

บทที่ 2

เนื้อเรื่อง

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การประเมินความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

1.1 ศึกษาปัจจัยและตัวแปรที่เป็นสาเหตุและเกี่ยวข้องกับการเกิดแผ่นดินถล่ม

1.1.1 สำรวจพื้นที่และเก็บรวบรวมข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่เกิดแผ่นดินถล่ม และศึกษาประวัติการใช้ที่ดินและการจัดการที่ดินของพื้นที่ที่เกิดแผ่นดินถล่ม ในปี พ.ศ. 2549

1.1.2 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านสภาพแวดล้อมต่างๆ (ตัวแปรอิสระ) กับการเกิดแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำของอำเภอลับแล (ตัวแปรตาม) ด้วยการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation) ในกรณีของตัวแปรที่เป็นข้อมูลเชิงเลข (Numerical and continuous data) และใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วยเทคนิค Complete mapping analysis ภายใต้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในกรณีที่ตัวแปรที่เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (Categorical data) เพื่อกำหนดระดับคะแนนของตัวแปรและค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยใช้ตัวแปรและปัจจัยดังต่อไปนี้

- ปัจจัยด้านสภาพภูมิประเทศ (ความสูงของพื้นที่ ความลาดชัน ทิศด้านลาด ประเภทการใช้ที่ดินและชนิดป่าไม้ ลักษณะแผ่นดิน ความเสถียรภาพของพื้นที่)
- ปัจจัยด้านพื้นที่และโครงสร้างทางธรณีวิทยา (ประเภทหิน หูดิน การระบายน้ำของดิน ความลึกของชั้นดิน)
- ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ (ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ย)

1.1.3 ชั้นข้อมูลตัวแปรต่างๆ และชั้นข้อมูลขอบเขตการเกิดแผ่นดินถล่ม จะถูกแปลงเป็นชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่แบบราสเตอร์ (Raster format) ด้วยความละเอียดเชิงพื้นที่ 5 เมตร (Spatial resolution) และถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์

1.1.4 กำหนดระดับคะแนนของตัวแปรและค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่ม ด้วยวิธี Complete mapping analysis ภายใต้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$X_i = \frac{\left(\frac{O_i}{e_i}\right) \times 100}{\sum_{i=1 \dots n} \left(\frac{O_i}{e_i}\right)} ; \quad e_i = \left(\frac{T \times F}{100}\right)$$

โดยที่ X_i = ระดับคะแนนของแต่ละประเภท (score of each category) ภายในตัวแปร (variable)

i = จำนวนประเภททั้งหมด (category) ภายในตัวแปร (variable)

O_i = พื้นที่ดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละประเภท (category) ภายในตัวแปร

e_i = พื้นที่ดินถล่มจากการคาดการณ์ในแต่ละประเภท (category) ภายในตัวแปร

T = ผลรวมทั้งหมดของเนื้อที่ดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ทั้งหมด

F = เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ในแต่ละประเภทของตัวแปร

$$w_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M}$$

โดยที่ i = จำนวนตัวแปรทั้งหมด

w_i = ค่าความสำคัญของตัวแปร (Weight of each variable) ซึ่งสัมพันธ์กับตัวแปรทั้งหมด

M_i = ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์พื้นที่ดินถล่มภายในพื้นที่แต่ละประเภท (category) ภายในตัวแปรแต่ละตัว

$\sum M$ = ผลรวมของค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์พื้นที่เกิดดินถล่มจากตัวแปรทั้งหมด

1.2 สร้างแบบจำลองความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ด้วยการวิเคราะห์สมการเส้นตรง และวิธีการทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

การประเมินความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่มในการศึกษานี้ได้ใช้หลักการของเทคนิคสมการเชิงเส้นตรงอย่างง่าย (Weighted Linear Combination Technique, WLC) ภายใต้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยนำตัวแปรและปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา มากำหนดระดับคะแนนความเปราะบางของพื้นที่ ซึ่งตัวแปรบางตัวจะกำหนดเป็นระดับความเปราะบางในเชิงบรรยาย เช่น ความเปราะบางระดับต่ำ ความเปราะบางระดับสูง และความเปราะบางระดับต่ำ เป็นต้น

หลังจากนั้นนำตัวแปรและปัจจัยทุกด้านมาวิเคราะห์การซ้อนทับเพื่อหาคำอธิบายผลรวมของค่าระดับความประบางของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่มภายในพื้นที่ศึกษา โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$LS = \left(T \sum_{i=6}^n u_i v_i + G \sum_{j=4}^n w_j x_j + C \sum_{k=2}^n y_k z_k \right)$$

โดยที่ :

- LS = ค่าคะแนนรวมของความประบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม
- T = ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยสภาพภูมิประเทศที่สัมพันธ์กับปัจจัยด้านอื่นๆ
- G = ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยด้านปฐพีวิทยาและ โครงสร้างทางธรณีที่สัมพันธ์กับปัจจัยด้านอื่นๆ
- C = ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศที่สัมพันธ์กับปัจจัยด้านอื่นๆ
- i = จำนวนตัวแปรทั้งหมดในปัจจัยสภาพภูมิประเทศ
- j = จำนวนตัวแปรทั้งหมดในปัจจัยด้านปฐพีวิทยาและ โครงสร้างทางธรณี
- k = จำนวนตัวแปรทั้งหมดในปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ
- u_i = ค่าน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรแต่ละตัวในปัจจัยสภาพภูมิประเทศ
- w_j = ค่าน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรแต่ละตัวในปัจจัยด้านปฐพีวิทยาและ โครงสร้างทางธรณี
- y_k = ค่าน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรแต่ละตัวในปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ
- v_i = ค่าคะแนนความประบางของพื้นที่ของตัวแปรด้านสภาพภูมิประเทศ
- x_j = ค่าคะแนนความประบางของพื้นที่ของตัวแปรด้านปฐพีวิทยาและ โครงสร้างทางธรณี
- z_k = ค่าคะแนนความประบางของพื้นที่ของตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศ
- Elev = ค่าคะแนนความประบางของพื้นที่สำหรับตัวแปรความสูงของพื้นที่
- Slpe = ค่าคะแนนความประบางของพื้นที่สำหรับตัวแปรความลาดชันของพื้นที่
- Asp = ค่าคะแนนความประบางของพื้นที่สำหรับตัวแปรทิศด้านลาด
- Lndfm = ค่าคะแนนความประบางของพื้นที่สำหรับตัวแปรลักษณะแผ่นดิน
- Stabt = ค่าคะแนนความประบางของพื้นที่สำหรับตัวแปรความเสถียรภาพของความลาดชันของพื้นที่
- Lnduse = ค่าคะแนนความประบางของพื้นที่สำหรับตัวแปรประเภทการใช้ที่ดิน
- Geo = ค่าคะแนนความประบางของพื้นที่สำหรับตัวแปรชนิดหิน



- Soil = ค่าคะแนนความเปราะบางของพื้นที่สำหรับตัวแปรชุดดิน
- Drain = ค่าคะแนนความเปราะบางของพื้นที่สำหรับตัวแปรการระบายน้ำของดิน
- Dpth = ค่าคะแนนความเปราะบางของพื้นที่สำหรับตัวแปรความลึกของดิน
- Rnfall = ค่าคะแนนความเปราะบางของพื้นที่สำหรับตัวแปรปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย
- Rnmax = ค่าคะแนนความเปราะบางของพื้นที่สำหรับตัวแปรปริมาณน้ำฝนสูงสุด

อย่างไรก็ตามการเลือกใช้วิธีการและเทคนิคในการวิเคราะห์หาความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่มนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละกรณีด้วย เช่น สภาพของพื้นที่ศึกษา ความสมบูรณ์ของข้อมูลและเอกสารงานวิจัยที่มีอยู่ และโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นต้น

1.3 การทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

แบบจำลองความเปราะบางของพื้นที่ที่ได้ ถูกนำมาวิเคราะห์ความสอดคล้องกันเชิงพื้นที่ โดยแสดงอยู่ในรูปของค่า Coincide area value (CV) ซึ่งแสดงถึงความสอดคล้องกันระหว่างพื้นที่ดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ศึกษากับพื้นที่ในแต่ละระดับชั้นความเปราะบางของการเกิดดินถล่มที่ได้จากแบบจำลอง โดยค่าคะแนนความสอดคล้องกันของพื้นที่ (CV) ในระดับสูงแสดงถึงระดับความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งการคำนวณค่า CV ใช้สมการดังต่อไปนี้

$$CV = \frac{2 \times S \times 100}{(R+LS)}$$

- โดยที่ CV = ค่าคะแนนความสอดคล้องกันของพื้นที่ของแต่ละระดับความเปราะบางต่อการเกิดดินถล่ม โดยเปรียบเทียบกับพื้นที่ดินถล่มทั้งหมดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา
- R = พื้นที่ของแต่ละระดับชั้นความเปราะบางต่อการเกิดดินถล่มจากแบบจำลองที่สร้างขึ้น
- LS = พื้นที่ดินถล่มทั้งหมดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา
- S = พื้นที่ตรงกันระหว่างพื้นที่ดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่ศึกษากับพื้นที่ในแต่ละระดับชั้นความเปราะบางของการเกิดดินถล่ม

1.4 การประเมินความเสี่ยงของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่ม โดยใช้แบบจำลอง ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (Antecedent Precipitation Index : API) แรกเริ่มของพื้นที่ศึกษา

นอกจากการประเมินความความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่ม ด้วยเทคนิค WLC ข้างต้นแล้ว การศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการประเมินความเสี่ยงของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่มจากการใช้ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน หรือ ค่า API (Antecedent Precipitation Index) เพื่อทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองทั้งสอง ซึ่งค่า API เป็นค่าดัชนีที่ใช้ชี้วัดปริมาณความชื้นที่มีอยู่ก่อนใน

ดิน โดยเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการสะสมของน้ำฝนที่ตกลงมา ทำให้สามารถนำมาประเมินประสิทธิภาพการให้น้ำท่าที่ไหลในลำธารของพื้นที่ต้นน้ำ (พงษ์ศักดิ์ และวารินทร์, 2551) โดยแสดงในรูปของค่า Runoff curve number (CN) โดยค่า CN จะเป็นผลรวมของปัจจัยลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีบทบาทต่อการให้น้ำท่าที่ไหลในลำธาร หรือ runoff producing characteristics ซึ่งการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้นำค่า CN ของปัจจัยด้านต่าง ๆ มาใช้เป็นตัวแทนความสามารถของพื้นที่ต้นน้ำในการดูดซับน้ำฝนและระบายน้ำท่าให้กับพื้นที่ท้ายน้ำ โดยปัจจัยและตัวแปรที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

- (1) ลักษณะภูมิประเทศ (CNto)
 - ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง
 - ความลาดชันของพื้นที่
 - ลักษณะแผ่นดิน
- (2) ชนิดของดิน (CNso)
 - ชุดดิน
 - เนื้อดิน
 - ความลึกของดิน
- (3) ประเภทและปริมาณพืชคลุมดิน (CNve)
 - ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน
- (4) แหล่งน้ำที่ผิวดิน (CNss)
 - ประเภทและสัดส่วนเนื้อที่ของแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ

ทั้งนี้เกณฑ์ในการกำหนด CN ให้กับปัจจัยและตัวแปรต่าง ๆ ที่มีบทบาทต่อการให้น้ำท่าที่ไหลในลำธารของพื้นที่ต้นน้ำ อันประกอบไปด้วย ลักษณะพื้นที่ ชนิดดิน ชนิดของพืชคลุมดินและแหล่งน้ำผิวดิน ได้ใช้แนวคิดของ SCS-CN method ที่มีพื้นฐานมาจากหนึ่งสมการและสองสมมติฐาน (พงษ์ศักดิ์ และพิณทิพย์, 2551) โดยสำหรับสมการที่ใช้เป็นหลักของ SCS-CN method คือ สมการสมดุลของน้ำระหว่างปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาแต่ละครั้ง (P) ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับผลรวมของช่องว่างที่เหลืออยู่ในดิน (Initial abstraction, Ia) ปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่เคลื่อนตัวผ่านชั้นดินลงไปเป็นน้ำใต้ดิน (F) และปริมาณน้ำที่ไหลออกจากพื้นที่ ทั้งทางผิวดิน และไหลตามด้านข้างใต้ผิวดินหรือน้ำไหลจากดินชั้นบน (Q) นั่นคือ

$$P = Ia + F + Q$$

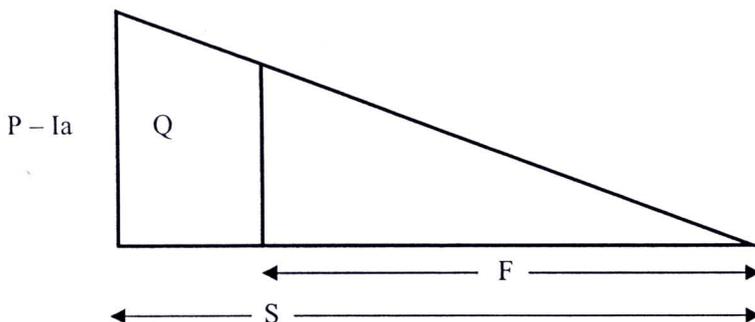
โดยที่น้ำที่ไหลบ่าหน้าผิวดิน และน้ำที่ไหลตามด้านข้างใต้ผิวดินที่เกิดขึ้นจากการตกของฝนแต่ละครั้ง (Q) นี้เป็นส่วนเกิดของน้ำฝน (P) จากการเติมเต็มช่องว่างที่เหลืออยู่ในดิน (Ia) และน้ำฝนที่เคลื่อนตัวผ่านชั้นดินลงไปเป็นน้ำใต้ดิน (F) นั่นคือ

$$Q = P - Ia - F$$

ในส่วนของสมมติฐานข้อแรก คือ สัดส่วนระหว่างค่า Q กับค่า P - Ia จะต้องมีค่าเท่ากับ สัดส่วนระหว่างค่า F กับ ค่า S ในเมื่อ S เป็นปริมาณน้ำสูงสุดที่ดินสามารถเก็บกักเอาไว้ได้ ในขณะที่เดียวกันจะปลดปล่อยน้ำในดินบางส่วนให้กับลำธาร ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$Q/(P - Ia) = F/S$$

ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการของสามเหลี่ยมคล้าย (Proportionality concept) ดังภาพประกอบด้านล่าง กล่าวคือ



ภาพหลักการของสามเหลี่ยมคล้าย ได้แสดงถึง น้ำไหลจากดินชั้นบนหรือ direct runoff (Q) จะมีค่าสูงสุดเท่ากับฝนที่ตกลงมาทั้งหมด ที่ผ่านการหักออกจากรีมาณน้ำฝนที่เติมเต็มช่องว่างภายในดิน หรือ P - Ia ซึ่งเทียบได้กับปริมาณน้ำฝนที่เคลื่อนตัวผ่านชั้นดินลงไป (F) ซึ่งจะมีค่าได้สูงสุดเท่ากับ ความสามารถในการเก็บกักและระบายน้ำของชั้นดิน (S) นั่นเอง

สำหรับสมมติฐานที่สองคือ ค่า Ia มีค่าความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรงกับค่า S ซึ่งได้จากการเก็บวัดข้อมูลในแปลงทดลอง พบว่า (Mishra and Singh, 2003)

$$Ia = 0.2 * S$$

แนวคิดของ SCS-CN method สามารถอธิบายได้ว่า ฝนที่ตกลงมาแต่ละครั้งนั้น ปริมาณน้ำที่จะระบายให้กับพื้นที่ทำน้ำทั้งในรูปของน้ำไหลบ่าหน้าผิวดิน และน้ำที่ไหลตามด้านข้างใต้ผิวดิน จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา กับความสามารถสูงสุดของพื้นที่ในการเก็บกักน้ำ และช่องว่างที่มีอยู่ในชั้นดินในขณะนั้น แต่เนื่องจากค่า S หรือค่าความสามารถสูงสุดของพื้นที่ในการเก็บ

กักน้ำจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละท้องที่และเวลา โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง Infinity ซึ่งประเมินค่าไม่ได้

ดังนั้น SCS จึงมีการแปลงค่า S ให้อยู่ในรูปของค่าคะแนนที่อยู่ภายในช่วงที่จำกัดระหว่าง 0 ถึง 100 แทน ค่าคะแนนดังกล่าวเรียกว่า runoff curve number หรือ ค่า CN นั่นเอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ว่า CN ที่มีค่าน้อย จะหมายถึงสภาพพื้นที่ต้นน้ำแห่งนั้นมีความสามารถในการดูดซับและเก็บกักน้ำฝนไว้ได้ดี ทำให้น้ำที่ระบายให้กับพื้นที่ท้ายน้ำที่เกิดขึ้นจากการตกของฝนแต่ละครั้งมีค่าน้อย ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่า CN มาก แสดงว่าพื้นที่ต้นน้ำแห่งนั้นมีความสามารถในการดูดซับและเก็บกักน้ำฝนไม่ดี น้ำฝนที่ตกลงมาส่วนใหญ่จึงระบายให้กับพื้นที่ท้ายน้ำแทน จากเงื่อนไขดังกล่าวนี้ ค่า CN จึงมีลักษณะที่ผกผันกับความสามารถในการเก็บกักและระบายน้ำของชั้นดิน หรือค่า S (พงษ์ศักดิ์ และพิณทิพย์, 2551)

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้กำหนดสัดส่วนของน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีบทบาทต่อการให้น้ำท่าที่ไหลในลำธาร คือ CNto:CNso:CNve:CNss มีค่าเท่ากับ 40:20:20:20 โดยได้สร้างเกณฑ์ในการกำหนดค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยและตัวแปรที่ถูกดัดแปลงจาก พงษ์ศักดิ์ และพิณทิพย์ (2551) Mishra and Singh (2003) และ Schwab *et al.* (1971)

หลังจากนั้นได้ทำการปรับเปลี่ยนผลรวมของค่า CN ให้เป็นค่า “API แรกเริ่มของพื้นที่ศึกษา” จากสมการแบบจำลองด้านล่างนี้

$$API = CNto + CNso + CNve + CNss + \text{ค่าสัมประสิทธิ์จากปริมาณน้ำฝนรายปี}$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์จากปริมาณน้ำฝนรายปี ได้ถูกกำหนดจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของปี พ.ศ.2549 ในพื้นที่ศึกษาดังต่อไปนี้ (พงษ์ศักดิ์ และ พินทิพย์, 2551)

ปริมาณน้ำฝนรายปี (มม.)	ค่าสัมประสิทธิ์
> 1,800	+20
1,601 - 1,800	+10
1,401 - 1,600	0
1,201 - 1,400	-20
< 1,200	-40

ค่า API แรกเริ่มของพื้นที่ศึกษา ได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่มด้วยกระบวนการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ภายใต้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ในขั้นตอนต่อไป พร้อมทั้งการทวนสอบความถูกต้องของแบบจำลอง API แรกเริ่มของพื้นที่ศึกษา (API

model) เพื่อนำไปเปรียบเทียบความถูกต้องกับแบบจำลองประเมินความเปราะบางของพื้นที่ต่อดิน
ถล่มด้วยเทคนิค WLC (WLC model)

2. การประเมินผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางการเกษตร เนื่องจากการเกิดแผ่นดินถล่ม ในพื้นที่ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

2.1 ศึกษาผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของพื้นที่การเกษตรจากการเกิดแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้น ในพื้นที่การเกษตร

2.1.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Soil fertility) ของพื้นที่
การเกษตรหลังจากที่เกิดแผ่นดินถล่มและยังไม่มีมีการฟื้นฟูหรือปรับสภาพพื้นที่
โดยเก็บรวบรวมตัวแปรคุณสมบัติของดินด้านกายภาพและเคมี ซึ่งมีขั้นตอน
ดังต่อไปนี้

- เลือกแปลงตัวอย่างที่เกิดผลกระทบจากแผ่นดินถล่มและการทับถมของมวล
ดินจากพื้นที่การเกษตร 3 ประเภท ได้แก่ สวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชัน สวน
ผลไม้ผสมที่ราบ และนาข้าว
- เลือกแปลงตัวอย่างการเกษตรทั้ง 3 ประเภท ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการเกิด
แผ่นดินถล่มและการทับถมของมวลดิน โดยกำหนดให้เป็นแปลงควบคุม เพื่อ
เปรียบเทียบกับแปลงที่ได้รับผลกระทบ
- ทำการเก็บตัวอย่างดินและข้อมูลสภาพแวดล้อมของการใช้ที่ดินแต่ละ
ประเภท (Maint reatments) ให้มี 4 ซ้ำ (4 replicates) เป็นอย่างต่ำเพื่อศึกษา
คุณสมบัติของดินที่มีผลต่อการเกษตร โดยตัวอย่างดินจะถูกเก็บรวบรวมที่
ระดับความลึก 0-5 (Surface layer) 20-25 ซม. (Subsurface layer) และ
50-70 ซม. (Subsoil layer) จำนวน 5 ตำแหน่งของแต่ละแปลงตัวอย่าง แล้ว
นำมาผสมคลุกเคล้ากัน (Composite sample) เพื่อเป็นตัวอย่างดินสำหรับแต่ละ
แปลงตัวอย่างของการใช้ที่ดินแต่ละประเภท โดยตัวอย่างดินของ
การเกษตรทุกประเภท จะถูกเก็บรวบรวมในช่วงเวลาก่อนการปลูกข้าว
ตัวอย่างดินทั้งหมด จะถูกทำให้แห้งและบดโดยผ่านตะแกรงขนาด 2
มิลลิเมตร แล้วนำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติดินด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้
- ปฏิกริยาของดิน (Soil pH)
โดยใช้อัตราส่วนของดินต่อน้ำเท่ากับ 1:5 เขย่าโดยใช้ shaker เป็น
เวลา หนึ่งชั่วโมงแล้ววัด pH ของดินด้วย pH meter

- ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Soil organic matter)
โดยหาในรูปของอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) โดยวิธีของ Walkley-Black
- ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available-P)
โดยวิธี Bray II ได้จากการสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด
- ปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable cations: Ca, Mg, and K)
สกัดปริมาณเบสที่แลกเปลี่ยนได้ด้วยสารละลาย NH_4OAc (Ammonium acetate) เข้มข้น 1 N, ที่ pH 7.0 และวัดด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (AAS)
- ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (cation exchangeable capacity; CEC) โดยจะวัดด้วยวิธีการไล่ที่ประจุบวกต่างๆ ที่ดูดซับที่ผิวดินด้วยสารละลาย NH_4OAc (Ammonium acetate) แล้วใช้วิธี Kjeldahl distillation and titration
- การวิเคราะห์เนื้อดิน (Soil texture and Particle size distribution)
วิเคราะห์ด้วยวิธีไปเปิด

2.1.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำที่มีผลต่อการเกษตร ซึ่งกำหนดแปลงตัวอย่าง และประเภทการใช้ที่ดินเหมือนกับ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยเก็บรวบรวมตัวแปรคุณสมบัติของน้ำเก็บตัวอย่างน้ำด้วยวิธีสุ่มตัก (Grab sample) โดยแบ่งเก็บในขวดพลาสติกจำนวน 2 ขวด โดยขวดแรกเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 1 ลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์

- หาค่าความกระด้าง (Total hardness) ด้วยวิธี EDTA titration
- ปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended solid) ด้วยวิธี Gravimetry
 - ความขุ่น (Turbidity) ด้วยวิธี Turbidimetry
 - ปริมาณ Total dissolved solid (TDS) ด้วยวิธี Gravimetry ที่อุณหภูมิ 180°C
 - ปริมาณของแข็งรวม (Total solids) ด้วยวิธี Gravimetry

ขวดที่สองจะกรองด้วยกระดาษกรองเพื่อแยกเอาตะกอนดินออกจากน้ำ จำนวนเต็มกรดไนตริกเข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่างน้ำปริมาตร 1 ลิตร เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe) และอะลูมิเนียม (Al) สำหรับการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) จะวัดในภาคสนาม

2.1.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินและคุณภาพน้ำทางการเกษตรของแปลงตัวอย่างที่ได้รับผลกระทบของแผ่นดินถล่มและการทับถมของมวลดิน โดยเปรียบเทียบกับแปลงควบคุม (พื้นที่การเกษตรที่ไม่ได้รับผลกระทบ) โดยการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้วยเทคนิค Paired Sample T Test

2.2 ศึกษาผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของพื้นที่การเกษตรที่มีความเปราะบางต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม

ผลจากการวิเคราะห์และการแปลผลข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของแปลงตัวอย่างจากการเกิดแผ่นดินถล่มและการทับถมของมวลดิน จะถูกนำมาคาดการณ์ในการประเมินผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของพื้นที่การเกษตรที่มีความเปราะบางต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต โดยนำข้อมูลเชิงพื้นที่ของแผนที่แสดงระดับความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม มาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทางการเกษตรของแปลงตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการประเมินผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางการเกษตรของพื้นที่เกษตรกรรมแต่ละประเภทและแต่ละระดับความเปราะบางของการเกิดแผ่นดินถล่ม

3. การกำหนดแนวทางการฟื้นฟูและการป้องกันพื้นที่เกิดแผ่นดินถล่ม ในพื้นที่อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ผลจากการวิเคราะห์เชิงสถิติที่แสดงถึงโอกาสของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม และผลจากการประเมินผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางการเกษตรของพื้นที่เกษตรกรรมในเขตอำเภอลับแล ทำให้ทราบถึงสาเหตุและพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินถล่ม รวมทั้งทราบถึงความเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมทางการเกษตรที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาแนวทางที่เหมาะสมในการคาดการณ์ การเตือนภัยล่วงหน้า และกำหนดมาตรการการจัดการพื้นที่เพื่อฟื้นฟูและป้องกันพื้นที่เกิดแผ่นดินถล่มในเขตอำเภอลับแล โดยมีขอบเขตการกำหนดแนวทางดังนี้

3.1 แนวทางการฟื้นฟูพื้นที่การเกษตรที่ได้รับความเสียหายจากแผ่นดินถล่มและการทับถมของมวลดิน

ผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางการเกษตรของพื้นที่เกษตรกรรม จะถูกนำมากำหนดแนวทางที่เหมาะสมเพื่อฟื้นฟูสภาพพื้นที่ในด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินและคุณภาพของแหล่งน้ำทางการเกษตรสำหรับพื้นที่ที่ได้รับ

ผลกระทบจากแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้น และรวมถึงพื้นที่ที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินถล่มในอนาคต

3.2 แนวทางการป้องกันการเกิดแผ่นดินถล่มบนพื้นที่สูงชัน

ผลจากการวิเคราะห์และการจัดทำแผนที่แสดงระดับความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม สามารถนำมากำหนดแนวทางการป้องกันการเกิดแผ่นดินถล่มในอนาคต โดยการใช้ร่วมกับสารสนเทศด้านสภาพอากาศเพื่อการเฝ้าระวังและเตือนภัยในระดับชุมชน รวมถึงวางแนวทางการแก้ไขปัญหาแผ่นดินถล่มในระยะยาวตามหลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ผลการวิจัย

1. การประเมินความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

1.1 ศึกษาปัจจัยและตัวแปรที่เป็นสาเหตุและเกี่ยวข้องกับการเกิดแผ่นดินถล่ม

ผลการศึกษาปรากฏการณ์ของการเกิดแผ่นดินถล่มในครั้งนี้ ได้ศึกษาปัจจัยและตัวแปรที่เป็นสาเหตุและเกี่ยวข้องกับการเกิดแผ่นดินถล่มโดยวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่เคยเกิดแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้น ในวันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 หลังจากฝนตกหนักต่อเนื่องกันเป็นเวลาหลายวัน ในเขตพื้นที่อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ กับตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม ของพื้นที่ เพื่อประเมินความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยใช้สมการเชิงเส้นตรงอย่างง่าย ภายใต้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยผลการศึกษาปัจจัยและตัวแปรที่เป็นสาเหตุของแผ่นดินถล่มมีดังต่อไปนี้

(1) การสำรวจพื้นที่แผ่นดินถล่มและเก็บรวบรวมข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่เกิดแผ่นดินถล่ม

การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้น คณะผู้ศึกษาได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม โดยเข้าสำรวจพื้นที่ครั้งแรกในวันที่ 12-15 สิงหาคม พ.ศ. 2550 โดยเข้าพบนายกองค์การบริหารส่วนตำบลแม่พูล เพื่อประสานงานในการเข้าสำรวจพื้นที่และขอความอนุเคราะห์จากเจ้าหน้าที่ในการร่วมพื้นที่ เพื่อให้ได้เห็นสภาพพื้นที่ที่เกิดเหตุจริงและพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ หลังจากการเกิดดินถล่มไปแล้วประมาณ 1 ปี พร้อมทั้งสัมภาษณ์ผู้ที่อาศัยในพื้นที่ดินถล่มและผู้ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมฉับพลันและมวลดินที่ไหลลงมาทับถม คณะผู้ศึกษาได้บันทึกตำแหน่งพิกัดของพื้นที่แผ่นดินถล่มในบางแห่ง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาพื้นที่เกิดแผ่นดินถล่มที่ได้จากการดำเนินการแปลตีความข้อมูลภาพถ่ายเทียม Spot-5 กับแผนที่แผ่นดินถล่มที่ได้มาจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

พื้นที่ศึกษา

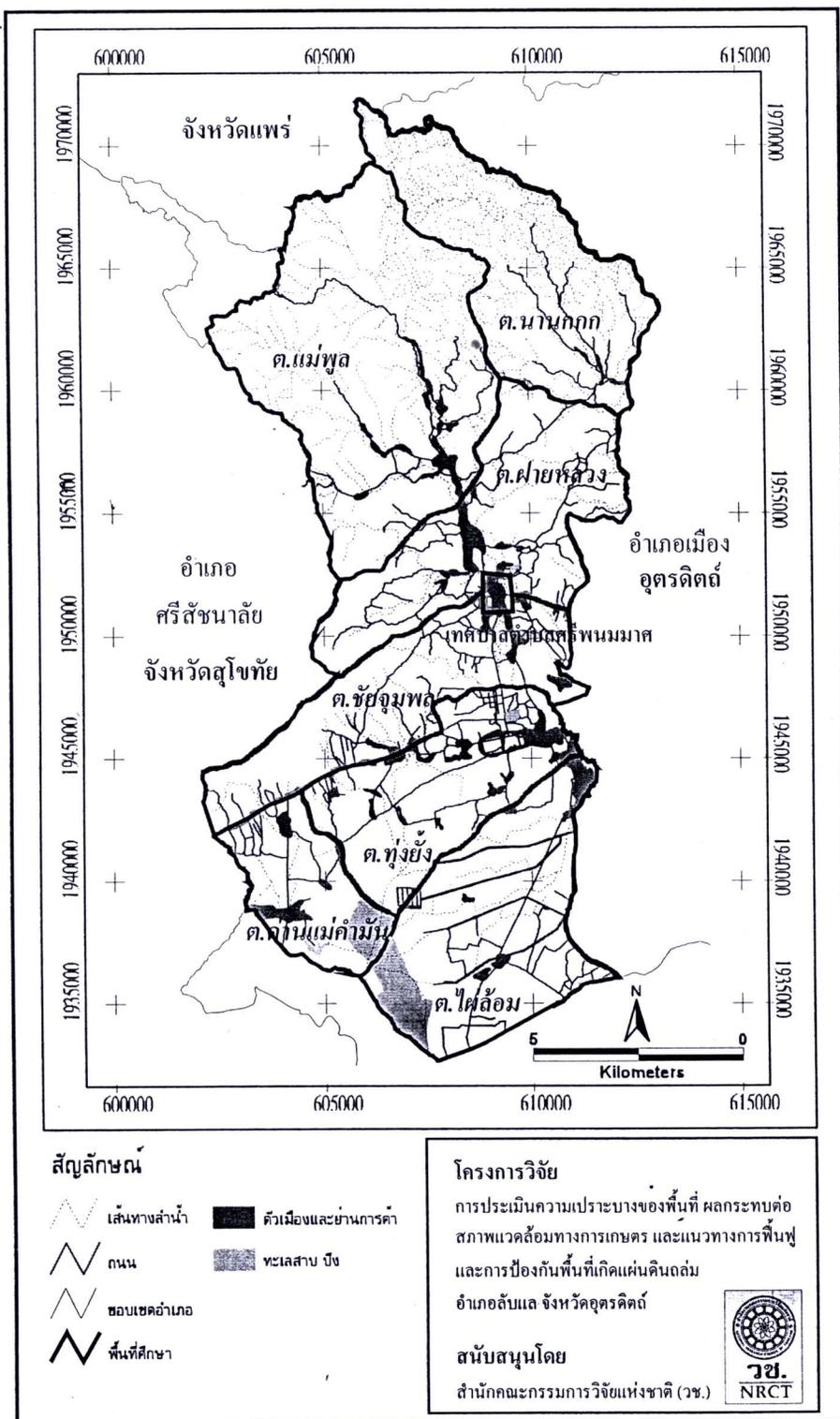
พื้นที่ศึกษาเพื่อประเมินความเปราะบางของพื้นที่ต่อดินถล่มอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยมีลำน้ำสายหลัก 3 สาย ได้แก่ ห้วยแม่พูล ห้วยปู่เจ้า และห้วยแม่พร่อง โดยพื้นที่ศึกษาครอบคลุมตำบลทั้งหมด 8 ตำบล ของอำเภอลับแล ดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 1

ตารางที่ 1 เนื้อที่รายอำเภอของพื้นที่ศึกษา ในพื้นที่ลุ่มน้ำอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

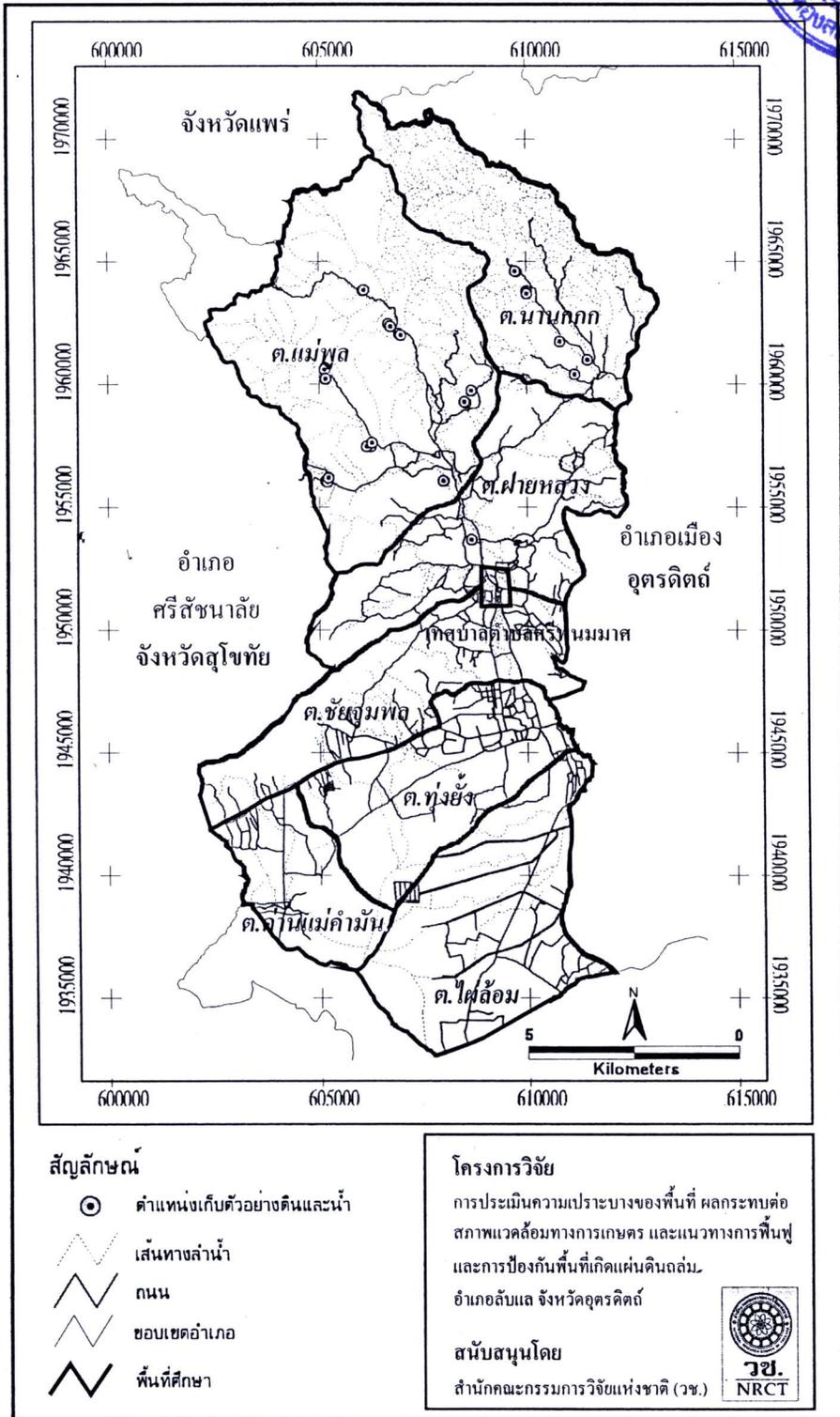
ตำบล	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละ
แม่พูล	73,177.99	25.91
น่านกกก	41,024.09	14.52
ฝายหลวง	41,198.23	14.59
ชัยจุมพล	33,991.91	12.03
ศรีพนมมาศ	1,124.12	0.40
ทุ่งยั้ง	32,359.01	11.46
ไผ่ล้อม	41,801.05	14.80
ด่านแม่คำมัน	17,774.15	6.29
รวม	282,450.55	100.00

สำหรับพื้นที่ศึกษาผลกระทบทางการเกษตรจากแผ่นดินถล่มและมวลดินทับถม ทางคณะผู้ศึกษาได้ดำเนินการสำรวจทั่วพื้นที่ที่เกิดดินถล่มและมวลดินทับถม และดำเนินการเลือกแปลงตัวอย่างในพื้นที่เกษตรกรรมจำนวน 3 ประเภทคือ (1) สวนไม้ผลผสมบนภูเขาสูงชัน (2) สวนไม้ผลผสมบนพื้นราบ และ (3) นาข้าว โดยคัดเลือกพื้นที่เกษตรกรรมทั้งสามประเภทที่เกิดดินถล่มหรือที่ถูกมวลดินเคลื่อนลงมาทับถม และยังไม่ได้รับการฟื้นฟูสภาพพื้นที่ เพื่อเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ดินถล่มในพื้นที่ศึกษา พร้อมทั้งคัดเลือกพื้นที่เกษตรกรรมประเภทเดียวกันที่ไม่ได้รับผลกระทบจากดินถล่มและมวลดินทับถม ที่มีพื้นที่อยู่ติดกันหรือใกล้กัน และมีสภาพแวดล้อมคล้ายคลึงกันมากที่สุด (ภาพที่ 2) เพื่อกำหนดเป็นแปลงตัวอย่างเปรียบเทียบในการศึกษาความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินและคุณภาพน้ำทางการเกษตร ภายหลังจากเกิดดินถล่ม โดยคณะผู้วิจัยเลือกแปลงตัวอย่างเกษตรกรรมทั้งหมดเป็นจำนวน 32 แปลงตัวอย่าง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ประเภทของพื้นที่เกษตรกรรม	จำนวนแปลงตัวอย่าง
สวนไม้ผลผสมบนภูเขาสูงชัน	18
สวนไม้ผลผสมบนพื้นราบ	10
นาข้าว	4



