

การประยุกต์ใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามมิติเพื่อติดตามการชะล้างพังทลายแบบร่องธาร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอักษรศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ ภาควิชาภูมิศาสตร์

คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF 3D TERRESTRIAL LASER SCANNER FOR MONITORING GULLY EROSION



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Arts in Geography and Geoinformatics

Department of Geography

FACULTY OF ARTS

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามมิติเพื่อ
	ติดตามการชะล้างพังทลายแบบร่องธาร
โดย	น.ส.จันทร์จิรา สารสำเร็จ
สาขาวิชา	ภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.เอกกมล วรรณเมธี

คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอักษรศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะอักษรศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรเดช โชติอุดมพันธ์)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติรัตน์ ปันบำรุงกิจ)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.เอกกมล วรรณเมธี)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเพชร จิรัชจรกุล)	

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จันทร์จิรา สารสำเร็จ : การประยุกต์ใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามมิติเพื่อติดตามการชะล้างพังทลายแบบร่องธาร. (APPLICATION OF 3D TERRESTRIAL LASER SCANNER FOR MONITORING GULLY EROSION) อ.ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.เอกกมล วรณเมธี

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องสแกนเลเซอร์สามมิติภาคพื้นดิน (3D Terrestrial Laser Scanner) ศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาของร่องธารและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพกับการชะล้างแบบร่องธาร ผู้วิจัยติดตามการเปลี่ยนแปลงของร่องธารบนพื้นที่ลาดชันระหว่าง 30%-60% ในสวนปาล์มและสวนยางพารา ในอำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร ทั้งสิ้น 6 ร่องธาร โดยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเก็บข้อมูลลักษณะสัณฐานของร่องธารแบบสามมิติครอบคลุมพื้นที่ 2 x 5 ตารางเมตร ระหว่างเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวน 8 ครั้ง และนำมาสร้างแบบจำลองระดับความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) ความละเอียดจุดภาพ 1 เซนติเมตร ผลการวิจัยพบว่าร่องธารในสวนยางพาราสูญเสียดินสุทธิมากกว่าร่องธารในสวนปาล์มน้ำมัน ร่องธารในสวนยางพารามีปริมาณการสูญเสียดินสุทธิเท่ากับ 1,234.17 (Rubber A), 1,508.02 (Rubber B) และ 1,290.05 (Rubber C) ลบ.ซม. ในขณะที่สวนปาล์มน้ำมัน มีปริมาณการสูญเสียดินสุทธิเท่ากับ 1,244.07 (Palm A) และ 1,203.97 (Palm B) ลบ.ซม. และมี 1 แห่ง มีปริมาณดินสุทธิเพิ่มขึ้น 0.63 (palm C) ลบ.ซม. ร่องธารในสวนยางพารามีการสูญเสียดินมากกว่าในสวนปาล์ม เนื่องจากปาล์มมีระบบรากฝอยกระจายอยู่บริเวณผิวดินลดความรุนแรงของกระแสน้ำได้ต่างจากระบบรากแก้วของยางพาราที่มีขนาดรากใหญ่และลึกลงใต้ผิวดินเมื่อเกิดการไหลบ่าของน้ำหน้าดินจึงเกิดการสูญเสียดินมากกว่า นอกจากนี้ร่องธารที่มีการสูญเสียหน้าดินสุทธิสูงสุดเป็นร่องธารที่มีดัชนีกำลังการไหลของน้ำ (Stream Power Index: SPI) สูงสุดทั้งในสวนยางพาราและสวนปาล์ม และยังพบว่าปริมาณการสูญเสียหน้าดินสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนวันฝนตก ($r = 0.69-0.99$) และปริมาณฝนรวม ($r = 0.68-0.99$) ค่อนข้างสูง ยกเว้นร่องธาร A ในสวนปาล์มที่มีขนาดใหญ่ที่สุดสัมพันธ์เชิงบวกกับความเข้มฝนสูงสุด ($r = 0.98$)

สาขาวิชา ภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2562 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5980302922 : MAJOR GEOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

KEYWORD: Gully Erosion Terrestrial Laser Scanner Digital Elevation Model

Janjira Sansamret : APPLICATION OF 3D TERRESTRIAL LASER SCANNER FOR MONITORING GULLY EROSION. Advisor: Dr. Ekkamol Vannamete, Ph.D.

This research used 3D terrestrial laser scanner to investigate and monitor the morphological changes of gullies (or large rills) and estimating volume of soil losses. Six gullies (or large rills) with slope gradient between 30-60% in oil palm and para-rubber plantations in Tha Sae district, Chumphon province were selected to monitor the changes. 3D morphological characteristics of gullies, covering 2x5 m² area for each, were collected between July to December 2018 of which eight data sets were obtained per gullies. Digital elevation model (DEM) was generated for each observation with 1-cm resolution. Results showed that soil loss from gullies in para-rubber plantation was greater than those in oil palm plantation. The amounts of soil eroded from the gullies in para-rubber plantation were 1,234 (Rubber A), 1,508 (Rubber B) and 1,290 (Rubber C) cm³, while in oil palm plantation, 1,244 (Palm A) and 1,203 (Palm B) cm³. A gully, however, in oil palm plantation gained 0.63 (Palm C) cm³ of removed soil. Oil palm trees have fibrous root systems that help reduce erosive power of surface runoff better than tap root systems of para-rubber trees. Gullies with the highest stream power index (SPI) in both plantations had the highest net soil loss. The amount of soil loss showed a relatively high positive correlation with raining day ($r = 0.6-0.99$) and total rainfall amount ($r = 0.68-0.99$), except the largest gully in oil palm plantation (palm B) where it is maximum rainfall intensity ($r = 0.98$).

Field of Study: Geography and

Geoinformatics

Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี หากปราศจากความเมตตากรุณาจากท่าน อาจารย์ ดร.เอกกมล วรรณเมธี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำแนวทางในการทำ วิทยานิพนธ์และข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์ โดยเฉพาะแนวทางการเขียน เนื้อหาและบทวิเคราะห์ ที่ท่านอาจารย์คอยให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงเพิ่มเติมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ฐิติรัตน์ ปั้นบำรุงกิจ ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการในการ สอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุเพชร จิระขจรกุล อาจารย์ประจำภาควิชา เทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่ให้ความกรุณาเป็น กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัยในการสอบตลอดจนข้อคิดเห็นในการปรับแก้วิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์จัญญ์ ประเสริฐบุรณะกุล อาจารย์พิเศษประจำภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยแนะนำและชี้แนะแนวทาง อันเป็นประโยชน์ต่อการ ทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คุณโกวิทย์ จัดตามาศ เจ้าของพื้นที่สวนยางพาราและสวนปาล์มน้ำมัน ที่ เมตตาให้ความอนุเคราะห์เข้าไปใช้พื้นที่ในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณนายสุพจน์ หมื่นธราวัฒน์ นักวิชาการแผนที่ภาพถ่ายชำนาญการ กรมชลประทาน ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำ ตลอดการทำ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายที่สุดนี้ ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุน และคอยช่วยเหลือจนผู้จัดทำครั้งนี้สำเร็จการศึกษา

จันทร์จิรา สารสำเร็จ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	4
1.6 อธิบายศัพท์.....	5
บทที่ 2.....	6
ทบทวนวรรณกรรม.....	6
2.1 การชะล้างพังทลายของดิน.....	6
2.2 เทคโนโลยีเลเซอร์ (Light Detection and Ranging : LiDAR).....	10
2.3 เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน.....	11
2.4 การศึกษาการชะล้างพังทลายของดินด้วยเครื่องเลเซอร์ภาคพื้นดิน.....	15
2.5 การศึกษาการชะล้างพังทลายของดินแบบร่องธารด้วยวิธีการอื่น.....	17

บทที่ 3	19
พื้นที่ศึกษา	19
3.1 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา.....	19
3.2 ลักษณะภูมิประเทศและธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	19
3.3 ลักษณะภูมิอากาศ.....	22
3.4 ลักษณะทางอุทกวิทยา.....	23
3.5 การใช้ประโยชน์ที่ดิน	23
3.6 ลักษณะประชากรและการประกอบอาชีพ	23
บทที่ 4	25
วิธีการดำเนินงานวิจัย	25
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย.....	25
4.2 การเก็บข้อมูลเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานของการชะล้างแบบร่องธาร.....	26
4.3 การประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในภาคสนามด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน... 33	
4.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของร่องธาร	36
4.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพและการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานของร่องธาร	39
4.6 กรอบแนวคิดในการดำเนินการ	43
บทที่ 5	44
ผลการศึกษา	44
5.1 การสร้างข้อมูลจากกลุ่มของจุดสามมิติ (Point Cloud)	44
5.2 การเปลี่ยนแปลงรูปทรงสัณฐานของร่องธาร.....	47
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพกับการชะล้างแบบร่องธาร.....	63
บทที่ 6	71
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	71

6.1 สรุปผลการวิจัย.....	71
6.2 ปัญหาและอุปสรรค.....	73
6.3 ข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม.....	75
ภาคผนวก.....	79
ภาคผนวก ก การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนทางตั้งของ DEM.....	80
ภาคผนวก ข รายงานผลการทดสอบเนื้อดิน	93
ประวัติผู้เขียน.....	99



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน ปี 2560 ในบริเวณพื้นที่ศึกษา (มิลลิเมตร).....	22
ตารางที่ 2 ข้อมูลภูมิอากาศจังหวัดชุมพร ปี 2561.....	23
ตารางที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย.....	25
ตารางที่ 4 ลักษณะของร่องธารที่ใช้ในการศึกษา	29
ตารางที่ 5 ข้อมูลของปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) ความชื้นฝนเฉลี่ย (มิลลิเมตรต่อวัน) และจำนวนวันที่ฝนตก (วัน) ในแต่ละช่วงเวลาในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง	40
ตารางที่ 6 ความความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าระดับความสูงของแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลขและค่าระดับจุดสามมิติ (เมตร).....	45
ตารางที่ 7 ความลึกของร่องธารจากภาพตัดขวางในตำแหน่งกึ่งกลาง (ระยะภาพตัดขวางที่ 5) ของร่องธาร (เมตร : จากระดับทะเลปานกลาง)	47
ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความกว้างของร่องธารจากภาพตัดขวางในตำแหน่งกึ่งกลางของร่องธาร (เมตร).....	48
ตารางที่ 9 การเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นผิวตามระดับความลาดชันของร่องธารในสวนป่าส้ม	60
ตารางที่ 10 การเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นผิวตามระดับความลาดชันของร่องธารในสวนยางพารา	61
ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงความลาดชันเฉลี่ยภายในร่องธารแบ่งตามระดับความลาดชันของร่อง	62
ตารางที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความสูงของหน้าดินสุทธิของร่องธารแต่ละแห่งกับลักษณะของฝน	63
ตารางที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับพื้นที่รับน้ำ	65
ตารางที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับความลาดชันของพื้นที่รับน้ำ	66
ตารางที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับเนื้อดิน	68
ตารางที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับ Stream Power Index (SPI) ..	69

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 หลักการของ LiDAR	10
ภาพที่ 2 หลักการของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน.....	11
ภาพที่ 3 การกระจายตัวของรังสีสะท้อน	13
ภาพที่ 4 การหักเหของคลื่นเมื่อผ่านวัตถุที่โปร่งแสง	14
ภาพที่ 5 แผนที่ภูมิประเทศตำบลหินแก้ว อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร.....	20
ภาพที่ 6 แผนที่ธรณีวิทยาและโครงสร้างทางธรณีวิทยา ตำบลหินแก้ว จังหวัดชุมพร.....	21
ภาพที่ 7 การใช้ประโยชน์ที่ดินตำบลหินแก้ว อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร.....	24
ภาพที่ 8 แผนที่แสดงตำแหน่งร่องธารที่ศึกษา	26
ภาพที่ 9 ร่องธาร A, B และ C ในสวนปาล์ม (ซ้าย) และร่องธาร A, B และ C ในสวนยางพารา (ขวา)	27
ภาพที่ 10 แผนที่แสดงตำแหน่งของสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน.....	28
ภาพที่ 11 ลักษณะทรงพุ่มของปาล์มน้ำมันและยางพารา	30
ภาพที่ 12 การโยกค่าพิกัดด้วยวิธี Static	31
ภาพที่ 13 จุดตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน	32
ภาพที่ 14 แบบและขนาดหมุดหลักฐานตามมาตรฐาน กรมชลประทาน.....	33
ภาพที่ 15 การเชื่อมโยงข้อมูล (ซ้าย), Black and White Target (ขวา).....	34
ภาพที่ 16 การยึดโยงค่าพิกัดของข้อมูลพอยท์คลาวด์แบบทางอ้อม (indirect georeferencing)....	34
ภาพที่ 17 ขั้นตอนการจัดข้อมูล point clouds ที่ไม่ต้องการออกก่อนนำไปสร้างเป็น แบบจำลองความสูงต่ำของพื้นผิวภูมิประเทศ	35
ภาพที่ 18 การสร้างพื้นผิวตาข่ายแบบสามเหลี่ยม (Mesh) เพื่อสร้างข้อมูลสามมิติจากจุดความสูง..	36
ภาพที่ 19 ลักษณะพื้นผิวภูมิประเทศบริเวณที่มีการชะล้างแบบร่องธาร ของร่องธาร B ในสวนยางพารา.....	36

ภาพที่ 20 การวิเคราะห์แบบแรสเตอร์ (Raster Analysis) ด้วยการวางซ้อนทับกันและ คำนวณความแตกต่างของข้อมูลในแต่ละกริด (ดัดแปลงจาก GISGeography, 2019).....	37
ภาพที่ 21 การวิเคราะห์พื้นผิวความสูงต่ำภูมิประเทศด้วยวิธี Zonal statistics (ดัดแปลงจากคู่มือ ArcGIS Pro, 2020).....	37
ภาพที่ 22 ลักษณะการกำหนดแนวหน้าตัดขวาง (บน) และลักษณะของภาพตัดขวาง (ล่าง) ของร่องธาร B ในสวนยางพารา.....	38
ภาพที่ 23 หลักการหาพื้นที่รับน้ำ.....	41
ภาพที่ 24 แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่รับน้ำในสวนปาล์มและสวนยางพารา	41
ภาพที่ 25 ข้อมูลกลุ่มของจุดสามมิติ (Point Cloud) (ซ้าย) และการเก็บข้อมูล ด้วยเครื่องเลเซอร์สแกนภาคพื้นดิน (ขวา).....	44
ภาพที่ 26 แบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) ของร่องธารในสวนปาล์ม (ซ้าย) และแบบจำลอง ความสูงเชิงเลขของร่องธารในสวนยางพารา (ขวา) (ข้อมูลครั้งที่ 1 วันที่ 1 ก.ค. 2561).....	46
ภาพที่ 27 ภาพตัดขวางเปรียบเทียบรูปทรงสัณฐานของร่องธาร A, B, และ C ในสวนปาล์ม	49
ภาพที่ 28 ภาพตัดขวางการเปรียบเทียบรูปทรงสัณฐานของร่องธาร A, B, และ C ในสวนยางพารา	50
ภาพที่ 29 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความลาดชันของร่องธารในสวนปาล์มและสวนยางพารา	51
ภาพที่ 30 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)	52
ภาพที่ 31 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)	53
ภาพที่ 32 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)	54
ภาพที่ 33 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)	55
ภาพที่ 34 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)	56

ภาพที่ 35 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) 57

ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นผิวของร่องธารในสวนปาล์มและสวนยางพารา 58

ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณดินของร่องธารกับจำนวนวันฝนตก..... 64

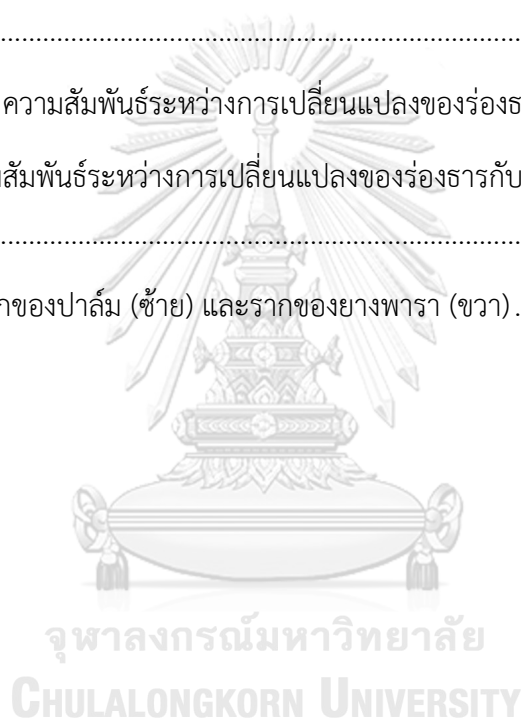
ภาพที่ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับความลาดชันของพื้นที่รับน้ำ 66

ภาพที่ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับความลาดชันของพื้นที่รับน้ำ 67

ภาพที่ 40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับเนื้อดิน 68

ภาพที่ 41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับ Stream Power Index (SPI) 69

ภาพที่ 42 ลักษณะรากของปาล์ม (ซ้าย) และรากของยางพารา (ขวา) 70



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ดินเป็นส่วนประกอบของเปลือกโลกชั้นบนที่เกิดจากการผุพังและสลายตัวอย่างช้าๆ ของหิน และแร่ รวมทั้งซากพืช ซากสัตว์ ที่เป็นวัตถุดิบกำเนิดดินสะสมกันอยู่เป็นเวลาหลายล้านปี ดินจึงอุดมไปด้วยธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมดินจึงเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชประเภทต่างๆ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันหลายพื้นที่ของประเทศไทยประสบปัญหาการเสื่อมคุณภาพของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการชะล้างหรือการกร่อนของหน้าดิน (Soil Erosion) ซึ่งเป็นกระบวนการการสูญเสียน้ำดิน โดยมีตัวกระทำทางธรรมชาติ ได้แก่ น้ำและลม ทำให้น้ำดินแตกหลุดออกจากกันและมีการเคลื่อนย้ายอนุภาคของดินไปพื้นที่อื่นตามแรงโน้มถ่วงของโลก (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2545) กระบวนการดังกล่าวทำให้ดินสูญเสียธาตุอาหารที่สำคัญไปพร้อมกับการชะล้างผิวหน้าดินและส่งผลทำให้ดินเสื่อมคุณภาพลงขาดความอุดมสมบูรณ์จนไม่สามารถใช้ในการเพาะปลูกได้อีกต่อไป ปัญหาการชะล้างหน้าดินส่วนใหญ่มักมีสาเหตุมาจากการลดลงของพืชปกคลุมหน้าดินจากการบุกรุกทำลายป่าเพื่อขยายพื้นที่ทำการเกษตรกรรมและสร้างที่อยู่อาศัย นอกจากนี้การทำการเกษตรโดยเน้นผลผลิตจำนวนมากเพื่อการค้าและการส่งออกอาจทำให้เกษตรกรขาดความเข้าใจในการบำรุงรักษาหน้าดินอย่างถูกต้อง นำไปสู่การชะล้างพังทลายของดินได้เช่นกัน

การชะล้างหน้าดินเกิดขึ้นในหลายลักษณะ เช่น การชะล้างพังทลายแบบกระเด็น (rain splash erosion) การชะล้างพังทลายแบบผิวผ่าน (sheet erosion) และการชะล้างพังทลายแบบร่องธาร (gully erosion) (พงษ์ศักดิ์ วิทวัสสุติกุล, 2543) สำหรับการชะล้างแบบร่องธารเป็นการชะล้างหน้าดินเกิดเป็นร่อง มีความลึกประมาณ 0.5 - 30 เมตร ร่องธารอาจมีขนาดความกว้างและความยาวแตกต่างกันไปตามระดับ ความรุนแรงของการชะล้าง กระบวนการชะล้างแบบร่องธารเริ่มจากเม็ดฝนตกลงมากระแทกผิวดินทำให้น้ำดินแตกออก อนุภาคของดินที่มีขนาดเล็กจะถูกพัดพาไปตามน้ำที่ไหลบ่าหน้าดิน เมื่อพื้นที่มีระดับต่ำลงน้ำที่ไหลบ่าบนหน้าดินจะไหลมารวมกันทำให้น้ำมีพลังในการชะล้างหน้าดินที่รุนแรงขึ้น เกิดเป็นร่องเล็กๆ บนผิวดินเรียกว่า ริว (Rill) ต่อมาริวที่เกิดจากการชะล้างของน้ำจะมีความลึกและมีขนาดใหญ่มากขึ้นเกิดเป็นร่องธาร (Gully) (จักรดูล ศรีนนท์ และ วิรัชชัย น้อยเอี่ยม, 2557) การชะล้างแบบร่องธารพบมากตามแนวลาดเขา

ที่มีความชันสูงและระยะของความลาดเทที่ค่อนข้างยาว พื้นที่ลักษณะนี้ น้ำไหลบ่าหน้าดินจะมีความสามารถในการชะล้างและพัดพาหน้าดินค่อนข้างสูงทำให้เกิดเป็นร่องธารบนผิวดินได้ การชะล้างแบบร่องธารเป็นอุปสรรคต่อการทำการเกษตร ทำให้ไม่สามารถใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกได้ พืชผลทางการเกษตรเกิดความเสียหายจากการพัดพาหน้าดิน หากการชะล้างทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้นไป อาจทำให้เกษตรกรสูญเสียพื้นที่การเพาะปลูกได้

การวิเคราะห์และติดตามการสูญเสียการชะล้างหน้าดินแบบร่องธารมีความสำคัญมากในการวางแผนป้องกันการชะล้างหน้าดินและการวางแผนทำการเกษตรให้มีประสิทธิภาพและได้ผลผลิตสูง ปัจจุบันเทคโนโลยีการสำรวจภูมิประเทศได้มีการพัฒนาไปอย่างมาก ทำให้สามารถเก็บข้อมูลพื้นผิวภูมิประเทศที่มีความละเอียดแม่นยำและมีความถูกต้องสูง วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการสำรวจภูมิประเทศ คือ การใช้เทคโนโลยีการสำรวจด้วย LIDAR (Light Detection and Ranging) ซึ่งเป็นการสำรวจภูมิประเทศโดยวัดระยะเวลาการเดินทางของคลื่นเลเซอร์ จากเครื่องส่งสัญญาณไปยังพื้นผิวและเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับไปที่เครื่องส่งสัญญาณ (ธีระ ลาภิศขยางกุล, 2554) และแปลงให้เป็นข้อมูลความสูงต่ำของพื้นผิวภูมิประเทศ การสำรวจ LIDAR สามารถทำได้ในรูปแบบการสำรวจระยะไกลจากอากาศยาน (airborne LIDAR) หรือจากสถานีภาคพื้นดิน (terrestrial LIDAR) ในการรังวัดภูมิประเทศบนภาคพื้นดินด้วยเทคโนโลยี LIDAR สามารถใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanning: TLS) ซึ่งมีหลักการ คือ sensor ของเครื่องมือที่ติดตั้งบนพื้นผิวภูมิประเทศจะทำการกราดคลื่นเลเซอร์ ไปตกกระทบกับพื้นผิวภูมิประเทศที่อยู่ด้านหน้า จากนั้นจึงทำการบันทึกเวลาของคลื่นเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมายังเครื่องรับ ข้อมูลระยะเวลาการเดินทางของคลื่นเลเซอร์ที่ตรวจจับได้จะถูกนำมาแปลงให้อยู่ในรูปของกลุ่มจุดที่แสดงระดับความสูงต่ำของพื้นผิวภูมิประเทศหรือพอยท์คลาวด์ (point clouds) ที่สามารถนำไปคำนวณระดับความสูงต่ำของพื้นที่สำรวจได้อย่างถูกต้อง (ธีระ ลาภิศขยางกุล, 2554) ข้อมูลที่ได้สามารถแสดงผลข้อมูลความสูงของภูมิประเทศในรูปสามมิติ มีความเสมือนจริงและมีความถูกต้องสูง สามารถประยุกต์ใช้ได้กับพื้นที่ที่มีความแตกต่างของความสูงไม่มากนัก นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บข้อมูลยังสามารถวัดมุม ระยะทาง คำนวณค่าพิกัด และตรวจสอบความถูกต้องได้ในงานภาคสนามบนจอภาพของเครื่องมือสำรวจได้ทันที

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีการสำรวจด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินมาประยุกต์ใช้เพื่อการศึกษาและติดตามการชะล้างแบบร่องธารเนื่องจากสามารถเก็บข้อมูลลักษณะพื้นผิวภูมิประเทศที่มีความละเอียดและถูกต้องสูง เหมาะสมในการนำไปใช้ศึกษา

ปรากฏการณ์ขนาดเล็กบนพื้นที่ เช่น การชะล้างแบบร่องธาร ผู้วิจัยทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของร่องธาร จำนวน 6 ร่อง ที่มีความลาดชันและสิ่งปกคลุมดินแตกต่างกัน โดยทำการเก็บข้อมูลทุก 2 – 4 สัปดาห์เป็นเวลา 6 เดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2561 แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อศึกษการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของร่องธารทั้งในด้านความกว้าง ความลึก และปริมาณของดินที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งจากการถูกชะล้างและการทับถม หลังจากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของร่องธาร

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยเลือกร่องธารในพื้นที่ตำบลหินแก้ว อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดการชะล้างพังทลายของดินเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นทิวเขาสูงชันและปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เป็นจำนวนมาก เช่น ในปี 2560 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 2,643.60 มิลลิเมตร (ศูนย์อุทกวิทยาลพพรานภาคใต้, 2562) นอกจากนี้พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ทำเกษตรกรรม มีการทำไร่และสวน เช่น ปลูกกาแฟ สวนปาล์ม สวนยางพารา เป็นต้น (สำนักงานจังหวัดชุมพร, 2561) การเกิดการชะล้างหน้าดินจึงอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อการเพาะปลูกในพื้นที่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสัณฐานของการชะล้างแบบร่องธารด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินแบบสามมิติ

1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพกับการชะล้างแบบร่องธาร

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

ศึกษการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสัณฐานของร่องธารด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยการติดตามเก็บข้อมูลทุก 2-4 สัปดาห์เป็นเวลา 6 เดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2561 และนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกันเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสัณฐานของร่องธารและปริมาณดินที่สูญเสียจากการกร่อนหรือที่เพิ่มขึ้นจากการทับถม

1.3.2 ขอบเขตด้านพื้นที่

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลหินแก้ว อำเภอนาทม จังหวัดอุดรธานี มีลักษณะของพื้นที่เป็นภูเขาสลับกับที่ราบ การใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนมากเป็นการปลูกยางพารา ปาล์ม ผู้วิจัยได้กำหนดร่องธารที่จะศึกษาจำนวน 6 ร่องธาร ขนาด 2 x 5 เมตร ซึ่งเป็นร่องธารที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ที่มีความลาดชัน และมีสิ่งปกคลุมดินแตกต่างกัน

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 เลือกร่องธารที่ใช้ในการศึกษาจำนวน 6 ร่องธารที่มีลักษณะความลาดชันและสิ่งปกคลุมดินต่างกัน

1.4.2 เก็บข้อมูลพื้นฐานของร่องธารในภาคสนามด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

1.4.3 ประมวลผลจากข้อมูลจุดความสูงที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเพื่อสร้างรูปทรงพื้นผิวของร่องธารแบบสามมิติในรูปแบบของแบบจำลองระดับสูงของพื้นผิวภูมิประเทศ (Digital Elevation Model: DEM)

1.4.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานของร่องธารแต่ละแห่งจากการเปรียบเทียบแบบจำลองความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศในแต่ละช่วงเวลา

1.4.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ทางกายภาพที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของร่องธารที่เลือกศึกษาได้แก่ ลักษณะของฝน ความลาดชันของร่องธาร พื้นที่รับน้ำ และกำลังการไหลของน้ำในร่องธาร

1.4.6 สรุปผลและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

ผลลัพธ์จากงานวิจัยจะช่วยให้สามารถประเมินการเกิดและการขยายตัวของร่องธารบนผิวดินจากการชะล้างของน้ำไหลบ่าหน้าดินจากปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ศึกษาได้ รวมถึงเป็นแนวทางในการหาวิธีการป้องกันการชะล้างแบบร่องธารในพื้นที่ศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.6 อธิบายศัพท์

- การชะล้างแบบร่องธาร (Gully Erosion) การกร่อนของหน้าดินที่มีลักษณะเป็นร่องลึกหรือตามเส้นทางน้ำไหลบนผิวดิน มีความลึกระหว่าง 0.5 - 30 เมตร

- เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner) เป็นเครื่องมือสำรวจที่เก็บข้อมูลการรังวัดด้วยการยิงลำแสงเลเซอร์ไปกระทบกับวัตถุ และทำการวัดระยะเวลาในการเดินทางของแสงเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมา เพื่อคำนวณหาระยะทางของตำแหน่งกล้องเทียบกับวัตถุ จากสมการของความเร็วในลักษณะไลดาร์ (LIDAR : Light Detection and Ranging)



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน เพื่อศึกษาและติดตามการชะล้างแบบร่องธาร ผู้วิจัยจึงได้ทำการค้นคว้าเอกสารและงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ การชะล้างพังทลายของดิน เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน การศึกษาการชะล้างพังทลายของดินด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน และการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินแบบร่องธารด้วยวิธีการอื่น ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละประเด็นดังนี้

2.1 การชะล้างพังทลายของดิน

2.1.1 ความหมายของการชะล้างพังทลายของดิน

การชะล้างพังทลายของดิน คือ กระบวนการที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกมากระทำให้อนุภาคของดินแยกออกจากกันเกิดการเคลื่อนย้ายอนุภาคไปทับถมเป็นการตกตะกอน (เกษม จันทรแก้ว และ นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2517) มีผู้ให้นิยามของการชะล้างพังทลายของดินไว้หลากหลายดังนี้

พิทยากร ลีมหอง (2552) ได้ให้ความหมายของการชะล้างพังทลายของดินว่าเป็นกระบวนการแตกกระจายของดินและการพัดพาโดยมีตัวการกัดกร่อนซึ่งได้แก่ ลมและน้ำ

สันต์ สิริภักดิ์ (2536) กล่าวว่า การชะล้างพังทลายของดิน คือ กระบวนการแตกกระจายและการเคลื่อนย้ายดินไปทับถมยังที่ใหม่

ถนอมนวล ณ ป้อมเพชร (2532) กล่าวว่า การชะล้างพังทลายของดิน หมายถึง การที่ดินถูกซัดพาเคลื่อนที่ไปและผิวดินจะสูญเสียดังกล่าว

2.1.2 กระบวนการชะล้างพังทลายของดิน

เกษม จันทรแก้ว และ นิพนธ์ ตั้งธรรม (2517) ได้กล่าวไว้ว่า กระบวนการชะล้างพังทลายของดินโดยพลังของน้ำ เริ่มจากพลังงานของเม็ดฝนที่ตกกระทบกับหน้าดิน ทำให้อนุภาคดินที่ยึดเกาะกันอยู่แยกออกจากกัน เมื่อปริมาณของฝนที่ตกมากขึ้น ปริมาณของน้ำฝนก็จะรวมตัวกันเป็นน้ำไหลบ่าหน้าดิน และแรงของฝนที่ตกลงมาปะทะกับผิวน้ำที่ไหลบ่าหน้าดินจะทำให้เกิดการไหลของน้ำในลักษณะววน ทำให้อนุภาคของดินเกิดการแตกกระจายมากขึ้น ขณะเดียวกันอนุภาคของดินที่แตกกระจายจะถูกเคลื่อนที่ไปตามความลาดชันของพื้นที่ ในลักษณะต่างๆ เช่น กลิ้ง

กระเด็น หรือเคลื่อนไปในสภาพแขวนลอยกับน้ำที่ไหลบ่าไปบนผิวดิน อนุภาคที่ถูกชะล้างที่มีขนาดเล็กไหลลงไปตามช่องว่างในดินเกิดการอุดตัน (Sealing) และจับตัวแน่นเป็นแผ่นแข็ง (Crusting) ทำให้ความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้ลดลง ความชื้นในดินน้อยลงเหลือไว้แต่อนุภาคขนาดใหญ่ อย่างเช่น หิน กรวด ทราย ลอยอยู่บนผิวดิน ในส่วนอนุภาคขนาดเล็ก เช่น ดินเหนียว อินทรีย์วัตถุ ถูกพัดพาไปจนหมด ผลจากการชะล้างหน้าดินทำให้พื้นผิวดินมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไป

2.1.3 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน

เมื่อพิจารณาตามกระบวนการปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อการชะล้างพังทลายของดิน ที่กล่าวโดยละเอียดในตอนต้นนั้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2543) สรุปได้ดังนี้

2.1.3.1 สภาพภูมิอากาศ

อิทธิพลของฝนเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในบรรดาปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศที่มีอิทธิพลต่อการชะล้างพังทลายของดิน แรงตกกระทบของเม็ดฝนเป็นพลังงานอันแรกที่ทำให้อนุภาคของดินเกิดการแตกแยกออกจากกัน แรงตกกระทบดังกล่าวยังเป็นตัวการต่อเนื่องที่ทำให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินและการเคลื่อนย้ายอนุภาคของดินด้วย นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างฤดูกาล ซึ่งมีผลต่อการปรับตัวของโครงสร้างของดินทำให้การจับตัวกันของอนุภาคดินมีแรงยึดกันน้อยลง

