและยูคาลิปตัส ซึ่งไม้ทั้งสองชนิดจัดเป็นไม้โตเร็วมากที่สุด จำพวกหนึ่งที่เขตร้อน และสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าไม้อื่นๆ ในสภาพดินที่ไม่ค่อยสมบูรณ์ เช่นดินลูกรัง ดินซึ่งผ่านการทำไร่ เลื่อนลอย และดินตามบริเวณพื้นที่ลาดชัน นอกจากนี้ยังสามารถ ขึ้นในดินที่มีความเป็นกรด

หญ้าแฝกเป็นพืชตระกูลหญ้าชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย และตะไคร้พบกระจายทั่วไปในหลายพื้นที่ โดยหญ้าแฝกมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ ด้วยเหตุผลว่าหญ้าแฝกมีการแตกกอจำนวนมากและเบียดเสียดกันหนาแน่น ออกแข็งแรงตั้งตรงสามารถปลูกติดต่อกันให้เป็นแถว กระดานเรียงหนึ่งได้ง่าย ทำหน้าที่เป็นกำแพงด้านทานตะกอน ดินที่ถูกน้ำกัดเซาะและพัดพามาทับถมด้านหน้าแนวหญ้าแฝก และช่วยลดความเร็วของกระแสน้ำให้ไหลซึมลงดิน

### 1.2 ระบบรากพืชแบบผสมผสาน

งานวิจัยเรื่องนี้เป็น น้อมรับ โครงการในพระราชดำริของ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวซึ่งทรงนำหญ้าแฝกมาปลูกเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำมาประยุกต์ ด้วยเหตุที่หญ้าแฝกเป็นพืชที่มี เป็นลักษณะรากฝอย ขนาดเล็กและอวบน้ำ ถึงแม้จะมีความยาว ยังลึกลงไปถึงชั้นดินที่มีความมั่นคงได้ แต่ก็สามารถเสริมความ แข็งแรงให้แก่ดินได้ในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะในแง่การกัดเซาะ และช่วยสกัดการพัดพาดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ไม่ให้ไหล ไปกับความรุนแรงของกระแสน้ำ คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดว่าจะหาก นำเอาระบบรากของหญ้าแฝกมาจัดรูปแบบการปลูกร่วมกับพืช ชนิดอื่นซึ่งเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีธาตุอาหารต่ำและที่สำคัญ พืชชนิดนั้นต้องไม่ทำให้ระบบนิเวศวิทยาเดิมเปลี่ยนแปลงไป ซึ่ง เหมาะสมกับสภาพป่าเขาที่ถูกทำลายจนไม่เหลือความอุดม สมบูรณ์ โดยให้รากหญ้าแฝกมีบทบาทนำในเบื้องต้น จนกระทั่ง พืชที่ถูกเลือกมาเป็นไม้เบิกนำซึ่งในที่นี้คือกระถินเทพาสามารถ เจริญเติบโตและมีระบบรากที่แข็งแรงกว่าแผ่กระจายออกไปยึด ดินทั้งในทางราบและทางลึก ก็จะช่วยให้การพังทลายของดินใน ฤดูฝนเกิดได้ยากขึ้น เพราะแนวการเคลื่อนพังไม่สามารถตัดผ่าน ระบบรากที่แข็งแรงนี้ได้ เมื่อต้นกระถินเทพาเจริญเติบโตเต็มที่ก็ จะทำให้หญ้าแฝกมีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้าลงเนื่องจากอยู่ ภายใต้อิทธิพลของกระถินเทพา เมื่อระบบนิเวศวิทยาของพื้นที่ ได้รับการฟื้นฟูดีขึ้น พืชประจำถิ่นก็สามารถรูดกลับเจริญเติบโต ครอบครองพืชที่เดิม หลักการนี้เป็นวิธีการธรรมชาติบำบัด

เพื่อให้ธรรมชาติกลับคืนสู่สมดุลและยังเป็นการแก้ปัญหาเชิง วิศวกรรมอันได้แก่การพังทลายของลาดดินที่ได้ผลและยั่งยืน

