

การใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามมิติ เพื่อติดตามการกร่อนดินแบบริ้ว

The Use of 3D Terrestrial Laser Scanner for Monitoring Rill Erosion

จันทร์จิรา สารสำเร็จ^{1*} และเอกกมล วรรณเมธี²

Janjira Sansamret^{1*} and Ekkamol Vannamete²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) ในการศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของริ้ว และเพื่อประเมินปริมาณดินที่สูญเสียจากกระบวนการกร่อนดินแบบริ้ว การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยติดตามการเปลี่ยนแปลงของริ้วบนพื้นที่ลาดชันระหว่าง 30 - 60 % โดยอยู่ภายใต้สวนปาล์ม น้ำมัน และสวนยางพารา ในอำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร รวมทั้งสิ้น 6 ริ้ว ผู้วิจัยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเก็บข้อมูลลักษณะสัณฐานของริ้วแบบสามมิติ ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 2 x 5 ตารางเมตร เก็บข้อมูลระหว่างเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวนทั้งสิ้น 8 ครั้ง และนำมาสร้างแบบจำลองระดับความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) ความละเอียดจุดภาพ 1 เซนติเมตร ผลการวิจัยพบว่าริ้วในสวนยางพารามีการสูญเสียดินสุทธิมากกว่าริ้วในสวนปาล์ม น้ำมัน โดยริ้วในสวนยางพารามีปริมาณการสูญเสียดินสุทธิเท่ากับ 1,234 (Rubber A) 1,508 (Rubber B) และ 1,290 (Rubber C) ลบ.ซม. ในขณะที่ริ้ว 2 แห่งในสวนปาล์ม น้ำมันมีปริมาณการสูญเสียดินสุทธิเท่ากับ 1,244 (Palm A) และ 1,203 (Palm B) ลบ.ซม. และมี 1 แห่ง ที่มีปริมาณดินสุทธิเพิ่มขึ้น 0.63 (palm C) ลบ.ซม. ริ้วที่มีการสูญเสียหน้าดินสุทธิสูงสุดเป็นริ้วที่มีค่าดัชนีกำลังของการไหลของน้ำ (Stream Power Index: SPI) สูงที่สุดทั้งในสวนยางพาราและสวนปาล์ม น้ำมัน นอกจากนี้ยังพบว่า การสูญเสียหน้าดินมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนวันที่ฝนตก ($r = 0.69$) ยกเว้นริ้วที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในสวนปาล์ม น้ำมันมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้นฝนสูงสุด ($r = 0.98$)

คำสำคัญ: การกร่อนดินแบบริ้ว เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ

Abstract

This research aimed at using 3D Terrestrial Laser Scanner to investigate and monitor the morphological changes of rills in and estimate the volume of soil losses from large rills. In this study, the

¹ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

² อ., ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

¹ Master's Degree Student, Department of Geography, Faculty of Arts, Chulalongkorn University, Bangkok, 10330, Thailand

² Lecturer, Department of Geography, Faculty of Arts, Chulalongkorn University, Bangkok, 10330, Thailand

* Corresponding author: Tel.: 02-2415063 E-mail address: janjira.sansamret@gmail.com

(Received: April 17, 2020; Revised: June 20, 2020; Accepted: June 23, 2020)

researchers selected six rills on hillslopes with slope gradient ranging between 30-60 % under oil palm and rubber plantations in Tha Sae District, Chumphon Province. Terrestrial Laser Scanner was used to collect 3D morphological characteristics of rills, covering the area of $2 \times 5 \text{ m}^2$ for each rill. Rills development was monitored between July - December 2018 of which eight data sets in total were obtained per rill. Digital elevation model (DEM) was generated for each observation with 1-cm resolution. Results showed that soil loss from rills under rubber plantation was greater than that under para-rubber plantation. The amounts of soil eroded from the rills under para-rubber plantation were 1,234 (Rubber A), 1,508 (Rubber B) and 1,290 (Rubber C) cm^3 over the study period. The amounts of soil loss of 1,244 (Palm A) and 1,203 (Palm B) cm^3 of soils were removed from two rills under oil palm plantation, in which one rill gained 0.63 (Palm C) cm^3 of removed soil. The rills with the highest Stream Power Index (SPI) under both plantations had the highest net soil loss. The net soil loss was positively correlated with raining day ($r = 0.69$) in all rills, except the largest rill under oil palm plantation, in which the net soil loss had a positive correlation with maximum rainfall intensity ($r = 0.98$).