2.1.3.2 สภาพภูมิประเทศ

นิพนธ์ ตั้งธรรม (2527) ในบริเวณหนึ่ง ความลาดชันอาจจะมีหลากหลายลักษณะ เช่น ความลาดชันที่มีลักษณะเรียบตรง โค้งขึ้นหรือเนินขึ้น และงอขึ้นหรือเว้าลง เป็นต้น ความลาดชันของพื้นที่นั้นจะส่งผลให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินและการเคลื่อนย้ายตะกอน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการชะล้างของหน้าดินแตกต่างกันไปคือ บนพื้นที่ที่มีความลาดชันโค้งขึ้น (convex slope) ความลาดชันจะมีมากตอนใกล้จุดต่ำสุดของพื้นที่ ทำให้อัตราความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดการชะล้างพังทลายของดินได้มากกว่าความลาดชันแบบอื่น หากพื้นที่ที่มีความลาดชันแบบเว้า (concave slope) ความลาดชันจะลดน้อยลงตอนบริเวณใกล้จุดสิ้นสุดของพื้นที่ ซึ่งมักทำให้เกิดการตกตะกอนในบริเวณดังกล่าวนี้มากกว่าที่จะทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดินต่อไป ทั้งนี้เพราะอัตราการไหลบ่าของน้ำหน้าดินจะถูกทำให้ลดลงอย่างรวดเร็วนั่นเอง ซึ่งปัจจัยเกี่ยวกับสภาพภูมิประเทศนี้ (เกษม จันทรแก้ว และคณะ, 2519) ได้กล่าวว่า สาเหตุอันสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสูญเสีย

ดินและน้ำคือ ความลาดชันของพื้นที่ ถ้าความลาดชันของพื้นที่มากจะทำให้ปริมาณการสูญเสียน้ำมากไปด้วย

2.1.3.3 คุณสมบัติของดิน

การชะล้างพังทลายของดินนั้นยังขึ้นอยู่กับลักษณะคุณสมบัติของดินเป็นสำคัญ ได้แก่ เนื้อดิน โครงสร้างของดิน ความหนาแน่นของดิน อัตราการซึมซับน้ำของดิน ความสามารถในการเป็ยกน้ำของดิน สมรรถนะในการอุ้มน้ำสูงสุดของดิน และความลึกของดิน ซึ่งลักษณะเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดความทนทานของดินต่อการถูกชะล้างพังทลายที่แตกต่างกัน แม้ว่าจะถูกชะล้างและเคลื่อนย้ายด้วยแรงปะทะของน้ำฝนและน้ำไหลบ่าหน้าดินในอัตราและปริมาณเดียวกัน บนความลาดชันและสภาพการปกคลุมดินใกล้เคียงกัน

หากโครงสร้างของดินจับตัวกันอย่างหลวมๆ และมีลักษณะของเม็ดดินที่ค่อนข้างเป็นเม็ดกลม ถ้ายึดเกาะกันด้วยอนุภาคของเนื้อดินเหนียวที่มีความละเอียดและจับตัวกันเป็นก้อนส่วนใหญ่จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีพอสมควร ดินชนิดนี้จะสามารถต้านทานต่อการชะล้างพังทลายของดินได้สูง เนื่องจากการเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินนั้นมีน้อยและอัตราการไหลของน้ำต่ำ (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2527)

2.1.3.4 ลักษณะของพืชพรรณที่ปกคลุมดิน

พืชและสิ่งปกคลุมดินมีบทบาทสูงมากต่อการชะล้างพังทลายของดิน เนื่องจากพืชจะช่วยดูดซับน้ำฝนและลดแรงปะทะของเม็ดฝนและยังช่วยชะลอการไหลบ่าของน้ำหน้าดินให้ช้าลงเป็นการลดแรงที่จะทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน พืชคลุมดินจะช่วยเพิ่มความสามารถซึมผ่านของน้ำได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นดินที่ไม่มีสิ่งปกคลุม เพราะพืชคลุมดินจะต้านทานการไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน ทำให้น้ำที่ไหลบ่าบนผิวดินมีเวลาหรือโอกาสที่จะซึมผ่านผิวดินลงไปใต้ดินได้มากขึ้น ส่วนระบบรากพืชทำให้ช่องว่างในดินมีมากขึ้น และใบไม้หรือหญ้าแห้งที่ปกคลุมดินจะทำหน้าที่เปรียบเสมือนเป็นเครื่องป้องกันการกระแทกของเม็ดฝนต่อผิวดิน และลดแรงกระแทกจากเม็ดฝนที่จะทำให้ดินแน่นทึบขึ้นอีกทั้งยังทำให้ดินจับกันเป็นก้อนดีขึ้น ช่วยเพิ่มช่องว่างในดินทำให้น้ำไหลซึมลงใต้ดินได้มากขึ้น (เกษม จันทรแก้ว และ นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2517)

พืชเป็นปัจจัยที่สำคัญในการป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน เพราะช่วยลดความรุนแรงเนื่องจากพลังงานจากเม็ดฝนและความเร็วของน้ำไหลบ่าหน้าดิน ในขณะเดียวกันก็ยังเพิ่มคุณสมบัติการซึมซับน้ำของดินซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wooldridge (1964) ซึ่งพบว่าสภาพของพืชพรรณที่ปกคลุมดินที่เกี่ยวข้องกับการชะล้างพังทลายของดินคือความหนาแน่นและ

ลักษณะการปกคลุมติดต่อกันพอที่จะลดแรงปะทะจากเม็ดฝนและช่วยชะลอให้น้ำไหลบ่าหน้าดินไหลช้าลง

2.1.3.5 กิจกรรมของมนุษย์บนพื้นที่

ถึงแม้การชะล้างพังทลายของดินจะเป็นกระบวนการธรรมชาติที่มีมาตั้งแต่การกำเนิดโลก เป็นการปรับตัวของพื้นผิวโลก ซึ่งถ้าเกิดโดยไม่มีตัวเร่งที่เป็นมนุษย์เข้าไปช่วยกระทำ เรียกว่าการชะล้างพังทลายตามธรรมชาติ (natural/normal/geological erosion) แต่ถ้ามีตัวปัจจัยเร่งที่เป็นมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องทำให้เกิดมากกว่าที่ควรเป็นตามธรรมชาติ เรียกว่า การชะล้างพังทลายดินที่มีตัวเร่ง (accelerated erosion) เช่น การแผ้วถางป่า การทำถนน การกสิกรรม การทำไร่เลื่อนลอย การก่อสร้างต่างๆ และการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่ถูกต้องโดยไม่คำนึงถึงมาตรการอนุรักษ์ เป็นต้น (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2545)

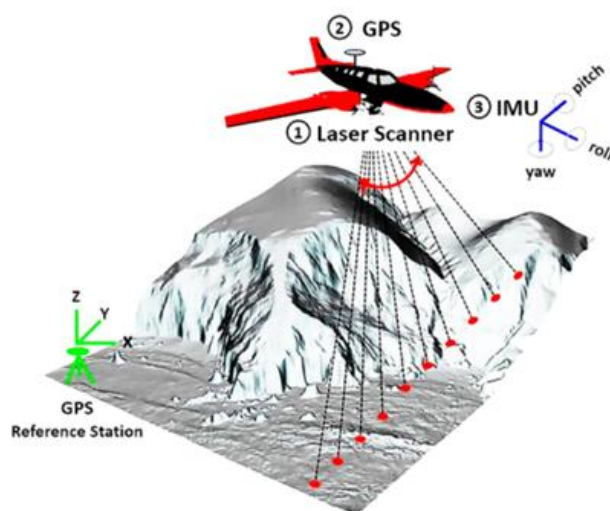
2.1.4 รูปแบบการชะล้างพังทลายของดินที่สำคัญในประเทศไทย

ลักษณะการชะล้างพังทลายของดินไม่ว่าจะเป็นรูปแบบใดนั้น มีสาเหตุมาจากความรุนแรงของเม็ดฝนที่ตกกระทบจากแรงของน้ำไหลบ่าหน้าดิน อันเกิดจากดินไม่สามารถรับการซึมของน้ำฝนได้หมดและถ้าฝนตกหนักมากอาจเกิดการเคลื่อนและการเลื่อนไหลของมวลดินโดยแรงดึงดูดของโลก และแรงดันของน้ำใต้ผิวดิน แม้ว่าการเลื่อนไหลของดินจะเป็นการพังทลายของดินที่มีปริมาณมากนัก แต่มักไม่เกิดบ่อยนักการชะล้างพังทลายของดินส่วนใหญ่จึงมักเกิดจากน้ำไหลบ่าหน้าดินเป็นสำคัญ และมักจะเกิดขึ้นเสมอบนพื้นที่ลาดเขา ถ้าหากว่าฝนตกหนักพลังงานของน้ำไหลบ่าหน้าดินก็จะมีเพียงการชะล้างพังทลายของหน้าดินและพัดพาสิ่งสกปรกที่ต่ำ แต่จะตกตะกอนในตอนใดตอนหนึ่งของที่ลาดเขาโดยไม่พัดพาสิ่งสกปรกที่ต่ำลงมาถึงร่องลำธารก็จะเป็นแหล่งของดินที่ถูกพัดพาสิ่งสกปรกที่ต่ำลงไปอีกจากฝนในคราวต่อไป ยกเว้นไม่มีฝนตกตามมาในเวลาใกล้เคียงกัน จนพืชพรรณขึ้นปกคลุมอย่างดี ดินที่ตกตะกอนดังกล่าวจะได้รับการป้องกันจากพลังน้ำไหลบ่าหน้าดินได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งรูปแบบการพังทลายของดินที่สำคัญๆ ในประเทศไทยมีดังนี้ คือ การชะล้างพังทลายแบบกระเด็น (splash erosion) เกิดขึ้นเมื่อเม็ดฝนปะทะกับผิวดินทำให้เม็ดดินหลุดออกและกระเด็นไปจากที่เดิม, การชะล้างพังทลายแบบแผ่น (sheet erosion) ซึ่งเกิดจากแรงปะทะของเม็ดฝน ทำให้ผิวดินแตกกระจายและพัดพาไปเป็นแผ่นบางๆ, การชะล้างพังทลายแบบริ้ว (rill erosion) เป็นการชะล้างพังทลายของดินที่ทำให้เกิดร่องเล็กๆ มากมาย ซึ่งจะมีความลึกไม่เกิน 5 – 8 เซนติเมตร, การชะล้างพังทลายแบบร่องธาร (gully erosion) มีลักษณะการชะล้างพังทลายมากกว่าแบบริ้ว เกิดขึ้นบนพื้นที่

ที่มีความลาดชันและระยะของความลาดชันมาก, การชะล้างในธารน้ำ (stream-bank erosion) เกิดขึ้นตามธารน้ำธรรมชาติ เนื่องจากกำลังแรงของกระแสน้ำ (พิทยากร ลีมหทอง, 2552)

2.2 เทคโนโลยีไลดาร์ (Light Detection and Ranging : LiDAR)

Light Detection and Ranging หรือ LiDAR คือ ระบบการสำรวจรังวัดความสูงภูมิประเทศด้วยลำแสงเลเซอร์ มีหลักการทำงานโดยการยิงแสงเลเซอร์ในช่วงคลื่นสั้นกว่าในช่วงคลื่นตามองเห็นและอินฟราเรดใกล้ ให้ไปตกกระทบกับพื้นผิวภูมิประเทศหรือวัตถุบนพื้นผิวภูมิประเทศ จากนั้นจะสะท้อนกลับเข้าสู่ตัวเครื่องรับสัญญาณ โดยทำงานร่วมกับระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Navigation Satellite System: GNSS) (ภาพที่ 1) ข้อมูลที่ได้ก็คือความแตกต่างกันของระยะเวลาที่ลำแสงเลเซอร์ถูกส่งไปแล้วสะท้อนกลับมา ทำให้สามารถคำนวณหาระยะทาง คือ ระดับความสูงต่ำของพื้นที่ที่ทำการสำรวจได้อย่างแม่นยำ เมื่อนำเข้าสู่ระบบการประมวลผลจะได้ค่าระดับความสูงภูมิประเทศ ซึ่งข้อมูลจะมีลักษณะเป็นกลุ่มจุดข้อมูล (X, Y และ Z) หรือ Point Clouds มีความหนาแน่นและให้ค่าความถูกต้องของข้อมูลสูงอยู่ในระดับเซนติเมตร สามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการสร้างข้อมูลความสูงภูมิประเทศได้ทั้งค่าระดับความสูงของภูมิประเทศทั้งชนิดที่เป็นพื้นผิวปกคลุมภูมิประเทศ (Digital Surface Model : DSM) และค่าระดับความสูงภูมิประเทศ (Digital Terrain Model : DTM) เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ต่อไป



ภาพที่ 1 หลักการของ LiDAR

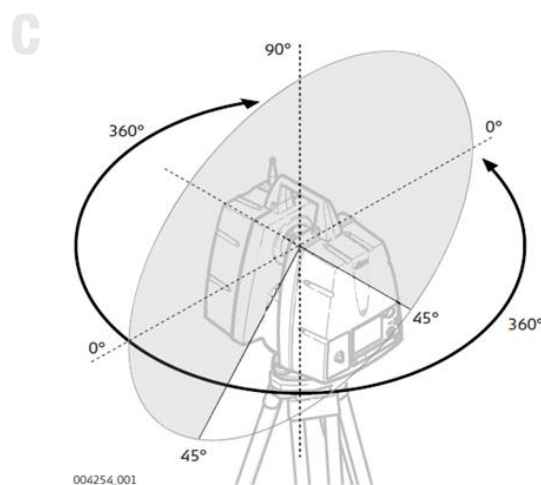
(ที่มา: Melin et al., 2017)

ในการสำรวจด้วยระบบเลเซอร์นั้นสามารถแยกออกได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะการใช้งาน แบบแรก คือ Airborne Laser Scanner (ALS) ตัวเซนเซอร์จะติดอยู่บนยานพาหนะที่บินได้ แบบที่สอง คือ Terrestrial Laser Scanner (TLS) เป็นเครื่องมือรังวัดจุดตำแหน่งพิกัด 3 มิติ ภาคพื้นดิน ที่ให้ข้อมูลจุดพิกัดจำนวนมากและมีความถูกต้องสูง นิยมใช้เก็บข้อมูลโครงสร้างต่าง ๆ เช่น อาคาร สะพาน และโครงสร้างต่างๆ และแบบที่สาม เป็นแบบ Mobile Laser Scanner คือ ขนาดของเครื่องไม่ใหญ่มาก สามารถติดตั้งบนรถหรือถือเพื่อสแกนเก็บข้อมูลได้เลย เหมาะกับการสแกนในที่ที่มีอุปสรรคด้านภูมิประเทศ แต่ความละเอียดจะต่ำกว่าแบบ TLS

2.3 เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

2.3.1 หลักการพื้นฐานของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินมีหลักการพื้นฐาน (Alkan & Karsidag, 2012) ในการเก็บข้อมูลภูมิประเทศมีลักษณะเช่นเดียวกับกล้องรังวัดแบบสถานีรวม (Total station) เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินจะมีแหล่งกำเนิดคลื่นเลเซอร์ (sensor) ซึ่งสามารถทำการรังวัดตามแนวราบ (Horizontal) และแนวตั้ง (Vertical) รวมถึงสามารถกำหนดแนวการสแกนได้จากจุดศูนย์กลางของเครื่องสแกน โดยในระหว่างการสแกนหรือการตรวจนั้นจะต้องกำหนดมุมของเครื่องสแกนในการสแกนกวาดเก็บข้อมูล เครื่องสแกนจะหมุนรอบแกนตั้งด้วยมุมขนาดเล็กมาก ในการวัดทุกครั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินจะรับข้อมูลคลื่นเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมาจากพื้นผิวภูมิประเทศ และสามารถคำนวณค่าพิกัด 3 มิติ (X, Y และ Z) ที่อ้างอิงกับจุดศูนย์กลางของการสแกน ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 หลักการของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

(ที่มา: Leica Geosystems, 2013)

2.3.2 ประเภทของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

การแบ่งชนิดของเครื่องเลเซอร์ภาคพื้นดินสามารถแบ่งได้จากหลักการของการวัดระยะทาง (Schulz & Ingensand, 2004) ได้แก่ การวัดด้วยระยะเวลาเดินทางของแสงเลเซอร์ (time of flight) การวัดด้วยผลต่างเฟสคลื่นของเลเซอร์ (phase measurement) และการวัดด้วยสามเหลี่ยมของ เรดาร์ (Laser radar and optical triangulation) (Boehler et al., 2003)

2.3.2.1 การวัดระยะทางเวลาการเดินทางของเลเซอร์ (Time of flight) เป็นการวัดที่นิยมในกล้องประมวลผลรวมและเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยใช้เวลาเพื่อวัดระยะทางที่สแกนของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน มีระยะการสแกนตั้งแต่ 100 เมตร ถึง 1,000 เมตร และมีความถูกต้องของการวัดระยะทางอยู่ในระดับ 10 มิลลิเมตร

2.3.2.2 การวัดระยะด้วยเฟสของคลื่น (Phase measurement) เป็นวิธีการหาค่าความต่างของเฟสที่สะท้อนมาจากวัตถุ มีระยะการสแกนได้ไม่เกิน 100 เมตร และมีความถูกต้องของการวัดระยะทางอยู่ในระดับต่ำกว่า 10 มิลลิเมตร วิธีการนี้เป็นวิธีการวัดที่มีความละเอียดสูงและมีความซับซ้อนในการวัด

2.3.2.3 การวัดระยะด้วยการวัดแบบสามเหลี่ยม (Optical triangulation, Laser radar) ระยะการสแกนอยู่ที่ 10 เมตร มีความถูกต้องของการวัดระยะทางต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นวิธีการวัดด้วยเทคนิคการวัดแบบสามเหลี่ยม ซึ่งมีตำแหน่งเซนเซอร์ในการรับสัญญาณอยู่ห่างออกจากจุดส่งสัญญาณเลเซอร์

2.3.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

ค่าความคลาดเคลื่อนของการใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินประกอบด้วย 4 ปัจจัย คือ

2.3.3.1 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือ แบ่งได้เป็นค่าความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบและค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม โดยค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มจะมีผลกระทบเป็นส่วนใหญ่กับความถูกต้องของการวัดระยะทางและการวัดมุมของวิธีการวัดระยะเวลาเดินทางของแสงเลเซอร์ ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนแบบมีระบบนั้นค่านิ่งได้จากระบบอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

- การเบนออกของลำแสงนั้นเป็นส่วนหนึ่งในองค์ประกอบที่สำคัญ ซึ่งมีผลต่อความละเอียดของข้อมูลพอยท์คลาวด์ โดยการเบนออกของลำแสงเลเซอร์นั้นจะขึ้นอยู่กับระยะห่างของการสแกนระหว่างเครื่องสแกนและวัตถุ

- ขอบเขตของลำแสง เป็นอีกผลกระทบหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงเป็นสำคัญ เนื่องจากลำแสงเลเซอร์นั้น มีลักษณะเป็นรูปวงรี ดังนั้นการสะท้อนกลับมาของแสงเลเซอร์อาจจะมาจากสองพื้นผิวที่มีสีแตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการสะท้อนจะเป็นค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของรังสีการสะท้อน

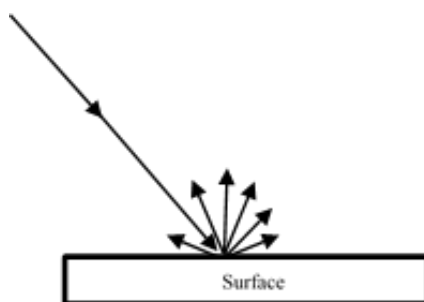
- ความถูกต้องเนื่องมาจากระยะทาง ซึ่งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่วัดระยะทางด้วยการวัดระยะเวลาเดินทางของแสงนั้น ค่าความถูกต้องของข้อมูลจะขึ้นอยู่กับระยะทางในการเดินทางของเลเซอร์

- ความถูกต้องอันเนื่องมาจากมุม เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินส่วนใหญ่จะมีอุปกรณ์ในการหมุนขนาดเล็กเพื่อให้สามารถสแกนให้ได้จำนวนพอยท์คลาวด์ได้ตามต้องการ ซึ่งการหมุนมุมขนาดเล็กนั้นย่อมมีค่าความถูกต้องเชิงมุมที่ขึ้นกับค่าความถูกต้องของอุปกรณ์การวัดเชิงมุม

- ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากแกนเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยทั่วไปแล้วการขจัดค่าความคลาดเคลื่อนตามแกนตั้งนั้นกล้องประมวลผลรวมจะขจัดความคลาดเคลื่อนจากความเอียงแกนตั้งของกล้องด้วยการวัดมุม 2 หน้า แต่เครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์นั้นไม่สามารถวัดจุดเดียวซ้ำกัน 2 หน้าได้

2.3.3.2 ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการสะท้อนจากพื้นผิววัตถุ ซึ่งเป็นผลกระทบที่สำคัญและต้องคำนึงเป็นประการแรกในการใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน โดยมีปัจจัยสำคัญดังนี้

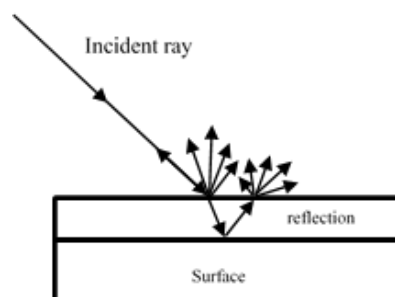
- ลักษณะของพื้นผิว (Surface reflectance) ลักษณะของพื้นผิวเป็นปัจจัยที่ทำให้มีผลต่อการกำหนดทิศทางของรังสีสะท้อน อีกทั้งสีของวัตถุที่มีผลต่อความเข้มของรังสีสะท้อน ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การกระจายตัวของรังสีสะท้อน

(ที่มา: Cosarca et al., 2009)

- การหักเหและการสะท้อน ในกรณีที่มีผิวของวัตถุมีความโปร่งใส นั้น จะทำให้ลำแสงเกิดการหักเหและสะท้อนกลับทั้ง 2 บริเวณ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การหักเหของคลื่นเมื่อผ่านวัตถุที่โปร่งแสง
(ที่มา: Cosarca et al., 2009)

2.3.3.3 ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากสภาพสิ่งแวดล้อม

- อุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญของการวัดระยะเวลาเดินทางของแสงเลเซอร์ที่ต้องบันทึกก่อนการสแกนทุกครั้ง เนื่องจากปัจจุบันเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินจะสามารถปรับแก้การวัดระยะทางจากค่าอุณหภูมิที่กำหนดได้

- ความดันบรรยากาศ นอกเหนือจากอุณหภูมิแล้ว เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินยังสามารถที่จะบันทึกค่าความดันบรรยากาศและค่าความชื้นในขณะนั้น เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดมาจากการวัดระยะทาง ด้วยการวัดระยะเวลาเดินทางของแสงเลเซอร์ ทั้งนี้ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความชื้นจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงดัชนีการหักเหแสงและความยาวคลื่น

- รังสีภายนอก การวัดระยะของแสงเลเซอร์จะได้รับผลกระทบจากรังสีภายนอก เช่น แสงแดด หลอดไฟ เป็นต้น เมื่อเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินทำงานอยู่ในบริเวณที่ใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดคลื่นที่มีความถี่ใกล้เคียงกับแสงเลเซอร์

- ความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการเดินทางของเลเซอร์ ถึงแม้ว่าเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินจะสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว แต่การวัดระยะเวลาเดินทางของลำแสงเลเซอร์นั้น จะเกิดความผิดพลาดของการเดินทางของแสงเลเซอร์ ซึ่งเป็นผลกระทบของการสั่นของสิ่งแวดล้อมทั้งจากภายนอกและการสั่นระหว่างการสแกน

2.3.3.4 ค่าความคลาดเคลื่อนที่มาจากกระบวนการรังวัด โดยผู้ใช้นั้นยังไม่มี ความเข้าใจในกระบวนการทำงานของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน เช่น การกำหนดความละเอียดของ

ข้อมูลพอยท์คลาวด์ ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อค่าความถูกต้องของข้อมูลที่ได้ รวมถึงการกำหนดตำแหน่ง การตั้งสถานีของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินมีระยะห่างจากวัตถุนั้นมากเกินไป

2.4 การศึกษาการชะล้างพังทลายของดินด้วยเครื่องเลเซอร์ภาคพื้นดิน

เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเป็นเทคโนโลยีที่สามารถเก็บข้อมูลรายละเอียดเชิงพื้นที่ได้ในหลายๆ ช่วงเวลาเพื่อใช้ประเมินการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของพื้นที่นั้นๆ เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว จึงสามารถทำการเก็บข้อมูลได้บ่อยครั้ง ดังนั้นจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบและศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิประเทศสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน เช่น เส้นทางการไหลของลำน้ำ เป็นต้น งานวิจัยที่ใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินในการศึกษาการชะล้างพังทลายของดินตัวอย่างเช่น

Milan et al. (2007) ใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินความละเอียดสูง (LMS-Z210) ในการประเมินปริมาณการสึกกร่อนและการสะสมตะกอนในเขต proglacial ของ Glacier du Ferpècle และ Mont Miné ในประเทศสวิสเซอร์แลนด์ โดยเก็บข้อมูลพอยท์คลาวด์มีความละเอียดสูง (มากกว่า 500 จุด / ตารางเมตร) ครอบคลุมพื้นที่ 5,881 ตารางเมตร ได้มีการใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) เพื่อสร้างพื้นผิวของสันดอนและร่องในช่วงเริ่มต้นฤดูฝน เทคนิคนี้ยังมีข้อดีคือสามารถครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ในเวลาที่สั้น ผลการศึกษาพบว่าเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามารถเก็บด้วยความถูกต้องในแนวตั้ง ± 0.02 เมตรสำหรับพื้นผิวที่อยู่บนพื้นดิน แต่พื้นที่ที่อยู่ใต้น้ำมีความถูกต้องน้อยกว่า โดยอยู่ระหว่าง -0.15 ถึง $+0.06$ เมตร จากการศึกษาพบว่าบริเวณที่มีการทับถมในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ในช่วงเวลาการศึกษาเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสัณฐานวิทยา เช่น การเพิ่มขึ้นของขอบตลิ่ง ตลิ่งเกิดการทรุดตัวและการขยายตัวของทางลาด

Eltner and Baumgart (2015) ใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเพื่อตรวจวัดการพังทลายของดินบริเวณเนินเขาอันดลูเซียนขนาดพื้นที่ ($2 \times 1000 \text{ m}^2$) ชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียน เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวเหล่านี้มีการกำหนดระบบอ้างอิงที่มีความแม่นยำ ส่งผลให้มีความถูกต้องในการเชื่อมโยงข้อมูลได้ดีกว่า 7 มิลลิเมตร จากการศึกษาพบว่าบริเวณเนินเขาอันดลูเซียนมีอัตราการกัดกร่อนประมาณ 10 และ 2.4 ตันต่อเฮกตาร์ตามลำดับ ซึ่งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามารถใช้เพื่อประเมินการพังทลายของดินได้เป็นอย่างดีในระดับเซนติเมตร

Goodwin et al. (2017) ศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลระหว่าง airborne laser scanner (ALS) และ terrestrial laser scanner (TLS) เพื่อประเมินความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลง สัณฐานของลำธารที่ตั้งอยู่ใน Aratula ทางตะวันออกเฉียงใต้ของ รัฐควีนส์แลนด์ประเทศออสเตรเลีย เริ่มต้นด้วยการใช้ข้อมูลที่มีความหนาแน่นและความถูกต้องสูงของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน เพื่อสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) ผลการทดสอบพบว่าแบบจำลองความสูงเชิงเลขมีความคลาดเคลื่อนที่ 0.13 และ 0.09 เมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) มีความคลาดเคลื่อนที่ 0.20 และ 0.16 เมตร ที่ขนาดจุดภาพเท่ากับ 0.5 และ 1.0 เมตรตามลำดับ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าข้อมูลจากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามารถตรวจสอบความลึกของร่องธารได้ดีกว่าเครื่องสแกนเลเซอร์ที่ติดตั้งบนอากาศยาน นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการติดตามการเปลี่ยนแปลงซึ่งแสดงให้เห็นว่าความรวดเร็วในการตรวจจับ การเปลี่ยนแปลงของลำธาร โดยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ทางอากาศต่ำกว่าเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินอย่างมาก นอกจากนี้การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของลำธารโดยใช้ข้อมูลของเครื่องสแกนเลเซอร์ทางอากาศ ในช่วงสี่ปีเทียบกับการสำรวจภาคสนามด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน 4 ช่วง ในระยะเวลา 8 เดือน แสดงให้เห็นว่าเครื่องสแกนเลเซอร์ทางอากาศสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดใหญ่ของการชะล้างได้ จากการเปรียบเทียบเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามารถตรวจวัดการชะล้างขนาดเล็กได้ ซึ่งเครื่องสแกนเลเซอร์ทางอากาศไม่สามารถตรวจวัดได้ จากผลการวิจัยพบว่าเครื่องสแกนเลเซอร์ทางอากาศไม่สามารถที่จะตรวจพบการเปลี่ยนแปลงที่มีเพียงเล็กน้อย ซึ่งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามารถตรวจจับได้ แต่มีข้อจำกัดในด้านความครอบคลุมของพื้นที่ที่ได้น้อยกว่า แต่เมื่อนำข้อมูลของทั้งสองมาใช้ร่วมกันสามารถทำให้การพิจารณากระบวนการที่เกิดขึ้นในร่องธารทำได้ดียิ่งขึ้น

Neugirg et al. (2016) ใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินในการเก็บข้อมูลบนพื้นที่ลาดชัน 2 พื้นที่ ในบริเวณที่ราบลุ่มของแคว้นเซียน่า ประเทศอิตาลี พื้นที่ศึกษามีขนาด 125,000 ตารางเมตร และเก็บข้อมูลด้วยอากาศยานไร้คนขับครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับนั้นสามารถสร้างภาพ Orthophotos และข้อมูลพอยท์คลาวด์ ด้วยโปรแกรม Motion (SfM) Photoscan ข้อมูลจากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่เกิดจากการชะล้างและการสะสมตะกอน การติดตามการเปลี่ยนแปลงด้วยโปรแกรม Motion (SfM) Photoscan แสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสียผิวหน้าดินเกือบ 6.70 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกิดจากการชะล้าง 8.70 ลูกบาศก์เมตร และเกิดการสะสม 2.000 ลูกบาศก์เมตร ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าของผิวหน้าลดลงเฉลี่ย 5.3 เซนติเมตรต่อปี การชะล้างบริเวณพื้นที่ที่ลาดชันสามารถตรวจพบได้ใน

ระยะเวลาการเก็บข้อมูลในหนึ่งปี การเปรียบเทียบข้อมูลพอยท์คลาวด์ระหว่างเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน และผลลัพธ์จากวิธี SfM พบว่าปริมาตรที่คำนวณได้จากพื้นผิวมีความแตกต่างกัน อันเป็นผลมาจากผลกระทบที่เกิดขึ้นและความหนาแน่นของข้อมูลพอยท์คลาวด์จากเครื่องเลเซอร์สแกน

Perroy et al. (2010) เปรียบเทียบแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขจากการสำรวจด้วยระบบไลดาร์บนเครื่องบินและไลดาร์ภาคพื้นดิน เพื่อสำรวจข้อมูลทางธรณีวิทยาที่เกิดการชะล้างพังทลาย โดยใช้ประโยชน์ในการวัดปริมาณการสูญเสียดินบนเกาะซานตาครูซทางตะวันตกเฉียงใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนีย การประมาณปริมาตรของตะกอนที่เกิดจากการชะล้างพังทลายสามารถคำนวณได้จาก การเปรียบเทียบ ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขที่ได้จากระบบไลดาร์บนเครื่องบินและไลดาร์ภาคพื้นดิน อย่างไรก็ตามการเก็บข้อมูลด้วยไลดาร์ภาคพื้นดินนั้นได้ข้อมูลที่มีความละเอียดสูงแต่จำกัดด้วยขนาดพื้นที่ที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้บริเวณกว้างต่อครั้ง

2.5 การศึกษาการชะล้างพังทลายของดินแบบร่องธารด้วยวิธีการอื่น

Woodward (1999) ศึกษาปัญหาการกร่อนของพื้นที่เพาะปลูกจากการชะล้างรุนแรงมากในประเทศสหรัฐอเมริกา ด้วยการใช้แบบจำลองที่เป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์ เพื่อตอบสนองการการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ การศึกษาพบว่าร่องขนาดเล็กสามารถเกิดการชะล้างขยายเป็นร่องขนาดใหญ่ได้หากไม่ได้รับการควบคุม ร่องขนาดเล็กเหล่านี้จะหายไปโดยปกติด้วยการไถพรวนและการทำฟาร์มแบบประจำอื่นๆ เป็นการเปลี่ยนแปลงรูปแบบพื้นที่เพื่อสร้างร่องการไหลให้กับน้ำไหลบ่าหน้าดิน การศึกษาโดยใช้แบบจำลองนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้สมการการสูญเสียดินสากล (Universal Soil Loss Equation : USLE) ซึ่งมักนำมาใช้เพื่อประเมินการชะล้างแบบริ้วและการชะล้างแบบแผ่น นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960

Fuller et al. (2016) ศึกษาปริมาณการชะล้างพังทลายหน้าดินในช่วงเวลา 65 ปี ในบริเวณที่ราบลุ่มที่ลาดชันในเขต Ruahine ตอนใต้ของประเทศนิวซีแลนด์ ได้รับการประเมินโดยใช้ชุดการถ่ายภาพทางอากาศจำนวน 6 ชุด บินถ่ายระหว่างปี พ.ศ. 2489 และ พ.ศ. 2554 มีข้อมูลมากกว่า 6,900 ครั้ง เมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ArcGIS พบว่า 78% การเกิดการชะล้างนั้นมีเกี่ยวข้องกับโครงข่ายทางน้ำจากข้อมูลชี้ให้เห็นว่าระหว่าง ค.ศ. 1946 และค.ศ. 2011 มีการเคลื่อนที่ของตะกอนมากกว่า 5 ล้านลูกบาศก์เซนติเมตรจากพื้นที่แนวลาดชันไปยังร่องธารที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาระยะ 221 กิโลเมตร การปกคลุมของป่าไม้ นั้นไม่เพียงพอที่จะป้องกันการชะล้างพังทลายนี้ ระบบการกักเก็บน้ำ

