รายงานฉบับสมบูรณ์

(Final Report)

โครงการศึกษาและประยุกต์ใช้เทคนิคทางชีววิศวกรรมปฐพีเพื่อป้องกันดินถล่มบนพื้นที่สูงโดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน

The Study and Application of Soil-Bioengineering Technique for Erosion Control and Slope Stabilization in Highland Areas by Community Participation

แผนงานการวิจัยและพัฒนากลไกเพื่อเพิ่มศักยภาพการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของชุมชนบนพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน

โดย

อภินิติ โชติสังกาศ และคณะ

สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยโดย สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

รายงานฉบับสมบูรณ์

(Final Report)

โครงการศึกษาและประยุกต์ใช้เทคนิคทางชีววิศวกรรมปฐพีเพื่อป้องกันดินถล่มบนพื้นที่สูงโดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน

The Study and Application of Soil-Bioengineering Technique for Erosion Control and Slope Stabilization in Highland Areas by Community Participation

แผนงานการวิจัยและพัฒนากลไกเพื่อเพิ่มศักยภาพการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของชุมชนบนพื้นที่สูงอย่างยั่งยืน

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. รองศาสตราจารย์ ดร. อภินิติ โชติสังกาศ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิสา เหล็กสูงเนิน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3. รองศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรชัย เงินแสงสรวย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4. ว่าที่ร้อยตรี ดร. เปรม รังสิวณิชพงศ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
5. รองศาสตราจารย์ ดร. วรากร ไม้เรียง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มีนาคม 2564

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัย “โครงการศึกษาและประยุกต์ใช้เทคนิคทางชีววิศวกรรมปฐพีเพื่อป้องกันดินถล่มบนพื้นที่สูง โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน” นี้เกิดขึ้นได้ก็ด้วยความปรารถนาดีของ สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่ประสงค์จะให้มีการศึกษาวิจัยอันจะช่วยป้องกันและลดผลกระทบจากปัญหาดินถล่มและชะล้างพังทลายในพื้นที่สูงชัน ซึ่งอยู่ในความดูแลของสถาบันฯ โดยการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม ได้แก่ชีววิศวกรรมปฐพี การใช้พืชพรรณต่าง ๆ ร่วมกับเทคนิคทางวิศวกรรม ซึ่งนำไปสู่ความอยู่ดีมีสุขของชุมชนบนพื้นที่สูง ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มา ณ โอกาสนี้

งานวิจัยนี้ได้รับความช่วยเหลืออย่างสูงด้วยความอบอุ่น จากนักวิจัย เจ้าหน้าที่ของสถาบันฯ และตัวแทนชุมชนที่เข้าร่วมในงานภาคสนาม แม้ว่าทางคณะนักวิจัยจะประสบปัญหาในการลงพื้นที่เนื่องด้วยสถานการณ์แพร่ระบาดโรคโควิด 19 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.จารุณี ภิลุมวงค์ นางสาวนิจปวริชศา ภพักตร์จันทร์ นางสาวศิริรัตนาพร หล้าบัววงค์ ดร.สิทธิเดช ร้อยกรอง นายวิเชียร ทองอร่าม นายเดชธพล กล่อมจอหอ นายอานนท์ ยอดญาติไทย นายพินิจ วันนา นายกิตติพงศ์ รพีบุญญานนท์ นายปรีชา น้ำคำ นายนิวัฒน์ คำมา นางสาวพิณทิพย์ แดงไฝ นายณัฐพล ธูปเทียน นายถินพันธ์ ปิ่นหย่า นางสาวสุพัตรา สีมูล นายพัลลภ ปัญญา นายประถม ยศศักดิ์นิรันดร์ นายดนัย แสงมณี นางสาวจุฬา เจาะโด นางสาวอัญชลิตตา วอพะพอ นายชวลิต สุทธเขตต์ นายชัยวัฒน์ แก้วคำมูล นายธนากร ประชุมศรี นายดิพร สุริยะชัยพันธ์ นายวิรัตน์ เลิศล้ำอุดม คุณครูและนักเรียนโรงเรียนบ้านแม่ระเมิง นายบุญสี กาไว (ผู้ใหญ่บ้านแม่วาก) นายสุรชัย สิทธิ์คงชัย นายอาฉ่า รุ่งเรืองวงศ์ธร (ผู้ช่วยผู้ใหญ่บ้านแม่จันหลวง) นายนัด ทาแปง (ผู้ใหญ่บ้านน้ำจูน) นายศุภัทรพงศ์ ศุทรกูลกาลณ์ (ผู้ใหญ่บ้านห้วยโทน) นายสมบูรณ์ มาเยอะ (นายกองค์การบริหารส่วนตำบลแม่สลองนอก) นายทวี ทวีอภิรดีชนะ (กำนันตำบลแม่สลองนอก) พนักงานขับรถและชาวบ้านทุกท่าน ที่มิได้เอ่ยนาม มา ณ ที่นี้

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์แปลผลการวิเคราะห์ดิน จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเชษฎ์ อร่ามรักษ์ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร และได้รับการสนับสนุนจากนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทั้งในระดับปริญญาตรี โท เอก และนักวิจัยหลังปริญญาเอก ในงานภาคสนาม การทดสอบในห้องปฏิบัติการการวิเคราะห์และสรุปผล ขอขอบคุณ นางสาวจารุณี พิทยานิวิฏฐ์ ดร.สุรัติ เส็มหมัด Mr. Sony Pramusandi Miss. Kalani Madushani Rajamanthri นายบวรพงศ์ สุขเจริญ นายสิรวิชญ์ กิจธารทอง นางสาววิชุดา จำเรือง นายศิรวิชญ์ โพธิ์ชื่น นายยงเกียรติ กุออ และนายไตรเทพ เจริญพานิชสันติ รวมถึงนักวิจัยและนิสิตห้องปฏิบัติการนวัตกรรมทางวิศวกรรมปฐพี และ ท่านอื่น ๆ ที่มิได้เอ่ยนาม

คณะนักวิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ มูลนิธิชัยพัฒนา และบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) หรือ จีซี ซึ่งให้ความอนุเคราะห์กระสอบแบบมีปีก จำนวน 5,000 ใบ มายังสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง ซึ่งส่วนหนึ่งนักวิจัยได้นำไปมอบให้ชุมชนบ้านน้ำจูน โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงบ่อเกลือ และบ้านวะโดโกร โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สองเรียบร้อยแล้ว ในอนาคตนักวิจัยจะได้แนะนำการใช้งานกระสอบให้กับชุมชนต่าง ๆ ตามความประสงค์ต่อไป

รายงานฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความร่วมแรงร่วมใจของผู้เกี่ยวข้องทั้งหมด ทั้งที่ได้เอ่ยนามและมิได้เอ่ยนาม ด้วยความปรารถนาดี มุ่งหวังให้ชุมชนบนพื้นที่สูง มีความปลอดภัยจากภัยพิบัติดินถล่มและการกัดเซาะ โดยสามารถพึ่งพาตนเองได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะนักวิจัยขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะนักวิจัย

มีนาคม 2564

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

1. นายอภินิติ โชติสังกาศ

Mr. Apiniti Jotisankasa

คุณวุฒิ ปริญญาเอก

ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่อยู่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพ 10900

โทรศัพท์ 0 2797 0999 ต่อ 1367, 08 1904 3060 โทรสาร 0 2579 7565

E-mail fengatj@ku.ac.th, apiniti.j@gmail.com

นักวิจัย

2. นางสาวนิสา เหล็กสูงเนิน

Miss Nisa Leksungnoen

คุณวุฒิ ปริญญาเอก

ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์

หน่วยงาน ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่อยู่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0 2579 0176 ต่อ 507, 08 0089 8068 โทรสาร 0 2942 8107

E-mail ffornsl@ku.ac.th

3. นายฉัตรชัย เงินแสงสรวย

Mr. Chatchai Ngernsaengsaruay

คุณวุฒิ ปริญญาเอก

ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์

หน่วยงาน ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่อยู่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0 2562 5444, 0 2562 5555, 08 1914 0580 โทรสาร 0 2940 5627

E-mail fsciccn@ku.ac.th

4. ว่าที่ ร.ต. เปรม รังสิวณิชพงศ์

Mr. Prem Rangsiwanichpong

คุณวุฒิ ปริญญาเอก

ตำแหน่ง อาจารย์

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่อยู่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพ 10900

โทรศัพท์ 0 2797 0999 ต่อ 1901-1904, 08 9893 6472 โทรสาร -

E-mail prem.r@ku.ac.th

5. นายวรากร ไม้เรียง

Mr. Warakorn Mairaing

คุณวุฒิ ปริญญาเอก

ตำแหน่ง รองศาสตราจารย์

หน่วยงาน ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่อยู่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานรากอาคารบุญสม สุวชิรัตน์ (อาคาร 9) ชั้น 9 ห้อง 9903 คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0 2579 2265, 08 4937 0003 โทรสาร -

E-mail mairaing@yahoo.com

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

1. ความเป็นมาของโครงการ

ดินถล่มเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ก่อให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สินอย่างมาก มักเกิดขึ้นตามลาดเชิงเขา หรือที่ลุ่มติดภูเขาสูงที่มีการพังทลายของดินสูง ทั้งนี้ สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) มีพื้นที่เป้าหมายส่วนใหญ่ลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาสูงชัน และมีพื้นที่ราบอยู่ระหว่างหุบเขา ประกอบกับสภาพลักษณะทางธรณีของภาคเหนือนั้นส่วนใหญ่เป็นหินอัคนีและหินตะกอนซึ่งผุพังให้ดินที่ชะล้างพังทลายได้ง่าย รวมทั้งการปรับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น การทำเกษตรบริเวณเชิงเขา การตัดไหล่เขาสร้างที่อยู่อาศัย หรือการปลูกสร้างสิ่งกีดขวางทางน้ำ จึงมีความเสี่ยงและโอกาสในการเกิดดินถล่มสูง