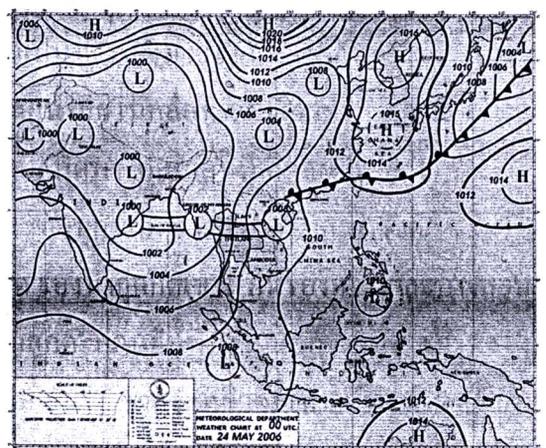
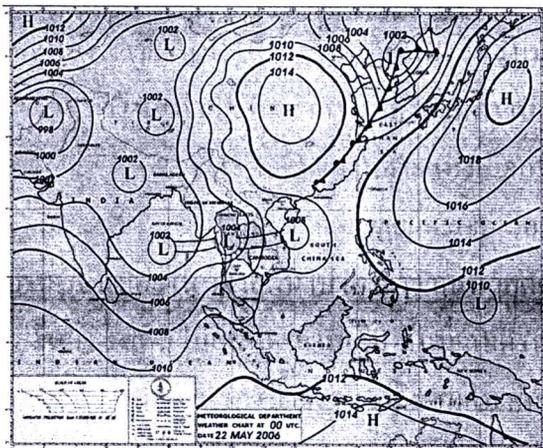
ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา ในลุ่มน้ำอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์



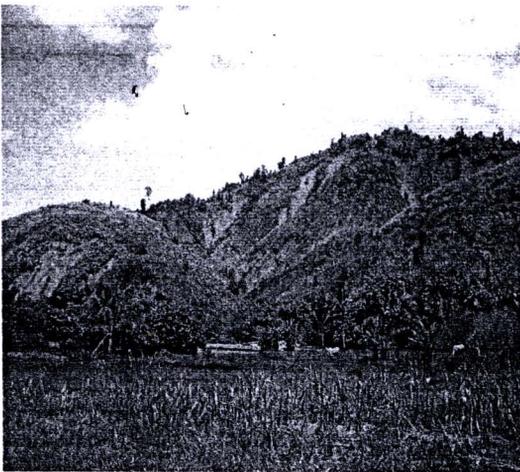
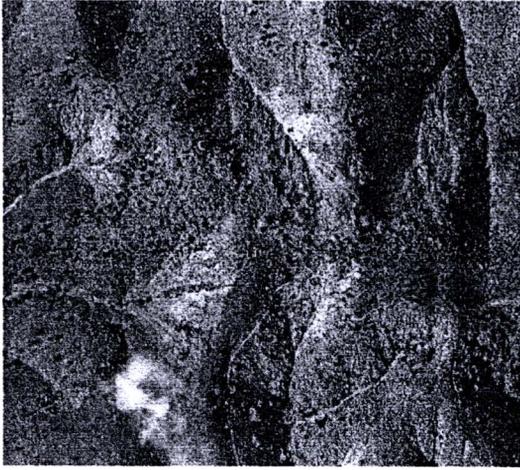
ภาพที่ 2 ตำแหน่งแปลงตัวอย่าง เพื่อศึกษาผลกระทบของดินถล่มและมวลดินทับถมต่อพื้นที่เกษตรกรรม ในเขต ต.แม่พูล ต.น่านกกก และต.ฝายหลวง อำเภอลับแล จังหวัดอุดรดิตถ์

สถานภาพของพื้นที่ศึกษา

จากการรวบรวมข้อมูลภาคสนาม โดยการเข้าสำรวจพื้นที่เพื่อศึกษาสภาพพื้นที่ที่เกิดเหตุจริงและพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ หลังจากการเกิดดินถล่มไปแล้วประมาณ 1 ปี ครั้ง พร้อมทั้งสัมภาษณ์ผู้ที่อยู่อาศัยในพื้นที่ดินถล่มและผู้ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมฉับพลันและมวลดินที่ไหลลงมาทับถม พบว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงมาก เนื่องจากปริมาณฝนที่ตกหนักและต่อเนื่องหลายวันทำให้พื้นที่บนภูเขาสูงชันรับน้ำไว้เป็นปริมาณมากจนเกินขีดความสามารถ ทำให้เกิดน้ำไหลบ่าผิวดิน จากที่สูงลงมาที่ต่ำ เนื่องจากน้ำมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ทำให้ดินบริเวณพื้นที่เขาและลาดเชิงเขาหลายแห่งเกิดการถล่ม พัดพาโคลนเลนที่เกิดจากดินถล่มและซากต้นไม้ กิ่งไม้ มายังบริเวณที่อยู่อาศัยและเขตเมือง ประกอบกับเหตุการณ์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้บ้านเรือนที่อยู่ในที่ต่ำถูกน้ำป่าทำลาย ถนนถูกตัดขาด ร่องน้ำถูกกัดเซาะเป็นร่องกว้างและบางส่วนเปลี่ยนทางเดิน ไม่เหลือสภาพเดิม พื้นที่เกษตรกรรมถูกตะกอนดินทับถม นอกจากนี้ สภาพของตะกอนที่ทับถมในร่องน้ำธรรมชาติผสมกับเศษกิ่งไม้ ต้นไม้ ซากวัสดุผิวดิน ทำให้เกิดสภาพเขื่อนเทียม ซึ่งสามารถกักเก็บน้ำไว้ได้ชั่วคราว เมื่อปริมาณน้ำมากขึ้นเขื่อนก็จะพังมาทับเขื่อนเทียมที่อยู่ต่ำกว่า พังเป็นลูกโซ่ ลำน้ำที่ไหลจากที่สูงชันและหุบเขาแคบจะมีพลังมาก สร้างความเสียหายให้แก่ชีวิตและทรัพย์สินของราษฎร ภาพที่ 3 ร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านบริเวณภาคเหนือตอนล่างในช่วงวันที่ 21 – 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 และ ภาพที่ 4 แสดงพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่มหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินถล่ม



ภาพที่ 3 ร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านบริเวณภาคเหนือตอนล่างในช่วงวันที่ 22 และ 23 พฤษภาคม พ.ศ.2549 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2549)



ภาพที่ 4 ดินโคลนถล่มและน้ำป่าไหลหลากที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 21-23 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2549)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดดินถล่ม

สำหรับการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในการศึกษาสาเหตุและปัจจัยของการเกิดแผ่นดินถล่ม คณะผู้วิจัยได้ขอความอนุเคราะห์แผนที่ดินถล่ม แผนที่พื้นที่ที่ถูกลมพัดดินทับถม และแนวทางการป้องกันและลดความสูญเสียจากการเกิดแผ่นดินถล่ม จากสำนักงานพัฒนาที่ดิน จังหวัดอุดรดิตถ์ และกรมพัฒนาที่ดิน นอกจากนี้ยังทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินถล่ม จากสถาบันการศึกษาหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และจากงานวิจัยในต่างประเทศ โดยพบว่ามีความหลากหลายในวิธีการประเมินความเปราะบางของพื้นที่หรือความเสี่ยงของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ต่างๆ ซึ่งแต่ละวิธีอยู่บนฐานของสมมติฐานที่แตกต่างกัน รวมทั้งความแตกต่างกันในด้านชนิดของข้อมูลและกระบวนการที่นำมาใช้ในการประเมินพื้นที่และผลการศึกษาที่ได้ อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่เหล่านั้น มักจะประกอบด้วยปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายด้านที่มีความสัมพันธ์ร่วมกัน ดังนั้นในการศึกษครั้งนี้ ได้การประเมินปัจจัย

หลักที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยประกอบไปด้วย (1) ปัจจัยด้านลักษณะภูมิประเทศ (2) ปัจจัยด้านปฐพีวิทยาและโครงสร้างทางธรณีวิทยา และ (3) ปัจจัยด้านลักษณะภูมิอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2 ปัจจัยและตัวแปรที่ใช้ในการประเมินความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอดำรงวิทยารอแค้น จังหวัดอุดรธานี

ปัจจัย	ตัวแปร
ลักษณะภูมิประเทศ	ระดับความสูงของพื้นที่ (Elevation) ความลาดชัน (Slope) ทิศทางการลาด (Slope aspect) ลักษณะแผ่นดิน (Landform) ความเสถียรภาพของความลาดชันของพื้นที่ (Slope stability) ประเภทการใช้ที่ดิน (Land use type)
ปฐพีวิทยาและโครงสร้างทางธรณีวิทยา	ชนิดหิน (Rock type) ชุดดิน (Soil series) การระบายน้ำของดิน (Soil drainage) ความลึกของชั้นดิน (Soil depth)
ลักษณะภูมิอากาศ	ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนสูงสุด

การศึกษาสภาพและลักษณะโดยทั่วไปของพื้นที่ศึกษา เป็นการศึกษาถึงการกระจายตัวของพื้นที่ของปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการประเมินความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ศึกษา โดยนำข้อมูลและแผนที่ที่เกี่ยวข้องที่ได้จากการเก็บรวบรวมและการสำรวจภาคสนามเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยการแปลงข้อมูลแผนที่ไปเป็นข้อมูลเชิงเลข (Digital form) ที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบแฟ้มข้อมูล Shape file ของโปรแกรม ArcView GIS ในลักษณะของชั้นข้อมูล (Layer) พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของข้อมูล รวมทั้งกำหนดความสัมพันธ์ให้กับชั้นข้อมูลต่างๆ เพื่อสร้างเป็นฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS database) ด้านสภาพแวดล้อมของพื้นที่ศึกษา โดยชั้นข้อมูลทั้งหมดแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ชั้นข้อมูลในระบบฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ชั้นข้อมูล	ประเภทข้อมูล	แหล่งที่มา
การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ.2544	Polygon	กรมพัฒนาที่ดิน
กลุ่มชุดดิน	Polygon	กรมพัฒนาที่ดิน
คุณสมบัติของดิน	Attribute table	กรมพัฒนาที่ดิน
เส้นชั้นความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง	Line	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
จุดความความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง	Point	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมและ นำเข้าข้อมูลด้วยการดิจิทัล
แบบจำลองโครงข่ายสามเหลี่ยมด้านไม่เท่า (TIN)	TIN	สร้างจาก เส้นชั้นความสูงและจุดความ สูง
แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM)	GRID	สร้างมาจาก TIN
ความลาดชัน	GRID	สร้างมาจาก DEM
ลักษณะแผ่นดิน (Landform)	GRID	สร้างมาจาก DEM
ความเสถียรภาพของความลาดชันของพื้นที่ (Slope stability)	GRID	สร้างมาจาก DEM
เส้นทางลำน้ำ	Line	นำเข้าข้อมูลด้วยการดิจิทัล จากแผนที่ ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1 : 50000
พื้นที่แหล่งน้ำผิวดิน	Polygon	นำเข้าข้อมูลด้วยการดิจิทัล จากแผนที่ ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1 : 50000
เส้นทางถนน	Line	นำเข้าข้อมูลด้วยการดิจิทัล จากแผนที่ ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1 : 50000
ตำแหน่งหมู่บ้าน	Point	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
ชนิดหิน	Polygon	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
รอยเลื่อนและรอยแยก	Polygon	กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี	Point	กรมอุตุนิยมวิทยา
ปริมาณน้ำฝนสูงสุด	Point	กรมอุตุนิยมวิทยา

ระดับความสูงของพื้นที่ศึกษา

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลความสูงของพื้นที่ศึกษา โดยแบ่งช่วงของเส้นชั้นความสูงจากระดับน้ำทะเลเท่ากับ น้อยกว่า 100, 100-200, 200-300, 300-500, 500-800, และ 800-850 เมตร พบว่าพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีระดับความสูงน้อยกว่า 100 โดยมีพื้นที่ประมาณ 14,0849.40 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 49.87 และพื้นที่ระดับความสูง 100-200 เมตร มีพื้นที่ประมาณ 54,015.15 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 19.12 ที่ระดับความสูง 200-300 เมตร มีพื้นที่ประมาณ 31,942.20 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 11.31 ที่ระดับความสูง 300-500 เมตร มีพื้นที่ประมาณ 47,759.70 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 16.91 ที่ระดับความสูง 500-800 เมตร มีพื้นที่ประมาณ 7,868.90 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.79 และที่ระดับความสูง 800-850 เมตร มีพื้นที่ประมาณ 15.20 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.0053 (ตารางที่ 4 และ ภาพที่ 5)

ตารางที่ 4 แสดงระดับความสูงของพื้นที่ศึกษา

ระดับความสูง (เมตร)	เนื้อที่	
	ไร่	ร้อยละ
< 100	140,849.40	49.87
100-200	54,015.15	19.12
200-300	31,942.20	11.31
300-500	47,759.70	16.91
500-800	7,868.90	2.79
800-850	15.20	0.0053
รวม	282,450.55	

ความลาดชันของพื้นที่ศึกษา

จากการสร้างแผนที่ความลาดชันของพื้นที่ศึกษา โดยแบ่งช่วงความลาดชันของพื้นที่ออกเป็นช่วง คือ 0-8, 8-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45, 45-50, 50-60, 60-70, 70-80 และ มากกว่า 80 องศา พบว่าพื้นที่ศึกษา มีความลาดชันของพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0-8 องศา โดยมีพื้นที่ประมาณ 177,427.45 ไร่ หรือคิดเป็น 62.817 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด และพื้นที่ศึกษาที่มีความลาดชันในช่วง 8-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45, 45-50, 50-60, 60-70, 70-80 องศา จะมีขนาดพื้นที่อยู่ในช่วงตั้งแต่ร้อยละ 0.001- 6.085 (ตารางที่ 5 และภาพที่ 6)

ตารางที่ 5 แสดงความลาดชันของพื้นที่ศึกษา

ความลาดชัน (องศา)	เนื้อที่	
	ไร่	ร้อยละ
0-8	177,427.45	62.817
8-15	17,186.90	6.085
15-20	17,362.10	6.147
20-25	19,627.60	6.949
25-30	17,894.95	6.336
30-35	13,418.10	4.751
35-40	10,513.35	3.722
40-45	4,762.90	1.686
45-50	2,355.80	0.834
50-60	1,559.80	0.552
60-70	290.80	0.103
70-80	47.05	0.017
> 80	3.75	0.001
รวม	282,450.55	100.00

ทิศทางการลาดของพื้นที่ศึกษา

จากการสร้างแผนที่ทิศทางการลาดของพื้นที่ศึกษาในระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ โดยแบ่งทิศทางของความลาดเป็น 9 ช่วง คือ ที่ราบ, ทิศเหนือ หรือในช่วง 0-22.5 และ 337.5-360 องศา ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ หรือในช่วง 22.5-67.5 องศา ทิศตะวันออก หรือในช่วง 67.5-112.5 องศา ทิศตะวันออกเฉียงใต้ หรือในช่วง 112.5-157.5 องศา ทิศใต้ หรือในช่วง 157.5-202.5 องศา ทิศตะวันตกเฉียงใต้ หรือในช่วง 202.5-247.5 องศา ทิศตะวันตก หรือในช่วง 247.5-292.5 องศา และ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ หรือในช่วง 292.5-337.5 องศา พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ลาดไปทางทิศใต้ โดยมีพื้นที่ประมาณ 48,152.30 ไร่ คิดเป็น 17.048 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด รองลงมาได้แก่พื้นที่ลาดไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีพื้นที่ประมาณ 47,104.95 ไร่ คิดเป็น 16.677 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ศึกษา พื้นที่ราบ โดยมีพื้นที่ประมาณ 46,552.45 ไร่ คิดเป็น 16.482 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ศึกษา และทิศตะวันออก โดยมีพื้นที่ประมาณ 34,871.10 ไร่ คิดเป็น 12.346 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ศึกษา ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ที่ลาดไปทาง ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียง

เหนือจะมีพื้นที่อยู่ในช่วงตั้งแต่ 14,260.55- 27,490.45 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 5.049-9.733 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด (ตาราง 6 และ ภาพที่ 7)

ตารางที่ 6 แสดงทิศทางการลาดของพื้นที่ศึกษา

ทิศทางการลาด (องศา)	เนื้อที่	
	ไร่	ร้อยละ
ที่ราบ Flat (-1)	46,552.45	16.482
ทิศเหนือ North (0-22.5,337.5-360)	16,784.35	5.942
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ Northeast (22.5-67.5)	26,712.00	9.457
ทิศตะวันออก East (67.5-112.5)	34,871.10	12.346
ทิศตะวันออกเฉียงใต้ Southeast (112.5-157.5)	47,104.95	16.677
ทิศใต้ South (157.5-202.5)	48,152.30	17.048
ทิศตะวันตกเฉียงใต้ Southwest (202.5-247.5)	27,490.45	9.733
ทิศตะวันตก West (247.5-292.5)	20,522.40	7.266
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ Northwest (292.5-337.5)	14,260.55	5.049
รวม	282,450.55	100.00

ลักษณะแผ่นดิน (Landform)

การจำแนกประเภทลักษณะแผ่นดิน (Classification of Landform Category) ของพื้นที่ศึกษา ได้คำนวณมาจากการสร้างค่าดัชนีตำแหน่งทางสภาพภูมิประเทศ (Topographic Position Index; TPI) (Dickson and Beier, 2006) และข้อมูลความลาดชันของพื้นที่ (Degree of slope) โดยการกำหนดจำนวนระดับขั้นของลักษณะแผ่นดิน 10 ประเภท (Weiss, 2001) แล้วมาคำนวณหาตำแหน่งของความลาดชัน (Slope position) สำหรับแต่ละระดับขั้นของลักษณะแผ่นดินที่กำหนดขึ้นมา (Jenness, 2006)

ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีลักษณะแผ่นดินแบบ Plains โดยมีพื้นที่ประมาณ 161,551.60 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 57.196 ของพื้นที่ศึกษา รองลงมาได้แก่ลักษณะแผ่นดินแบบ Open slopes ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 47,402.15 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 16.782 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด และพื้นที่ศึกษาที่มีพื้นที่น้อยที่สุดมีลักษณะแผ่นดินแบบ Upland Drainages, Headwaters และ Local Ridges/Hills In Valleys โดยมีพื้นที่ประมาณ 859.20 ไร่ และ 942.30 หรือคิดเป็นร้อยละ 0.304 และ 0.334 ตามลำดับ (ตารางที่ 7 และ ภาพที่ 8)

ตารางที่ 7 แสดงลักษณะแผ่นดินของพื้นที่ศึกษา

ลักษณะแผ่นดิน (Landform)	เนื้อที่	
	ไร่	ร้อยละ
Canyons, Deeply Incised Streams:	13,290.20	4.705
Midslope Drainages, Shallow Valleys:	6,120.50	2.167
Upland Drainages, Headwaters:	859.20	0.304
U-Shaped Valleys:	14,689.50	5.201
Plains:	161,551.60	57.196
Open Slopes:	47,402.15	16.782
Upper Slopes,	18,186.55	6.439
Local Ridges/Hills In Valleys:	942.30	0.334
Midslope Ridges, Small Hills In Plains:	6446.10	2.282
Mountain Tops, High Ridges:	12,962.45	4.589
รวม	282,450.55	100.00

ความเสถียรภาพของความลาดชันของพื้นที่ (Slope stability)

การวิเคราะห์ความเสถียรภาพของความลาดชันของพื้นที่ โดยคำนวณจากข้อมูลความลาดชันของพื้นที่ (Slope) และข้อมูลลักษณะความโค้งนูนของผิวหน้าภูมิประเทศ (Curvature surface) ด้วยโปรแกรมประยุกต์ SMorph (Slope Morphology Model) ภายใต้ ArcView GIS ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ที่ได้จะแสดงถึงศักยภาพของระดับความรุนแรงของแผ่นดินถล่ม (Landslide hazard potential) ที่จะเกิดขึ้นภายในพื้นที่ โดยมีการกำหนดระดับความเสถียรภาพของพื้นที่ต่อความรุนแรงของแผ่นดินถล่ม จากระดับชั้นความลาดชันของพื้นที่ (Slope class) และระดับชั้นลักษณะความโค้งนูนของผิวหน้าภูมิประเทศ (Curvature class) ร่วมกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

ระดับความลาดชัน	ระดับค่าความชัน (Slope percentage)	ลักษณะความโค้งนูน ของผิวหน้าภูมิประเทศ	ระดับค่าความโค้งนูน (Curvature value; CV)
Relatively flat	<=15%	Concave surface	< -0.2
Low steep	15% - 24%	Planar surface	-0.2 - 0.2
Moderately steep	24% - 47%	Convex surface	>0.2
Very steep	47% - 70%		
Extremely steep	> 70%		

ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีค่าความลาดชันของพื้นที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 15% มีค่าความโค้งนูนของผิวหน้าภูมิประเทศอยู่ในช่วง -0.2-0.2 และมีความเสถียรภาพของความลาดชัน โดยมีพื้นที่ประมาณ 159,256.40 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 56.384 ของพื้นที่ศึกษา ส่วนพื้นที่ศึกษาที่เหลือจะมีค่าความลาดชันของพื้นที่ ค่าความโค้งนูนของผิวหน้าภูมิประเทศและความเสถียรภาพของความลาดชันที่ต่างกัน โดยที่มีเนื้อที่คิดเป็นร้อยละตั้งแต่ 0.196-7.425 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด โดยพื้นที่ที่พบว่าไม่มีความเสถียรภาพของความลาดชัน จะมีค่าความลาดชันของพื้นที่อยู่ในช่วง 47% - 70% มีค่าความโค้งนูนของผิวหน้าภูมิประเทศน้อยกว่า -0.2 และ ค่าความลาดชันของพื้นที่อยู่ในช่วง 24% - 47% มีค่าความโค้งนูนของผิวหน้าภูมิประเทศน้อยกว่า โดยมีพื้นที่ประมาณ 14,592.10 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 5.166 และพื้นที่ประมาณ 19,668.70 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 6.964 ตามลำดับ (ตารางที่ 8 และภาพที่ 9)

ตารางที่ 8 แสดงความเสถียรภาพของความลาดชันของพื้นที่ศึกษา

รหัส ศักยภาพของการ เกิดดินถล่ม (Landslide potential value)	ค่าความลาด ชันของพื้นที่ (SL)	ค่าความโค้งนูน ของผิวหน้าภูมิ ประเทศ (CV)	ความเสถียรภาพ ของความลาดชัน (Slope stability)	เนื้อที่	
				ไร่	ร้อยละ
11	<=15%	< -0.2	Stable	10,759.10	3.809
12	<=15%	-0.2 - 0.2	Stable	159,256.40	56.384
13	<=15%	>0.2	Stable	10,427.80	3.692
21	15% - 24%	< -0.2	Caution	5,458.40	1.933
22	15% - 24%	-0.2 - 0.2	Stable	554.55	0.196
23	15% - 24%	>0.2	Stable	5,726.65	2.027
31	24% - 47%	< -0.2	Unstable	19,668.70	6.964
32	24% - 47%	-0.2 - 0.2	Stable	1,420.35	0.503
33	24% - 47%	>0.2	Stable	20,971.10	7.425
41	47% - 70%	< -0.2	Unstable	14,592.10	5.166
42	47% - 70%	-0.2 - 0.2	Caution	967.30	0.342
43	47% - 70%	>0.2	Stable	15,064.40	5.333
51	> 70%	< -0.2	Unstable	8,584.00	3.039
52	> 70%	-0.2 - 0.2	Unstable	480.85	0.170
53	> 70%	>0.2	Caution	8,518.85	3.016
รวม				282450.55	100.00

ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษาถูกแบ่งออกเป็น 5 ประเภท โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ประมาณ 141,639.65 หรือคิดเป็นร้อยละ 50.147 ของพื้นที่ศึกษามีลักษณะเป็นหินตะกอนหลายชนิด หินทราย หินดินดาน หินเชิร์ต และหินดินดานปกคลุมด้วยกรวด หินทอทัฟฟ์ สีนํ้าตาลอ่อนถึงแก่ เป็นชั้นหนา รองลงมา มีลักษณะของธรณีวิทยาเป็นก้อนกรวดตะกักริมแม่น้ำ ทราย ทรายแป้งดินเหนียว และโคลน โดยมีพื้นที่ประมาณ 105,869.70 ไร่ หรือร้อยละ 37.483 และ ก้อนกรวดตะกักริมแม่น้ำ ทราย ทรายแป้งและดินเหนียวมีพื้นที่ประมาณ 34,370.35 ไร่ หรือร้อยละ 12.169 ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นหินทรายเนื้อควอร์ต และหินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ หินควอร์ตไซต์ และหินดินดานสีขาว-เขียวจาง ถึงสีน้ำตาลเทา ชั้นหินปานกลาง ถึงชั้นหนา มีสายแร่ควอร์ต จะมีพื้นที่ประมาณ 558.00 ไร่ หรือร้อยละ 0.198 และหินฟิลไลต์ หินควอร์ตไซต์ หินทรายเนื้อควอร์ตไซต์ หินซิสต์เนื้อควอร์ตไซต์และเฟลด์สปาร์มาก และหินซิสต์ มีพื้นที่โดยประมาณ 12.85 ไร่ หรือร้อยละ 0.005 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด (ตารางที่ 9 และ ภาพที่ 10)

ตารางที่ 9 แสดงธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

ธรณีวิทยา	เนื้อที่	
	ไร่	ร้อยละ
หินทรายเนื้อควอร์ต และหินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ หินควอร์ตไซต์ และหินดินดานสีขาว-เขียวจาง ถึงสีน้ำตาลเทา ชั้นหินปานกลาง ถึงชั้นหนา มีสายแร่ควอร์ต (C)	558.00	0.198
หินตะกอนหลายชนิด หินทราย หินดินดาน หินเชิร์ต หินดินดาน ปกคลุมด้วยกรวด หินทอทัฟฟ์ สีนํ้าตาลอ่อนถึงแก่ เป็นชั้นหนา (CP)	141,639.65	50.147
ก้อนกรวดตะกักริมแม่น้ำ ทราย ทรายแป้งดินเหนียว และโคลน (Q)	105,869.70	37.483
ก้อนกรวดตะกักริมแม่น้ำ ทราย ทรายแป้งและดินเหนียว (Q1)	34,370.35	12.169
หินฟิลไลต์ หินควอร์ตไซต์ หินทรายเนื้อควอร์ตไซต์ หินซิสต์เนื้อควอร์ตไซต์และเฟลด์สปาร์มาก และหินซิสต์ (SD)	12.85	0.005
รวม	282,450.55	100.00

การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา

ในพื้นที่ศึกษามีการใช้ประโยชน์ที่ดินในหลายด้าน ได้แก่ พื้นที่ทางการเกษตร เช่นนาข้าว สวนไม้ผลผสมที่มีการปลูกผลไม้จำพวก ส้ม มะม่วง ลองกอง ลางสาด ทุเรียน เป็นส่วนใหญ่ และสถานที่เพาะเลี้ยงปลา พื้นที่สวนป่าซึ่งส่วนใหญ่จะปลูกสัก หรือ ยูคาลิปตัส รวมไปถึงป่าเบญจพรรณ ป่าผลัดใบเสื่อมโทรม และป่าแดงหรือป่าเต็งรัง นอกจากนี้ในพื้นที่ศึกษายังครอบคลุมไปถึงแหล่งที่อยู่อาศัย ตัวเมืองและย่านการค้า หมู่บ้านบนพื้นที่ราบผสมสวนไม้ผลผสม แหล่งน้ำผิวดิน และ แม่น้ำลำคลอง จากผลการศึกษาที่ได้พบว่า พื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อเป็น นาข้าวสูงสุดถึง 90,714.15ไร่ หรือคิดเป็น 32.117 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด รองลงมา ได้แก่ สวน ไม้ผลผสม หรือ สวนไม้ผลผสม/ป่าเบญจพรรณ โดยมีพื้นที่การใช้ประโยชน์ประมาณ 84,509.85 หรือร้อยละ 29.920 ของพื้นที่ศึกษา และประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีพื้นที่น้อยที่สุดได้แก่การใช้เป็น สถานที่เพาะเลี้ยงปลา มีพื้นที่เพียง 181.35ไร่ หรือร้อยละ 0.064 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด (ตารางที่ 10 และ ภาพที่ 11)

ตารางที่ 10 แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ศึกษา

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	เนื้อที่	
	ไร่	ร้อยละ
นาข้าว	90,714.15	32.117
พืชไร่ผสม หรือทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม	16,770.30	5.937
สวนป่า (สัก หรือ ยูคาลิปตัส)	4,982.90	1.764
สวนไม้ผลผสม หรือ สวนไม้ผลผสม/ป่าเบญจพรรณ	84,509.85	29.920
สถานที่เพาะเลี้ยงปลา	181.35	0.064
ป่าเบญจพรรณ	21,737.20	7.696
ป่าผลัดใบเสื่อมโทรม	22,206.30	7.862
ป่าแดงหรือป่าเต็งรัง	13,850.35	4.904
ไม้พุ่ม หรือทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม	5,557.15	1.967
แหล่งที่อยู่อาศัย ตัวเมืองและย่านการค้า	4,890.00	1.731
หมู่บ้านบนพื้นที่ราบผสมสวนไม้ผลผสม	10,906.05	3.861
แหล่งน้ำผิวดิน และ แม่น้ำลำคลอง	6,144.95	2.176
รวม	282,450.55	100.00



ชุดดินในพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษาประเภทของชุดดินในพื้นที่ศึกษา พบว่า ส่วนใหญ่จะอยู่ในชุดดินที่เป็นหน่วยผสมของดินบริเวณพื้นที่สูงชัน โดยมีพื้นที่ประมาณ 102,429.40 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 36.265 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ส่วนพื้นที่ศึกษามีลักษณะของดินอยู่ในชุดเชิงคาน ดินชุดเชิงทราย ดินชุดหางคด ดินชุดพิมาย ดินชุดลับแล ดินชุดมวกเหล็ก ประเภทลอนลาด ดินชุดสระบุรี หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดลาดหญ้า และดินชุดท่ายาง ดินคล้ายดินชุดลำปางแต่มีกรวดในดินล่าง ดินชุดบ้านจ้อง ประเภทลอนชัน ดินชุดบ้านจ้อง ประเภทเนินเขา ดินในพื้นที่น้ำ จะมีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 1.400-9.158 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนในพื้นที่ศึกษาที่มีพื้นที่น้อยกว่าร้อยละ 1.00 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด พบว่าถูกจำแนกอยู่ในชุดดิน ท่ายาง ดินชุดอูตรดิตถ์ หน่วยผสมของดินตะกอน ระบายน้ำเร็ว และดินชุดยโสธร โดยคิดเป็นร้อยละในช่วง 0.001-0.880 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด (ตารางที่ 11 และภาพที่ 12)

ตารางที่ 11 แสดงชุดดินของพื้นที่ศึกษา

ชื่อชุดดิน	การจำแนกชั้นดินตามระบบ USDA	การจำแนกชั้นดินตามระบบ National classification		เนื้อที่	
		ไร้	ร้อยละ	ไร้	ร้อยละ
ดินชุดเชิงคาน	Clayey skeletal, Kaolinitic, isohyperthermic, Oxic Paleustults	Reddish Brown		25,867.50	9.158
ดินชุดเชิงทราย	Clayey, Kaolinitic, isohyperthermic, Plinthic Paleaquults	Low Humic Clay Soils		15,978.50	5.657
ดินชุดหางคด	Fine, Kaolinitic, isohyperthermic, Typic Tropaqualfs	Low Humic Gley Soils		20,434.50	7.235
ดินชุดท่ายาง	Fine silty, mixed, isohyperthermic, Typic Haplustalfs	Non-Calcic Brown Soils		1.55	0.001
ดินชุดลำปาง	Fine silty, mixed, isohyperthermic, Typic Tropaqualfs	Low Humic Gley Soils		2,301.55	0.815
ดินชุดลับแล	-	Low Humic Gley Soils		18,035.00	6.385
ดินชุดแม่สาย	Fine silty, mixed, isohyperthermic, Aeric Tropaqualfs	Non-Calcic Brown Soils (Hydromorphic)		2,484.80	0.880
ดินชุดพิมาย	Fine, mixed, isohyperthermic, Vertic Tropaquepts	Alluvial Soils (Hydromorphic)		20,584.40	7.288

ตารางที่ 11 แสดงชุดดินของพื้นที่ศึกษา (ต่อ)

ชื่อชุดดิน	การจำแนกชั้นดินตามระบบ USDA	การจำแนกชั้นดินตามระบบ National classification	เนื้อที่	
			ไร่	ร้อยละ
ดินชุดเพ็ญ	Loamy skeletal, Kaolinitic, isohyperthermic, Typic Plinthaquults	Low Humic Gley Soils	3,954.75	1.400
ดินชุดราชบุรี	Fine, mixed, isohyperthermic, Aeric Tropaquepts	Alluvial Soils (Hydromorphic)	323.80	0.115
ดินชุดสระบุรี	Fine, mixed, isohyperthermic, Aeric Tropaquepts	Alluvial Soils (Hydromorphic)	8,583.85	3.039
ดินชุดท่ายาง	Clayey skeletal, Kaolinitic, isohyperthermic, Oxic Haplustulfs	Red Yellow Podzolic Soils	10.85	0.004
ดินชุดอุตรดิตถ์	Fine, mixed, isohyperthermic, Aeric Tropaqualfs	Non-Calcic Brown Soils (Hydromorphic)	1,238.35	0.438
ดินชุดยโสธร	Fine loamy, siliceous, isohyperthermic, Oxic Paleustults	Red Yellow Latosols	106.50	0.038
หน่วยสัมพันธของดินชุดลาดหญ้า และดินชุดท่ายาง	-	-	7,140.15	2.528
ดินคล้ายดินชุดลำปาง แต่มีกรวดในดินล่าง	-	Low Humic Gley Soils	6,042.70	2.139
ดินชุดบ้านจ้อย ประเภทลอนชัน	-	Reddish Brown Lateritic Soils	21,183.05	7.500
ดินชุดบ้านจ้อย ประเภทเนินเขา	-	Reddish Brown Lateritic Soils	12,693.40	4.494
ดินชุดมวกเหล็ก ประเภทลอนลาด	-	Non-Calcic Brown Soils	4,949.95	1.753
หน่วยผสมของดินบริเวณพื้นที่สูงชัน	-	-	102,429.40	36.265
หน่วยผสมของดินตะกอน ระบายน้ำแล้ว	-	Alluvial Soils (Hydromorphic)	1,961.05	0.694
พื้นที่น้ำ	-	-	6,144.95	2.176
รวม			282,450.55	100.00

การระบายน้ำของดินในพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษาการระบายน้ำของดินในพื้นที่ศึกษาพบว่า ส่วนใหญ่ร้อยละ 36.345 ของพื้นที่มีการระบายน้ำค่อนข้างดีมากที่สุด คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 102,657.35 ไร่ และพื้นที่ร้อยละ 32.938 หรือประมาณ 93,034.50 ไร่ และ พื้นที่ร้อยละ 26.506 หรือประมาณ 74,866.25 ไร่ มีการระบายน้ำแล้ว และระบายน้ำดี ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ที่มีการระบายน้ำค่อนข้างเลวคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 11,892.45 ไร่ หรือ ร้อยละ 4.210 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด (ตารางที่ 12 และภาพที่ 13)

ตารางที่ 12 แสดงการระบายน้ำของดินในพื้นที่ศึกษา

การระบายน้ำของดิน	บ้านแม่พูล	
	ไร่	ร้อยละ
การระบายน้ำเลว (Poorly drained)	93,034.50	32.938
การระบายน้ำค่อนข้างเลว (Somewhat poorly drained)	11,892.45	4.210
การระบายน้ำดี (Well drained)	74,866.25	26.506
การระบายน้ำค่อนข้างดีมากที่สุด (Somewhat excessively drained)	102,657.35	36.345
รวม	282,450.55	100.00

ความลึกดินในพื้นที่ศึกษา

ความลึกดินในพื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็น ดินตื้น ซึ่งมีความลึก ระหว่าง 25-50 ซม. ดินลึกปานกลางที่ความลึกระหว่าง 50-150 ซม. ดินลึก ความลึกระหว่าง 100-150 เซนติเมตร และดินลึกมากซึ่งมีความลึกมากกว่า 150 ซม. โดยพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่จะมีความลึกของดินอยู่ในระดับมาก โดยมีความลึกมากกว่า 150 เซนติเมตร ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 162,261.45 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 57.448 ของพื้นที่ รองลงมา พื้นที่ที่ศึกษามีความลึกของดินอยู่ระดับความลึกปานกลาง และมีพื้นที่ประมาณ 108,972.10 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 38.581 ของพื้นที่ ส่วนพื้นที่ที่มีความลึกของดินในระดับความลึกระหว่าง 25-50 เซนติเมตร และความลึกระหว่าง 100-150 เซนติเมตร มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 3.153 และ 0.819 ตามลำดับ (ตารางที่ 13 และภาพที่ 14)

ตารางที่ 13 แสดงความลึกดินของพื้นที่ศึกษา

ชุดดิน	บ้านแม่พูล	
	ไร่	ร้อยละ
ดินชั้น ระหว่าง 25-50 ซม.	8,904.65	3.153
ดินลึกปานกลางระหว่าง 50-150 ซม.	108,972.10	38.581
ดินลึก ระหว่าง 100-150 ซม.	2,312.35	0.819
ดินลึกมาก มากกว่า 150 ซม.	16,2261.45	57.448
รวม	282,450.55	100.00

ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษา

จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษาที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่าในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 282,450.55 ไร่ พื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1490 - 1510 มม. ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ มีเนื้อที่ประมาณ 153,717.47 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 54.42 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด และพื้นที่ที่มีน้ำฝนเฉลี่ยรายปีในปริมาณมากที่สุดคือ 1510 - 1530 มม. มีทั้งหมด 40,415.89 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 14.31 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด และเนื้อที่รองลงมาประมาณ 33,430.26 ไร่ หรือร้อยละ 11.84 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี เท่ากับ 1470 - 1490 มม. (ตารางที่ 14 และ ภาพที่ 15)