เหล่านี้มีความเสี่ยงเมื่อเกิดเหตุการณ์พายุขนาดใหญ่ ทำให้ระดับความรุนแรงของการเกิดแผ่นดินถล่มเพิ่มขึ้นอย่างมากและช่วยเพิ่มการแพร่กระจายของตะกอนตามที่เกิดขึ้นในช่วง ค.ศ. 1970 ร่องรอยของเหตุการณ์เหล่านี้ยังคงอยู่ในร่องทางต้นน้ำเหล่านี้



บทที่ 3 พื้นที่ศึกษา

3.1 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

ตำบลหินแก้ว ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร (ภาพที่ 5) มีพื้นที่ 168 ตารางกิโลเมตร หรือ 105,000 ไร่

มีอาณาเขตติดต่อกับพื้นที่ข้างเคียงดังนี้

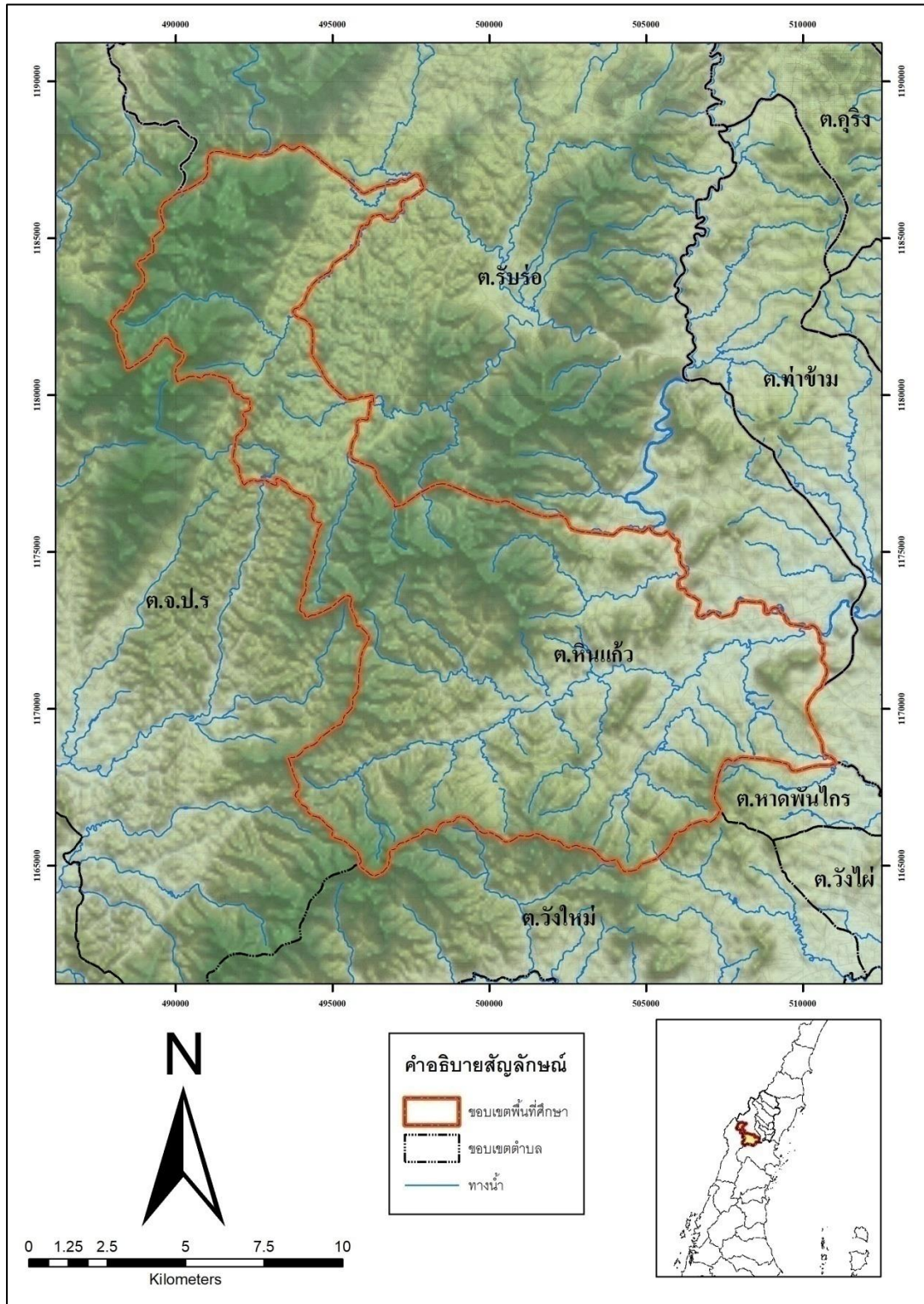
ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	ตำบลรับร่อ อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร
ทิศใต้	ติดต่อกับ	ตำบลหาดพันไกร อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	ตำบลท่าข้าม อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	อำเภอกระบุรี จังหวัดระนอง จังหวัดชุมพร

3.2 ลักษณะภูมิประเทศและธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

ตำบลหินแก้วมีลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นทิวเขาสูง พื้นที่ด้านทิศตะวันตก ทิศเหนือ และทิศใต้ มีลักษณะเป็นภูเขาและมีที่ราบแคบ ๆ แทรกสลับโดยมีลำห้วยไหลผ่าน มีภูเขาที่สำคัญคือ เขาปลายคลองหินเภา เขาแพรเซ้ง เขาหินใส เขาหินแก้ว เขาบางมุดเขาพริก เขาหินดาด ด้านทิศตะวันออกส่วนใหญ่เป็นที่ราบ

ลักษณะธรณีวิทยาของตำบลหินแก้ว เป็นหินในยุคเพอร์โมคาร์บอนิฟอรัส เกือบเต็มพื้นที่ เป็นหินทรายและหินโคลนเนื้อปนกรวดสีเทาแกมเขียว สีเทา เนื้อละเอียดถึงปานกลาง เนื้อแน่นแข็ง ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ หินทราย หินปูน และหินแกรนิต (กรมทรัพยากรธรณี, 2561) ดังภาพที่ 6

ลักษณะและสมบัติดินเป็นดินสีกรมมาก ดินบนมีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย มีสีน้ำตาล ดินล่างมีเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีสีน้ำตาล อุ่มน้ำของดินปานกลาง (กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2561)



ภาพที่ 5 แผนที่ภูมิประเทศตำบลหินแก้ว อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร

3.3 ลักษณะภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศโดยทั่วไปมีฝนตกตลอดปี เนื่องจากได้รับอิทธิพลทั้งจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดผ่านมหาสมุทรอินเดีย ซึ่งจะพัดพาไอน้ำและความชุ่มชื้นทำให้เกิดฝนตกในพื้นที่ศึกษาระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม สำหรับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นลมเย็นและแห้งจากประเทศจีน พัดปกคลุมพื้นที่ศึกษาระหว่างกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ทำให้มีอากาศเย็นลงและฝนชุกต่อเนื่องอีกระยะหนึ่ง โดยเฉพาะเดือนตุลาคมและพฤศจิกายนปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี จากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนของกรมชลประทานในพื้นที่ศึกษา (สถานีบ้านท่าไม้ลาย) เท่ากับ 2,228.20 มิลลิเมตร (ศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคใต้, 2562) (ตารางที่ 1) และพื้นที่ศึกษาอุทกภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 26.8 องศาเซลเซียส (โครงการจัดทำแผนหลักการพัฒนาลุ่มน้ำระดับจังหวัด จังหวัดชุมพร, 2561) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน ปี 2560 ในบริเวณพื้นที่ศึกษา (มิลลิเมตร)

เดือน	สถานี			มิลลิเมตร		
	บ้านท่าแซะ (X.64)	บ้านวังครก (X.158)	บ้านท่าไม้ลาย (X.201)	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด
ม.ค.	3.00	12.90	13.60	13.60	9.83	3.00
ก.พ.	83.00	66.10	32.80	83.00	60.63	32.80
มี.ค.	68.00	83.30	60.20	83.30	70.50	60.20
เม.ย.	115.50	135.90	99.50	135.90	116.97	99.50
พ.ค.	176.50	135.40	138.50	176.50	150.13	135.40
มิ.ย.	110.50	114.60	200.10	200.10	141.73	110.50
ก.ค.	339.00	340.20	435.80	435.80	371.67	339.00
ส.ค.	160.00	98.80	226.90	226.90	161.90	98.80
ก.ย.	88.40	96.10	219.40	219.40	134.63	88.40
ต.ค.	206.40	159.40	300.00	300.00	221.93	159.40
พ.ย.	124.00	78.20	209.90	209.90	137.37	78.20
ธ.ค.	338.00	333.60	291.50	338.00	321.03	291.50

ตารางที่ 2 ข้อมูลภูมิอากาศจังหวัดชุมพร ปี 2561

ข้อมูลภูมิอากาศ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่าเฉลี่ยรายปี
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	25.6 – 28.2	26.8
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	79 – 86.5	82
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	0.90 – 2.1	1.50
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	822.2 – 1,439.5	1,347.5

3.4 ลักษณะทางอุทกวิทยา

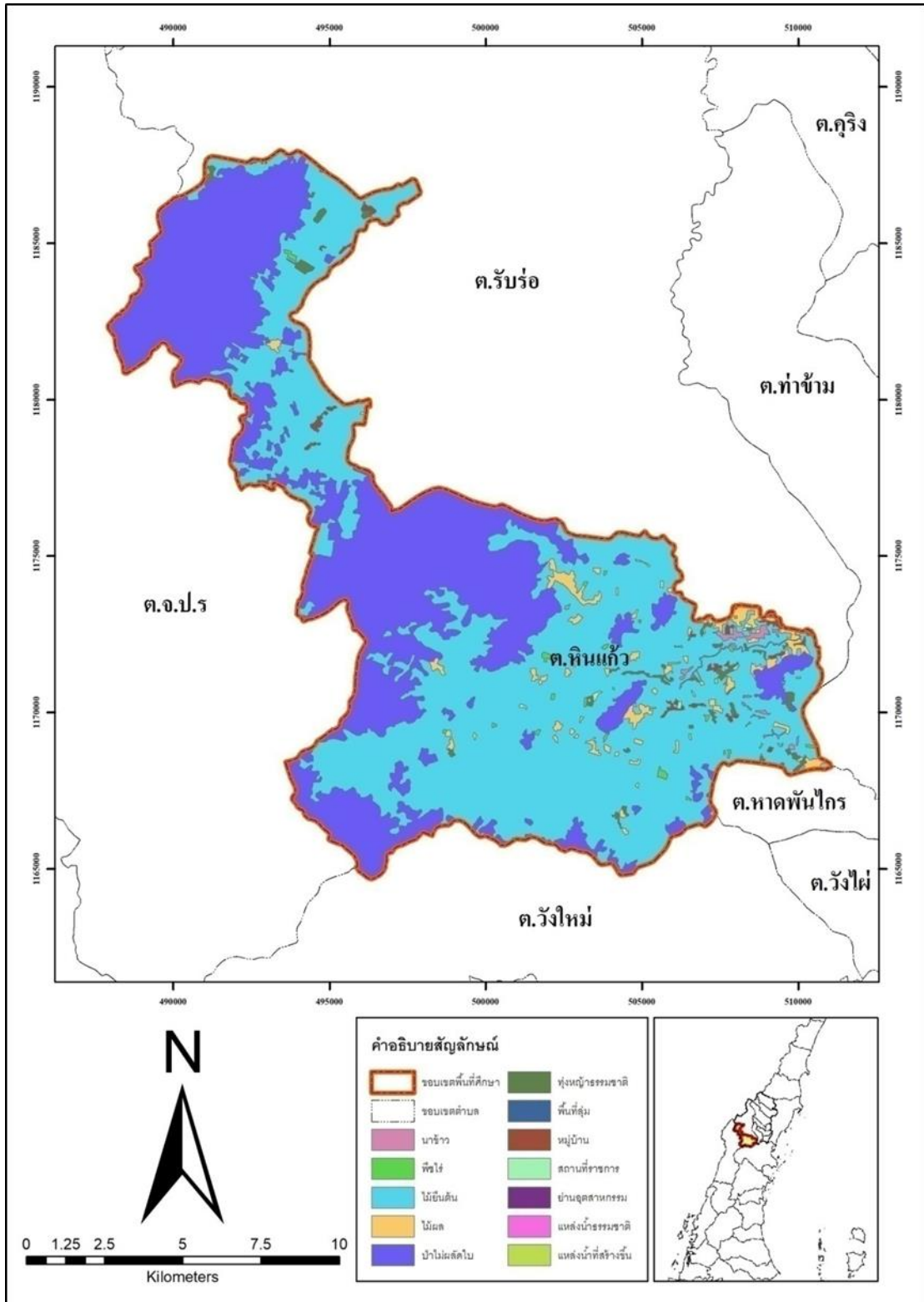
ตำบลหินแก้วมีลำน้ำขนาดเล็กในพื้นที่เป็นจำนวนมาก ลำน้ำที่สำคัญ ได้แก่ คลองพะงัน ที่มีต้นกำเนิดจากเขาบางมุด เขาพริก เขาหินดาต และพื้นที่เขาสูงด้านทิศตะวันตกและทิศใต้ของตำบล มีทิศทางการไหลจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก ลงสู่คลองรับร่อซึ่งไหลผ่านแนวเขตตำบลทางด้านทิศตะวันออก คลองรับร่อเป็นคลองที่มีน้ำไหลตลอดทั้งปี มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาตะนาวศรี บริเวณเขตชายแดนไทยกับพม่าทางตะวันตกเฉียงเหนือของอำเภอปะทิว ไหลผ่านหุบเขาเข้าสู่อำเภอท่าแซะและไหลผ่านไปทางตะวันออกผ่านตำบลรับร่อ ตำบลท่าข้าม ไปรวมกับลำน้ำท่าแซะ ที่ตำบลนากระตามเป็นแม่น้ำท่าตะเภา มีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 72 กิโลเมตร มีพื้นที่รับน้ำทั้งหมดประมาณ 17,386 ไร่

3.5 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

พื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลหินแก้วประมาณร้อยละ 70 เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ได้แก่ พื้นที่ทางด้านทิศตะวันออก ทิศใต้และบางส่วนทางด้านทิศเหนือของตำบล (ภาพที่ 7) พืชที่มีการเพาะปลูกในพื้นที่มากที่สุดคือปาล์มน้ำมัน รองลงมา คือ ยางพารา พื้นที่บางส่วนใช้ในการปลูกข้าว สำหรับชุมชนจะตั้งบ้านเรือนอยู่บริเวณตอนกลางของตำบล บริเวณริมสองฝั่งของถนนสายหลัก และมีบางส่วนตั้งบ้านเรือนอยู่ทางด้านทิศตะวันตก บริเวณริมคลองท่าแซะ

3.6 ลักษณะประชากรและการประกอบอาชีพ

ตำบลหินแก้วมีประชากรทั้งหมด 4,935 คน แยกเป็น ชาย 2,485 คน หญิง 2,450 คน จำนวนครัวเรือน 2,232 หลังคาเรือน (กรมการปกครอง, 2560) แบ่งการปกครองเป็น 6 หมู่บ้าน ได้แก่ หินแก้ว ไนโสม วังพุง ไนรักษ์ จันทิง และนาตินเขา ประชากรมีอาชีพหลัก คือ การทำเกษตรกรรมประเภทการทำสวนทำไร่และมีอาชีพเสริม คือการเลี้ยงสัตว์



ภาพที่ 7 การใช้ประโยชน์ที่ดินตำบลห้วยแก้ว อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร

บทที่ 4

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในส่วนของวิธีการวิจัย ผู้วิจัยจะกล่าวถึงรายละเอียดของการวิจัยในแต่ละลำดับขั้นตอน การวิจัย ได้แก่ การเลือกร่องธารที่ใช้ในการศึกษา การเก็บข้อมูลความสูงต่ำของพื้นผิวบริเวณร่องธาร ด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน การประมวลผลข้อมูลและการสร้างแบบจำลองระดับสูงแสดง ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของร่องธาร วิเคราะห์เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของร่องธาร ในแต่ละช่วงเวลา และการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะ สัณฐานร่องธาร โดยมีรายละเอียดของการวิจัยในแต่ละส่วน ดังต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้แบ่งออกได้เป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นข้อมูลที่ผู้วิจัยทำการสำรวจเอง ในภาคสนาม ได้แก่ ข้อมูลสัณฐานของร่องธารที่เกิดจากการชะล้างของหน้าดิน และ ความลาดชัน ของภูมิประเทศบริเวณร่องธาร ส่วนที่สองเป็นข้อมูลลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา จากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิต่างๆ ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาสามารถแสดงในตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูล	คำอธิบายข้อมูล	ที่มาของข้อมูล
ลักษณะทางสัณฐาน และความลาดชัน ของร่องธาร	ข้อมูลระดับสูงต่ำของพื้นดินที่เกิดการชะล้างแบบ ร่องธารและลักษณะสัณฐานแบบร่องธาร ได้แก่ ความกว้าง ความลึก และความลาดชัน	สำรวจในภาคสนาม ด้วยการใช้อุปกรณ์ สแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน
ปริมาณน้ำฝน	ค่าเฉลี่ยของค่าตรวจวัดปริมาณน้ำฝนรายวัน จาก 3 สถานีที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ศึกษา ได้แก่ 1. สถานีบ้านท่าแซะ (X.64) 2. สถานีบ้านวังครก (X.158) 3. สถานีบ้านท่าไม้ลาย (X.201)	ศูนย์อุทกวิทยา ชลประทานภาคใต้ กรมชลประทาน

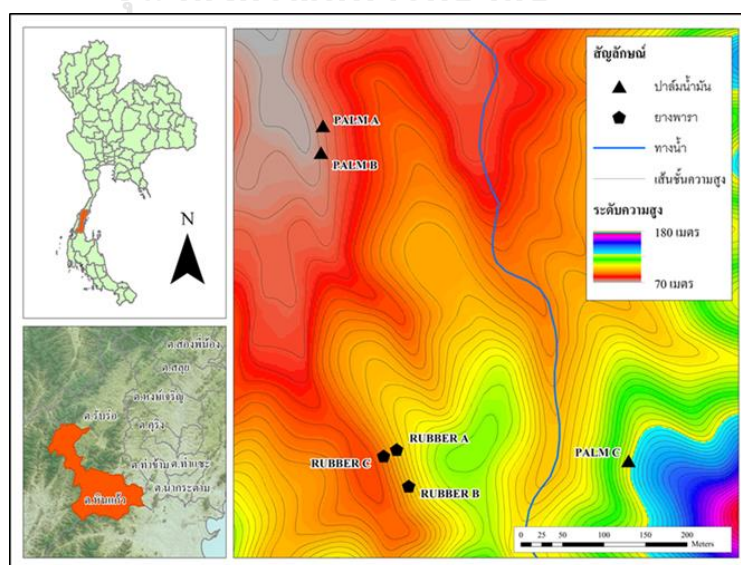
ตารางที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย (ต่อ)

ข้อมูล	คำอธิบายข้อมูล	ที่มาของข้อมูล
ลักษณะทางกายภาพของดิน	สัดส่วนของอนุภาคกรวด (gravel) ทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) ของดินบริเวณร่องธารที่ศึกษา	ห้องปฏิบัติการ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	แผนที่แสดงประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดชุมพร ข้อมูล Shape file	กรมพัฒนาที่ดิน
ลักษณะภูมิประเทศ	แบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลขขนาดจุดภาพ 2 เมตร	ส่วนเทคโนโลยี ภูมิสารสนเทศ กรมชลประทาน

4.2 การเก็บข้อมูลเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานของการชะล้างแบบร่องธาร

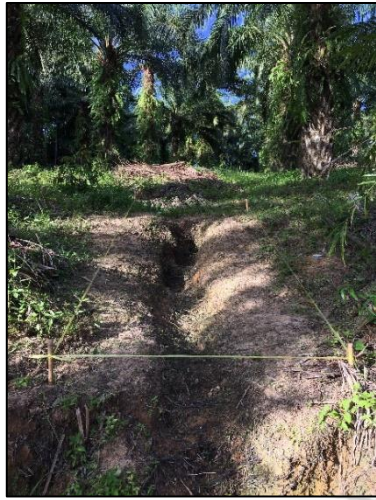
4.2.1 การกำหนดร่องธารในการศึกษา

ผู้วิจัยเลือกร่องธารที่ต้องการศึกษาจำนวน 6 ร่องธาร (ภาพที่ 9) อยู่ใน ต. หินแก้ว อ.ท่าแซะ จ.ชุมพร (ภาพที่ 8) โดยกำหนดพื้นที่ศึกษาครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ร่องธารตามความยาวของร่องมีขนาด 5 เมตร และจากกึ่งกลางร่องธารข้างละ 2 เมตร 2 x 5 เมตร โดยเลือกร่องธารที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาอิทธิพลของของปัจจัยเหล่านั้นต่อการขยายตัวของร่องธารแตกต่างกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้



ภาพที่ 8 แผนที่แสดงตำแหน่งร่องธารที่ศึกษา

Palm A



Rubber A



Palm B



Rubber B



Palm C



Rubber C



ภาพที่ 9 ร่องธาร A, B และ C ในสวนปาล์ม (ซ้าย) และร่องธาร A, B และ C ในสวนยางพารา (ขวา)

4.2.1.2 ความลาดชัน

ความลาดชันเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการเกิดการการชะล้างแบบร่องธารและการขยายตัวของร่องธาร การชะล้างหน้าดินมีความรุนแรงเกิดได้มากขึ้นเมื่อพื้นที่มีความลาดเอียง (slope gradient) สูง ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณและความเร็วของน้ำที่ไหลบ่าหน้าดิน หากในพื้นที่ลาดเอียงน้อย (น้อยกว่า 16%) การชะล้างหน้าดินเกิดขึ้นจากพลังงานจลน์ของการปะทะหน้าดินของเม็ดฝนทำให้เม็ดดินแตกกระจาย (Wooddruff, 1948) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกร่องธารที่จะศึกษาที่มีระดับความลาดชัน 3 ระดับ ระดับละ 2 ร่องธาร (ตารางที่ 4) ได้แก่

- ร่องธารที่มีความลาดชัน น้อยกว่า 30%
- ร่องธารที่มีความลาดชัน 30% - 45% และ
- ร่องธารที่มีความลาดชัน มากกว่า 45% ขึ้นไป

ตารางที่ 4 ลักษณะของร่องธารที่ใช้ในการศึกษา

ร่องธาร	ตำแหน่งของร่องธาร	พืชปกคลุม	ระดับความลาดชัน Z (%)
Palm A	500271.411 E, 1166898.669 N	ปาล์มน้ำมัน	30.75
Palm B	500269.212 E, 1166866.320 N	ปาล์มน้ำมัน	38.12
Palm C	500639.223 E, 1166494.663 N	ปาล์มน้ำมัน	49.96
Rubber A	500360.407 E, 1166508.276 N	ยางพารา	30.96
Rubber B	500374.694 E, 1166464.203 N	ยางพารา	37.10
Rubber C	500344.646 E, 1166500.535 N	ยางพารา	60.51

4.2.1.3 สมบัติของดิน

เป็นปัจจัยที่แสดงถึงความสามารถในการต้านทานการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนย้าย ซึ่งมีปัจจัยที่ส่งผลให้ความคงทนของดินแตกต่างกันไป เช่น ดินเหนียว มีอนุภาคเล็กละเอียดยึดเกาะหน้าดินได้ดี ทนทานต่อการถูกทำลายจากน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับดินร่วนที่มีขนาดของเม็ดดินขนาดทรายแป้ง จะถูกเคลื่อนย้ายได้ง่ายจึงมีความเสี่ยงที่จะเกิดการชะล้างมากกว่าดินเหนียว โดยเก็บตัวอย่างของดินบริเวณร่องธารและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของกรมชลประทานเพื่อหาสัดส่วนอนุภาคในดินและขนาดอนุภาคเฉลี่ย D50 (ตารางที่ 3)

4.2.1.4 ลักษณะพืชพรรณที่ปกคลุมหน้าดิน

เกษม จันทรแก้ว และ นิพนธ์ ตั้งธรรม (2517) และ Wooldridge (1964) กล่าวว่าพืชและสิ่งปกคลุมดินนั้นมีบทบาทที่สำคัญอย่างมากต่อการชะล้างพังทลายของดิน เนื่องจากสภาพของพืชพรรณที่ปกคลุมติดต่อกันจะช่วยลดปริมาณน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นดินตลอดจนแรงปะทะหรือพลังงานจลน์ของเม็ดฝน และช่วยชะลอการไหลบ่าของน้ำหน้าดินให้ช้าลงด้วย ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาร่องธารในพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมดิน 2 ประเภทคือปาล์มน้ำมัน และยางพารา เนื่องจากพืชทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะเรือนยอดที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 11) จึงมีความหนาแน่นของใบพืชที่ปกคลุมร่องธารจึงต่างกัน จึงส่งผลให้มีปริมาณน้ำฝนที่ผ่านเรือนยอดตกลงถึงพื้นดินและทำให้เกิดการชะล้างแบบร่องธารมีความต่างกันด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 11 ลักษณะทรงพุ่มของปาล์มน้ำมันและยางพารา

4.2.2 การใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินในการเก็บข้อมูลพื้นฐานของร่องธาร

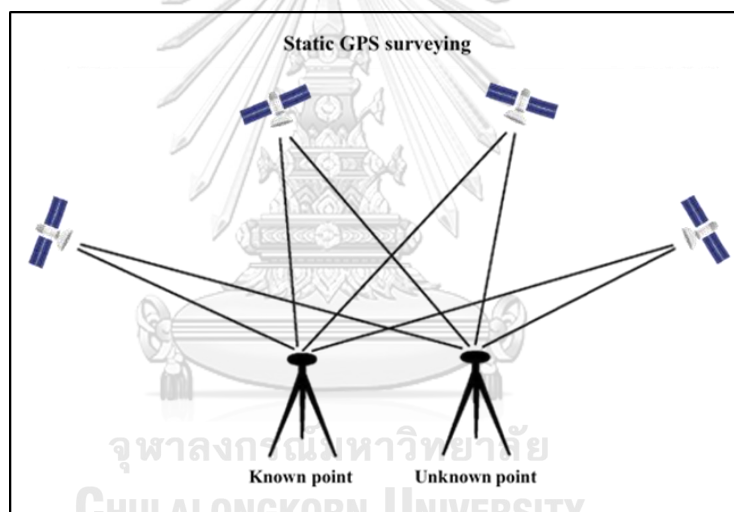
ในการศึกษานี้ผู้วิจัยต้องการติดตามการเปลี่ยนแปลงของร่องธาร โดยการใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินในการเก็บข้อมูล ซึ่งเครื่องมือชนิดนี้สามารถเก็บข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว และมีความแม่นยำสูง

ในการเก็บข้อมูลใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินยี่ห้อ Leica รุ่น P20 ซึ่งมีระยะการสแกนได้ไกลสุดประมาณ 120 เมตร มีมุมการสแกน 360 องศาในแนวนอน และ 270 ในแนวตั้ง ค่าความถูกต้องของพอยท์คลาวด์ 3.1 มิลลิเมตร ที่ระยะการสแกนไม่เกิน 50 เมตร และความถูกต้อง 6 มิลลิเมตร ที่ระยะการสแกนไม่เกิน 100 เมตร และสามารถเก็บข้อมูลได้ 1,000,000 จุด/วินาที

(Leica Geosystems, 2013) การเก็บข้อมูลด้วยเครื่องเลเซอร์ด้วยเครื่องเลเซอร์ภาคพื้นดิน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.2.2.1 กำหนดค่าพิกัดตำแหน่งของร่องธาร

ขั้นตอนแรกเป็นการกำหนดค่าพิกัดให้กับร่องธารที่ศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการสร้างจุดควบคุม (Control Point) และโยงค่าพิกัดเข้าสู่จุดควบคุมด้วยวิธีรังวัดแบบสถิต (Static Survey) ซึ่งเป็นวิธีการรังวัดเพื่อกำหนดตำแหน่งจากดาวเทียม GNSS โดยนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปตั้งรับสัญญาณที่ตำแหน่งจุดที่ทราบค่าและตำแหน่งจุดควบคุม โดยใช้เวลาในการรับสัญญาณไม่น้อยกว่าหนึ่งชั่วโมง แล้วนำผลการรังวัดมาประมวลผลบนพื้นหลักฐานสากล WGS 84 (World Geodetic System 1984) เมื่อกำหนดพิกัดของจุดควบคุมในการรังวัดได้ จึงสามารถกำหนดพิกัดของร่องธารที่ศึกษาได้ (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 การโยงค่าพิกัดด้วยวิธี Static

(ที่มา: Abdulmajed, 2017)

4.2.2.2 การกำหนดตำแหน่งการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

การเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วน จำเป็นต้องย้ายจุดตั้งกล้องอย่างน้อย 3 จุด ระยะระหว่างพื้นที่ศึกษากับเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินไม่เกิน 50 เมตร ให้สามารถเก็บข้อมูลครบทุกด้าน จึงจะนำมาประมวลผลเป็น 3 มิติได้ ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 จุดตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

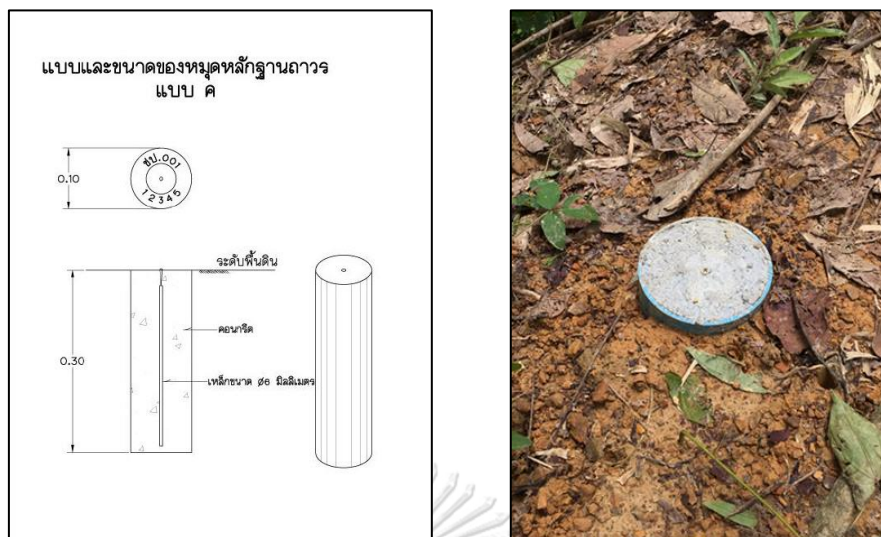
4.2.2.3 การสร้างหมุดหลักฐาน

เพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนในทางตำแหน่งในการเก็บข้อมูลรูปทรงสัญญาณของร่องธารครั้งถัดไป ผู้วิจัยได้ดำเนินการหล่อหมุดและฝังลงไปในพื้นที่ดิน เพื่อให้สามารถตั้งเครื่องมือได้ในตำแหน่งเดิม การหล่อหมุดในการศึกษานี้เป็นไปตามมาตรฐานของการสร้างหมุดหลักฐานของสำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา (ส่วนวิศวกรรม สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา, 2560) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- พิจารณาเลือกที่ตั้งจุดควบคุมให้เหมาะสม ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มั่นคง แข็งแรง พื้นดินโดยรอบมีการอัดตัวแน่น เป็นตำแหน่งที่เด่นชัด ง่ายต่อการค้นหา และอยู่ในที่โล่ง เพื่อให้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทำงานได้ดี

- วัสดุที่ใช้สร้างจุดควบคุมเป็นคอนกรีตผสมระหว่าง ปูน - ทราย - หิน โดยหล่อตามแบบมาตรฐานที่กำหนดไว้ก่อนแล้วจึงนำไปฝังตามตำแหน่งที่กำหนดไว้

- แบบของจุดควบคุมที่ใช้มีลักษณะเป็นแบบหมุดหลักฐานถาวรแบบ ค. มีลักษณะเป็นท่อกกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 X 0.30 เมตร ดังภาพที่ 14



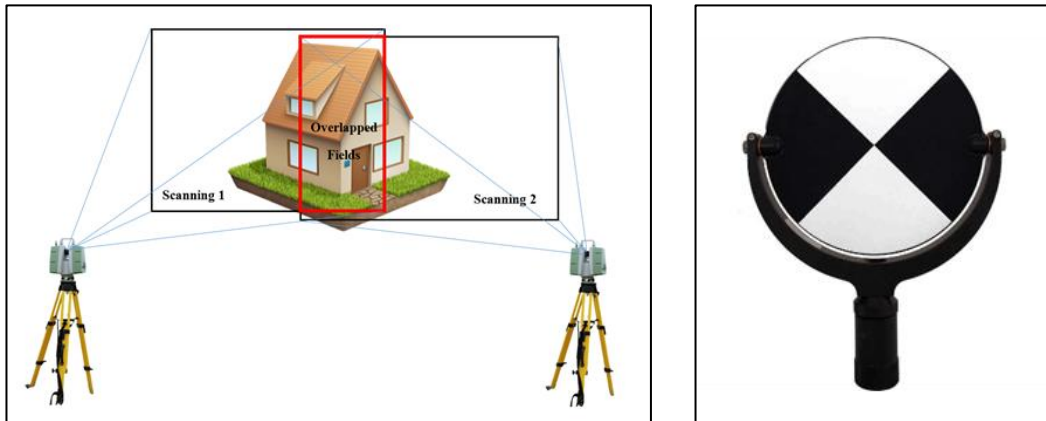
ภาพที่ 14 แบบและขนาดของหมุดหลักฐานตามมาตรฐาน กรมชลประทาน