แนวคิดชีววิศวกรรมปฐพี (Soil bio-engineering) เป็นการประยุกต์พืชพรรณกับวิธีวิศวกรรมเพื่อป้องกันการกัดเซาะและดินถล่ม ด้วยวิธีที่สอดคล้องกับธรรมชาติ มีราคาประหยัด และยั่งยืน โดยทั่วไปแล้วพืชพรรณต่าง ๆ จะมีแนวโน้มแข็งแรงเพิ่มตามเวลา เนื่องจากรากหยั่งลงลึกและพืชแข็งแรงขึ้น ในขณะที่โครงสร้างทางวิศวกรรมทั่วไปจะเสื่อมสภาพตามเวลา หากใช้โครงสร้างที่มีอายุจำกัด (Limited life structure) อาทิ กระสอบ ตารางไม้ไผ่ และผ้าห่มดิน ซึ่งช่วยให้พืชตั้งตัวในช่วงเริ่มต้น และจะย่อยสลายไปตามเวลาเมื่อพืชเติบโตมากขึ้น และพืชจะทดแทนโครงสร้างเหล่านั้นในการเสริมเสถียรภาพของลาดอย่างยั่งยืนต่อไป อย่างไรก็ตามในกรณีทั่วไป วิธีชีววิศวกรรมปฐพีสามารถป้องกันการกัดเซาะและดินถล่มระดับตื้น (Shallow landslide) ซึ่งมีความลึกของแนวพังทลายน้อยกว่า 3 เมตร เท่านั้น ในกรณีที่การพิบัติขนาดใหญ่กว่านั้นต้องอาศัยวิธีทางวิศวกรรมหรือใช้วิธีลดผลกระทบโดยการติดตั้งระบบเตือนภัย

ดังนั้นโครงการนี้จึงเป็นการศึกษาและประยุกต์ใช้เทคนิคทางชีววิศวกรรมปฐพีเพื่อป้องกันดินถล่มบนพื้นที่สูง โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน ในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย น่าน ตาก และแม่ฮ่องสอน เป็นการประเมินพื้นที่เสี่ยงดินถล่มและสร้างความตระหนักรู้ให้กับชุมชน ศึกษาชนิดพืชพรรณในท้องถิ่นที่มีศักยภาพและแนวทางประยุกต์ใช้พืชพรรณร่วมกับเทคนิคทางวิศวกรรมปฐพี เพื่อเตรียมความพร้อมชุมชนในการป้องกัน ลดผลกระทบ และลดความเสียหายจากภัยพิบัติดินถล่มบนพื้นที่สูงที่จะเกิดขึ้นได้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาและประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการพังทลายและดินถล่มในโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง 5 แห่ง ได้แก่ (1) โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่มะลอ อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ (2) โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สลอง อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย (3) โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงบ่อเกลือ

อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน (4) โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน และ (5) โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สอง อำเภอท่าสองยาง จังหวัดเชียงใหม่

2.2 เพื่อศึกษาชนิดพืชพรรณที่มีศักยภาพในการป้องกันการชะล้างพังทลายและเสริมเสถียรภาพของพื้นที่ลาดชันบนพื้นที่สูง ในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง 5 แห่ง

2.3 เพื่อศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้พืชพรรณ ร่วมกับเทคนิควิศวกรรมปฐพีที่เหมาะสม ในการป้องกันการชะล้างพังทลาย และดินถล่มระดับตื้นบนพื้นที่สูงโดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน

3. ผลการวิจัย

3.1 การประเมินแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง 5 แห่ง

3.1.1 ประเมินแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มโดยการใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นของดินถล่มร่วมกับข้อมูลปริมาณฝนสูงสุดรายวันเฉลี่ย 10 ปีย้อนหลัง ในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง 5 แห่ง โดยแบ่งพื้นที่ตามระดับความเสี่ยงในการเกิดดินถล่มออกเป็น 5 ระดับ คือ พื้นที่ที่มีความเสี่ยงในการเกิดดินถล่มในระดับต่ำมาก ระดับต่ำ ระดับปานกลาง ระดับสูง และระดับสูงมาก โดยพบว่าพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในระดับสูงและสูงมาก ส่วนใหญ่เกิดบริเวณที่มีความลาดชันประมาณ 20-30 องศา และมีองค์ประกอบของธรณีวิทยาที่เป็นหินตะกอน ได้แก่ หินทรายแป้ง หินดินดาน หินทราย รวมถึงหินอัคนี เช่นหินแกรนิต ซึ่งเป็นธรณีวิทยาที่สามารถเกิดการพังทลายได้ง่ายเมื่อเกิดฝนตกหนัก โดยพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับสูงและสูงมากจะมีโอกาสเกิดได้มากในพื้นที่ทำการเกษตรแบบพืชไร่ตามไหล่เขา นอกจากนี้ยังมีปัจจัยของสภาพภูมิอากาศเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยโดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ ซึ่งทั้ง 5 แห่ง ได้รับอิทธิพลมาจากลมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้ทำให้มีปริมาณฝนเฉลี่ยอยู่ที่ 1,400-2,000 มิลลิเมตร/ปี และลักษณะของฝนในพื้นที่หุบเขาทางภาคเหนือของไทยมีลักษณะการเกิดในรูปแบบของฝนปะทะภูเขา (Orographic rainfall) ซึ่งฝนที่เกิดในลักษณะนี้จะเป็นฝนที่ตกมากและตกบ่อยครั้ง ทำให้ปัจจัยดังกล่าวเป็นตัวเร่งให้เกิดกระบวนการพังทลายของดินและนำไปสู่การเกิดภัยดินถล่มในที่สุด นอกจากนี้เมื่อสอบเทียบผลการประเมินแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มของแบบจำลองที่ได้กับสถานการณ์ดินถล่มในปัจจุบันของพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง 2 แห่ง ได้แก่ โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงสบเมยและโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงบ่อเกลือ พบว่าแผนที่ดินถล่มที่ได้จากแบบจำลองสามารถประเมินจุดเสี่ยงที่จะเกิดภัยดินถล่มได้สอดคล้องกับสถานการณ์ดินถล่มในปัจจุบัน

3.1.2 การประเมินการพังทลายของหน้าดินด้วยวิธี Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) ร่วมกับข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 10 ปีย้อนหลัง ในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวง 5 แห่ง โดยแบ่งพื้นที่ตามระดับการกัดเซาะพังทลายของหน้าดินออกเป็น 5 ระดับ คือ พื้นที่ที่เกิดการพังทลายของหน้าดินในระดับน้อยมาก ระดับน้อย ระดับปานกลาง ระดับมาก

และระดับรุนแรงมาก พบว่าอัตราการกัดเซาะพังทลายของดินต่อปีในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่มะลอ สบเมย แม่สอง แม่สลอง และบ่อเกลือ เฉลี่ย 75 86 160 180 และ 1,000 ตัน/ปี ตามลำดับ โดยพื้นที่ที่มีอัตราการพังทลายของหน้าดินในระดับที่มากและรุนแรงมากมักจะพบเห็นได้ชัดเจนในพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ต้นน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงและยังไม่มีมาตรการในการอนุรักษ์ดินและน้ำที่ชัดเจน ในพื้นที่เกษตรกรรมพืชไร่ เช่น ข้าวไร่และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ส่งผลให้ปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดินในการใช้ประโยชน์ที่ดินของประชาชนในพื้นที่สูงประเภทนี้ เกิดขึ้นในระดับที่รุนแรงและต่อเนื่องหลายปีกว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินในประเภทอื่น ๆ และจะเห็นปัญหาการกัดเซาะพังทลายของหน้าดินได้ชัดเจนมากในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงบ่อเกลือ เนื่องจากปัจจัยจากลักษณะภูมิประเทศที่เป็นที่สูงชันและมีความลาดชันสูง มีปริมาณฝนที่ค่อนข้างมากในฤดูฝน และประชาชนส่วนใหญ่ในพื้นที่เกษตรนิยมทำการเกษตรพืชไร่เช่นการทำข้าวไร่ ข้าวโพด ประกอบกับการขาดมาตรการการอนุรักษ์ดินและน้ำที่เข้มแข็ง ส่งผลให้พื้นที่ในโครงการนี้มีอัตราการสูญเสียหน้าดินที่รุนแรงกว่าพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงอื่น ๆ

3.1.3 ผลการศึกษาและตรวจวัดลาดดินในสนามโดยอากาศยานไร้คนขับ พบความชันของพื้นที่ซึ่งเกิดดินถล่มในอดีต และพื้นที่กัดเซาะรุนแรง มีความชันประมาณ 20-45 องศา ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ แต่จะพบว่าความชันในพื้นที่จริงสูงกว่าในแผนที่สารสนเทศภูมิศาสตร์ ณ บริเวณลาดดินตัดริมทางหลวง หรือบริเวณไหล่เขาซึ่งตัดเข้าไปเพื่อสร้างอาคาร กิจกรรมของมนุษย์เหล่านี้ทำให้ความชันของลาดสูงกว่าความชันเฉลี่ยซึ่งปรากฏในแผนที่ โดย (1) โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่มะลอ จังหวัดเชียงใหม่ บริเวณไร่ข้าวโพด มีความชันเฉลี่ยประมาณ 30 องศา (สอดคล้องกับความชันในแผนที่) พบการกัดเซาะรุนแรงในบริเวณที่ไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ (2) โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สอง จังหวัดตาก ลาดดินตัดซึ่งเคยเกิดดินถล่ม ณ โรงเรียนบ้านแม่ระเมิง รวมถึงโรงเรือนบ้านวะโดโกร มีความชัน 40-45 องศา เนื่องจากเป็นพื้นที่ซึ่งมีการขุดเพื่อก่อสร้างอาคารหรือถมปรับพื้นที่ (3) โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สลอง จังหวัดเชียงราย ดินถล่มบริเวณร้านสะดวกซื้อ พบว่ามีความชันโดยเฉลี่ยเพียง 20-25 องศา แต่ก็พบการเคลื่อนตัวของลาดแบบคืบ คาดว่าเกิดเนื่องจากการสร้างบ้านเรือนบนพื้นที่ลาดชันมีผลกระทบต่อน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินซึ่งสูงขึ้น จัดเป็นปัญหาที่พบได้หลายแห่งในชุมชนซึ่งตั้งอยู่บนพื้นที่สูงชันในภาคเหนือ (4) โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงบ่อเกลือ จังหวัดน่าน เป็นดินถล่มในพื้นที่ป่าธรรมชาติ พบความชันโดยเฉลี่ย 36 องศา และ (5) โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน บริเวณตอนกลางของพื้นที่มีความลาดชันมากกว่า 35 องศา แต่พบการเกิดดินถล่มน้อยกว่าบริเวณที่อยู่รอบนอกของพื้นที่ เนื่องจากบริเวณตอนกลางเป็นพื้นที่เขตเงาฝน และลักษณะธรณีวิทยาที่มีหินปูนเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งพังทลายได้ยากกว่าบริเวณอื่นที่เป็นหินทราย

