



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม สาขา อนุรักษ์วิทยา ภาควิชา

เรื่อง การเปรียบเทียบวิธีการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม
ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล จังหวัดอุตรดิตถ์

Comparison of Methodologies for Landslide Susceptibility Assessment
at Huai Maephun Watershed, Uttaradit Province

นามผู้วิจัย นางสาวนันทยา จันทสร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก (อาจารย์ปิยพงษ์ ทองดินอก, ปร.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม (ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย อรุณประภารัตน์, D.Agr.)

หัวหน้าภาควิชา (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.ชนิ เอ็มพันธุ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กาญจนา ชีระกุล, D.Agr.)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบวิธีการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม
ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล จังหวัดอุตรดิตถ์

Comparison of Methodologies for Landslide Susceptibility Assessment
at Huai Maephun Watershed, Uttaradit Province

โดย

นางสาวมนันยา จันทสร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2555

มนันยา จันทสร 2555: การเปรียบเทียบวิธีการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม
ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล จังหวัดอุตรดิตถ์ ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการ
ลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม) สาขาการจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ปิยพงษ์ ทองดินนอก, ปร.ด. 96 หน้า

การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล จังหวัดอุตรดิตถ์
ด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม (weighted factor index method) และวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ (statistical
approach) โดยการรวบรวมปัจจัยที่ทำให้เกิดดินถล่ม ได้แก่ ความลาดชัน ชนิดของหิน ระดับ
ความสูง การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ลักษณะเนื้อดิน และปริมาณน้ำฝน มาทำการ
วิเคราะห์ ซึ่งวิธีดัชนีปัจจัยร่วมทำการประเมินด้วยการนำปัจจัยทั้งหมดที่ทำให้เกิดดินถล่มมาจัด
จำแนกลำดับความรุนแรงและให้น้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยโดยใช้กระบวนการลำดับชั้น
เชิงวิเคราะห์ (AHP) ในขณะที่วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ ทำการประเมินโดยการวิเคราะห์เลือกตัวแปร
อิสระเข้าสู่การวิเคราะห์ถดถอยแบบโลจิสติก (logistic regression) โดยนำตัวแปรอิสระทุกตัวมา
ทำการจับคู่กับการเกิดดินถล่ม เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดดินถล่มกับตัวแปรอิสระ
ทำให้ได้แบบจำลองทางสถิติที่ใช้คาดการณ์เพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม

ผลการศึกษาพบว่า วิธีการประเมินโดยวิธีดัชนีปัจจัยร่วมให้ค่าน้ำหนักแต่ละปัจจัย
แตกต่างกันไปตามความสำคัญของศักยภาพที่ทำให้เกิดดินถล่ม และนำผลรวมของค่าคะแนน
มาแบ่งระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มได้ 5 ระดับ คือ สูงมากคิดเป็นร้อยละ 34.48
ระดับสูง ปานกลาง ต่ำ และต่ำมาก คิดเป็นร้อยละ 46.74, 10.32, 4.87 และ 3.22 ตามลำดับ ส่วนใน
วิธีวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุด ได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน
รองลงมาได้แก่ ธรณีวิทยา ปริมาณน้ำฝน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความลาดชัน และระดับความสูง
ตามลำดับ และแบ่งระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มได้ 5 ระดับ คือ สูงมากคิดเป็นร้อยละ
3.10 ระดับสูง ปานกลาง ต่ำ และต่ำมาก คิดเป็นร้อยละ 45.39, 12.37, 21.71 และ 17.42 ตามลำดับ
และผลการเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่เกิดดินถล่มจริงในอดีต พบว่าวิธีดัชนีปัจจัยร่วมให้ค่าความ
ถูกต้อง Kappa statistic และ overall accuracy เท่ากับ 0.33 และร้อยละ 68.89 ตามลำดับ ในขณะที่
วิธีทางสถิติให้ค่าความถูกต้อง 0.65 และร้อยละ 82.10 ตามลำดับ วิธีวิเคราะห์ทางสถิติจึงเป็นวิธี
ที่เหมาะสมในการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล จังหวัด
อุตรดิตถ์

Mananya Chantasorn 2012: Comparison of Methodologies for Landslide Susceptibility Assessment at Huai Maephun Watershed, Uttaradit Province. Master of Science (Watershed and Environmental Management), Major Field: Watershed and Environmental Management, Department of Conservation. Thesis Advisor: Mr. Piyapong Tongdeenok, Ph.D. 96 pages.

Landslide susceptibility assessment in Huai Maephun watershed, Uttaradit province, was carried out using weighted index factor method and statistical approach analysis. The factors causing landslide are composed of slope, type of rock, elevation, landuse, soil texture and rainfall amount. Most factor were classified individually on the basis of the degree of susceptibility and importance values by Analytical Hierarchy (AHP) technique. The logistic regression analysis was applied to the weighted index factors. Most factors were paired with the occurrence of landslide to find the relationships and to formulate the statistical model for prediction of landslide susceptibility area.

The result shows that, by using weighted index factor method, the weighted index varied on the importance values of landslide potentials. The degree of landslide susceptibility of study area were scaled down as follows: very high (34.48%), high (46.74%), moderate (10.32%), low (4.87%) and very low (3.22%). Meanwhile the statistical approach analysis shows that the most significant factor is soil texture, then type of rock, rainfall amount, landuse, slope and elevation respectively. The degree of landslide susceptibility were also scaled down as follows: very high (3.10%), high (45.39%), moderate (12.37%), low (21.71%) and very low (17.42%). By comparison of the predictions with the actual landslide occurred in the past, it was founded that the weighted index factor method results high accuracy with 0.33 of Kappa statistic (KHAT) and 68.89 % of overall accuracy. While the statistical approach analysis results 0.65 of Kappa statistic and 82.10 % of overall accuracy. This can be concluded that the statistical approach analysis is suitable method for landslide susceptibility assessment in Huai Maephun watershed, Uttaradit province.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากการสนับสนุนค้ำจุนจากหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณประธานกรรมการที่ปรึกษา ดร. ปิยะพงษ์ ทองดินนอก พร้อมกรรมการที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.วันชัย อรุณประภรณ์ ที่ได้ให้โอกาสในการทำการวิจัย ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ แก้ไขปัญหาต่าง ๆ ทุกด้านซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์ครบถ้วน ตลอดจน ดร.เพิ่มศักดิ์ มกราทิรมย์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก และ ผศ.ดร. สมนิมิตร พุกงาม ประธานการสอบ ที่ให้คำแนะนำในการปรับปรุง แก้ไขข้อบกพร่องจากการสอบ เพื่อความถูกต้องและความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้สนับสนุนช่วยเหลือและอนุเคราะห์ข้อมูลซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณพี่น้อง และเพื่อนๆ สาขาวิชาการจัดการลุ่มน้ำ และสิ่งแวดล้อมทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ และคอยเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และคุณสุรชัย บุษรานนท์ ที่ให้การสนับสนุนด้านการเรียนการศึกษา และเป็นกำลังใจให้เสมอมาจนทำให้มีวันนี้ คุณค่าแห่งความดี และคุณประโยชน์ของวิทยานิพนธ์อันเกิดจากความตั้งใจเล่มนี้ ขออุทิศแด่ทุกท่านที่กล่าวมาด้วยใจจริง

