

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่เสริมด้วยระบบรากพืชแบบผสมผสานแบบ  
สี่เหลี่ยมและแบบสามเหลี่ยม

COMPARISON OF ENGINEERING PROPERTIES OF COMBINATION ROOT  
REINFORCED SOIL OF SQUARE AND TRIANGULAR PATTERN

ดร. พานิช วุฒิปุทฺษ์ (Dr. Panich Voottiprux)<sup>1</sup>

ดร. เชิดชนินทร์ หอมดมลิน (Dr. Chirdchanin Modmoltin)<sup>2</sup>

ดร. ชัยรัตน์ ชีระวัฒนสุข (Dr. Chairat Teerawattanasuk)<sup>3</sup>

ดร. วรากร ไม้เรียง (Dr. Warakorn Mairaeng)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (pvn@kmitnb@ac.th)

<sup>2,3</sup>อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<sup>3</sup>รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**บทคัดย่อ :** งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่เสริมความแข็งแรงด้วยรากพืชแบบผสมผสานโดยใช้ต้นกระถินเทพาและหญ้าแฝกมาปลูกในสนามในรูปแบบสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม จากนั้นทดสอบการถอนดินในสนามที่ระยะเวลา 2,4,6,8,10,12,14 และ 16 เดือนตามลำดับ นอกจากนี้ยังดำเนินการทดสอบแรงเฉือนที่ตำแหน่งต่างๆกันด้วย ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการปลูกในรูปแบบสี่เหลี่ยมรับแรงเฉือนได้มากกว่าแบบสามเหลี่ยม นอกจากนี้การปลูกในรูปแบบสี่เหลี่ยมยังรับแรงถอนดินได้สูงกว่าแบบสามเหลี่ยมเช่นเดียวกัน ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการกระจายของรากในรูปแบบสี่เหลี่ยมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพกว่าแบบสามเหลี่ยม จากการค้นพบนี้พบว่ามิประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในการฟื้นคืนสภาพป่าให้แก่ประเทศไทยต่อไป

**ABSTRACT:** This research aims at investigation of engineering properties of soil reinforcement with combination root system. The pioneer species of Vetiver grass and Acacia Mangium Willd were selected and planted in square and triangular pattern. The pullout resistance of Acacia Mangium Willd and Vetiver grass conducted in different periods of 2,4,6,8,10,12,14 and 16 months, respectively. Moreover, the shearing resistance of roots reinforced soil was tested base on different locations. The result revealed that the shearing resistance of root reinforced soil in square pattern is slightly higher than those of triangular pattern. Besides, the pullout resistance of root reinforced soil is also higher than those of triangular patter. This may be due to the effectiveness of root distribution in square pattern is higher than triangular pattern. This findings will be benefited to field application for reforestation in Thailand as a whole.