ตารางที่ 14 ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษา

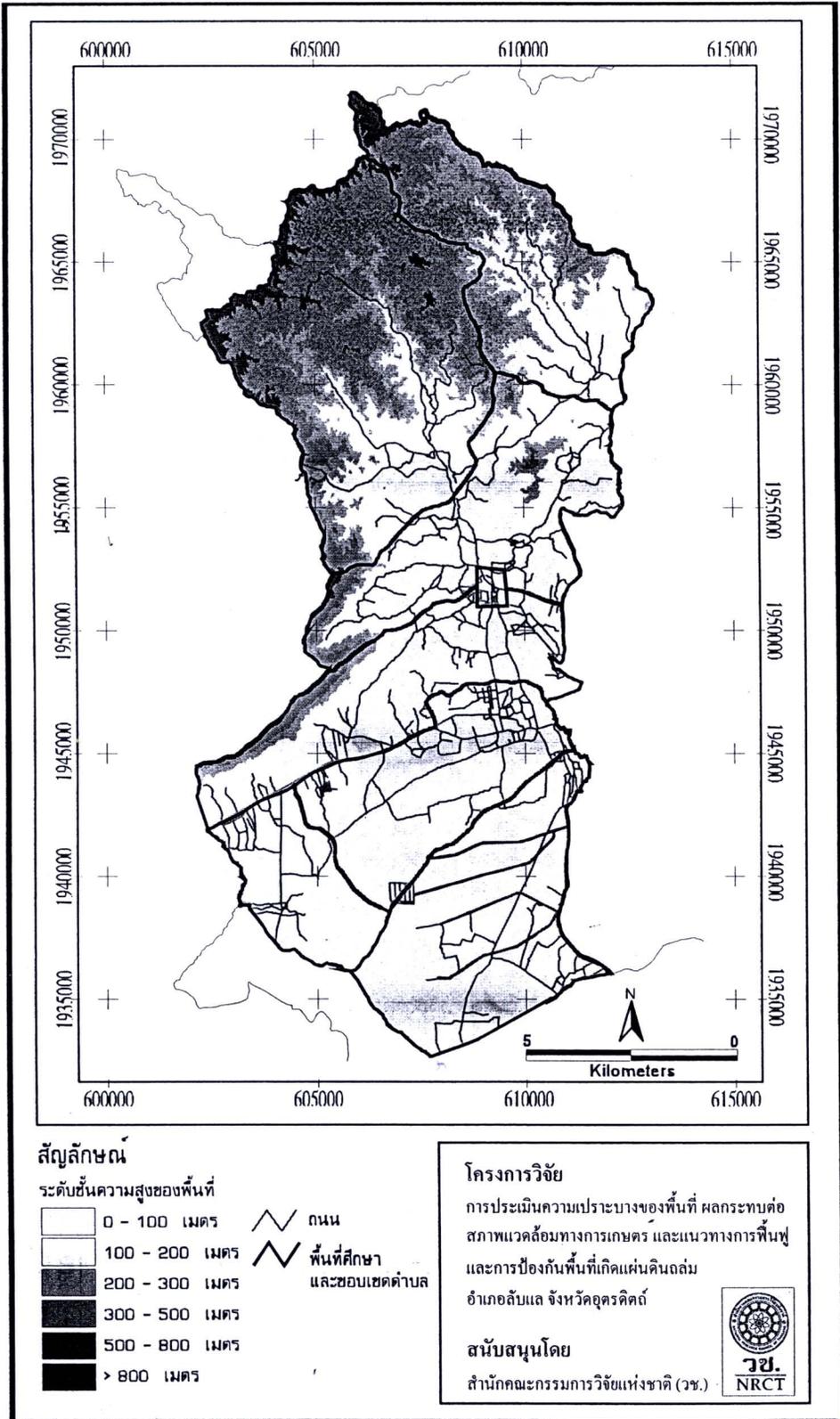
ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย	เนื้อที่	
	ไร่	ร้อยละ
1400 - 1430 มม.	9,359.88	3.31
1430 - 1450 มม.	17,516.17	6.20
1450 - 1470 มม.	28,010.88	9.92
1470 - 1490 มม.	33,430.26	11.84
1490 - 1510 มม.	153,717.47	54.42
1510 - 1530 มม.	40,415.89	14.31
รวม	282,450.55	100.00

ปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษา

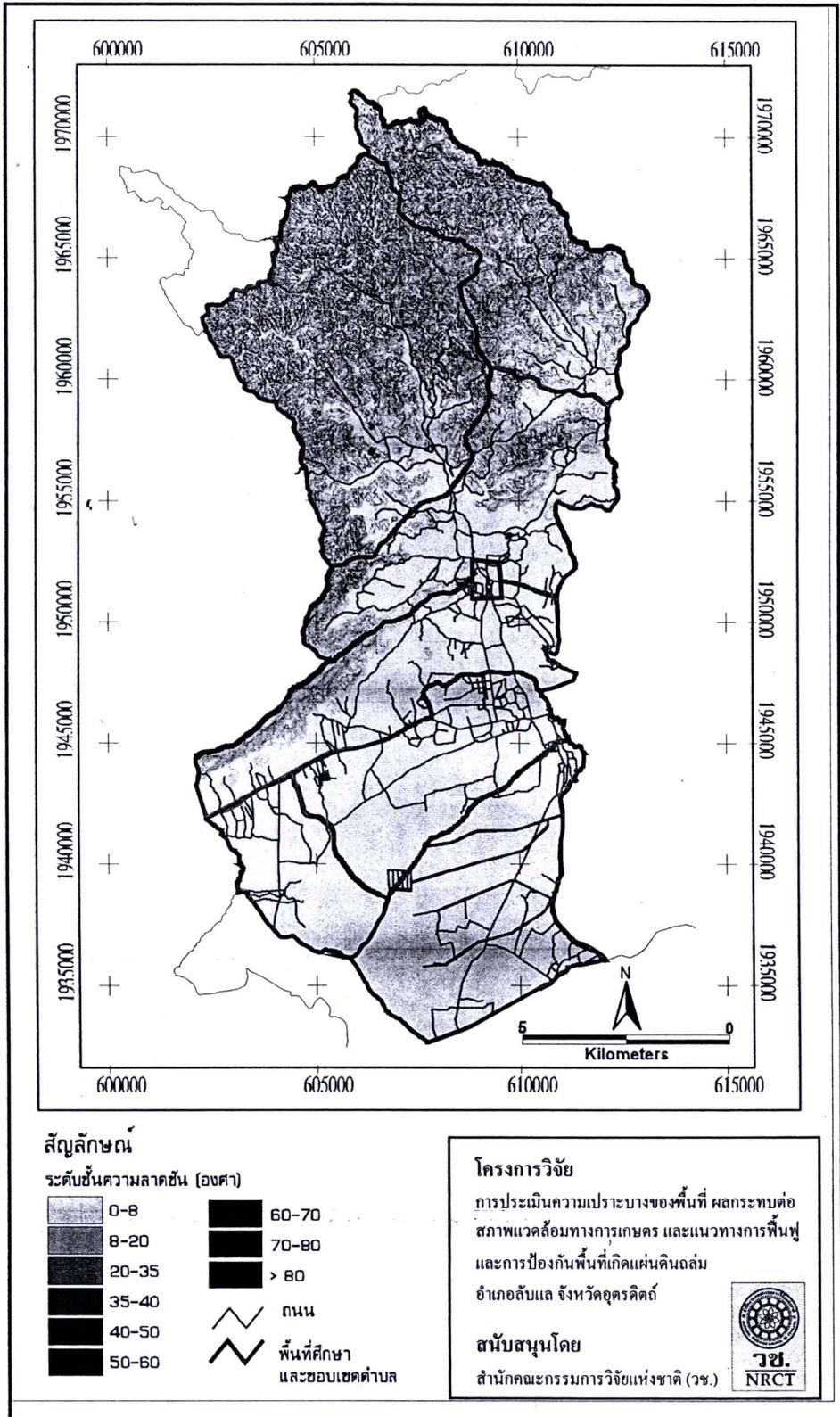
พื้นที่ส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษาซึ่งมีประมาณ 119,360.28 ไร่ หรือร้อยละ 42.26 มีปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ยอยู่ในระดับ 120-130 มม. ส่วนพื้นที่รองลงมาคือประมาณ 79,562.48 ไร่ หรือร้อยละ 28.17 และ 77,733.98 หรือร้อยละ 27.52 มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงกว่าคือ 130-140 มม. และ 150-160 มม. ตามลำดับ และผลการศึกษาค้นคว้าข้อมูลยังพบว่าพื้นที่ศึกษามีเนื้อที่ที่ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่ำสุดน้อยคือประมาณ 5,793.81 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 2.05 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด (ตารางที่ 15 และภาพที่ 16)

ตารางที่ 15 ปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษา

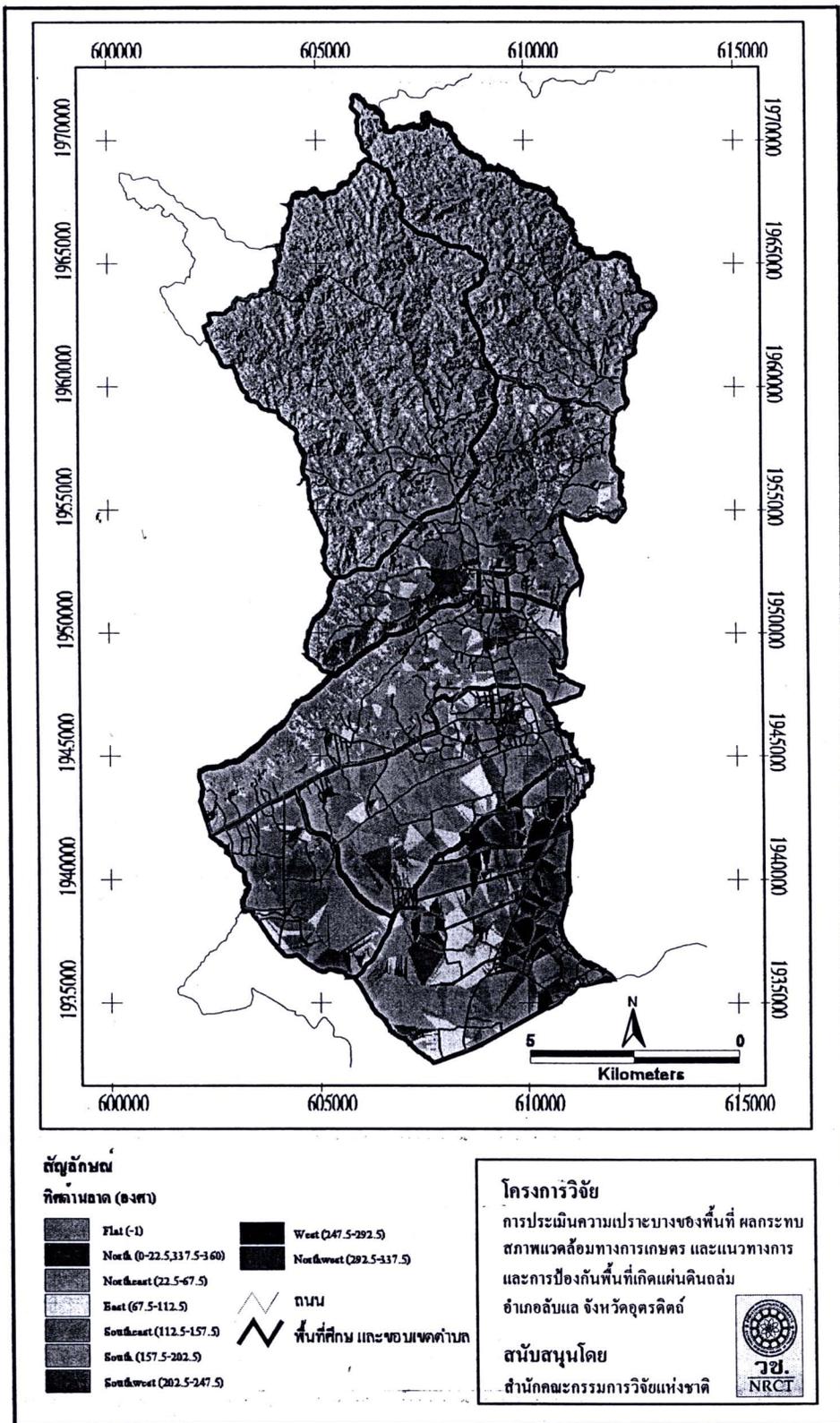
ปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ย	เนื้อที่	
	ไร่	ร้อยละ
110 - 120 มม.	5,793.81	2.05
120 - 130 มม.	119,360.28	42.26
130 - 140 มม.	79,562.48	28.17
150-160 มม.	77,733.98	27.52
รวม	282,450.55	100.00



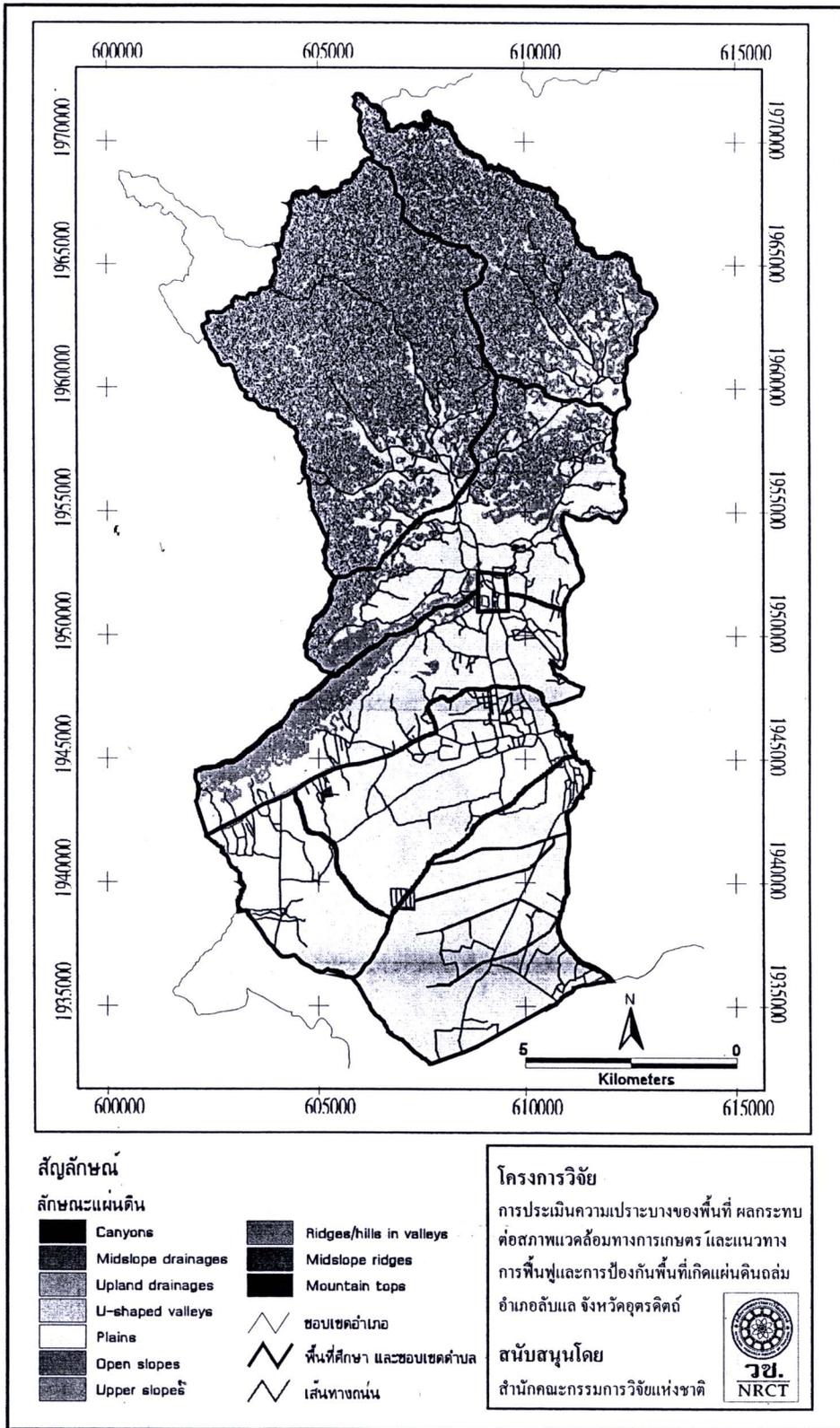
ภาพที่ 5 แผนที่แสดงระดับความสูงของพื้นที่ศึกษา



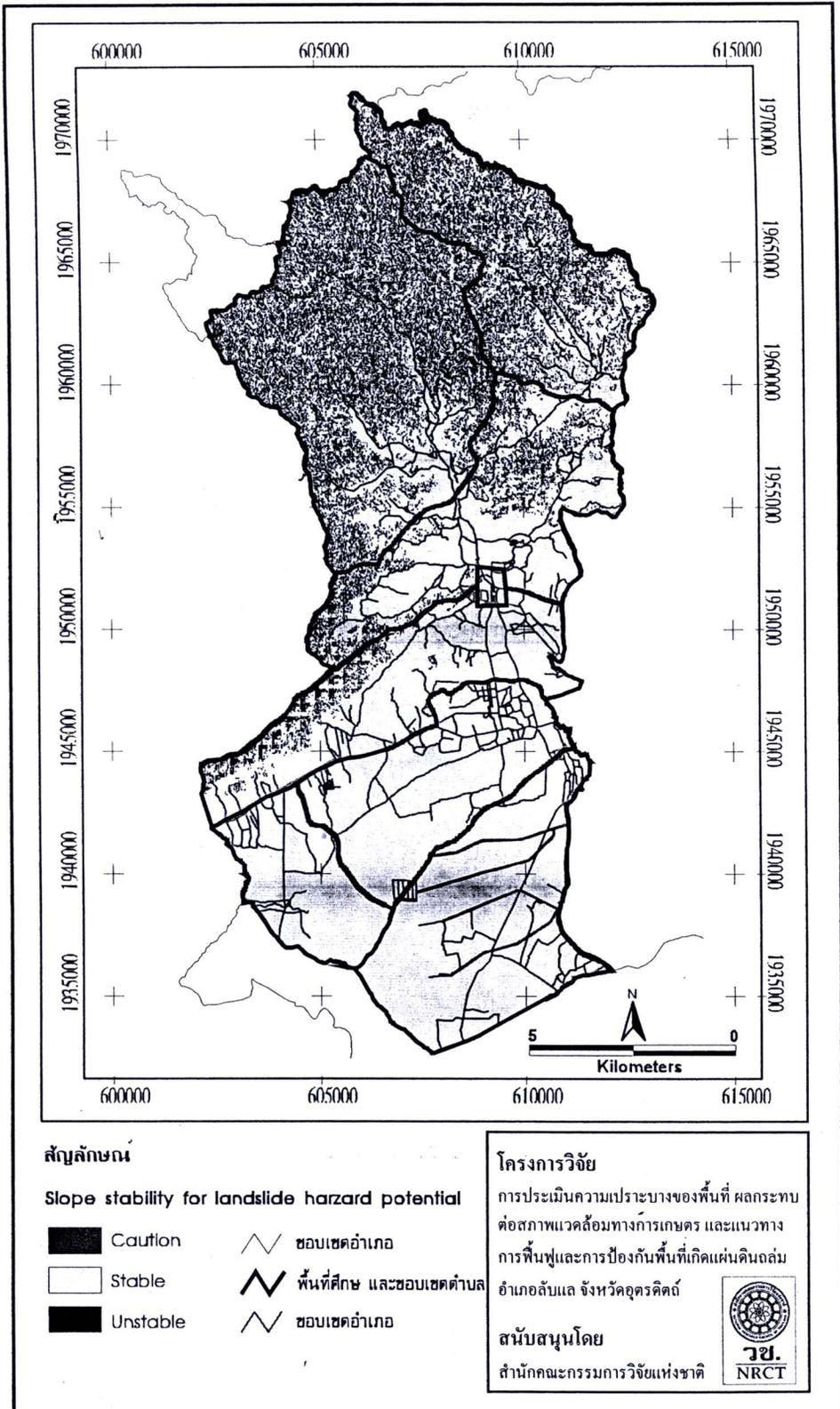
ภาพที่ 6 แผนที่แสดงความลาดชันของพื้นที่ศึกษา



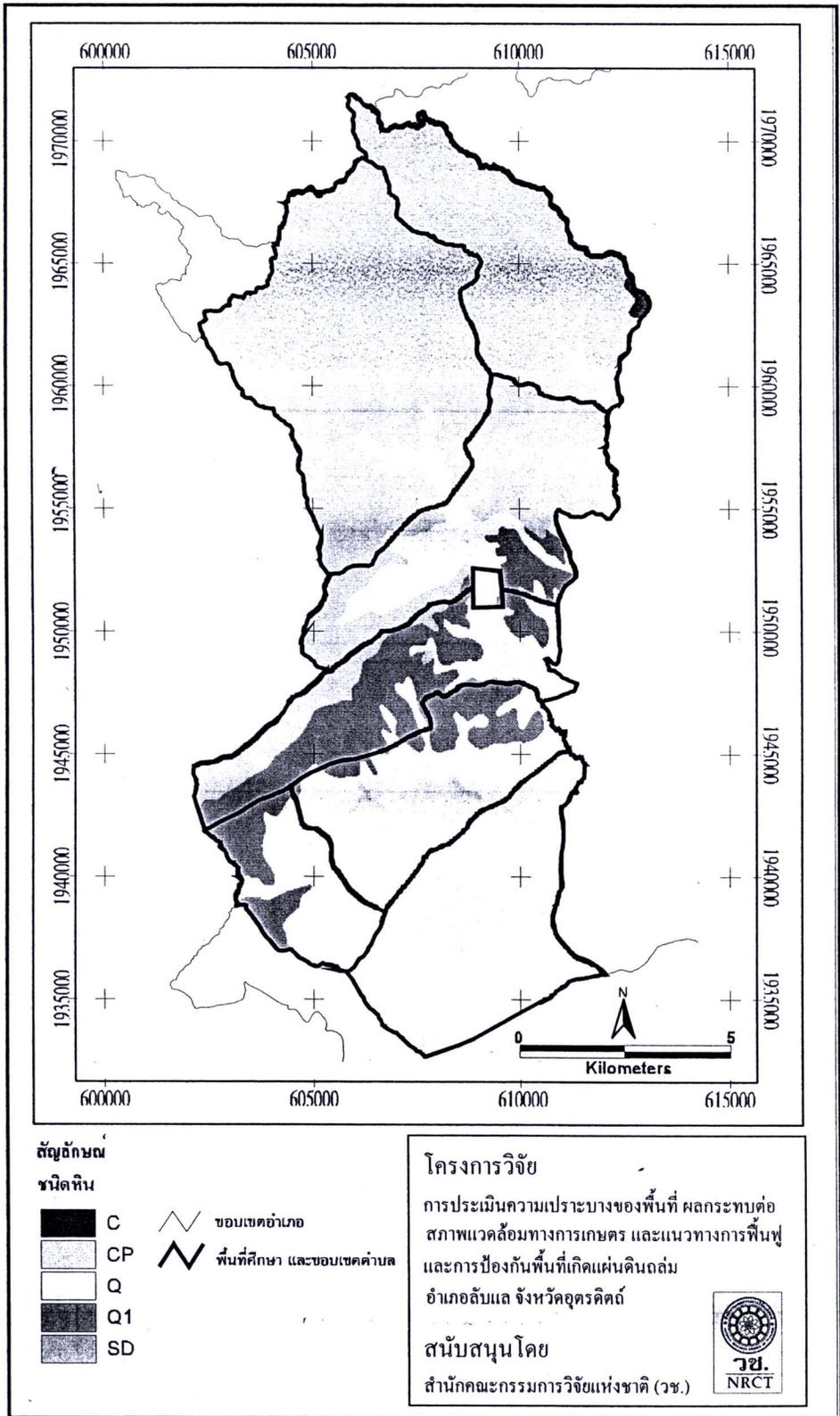
ภาพที่ 7 แผนที่แสดงทิศทางการลาดของพื้นที่ศึกษา



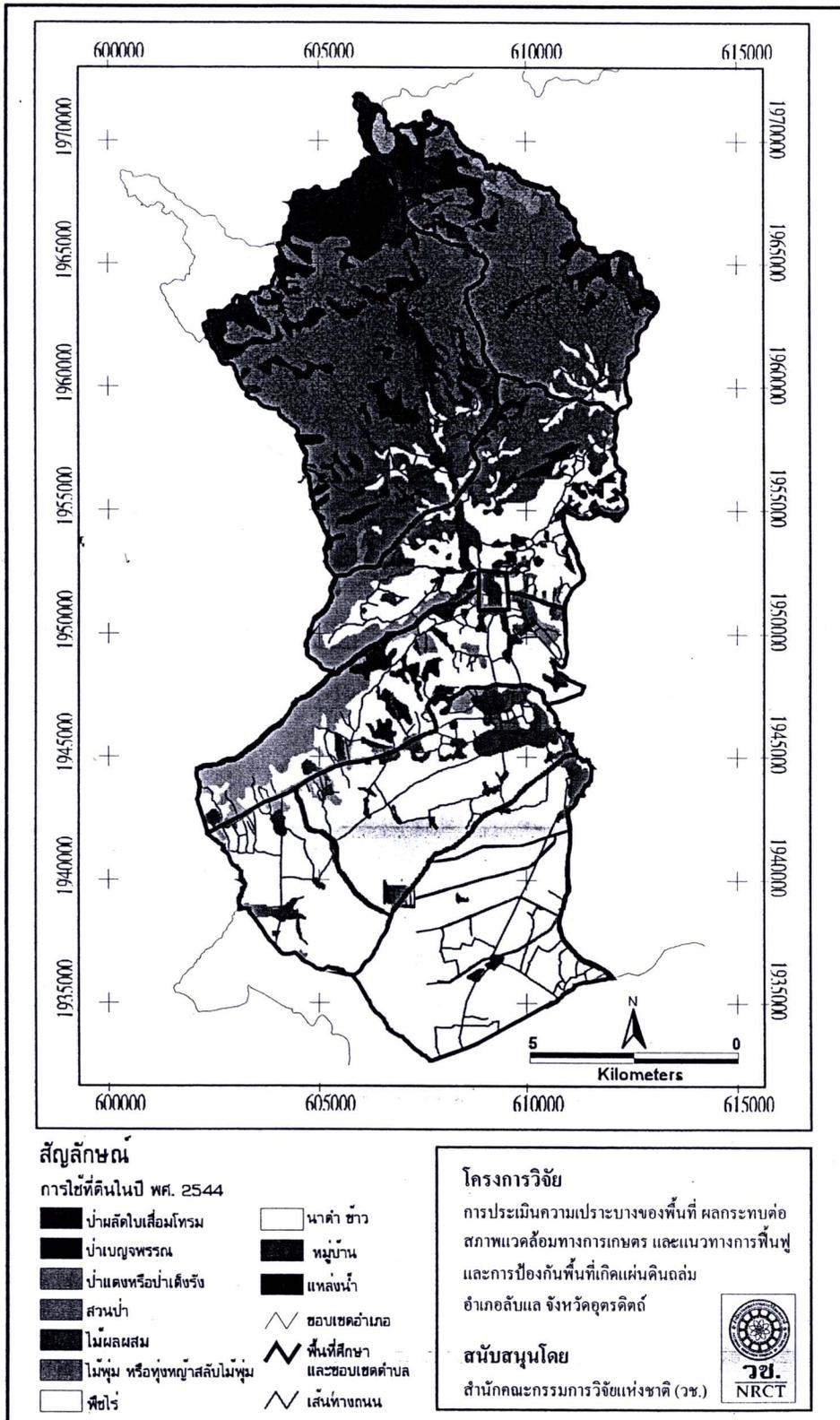
ภาพที่ 8 แผนที่แสดงลักษณะแผ่นดินของพื้นที่ศึกษา



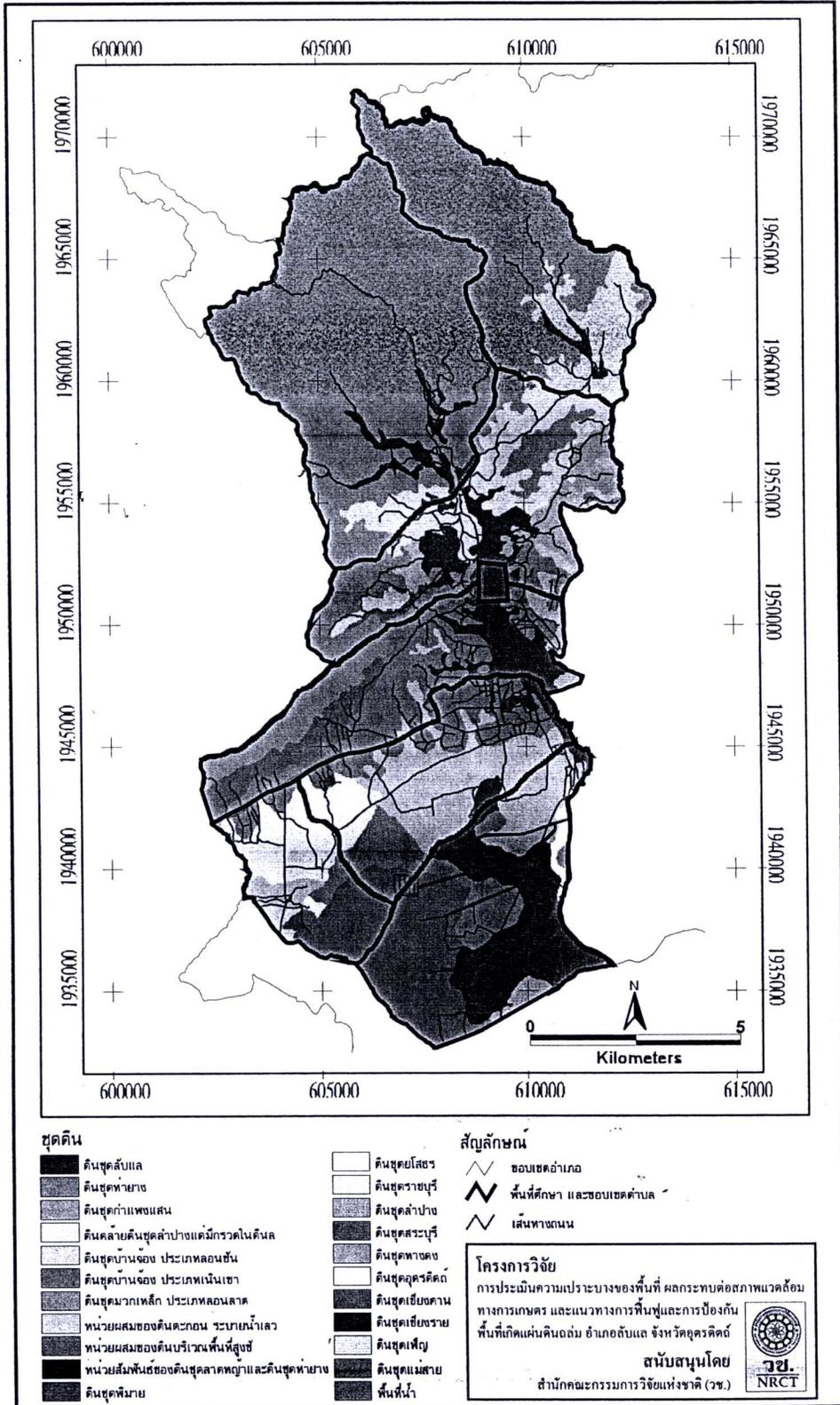
ภาพที่ 9 แผนที่ความเสถียรภาพของความลาดชันของพื้นที่ศึกษา



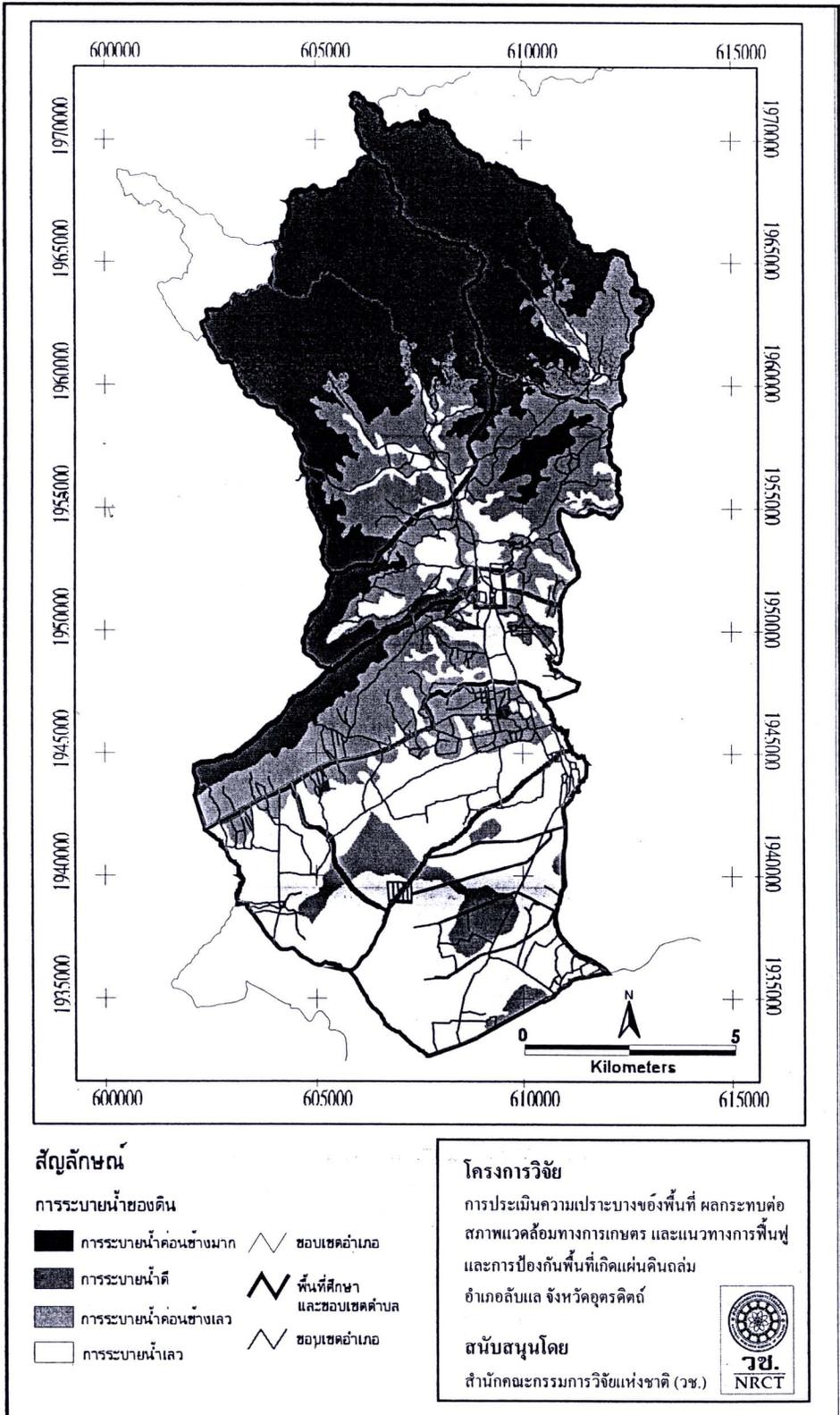
ภาพที่ 10 แผนที่แสดงธรณีวิทยาพื้นที่ศึกษา



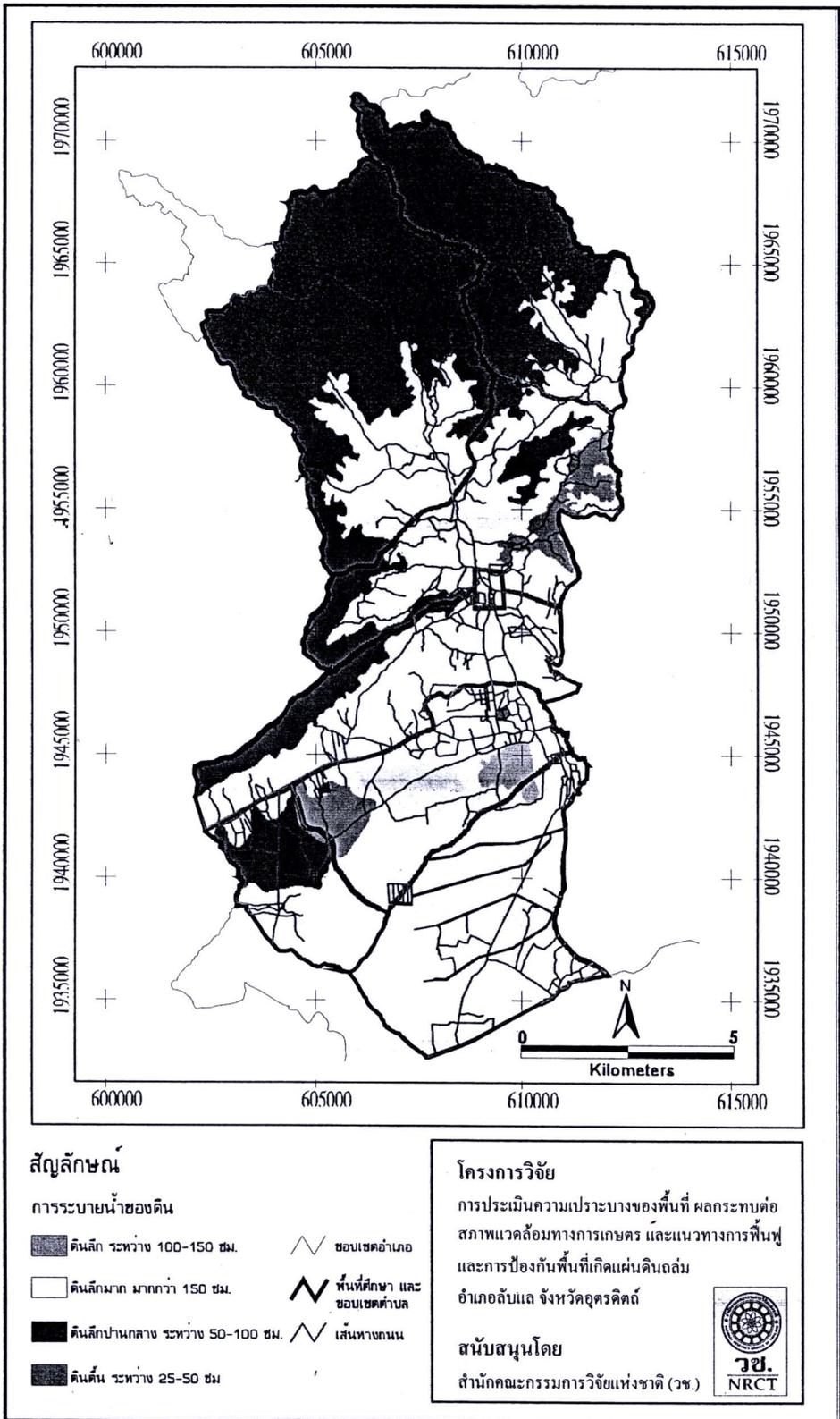
ภาพที่ 11 แผนที่การใช้ที่ดิน ปี พ.ศ. 2544 ของพื้นที่ศึกษา