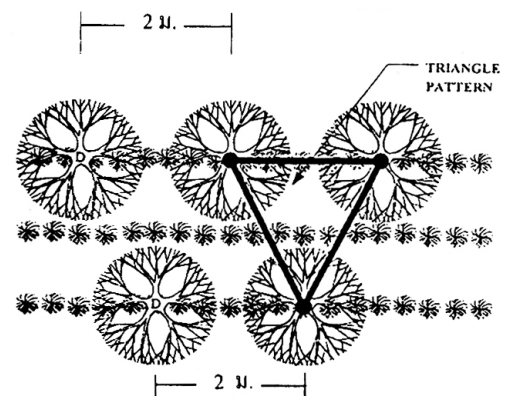
### 1.3 รูปแบบการปลูกแบบสามเหลี่ยม

ในการปลูกต้นกระถินเทพาและหญ้าแฝกในสนามนั้น เตรียมการ โดยปรับพื้นที่เดิมซึ่งรกร้างประมาณ 540 ตารางเมตร จากนั้นนำ ต้นกล้ากระถินเทพาจากศูนย์เพาะชำ อำเภอบางคล้าจังหวัด ฉะเชิงเทรา ซึ่งมีอายุประมาณ 2 เดือน มีความสูงเฉลี่ย 20 เซนติเมตร ปลูกแซมลงระหว่างแถวหญ้าแฝกที่เป็นแนวยาวโดย ให้เกิดรูปแบบการปลูกของกระถินเทพาเป็นแบบสามเหลี่ยม ดัง รูปที่ 1 แปลงทดลองอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ ตำบลเนินหอม จังหวัดปราจีนบุรี แปลงทดลองนี้ไม่มีการรดน้ำ และไม่ได้ใส่ปุ๋ยเคมี เพื่อให้การเจริญเติบโตเป็นไปตามธรรมชาติ มากที่สุด ลักษณะการปลูกมีสามรูปแบบดังนี้

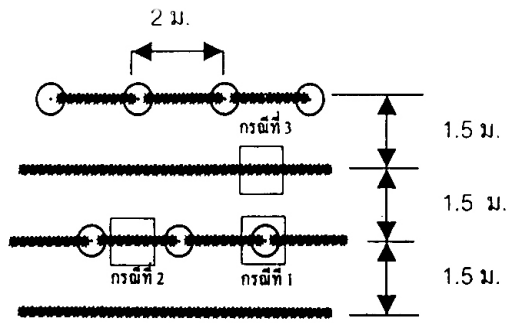
แบบที่หนึ่งปลูกหญ้าแฝกระยะห่างระหว่างต้น 0.20 เมตร ระหว่างแถวห่าง 1.5 เมตร โดยปลูกกระถินเทพาแซมมีระยะห่าง ระหว่างต้น 2 เมตร ระหว่างแถวห่าง 3 เมตร ดังรูปที่ 2

แบบที่สองปลูกหญ้าแฝกระยะห่างระหว่างต้น 0.20 เมตร ระหว่างแถวห่าง 1 เมตร โดยปลูกกระถินเทพาแซมมีระยะห่าง ระหว่างต้น 2 เมตร ระหว่างแถวห่าง 3 เมตร ดังรูปที่ 3

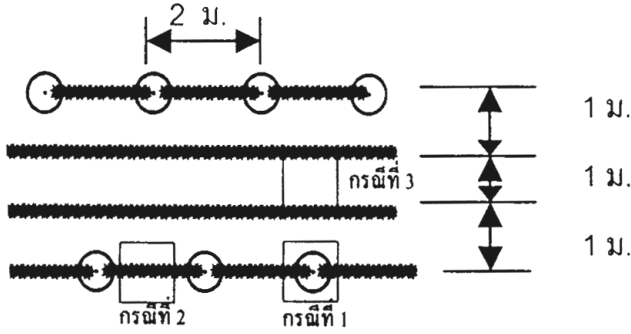
แบบที่สามปลูกหญ้าแฝกระยะห่างระหว่างต้น 0.20 เมตร ระหว่างแถวห่าง 1 เมตร โดยปลูกกระถินเทพาแซมมีระยะห่าง ระหว่างต้น 2 เมตร ระหว่างแถวห่าง 2 เมตร ดังรูปที่ 4