**KEYWORDS:** Combination root system, Acacia Mangium Willd, Vetiver grass, Soil reinforcement

## 1. ความเป็นมาของปัญหา

สภาวะแวดล้อมของโลกในปัจจุบันเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจนส่งผลกระทบต่อมนุษย์อย่างเห็นได้ชัด ภัยธรรมชาติต่างๆที่เกิดขึ้นทั่วโลกเป็นสัญญาณบ่งชี้ให้ทราบว่ามนุษยชาติกำลังตกอยู่ในอันตราย และเป็นอันตรายที่เกิดจากน้ำมือมนุษย์เอง การทำลายทรัพยากรธรรมชาติเช่นการตัดไม้ทำลายป่าส่งผลให้เสถียรภาพของลาดดินธรรมชาติเช่นไหล่เขาตกลง สิ่งก็ตามมาคือการพังทลายของลาดเขาลงมาทับถมบ้านเรือนในเบื้องล่างเหลือไว้เพียงซากปรักหักพังและความเสียหายของบรรดาผู้สูญเสียทั้งหลาย ซึ่งทุกคนควรตระหนักว่าหากเราทำลายธรรมชาติสักวันหนึ่งธรรมชาติจะทำลายเรา การฟื้นธรรมชาติเพื่อประโยชน์ทางวิศวกรรมจึงเป็นเรื่องที่พึงกระทำเพราะนอกจากจะเป็นการทำให้สภาวะแวดล้อมดีขึ้นยังมีส่วนช่วยแก้ปัญหาด้านวิศวกรรมได้เป็นอย่างดี จากปัญหาการพังทลายของลาดดินตามธรรมชาตินั้นได้มีการแก้ปัญหามาในเชิงวิศวกรรมต่างๆกันและเป็นที่ยอมรับว่าพืชพรรณที่มีอยู่ตามธรรมชาติสามารถทำหน้าที่เพิ่มเสถียรภาพให้แก่ลาดดินได้ โดยพืชได้รับการยอมรับว่าสามารถทำหน้าที่ป้องกันการกัดเซาะของดินเนื่องจากฝนและน้ำที่ไหลบ่าในฤดูฝนและยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงแก่ดินที่มีความลาดชันได้เป็นอย่างดี (Waldron,1977; Gray,1978; Waldron and Dakessian,1982) โดยได้หญ้าแฝกถูกนำมาปลูกเพื่อการอนุรักษ์ดินมากกว่า 50 ปีแล้ว พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงนำหญ้าแฝกมาใช้ในโครงการตามพระราชดำริเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ เนื่องจากหญ้าแฝกเป็นพืชที่มีระบบรากตรงและยาวสามารถยึดผิวดินและช่วยป้องกันการกัดเซาะได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามรากของหญ้าแฝกมีขนาดเล็กและอวบน้ำทำให้ไม่สามารถต้านทานแรงดึงหรือแรงถอนที่สูงมากได้ (Voottipruex and Sungwormpatansakul, 2003)การนำกระถินเทพาพืชโตเร็วซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเดิมมาใช้เป็นพืชเบิกนำร่วมกับปลูกหญ้าแฝกนับเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะให้พืชทั้งสองชนิดทำหน้าที่ช่วยเพิ่มเสถียรภาพแก่ลาดดิน ก่อนที่พืชพรรณในพื้นที่นั้นจะกลับคืนมาทำหน้าที่ได้ดังเดิม งานวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่มีระบบรากแบบผสมผสานอันได้แก่ รากกระถินเทพาและหญ้าแฝกร่วมกัน โดยพิจารณาระยะและรูปแบบการปลูกพืชทั้งสองชนิด การรับแรงถอนดึงและการรับแรงเฉือนของดินที่เพิ่มสูงขึ้นจากระบบรากพืชแบบผสมผสาน โดยนำผลมาเปรียบเทียบกันเพื่อให้

ได้ข้อมูลที่จำเป็นในการนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเสถียรภาพความลาดต่อไป

## 2. การเตรียมแปลงทดสอบในสนาม

การทดสอบหากล้างด้านทานแรงถอนดึงและกำลังด้านทานแรงเฉือนของดินในรูปแบบการปลูกพืชแบบผสมผสานของดินกระถินเทพาและหญ้าแฝกในสนามใช้พื้นที่ประมาณ 540 ตารางเมตร โดยปล่อยให้การเจริญเติบโตเป็นไปตามธรรมชาติ การปลูกแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบสี่เหลี่ยมและแบบสามเหลี่ยม การปลูกกระทำทั้งบนพื้นราบ พื้นที่ลาดเอียง 30 องศาและพื้นที่ลาดเอียง 45 องศา

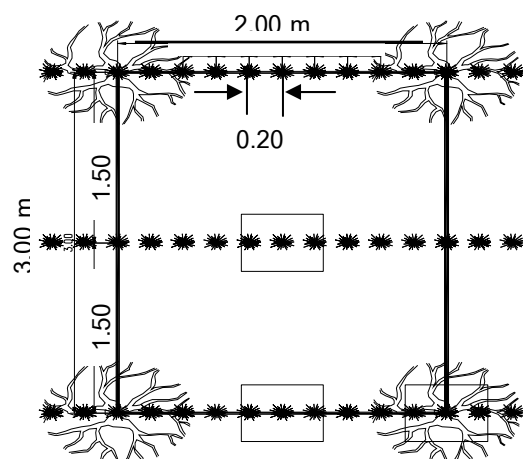
### 1.1 กรณีการปลูกแบบสี่เหลี่ยม

รูปแบบที่ 1 ปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวให้มีระยะห่างระหว่างกอ 0.20 เมตร แต่ละแถวห่างกัน 1.50 เมตร กระถินเทพาจะปลูกแทรกอยู่ระหว่างกอหญ้าแฝก ระยะห่างระหว่างต้นกระถินเทพาในแถวเดียวกัน 2 เมตร โดยปลูกกระถินเทพาแทรกในแถวหญ้าแฝกแบบแถวเว้นแถวเป็นรูปสี่เหลี่ยม