3.1.4 ผลการตอกหยั่งชั้นดินด้วยวิธี Kunzelstab Penetration Test ซึ่งเป็นการสำรวจหาความหนาของชั้นดินในลาดธรรมชาติที่มีความเสี่ยงต่อการพังทลาย พบว่า พื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงทั้ง 5 แห่ง ความหนาของชั้นดินหลวมมีค่าประมาณ 1.2 ถึง 5 เมตร ขึ้นกับระดับการผุพังของหินต้นกำเนิด และธรณีวิทยา สำหรับกรณีดินถม เช่น พื้นที่ก่อสร้างอาคารใหม่ โรงเรียนบ้านแม่ระเมิง และโรงเรือนบ้านวะโดโกร ที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สอง พบว่า ความหนาของชั้นดินหลวมมากกว่า 7 เมตร ทั้งนี้หากความหนาของชั้นดินหลวมมาก การใช้พืชพรรณเพียงอย่างเดียวเพื่อป้องกันดินสไลด์มักจะไม่เพียงพอหากมีฝนตกหนักมาก ซึ่งการพิบัติอาจเป็นระดับลึก จำเป็นต้องใช้เทคนิคทางวิศวกรรมเข้าร่วมมากยิ่งขึ้น เช่น เสาเข็ม หรือกำแพงกันดิน

3.1 5 ผลการสำรวจน้ำใต้ดินโดยใช้เทคนิคฟังเสียงน้ำ (Groundwater Aeration Sound) ในแปลงข้าวโพดบริเวณพื้นที่บ้านแม่วาก โดยเสียงน้ำใต้ดินที่ฟังพบเป็นเสียงฟองอากาศในช่องว่างดินที่ถูกน้ำไหลเข้าไปแทนที่ พบแนวโน้มเสียงฟองอากาศในน้ำดังในบริเวณเหนือร่องการกัดเซาะซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นบริเวณที่การไหลมีความเร็วสูง หรือดินมีช่องว่างมากเมื่อน้ำใต้ดินไหลผ่านจะเกิดเสียงฟองอากาศแตกตัวชัดเจน รวมทั้งอาจเป็นบริเวณที่เป็นจุดเริ่มต้นของการกัดเซาะ หรือจุด Zero order channel นั่นเอง ในแปลงข้าวโพด พื้นที่บ้านแม่วากนี้ นักวิจัยได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดพฤติกรรมของลาดดิน ได้แก่ ความชื้นในดิน แรงดูดน้ำในดิน และการเอียงตัวที่ผิวดิน พบความชื้นบริเวณเหนือแถวหญ้าแฝกมีค่าสูงกว่าความชื้นบริเวณแปลงข้าวโพดซึ่งไม่มีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ เนื่องจากแถวหญ้าแฝกดักน้ำผิวดินไว้ ทำให้น้ำซึมลงไปในดิน ความชื้นจึงมีค่าสูง อย่างไรก็ดี แม้ว่าดินบริเวณแถวหญ้าแฝกจะมีความชื้นสูง แต่รากที่หยั่งลึกก็ช่วยยึดดินไว้ ซึ่งแสดงให้เห็นได้โดยเปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของมวลดินบริเวณหลังแถวหญ้าแฝกมีแนวโน้มน้อยกว่าบริเวณแปลงข้าวโพด ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า แถวหญ้าแฝกได้ทำหน้าที่อนุรักษ์ดินและน้ำ โดยการรักษาความชุ่มชื้นไว้ที่ผิวดินและป้องกันดินไม่ให้เคลื่อนตัวและถูกกัดเซาะได้

3.1.6 ผลการตรวจวัดความชื้นที่ผิวดินในลาดชันที่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ต่างกันในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงสบเมย ได้แก่ ในพื้นที่เกษตร ซึ่งมี และไม่มีการส่งเสริมการอนุรักษ์ดินและน้ำ ป่าไม้ และ พื้นที่แผ้วถางพบว่า แปลงไม้ผลและแปลงเกษตรซึ่งมีการปกคลุมด้วยเศษใบไม้ (Mulching) มีความชุ่มชื้นสูงกว่าบริเวณซึ่งไม่มีพืชปกคลุม เช่น ไร่ข้าวโพด และถั่ว อยู่ประมาณ 3-4% (วัดช่วงต้นฤดูฝน) พบความชุ่มชื้นที่ผิวดินในพื้นที่ป่าสูงกว่าพื้นที่ข้าวไร่อยู่ประมาณ 3-5% ในบริเวณต้นอะโวคาโด ซึ่งปลูกแถวแฝกล้อมรอบแบบตัวยู พบว่าด้านเหนือต้นอะโวคาโดและรั้วหญ้าแฝก ความชื้นที่ค่าสูงกว่าด้านหลังแถวแฝกอยู่ประมาณ 3-5% แสดงถึงความสามารถในการกักเก็บความชื้นไว้ที่ผิวดินของรั้วหญ้าแฝกรูปตัวยู ความแตกต่างของความชื้นที่ผิวลาดดินที่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่แตกต่างกันนี้ส่วนหนึ่งเกิดจากความหนาของชั้นเศษซากพืช (Litter) ที่แตกต่างกัน โดยพื้นที่ป่า

ซึ่งปล่อยร้างไว้จะมีความหนาของชั้นเศษซากพืชประมาณ 6 เซนติเมตร ในขณะที่แปลงข้าวโพดจะมีความหนาชั้นเศษซากพืชเพียง 0-1 เซนติเมตร สำหรับบริเวณลาดเขาหลังศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก บ้านน้ำจูน ซึ่งมีประวัติดินถล่มในอดีต เป็นจุดเสี่ยงดินถล่มในพื้นที่ซึ่งชุมชนมีความกังวลในความปลอดภัย นักวิจัยจึงร่วมเรียงกระสอบแบบมีปีกบริจาคโดย บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) หรือ จีซี กับชุมชนจำนวน 100 ใบ เพื่อป้องกันการกัดเซาะที่บริเวณฐานและใช้ไม้ปักชำร่วมและได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัวและความชื้นดิน 2 ตำแหน่ง จากผลการตรวจวัดพบว่าความชื้นที่ผิวดินมีค่าสูงสุดประมาณ 38% ตามแนวโน้มปริมาณน้ำฝน และมีค่าลดลงในช่วงฤดูแล้ง อย่างไรก็ดี ไม่พบว่าการเคลื่อนตัวที่ผิวลาด มีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นในช่วงที่ความชื้นผิวดินเพิ่มสูงขึ้นแต่อย่างใด ทั้งนี้พบว่าอัตราการเอียงตัว (Tilting rate) ของผิวดินเท่ากับ 0.0014 องศา ต่อวัน หรือ 0.0000583 องศาต่อชั่วโมง ในช่วงเดือนกันยายนถึงธันวาคม 2563 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ของ Uchimura et al., (2015) (0.01 องศาต่อชั่วโมง) การเคลื่อนตัวของลาดเหนือศูนย์พัฒนาเด็กเล็กบ้านน้ำจูน ณ ขณะนี้ถือว่าอยู่ในระดับต่ำ เป็นการคืบของดินอย่างช้ามาก แต่ก็ควรมีการเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง และเตือนภัยหากปริมาณน้ำฝนเกินระดับที่กำหนด ซึ่งจากเหตุการณ์ดินถล่มในพื้นที่บ้านห้วยโทนพบว่าปริมาณน้ำฝนสะสม 3 วัน รวมกับน้ำฝนรายวัน หากมีค่าเกิน 270 มิลลิเมตร จะส่งผลให้เกิดการพิบัติบริเวณลาดดินธรรมชาติในพื้นที่ป่า ที่ความชัน 36 องศา

3.1.7 ผลการวิเคราะห์สมบัติของดิน พบว่าดินในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่มะลอ และ โครงการฯ แม่สองเป็นดินทราย และดินทรายปนทรายแป้งซึ่งมีการกัดเซาะได้ง่าย มักมีแร่ธาตุต่ำ เป็นกรด ในขณะที่ในพื้นที่โครงการฯ แม่สลอง โครงการฯ สบเมย และ โครงการฯ บ่อเกลือ เป็นดินเหนียวทั้งหมด เมื่อสัมผัสกับน้ำจะมีกำลังลดลงได้มาก ลักษณะของเนื้อดินขึ้นกับธรณีวิทยาของหินต้นกำเนิด การทับถมของตะกอนในอดีต และการอนุรักษ์ดินและน้ำ โดยทั่วไป ดินที่มีการอนุรักษ์ดินและน้ำเช่นการทำนาขั้นบันได และดินบริเวณตีนลาด มักจะมีแร่ธาตุ อินทรียวัตถุมากกว่า และปริมาณความชื้นมากกว่าด้วย แต่อย่างไรก็ดีพบว่าในพื้นที่ไร่หมุนเวียนซึ่งเพิ่งแผ้วถางเผาพบปริมาณอินทรียวัตถุและแร่ธาตุค่อนข้างสูง ซึ่งคาดว่าเกิดจากถ่านชีวภาพและขี้เถ้าจากกระบวนการเผานั่นเอง อย่างไรก็ดีการเผาในที่โล่งเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและสุขภาพตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ และแร่ธาตุที่ได้จากการเผาก็จะหมดไปภายในเวลาไม่นานจากการกัดเซาะและอาจเป็นตัวเร่งให้เกิดการกัดเซาะและดินถล่มได้เร็วขึ้น จึงควรปรับรูปแบบเป็นการทำแผ้วถางแล้วทำถ่านชีวภาพ (Slash and Char) เพื่อใช้ถ่านปรับปรุงดินแทน โดยผลการทดสอบไบโอชาร์จากซังข้าวโพดในพื้นที่โครงการฯ แม่มะลอ พบว่า มีแร่ K สูงและเป็นด่างเล็กน้อย สามารถปรับปรุงดินให้มีรูพรุนช่วยเก็บกักน้ำและเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์อย่างดี โดยร่วมกับระบบอนุรักษ์ดินและน้ำอื่น ๆ เช่นหญ้าแฝก คูเบนน้ำ การปลูกไม้ผล ฯลฯ เพื่อให้สามารถปรับปรุงดินได้อย่างยั่งยืน

3.2 ศึกษาชนิดพืชพรรณที่มีศักยภาพในการป้องกันการชะล้างพังทลายและเสริมเสถียรภาพของพื้นที่ลาดชันบนพื้นที่สูง