Keywords: Rill Erosion, Terrestrial Laser Scanner, Digital Elevation Model

บทนำ

ประเทศไทยประสบปัญหาการเสื่อมคุณภาพของดินจากการกร่อนดิน (Soil Erosion) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ลาดชันซึ่งมักพบการกร่อนดินแบบริ้ว (Rill Erosion) และร่องธาร (Gully Erosion) จำนวนมาก การกร่อนดินในลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดร่องบนหน้าดินมีความลึกประมาณ 0.5 - 30 เมตร มีความกว้างและความยาวแตกต่างกันไปตามระดับความรุนแรงเป็นอุปสรรคต่อการทำการเกษตร ทำให้พืชผลทางการเกษตรเกิดความเสียหายและทำให้พื้นที่สูญเสียความสามารถในการเพาะปลูกได้ ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาและติดตามการกร่อนดิน อาทิเช่น การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดต่ำถึงปานกลางเพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประเมิน การสูญเสียหน้าดินจากกระบวนการกร่อน [1] ตลอดจนทำแผนที่แสดงตำแหน่งของการกร่อนและความรุนแรงของการสูญเสีย หน้าดินในระดับลุ่มน้ำ [2] หากเป็นการศึกษาการกร่อนหน้าดินในพื้นที่ขนาดเล็กเช่นแปลงเพาะปลูกหรือพื้นที่ลาดเขา สามารถทำการรังวัดและเก็บข้อมูลพื้นผิวความสูงของภูมิประเทศรายละเอียดสูงด้วยเทคนิคการวัดด้วยคลื่นเลเซอร์ (Laser Scanner) และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานของการกร่อนทั้งแบบริ้วและแบบร่องธารบนพื้นผิวภูมิประเทศเพื่อประเมินการสูญเสียดินในแต่ละช่วงเวลาได้ เครื่องสแกนเลเซอร์สามารถติดตั้งกับอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) เพื่อเก็บข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศในลักษณะภาพถ่ายทางอากาศหรือติดตั้งบนพื้นดินในลักษณะของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner: TLS) ที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ [3-4] จากการศึกษาของ Goodwin *et al.* [5] พบว่า Airborne Laser Scanner (ALS) จากอากาศยานไร้คนขับไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานวิทยาของริ้วบนพื้นผิวภูมิประเทศได้อย่างชัดเจน หากการกร่อนเกิดขึ้นไม่มากนักก็จึงทำให้ไม่สามารถประเมินการสูญเสียดินจากกระบวนการกร่อนได้อย่างถูกต้อง ในขณะที่

เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของร่องร้วได้ด้วย ความถูกต้องสูงกว่าเมื่อเกิดการกร่อนในปริมาณที่เท่ากัน [6] ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน เพื่อศึกษาและติดตามการกร่อนดินแบบร้ว เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถเก็บข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศได้ละเอียดแม่นยำและมีความถูกต้องสูง เหมาะสมในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์ขนาดเล็กลงบนพื้นที่ภายในช่วงระยะเวลาอันสั้นเช่นการกร่อนของดินแบบร้ว ได้เป็นอย่างดี [7]

วิธีการวิจัย

ผู้วิจัยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินในการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของร้ว จำนวน 6 แห่ง ในอำเภอท่าชะงะ จังหวัดชุมพร และประเมินการสูญเสียหน้าดินจากกระบวนการกร่อนด้วยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศโดยการใช่แบบจำลองระดับความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) [5] ที่สร้างจากการกราดตรวจด้วยคลื่นเลเซอร์ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินที่สูญเสีย กับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่ออธิบายความรุนแรงของการกร่อนดินในพื้นที่ศึกษา ขั้นตอนการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

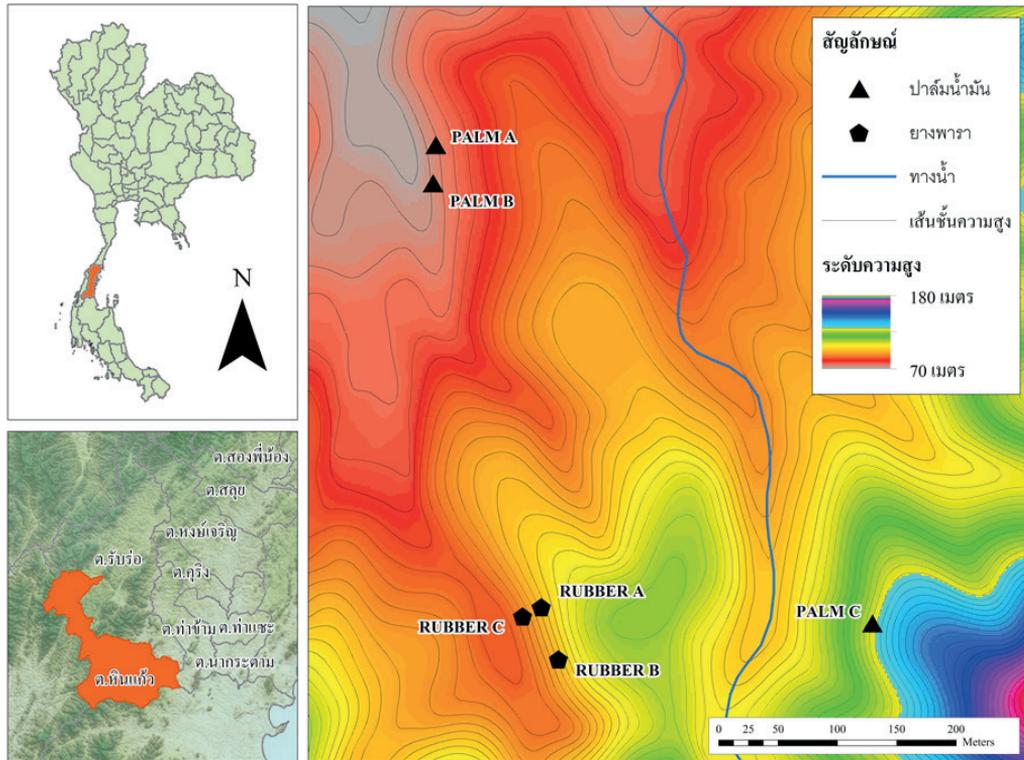
ผู้วิจัยเลือกริ้วในการศึกษาจำนวน 6 ริ้ว (ภาพที่ 3) ที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันได้แก่ ความลาดชันของริ้ว ขนาดพื้นที่รับน้ำ ความลาดชันของพื้นที่รับน้ำของริ้ว สิ่งปกคลุมดิน ในบริเวณที่เกิดริ้ว (ภาพที่ 1 และภาพที่ 2) และ Stream Power Index (SPI) (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 1 ริ้ว A ในสวนปาล์ม (Palm A)