รูปแบบที่ 2 ปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวให้มีระยะห่างระหว่างกอ 0.20 เมตร และแต่ละแถวห่างกัน 1 เมตร กระถินเทพาจะปลูกแทรกอยู่ระหว่างกอหญ้าแฝกมีระยะห่างระหว่างกระถินเทพาในแถวเดียวกัน 2 เมตร โดยปลูกกระถินเทพาแทรกในแถวหญ้าแฝกแบบแถวเว้นสองแถวเป็นรูปสี่เหลี่ยม

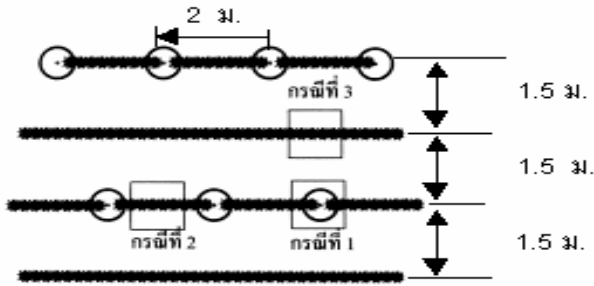
รูปแบบที่ 3 ปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวให้มีระยะห่างระหว่างกอ 0.20 เมตร และแต่ละแถวห่างกัน 1 เมตร กระถินเทพาจะปลูกอยู่ระหว่างกอหญ้าแฝกมีระยะห่างระหว่างกระถินเทพาในแถวเดียวกัน 2 เมตร โดยปลูกกระถินเทพาแทรกในแถวหญ้าแฝกแบบแถวเว้นแถวเป็นรูปสี่เหลี่ยม

รูปแบบการปลูกแบบสี่เหลี่ยมทั่วไปแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การปลูกแบบสี่เหลี่ยมแบบทั่วไป

ระยะเวลาการปลูกตั้งแต่ 2 ถึง 18 เดือนตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบปริมาณและปริมาณความชื้นของดินด้วย



ภาพที่ 2 การปลูกแบบสามเหลี่ยมแบบทั่วไป

### 1.2 กรณีการปลูกแบบสามเหลี่ยม

รูปแบบที่ 1 ปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวให้มีระยะห่างระหว่างกอ 0.20 เมตร แต่ละแถวห่างกัน 1.50 เมตร กระจดินเทพาจะปลูกแทรกอยู่ระหว่างกอหญ้าแฝก ระยะห่างระหว่างต้น กระจดินเทพาในแถวเดียวกัน 2 เมตร โดยปลูกกระจดินเทพาแทรกในแถวหญ้าแฝกแบบแถวเว้นแถวเป็นรูปสามเหลี่ยม

รูปแบบที่ 2 ปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวให้มีระยะห่างระหว่างกอ 0.20 เมตร และแต่ละแถวห่างกัน 1 เมตร กระจดินเทพาจะแทรกอยู่ระหว่างกอหญ้าแฝกมีระยะห่างระหว่างกระจดินเทพาในแถวเดียวกัน 2 เมตร โดยปลูกกระจดินเทพาแทรกในแถวหญ้าแฝกแบบแถวเว้นสองแถวเป็นรูปสามเหลี่ยม

รูปแบบที่ 3 ปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวให้มีระยะห่างระหว่างกอ 0.20 เมตร และแต่ละแถวห่างกัน 1 เมตร กระจดินเทพาจะแทรกอยู่ระหว่างกอหญ้าแฝกมีระยะห่างระหว่างกระจดินเทพาในแถวเดียวกัน 2 เมตร โดยปลูกกระจดินเทพาแทรกในแถวหญ้าแฝกแบบแถวเว้นแถวเป็นรูปสามเหลี่ยม