3.2.1 การสำรวจชนิดพืชพรรณในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงทั้ง 5 แห่ง พบว่าประกอบไปด้วยป่าทั้งประเภทผลัดใบ และไม่ผลัดใบ โดยสามารถพบได้ตั้งแต่ ป่าที่พบได้ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่า 1,000 เมตร ขึ้นไป ได้แก่ ป่าดิบเขาระดับต่ำ และป่าเต็งรังผสมสน และป่าผลัดใบที่พบที่ระดับความสูงน้อยกว่า 1,000 เมตร ได้แก่ ป่าดิบแล้ง ป่าเบญจพรรณ โดยพรรณไม้ส่วนใหญ่พบอยู่ในป่าประเภทผลัดใบ ได้แก่ ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ และ ป่าเต็งรังผสมสน ส่วนบริเวณที่สูงจะพบป่าดิบเขาระดับต่ำ เช่น พื้นที่โครงการฯ แม่มะลอ โดยในแต่ละพื้นที่ทำการคัดเลือกพันธุ์ไม้เพื่อนำมาทำการศึกษาแรงดึงราก โดยการคัดเลือกอยู่บนพื้นฐานของพืชที่พบในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งเป็นทั้งพืชท้องถิ่นและพืชต่างถิ่น (exotic species) และจากการสังเกตของเกษตรกรที่อยู่ในพื้นที่ร่วมกับประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่โครงการฯ ซึ่งการเลือกพันธุ์ไม้เพื่อปลูกในการลดการพังทลายของดินควรพิจารณาคุณสมบัติอื่น ๆ ประกอบด้วย เช่นประโยชน์ในการใช้สอย เศรษฐกิจ รวมถึงการอนุรักษ์ดินและน้ำร่วมด้วย นอกจากนี้ถิ่นอาศัยดั้งเดิมของพันธุ์ไม้ก็จำเป็นต้องนำมาพิจารณาเนื่องจากแม้ว่าพันธุ์ไม้บางชนิดจะมีกำลังสูงในการป้องกันการพังทลาย แต่หากต้องนำพันธุ์ไม้นั้นเข้าไปในพื้นที่ใหม่ พืชจะต้องปรับตัว ซึ่งอาจจะอยู่รอดได้แต่ไม่เติบโตตามปกติ หรือ อาจจะอยู่รอดและเติบโตได้ดีจนเบียดบังพันธุ์ไม้ท้องถิ่นดั้งเดิมในพื้นที่ กลายเป็นปัญหาพืชรุกรานต่อไปได้ ดังนั้นการเลือกชนิดไม้ไปปลูกในพื้นที่จริงจำเป็นต้องคำนึงถึงจุดนี้ด้วย

3.2.2 คัดเลือกชนิดไม้เพื่อนำมาทดสอบแรงดึงราก จำนวน 18 ชนิด ดังนี้ (1) โครงการฯ แม่มะลอ จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ มะขาม (*Tamirindus indica*) ข้าวโพด (*Zea mays*) (2) โครงการฯ แม่สอง จังหวัดตาก จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ถั่วมะแฮะ (*Cajanus cajan*) อะโวคาโด (*Persea americana*) จันทร์ทองเทศ (*Fraxinus griffithii*) การบูร (*Cinnamomum camphora*) และข้าวไร่ (*Oryza sativa*) (3) โครงการฯ แม่สลอง จังหวัดเชียงราย จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ บ๊วย (*Prunus mume*) ที่นำมาเป็นต้นตอเพื่อเสียบรากต้นไหน (*Prunus domestica*) ส้มผด (*Rhus chinensis*) ชาจีนอู่หลงเบอร์ 12 (*Camellia sinensis*) ลิงลาว (*Aspidistra sutepensis*) และกาแฟ (*Coffea arabica*) (4) โครงการฯ สบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ บุกไข่ (*Amorphophallus muelleri*) ตองแตบ (*Macaranga denticulata*) ราชาวดีป่า (*Buddleja asiatica*) และกระท่อมหมู (*Mitragyna rotundifolia*) และ (5) โครงการฯ บ่อเกลือ จังหวัดน่าน จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ ตะไคร้ต้น (*Litsea cubeba*) และกำลังเสือโคร่ง (*Betula alnoides*)

จากการศึกษาพบว่าแรงดึงรากมีกำลังลดลงเมื่อขนาดของรากใหญ่ขึ้น โดยกำลังดึงของรากพืชยังขึ้นกับปัจจัย ได้แก่ อายุของราก ขนาดของราก ความชื้นของราก ความสมบูรณ์ของราก และการเก็บรักษาตัวอย่างรากก่อนการทดสอบ ฯลฯ และแม้ว่ากำลังดึงของรากจะมีค่าต่ำ แต่หากมี

ปริมาณรากมากก็พอจะช่วยยึดดินได้บ้างเช่นกัน โดยในการศึกษาครั้งนี้ทำการเปรียบเทียบแรงดึงรากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่าเป็นรากที่มีขนาดเล็กที่มีการพัฒนาเพื่อยึดดินและค้ำจุนต้นไม้ได้แล้ว และเป็นรากที่มีความหนาแน่นสูง ผลการศึกษาพบว่าแรงดึงรากมีความสัมพันธ์ทางสถิติ ($P<0.05$) กับความยาวรากไกลสุด โดยหากรากของพืชนั้นมีค่าความยาวรากไกลที่สุดมาก จะส่งผลให้ค่าแรงดึงรากเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งในอนาคตหากมีการศึกษาเพิ่มเติมอาจนำมาสู่ข้อสันนิษฐานว่าพันธุ์ไม้ที่มีความยาวรากที่ไกล เช่น ในการศึกษานี้ คือไกลเกินกว่า 2 เมตร จะมีแรงดึงรากที่สูง ที่อาจเป็นข้อสังเกตเบื้องต้นในการสำรวจพรรณไม้ในพื้นที่โดยไม่ต้องขุดรากและทำลายต้นไม้และสะดวกต่อการทำนายแรงดึงของรากได้ ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า พืชที่มีแรงดึงรากสูงที่สุดที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ได้แก่ อะโวคาโด ตะไคร้ต้น จันทร์ทองเทศ กาแฟ และบ๊วย โดยส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ไม้นำเข้ามาในประเทศ (exotic species) ยกเว้นตะไคร้ต้นที่เป็นไม้ท้องถิ่นของไทย ซึ่งเหตุผลที่นำเข้าพันธุ์ไม้เหล่านี้ก็เพื่อเป็นไม้เศรษฐกิจในแง่ของการเป็นพืชอาหารเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งถือว่ามีประโยชน์ในแง่ที่พืชนี้สามารถให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจได้ดี ในขณะเดียวกันก็สามารถช่วยลดการชะล้างพังทลายของดิน รวมถึงอนุรักษ์ดินและน้ำได้ดี จึงเป็นการใช้ประโยชน์พันธุ์ไม้ให้เกิดอย่างเต็มศักยภาพ ในขณะที่พันธุ์ไม้ที่มีแรงดึงรากระดับกลาง คือ การบูร ตองแตบ ส้มผด กำลังเสือโคร่ง แคฝรั่ง มะขาม และกระท่อมหมู สำหรับพืชที่มีค่าแรงดึงรากต่ำสุด ได้แก่ ถั่วมะแฮะ และชาจีน

3.2.3 การพัฒนาฐานข้อมูลพืชยึดดิน เพื่อใช้จัดเก็บรวบรวมข้อมูลพรรณไม้ที่ได้จากการสำรวจและทดสอบแรงดึงรากในห้องปฏิบัติการ โดยใช้โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูลคือ MySQL มีหน้าที่เป็นฐานเก็บข้อมูล และใช้ Codelgniter เป็น framework ของการพัฒนาระบบเป็นรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ดึงข้อมูลจากฐานเก็บข้อมูล มาแสดงผลบนเว็บไซต์ เพื่อให้ผู้ใช้ระบบได้เข้าถึงข้อมูลได้ง่าย และนักวิจัยได้ใช้ระบบในการจัดเก็บข้อมูล เพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลได้ การออกแบบฐานข้อมูลได้รวบรวมข้อมูลการสำรวจรากพืชยึดดิน ได้แก่ ชื่อพืช ตำแหน่งที่สำรวจ อายุพืช ความสูง เส้นรอบวงลำต้น ขนาดทรงพุ่ม และ ผลการสำรวจและผลการทดสอบราก ได้แก่ รูปทรงราก ระยะแผ่รากไกลสุด ความลึกของราก คุณสมบัติยึดดิน และกำลังดึงของราก

3.3 การศึกษาแนวทางการป้องกันแก้ไขดินถล่มบนพื้นที่สูง

3.3.1 โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่มะลอ จังหวัดเชียงใหม่ (บ้านแม่วาก) พบปัญหาดินถล่มในพื้นที่มีน้อยแต่มีปัญหาการกัดเซาะผิวดินและชะล้างเป็นร่องน้ำเป็นจำนวนมาก บางพื้นที่ได้มีการปลูกแฝกชะลอการกัดเซาะไปบางส่วน แต่ยังไม่แพร่หลายมากนัก ขึ้นอยู่กับความเข้าใจของเกษตรกรเจ้าของพื้นที่ที่ยังทำการเกษตรหรือไม่ทำเกษตรในพื้นที่แล้ว มีแนวทางการป้องกันแก้ไขดังนี้

1) ใช้วิธีทางชีววิศวกรรมปฐพีเป็นหลัก โดยการปลูกหญ้าแฝกชะลอน้ำตามแนวเส้นชั้นความสูง (Contour) สำหรับร่องน้ำที่มีการกัดเซาะควรใช้กระสอบมีปีกสร้างฝายเป็นช่วงๆแล้วเลือก

พืชยึดดินในพื้นที่ปักชำระหว่างกระสอบมีปีกและในร่องน้ำ และปลูกแฝกเป็นแนวรูปบั้งเหนือแนวฝาย เพื่อให้ยึดดินและลดความเร็วน้ำในร่องน้ำลง ในการปลูกพืชยืนต้นหรือพืชสวนควรต้องคำนึงถึงแนวการปลูกให้ขวางทางน้ำ และไปตามแนว Contour พร้อมมีการปลูกหญ้าแฝกชะลอน้ำเป็นขั้นบันไดไปพร้อมกัน

2) สำหรับป่าที่สมบูรณ์หรือป่าเสื่อมโทรมควรต้องมีการสงวนรักษาและฟื้นฟูโดยใช้วิธีทางนิเวศวิทยาป่าไม้โดยชุมชนต้องมีการร่วมมือกันดูแลฟื้นฟู ตามคำแนะนำของนักวิชาการ เนื่องจากป่าเป็นแหล่งทรัพยากรป่าไม้ที่ชุมชนจะได้ผลประโยชน์ต่อเนื่องในระยะยาวจากผลิตจากป่า เช่น เห็ด หน่อไม้ สมุนไพร ไม้ฟืน เป็นต้น

3) ในการทำไร่หมุนเวียน ซึ่งมีการแผ้วถางและเผาเพื่อเปิดพื้นที่โล่ง ก่อนการปลูกพืชไร่ เช่นข้าวโพด หรือข้าวไร่ ส่งผลกระทบต่อภูมิอากาศและทรัพยากรดินนำมาสู่ปัญหาการกัดเซาะและชะล้างพังทลาย สนับสนุนให้เกษตรกรสร้างรายได้จากการกำจัดเศษซากชีวมวลทางการเกษตรโดยการผลิตไบโอชาร์ ใช้ปรับปรุงดินในพื้นที่เอง หรือเพื่อจำหน่ายโดยสถาบันฯช่วยเหลือเรื่องการตลาด ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาได้หลากหลายมิติทั้งด้านสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมดังได้กล่าวมาแล้ว