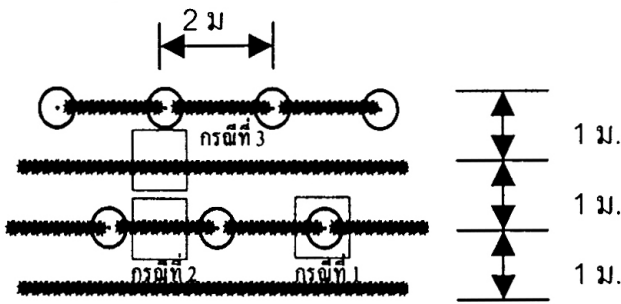
รูปที่ 1 การปลูกแบบสามเหลี่ยมทั่วไป



รูปที่ 2 การปลูกรูปแบบที่ 1 ในสนาม



รูปที่ 3 การปลูกรูปแบบที่ 2 ในสนาม



รูปที่ 4 การปลูกรูปแบบที่ 3 ในสนาม

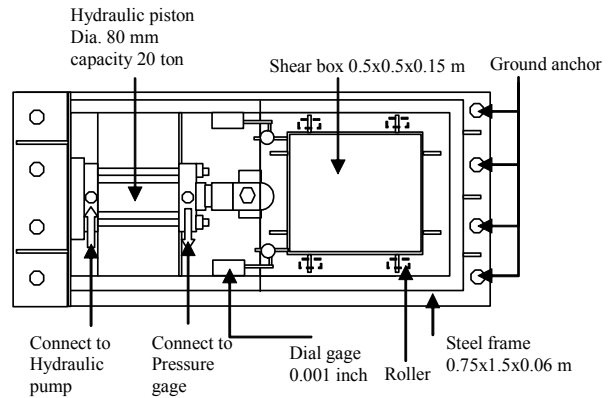
## 2. การทดสอบในสนาม

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบในสนามด้วยเครื่องมือทดสอบแรงเฉือนตรงและเครื่องมือทดสอบการถอนดึง โดยเลือกบริเวณพื้นที่ที่จะทำสอบให้ตรงกับวัตถุประสงค์ในการวิจัย คือการหาอิทธิพลของรากพืชแบบผสมผสานว่ามีส่วนช่วยเสริมความแข็งแรงแก่ดินในเชิงวิศวกรรมได้อย่างไร

### 2.1 การทดสอบแรงเฉือน โดยตรงในสนาม

การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินเสริมรากพืชในสนามเพื่อทำการศึกษากำลังรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริงในสนาม การทดสอบแรงเฉือนจึงทดสอบบริเวณดินที่ไม่ปลูกรากพืช ในตำแหน่งได้ต้นพืชบริเวณระหว่างระยะห่างระหว่างต้น 1 เมตร และ 2 เมตร และบริเวณช่องว่างระหว่างสี่ต้น เมื่อการปลูกรูปแบบสี่เหลี่ยมขนาด 2 x 1 ตร.ม. และ 2 x 2 ตร.ม. ทำการทดสอบโดย เครื่องทดสอบแรงเฉือนในสนามดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเครื่องประกอบด้วยโครง

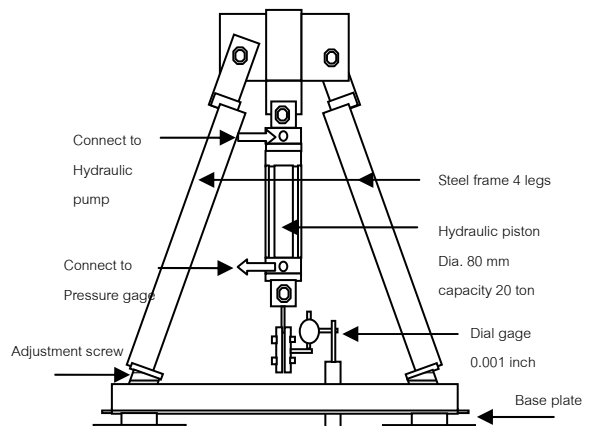
เหล็กขนาด 0.75 x 1.5 x 0.06 เมตร ครอบอกไฮดรอลิก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร ความจุ 20 ตัน ต่อเข้ากับ ปัมไฮดรอลิกเพื่อเป็นการอัดกำลัง จากนั้นทำการวัดกำลังที่อัดโดย เกจวัดความดัน กล้องที่ใส่ตัวอย่างมีขนาด 0.5 x 0.5 x 0.15 เมตร หนา 2 มิลลิเมตร ด้านล่างของกล้องมีล้อสี่ล้อช่วยในการลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของกล้องกับ โครงเหล็ก มีเกจวัด การเคลื่อนที่ ในแนวราบสองตัว มีความละเอียด 0.001 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงเครื่องมือทดสอบแรงเฉือนของดินใน