ภาพที่ 2 ริ้ว B ในสวนยางพารา (Rubber B)



ภาพที่ 3 แผนที่แสดงตำแหน่งของไร่ที่ศึกษา

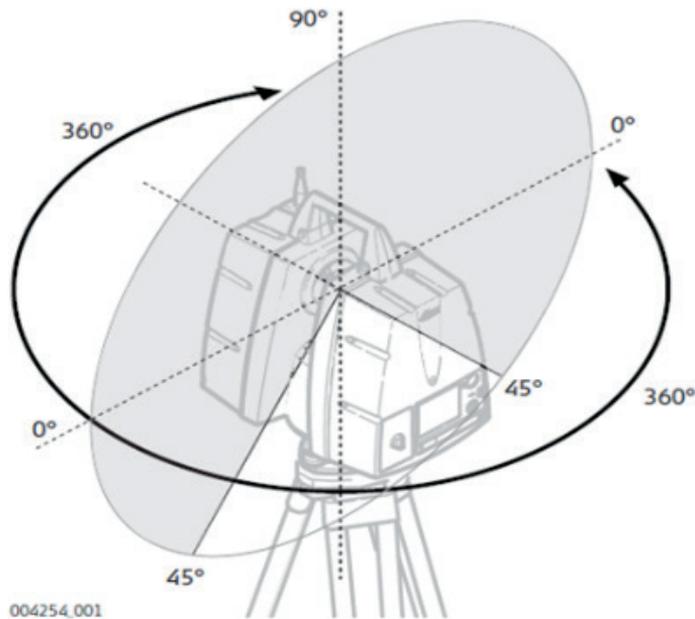
ตารางที่ 1 ลักษณะของไร่ที่ศึกษา

ไร่	พืชปกคลุม	ความลาดชัน ของไร่ (%)	พื้นที่รับน้ำ (ตร.ม.)	ความลาดชัน ของพื้นที่รับน้ำ (%)	Stream Power Index
Palm A	ปาล์มน้ำมัน	30.75	872	13.98	1.35
Palm B	ปาล์มน้ำมัน	38.12	568	13.33	1.24
Palm C	ปาล์มน้ำมัน	49.96	240	30.00	0.34
Rubber A	ยางพารา	30.96	344	28.57	1.30
Rubber B	ยางพารา	37.10	304	26.15	2.05
Rubber C	ยางพารา	60.51	388	27.17	1.66

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลลักษณะพื้นฐานของไร่โดยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ยี่ห้อ Leica รุ่น P20 ซึ่งมีระยะการกราดตรวจ (Scan) ได้ไกลสุดประมาณ 120 เมตร มุมสแกน 360 องศา ในแนวราบ และ 270 องศา ในแนวตั้ง (ภาพที่ 4) ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดระยะการกราดตรวจไม่เกิน 50 เมตร [8] เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องในแนวราบและแนวตั้ง ไม่เกิน 3.1 มิลลิเมตร [9] และกำหนดให้การกราดตรวจครอบคลุม

พื้นที่ขนาด 2x5 ตารางเมตร ผู้วิจัยเก็บข้อมูลของรีว ทั้ง 6 ร่อง ทุก 2-4 สัปดาห์ ระหว่างเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวนทั้งสิ้น 8 ครั้ง ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัย ได้ดำเนินการสร้างจุดควบคุม (Control Point) ในการตั้งเครื่องมือเพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนทางด้านเงาในการเก็บข้อมูลลักษณะพื้นฐานของรีว ในแต่ละครั้งซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยใช้วิธีการโยยัดพิกัดทางอ้อมเพื่อให้ได้ข้อมูลมีความถูกต้องสูงในแนวราบ [10] และผู้วิจัยกำหนดให้มีจุดเชื่อมโยงข้อมูลของ แต่ละภาพจากการกราดตรวจไม่น้อยกว่า 3 ตำแหน่ง (ภาพที่ 5)