3.3.2 โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สอง จังหวัดตาก

<u>โรงเรียนบ้านแม่ระเมิง</u> พบปัญหาดินถล่มในอดีตและในบริเวณซึ่งมีการก่อสร้างอาคารเรียนใหม่ พบร่องรอยการทรุดตัวและเคลื่อนตัว โดยมีรอยแตก (Tension cracks) ให้เห็นเป็นแนวยาว เนื่องจากการทรุดตัวของลาดดินถมซึ่งมีความหนา แนวทางแก้ไขดังนี้

1) ใช้วิธีทางวิศวกรรมเป็นหลัก โดยการลดน้ำหนักของดินถมด้านบนด้วยการตัดเป็นชานพัก (Berm) 1-2 ชั้น และเสริมฐานยันหรือตีนลาดดินถมให้แข็งแรงขึ้นและสามารถชะลอหรือหยุดการเคลื่อนตัวของลาดดินได้ ด้านตีนลาดดินถมที่จรดกับดินเดิม และมีอาคาร (บ้านพักครู) จะต้องมีโครงสร้างยัน เช่น ท่อคอนกรีตใส่ดินฝังลงในดินเดิม และมีท่อระบายน้ำเป็นช่วง ๆ เพื่อไม่ให้มีแรงดันน้ำสะสม ปลูกพืช หญ้าแฝก และไม้ปักชำ และเรียงกระสอบเพื่อป้องกันการกัดเซาะที่ผิวหน้าดิน

2) สำหรับโรงเรือนเพาะปลูกและแผงพลังไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ซึ่งปัจจุบันอยู่ในแนวรอยแตกควรมีการพิจารณาย้ายลงมาอยู่ที่ชานพักระดับล่างลงมาตามความเหมาะสมต่อไป

3) สำหรับลาดดินตัดของเนินเขาหลังอาคารควรได้มีการปลูกพืชปักชำเพื่อยึดดินและหาทางระบายน้ำที่ไหลลงตามลาดดินตัดไม่ให้เกิดการกัดเซาะ และบนยอดของลาดดินตัดควรตัดแต่งต้นไม้ใหญ่ที่อยู่ริมผา ซึ่งอาจเป็นอันตรายจากการหักโค่นลงมาไม่น้อยกว่า 5-10 เมตรจากขอบผา และทำร่องผันน้ำออกจากหน้าผาดินตัด

<u>โรงเรือนอัจฉริยะ บ้านวะโดโกร</u> พบปัญหาการชะล้างพังทลายและเสถียรภาพของลาดดินถม มีร่องรอยการทรุดตัวและเคลื่อนตัว โดยมีรอยแตก (Tension cracks) ให้เห็นเป็นแนวยาวบริเวณซึ่งมีการก่อสร้างโรงเรือน แนวทางแก้ไขดังนี้

1) ควรแก้ไขโดยวิธีการวิศวกรรม เริ่มจากบนยอดของลาดดินตัดควรป้องกันการไหลซึมของน้ำด้วยการปูแผ่นพลาสติกคลุมลงมาถึงด้านล่างของลาดและควรมีการตรวจวัดการเคลื่อนตัวเพื่อช่วยในการประเมินความเสี่ยงต่อการถล่ม สำรวจหินลอยที่ด้านบนหรือบนลาดตัดที่ไม่มั่นคงอาจต้องมีการเสริมยึดด้วยเหล็ก Tie-rod และ Anchor พื้นโรงเรือนในส่วนที่วางบนดินถมใหม่ควรรื้อขึ้นมาบดอัด ฐานรากของเสาแนวนอกที่สุดควรวางอยู่บนฐานรากเสาเข็มคอนกรีตที่ตอกหรือกดเข็มท่อเหล็กที่กดถึงชั้นดินแข็ง อาจใช้เข็มที่หล่อในที่โดยการเจาะสว่านลงก่อนแล้วเทคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นทางเลือก

2) ผิวลาดดินถมซึ่งถูกกัดเซาะเป็นโพรงหรือเป็นร่องจากน้ำที่ระบายจากพื้นที่โรงเรือนจะต้องมีระบบระบายไม่ให้เข้าในบริเวณลาดดิน ส่วนลาดดินถมทั้งหมดต้องเพิ่มความมั่นคงด้วยการสร้างกำแพง Geotextile Earth Reinforcement และ/หรือ กระสอบแบบมีปีกโดยพยายามใช้แผ่น Geotextile ที่มีอยู่ให้เป็นประโยชน์มากที่สุด จะต้องมีการคำนวณออกแบบกำแพงส่วนนี้ให้มีความมั่นคงและมีการระบายน้ำใต้กำแพงให้ดี ขณะเดียวกันอาจใช้ไม้ปักชำแทรกระหว่างชั้น Geotextile Wrapping เพื่อให้รากไม้ช่วยยึดดินอีกส่วนหนึ่งด้วย

3.3.3 โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่สลอง จังหวัดเชียงราย (บ้านสันติคีรี) ในเขตชุมชนมีการสร้างสิ่งก่อสร้างบนพื้นที่สูง ตามสันเขา และเนินเขา มีการขุดและถมเพื่อปรับพื้นที่ ทั้งการระบายน้ำฝนออกจากพื้นที่ซึ่งเคยไหลบ่าตามผิวดินได้ตามธรรมชาติมีการปิดกั้นด้วยสิ่งก่อสร้าง ทำให้มีการระบายไม่เพียงพอหรือจุดทิ้งน้ำยังไม่พ้นลาดดินที่ใกล้สิ่งก่อสร้างจึงมีการกัดเซาะลาดดินให้ชันขึ้นและเกิดการถล่มตามมา แนวทางแก้ไขดังนี้

1) ควรมีการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของอาคาร รวมถึงการศึกษาระดับน้ำใต้ดินทั้งบริเวณโดยการติดตั้งบ่อวัดระดับน้ำ เพื่อให้ทราบทิศทางการไหลและแรงดันน้ำใต้ดิน เพื่อใช้ในการออกแบบและการเตือนภัย โดยประสานให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้ามาดูแล

2) สำรวจเส้นทางการระบายน้ำทั้งหมดที่ปล่อยน้ำลงในบริเวณนี้ เพื่อการเสนอแนะการดำเนินการด้านการจัดการน้ำระบาย ไม่ให้มากระทบต่อความมั่นคงของพื้นที่นี้

3.3.4 โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน

<u>ทางหลวงชนบท มส 3004 สบเมย</u> พบการกัดเซาะและการชะล้างพังทลายบริเวณไหล่ทางดินถม และลาดดินตัด หลายจุดบริเวณทางหลวงชนบท มส 3004 เนื่องจากปริมาณฝนตกหนักก่อให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินและน้ำใต้ดินกัดเซาะชั้นดินบริเวณร่องน้ำหรือจุดที่น้ำไหลไปรวมกันบริเวณต่ำที่สุดของไหล่ทาง และลาดดินตัด การแก้ไขที่สาเหตุคือการจัดการน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินเป็นหลักโดยการเบนน้ำ ทำทางระบายน้ำถาวร ขุดลอกท่อลอดเพื่อให้น้ำระบายลงสู่พื้นที่ซึ่งมีความมั่นคงได้โดยไว้ การแก้ไขการชะล้างพังทลายที่เกิดขึ้นแล้ว พิจารณาแนวทางแก้ไขตามระดับความรุนแรงในการกัดเซาะ ดังนี้

1) พื้นที่ซึ่งเริ่มมีกัดเซาะหรือการกัดเซาะปานกลางควรพิจารณาปลูกหญ้าแฝกเป็นแถวตามแนวระดับขวางทางลาดเท ระยะห่างระหว่างแถว 0.5 เมตร ตามรูปแบบมาตรฐานของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท

2) พื้นที่ซึ่งมีการกัดเซาะรุนแรงด้านลาดไหล่ทางด้านล่าง (Side slope) และด้านลาดตัด (Back slope) สามารถใช้วิธีชีววิศวกรรมปฐพี ประกอบไปด้วยกระสอบแบบมีปีก เสาเข็มขนาดเล็กพร้อมปลูกไม้ปักชำ อาทิ ต้นแคฝรั่งทั้งนี้จำเป็นต้องมีการสำรวจสมบัติของชั้นดิน ลักษณะรูปตัดของลาด รวมถึงข้อจำกัดอื่น ๆ เพื่อออกแบบในรายละเอียดต่อไป

3) พื้นที่ซึ่งมีการกัดเซาะกว้างเป็นบริเวณลึกเข้ามากระทบผิวทางช่องทางจราจร อาจจำเป็นต้องรื้อโครงสร้างคันทางเดิมออกแล้ว บดอัดใหม่โดยอาจสร้างเป็นกำแพงกันดินเสริมแรงด้วยวัสดุสังเคราะห์ เช่นจีโอกริด จีโอเทกซ์ไทล์

<u>บ้านห้วยน้ำใส</u> พบปัญหาการกัดเซาะและชะล้างพังทลายของดินเพียงเล็กน้อย ด้วยลักษณะทางธรณีวิทยาหินปูนและหินฟิลไลต์ เนื้อดินมีความต้านทานกัดเซาะค่อนข้างดี และมีระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ ใช้คูเบนน้ำและปลูกหญ้าแฝก พบปัญหาในระบบอนุรักษ์ดินและน้ำบ้างเกิดจากหญ้าแฝกโตได้ไม่ดีพอ เนื่องจากข้าวโพดสูงบังหญ้าแฝก ควรเว้นระยะห่างระหว่างแถวหญ้าแฝกและข้าวโพด และปลูกหญ้าแฝกซ่อมทันทีหากเสียหาย หรือทำฝายกระสอบขวางร่องน้ำและใช้ไม้ปักชำ เช่น ต้นแคฝรั่ง ทั้งนี้ควรขยายผลพื้นที่อนุรักษ์ดินและน้ำ และการสร้างป่าไปสู่พื้นที่ชุมชนอื่น ๆ อย่างต่อเนื่องและหาแนวทางสร้างรายได้อีกทางเพื่อลดการแผ้วถาง อาทิ การทำถ่านไบโอชาร์ การทำแปลงขยายพันธุ์หญ้าแฝกเพื่อใช้ในพื้นที่รวมถึงเพื่อจำหน่ายได้อีกด้วย