4.2.2.4 การกำหนดรายละเอียดในการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน การติดตามการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของร่องธาร ด้วยการใช้อุปกรณ์สแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินตั้งค่าความละเอียดในการจัดเก็บข้อมูลจุดความสูงหรือข้อมูลพอยท์คลาวด์ (point cloud) ที่ 3.1 มิลลิเมตร พร้อมทั้งถ่ายภาพหลังจากสแกนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลแต่ละร่องธารจะถูกจัดเก็บแยกเป็นร่องธารละ 1 แฟ้มข้อมูล

4.3 การประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในภาคสนามด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

4.3.1 การนำเข้าข้อมูล Point Cloud

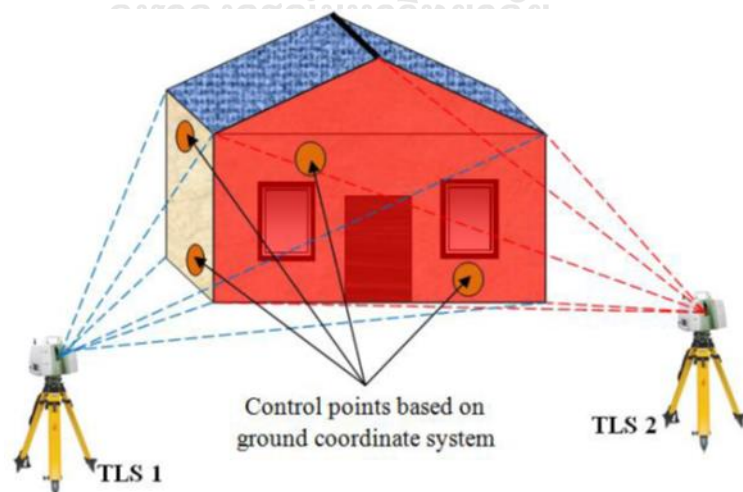
การประมวลผลข้อมูลพอยท์คลาวด์นั้น ทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม Cyclone ลักษณะของข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในรูปแบบ 1 แฟ้มข้อมูล เท่ากับ 1 ตำแหน่งของการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ซึ่งในแต่ละแฟ้มข้อมูลจะประกอบด้วยข้อมูลพอยท์คลาวด์และข้อมูลภาพถ่าย การเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินนั้น ในหนึ่งพื้นที่จะประกอบด้วยหลายๆ ตำแหน่งของการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ดังนั้นเมื่อนำเข้าข้อมูลด้วยโปรแกรม Cyclone แล้วจะต้องทำการเชื่อมโยงข้อมูลในแต่ละตำแหน่งให้เป็นข้อมูลเดียวกันโดยการอาศัยตำแหน่งที่เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน 2 สถานีเก็บข้อมูลได้ร่วมกันจำนวนไม่น้อยกว่า 3 ตำแหน่ง โดยผู้วิจัยได้ใช้วิธีการตั้งเป้า แบบสีเทา - ขาว (Black and White Target) ซึ่งจะใช้จุดตัดกลางเป้าเป็นจุดเชื่อมต่อ ดังแสดงภาพที่ 15



ภาพที่ 15 การเชื่อมโยงข้อมูล (ซ้าย), Black and White Target (ขวา)

4.3.2 การยึดโยงค่าพิกัดของข้อมูลพอยท์คลาวด์

การประมวลผลข้อมูลพอยท์คลาวด์ที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินไปยังระบบพิกัดโลก ผู้วิจัยใช้วิธีการรังวัดพิกัดทางอ้อม (indirect georeferencing) กระบวนการรังวัดจะต้องอาศัยการประมวลผลข้อมูลโยงพิกัด 3 มิติ (georeferencing) จากระบบพิกัดตำแหน่งของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินไปยังพิกัดบนพื้นโลกที่ต้องการ (ภาพที่ 16) ซึ่งมีความถูกต้องสูงกว่าวิธีการรังวัดยึดโยงค่าพิกัดทางตรง โดยจำเป็นต้องใช้จุดที่ทราบค่าพิกัดอย่างน้อย 3 จุด ต่อข้อมูลที่ได้ทำการเชื่อมโยงกันแล้ว และประมวลผลด้วยโปรแกรม Cyclone (ณัฐสรณ์ คุปตะวาณิช, 2558)

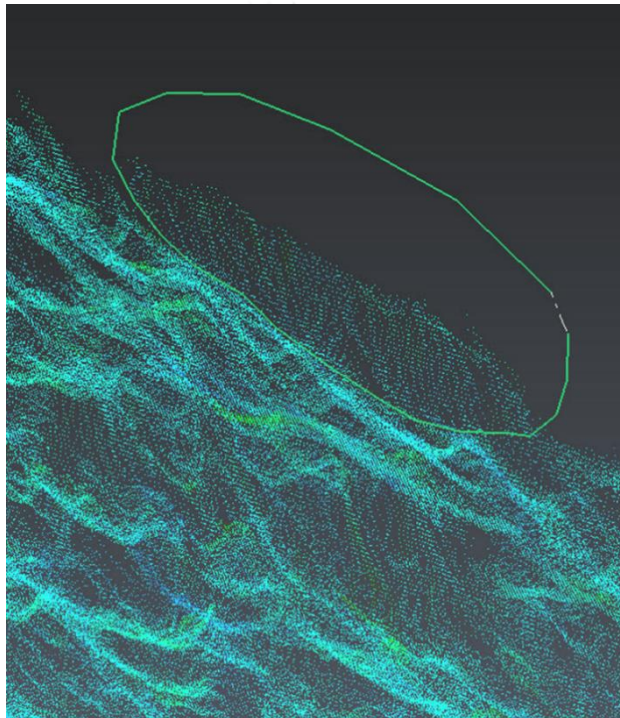


ภาพที่ 16 การยึดโยงค่าพิกัดของข้อมูลพอยท์คลาวด์แบบทางอ้อม (indirect georeferencing)

(ที่มา: Abbas et al., 2014)

4.3.3 การขจัดข้อมูล (Data Cleanup)

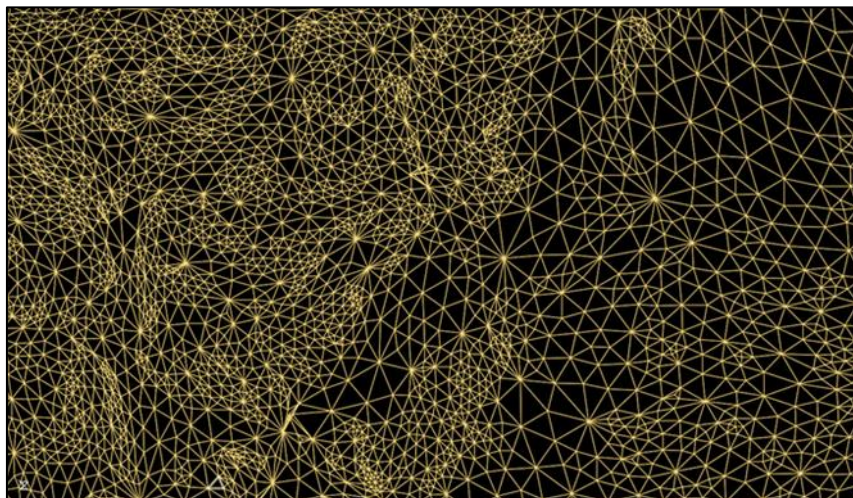
หลังจากการให้ค่าพิกัดแก่ ข้อมูลกลุ่มจุดแล้ว ผู้วิจัยทำการขจัดข้อมูล (Data Cleanup) โครงสร้างหรือวัตถุที่ไม่ต้องการออกไปทั้งหมด รวมถึงข้อมูลที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บ ด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ซึ่งเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือ การคลาดเคลื่อนจากการสะท้อนวัตถุ เป็นต้น ทำให้ตำแหน่งจุดที่ได้รับมานั้นไม่ได้อยู่ที่พื้นผิวของวัตถุ แต่ลอยกระจัดกระจายอยู่รอบบริเวณวัตถุ หรือพื้นผิวนั้นๆ การขจัดข้อมูลเป็นขั้นตอนสำคัญก่อนที่จะนำข้อมูลไปสร้างแบบจำลองสามมิติ ดังภาพที่ 17



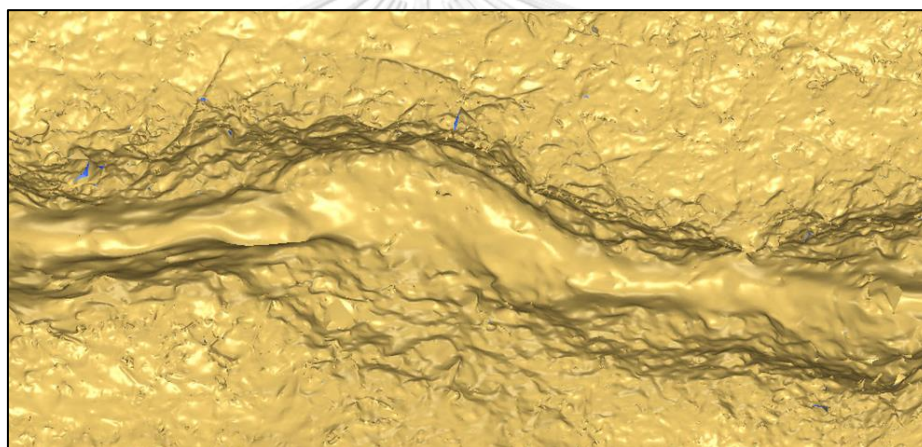
ภาพที่ 17 ขั้นตอนการขจัดข้อมูล point clouds ที่ไม่ต้องการออกก่อนนำไปสร้างเป็นแบบจำลองความสูงต่ำของพื้นผิวภูมิประเทศ

4.3.4 การสร้างข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Digital Elevation Model: DEM)

เมื่อขจัดข้อมูลที่เป็นออกแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการสร้างพื้นผิวของภูมิประเทศ เริ่มต้นจากการสร้างพื้นผิวที่มีลักษณะ เป็นตาข่าย (Mesh) ดังแสดงในภาพที่ 18 ซึ่งจะนำข้อมูลนี้แปลงเป็นพื้นผิวหลังจากได้สร้างโครงข่ายสามเหลี่ยมแล้ว (Rüther et al., 2012) พื้นผิวที่สร้างขึ้นนี้เป็นพื้นผิวที่มีค่าโดยประมาณของพื้นผิวที่แท้จริงของวัตถุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่จะเชื่อมต่อข้อมูลพอยท์คลาวด์เข้าด้วยกันทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 19



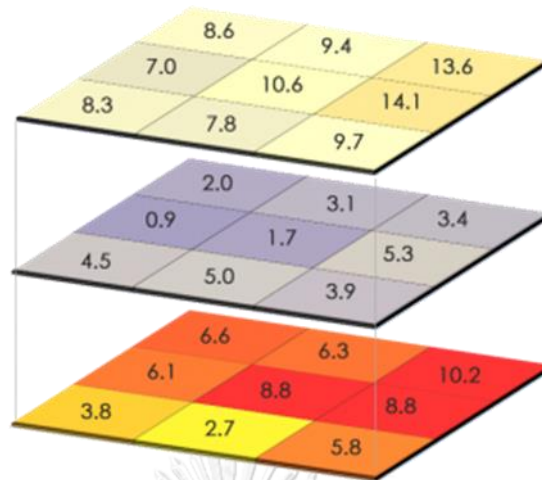
ภาพที่ 18 การสร้างพื้นผิวตาข่ายแบบสามเหลี่ยม (Mesh) เพื่อสร้างข้อมูลสามมิติจากจุดความสูง



ภาพที่ 19 ลักษณะพื้นผิวภูมิประเทศบริเวณที่มีการชะล้างแบบร่องธาร
ของร่องธาร B ในสวนยางพารา

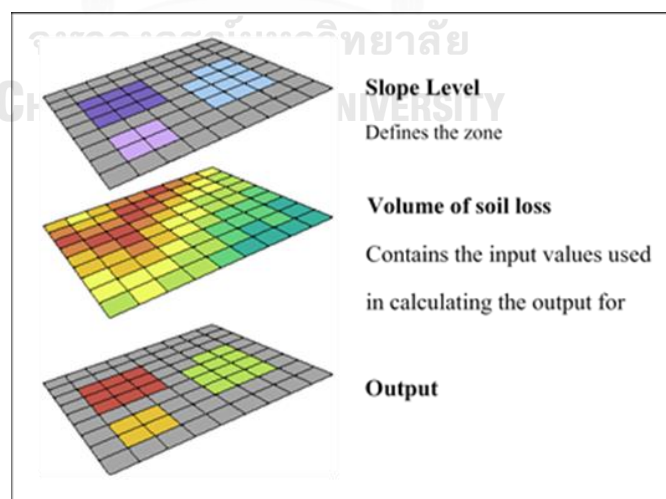
4.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของร่องธาร

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของร่องธารใช้ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) ของร่องธารแต่ละแห่งในแต่ละช่วงเวลามาเปรียบเทียบกันด้วยวิธีซ้อนทับกัน (Overlay) และทำการวิเคราะห์แบบแรสเตอร์ (Raster Analysis) ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.6.1 เพื่อระบุพื้นที่ในร่องธารที่มีระดับความสูงเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณดิน (ทับถม) (ภาพที่ 20) และพื้นที่ที่มีระดับความสูงลดลงจากการกร่อนของหน้าดิน (ชะล้าง)



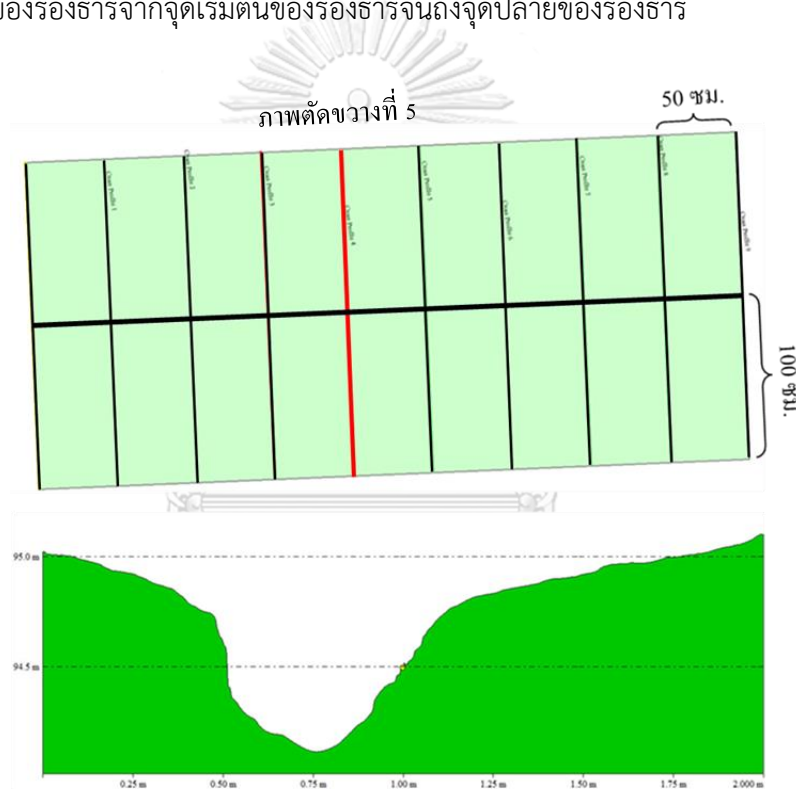
ภาพที่ 20 การวิเคราะห์แบบแรสเตอร์ (Raster Analysis) ด้วยการวางซ้อนทับกันและ
คำนวณความแตกต่างของข้อมูลในแต่ละกริด (ดัดแปลงจาก GISGeography, 2019)
(ที่มา: GIS Geography, 2019)

ผู้วิจัยยังศึกษาว่าความลาดชันในร่องธารมีผลอย่างไรกับการเปลี่ยนแปลงความสูงต่ำของ
พื้นผิวและการสูญเสียหน้าดิน จึงคำนวณการเปลี่ยนแปลงสุทธิความสูงต่ำของพื้นผิวและของปริมาณ
ดิน (ลูกบาศก์เมตร) ตามระดับความลาดชันภายในร่องธาร โดยแบ่งความลาดชันออกเป็น 3 ระดับ
ได้แก่ น้อยกว่า 30%, ระหว่าง 30%-45% และมากกว่า 45% ขึ้นไป และคำนวณด้วยวิธี Zonal
statistics ในโปรแกรม ArcGIS ดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การวิเคราะห์พื้นผิวความสูงต่ำภูมิประเทศด้วยวิธี Zonal statistics
(ดัดแปลงจากคู่มือ ArcGIS Pro, 2020)
(ที่มา: ESRI, 2020)

นอกจากนี้ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัญญาณในแต่ละตำแหน่งของร่องธาร ด้านความลึก ความกว้างและความลาดชันของร่องธารในแต่ละช่วงเวลา ด้วยการพิจารณาจาก ภาพตัดขวาง (cross section) ซึ่งได้แบ่งออกทั้งหมดเป็น 10 ระยะ ห่างกันทุก 50 เซนติเมตร ตามแนวยาวของร่องธารและจากจุดกึ่งกลางของร่องธารตามแนวขวางทุกระยะ 1 เซนติเมตร รวมทั้งสิ้น ข้างละ 100 เซนติเมตร (ภาพที่ 22) ในการเปลี่ยนแปลงความลึก ผู้วิจัยกำหนดระดับความ ลึกจากจุดต่ำที่สุดของร่องธารเปรียบเทียบกับกันในแต่ละช่วงเวลา สำหรับความกว้างของร่องธาร กำหนดจากตลิ่งซ้ายขวาของร่องธารระดับความสูงเดียวกัน และความลาดชันของร่องธาร พิจารณา จากการลาดของร่องธารจากจุดเริ่มต้นของร่องธารจนถึงจุดปลายของร่องธาร



ภาพที่ 22 ลักษณะการกำหนดแนวหน้าตัดขวาง (บน) และลักษณะของภาพตัดขวาง (ล่าง) ของร่องธาร B ในสวนยางพารา

4.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพและการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานของร่องธาร

ผู้วิจัยวิเคราะห์ความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานร่องธารของปริมาณดินสูญเสียสุทธิกับปัจจัยทางกายภาพต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อศึกษาว่าแต่ละปัจจัยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของร่องธารได้มากน้อยเพียงใด ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอยเชิงเส้น (correlation and regression analysis) โดยวิเคราะห์ 2 แบบ กล่าวคือ รูปแบบแรกเป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของร่องธารตามช่วงเวลาซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์แยกแต่ละร่องธารเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของฝนต่อการเปลี่ยนแปลงของร่องธาร รูปแบบที่สองเป็นการวิเคราะห์ทุกร่องธารพร้อมกันภายในช่วงเวลาการเก็บข้อมูลเดียวกันเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยทางกายภาพต่างๆ ของร่องธารที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงร่องธารที่แตกต่างกัน ปัจจัยที่นำมาพิจารณามีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 ฝน

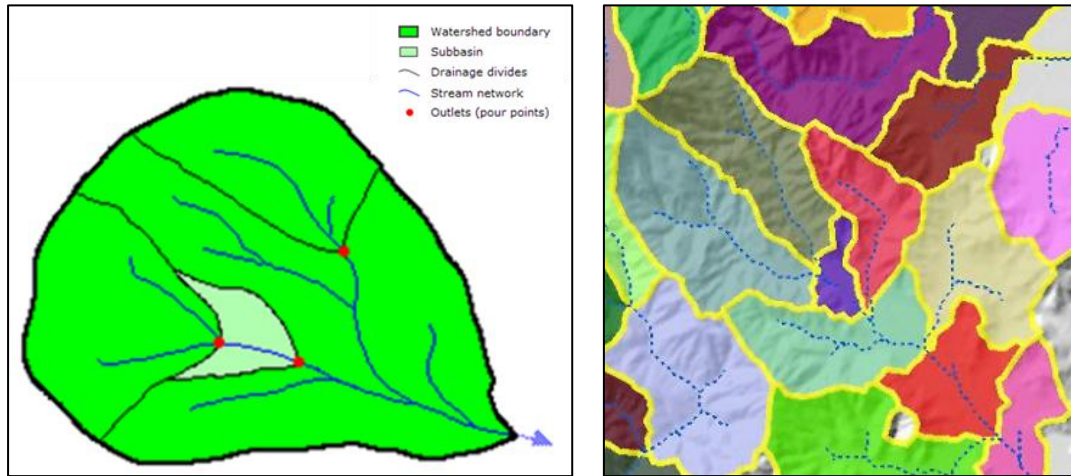
ผู้วิจัยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการชะล้างในร่องธารกับลักษณะของฝนในด้านต่างๆ ได้แก่ ปริมาณฝนรวม (มิลลิเมตร), ความเข้มฝนรายวันสูงสุด (มิลลิเมตร), ความเข้มฝนเฉลี่ยรายวัน (มิลลิเมตร) และจำนวนวันที่ฝนตก ในการคำนวณปริมาณฝนในพื้นที่ศึกษา ผู้วิจัยคำนวณปริมาณฝนเฉลี่ยด้วยวิธี Inverse Distance Weight (IDW) มีหลักการคือ สถานีวัดน้ำฝนในตำแหน่งใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษาย่อมมีอิทธิพลในการคำนวณค่าปริมาณฝนในพื้นที่ศึกษามากกว่าสถานีน้ำฝนที่อยู่ในตำแหน่งที่ห่างออกไป ดังนั้นตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ใกล้ร่องธารมากที่สุดจะมีน้ำหนักความสำคัญมากกว่า จึงเป็นการประมาณค่าให้กับจุดที่ไม่ทราบค่าจากผลรวมเชิงเส้นของค่าที่ทราบแล้วถ่วงน้ำหนักจุดให้ถูกจำกัดด้วยระยะทาง ค่าถ่วงน้ำหนักนี้จะเปลี่ยนแปลงตามระยะทางจากจุดที่ไม่ทราบค่าไปยังจุดที่ทราบค่าจุดต่อไป เมื่อคำนวณปริมาณน้ำฝนตัวแทนของพื้นที่ศึกษาได้แล้ว ผู้วิจัยได้หาค่าน้ำฝนจริงที่ตกถึงพื้นดินหลังจากการหักปริมาณน้ำฝนที่ถูกดักจากพืชพรรณ (interception) ในสวนปาล์ม 30% และในสวนยางพารา 12% ซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยเรื่องการสกัดกั้นฝนในสวนปาล์ม (Jourdan et al., 2000) และการสกัดกั้นฝนในสวนยางพารา (Yusop et al., 2003) ในการวิเคราะห์ได้กำหนดช่วงเวลาการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานของร่องธารตามปริมาณน้ำฝนสะสมในตำแหน่งที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50, 75 และ 100 ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลของปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) ความชื้นฝนเฉลี่ย (มิลลิเมตรต่อวัน) และจำนวนวันที่ฝนตก (วัน) ในแต่ละช่วงเวลาในการศึกษาการเปลี่ยนแปลง

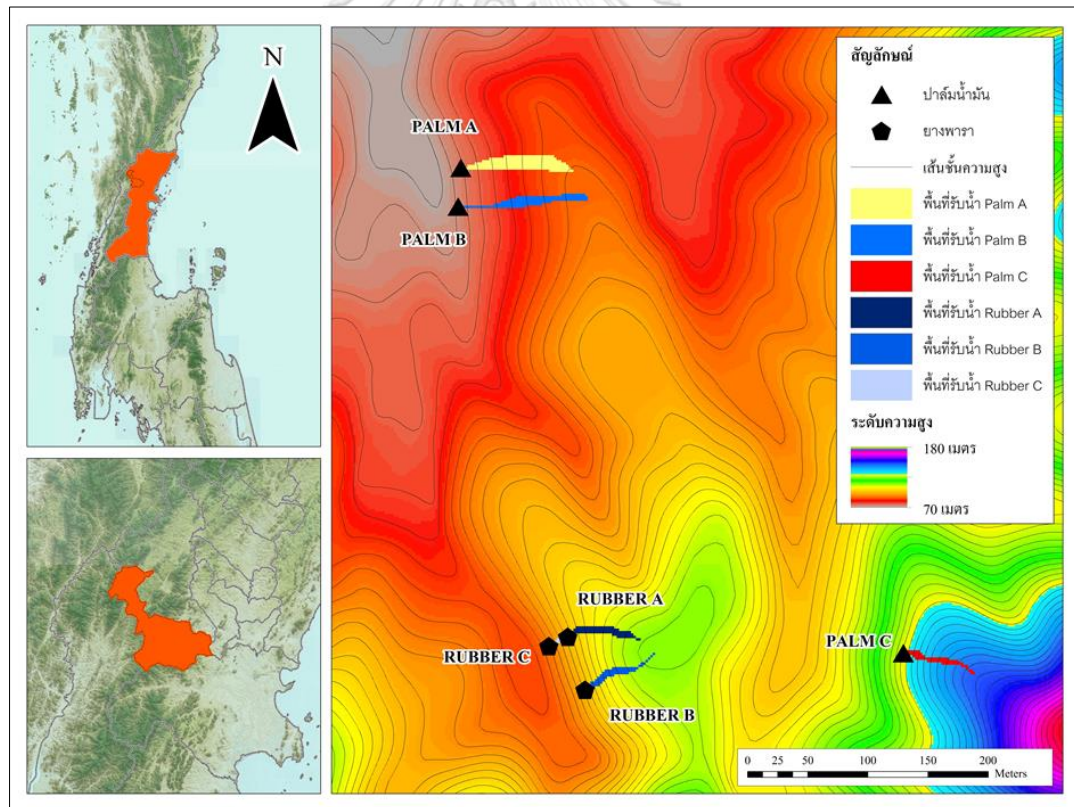
ลิ่งปกคลุมดิน	ป่าสนน้ำมัน			ยางพารา		
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3
	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 (1 ก.ค.-13 ส.ค.)	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 (14 ส.ค.-13 ต.ค.)	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 100 (14 ต.ค.-22 ธ.ค.)	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 (1 ก.ค.-13 ส.ค.)	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 75 (14 ส.ค.-13 ต.ค.)	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 100 (14 ต.ค.-22 ธ.ค.)
ปริมาณน้ำฝน	484.46	139.64	182.4	609.03	264.21	306.97
ความชื้นฝนเฉลี่ย	21.33	14.8	20.32	21.51	14.98	20.5
จำนวนวันที่ฝนตก	32	23	20	32	23	20

4.5.2 พื้นที่รับน้ำ

พื้นที่รับน้ำของแต่ละร่องธารนั้นแสดงถึงปริมาณของน้ำที่ร่องธารได้รับ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัณฐาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำของร่องธาร (ภาพที่ 24) โดยเป็นกระบวนการต่อเนื่องของการหาทิศทางการไหลของน้ำ ด้วยโปรแกรม ArcGIS ด้วยการใช้แบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลขของส่วนเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา กรมชลประทาน ขนาดจุดภาพ 2 เมตร สร้างจากเส้นชั้นความสูง 2 เมตร เพื่อคำนวณหาทิศทางการไหลของน้ำ (flow direction) แล้วนำมาประมวลผลรวมหน่วยการไหลสะสมของจำนวนหน่วยข้อมูลที่ไหลจากพื้นที่ที่อยู่สูงกว่า (flow accumulation) และกำหนดแนวลำน้ำ (ร่องธาร) จากผลรวมหน่วยการไหลสะสมที่มากที่สุดแต่ไม่น้อยกว่าค่าขอบเขตการไหลสะสมและเส้นพื้นที่ลุ่มน้ำกำหนดจากหน่วยข้อมูล ที่ทำการระบายน้ำผ่านหน่วยข้อมูลดังกล่าว ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 หลักการหาพื้นที่รับน้ำ
(ที่มา: ESRI, 2020)



ภาพที่ 24 แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่รับน้ำในสวนปาล์มและสวนยางพารา

4.5.3 ความลาดชันของพื้นที่รับน้ำ

เมื่อผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำแล้ว จึงคำนวณความลาดชันของพื้นที่รับน้ำจากจุดสูงที่สุดไปยังจุดต่ำสุดของพื้นที่รับน้ำบริเวณร่องธารศึกษา โดยใช้วิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{slope} = \frac{Y}{X} \times 100 \quad (1)$$

โดย slope = ความลาดชัน (เปอร์เซ็นต์)
 Y = ระยะทางตั้ง (เมตร)
 X = ระยะทางราบ

4.5.4 คุณสมบัติของดิน

ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษาเพื่อนำไปวิเคราะห์ ในห้องปฏิบัติการของสำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน เป็นการทดสอบคุณสมบัติของดินด้วยมาตรฐานการทดสอบในห้องปฏิบัติการ 2 อย่าง คือ การทดสอบหาขนาดคละของดินด้วยตะแกรง (Sieve Analysis), การทดสอบการหาขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) และขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) หรือที่เรียกว่า “Atterberg’s Limits Test” จะจำแนกประเภทของดินโดยระบบ Unified ซึ่งจำแนกดินออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ดินเม็ดหยาบ (Coarse-grained) และดินเม็ดละเอียด (Fine-grained) โดยดินที่มีค่าร้อยละการผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่าร้อยละ 50 จะถือว่าเป็นดินเม็ดหยาบ ซึ่งได้แก่ กรวดและดินทราย โดยจะใช้สัญลักษณ์ G และ S แทนตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม หากดินมีค่าร้อยละการผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 50 จะถือว่าเป็นดินเม็ดละเอียด ซึ่งได้แก่ดินตะกอนและดินเหนียว โดยจะถูกแทนที่ด้วยสัญลักษณ์ M และ C ตามลำดับ

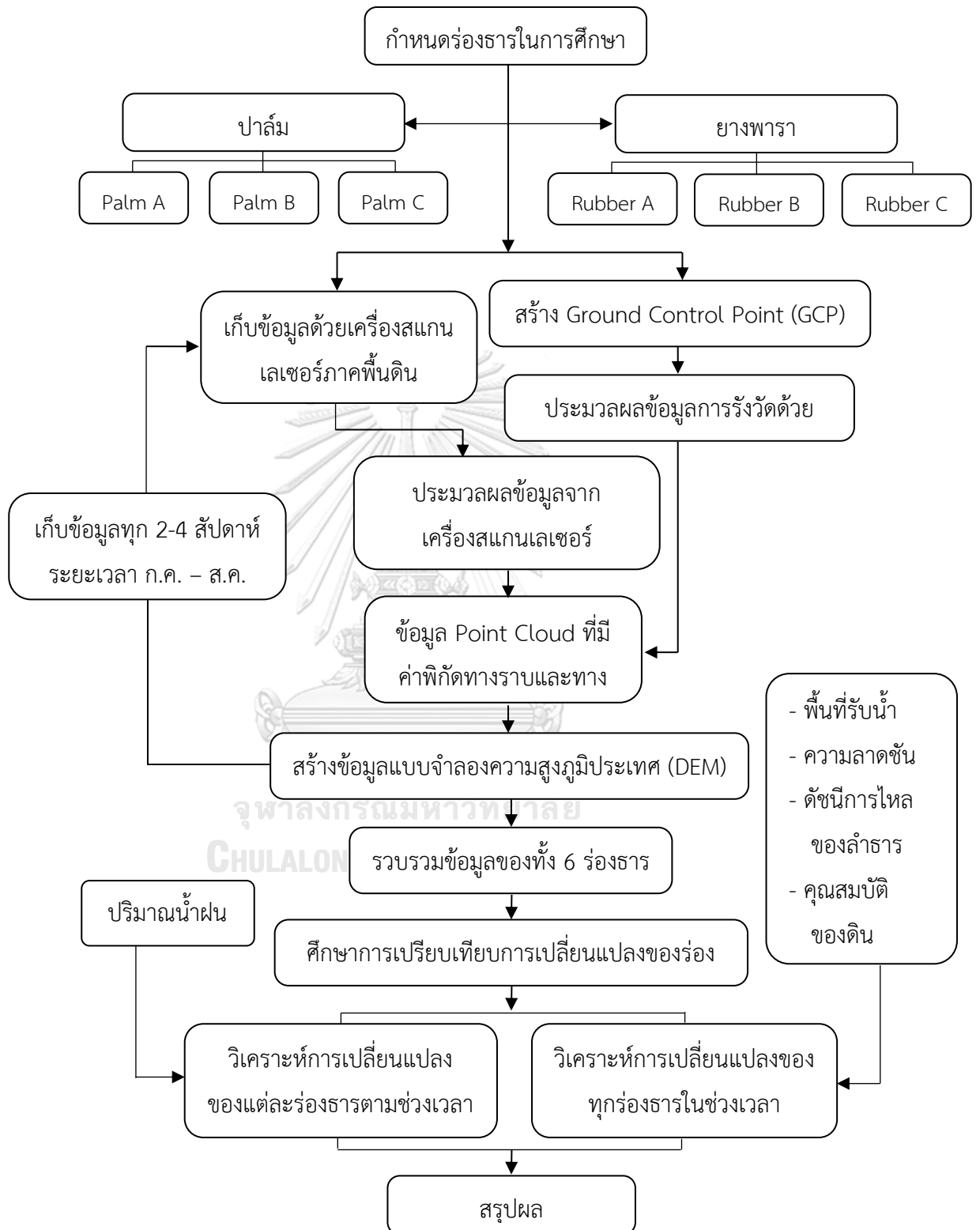
4.5.5 ดัชนีการไหลของลำธาร (Stream Power Index: SPI)