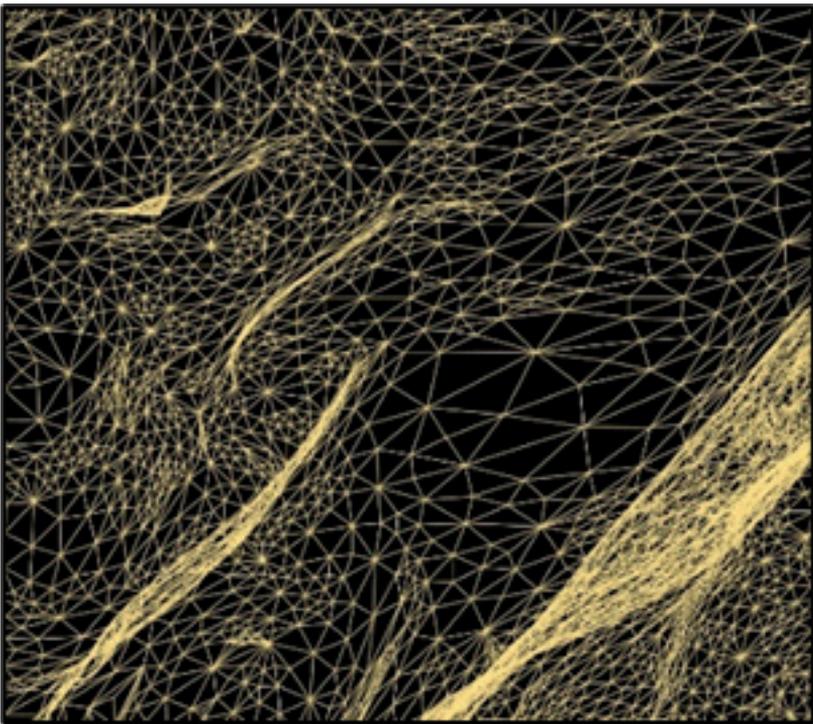
ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์อยู่ในรูปแบบของกลุ่มจุด (Point Clouds) ที่แสดงระดับความสูงของภูมิประเทศเมื่อนำไปประมวลผลด้วยกระบวนการทางโฟโตแกรมเมตรี [11] สามารถสร้างโครงข่ายสามเหลี่ยม (Mesh) (ภาพที่ 6) ซึ่งสามารถนำมาสร้างเป็นแบบจำลองระดับความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (ภาพที่ 7) ที่มีความละเอียดจุดภาพ 1 เซนติเมตร ความถูกต้องในแนวราบ (X, Y) ไม่เกิน 3.1 มิลลิเมตร และความถูกต้องในแนวตั้ง (Z) ไม่เกิน 1 เซนติเมตร ผู้วิจัยจัดข้อมูลโครงสร้างหรือวัตถุที่ปกคลุมดินที่ไม่ต้องการออกไปทั้งหมด รวมถึงข้อมูลที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บด้วย เพื่อสร้างพื้นผิวที่มีค่าโดยประมาณของพื้นผิวที่แท้จริงของภูมิประเทศ



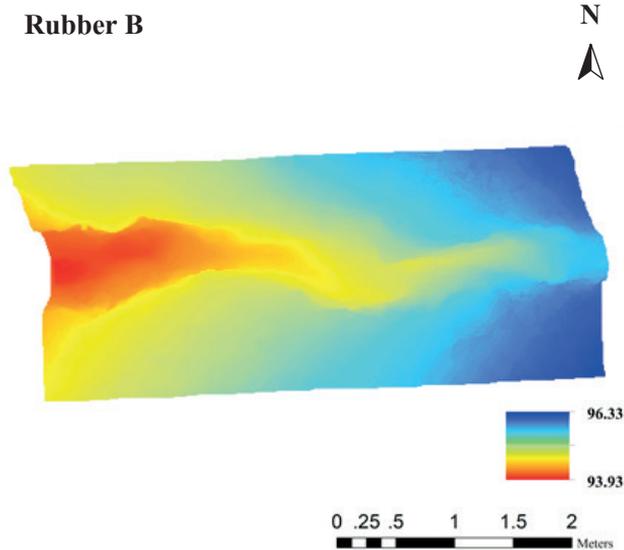
ภาพที่ 4 หลักการทำงานของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน



ภาพที่ 5 การเก็บข้อมูลภูมิประเทศ



ภาพที่ 6 โครงข่ายสามเหลี่ยม (Mesh)



ภาพที่ 7 แบบจำลองระดับความสูงภูมิประเทศเชิงเลขของรี้ว B ในสวนยางพารา ข้อมูลเมื่อวันที่ 1 ก.ค. 2561