### 2.2 การทดสอบแรงถอนดึงในสนาม

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบแรงถอนดึงในสนามทำจากเสาเหล็กสี่ต้นที่สามารถปรับระดับสูงต่ำได้ โดยมีเหล็กแผ่นขนาด 300 x 300 x 10 มิลลิเมตร ยาว 1.40 เมตร จำนวน 4 ชิ้น พร้อมชุดแผ่นเหล็กสำหรับจับหรือดึงกระดิ่งเทพาหรือหญ้าแฝก มีปัมไฮดรอลิกขนาด 100 ตัน มาตรฐานวัดความดันขนาด 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมาตรฐานวัดการเคลื่อนตัวในแนวตั้งความละเอียด 0.001 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงเครื่องมือทดสอบแรงถอนดึงในสนาม

### 3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

คุณสมบัติของตัวอย่างดินที่ทำการปลูกในสนามแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1 และจากผลการทดสอบการกระจายตัวขนาดของเม็ดดินพบว่าดินมีขนาดกละที่ไม่ดีจึงจำแนกเป็น SP ตารางที่ 1 คุณสมบัติของตัวอย่างดินที่ทำการปลูกในสนาม

PROPERTIES	
Specific Gravity, Gs	2.64
Dry unit weight of soil, t/m <sup>3</sup>	1.85
Optimum moisture content, %	11.02
Liquid limit, %	27.55
Plastic limit, %	16.4
Classification	SP

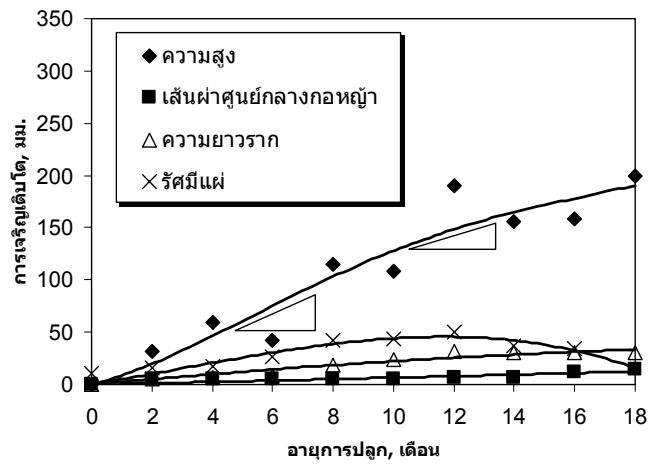
#### 3.1 การเจริญเติบโตของกระถินเทพาและหญ้าแฝก

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกและกระถินเทพา ตั้งแต่เริ่มต้นปลูกจนอายุ 18 เดือนพบว่าในช่วง 8 เดือนแรกอัตราการเจริญเติบโตของหญ้าแฝกสูงกว่ากระถินเทพาอย่างเห็นได้ชัด แต่ในช่วง 8 เดือนหลัง พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของกระถินเทพาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยหญ้าแฝกมีความสูงเพิ่มขึ้นจาก 30 มม. เป็น 200 มม. คิดเป็น 5.6 เท่าของความสูงเมื่อแรกปลูก ขณะที่กระถินเทพามีความสูงจาก 50 มม. เป็น 300 มม. คิดเป็น 5 เท่า ของต้นกล้าดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

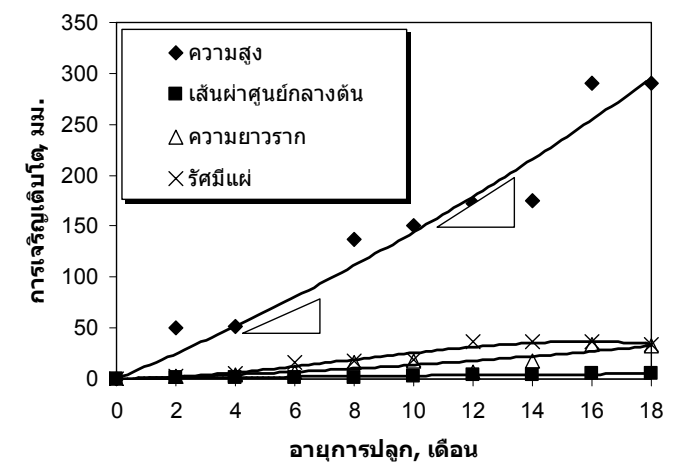
ในขณะที่เดียวกันพบว่ารัศมีการแผ่กระจายของรากหญ้าแฝก และกระถินเทพาตั้งแต่เริ่มต้นปลูกจนอายุ 18 เดือน รัศมีการหญ้าแฝกแผ่กระจายความกว้างจาก 10 มม เป็น 50 มม คิดเป็น 4 เท่า ของต้นกล้า ขณะที่รัศมีการกระถินเทพา แผ่กระจายความกว้างจาก 2 มม เป็น 9 มม คิดเป็น 3.5 เท่า ของต้นกล้า

จากการศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นกระถินเทพา และกอหญ้าแฝกตั้งแต่เริ่มต้นปลูกจนอายุ 18 เดือนพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระถินเทพาเพิ่มจาก 2 มม. เป็น 5 มม หรือคิดเป็น 1.5 เท่าของต้นกล้า สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของกอหญ้าแฝกเพิ่มจาก 5 มม. เป็น 14 มม. หรือคิดเป็น 1.8 เท่าของต้นกล้า

จากการศึกษาการความยาวของรากกระถินเทพาและรากหญ้าแฝกตั้งแต่เริ่มต้นปลูกจนอายุ 18 เดือนพบว่ารากกระถินเทพามีความยาวเพิ่มขึ้นจาก 3 มม. เป็น 32 มม หรือคิดเป็นร้อยละ 9.6 เท่าของต้นกล้า และรากหญ้าแฝกมีความยาวเพิ่มขึ้นจาก 5 มม. เป็น 30 มม. หรือคิดเป็น 5 เท่าของต้นกล้า



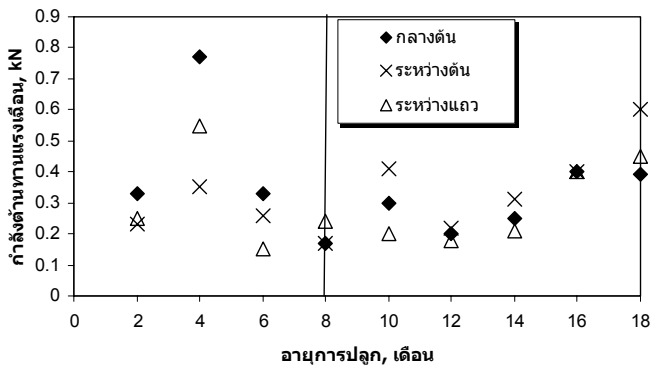
รูปที่ 7 ความเจริญเติบโตของหญ้าแฝกกับอายุการปลูกในสนาม



รูปที่ 8 ความเจริญเติบโตของกระถินเทพากับอายุการปลูกในสนาม

#### 3.2 แรงเฉือนของดินที่เสริมรากพืชแบบผสมผสาน

จากผลการทดสอบแรงเฉือนของระบบรากพืชแบบผสมผสานในสนามพบว่า ในช่วงเวลาแปดเดือนแรก ความแข็งแรงเฉือนของดินที่เสริมความแข็งแรงด้วยรากพืชตรงกลางต้นกระถินเทพาให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด 0.3- 0.8 กิโลนิวตัน ขณะที่ความแข็งแรงเฉือนของดินระหว่างต้นและระหว่างแถวยังคงมีค่าต่ำกว่า เนื่องจากได้รับอิทธิพลของรากหญ้าแฝกเพียงอย่างเดียว แต่ในช่วงแปดเดือนหลังซึ่งกระถินเทพามีอัตราการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วดังอ้างอิงในรูปที่ 7 และ 8 ทำให้รากกระถินเทพาแผ่กระจายออกไปเกิดการผสมผสานกันของระบบรากพืช เป็นการเสริมความแข็งแรงแก่ดินเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงในรูปที่ 9