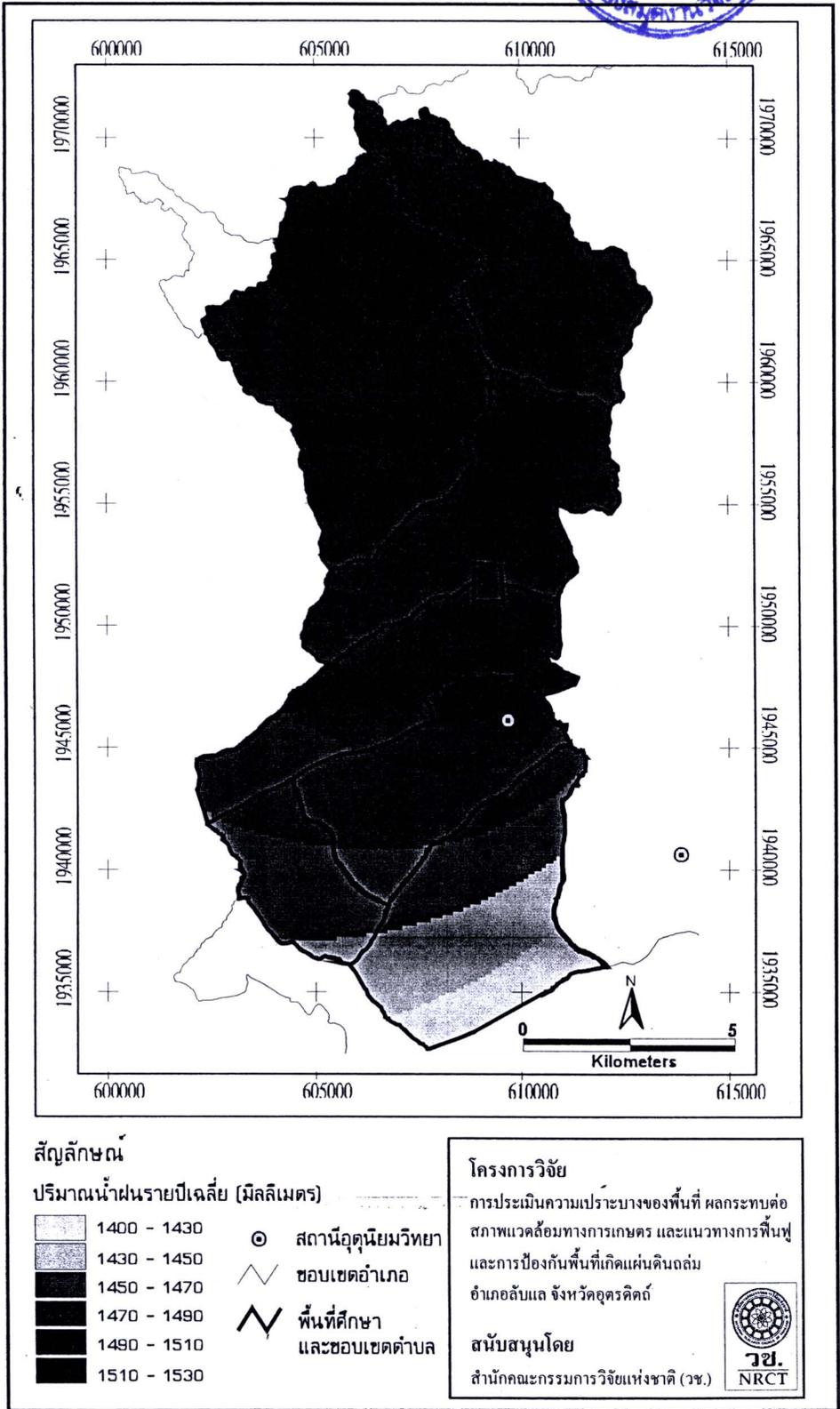
ภาพที่ 12 แผนที่ชุดดินของพื้นที่ศึกษา



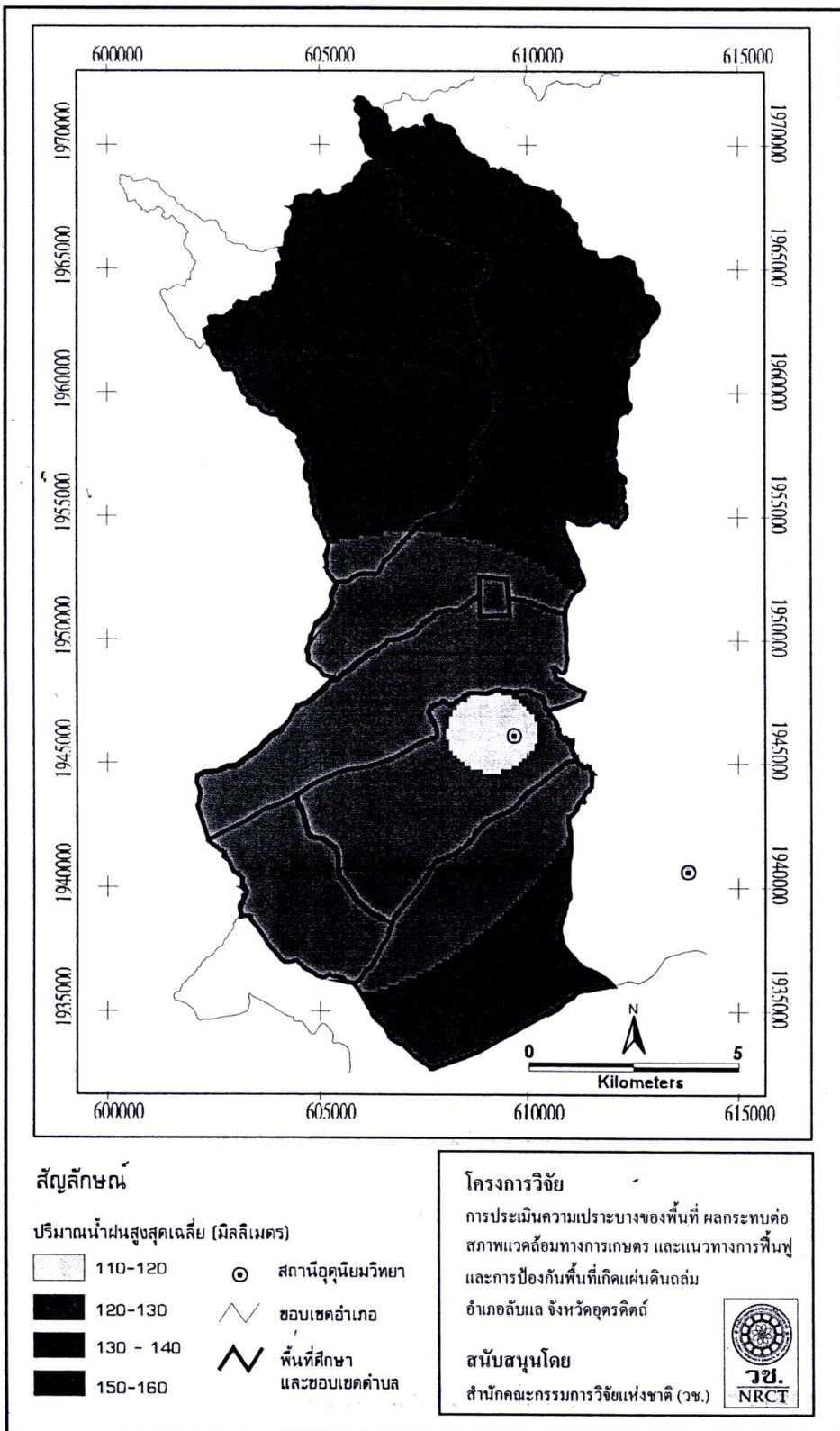
ภาพที่ 13 แผนที่การระบายน้ำของดินในพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 14 แผนที่แสดงความลึกดินของพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 15 แผนที่ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษา



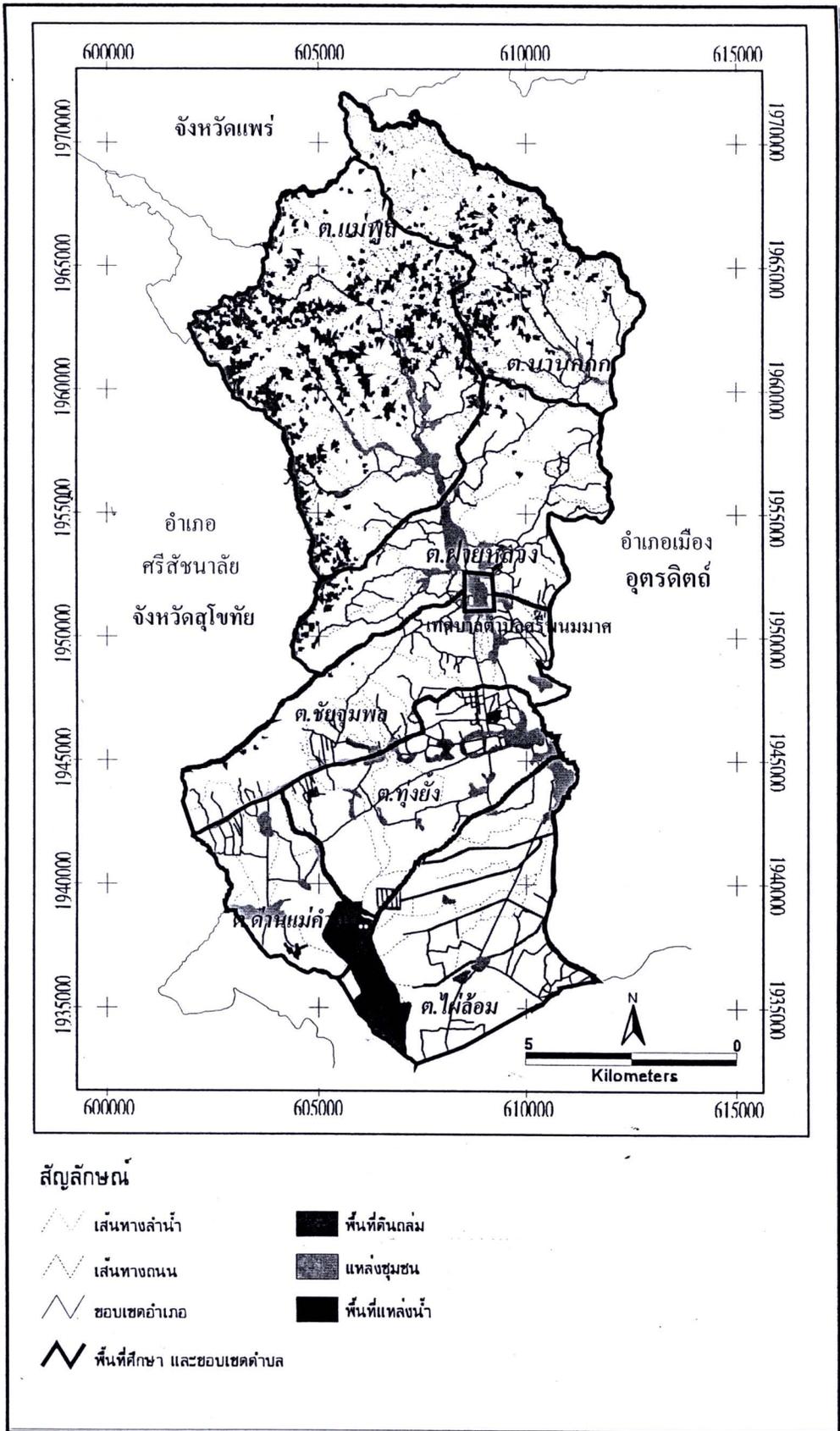
ภาพที่ 16 แผนที่ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงสุดรายปีของพื้นที่ศึกษา

(2) ผลการประเมินพื้นที่เกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา

ผลจากการวิเคราะห์หาพื้นที่เกิดดินถล่มที่เกิดขึ้นในวันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 โดยการแปลตีความจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม SPOT 5 ซึ่งบันทึกภาพในระบบ HRG-2 ความละเอียดเชิงพื้นที่ 5 เมตร (Spatial resolution) เมื่อวันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ.2549 หมายเลขภาพที่ 259-314 และ 259-315 ร่วมกับการใช้ข้อมูลเสริมประกอบจากฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ ข้อมูลตำแหน่งพื้นที่ดินถล่มจากการสำรวจภาคสนาม ชั้นข้อมูลเส้นชั้นความสูงเชิงเลข ชั้นข้อมูลความลาดชัน ชั้นข้อมูลเส้นทางคมนาคม และชั้นข้อมูลเส้นทางระบายน้ำ ทำการแปลขอบเขตดินถล่มบนพื้นที่เขาสูงชันด้วยการดิจิทัลขอบเขตดินถล่มจากจอคอมพิวเตอร์ (Heads-up digitizing) แล้วเก็บเป็นชั้นข้อมูล Sharp file ภายใต้โปรแกรม ArcView GIS พบว่า พื้นที่เกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษามีประมาณ 732.27 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 0.666 ของพื้นที่ศึกษา จำนวนรอยแผลที่เกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษาทั้งหมดเท่ากับ 2,656 ตำแหน่ง โดยพื้นที่ตำบลแม่พูล มีพื้นที่เกิดดินถล่มสูงที่สุด คิดเป็นเนื้อที่ 545.69 ไร่ หรือร้อยละ 74.52 ของพื้นที่ดินถล่มทั้งหมด และเป็นตำบลที่มีจำนวนรอยแผลสูงที่สุด คือ 1,857ตำแหน่ง รองลงมาพบดินถล่มในตำบลนานกกก และ ตำบลฝายหลวง โดยคิดเป็นร้อยละ 18.72 และ ร้อยละ 5.90 ของพื้นที่ดินถล่ม ตามลำดับ ในขณะที่ตำบลชัยชุมพล มีพื้นที่เกิดดินถล่ม เท่ากับ 6.35 ไร่ หรือร้อยละ 0.87 ของพื้นที่ดินถล่มทั้งหมด และมีจำนวนรอยแผลน้อยที่สุดคือ 28 ตำแหน่ง เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ในตำบลชัยชุมพลเป็นที่ราบลุ่มที่ใช้ในการเพาะปลูกข้าวและทำนาหอมแดง สำหรับพื้นที่ในตำบลที่อื่นๆ ไม่พบว่าเกิดดินถล่มเนื่องจากมีสภาพเป็นพื้นที่ราบลุ่ม และไม่มีภูเขาหรือพื้นที่ลาดชัน (ภาพที่ 17)

ตารางที่ 16 เนื้อที่แผ่ดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ตำบล	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่เกิด แผ่ดินถล่ม	จำนวนรอยแผลแผ่ดินถล่ม (ตำแหน่ง)
ต.แม่พูล	545.69	74.52	1,857
ต.นานกกก	137.05	18.72	550
ต.ฝายหลวง	43.18	5.90	221
ต.ชัยชุมพล	6.35	0.87	28
รวม	732.27	100.00	2,656



ภาพที่ 17 แผนที่แสดงพื้นที่แผ่นดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

(3) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสิ่งแวดล้อมกับการเกิดแผ่นดินถล่ม

ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

ผลการศึกษาระดับความสูงของพื้นที่เกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่า พื้นที่เกิดดินถล่มส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับความสูงในช่วง 300-500 เมตร โดยมีพื้นที่ประมาณ 443.06 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 60.51 ของพื้นที่เกิดแผ่นดินถล่มทั้งหมด รองลงมา ได้แก่พื้นที่ที่ระดับความสูง 200-300 เมตร และ 500-800 เมตร โดยมีเนื้อที่ประมาณ 129.70 ไร่ หรือร้อยละ 17.71 และเนื้อที่ประมาณ 125.19 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 17.10 ของพื้นที่เกิดดินถล่มตามลำดับ ส่วนในพื้นที่ที่ระดับความสูง 800-850 มีการเกิดดินถล่มน้อยมาก มีพื้นที่ประมาณ 0.34 ไร่ หรือร้อยละ 0.05 ของพื้นที่เกิดดินถล่มทั้งหมด และในพื้นที่ที่ระดับความสูงน้อยกว่า 100 เมตร ไม่พบว่ามี การเกิดดินถล่ม อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบร้อยละของพื้นที่ดินถล่มต่อเนื้อที่ในพื้นที่ศึกษาในช่วงระดับความสูงเดียวกัน พบว่าระดับความสูงของพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดดินถล่มอย่างมาก ($r=0.987^*$) ดังแสดงใน ตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูงของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

ระดับความสูง (เมตร)	เนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา (ไร่)	เนื้อที่การเกิดดิน ถล่ม (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ดินถล่ม ต่อเนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา
< 100	140,849.40	0.00	0.00
100-200	54,015.15	33.97	0.06
200-300	31,942.20	129.70	0.41
300-500	47,759.70	443.06	0.93
500-800	7,868.90	125.39	1.59
800-850	15.20	0.14	0.92
รวม	282,450.55	732.27	

ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความลาดชันของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

จากผลการวิเคราะห์หาความลาดชันของพื้นที่เกิดดินถล่ม แสดงในตารางที่ พบว่า ความลาดชันของพื้นที่กับการเกิดดินถล่มมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($r=0.860^*$) โดยพื้นที่ที่เกิดดินถล่มส่วนใหญ่อยู่ในช่วงชันความลาดชันระหว่าง 25 ถึง 45 องศา โดยพื้นที่ที่มีความลาดชันในช่วง 30-35 องศา มีเนื้อที่การเกิดแผ่นดินถล่มมากที่สุดคือประมาณ 152.59 ไร่ หรือประมาณ 20.84 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ดินถล่มทั้งหมด รองลงมาได้แก่พื้นที่ที่มีความลาดชันอยู่ในช่วง 25-30 องศา โดยมีเนื้อที่เกิดดินถล่มประมาณ 125.25 ไร่ หรือร้อยละ 17.10 และในช่วง 35-40 เมตร เนื้อที่

ประมาณ 126.39 ไร่ หรือร้อยละ 17.26 ของเนื้อที่ที่เกิดแผ่นดินถล่มทั้งหมด ส่วนพื้นที่ที่มีความลาดชันมากในช่วง 70-80 องศา มีเนื้อที่ที่เกิดดินถล่มน้อยที่สุดประมาณ 0.08 ไร่ หรือร้อยละ 0.01 ของเนื้อที่ทั้งหมด (ตารางที่ 18) อย่างไรก็ตามจากการสำรวจพื้นที่ทางภาคสนาม สามารถพบเห็นพื้นที่ดินถล่มในสวนผลไม้บนภูเขาสูงที่มีความลาดชันเกิน 70 องศา อยู่หลายแห่ง

ตารางที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความลาดชันของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

ความลาดชัน (องศา)	เนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา (ไร่)	เนื้อที่การเกิดดินถล่ม (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ดินถล่ม ต่อเนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา
0-8	177,427.45	16.30	0.009
8-15	17,186.90	15.95	0.093
15-20	17,362.10	35.00	0.202
20-25	19,627.60	78.38	0.399
25-30	17,894.95	126.39	0.706
30-35	13,418.10	152.59	1.137
35-40	10,513.35	125.25	1.191
40-45	4,762.90	79.81	1.676
45-50	2,355.80	44.78	1.901
50-60	1,559.80	35.25	2.260
60-70	290.80	17.48	6.011
70-80	47.05	5.08	10.797
> 80	3.75	0.00	0.000
รวม	282450.55	732.27	

ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางการลาดของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

พื้นที่ที่มีทิศทางการลาดของพื้นที่ไปทางทิศตะวันออก (67.5-112.5 องศา) มีเนื้อที่ที่เกิดดินถล่มมากที่สุด โดยมีเนื้อที่ประมาณ 204.25 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 27.89 ของเนื้อที่ที่เกิดดินถล่ม พื้นที่ที่เกิดดินถล่มรองลงมาพบในพื้นที่ที่มีทิศลาดไปทางตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีเนื้อที่ประมาณ 175.61 ไร่ (ร้อยละ 23.98) 145.56 ไร่ (ร้อยละ 19.88) และ 97.47 ไร่ (ร้อยละ 13.31) ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ที่ลาดไปทางทิศเหนือและทิศตะวันตกเฉียงเหนือมีดินถล่มเกิดขึ้นน้อยมาก (น้อยกว่าร้อยละ 1 ของเนื้อที่ดินถล่มทั้งหมด) (ตารางที่ 19)

ตารางที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางลาดของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

ทิศทางลาด (องศา)	เนื้อที่ในพื้นที่ ศึกษา (ไร่)	เนื้อที่การเกิด ดินถล่ม (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ดินถล่ม ต่อเนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา
ที่ราบ (-1)	46,552.45	31.20	0.07
ทิศเหนือ (0-22.5,337.5-360)	16,784.35	5.22	0.03
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (22.5-67.5)	26,712.00	39.69	0.15
ทิศตะวันออก (67.5-112.5)	34,871.10	204.25	0.59
ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (112.5-157.5)	47,104.95	175.61	0.37
ทิศใต้ (157.5-202.5)	48,152.30	145.56	0.30
ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (202.5-247.5)	27,490.45	97.47	0.36
ทิศตะวันตก (247.5-292.5)	20,522.40	28.22	0.14
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (292.5-337.5)	14,260.55	5.04	0.04
รวม	282,450.55	732.27	

ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะแผ่นดินของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

พื้นที่ส่วนใหญ่ที่เกิดแผ่นดินถล่มมีลักษณะของพื้นที่ที่มีความชันแบบ Open slopes โดยมีพื้นที่ประมาณ 255.39 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 34.88 ของเนื้อที่เกิดดินถล่มทั้งหมด และพื้นที่ที่เกิดดินถล่มรองลงมามีลักษณะของแผ่นดินที่มีความชันแบบ Upper slopes โดยมีเนื้อที่ 19.42 ไร่ (ร้อยละ 142.20 ของพื้นที่ที่เกิดดินถล่ม) ส่วนพื้นที่ที่พบว่ามีเกิดการเกิดดินถล่มน้อยที่สุดจะมีลักษณะแผ่นดินแบบ Local Ridges/Hills in valleys โดยมีเนื้อที่ประมาณ 5.75 ไร่ (ร้อยละ 0.79) (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะแผ่นดินของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

ลักษณะแผ่นดิน (Landform)	เนื้อที่ในพื้นที่ ศึกษา (ไร่)	เนื้อที่ดินถล่ม (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ดินถล่ม ต่อเนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา
Canyons, Deeply Incised Streams:	13,290.20	53.27	0.40
Midslope Drainages, Shallow Valleys:	6,120.50	54.80	0.90
Upland Drainages, Headwaters:	859.20	12.84	1.49
U-Shaped Valleys:	14,689.50	72.22	0.49
Plains:	161,551.60	7.72	0.01
Open Slopes:	47,402.15	255.39	0.54
Upper Slopes,	18,186.55	142.20	0.78
Local Ridges/Hills In Valleys:	942.30	5.75	0.61
Midslope Ridges, Small Hills In Plains:	6446.10	47.75	0.74
Mountain Tops, High Ridges:	12,962.45	80.33	0.62
รวม	282,450.55	732.27	

ความสัมพันธ์ระหว่างความเสถียรภาพของพื้นที่กับการเกิดดินถล่ม

พื้นที่ที่เกิดดินถล่มส่วนใหญ่ โดยประมาณ 379.56 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 51.83 ของพื้นที่ดินถล่มทั้งหมด จะเกิดในสภาพที่พื้นที่ไม่มีความเสถียรภาพของความลาดชันของพื้นที่ (Unstable slope conditions) ส่วนพื้นที่ที่มีความเสถียรของความลาดชัน เกิดดินถล่มเป็นเนื้อที่ 250.69 ไร่ (ร้อยละ 34.23) และพื้นที่ที่มีความเสถียรในระดับเฝ้าระวัง (Cuation condition) มีเนื้อที่ที่เกิดดินถล่มประมาณ 102.02 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 13.39 ของเนื้อที่เกิดดินถล่มทั้งหมด จากการศึกษาพบว่าการใช้แบบจำลอง SMorph (Slope Morphology Model) โดยคำนวณจากข้อมูลความลาดชันของพื้นที่และข้อมูลลักษณะความโค้งนูนของผิวน้ำภูมิประเทศ เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพของระดับความรุนแรงของแผ่นดินถล่ม (Landslide hazard potential) มีความสอดคล้องกันกับพื้นที่ดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงในอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเสถียรภาพของความลาดชันของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

ความเสถียรภาพของ ความลาดชัน	เนื้อที่ในพื้นที่ ศึกษา (ไร่)	เนื้อที่เกิดดิน ถล่ม (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ดินถล่ม ต่อเนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา
Stable	224,180.35	250.69	0.11
Cuation	14,944.55	102.02	0.68
Unstable	43,325.65	379.56	0.88
รวม	282,450.55	732.27	

ความสัมพันธ์ระหว่างธรณีวิทยากับพื้นที่เกิดดินถล่ม

จากการศึกษาทางธรณีวิทยาของพื้นที่ที่เกิดดินถล่มพบว่า พื้นที่เกิดดินถล่มเกือบทั้งหมด (ร้อยละ 99.89) หรือประมาณ 731.47 ไร่ เป็นกลุ่มหินประเภทหินทรายเนื้อควอร์ต และหินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ หินควอร์ตไซต์ และหินดินดานสีขาว-เขียวจาง ถึงสีน้ำตาลเทา ชั้นหินปานกลาง ถึงชั้นหนา มีสายแร่ควอร์ต (CP) ซึ่งสอดคล้องกับการสำรวจพื้นที่ในภาคสนามพบว่าบริเวณพื้นที่ลาดชันที่เกิดดินถล่มในระดับรุนแรง ที่หน้าดินชั้นบนถูกเคลื่อนย้ายหายไปหมดจนถึงลึกถึงระดับชั้นหินที่ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินทรายหยาบ รวมทั้งยังพบพื้นที่ดินถล่มบริเวณที่มีชั้นหินเป็นหินควอร์ตไซต์ (Quartzite) ที่แปรสภาพมาจากหินทราย (Sandstone) ซึ่งที่มีสายแร่เหล็กออกไซด์สีแดง หรือ แร่ Hematite (Fe₂O₃) และพบดินถล่มบริเวณที่ชั้นหินเป็นหินตะกอนประเภทหินดินดาน (Shale) ซึ่งส่วนใหญ่จะมีจุดประสีด้าเคลือบอยู่ ที่อาจจะเป็นจุดประของแร่ไพโรลูไซต์ (Pyrolusite; MnO₂) นอกจากนี้ยังพบการเกิดดินถล่มในพื้นที่ที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นก้อนกรวดตะพักกริมแม่น้ำ

ทราย ทรายแป้ง ดินเหนียว และ โคลน (Q) โดยคิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 0.80 ไร่ (ร้อยละ 0.11) ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวอาจเป็นบริเวณที่ราบหุบเขาหรือที่ราบลุ่มริมลำน้ำที่ถูกมวลดินจากภูเขาสูงชันเคลื่อนมาทับถม ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการกำหนดขอบเขตของพื้นที่เกิดดินถล่มจากภาพถ่ายดาวเทียม (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างธรณีวิทยาของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

ธรณีวิทยา	เนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา (ไร่)	เนื้อที่การเกิดดินถล่ม (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ดินถล่มต่อเนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา
หินทรายเนื้อควอร์ต และหินทรายเนื้อเฟลด์สปาร์ หินควอร์ต ไซต์ และหินดินดานสีขาว-เขียวจาง ถึงสีน้ำตาลเทา ชั้นหินปานกลาง ถึงชั้นหนา มีสายแร่ควอร์ต (C)	558.00	0.00	0.000
หินคละกั้นหลายชนิด หินทราย หินดินดาน หินเชิร์ต หินดินดานปกคลุมด้วยกรวด หินทอพฟ์ สีน้ำตาลอ่อนถึงแก่ เป็นชั้นหนา (CP)	141,639.65	731.47	0.516
ก้อนกรวดตะกักริมแม่น้ำ ทราย ทรายแป้งดินเหนียว และ โคลน (Q)	105,869.70	0.80	0.001
ก้อนกรวดตะกัก ทราย ทรายแป้งและดินเหนียว (Q1)	34,370.35	0.00	0.000
หินฟิลไลต์ หินควอร์ต ไซต์ หินทรายเนื้อควอร์ต ไซต์ หินซิสต์เนื้อไมควอร์ตซ์และเฟลด์สปาร์มาก และหินซิสต์ (SD)	12.85	0.00	0.000
รวม	282,450.55		

ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินกับการเกิดดินถล่ม

พื้นที่เกิดดินถล่มส่วนใหญ่จะพบในบริเวณที่ทำการเกษตรแบบสวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนเขาสูงชันที่มีการปลูกไม้ผลหลากหลายชนิดผสมร่วมกับพรรณไม้ป่าเบญจพรรณดั้งเดิม โดยมีเนื้อที่เกิดดินถล่มประมาณ 406.96 ไร่ (ร้อยละ 55.58) และพบดินถล่มที่เกิดในบริเวณป่าเบญจพรรณ ป่าแดงหรือป่าเต็งรัง และป่าผลัดใบเสื่อมโทรม คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ ร้อยละ 19.98, 19.10, และ 4.65 ของพื้นที่ดินถล่มทั้งหมด ตามลำดับ ส่วนพื้นที่สวนป่า (สัก หรือ ยูคาลิปตัส) พืชไร่ผสมทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม และนาข้าว/นาห่อม พบว่าเกิดดินถล่มน้อยมาก (น้อยกว่าร้อยละ 0.5 ของเนื้อที่ดินถล่มทั้งหมด) นอกจากนี้ไม่พบการเกิดดินถล่มเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงปลา พื้นที่ไม้พุ่ม หรือทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม และแหล่งที่อยู่อาศัย ตัวเมืองและย่านการค้า (ตารางที่ 23) เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่

ของการใช้ที่ดินประเภทดังกล่าวอยู่บริเวณพื้นที่ราบและมีความสูงในระดับต่ำ (ต่ำกว่า 100 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง

ตารางที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	เนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา (ไร่)	เนื้อที่การเกิดดินถล่ม (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ดินถล่มต่อเนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา
นาข้าว/นาหอม	90,714.15	0.31	0.0003
พืชไร่ผสม หรือทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม	16,770.30	0.31	0.0018
สวนป่า (สัก หรือ ยูคาลิปตัส)	4,982.90	2.78	0.0558
สวนไม้ผลผสม หรือ สวนไม้ผลผสม/ป่าเบญจพรรณ	84,509.85	406.96	0.4816
สถานที่เพาะเลี้ยงปลา	181.35	-	-
ป่าเบญจพรรณ	21,737.20	139.89	0.6436
ป่าผลัดใบเสื่อมโทรม	22,206.30	146.28	0.6587
ป่าแดงหรือป่าเต็งรัง	13,850.35	34.02	0.2456
ไม้พุ่ม หรือทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม	5,557.15	-	-
แหล่งที่อยู่อาศัย ตัวเมืองและย่านการค้า	4,890.00	-	-
หมู่บ้านบนพื้นที่ราบผสมสวนไม้ผลผสม	10,906.05	1.50	0.0138
แหล่งน้ำผิวดิน และ แม่น้ำลำคลอง	6,144.95	0.22	0.0036
รวม	282,450.55	732.27	

ความสัมพันธ์ระหว่างชุดดินในพื้นที่กับการเกิดดินถล่ม

พื้นที่ดินถล่มในอำเภอลับแลเกือบทั้งหมด พบในพื้นที่ที่ถูกจำแนกชุดดิน (Soil series) เป็นดินหน่วยผสมของดินบริเวณพื้นที่สูงชัน ซึ่งเป็นดินที่ลาดชันเชิงซ้อน (Slope Complex) คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 718.41 ไร่ (ร้อยละ 98.11) โดยทั่วไปแล้วพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนเป็นพื้นที่ที่มีชั้นดินต้น มีเศษหิน ก้อนหินและหินพื้นผิวดินที่กระจายที่ผิวดิน และมีความชันของพื้นที่โดยเฉลี่ยเกิด 35 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ง่ายต่อการชะล้างพังทลายของดิน ทำให้มีศักยภาพไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเพาะปลูกพืช ซึ่งควรอนุรักษ์พื้นที่ไว้เป็นพื้นที่ป่าไม้ธรรมชาติเพื่อรักษาสภาพแวดล้อมและเป็นพื้นที่ต้นน้ำลำธาร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2541) รองลงมาพบดินถล่มในพื้นที่ที่เป็นดินชุดบ้านจ้องประเภทเนินเขา ดินชุดบ้านจ้องประเภทลอนชัน และหน่วยผสมของดินตะกอนระบายน้ำเร็ว ซึ่งมี

เนื้อที่ประมาณ 9.77 ไร่ (ร้อยละ 1.33) 3.97 ไร่ (ร้อยละ 0.54) และ 0.12 ไร่ (ร้อยละ 0.02) ตามลำดับ (ตารางที่ 24)

ตารางที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดดินของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

ชื่อชุดดิน	เนื้อที่ในพื้นที่ ศึกษา (ไร่)	เนื้อที่การเกิด ดินถล่ม (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ดิน ถล่มต่อเนื้อที่ใน พื้นที่ศึกษา
ดินชุดเชียงคาน	25,867.50	-	-
ดินชุดเชียงราย	15,978.50	-	-
ดินชุดหางดง	20,434.50	-	-
ดินชุดกำแพงแสน	1.55	-	-
ดินชุดลำปูง	2,301.55	-	-
ดินชุดลับแล	18,035.00	-	-
ดินชุดแม่สาย	2,484.80	-	-
ดินชุดพิมาย	20,584.40	-	-
ดินชุดเพ็ญ	3,954.75	-	-
ดินชุดราชบุรี	323.80	-	-
ดินชุดสระบุรี	8,583.85	-	-
ดินชุดท่ายาง	10.85	-	-
ดินชุดอุตรดิตถ์	1,238.35	-	-
ดินชุดยโสธร	106.50	-	-
หน่วยสัมพันธ์ของดินชุดลาดหญ้า และดิน ชุดท่ายาง	7,140.15	-	-
ดินคล้ายดินชุดลำปางแต่มีกรวดในดินล่าง	6,042.70	-	-
ดินชุดบ้านจ้อง ประเภทลอนชัน	21,183.05	3.97	0.019
ดินชุดบ้านจ้อง ประเภทเนินเขา	12,693.40	9.77	0.077
ดินชุดมวกเหล็ก ประเภทลอนลาด	4,949.95	-	-
หน่วยผสมของดินบริเวณพื้นที่สูงชัน	102,429.40	718.41	0.701
หน่วยผสมของดินตะกอน ระบายน้ำเร็ว	1,961.05	0.12	0.006
พื้นที่น้ำ	6,144.95	-	-
รวม	282,450.55	732.27	

ความสัมพันธ์ระหว่างการระบายน้ำของดินกับการเกิดดินถล่ม

พื้นที่ดินถล่มส่วนใหญ่ในอำเภอลับแล จะพบในบริเวณดินที่มีสภาพการระบายน้ำค่อนข้างดีมาก (Somewhat excessively drained soil) โดยมีเนื้อที่ประมาณ 718.41 ไร่ (ร้อยละ 98.11 ของพื้นที่ดินถล่ม) และยังพบดินถล่มในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำในระดับดี (Well drained soil) โดยมีเนื้อที่ประมาณ 13.73 ไร่ หรือร้อยละ 1.87 ในขณะที่พื้นที่ที่มีสภาพดินระบายน้ำเลว (Poorly drained soil) และค่อนข้างเลว (Somewhat poorly drained soil) ไม่พบว่ามีเกิดดินถล่ม เนื่องจากพื้นที่ที่มีสภาพดินดังกล่าวพบในบริเวณพื้นที่ราบลุ่ม หรือพื้นที่ราบริมลำน้ำ และพบในพื้นที่ความสูงต่ำกว่า 100 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ดังรายละเอียดในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างการระบายน้ำของดินของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

การระบายน้ำของดิน	เนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา (ไร่)	เนื้อที่การเกิดดินถล่ม (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ดินถล่มต่อเนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา
การระบายน้ำเลว	93,034.50	0.00	-
การระบายน้ำค่อนข้างเลว	11,892.45	0.00	-
การระบายน้ำดี	74,866.25	13.86	0.0182
การระบายน้ำค่อนข้างดีมาก	102,657.35	718.41	0.6998
รวม	282,450.55	732.27	

ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของดินกับการเกิดดินถล่ม

พื้นที่ที่ดินมีระดับความลึกปานกลาง คือระหว่าง 50-100 ซม. จะพบการเกิดดินถล่มมากที่สุด คิดเป็นเนื้อที่ 718.41 ไร่ (ร้อยละ 98.107 ของเนื้อที่เกิดดินถล่มทั้งหมด) และยังพบดินถล่มในพื้นที่ที่ดินมีระดับความลึกมากกว่า 150 ซม. โดยคิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 13.86 ไร่ (ร้อยละ 1.893) ในขณะที่พื้นที่ที่มีระดับชั้นดินตื้น (ระหว่าง 25-50 ซม.) ในขณะที่ดินที่ระดับความลึกในช่วงระหว่าง 100-150 ซม. ไม่พบการเกิดดินถล่ม ดังแสดงใน ตารางที่ 26 จะพบว่าความสัมพันธ์ของระดับความลึกของดินกับการเกิดดินถล่มมีไม่ชัดเจนมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชั้นข้อมูลความลึกของดินขึ้นอยู่กับชั้นข้อมูลชุดดิน ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ที่เกิดดินถล่มในอำเภอลับแลเป็นชุดดินที่ถูกจำแนกเป็นที่ลาดชันเชิงซ้อน ที่มีความลึกประมาณ 50 ถึง 100 ซม

ตารางที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกดินของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

ชุดดิน	เนื้อที่ในพื้นที่ ศึกษา (ไร่)	เนื้อที่การเกิดดิน ถล่ม (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ดินถล่ม ต่อเนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา
ดินตื้น ระหว่าง 25-50 ซม.	8,904.65	-	-
ดินลึกปานกลางระหว่าง 50-100 ซม.	108,972.10	718.41	0.66
ดินลึก ระหว่าง 100-150 ซม.	2,312.35	-	-
ดินลึกมาก มากกว่า 150 ซม.	162,261.45	13.86	0.01
รวม	282,450.55	732.27	

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยกับการเกิดดินถล่ม

ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษามีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดดินถล่มอย่างมีนัยสำคัญ ($r=0.849^*$) โดยพื้นที่ที่เกิดดินถล่มส่วนใหญ่ภายในพื้นที่ศึกษา มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีระหว่าง 1490 ถึง 1510 มม คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 541.91 ไร่ หรือร้อยละ 74.00 ของพื้นที่เกิดดินถล่มทั้งหมด และพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีระหว่าง 1510 ถึง 1530 มม. เกิดดินถล่มทั้งหมด 188.42 ไร่ (ร้อยละ 25.73) ในขณะที่พื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยต่ำเกิดดินถล่มเป็นบริเวณไม่มากนัก นอกจากนี้ ยังพบว่าพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยต่ำกว่า 1470 มม. ไม่พบพื้นที่เกิดแผ่นดินถล่ม ดังแสดงในตารางที่ 27)

ตารางที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย	เนื้อที่ในพื้นที่ ศึกษา (ไร่)	เนื้อที่การเกิด ดินถล่ม (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ดิน ถล่มต่อเนื้อที่ในพื้นที่ ศึกษา
1400 - 1430 มม.	9,359.88	-	-
1430 - 1450 มม.	17,516.17	-	-
1450 - 1470 มม.	28,010.88	-	-
1470 - 1490 มม.	33,430.26	1.94	0.01
1490 - 1510 มม.	153,717.47	531.91	0.35
1510 - 1530 มม.	40,415.89	198.42	0.49
รวม	282,450.55	732.27	



ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ยกับการเกิดดินถล่ม

การเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษามีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ยของพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญสถิติ ($r=0.976^*$) โดยพบว่า พื้นที่เกิดดินถล่มส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ยระหว่าง 150 มม. ถึง 160 มม. คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 415.63 ไร่ หรือร้อยละ 56.76 ของพื้นที่ดินถล่มทั้งหมด รองลงมาพบดินถล่มในพื้นที่ที่ ปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 130 ถึง 140 มม. คิดเป็น ร้อยละ 34.86 ของพื้นที่ดินถล่มทั้งหมด และพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 120 ถึง 130 มม. อยู่ในเนื้อที่เกิดแผ่นดินถล่ม ประมาณ 61.38 ไร่ หรือร้อยละ 8.38 ของเนื้อที่เกิดดินถล่มทั้งหมด ในขณะที่ไม่พบดินถล่มในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 110 มม. ถึง 120 มม. ดังแสดงในตารางที่ 28)

ตารางที่ 28 'ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ยของพื้นที่กับการเกิดแผ่นดินถล่ม

ปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ย	เนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา (ไร่)	เนื้อที่การเกิดดิน ถล่ม (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ดินถล่ม ต่อเนื้อที่ในพื้นที่ศึกษา
110 - 120 มม.	5,793.81	-	0.0000
120 - 130 มม.	119,360.28	61.38	0.0514
130 - 140 มม.	79,562.48	255.27	0.3208
150-160 มม.	77,733.98	415.63	0.5347
รวม	282,450.55	732.27	

1.2 การกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญสำหรับตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางสิ่งแวดล้อม (Environmental independent variables) กับการเกิดดินถล่ม (Dependent variable) ที่เกิดขึ้นระหว่างวันที่ 23 – 24 พฤษภาคม พ.ศ.2549 ในพื้นที่ลุ่มน้ำอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ถูกนำมาเพื่อกำหนดค่าคะแนนความเปราะบางของพื้นที่ (Vulnerability score) ต่อการเกิดดินถล่มสำหรับตัวแปรแต่ละตัว สำหรับตัวแปรส่วนใหญ่ที่เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (Numerical or continuous data) ได้แก่ ความสูงของพื้นที่ ความลาดชัน ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนสูงสุด สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดดินถล่มกับตัวแปรเหล่านั้น และผลการศึกษาพบว่าตัวแปรทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับการเกิดดินถล่มในอำเภอลับแลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถึงแม้ตัวแปรเชิงปริมาณบางตัว เช่น ตัวแปรความลึกของดิน ไม่สามารถมองเห็นความสัมพันธ์กับการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษาได้อย่างชัดเจน แต่จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การเกิดดินถล่มในหลายพื้นที่มีความเกี่ยวข้องกับความลึกของดิน (กรมพัฒนา

ที่ดิน, 2546; กรมพัฒนาที่ดิน, 2549) ในขณะที่ตัวแปรที่เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (Categorical data) คณะผู้ศึกษาพบว่าตัวแปรทั้งหมดสอดคล้องกับงานศึกษาวิจัยที่ผ่านมา (สราวุธ นาแรมงาน, 2539; กรมพัฒนาที่ดิน, 2546; กาญจนา ศรีเทียนและคณะ, 2549) ดังนั้นคณะผู้ศึกษาได้นำตัวแปรทั้งหมดดังกล่าวมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่มในอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

การกำหนดค่าคะแนนความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่ม

ค่าคะแนนความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่ม จะสอดคล้องกับร้อยละของการเกิดดินถล่มที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาต่อเนื้อที่ที่ตัวแปรเหล่านั้นปรากฏในพื้นที่ศึกษา ซึ่งคำนวณจากสมการความสัมพันธ์กันภายในระหว่างค่าของตัวแปรอิสระแต่ละตัว (Each category in variables) โดยผลที่ได้จากการคำนวณจะแสดงถึงค่าคะแนนระดับความเปราะบางของพื้นที่ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ค่าคะแนนความเปราะบางของตัวแปร (x_i) ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ตัวแปร (Variables)	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ศึกษา	พื้นที่การเกิดดินถล่ม; O (ไร่)	พื้นที่ที่คาดว่าจะเกิดดินถล่มa; E (ไร่)	O/E	ค่าคะแนน (x_i)
ระดับความสูง						
< 100	140,849.40	49.87	0.00	365.16	0.00	0.00
100-200	54,015.15	19.12	33.97	140.04	0.24	1.20
200-300	31,942.20	11.31	129.70	82.81	1.57	7.77
300-500	47,759.70	16.91	443.06	123.82	3.58	17.76
500-800	7,868.90	2.79	125.19	20.40	6.14	30.45
800-850	15.20	0.01	0.34	0.04	8.63	42.82
ความลาดชัน						
0-8	177,427.45	62.82	16.30	459.99	0.04	0.03
8-15	17,186.90	6.08	15.95	44.56	0.36	0.35
15-20	17,362.10	6.15	35.00	45.01	0.78	0.76
20-25	19,627.60	6.95	78.38	50.89	1.54	1.51
25-30	17,894.95	6.34	126.39	46.39	2.72	2.68
30-35	13,418.10	4.75	152.59	34.79	4.39	4.31
35-40	10,513.35	3.72	125.25	27.26	4.60	4.52
40-45	4,762.90	1.69	79.81	12.35	6.46	6.35
45-50	2,355.80	0.83	44.78	6.11	7.33	7.21
50-60	1,559.80	0.55	35.25	4.04	8.72	8.57
60-70	290.80	0.10	17.48	0.75	23.19	22.78
70-80	47.05	0.02	5.08	0.12	41.65	40.93
> 80	3.75	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

ตารางที่ 29 (ต่อ)

ตัวแปร (Variables)	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละของ พื้นที่ศึกษา	พื้นที่การเกิด ดินถล่ม; O (ไร่)	พื้นที่ที่คาดว่าจะ เกิดดิน ถล่ม ^a ; E (ไร่)	O/E	ค่าคะแนน (x _i)
ทิศด้านลาด						
ที่ราบ Flat (-1)	46,552.45	16.48	31.20	120.69	0.26	3.29
ทิศเหนือ	16,784.35	5.94	5.22	43.51	0.12	1.53
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	26,712.00	9.46	39.69	69.25	0.57	7.30
ทิศตะวันออก	34,871.10	12.35	204.25	90.40	2.26	28.78
ทิศตะวันออกเฉียงใต้	47,104.95	16.68	175.61	122.12	1.44	18.32
ทิศใต้	48,152.30	17.05	145.56	124.84	1.17	14.86
ทิศตะวันตกเฉียงใต้	27,490.45	9.73	97.47	71.27	1.37	17.42
ทิศตะวันตก	20,522.40	7.27	28.22	53.20	0.53	6.76
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	14,260.55	5.05	5.04	36.97	0.14	1.74
ลักษณะแผ่นดิน						
Canyons	13,290.20	4.71	53.27	34.46	1.55	6.09
Midslope Drainages, Shallow Valleys:	6,120.50	2.17	54.80	15.87	3.45	13.61
Upland Drainages	859.20	0.30	12.84	2.23	5.76	22.72
U-Shaped Valleys:	14,689.50	5.20	72.22	38.08	1.90	7.47
Plains:	161,551.60	57.20	7.72	418.83	0.02	0.07
Open Slopes:	47,402.15	16.78	255.39	122.89	2.08	8.19
Upper Slopes,	18,186.55	6.44	142.20	47.15	3.02	11.89
Local Ridges/Hills in Valleys:	942.30	0.33	5.75	2.44	2.35	9.28
Midslope Ridges	6,446.10	2.28	47.75	16.71	2.86	11.26
Mountain Tops, High Ridges:	12962.45	4.59	80.33	33.61	2.39	9.42
เสถียรภาพของความลาดชันของพื้นที่						
Stable	224,180.35	79.37	250.69	581.19	0.43	6.69
Caution	14,944.55	5.29	102.02	38.74	2.63	40.86
Unstable	43,325.65	15.34	379.56	112.32	3.38	52.44
ชนิดหิน						
หินทรายเนื้อควอร์ต (C)	558.00	0.20	0.00	1.45	0.00	0.00
หินคละก้นหลายชนิด (CP)	141,639.65	50.15	731.47	367.20	1.99	99.85
ก้อนกรวดตะพักริมน้ำ (Q)	105,869.70	37.48	0.80	274.47	0.00	0.15
ก้อนกรวดตะพัก (Q1)	34,370.35	12.17	0.00	89.11	0.00	0.00
หินฟิลสต์ หินควอร์ตไซต์ (SD)	12.85	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00

ตารางที่ 29 (ต่อ)

ตัวแปร (Variables)	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละของ พื้นที่ศึกษา	พื้นที่การเกิด ดินถล่ม; O (ไร่)	พื้นที่ที่คาดว่าจะ เกิดดิน ถล่ม ^a ; E (ไร่)	O/E	ค่าคะแนน (x _i)
การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2544						
นาข้าว/นาหอม	90,714.15	32.12	0.31	235.18	0.00	0.02
พืชไร่ผสมหรือทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม	16,770.30	5.94	0.31	43.48	0.01	0.09
สวนป่า	4,982.90	1.76	2.78	12.92	0.22	2.65
สวนไม้ผลผสม หรือ สวนไม้ผลผสม/ป่า	84,509.85					
เบญจพรรณ		29.92	406.96	219.09	1.86	22.88
สถานที่เพาะเลี้ยงปลา	181.35	0.06	0.00	0.47	0.00	0.00
ป่าเบญจพรรณ	21,737.20	7.70	139.89	56.35	2.48	30.58
ป่าผลัดใบเสื่อมโทรม	22,206.30	7.86	146.28	57.57	2.54	31.30
ป่าแดงหรือป่าเต็งรัง	13,850.35	4.90	34.02	35.91	0.95	11.67
ไม้พุ่มหรือทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม	5,557.15	1.97	0.00	14.41	0.00	0.00
แหล่งที่อยู่อาศัย และตัวเมือง	4,890.00	1.73	0.00	12.68	0.00	0.00
หมู่บ้านบนพื้นที่ราบผสมสวนไม้ผลผสม	10,906.05	3.86	1.50	28.27	0.05	0.65
แหล่งน้ำผิวดิน และแม่น้ำลำคลอง	6,144.95	2.18	0.22	15.93	0.01	0.17
ชุดดิน						
ดินชุดเชียงกาน	25,867.50	9.16	0.00	67.06	0.00	0.00
ดินชุดเชียงราย	15,978.50	5.66	0.00	41.42	0.00	0.00
ดินชุดหางดง	20,434.50	7.23	0.00	52.98	0.00	0.00
ดินชุดกำแพงแสน	1.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ดินชุดลำปาง	2,301.55	0.81	0.00	5.97	0.00	0.00
ดินชุดลับแล	18,035.00	6.39	0.00	46.76	0.00	0.00
ดินชุดแม่สาย	2,484.80	0.88	0.00	6.44	0.00	0.00
ดินชุดพิมาย	20,584.40	7.29	0.00	53.37	0.00	0.00
ดินชุดเพ็ญ	3,954.75	1.40	0.00	10.25	0.00	0.00
ดินชุดราชบุรี	323.80	0.11	0.00	0.84	0.00	0.00
ดินชุดสระบุรี	8,583.85	3.04	0.00	22.25	0.00	0.00
ดินชุดท่ายาง	10.85	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
ดินชุดอุครดิตถ์	1,238.35	0.44	0.00	3.21	0.00	0.00
ดินชุดยโสธร	106.50	0.04	0.00	0.28	0.00	0.00
หน่วยสัมพันธของดินชุดลาดหญ้าและท่ายาง	7,140.15	2.53	0.00	18.51	0.00	0.00
ดินคล้ายดินชุดลำปางแต่มีกรวดในดินล่าง	6,042.70	2.14	0.00	15.67	0.00	0.00
ดินชุดบ้านจ้อง ประเภทอนชัน	21,183.05	7.50	3.97	54.92	0.07	2.33
ดินชุดบ้านจ้อง ประเภทเนินเขา	12,693.40	4.49	9.77	32.91	0.30	9.58
ดินชุดมวกเหล็ก ประเภทลอนลาด	4,949.95	1.75	0.00	12.83	0.00	0.00
ที่ลาดเชิงชัน บนภูเขาสูงชัน	102,429.40	36.26	718.40	265.55	2.71	87.32
หน่วยผสมของดินตะกอน ระบายน้ำแล้ว	1,961.05	0.69	0.12	5.08	0.02	0.76
พื้นที่น้ำ	6,144.95	2.18	0.00	15.93	0.00	0.00

ตารางที่ 29 (ต่อ)

ตัวแปร (Variables)	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละของ พื้นที่ศึกษา	พื้นที่การเกิด ดินถล่ม; O (ไร่)	พื้นที่ที่คาดว่าจะ เกิดดินถล่ม ^a ; E (ไร่)	O/E	ค่าคะแนน (x _i)
การระบายน้ำของดิน						
การระบายน้ำเร็ว	93,034.50	32.94	0.00	241.19	0.00	0.00
การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว	11,892.45	4.21	0.00	30.83	0.00	0.00
การระบายน้ำดี	74,866.25	26.51	13.86	194.09	0.07	2.58
การระบายน้ำค่อนข้างดีมาก	102,657.35	36.35	718.41	266.14	2.70	97.42
ความลึกของดิน						
ดินตื้น (25-50 ซม.)	8,904.65	3.15	0.00	23.09	0.00	0.00
ดินลึกปานกลาง (50-100 ซม.)	108,972.10	38.58	718.41	282.51	2.54	98.72
ดินลึก (100-150 ซม.)	2,312.35	0.82	0.00	5.99	0.00	0.00
ดินลึกมาก (มากกว่า 150 ซม.)	162,261.45	57.45	13.86	420.67	0.03	1.28
ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย						
1400 - 1430 มม.	9,359.88	3.31	0.00	24.27	0.00	0.00
1430 - 1450 มม.	17,516.17	6.20	0.00	45.41	0.00	0.00
1450 - 1470 มม.	28,010.88	9.92	0.00	72.62	0.00	0.00
1470 - 1490 มม.	33,430.26	11.84	1.94	86.67	0.02	0.69
1490 - 1510 มม.	153,717.47	54.42	531.91	398.52	1.33	41.06
1510 - 1530 มม.	40,415.89	14.31	198.42	104.78	1.89	58.25
ปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ย						
110 - 120 มม.	5,793.81	2.05	0.00	15.02	0.00	0.00
120 - 130 มม.	119,360.28	42.26	61.38	309.44	0.20	5.67
130 - 140 มม.	79,562.48	28.17	255.27	206.27	1.24	35.38
140-160 มม.	77,733.98	27.52	415.63	201.53	2.06	58.95

^a (คำนวณจากพื้นที่ดินถล่มทั้งหมด * ร้อยละของพื้นที่ศึกษา) / 100

**การกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญ (Weighting) สำหรับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเกิด
แผ่นดินถล่ม**

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมทั้งหมดที่มีผลต่อการเกิดดินถล่ม สามารถนำมากำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญให้กับตัวแปรแต่ละตัวที่อยู่ในกลุ่มปัจจัยเดียวกัน ทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ (1) ปัจจัยด้านสภาพภูมิประเทศ (2) ปัจจัยด้านปฐพีและโครงสร้างทางธรณีวิทยา และ (3) ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ โดยตารางที่ 30 แสดงค่าความสำคัญให้กับตัวแปรแต่ละตัวที่อยู่ในกลุ่มปัจจัยประเภทเดียวกัน โดยพบว่าตัวแปรลักษณะแผ่นดิน (Landform) มีค่าน้ำหนักความสำคัญสูงที่สุดในปัจจัยสภาพภูมิประเทศ รองลงมาคือ ตัวแปรความลาดชัน ระดับความสูง ความเสถียรภาพของความลาดชัน ทิศด้านลาด และประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามลำดับ

สำหรับในกลุ่มปัจจัยปฐพีวิทยาและโครงสร้างทางธรณีวิทยา พบว่า การระบายน้ำของดินและระดับความลึกของชั้นดินมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา ในขณะที่ชุดดิน (Soil series) มีอิทธิพลน้อยมากต่อการเกิดดินถล่ม เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรอื่นๆ ในปัจจัยด้านปฐพีวิทยาและโครงสร้างทางธรณีวิทยา ในขณะที่ตัวแปรปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ยมีค่าน้ำหนักความสำคัญมากกว่าตัวแปรปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย เท่ากับ 0.62

ตารางที่ 30 ค่าน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่ม

ปัจจัย	ตัวแปร	ร้อยละของพื้นที่ดิน ถล่มในพื้นที่ศึกษาโดย เฉลี่ยของแต่ละตัวแปร	ค่าน้ำหนัก ตัวแปร	ค่าน้ำหนัก ปัจจัย
สภาพภูมิประเทศ	ระดับความสูง	0.871	0.08	
	ความลาดชัน	2.029	0.19	
	ทิศด้านลาด	0.226	0.02	
	ลักษณะแผ่นดิน	6.578	0.63	
	ความเสถียรภาพของความลาดชัน	0.557	0.05	
	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	0.175	0.02	
	รวม	10.437	1.00	0.924
ปฐพีวิทยา	ชนิดหิน	0.103	0.21	
	และโครงสร้างทาง ธรณีวิทยา	ชุดดิน	0.037	0.08
สภาพภูมิอากาศ	การระบายน้ำของดิน	0.180	0.37	
	ความลึกของดิน	0.167	0.34	
	รวม	0.486	1.00	0.043
สภาพภูมิอากาศ	ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย	0.140	0.38	
	ปริมาณน้ำฝนสูงสุดเฉลี่ย	0.227	0.62	
	รวม	0.367	1.00	0.033

ผลการกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยสิ่งแวดล้อมจกตารางที่ 30 พบว่าเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปัจจัยสิ่งแวดล้อมทั้ง 3 ปัจจัย ทีละคู่ (Pairwise comparison matrix) (Saaty and Vargas, 1991) ปัจจัยทางสภาพภูมิประเทศมีแนวโน้มที่จะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อความแปรปรวนของสภาพพื้นที่ในการเกิดแผ่นดินถล่มบริเวณพื้นที่อำเภอลับแล เมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยด้านปฐพีและโครงสร้างทางธรณีวิทยา และปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ โดยมีค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยทางสภาพภูมิประเทศเมื่อเปรียบเทียบทีละคู่ เท่ากับ 21.277 และ 28.571 ของปัจจัยด้านปฐพีและโครงสร้างทางธรณีวิทยา และปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ ตามลำดับ และปัจจัยด้านปฐพีและโครงสร้างทางธรณีวิทยามีค่าน้ำหนักความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ

เท่ากับ 1.325 (ตารางที่ 31) โดยมีค่าสัดส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio, CR) เท่ากับ 1.91E-05 แสดงถึงการกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย โดยวิธีนี้มีประสิทธิภาพ ซึ่งค่า CR ที่มีค่าน้อยกว่า 0.1 เป็นค่าที่ยอมรับได้ (Saaty, 1980; เมธี และคณะ, 2550; กรมชลประทาน, มปป.)

ตารางที่ 31 แสดงเมตริกซ์การเปรียบเทียบปัจจัยทีละคู่ (Pairwise comparison matrix) สำหรับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดดินถล่มในอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ปัจจัย	สภาพภูมิประเทศ	ปฐพีวิทยาและธรณีวิทยา	สภาพภูมิอากาศ	ค่าน้ำหนักปัจจัย
สภาพภูมิประเทศ	1	21.277	28.571	0.924
ปฐพีวิทยาและธรณีวิทยา	0.047	1	1.325	0.043
สภาพภูมิอากาศ	0.035	0.755	1	0.033

1.3 การสร้างแบบจำลองความแปรปรวนของพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม ด้วยการวิเคราะห์สมการเส้นตรง และวิธีการทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ผลจากการกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่มในพื้นที่อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ จะนำมาสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ (Spatial modeling) โดยใช้สมการเชิงเส้นตรงอย่างง่าย (Weighted Linear Combination Technique, WLC) ภายใต้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมกับการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งผลที่ได้จะนำไปประเมินความแปรปรวนของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยผลการวิเคราะห์สร้างสมการเชิงเส้นตรง มีดังนี้

$$LS = (T \sum_{i=6}^n u_i v_i + G \sum_{j=4}^n w_j x_j + C \sum_{k=2}^n y_k z_k)$$

$$LS = \{[0.924 (0.08Elev + 0.19Slpe + 0.02Asp + 0.63Lndfm + 0.05Stabt + 0.02 Lnduse)] + [0.043 (0.21Geo + 0.08Soil + 0.37Drain + 0.34Dpth)] + [0.043 (0.38Rnfall + 0.62Rnmax)]\}$$

โดยที่ :

- LS = ค่าคะแนนรวมของความแปรปรวนของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม
- T = ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยสภาพภูมิประเทศที่สัมพันธ์กับปัจจัยด้านอื่นๆ
- G = ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยด้านปฐพีวิทยาและ โครงสร้างทางธรณีที่สัมพันธ์กับปัจจัยด้านอื่นๆ

- C = ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศที่สัมพันธ์กับปัจจัยด้านอื่นๆ
- i = จำนวนตัวแปรทั้งหมดในปัจจัยสภาพภูมิประเทศ
- j = จำนวนตัวแปรทั้งหมดในปัจจัยด้านปฐพีวิทยาและ โครงสร้างทางธรณี
- k = จำนวนตัวแปรทั้งหมดในปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ
- u_i = ค่าน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรแต่ละตัวในปัจจัยสภาพภูมิประเทศ
- w_j = ค่าน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรแต่ละตัวในปัจจัยด้านปฐพีวิทยาและ โครงสร้างทางธรณี
- y_k = ค่าน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรแต่ละตัวในปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ
- v_i = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่ของตัวแปรด้านสภาพภูมิประเทศ
- x'_j = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่ของตัวแปรด้านปฐพีวิทยาและ โครงสร้างทางธรณี
- z_k = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่ของตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศ
- Elev = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่สำหรับตัวแปรความสูงของพื้นที่
- Slope = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่สำหรับตัวแปรความลาดชันของพื้นที่
- Asp = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่สำหรับตัวแปรทิศด้านลาด
- Lndfm = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่สำหรับตัวแปรลักษณะแผ่นดิน
- Stabt = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่สำหรับตัวแปรความเสถียรภาพของความลาดชันของพื้นที่
- Lnduse = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่สำหรับตัวแปรประเภทการใช้ที่ดิน
- Geo = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่สำหรับตัวแปรชนิดหิน
- Soil = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่สำหรับตัวแปรชุดดิน
- Drain = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่สำหรับตัวแปรการระบายน้ำของดิน
- Dpth = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่สำหรับตัวแปรความลึกของดิน
- Rnfall = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่สำหรับตัวแปรปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย
- Rnmax = ค่าคะแนนความแปรปรวนของพื้นที่สำหรับตัวแปรปริมาณน้ำฝนสูงสุด

1.4 การประเมินความแปรปรวนของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ จากแบบจำลองสมการเชิงเส้นตรงอย่างง่าย (WLC model)

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ของการเกิดดินถล่มกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ศึกษาพบว่า ไม่มีดินถล่มเกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพที่มีระดับความสูงต่ำกว่า 100 เมตร จาก

ระดับน้ำทะเล และพบว่าบริเวณที่เป็นพื้นที่ราบลุ่ม หรือที่ราบริมลำน้ำมีการเกิดดินถล่มน้ำมาก ซึ่งได้จากการซ้อนทับข้อมูลลักษณะแผ่นดินกับพื้นที่ขอบเขตดินถล่ม ที่ได้จากการแปลตีความภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงกำหนดบริเวณมีลักษณะทางกายภาพมีความเสถียรภาพมั่นคงและมีโอกาสน้อยมากที่จะเกิดดินถล่มขึ้นในอนาคต จากพื้นที่ที่มีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 32 และ ภาพที่ 18

ตารางที่ 32 แสดงพื้นที่ที่มีความเสถียรภาพมั่นคงและมีโอกาสน้อยมากในการเกิดดินถล่มใน
อนาคต

ลักษณะสภาพพื้นที่	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละของ พื้นที่ศึกษา
พื้นที่ที่มีความสูงน้อยกว่า 100 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง	141,601.08	50.13
พื้นที่ราบที่มีความลาดชัน ต่ำกว่า 5 องศา	159,462.02	56.46
พื้นที่ที่มีความเสถียรภาพของความลาดชันของพื้นที่มั่นคง	105,023.06	37.18
พื้นที่ทั้งหมด ที่มีความเสถียรภาพมั่นคงและโอกาสเกิดดินถล่มน้อยมาก*	177,761.11	62.94

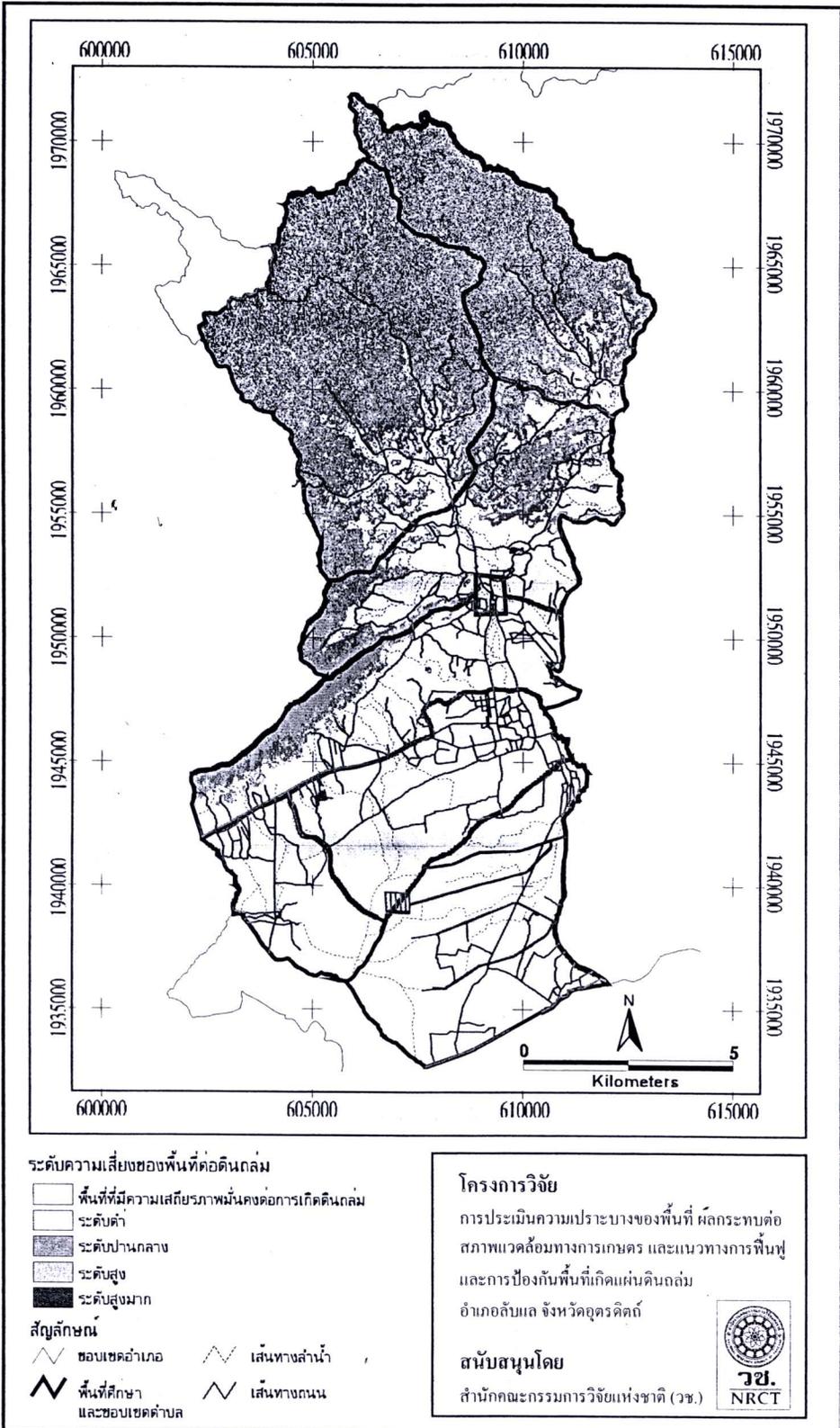
หมายเหตุ:* จากการซ้อนทับกันของชั้นข้อมูลความสูงจากระดับน้ำทะเล ชั้นข้อมูลลักษณะแผ่นดิน และชั้นข้อมูลความเสถียรภาพมั่นคงของความลาดชันของพื้นที่

พื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพมีความเสถียรภาพมั่นคงและมีโอกาสน้อยมากที่จะเกิดดินถล่มขึ้นในอนาคตดังกล่าว มีเนื้อที่ประมาณ 177,761.11 ไร่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นบริเวณที่ราบลุ่มใช้ในการทำนาข้าว นาหอม และปลูกพืชไร่ รวมถึงเป็นแหล่งชุมชน สถานที่ราชการ และย่านการค้าในตัวเมืองของอำเภอลับแล ดังนั้นพื้นที่เหล่านี้จึงไม่ถูกนำไปประเมินระดับความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่มจากแบบจำลองที่ได้ พื้นที่ดังกล่าวจึงถูกกำหนดกันขอบเขตออกจากพื้นที่ศึกษาทั้งหมด หลักจากนั้น จึงประเมินระดับความเปราะบางของพื้นที่ศึกษา

ผลจากการนำแบบจำลองความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม เพื่อประเมินความเปราะบางของการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา ซึ่งคณะผู้วิจัยได้กำหนดระดับชั้นความเปราะบางของพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่มเป็นจำนวน 4 ระดับชั้นความเปราะบาง ดังแสดงในตารางที่ 33 และ ภาพที่ 19

ตารางที่ 33 การจำแนกระดับความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ในพื้นที่ลุ่มน้ำ
อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ระดับความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิด แผ่นดินถล่ม	ค่าพิสัยความ เปราะบาง	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ ศึกษา
พื้นที่ที่มีความเสถียรภาพมั่นคง	-	177,761.11	62.94
ระดับต่ำ (Low)	0.50 – 8.30	603.87	0.21
ระดับปานกลาง (Moderate)	8.30 – 16.09	19,957.10	7.07
ระดับสูง (High)	16.09 – 23.88	66,557.32	23.56
ระดับสูงมาก (Very high)	23.88 – 31.67	17,571.14	6.22
รวม		282,450.55	100.00



ภาพที่ 19 แผนที่แสดงการจำแนกระดับความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม (WLC model) ในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

จากการประเมินระดับความเปราะบางของพื้นที่ลุ่มน้ำอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีความเปราะบางต่อการเกิดดินถล่มในระดับความสูง (High susceptibility to landslides) โดยมีเนื้อที่ประมาณ 66,557.32 ไร่ หรือร้อยละ 23.56 ของพื้นที่ศึกษา พบบริเวณตอนบนของลุ่มน้ำอำเภอลับแลบนพื้นที่ภูเขาสูงชัน ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนเขาสูงชัน (Agroforestry-based fruit tree orchard on steeply slopping lands) และเป็นป่าเบญจพรรณเสื่อมโทรม (Secondary mixed deciduous forest) ในขณะที่พื้นที่ที่มีความระดับความเปราะบางต่อการเกิดดินถล่มในระดับต่ำมีเนื้อที่น้อยที่สุด (603.87 ไร่ หรือ ร้อยละ 0.210 ของพื้นที่ศึกษา) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความสูงของพื้นที่มากกว่า 100 เมตร ไม่มากนัก และอยู่ติดกับเนินเขาทางตอนล่างของพื้นที่ศึกษาเป็นส่วนใหญ่ จากแผนที่แสดงระดับความเปราะบางของพื้นที่ที่ได้จากการประเมินโดยใช้แบบจำลองสมการเส้นตรงอย่างง่าย มีแนวโน้มว่าปัจจัยทางด้านสภาพภูมิประเทศมีอิทธิพลในการกำหนดระดับความเปราะบางของพื้นที่ศึกษามากกว่าปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศและปัจจัยด้านปฐพีวิทยาและโครงสร้างทางธรณีวิทยา (ภาพที่ 19)

นอกจากนี้ยังพบว่า พื้นที่ในตำบลแม่พูลและตำบลน่านกกก มีระดับความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่มสูงกว่าอำเภอข้างเคียงอย่างชัดเจน (ตารางที่ 34) โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของตำบลดังกล่าว มีความเปราะบางของพื้นที่อยู่ในระดับสูง โดยมีเนื้อที่ประมาณร้อยละ 47.24 และ 50.03 ของพื้นที่ตำบลแม่พูลและตำบลน่านกกก ตามลำดับ ในขณะที่ตำบลศรีพนมมาศ ท่งยัง ฝั่ล้อม และ ด่านแม่คำมัน เป็นพื้นที่ที่มีความเสียวภาพสูงและเป็นบริเวณที่มีโอกาสน้อยมากหรือแทบจะไม่มีเหตุการณ์ดินถล่มเกิดขึ้นเลยในอนาคต หากลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อย่างไรก็ตาม พื้นที่หลายแห่งในตำบลฝายหลวงและตำบลชัยภูมิพล มีสภาพความเปราะบางของพื้นที่ในระดับสูง โดยคิดเป็นเนื้อที่เท่ากับ 7,326.26 และ 4,136.76 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 17.78 และ 12.17 ตามลำดับ ซึ่งการแสดงรายละเอียดของข้อมูลความเปราะบางของพื้นที่ในระดับตำบล สามารถนำไปเป็นข้อมูลเสริมประกอบในการสร้างแนวทางการเฝ้าระวังและเตือนภัยให้กับพื้นที่ศึกษาต่อไปในอนาคต

ตารางที่ 34 การจำแนกระดับความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในระดับตำบล ของพื้นที่ศึกษา

ตำบล	ระดับความเปราะบางของพื้นที่ (เนื้อที่ : ไร่)					รวม
	ไม่เกิดดินถล่ม	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก	
แม่พุด	18,794.67	18.17	7,877.81	34,568.75	11,918.58	73,177.99
นานกกก	12,132.75	0.57	3,573.17	20,525.55	4,792.04	41,024.09
ฝายหลวง	26,474.99	131.69	6,509.21	7,326.26	756.09	41,198.23
ชัยชุมพล	27,300.38	453.44	1,996.91	4,136.76	104.43	33,991.91
ศรีพนมมาศ	1,124.12	0.00	0.00	0.00	0.00	1,124.12
ทุ่งยั้ง	32,359.01	0.00	0.00	0.00	0.00	32,359.01
ไผ่ล้อม	41,801.05	0.00	0.00	0.00	0.00	41,801.05
ด่านแม่คำมัน	17,774.15	0.00	0.00	0.00	0.00	17,774.15
รวม	177,761.11	603.87	19,957.10	66,557.32	17,571.14	282,450.55

1.5 การประเมินความถูกต้องของแบบจำลองระดับความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่ม โดยใช้แบบจำลองสมการเชิงเส้นตรงอย่างง่าย (WLC model)

แบบจำลองความเปราะบางของพื้นที่ที่ได้ ถูกนำมาวิเคราะห์ความสอดคล้องกันเชิงพื้นที่ โดยแสดงอยู่ในรูปของค่า Coincide area value (CV) ซึ่งเป็นความสอดคล้องกันระหว่างพื้นที่ดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงระหว่างวันที่ 22-24 พฤษภาคม 2549 กับพื้นที่ในแต่ละระดับชั้นความเปราะบางของการเกิดดินถล่ม แต่เนื่องจากแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ศึกษามีเนื้อที่ทั้งหมดรวมกันน้อยกว่าเนื้อที่ของพื้นที่ศึกษาเป็นอย่างมาก โดยเกิดแผ่นดินถล่มคิดเป็น เนื้อที่ 732.26 ไร่ หรือร้อยละ 0.666 ของพื้นที่ศึกษา ซึ่งส่งผลให้การประเมินความถูกต้องของแบบจำลองต่ำกว่าความเป็นจริงมาก ดังนั้นคณะวิจัยจึงใช้จำนวนร้อยละของพื้นที่ถล่มเทียบเคียงกับจำนวนเนื้อที่ทั้งหมดของแต่ละระดับชั้นความเปราะบางของพื้นที่ศึกษา เพื่อประเมินความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้ โดยค่าคะแนนความสอดคล้องกันของพื้นที่ (CV) ในระดับสูงจะแสดงถึงระดับความถูกต้องของแบบจำลอง ผลการประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง แสดงในตารางที่ 35

ตารางที่ 35 ค่าความสอดคล้องกัน (CV) ระหว่างระดับความแปรปรวนของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่ม โดยใช้แบบจำลองสมการเชิงเส้นตรงอย่างง่าย (WLC model) และพื้นที่ดินถล่มที่เกิดขึ้นใน พื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ระดับความแปรปรวนต่อการเกิดดินถล่ม	เนื้อที่ (ไร่)	เนื้อที่ร้อยละ 0.66 ของพื้นที่ศึกษา; R	พื้นที่ดินถล่มทั้งหมด; LS (ไร่)	พื้นที่ตรงกันในการเกิดดินถล่ม; S (ไร่)	ค่า CV (%) ^a
ระดับต่ำ	603.87	4.02	732.27	0.00	0.00
ระดับปานกลาง	19,957.10	126.66	732.27	6.04	1.41
ระดับสูง	66,557.32	443.15	732.27	465.21	79.16
ระดับสูงมาก	17,571.14	116.99	732.27	261.02	61.47
รวม	104,689.43			732.27	

หมายเหตุ: a = (2 x S x 100) / (R + LS)

ค่าคะแนนความสอดคล้องของพื้นที่ (CV) มีแนวโน้มที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับความแปรปรวนของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา โดยพื้นที่ที่มีความแปรปรวนในระดับสูงจะมีค่าคะแนนความสอดคล้องมากที่สุด โดยมีค่า CV สูงถึง 79.16 รองลงมาเป็นพื้นที่ที่มีความแปรปรวนในระดับสูงมาก เท่ากับ 61.47 ในขณะที่พื้นที่ที่มีความแปรปรวนต่อการเกิดดินถล่มในระดับต่ำ ซึ่งมีเนื้อที่ 603.87 ไร่ พบว่าไม่มีดินถล่มเกิดขึ้นในพื้นที่เหล่านั้นเลย

1.6 การประเมินความเสี่ยงของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่ม โดยใช้แบบจำลอง ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (Antecedent Precipitation Index : API)

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการประเมินความเสี่ยงของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่มภายใต้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยใช้แบบจำลองค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (API model) ในการประเมินค่าปริมาณหรืออัตราการไหลของน้ำท่า หรือน้ำไหลในลำธารที่อาจก่อให้เกิดดินถล่มหรืออุทกภัยในพื้นที่ศึกษาได้ สำหรับค่า API ได้ถูกแสดงในรูปของค่า Runoff curve number (CN) ซึ่งได้กำหนดสัดส่วนของน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีบทบาทต่อการให้น้ำท่าที่ไหลในลำธาร คือ CNto:CNso:CNve:CNss มีค่าเท่ากับ 40:20:20:20 และได้ทำการกำหนดค่าคะแนน CN ของแต่ละปัจจัยและตัวแปร โดยถูกดัดแปลงจาก พงษ์ศักดิ์ และพิณทิพย์ (2551) Mishra and Singh (2003) และ Schwab *et al.* (1971) ดังแสดงในตารางที่ 36 ถึง ตารางที่ 39