ดัชนีการไหลของลำธารเป็นดัชนีที่สามารถอธิบายถึงศักยภาพการชะล้างพังทลายที่เกิดจากการไหลของน้ำที่อาจเกิดขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่งของพื้นที่ลุ่มน้ำประเทศ เมื่อพื้นที่รับน้ำและความลาดชันภูมิประเทศเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้นและการไหลของน้ำเร็วขึ้น ส่งผลให้พื้นที่ดังกล่าวเสี่ยงต่อการเกิดการชะล้างมากขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{SPI} = \ln(\text{CA} \cdot \tan G) \quad (2)$$

โดยที่ CA = ขนาดของพื้นที่รับน้ำ
 G = ความลาดชันภูมิประเทศ (เปอร์เซ็นต์)

4.6 กรอบแนวคิดในการดำเนินการ



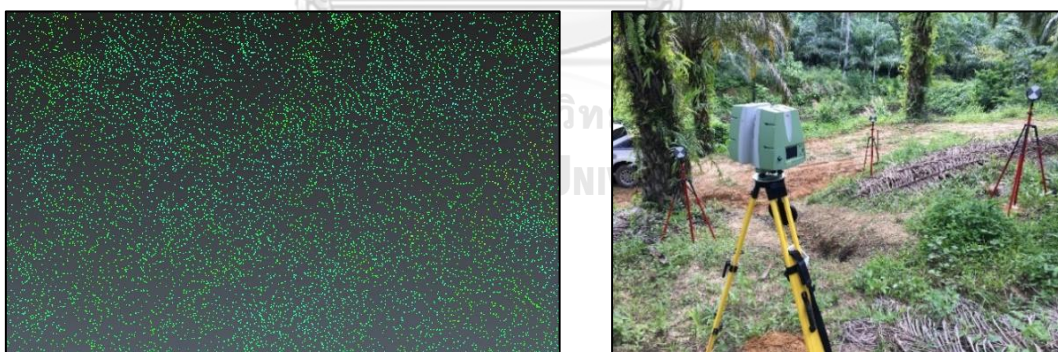
บทที่ 5

ผลการศึกษา

ผลการดำเนินงานวิจัย ได้แก่ การสร้างข้อมูลจากกลุ่มของจุดสามมิติ (Point Cloud) การเปลี่ยนแปลงรูปทรงสัญญาณของร่องธาร ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณของร่องธาร กับความลาดชัน และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพกับการชะล้างแบบร่องธาร โดยผลการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 การสร้างข้อมูลจากกลุ่มของจุดสามมิติ (Point Cloud)

ข้อมูลกลุ่มของจุดสามมิติ (Point Cloud) ที่ได้จากการสำรวจภาคสนามด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินนั้น แต่ละข้อมูลมีจำนวนของจุดสามมิติประมาณ 1,038,710 จุด ต่อ 1 ชุดข้อมูล และมีความหนาแน่น 103,870 จุด ต่อตารางเมตร (ภาพที่ 25) เมื่อเชื่อมโยงข้อมูลกลุ่มของจุดสามมิติเข้ากับค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาคพื้นดินด้วยโปรแกรม Leica Cyclone พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งของแกน X, Y และ Z ไม่เกิน 3.1 มิลลิเมตร ตามคุณสมบัติของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ระยะไม่เกิน 50 เมตรจากตัวเครื่อง

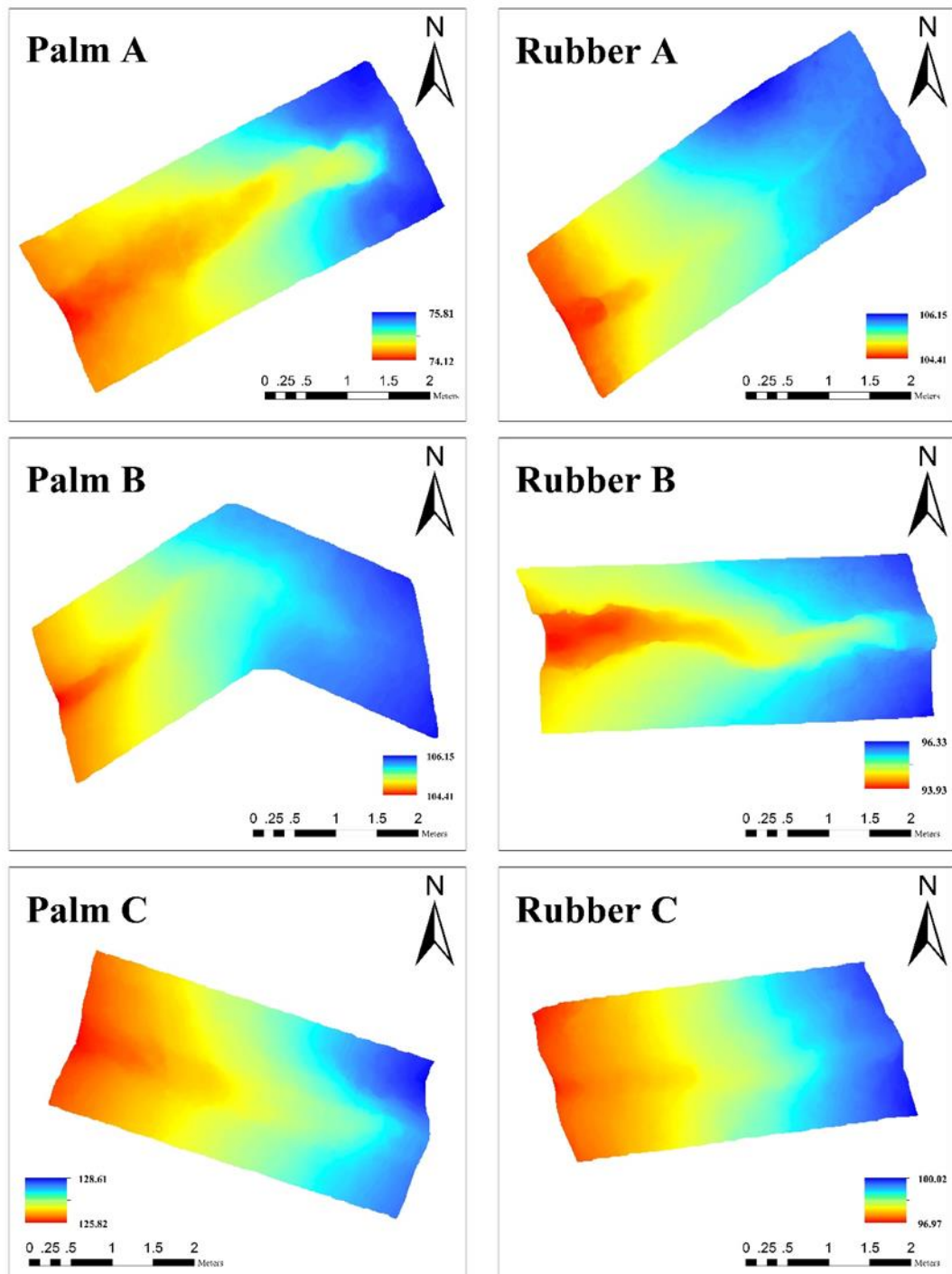


ภาพที่ 25 ข้อมูลกลุ่มของจุดสามมิติ (Point Cloud) (ซ้าย) และการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องเลเซอร์สแกนภาคพื้นดิน (ขวา)

ตารางที่ 6 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าระดับความสูงของแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ
เชิงเลขและค่าระดับจุดสามมิติ (เมตร)

ร่องธาร	ครั้งที่	RMS Error (m)	Accuracy Z (m)
Palm A	1 ก.ค. 61	0.006	0.011
	22 ธ.ค. 61	0.005	0.009
Palm B	1 ก.ค. 61	0.003	0.006
	22 ธ.ค. 61	0.005	0.010
Palm C	1 ก.ค. 61	0.005	0.010
	22 ธ.ค. 61	0.005	0.011
Rubber A	1 ก.ค. 61	0.005	0.010
	22 ธ.ค. 61	0.005	0.010
Rubber B	1 ก.ค. 61	0.004	0.009
	22 ธ.ค. 61	0.006	0.011
Rubber C	1 ก.ค. 61	0.005	0.010
	22 ธ.ค. 61	0.006	0.011
Mean			0.010
S.D.			0.001

ผู้วิจัยสร้างข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) ดังภาพที่ 26 ซึ่งเป็นข้อมูลจากการสำรวจครั้งที่ 1 (1 ก.ค. 2561) ของทุกร่องธาร (6 ร่องธาร) และทุกครั้งที่ทำการสำรวจแต่ละร่องธารจำนวน 8 ครั้ง ได้ข้อมูล DEM ทั้งหมด 48 ชุดข้อมูล จากข้อมูลกลุ่มของจุดสามมิติโดยขจัดข้อมูล (Data Cleanup) สิ่งปกคลุมพื้นผิวดินออกไป จากนั้นตรวจสอบความคลาดเคลื่อนระหว่างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศและข้อมูลกลุ่มของจุดสามมิติ พบว่ามีค่าความถูกต้องในแนวตั้ง (Accuracy Z) เท่ากับ 0.006 – 0.011 เมตร (อ้างอิงภาคผนวก ก) และมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.010 เมตร (ตารางที่ 6) โดยอ้างอิงความถูกต้องจากข้อมูลกลุ่มของจุดสามมิติ ซึ่งมีความถูกต้องใกล้เคียงพื้นผิวภูมิประเทศบริเวณร่องธาร



ภาพที่ 26 แบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) ของร่องธารในสวนปาล์ม (ซ้าย) และแบบจำลองความสูงเชิงเลขของร่องธารในสวนยางพารา (ขวา) (ข้อมูลครั้งที่ 1 วันที่ 1 ก.ค. 2561)

5.2 การเปลี่ยนแปลงรูปทรงสัญญาณของร่องธาร

ผู้วิจัยติดตามการเปลี่ยนแปลงรูปทรงสัญญาณของร่องธารด้วยภาพตัดขวางจากข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงภูมิประเทศเชิงเลข โดยแบ่งระยะของภาพตัดขวางออกเป็น 10 ระยะ ทุก 0.5 เมตร ผู้วิจัยติดตามการเปลี่ยนแปลงความลึกของร่องธารโดยใช้ภาพตัดขวางระยะที่ 5 (ภาพที่ 22) ซึ่งเป็นภาพตัดขวางกึ่งกลางของร่องธารทั้ง 6 ร่องธาร มีผลการศึกษาดังนี้

5.2.1 การเปลี่ยนแปลงความลึกของร่องธาร

ร่องธารแต่ละร่องมีการเปลี่ยนแปลงของความสูงของจุดที่ลึกที่สุดระหว่าง 0.007 – 0.042 เมตร โดยในแต่ละครั้งจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ซึ่งเกิดการชะล้างเนื่องจากความสูงของจุดที่ลึกที่สุดในแต่ละครั้งลดลง จากตารางที่ 7 ร่องธารในสวนยางพาราเกิดการเปลี่ยนแปลงของความลึกมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตามลักษณะของพีชปกคลุม พบว่าร่องธาร C ในสวนยางพารา เกิดเปลี่ยนแปลงมากที่สุด 0.042 เมตร และร่องธาร C ในสวนปาล์ม เกิดเปลี่ยนแปลงมากที่สุด 0.016 เมตร ซึ่งเป็นร่องธารที่มีความลาดชันมากที่สุดทั้งสองร่อง จากตารางดังกล่าวจะสังเกตได้ว่าบางช่วงเวลาร่องธารมีการเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นผิวน้อยมากซึ่งมีค่าการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนในแนวตั้ง บริเวณนี้จึงไม่สามารถระบุได้ว่ามีการสูญเสียหรือทับถมเพิ่มได้

ตารางที่ 7 ความลึกของร่องธารจากภาพตัดขวางในตำแหน่งกึ่งกลาง (ระยะภาพตัดขวางที่ 5) ของร่องธาร (เมตร : จากระดับทะเลปานกลาง)

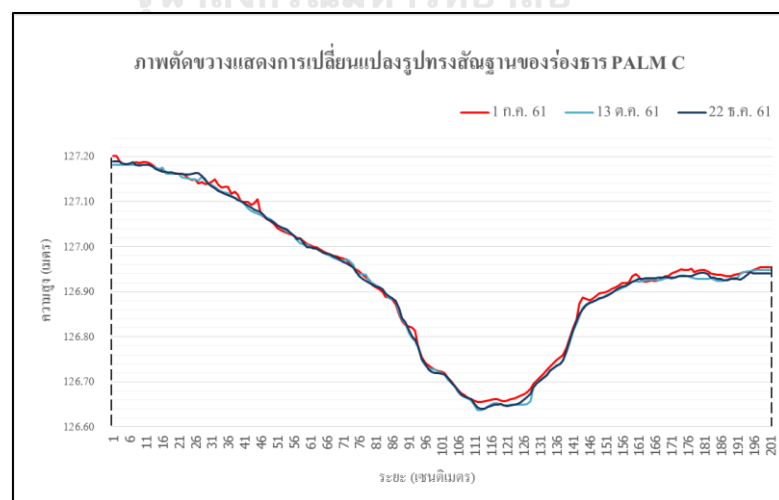
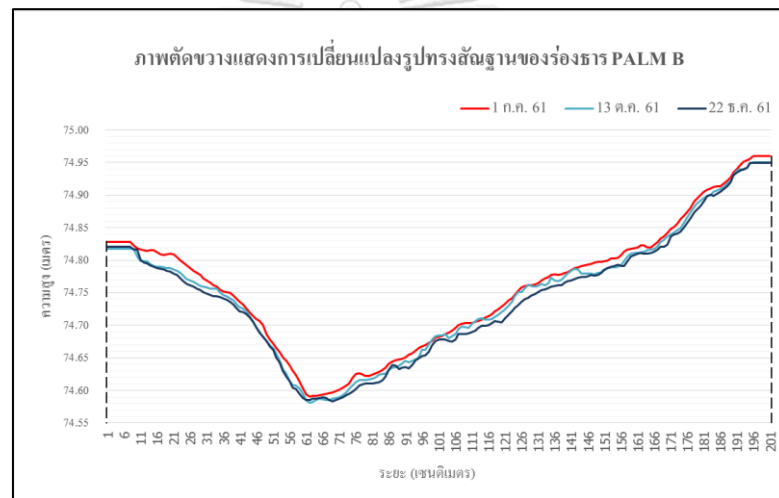
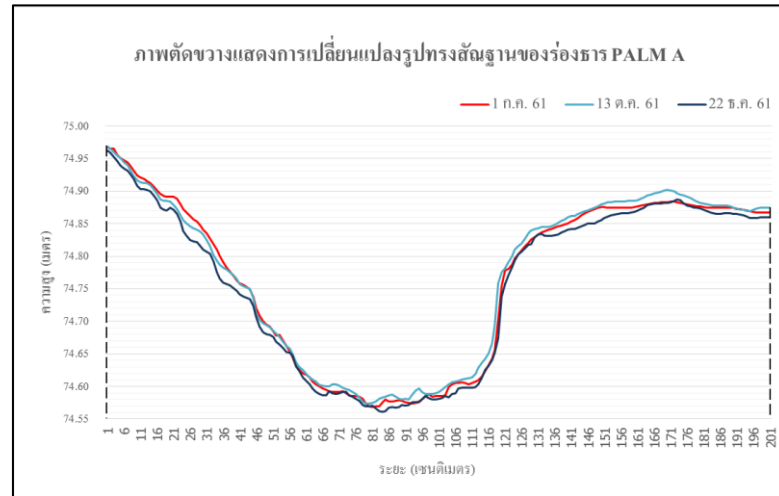
ครั้งที่	ร่องธาร					
	Palm A	Palm B	Palm C	Rubber A	Rubber B	Rubber C
1 ก.ค. 61	74.568	74.591	126.656	105.218	94.557	98.113
13 ส.ค. 61	74.571	74.582	126.656	105.214	94.560	98.091
14 ก.ย. 61	74.569	74.581	126.655	105.216	94.557	98.092
28 ก.ย. 61	74.562	74.579	126.660	105.211	94.587	98.078
13 ต.ค. 61	74.574	74.581	126.638	105.213	94.558	98.075
27 ต.ค. 61	74.562	74.587	126.639	105.213	94.548	98.082
23 พ.ย. 61	74.570	74.585	126.638	105.216	94.540	98.069
22 ธ.ค. 61	74.561	74.583	126.640	105.211	94.539	98.071
เปลี่ยนแปลงสุทธิ	-0.007	-0.008	-0.016	-0.007	-0.018	-0.042

5.2.2 การเปลี่ยนแปลงความกว้างของร่องธาร

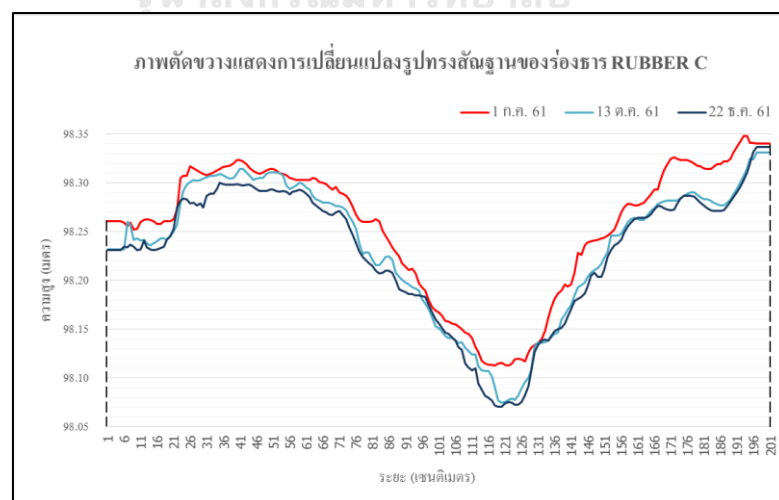
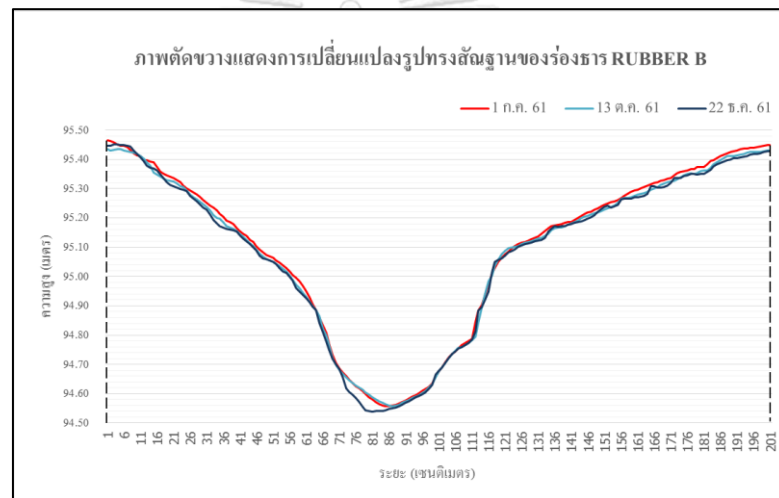
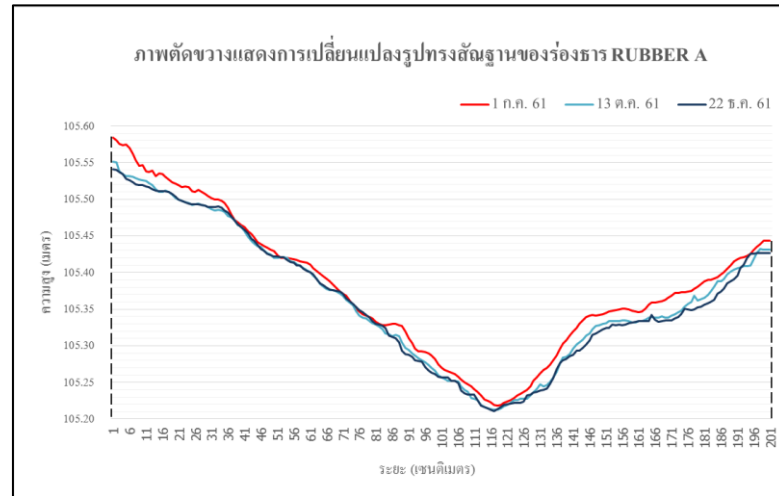
ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความกว้างของแต่ละร่องธารจะมีการกำหนดจุดวัดระยะความกว้างที่ตำแหน่งความสูงเดียวกันทุกครั้ง ร่องธารแต่ละร่องมีการเปลี่ยนแปลงของความกว้างระหว่าง 0.02 – 0.15 เมตร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสุทธิมากกว่าค่าความคลาดเคลื่อนในแนวราบ คือ 3.1 มิลลิเมตร โดยเกิดการชะล้างเนื่องจากความกว้างของร่องธารสุทธิเพิ่มมากขึ้น จากตารางที่ 8 ร่องธารในสวนปาล์มเกิดการเปลี่ยนแปลงของความกว้างมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตามลักษณะของพืชปกคลุม พบว่าร่องธาร B ในสวนปาล์ม เกิดเปลี่ยนแปลงมากที่สุด 0.15 เมตร และร่องธาร C ในสวนยางพารา เกิดเปลี่ยนแปลงมากที่สุด 0.13 เมตร (ภาพที่ 27 และภาพที่ 28) โดยร่องธาร B ในสวนปาล์ม มีลักษณะของดินเป็นดินดินทรายเม็ดละเอียดขนาดเม็ดดิน 1.190 และร่องธาร C ในสวนยางพารา มีลักษณะของดินเป็นกรวดมีเม็ดละเอียดปน ซึ่งดินดังกล่าวการยึดเกาะค่อนข้างน้อย เมื่อเกิดฝนตกหรือน้ำไหลบ่าผิวดินจึงเกิดการชะล้างได้ง่าย

ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความกว้างของร่องธารจากภาพตัดขวางในตำแหน่งกึ่งกลางของร่องธาร (เมตร)

ครั้งที่	ร่องธาร					
	Palm A	Palm B	Palm C	Rubber A	Rubber B	Rubber C
1 ก.ค. 61	0.89	0.86	0.67	0.20	0.58	0.69
13 ส.ค. 61	0.90	0.89	0.67	0.25	0.60	0.75
14 ก.ย. 61	0.88	0.90	0.69	0.25	0.60	0.75
28 ก.ย. 61	0.90	0.90	0.66	0.28	0.59	0.77
13 ต.ค. 61	0.89	0.90	0.69	0.28	0.60	0.80
27 ต.ค. 61	0.90	0.90	0.69	0.25	0.59	0.78
23 พ.ย. 61	0.91	0.91	0.69	0.29	0.59	0.81
22 ธ.ค. 61	0.91	1.01	0.69	0.28	0.60	0.82
เปลี่ยนแปลงสุทธิ	+0.02	+0.15	+0.02	+0.08	+0.02	+0.13



ภาพที่ 27 ภาพตัดขวางเปรียบเทียบรูปทรงฐานของร่องธาร A, B, และ C ในสวนปาล์ม
ข้อมูลเมื่อวันที่ 1 ก.ค. 2561, 13 ต.ค. 2561 และ 22 ธ.ค. 2561



ภาพที่ 28 ภาพตัดขวางการเปรียบเทียบรูปทรงพื้นฐานของร่องธรร A, B, และ C ในสวนยางพารา
ข้อมูลเมื่อวันที่ 1 ก.ค. 2561, 13 ต.ค. 2561 และ 22 ธ.ค. 2561

5.2.3 การเปลี่ยนแปลงความลาดชันของร่องธาร

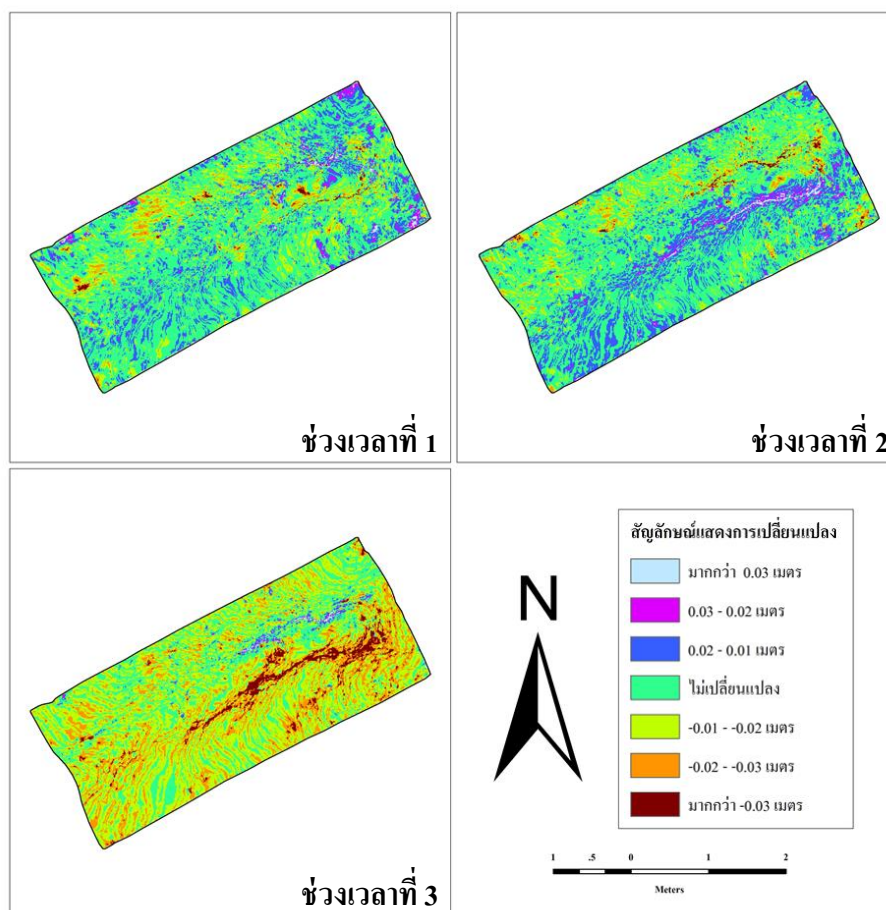
ผู้วิจัยวิเคราะห์ความลาดชันตามแนวยาวของร่องธาร โดยกำหนดวิธีการคำนวณหาความลาดชันจากกระยะคร่อมของแต่ละภาพตัดขวางทุกระยะ 50 เซนติเมตร แล้วเปรียบเทียบข้อมูล 3 ช่วงเวลา คือ เปอร์เซ็นต์ไถล์ของฝนสะสมที่ 50% (1 ก.ค. 2561), 75% (13 ต.ค. 2561) และ 100% (22 ธ.ค. 2561) รวมทั้งหมด 9 ข้อมูล พบว่าความลาดชันภายในร่องธารเกิดการเปลี่ยนแปลงไปทางเดียวกันตลอด จากภาพที่ 29 แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่มีความลาดชันระหว่างภาพตัดขวางมากมีการเปลี่ยนแปลงมากเนื่องจากเกิดการชะล้างจากการไหลของน้ำออกไปเรื่อยๆ



ภาพที่ 29 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความลาดชันของร่องธารในสวนปาล์มและสวนยางพารา ข้อมูลเมื่อวันที่ 1 ก.ค. 2561, 13 ต.ค. 2561 และ 22 ธ.ค. 2561

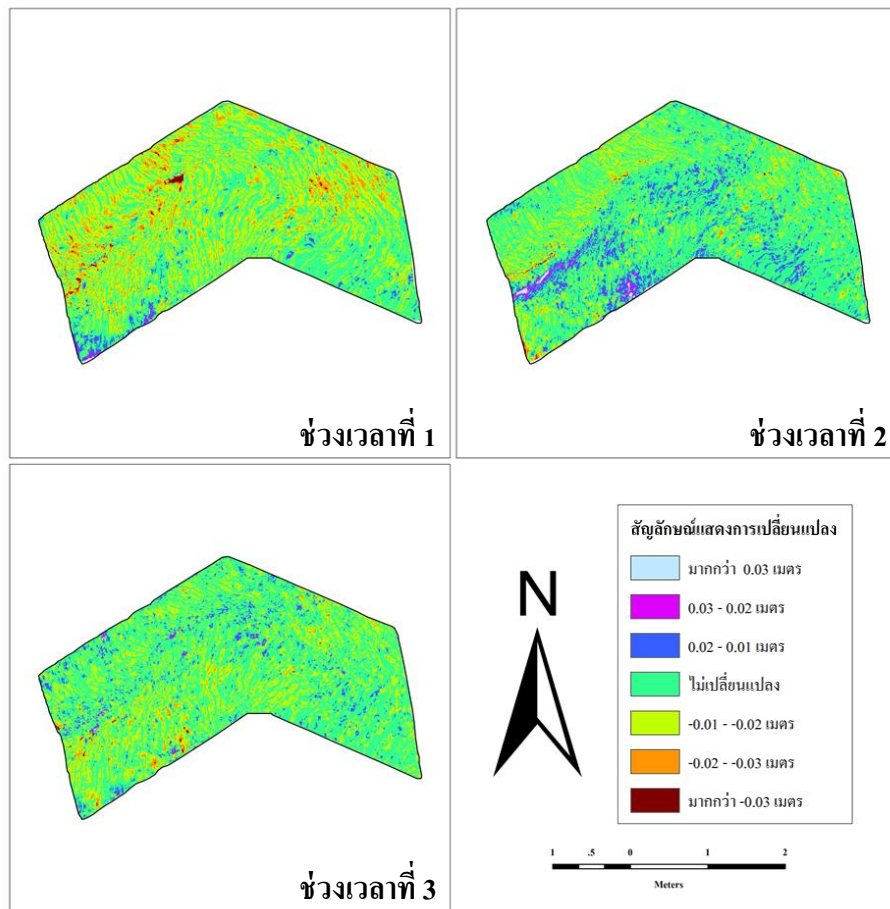
5.2.4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสูงสุทธิของพื้นผิวในบริเวณร่องธาร

ผู้วิจัยนำข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศของแต่ละร่องธารเปรียบเทียบกับกันระหว่างช่วงเวลาที่ 1 2 และ 3 จากนั้นจึงคำนวณการเปลี่ยนแปลงความสูงสุทธิและปริมาณดินที่สูญเสียหรือทับถมเพิ่ม ผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้



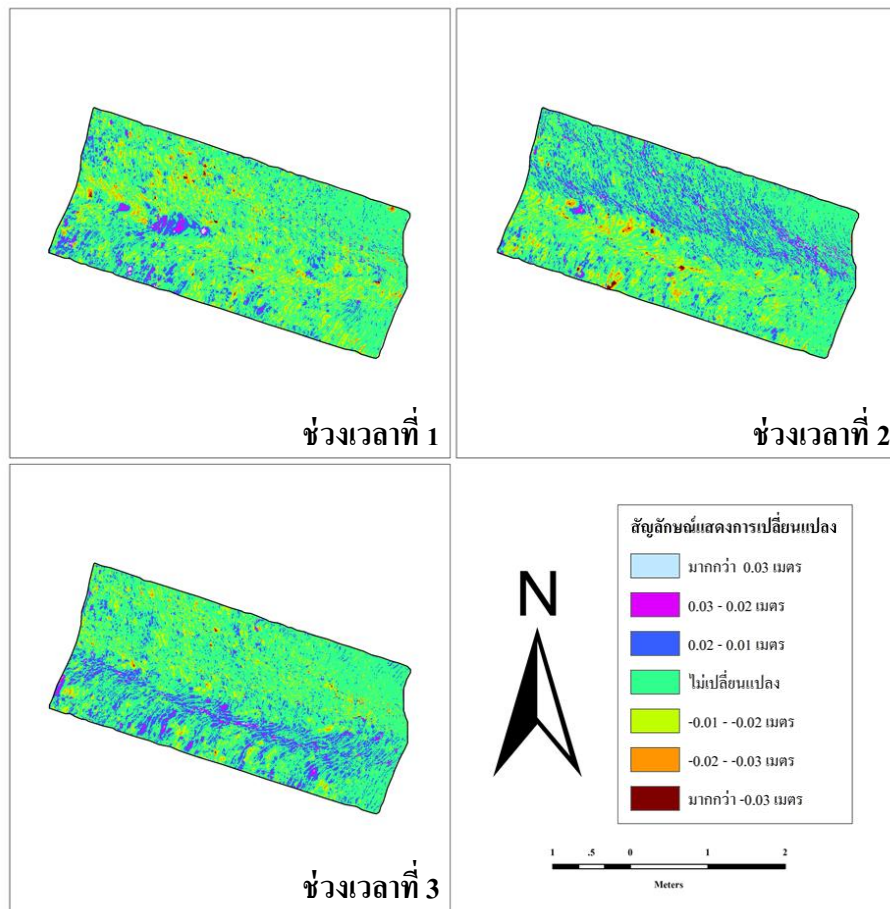
ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศ (เมตร) ระหว่าง 1 ก.ค.-13 ส.ค. (ช่วงเวลาที่ 1), 14 ส.ค.-13 ต.ค. (ช่วงเวลาที่ 2) และ 14 ต.ค.-22 ธ.ค. (ช่วงเวลาที่ 3) ของร่องธาร A ในสวนป่าลัม

ร่องธาร A ในสวนป่าลัม ช่วงเวลาที่ 1 เกิดการชะล้างทั่วบริเวณร่องธารและมีปริมาณการชะล้างประมาณ 61.29 ลบ.ม. ช่วงเวลาที่ 2 เกิดการทับถมมากกว่าการชะล้างบริเวณฝั่งซ้ายของร่องธาร มีปริมาณทับถมประมาณ 48.20 ลบ.ซม. และช่วงเวลาที่ 3 เกิดการชะล้างทั่วทั้งร่องธาร ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนบริเวณขอบร่องธาร โดยมีปริมาณการชะล้างมากที่สุดประมาณ 1,230.98 ลบ.ซม. (ภาพที่ 30) รวมสุทธิของร่องธาร A ในสวนป่าลัม มีปริมาณการชะล้างมากกว่าทับถม 1,244.07 ลบ.ซม.