3.3.5 โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงบ่อเกลือ จังหวัดน่าน (บ้านน้ำจูนและบ้านห้วยโทน) ในพื้นที่ชุมชนพบการกัดเซาะและการชะล้างพังทลายรุนแรงมากบริเวณบ้านน้ำจูน และปานกลางที่บ้านห้วยโทน และเกิดการพิบัติบริเวณริมถนนหลายจุดซึ่งส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของชุมชนได้ เนื่องจากดินมีความอ่อนไหวต่อการกัดเซาะมากและขาดการจัดการน้ำผิวดิน ทั้งนี้แนวทางแก้ไขควรเลือกใช้วิธีชีววิศวกรรมปฐพีซึ่งใช้งบประมาณไม่มากนักและชุมชนสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเอง อาทิ

1) ปลูกหญ้าแฝกขวางทางน้ำในลักษณะรูปบั้งหรือแนวหัวลูกศรชี้ย้อนไปทิศทางน้ำไหล อาจใช้กระสอบมีปีกหรือก้อนหิน สร้างเป็นคันเสริมฐานให้มั่นคงตามแนวปลูกหญ้าแฝก

2) การซ่อมแซมร่องน้ำโดยเรียงกิ่งไม้ปักชำ และถมดินบรรจุกระสอบกลับ (Branch packing) หรือหินเรียง ชนิดของไม้ปักชำอาจใช้พืชที่หาได้ง่ายและใช้ประโยชน์ได้ เช่น แคฝรั่ง ฯลฯ

3) บริเวณริมถนน อาจพิจารณาใช้กระสอบมีปีกร่วมกับเสาเข็มไม้ ไม้ปักชำขนาดใหญ่และการปลูกต้นไม้ร่วม

3.4 การสร้างความตระหนักรู้และการมีส่วนร่วมของชุมชน

ผลการประเมินความตระหนักรู้ของชุมชน หลังการดำเนินงานวิจัยภาคสนาม พบว่าชุมชนและเจ้าหน้าที่มีความรู้เรื่องดินถล่มเพิ่มมากขึ้น เป็นระดับปานกลางถึงมาก จากก่อนหน้าคือระดับน้อยถึงปานกลาง และระบุถึงองค์ความรู้จากโครงการวิจัยที่เป็นประโยชน์ต่อชุมชน ในระดับมาก ได้แก่การเลือกใช้พืชพรรณในการป้องกันการชะล้างพังทลายและดินถล่ม การทำเกษตรบนพื้นที่สูงชันด้วยระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ นอกจากนั้น ในการลงพื้นที่ภาคสนาม พบว่าคนในชุมชนมีความความตระหนักรู้ถึงปัญหาที่เกิดในพื้นที่ สามารถให้ข้อมูลสถานที่และพาทีมวิจัยเข้าสำรวจ เพื่อร่วมกันหาแนวทางในการแก้ปัญหาดินถล่มได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะพื้นที่บ้านน้ำจูน มีการร่วมเรียงกระสอบแบบมีปีกและใช้ไม้ปักชำเพื่อป้องกันการกัดเซาะบริเวณลาดเขาเหนือศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก เนื่องจากเป็นวิธีการที่ทำได้ง่าย ชาวบ้านสามารถเข้าใจและดำเนินการได้ทันที

4. สรุปผลการวิจัย

4.1 ผลการประเมินแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มในพื้นที่โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงทั้ง 5 แห่ง พบว่าพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในระดับสูงและสูงมากเกิดบริเวณพื้นที่ลาดชัน 20-30 องศา ธรณีวิทยาแบบหินตะกอน ได้แก่ หินทรายแป้ง หินดินดาน หินทราย รวมถึงหินอัคนีเช่นหินแกรนิต น้ำฝนได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้และฝนปะทะภูเขา เป็นตัวเร่งให้เกิดการพังทลายของดินนำไปสู่ดินถล่ม การสูญเสียหน้าดินกระจายทั่วไปตามพื้นที่โครงการฯ ทั้ง 5 แห่ง แต่พื้นที่ที่การพังทลายของหน้าดินมีระดับมากและรุนแรงมาก พบเห็นได้ชัดเจนในพื้นที่เกษตรกรรมที่ยังไม่มีมาตรการในการอนุรักษ์ดินและน้ำที่ชัดเจน และพื้นที่ต้นน้ำ ที่มีความลาดชันสูงและฝนตกชุก

4.2 ผลการตอกหยั่งชั้นดินพบความหนาชั้นดินหลวมประมาณ 1.2 ถึง 5 เมตร ขึ้นกับการผุพังของหินต้นกำเนิด ในกรณีดินถม เช่น พื้นที่ก่อสร้างอาคารใหม่โรงเรียนบ้านแม่ระเมิง และโรงเรือนอัจฉริยะ บ้านวะโดโกร โครงการฯ แม่สอง พบความหนาชั้นดินหลวมมากกว่า 7 เมตร ในกรณีนี้การใช้พืชพรรณเพียงอย่างเดียวจะไม่เพียงพอสำหรับป้องกันดินสไลด์ระดับลึก จำเป็นต้องใช้เทคนิควิศวกรรมด้วย เช่น เสาเข็ม หรือกำแพงกันดิน

4.3 ผลการทดสอบกำลังดึงรากของพืชพรรณ 18 ชนิด พบว่าแรงดึงรากมีกำลังลดลงเมื่อขนาดของรากใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบแรงดึงรากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม. พบว่าหากค่าความยาวรากไกลที่สุดมีค่ามากส่งผลให้ค่าแรงดึงรากเพิ่มสูงขึ้น พืชที่ค่าแรงดึงรากสูงที่สุด ได้แก่ อะโวคาโด ตะไคร้ต้น จันทร์ทองเทศ กาแฟ และบ๊วย พันธุ์ไม้ที่มีแรงดึงรากระดับกลาง คือ การบูร ตองแตบ ส้มผด กำลังเสือโคร่ง แคฝรั่ง มะขาม และกระท่อมหมู และพันธุ์ไม้ที่มีแรงดึงรากระดับต่ำ คือ ถั่วมะแฮะ และชาจีนอู่หลงเบอร์ 12

4.4 แนวทางการป้องกันแก้ไขดินถล่มและการกัดเซาะที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ ขึ้นอยู่กับบริบทของชุมชน และปัจจัยแวดล้อมที่ต่างกัน สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามระดับของเทคนิควิศวกรรมที่ใช้ร่วมกับพืชจากน้อยไปมาก ได้แก่ วิธีพืช กระสอบมีปีกและพืช และ วิธีวิศวกรรมและพืช โดยมี

งบประมาณในการดำเนินงานเบื้องต้น คิดเป็น 192, 2,571 และ 12,126 บาท ต่อ ตารางเมตร ตามลำดับ

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 การใช้งานกระสอบมีปีกซึ่งได้รับบริจาคจากมูลนิธิชัยพัฒนา และบริษัทปตท.จีซี จำนวน 5,000 ใบ นั้น ควรดำเนินการโดยการมีส่วนร่วมของชุมชน ให้เป็นไปตามหลักวิชาการ และมีการติดตามผลการใช้งานต่อไปในอนาคต รวมถึงอาจขยายผลไปถึงการใช้งานในด้านอื่นๆ เช่นการบำรุงรักษานาขั้นบันได การสร้างฝายเพื่อพัฒนาแหล่งน้ำ ฯลฯ

5.2 การทำไบโอชาร์เพื่อลดการแผ้วถาง ควรสนับสนุนการผลิตทั้งเพื่อปรับปรุงดินในพื้นที่เองและเพื่อการจำหน่ายและขยายผลในรูปแบบอื่นๆ โดยใช้รูปแบบธุรกิจเพื่อสังคม และประชาสัมพันธ์ให้เกิดการรับรู้ในสังคมวงกว้าง

5.3 ระบบตรวจวัดดินถล่มต้นแบบซึ่งติดตั้งไว้ที่บ้านแม่วาก โครงการฯ แม่มะลอ และ บ้านน้ำจูน โครงการฯ บ่อเกลือ ควรมีการติดตามผลต่อไปในระยะยาว เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องเป็นประโยชน์ต่อชุมชน และขยายผลต่อไปในพื้นที่เสี่ยงอื่นๆ

5.4 ควรสนับสนุนให้มีการใช้งานฐานข้อมูลพืชยึดดินอย่างต่อเนื่องโดยนักวิจัยของสถาบันฯ และชุมชน เพื่อให้เกิดประโยชน์เป็นรูปธรรม

Executive summary

1. Background

Landslide is one of the natural disasters causing loss of lives and economy, which is commonly found in hilly terrain and valleys with high erosion rate. Highland Research and Development Institute (HRDI), has most of its target working areas in mountainous and hilly area, together with the geology of the northern region consisting of landslide-prone geology, namely igneous and sedimentary rock which can decompose to highly erodible soils. In addition, land-use modification for agriculture and residential purpose that may cause water discharge obstruction, also contribute to further landslide risk.

Soil bio-engineering is the use of vegetation with engineering technique for control of erosion and landslide which is in accordance with nature, being economical and sustainable. In general, plants tend to be stronger and more stable with time as roots penetrate deeper while engineering structure only deteriorates with time. Therefore, limited life structures such as soil bags, bamboo gratings, soil erosion control blankets, can help establish vegetation in its initial stage and would decompose as the plants grow larger, stronger and ultimately replace the structure's roles in slope stabilization. In general, however, soil bioengineering can prevent only erosion and shallow landslide with depth of failure less than 3 meters. For larger landslides, structural measures or early warning systems are needed to mitigate landslide risk.

This project therefore involves application of soil-bioengineering technique for erosion control and slope stabilization in highland areas by community participation in the HRDI project areas in Chiangmai, Chiangrai, Nan, Tak, and Maehongson. It involves identification of landslide hazard areas and raising community awareness of landslide risk, study of local plants with potentials for bio-slope stabilization, in order to better prepare the community for prevention and mitigation of landslide hazard in highlands that may occur.

2. Research objectives

2.1 To study and evaluate the landslide hazard and erosion area in 5 Royal Project Extention Areas, namely Mae Malor area Chiangmai, Mae Salong area Chiangrai, , Mae Song area Tak, Sob Muei area Maehongson, and Bo Kluae area Nan.