ในการประเมินการสูญเสียหน้าดิน ผู้วิจัยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงภูมิประเทศ โดยนำ DEM ของรี้วที่มีความละเอียดจุดภาพ 1 เซนติเมตร มาวางซ้อนทับกัน (Overlay) และทำการวิเคราะห์แบบแรสเตอร์ (Raster Analysis) ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.6.1 เพื่อระบุพื้นที่ในรี้วที่มีระดับความสูงเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณดิน (ทับถม) และระดับความสูงที่ลดลงจากการกร่อนของหน้าดิน (กัดเซาะ) ตลอดจนคำนวณการเปลี่ยนแปลงสุทธิของปริมาณดินตามระดับความลาดชันภายในรี้ว ผู้วิจัยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรี้วทั้งหมด 3 ช่วงเวลาจากการเก็บข้อมูล 8 ครั้งเนื่องจากบางช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงของรี้วค่อนข้างน้อย ผู้วิจัยกำหนดช่วงเวลาการวิเคราะห์ตามปริมาณน้ำฝนสะสมในตำแหน่งที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 75 และ 100 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลของปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) ความชื้นฝนเฉลี่ย (มิลลิเมตรต่อวัน) และจำนวนวันที่ฝนตก (วัน) ในแต่ละช่วงเวลาในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง

สิ่งปกคลุมดิน	ป่าล้มน้ำมัน			ยางพารา		
	ช่วงที่ 1 (1 ก.ค.-13 ส.ค.)	ช่วงที่ 2 (14 ส.ค.-13 ต.ค.)	ช่วงที่ 3 (14 ต.ค.-22 ธ.ค.)	ช่วงที่ 1 (1 ก.ค.-13 ส.ค.)	ช่วงที่ 2 (14 ส.ค.-13 ต.ค.)	ช่วงที่ 3 (14 ต.ค.-22 ธ.ค.)
ปริมาณน้ำฝน	484.46	139.64	182.40	609.03	264.21	306.97
ความชื้นฝนเฉลี่ย	21.33	14.80	20.32	21.51	14.98	20.50
จำนวนวันที่ฝนตก	32	23	20	32	23	20

ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่อธิบายการสูญเสียดินจากการกร่อนแบบริ้ว ผู้วิจัยแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียดินสุทธิของแต่ละริ้วกับปริมาณฝน ผู้วิจัยพิจารณาปริมาณฝนรวม ความชื้นฝนสูงสุดรายวัน ความชื้นฝนเฉลี่ยรายวัน และจำนวนวันที่ฝนตก [12] ส่วนที่สอง เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียดินสุทธิของริ้วจากปัจจัยภูมิประเทศที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความลาดชัน ขนาดพื้นที่รับน้ำของริ้ว และ SPI ซึ่งเป็นค่าดัชนีแสดงกำลังของการไหลของน้ำในริ้วเมื่อเกิดฝน คำนวณได้จากพื้นที่รับน้ำ ทิศทางการไหลของน้ำ และความลาดชันของพื้นที่ที่เข้าสู่ริ้วที่ศึกษา โดยทำการวิเคราะห์แยกตามชนิดพืชปกคลุมดิน

ผลการวิจัย

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของริ้ว 3 ช่วงเวลา พบว่าริ้วในสวนยางพารามีการเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นผิวสุทธิและปริมาณดินสูญเสียมากกว่าริ้วในสวนปาล์มน้ำมัน โดยริ้ว B ในสวนยางพารา (Rubber B) มีการสูญเสียดินมากที่สุดเท่ากับ 1,508 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามด้วยริ้ว A (Rubber A) มีการสูญเสียดินปริมาณ 1,234 ลูกบาศก์เซนติเมตร และริ้ว C (Rubber C) มีการสูญเสียดินปริมาณ 1,290 ลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่สวนปาล์มน้ำมัน ริ้ว A (Palm A) มีการสูญเสียดินมากที่สุดปริมาณ 1,244 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีการเปลี่ยนแปลงความสูงระหว่าง 1 – 3 เซนติเมตร ริ้ว B ในสวนปาล์มน้ำมัน (Palm B) มีการสูญเสียดินปริมาณ 1,203 ลูกบาศก์เซนติเมตร และริ้ว C ในสวนปาล์มน้ำมัน (Palm C) มีการทับถมมากกว่าการสูญเสียดินปริมาณ 0.63 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ภาพที่ 8)

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความสูงพื้นผิวสุทธิของริ้ว A ในสวนปาล์มน้ำมัน (Palm A) (ม.)

ช่วง เวลา	ระดับ ความลาดชัน	ความสูงเพิ่มขึ้น (ทับถม)			ความสูงลดลง (กัดเซาะ)			เปลี่ยนแปลงสุทธิ กัดเซาะ - ทับถม
		MEAN	SD	CV	MEAN	SD	CV	
1	น้อยกว่า 30 %	0.0121	0.0051	0.4202	-0.0117	0.0040	0.3505	0.0004
	30 - 45 %	0.0114	0.0041	0.3592	-0.0121	0.0047	0.3823	-0.0007
	มากกว่า 45 %	0.0132	0.0059	0.4421	-0.0141	0.0065	0.4569	-0.0009
2	น้อยกว่า 30 %	0.0106	0.0024	0.2276	-0.0118	0.0042	0.3599	-0.0013
	30 - 45 %	0.0111	0.0035	0.3115	-0.0145	0.0067	0.4601	-0.0034
	มากกว่า 45 %	0.0152	0.0069	0.4546	-0.0120	0.0045	0.3803	0.0032
3	น้อยกว่า 30 %	0.0115	0.0037	0.3149	-0.0138	0.0054	0.3943	-0.0022
	30 - 45 %	0.0116	0.0044	0.3833	-0.0157	0.0064	0.4093	-0.0041
	มากกว่า 45 %	0.0143	0.0067	0.4710	-0.0192	0.0082	0.4298	-0.0050