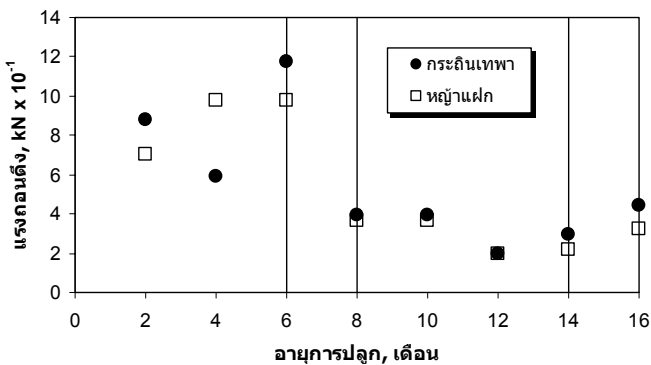


รูปที่ 9 กำลังต้านทานแรงเฉือนของระบบรากพืชแบบผสมผสานกับอายุการปลูก

### 3.3 กำลังต้านทานแรงดึงของดินที่เสริมรากกระถินเทพาและรากหญ้าแฝก

จากผลการทดสอบการถอนดิ่งในสนามพบว่า ในช่วง 6 เดือนแรกของการทดสอบแรกถอนดิ่งของหญ้าแฝกมีค่าสูงกว่ากระถินเทพา กล่าวได้ว่าในระยะแรกของการใช้ระบบรากพืชแบบผสมผสานนั้น หญ้าแฝกมีบทบาทนำอย่างเห็นได้ชัด สอดคล้องกับอัตราการเจริญเติบโตที่ได้กล่าวถึงแล้ว นอกจากนี้แรงถอนดิ่งในช่วง 6 เดือนแรกมีค่าโดยเฉลี่ยสูงสุดเพราะอยู่ในช่วงฤดูแล้ง

หากพิจารณาในเดือนที่ 8 ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนแปลงฤดูกาลพบว่าแรงถอนดิ่งของรากพืชทั้ง 2 ชนิดลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 50 และมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งอีกครั้งหนึ่งในช่วงเดือนที่ 14 จะพบว่าแรงถอนดิ่งของระบบรากกระถินเทพาเริ่มมีค่ามากกว่าระบบหญ้าแฝกอย่างเห็นได้ชัดและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ



รูปที่ 9 แรงถอนดิ่งของรากกระถินเทพาและรากหญ้าแฝกเทียบกับอายุการปลูก

### 4. สรุปการวิจัย

จากการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเจริญเติบโตในช่วง 8 เดือนแรกของหญ้าแฝกสูงกว่ากระถินเทพา แต่ในช่วง 8 เดือนหลัง กระถินเทพามีอัตรา

เจริญเติบโตสูงกว่าหญ้าแฝกเพราะสามารถตรึงธาตุอาหารได้ดีกว่า

2. ในช่วง 8 เดือนแรกของการปลูกกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินขึ้นอยู่กับระบบรากของหญ้าแฝกเป็นหลักแต่ในช่วง 8 เดือนหลัง เห็นได้ชัดว่าระบบรากพืชแบบผสมผสานช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้แก่ลาดดินได้อย่างมีนัยสำคัญ

3. แรงถอนดิ่งของรากพืชมีความสัมพันธ์กับฤดูกาลอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามระบบรากพืชมีส่วนสำคัญในการยึดดินไว้ไม่ให้เกิดการพังทลายลงได้

### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยและขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Wu T.H., Mckinnel W. P. III, and Swanston D. N. (1979) "Strength of tree roots and Landslides on Prince of Wales Island, Alaska", Canadian Geotechnical Journal 16: 19-23.
- [2] Wu T.H. and Watson A. (1998) "Insitu Shear Test of Soil Block with Roots", Canadian Geotechnical Journal 35: 36-45.
- [3] Operstien V. and Fryman S. (2000) "The Influence of Vegetation on soil Strength", Ground Improvement Journal, Vol. 4, No. 2: 81-89.
- [4] Borroughs E. R. and Thomas B. R. (1977) "Declining Root Strength in Douglas-fir after Felling as a Factor in Slope Stability", Research Paper INT-190, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Utah, U.S. Forest Service: 27.
- [5] Gray D. H. (1978) "Role of Woody Vegetation in Reinforcing Soils and Stability Slope", Symposium on Soils Reinforcing and Stabilizing Techniques. Sydney, Australia: 253-306.
- [6] Turmanina V. I. (1965) "The Strength of Tree Roots", in Bulletin of Moscow Society of Naturalists, Biological Section, Vol. 70, No. 5, 36-45.