ตารางที่ 36 แสดงการกำหนดค่า Runoff curve number (CN) ของปัจจัยภูมิประเทศ (CNto)

ลักษณะภูมิประเทศ	เปอร์เซ็นต์ความลาดชัน	ค่า CN
พื้นที่ราบตอนล่าง (Flat land area)	0	5
	1	6
	3	10
	5	16
พื้นที่ลูกเนิน (Rolling terrain)	5	17
	6	18
	8	20
	10	24
พื้นที่ลาดเชิงเขา (Hilly)	10	25
	20	27
	30	30
พื้นที่ภูเขาสูงชัน (Mountainous area)	ความสูง < 300 เมตร	30
	ความสูง 300-500 เมตร	35
	ความสูง > 500 เมตร	40

ตารางที่ 37 แสดงการกำหนดค่า Runoff curve number (CN) ของปัจจัยด้านประเภทและปริมาณพืชคลุมดิน (CNve)

ประเภทพืชคลุมดิน	ค่า CN
นาข้าว นาไร่-นาข้าว นาหว่าน (เขตชลประทาน) นาข้าว+พริก นาข้าว+หอมแดง	2
แหล่งน้ำผิวดิน แม่น้ำ ลำคลอง อ่างเก็บน้ำ สถานที่เพาะเลี้ยงปลา	2
ไม้พุ่ม หรือทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม ไม้พุ่ม หรือทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม-นาไร่	3
พืชไร่ผสม หัวหอมแดง-ไม้พุ่ม หรือทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่มอ้อย ถั่วเหลือง/ไม้พุ่ม หรือทุ่งหญ้า	4
หมู่บ้านบนพื้นที่ราบ หมู่บ้านบนพื้นที่ราบ-ไม้ผลผสม ที่ดินจัดสรร ตัวเมืองและย่านการค้า	4
สวนสัก สวนสัก-ไม้พุ่ม หรือ ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม สวนยูคาลิปตัส	5
ป่าเบญจพรรณ	6
ป่าเบญจพรรณเสื่อมโทรม	8
ป่าแดงหรือป่าเต็งรัง	8
สวนไม้ผลผสมบนพื้นที่สูงชัน สวนไม้ผลผสมกับป่าเบญจพรรณ	12

ตารางที่ 38 แสดงการกำหนดค่า Runoff curve number (CN) ของปัจจัยการดูดซับน้ำของดิน (CNso)

เนื้อดิน (Soil texture)	ค่า CN	
	ชั้นดินตื้น	ชั้นดินลึก
Sand	2	2
Loamy sand	4	2
Sandy loam	6	4
Loam	7	6
Silt loam	9	7
Sandy clay loam	11	9
Clay loam	12	11
Silty clay loam	13	12
Sandy clay	14	13
Silty clay	15	14
Clay	16	15
ชั้นดินบาง < 10 เซนติเมตร	17	-
ชั้นดินบาง < 5 เซนติเมตร	18	-
หิน	20	-

ที่มา: ดัดแปลงจาก พงษ์ศักดิ์ และพิณทิพย์ (2551)

ตารางที่ 39 แสดงการกำหนดค่า Runoff curve number (CN) ของปัจจัยประเภทและปริมาณแองน้ำ ผิวดิน (CNss)

ประเภทและสัดส่วนเนื้อที่ของแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ	ค่า CN
มีทะเลสาบ หรืออ่างเก็บน้ำจำนวนมากในพื้นที่ลุ่มน้ำ	2
มีบึงเป็นจำนวนมากในพื้นที่ลุ่มน้ำ	4
มีหนองน้ำตื้นเป็นจำนวนมากในพื้นที่ลุ่มน้ำ	6
มีทะเลสาบหรืออ่างกักเก็บน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำไม่น้อยกว่า 10% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ	7
มีบึงในพื้นที่ลุ่มน้ำไม่น้อยกว่า 10% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ	9
มีหนองน้ำตื้นในพื้นที่ลุ่มน้ำไม่น้อยกว่า 10% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ	11
มีทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำไม่น้อยกว่า 2% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ	12
มีบึงในพื้นที่ลุ่มน้ำไม่น้อยกว่า 2% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ	14
มีหนองน้ำตื้นในพื้นที่ลุ่มน้ำไม่น้อยกว่า 2% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ	16
ไม่มีทะเลสาบ หรือ อ่างเก็บน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ	17
ไม่มีทะเลสาบ หรือ อ่างเก็บน้ำ และบึงในพื้นที่ลุ่มน้ำ	18
ไม่มีทะเลสาบ หรือ อ่างเก็บน้ำ และ บึง ตลอดจนหนองน้ำ	20

ที่มา: คัดแปลงจาก พงษ์ศักดิ์ และพิณทิพย์ (2551)

จากการคำนวณเนื้อที่ของพื้นที่แหล่งน้ำผิวดินทั้งหมดจากข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ อัน ได้แก่ อ่างเก็บน้ำ บึง หนองน้ำ สระน้ำ และลำธารขนาดใหญ่ (ภาพที่ 1 และตารางที่ 10) พบว่า มีพื้นที่แหล่งน้ำผิวดินประมาณ 2.18 % ของพื้นที่ศึกษา ดังนั้นจึงกำหนดค่า CN ของปัจจัยประเภทและปริมาณแองน้ำผิวดิน (CNss) ให้เท่ากับ 12 ให้เท่ากันทั่วทั้งพื้นที่ศึกษา

จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยปี พ.ศ. 2549 ภายในพื้นที่ศึกษา พบว่าพื้นที่ศึกษามีปริมาณน้ำฝนทั่วทั้งพื้นที่อยู่ในระหว่าง 1,400 ถึง 1,530 มิลลิเมตร จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์จากปริมาณน้ำฝนมีค่าเท่ากับ “0” ดังนั้นการประเมินความเสี่ยงของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่มโดยใช้แบบจำลอง API เริ่มแรกของพื้นที่ศึกษา จึงวิเคราะห์โดยตรงจากค่า Runoff curve number หรือ ค่า CN ซึ่งเป็นผลรวมของปัจจัยลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีบทบาทต่อการให้น้ำท่าที่ไหลในลำธาร ที่มีการกำหนดสัดส่วนของน้ำหนักความสำคัญของทุกปัจจัยดังสมการดังต่อไปนี้

$$API = CN_{to} + CN_{so} + CN_{ve} + CN_{ss}$$

- โดยที่
- API = ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินแรกเริ่ม
 - CN_{to} = ค่า CN ของปัจจัยด้านลักษณะภูมิประเทศ
 - CN_{so} = ค่า CN ของปัจจัยด้านชนิดของดิน
 - CN_{ve} = ค่า CN ของปัจจัยด้านประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน
 - CN_{ss} = ค่า CN ของปัจจัยด้านประเภทและสัดส่วนเนื้อที่ของแหล่งน้ำผิวดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ

ผลจากการนำแบบจำลองค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (API model) มาประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา โดยคณะผู้วิจัยได้กำหนดระดับชั้นความเสี่ยงของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่มเป็นจำนวน 5 ระดับชั้น พบว่า พื้นที่บริเวณตอนบนของอำเภอลับแลมีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในระดับสูงมาก โดยมีเนื้อที่ประมาณ 65,457.51 ไร่ หรือ 23.14 % ของพื้นที่ศึกษา เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูงชันที่มีการทำสวนสวนผลไม้ผสมในรูปแบบวนเกษตรบนเขาสูงชัน และเป็นป่าเบญจพรรณเสื่อมโทรม ในขณะที่พื้นที่ตอนล่างของพื้นที่ศึกษามีความเสถียรภาพมั่นคงต่อการเกิดดินถล่ม ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นนาข้าว นาหอม และสวนปาล์มพื้นที่ราบลุ่ม (ตารางที่ 40 และ ภาพที่ 20)

ตารางที่ 40 การจำแนกระดับความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ในพื้นที่ลุ่มน้ำอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ระดับความเสี่ยงของพื้นที่	ค่า API แรกเริ่มของพื้นที่	เนื้อที่ (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่ศึกษา
พื้นที่ที่มีความเสถียรภาพมั่นคง	24 – 36	134,384.16	47.66
ระดับต่ำ (ระดับปลอดภัย)	36 – 48	22,978.27	8.15
ระดับปานกลาง (Moderate)	49 – 61	13,654.53	4.75
ระดับสูง (High)	62 – 73	45,976.08	16.31
ระดับสูงมาก (Very high)	74 – 86	65,457.51	23.14
รวม		282,450.55	100.00

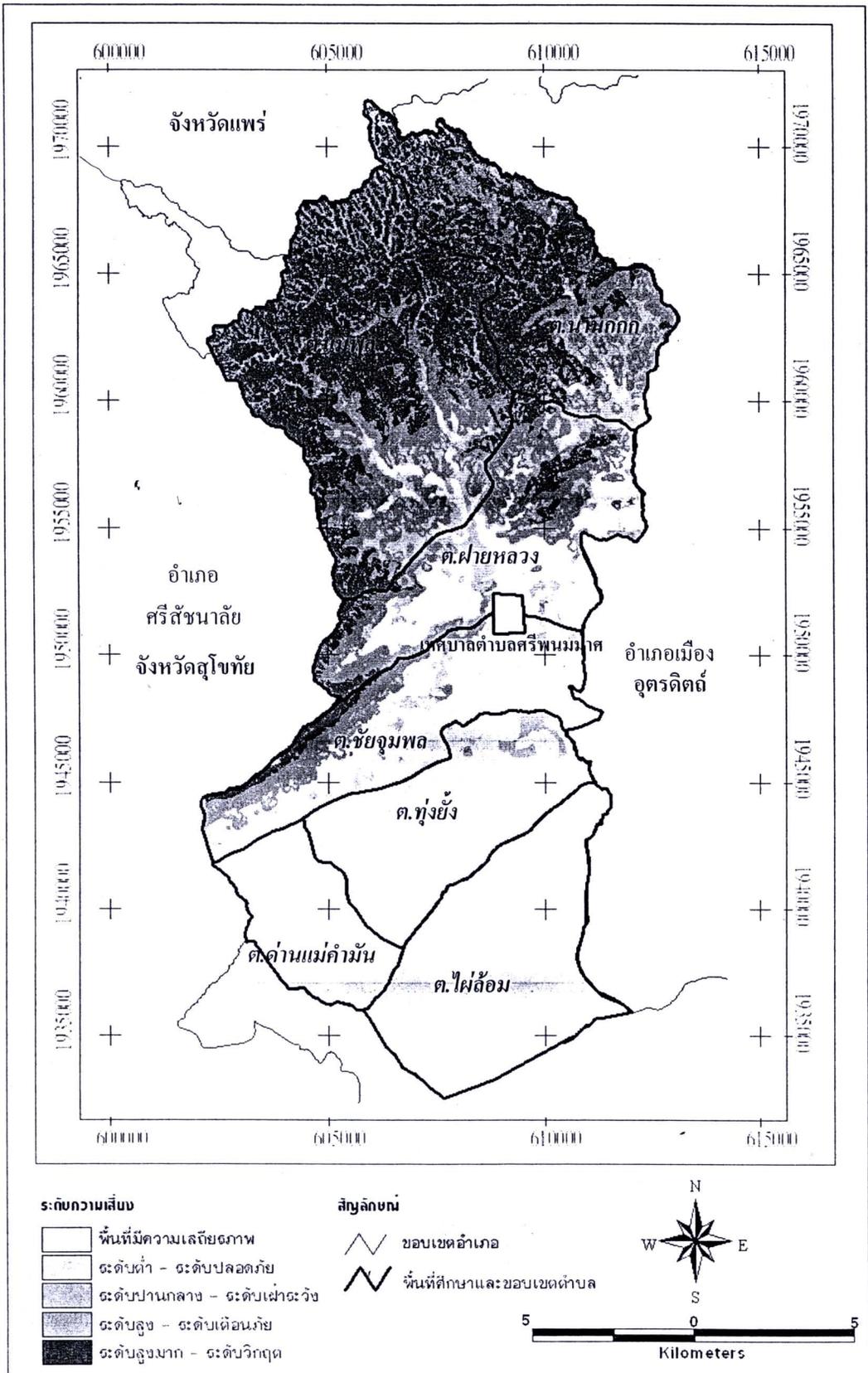
1.7 การประเมินความถูกต้องของแบบจำลองความเสี่ยงของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่ม โดยใช้แบบจำลองค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (API model)

ค่าคะแนนความสอดคล้องของพื้นที่ (CV) เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง API ในการประเมินความเสี่ยงของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่ม พบว่า ความสอดคล้องกันระหว่างพื้นที่ดินถล่มที่เกิดขึ้นจริงระหว่างวันที่ 22-24 พฤษภาคม 2549 กับระดับความเสี่ยงของพื้นที่ต่อการเกิดดินถล่มกับพื้นที่ที่เกิดดินถล่มในปี พ.ศ. 2549 มีความสัมพันธ์กันที่ดีกว่ากับแบบจำลอง WLC โดยพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในระดับสูงมากจะมีค่าคะแนนความสอดคล้องมากที่สุด โดยมีค่า CV สูงถึง 98.89 รองลงมาเป็นพื้นที่ที่มีความเปราะบางในระดับสูง เท่ากับ 27.19 ในขณะที่พื้นที่ที่มีความเปราะบางต่อการเกิดดินในระดับต่ำ มีค่า CV เท่ากับ 1.81 เท่านั้น (ตารางที่ 41)

ตารางที่ 41 ค่าความสอดคล้องกัน (CV) ระหว่างระดับความเสี่ยงของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยใช้แบบจำลองค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (API model) และพื้นที่ดินถล่มที่เกิดขึ้นใน พื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ระดับความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม	เนื้อที่ (ไร่)	เนื้อที่ร้อยละ 0.66 ของพื้นที่ศึกษา; R	พื้นที่ดินถล่มทั้งหมด; LS (ไร่)	พื้นที่ตรงกันในการเกิดดินถล่ม; S (ไร่)	ค่า CV (%) ^a
ระดับต่ำ	22,978.27	152.99	732.27	7.95	1.81
ระดับปานกลาง	13,654.53	89.12	732.27	5.84	1.42
ระดับสูง	45,976.08	306.19	732.27	141.22	27.19
ระดับสูงมาก	65,457.51	434.47	732.27	576.36	98.89
รวม	148,066.39			732.27	

หมายเหตุ: a = (2 x S x 100) / (R + LS)



ภาพที่ 20 แผนที่แสดงการจำแนกระดับความเสี่ยงของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม (API model) ในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอลับแล จังหวัดอุดรดิตถ์

2. การเปลี่ยนแปลงด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Soil fertility) ของพื้นที่การเกษตร หลังจากที่เกิดแผ่นดินถล่มและยังไม่มีกรฟื้นฟูหรือปรับสภาพพื้นที่

ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยทำการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่การเกษตรประเภทต่างๆ ได้แก่ (1) สวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชัน (2) สวนผลไม้ผสมบนพื้นราบ และ (3) นาข้าว ในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่มและการทับถมของมวลดิน และทำการเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่การเกษตรที่มีการใช้ที่ดินในรูปแบบเดียวกัน และมีสภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน แต่ไม่ได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินถล่ม เพื่อให้เป็นแปลงควบคุมและแปลงเปรียบเทียบ

การเก็บตัวอย่างดินและข้อมูลสภาพแวดล้อมของการใช้ที่ดินแต่ละประเภท (Main treatments) นั้นจะมีจำนวนซ้ำของแปลงตัวอย่างแตกต่างกันขึ้นอยู่กับจำนวนของแปลงตัวอย่างที่ทำการศึกษาและการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทที่มีอยู่และสามารถเก็บตัวอย่างได้ โดยแปลงตัวอย่างแต่ละแปลงจะถูกกำหนดชื่อและรหัสแปลงตัวอย่าง หลังจากนั้นตัวอย่างดิน (Soil sampling) ถูกเก็บรวบรวมที่ระดับความลึก 3 ระดับ (Layer) ได้แก่ ระดับความลึกที่ 0-5 เซนติเมตร (Surface layer) ระดับความลึก 20-25 เซนติเมตร (Subsurface layer) และที่ระดับความลึก 50-70 เซนติเมตร (Subsoil layer) เพื่อทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินในด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 42 ถึง ตารางที่ 44 และ ภาพที่ 21 ถึง ภาพที่ 44

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความอุดมสมบูรณ์ของดินด้านต่าง ๆ ในพื้นที่การเกษตรแบบสวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชัน ภายหลังได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินถล่มเปรียบเทียบกับพื้นที่การใช้ที่ดินประเภทเดียวกันและมีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกัน แต่ไม่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม โดยการศึกษาในพื้นที่การเกษตรแบบสวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชันนี้มีจำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมด 9 แปลงตัวอย่าง มีชื่อและรหัสของแปลงตัวอย่างคือ SL1 ถึง SL9 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

2.1 การเปลี่ยนแปลงด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Soil fertility) ของพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่ภูเขาสูงชัน

การเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินในชั้นดิน Surface soil layer

จากผลการศึกษาพบว่า ในดินชั้น Surface layer นั้น ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (Soil pH) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญภายหลังจากการเกิดแผ่นดินถล่ม โดย ค่า pH ของดินจะลดลงระหว่าง 0.2-1.65 หน่วย หรือ มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลงอยู่ระหว่าง

3.9-27.6 % ภายหลังจากการเกิดแผ่นดินถล่มในทุกแปลงตัวอย่าง ยกเว้นแปลงตัวอย่างที่ SL4 (ตารางที่.1 และ ภาพที่ 1) หลังจากการเกิดแผ่นดินถล่มพบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (Soil organic matter; SOM) ของทุกแปลงตัวอย่างมีค่าลดลงอย่างชัดเจน และมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน โดยปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดินมีเปอร์เซ็นต์การลดลง เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ในทุกแปลงตัวอย่าง (ภาพที่ 2) ซึ่งการลดลงของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ของแปลงตัวอย่างดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันกับการสูญเสียธาตุอาหารต่าง ๆ ในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available phosphorus; Av. P) ซึ่งเป็นหนึ่งในธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์มีค่าลดลง เหลือ

ตารางที่ 42 การเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินในแต่ละชั้นดิน (Soil layers) ภายใต้การเกษตรแบบสวนไม้ผลผสมบนพื้นที่เขาสูงชันที่เกิดแผ่นดินถล่ม กับพื้นที่ข้างเคียงที่ไม่เกิดและไม่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่มในพื้นที่กลุ่มน้ำอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

Soil layers	Sample site	pH*	OM*		P (ppm)		Ca*		Mg (ppm)		K*		CEC (c mol/100g)		clay (%)		sand (%)		Soil texture
			-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	
Surface	SL1	6.45	5.12	0.88	3.20	0.60	2,067.00	339.30	366.80	150.80	563.70	245.10	18.95	10.08	20.87	21.98	43.80	45.29	Loam
layer	SL2	5.10	3.99	0.72	4.00	0.50	681.90	116.10	192.80	195.00	260.40	74.80	8.45	18.98	26.52	23.44	36.82	41.63	Loam
	SL3	6.10	4.76	0.94	2.10	0.30	3,900.00	49.63	345.00	49.40	267.00	171.60	24.10	9.95	36.31	48.50	21.39	17.31	Clay
	SL4	4.65	4.23	0.60	15.00	0.60	264.00	346.50	216.80	306.80	267.00	187.50	11.50	9.95	20.03	19.91	40.70	46.59	Loam
	SL5	5.80	7.41	0.63	255.00	0.50	2,208.80	207.10	477.00	52.90	393.00	214.00	19.90	19.95	29.03	35.92	29.55	16.55	Silty Clay
	SL6	6.05	4.05	1.05	12.60	1.30	1,294.50	126.10	204.00	120.80	446.00	240.50	14.20	11.15	29.46	35.80	25.28	25.11	Loam
	SL7	5.65	3.16	1.33	8.60	0.60	599.30	264.60	201.00	245.30	379.70	240.50	14.75	10.50	23.55	34.63	45.13	27.73	Clay
	SL8	6.00	4.61	0.23	1.10	1.00	1,686.80	67.80	231.00	281.30	333.30	253.80	12.30	7.65	27.26	9.08	31.59	67.94	Loam
	SL9	6.50	1.99	1.33	2.50	1.60	1,000.50	201.80	131.30	106.90	439.40	346.60	14.45	8.00	30.66	25.08	25.74	35.94	Loam

หมายเหตุ: -LS : แปลงตัวอย่างที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม ; + LS : Sample sites which were affected by landslide and mud deposition

* :แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย (T-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 42 (ต่อ)

Soil layers	Sample site Code	pH*		OM*		P (ppm)		Ca*		Mg		K		CEC		clay		sand		Soil texture			
		-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS
	No.																						
Sub surface layer	SL1	5.30	5.10	0.96	0.63	0.30	0.50	387.10	318.30	517.50	62.30	220.60	245.10	12.60	10.55	28.11	19.18	39.47	48.80	Clay	Loam		
	SL2	4.95	4.80	0.88	0.24	0.30	0.30	217.90	52.10	81.00	111.80	108.00	74.80	9.90	12.35	22.32	10.93	42.82	56.50	Loam	Sandy		
	SL3	5.75	4.45	1.09	0.66	0.40	0.30	586.60	60.63	123.80	65.90	134.50	196.10	9.60	18.40	45.91	49.05	17.21	15.11	Clay	Clay		
	SL4	4.65	4.90	0.70	0.17	0.60	0.50	208.00	232.40	132.80	246.00	194.10	207.40	6.95	8.75	21.98	11.29	48.46	57.20	Loam	Sandy		
	SL5	4.60	4.40	0.69	0.45	0.80	0.80	85.00	45.80	21.00	5.80	200.80	169.00	5.90	14.30	23.01	43.72	40.01	17.61	Loam	Clay		
	SL6	5.50	5.10	0.91	0.94	0.60	0.20	455.30	127.30	88.50	123.00	207.40	253.80	7.10	13.10	35.83	36.61	24.58	19.04	Clay	Silty		
	SL7	5.45	5.30	0.87	0.53	2.40	0.40	395.30	426.00	169.50	393.80	267.00	214.00	9.95	11.20	19.65	22.07	50.78	45.89	Loam	Loam		
	SL8	5.90	5.10	0.73	0.23	0.60	1.30	533.40	68.40	79.50	472.50	253.80	247.20	13.95	10.45	31.87	14.64	34.08	57.30	Clay	Sandy		
	SL9	6.50	4.85	0.97	0.29	2.20	1.30	601.30	33.90	203.30	19.40	293.60	253.80	12.55	5.30	43.38	9.84	21.51	60.70	Clay	Sandy		

หมายเหตุ: -LS : แปลงตัวอย่างที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม; +LS : Sample sites which were affected by landslide and mud deposition

* :แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย (T-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 42 (ต่อ)

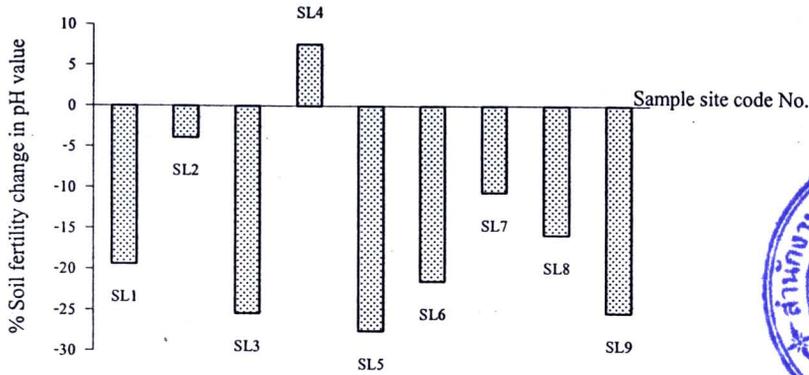
Soil layers	Sample site Code	pH		OM (%)		P (ppm)		Ca (ppm)		Mg (ppm)		K (ppm)		CEC (c mol/100g)		clay (%)		sand (%)		Soil texture			
		-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS
Subsoil layer	SL1	5.35	5.20	0.90	0.78	0.30	0.50	434.10	503.10	289.50	63.00	196.10	220.60	12.85	9.83	35.72	20.34	30.23	42.38	Clay	Loam	Clay	Loam
	SL2	4.85	-	0.85	-	3.90	-	206.30	-	83.30	-	88.10	-	11.76	-	28.64	-	42.03	-	-	Loam	Clay	Loam
	SL3	5.75	4.50	0.79	0.53	0.40	0.70	599.40	73.00	92.30	60.80	134.50	24.50	10.08	16.70	42.30	41.45	16.07	23.91	Sity	Clay	Sity	Clay
	SL4	-	4.85	-	0.23	-	0.30	-	233.90	-	221.30	-	200.80	-	7.40	-	18.61	-	44.63	-	-	Loam	Loam
	SL5	4.60	4.30	0.44	0.44	0.40	0.50	51.40	20.60	20.30	4.50	200.80	174.20	5.45	14.30	34.32	41.36	29.74	19.51	Clay	Clay	Clay	Clay
	SL6	4.90	5.25	0.67	1.19	0.40	2.40	488.40	182.90	121.30	168.00	214.00	260.40	4.95	7.50	44.54	36.65	24.29	23.49	Loam	Clay	Loam	Loam
	SL7	4.90	5.50	0.67	0.35	1.80	1.10	150.30	655.90	183.00	426.80	260.40	227.30	10.75	10.10	22.18	14.67	37.87	59.86	Loam	Sandy	Loam	Sandy
	SL8	5.70	5.15	0.42	0.19	1.90	0.50	492.40	49.80	106.40	677.30	253.80	240.50	9.00	10.75	33.64	13.38	34.72	61.09	Clay	Sandy	Clay	Sandy
	SL9	6.35	4.80	0.72	0.35	0.50	0.50	489.40	31.90	167.30	26.00	280.30	253.80	9.20	5.90	49.34	15.83	17.98	53.45	Loam	Clay	Loam	Clay
																							Loam

หมายเหตุ: -LS : แปลงตัวอย่างที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม; +LS : Sample sites which were affected by landslide and mud deposition

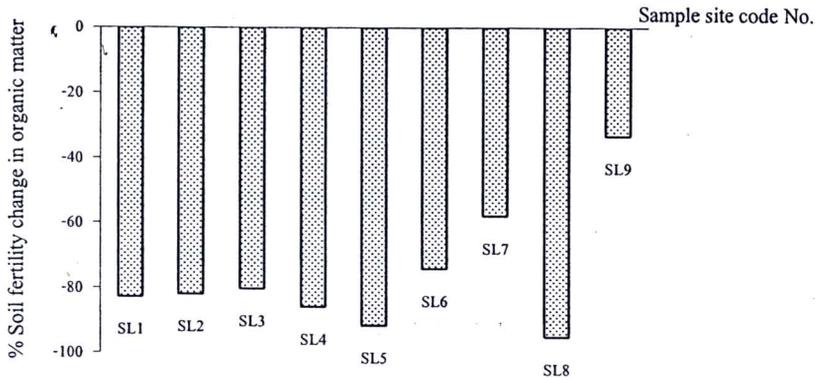
* : แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย (T-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่มถึง 86.76% (ภาพที่ 3) ถึงแม้ว่าในแปลงตัวอย่าง SL8 และ SL9 จะมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากก่อนการเกิดแผ่นดินถล่มปริมาณของฟอสฟอรัสในดินของแปลงดังกล่าวมีปริมาณน้อยมากอยู่ก่อนแล้ว (1.10 ppm และ 2.50 ppm ตามลำดับ) ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable potassium; Exch. K) ในดินชั้น Surface layer ลดลงเฉลี่ยเกือบ 50% (ภาพที่ 4) ซึ่งพบว่าปริมาณของโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนในทุกแปลงตัวอย่างจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม (ตารางที่ 1) นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดิน พบว่าปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Calcium; Exch. Ca) ในดินของทุกแปลงตัวอย่างมีค่าลดลงอย่างมาก โดยมีลดลงเฉลี่ย 87.46% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินก่อนการเกิดเหตุการณ์แผ่นดินถล่ม ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน (Exchangeable magnesium; Exch. Mg) ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน (Cation exchange capacity; CEC) รวมไปถึงปริมาณของอนุภาคดินเหนียว (Clay content) และปริมาณอนุภาคทราย (Sand content) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างก่อนและภายหลังจากการเกิดแผ่นดินถล่ม อย่างไรก็ตาม ปริมาณของแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้และความจุในการเปลี่ยนประจุบวกในแปลงตัวอย่างส่วนใหญ่ มีปริมาณลดลงภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยเฉพาะการลดลงของความจุในการเปลี่ยนประจุบวกในดิน ซึ่งอาจชี้ให้เห็นถึงการลดลงของความสามารถในการเก็บกักธาตุอาหารอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม นอกจากนี้จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินในชั้น Surface layer ยังพบว่าปริมาณของดินเหนียวและดินทรายก่อนและหลังการเกิดแผ่นดินถล่มมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันในแต่ละแปลงตัวอย่าง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการไหลทับถมของชั้นดินลงมาจากพื้นที่ลาดชันบนภูเขาหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม ซึ่งทำให้เกิดการสะสมของตะกอนดินที่มีค่าของปริมาณดินเหนียวและดินทรายแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ และยังขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการไหลทับถมของชั้นดินจากพื้นที่สูงชันด้วยเช่นกัน

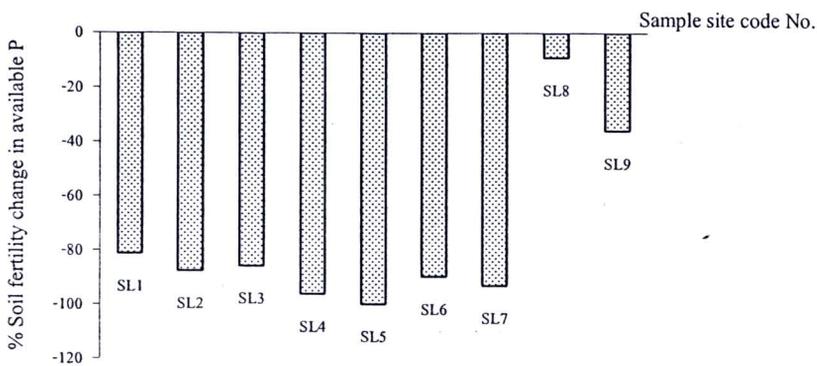
การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยเฉพาะการลดลงของปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจที่ปลูกในพื้นที่ กอรปกับการลดลงของความจุในการเปลี่ยนประจุบวกในดิน แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของแผ่นดินถล่มที่มีต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินในแปลงตัวอย่างได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อศักยภาพในการให้ผลผลิตของดินในระยะยาวของพื้นที่เกษตรกรรม ในอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ในอนาคต



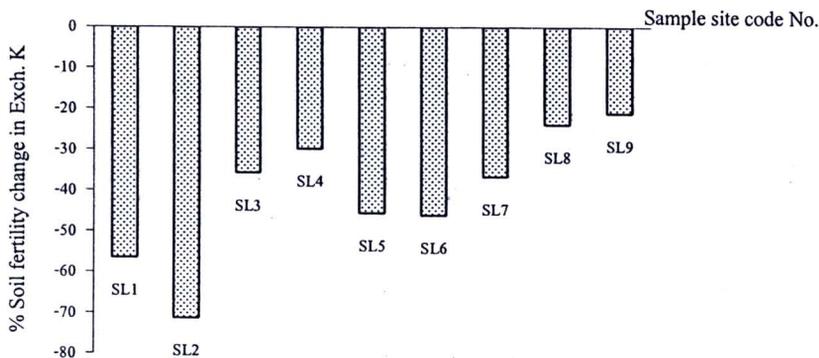
ภาพที่ 21 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ pH ในดินชั้น Surface soil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่เขาสูงชัน



ภาพที่ 22 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ SOM ในดินชั้น Surface soil layers ที่ได้รับผลกระทบจากดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่เขาสูงชัน



ภาพที่ 23 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในดินชั้น Surface soil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่เขาสูงชัน



ภาพที่ 24 เปรอ์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณ โปแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในดินชั้น Surface soil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่เขาสูงชัน

การเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินในชั้นดิน Subsurface soil layer

ผลการวิเคราะห์ความอุดมสมบูรณ์ของดินในระดับความลึก 20-25 เซนติเมตร หรือที่ระดับ subsurface layer ของพื้นที่การเกษตรประเภทสวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชันที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่มเปรียบเทียบกับพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชันที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินถล่ม เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความอุดมสมบูรณ์ของดินในด้านต่างๆ แสดงในตารางที่ 42 และภาพที่ 25 ถึง ภาพที่ 28 โดยเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่แปลงตัวอย่างเดียวกับดินในระดับความลึกของ surface layer และมีชื่อและลำดับรหัส SL1 –SL9 ตามลำดับ เช่นเดียวกัน

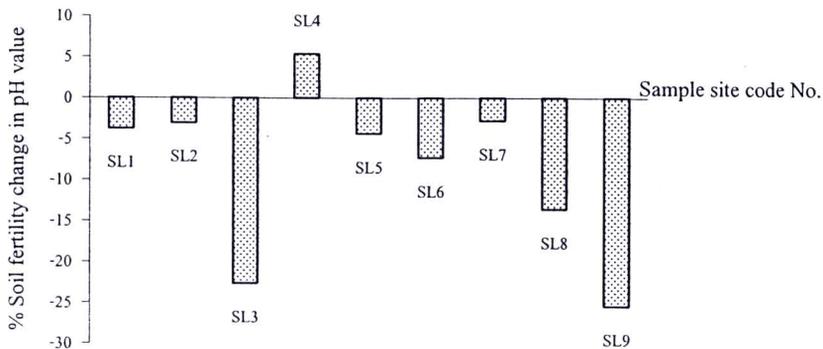
จากตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในชั้น subsurface layer จะเห็นได้ว่าในทุกแปลงตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง ยกเว้นแปลงตัวอย่าง SL4 และการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนและหลังการได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่มนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงที่ลดลงอยู่ในช่วง 2.75-25.38% (ภาพที่ 25) การเกิดแผ่นดินถล่มยังส่งผลให้ปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดินที่ระดับความลึก subsurface มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับปริมาณของอินทรีย์วัตถุก่อนการเกิดแผ่นดินถล่มเช่นเดียวกับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของดิน โดยในทุกแปลงตัวอย่างมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลง ยกเว้นในแปลงตัวอย่าง SL6 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันทั้งก่อนและหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของการลดลงของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินในแปลงสวนไม้ผสมบนพื้นที่สูงในระดับชั้นดินนี้ มีค่าเกือบ 50% (ภาพที่ 26)

ปริมาณของธาตุอาหารหลักโดยเฉพาะฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ในแปลงตัวอย่าง 5 แปลงตัวอย่างจาก 9 แปลงตัวอย่าง มีปริมาณลดลงเฉลี่ยประมาณ 50% และ 2 แปลงตัวอย่างแสดงการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ ภายหลังจากเกิดแผ่นดินถล่ม ส่วนแปลงตัวอย่างที่เหลือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ภาพที่ 27) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระดับความ

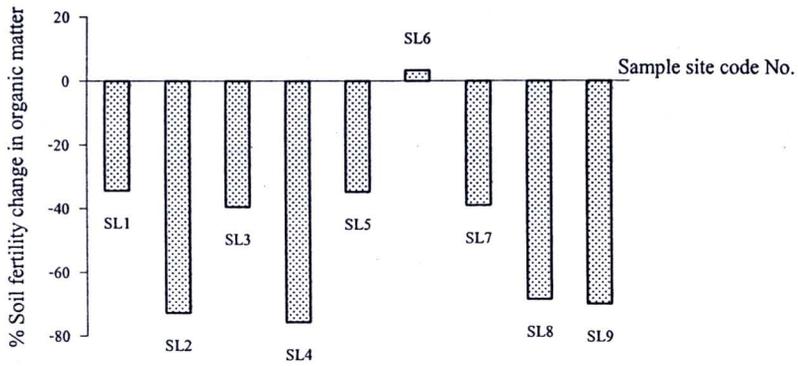
ลึกของชั้นดินที่มีความสัมพันธ์กับความรุนแรงของการสูญเสียชั้นหน้าดินและการเกิดการทับถมของมวลดินจากแผ่นดินถล่มนั้นมีความแตกต่างกันในแต่ละแปลงตัวอย่าง

ตัวอย่างดินในระดับความลึก Subsurface ภายหลังจากเกิดแผ่นดินถล่มมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแร่ธาตุที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน ได้แก่แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ในทิศทางที่ลดลงเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปริมาณของแคลเซียมในทุกแปลงตัวอย่างมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ยกเว้น แปลงตัวอย่าง SL4 ซึ่งเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคลเซียมลดลงเมื่อเทียบกับก่อนเกิดแผ่นดินถล่มเฉลี่ยสูงถึง 60.67% และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแมกนีเซียมในแปลงตัวอย่างทั้ง 9 แปลง มีความแตกต่างกัน โดยมีการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณแมกนีเซียมในแต่ละแปลงตัวอย่าง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับปริมาณของโพแทสเซียม (ภาพที่ 28)

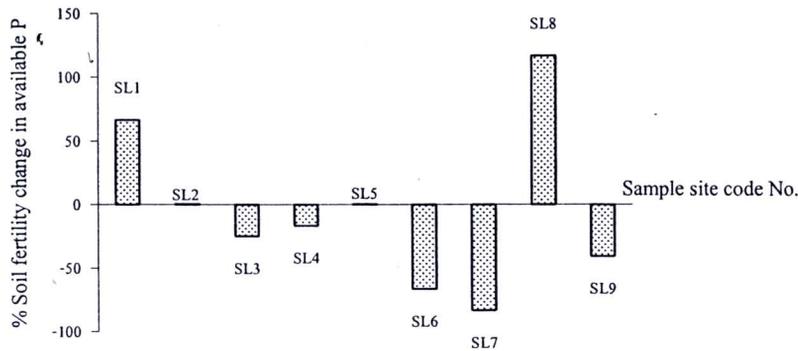
ผลการศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของดินในด้านความจุของการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (CEC) ในชั้น Subsurface แสดงให้เห็นว่าภายหลังจากเกิดแผ่นดินถล่ม ค่า CEC ดังกล่าวในแปลงตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ที่ชี้ให้เห็นว่าปริมาณธาตุอาหารที่แลกเปลี่ยนได้ในดิน โดยเฉพาะแมกนีเซียมและโพแทสเซียมมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณของอนุภาคดินเหนียวและอนุภาคดินทรายในแปลงตัวอย่างทั้ง 9 แปลง ภายหลังจากเกิดแผ่นดินถล่มมีค่าแตกต่างกันในแต่ละแปลงตัวอย่าง ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการเกิดแผ่นดินถล่มและปริมาณมวลดินทับถมเช่นเดียวกับดินในระดับความลึก surface layer