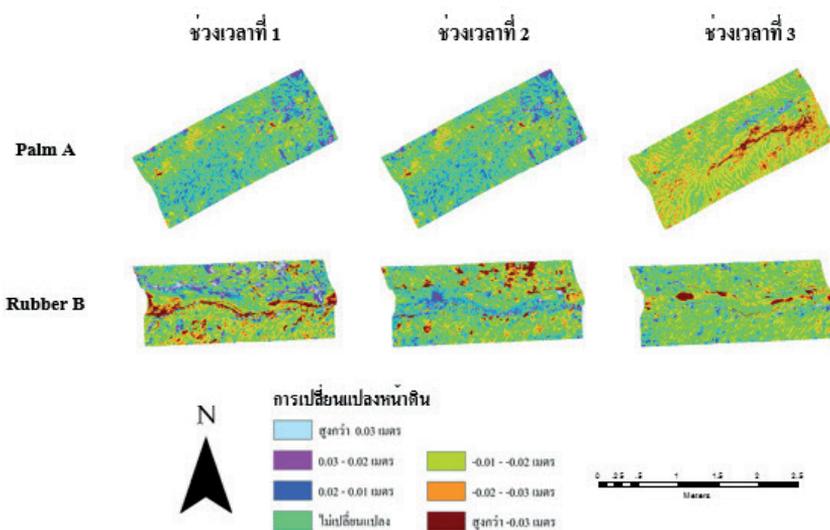
MEAN = ค่าเฉลี่ย, SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, CV = สัมประสิทธิ์การแปรผัน

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความสูงพื้นผิวสุทธิของร้ว B ในสวนยางพารา (Rubber B) (ม.)

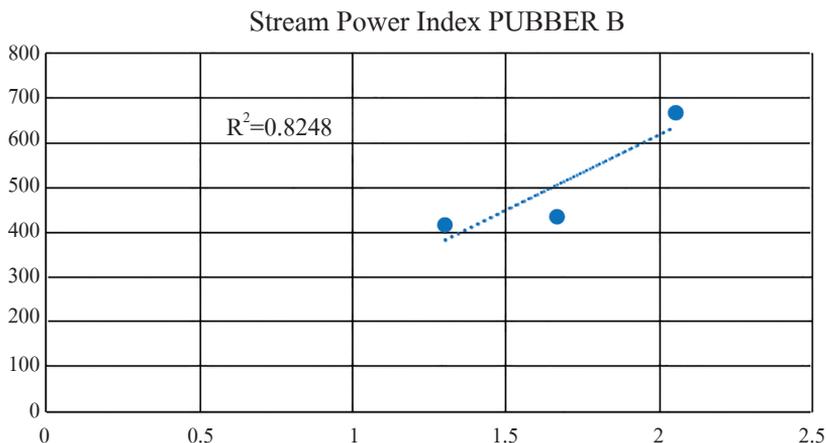
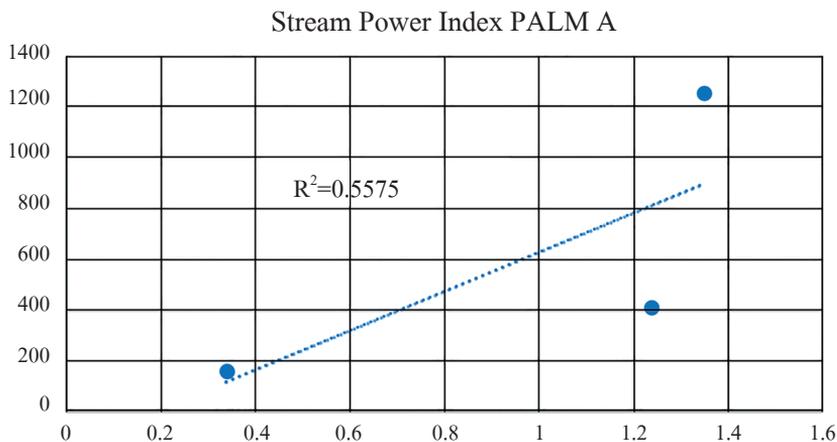
ช่วง เวลา	ระดับ ความลาดชัน	ทับถม			กัดเซาะ			เปลี่ยนแปลงสุทธิ กัดเซาะ-ทับถม
		MEAN	SD	CV	MEAN	SD	CV	
1	น้อยกว่า 30 %	0.0137	0.0060	0.4379	-0.0147	0.0066	0.4486	-0.0010
	30 - 45 %	0.0147	0.0068	0.4650	-0.0148	0.0065	0.4407	-0.0001
	มากกว่า 45 %	0.0157	0.0072	0.4567	-0.0174	0.0075	0.4335	-0.0018
2	น้อยกว่า 30 %	0.0108	0.0029	0.2715	-0.0138	0.0062	0.4427	-0.0031
	30 - 45 %	0.0113	0.0037	0.3279	-0.0141	0.0064	0.4485	-0.0027
	มากกว่า 45 %	0.0125	0.0051	0.4110	-0.0154	0.0071	0.4578	-0.0030
3	น้อยกว่า 30 %	0.0116	0.0042	0.3677	-0.0120	0.0047	0.3938	-0.0004
	30 - 45 %	0.0117	0.0041	0.3558	-0.0123	0.0047	0.3874	-0.0006
	มากกว่า 45 %	0.0132	0.0058	0.4398	-0.0143	0.0064	0.4444	-0.0011