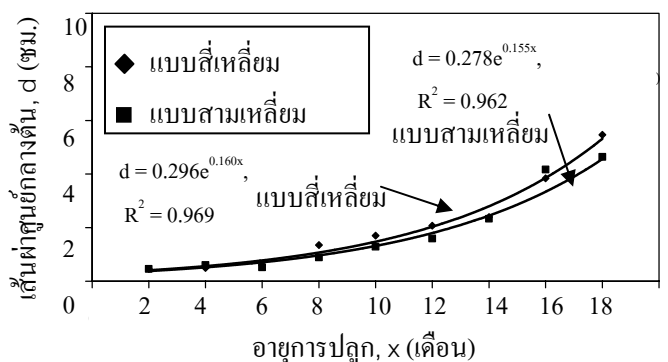
รูปแบบการปลูกแบบสามเหลี่ยมทั่วไปแสดงในภาพที่ 2

## 3. ผลการทดสอบ

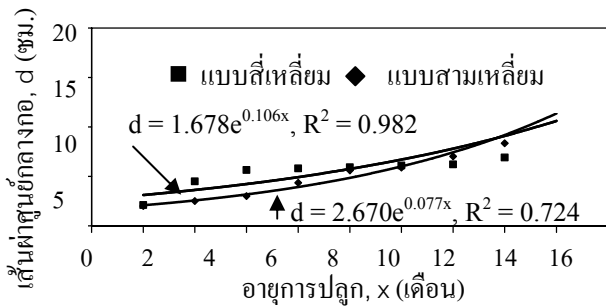
การวิจัยครั้งนี้ได้มีการตรวจสอบคุณภาพของดินที่ใช้ในการปลูกพบว่าเป็นดินลักษณะเป็นลูกรังสีน้ำตาลแดงมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ โดยสามารถจำแนกเป็นดินประเภท Poorly Graded Sand with Clay หรือ SP-SC การทดสอบในสนามประกอบด้วยการศึกษาความเจริญเติบโตของต้นกระจดินเทพาและกอหญ้าแฝก การทดสอบแรงเฉือนตรงตรงกลางต้น ระหว่างต้นและระหว่างแถวสำหรับทุกรูปแบบการปลูก และมีการทดสอบการถอนคิ่งที่

### 3.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกระจดินเทพาและกอหญ้าแฝกในสนาม

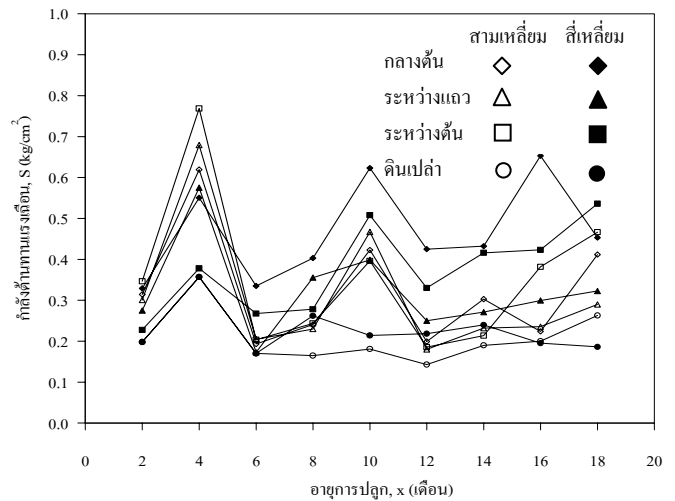
ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบการเจริญเติบโตโดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูงของต้น ความกว้างและความยาวของรากกระจดินเทพาและกอหญ้าแฝก โดยพบว่ากระจดินเทพาที่ปลูกแบบสี่เหลี่ยมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นโดยลำดับตามอายุการปลูกที่เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มจาก 0.46 ซม. ที่อายุการปลูก 2 เดือน เป็น 5.47 ซม. ที่อายุการปลูก 18 เดือน ขณะที่กระจดินเทพาที่ปลูกในรูปแบบสามเหลี่ยมมีขนาดเพิ่มจาก 0.46 ซม. ที่อายุการปลูก 2 เดือน เป็น 4.64 ซม. ที่อายุการปลูก 18 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 3 จากการเปรียบเทียบพบว่า ในช่วง 2 ถึง 10 เดือน ไม่พบความแตกต่างด้านการเจริญเติบโตมากนัก แต่ในช่วง 12 ถึง 18 เดือน กระจดินเทพาในรูปแบบสี่เหลี่ยมเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบบสามเหลี่ยม โดยแบบสี่เหลี่ยมมีการเจริญเติบโตของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นคิดเป็น 10.89 เท่า ขณะที่แบบสามเหลี่ยมเติบโตเพิ่มขึ้นคิดเป็น 9.09 เท่าเทียบกับตอนเริ่มปลูก ซึ่งมีสาเหตุจากการปลูกแบบสี่เหลี่ยมมีระยะห่างระหว่างต้นมากกว่าทำให้พืชสามารถหาอาหารและเจริญได้ดีกว่าแบบสามเหลี่ยม รวมทั้งในด้านความสูง และรัศมีราก ส่วนความยาวเฉลี่ยของรากกระจดินเทพาในการปลูกทั้งสองแบบมีความแตกต่างกันเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญทางตัวเลข สำหรับกรณีหญ้าแฝกนั้นพบว่าการเจริญเติบโตของทั้งสองรูปแบบมีการเกาะกลุ่มกัน เนื่องจากการปลูกหญ้าแฝกมีรูปแบบการปลูกที่เหมือนกันทุกประการทั้ง 2 กรณี และไม่พบการเจริญเติบโตที่แสดงความแตกต่างชัดเจนเช่นกรณีกระจดินเทพาดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางต้นกระจดินเทพาที่ปลูกแบบสี่เหลี่ยมและแบบสามเหลี่ยมกับอายุการปลูกในสนาม



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางกอ, d (ซม.) สี่เหลี่ยมและแบบสามเหลี่ยมกับอายุการปลูกในสนาม



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงเฉือนดินเปล่า ดินที่เสริม รากกระถินเทพาและหญ้าแฝกที่ปลูกแบบสี่เหลี่ยมและแบบ สามเหลี่ยมกับอายุการปลูกในสนาม

### 3.2 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่เสริม

ด้วยรากต้นกระถินเทพาและกอ หญ้าแฝกในสนาม

จากผลการทดสอบแรงเฉือนของดินที่ระดับความลึก 20 ซม. จากผิวดิน โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเปล่า และดินที่เสริมด้วยรากกระถินเทพาและหญ้าแฝกที่ทำการปลูกในรูปแบบสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมทุกรูปแบบ การปลูกกับอายุการปลูก 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 เดือนถึง 18 เดือนดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่า

ในการปลูกแบบสี่เหลี่ยมกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินบริเวณใต้ต้นกระถินเทพาและได้กอหญ้าแฝกมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการปลูก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.329 ถึง 0.653 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่เสริมด้วยรากหญ้าแฝกระหว่างต้นกระถินเทพามีค่าอยู่ในช่วง 0.228 ถึง 0.423 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่เสริมด้วยรากหญ้าแฝกระหว่างแถวต้นกระถินเทพามีค่าอยู่ในช่วง 0.275 ถึง 0.300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ในการปลูกแบบสามเหลี่ยมกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินบริเวณใต้ต้นกระถินเทพาและได้กอหญ้าแฝกมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการปลูก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.193 ถึง 0.619 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่เสริมด้วยรากหญ้าแฝกระหว่างต้นกระถินเทพามีค่าอยู่ในช่วง 0.186 ถึง 0.769 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่เสริมด้วยรากหญ้าแฝกระหว่างแถวต้นกระถินเทพามีค่าอยู่ในช่วง 0.180 ถึง 0.679 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

สำหรับกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเปล่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.143 ถึง 0.263 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

### 3.3 ความชื้นและกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่เสริม

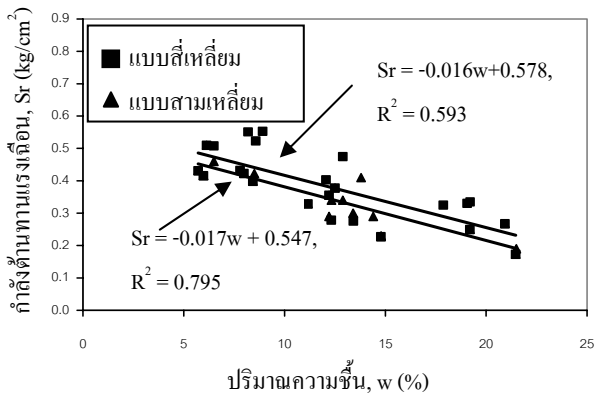
ด้วยรากต้นกระถินเทพาและกอ หญ้าแฝกในสนาม

ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินอาจจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามการเจริญเติบโตของต้นกระถินเทพาและกอหญ้าแฝก เมื่อพิจารณาความชื้นในดินที่ใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในมวลดินกับกำลังต้านทานแรงเฉือน พบว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินมีค่าลดลงตามปริมาณความชื้นในดินที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ดินตามธรรมชาติมีปริมาณความชื้นแปรปรวนตามฤดูกาล ทำให้กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่เสริมด้วยรากกระถินเทพามีความแปรปรวนตามไปด้วย

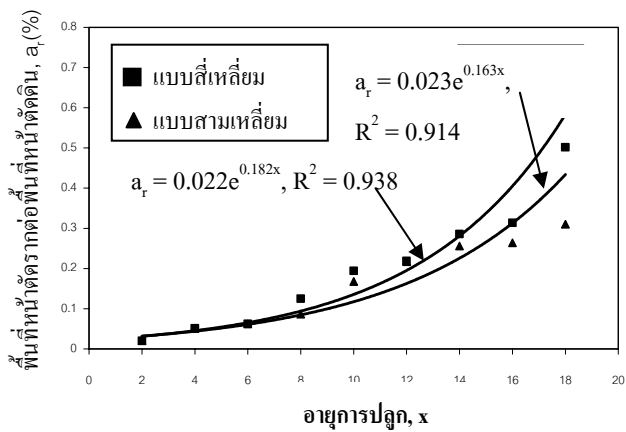
### 3.4 พื้นที่หน้าตัดรากต่อพื้นที่หน้าตัดดินที่เสริม

ด้วยรากต้นกระถินเทพาและกอ หญ้าแฝกในสนาม

ภายหลังการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินพบว่าพื้นที่หน้าตัดรากต่อพื้นที่หน้าตัดดินของรูปแบบการปลูกแบบสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการปลูกที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยทั้งในกรณีพื้นที่หน้าตัดรากต่อพื้นที่หน้าตัดดินของรูปแบบสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมอยู่ในช่วงร้อยละ 0.020 ถึง 0.502 เนื่องจากรากกระถินเทพาส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตขนานผิวดิน ส่วนรากหญ้าแฝกนั้นมีขนาดเล็กแต่จะเจริญเติบโตลงในแนวดิ่ง ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดดินเสริมรากกระถินเทพาและกอหญ้าแฝกในการปลูกแบบสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม



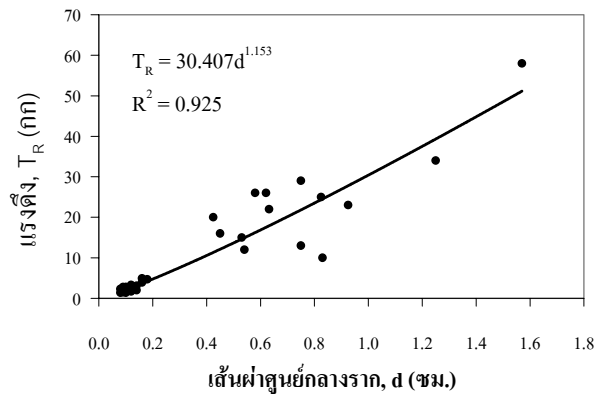
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงเฉือนกับปริมาณความชื้นในดิน



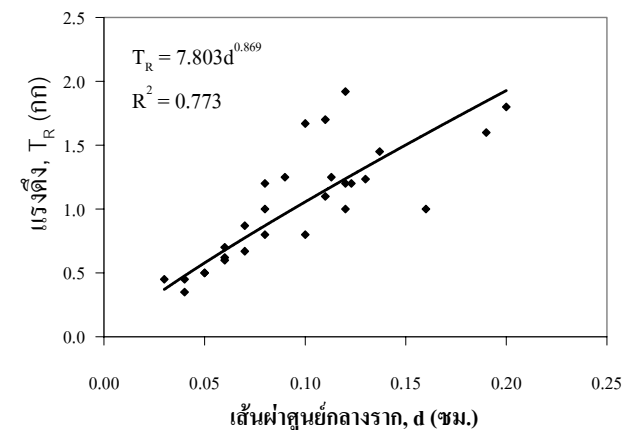
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดรากต่อพื้นที่หน้าตัดดินที่เสริมรากกระถินเทพาและหญ้าแฝกแบบสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม

### 3.5 การรับแรงดึงของรากกระถินเทพาและหญ้าแฝก

จากการทดสอบแรงดึง (Tensile Force) รากกระถินเทพาและรากหญ้าแฝกพบว่า แรงดึงของรากกระถินเทพามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากรากมีขนาดใหญ่ขึ้นมีความแข็งแรงของแก่นรากมากขึ้น โดยมีค่าพิสัยของแรงดึงอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 58 กิโลกรัม ขณะที่รากของกระถินเทพามีขนาดตั้งแต่ 0.08 ถึง 1.57 ซม. ดังแสดงในภาพที่ 8 ในทำนองเดียวกันแรงดึงรากหญ้าแฝกก็มีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน โดยมีค่าแรงดึงอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.92 กิโลกรัม ขณะที่รากหญ้าแฝกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.03 ถึง 0.20 ซม. ดังแสดงในภาพที่ 9 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหญ้าแฝกไม่ใช่พืชยืนต้น ขนาดของรากเปลี่ยนแปลงเฉพาะในช่วงแรก แต่เมื่อต้นหญ้าแฝกตายลงรากก็เกิดการเน่าเปื่อยและมีการแทงต้นใหม่และเกิดรากใหม่มาทดแทน การรับแรงดึงของรากจึงคงที่อยู่ที่ระดับหนึ่งเท่านั้น



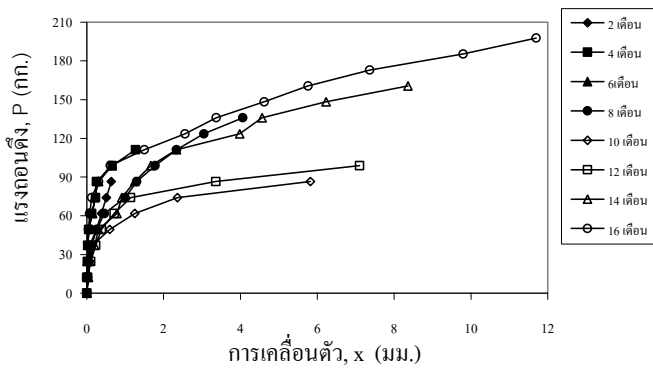
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรากกระถินเทพา



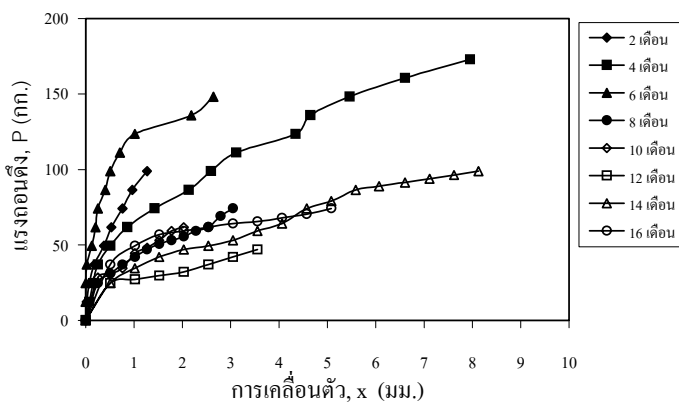
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรากหญ้าแฝก

### 3.6 การรับแรงถอนดึงของต้นกระถินเทพาและกอหญ้าแฝก

ภาพที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงถอนดึง (Pullout Force) กับระยะการเคลื่อนตัวของการปลูกกระถินเทพารูปแบบสี่เหลี่ยม โดยพบว่าแรงถอนดึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีค่าสูงสุดประมาณ 120 กิโลกรัม ที่ระยะการเคลื่อนตัวของราก 0.0 ถึง 0.60 มม. หลังจากนั้นค่าแรงถอนดึงจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้าลง โดยการเคลื่อนตัวมีระยะห่างมากขึ้นนับตั้งแต่ 2 มม. เป็นต้นไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่าต้นกระถินเทพากำลังถูกถอนออกจากดินความสามารถในการถ่ายแรงระหว่างรากกระถินเทพาและดินจะค่อยๆ ลดลง จนหลุดออกจากดินอย่างสิ้นเชิงเมื่อระยะการเคลื่อนตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 4 มม. เป็นต้นไป โดยมีค่าแรงถอนดึงสูงสุดประมาณ 150 กิโลกรัม โดยค่าการรับแรงถอนดึงของต้นกระถินเทพาจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุ ซึ่งนับเป็นผลดีเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพในการยึดดินเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย



ภาพที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงถอนดึง (Pullout Force) กับระยะการเคลื่อนตัวของกรปลูกกระถินเทพารูปแบบสี่เหลี่ยม



ภาพที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการรับแรงถอนดึงและระยะการเคลื่อนตัวของกอหญ้าแฝก

ภาพที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการรับแรงถอนดึงและระยะการเคลื่อนตัวของกอหญ้าแฝก โดยจะมีแนวโน้มการเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน โดยสูงถึง 80 กิโลกรัมในช่วงการเคลื่อนตัว 0.0 ถึง 0.50 มม. หลังจากนั้นแรงถอนดึงกอหญ้าแฝกยังคงเพิ่มขึ้นแต่มีแนวโน้มลดลงตามช่วงการเคลื่อนตัว 1 มม.เป็นต้นไป จนกระทั่งการเคลื่อนตัวประมาณ 4 มม. กอรากจะถูกถอนออกจากดิน ด้วยค่าแรงดึงสูงสุดประมาณ 120 กิโลกรัม หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มคงที่หรือลดลงตามฤดูกาล หากกอหญ้าตายหรือหยุดการเจริญเติบโตเนื่องจากอยู่ภายใต้ร่มเงาของกระถินเทพา

### 3. สรุป

จากผลสรุปได้ว่าระบบรากพืชแบบผสมผสานสามารถช่วยทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงให้แก่ดินได้เป็นอย่างดี โดยสามารถเพิ่มค่าแรงยึดเกาะได้สูงกว่าดินเปล่า ซึ่งส่งผลให้เสถียรภาพของดินหรือลาดดินเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย จากผลการทดสอบในสนาม พบว่าการเจริญเติบโตของกระถินเทพาและหญ้าแฝกแบบ

สี่เหลี่ยมมีแนวโน้มการเจริญเติบโตกว่าแบบสามเหลี่ยมเล็กน้อย จากการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม อาทิ กำลังต้านทานแรงเฉือน กำลังต้านทานแรงถอน กำลังต้านทานแรงดึง ค่าความเชื่อมั่น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและอัตราส่วนพื้นที่หน้าตัดรากต่อพื้นที่หน้าตัดดิน พบว่าการปลูกแบบสี่เหลี่ยมให้ค่าโดยเฉลี่ยสูงกว่าแบบสามเหลี่ยมเล็กน้อย การใช้พืชเบิกนำเช่นต้นกระถินเทพาและหญ้าแฝกซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมให้ทำหน้าที่เพิ่มทั้งความแข็งแรงและเพิ่มสภาพแวดล้อมที่ดีแก่ลาดดินตามธรรมชาติ นับเป็นสิ่งที่ดี ก่อนที่ธรรมชาติจะฟื้นคืนเพื่อรักษาเสถียรภาพทางธรรมชาติให้ยั่งยืนตลอดไป

### 4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนวิจัยและสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิจัย

### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Gray D.H. (1978) Role of woody vegetation in reinforcing soil and stabilizing slopes. Symposium of Soil Reinforcing and Stabilizing Techniques, Sydney, pp253-306
- [2] Waldron L.J.(1977) Shear resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil. Soil Science Society of America Journal,41, 843-849
- [3] Waldron L.J. and Dakessian S. (1982) Effect of grass, legume, and tree roots on soil shearing resistance. Soil Science Society of America Journal,46, pp.894-899
- [4] Voottipruex P. and Sungwornpatansakul W. (2003) Engineering properties of soil reinforced with vetiver grass roots, Proceedings of 12<sup>th</sup> Asian Regional Conf. On Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, Singapore, pp.557-560

### 6. สถานที่ติดต่อ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนพหลุองสงคราม บางซื่อ กทม.10800