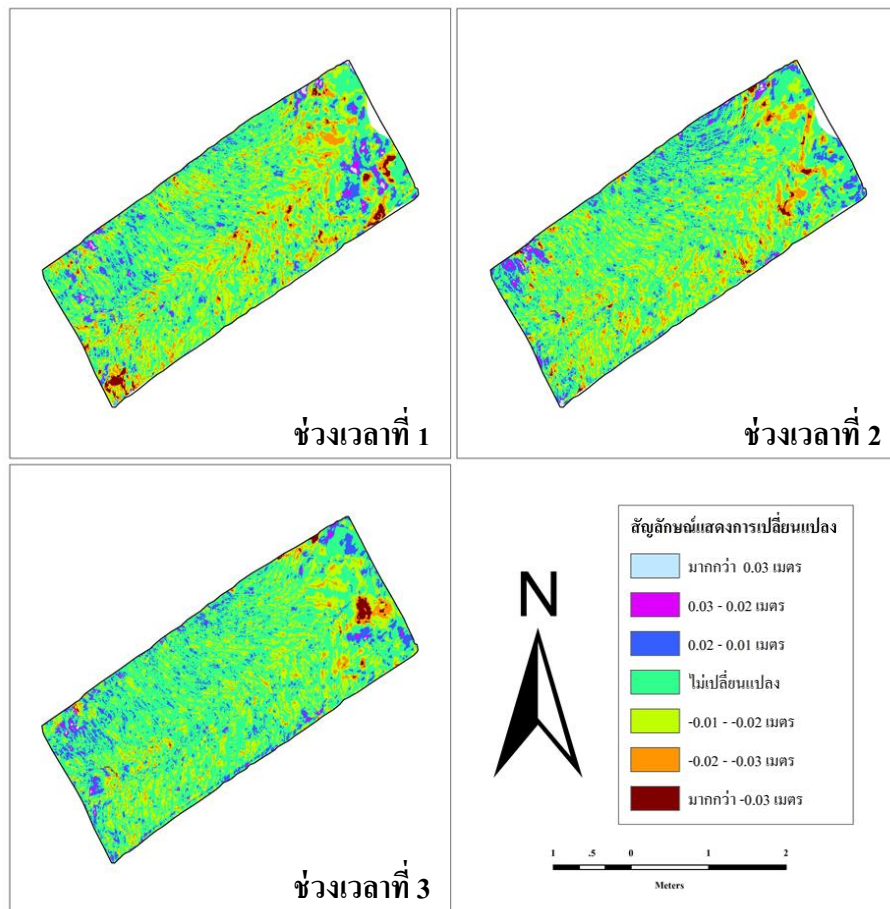
ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศ (เมตร) ระหว่าง 1 ก.ค.-13 ส.ค. (ช่วงเวลาที่ 1), 14 ส.ค.-13 ต.ค. (ช่วงเวลาที่ 2) และ 14 ต.ค.-22 ธ.ค. (ช่วงเวลาที่ 3) ของห้องธาร B ในสวนปาล์ม

ห้องธาร B ในสวนปาล์ม ช่วงเวลาที่ 1 เป็นช่วงที่เกิดการชะล้างมากที่สุด โดยเกิดการชะล้างทั่วบริเวณห้องธารและมีปริมาณการชะล้างประมาณ 721.30 ลบ.ซม. ช่วงเวลาที่ 2 เกิดการทับถมบริเวณปลายของห้องธารทำให้ปริมาณการชะล้างลดลงเหลือเพียงประมาณ 139.15 ลบ.ซม. และช่วงเวลาที่ 3 เกิดการชะล้างเพิ่มขึ้นในบริเวณฝั่งซ้ายของห้องธารและมีปริมาณการชะล้างประมาณ 343.51 ลบ.ซม. (ภาพที่ 31) รวมสุทธิของห้องธาร B ในสวนปาล์ม มีปริมาณการชะล้างมากกว่าทับถม 1,203.97 ลบ.ซม.



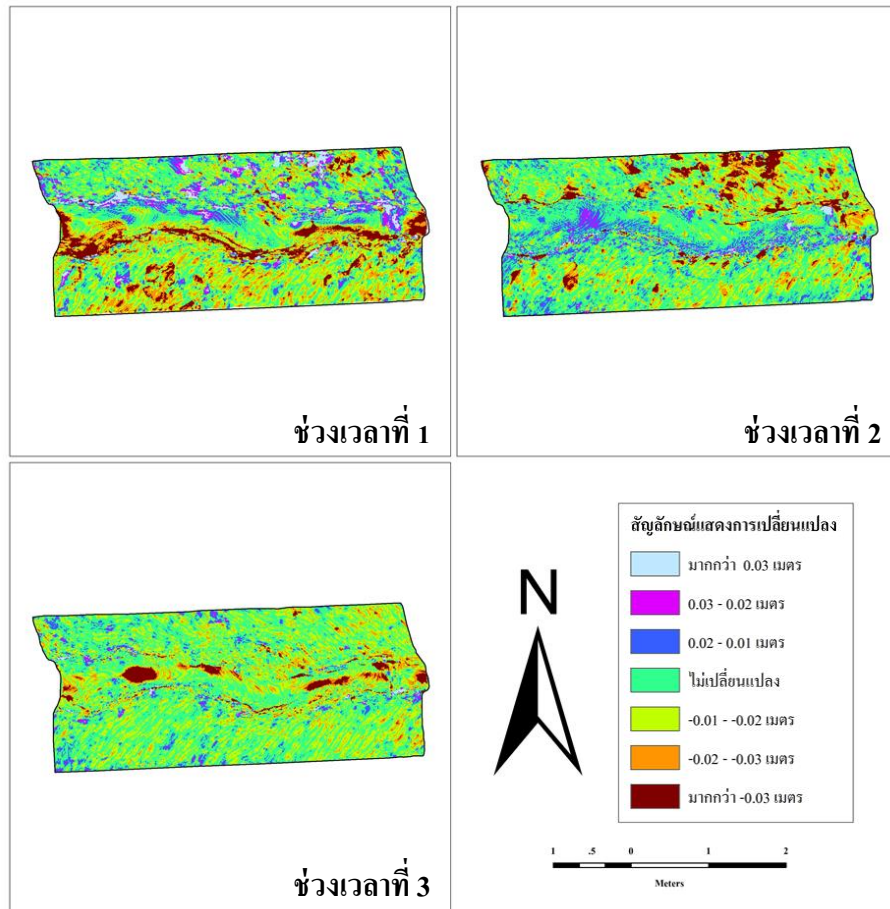
ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศ (เมตร) ระหว่าง 1 ก.ค.-13 ส.ค. (ช่วงเวลาที่ 1), 14 ส.ค.-13 ต.ค. (ช่วงเวลาที่ 2) และ 14 ต.ค.-22 ธ.ค. (ช่วงเวลาที่ 3) ของร่องธาร C ในสวนป่าลัม

ร่องธาร C ในสวนป่าลัม ช่วงเวลาที่ 1 เกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดบริเวณช่วงต้นร่องธาร คือ เกิดการชะล้างประมาณ 133.46 ลบ.ซม. ช่วงเวลาที่ 2 เกิดการทับถมมากกว่าการชะล้างบริเวณฝั่งขวาของร่องธาร มีปริมาณการทับถม 52.92 ลบ.ซม. และช่วงเวลาที่ 3 เกิดการทับถมบริเวณฝั่งซ้ายของร่องธารประมาณ 81.17 ลบ.ซม. (ภาพที่ 32) รวมสุทธิของร่องธาร C ในสวนป่าลัม มีปริมาณการทับถมมากกว่าชะล้าง 0.63 ลบ.ซม.



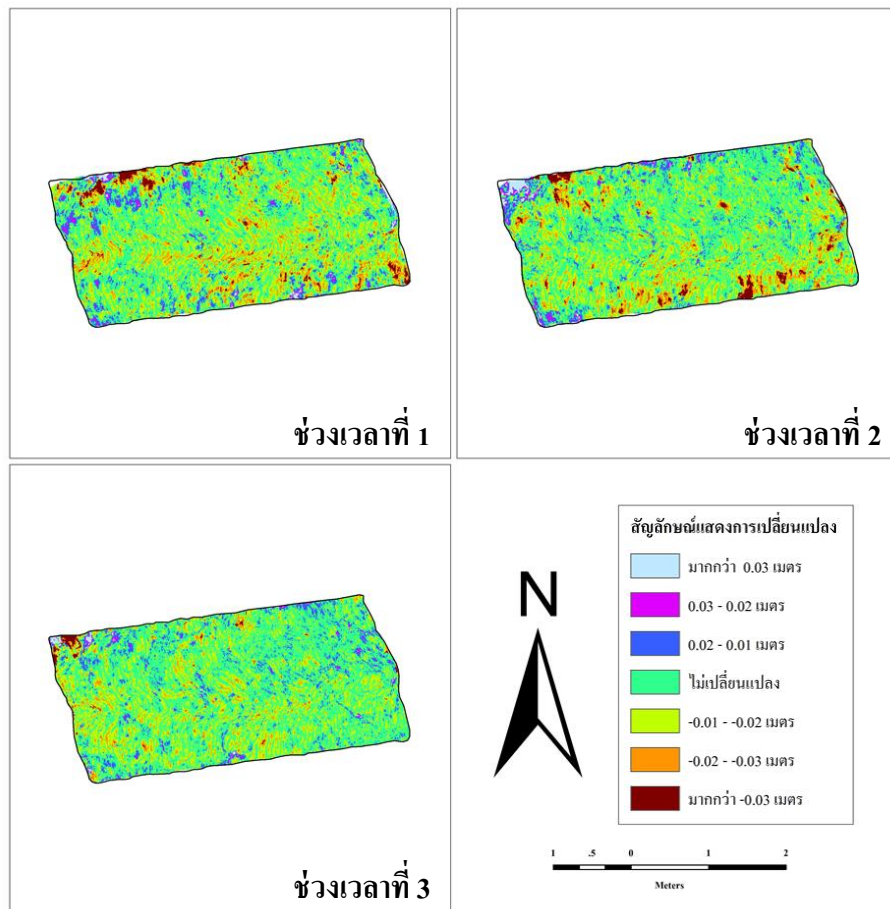
ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศ (เมตร) ระหว่าง 1 ก.ค.-13 ส.ค. (ช่วงเวลาที่ 1), 14 ส.ค.-13 ต.ค. (ช่วงเวลาที่ 2) และ 14 ต.ค.-22 ธ.ค. (ช่วงเวลาที่ 3) ของร่องธาร A ในสวนยางพารา

ร่องธาร A ในสวนยางพารา ช่วงเวลาที่ 1 เกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ เกิดการชะล้าง ประมาณ 516.06 ลบ.ซม. ในบริเวณต้นร่องธารจะเกิดการทับถมและส่วนปลายร่องธารจะเกิดการชะล้าง ช่วงเวลาที่ 2 ช่วงต้นและปลายของร่องธารเกิดการทับถมทำให้ปริมาณการชะล้างมีประมาณ 440.70 ลบ.ซม. และช่วงเวลาที่ 3 เกิดการทับถมมากกว่า 2 ช่วงเวลาดังกล่าว ทำให้เหลือการชะล้าง ประมาณ 277.37 ลบ.ซม. (ภาพที่ 33) รวมสุทธิของร่องธาร A ในสวนปาล์ม มีปริมาณการชะล้าง มากกว่าทับถม 1,234.17 ลบ.ซม.



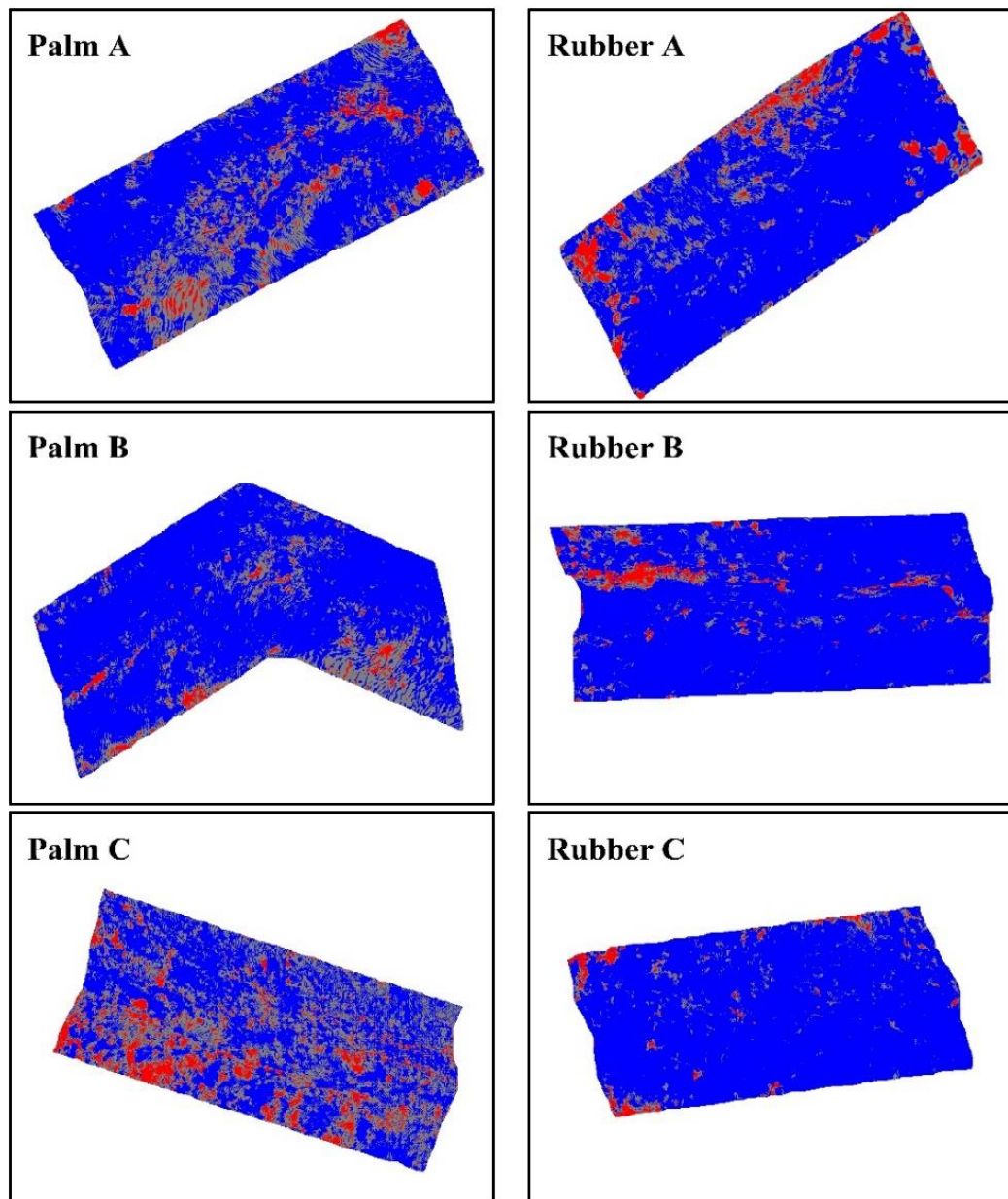
ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของพื้นผิวภูมิประเทศ (เมตร) ระหว่าง 1 ก.ค.-13 ส.ค. (ช่วงเวลาที่ 1), 14 ส.ค.-13 ต.ค. (ช่วงเวลาที่ 2) และ 14 ต.ค.-22 ธ.ค. (ช่วงเวลาที่ 3) ของร่องธาร B ในสวนยางพารา

ร่องธาร B ในสวนยางพารา ช่วงเวลาที่ 1 เกิดการชะล้างอย่างชัดเจนบริเวณกลางร่องธารมีปริมาณการชะล้างประมาณ 516.06 ลบ.ซม. ช่วงเวลาที่ 2 เกิดการทับถมบริเวณกลางร่องธาร แต่ยังมี การชะล้างบริเวณขอบของร่องธารอยู่ทำให้ปริมาณการชะล้างเหลือเพียง 399.26 ลบ.ซม. และ ช่วงเวลาที่ 3 เกิดการชะล้างมากที่สุดประมาณ 581.37 ลบ.ซม. ในบริเวณกลางร่องธาร (ภาพที่ 34) รวมสุทธิของร่องธาร B ในสวนปาล์ม มีปริมาณการชะล้างมากกว่าทับถม 1,508.02 ลบ.ซม.



ภาพที่ 35 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) ของร่องธาร C ในสวนยางพารา

และร่องธาร C ในสวนยางพารา ช่วงเวลาที่ 1 เกิดการชะล้างมากที่สุด 507.96 ลบ.ซม. บริเวณกลางร่องธารเกิดการชะล้างมากกว่าพื้นที่ด้านข้าง ช่วงเวลาที่ 2 เกิดการชะล้างอย่างมาก บริเวณขอบของร่องธาร มีการชะล้างประมาณ 447.92 ลบ.ซม. และช่วงเวลาที่ 3 เกิดการชะล้างน้อยที่สุดประมาณ 334.16 ลบ.ซม. (ภาพที่ 35) รวมสุทธิของร่องธาร C ในสวนปาล์ม มีปริมาณการชะล้างมากกว่าหับถม 1,290.05 ลบ.ซม.



ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นผิวของร่องธารในสวนปาล์มและสวนยางพารา

ผลการวิจัยสรุปได้ว่าร่องธาร B ในสวนยางพารา มีการเปลี่ยนแปลงจากการชะล้างมากที่สุด (1,508.02 ลบ.ซม.) และในร่องธาร C ในสวนปาล์มเกิดการเปลี่ยนแปลงคือการทับถมมากกว่าการชะล้าง (0.63 ลบ.ซม.) (ภาพที่ 36) เนื่องจากร่องธาร C ในสวนปาล์ม อยู่ในตำแหน่งที่ห่างจากร่องธารอื่นๆ ทำให้ปริมาณการชะล้างแตกต่างจากร่องธารที่อยู่ใกล้กัน ความแตกต่างดังกล่าวอาจมีสาเหตุจากปัจจัยทางพื้นที่อื่นๆ เช่น ปริมาณฝนที่แตกต่างกันเป็นต้น เมื่อผู้วิจัยพิจารณาตามชนิดของพืชของแต่ร่องธารพบว่าร่องธารในสวนปาล์มมีการชะล้างน้อยกว่าร่องธารในสวนยางพารา ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของร่องธาร A ในสวนปาล์ม มีอัตราการชะล้างสูงสุด โดยมีความสูงของพื้นผิวลดลง 0.03 ถึง 0.01 เมตร ในช่วงเวลาที่ 3 ระหว่างวันที่ 14 ต.ค. 2561 – 22 ธ.ค. 2561 (ภาพที่ 30) ส่วนร่องธาร B ในสวนยางพารา มีอัตราการชะล้างสูงสุด โดยมีความสูงของพื้นผิวลดลง 0.03 ถึง 0.01 เมตร ในช่วงเวลาที่ 3 ระหว่างวันที่ 14 ต.ค. 2561 – 22 ธ.ค. 2561 (ภาพที่ 34)

นอกจากการวิเคราะห์ปริมาณเปลี่ยนแปลงความสูงสุทธิในภาพรวมแล้ว (ภาพที่) ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นผิวสุทธิตามระดับความลาดชัน (ตารางที่ 9 และ 10) และการเปลี่ยนแปลงความลาดชันตามระดับความลาดชัน (ตารางที่ 11) ในการวิเคราะห์นี้ ผู้วิจัยใช้วิธี Zonal Statistics ในโปรแกรม ArcGIS ซึ่งเป็นการคำนวณค่าทางสถิติของไฟล์ประเภทแรสเตอร์โดยใช้ข้อมูลอีกชุดหนึ่ง ซึ่งเป็นชุดที่มีการแบ่งขอบเขตออกเป็นโซน คือ ความลาดชันที่แบ่งออกเป็น 3 ระดับ แล้วนำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 ช่วงเวลา

ผลการศึกษาในตารางที่ 9 และ ตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่าเมื่อระดับความลาดชันเพิ่มมากขึ้น ค่าเฉลี่ยของการชะล้างก็จะเพิ่มขึ้นด้วยทั้งในร่องธารในสวนปาล์มและสวนยางพารา ที่ระดับความลาดชัน 45% ในทุกร่องธารเกิดการชะล้าง โดยเฉพาะร่องธาร A ในสวนปาล์ม ช่วงเวลาที่ 3 (14 ต.ค. – 22 ธ.ค.) และร่องธาร B ในสวนยางพารา ช่วงเวลาที่ 2 (14 ส.ค. – 13 ต.ค.) นอกจากนี้ยังพบว่าความผันแปรของการเปลี่ยนแปลงดังแสดงด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) มีค่าสูงที่สุดในพื้นที่ที่มีความลาดชันมาก (ระดับ 3: มากกว่า 45%) ในขณะที่พื้นที่ที่มีความลาดชันน้อย (ระดับ 1: น้อยกว่า 30%) ความผันแปรของการเปลี่ยนแปลงของสูงของพื้นผิวมีค่าน้อย

ตารางที่ 9 การเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นผิวตามระดับความลาดชันของร่องธารในสวนปาล์ม

ร่องธาร	ช่วงเวลา	ระดับความลาดชัน	ความสูงเพิ่มขึ้น (ทับถม)		ความสูงลดลง (ชะล้าง)	
			mean	SD	mean	SD
Palm A	1 (1 ก.ค. – 13 ส.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.012	0.005	-0.012	0.004
		ระหว่าง 30% - 45%	0.011	0.004	-0.012	0.005
		มากกว่า 45%	0.013	0.006	-0.014	0.006
	2 (14 ส.ค. – 13 ต.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.011	0.002	-0.012	0.004
		ระหว่าง 30% - 45%	0.011	0.003	-0.014	0.007
		มากกว่า 45%	0.015	0.007	-0.012	0.005
	3 (14 ต.ค. – 22 ธ.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.012	0.004	-0.014	0.005
		ระหว่าง 30% - 45%	0.012	0.004	-0.016	0.006
		มากกว่า 45%	0.014	0.007	-0.019	0.008
Palm B	1 (1 ก.ค. – 13 ส.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.011	0.003	-0.011	0.004
		ระหว่าง 30% - 45%	0.011	0.004	-0.013	0.005
		มากกว่า 45%	0.011	0.004	-0.014	0.006
	2 (14 ส.ค. – 13 ต.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.011	0.003	-0.010	0.002
		ระหว่าง 30% - 45%	0.011	0.004	-0.011	0.003
		มากกว่า 45%	0.014	0.006	-0.013	0.005
	3 (14 ต.ค. – 22 ธ.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.011	0.003	-0.011	0.002
		ระหว่าง 30% - 45%	0.011	0.003	-0.011	0.003
		มากกว่า 45%	0.012	0.005	-0.012	0.005
Palm C	1 (1 ก.ค. – 13 ส.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.012	0.005	-0.011	0.004
		ระหว่าง 30% - 45%	0.011	0.004	-0.011	0.003
		มากกว่า 45%	0.011	0.004	-0.012	0.005
	2 (14 ส.ค. – 13 ต.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.011	0.003	-0.012	0.004
		ระหว่าง 30% - 45%	0.010	0.002	-0.011	0.004
		มากกว่า 45%	0.012	0.005	-0.012	0.005
	3 (14 ต.ค. – 22 ธ.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.011	0.004	-0.011	0.003
		ระหว่าง 30% - 45%	0.011	0.003	-0.011	0.003
		มากกว่า 45%	0.013	0.005	-0.011	0.004

ตารางที่ 10 การเปลี่ยนแปลงความสูงของพื้นผิวตามระดับความลาดชันของร่องธารในสวนยางพารา

ร่องธาร	ช่วงเวลา	ระดับความลาดชัน	ความสูงเพิ่มขึ้น (ทับถม)		ความสูงลดลง (ชะล้าง)	
			mean	SD	mean	SD
Rubber A	1 (1 ก.ค. – 13 ส.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.012	0.005	-0.013	0.005
		ระหว่าง 30% - 45%	0.012	0.005	-0.013	0.005
		มากกว่า 45%	0.013	0.006	-0.015	0.007
	2 (14 ส.ค. – 13 ต.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.011	0.004	-0.012	0.005
		ระหว่าง 30% - 45%	0.012	0.004	-0.013	0.005
		มากกว่า 45%	0.013	0.005	-0.014	0.006
	3 (14 ต.ค. – 22 ธ.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.012	0.004	-0.012	0.004
		ระหว่าง 30% - 45%	0.011	0.004	-0.012	0.004
		มากกว่า 45%	0.013	0.005	-0.013	0.005
Rubber B	1 (1 ก.ค. – 13 ส.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.014	0.006	-0.015	0.007
		ระหว่าง 30% - 45%	0.015	0.007	-0.015	0.007
		มากกว่า 45%	0.016	0.007	-0.017	0.008
	2 (14 ส.ค. – 13 ต.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.011	0.003	-0.014	0.006
		ระหว่าง 30% - 45%	0.011	0.004	-0.014	0.006
		มากกว่า 45%	0.012	0.005	-0.015	0.007
	3 (14 ต.ค. – 22 ธ.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.012	0.004	-0.012	0.005
		ระหว่าง 30% - 45%	0.012	0.004	-0.012	0.005
		มากกว่า 45%	0.013	0.006	-0.014	0.006
Rubber C	1 (1 ก.ค. – 13 ส.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.013	0.005	-0.013	0.006
		ระหว่าง 30% - 45%	0.012	0.005	-0.013	0.006
		มากกว่า 45%	0.013	0.006	-0.015	0.006
	2 (14 ส.ค. – 13 ต.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.013	0.006	-0.013	0.006
		ระหว่าง 30% - 45%	0.012	0.004	-0.013	0.006
		มากกว่า 45%	0.013	0.006	-0.014	0.006
	3 (14 ต.ค. – 22 ธ.ค.)	น้อยกว่า 30%	0.012	0.004	-0.012	0.004
		ระหว่าง 30% - 45%	0.011	0.004	-0.012	0.004
		มากกว่า 45%	0.012	0.005	-0.013	0.005

ตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงความลาดชันเฉลี่ยภายในร่องธารแบ่งตามระดับความลาดชันของร่อง

ร่องธาร	ช่วงเวลา	ระดับความลาดชัน		
		น้อยกว่า 30%	ระหว่าง 30% - 45%	มากกว่า 45%
Palm A	1	0.0004	-0.0007	-0.0009
	2	-0.0013	-0.0034	0.0032
	3	-0.0022	-0.0042	-0.0050
Palm B	1	-0.0003	-0.0013	-0.0025
	2	0.0004	0.0005	0.0007
	3	0.0002	-0.0002	-0.0003
Palm C	1	0.0013	0.0002	-0.0007
	2	-0.0003	-0.0007	0.0001
	3	0.0004	0.0003	0.0012
Rubber A	1	-0.0003	-0.0011	-0.0020
	2	-0.0012	-0.0012	-0.0017
	3	-0.0000	-0.0002	-0.0001
Rubber B	1	-0.0010	-0.0001	-0.0018
	2	-0.0031	-0.0027	-0.0030
	3	-0.0004	-0.0006	-0.0011
Rubber C	1	-0.0002	-0.0009	-0.0017
	2	-0.0006	-0.0014	-0.0009
	3	-0.0003	-0.0007	-0.0004

จากตารางที่ 11 การเปลี่ยนแปลงความลาดชันภายในร่องธารนั้นจะเพิ่มขึ้น เมื่อร่องธารมีความลาดชันเพิ่มมากขึ้น หากพิจารณาในช่วงเวลาเดียวกันพื้นที่ที่มีระดับความลาดชันน้อยกว่า 30% เกือบทุกร่องธารมีการเปลี่ยนแปลงความลาดชันน้อยที่สุดโดยมีความลาดชันเพิ่มขึ้นและความลาดชันลดลง อย่างไรก็ตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความลาดชันแบ่งตามระดับความลาดชันของพื้นที่ร่องธารไม่ชัดเจนเท่ากับการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของพื้นผิว

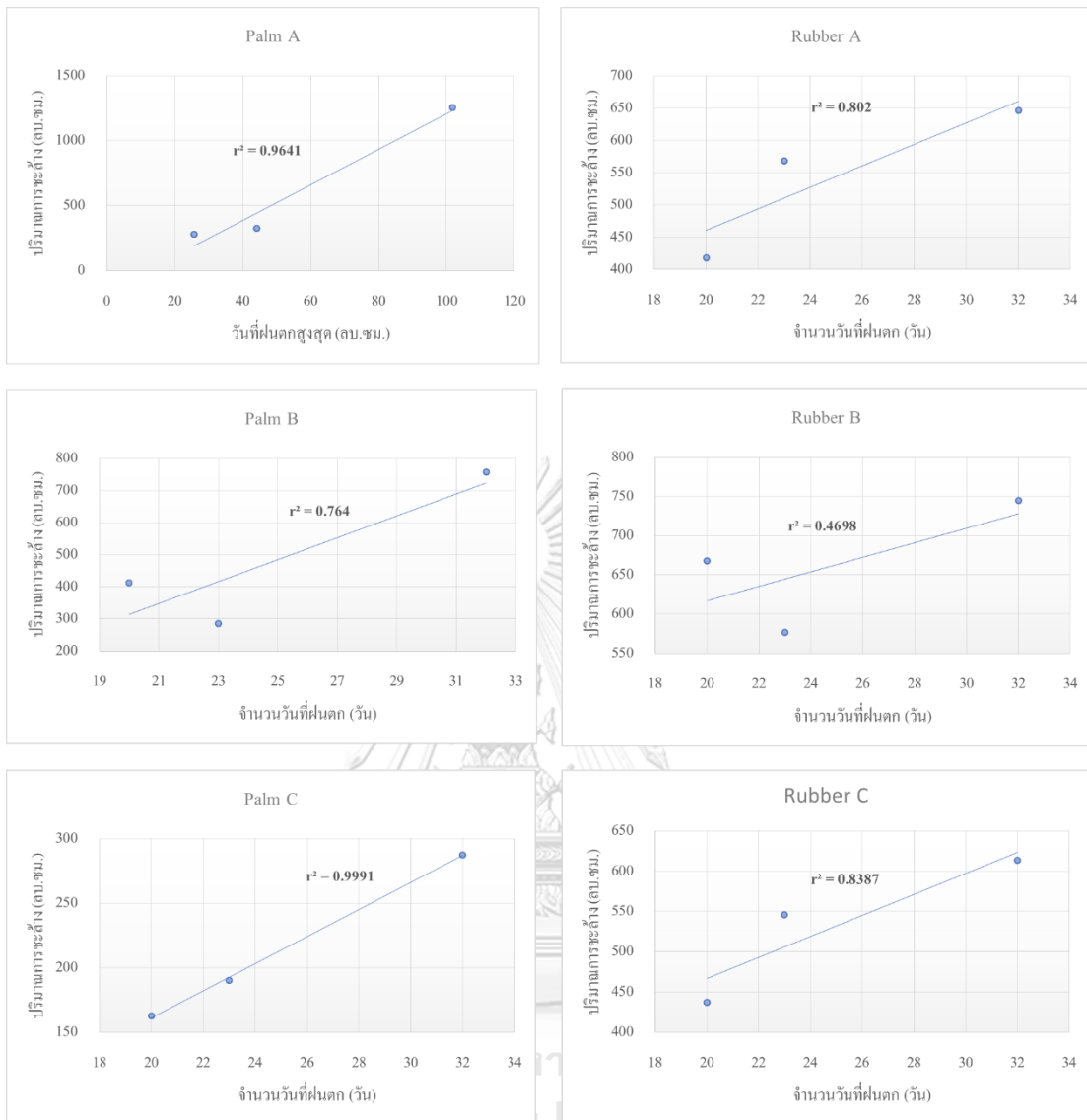
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพกับการชะล้างแบบร่องธาร

5.3.1 น้ำฝน

จากตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณดินของร่องธารกับลักษณะของฝน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณดินของร่องธารส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงแบบเชิงบวกกับจำนวนวันที่ฝนตกและปริมาณฝนรวมมากที่สุด ยกเว้นร่องธาร A ในสวนปาล์มที่การเปลี่ยนแปลงของร่องธารมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับความเข้มฝนสูงสุดมากที่สุด

ตารางที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความสูงของหน้าดินสุทธิของร่องธารแต่ละแห่งกับลักษณะของฝน

ชนิด	ลักษณะการเปลี่ยนแปลง	ปริมาณฝน	ความเข้มฝน	ความเข้มฝน	จำนวนวันที่ฝนตก
		รวม	สูงสุด	เฉลี่ย	
Palm A	ชะล้าง	- 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	ชะล้าง	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	ชะล้าง	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	ชะล้าง	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	ชะล้าง	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	ชะล้าง	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



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณดินของร่องธารกับจำนวนวันฝนตก

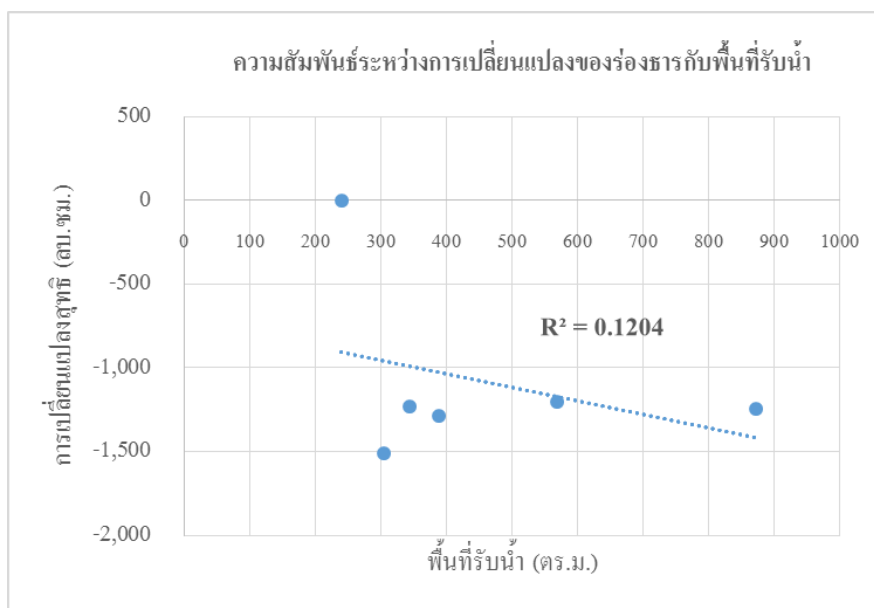
หากพิจารณาเฉพาะจำนวนวันที่ฝนตก การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น (ภาพที่ 37) พบว่าการชะล้างของร่องธารสามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้นกับจำนวนวันที่ฝนตกได้ค่อนข้างสูง จากค่า r^2 ระหว่าง 0.470 – 0.999 ยกเว้นร่องธาร A ในสวนปาล์ม จะมีความสัมพันธ์ระหว่างการชะล้างกับวันที่ฝนตกสูงสุด มีค่า $r^2 = 0.964$ ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าความรุนแรงของฝนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญในการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของร่องธารในพื้นที่ศึกษา