2.2 To study plants which are of potentials for preventing erosion and slope stabilization in highland in the selected 5 Royal Project Extention areas

2.3 To study application of these plants in together with soil bioengineering technique to prevent erosion and shallow landslide with community participation

3. Research results

3.1 Evaluation of landslide hazard map in 5 Royal Project Extention Areas

3.1.1 Landslide hazard area was analyzed in 5 royal project extension by landslide probability model and average daily extreme rainfall data during 2009 to 2019. The landslide risk were divided into 5 categories: lowest, low, moderate, high and highest respectively. The results shown that highest vulnerable areas with the highest risk level mostly occurred in high slope area especially 20 to 30 degrees. Furthermore, the major geological features of the landslide area were highly fractured and weathered crust of sedimentary rocks, i.e siltstone shale and sandstone, The physical geology of the study areas generally were based on sedimentary and igneous rocks. Therefore, prone to slope saturation and erosion process, whereas slope materials are heterogeneous and loose and slide easily due to low shear strength when heavy rainfall occurs. Moreover, rainfall in the studied areas are under influence of the monsoon seasonal winds i.e. southwest monsoon and northeast monsoon. The average rainfall of the studied area is an approximately 1,400 – 2,000 millimeters./year. In each studied area, topography were covered by hilly and mountainous landscapes be the cause of Orographic rainfall effect. The Orographic rainfall, precipitation produced when moist air is lifted as it moves over a mountain range. On the lee side of the mountain range, rainfall is usually low, and the area is said to be in a rain shadow. Very heavy precipitation typically occurs upwind of a prominent mountain range that is oriented across a prevailing wind from a warm ocean. The results shown

that the landslide risk simulated by the landslide probability model in Sobmuei and Bo Kluea project are related with the point of landslide events from field survey at Sobmuei and Bo Kluea districts.

3.1.2 The average annual soil erosion for each of the five studied areas was evaluated using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) method with 10 year rainfall data. The magnitude of erosion were divided into 5 levels: lowest, low, moderate, high and highest respectively. The results indicate that the potential of average annual soil erosion rate in Mae Malor, Mae Salong, Mae Song, Sob Muei and Bo Kluae project are 75, 180, 160, 86, and 1,000 tons/year, respectively. Furthermore, the erosion rate were correlated with topography and slope, with higher erosion rate associated with mountainous and higher slope areas. In addition, the results shown that different magnitudes of soil erosion occurring in every part of the studied areas but also significantly higher magnitudes occur in agriculture area without soil & water conservation practice, especially rice and maize. The Bo Kluae area was found to have the highest potential of annual average soil erosion rate due to of topographical characteristics and land use as crop cultivation (maize and rice) is very famous occupation together with poor soil & water conservation practices leading to high magnitude of erosion and loss of top soil than other studied areas.

3.1.3 According to topography survey using UAV photogrammetry technique of the past landslide and sever erosion areas, the slopes were found to range between 20-45 degrees, which, on average, agrees with the GIS data, though it was found that the actual slope in some areas was higher than those indicated in the GIS map especially those near cut slope in highways or near residential zone where human activities lead to slope toe cutting. For corn field in Maemalor area in Chiangmai, the slope of the high eroded sites (without soil & water conservation) on average is 30 degrees (agreeing with GIS). In Maesong area in Tak, the landslide area on cut slope in Mae Ramerng school and Wadogrow greenhouse have slope angle of about 40-45 degrees, involving slope toe cutting and filling. In Mae Salong, Chiangrai province, the landslide area near convenience store has a gentler slope of 20-25 degrees, but still slow creep slope movement was observed. It was expected to be caused by housing estate on the hill affecting the surface water and raising the ground water table. This

is a typical problem of many communities in hilly terrain in Northern part. For Bo-kluea, Nan, the landslide was found in a natural forest with average slope of 36 degrees.

3.1.4 The Kunzelstab penetration tests indicated the thickness of loose soil layer in natural slope, which is susceptible for slope failure, ranged between 1.2 and 5 meters, depending on the weathering degree of parent rocks and geology. In case of fill slope, such as the newly constructed building in Mae Ramerng School and Wadogrow greenhouse, MaeSong area, the thickness of loose fill soil was found to be more than 7 meters. With large thickness of the loose soil, the use of vegetation alone may not be adequate for slope stabilization in case of prolonged heavy rainfall that may cause deep-seated landslide. In such case, engineering hard structures such as piles or retaining walls are needed.

3.1.5 Based on ground water aeration sound survey in the corn field slope in Maewark, Chiangmai, to locate the high seepage zone based on sound of air bubbles in soils being displaced due to water, the sound level was high above the erosion channel, indicating a high seepage which took place in loose soils with larger voids, creating louder ground-water aeration sound. This zone is the initiation zone for erosion or zero order channel. In this corn field slope, instruments were installed to monitor soil moisture, soil suction, and slope tilting. The soil moisture above vetiver hedgerow was found to be higher than that on corn field without soil & water conservation system. Due to the vetiver hedgerow intercepting runoff water, facilitating infiltration, soil moisture was increased. However, despite the soil moisture along vetiver being higher, the slope movement was lower than in the cornfield. This shows that the function of vetiver hedgerows as a living wall to conserve surface water but at the same time, retain the slope movement, preventing erosion.

3.1.6 The results of soil moisture measurement on slopes of different land uses, namely, agriculture land with and without soil & water conservation, forest, bared land of shifting cultivation type demonstrates that agriculture land with leaf mulching were of higher moisture content than those without mulching (i.e. corn and bean cultivation land) by about 3-4% (measured at beginning of rain season). The soil moisture in forest area was higher than highland rice by about 3-5%. On measurement of soil moisture

around avocado tree with u-shape vetiver hedge, it was found that the soil moisture of the upper side of avocado tree and vetiver hedge was higher than those below the hedge by about 3-5%, demonstrating the water retention of vetiver hedge. The difference in surface soil moisture of various land-use was expected to be due to varying litter thickness. The litter thickness of abandoned forest was about 6 centimeters while the corn field was only 0-1 centimeter. At the back of child nursery center in Namjoon village existed an old landslide which posed a threat and major safety concern to local people. 100 flapped soil bags donated by PTTGC was then placed at the slope toe with live stakes to prevent erosion. Also, instruments for slope movement and soil moisture were installed at 2 locations, indicating that the maximum soil moisture was 38%, in response to rainfall and reduced during drought. No slope movement was found to correlate with the soil moisture yet. The tilting rate of slope surface was 0.0014 degs/day or 0.0000583 degs/hr during September until December 2020 which is lower than the threshold proposed by Uchimura et al. (2015) of 0.01 degs/hr. The slope movement above the child nursery center in Namjoon village was considered low, being creep movement. However, continuous monitoring should be done and warning issue if rainfall level exceeded the specified threshold. According to the landslide in Huaytone, the 3day antecedent rainfall plus 1-day rainfall in excess of 270 millimeters was found to induced landslide in natural forest with slope gradient of 36 degrees.

3.1.7 Based on the soil property analysis, soils in Maemalor and Wadogrow were found to be mainly sandy and silty which are prone to erosion and of relatively low nutrients and acidic. However, in Maesalong, Sobmei, and Bo Kluea, the soils were all clays which can show great reduction in strength upon contact with water. The soil textures and nutrients are related to geology and past sediment transport and soil & water conservation practice. In general, the soil from soil & water conservation areas and at the slope toe were of higher nutrients with more organic matter and moisture. However, in shifting cultivation area (Slash & burn), the soil was found to be of high organic matter and high nutrients which is expected to result from biochar and ash from burning process. Still, the open-air burning lead to adverse environmental effects from dust and public health and the nutrients will soon be depleted as the soil is

eroded and landslide is accelerated. It is thus advised to change the “Slash and Burn” practice to “Slash and Char” which involves making biochar on-site and use it to improve the soil. Based on nutrient tests on Biochar derived from corn cob in Maemalor area, it was found that K mineral in the corn char was high and slightly alkaline. The biochar can improve the porosity of the soil for better water retention and provides habitat of microorganism. Used with other soil & water conservation practices such as vetiver hedgerow, diversion ditch and growing fruit trees, the biochar can be a sustainable solution for improving the soil.

3.2 Study of potential plants for erosion control and stabilization of highland slope

3.2.1 The forest types of the studied areas according to the topographic, edaphic, and weather factors can be classified as both evergreen and deciduous types. Forest types with the mean sea level above 1,000 meters include lower montane and dry dipterocarp mixed with pine. While, the deciduous forests with the mean sea level below 1,000 meters include dry evergreen and mixed deciduous. Most tree species were found in the deciduous type of dry dipterocarp, mixed deciduous, and dry dipterocarp mixed with pine forests. In the upper part of the studied areas such as Mae Waak and Mae Malaw in Mae Chaem, Chiang Mai province, the forest type is low montane. In each studied areas, plant species were chosen to study root tensile strength. The criteria for species selection were based on the habitat of the species with both native and exotic species along with the observation of the farmers with the experiences of the HRDI officers. Moreover, the species selection for soil erosion reduction has to be based on the benefits of the species on the timber, economic, as well as soil and water conservation. However, the native habitat of the species is equally important for consideration because even some species have high ability to reduce soil erosion, species introduced to the new area have to adapt to the new environments. They might adapt and survive but growth might not be normal or they might be able to adapt so well and rapidly take over the native species resulting in invasive species in the area.

3.2.2 Various plants were selected to test the root tensile strength as follows. In Mae Waak, Mae Cheam, Chiang Mai province, roots of *Tamirindus indica* and *Zea*

mays were sampled. In Mae Song, Tak province, roots *of Cajanus cajan, Persea americana, Fraxinus griffithii, Cinnamomum camphora*, and *Oryza sativa* were sampled. In Mae Salong, Chiang Rai province, roots of *Prunus mume* which has been used to be a stock for the scion of *Prunus domestica, Rhus chinensis, Camellia sinensis, Aspidistra sutepensis*, and *Coffea arabica* were sampled. In Sop Moei, Mas Hongsorn province, roots of *Amorphophallus muelleri, Macaranga denticulate, Buddleja asiatica,* and *Mitragyna rotundifolia* were sampled. In Bo Kluea, Nan province, roots of *Litsea cubeba* and *Betula alnoides* were sampled.

Results from root tensile strength clarified that the strength decreased when the diameter of root increased. Root tensile strength also depended on root size, root moisture, root health and root storage, and root age etc. In addition, even the root tensile strength may be low, the species might be useful for soil stability if the density is high enough. In this study, root diameter at 1 millimeter was used to compare the root tensile strength among species which this size of root is considered to have development for soil anchoring and also high density in the soil. Root tensile strength positively related with the horizontal root length distribution. The longer the root length, the higher the root tensile strength. This finding will be benefit for future study in terms of the assumption that the species with long root length (in this study, root length > 2 meters) would have high root tensile strength without the root excavation and plant destruction. Plants with high root tensile strength at root diameter of 1 millimeter were *P. Americana, L. cubeba, F. griffithii, C. arabica,* and *P. mume* which most of them are exotic species that are not native to Thailand (apart from *L. cubeba*). The exotic species were introduced to Thailand for food with good economic benefits and they also serve the soil erosion control as well as soil and water conservation. We considered those species to have full potential for soil-bioengineering. The intermediate root tensile strength species include *C. camphora, M. denticulate, R. chinensis, B. alnoides, G.sepium, T. indica,* and *M. rotundifolia*. *C. cajan* and *C. sinensis* had the lowest root tensile strength.