MEAN = ค่าเฉลี่ย, SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, CV = สัมประสิทธิ์การแปรผัน

จากข้อมูลในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 พบว่าบริเวณที่มีระดับความลาดชันสูงภายในร้ว ค่าเฉลี่ยของปริมาณดินที่ถูกกร่อนมีค่าสูงและมีการเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นผิวสุทธิโดยเฉลี่ยค่อนข้างมาก จึงสามารถสรุปได้ว่าการกร่อนของร้วเป็นผลจากความลาดชันภายในร้ว



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศ (เมตร) ระหว่าง 1 ก.ค.-13 ส.ค. (ช่วงเวลาที่ 1) 14 ส.ค.-13 ต.ค. (ช่วงเวลาที่ 2) และ 14 ต.ค.-22 ธ.ค. (ช่วงเวลาที่ 3) ของร้ว A ในสวนปาล์มน้ำมัน (บน) และร้ว B ในสวนยางพารา (ล่าง)



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียดินสุทธิ (ลบ.ชม.) กับดัชนีกำลังของการไหลในริ้ว SPI ของริ้ว A ในสวนปาล์ม (Palm A) (บน)และ ริ้ว B ในสวนยางพารา (Rubber B) (ล่าง)

ผู้วิจัยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียดินสุทธิกับดัชนีกำลังของการไหลของน้ำในริ้วที่มีการกร่อนมากที่สุดของสวนยางพารา (Rubber B) และสวนปาล์ม (Palm A) (ภาพที่ 9) พบว่าดัชนีกำลังการไหลของน้ำสามารถอธิบายการกร่อนดินของริ้ว A ในสวนปาล์ม ($R^2 = 0.5575$) ได้้น้อยกว่า ของริ้ว B ในสวนยางพารา ($R^2 = 0.8248$) เนื่องจาก ปาล์มน้ำมันมีระบบรากเป็นรากฝอย ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่บริเวณผิวดิน ลึกลงไปไม่เกิน 45 เซนติเมตร มีความหนาแน่นมากบริเวณโคนต้นในระยะ 1.5 – 2 เมตร [13] ซึ่งสามารถช่วยลดความรุนแรงของกระแสน้ำได้ทำให้การกร่อนของริ้วเกิดขึ้นไม่มากนัก ซึ่งแตกต่างจากระบบรากของยางพาราที่เป็นระบบรากแก้ว มีขนาดรากใหญ่และลึกลงใต้ผิวดิน เมื่อเกิดการไหลบ่าของน้ำหน้าดินจึงเกิดการสูญเสียดินมากกว่า

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณดินของรื้อแต่ละแห่งกับลักษณะของฝน

ชนิด		ปริมาณฝนรวม	ความชื้นฝนสูงสุด	ความชื้นฝนเฉลี่ย	จำนวนวันที่ฝนตก
Palm A	กัดเซาะ	-0.36	0.98	0.41	-0.66
	ทับถม	0.21	-1.00	-0.54	0.54
	สุทธิ	-0.33	0.99	0.44	-0.64
Palm B	กัดเซาะ	0.99	-0.02	0.80	0.87
	ทับถม	-0.81	-0.44	-0.99	-0.55
	สุทธิ	0.97	0.06	0.85	0.83
Palm C	กัดเซาะ	0.95	-0.48	0.44	1.00
	ทับถม	-0.99	0.29	-0.61	-0.97
	สุทธิ	0.97	-0.40	0.52	0.99
Rubber A	กัดเซาะ	0.68	-0.84	-0.04	0.90
	ทับถม	-0.20	1.00	0.55	-0.53
	สุทธิ	0.66	-0.85	-0.07	0.88
Rubber B	กัดเซาะ	0.90	0.28	0.95	0.69
	ทับถม	0.65	-0.86	-0.08	0.88
	สุทธิ	0.34	0.87	0.91	-0.01
Rubber C	กัดเซาะ	0.72	-0.81	0.01	0.92
	ทับถม	0.83	0.41	0.98	0.58
	สุทธิ	0.69	-0.84	-0.03	0.90

ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณดินของรื้อกับลักษณะของฝน พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณดินของรื้อส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงกับจำนวนวันที่ฝนตกมากที่สุดยกเว้นรื้อ A ในสวนปาล์ม (Palm A) ที่การเปลี่ยนแปลงของรื้อมีความสัมพันธ์กับความชื้นฝนสูงสุดมากที่สุด ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าความรุนแรงของฝนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของรื้อในพื้นที่ศึกษา

สรุปผลการวิจัย

รื้อที่มีลักษณะทางกายภาพต่างกัน มีการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาและปริมาณการก่อดินที่ต่างกัน โดยทั่วไปพบว่ารื้อในสวนยางพารามีปริมาณการสูญเสียหน้าดินสุทธิมากกว่ารื้อในสวนปาล์ม น้ำมัน และความลาดชันมีผลต่อการสูญเสียดินของรื้อ เมื่อความลาดชันเพิ่มขึ้นปริมาณการสูญเสียดินจะเพิ่มขึ้นด้วย

การสูญเสียหน้าดินสุทธิสูงสุดเกิดขึ้นที่ริ้วที่มีค่าดัชนีกำลังของการไหลของน้ำสูงสุดในสวนยางพาราและสวนปาล์มน้ำมัน ปัจจัยของน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของริ้วมากที่สุดคือจำนวนวันที่ฝนตก จากผลการศึกษาก็สามารถสรุปได้ว่าเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามารถนำมาใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของลักษณะของริ้วและศึกษาปริมาณการสูญเสียดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องสแกนเลเซอร์มีรัศมีที่สามารถสแกนได้ไกลถึง 120 เมตร และมีความถูกต้องสูงในระยะรัศมี 50 เมตร ดังนั้นการศึกษาในอนาคตสามารถเลือกพื้นที่ศึกษาที่กว้างขึ้นจะทำให้สามารถวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของริ้วได้จากปัจจัยต่างๆ ได้มากขึ้น เช่น ลำดับของการเกิดร่องน้ำ หรือศึกษาอิทธิพลพื้นที่รับน้ำและความแรงของกระแสน้ำที่ส่งผลต่อการพัฒนาริ้วและร่องธารตลอดจนปริมาณการสูญเสียดินในระดับที่ใหญ่ขึ้น

References

- [1] Vagen, T. G., & Winowiecki, L. A. (2019). Predicting the spatial distribution and severity of soil erosion in the global tropics using Satellite Remote Sensing. *Remote Sensing*, 11(15), 1800. DOI: org/10.3390/rs11151800.
- [2] Chen, T., Niu, R.Q., Li, P.X., Zhang, L.P., & Du, B. (2011). Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS, and remote sensing: a case study in Miyun Watershed, North China. *Environmental Earth Sciences*, 63(3), 533–541.
- [3] Rengers, F.K., & Tucker, G.E. (2015). The evolution of gully headcut morphology: a case study using terrestrial laser scanning and hydrological monitoring. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(10), 1304–1317.
- [4] Kou, P., Xu, Q., Yunus, A.P., Ju, Y., Guo, C., Wang, C., & Zhao, K. (2020). Multi-temporal UAV data for assessing rapid rill erosion in typical gully heads on the largest tableland of The Loess Plateau, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79(4), 1861–1877.
- [5] Goodwin, N.R., Armston, J.D., Muir, J., & Stiller, I. (2017). Monitoring gully change: A comparison of airborne and terrestrial laser scanning using a case study from Aratula, Queensland. *Geomorphology*, 282, 195–208.
- [6] Gudino-Elizondo, N., Biggs, T.W., Castillo, C., Bingner, R.L., Langendoen, E.J., Taniguchi, K.T. Kretzschmar, T., Yuan Y., & Liden, D. (2018). Measuring ephemeral gully erosion rates and topographical thresholds in an urban watershed using unmanned aerial systems and structure from motion photogrammetric techniques. *Land Degradation & Development*, 29(6), 1896–1905.
- [7] Eltner, A., & Baumgart, P. (2015). Accuracy constraints of terrestrial Lidar data for soil erosion measurement: Application to a Mediterranean field plot. *Geomorphology*, 245, 243–254.
- [8] Karsidag, G., & Alkan, R.M. (2012). Analysis of the accuracy of terrestrial laser scanning measurements. in *The FIG Working Week* 2012. 1–16. May 6–10, 2012, Cavalieri Hotel. Rome: Italy.
- [9] Milan, D.J., Heritage, G.L., & Hetherington, D. (2007). Application of a 3D laser scanner in the assessment of erosion and deposition volumes and channel change in a proglacial river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(11), 1657–1674.

- [10] Kruptawanich, N. (2015). *A study of scanning geometry factors affecting the accuracy of Terrestrial Laser Scanner*. Master's Degree Thesis. Chulalongkorn University.
- [11] Perroy, R.L., Bookhagen, B., Asner, G.P., & Chadwick, O.A. (2010). Comparison of gully erosion estimates using airborne and ground-based LiDAR on Santa Cruz Island, California. *Geomorphology*, 118(3–4), 288–300.
- [12] Southern Region Irrigation Hydrology Center. (2018). *Rainfall data* (Online). Retrieved 10 April 2562, from <http://hydro-8.com>.
- [13] Jourdan, C., Michaux-Ferriere, N., & Perbal, G. (2000). Root system architecture and gravitropism in the oil palm. *Annals of Botany*, 85(6), 861–868.