5.3.2 พื้นที่รับน้ำ

จากตารางที่ 13 และภาพที่ 38 พื้นที่รับน้ำของร่องธารทั้ง 6 ร่อง มีขนาดพื้นที่ 240 – 872 ตารางเมตร โดยร่องธาร A ในสวนยางพารามีพื้นที่รับน้ำมากที่สุด คือ 872 ตารางเมตรและร่องธาร C ในสวนปาล์มมีพื้นที่รับน้ำน้อยที่สุด คือ 240 ตารางเมตร เมื่อพิจารณาข้อมูลของขนาดพื้นที่รับน้ำ ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงสุทธิของร่องธาร พบว่าข้อมูลดังกล่าวไม่มีความสัมพันธ์กัน จากข้อมูลใน ตารางที่ 13 ไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ เนื่องจากหากพิจารณาเพียงร่องธารในสวนปาล์มพบว่ามี ความสัมพันธ์กัน คือ เมื่อพื้นที่รับน้ำมากการชะล้างของร่องธารจะมีมากเช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาร่อง ธารในสวนยางพารา พบว่าร่องธาร B ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำน้อยที่สุด แต่มีการชะล้างมากที่สุดด้วยเช่นกัน เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์ร่วมกันจากภาพที่ 38 กราฟดังกล่าวมีค่า $r^2 = 0.1204$

ตารางที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับพื้นที่รับน้ำ

ร่องธาร	พื้นที่รับน้ำ (ตร.ม.)	การเปลี่ยนแปลงสุทธิ (ลบ.ชม.)
Palm A	872	-1,244.07
Palm B	568	-1,203.97
Palm C	240	+0.63
Rubber A	344	-1,234.14
Rubber B	304	-1,508.02
Rubber C	388	-1,290.05



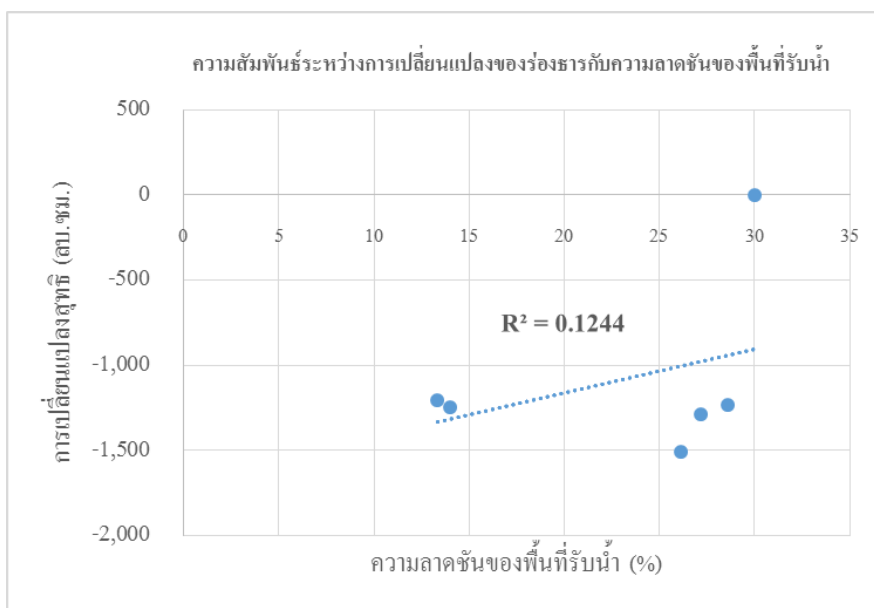
ภาพที่ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับความลาดชันของพื้นที่รับน้ำ

5.3.3 ความลาดชันของพื้นที่รับน้ำ

จากภาพที่ 14 แสดงให้เห็นว่าความลาดชันของพื้นที่รับน้ำไม่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของร่องธาร โดยมีค่า $r^2 = 0.1244$ โดยร่องธาร C ในสวนปาล์ม มีความลาดชันมากที่สุด 30.00% แต่ผลการศึกษาระดับการเปลี่ยนแปลงสุทธิ มีการทับถมมากกว่าการชะล้าง เมื่อพิจารณาร่องธารในสวนยางพารา พบว่า ระดับความลาดชันและผลการเปลี่ยนแปลงสุทธิใกล้เคียงสอดคล้องกัน มากกว่าร่องธารในสวนปาล์ม (ภาพที่ 39)

ตารางที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับความลาดชันของพื้นที่รับน้ำ

ร่องธาร	ความลาดชันของพื้นที่รับน้ำ (%)	การเปลี่ยนแปลงสุทธิ (ลบ.ซม.)
Palm A	13.98	-1,244.07
Palm B	13.33	-1,203.97
Palm C	30.00	+0.63
Rubber A	28.57	-1,234.14
Rubber B	26.15	-1,508.02
Rubber C	27.17	-1,290.05



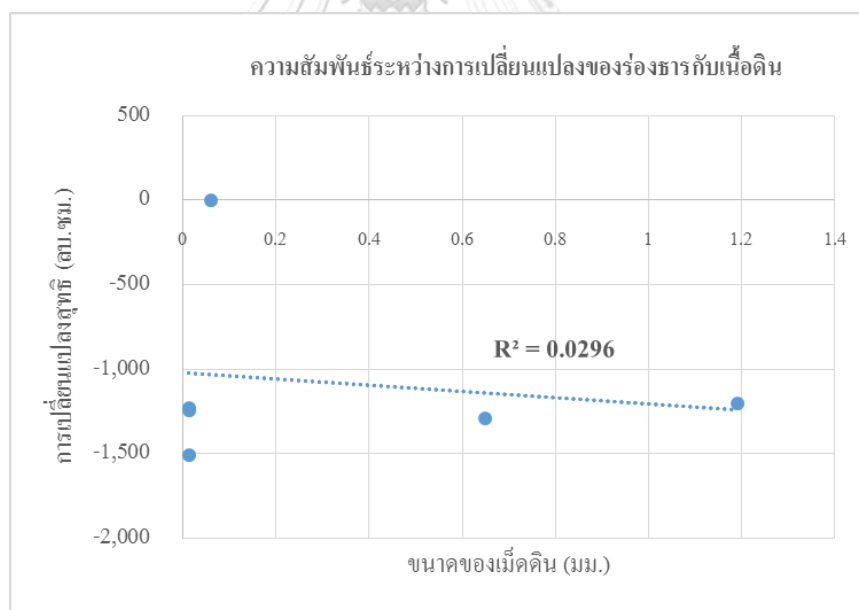
ภาพที่ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับความลาดชันของพื้นที่รับน้ำ

5.3.5 เนื้อดิน

จากผลการวิเคราะห์เนื้อดินจากห้องปฏิบัติการ กรมชลประทาน (ภาคผนวก ข) เนื้อดินที่มีลักษณะเป็นทรายแป้งและทรายละเอียดมีความคงทนน้อย ง่ายต่อการชะล้างพังทลายกว่าดินเหนียว จากตารางที่ 15 ลักษณะดินบริเวณร่องธารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้ ชนิดที่ 1 คือ ดินตะกอนทรายและดินเหนียว มีขนาดตะกอนตั้งแต่ 0.013 - 0.060 มิลลิเมตร ได้แก่ ร่องธาร A, C ในสวนปาล์มและร่องธาร A, B ในสวนยางพารา ชนิดที่ 2 คือ ทรายมีตะกอนทรายปน มีขนาดตะกอน 1.190 มิลลิเมตร ได้แก่ ร่องธาร B ในสวนปาล์ม และชนิดที่ 3 คือ กรวดมี ดินเหนียวปน มีขนาดตะกอน 0.650 มิลลิเมตร ได้แก่ ร่องธาร C ในสวนยางพารา จากการวิเคราะห์พบว่าขนาดของอนุภาคเฉลี่ยของเนื้อดินดังกล่าวข้างต้นไม่สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงหน้าดินสุทธิได้ โดยจาก (ภาพที่ 40) มีค่า $r^2 = 0.0296$ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าไม่มี ความสัมพันธ์กันระหว่างข้อมูลดังกล่าว

ตารางที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับเนื้อดิน

ร่องธาร	Percent Passing (50%)	การเปลี่ยนแปลงสุทธิ (ลบ.ชม.)	ชนิดของดิน
Palm A	0.015	-1,244.07	ตะกอนทรายหรือดินเหนียว มีความเหนียวเล็กน้อย (ML)
Palm B	1.190	-1,203.97	ทรายมีเม็ดละเอียดปน (SM)
Palm C	0.060	+0.63	ดินเหนียวปนทราย/ ตะกอนทราย (CL-ML)
Rubber A	0.013	-1,234.14	ดินเหนียวปนทราย (CL)
Rubber B	0.013	-1,508.02	ตะกอนทรายปนทราย (MH)
Rubber C	0.650	-1,290.05	กรวดมีเม็ดละเอียดปน (GC)



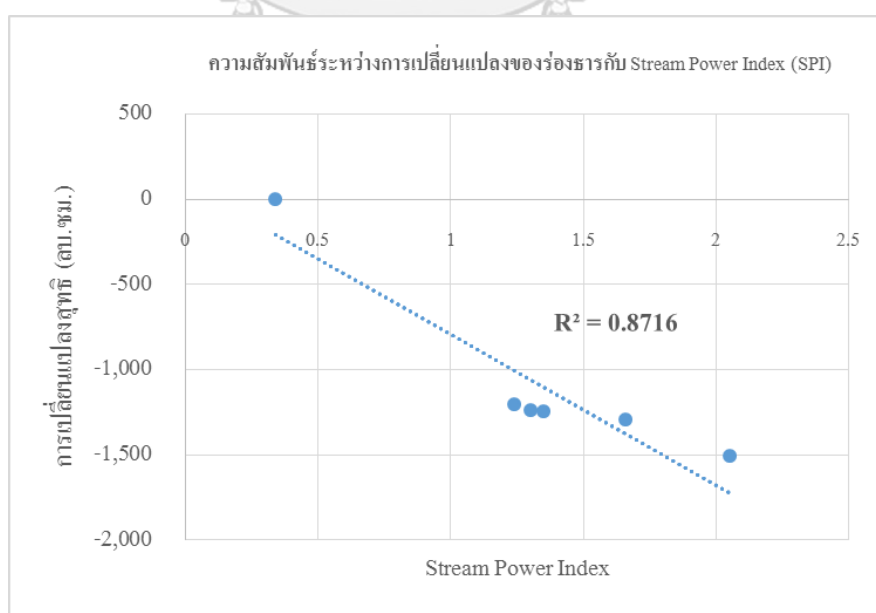
ภาพที่ 40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับเนื้อดิน

5.3.6 Stream Power Index (SPI)

จากตารางที่ 16 พบว่า Stream Power Index (SPI) หรือ ค่าดัชนีนี้แสดงกำลังของการไหลของน้ำในร่องธาร มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของร่องธาร เมื่อค่า SPI เพิ่มมากขึ้น ปริมาณการเปลี่ยนแปลงสุทธิในร่องธารจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยร่องธาร B ในสวนยางพารา มีค่า SPI มากที่สุด คือ 2.05 มีการชะล้าง 1,508.02 ลูกบาศก์เซนติเมตร และร่องธาร C ในสวนปาล์ม มีค่า SPI น้อยที่สุด คือ 0.34 มีการทับถม 0.63 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์พบว่ามีความสัมพันธ์กันโดยมีค่า $r^2 = 0.8716$ (ภาพที่ 41)

ตารางที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับ Stream Power Index (SPI)

ร่องธาร	Stream Power Index	การเปลี่ยนแปลงสุทธิ (ลบ.ชม.)
Palm A	1.35	-1,244.07
Palm B	1.24	-1,203.97
Palm C	0.34	+0.63
Rubber A	1.30	-1,234.14
Rubber B	2.05	-1,508.02
Rubber C	1.66	-1,290.05



ภาพที่ 41 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับ Stream Power Index (SPI)

5.3.4 พีชปกคลุมดิน

ร่องธารที่มีลักษณะทางกายภาพต่างกัน มีการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาและปริมาณการชะล้างที่ต่างกัน ซึ่งสิ่งปกคลุมดินมีผลต่อความรุนแรงจากการชะล้างจากฝน เช่น ต้นไม้มีเรือนพุ่มหนา ใบมาก เม็ดฝนจะตกลงถึงพื้นดินโดยตรงได้น้อยกว่าต้นไม้ที่มีใบน้อย โดยทั่วไปพบว่าร่องธารในสวนยางพารามีปริมาณการสูญเสียหน้าดินสุทธิมากกว่าร่องธารในสวนปาล์ม เนื่องจากปาล์มมีรากที่เกิดขึ้นจากตรงฐานโคนของลำต้น เป็นระบบรากฝอย (Fibrous root system) ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่บริเวณผิวดินลึกไม่เกิน 45 เซนติเมตร มีความหนาแน่นมาก บริเวณโคนต้นและในระยะ 1.5 ถึง 2.0 เมตรจากลำต้น (ภาพที่ 42) แต่ในกรณีที่ดินมีการถ่ายเทอากาศดีและระดับน้ำใต้ดินไม่สูงอย่างถาวร อาจจะมีรากบางส่วนเจริญลึกถึง 5 เมตร ซึ่งจะช่วยยึดลำต้นไว้ ลักษณะของเรือนยอดเป็นทรงพุ่มรูปกรวย ใบเป็นรูปก้างปลา มีความหนาแน่นของเรือนพุ่มน้อยกว่ายางพาราทำให้ปริมาณน้ำฝนที่ตกถึงพื้นมีมากกว่ายางพารา

ยางพารามีระบบรากแบบชั้นเดียว เมื่อฝนตกลงมาทำให้น้ำไหลซึมลึกลงไปใน ชั้นดินได้น้อย น้ำส่วนใหญ่จึงอยู่บนพื้นดินและไหลอย่างรวดเร็ว ด้วยความแรงของน้ำจะมีพลังมากพอที่จะทำให้เกิดการชะล้างแบบร่องธารได้ ซึ่งสามารถสังเกตได้ชัดเจนจากพื้นที่ที่มีการปลูกยางพาราในพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยจนถึงความลาดชันมาก



ภาพที่ 42 ลักษณะรากของปาล์ม (ซ้าย) และรากของยางพารา (ขวา)

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะประยุกต์ใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินแบบสามมิติติดตามการชะล้างแบบร่องธาร อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร ในการศึกษาเน้นไปที่การเก็บข้อมูลภาคสนามเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินแบบสามมิติ เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงรูปร่างร่องธารและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพกับการชะล้างแบบร่องธาร

วิธีการวิจัยนี้ประกอบด้วยส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนแรกเป็นการสร้างข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศจากกลุ่มของจุดสามมิติ (Point Cloud) ผู้วิจัยเลือกร่องธารในการศึกษาจำนวน 6 ร่องธารที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันได้แก่ ความลาดชันของร่อง สิ่งปกคลุมดิน พื้นที่รับน้ำ และความลาดชันของพื้นที่รับน้ำของร่อง ในการเก็บข้อมูลลักษณะสัณฐานของร่องธาร ผู้วิจัยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน มีความถูกต้องในแนวตั้งของจุดความสูง (point clouds) 3.1 มิลลิเมตร ที่ระยะการกราดตรวจไม่เกิน 50 เมตร ครอบคลุมตามแนวของร่องธาร 5 เมตร และจากกึ่งกลางของร่องธารข้างละ 1 เมตร รวมเป็นพื้นที่ขนาด 2 x 5 เมตร เก็บข้อมูลทุก 2 - 4 สัปดาห์ ระหว่างเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2561 จำนวนทั้งสิ้น 8 ครั้ง ผู้วิจัยได้สร้างจุดควบคุม (Control Point) และโยงค่าพิกัดเข้าสู่จุดควบคุมเพื่อให้สามารถตั้งเครื่องมือในตำแหน่งเดิมทุกครั้ง จากนั้นนำข้อมูลกลุ่มจุดความสูงมาสร้างแบบจำลองระดับความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) โดยขจัดข้อมูลโครงสร้างหรือวัตถุที่ปกคลุมดินที่ไม่ต้องการออกไป และสร้างพื้นผิวที่มีค่าโดยประมาณของพื้นผิวที่แท้จริงของวัตถุเพื่อใช้ในการวิจัย

การประเมินปริมาณหน้าดินที่มีการสูญเสียนั้นวิเคราะห์โดยการ DEM ที่มีความละเอียดจุดภาพ 1 เซนติเมตร มาซ้อนทับกันเพื่อหาพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูง ตามช่วงเวลาที่กำหนดจากปริมาณน้ำฝนสะสมในตำแหน่งที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 75 และ 100 ได้ทั้งหมด 3 ช่วงเวลา ซึ่งอยู่ระหว่างการเก็บข้อมูลครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 ครั้งที่ 5 และ ครั้งที่ 8 ผู้วิจัยคำนวณปริมาณดินสูญเสียจากการชะล้าง ปริมาณดินที่เพิ่มขึ้นจากการทับถม และปริมาณดินสูญเสียสุทธิในโปรแกรม ArcGIS และแบ่งการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานร่องธารเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินสูญเสียสุทธิของแต่ละร่องธารกับปริมาณฝนที่เปลี่ยนแปลงไปโดยพิจารณาปริมาณฝนรวม ความเข้มฝนสูงสุดรายวัน ความเข้มฝนเฉลี่ยรายวัน และจำนวนวันที่ฝนตก

ของแต่ละร่องธาร ส่วนที่สองวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงสัณฐานร่องธารกับปัจจัยภูมิประเทศ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความลาดชัน ความลาดชันของพื้นที่รับน้ำ ขนาดพื้นที่รับน้ำ พืชปกคลุม และ Stream Power Index (SPI) ซึ่งเป็นค่าดัชนีแสดงกำลังของการไหลของน้ำในร่องธารเมื่อเกิดฝน ซึ่งคำนวณได้จากพื้นที่รับน้ำ ทิศทางการไหลของน้ำ และความลาดชันของพื้นที่ที่เข้าสู่ร่องธาร โดยวิเคราะห์แยกตามชนิดของพืชปกคลุมดิน

ข้อมูลสำรวจนั้นมีลักษณะเป็นข้อมูลในรูปแบบของกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง (X, Y, Z) ไม่เกิน 3.1 มิลลิเมตร ในระยะการสแกนไม่เกิน 50 เมตรจากตัวเครื่อง ตามคุณสมบัติของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิตินั้นมีความหนาแน่นมาก เมื่อนำข้อมูลกลุ่มจุดความสูงมาสร้างโครงข่ายสามเหลี่ยม (Mesh) และแบบจำลองระดับความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model : DEM) ความละเอียดจุดภาพ 1 เซนติเมตร ค่าความถูกต้องในแนวราบ (X, Y) มีค่าความถูกต้องไม่เกิน 3.1 มิลลิเมตร และมีค่าความถูกต้องในแนวตั้ง (Z) มีค่าความถูกต้องที่ 1 เซนติเมตร

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของร่องธารด้วยข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (DEM) 3 ช่วงเวลา พบว่าร่องธาร A ในสวนปาล์ม มีการชะล้างมากที่สุดปริมาณรวมสุทธิ 1,244.07 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งช่วงเวลาที่ 3 เป็นช่วงที่เกิดการชะล้างมากที่สุดถึง 1,230.98 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลักษณะการเปลี่ยนแปลงนั้นกระจายทั่วบริเวณร่องธารเกิดการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดระหว่าง 1 – 3 เซนติเมตร ส่วนร่องธาร B ในสวนยางพารานั้นมีการชะล้างปริมาณรวมสุทธิ 1,508.02 ลูกบาศก์เซนติเมตร บริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นจะเกิดกลางร่องธารที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงมากกว่า 3 เซนติเมตรเกือบตลอดร่องธาร เมื่อระดับความลาดชันเพิ่มมากขึ้น ค่าเฉลี่ยของการชะล้างจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จึงสามารถสรุปได้ว่า การชะล้างของร่องธารในแต่ละร่องนั้น เมื่อมีความลาดชันของร่องธารและความลาดชันของพื้นที่รับน้ำที่แตกต่างกัน ปริมาณการเกิดการชะล้างและการทับถมก็จะแตกต่างกันด้วย

จากนั้นวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของร่องธารกับอิทธิพลของฝน โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เพื่อศึกษาว่าปัจจัยใดของน้ำฝนที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของร่องธารมากที่สุด พบว่า ร่องธารส่วนใหญ่เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยมีความสัมพันธ์กับจำนวนวันที่ฝนตกและปริมาณฝนมากที่สุด ยกเว้นร่องธาร A ในสวนปาล์ม ที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มฝนสูงสุด และเมื่อทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสูญเสียดินสุทธิต่อปีกับดัชนีกำลังของการไหลของน้ำในร่องธาร (Stream Power Index) พบว่าการชะล้างของร่องธาร A ในสวนปาล์ม มีการชะ

ล้ามน้อยกว่าร่องธาร B ในสวนยางพารา เนื่องจากร่องธาร B มีดัชนีกำลังของการไหลของน้ำที่รุนแรงกว่ามีค่า $r2 = 0.8248$ เนื่องจากปาล์มนั้นมีระบบรากเป็นรากฝอย ส่วนใหญ่จะกระจายอยู่บริเวณผิวดินลึกลงไปไม่เกิน 75 เซนติเมตร มีความหนาแน่นมากบริเวณโคนต้นในระยะ 1.5 – 2 เมตร ซึ่งสามารถช่วยลดความรุนแรงของกระแสน้ำได้ ซึ่งแตกต่างจากระบบรากของยางพาราที่เป็นระบบรากแก้ว มีขนาดรากใหญ่และลึกลงใต้ผิวดินเมื่อเกิด การไหลบ่าของน้ำหน้าดินจึงเกิดการสูญเสียดินมากกว่า

6.2 ปัญหาและอุปสรรค

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการเข้าพื้นที่ศึกษาเพื่อทำการสำรวจเก็บข้อมูลบางครั้งไม่สามารถดำเนินการตามที่กำหนดไว้ได้ จากการนำข้อมูลน้ำฝนมาวิเคราะห์พบว่าข้อมูลครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ปริมาณน้ำฝนเพิ่มมากขึ้นถึง 50% จากปริมาณน้ำฝนรวมทั้งหมด ทำให้ช่วงเวลาที่ 1 (1 ก.ค. – 13 ส.ค. 2561) มีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของร่องธารอย่างมาก เมื่อนำไปวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยอื่นๆ จึงทำให้การวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอย่างชัดเจน

6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยกำหนดให้มีร่องธารศึกษาจำนวน 6 ร่องธาร เมื่อนำค่าการเปลี่ยนแปลงที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์กับปัจจัยทางกายภาพต่างๆ ผลการศึกษาพบว่าไม่สามารถแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ได้ชัดเจน ดังนั้นหากมีการศึกษาเพิ่มเติมควรเพิ่มจำนวนร่องธารให้มีลักษณะที่มีความแตกต่างกันตามพื้นผิวภูมิประเทศตั้งแต่ต้นน้ำที่ก่อให้เกิดการกัดเซาะ ช่วงกลางร่องธาร จนถึงช่วงปลายร่องธารที่มีความแตกต่างกันตามลักษณะภูมิประเทศ นอกจากนี้ยังควรเพิ่มร่องธารที่เกิดขึ้นในพื้นที่สิ่งปกคลุมดินประเภทอื่นด้วย เช่น ทุเรียน กาแฟ ฯลฯ เพื่อศึกษาอิทธิพลสิ่งปกคลุมดินต่อการชะล้างและการเกิดร่องธารต่อไป

6.3.2 เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินมีรัศมีที่สามารถสแกนได้ไกลถึง 120 เมตร มีความถูกต้องสูงในระยะรัศมี 50 เมตร ดังนั้นควรเลือกพื้นที่ศึกษาที่กว้างขึ้นเพื่อให้ครอบคลุมจนถึงโคนของพืชที่ปกคลุมและมีความยาวจากจุดกำเนิดของร่องไปยังปลายร่อง ซึ่งจะทำให้ผู้วิจัยมีข้อมูลในการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของร่องธารและความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นๆ ได้ดียิ่งขึ้น

6.3.3 การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่มีความละเอียดสูง หากมีการศึกษาต่อไปอาจใช้วิธีการแบ่งพื้นที่วิเคราะห์ภายในร่องธารออกเป็นตารางกริด หรือให้เห็นความแตกต่างทั้งร่องธารทั้งส่วนต้น ส่วนกลาง และส่วนปลายของร่อง ซึ่งอาจทำให้เห็นความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงร่องธารกับปัจจัยต่างๆ มากขึ้น

6.3.4 หากมีการวิจัยครั้งถัดไปควรทดลองกำหนดให้ลักษณะรูปร่างของร่องธารเป็น ตัวแปรควบคุมในการศึกษาก็คือให้ร่องธารตัวอย่างมีขนาด ความกว้าง ความลึกใกล้เคียงกัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของร่องธารอาจเป็นผลจากรูปร่างของร่องธาร เช่น ร่องธารที่ขอบชันหรือกว้างอยู่แล้วอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้เร็วกว่าร่องธารที่มีขนาดเล็ก และความลึกไม่มากนัก เป็นต้น

6.3.5 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือลักษณะร่องธารกับปัจจัยทางกายภาพอื่น เช่น ลักษณะดิน สิ่งคลุมดิน ความลาดชัน กำลังของการไหลของน้ำในร่องธาร เนื่องด้วยการศึกษาครั้งนี้ทำให้ผู้วิจัยพบว่าการปลูกพืชชนิดเดียวกันรูปร่างลักษณะร่องธารมีหลายรูปแบบ เช่น U shape และ V shape ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยทางกายภาพข้างต้นที่แตกต่างกัน

บรรณานุกรม

- Abbas, M. A., Luh, L. C., Setan, H., Majid, Z., Chong, A. K., Aspuri, A., Idris, K. M., & Ariff, M. F. M. (2014). Terrestrial laser scanners pre-processing: Registration and georeferencing. *Jurnal Teknologi*, 71(4).
- Abdulmajed, R. I. A. (2017). *Accuracy comparison between GPS only and GPS plus GLONASS in RTK and static methods* Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Alkan, R. M., & Karsidag, G. (2012). Analysis of the accuracy of terrestrial laser scanning measurements. FIG Working week,
- Boehler, W., Vicent, M. B., & Marbs, A. (2003). Investigating laser scanner accuracy. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(Part 5), 696-701.
- Cosarca, C., Jocea, A., & Savu, A. (2009). Analysis of error sources in Terrestrial Laser Scanning. *Journal of Geodesy and Cadaster*, 11, 115-124.
- 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.
- ESRI. (2020). *Processing and analysis*. Retrieved 2 July from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/data/imagery/watershed-function.htm>
- Fuller, I. C., Riedler, R. A., Bell, R., Marden, M., & Glade, T. (2016). Landslide-driven erosion and slope-channel coupling in steep, forested terrain, Ruahine Ranges, New Zealand, 1946–2011. *Catena*, 142, 252-268.
- GIS Geography. (2019). *Vector vs Raster: What's the Difference Between GIS Spatial Data Types?* Retrieved June, 15 from <https://gisgeography.com/spatial-data-types-vector-raster>
- 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.
- Jourdan, C., Michaux-Ferrière, N., & Perbal, G. (2000). Root system architecture and gravitropism in the oil palm. *Annals of Botany*, 85(6), 861-868.

- Leica Geosystems. (2013). *Leica Scanstation P20 User Manual*. Retrieved June, 15 from <https://www.sccssurvey.co.uk/pdfs/HDS/Leica-ScanStation-P20-User-Manual.pdf>
- Melin, M., Shapiro, A., & Glover-Kapfer, P. (2017). Lidar for ecology and conservation. *WWF Conservation Technology*, 1 (3).
- 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: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 32(11), 1657-1674.
- Neugirg, F., Stark, M., Kaiser, A., Vlacilova, M., Della Seta, M., Vergari, F., Schmidt, J., Becht, M., & Haas, F. (2016). Erosion processes in calanchi in the Upper Orcia Valley, Southern Tuscany, Italy based on multitemporal high-resolution terrestrial LiDAR and UAV surveys. *Geomorphology*, 269, 8-22.
- 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.
- Rüther, H., Held, C., Bhurtha, R., Schroeder, R., & Wessels, S. (2012). From point cloud to textured model, the zamani laser scanning pipeline in heritage documentation. *South African Journal of Geomatics*, 1(1), 44-59.
- Schulz, T., & Ingensand, H. (2004). Terrestrial laser scanning-investigations and applications for high precision scanning. FIG Working Week 2004,
- Woodruff, C. (1948). Erosion in Relation to Rainfall, Crop Cover, and Slope on a Greenhouse Plot 1. *Soil Science Society of America Journal*, 12(C), 475-478.
- Woodward, D. (1999). Method to predict cropland ephemeral gully erosion. *Catena*, 37(3-4), 393-399.
- Wooldridge, D. D. (1964). Effects of parent material and vegetation on properties related to soil erosion in Central Washington. *Soil Science Society of America Journal*, 28(3), 430-432.
- Yusop, Z., Ch Yen, C. Y., & Chong, J. H. (2003). *Rainfall interception by old rubber stands* National Seminar on Environmental Managemnet, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi.
- กรมการปกครอง. (2560). จำนวนประชากรแยกชายอายุ. Retrieved 5 พฤษภาคม from

http://stat.dopa.go.th/stat/statnew/upstat_age_disp.php

กรมทรัพยากรธรณี. (2561). ธรณีวิทยาบริเวณภาคตะวันตกตอนล่างและภาคใต้. Retrieved 5 from

http://www.dmr.go.th/ewtadmin/ewt/dmr_web/n_more_news.php?filename=west_geo

กรมพัฒนาที่ดิน. (2543). การชะล้างพังทลายของดินในประเทศไทย. ห้างหุ้นส่วนจำกัด เพรสเพรส.

กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน. (2561). ข้อมูลดิน กลุ่มชุดดินที่ 34. Retrieved 5

พฤษภาคม 2561 from

http://www.ldd.go.th/thaisoils_museum/survey_1/DATA_gr4.htm

เกษม จันทร์แก้ว, ปรีชา คุรัตน์, สามัคคี บุญยะวัฒน์, ปรีชา ธรรมานนท์ และ นฤตย์ พันธุ์บุรณะ. (2519). การสูญเสียดินและน้ำ บริเวณป่าแม่หวด จังหวัดลำปาง. การวิจัยลุ่มน้ำที่ห้วยคอกม้า, 2519(28).

เกษม จันทร์แก้ว และ นิพนธ์ ตั้งธรรม. (2517). หลักปฏิบัติในการจัดการลุ่มน้ำ. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โครงการจัดทำแผนหลักการพัฒนาลุ่มน้ำระดับจังหวัด จังหวัดชุมพร. (2561). รายงานแผนหลักการพัฒนาลุ่มน้ำจังหวัดชุมพร.

จักรดล ศรีนนท์ และ วิรัชชัย น้อยเอี่ยม. (2557). การประเมินการสูญเสียดินบนพื้นที่ปลูกข้าวไร่ ด้วยสมการการสูญเสียดินสากล อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนเรศวร].

ณัฐสรณ์ คุปตะวานิช. (2558). การศึกษาปัจจัยทางเรขาคณิตของการสแกนที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

ถนอมนวล ณ ป้อมเพชร. (2532). การอนุรักษ์ดินในประเทศไทยกำลังพัฒนา. สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

ธีระ ลาภิศขยางกูล. (2554). ค่าระดับ (*Elevation*) อ้างอิงจากที่ไหน

นิพนธ์ ตั้งธรรม. (2527). การควบคุมการชะล้างพังทลายดิน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวนศาสตร์ ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา.

นิพนธ์ ตั้งธรรม. (2545). แบบจำลองคณิตศาสตร์การชะล้างพังทลายของดิน และมลพิษตะกอนในพื้นที่ลุ่มน้ำ.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน คณะวนศาสตร์ ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา.

พงษ์ศักดิ์ วิทวัสสุติกุล. (2543). แบบจำลองอุทกวิทยาลุ่มน้ำ. สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.

พิทยากร ลิ้มทอง. (2552). การชะล้างพังทลายของดินและการอนุรักษ์ดินและน้ำ.

ศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคใต้. (2562). ข้อมูลปริมาณฝนรายเดือน-ปี ลุ่มน้ำภาคใต้. Retrieved 15 มิถุนายน

from <http://hydro-8.com>

ส่วนวิศวกรรม สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา. (2560). งานสำรวจวางหมุดหลักฐานและงานสำรวจก่อสร้างอุโมงค์.

สันต์ สิริภักดิ์. (2536). การอนุรักษ์ดินและน้ำ (Vol. 62). โรงพิมพ์การศาสนา กรมการศาสนา.