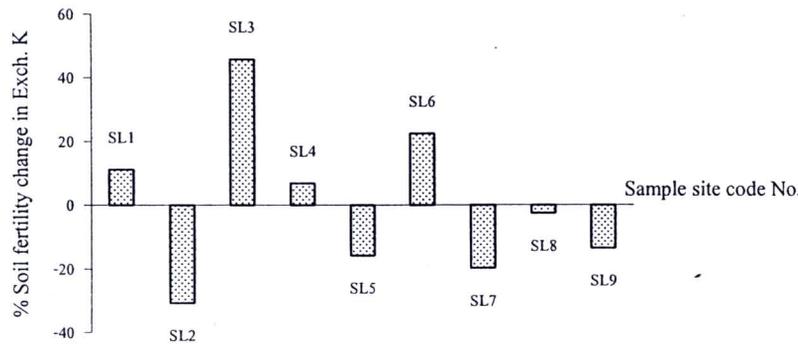
ภาพที่ 25 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ pH ในดินชั้น Subsurface soil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่เขาสูงชัน



ภาพที่ 26 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ SOM ในดินชั้น Subsurface soil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่เขาสูงชัน



ภาพที่ 27 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในดินชั้น Subsurface soil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่เขาสูงชัน



ภาพที่ 28 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในดินชั้น SubSurface soil layers หลังการเกิดดินถล่มในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่เขาสูงชัน

การเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินในชั้นดิน Sub soil layer

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความอุดมสมบูรณ์ของดินในระดับความลึก 50-70 เซนติเมตร (Subsoil layer) ในพื้นที่การเกษตรแบบสวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชันภายหลังการได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่มเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่มในแปลงตัวอย่างเดียวกันกับดินในระดับความลึก Surface layer และ Subsurface layer ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 42 และ ภาพที่ 29 ถึง ภาพที่ 32

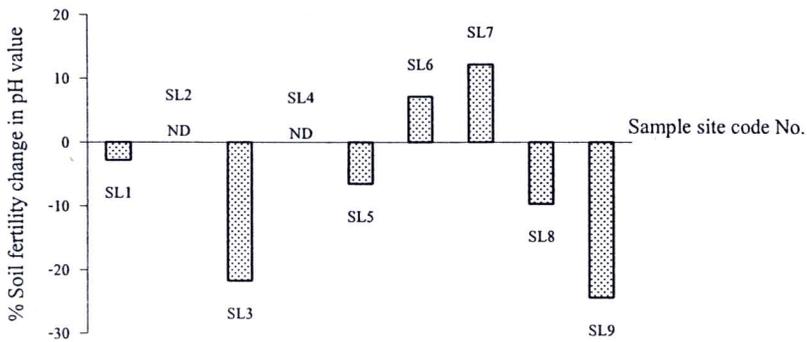
การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของดินในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ ปริมาณแร่ธาตุที่แลกเปลี่ยนได้ คือ แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ปริมาณอนุภาคของดินเหนียว และปริมาณอนุภาคทราย ภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับความอุดมสมบูรณ์ของดินก่อนการเกิดแผ่นดินถล่ม ทั้งนี้เนื่องจากดินในระดับชั้น Subsoil layer ของสวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชันนั้น อยู่ในระดับความลึกที่ไม่ได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินถล่มมากนัก จึงทำให้ไม่สามารถเห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินในชั้น Subsoil layer ได้อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินในชั้น Surface layer และ Subsurface layer

อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแปลงตัวอย่างทุกแปลง มีแนวโน้มลดลงภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงเฉลี่ยที่ 8.39% (ภาพที่ 29) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ที่ในแปลงตัวอย่างส่วนใหญ่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลง โดยมีค่าลดลงเฉลี่ยประมาณ 17.79% (ภาพที่ 30) อย่างไรก็ตามการลดลงเฉลี่ยของค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมีค่าไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับดินในระดับความลึก Surface layer และ Subsurface layer จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระดับความลึกของชั้นดินเป็นตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์กันระหว่างระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่มีอยู่เดิมก่อนการเกิดแผ่นดินถล่มกับระดับความรุนแรงของการเกิดเกิดแผ่นดินถล่มในแต่ละพื้นที่อีกด้วย

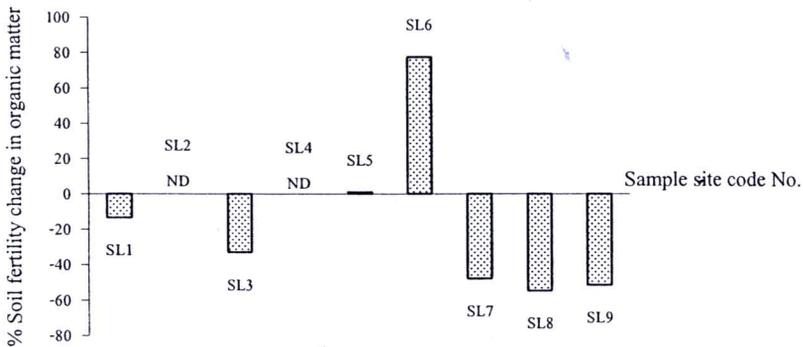
ปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในแปลงตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าเพิ่มขึ้นภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยเฉพาะในแปลงตัวอย่าง SL5 (ภาพที่ 31) ซึ่งมีผลเช่นเดียวกับค่าความจุของการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน (CEC) ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแปลงตัวอย่างส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารที่แลกเปลี่ยนได้ โดยเฉพาะแคลเซียมและโพแทสเซียม (ภาพที่ 32) จะพบว่า ภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยมีค่าลดลงเฉลี่ยที่ 55.35% และ 12.14% ตามลำดับ โดยเฉพาะปริมาณแคลเซียมที่ลดลงในแปลงตัวอย่าง SL3 SL6 และ SL9 และปริมาณโพแทสเซียมที่

ลดลงในช่วงที่ใกล้เคียงกันในเกือบทุกแปลงตัวอย่าง ส่วนปริมาณแมกนีเซียมมีค่าลดลงในทุกแปลงตัวอย่าง ยกเว้นในแปลงตัวอย่าง SL8 ที่ปริมาณแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นภายหลังแผ่นดินถล่ม

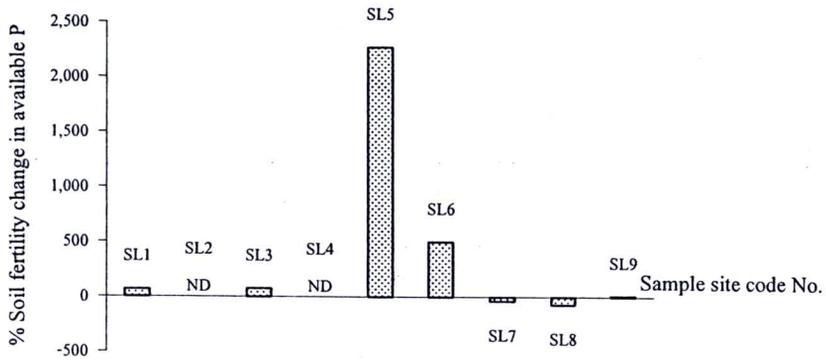
ผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินที่ระดับ Subsoil layer (ตารางที่ 42) ยังแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของอนุภาคดินเหนียวและอนุภาคดินทรายภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอนุภาคดินเหนียวและปริมาณของอนุภาคดินทรายมีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้าม ปริมาณอนุภาคดินทรายในระดับความลึกเดียวกันในแปลงตัวอย่างส่วนใหญ่จะมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารในดินที่มีค่าลดลงภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม ถึงแม้ว่าผลกระทบของแผ่นดินถล่มต่อคุณสมบัติต่างๆ ของดินในชั้น Subsoil layer จะมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจนมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของดินในชั้น Surface layer และ Subsurface layer แต่การลดลงของปริมาณปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสามารถพบได้ค่อนข้างชัดเจนใน 5 แปลงตัวอย่าง โดยมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยที่ 18%



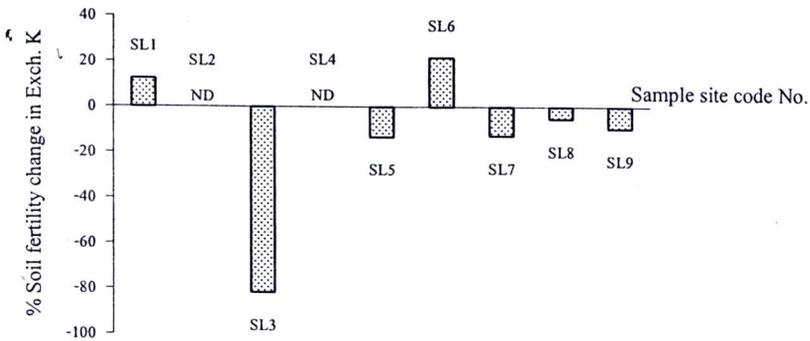
ภาพที่ 29 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงของ pH ในดินชั้น Subsoil layers ภายหลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่เขาสูงชัน



ภาพที่ 30 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงของ SOM ในดินชั้น Subsoil layers ภายหลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่เขาสูงชัน



ภาพที่ 31 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในดินชั้น Subsoil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่เขาสูงชัน



ภาพที่ 32 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในดินชั้น Subsoil layers หลังการเกิดดินถล่มในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่เขาสูงชัน

2.2 การเปลี่ยนแปลงด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Soil fertility) ของพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่ราบ

ความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่การเกษตรแบบสวนผลไม้ผสมบนพื้นที่ราบ (Flat land agroforestry-based fruit tree orchard) ได้ถูกทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม และไม่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม โดยแปลงตัวอย่างที่ทำการศึกษาจะมีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกัน และตัวอย่างดินจะอยู่ในชั้นความลึกต่างกัน 3 ระดับ เช่นเดียวกับสวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชัน ได้แก่ surface layer, subsurface layer และ subsoil layer โดยมีชื่อและรหัสของแปลงตัวอย่าง คือ FL1-FL5 ในแต่ละความลึกของชั้นดิน และผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 13-24

การเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินในชั้นดิน Surface layer

ดินที่ระดับความลึก Surface layer พบว่า ความอุดมสมบูรณ์ของดินภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่มมีการเปลี่ยนแปลงจากก่อนการเกิดแผ่นดินถล่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะ ค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (SOM) ปริมาณของธาตุแคลเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยนได้ (Exch. Ca) และค่าความจุของการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ซึ่งมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 43) เช่นเดียวกับดินในระดับ surface ของสวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชัน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง มีการเพิ่มขึ้นและลดลงในแปลงตัวอย่างที่ต่างกัน (ภาพที่ 33) ซึ่งต่างจากพื้นที่แปลงตัวอย่างในสวนไม้ผลผสมบนภูเขาสูงชันที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเนื่องจากคุณสมบัติของดินบนพื้นราบรวมถึงปัจจัยทางสภาพแวดล้อมอื่น ๆ มีความแตกต่างจากดินบนพื้นที่ลาดชัน

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินในทุกแปลงตัวอย่างมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด และมีค่าลดลงเฉลี่ยสูงถึง 75.79% เมื่อเทียบกับดินที่ไม่ได้ถูกทับถมด้วยมวลดิน (ภาพที่ 34) ซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับปริมาณฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยมีค่าลดลงมากกว่า 60% ยกเว้นในแปลงตัวอย่าง FL3 ที่มีปริมาณการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณของฟอสฟอรัสในดินตัวอย่างก่อนการเกิดแผ่นดินถล่มมีปริมาณน้อยอยู่แล้ว (ตารางที่ 43 และภาพที่ 35)

ผลการศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของดินในสวนผลไม้ผสมบนพื้นราบในด้านของปริมาณธาตุที่แลกเปลี่ยนได้พบว่า แปลงตัวอย่างส่วนใหญ่มีปริมาณของ แคลเซียม แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ลดลงอย่างมากในตัวอย่างดินจากแปลงตัวอย่างที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม โดยเฉพาะปริมาณของแคลเซียมซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การลดลงเฉลี่ยสูงถึง 71.18% (ภาพที่ 36) ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับค่าความจุของการแลกเปลี่ยนประจุบวกที่มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม โดยมีค่าเฉลี่ยของการลดลงเท่ากับ 47.48%

นอกจากนี้ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นอีกว่าความอุดมสมบูรณ์ของดินเกิดการเปลี่ยนแปลงในทางลดลงภายหลังจากการเกิดแผ่นดินถล่ม โดยพิจารณาจากปริมาณของอนุภาคดินเหนียวซึ่งมีค่าลดลงในทุกแปลงตัวอย่าง ยกเว้นแปลงตัวอย่าง FL4 และปริมาณอนุภาคดินทรายที่เพิ่มขึ้นในทุกแปลงตัวอย่างยกเว้นแปลงตัวอย่าง FL4

ตารางที่ 43 การเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินในแต่ละชั้นดิน (Soil layers) ในพื้นที่การเกษตรแบบสวนไม้ผลผสมบนพื้นที่ราบ ที่เกิดแผ่นดินถล่มกับพื้นที่
ข้างเคียงที่ไม่เกิดและไม่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม ในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

Soil layers	Sample site	pH*	OM (%)		P (ppm)		Ca* (ppm)		Mg (ppm)		K* (ppm)		CEC (cmol/100g)		clay (%)		sand (%)		Soil texture	
			-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS		-LS
Surface layer	FL1	6.60	6.30	7.21	1.55	10.40	3.90	2,810.25	568.60	583.50	241.50	857.80	194.10	21.00	8.65	22.92	11.19	47.07	57.35	Sandy Loam
	FL2	5.80	6.20	5.28	1.25	16.70	4.60	1,869.00	636.40	333.00	209.30	359.90	187.50	15.45	9.50	25.33	14.19	25.38	29.87	Silty Loam
	FL3	5.75	6.00	4.94	1.33	5.30	5.50	1,442.30	476.30	225.00	168.80	386.40	452.70	13.95	7.30	24.04	7.37	36.27	75.86	Sandy Loam
	FL4	5.90	6.00	5.29	1.27	57.10	6.80	1,489.50	503.40	189.80	113.30	399.60	340.00	11.80	6.45	12.90	20.67	56.19	32.27	Sandy Loam
	FL5	6.35	6.10	4.32	1.20	82.80	8.70	1,413.80	416.60	205.50	120.00	538.80	558.70	13.20	7.70	27.67	10.78	39.96	62.47	Sandy Loam

หมายเหตุ: -LS : แปลงตัวอย่างที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม ; + LS : Sample sites which were affected by landslide and mud deposition

* :แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย (T-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 43 (ต่อ)

Soil layers	Sample site	pH*		OM*		P (ppm)		Ca*		Mg (ppm)		K*		CEC (c mol/100g)		clay (%)		sand (%)		Soil texture			
		-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS
Sub surface layer	FL1	6.30	6.20	0.69	1.77	1.30	0.70	436.50	1,050.80	45.30	204.00	490.20	134.50	8.18	10.30	27.04	35.50	50.48	23.32	Sandy	Clay	Clay	Loam
	FL2	6.20	6.70	0.75	0.42	1.00	6.40	1,205.30	496.60	162.80	144.80	187.50	180.90	8.80	6.70	23.20	3.01	33.20	85.51	Loam	Loam	Loamy	Sand
	FL3	5.15	6.00	1.19	0.44	0.50	1.80	424.60	321.10	156.80	222.80	253.80	240.50	8.25	7.30	27.06	7.07	37.20	80.09	Clay	Loam	Loamy	Sand
	FL4	4.90	5.25	0.63	1.71	2.30	6.20	35.90	345.80	91.80	88.80	260.40	267.00	4.80	7.70	22.26	20.67	44.54	32.27	Loam	Loam	Loam	Loam
	FL5	5.10	4.90	0.87	1.23	11.80	6.20	279.40	389.50	59.30	63.80	479.20	273.70	7.00	8.25	26.23	11.19	42.93	67.05	Loam	Loam	Sandy	Loam

หมายเหตุ: -LS: แปลงตัวอย่างที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม; +LS: Sample sites which were affected by landslide and mud deposition

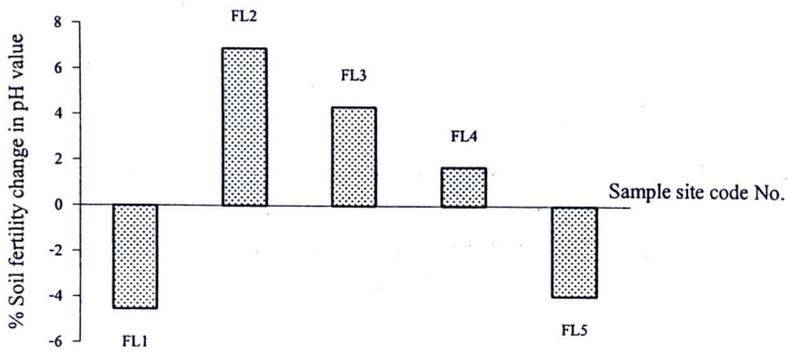
* :แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย (T-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 43 (ต่อ)

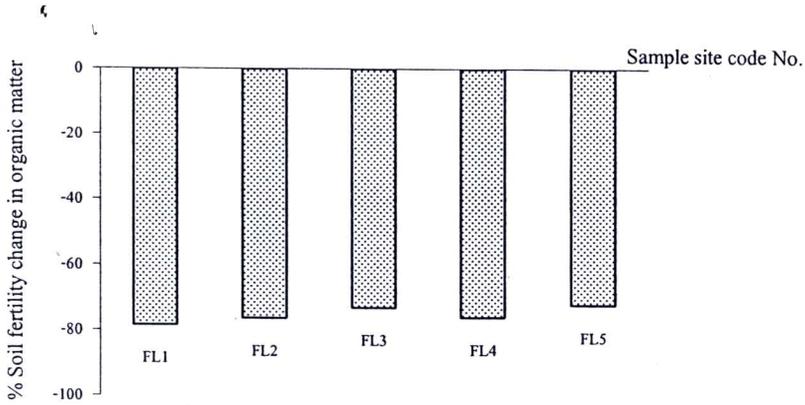
Soil layers	Sample site	pH*	OM (%)		P (ppm)		Ca* (ppm)		Mg (ppm)		K* (ppm)		CEC (c mol/100g)		clay (%)	sand (%)	Soil texture		
			-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS				-LS	+LS
Subsoil layer	FL1	4.80	6.25	0.67	1.15	0.60	150.00	530.50	54.00	114.80	294.10	141.10	8.38	8.35	39.58	23.42	32.46	48.56	Clay Loam
	FL2	6.45	5.55	0.42	2.13	2.30	685.40	865.50	123.00	159.00	240.50	220.60	5.85	10.60	22.62	19.13	44.90	28.95	Loam Silty Loam
	FL3	4.95	5.90	0.78	1.33	0.50	325.10	560.90	92.30	149.30	253.80	280.30	7.70	8.55	30.01	20.90	37.81	44.89	Loam Clay Loam
	FL4	4.65	5.20	0.62	2.80	2.00	18.60	176.00	62.00	101.50	273.70	260.40	7.80	6.40	22.06	23.93	46.35	34.74	Loam Loam
	FL5	4.80	5.65	0.79	0.85	3.40	274.10	475.60	80.10	76.80	379.70	293.60	10.90	5.75	38.71	11.40	35.35	64.25	Clay Loam Sandy Loam

หมายเหตุ: -LS : แปลงตัวอย่างที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม; +LS : Sample sites which were affected by landslide and mud deposition

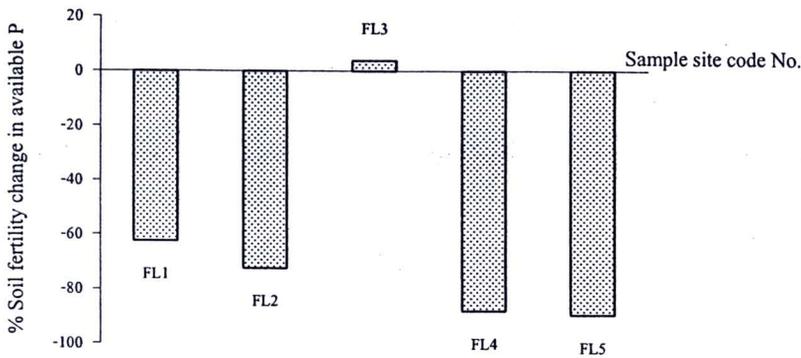
* :แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย (T-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



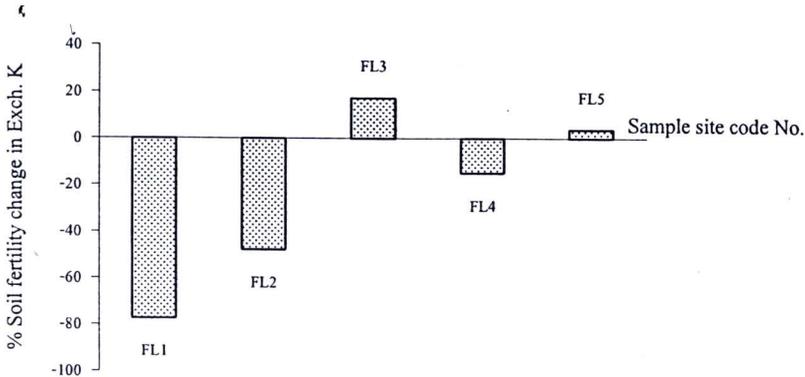
ภาพที่ 33 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ pH ในดินชั้น Surface soil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่ราบ



ภาพที่ 34 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ SOM ในดินชั้น Surface soil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่ราบ



ภาพที่ 35 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในดินชั้น Surface soil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่ราบ



ภาพที่ 36 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินชั้น Surface soil layers หลังการเกิดดินถล่มในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่ราบ

การเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินในชั้นดิน Subsurface layer

ความอุดมสมบูรณ์ของดินในระดับ Subsurface layer ของแปลงผลไม้มixedบนพื้นที่ราบมีการเปลี่ยนแปลงในด้านต่าง ๆ ที่แตกต่างกันในแต่ละแปลงตัวอย่าง (ตารางที่ 43) ซึ่งอาจเนื่องมาจากระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินที่แตกต่างกันในแต่ละแปลงตัวอย่างก่อนการได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม และขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม รวมไปถึงการทับถมของมวลดินที่แตกต่างกัน

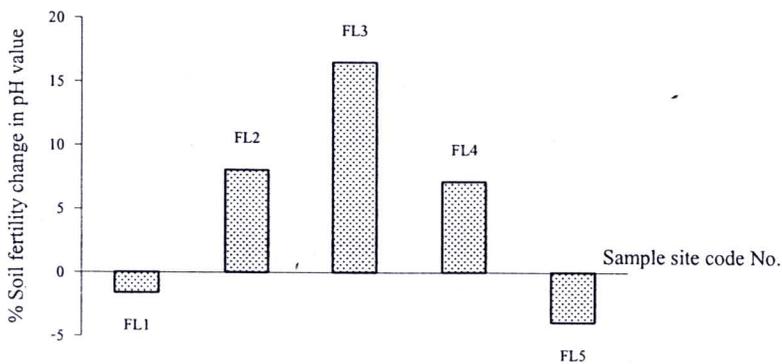
ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในชั้นนี้ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับดินในชั้น surface layer แต่ปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดิน และปริมาณของฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ มีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นและลดลงต่างกันในแต่ละแปลงตัวอย่าง (ภาพที่ 37 ถึง ภาพที่ 40 ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับตัวอย่างดินที่เลือกมาวิเคราะห์อาจมา

จากสภาพแวดล้อมก่อนการเกิดแผ่นดินถล่มที่ต่างกัน รวมถึงระดับความรุนแรงของผลกระทบที่ได้รับภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่มที่แตกต่างกันอีกด้วย

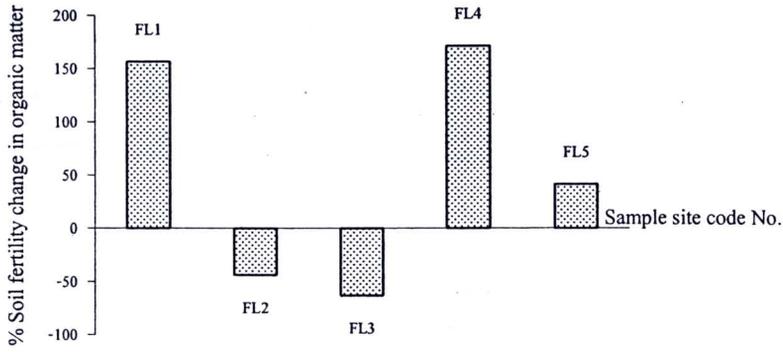
ปริมาณของแคลเซียมในดิน Subsurface layer ในทุกแปลงตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับปริมาณของแมกนีเซียมซึ่งส่วนใหญ่มีค่าเพิ่มขึ้นภายหลังได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม การเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวอาจมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของแร่ธาตุที่แลกเปลี่ยนได้ไม่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียแร่ธาตุอาหารเนื่องจากการไหลของชั้นดินจากการเกิดแผ่นดินถล่มเหมือนกับที่เกิดขึ้นในพื้นที่บนภูเขาสูงชัน ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับค่าความจุของการแลกเปลี่ยนประจุที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแปลงตัวอย่างส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงธาตุที่แลกเปลี่ยนประจุได้อีกชนิดหนึ่งคือ โพแทสเซียม จากผลการทดลองจะเห็นว่าในแปลงตัวอย่างส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 34.38% (ภาพที่ 40)

ปริมาณอนุภาคดินเหนียวในแปลงตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าลดลง ในขณะที่ปริมาณของอนุภาคดินทรายมีค่าเพิ่มขึ้น ในพื้นที่แปลงตัวอย่างที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินถล่ม ซึ่งให้ผลในทิศทางเดียวกันกับตัวอย่างดินในระดับความลึก Surface layer

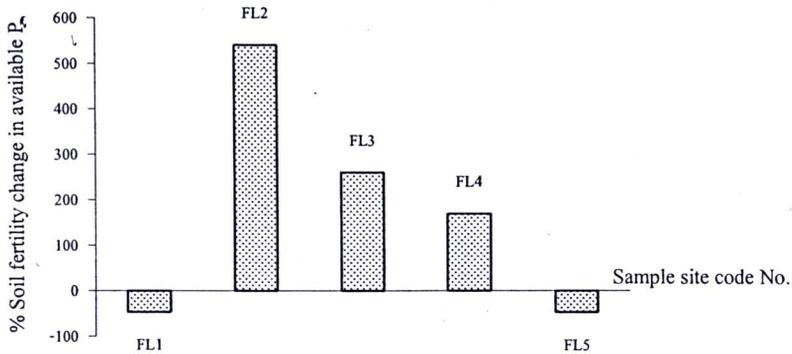
จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น ซึ่งให้เห็นว่าผลกระทบของการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่เกษตรแบบสวนผลไม้ผสมบนพื้นที่ราบนั้นที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของความอุดมสมบูรณ์ของดินในระดับความลึกของ Surface layer มีมากกว่าในระดับ Subsurface layer เช่นเดียวกับพื้นที่เกษตรแบบสวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชัน และเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงระหว่างความลาดชันของพื้นที่ที่ต่างกันจะพบว่าพื้นที่การเกษตรบนภูเขาสูงชันจะได้รับผลกระทบที่มากกว่าอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในดินที่ความลึกในระดับ Surface layer ซึ่งสาเหตุหลักอาจเนื่องมาจากการไหลพังทลายของชั้นดินที่เกิดขึ้นอย่างรุนแรงทำให้เกิดการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดินมากตามไปด้วย



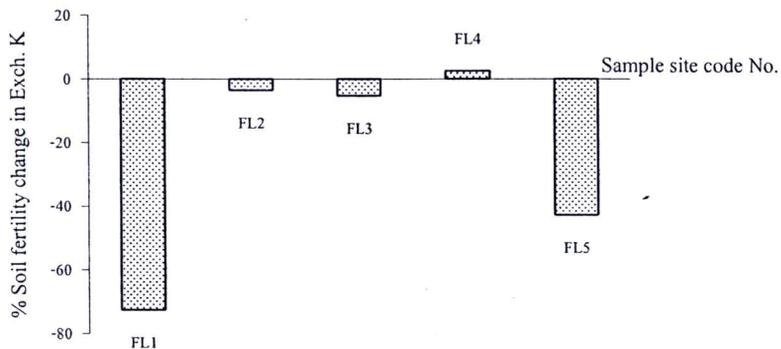
ภาพที่ 37 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ pH ในดินชั้น Subsurface soil layers ภายหลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมบนวนเกษตรบนพื้นที่ราบ



ภาพที่ 38 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ SOM ในดินชั้น Subsurface soil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่ราบ



ภาพที่ 39 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในดินชั้น Subsurface soil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่ราบ



ภาพที่ 40 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในดินชั้น Subsurface soil layers หลังการเกิดดินถล่มในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่ราบ

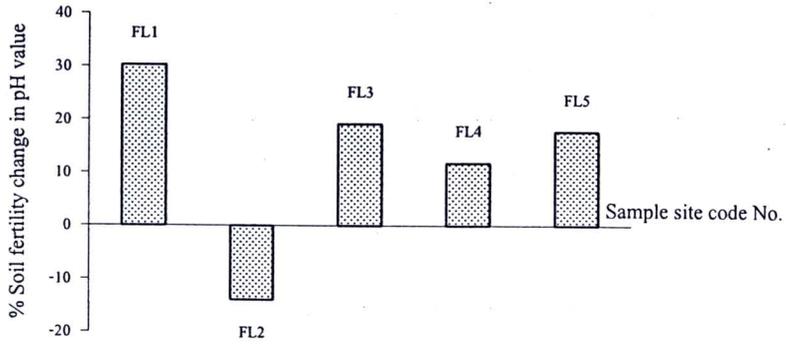
การเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินในชั้นดิน Subsoil layer

ความอุดมสมบูรณ์ของดินในชั้น Subsoil layer ในพื้นที่เกษตรแบบสวนผลไม้ผสมบนพื้นราบไม่พบว่ามีความลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นเมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม (ตารางที่ 43) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับในพื้นที่เกษตรแบบสวนไม้ผสมบนภูเขาสูงชัน ทั้งนี้อย่างที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ดินในระดับความลึก Subsoil layer มีความลึกมากพอที่จะได้รับผลกระทบจากการไหลของหน้าดินและมวลดินทับถมไม่รุนแรงมากนัก โดยเฉพาะในพื้นที่ราบซึ่งผลของการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดินอันเนื่องมาจากการไหลพังทลายของดินมีน้อยเมื่อเทียบกับพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง

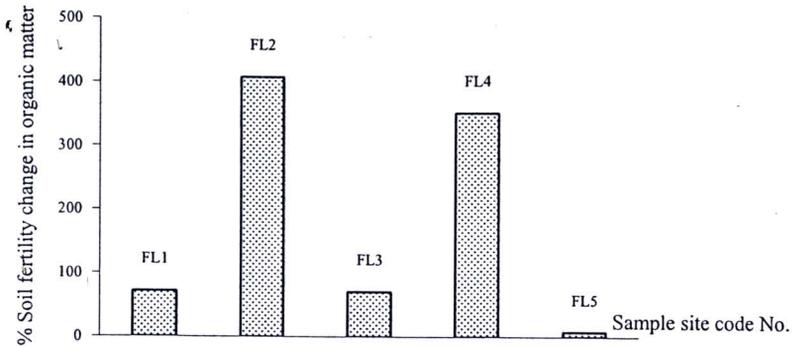
อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในด้านความเป็นกรด-ด่างของดินในระดับความลึกนี้พบว่าในทุกแปลงตัวอย่างมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 41) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และปริมาณฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ ที่มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกแปลงตัวอย่างภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่ม (ภาพที่ 42 และ ภาพที่ 43 ตามลำดับ)

นอกจากนี้ผลการทดลองยังพบว่าปริมาณของแคลเซียมและแมกนีเซียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกแปลงตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม และมีค่าเฉลี่ยของการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 79.50 และ 46.18% ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมมีค่าลดลงในแปลงตัวอย่างส่วนใหญ่ และมีค่าเฉลี่ยของการลดลงเท่ากับ 17.05% (ภาพที่ 44) ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับดินในระดับความลึก Subsurface layer

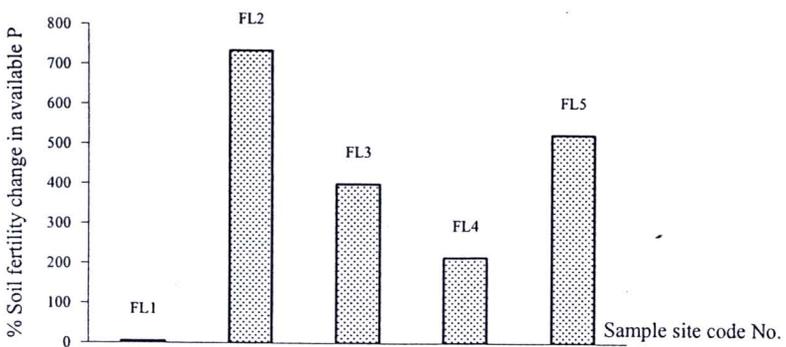
ค่าความจุของการแลกเปลี่ยนประจุภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่มมีแนวโน้มที่ต่างกันขึ้นอยู่กับพื้นที่แปลงตัวอย่างแต่ละแปลง และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของธาตุที่แลกเปลี่ยนได้ โดยเฉพาะปริมาณของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่เพิ่มขึ้น รวมไปถึงปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดินที่ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของอนุภาคดินเหนียวและอนุภาคดินทรายมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับในดิน Subsurface layer นั่นคือแปลงตัวอย่างส่วนใหญ่มีปริมาณอนุภาคดินเหนียวลดลง และอนุภาคดินทรายเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแปรที่สามารถบ่งชี้ถึงการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดินภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่มได้ในระดับหนึ่ง แต่ไม่รุนแรงมากนักเมื่อเทียบกับดินในชั้น Surface layer และ Subsurface layer โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงซึ่งจะได้รับผลกระทบและทำให้เกิดการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดินในด้านต่าง ๆ มากกว่า



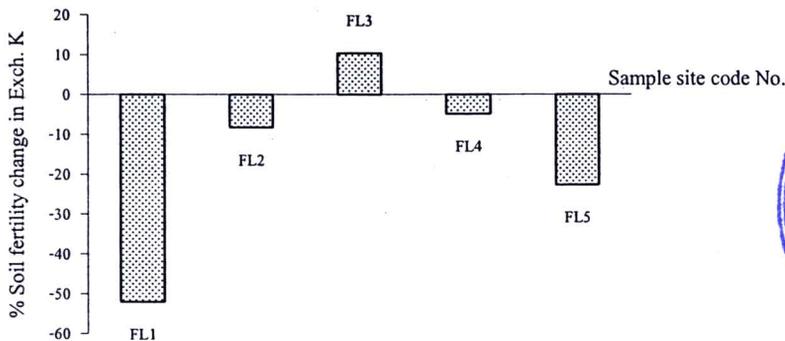
ภาพที่ 41 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ pH ในดินชั้น Subsoil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่ราบ



ภาพที่ 42 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ SOM ในดินชั้น Subsoil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่ราบ



ภาพที่ 43 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ในดินชั้น Subsoil soil layers หลังการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่ราบ



ภาพที่ 44 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ในดินชั้น Subsoil soil layers หลังการเกิดดินถล่มในพื้นที่สวนไม้ผลผสมแบบวนเกษตรบนพื้นที่ราบ

2.3 การเปลี่ยนแปลงด้านความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Soil fertility) ในนาข้าว

ผลการศึกษาคความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่นาข้าว (Paddy field) ที่ไม่ได้รับและได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่มจำนวนทั้งหมด 5 แปลงตัวอย่าง คือ PF1-PF5 แสดงในตารางที่ 44 ซึ่งพบว่าในพื้นที่แปลงตัวอย่างที่ไม่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม (PF1-PF2) มีค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ คือ surface layer, subsurface layer และ subsoil layer อยู่ในช่วงที่เป็นกรดมากกว่าดินในพื้นที่ที่มีการทับถมของมวลดินอันเนื่องมาจากแผ่นดินถล่ม (PF3-PF5) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่าง ในดินที่ระดับความลึกเดียวกันของพื้นที่เกษตรแบบสวนผลไม้ผสมบนพื้นที่ราบพบว่าดินในนาข้าวมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงกว่าทั้งในพื้นที่ที่ได้รับและไม่ได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินถล่ม

ปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดินของพื้นที่ที่ได้เกิดแผ่นดินถล่มในดินที่ระดับความลึก Surface layer และ Subsurface layer ยังคงมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับพื้นที่เกษตรแบบสวนผลไม้ผสมบนพื้นที่ราบในดินที่ระดับความลึกเดียวกัน ซึ่งมีการสูญเสียปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมากกว่า ในทางตรงกันข้าม ในดินระดับ subsoil layer ของพื้นที่นาข้าวมีค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินน้อยกว่าของพื้นที่สวนไม้ผสมบนพื้นที่ราบ ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับกระบวนการไหลและการทับถมของมวลดินระหว่างการเกิดแผ่นดินถล่มทำให้เกิดการสะสมของอินทรีย์วัตถุในดินระดับความลึก Subsoil layer บนพื้นที่ราบและนาข้าวที่ต่างกัน

ในพื้นที่นาข้าวที่เกิดแผ่นดินถล่มพบว่ามีปริมาณของฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้สูงในดินทุกระดับความลึกที่ทำการศึกษา เมื่อเทียบกับดินในพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนพื้นที่ราบ ที่มีการ

สูญเสียปริมาณฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้หลังการเกิดแผ่นดินถล่มอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะดินในระดับความลึกชั้น Subsurface layer มีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณที่สูงมาก

ปริมาณของแคลเซียมและโพแทสเซียมในพื้นที่นาข้าวที่ได้เกิดแผ่นดินถล่มยังคงมีปริมาณสูงในทุกระดับความลึกของชั้นดินเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ราบที่ทำการเกษตรแบบสวนผลไม้ผสม ในขณะที่ปริมาณของแมกนีเซียมในดินระดับความลึก Surface layer และ Subsurface layer ของพื้นที่นาข้าวพบว่า มีปริมาณที่น้อยลงหลังเกิดแผ่นดินถล่ม ยกเว้นในดินระดับ Subsoil ที่มีปริมาณของแมกนีเซียมที่ใกล้เคียงกับพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนพื้นที่ราบ

นอกจากนี้จากผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าในพื้นที่นาข้าวที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินถล่มมีค่าความอุดมสมบูรณ์ของดินในด้านความจุของการแลกเปลี่ยนประจุ และปริมาณของอนุภาคดินเหนียวที่อยู่ในช่วงที่มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับพื้นที่การเกษตรแบบสวนผลไม้ผสมบนพื้นที่ราบ โดยเห็นได้จากปริมาณของอนุภาคดินเหนียว และความจุของการแลกเปลี่ยนประจุที่มีค่าสูงในทุกระดับความลึกของดิน และปริมาณของอนุภาคดินทรายที่มีค่าน้อยกว่าดินในพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนพื้นที่ราบ

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่การเกษตรประเภทต่าง ๆ ภายหลังจากเกิดแผ่นดินถล่มสามารถกล่าวได้ว่าจะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับระดับความลึกของชั้นดินที่ได้รับผลกระทบจากการสั่นไหวพังทลายของดิน และการทับถมของมวลดิน ในกระบวนการเกิดแผ่นดินถล่ม และระดับความรุนแรงของการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ต่าง ๆ นอกจากนี้สาเหตุสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และระบบการทำการเกษตรของแต่ละพื้นที่อีกด้วย

ตารางที่ 44 สถานภาพของควมอุดมสมบูรณ์ของดินในแต่ละชั้นดิน (Soil layers) ในพื้นที่นาข้าว ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม ในพื้นที่ลุ่มน้ำ อ่างอติบแเด จังหวัดอุตรดิตถ์

Soil layers	Sample site	pH*	OM (%)	P (ppm)		Ca* (ppm)	Mg (ppm)	K* (ppm)		CEC (c mol/100g)		clay (%)		sand (%)		Soil texture
				-LS	+LS			-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	
Surface layer	PF1	5.00	3.40	-	3.9	-	121.90	-	492.40	16.50	-	37.56	34.17	-	-	Clay Loam
	PF2	5.20	0.46	-	4.2	-	112.30	-	320.10	7.80	-	15.62	45.68	-	-	Loam
	PF3	6.10	2.51	-	8.8	-	132.80	-	366.50	9.90	-	20.56	19.39	-	-	Silty Loam
	PF4	5.75	2.06	-	10.5	-	91.50	-	373.10	11.05	-	21.79	13.82	-	-	Silty Loam
	PF5	5.50	2.68	-	11	-	135.80	-	313.40	16.70	-	23.22	2.74	-	-	Silty Loam

หมายเหตุ: -LS : แสดงตัวอย่างที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม; +LS : Sample sites which were affected by landslide and mud deposition

* :แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย (T-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 44 สถานภาพของค่าคุณสมบัติของดินในแต่ละชั้นดิน (Soil layers) ในพื้นที่นาข้าว ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม ในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอทับแฉด จังหวัดอุตรดิตถ์ (ต่อ)

Soil layers	Sample site	pH*	OM*		P (ppm)	Ca*	Mg	K*		CEC		clay		sand		Soil texture	
			-LS	+LS				-LS	+LS	(%)	(%)	(c mol/100g)	-LS	+LS	-LS		+LS
Code																	
No.	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	+LS
PF1	5.90	1.26	12.0	1257.80	112.50	346.60	13.50	27.53	21.59	Clay	Loam						
PF2	5.65	0.70	3.1	541.30	56.90	286.90	4.80	11.61	52.78	Sandy	Loam						
PF3	6.00	1.97	42.6	1326.80	142.50	340.00	13.90	24.18	15.94	Silty	Loam						
PF4	5.60	1.76	26.3	969.00	153.00	313.40	11.80	21.76	17.22	Silty	Loam						
PF5	6.80	1.47	62.3	1902.80	159.00	326.70	10.45	19.62	19.30	Silty	Loam						

หมายเหตุ: -LS : แปลงตัวอย่างที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม; +LS : Sample sites which were affected by landslide and mud deposition

* :แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย (T-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ตารางที่ 44 สถานภาพของควมอุดมสมบูรณ์ของดินในแต่ละชั้นดิน (Soil layers) ในพื้นที่ข้าว ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม ในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอตีบเต
จังหวัดอุดรธานี (ต่อ)

Soil layers	Sample site	pH*	OM*		P (ppm)	Ca*	Mg (ppm)	K*		CEC (c mol/100g)		clay (%)		sand (%)		Soil texture
			-LS	+LS				-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	
Subsoil layer	No.	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	-LS	+LS	
	PF1	6.70	0.22	8.4	1326.00	199.50	326.70	10.25	24.10	34.61					Loam	
	PF2	5.85	0.76	0.6	551.30	59.50	286.90	6.40	12.38	51.54					Loam	
	PF3	6.75	0.73	17	1313.30	131.30	300.20	10.15	16.23	25.95					Silty Loam	
	PF4	6.90	0.67	4.4	1573.50	180.80	293.60	10.00	26.04	8.40					Silty Loam	
	PF5	7.40	0.73	12.8	1482.80	135.80	313.40	8.85	19.47	21.69					Silty Loam	

หมายเหตุ: -LS : แปลงตัวอย่างที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม ; + LS : Sample sites which were affected by landslide and mud deposition

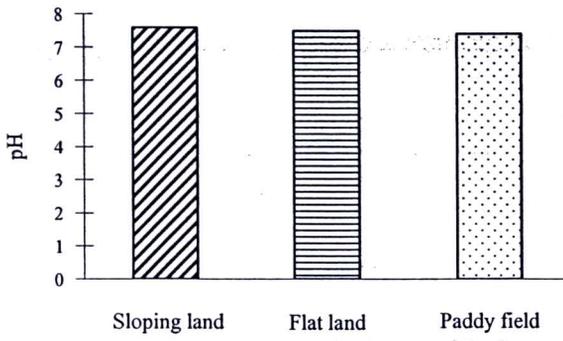
* :แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเปรียบเทียบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ย (T-Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในพื้นที่การเกษตรที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดดินถล่ม

ทำการศึกษาการคุณภาพน้ำในพื้นที่การเกษตรที่มีลำน้ำไหลผ่าน โดยศึกษาในพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชัน สวนผลไม้ผสมบนพื้นราบ และนาข้าว ในพื้นที่ลุ่มน้ำ อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยมีการกำหนดแปลงตัวอย่างเดียวกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของดิน โดยในพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชัน มีการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด 13 ตัวอย่าง ในพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนพื้นราบ เก็บตัวอย่างทั้งหมด 7 ตัวอย่าง และนาข้าวมีการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างน้ำที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพของน้ำสำหรับการเกษตรในด้านต่าง ๆ ได้แก่

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (Water pH) ค่าความกระด้าง (Total hardness) ปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspended solid: SS) ความขุ่น (Turbidity) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total dissolved solid: TDS) ปริมาณของแข็งรวม (Total solids: TS) นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe) และอะลูมิเนียม (Al) ซึ่งถือว่าเป็นธาตุโลหะที่อาจจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชเศรษฐกิจที่ปลูก เนื่องจากมีปริมาณเหล็กหรืออะลูมิเนียมในน้ำที่นำมาใช้เพื่อการเกษตรมากเกินไป ปริมาณของธาตุโลหะทั้งสองทำให้พืชแสดงอาการเป็นพิษเนื่องจากปริมาณของธาตุโลหะหนักทั้งสองมากเกินไป นอกจากนี้อาจจะสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของพืชที่เพาะปลูกและจะหมุนเวียนอยู่ภายในระบบนิเวศได้ และผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตัวอย่างในแปลงตัวอย่างของพื้นที่การเกษตรทั้ง 3 ประเภทแสดงในตารางที่ 45 และภาพที่ 45-52

จากตารางที่ 45 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของตัวอย่างน้ำในพื้นที่เกษตรแบบสวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชันอยู่ในช่วงที่เป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย (7.03-8.14) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนพื้นราบ (7.09-7.96) ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในพื้นที่นาข้าวมีค่าน้อยกว่าพื้นที่เกษตรแบบอื่น (6.87-7.83) อย่างไรก็ตามหากพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำในพื้นที่เกษตรแบบต่าง ๆ จะพบว่าค่าใกล้เคียงกันมาก และอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เทียบกับค่าความเป็นกรด-ด่างมาตรฐานของน้ำเพื่อการเกษตร นั่นคือ 6.5-8.5 (ภาพที่ 46)



ภาพที่ 45 ค่าเฉลี่ยของความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างน้ำ ของการใช้ที่ดิน 3 ประเภท คือ สวนไม้ผล ผสมบนภูเขาสูงชัน สวนไม้ผลผสมบนที่ราบ และนาข้าว โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำผิวดิน ในตารางที่ 45 จากกรมควบคุมมลพิษ

ตารางที่ 45. คุณภาพตัวอย่างน้ำที่เก็บในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากดินถล่มและมวลดินทับถม ในพื้นที่ลุ่มน้ำอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

Land Use	Sample site No.	pH	Turbidity (NTU)	Suspended solid (mg/L)	Total solid (mg/L)	Total dissolved solid (mg/L)	Total Hardness (mg/L)	Fe (mg/L)	Al (mg/L)
sloping land	1	7.89	3.44	13.00	239.00	226.00	111.33	0.40	0.24
agroforestry-based fruit	2	7.17	3.96	9.80	218.00	208.20	117.67	0.38	0.18
tree orchard	3	7.48	2.90	5.20	1,833.00	1,827.80	225.67	0.43	0.27
	4	7.42	3.22	18.60	1,007.00	988.40	155.00	0.71	0.23
	5	8.02	5.40	7.80	368.00	360.20	117.33	0.52	0.18
	6	7.90	4.52	5.47	204.30	198.84	120.67	1.19	0.27
	7	8.14	4.96	3.00	584.01	581.00	125.33	0.60	0.09
	8	7.46	24.36	47.70	6,508.67	6,460.97	319.00	1.03	0.23
	9	7.36	22.18	19.80	965.00	945.20	155.33	1.25	0.15
	10	7.07	24.16	21.25	545.00	523.75	119.67	0.10	0.29
	11	7.75	5.52	10.20	112.00	101.80	111.33	0.13	0.18
	12	7.03	6.10	10.00	743.00	733.00	134.00	1.44	0.23
	13	7.99	26.46	37.00	250.00	213.00	116.33	1.36	0.07

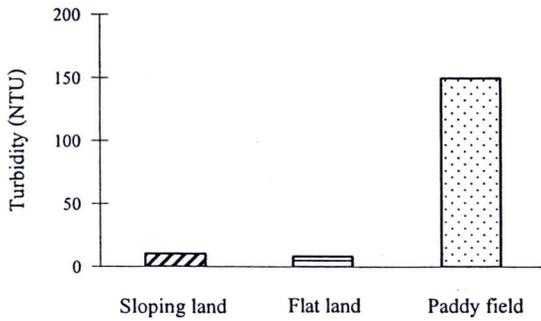
ตารางที่ 45. คุณภาพตัวอย่างน้ำที่เก็บในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากดินถล่มและมวลดินทับถม ในพื้นที่ลุ่มน้ำอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ (ต่อ)

Land Use	Sample site No.	pH	Turbidity (NTU)	Suspended solid (mg/L)	Total solid (mg/L)	Total dissolved solid (mg/L)	Total Hardness (mg/L)	Fe (mg/L)	Al (mg/L)
Flat land agroforestry-based fruit tree orchard	1	7.13	5.18	2.33	680.00	677.67	173.67	0.85	0.22
	2	7.09	0.90	11.40	195.00	183.60	154.33	0.15	0.21
	3	7.14	24.22	137.20	61,237.00	61,099.80	1,731.67	0.41	0.11
	4	7.69	14.94	11.40	2,097.00	2,085.60	187.67	1.12	0.17
	5	7.63	5.38	0.00	203.00	203.00	134.33	0.00	0.21
	6	7.96	6.22	10.20	202.00	191.80	145.67	0.13	0.27
	7	7.83	1.58	22.60	14,733.00	14,710.00	553.33	0.05	0.26
Paddy field	1	6.87	531.8	1,217.50	6,714.34	5,496.84	241.33	7.50	0.20
	2	7.45	20.28	58.50	8,673.00	8,614.50	355.67	3.67	0.23
	3	7.49	29.8	57.60	3,082.00	3,024.40	215.00	1.64	0.12
	4	7.83	17.4	22.40	551.00	528.60	156.00	1.35	0.145

ตารางที่ 46 ค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำเพื่อการเกษตร

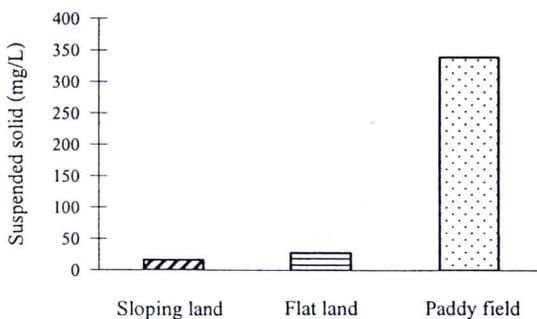
Parameters	Standard values
pH	6.5-8.5
Turbidity (NTU)	50
Suspended solid (mg/L)	30
Total solid (mg/L)	2,000
Total dissolved solid (mg/L)	1,300
Total Hardness (mg/L)	500
Fe (mg/L)	1
Al (mg/L)	0.02

ค่าความขุ่นของน้ำตัวอย่างในพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชันมีค่าแตกต่างกันมากในแต่ละแปลงตัวอย่างตั้งแต่ 2.9 ถึง 26.46 NTU ซึ่งให้ผลการทดลองในทิศทางเดียวกับตัวอย่างน้ำในพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนพื้นราบ (0.90-24.22 NTU) ส่วนในพื้นที่นาที่มีความขุ่นอยู่ในช่วงที่กว้างมากคือ ตั้งแต่ 17.4 - 531.8 NTU ทั้งนี้ความแตกต่างของความขุ่นในแต่ละพื้นที่ที่เห็นได้อย่างชัดเจนนั้นอาจขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของลำน้ำผ่านพื้นที่การเกษตรที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินถล่มที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าความขุ่นเฉลี่ยของน้ำในพื้นที่การเกษตรแบบต่าง ๆ พบว่า (ภาพที่ 26) น้ำจากพื้นที่นาข้าวมีความขุ่นสูงสุด (10.55 NTU) รองลงมาได้แก่พื้นที่สวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชัน (10.55 NTU) และสวนผลไม้ผสมบนพื้นราบ (8.35 NTU) นอกจากนี้จากผลการทดลองยังพบว่าน้ำในพื้นที่นาข้าวมีความขุ่นเฉลี่ยเกินค่ามาตรฐานความขุ่นของน้ำบาดาลบ่อตื้นซึ่งมีค่าเท่ากับ 50 NTU (ตารางที่ 40) ซึ่งค่าความขุ่นที่สูงนี้อาจเนื่องมาจากพื้นที่นาข้าวเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำที่เกิดการสะสมของตะกอนดินที่ไหลมาทับถมภายหลังการเกิดแผ่นดินถล่มได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับพื้นที่สวนผลไม้ผสมทั้งบนพื้นราบและบนภูเขาสูงชัน



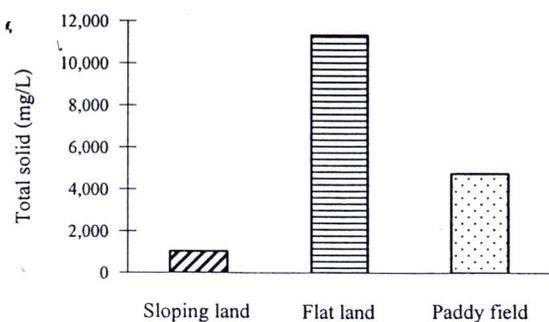
ภาพที่ 46 ค่าเฉลี่ยของความขุ่นของตัวอย่างน้ำ ในพื้นที่สวนไม้ผลผสมบนภูเขาสูงชัน สวนไม้ผลผสมบนที่ราบ และนาข้าว โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำผิวดิน ในตารางที่ 39 จากกรมควบคุมมลพิษ

ค่าสารแขวนลอยในน้ำในพื้นที่เกษตรทุกประเภทมีค่าแตกต่างกันในแต่ละแปลงตัวอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำในพื้นที่นาข้าวมีค่าสูงสุดของสารแขวนลอยมากที่สุด (1,217.50 mg/L) เมื่อเทียบกับน้ำตัวอย่างในพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนที่ราบและที่บนภูเขาสูงชัน ที่มีค่าสารแขวนลอยสูงสุดเท่ากับ 137.20 และ 47.70 mg/L ตามลำดับ ซึ่งถึงแม้ค่าสารแขวนลอยต่ำสุดและสูงสุดจะอยู่ในช่วงกว้างในพื้นที่เกษตรทั้งสามประเภท ผลการทดลองในภาพที่ 47 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่นาข้าวมีค่าเฉลี่ยของสารแขวนลอยสูงสุด (339.00 mg/L) รองลงมาได้แก่ สวนผลไม้ผสมบนที่ราบ (27.88mg/L) และที่บนภูเขาสูงชัน (16.06 mg/L) อย่างไรก็ตามค่ามาตรฐานของน้ำทิ้งที่มีคุณภาพต่ำลงทางน้ำชลประทานกำหนดไว้ไม่เกิน 30 mg/L ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำในพื้นที่นาข้าวมีค่าสารแขวนลอยเฉลี่ยสูงกว่าค่ามาตรฐานอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับค่าความขุ่นที่มีค่าสูงและมีสาเหตุดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น



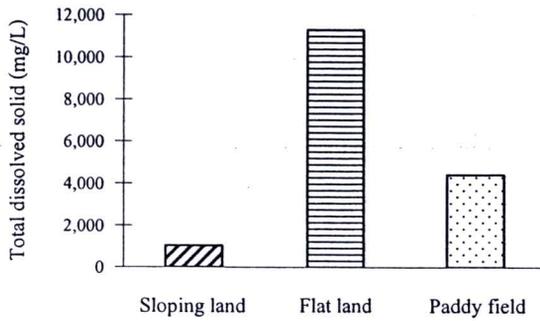
ภาพที่ 47 ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของตัวอย่างน้ำ ในสวนไม้ผลผสมบนภูเขาสูงชัน สวนไม้ผลผสมบนที่ราบ และนาข้าว โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำผิวดิน ในตารางที่ 46 จากกรมควบคุมมลพิษ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดในตารางที่ 45 พบว่า น้ำในพื้นที่สวนผลไม้ ผสมบนพื้นราบมีค่าของแข็งทั้งหมดในแปลงตัวอย่างที่ 3 และ 7 อยู่สูงมากเมื่อเทียบกับแปลง ตัวอย่างอื่นในพื้นที่การเกษตรแบบอื่น และมีค่าของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 11335.29 mg/L ส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำตัวอย่างในพื้นที่นาข้าวมีค่าเฉลี่ยรองลงมาคือ 4755.09 mg/L และ น้ำในพื้นที่ผลไม้ผสมบนพื้นราบมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1044.38 mg/L (ภาพที่ 48) และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของน้ำบาดาลบ่อตื้น (2,000 mg/L) พบว่าน้ำตัวอย่างใน พื้นที่ผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชันเท่านั้นที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการไหลทับถม ของตะกอนอันเนื่องมาจากแผ่นดินถล่มสู่ลำน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ราบและลุ่มน้ำ เช่นนา ข้าว มีผลอย่างมากต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำในพื้นที่การเกษตรซึ่งจะมีผลกระทบต่อปริมาณ และคุณภาพของผลผลิตทางการเกษตร



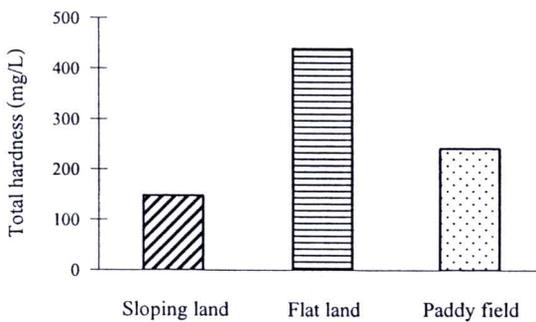
ภาพที่ 48 ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของตัวอย่างน้ำ ในสวนไม้ผลผสมบนภูเขาสูง ชัน สวนไม้ผลผสมบนที่ราบ และนาข้าว โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำ ผิวดิน ในตารางที่ 39 จากกรมควบคุมมลพิษ

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำในพื้นที่การเกษตรทุกประเภทมีค่าที่ใกล้เคียงกับปริมาณ ของแข็งทั้งหมด โดยสวนผลไม้ผสมบนพื้นราบมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาได้แก่พื้นที่นาข้าว และสวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชัน ซึ่งเท่ากับ 11,307.35, 4416.09, และ 1028.32 mg/L ตามลำดับ (ภาพที่ 49) และจากการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานสำหรับปริมาณ ของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำที่ระบายลงสู่ทางน้ำชลประทานซึ่งกำหนดให้ไม่เกิน 1,300 mg/L พบว่า น้ำในพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนพื้นราบ และนาข้าว มีปริมาณเกินค่ามาตรฐาน ซึ่งสาเหตุอาจ เนื่องมาจากการไหลสะสมของตะกอนดิน เช่นเดียวกับการสะสมของปริมาณของแข็งทั้งหมดใน แหล่งน้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่ม



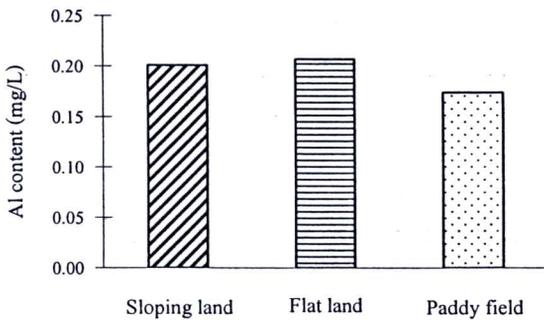
ภาพที่ 49 ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) ของตัวอย่างน้ำ ในสวนไม้ผล ผสมบนภูเขาสูงชัน สวนไม้ผลผสมบนที่ราบ และนาข้าว โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำผิวดิน ในตารางที่ 39 จากกรมควบคุมมลพิษ

ตัวอย่างน้ำในพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชันในทุกแปลงตัวอย่างมีค่าความกระด้างของน้ำใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วง 111.33-319.00 mg/L ซึ่งอยู่ในช่วงแคบเช่นเดียวกับค่าความกระด้างของน้ำในพื้นที่นาข้าว (156.00-355.67 mg/L) ในขณะที่พื้นที่สวนผลไม้ผสมบนที่ราบมีค่าความกระด้างอยู่ในช่วงกว้างตั้งแต่ 145.67-1,731.67 mg/L และเมื่อพิจารณาค่าความกระด้างเฉลี่ยในภาพที่ 50 พบว่าให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับค่า ปริมาณของแข็งทั้งหมด และของแข็งที่ละลายน้ำได้ นั่นคือมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในน้ำตัวอย่างที่เก็บได้จากพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนที่ราบ 440.10 mg/L และรองลงมาได้แก่ ตัวอย่างน้ำจากพื้นที่นาข้าว (242.00 mg/L) และสวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชัน (148.36 mg/L) อย่างไรก็ตามค่าความกระด้างของตัวอย่างน้ำจากพื้นที่เกษตรทุกประเภทยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานซึ่งกำหนดไว้ว่าน้ำบาดาลบ่อตื้นควรมีค่าความกระด้างไม่เกิน 500 mg/L

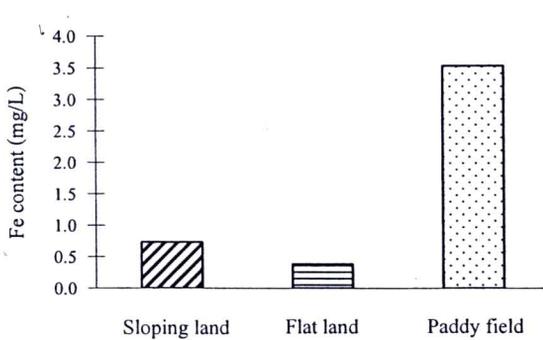


ภาพที่ 50 ค่าเฉลี่ยของค่าความกระด้างของตัวอย่างน้ำ ในสวนไม้ผลผสมบนภูเขาสูงชัน สวนไม้ผลผสมบนที่ราบ และนาข้าว โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำผิวดิน ในตารางที่ 39 จากกรมควบคุมมลพิษ

ปริมาณแร่ธาตุอลูมิเนียมและเหล็กในน้ำตัวอย่างของพื้นที่เกษตรทั้งสามประเภทมีค่าแตกต่างกันแต่ละพื้นที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าปริมาณของอลูมิเนียมในน้ำในพื้นที่นาข้าวมีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 3.54 mg/L และพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนพื้นราบมีปริมาณของอลูมิเนียมเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.39 mg/L ในขณะที่ปริมาณของธาตุเหล็กเฉลี่ยตรวจพบสูงสุดในน้ำตัวอย่างในพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนพื้นราบ (0.21 mg/L) อย่างไรก็ตามปริมาณของธาตุเหล็กในน้ำตัวอย่างจากพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนภูเขาสูงชัน (0.20 mg/L) และนาข้าว (0.17 mg/L) มีค่าใกล้เคียงกับน้ำตัวอย่างจากสวนผลไม้ผสมบนพื้นราบ (ภาพที่ 51 และ 52) ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการสะสมของธาตุเหล็กในน้ำที่เกิดจากการไหลทับถมของตะกอนดิน โคลน อันเนื่องมาจากแผ่นดินถล่ม ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุเหล็กในน้ำในพื้นที่ที่สภาพแวดล้อมและความลาดชันที่ต่างกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่ามาตรฐานของปริมาณเหล็กและอลูมิเนียมซึ่งให้มีได้ไม่เกิน 1 mg/L และ 0.02 mg/L ตามลำดับในน้ำบาดาลบ่อตื้น จะเห็นได้ว่าน้ำตัวอย่างในทุกพื้นที่การเกษตรมีค่าอลูมิเนียมที่เกินมาตรฐาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำในพื้นที่เกษตรที่มีสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการสะสมของธาตุอลูมิเนียมดังกล่าว ในทางตรงกันข้ามปริมาณของเหล็กในน้ำในพื้นที่นาข้าวเท่านั้นที่พบว่ามีค่าเกินที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งอาจเนื่องมาจากเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีการสะสมของธาตุเหล็กได้ดีกว่าพื้นที่สวนผลไม้ผสมบนพื้นราบและบนภูเขาสูงชัน



ภาพที่ 51 ค่าเฉลี่ยของปริมาณอะลูมิเนียมของตัวอย่างน้ำ ในสวนไม้ผลผสมบนภูเขาสูงชัน สวนไม้ผลผสมบนที่ราบ และนาข้าว โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำผิวดิน ในตารางที่ 46 จากกรมควบคุมมลพิษ



ภาพที่ 52 ค่าเฉลี่ยของปริมาณอะลูมิเนียมของตัวอย่างน้ำ ในสวนไม้ผลผสมบนภูเขาสูงชัน สวนไม้ผลผสมบนที่ราบ และนาข้าว โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำผิวดิน ในตารางที่ 46 จากกรมควบคุมมลพิษ

จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าคุณภาพของน้ำเพื่อการเกษตรจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการเกิดแผ่นดินถล่ม ซึ่งส่งผลไปสู่การไหลทับถมของตะกอนดิน การสะสมของแข็ง และธาตุต่าง ๆ ที่สททางการไหลของน้ำ และลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมไปถึงลักษณะของดิน และสภาพแวดล้อมในพื้นที่การเกษตรที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่อีกด้วย

4. การกำหนดแนวทางการฟื้นฟูและการป้องกันพื้นที่เกิดแผ่นดินถล่ม ในพื้นที่อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ผลจากการวิเคราะห์เชิงสถิติที่แสดงถึง โอกาสของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม และผลจากการประเมินผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางการเกษตรของพื้นที่เกษตรกรรมในเขตอำเภอลับแล ทำให้ทราบถึงสาเหตุและพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินถล่ม รวมทั้งทราบถึงความเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมทางการเกษตรที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาแนวทางที่เหมาะสมในการคาดการณ์ การเตือนภัยล่วงหน้า และกำหนดมาตรการการจัดการพื้นที่เพื่อฟื้นฟูและป้องกันพื้นที่เกิดแผ่นดินถล่ม ในเขตอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

4.1 แนวทางการฟื้นฟูพื้นที่การเกษตรที่ได้รับความเสียหายจากแผ่นดินถล่มและการทับถมของมวลดิน

ผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางการเกษตรของพื้นที่เกษตรกรรม จะถูกนำมากำหนดแนวทางที่เหมาะสมเพื่อฟื้นฟูสภาพพื้นที่ในด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินและคุณภาพของแหล่งน้ำทางการเกษตรสำหรับพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้น และรวมถึงพื้นที่ที่มีโอกาสได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินถล่มในอนาคตได้ดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2549)

- 1) อพยพบ้านเรือนที่อยู่ในพื้นที่น้ำท่วมถึงหรืออยู่ในเส้นทางน้ำ ให้อยู่ในพื้นที่ที่สูงขึ้นหรืออยู่ในที่ปลอดภัย เพราะ โอกาสเกิดพิบัติภัยซ้ำมี โอกาสสูงมาก (ถ้ามีฝนตกมากในระดับมากกว่า 100 มม. ในช่วง 2 วัน)
- 2) ทางน้ำธรรมชาติและเส้นทางคมนาคม ทางน้ำธรรมชาติจำเป็นต้องขุดลอกใหม่ โดยนำตะกอนดินมาปรับสภาพพื้นที่ทำกินริมฝั่งน้ำที่ถูกกัดเซาะไป สะพานควรริบสร้างแบบชั่วคราวก่อน ต้องรอให้มีการปรับร่องน้ำใหม่และให้ผ่านไป 1-2 ปี เพื่อให้มีการปรับตัวของทางน้ำให้คงที่ก่อน จึงออกแบบสะพานถาวรต่อไป
- 3) ด้านที่ดิน สามารถจำแนกได้ 4 พื้นที่ โดยมีแนวทางการฟื้นฟูและการจัดการที่แตกต่างกัน ดังนี้
 - **พื้นที่เกิดดินถล่ม** ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง มีพื้นผิวแบนกว้าง จะถล่มเป็นแผ่นหรือเป็นริ้ว ขึ้นกับสัณฐานของหินพื้นที่ที่อยู่ใต้ชั้นดิน พื้นที่เหล่านี้มีทั้งพื้นที่ป่าสวนสัก ไม้ผล โดยสามารถเกิดได้ทั่วไปไม่ว่าการใช้ที่ดินจะเป็นอย่างไร เมื่อเกิดดินถล่มไปแล้วบางส่วนจะเหลือแต่หินพื้นที่เป็นหินดินดานและฟิลไลต์ ไม่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ ต้องปล่อยให้ตามธรรมชาติ ให้เกิดการสลายตัวและพืชพรรณเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

- **พื้นที่เชิงเขา** เป็นพื้นที่ที่ถูกตะกอนมาทับถม โดยมีแนวทางการฟื้นฟูควรดำเนินการเป็น 2 ระยะ คือ
 - (1) ระยะเร่งด่วน: สำหรับผลไม้และไม้ยืนต้น ควรเร่งเอาดินรอบโคนต้นออกให้เร็วที่สุด และทำร่องระบายน้ำ จะทำให้ไม้ผลมีเปอร์เซ็นต์การรอดตายสูง โดยเฉพาะกลางสาดซึ่งมีแนวโน้มที่จะตายเร็วที่สุด ถ้าตะกอนหนาเกิน 50 เซนติเมตร. หากไม่เอาตะกอนดินออกหรือเปิดร่องระบายน้ำ พืชจะตายภายใน 7 วัน (หลัง 7 วัน การฟื้นฟูจะไม่ได้ผล เนื่องจากพืชขาดอากาศหายใจ และรากเน่า)
 - (2) ระยะยาว: พื้นที่สวนที่ถูกตะกอนทับถมและน้ำท่วม ไม้ยืนต้นที่รอดตายไปได้ก็จะชะงักและโทรมในปีต่อไป บางต้นก็จะตายไปจึงต้องมีการวางแผนการปรับพื้นที่ การปลูกแซม และการปลูกใหม่ทั้งสวน ต้องมีการวางระบบการระบายน้ำของแปลงด้วย เพราะปัจจุบันปลูกในลักษณะสวนผสม ไม่มีระยะปลูกที่แน่นอน จึงไม่สามารถจัดระบบการระบายน้ำได้
- **พื้นที่ราบริมน้ำ** เดิมใช้ทำนา ปลูกพืชไร่ พื้นที่เหล่านี้ถูกทำลายไปเป็นส่วนมาก การพัฒนาพื้นที่ จะต้องสอดคล้องกับกิจกรรมการขุดลอกร่องน้ำและปรับเปลี่ยนทางน้ำ มีการปรับระดับพื้นที่และจัดรูปแปลงนาสำหรับการทำนาและปลูกพืชอายุสั้น เพราะมีโอกาสที่จะได้รับความเสียหายจากน้ำป่าทุกปี การปรับปรุงดิน ควรปลูกพืชปุ๋ยสดร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีที่เหมาะสม ตามชนิดของพืชและสมบัติของดินซึ่งจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ดินเนื่องจากตะกอนที่มาทับถมมีความแตกต่างกัน
- **พื้นที่นาที่ถูกตะกอนทับถม** เนื่องจากตะกอนที่มาทับถมเป็นตะกอนเนื้อละเอียด มีความอุดมสมบูรณ์ แต่จะมีปัญหาจะมีการแตกกระแหงและจับตัวเป็นก้อนเมื่อดินแห้ง ปัจจุบันหน้าดินเดิมที่ถูกทับอยู่จะขาดอากาศและเกิดการเน่าของหญ้ามีก๊าซต้องรอให้ดินแห้ง แล้วดำเนินการปรับรูปแปลงนา ร่วมกับการปรับสภาพพื้นที่ให้ราบเรียบ ยกคันนาใหม่ ในพื้นที่ที่มีตะกอนทับถมหนาและเป็นพื้นที่กว้างจำเป็นต้องมีการปรับสภาพแปลงนาเป็นขั้นบันไดกว้างเพื่อให้พื้นนากระจายน้ำได้สม่ำเสมอ หลังการปรับรูปแปลงนาแล้ว ควรปรับปรุงบำรุงดินด้วยพืชปุ๋ยสด

4.2. แนวทางการป้องกันการเกิดแผ่นดินถล่มบนพื้นที่สูงชัน

ผลจากการวิเคราะห์และการจัดทำแผนที่แสดงระดับความเปราะบางของพื้นที่ต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม สามารถนำมากำหนดแนวทางการป้องกันการเกิดแผ่นดินถล่มในอนาคต โดยการใช้ร่วมกับสารสนเทศด้านสภาพอากาศเพื่อการเฝ้าระวังและเตือนภัยในระดับชุมชน รวมถึงวางแผน

ทางการแก้ไขปัญหาแผ่นดินถล่มในระยะยาวตามหลักการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมดังนี้

1. ขุดลอกร่องน้ำธรรมชาติ

เนื่องจากสภาพเดิม ทางน้ำเป็นทางน้ำแคบ สองฝั่งเป็นดินตะกอนที่มีความอุดมสมบูรณ์ จึงใช้เป็นที่ดินทำกิน ทั้งทำนา ปลูกพืชไร่ ทำสวน รวมทั้งเป็นที่ตั้งบ้านเรือนที่อยู่อาศัยของเกษตรกรบางราย พื้นที่เหล่านี้เสียหายเกือบทั้งหมด เนื่องจากลำน้ำขยายกว้างพื้นที่ส่วนใหญ่กลายเป็นลำน้ำ พื้นที่ที่เหลือจะมีทั้งพื้นที่ที่หน้าดินถูกกัดเซาะและบางพื้นที่มีตะกอนมาทับถม ลำน้ำนอกจากจะขยายกว้างออกไปแล้ว ยังมีการกัดเซาะเปลี่ยนทางเดินของลำน้ำด้วย การขุดลอกลำน้ำจึงต้องมีการปรับทิศทางทางไหลของน้ำให้เหมาะสมด้วย ซึ่งจะต้องรองรับกับการก่อสร้างถนนและสะพานด้วย ในส่วนของที่ดินทำกินริมฝั่งลำน้ำ เมื่อมีการขุดลอกจะนำดินมาปรับสภาพพื้นที่ริมน้ำ เช่นการปรับระดับ การทำคันบันได การปรับรูปแปลงนา เมื่อมีการปรับปรุงบำรุงดิน ด้วยพืชปุ๋ยสด ปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมีที่เหมาะสมกับชนิดของพืชและสมบัติของดิน พื้นที่เหล่านี้ก็จะสามารถเป็นที่ดินทำกินสำหรับการปลูกพืชอายุสั้นได้อย่างเข้มข้นและหลากหลาย

2. ปรับสภาพที่ดินทำกินและจัดรูปที่ดิน

ในส่วนพื้นที่ดินถล่มมาทับถมที่สวนไม้ผลและบ้านเรือน นอกจากจะต้องปรับสภาพพื้นที่ที่ถล่มตะกอนที่หนาออกไปรวมทั้งการทำระบบการระบายน้ำแล้ว บางพื้นที่จะต้องมีการจัดรูปที่ดินเนื่องจากสภาพพื้นที่หลายแห่งมีความแปรปรวนสามารถเกิดดินถล่มได้ง่าย จึงควรมีการจัดรูปที่ดินให้เหมาะสมตามความจำเป็น

3. ปรับสภาพพื้นที่นาที่มีตะกอนทับถม

พื้นที่นาเป็นพื้นที่ที่ได้รับความเสียหายจากตะกอนที่มาทับถม ปกติแล้วถ้าตะกอนไม่หนามาก (หนามากกว่า 25 ซม.) ก็จะเป็นประโยชน์ เนื่องจากดินตะกอนจะมีความอุดมสมบูรณ์ดี แต่ถ้าหนามาก พื้นที่นาจึงจะกักเก็บน้ำไม่ได้ เนื่องจากพื้นที่สูงขึ้น และลาดเอียงไม่สม่ำเสมอ จึงจำเป็นต้องมีการปรับหน้าดินและยกคันนาใหม่ หรือบางแห่งเป็นนาขั้นบันได เมื่อมีการใช้พืชปุ๋ยสด ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์น้ำพด.2 จะทำให้ที่ดินมีความเหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวได้ดีเหมือนเดิมและในระยะต่อไปจะดีกว่าเดิมด้วย

4. จัดการระบบอนุรักษ์ดินและน้ำในพื้นที่ดินถล่ม

ในส่วนแผ่นดินถล่มจะเหลือเป็นหิน โส่ไม่สามารถดำเนินการอะไรได้จำเป็น ต้องปล่อยให้พื้นผิวตามธรรมชาติ ส่วนของมวลดินที่ถล่มลงมาต้องจัดระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ และให้มีพืชปกคลุมให้เร็วที่สุด เมื่อดินมีการเกาะตัว ไม้ป่าก็จะกลับคืนมา

5. แนวทางอื่นๆ

สร้างอ่างเก็บน้ำ เขื่อน หรือฝาย ดักตะกอน หรือเก็บกักน้ำ และชะลอความรุนแรงของน้ำ รวมทั้งแนวทางอื่นๆ เช่น จัดทำแผนแม่บทการใช้ที่ดินและการจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำ ประชาสัมพันธ์และให้ความรู้เรื่องการเกิดดินถล่ม น้ำท่วม สร้างระบบเตือนภัย