3.2.3 Database of soil-stabilizing plant was developed to collect the information of plant survey in all 5 studied areas in order to systematically organize the field data and root tensile strength test results, using MySQL with CodeIgniter as framework for

developing web application to retrieve information from database to show on the website which is easily accessible by users. Researchers can use the database for storing, retrieving, adding, deleting or editing the information of soil-stabilizing plants including, plant name (Scientific name, genus etc), location (date, place, coordinates), survey information (plant age, height, trunk circumference, crown spread) and root characteristic (root architecture, lateral spread of roots, depth of roots, tensile strength)

3.3 Study on erosion control and slope stabilization techniques

3.3.1 In Mae-malor area, Chiangmai (Baan Mae-wark), landslide problem in the area is only minor, while erosion problems in the form of gullies are widespread. In some parts, vetiver system is applied but still not very widespread, depending on the understanding of the farmers who may or may not practice agriculture in the land.

1. Mainly use soil bioengineering in agriculture lands, i.e. planting vetiver hedgerows along contour and in the gullies, flapped soil bags can be used to built small check dams along the slope and selecting stabilizing plants in the areas as live stakes in between the flapped soil bags. Vetivers can be grown as arrow arrangement above the check dam to stabilize the soil and reduce runoff velocity. Trees should be planted along the contour together with vetiver hedgerow in a terrace.

2. Intact forests and degraded forests should be preserved and rehabilitated using forest ecological technique involving community participation according to academic advices. These forests can provide natural resources from which communities will benefit in the long terms from its products such as wild mushrooms, bamboo shoots, herbs, fuel wood etc.

3. In shifting cultivation for cereal crops like corn or highland rice, slash & burn technique le1 ads to adverse environmental impacts, air pollutions, erosion and landslide. Farmers should be encouraged to get rid of the agriculture biomass residues using biochar technique (slash & char) and utilize the biochar in their land or sell for extra income with the help of institute for marketing. This will help solve both social, economic and environmental issues.

3.3.2 Mae Song area Tak

Mae Ramerng School There existed past landslide and at the current construction site of new building, settlement, slope movement and tension cracks

along the slope crest was found due to compression of the thick loosely fill slope. The slope movement can be deep-seated. The suggested solutions are as follows.

1. Mainly use engineering solutions, namely reducing the soil weight on slope crest by excavation the soil and making 1-2 levels of berms. Toe buttress can be used to arrest the slope movement near the teacher residential building by installing concrete caisson in the original ground and providing drainage pipe to release pore water pressure. Vegetation such as vetiver, live stake and soil bags can be placed to reduce surface erosion.

2. The greenhouse and solar panels on the crack can be relocated to lower benches where appropriate.

3. For cut slope behind the new building, vegetation should be planted to stabilize the slope and provide surface drainage to reduce erosion. On slope crest, big trees can be trimmed to reduce the height to avoid the danger to tree fall down, to the distance of about 5-10 m from the cliff edge. Diversion ditch should be made to direct surface water away from the cliff.

Greenhouse area of Wadogrow office, Tak

Erosion and slope stability problem was found on the fill slope with evidence of settlement, slope movement and tension crack near the greenhouse area. Solutions are proposed as follows.

1. Engineering solutions should be used, starting with the slope crest, water infiltration should be prevented using plastic sheet cover from top to the base of the cliff. Slope movement should be monitored to evaluate the landslide risk. Unstable rock boulder on the cliff should be removed or stabilized using tie-rod or anchor. The soil fill underlying greenhouse floor should be removed and recompacted. The outer row of columns should sit on pile foundation (concrete or steel tube) embedded down to hard soil layer. Cast-in placed concrete pile can be built using hand auger and filling concrete.

2. The surface of fill slope was eroded as gully. The surface water from the greenhouse need to be direct away from the slope. The entire fill slope needs to be stabilized using geotextile earth reinforcement and/or flapped soil bags and using the existing geotextile as much as possible. Design calculation of the wall should be done

to ensure the stability and drainage below the wall. Live stakes can be planted in between geotextile wrapping to provide further root reinforcement from plant.

3.3.3 Doi Mae Salong area, Chiangrai In the residential area, there existed construction of building along hilly terrain, involving cut and fill. Rainwater and surface water drainage is then impeded by these building and pavement, or the water discharge location was not far enough from the slope, thus causing erosion and landslide.

1. Instruments should be installed to monitor the movement of building. Studies should be done to investigate the groundwater table using observation well to understand the flow direction and porewater pressure. The information can be used for design and early warning by the responsible authorities.

2. Surveying the drainage routes that discharge the water in this area to suggest the management of runoff water to reduce the impact on slope stability.

3.3.4 Sobmei area, Mae Hongsorn

Rural road 3004 Sobmei, Mae Hongsorn Erosion and slope instability were found near fill slope and cut slope in many locations along rural road 3004 due to heavy rainfall, causing runoff and groundwater seepage near gully or the lowest location of the road shoulder and cut slope.

The remedial solution should deal with surface water and ground water by constructing permanent drainage ditch, removing sediments from the ditch to clear the way for discharge water to more stable zone. The repair of failed slope can be done based on different levels of erosion problem as follows.

1. For areas where erosion just started or moderate erosion, vetiver system should be used along the contour, with 0.5m spacing between the rows, according to the standard drawing of Department of Highways or Department of Rural Roads.

2. For areas with severe erosion on side slope or back slope, soil bioengineering technique including, flapped soil bag, micro pile with live stake can be used. More detailed soil investigation, slope geometry and other limitations should be performed to make detail designs.

3. For areas with severe erosion and slope movement affect the road lane, there might be needs to remove the existing pavements and recompact the embankment using geosynthetic reinforcing materials such as geogrid and geotextile.

Huay Namsai area, Sobmei, Mae Hongsorn In this area, only minor erosion and slope movement was found due to the high erosion resistance of the soil derived from limestone and phyllite and the adoption of soil & water conservation practice using diversion ditch and vetiver. There are some issues of the vetiver being shaded by corn, resulting poor growth of the vetiver. More space should be provided between the corn and vetiver hedgerow and replanting of vetiver system should be done immediately if damaged. Flapped soil bags can be placed as check dam with live stake such as *Gliricidia sepium*.

Soil & water conservation and reforestation should be actively encouraged to other areas. Extra income could be gained by making biochar to reduce slash and burn and propagation of vetiver in a nursery for commercial and local use.

3.3.5 Bo-Kluea area, Nan

In the community areas of Nam-joon village and Huay tone village, erosion problem was found to be severe and moderate respectively. There were a number of slope failures along the road in Nam-joon village that could potentially endanger public health and safety. The failure was due to high susceptibility of soil to erosion and poor drainage of surface water. The bioengineering solution with relatively low cost which the community can handle by themselves should be used namely.

1. Planting vetiver hedgerow in upward arrow arrangement. Using flapped soil bag or rocks as the foundation below the vetiver hedgerow as needed.

2. Repairing the large gully erosion using live stake such as *Gliricidia sepium*. with soil bag or rock filling the gully as check dam

3. For road side failure, flapped soil bags with live pole and timber piles together with tree planting can be used.

3.4 Community awareness of landslide risk and participation

Based on the questionnaire sent to the local people and local staff of HRDI after the field works, the respondents indicated they had better understanding about landslide being "moderate to very good", as compared to "low to moderate" prior to the field work. The knowledge the respondents found particularly useful is on "selection of slope stabilizing plant and erosion control" and "agriculture practice in highland using soil & water conservation". Moreover, the local community showed their good awareness of the local problems, as they were able to give useful information, guide the researchers and discuss about the way to mitigate the landslide problem. In particular, at Namjoon village, the local people eagerly participated in placing the flapped soil bag with live stake to prevent erosion of slope toe behind the child nursery center as this technique can be easily done, and understood by the local people.

4. Conclusions

4.1 The result of landslide hazard map in the Royal 5 Royal Project Extension Areas indicated that the most landslide-prone areas mostly occurred in high slope area especially 20 to 30 degrees with sedimentary rock geology, namely, siltstone, mudstone, and sandstone as well as igneous rock. The rainfall are under influence of the monsoon seasonal winds i.e. southwest monsoon and northeast monsoon as well as, orographic rainfall effect. These conditions accelerated soil erosion leads to landslide. Soil loss due to erosion can be generally found in all 5 study areas, but the severe and very severe problems can be noticeably found in agriculture area without soil & water conservation and natural forest upstream with steep slope and high precipitation.

4.2 The soil sounding investigation indicated the thickness of loose soil layer between 1.2 and 5 meters, depending on the weathering degree of parent rocks. In case of fill slope, such as the newly constructed building in Mae Ramerng School and Wadogrow greenhouse, MaeSong area, the thickness of loose fill soil was more than 7 meters. In such case, the use of vegetation alone may not be adequate for slope stabilization and engineering hard structures such as piles or retaining walls are needed.

4.3 Results from root tensile strength on 18 species showed that the strength decreased when the diameter of root increased. By comparing tensile strength of 1 millimeter size root, it demonstrates that the longer the root length, the higher the root tensile strength. Plants with high root tensile strength were *P. Americana, L. cubeba, F. griffithii, C. arabica,* and *P. mume*. The intermediate root tensile strength species include *C. camphora, M. denticulate, R. chinensis, B. alnoides, G.sepium, T. indica,* and *M. rotundifolia*. *C. cajan* and *C. sinensis* had the lowest root tensile strength.

4.4 The recommended slope stabilization and erosion control techniques depends on the community conditions and other surrounding factors, which can be categorized in 3 groups, related to the level of engineering technique combined with plants (for lowest to highest), namely, 1) Vegetation technique 2) Soil bag and vegetation and 3) Engineering technique and vegetation. The expense for these works are estimated to be 192, 2,571, and 12,126 baht/m3 respectively.

5. Recommendation

5.1 The 5,000 flapped soil bags donated by Chaipattana Foundation and PTTGC should be used with community participation according to correct procedure and long-term monitoring. Usage of the flapped soil bags could be extended to other aspects such as rice terraced farm, construction of small check dam for micro irrigation, etc.

5.2 Biochar can be produced locally to reduce open-air burning both for the purpose of local soil nutrient improvement, for sale and other extended use. A kind of social enterprise could be adopted and encourage further public awareness

5.3 The prototype landslide monitoring system installed at Baan Maewark, Mae Malor area and Baan Namjoon, Bo Klue Area, could be used in the long term to provide continuous warning and benefits the local community, as well as to extend to other areas.

5.4 The use of the plant database for slope stabilization should be encouraged for the institute's researchers and community to gain actual benefits.

สารบัญ

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญตาราง

หน้า

สารบัญภาพ

หน้า

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า