สำนักงานจังหวัดชุมพร. (2561). ภูมิศาสตร์ของจังหวัด. Retrieved 5 พฤษภาคม 2561 from <http://www.chumphon.go.th/2013/page/geography>





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนทางดิ่งของ DEM



Palm A ครั้งที่ 1 (1 ก.ค. 61)							
Point	x	y	point h'	dem h	error	error (abs)	error^2
1	500268.962	1166898.383	74.417	74.416	0.001	0.001	0.000001
2	500269.704	1166898.185	74.407	74.416	-0.009	0.009	0.000081
3	500269.599	1166897.422	74.229	74.230	-0.001	0.001	0.000001
4	500270.082	1166897.137	74.480	74.480	0.000	0.000	0.000000
5	500270.315	1166897.781	74.475	74.486	-0.011	0.011	0.000121
6	500270.183	1166898.671	74.600	74.603	-0.003	0.003	0.000009
7	500270.585	1166898.149	74.473	74.469	0.004	0.004	0.000016
8	500271.024	1166897.668	74.708	74.710	-0.002	0.002	0.000004
9	500271.117	1166898.560	74.558	74.566	-0.008	0.008	0.000064
10	500271.617	1166898.181	74.925	74.928	-0.003	0.003	0.000009
11	500271.460	1166899.663	75.173	75.180	-0.007	0.007	0.000049
12	500271.649	1166899.242	74.754	74.759	-0.005	0.005	0.000025
13	500272.401	1166898.525	75.253	75.260	-0.007	0.007	0.000049
14	500272.326	1166899.354	74.869	74.880	-0.011	0.011	0.000121
15	500273.671	1166899.028	75.742	75.750	-0.008	0.008	0.000064
16	500272.440	1166900.008	75.603	75.610	-0.007	0.007	0.000049
17	500271.755	1166898.386	74.995	74.996	-0.001	0.001	0.000001
18	500271.488	1166898.909	74.599	74.601	-0.002	0.002	0.000004
19	500272.245	1166899.159	74.881	74.880	0.001	0.001	0.000001
20	500272.836	1166899.416	74.878	74.880	-0.002	0.002	0.000004
avg error						0.005	0.000034
						rms error	0.006
						accuracy Z	0.011

Palm A ครั้งที่ 8 (22 ธ.ค. 61)							
Point	x	y	point h'	dem h	error	error (abs)	error^2
1	500268.914	1166898.380	74.371	74.381	-0.010	0.010	0.000100
2	500269.470	1166897.626	74.124	74.130	-0.006	0.006	0.000036
3	500269.755	1166896.981	74.391	74.390	0.001	0.001	0.000001
4	500270.078	1166898.822	74.663	74.670	-0.007	0.007	0.000049
5	500270.430	1166898.324	74.396	74.400	-0.004	0.004	0.000016
6	500270.864	1166897.702	74.648	74.650	-0.002	0.002	0.000004
7	500270.986	1166899.383	74.974	74.973	0.001	0.001	0.000001
8	500271.453	1166898.769	74.597	74.600	-0.003	0.003	0.000009
9	500271.868	1166898.170	75.008	75.010	-0.002	0.002	0.000004
10	500271.609	1166899.801	75.241	75.240	0.001	0.001	0.000001
11	500271.867	1166899.224	74.640	74.645	-0.005	0.005	0.000025
12	500272.451	1166898.354	75.224	75.227	-0.003	0.003	0.000009
13	500272.004	1166899.949	75.418	75.420	-0.002	0.002	0.000004
14	500272.438	1166899.371	74.828	74.837	-0.009	0.009	0.000081
15	500272.883	1166898.688	75.483	75.480	0.003	0.003	0.000009
16	500272.899	1166900.286	75.753	75.757	-0.004	0.004	0.000016
17	500273.308	1166899.608	75.487	75.494	-0.007	0.007	0.000049
18	500273.672	1166899.115	75.711	75.709	0.002	0.002	0.000004
19	500272.870	1166899.389	74.893	74.890	0.003	0.003	0.000009
20	500270.450	1166898.246	74.401	74.400	0.001	0.001	0.000001
avg error						0.004	0.000021
						rms error	0.005
						accuracy Z	0.009

Palm B ครั้งที่ 1 (1 ก.ค. 61)							
Point	x	y	point h'	dem h	error	error (abs)	error^2
1	500266.844	1166866.038	74.026	74.030	-0.004	0.004	0.000016
2	500267.196	1166865.229	73.685	73.689	-0.004	0.004	0.000016
3	500267.405	1166864.485	73.991	73.991	0.000	0.000	0.000000
4	500267.605	1166866.269	74.368	74.370	-0.002	0.002	0.000004
5	500267.885	1166865.661	74.090	74.091	-0.001	0.001	0.000001
6	500268.397	1166865.386	74.455	74.458	-0.003	0.003	0.000009
7	500269.118	1166866.441	74.741	74.739	0.002	0.002	0.000004
8	500268.603	1166866.307	74.576	74.580	-0.004	0.004	0.000016
9	500268.910	1166865.715	74.712	74.711	0.001	0.001	0.000001
10	500269.427	1166865.840	74.930	74.935	-0.005	0.005	0.000025
11	500269.321	1166866.535	74.770	74.770	0.000	0.000	0.000000
12	500269.300	1166867.354	75.113	75.110	0.003	0.003	0.000009
13	500269.801	1166867.190	75.129	75.130	-0.001	0.001	0.000001
14	500269.946	1166866.604	74.992	74.994	-0.002	0.002	0.000004
15	500270.058	1166865.882	75.126	75.130	-0.004	0.004	0.000016
16	500270.498	1166866.920	75.272	75.277	-0.005	0.005	0.000025
17	500270.640	1166866.293	75.202	75.207	-0.005	0.005	0.000025
18	500270.779	1166865.581	75.257	75.256	0.001	0.001	0.000001
19	500267.552	1166865.495	73.902	73.904	-0.002	0.002	0.000004
20	500271.391	1166865.638	75.362	75.360	0.002	0.002	0.000004
avg error						0.003	0.000009
						rms error	0.003
						accuracy Z	0.006

Palm B ครั้งที่ 8 (22 ธ.ค. 61)							
Point	x	y	point h'	dem h	error	error (abs)	error^2
1	500267.000	1166865.951	74.065	74.070	-0.005	0.005	0.000025
2	500267.295	1166865.253	73.692	73.700	-0.008	0.008	0.000064
3	500267.507	1166864.659	74.027	74.024	0.003	0.003	0.000009
4	500269.975	1166866.249	74.969	74.971	-0.002	0.002	0.000004
5	500268.258	1166865.839	74.352	74.359	-0.007	0.007	0.000049
6	500268.505	1166865.199	74.496	74.500	-0.004	0.004	0.000016
7	500268.751	1166867.131	74.896	74.901	-0.005	0.005	0.000025
8	500269.061	1166866.533	74.717	74.710	0.007	0.007	0.000049
9	500269.176	1166865.824	74.807	74.810	-0.003	0.003	0.000009
10	500269.227	1166866.540	74.761	74.760	0.001	0.001	0.000001
11	500269.866	1166866.512	74.927	74.930	-0.003	0.003	0.000009
12	500269.998	1166865.848	75.115	75.110	0.005	0.005	0.000025
13	500270.181	1166866.978	75.138	75.140	-0.002	0.002	0.000004
14	500270.313	1166866.377	75.039	75.048	-0.009	0.009	0.000081
15	500270.318	1166865.772	75.161	75.154	0.007	0.007	0.000049
16	500270.849	1166866.521	75.280	75.286	-0.006	0.006	0.000036
17	500270.943	1166866.041	75.240	75.240	0.000	0.000	0.000000
18	500271.155	1166865.243	75.373	75.370	0.003	0.003	0.000009
19	500269.010	1166866.090	74.746	74.750	-0.004	0.004	0.000016
20	500270.057	1166866.355	74.970	74.978	-0.008	0.008	0.000064
avg error						0.005	0.000027
						rms error	0.005
						accuracy Z	0.010

Palm C ครั้งที่ 1 (1 ก.ค. 61)							
Point	x	y	point h'	dem h	error	error (abs)	error^2
1	500637.678	1166496.082	126.185	126.190	-0.005	0.005	0.000025
2	500637.543	1166495.263	125.927	125.930	-0.003	0.003	0.000009
3	500637.247	1166494.682	126.073	126.081	-0.008	0.008	0.000064
4	500638.095	1166495.018	126.193	126.200	-0.007	0.007	0.000049
5	500638.473	1166495.805	126.643	126.646	-0.003	0.003	0.000009
6	500638.300	1166494.352	126.632	126.631	0.001	0.001	0.000001
7	500639.031	1166494.815	126.667	126.670	-0.003	0.003	0.000009
8	500639.041	1166494.143	127.002	127.000	0.002	0.002	0.000004
9	500639.925	1166494.811	127.328	127.337	-0.009	0.009	0.000081
10	500640.549	1166495.165	127.954	127.951	0.003	0.003	0.000009
11	500640.834	1166493.835	127.795	127.796	-0.001	0.001	0.000001
12	500641.011	1166493.803	127.924	127.924	0.000	0.000	0.000000
13	500640.153	1166493.803	127.588	127.591	-0.003	0.003	0.000009
14	500640.100	1166494.472	127.260	127.260	0.000	0.000	0.000000
15	500639.087	1166494.422	126.814	126.803	0.011	0.011	0.000121
16	500639.506	1166494.108	127.207	127.209	-0.002	0.002	0.000004
17	500638.734	1166495.032	126.599	126.605	-0.006	0.006	0.000036
18	500639.022	1166494.454	126.752	126.745	0.007	0.007	0.000049
19	500639.746	1166495.184	127.415	127.418	-0.003	0.003	0.000009
20	500639.179	1166494.583	126.745	126.743	0.002	0.002	0.000004
avg error						0.004	0.000025
						rms error	0.005
						accuracy Z	0.010

Palm C ครั้งที่ 8 (22 ธ.ค. 61)							
Point	x	y	point h'	dem h	error	error (abs)	error^2
1	500637.591	1166496.016	126.118	126.120	-0.002	0.002	0.000004
2	500637.440	1166495.363	125.888	125.897	-0.009	0.009	0.000081
3	500637.286	1166494.755	126.082	126.080	0.002	0.002	0.000004
4	500638.380	1166495.912	126.604	126.610	-0.006	0.006	0.000036
5	500638.381	1166495.081	126.426	126.437	-0.011	0.011	0.000121
6	500637.999	1166494.440	126.485	126.490	-0.005	0.005	0.000025
7	500639.131	1166495.659	127.090	127.094	-0.004	0.004	0.000016
8	500639.102	1166494.829	126.736	126.748	-0.012	0.012	0.000144
9	500639.830	1166495.324	127.468	127.470	-0.002	0.002	0.000004
10	500639.559	1166494.707	126.977	126.982	-0.005	0.005	0.000025
11	500640.055	1166495.248	127.622	127.628	-0.006	0.006	0.000036
12	500639.703	1166494.839	127.208	127.209	-0.001	0.001	0.000001
13	500639.157	1166494.171	127.041	127.040	0.001	0.001	0.000001
14	500640.202	1166494.417	127.311	127.314	-0.003	0.003	0.000009
15	500639.085	1166494.785	126.706	126.710	-0.004	0.004	0.000016
16	500640.608	1166493.530	127.827	127.820	0.007	0.007	0.000049
17	500641.356	1166494.296	128.090	128.091	-0.001	0.001	0.000001
18	500639.909	1166494.364	127.166	127.170	-0.004	0.004	0.000016
19	500639.227	1166495.077	126.989	126.990	-0.001	0.001	0.000001
20	500638.481	1166494.839	126.482	126.483	-0.001	0.001	0.000001
avg error						0.004	0.000030
						rms error	0.005
						accuracy Z	0.011

Rubber A ครั้งที่ 1 (1 ก.ค. 61)							
Point	x	y	point h'	dem h	error	error (abs)	error^2
1	500358.214	1166507.682	104.615	104.622	-0.007	0.007	0.000049
2	500358.577	1166506.964	104.461	104.465	-0.004	0.004	0.000016
3	500359.013	1166506.130	104.768	104.767	0.001	0.001	0.000001
4	500358.927	1166508.192	105.087	105.090	-0.003	0.003	0.000009
5	500359.384	1166507.572	105.049	105.057	-0.008	0.008	0.000064
6	500359.810	1166507.165	105.175	105.180	-0.005	0.005	0.000025
7	500359.850	1166508.808	105.587	105.580	0.007	0.007	0.000049
8	500360.333	1166508.326	105.423	105.420	0.003	0.003	0.000009
9	500360.830	1166507.605	105.468	105.470	-0.002	0.002	0.000004
10	500360.665	1166509.212	105.868	105.870	-0.002	0.002	0.000004
11	500360.912	1166508.699	105.614	105.620	-0.006	0.006	0.000036
12	500361.384	1166508.060	105.634	105.635	-0.001	0.001	0.000001
13	500361.274	1166509.722	105.906	105.910	-0.004	0.004	0.000016
14	500361.545	1166509.240	105.790	105.800	-0.010	0.010	0.000100
15	500362.109	1166508.800	105.856	105.860	-0.004	0.004	0.000016
16	500361.836	1166510.228	105.876	105.880	-0.004	0.004	0.000016
17	500362.065	1166509.656	105.863	105.870	-0.007	0.007	0.000049
18	500362.550	1166508.923	105.916	105.920	-0.004	0.004	0.000016
19	500361.599	1166509.126	105.754	105.760	-0.006	0.006	0.000036
20	500360.290	1166508.202	105.344	105.340	0.004	0.004	0.000016
avg error						0.005	0.000027
						rms error	0.005
						accuracy Z	0.010

Rubber A ครั้งที่ 8 (22 ธ.ค. 61)							
Point	x	y	point h'	dem h	error	error (abs)	error^2
1	500358.114	1166507.627	104.591	104.590	0.001	0.001	0.000001
2	500358.517	1166506.982	104.437	104.440	-0.003	0.003	0.000009
3	500358.918	1166506.309	104.659	104.660	-0.001	0.001	0.000001
4	500358.972	1166508.104	105.062	105.070	-0.008	0.008	0.000064
5	500359.342	1166507.420	104.893	104.885	0.008	0.008	0.000064
6	500359.698	1166506.973	105.140	105.140	0.000	0.000	0.000000
7	500359.575	1166508.657	105.397	105.404	-0.007	0.007	0.000049
8	500360.115	1166508.101	105.254	105.260	-0.006	0.006	0.000036
9	500360.535	1166507.542	105.335	105.330	0.005	0.005	0.000025
10	500360.245	1166509.144	105.813	105.820	-0.007	0.007	0.000049
11	500360.736	1166508.589	105.541	105.540	0.001	0.001	0.000001
12	500361.170	1166508.065	105.562	105.570	-0.008	0.008	0.000064
13	500360.907	1166509.497	105.973	105.983	-0.010	0.010	0.000100
14	500361.393	1166509.014	105.712	105.711	0.001	0.001	0.000001
15	500361.853	1166508.458	105.798	105.800	-0.002	0.002	0.000004
16	500361.802	1166510.197	105.868	105.870	-0.002	0.002	0.000004
17	500362.055	1166509.527	105.859	105.860	-0.001	0.001	0.000001
18	500362.597	1166508.796	105.953	105.951	0.002	0.002	0.000004
19	500361.230	1166508.970	105.687	105.694	-0.007	0.007	0.000049
20	500359.240	1166507.376	104.818	104.821	-0.003	0.003	0.000009
					avg error	0.004	0.000027
					rms error		0.005
					accuracy Z		0.010

Rubber B ครั้งที่ 1 (1 ก.ค. 61)							
Point	x	y	point h'	dem h	error	error (abs)	error^2
1	500372.427	1166464.917	94.837	94.840	-0.003	0.003	0.000009
2	500372.750	1166464.222	93.959	93.963	-0.004	0.004	0.000016
3	500372.798	1166463.354	94.760	94.760	0.000	0.000	0.000000
4	500373.170	1166464.928	94.957	94.958	-0.001	0.001	0.000001
5	500373.318	1166464.313	94.016	94.020	-0.004	0.004	0.000016
6	500373.450	1166463.581	94.897	94.900	-0.003	0.003	0.000009
7	500374.223	1166464.152	94.698	94.701	-0.003	0.003	0.000009
8	500374.980	1166465.106	95.653	95.647	0.006	0.006	0.000036
9	500375.002	1166464.476	95.064	95.069	-0.005	0.005	0.000025
10	500375.051	1166463.904	94.812	94.807	0.005	0.005	0.000025
11	500375.148	1166463.297	95.542	95.546	-0.004	0.004	0.000016
12	500375.701	1166464.999	95.762	95.755	0.007	0.007	0.000049
13	500375.941	1166464.368	95.318	95.316	0.002	0.002	0.000004
14	500376.145	1166463.780	95.737	95.730	0.007	0.007	0.000049
15	500376.825	1166465.108	96.148	96.150	-0.002	0.002	0.000004
16	500377.013	1166464.272	95.688	95.690	-0.002	0.002	0.000004
17	500376.942	1166463.520	96.122	96.130	-0.008	0.008	0.000064
18	500377.059	1166464.254	95.704	95.706	-0.002	0.002	0.000004
19	500374.199	1166464.376	94.536	94.541	-0.005	0.005	0.000025
20	500375.213	1166464.167	94.856	94.860	-0.004	0.004	0.000016
avg error						0.004	0.000019
						rms error	0.004
						accuracy Z	0.009

Rubber B ครั้งที่ 8 (22 ธ.ค. 61)							
Point	x	y	point h'	dem h	error	error (abs)	error^2
1	500372.452	1166464.963	94.852	94.860	-0.008	0.008	0.000064
2	500372.780	1166464.245	93.948	93.950	-0.002	0.002	0.000004
3	500372.867	1166463.421	94.744	94.743	0.001	0.001	0.000001
4	500373.262	1166464.922	94.928	94.938	-0.010	0.010	0.000100
5	500373.417	1166464.359	94.012	94.020	-0.008	0.008	0.000064
6	500373.498	1166463.572	94.889	94.890	-0.001	0.001	0.000001
7	500374.031	1166464.984	95.106	95.112	-0.006	0.006	0.000036
8	500374.168	1166464.358	94.480	94.484	-0.004	0.004	0.000016
9	500374.368	1166463.552	95.176	95.182	-0.006	0.006	0.000036
10	500374.865	1166465.055	95.547	95.551	-0.004	0.004	0.000016
11	500375.025	1166464.201	94.780	94.784	-0.004	0.004	0.000016
12	500375.126	1166463.456	95.479	95.480	-0.001	0.001	0.000001
13	500375.984	1166465.054	95.811	95.820	-0.009	0.009	0.000081
14	500376.170	1166464.348	95.086	95.093	-0.007	0.007	0.000049
15	500376.388	1166463.473	95.909	95.909	0.000	0.000	0.000000
16	500376.786	1166465.070	96.092	96.098	-0.006	0.006	0.000036
17	500377.077	1166464.303	95.641	95.640	0.001	0.001	0.000001
18	500377.071	1166463.484	96.188	96.182	0.006	0.006	0.000036
19	500374.135	1166464.329	94.450	94.458	-0.008	0.008	0.000064
20	500375.532	1166464.219	94.845	94.847	-0.002	0.002	0.000004
avg error						0.005	0.000031
						rms error	0.006
						accuracy Z	0.011

Rubber C ครั้งที่ 1 (1 ก.ค. 61)							
Point	x	y	point h'	dem h	error	error (abs)	error^2
1	500348.353	1166504.223	97.124	97.121	0.003	0.003	0.000009
2	500348.633	1166503.461	97.197	97.201	-0.004	0.004	0.000016
3	500348.794	1166502.744	97.373	97.379	-0.006	0.006	0.000036
4	500349.153	1166504.321	97.686	97.690	-0.004	0.004	0.000016
5	500349.208	1166503.649	97.600	97.602	-0.002	0.002	0.000004
6	500349.376	1166502.832	97.682	97.681	0.001	0.001	0.000001
7	500349.756	1166504.410	98.082	98.077	0.005	0.005	0.000025
8	500349.830	1166503.659	97.893	97.899	-0.006	0.006	0.000036
9	500350.023	1166502.881	98.091	98.100	-0.009	0.009	0.000081
10	500350.429	1166504.573	98.546	98.550	-0.004	0.004	0.000016
11	500350.641	1166503.874	98.468	98.467	0.001	0.001	0.000001
12	500350.938	1166503.037	98.766	98.765	0.001	0.001	0.000001
13	500351.221	1166504.703	99.204	99.209	-0.005	0.005	0.000025
14	500351.452	1166503.900	99.034	99.045	-0.011	0.011	0.000121
15	500351.763	1166503.153	99.331	99.330	0.001	0.001	0.000001
16	500351.983	1166504.674	99.648	99.646	0.002	0.002	0.000004
17	500352.234	1166504.125	99.497	99.502	-0.005	0.005	0.000025
18	500352.494	1166503.346	99.841	99.851	-0.010	0.010	0.000100
19	500349.444	1166503.660	97.706	97.711	-0.005	0.005	0.000025
20	500350.542	1166503.780	98.355	98.360	-0.005	0.005	0.000025
avg error						0.004	0.000028
						rms error	0.005
						accuracy Z	0.010

Rubber C ครั้งที่ 8 (22 ธ.ค. 61)							
Point	x	y	point h'	dem h	error	error (abs)	error^2
1	500348.689	1166504.290	97.402	97.407	-0.005	0.005	0.000025
2	500348.676	1166503.432	97.172	97.180	-0.008	0.008	0.000064
3	500348.856	1166502.852	97.402	97.402	0.000	0.000	0.000000
4	500349.250	1166504.319	97.709	97.710	-0.001	0.001	0.000001
5	500349.365	1166503.696	97.667	97.670	-0.003	0.003	0.000009
6	500349.759	1166502.920	97.878	97.888	-0.010	0.010	0.000100
7	500350.085	1166504.444	98.274	98.277	-0.003	0.003	0.000009
8	500350.442	1166503.775	98.293	98.300	-0.007	0.007	0.000049
9	500350.727	1166502.960	98.658	98.656	0.002	0.002	0.000004
10	500351.040	1166504.550	99.020	99.020	0.000	0.000	0.000000
11	500351.279	1166503.876	98.898	98.906	-0.008	0.008	0.000064
12	500351.526	1166503.156	99.126	99.132	-0.006	0.006	0.000036
13	500351.702	1166504.610	99.414	99.422	-0.008	0.008	0.000064
14	500351.955	1166504.054	99.407	99.417	-0.010	0.010	0.000100
15	500352.235	1166503.179	99.600	99.600	0.000	0.000	0.000000
16	500351.127	1166503.825	98.775	98.777	-0.002	0.002	0.000004
17	500352.523	1166503.383	99.835	99.837	-0.002	0.002	0.000004
18	500351.353	1166503.850	98.913	98.920	-0.007	0.007	0.000049
19	500350.659	1166503.747	98.358	98.360	-0.002	0.002	0.000004
20	500349.480	1166503.630	97.683	97.691	-0.008	0.008	0.000064
avg error						0.005	0.000033
						rms error	0.006
						accuracy Z	0.011



ภาคผนวก ข รายงานผลการทดสอบเนื้อดิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



กรมชลประทาน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

รายงานผลการทดสอบด้วยยางดิน
งานวิทยานิพนธ์ เรื่อง การประยุกต์ใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามมิติ
เพื่อติดตามการชะล้างพังทลายแบบร่องธาร
คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Lab.No.CE. 1343/2562
ส่วนทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ
สำนักวิจัยและพัฒนา

ส่วนทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ
สำนักวิจัยและพัฒนา
กรมชลประทาน



ลำดับงานที่ CE 1343/2562
โครงการ จัดทำวิทยานิพนธ์
คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปจำนวนผลการทดสอบ

ตัวอย่าง	ชนิด	Unified soil classification	Atterberg's limits	Sieve analysis	Hydro- meter analysis	Specific gravity	Compaction test	Permeability test	Direct shear test	Consolidation test	Triaxial UU, test	Triaxial CU, test	Unconfined compression test	หมายเหตุ
1	EX-1	1	1	1	1	1								
2	EX-2	1	1	1	1	1								
3	EX-3	1	1	1	1	1								
4	EX-4	1	1	1	1	1								
5	EX-5	1	1	1	1	1								
6	EX-6	1	1	1	1	1								
รวม		6	6	6	6	6								

ผลการวิเคราะห์และทดสอบนี้รับรองตาม
วันที่ออกวันที่ได้รวมงานที่ 222 ม.พ.พ. 2562
ผู้ตรวจสอบคือ นายอึ้ง พงษ์สวัสดิ์ สำนักวิจัยและพัฒนา
ผู้ทำบัญชีในการโฆษณา นายอดิวัฒน์ ภูมิประพันธ์
สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน



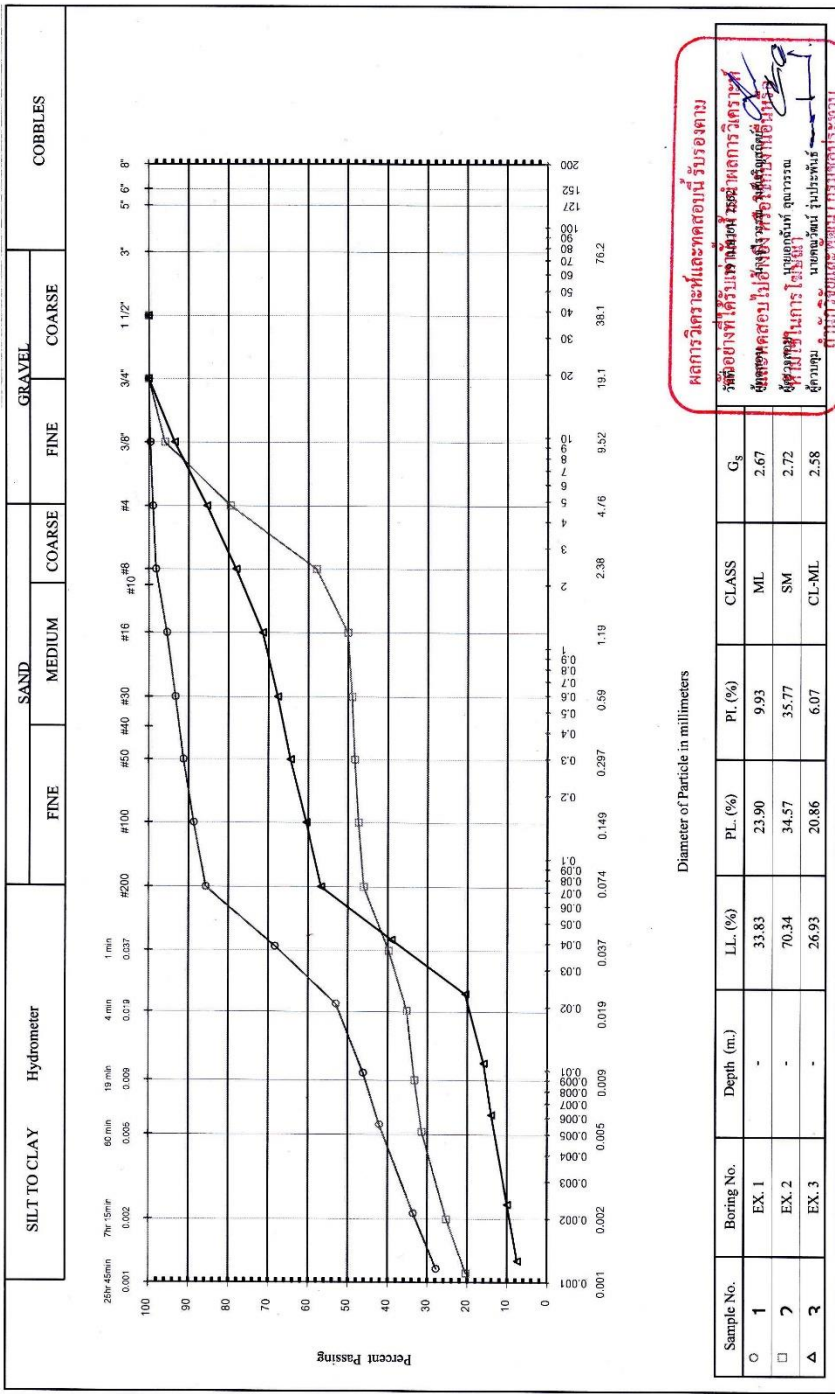
สำนักงานที่
โครงการ

CE 1343/2562

งานวิศวกรรม

ส่วนทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ
สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

GRADATION TEST

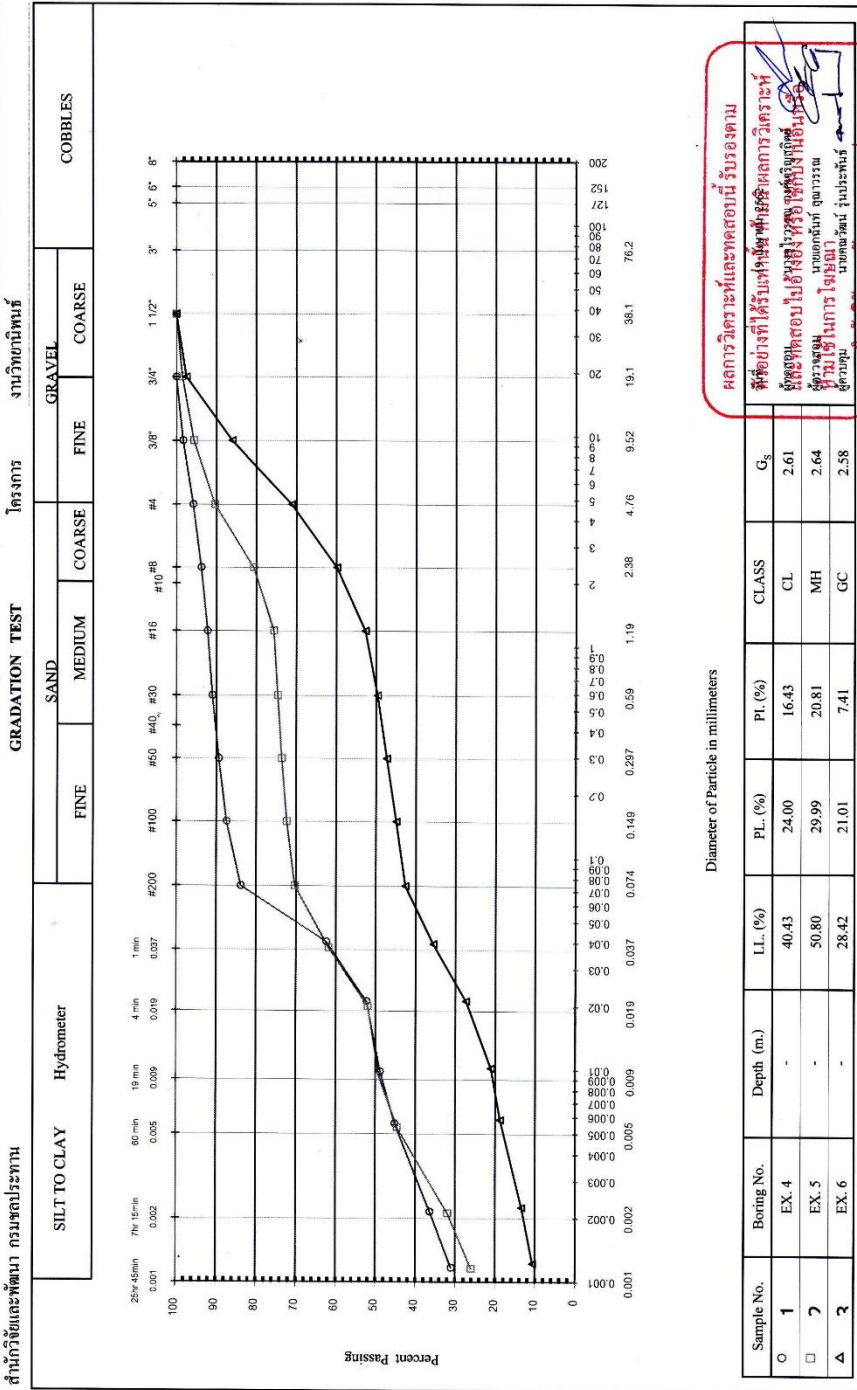


ผลการวิเคราะห์และทดสอบนี้รับรองตาม
วิธีการที่ ได้รับขึ้นโดยวิธีทดสอบการวิเคราะห์
คุณสมบัติของดินในชั้นดินที่เจาะ ซึ่งได้ปฏิบัติตาม
ข้อกำหนดของกรมชลประทาน
ผู้ควบคุมการวิเคราะห์
นายคุณวัฒน์ ภูมิประทีป
ผู้ควบคุมการวิเคราะห์ดิน
กรมชลประทาน

รายงานผลการทดสอบตัวอย่างดินในสวนป่าลัม



ส่วนทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ
 สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน
 กรุงเทพมหานคร กรมชลประทาน
 โครงการ งานวิทยานิพนธ์
 CE 1343/2562
 ลำดับงานที่



รายงานผลการทดสอบตัวอย่างดินในสวนยางพารา

2.36 mm.



1.00 mm.



425 micron



250 micron



63 micron



< 63 micron



ขนาดตัวอย่างของเม็ดดินในห้องการศึกษาที่ทดสอบด้วยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	จันทร์จิรา สารสำเร็จ
วัน เดือน ปี เกิด	28 กรกฎาคม 2532
สถานที่เกิด	นราธิวาส
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
ที่อยู่ปัจจุบัน	81/180 หมู่บ้านคาซ่าเพรสโต้ วงแหวน-ปิ่นเกล้า ต.ศาลากลาง อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 11130
ผลงานตีพิมพ์	จันทร์จิรา สารสำเร็จ และ เอกกมล วรรณเมธี. (2563). การใช้เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามมิติเพื่อติดตามการกร่อนดินแบบริ้ว. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 23(2),



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY