

การกระจายของรากพืชในพื้นที่ดินถล่ม ลุ่มน้ำแม่พร่อง-แม่พูล บ้านผามูบ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ Root Distribution in Landslide Area, Mae Phrong-Mae Phun Watershed, Uttaradit Province

มรรษมนต์ เอกจิต¹ วรากร ไม้เรียง¹ บรรพต กุลสุวรรณ^{1*} และ มณฑล แผนสทาน²
M. Akejit¹, W. Mairaing¹, B. Kulsuwan^{1*} and M. Pansatan²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

² คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus

² Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus

*Corresponding author E-Mail: fengbpk@ku.ac.th

(Received: June 2, 2017, Revised: July 2, 2018, Accepted: July 11, 2018)

บทคัดย่อ

การศึกษาการกระจายของรากพืชเพื่อการเสริมแรงในดินในการรักษาเสถียรภาพของลาดดิน โดยศึกษาคุณสมบัติของรากพืชจากรูปทรงของรากพืช ระยะแผ่ของรากพืช และความหนาแน่นของรากพืช โดยมีพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำแม่พร่อง-แม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ สำรวจในสนามโดยวิธีสำรวจรากกำแพงแสน (RO-KPS) และจำลองรากพืชจากการสำรวจในรูปแบบ 3 มิติ จากพืช 14 ชนิด พบว่าทรงรากที่พบมากที่สุดคือ ทรงเจดีย์คว่ำทั้งหมด 9 ชนิดซึ่งส่วนใหญ่เป็นกลุ่มพืชสวนและกลุ่มพืชป่า รองลงมาคือทรงถ้วยมี 3 ชนิดและทรงบาตรพระ 2 ชนิดซึ่งเป็นส่วนใหญ่เป็นพืชเบิกนำ ระยะแผ่ของรากพืชจากการศึกษาพบว่า ระยะแผ่รากมากที่สุดคือกลุ่มพืชป่า 3-5 ม.รองลงมาคือกลุ่มพืชสวน 0.9-3.7 ม.และกลุ่มพืชเบิกนำ 0.5-0.8 ม.ตามลำดับ เช่นเดียวกับความลึกของรากพืชป่ามีช่วงความลึกของรากลึกที่สุดคือ 0.8-1.6 ม.รองลงมาคือพืชสวน 0.9-1.3 ม.และพืชเบิกนำ 0.3-0.5 ม.ตามลำดับ สำหรับความหนาแน่นของรากพืชซึ่งอธิบายในรูปแบบของอัตราส่วนของรากต่อพื้นที่หน้าตัดของดิน (Root Area Ratio : RAR%) พบว่ากลุ่มพืชเบิกนำมีค่า RAR% ที่มากที่สุดอยู่ที่ความลึก 0.1 ม. อยู่ในช่วง 2.0-3.2% กลุ่มพืชสวนอยู่ในช่วง 7-17% ที่ความลึก 0.2 ม. และกลุ่มพืชป่าสวนอยู่ในช่วง 4 – 8.5% ที่ความลึก 0.1 - 0.2 และพืชที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเพื่อป้องกันการกัดเซาะดินได้ดีคือ ต้นกาแฟเนื่องจากปริมาณรากฝอยที่มากและสานกันเป็นแพหนาซึ่งมีค่า RAR% สูง 22%-37% ที่ช่วงความลึก 0-0.6 ม. ในการประเมินการเสริมแรงของรากพืชในดินจะพิจารณาจากความต้านทานแรงดึงของรากพืชร่วมด้วยซึ่งจะทำการศึกษาต่อไป

คำสำคัญ : รูปทรงของรากพืช, ระยะแผ่ของรากพืช, อัตราส่วนของรากต่อพื้นที่หน้าตัดดิน, การเสริมแรงของรากพืช

ABSTRACT

Studies of root reinforcement for soil slope stability require the knowledge of root pattern, radius of root spread and root density. In Mae Prong-Mae Pun watershed, Laplae district, Uttaradit province. The field investigation, the roots were exposed by water jetting. Then mapping of root distribution by 3D-scanner, photography were taken. Inverse Pagoda (Chedi) pattern of orchard plants and natural forest trees is the most common pattern, it is accounts 9 of 14 investigated trees found on orchard plants and natural forest tree. Then bowl and monk alms bowl pattern are the less common, they account for 3 and 2 out of 14 tree types respectively, found on pioneer plant. Natural forest tree have the largest root spread with radius of 3-5 m., then

orchard plants, 0.9-3.7 m., and pioneer plant, 0.5-0.8 m., respectively. Natural forest tree also has the deepest root depth of 0.8-1.6 m., then orchard plant is 0.9-1.3 m. and pioneer plant is 0.3-0.5 m. Root density in term of Root Area Ratio (RAR%). Pioneer Plants has maximum RAR% of 2-3.2% at 0.1 m. When orchard plants and natural forest trees have RAR of 7-17% at 0.2 m. and 4-8.5% at 0.1-0.2 m. deep respectively. Coffee tree (*Coffea robusta* Pierre ex Froehner L.) has the advantage of preventing soil surface erosion is with thickness of fibrous root, RAR% 22-37% at 0-0.6 m. Root Cohesion can be evaluated by the root density and Root Tensile Strength in further research.

Keywords: Root Pattern, Root Spread, RAR, Root Reinforcement

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เหตุการณ์ดินถล่มในพื้นที่ศึกษา อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ พ.ศ.2549 มีมูลค่าความเสียหายมากถึง 308.6 ล้านบาท [1] ซึ่งเป็นผลส่วนหนึ่งจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่ปริมาณพื้นที่ป่าลดลงเท่ากับพื้นที่สวนที่เพิ่มขึ้นประมาณ 8% เมื่อเทียบจากก่อนและหลังการเกิดดินถล่ม [2] มีผลให้การเสริมแรงในดินและป้องกันการกัดเซาะหน้าดินลดลง จากปริมาณที่ลดลงทั้งจำนวนและความหลากหลายของรากพืชป่า เหลือเพียงรากพืชจากการปลูกพืชเศรษฐกิจ ส่งผลให้กำลังการเสริมแรงในดินจากรากพืชลดลง [2] และเมื่อเกิดฝนตก ความชื้นในดินเพิ่มขึ้น เมื่อไม่มีรากพืชที่ช่วยลดการกัดเซาะและช่วยเสริมแรงในดินทำให้มีโอกาสเกิดการพังทลายหรือการเกิดดินถล่มได้มากขึ้น

การแก้ไขปัญหาดินถล่มโดยการใช้รากพืชซึ่งเป็นพืชท้องถิ่น ช่วยเสริมแรงและเพิ่มความแข็งแรงในดิน โดยรากพืชยังเพิ่มกำลังของลาดดินตามอายุของพืชและช่วยรักษาการกัดเซาะบริเวณหน้าดินได้อีกด้วย

การศึกษาการเสริมแรงในดินของรากพืชนั้น ส่วนสำคัญส่วนหนึ่งคือการศึกษาการกระจายของรากพืช เพื่อประเมินความแข็งแรงในการเสริมแรงในดินเนื่องจากรากพืช และยังป้องกันการกัดเซาะของหน้าบริเวณหน้าดินได้ด้วย [3,4] โดยการกระจายของรากพืชจะขึ้นอยู่กับ ชนิดพืช รูปทรงของรากพืช ระยะแผ่ของรากพืช และความหนาแน่นของรากพืช ซึ่งเป็นอัตลักษณ์ของพืชแต่ละชนิด ดังนั้นการศึกษากการเสริมแรงของรากพืชจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่การสำรวจในสนามไปจนถึงการประเมินกำลังของรากพืช

โดยที่วัตถุประสงค์ของงานวิจัยมีดังนี้

1. เพื่อศึกษาลักษณะรูปทรงของรากพืชชนิดต่างๆ
2. เพื่อศึกษารูปแบบการกระจายตัวของรากในพืชชนิดต่างๆ
3. เพื่อศึกษาปริมาณของรากในแต่ละพืชเด่นของพื้นที่ศึกษา

2. รากพืชและการเสริมแรงในดิน

2.1 คุณสมบัติของรากพืชในการเสริมแรงในดิน

รากพืชมีคุณสมบัติ เช่น ช่วยเพิ่มกำลังของดินได้ดี กำลังของรากพืชเพิ่มขึ้นตามอายุของพืช และยังช่วยป้องกันการกัดเซาะหน้าดินได้ [5] นอกจากนี้ยังมีข้อดีข้อเสียในด้านต่างๆซึ่งปรับปรุงและรวบรวมได้ [3-5] ดังนี้ ข้อดีคือ ดูดความชื้นจากดินและระเหยผ่านใบ ช่วยลดแรงดันน้ำในดิน, รากเกาะยึดดินเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ดิน, รากยึดเกาะพื้นดินได้ดินช่วยเสริมแรงและค้ำจุนโดยเฉพาะบริเวณที่มีความลาดชัน, รากไม้จะช่วยยึดดินช่วยลดการชะล้างหน้าดิน และค่ากำลังของพืชเพิ่มขึ้นตามอายุของพืช ข้อเสียคือ เพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำของดิน ช่วยให้น้ำซึมลงสู่ดินได้มากขึ้น

2.2 ทฤษฎีการเสริมแรงด้วยรากพืช

การเสริมแรงในดินด้วยรากพืช (τ_{sr}) จะมีค่าแรงยึดเหนี่ยวเสริมเนื่องจากรากพืช โดยจากสมการของ Mohr-Coulomb สามารถเขียนได้เป็นดัง $\tau_{sr} = c_s + c_r + \sigma \tan \phi$

โดยที่ c_s คือค่ายึดเกาะของดิน σ คือความเค้นรวมและ ϕ คือมุมเสียดทานภายใน โดยที่ค่า c_r คือความสัมพันธ์ของกำลังของแรงยึดเกาะของรากพืชกับดิน ซึ่งสมมติให้รากพืชเป็นวัสดุแบบยืดหยุ่นได้ (Elastic) จากรูปที่ 1 ความต้านทานแรงดึงของ

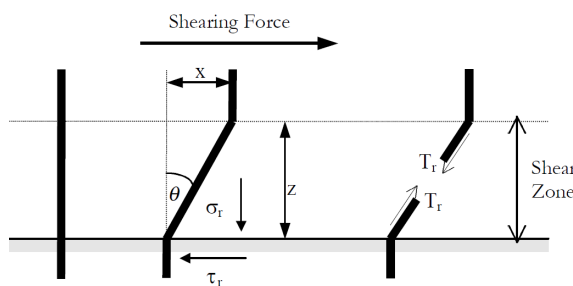
รากพืชสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือส่วนตั้งฉากกับแนว
เขื่อน $t_r \cos \theta \tan \phi$ และ ส่วนขนานกับแนวเขื่อน $t_r \sin \theta$
[6,7], จะได้สมการดังนี้ $C_r = t_r (\cos \theta \tan \phi + \sin \theta)$

โดยที่ $\cos \theta \cdot \tan \phi + \sin \theta$ มีค่าประมาณ 1.2 [8] และ t_r คือ
ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดของรากพืชแต่ละสายพันธุ์ต่อหน่วย
พื้นที่ของดิน สามารถหาได้จาก ผลรวมของแรงดึงสูงสุดของราก
พืชในแต่ละราก (T_{ri}) คูณกับอัตราส่วนของรากต่อพื้นที่หน้าตัด
ของดิน (Root Area Ratio : RAR) ดังสมการ $t_r = \sum_{i=1}^n T_{ri}(RAR)$ [9,10] ซึ่งสามารถหา RAR ได้จากสมการที่
(1) ดังนี้

$$RAR = \frac{A_r}{A} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\pi d_i^2}{4} \right)}{A} \quad (1)$$

โดยที่ d คือ ขนาดของรากพืชและ A คือพื้นที่หน้าตัดดิน
โดยพิจารณาจากพื้นที่หน้าตัดรวมของรากพืชในแต่ละหน้าตัด
ดินนั้นๆ ตามการพิจารณาที่ระยะหรือความลึกต่างๆ จาก
สมการข้างต้นที่กล่าวมา ดังนั้นสมการ C_r จึงถูกนำมาปรับปรุง
เพื่อหาการยึดเกาะของรากพืชที่มีอยู่ในดิน โดยแบบจำลอง
ดังนี้ $C_r = 1.2 \sum T_{ri}(RAR)$ [11]

โดยค่า C_r จะเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความ
แข็งแรง ขนาด และความหนาแน่นของรากมากขึ้น

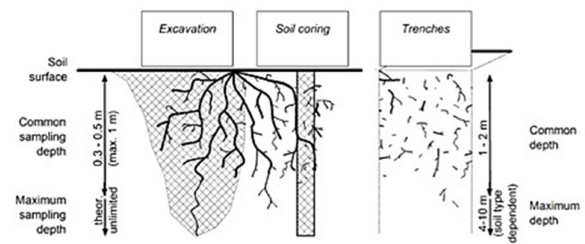


รูปที่ 1 รากที่ตัดผ่านบริเวณที่เกิดแรงเฉือนในแบบจำลองการเสริมความ
แข็งแรงด้วยรากพืช [7,11,12]

2.3 วิธีการสำรวจรากพืชในสนามในปัจจุบัน

งานวิจัยต่างๆ ได้มีการนำเทคนิคจากนักสรีรวิทยาพืชซึ่งมี
การศึกษา ทั้งทางตรงและทางอ้อม [13] ได้แสดงไว้หลายวิธี
เช่น การขุดเปิด เป็นวิธีที่มีความนิยมสูง ซึ่งในภายหลังได้มีการ
ประยุกต์ใช้จากวิธีดังกล่าวมากมาย เช่น การใช้น้ำแรงดันสูง
(High Water Pressure Technique) [14,15] โดยใช้แรงดันน้ำ

ฉีดรากทั้งต้นของพืชขนาดเล็ก และนำรากของพืชทั้งต้นมา
ถ่ายรูป เพื่อประเมินปริมาณราก และนอกจากนี้ยังมีการใช้ลม
แรงดันสูง (Air Jet Pressure : Supersonic Compressed Air)
[16] ในการสำรวจรากด้วย โดยการตั้ง 3 ขายึดลำต้น แล้วทำ
การใช้ลมแรงดันสูงเป่าดินที่อยู่พื้นที่ที่กำหนดออก โดยที่อีกฝั่ง
เป็นกระบอกช่วยดูดดินออก ให้เหลือแต่รากพืช และยังมี
วิธี Core Sampling, Trench Profile, Minirhizotron,
Framed Monolith, วิธีการวัดการใช้น้ำ (Soil Moisture
Depletion), วิธีใช้ Radioactive Isotope, วิธี Allometry,
 ฯลฯ ตัวอย่างการสำรวจโดยวิธีต่างๆดังรูปที่ 2

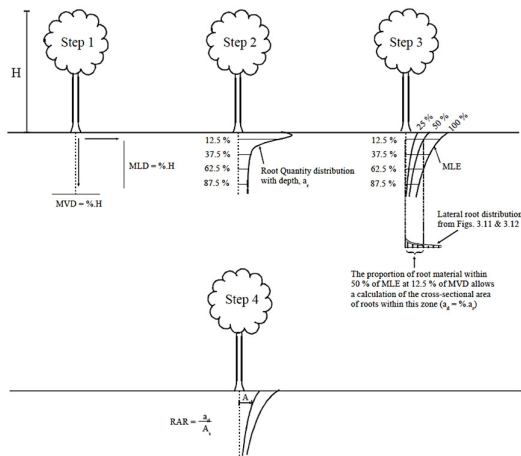


รูปที่ 2 วิธีการสำรวจรากพืชในสนาม [17]

2.4 การกระจายของรากพืชในพืชต่างๆ

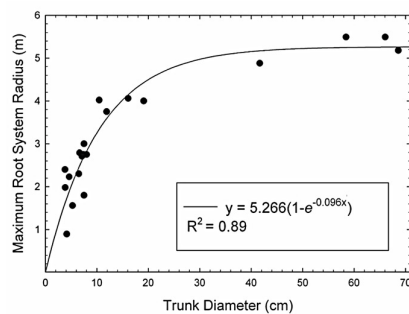
ประเมินได้จากอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดรากต่อพื้นที่ดิน
(RAR%) งานวิจัยในอดีตได้จำลองรูปทรงของรากพืชจากระยะ
แผ่ของรากในแต่ละระดับความลึก [18] โดยแบ่งระยะแผ่ราก
และความลึกเป็นช่วงดังนี้ 12.5%, 37.5%, 62.8% และ 87%
ซึ่งคิดจากระยะแผ่รากสูงสุดและความลึกของรากสูงสุดเป็น
100% ดังรูปที่ 3 พบว่า 80% ของปริมาณรากส่วนใหญ่จะอยู่
ในความลึกไม่เกิน 15% ของความลึกของรากสูงสุด และบริเวณ
พื้นที่ใกล้กับลำต้นหรือโคนต้นก็จะเป็นบริเวณที่มี RAR%
มากกว่าบริเวณอื่นที่ไกลออกไปตามระยะแผ่ของรากนั้น [18]

อีกหนึ่งส่วนที่มีความสำคัญในการศึกษา คือ ระยะแผ่
ของรากพืชที่มีความสัมพันธ์กับส่วนต่างๆของรากพืช เพื่อนำไป
ประยุกต์ใช้ ในการทำแบบจำลองทางวิศวกรรมปฐพี ระยะแผ่
ของรากพืชนั้นเป็นสัดส่วนเส้นตรงกับขนาดของทรงพุ่มของต้น
[19] เช่น ต้นมะกอก (Green Ash: *Fraxinus Pensilvanica*)
เป็น 1.68 เท่าของขนาดทรงพุ่ม และ 3.77 เท่าในต้นแม็กโน
เลีย (Magnolia: *Magnolia Grandiflora*)



รูปที่ 3 วิธีการประเมิน RAR% ตามระยะและความลึกต่างๆ ในรากพืช [18]

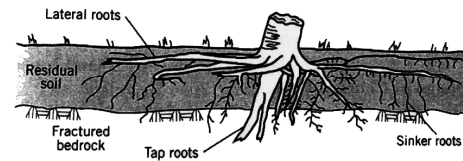
นอกจากนี้ยังมีระยะแผ่ของรากสัมพันธ์กับขนาดของลำต้น เช่น ในต้นโอ๊ค (Live Oak: *Quercus Virginiana*) เป็น 0.20 เท่าของขนาดลำต้น และ 0.53 เท่าในต้นแม็กโนเลีย (*Magnolia: Magnolia Grandiflora*) [19] และในภาพรวมตั้งแต่ 6 เท่าจนถึง 18 เท่าสำหรับขนาดลำต้นจากเล็กไปใหญ่ [20] นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 4 [21] ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อขนาดลำต้นที่มากกว่า 30 ซม. ระยะแผ่ของรากเริ่มที่จะคงที่



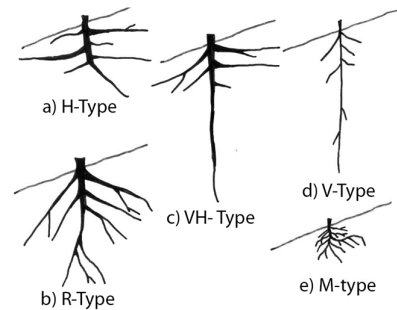
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดลำต้นและระยะแผ่ของรากพืช [21]

2.5 การจำลองลักษณะรูปทรงของรากพืช

ชนิดของรากพืชสามารถแบ่งออกเป็น รากแก้ว (Tap Root) รากแขนง (Lateral Root) รากแนวตั้งที่แตกออกมาจากรากแขนงและรากแก้ว (Sinker Root) และรากฝอย (Fibrous Root) ดังรูปที่ 5



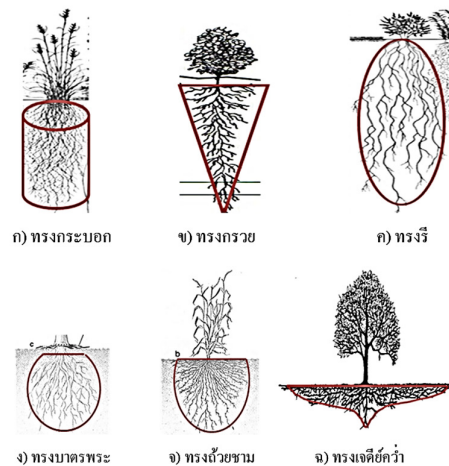
รูปที่ 5 ชนิดของรากพืชต่างๆ [4]



รูปที่ 6 ลักษณะรากพืชรูปแบบต่างๆ [22]

การจำแนกรูปแบบของราก [22] ดังรูปที่ 6 ทั้งหมด 5 รูปแบบ ได้สรุปศักยภาพของรากไม้ [23] ตามรูปแบบข้างต้นได้ดังนี้ V-Type, VH-Type และ H-Type เป็นรากลึกช่วยเสริมด้านเสถียรภาพของลาดดิน H-Type และ M-Type รากลึกปานกลางช่วยให้ดินจับตัวกันได้ดี และ R-Type, V-Type, H-Type และ VH-Type เป็นรากที่สามารถต้านทานแรงลมได้ นอกจากนี้รูปแบบรากที่เป็นประโยชน์เพื่อรักษาเสถียรภาพความลาดชันเป็นแบบ H-Type, R-Type และแบบ M-Type [24]

รูปทรงของรากพืชยังไม่ได้มีการวางรูปแบบของรูปร่างของรากพืชที่ชัดเจนในแต่ละชนิดพืช จึงได้มีการรวบรวมรากพืชที่มีอยู่ออกเป็น 6 แบบ [25] ดังรูปที่ 7

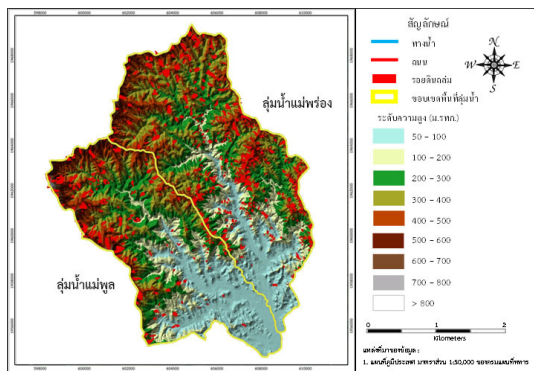


รูปที่ 7 รูปทรงของรากพืชในรูปแบบต่างๆ [25]

โดยในการวิจัยนี้ทั้งสองพื้นที่เมื่อทำการสำรวจรากพืชแล้ว รูปทรงส่วนใหญ่ที่พบคือ รูปทรงแบบถั่วยาว, ทรงบาตรพระ และ ทรงเจดีย์คว่ำ

3. พื้นที่ศึกษาและเหตุการณ์ดินถล่มในอดีต

พื้นที่ลุ่มน้ำ แม่พ่อง-แม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ตำแหน่งพื้นที่อยู่ทางตะวันตกเฉียงเหนือของอำเภอลับแล โดยพื้นที่ศึกษาจะมีขอบเขตดังรูปที่ 8 และเคยเกิดดินถล่มเมื่อช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2549 เนื่องจากฝนตกหนัก ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดดินถล่มในอดีต [29, 30] ทำให้มีผู้เสียชีวิตทั้งหมด 66 คน สูญหาย 37 คน บ้านเรือนและ พื้นที่ทางการเกษตรเสียหาย คิดเป็นมูลค่าความเสียหายรวม 308.6 ล้านบาท [1] ในปีที่เกิดดินถล่มนั้นพบว่าพื้นที่ป่าลดลงเช่นเดียวกับที่พื้นที่สวนเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่ป่าที่ลดลงและพื้นที่สวนเพิ่มขึ้น [2] จะเห็นว่าปริมาณรากพืชที่ลดลงเป็นผลส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาดินถล่มได้



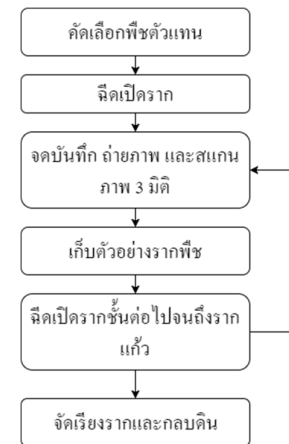
รูปที่ 8 พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำแม่พ่องแม่พูล [2]

4. อุปกรณ์และวิธีการ

ในการสำรวจเริ่มแรกได้เลือกใช้วิธีการขุดเปิดราก ออกที่ละชั้น ทำให้เกิดความเสียหายกับรากน้อยที่สุด โดยใช้ส้อมพรวนดิน ค้อนธรณี และแปรงปัดขนาดต่างๆ แต่วิธีนี้ใช้เวลานานและทำให้รากฝอยขนาดเล็กขาดและบางส่วนจะขาดหาย ต่อมาจึงได้ประยุกต์ใช้เครื่องสูบน้ำทางการเกษตรมาช่วยในการขุดสำรวจ ซึ่งทำให้รายละเอียดของรากและรากฝอยยังคงอยู่ โดยที่อุปกรณ์มีดังนี้ เครื่องมือขุดเปิดแต่งรากพืช เช่น ส้อมพรวน แปรงปัด, เครื่องสูบน้ำแรงดันสูงขนาด 6.5 แรงม้าพร้อมปั้มน้ำ

ขนาด 1.5 นิ้ว, สายยางทนแรงดันสูง และหัวฉีดแรงดันสูง ลำดับในการสำรวจรากพืชดังรูปที่ 9

จากรูปที่ 9 คัดเลือกตัวแทนของพืชเลือกรากจากพืชที่เป็นตัวแทนของพืชหลักในแปลงตัวแทนการใช้ประโยชน์ที่ดิน แล้วฉีดเปิดราก $\frac{1}{4} - \frac{1}{2}$ ของวงแผ่ราก เพื่อให้มีผลกระทบกับรากน้อยที่สุดแต่ยังคงมีรายละเอียดของรากครบถ้วน ดังรูปที่ 10 ถ่ายรูปและสแกนภาพ 3 มิติ ดังรูปที่ 11 จัดบันทึกลำดับที่ของรากโดยใช้หลักการเช่นเดียวกับการลำดับลำน้ำ [26] บันทึกขนาด ความยาว ทิศทางการวางตัวของราก เก็บตัวอย่างรากเพื่อการทดสอบกำลังของราก โดยใส่ถุงรักษาความชื้น เพื่อนำมาทดสอบหาลำดับโดยเครื่องดึงรากซึ่งได้ทำการประยุกต์จากเครื่องกดในการทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test) เมื่อสำรวจเสร็จแล้วกลับดินและจัดวางรากให้ใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติเดิมมากที่สุด



รูปที่ 9 ลำดับขั้นตอนการสำรวจรากในสนาม

วิธีการสำรวจในสนามนี้ทางคณะวิจัยจะใช้ชื่อเรียกว่าวิธีการสำรวจรากกำแพงแสน (Root Observation-KPS:RO-KPS) ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและเหมาะสมสำหรับสำรวจในพื้นที่ศึกษาเนื่องจากใช้เวลาน้อยกว่าวิธีอื่น ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า และสามารถใช้น้ำจากแหล่งน้ำทั่วไป พืชในแต่ละต้นที่ทำการสำรวจยังเจริญเติบโตได้ เมื่อสำรวจและบันทึกผลเสร็จแล้วก็ยังสามารถใส่ปุ๋ยให้ในรากพืชเพื่อบำรุงได้อีกด้วย แต่ในพืชที่ให้ผลบางต้นอาจจะออกผลน้อยหรือหยุดให้ผลในฤดูกาลที่ทำการสำรวจ ซึ่งในฤดูกาลถัดมาก็สามารถให้ผลได้ดังเดิม

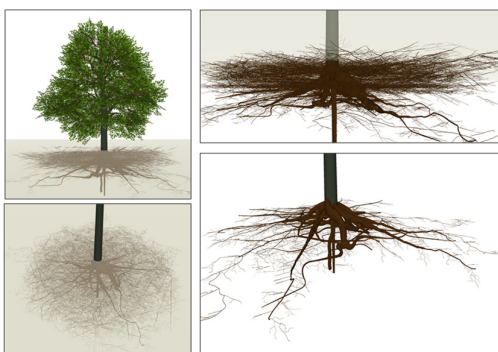


รูปที่ 10 การฉีดเปิดรากเพื่อทำการสำรวจในสนาม



รูปที่ 11 เก็บรายละเอียดรากโดยวิธีสแกน แบบ 3 มิติ

หลังจากการสำรวจรากพืชในสนามโดยวิธี RO-KPS แล้วจะนำภาพถ่าย ภาพการสแกน 3 มิติ และผลการบันทึกลักษณะขนาด และทิศทาง ของรากพืชจากพืชตัวแทนมาจำลองลักษณะการแผ่กระจายของรากพืช และขนาดของรากพืช ด้วยโปรแกรมกราฟิก 3 มิติ “Google SketchUp Make” และหาปริมาณของรากพืชในแต่ละหน้าตัดของดินในระยะต่างๆได้อีกด้วย ดังรูปที่ 12 ซึ่งแสดงการใช้โปรแกรมกราฟิกในการสร้างภาพ 3 มิติ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์รูปร่างและความหนาแน่นของรากพืชในระยะต่างๆ



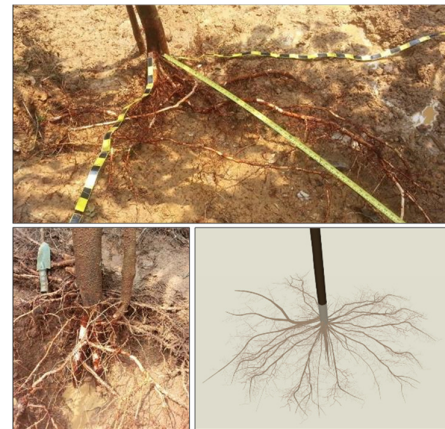
รูปที่ 12 การใช้โปรแกรมกราฟิกเพื่อสร้างภาพ 3 มิติของรากเพื่อวิเคราะห์รูปร่างและความหนาแน่น

5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการสำรวจรากพืชในสนาม

พืชชนิดต่างๆ ที่ทำการศึกษาแสดงในตารางที่ 1 โดยจะจำแนกทรงรากในการสำรวจจากสนามและแสดงถึงลักษณะทางกายภาพของพืชแต่ละชนิด โดยตัวอย่างที่รากพืชที่สนใจและจะแสดงรายละเอียดดังตัวอย่างเช่น

ต้นทุเรียนเป็นพืชเศรษฐกิจหลัก ลักษณะรากทั่วไปเป็นทรงเจดีย์คว่ำ รากแขนงไม่ใหญ่มากแตกออกโดยรอบของต้นและให้เห็นได้ชัดเจนในรากชั้นบน ส่วนรากแขนงระดับสองแตกออกจากรากแก้ว ส่วนรากแก้วแตกออกมาหลายรากในแนวตั้ง ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ลักษณะของรากต้นทุเรียน

รากของต้นกาแฟ ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจ เติบโตของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่พร่อง-แม่พูล มีรากสองชั้น รากชั้นแรกเป็นรากฝอยจำนวนมากสานกันคล้ายพรมอยู่ที่ผิวดินเป็นผืนหนาประมาณหนึ่งส่วนสี่ของความลึกรากทั้งหมด ส่วนรากแขนงจะอยู่ต่ำลงมาแตกออกจากโคนต้น มีรากแก้วในระดับลึกลงมา ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ลักษณะของรากต้นกาแฟ

รากของต้นตองกง ซึ่งเป็นไม้ล้มลุกจำพวกหญ้า ลำต้นกลม เป็นปล้องมีลักษณะคล้ายต้นอ้อหรือต้นไผ่ ลักษณะรากที่สำรวจพบจะเป็นรากฝอยทั้งหมด ออกมาจากเหง้า และลำต้นส่วนโคนขนาดรากใกล้เคียงกันและความยาวรากออกมาในแนวรัศมีประมาณ 0.5 ม. จึงทำให้รูปแบบของทรงรากเป็นรูปถ้วย ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ลักษณะของรากตองกง

ตารางที่ 1 ผลการสำรวจต้นไม้ที่เป็นตัวแทนของพืชหลักในพื้นที่ศึกษา

ลำดับ	พันธุ์ไม้	ชื่อวิทยาศาสตร์	ลักษณะต้นไม้	จำนวนที่สำรวจ (ต้น)	อายุ (ปี)	ทรงพุ่ม (ม.)	ความสูง (ม.)	เส้นรอบวงลำต้น (ซม.)	ความลึกราก (ม.)	รัศมีระยะแผ่ราก (ม.)	RAR สูงสุด (%)
1	กาแฟ*	<i>Coffea Robusta</i> Pierre Ex Froehner L.	ไม้พุ่มขนาดกลาง	2	15-20	1.75	1.6-2.0	52-85	1.3	1-1.7	36.41
2	คอแลน*	<i>Casuarina Grewiaefolia</i> Vent. Var. <i>Grewiaefolia</i>	ไม้ยืนต้นขนาดกลาง	1	20	2.6	4.5	47	1	3.00	3.88
3	ตะแบก*	<i>Lagerstroemia Cuspidata</i> Wall.	ไม้ยืนต้นขนาดใหญ่	1	30	2	4	53	1.5	4.00	6.33
4	ตีนนก*	<i>Vitex Pinnata</i> L.	ไม้ยืนต้นขนาดเล็ก	1	40	2.25	8	169	1.6	5.00	20.57
5	ทุเรียน*	<i>Durio Zibethinus</i> L.	ไม้ยืนต้นขนาดใหญ่	3	8-10	1	3.5-5.0	29-36	1.3	1.1-2.1	10.58
6	ปอขี้ตุ่น*	<i>Croib</i>	ไม้พุ่ม	1	8	1.75	5.5	33	0.3	0.70	2.74
7	มะนอด*	<i>Ficus Semicordata</i> J. E. Smith	ไม้ยืนต้นขนาดกลาง	1	20	3	5	88	0.8	5.00	8.23
8	เมี่ยง*	<i>Camellia Sinensis</i> Ktzc.	ไม้พุ่มขนาดกลาง	1	5	0.5	1.2	35	0.9	0.90	7.26
9	ลองกอง*	<i>Lansium Domesticum</i> Corr.	ไม้ยืนต้นขนาดเล็ก	2	30	-	-	37-41	1.1	3.7-4.3	14.55
10	กล้วยป่า**	<i>Musa Acuminata</i> Colla	ไม้ล้มลุกขนาดใหญ่	1	1	1.6	2	34	0.4	0.80	7.07
11	ตองกง**	<i>Thysanoleana Maxima</i> Kuntze	ไม้ล้มลุกขนาดใหญ่	2	0.5	0.4	1.5-2.0	40-70	0.5	0.50	1.81
12	ไผ่**	<i>Gigantochloa Albociliata</i> (Munro) Munro	ไม้กอขนาดใหญ่	1	5	2.3	14	16	0.5	0.65	3.00
13	เนียง***	<i>Archidendron Jiringa</i> (Jack) I.C. Nielsen	ไม้ยืนต้นขนาดกลาง	1	7	0.8	4.5	42	0.9	1.60	17.42
14	มะกอกขม***	<i>Picrasma Javanica</i> Blume	ไม้ยืนต้นขนาดกลาง	1	10	1.5	3.5	44	0.4	2.50	5.54

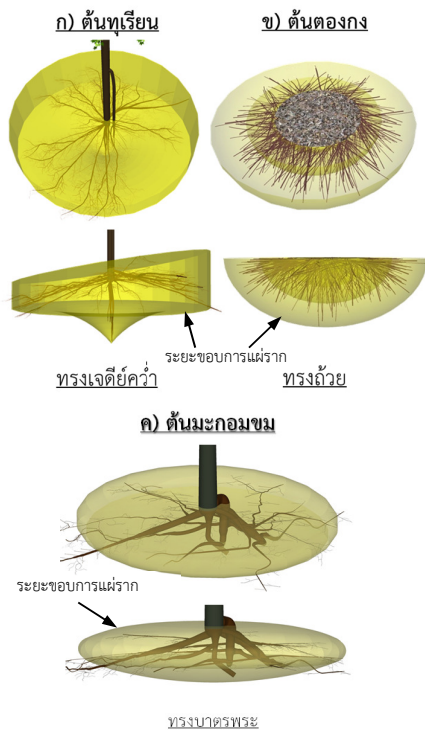
หมายเหตุ : * = ทรงรากแบบเจดีย์คว่ำ, ** = ทรงรากแบบถ้วย, *** = ทรงรากแบบบาตรพระ

จากการสำรวจพืชลักษณะรูปทรงรากส่วนใหญ่เป็นทรงเจดีย์คว่ำ 9 พันธุ์ คือ ทุเรียน ปอขี้ตุ่น มะนอด เมี่ยง กาแฟ ลองกอง ตีนนก คอแลน และตะแบก รูปทรงถ้วยมี 3 พันธุ์ คือ ตองกง กล้วยป่า ไผ่ ส่วนรูปทรงแบบบาตรพระมี 2 พันธุ์ คือ มะกอกขม และเนียง รูปที่ 16 คือตัวอย่างรูปทรงของรากพืชในรูปทรงเจดีย์คว่ำ ทรงถ้วย และทรงบาตรพระ นอกจากนี้พืชตัวแทนที่ได้สำรวจยังแบ่งกลุ่มพืชออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

กลุ่มพืชเบิกนำ เป็นพืชที่ขึ้นหลังจากดินถล่มอย่างรวดเร็วและเจริญเติบโตได้ดี แต่จะมีอายุไม่ยืนยาวมากนักเมื่อมีไม้ยืนต้นขึ้นมาแทนจนมีร่มเงาปกคลุมก็มักจะตายไปในที่สุด พืชกลุ่มนี้ประกอบด้วย ปอขี้ตุ่น ตองกง กล้วยป่า และไผ่ ทรงรากที่พบส่วนใหญ่เป็นทรงถ้วย

กลุ่มพืชสวน ประกอบด้วย ทุเรียน เมี่ยง เนียง กาแฟ และลองกอง ซึ่งเป็นตัวแทนของพืชสวนในพื้นที่

กลุ่มพืชป่า เป็นกลุ่มที่พืชมีขนาดใหญ่และรัศมีแผ่รากมากที่สุด ประกอบด้วย มะนอด ตีนนก ตะแบก และคอแลน



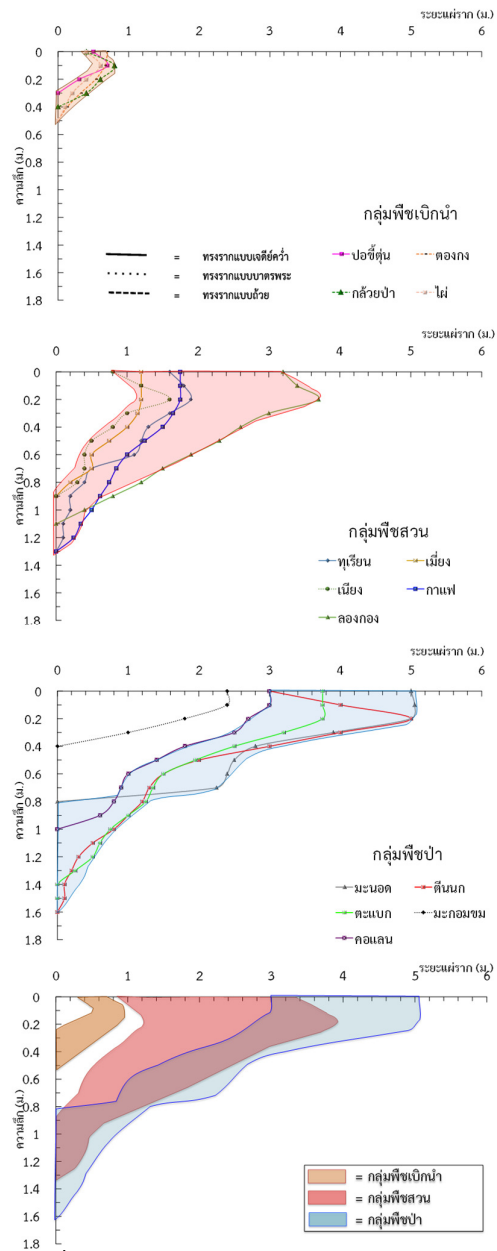
รูปที่ 16 ตัวอย่างรูปทรงรากที่สำรวจพบในพื้นที่ศึกษา

5.2 ผลการกระจายระยะแผ่ของรากพืช

การจำแนกรูปทรงรากของพืชขึ้นอยู่กับระยะแผ่รากและรูปทรงแบบ 3 มิติ เนื่องจากในการสำรวจรากสำรวจเพียงบางส่วนจากราก ดังนั้นในการจำลองรูปทรงของราก จะจำลองให้รากพืชเป็นรูปทรงสมมาตรกันทั้งต้น และจำลองจากระยะแผ่ของรากในแต่ละระดับความลึกตลอดความลึกราก รูปที่ 17 แสดงผลการสำรวจระยะแผ่ของรากพืชในพืชชนิดต่างๆ โดยที่เส้นทึบแสดงระยะแผ่รากของพืชที่มีทรงรากแบบเจดีย์คว่ำ เส้นประเข้มคือระยะแผ่รากของพืชที่มีทรงรากแบบถ้วย และเส้นประแบบจุด คือระยะแผ่รากของพืชที่มีทรงรากแบบบาตรพระ จะเห็นว่ากลุ่มพืชที่มีทรงรากแบบเจดีย์คว่ำจะมีระยะแผ่รากและความลึกมากกว่าทรงรากแบบอื่น และเมื่อดูจากกลุ่มพืชแล้วพบว่าระยะแผ่รากมากที่สุดไปหาน้อย คือ กลุ่มพืชป่า 3.0-5.0 ม. กลุ่มพืชสวน 0.9-3.7 ม. และกลุ่มพืชเบิกนำ 0.5-0.8 ม. ส่วนความลึกรากอยู่ในช่วง 0.8-1.6 ม., 0.9-1.3 ม. และ 0.3-0.5 ม. ตามลำดับ

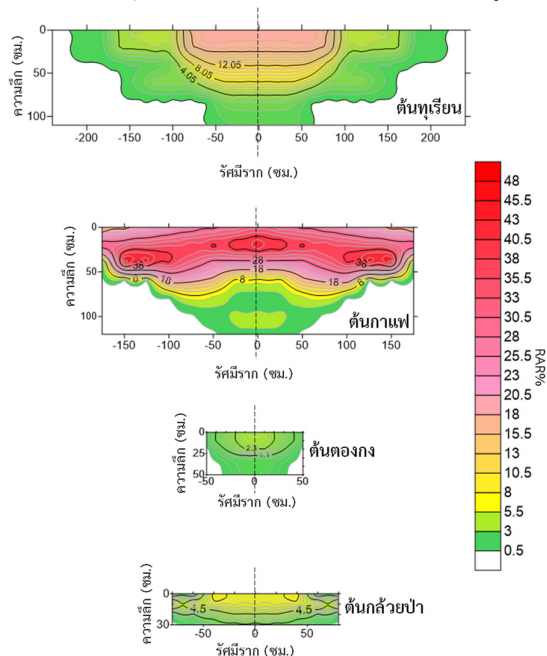
5.3 ผลอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดรากพืชต่อพื้นที่หน้าตัดดิน (Root Area Ratio : RAR%)

ปริมาณของรากพืชจะแสดงเป็นความหนาแน่นของรากจากอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดรากต่อพื้นที่ดิน (RAR%) ในพื้นที่ดินที่ทุกระยะ 0.1 ม. จากลำต้นและลึกทุก 0.1 ม. จากผิวดินเป็นรูปแบบโดนัท โดยแสดงตามความเข้มของสี สีแดงคือ RAR% มีค่ามาก และสีเขียวคือ RAR% มีค่าน้อย ดังรูปที่ 18 เป็นตัวอย่างของ RAR% ของรากทุเรียน กาแฟ ทองกง และกล้วยป่า



รูปที่ 17 ระยะแผ่ของรากตามความลึกของพืชตามกลุ่มพืช

บริเวณใกล้โคนต้นของรากพืชทั้งหมด RAR% มีค่ามากและค่อยๆลดลงเมื่อรากได้แผ่ไกลออกไปในทุกชนิดต้น แต่วิธีนี้ไม่สะดวกในการจำลองรากพืชเพื่อประเมินความแข็งแรงของรากแต่ละชนิด และในรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินซึ่งมีพื้นที่ขนาดใหญ่ เนื่องจากจะต้องใช้เครื่องมืออย่างเช่น คอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงมากระยะเวลาการคำนวณจะนานเกินไปเพื่อความเหมาะสมของอุปกรณ์และระยะเวลาจึงประเมินความหนาแน่นเฉลี่ยของรากในแบบขั้นตามความลึกทุกๆ ความลึก 0.1 ม.จนตลอดความยาวของรากพืช เป็นขั้นทรงกระบอกจากระยะแผ่รากในแต่ละความลึกทุก 0.1 ม.จนตลอดความลึกของราก ดังรูปที่ 19



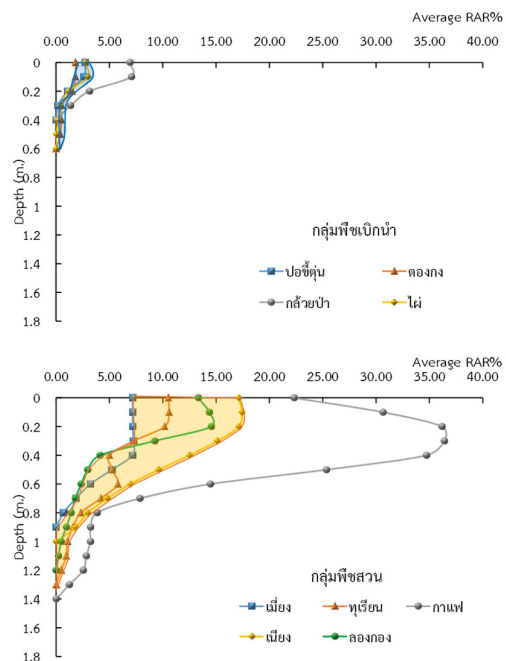
รูปที่ 18 ตัวอย่างผล RAR% ของรากพืชในรูปแบบโดนัทตามระยะแผ่รากและความลึก โดยที่ ก) ต้นทุเรียน ข) ต้นกาแฟ ค) ต้นตองกง ง) ต้นกล้วยป่า

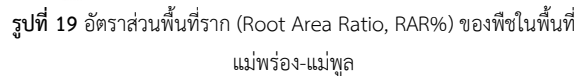
และจากตารางที่ 1 แสดงค่า RAR% ที่มากที่สุดของรากพืชนั้นๆ ในรูปแบบความลึก จะเห็นว่าพืชที่มีค่าปริมาณรากหรือ RAR% ที่มากที่สุดคือต้นกาแฟซึ่งมีรากฝอยจำนวนมากและหนาอยู่ในระดับต้นจากผิวดิน รองมาคือกลุ่มทรงรากแบบเจดีย์คว่ำซึ่งเป็นพืชประเภทไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ แล้วจึงเป็นกลุ่มทรงรากแบบบาตรพระซึ่งเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางและทรงรากแบบกล้วย ซึ่งเป็นไม้ล้มลุกและไม้กอ

จากตารางที่ 1 และรูปที่ 19 พบว่าค่า RAR% สูงสุดของกลุ่มพืชเบิกนำ ซึ่งเป็นกลุ่มรากพืชที่มีทรงรากส่วนใหญ่แบบทรงกล้วย มีเพียงต้นปอขี้ตุ่นที่เป็นทรงเจดีย์คว่ำ มี RAR% สูงสุดอยู่ที่ความ

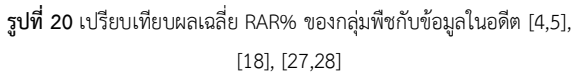
ลึก 0.1 ม. โดยที่ต้นปอขี้ตุ่น ตองกง และไผ่ อยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือ 2.0-3.2% มีเพียงต้นกล้วยป่าที่มีค่าแปรปรวนคือสูงกว่าต้นอื่น โดยมีค่า RAR% สูงสุด 7.1% แต่มีความลึกของรากอยู่ระหว่าง 0.4 – 0.6 ม.

กลุ่มพืชสวนที่มีทรงรากส่วนใหญ่เป็นทรงเจดีย์คว่ำมีเพียงต้นเนียงที่มีทรงรากเป็นทรงบาตรพระ โดยกลุ่มนี้มีค่า RAR% สูงสุดอยู่ที่ความลึก 0.2 ม. มีค่า 7-17% เป็นกลุ่มของต้นทุเรียน ลองกอง เนียง และเมี่ยง มีเพียงต้นกาแฟที่มีค่าสูงสุดคือ 37% ที่ความลึก 0.3 ม. เนื่องจากรากของต้นกาแฟในระดับดังกล่าวจนถึงผิวดินนั้น เป็นรากฝอยปกคลุมหนาแน่นเป็นลักษณะสานเป็นแพหนา





เมื่อพิจารณาเป็นค่าเฉลี่ยแบกลุ่มพืชพบว่า พืชสวนมีค่า RAR% มากที่สุด รองลงมาคือ กลุ่มพืชป่า และกลุ่มพืชเบิกนา ตามลำดับ จากที่กลุ่มพืชสวนมีค่า RAR% สูงสุด เนื่องจากการปลูกพืชสวนในพื้นที่ศึกษามีการกำจัดวัชพืชที่บริเวณโคนต้น และมีการเว้นระยะการปลูกออกเพื่อให้รากพืชเจริญเติบโตได้ดี ส่งผลให้ปริมาณรากมีค่ามากกว่ากลุ่มพืชชนิดอื่น โดยที่ค่าเฉลี่ยมีค่า RAR% สูงมาก ซึ่งมีปริมาณรากฝอยมากที่ความลึก 0-0.6 ม. จากผิวดินและรากแก้วที่ลึกซึ่งเหมาะสำหรับการปลูกเสริมในพื้นที่ที่ต้องการป้องกันการกัดเซาะของหน้าดินในบริเวณที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม



6. สรุปผล

จากการสำรวจรากโดยวิธีการสำรวจรากกำแพงแสน (Root Observation-KPS:RO-KPS) พบว่าทรงรากที่พบมากที่สุดจากพืชทั้งหมด 14 ชนิดคือ ทรงเจดีย์คว่ำทั้งหมด 9 ชนิดพืชซึ่งส่วนใหญ่เป็นกลุ่มพืชสวนและกลุ่มพืชป่า รองลงมาคือทรงถ้วยมี 3 ชนิดพืช และทรงบาตรพระ 2 ชนิดพืช ซึ่งเป็นส่วนใหญ่เป็นพืชเบิกนำ

ระยะแผ่ของรากพืชจากการศึกษาพบว่า กลุ่มพืชป่าจะมีรัศมีแผ่รากและความลึกมากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มพืชสวน และพืชเบิกนำ ตามลำดับ โดยที่ระยะแผ่รากมากที่สุดคือกลุ่มพืชป่า 3-5 ม. มีความลึกราก 0.8-1.6 ม. กลุ่มพืชสวน 0.9-3.7 ม. มีความลึกราก 0.9-1.3 ม. และกลุ่มพืชเบิกนำ 0.5-0.8 ม. มีความลึกราก 0.3-0.5 ม. ตามลำดับ

ปริมาณของรากพืชซึ่งอธิบายในรูปแบบของอัตราส่วนของรากต่อพื้นที่หน้าตัดของดิน (RAR%) พบว่า กลุ่มพืชเบิกนำมีค่า RAR% สูงสุดอยู่ที่ความลึก 0.1 ม. อยู่ในช่วง 2.0-3.2% กลุ่มพืชสวนมีค่า RAR% สูงสุดอยู่ที่ความลึก 0.2 ม. อยู่ในช่วง 7-17% และกลุ่มพืชป่า RAR% มีค่าสูงสุดอยู่ที่ความลึก 0.1 - 0.2 ม. มีค่า 4 - 8.5% และยังมีพืชที่เหมาะสมในการปลูกเสริมเพื่อป้องกันการกัดเซาะดินได้ดีคือ ต้นกาแฟซึ่งมีค่า RAR% สูงถึง 22%-37% อยู่ในช่วงความลึก 0-0.6 ม. เนื่องจากปริมาณรากผิวยิ่งมากและสานกันเป็นแพหนาในความลึกดังกล่าว

นอกจากนี้เพื่อประเมินความแข็งแรงของรากพืชในขั้นต่อไป นอกจากต้องพิจารณาจากค่าปริมาณ RAR% แล้วต้องพิจารณาจากค่าความต้านทานแรงดึงของรากพืชร่วมด้วย ซึ่งจะดำเนินการในงานวิจัยในอนาคต และจะได้นำค่าความแข็งแรงของรากพืชไปประยุกต์เพื่อประเมินเสถียรภาพของลาดดินในการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการทำวิจัยจาก โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาการป้องกันแก้ไขปัญหาดินถล่มบนที่สูงชันตามแนวพระราชดำริ (มูลนิธิชัยพัฒนา) และ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Disaster Prevention and Mitigation. (2006). *Situations of Floods and Landslides*. Ministry of Interior. Retrieve from <http://www.disaster.go.th/old/news01/webddpm/test3.html>. (In Thai)66
- [2] Chaipattana Foundation (2016). Research and Development Project on Landslide Prevention and Protection by His Majesty's initiative., 7th Subproject, Final Report, Thailand. (In Thai)
- [3] S. Tansamrit. (2013). Community Involvement to Preventing Landslide by using Vetiver grasses. Paper presented at Conference of "2nd Decades of Vetiver grasses Development", Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand (In Thai)
- [4] D.H Gray, & R.B. Sotir. (1996). *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization*: John Wiley & Sons Inc.,
- [5] A. Jotisankasa. (2013). *Soil-Bioengineering: Use of Vegetation and Soil Engineering for Erosion Control and Slope Stabilization*. Bangkok:Pre-One Limited Partnership. (In Thai)
- [6] L.J. Waldron. (1977). Shear resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41, 843-849.
- [7] T. H. Wu. (1976). *Investigation of Landslides on Prince of Wales Island*. Retrieved from Columbus, Ohio, USA. :
- [8] T.H. Wu, W.P. McKinnell, III, & D.N. Swanston. (1979). Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island. *Geotechnical Journal*, 114(12), 19-33.
- [9] W.M. Yan Flora T.Y. Leung, Billy C.H. Hau b, L.G. Tham. (2015). Root systems of native shrubs and trees in Hong Kong and their effects on enhancing slope stability. *Catena*, 125, 102-110.
- [10] Zhun Mao, Laurent Saint-André, Marie Genet, Francis Xavier Mine, Christophe Jourdan, Hervé Rey, . . . Alexia Stokes. (2012). Engineering ecological protection against landslides in diverse mountain forests: Choosing cohesion models. *Ecological Engineering*, 45, 55-69.
- [11] K.M. Schmidt, J.J. Roering, J.D. Stock, W.E. Dietrich, D.R. Montgomery, & T. Schaub. (2001). The variability of root cohesion as an influence on shallow landslides susceptibility in the Oregon Coast Range. *Canadian Geotechnical Journal*, 38, 995-1024.

- [12] D.H. Gray, & H. Ohashi. (1983). Mechanics of fiber reinforcement in sand. *J. Geotech. Eng. ASCE* 109 (3, 335–353.
- [13] M.M. and R.A. Virginia Caldwell. (1989). Field Methods and Instrumentation. In I. R. W. P. e. a. (eds.) (Ed.), *Plant Physiological Ecology*. (pp. 367-398). London: Chapman and Hall.
- [14] M. Tosi. (2007). Root tensile strength relationships and their slope stability implications for three shrub species in the Northern Apennines (Italy). *Geomorphology*, 87, 268-283.
- [15] A. Watson, M. Marden, & D. Rowan. (1995). Tree species performance and slope stability. In D. H. Barker (Ed.), *Vegetation and Slopes* (pp. 161-171): Thomas Telford Press.
- [16] Rob Gross, & Michelle Julene. (2002). *Supersonic air jets preserve tree roots in underground pipeline installation*. Paper presented at the Proceedings of the Fifth Symposium on Oak Woodlands: Oaks in California's Changing Landscape, Pacific Southwest Research Station, Forest Service. US Department of Agriculture.
- [17] J.-L. Maeght, B. Rewald, & A. Pierret. (2013). How to study deep roots—and why it matters. *Front. Plant Sci*.
- [18] B.B.Docker. (2003). Biotechnical engineering on alluvial riverbanks of southeastern Australia: A quantified model of the earth-reinforcing properties of some native riparian trees. (Ph.D. Thesis), University of Sydney.
- [19] E.F. Gilman. (1988). Predicting root spread from trunk diameter and branch spread. *Journal of Arboriculture*, 14(4), 85-89.
- [20] R. Harris, J. Clark, & N. Matheny. (2004). Arboriculture: Integrated Management of Landscape Trees, Shrubs, and Vines. *Journal of Arboriculture*, 30(6), 579.
- [21] S.D. Day, P. Wiseman, S.B. Dickinson, & J.R. Harris. (2010). Contemporary concepts of root system architecture or urban trees. *Arboriculture & Urban Forestry*, 36(4), 149-159.
- [22] M.E. Styzcen, & R.P.C. Morgan. (1995). Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach *Engineering properties of vegetation* (pp. 5–58). London: Morgan, R.P.C., Rickson, R.J. (Eds.).
- [23] N. Tangtham. (2006). *Forest versus. Flood - Landslide*. Forestry Research Center, Faculty of Forestry, Kasetsart University. (In Thai)
- [24] Forestry Research Center. (1994). *Final report: The Study of Risk Areas Determination for Floods and Natural Disaster. In Southern Watershed, With Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning*. (In Thai)
- [25] M. Akejit, & W. Mairiang. (2013). *Tree root reinforcement for slope stability analysis*. Paper presented at the KU-NCU International Joint Symposium in Civil and Infrastructure Technology 2013, Civil Engineering Department, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus. (In Thai)
- [26] A. N. Strahler. (1952). Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography. *Bulletin of the Geological Society of America*, 63 (11), 1117-1142.
- [27] Habibah Lateh, Nazi Avani, & Ghasem Habibi Bibalani. (2013). Effect of Acacia mangium Root Properties on Shallow Landslide and Slope Stability. *Journal of Life Sciences and Technologies*, 1(2), 127-131.
- [28] Guillermo Tardío, Alejandro González-Ollauri, & Slobodan B. Mickovski. (2016). A non-invasive preferential root distribution analysis methodology from a slope stability approach. *Ecological Engineering*, 97(2016), 46-57.
- [29] Mairiang, W., & Kunsuwan, B. (2005). Landslide Condition and Problems in Thailand. Paper presented at the EIT – JAPAN – AIT join Workshop 2005, Geo-Risk Engineering and Management, Bangkok, Thailand. [in Thai]
- [30] Sorallump, S., Pungsuwan, D., Chantasorn, M., & Inmala, N. (2010) Landslide Hazard Management in Pathong Municipality Using Geotechnical Engineering Method. Paper presented at the 15TH National Convention on Civil Engineering, Ubon Ratchathani, Thailand. [in Thai]

9. ประวัติผู้วิจัย



นางสาวรชมนต์ เอกจิต

นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมปฐพี ภาควิชา
วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ประวัติการศึกษา: วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน



รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ไม้เรียง

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์พิเศษประจำ
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน



นายบรรพต กุลสุวรรณ

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิชา
วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน



นายมนทล แมนสตัน

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งวิศวกรโยธา ประจำคณะ
เกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน
ประวัติการศึกษา: อส.บ.(วิศวกรรมก่อสร้าง)
มหาวิทยาลัยศรีปทุม