มนันยา จันทสร

มีนาคม 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	36
อุปกรณ์	36
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	54
สรุปและข้อเสนอแนะ	83
สรุป	83
ข้อเสนอแนะ	84
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	85
ภาคผนวก	92
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	96

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปัจจัยของพืชปกคลุมลาดดินที่มีผลต่อเสถียรภาพของลาดชัน	13
2	ขนาดของการเปรียบเทียบระดับความสำคัญ	42
3	ดัชนีจากการสุ่มตัวอย่าง	43
4	คะแนนเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจของปัจจัยต่าง ๆ โดยผู้เชี่ยวชาญ	44
5	คะแนนค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยหลัก	45
6	ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พุด ตำบลแม่พุด อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	46
7	ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มจากผลรวมของคะแนนค่าความสำคัญของปัจจัย	48
8	ตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม	49
9	ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มจากความเป็นของพื้นที่การเกิดดินถล่ม	50
10	สถิติความลาดชันเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริง	55
11	สถิติระดับความสูงเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริง	57
12	สถิติชนิดของหินเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริง	58
13	สถิติของการใช้ประโยชน์ที่ดินเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริง	59
14	สถิติลักษณะเนื้อดินเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริง	61
15	สถิติปริมาณน้ำฝนเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริง	62
16	ผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม	64
17	จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ	66
18	ผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ	71
19	ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วมกับรอยดินถล่ม	72
20	ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติกับรอยดินถล่ม	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
21 ค่าความถูกต้องทั้งหมดจากการเปรียบเทียบการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มกับตำแหน่งที่เกิดดินถล่มจริงในอดีตในกลุ่มน้ำห้วยแม่พูล	75
22 ค่าร้อยละความถูกต้องจากการเปรียบเทียบการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วมกับตำแหน่งที่เกิดดินถล่มจริงในอดีตในกลุ่มน้ำห้วยแม่พูล	75
23 ค่าร้อยละความถูกต้องจากการเปรียบเทียบการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติร่วมกับตำแหน่งที่เกิดดินถล่มจริงในอดีตในกลุ่มน้ำห้วยแม่พูล	76
24 ค่าร้อยละความถูกต้องจากการเปรียบเทียบการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มกับตำแหน่งที่เกิดดินถล่มจริงในอดีตในกลุ่มน้ำห้วยแม่พูล	76
25 ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี ตำบลน้ำหมัน อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์	78
26 ผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วมของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี ตำบลน้ำหมัน อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์	79
27 ผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี ตำบลน้ำหมัน อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์	82

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การจำแนกประเภทของการเกิดดินถล่มตามชนิดของการเคลื่อนที่	6
2 ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินถล่ม	9
3 ค่าความลาดชันต่ำสุดของการเกิดแต่ละรูปแบบการพิบัติ	9
4 ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุต้นกำเนิดดินกับจำนวนกรณีการพิบัติ	11
5 ปัจจัยของพืชปกคลุมที่มีผลต่อเสถียรภาพของลาดชัน	12
6 ระดับน้ำใต้ดิน 2 ชั้น เนื่องจากฝนที่ตกหนักในระยะเวลาสั้น ๆ	15
7 วิธีการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม	16
8 ที่ตั้งลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	27
9 ลักษณะภูมิประเทศในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	29
10 ลักษณะภูมิประเทศ จำแนกตามระดับความสูงในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	29
11 ระดับความลาดชันในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	30
12 ข้อมูลธรณีวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	31
13 สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	33
14 ลักษณะเนื้อดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	34
15 ขั้นตอนการวิจัย	37
16 การสร้างแผนที่จำแนกระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	51
17 รอยเหตุการณ์ดินถล่มของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ วันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2549	52
18 ปริมาณน้ำฝนสะสม 3 วัน รอบปีการเกิดซ้ำใน 100 ปี ของปริมาณน้ำฝนรายปี ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	63

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่ประเมินด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม ของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	65
20	ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่ประเมินด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ ของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์	71
21	ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่ประเมินด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม ของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี ตำบลน้ำหมัน อำเภอกำปला จังหวัดอุตรดิตถ์	79
22	รอยเหตุการณ์ดินถล่มของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี ตำบลน้ำหมัน อำเภอกำปला จังหวัดอุตรดิตถ์ วันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2549	81

การเปรียบเทียบวิธีการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล จังหวัดอุตรดิตถ์

Comparison of Methodologies for Landslide Susceptibility Assessment at Huai Maephun Watershed, Uttaradit Province

คำนำ

ดินถล่มเป็นภัยธรรมชาติที่เกิดจากมวลดินและหินที่ไหลมาตามลาดเขาได้เกิดการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วจากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลก โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง สำหรับดินถล่มในประเทศไทยมักเกิดหลังจากเกิดพายุฝนตกหนักรุนแรงต่อเนื่องหรือหลังจากเกิดฝนหนักเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งทำให้เกิดน้ำป่าไหลหลากและดินถล่มตามมา เพราะเมื่อฝนตกหนักต่อเนื่องเป็นเวลานานน้ำจะซึมลงไปดิน ปริมาณน้ำในดินจึงเพิ่มขึ้น เมื่อถึงจุดที่ดินเกิดการอิ่มตัว ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินและแรงยึดเกาะระหว่างมวลดินลดลง แรงต้านทานการเลื่อนไหลของดินจึงลดลงตามไปด้วย จึงเกิดการเลื่อนไถลของมวลดินและหินทำให้เกิดดินถล่ม พื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มจึงมักเป็นพื้นที่ที่อยู่ตามลาดเชิงเขา หรือพื้นที่ลุ่มที่อยู่ติดกับภูเขาที่มีการพังทลายของดินสูง หรือเป็นแหล่งต้นน้ำที่มีอัตราในการทำลายป่าไม้สูง และจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ทำให้มีการรบกวนพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดภัยดินถล่มมากขึ้น ทำให้เหตุการณ์ดินถล่มที่เกิดขึ้นจึงมีรุนแรงฉับพลัน และยากต่อการเตือนภัยหรือหลบหนีได้ทัน เช่น กรณีเหตุการณ์ดินถล่มวันที่ 22 พฤศจิกายน 2531 ที่ ตำบลกะทูน อำเภอพิบูล จังหวัดนครศรีธรรมราช มีผู้เสียชีวิตถึง 230 คน เหตุการณ์ดินถล่มวันที่ 23 พฤษภาคม 2549 ที่จังหวัดอุตรดิตถ์ สุโขทัย และแพร่ มีผู้เสียชีวิตในเหตุการณ์ดินถล่มครั้งนี้ถึง 83 คน สร้างความเสียหายคิดเป็นเงินสูงกว่า 300 ล้านบาท (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) และเหตุการณ์ดินถล่มครั้งล่าสุดวันที่ 9 กันยายน 2554 ที่ตำบลน้ำไผ่ อำเภอน้ำปาด จังหวัดอุตรดิตถ์ มีผู้เสียชีวิตในเหตุการณ์ดินถล่มครั้งนี้ 6 คน สร้างความเสียหายคิดเป็นเงินสูงกว่า 263 ล้านบาท (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2554)

การจัดทำแผนที่ประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการจัดการปัญหา เพื่อที่จะทำให้ทราบความน่าจะเป็น ที่ตั้ง ความถี่ของการเกิดดินถล่ม รวมถึงสามารถทำนายโอกาสการเกิดดินถล่มในอนาคตได้ วิธีการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิด

ดินถล่มในปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ วิธีทางธรณีสัณฐาน (geomorphology method) วิธีดัชนีปัจจัยร่วม (weighted factor index method) วิธีการประเมินโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ (statistical approach) และวิธีทางธรณีเทคนิค (geotechnical engineering method)

ดังนั้น เพื่อเป็นการสร้างและพัฒนาองค์ความรู้ที่เป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญสำหรับทางภาครัฐในการวางแผนบรรเทาหรือป้องกันภัยที่จะเกิดขึ้นจากเหตุการณ์ดินถล่ม และเป็นการสร้างความตระหนักและความเข้าใจให้แก่ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ประสบภัยดินถล่ม และเกิดความสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนจำนวนมาก ให้มีโอกาสนในการความพร้อมพร้อมเฝ้าระวังในการรับมือกับปัญหาที่อาจเกิดขึ้นอีกในอนาคต การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่ม และทำการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม และวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ ตลอดจนมีการนำผลลัพธ์ในรูปแบบของแผนที่พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มของแต่ละวิธีมาทำการเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่เกิดภัยพิบัติจริงในอดีต เพื่อให้ทราบวิธีการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มที่เหมาะสมต่อพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูลมากที่สุด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์
2. เพื่อประเมินหาพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม โดยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม และวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ
3. เพื่อเปรียบเทียบวิธีการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม และหาวิธีการที่เหมาะสมในการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล

การตรวจเอกสาร

ดินถล่ม

1. ความหมาย

ดินถล่ม (landslides) หมายถึง การเคลื่อนที่ของแผ่นดินและกระบวนการซึ่งเกี่ยวข้องกับ การเคลื่อนที่ของแผ่นดิน หิน ตามแนวลาดชัน เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก โดยไม่มีตัวกลางใน การพัดพา เช่นลม หรือกระแสน้ำ (Bloom, 1998) โดยที่การเคลื่อนที่ของมวลเหล่านี้มีความเร็ว ปานกลางถึงเร็วมาก (คณะกรรมการจัดทำพจนานุกรมรัฐพีวิทยา, 2541)

2. บันทึกเหตุการณ์ดินถล่ม

วรากร และคณะ (2546) ได้รวบรวมเหตุการณ์ดินถล่มที่เกิดขึ้น ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2055 (ค.ศ. 1512) - 2545 พบว่าแผ่นดินถล่มก่อให้เกิดความเสียหายแก่หลายประเทศ เช่น ได้เกิดแผ่นดินถล่มที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ณ มลรัฐแคลิฟอร์เนีย ซึ่งสาเหตุเกิดจากมีฝนตกหนัก และนานถึง 32 ชั่วโมง ประกอบกับประชาชนได้ขยายไปตั้งถิ่นฐานแถบภูเขาที่มีความสูงชันมาก จึง ทำให้เกิดความเสียหายมากมาย เช่น เมืองซันตาครูซ ทำลายบ้านประชากรไปกว่า 100 หลัง รวมทั้ง สิ่งสาธารณูปโภคต่าง ๆ และมีผู้เสียชีวิต 14 คน ปริมาณดิน หิน และตะกอนที่ถล่ม 459,000 ลูกบาศก์เมตร มูลค่าความเสียหายประมาณ 280 ล้านดอลลาร์ (Cotton and Cochrane, 1982)

จากรายงานบันทึกเหตุการณ์ดินถล่มที่สำคัญในอดีต (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) พบว่ามี เหตุการณ์ที่สร้างความเสียหาย และส่งผลต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชนหลายเหตุการณ์ ได้แก่ ดินถล่มที่บ้านกะทูนเหนือ อำเภอพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช วันที่ 22 พฤศจิกายน 2531 มี ผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตประมาณ 230 คน บ้านเรือนเสียหายประมาณ 1,500 หลัง พื้นที่การเกษตร เสียหาย 6,150 ไร่ คิดเป็นมูลค่าประมาณ 1,000 ล้านบาท ดินถล่มที่อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่ วันที่ 4 พฤษภาคม พ.ศ. 2544 มีผู้เสียชีวิต 43 คน บ้านเรือนเสียหาย 18 หลัง คิดเป็นมูลค่าประมาณ 100 ล้านบาท ดินถล่มที่บ้านน้ำต๊ะ บ้านน้ำรี ตำบลน้ำหมัน อำเภอท่าปลา บ้านผามูบ บ้านนหาราช ตำบล แม่พูล อำเภอลับแล บ้านไฮ้ฮ้า บ้านน้ำไคร้ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ วันที่ 23 พฤษภาคม 2549 มีผู้เสียชีวิต 75 คน บ้านเรือนเสียหายทั้งสิ้น 483 หลัง เสียหายบางส่วน 3,478 หลัง พื้นที่การเกษตร เสียหาย 481,830 ไร่ คิดเป็นมูลค่าประมาณ 300 ล้านบาท และเหตุการณ์ดินถล่มล่าสุดที่บ้านเทพพนม

ตำบลเขาพนม อำเภอเขาพนม จังหวัดกระบี่ วันที่ 30 มีนาคม 2554 มีบ้านเรือนเสียหาย 10 หลัง โดยเกิดการดินถล่มในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นลักษณะตะกอนไหล (debris flow) ซึ่งเกิดจากน้ำฝนเป็นปัจจัยหลักในการกระตุ้นให้เกิดการไหลที่ปะปนกันทั้งตะกอนดิน หิน และซากต้นไม้ และมักเกิดขึ้น ตามทางน้ำเดิมที่มีอยู่แล้วหรือบนร่องเล็ก ๆ บนลาดเขา โดยมีปริมาณฝนตกมากกว่า 100 มม. ต่อวันและมีการสะสมในช่วง 2-3 วัน ตลอดจนลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่เป็นหินเนื้อแน่นแต่ผุง่าย ดินเป็นดินเนื้อหยาบถึงเนื้อละเอียดภูมิประเทศเป็นภูเขาสูงชัน ที่ลาดเชิงเขา หุบเขาและหน้าผา และเหตุการณ์ดินถล่มมักเกิดควบคู่กับการเกิดน้ำป่าไหลหลากเมื่อฝนตกหนัก (สำนักบริหารและพัฒนาการใช้ที่ดิน, 2549)

3. ลักษณะและประเภทของการเกิดดินถล่ม

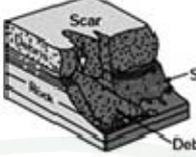
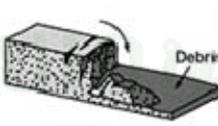
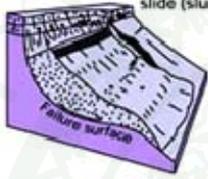
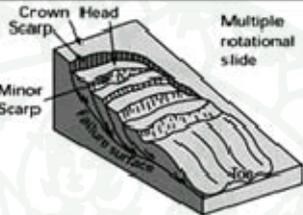
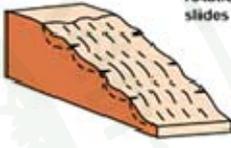
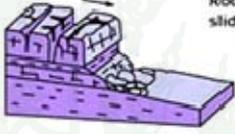
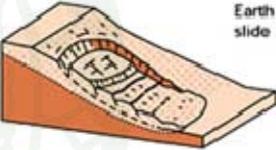
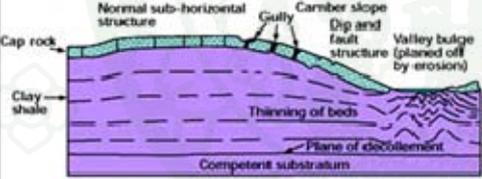
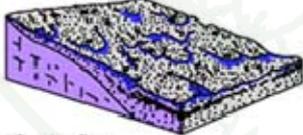
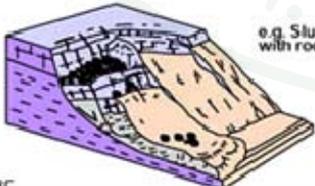
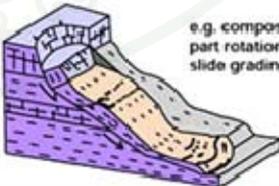
การเกิดดินถล่มมีอยู่หลายลักษณะและมีผู้ให้การจัดจำแนกประเภทของการเกิดดินถล่มอยู่หลายท่าน ซึ่งส่วนใหญ่มักจะจำแนกประเภทของการเกิดดินถล่มตามลักษณะความแตกต่างของชนิดวัตถุที่มาประกอบ อัตราและชนิดของการเคลื่อนที่ ดังเช่นการจัดจำแนกประเภทดินถล่มโดย Varnes (1978) ที่ได้แบ่งประเภทของการเกิดดินถล่มตามชนิดของการเคลื่อนที่ ซึ่งได้รับการยอมรับและมักถูกนำมาใช้ในการจำแนกประเภทอยู่บ่อยครั้ง (ภาพที่ 1) อธิบายได้ดังนี้

3.1 การร่วง (fall) คือการที่มวลของดินหรือหินหลุดออกจากลาดเอียงที่มีความลาดชันสูงเคลื่อนตัวลงมาโดยการตกอิสระตามแรงดึงดูดโลก หรือกลิ้ง กระจดอนลงมาตามลาดเอียง

3.2 การล้มคว่ำ (topples) คือการพลิกคว่ำของมวลดินหรือหินรอบจุดหมุนซึ่งเป็นศูนย์กลางของการเคลื่อนตัวลงมาตามลาดเอียง อาจเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักกดทับที่อยู่เหนือลาดเอียงหรือแรงดันน้ำ หรือน้ำแข็งที่อยู่ในรอยแตก

3.3 การถล่ม (slides) คือการเคลื่อนตัวลงของมวลดิน หรือหินตามแนวการพิบัติลงตามลาดเอียง

3.4 การไหล (flows) เป็นการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของวัสดุที่มีลักษณะคล้ายของเหลวที่มีความหนืดบนระนาบพิบัติ โดยมีลักษณะการเคลื่อนตัวอย่างต่อเนื่องเป็นแนวแคบ

Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS		 Rock fall	 Debris fall Scree Debris cone	 Earth fall Fine soil Rock Colluvium Debris cone
		 Rock topple	 Debris topple Debris cone	 Earth topple Debris cone
SLIDES	Rotational	 Single rotational slide (slump) Failure surface	 Multiple rotational slide Crown Scarp Head Minor Scarp	 Successive rotational slides
	Translational (Planar)	 Rock slide	 Debris slide	 Earth slide
SIPREADS				 Earth spread e.g. cambering and valley bulging
FLOWS	 Spillflow flows (Periglacial debris flows)	 Debris flow	 Earth flow (mud flow)	
COMPLEX	 e.g. Slump-earthflow with rockfall debris		 e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe	

ภาพที่ 1 การจำแนกประเภทของการเกิดดินถล่มตามชนิดของการเคลื่อนที่

ที่มา: Varnes (1978)

3.5 การเคลื่อนที่แบบซับซ้อน (complex) แผ่นดินถล่มอาจประกอบด้วย การเคลื่อนตัวมากกว่าหนึ่งแบบ โดยทั่วไปวัสดุเริ่มต้นเคลื่อนที่แบบหนึ่ง เช่น debris slide และในขณะที่เคลื่อนที่ วัสดุอาจเปลี่ยนรูปแบบเป็นแบบอื่น เช่น debris flow (Cruden and Varnes, 1996)

4. สาเหตุของการเกิดดินถล่ม

สาเหตุของดินถล่มเกิดจากความไม่มีเสถียรภาพของพื้นที่ลาดชัน โดยปกติมีสาเหตุจากธรรมชาติ หรือบางครั้งก็มีปัจจัยอื่นเป็นตัวกระตุ้น ซึ่งสามารถสรุปสาเหตุหลักที่เป็นปัจจัยของการเกิดได้ดังนี้ คือ ปัจจัยทางธรณีวิทยา ปัจจัยทางกายภาพ และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของมนุษย์ การศึกษาความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากภัยดินถล่มจึงจำเป็นต้องอาศัยความรู้ในหลายสาขาวิชา รวมทั้งข้อมูลและหลักฐาน ในอดีตที่เกิดดินถล่มมาร่วมในการวิเคราะห์ จึงทำให้มีผู้เชี่ยวชาญและหน่วยงานต่าง ๆ ได้ทำการศึกษาวิจัยโดยสรุปปัจจัยพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่มได้ดังนี้

ศูนย์ข้อมูลและวิจัยทางวิศวกรรมศาสตร์ (2546) และสำนักบริหารและพัฒนาการใช้ที่ดิน (2549), California Geology (1999), Geoscience Australia (2006) และ WHO (2006) ได้อธิบายถึงสาเหตุของการเกิดดินถล่มมีว่าอยู่ 2 ประการใหญ่ ๆ คือ สาเหตุจากธรรมชาติ ประกอบด้วย สภาพภูมิประเทศ ได้แก่ ความสูง ความลาดชัน ลักษณะของความลาดเอียง ความต่างระดับของพื้นที่ รูปแบบและปริมาณฝน พืชพรรณและการใช้ที่ดิน สมบัติทางกายภาพของดิน ธรณีวิทยา ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ ปริมาณน้ำท่า อัตราการไหลของน้ำ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน การสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากแผ่นดินไหว การระเบิดของภูเขาไฟ การเกิดคลื่นยักษ์ การกัดเซาะหน้าผาและตลิ่งโดยคลื่นหรือแม่น้ำ รวมทั้งการเกิดหิมะถล่ม และสาเหตุจากมนุษย์ ประกอบด้วย การบุกรุกและตัดไม้ทำลายป่า การแผ้วถางป่าเพื่อปลูกพืชไร่การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่สูงโดยไม่มี การควบคุม เช่นการก่อสร้างที่อยู่อาศัยในพื้นที่ที่มีแนวโน้มเกิดดินถล่ม การสร้างถนน หรือเส้นทางคมนาคมในพื้นที่ที่เป็นภูเขา นอกจากนั้นแล้วการก่อสร้างบ้านเรือน และโครงสร้างพื้นฐานกีดขวางลำน้ำ การขุดเจาะเพื่อฝังท่อ หรือการขุดเจาะเคลื่อนย้ายหิน รวมทั้งการสั่นสะเทือนจากการจราจร และการระเบิดที่รุนแรง ก็เป็นสาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดดินถล่มได้เช่นกัน

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (2551) ได้ทำการจำแนกสาเหตุของการเกิดดินถล่มว่าเกิดจาก 2 สาเหตุหลักคือ สาเหตุจากมนุษย์ (manmade causes) ได้แก่ กิจกรรมที่มนุษย์ทำในบริเวณที่ลาด เช่น การก่อสร้างในบริเวณเชิงเขาที่ลาดชัน โดยไม่มีการคำนวณด้านวิศวกรรมที่ดีพอ การเกษตรในพื้นที่ลาดชันเชิงเขา การกำจัดพืชที่ปกคลุมดินและการตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งกิจกรรม

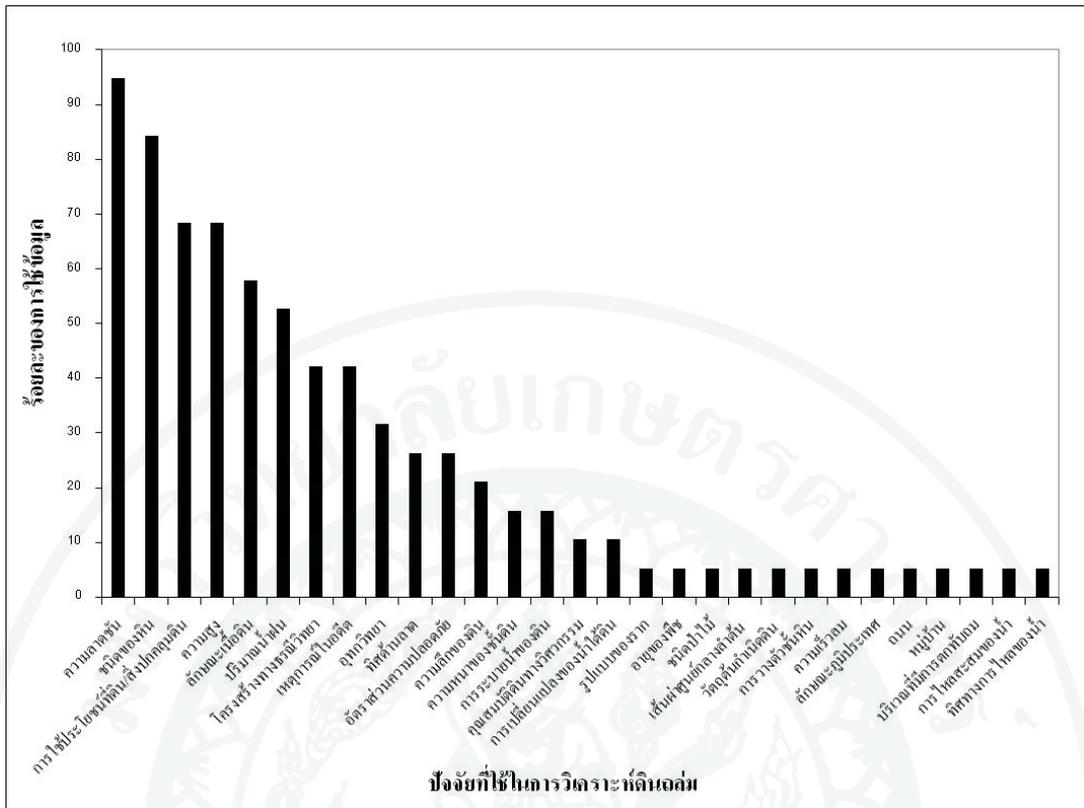
เหล่านี้ส่งผลให้พื้นที่ดังกล่าวมีความลาดชันเพิ่มขึ้นเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลของน้ำผิวดินและเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาล ซึ่งอาจก่อให้เกิดดินถล่มได้ และ สาเหตุจากธรรมชาติ (natural factors) เหตุการณ์ทางธรรมชาติก็เป็นสาเหตุให้เกิดดินถล่มหรือโคลนถล่มได้เช่นกัน เช่น ฝนตกหนัก การเกิดดินถล่มในประเทศไทยส่วนใหญ่มักมีฝนเป็นปัจจัยเร่งที่สำคัญเสมอ นอกจากนี้การเกิดดินถล่มอาจมีสาเหตุจากการเกิดภัยธรรมชาติหลาย ๆ อย่างในเวลาเดียวกัน ในบางกรณีภัยธรรมชาติเพียงภัยหนึ่งอาจส่งผลให้เกิดภัยต่าง ๆ ตามมาได้ ตัวอย่างเช่น แผ่นดินไหวซึ่งทำให้เกิดดินถล่มและเขื่อนแตก ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมอย่างรุนแรงในพื้นที่ท้ายน้ำที่มีระดับต่ำกว่า เหตุการณ์ลักษณะเช่นนี้อาจส่งผลกระทบต่อแตกต่างกันไป จากเหตุการณ์ที่มีสาเหตุการเกิดจากภัยพิบัติเพียงภัยเดียว

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2552) พบว่า มีปัจจัยจำนวนมากที่ถูกนำมาใช้ในการพิจารณาเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดดินถล่ม และเมื่อนำปัจจัยที่รวบรวมได้มาจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้ดังนี้ (ภาพที่ 2)

4.1 ความลาดชัน (slope)

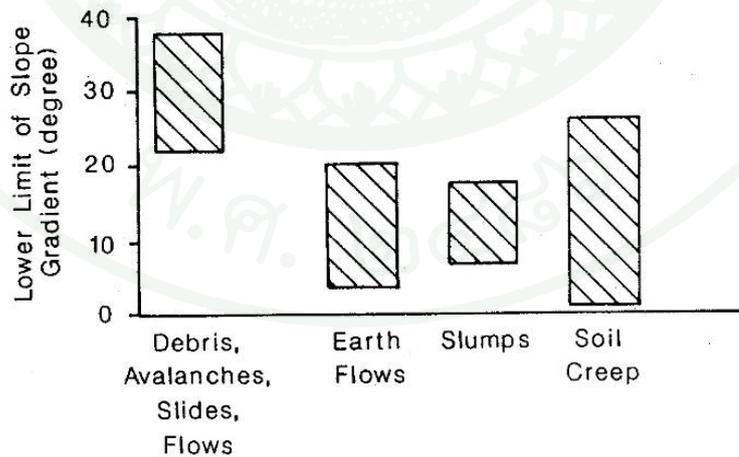
โดยทั่วไป พบว่าลาดดินมีความชันมากขึ้น แนวโน้มที่จะเกิดการพิบัติก็จะมีความมากขึ้น Crozier *et al.* (1980) พบว่า การพิบัติเริ่มเกิดขึ้นใน London clay เมื่อความชันมีค่าเท่ากับ 10 องศา ใน Mangawhara ประเทศนิวซีแลนด์ เมื่อความชันมีค่าเท่ากับ 17 องศา Pilgrim and Conacher (1974) พบว่าการพิบัติของลาดดินแบบ flows เริ่มเกิดขึ้นใน Chittering Valley ของ Western Australia เมื่อความชันมีค่ามากกว่า 15 องศา Rice *et al.* (1969) พบว่า ในสภาพภูมิอากาศปกติ การพิบัติเริ่มเกิดขึ้นในแถบเทือกเขาของ Southern California เมื่อความชันมีค่าเท่ากับ 38 องศา แต่จะเริ่มเกิดขึ้นที่ความชันเท่ากับ 31 องศา ในกรณีที่เกิดฝนตกหนัก จากสภาพเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1969 เป็นต้น

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่สามารถกำหนดค่าต่ำสุดของความชันที่เกิดแต่ละรูปแบบของการพิบัติของลาดดิน ได้แก่ Sidle *et al.* (1985) ได้จัดทำกราฟแสดงค่าต่ำสุดของความชันที่จะเกิดรูปแบบการพังทลาย (ภาพที่ 3) โดย Blong (1974) พบว่า ใน Mangawhara ประเทศนิวซีแลนด์ การพังทลายแบบ slides เกิดขึ้นเมื่อความชันมีค่าระหว่าง 17 องศา ถึงค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 30 องศา คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.8 องศา พังทลายแบบ flows เกิดขึ้นเมื่อมีความชันมากขึ้น คือมีค่าอยู่ระหว่าง 25 องศา ถึง มากกว่าหรือเท่ากับ 40 องศา คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31 องศา



ภาพที่ 2 ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินถล่ม

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2552)



ภาพที่ 3 ค่าความชันต่ำสุดของการเกิดแต่ละรูปแบบการพังทลาย

ที่มา: Sidle et al. (1985)

4.2 ชนิดหิน (rock type)

ชนิดของหินมีบทบาทที่สำคัญต่อลักษณะของดินและเสถียรภาพของไหล่เขา นอกจากนี้ลักษณะทางธรณีวิทยายังมีผลทำให้รูปแบบการพิบัติมีความแตกต่างกันด้วย เช่น กรณีชั้นดินที่เกิดจากการผุพังของหินแกรนิต (granitic soil) ที่มักมีการสะสมตัวของดินมาก การพิบัติสามารถเกิดได้ทั้งแบบส่วนโค้งวงกลม หรือแบบไม่เป็นส่วนโค้งวงกลมก็ได้ สำหรับกรณีของหินตะกอนที่มีชั้นหินแข็งอยู่ในระดับตื้น ๆ การพิบัติจะเป็นแบบขนานไปกับลาดดิน (infinite slope) หรือแบบไม่เป็นส่วนโค้งวงกลมได้ เป็นต้น

Moser and Hohensinn (1983), Popescu (1996) และ Vaunat *et al.* (1996) ได้สรุปลักษณะทางธรณีวิทยาของแต่ละพื้นที่ที่มีอิทธิพลต่อการพิบัติของลาดดิน ได้แก่

4.2.1 หินแต่ละประเภทเมื่อผุพังจะให้ประเภทของดินที่แตกต่างกัน เช่น claystones, mudstones, shales และ basalts เมื่อผุพังจะให้แร่ดินเหนียวในสัดส่วนที่มาก sandstones หรือดินเกิดจากการกัดกร่อนของหิน granite เป็นกลุ่ม silty sand และ clayey sand soils เป็นต้น

4.2.2 ลักษณะความแตกต่างของความชื้นน้ำในชั้นหินอยู่กับชั้นดินที่ผุพังอยู่กับที่ (residual soil) ของดินที่ผุพังของหินต่างประเภทกัน หรือมีลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาต่างกัน จะก่อให้เกิด แรงดันน้ำจากการไหลของน้ำในดินต่าง ๆ กัน เช่น residual soil ของหินแกรนิต มีลักษณะอุ้มน้ำได้ดี เป็นต้น

4.2.3 สภาพโครงสร้างทางธรณีวิทยา และการจัดวางตัวของประเภทหินส่งผลต่อสมดุลของลาดชันโดยตรง เช่น แนว foliation ซึ่งมีค่าความแข็งแรงต่ำ หรือสภาพการเนียนระหว่าง claystones และ sandstones เป็นต้น

อุทัยและวรากร (2543) ได้ทำการสำรวจและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนพังของลาดดิน โดย และสรุปความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัสดุต้นกำเนิดดินกับจำนวนกรณีการพิบัติ (ภาพที่ 4) พบว่าดินที่มีหินต้นกำเนิดประกอบด้วย granite หรือ quartz จะมีโอกาสเกิดการเคลื่อนพังมากที่สุด รองลงมาเป็นดินที่มีต้นกำเนิดจากการตกตะกอนประเภทต่าง ๆ และดินที่มีต้นกำเนิดมาจาก sandstone, shale และ limestone จะมีโอกาสเกิดการเคลื่อนพังน้อยที่สุด ตามลำดับ

Other	8
U	2
P2	2
E	2
T	3
Kkk	4
PE	4
P1 - 2	4
R_	5
CPk	7
Qa	8
Qt	11
KTgr@ Kgr	13
SD	14
R_gr@ P+Rgr	21

Description

U	Basic and ultrabasic rock.
P2	Bedded to massive limestone, calcareous shale, laminate shale, tuffaceous sandstone, tuff and chert.
E	Sandstone, quartzite, phyllite and locally quartzmeca-schist.
T	Sandstone, shale, oil shale, lignite, limestone and locally rare conglomerate.
Kkk	Brown, reddish-brown micaceous sandstone; pale brown micaceous shale, siltstone and conglomerate.
PE	Gneiss, amphibotite schist, calc-silicate rock and marble biotite marble.
P1-2	Limestone.
R_	Marine: sandstone, tuffaceous sandstone limestone and conglomerate.
CPk	Greenish-grey, grey brown sandstone, shale, pebbly sandstone, mudstone and greywacke, sandstone.
Qa	Alluvial deposits: river gravel, sand, silt and clay.
Qt	Terrace deposits: gravel, sand. Silt and clay.
KTgr@Kg	Pophyritic biotite granite, granodiorite hornblende-adamellite and fmg-grain muscovite-tourmaline granite.
SD	Quartz, phyllite, schist, sandstone, shale and tuff.
R_gr@P+Rgr	Granite, granodiorite and diorite.

ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุต้นกำเนิดดินกับจำนวนกรณีการพิบัติ

ที่มา: อุทัยและวารากร (2543)

4.3 การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (landuse & landcover)

O' Loughlin (1974), Gray and Leiser (1982), Sidle *et al.* (1985) และ Greenway (1987) ได้เสนอผลกระทบต่อความไม่เสถียรภาพของลาดดินจากสภาพพืชปกคลุมลาด ทั้งในด้านชลศาสตร์ (hydrological factors) และด้านกลศาสตร์ (mechanical factors) ในการยึดเหนี่ยวดินให้มีความแข็งแรงมากขึ้น (ภาพที่ 5 และตารางที่ 1)



ภาพที่ 5 ปัจจัยของพืชปกคลุมที่มีผลต่อเสถียรภาพของลาดชัน

ที่มา: Greenway (1987)

ตารางที่ 1 ปัจจัยของพืชปกคลุมลาดดินที่มีผลต่อเสถียรภาพของลาดดิน

ปัจจัยของพืชปกคลุมลาดดิน	ผลต่อเสถียรภาพ
ด้านชลศาสตร์	
1. พืชช่วยลดน้ำจากผิวดินทำให้น้ำซึมลงดินน้อยลง	เพิ่มเสถียรภาพ
2. การกระจายของรากพืชทำให้น้ำซึมได้ดีขึ้น	ลดเสถียรภาพ
3. รากพืชคูดน้ำในดิน ซึ่งเป็นการลดแรงดันน้ำ	เพิ่มเสถียรภาพ
4. การสูญเสียความชื้นของดิน ทำให้น้ำในดินแห้ง แยกน้ำสามารถซึมลงดินมากขึ้น	ลดเสถียรภาพ
ด้านกลศาสตร์	
5. การประสานกันของรากพืชเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับดิน	เพิ่มเสถียรภาพ
6. รากพืชที่อยู่ในระดับลึกช่วยยึดเกาะกับดินชั้นที่มีความแข็งแรง	เพิ่มเสถียรภาพ
7. น้ำหนักของต้นไม้เพิ่มแรงที่ทำให้เกิดการพิบัติ หรืออาจช่วยเพิ่มแรงต้านการพิบัติ	ลดเสถียรภาพ/เพิ่มเสถียรภาพ
8. ลมที่ปะทะกับต้นไม้จะเป็นการเพิ่มแรงที่ทำให้เกิดการพิบัติ	ลดเสถียรภาพ
9. การยึดเกาะของรากพืชจะช่วยทำให้การพัดพาน้ำดินเป็นไปได้ยากขึ้น	เพิ่มเสถียรภาพ

ที่มา: Greenway (1987)

4.4 ระดับความสูง (elevation)

ระดับความสูงของพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กับแรงโน้มถ่วงของโลก วิชา (2535) กล่าวว่าเมื่อความสูงที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การคายระเหยลดลง เนื่องมาจากอุณหภูมิและความดันอากาศต่ำลง และมีผลทำให้การควบแน่นเกิดขึ้นง่าย ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการสลายตัวของหิน แร่ และอินทรีย์วัตถุ ตลอดจนการเคลื่อนย้ายอนุภาคต่าง ๆ ทั้งในดินและที่ผิวดิน ศูนย์วิจัยป่าไม้ (2537) ได้ทำการศึกษาการเกิดดินถล่มในลุ่มน้ำตาปีพบว่า ตำแหน่งที่พบดินถล่มในระดับความสูงต่ำกว่า 200 เมตร มีเพียง 14 จุดเท่านั้น ในระดับความสูง 200 - 500 เมตร พบ 1,050 จุด ระดับความสูง 500 - 800 เมตร พบ 774 จุด และระดับความสูงเกิน 800 เมตร พบ 187 จุด จากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าความถี่ที่

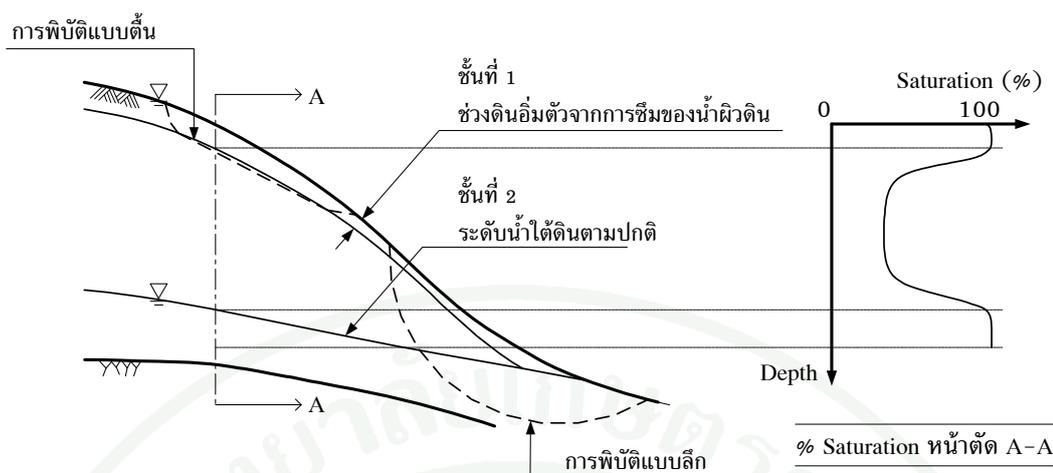
จะเกิดดินถล่มอยู่ในช่วงระดับความสูง 200 - 500 เมตร (ร้อยละ 52.6 ของจำนวนจุดทั้งหมด) และ 500 - 800 (ร้อยละ 37.3 ของจำนวนจุดทั้งหมด)

4.5 เนื้อดิน (soil texture)

เนื้อดินเป็นสมบัติที่ระบุถึงความหยาบหรือความละเอียดของดิน ดินเกิดขึ้นจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการเกิดดินและการสร้างดิน เช่น ชนิดของวัตถุต้นกำเนิดดิน สภาพพื้นที่ สิ่งที่มีชีวิต มนุษย์พืชและสัตว์สภาพภูมิอากาศและระยะเวลาที่เกิดดิน ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้จะทำให้ดินเกิดการเปลี่ยนแปลง เพิ่มเติม สูญเสีย โยกย้ายหรือแปรสภาพไป ทำให้ดินที่พบในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันมีลักษณะทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อศักยภาพของดินในการใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร วิศวกรรม

4.6 น้ำฝน (rainfall)

สภาพอากาศที่มีผลมากที่สุดในการทำให้เกิดการเคลื่อนพังของลาดดิน คือ สภาพฝนตก โดยพิจารณาจากปริมาณน้ำฝนทั้งปริมาณของน้ำฝนที่สะสมในช่วงเวลานาน และปริมาณของน้ำฝนในช่วงเวลาสั้นที่เกิดจากพายุหรือฝนตกหนัก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าความชื้นน้ำและการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดิน ผลของน้ำใต้ดินมีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของลาดดินในธรรมชาติเป็นอย่างมาก เนื่องจากกำลังรับแรงเฉือนของดินลดลงเมื่อระดับความอิ่มตัวเพิ่มขึ้น โดยฝนที่ตกหนักในระยะเวลาสั้น ๆ ทำให้เกิดระดับน้ำใต้ดิน 2 ชั้น ชั้นล่างเป็นระดับน้ำใต้ดินปกติ ชั้นบนเป็นระดับน้ำใต้ดินเสมือน ส่วนกรณีฝนตกน้อย ๆ ในเวลานาน ทำให้ระดับน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นปกติ (นงลักษณ์, 2547) ซึ่งผลเนื่องจากน้ำใต้ดินชั้นที่ 1 ทำให้เกิดการพิบัติในแบบตื้น ๆ แต่ในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินชั้นที่ 2 อยู่สูงหรือบริเวณที่น้ำใต้ดินทั้ง 2 ชั้น มาบรรจบกันมีโอกาสเกิดการพิบัติแบบลึกได้ นอกจากนี้ชนิดของดิน และลักษณะการใช้พื้นที่ที่แตกต่างกัน มีผลทำให้การซึมน้ำลงใต้ดินต่างกันด้วย (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 ระดับน้ำใต้ดิน 2 ชั้น เนื่องจากฝนที่ตกหนักในระยะเวลาดสั้น ๆ

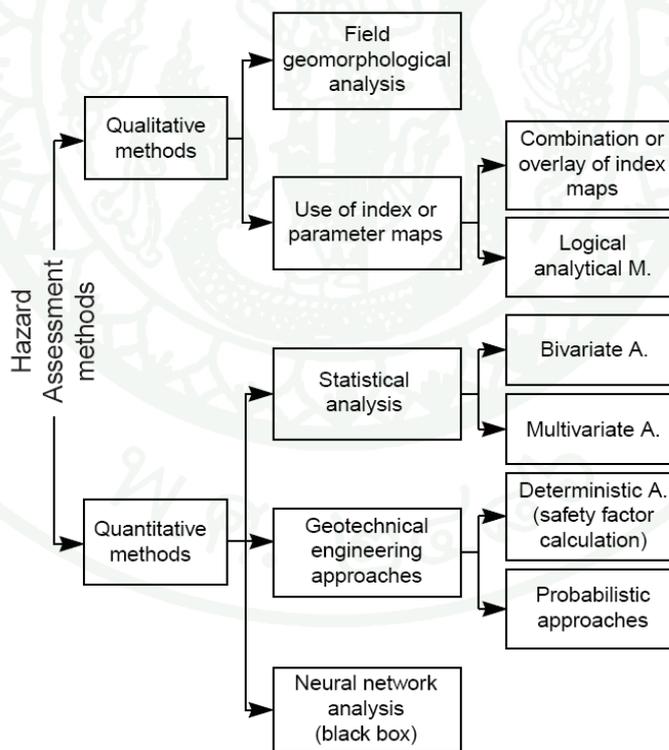
ที่มา: นงลักษณ์ (2547)

การเกิดดินถล่มนั้น สาเหตุหลักเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและหน้าที่ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อขบวนการทางอุทกวิทยาที่สำคัญ ได้แก่ ขบวนการน้ำพืชยึด (interception) ขบวนการน้ำไหลตามต้นไม้ (stemflow) ขบวนการน้ำพืชหยด (throughfall) ขบวนการน้ำไหลบ่าหน้าดิน (surface runoff) ขบวนการน้ำซึมผ่านผิวดิน (infiltration) ขบวนการน้ำซึมผ่านชั้นดินต่าง ๆ (percolation) ขบวนการน้ำซึมผ่านชั้นดินตามแนวระดับ (lateral flow) และขบวนการน้ำใต้ดิน (groundwater flow) และเมื่อนำขบวนการต่าง ๆ มาพิจารณา พบว่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดขบวนการเหล่านี้ล้วนมีความซับซ้อน และมีความต่อเนื่องกันของปัจจัย จากการตรวจสอบพบว่า ยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอีกหลายปัจจัย เช่น ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (size) ลักษณะความโค้งงอของผิวน้ำภูมิประเทศ (plan and profile curvature) ดัชนีแสดงความชื้นอันเนื่องมาจากสภาพภูมิประเทศ (topographic wetness index) ทิศทางของด้านลาด (aspect) ค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบที่ผิวดิน (incident solar radiation) ความสูงสัมพัทธ์ของพื้นที่ (relief) ความเร็วลม (wind speed) ความลึกของดิน (soil depth) ความหนาของชั้นดิน (soil thickness) รูปแบบของรากต้นไม้ (root type) และประเภทของป่าไม้ (forest type) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยเฉพาะที่ต้องอาศัยความรู้และความชำนาญในการจำแนกและจัดหมวดหมู่หรือประเภทสิ่งต่าง ๆ อย่างมีหลักเกณฑ์ หากสามารถนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ ทำให้การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มสามารถสะท้อนปัญหาการเกิดดินถล่มในพื้นที่ได้อย่างแท้จริง และสามารถตัดสินใจอย่างเหมาะสม ตลอดจนประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาในสถานการณ์หรือพื้นที่อื่น ๆ ได้อีกด้วย

5. วิธีการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม

เหตุการณ์ดินถล่มที่ส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ประสบภัย แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยควรมีระบบการจัดการทรัพยากรธรรมชาติในระดับลุ่มน้ำที่ชัดเจน และเนื่องจากการเกิดดินถล่มไม่สามารถควบคุมและพยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ จึงควรมีการศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการประเมินพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มโดยประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้กำหนดมาตรการในการป้องกันและลดความรุนแรงของปัญหาที่เกิดขึ้นควบคู่ไปกับมาตรการที่หน่วยงานของรัฐดำเนินการอยู่ เช่น การกำหนดรูปแบบการใช้ที่ดิน การดูแลรักษาและฟื้นฟูทรัพยากรป่าไม้ เป็นต้น

การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม เพื่อจัดจำแนกระดับความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในแต่ละพื้นที่ ซึ่งนำไปสู่การวางแผนหรือเตรียมการลดความเสียหายเกิดขึ้นให้น้อยที่สุด Aleotti and Chowdhury (1999) ได้ทำการรวบรวมวิธีที่ทำการศึกษา ได้ดังนี้ (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 วิธีการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม

ที่มา: Aleotti and Chowdhury (1999)

5.1 วิธีการเชิงคุณภาพ (qualitative method)

วิธีการเชิงคุณภาพ (qualitative method) เป็นวิธีที่ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ทำการประเมิน ซึ่งวิธีการนี้มี 2 วิธี คือ

5.1.1 วิธีการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ (expert method) เป็นการประเมินเชิงคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินถล่ม โดยพิจารณาจากปัจจัยพื้นฐาน อันได้แก่คุณสมบัติทางธรณีศาสตร์ ลักษณะภูมิประเทศ ร่องน้ำ และลาดเขา ร่วมกับเหตุการณ์เกิดแผ่นดินถล่มในอดีต

Canuti *et al.* (1979) ประเมินโอกาสเกิดดินถล่มจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดินถล่ม (landslide activity) โดยการนำข้อมูลการเกิดดินถล่มในช่วงเวลาที่แตกต่างกันมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงบริเวณพื้นที่ซึ่งเคยเกิดดินถล่มในช่วงเวลาต่าง ๆ เช่นเดียวกับ Wieczorek (1984) ที่ได้ประเมินโอกาสเกิดดินถล่มโดยพิจารณาจากการกระจายตัวของดินถล่มในอดีต (landslide distribution)

วรวิทย์ (2535) พบว่าการเกิดดินถล่มบริเวณลุ่มน้ำคลองกะทูน เมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531 มักเกิดตามทางน้ำเดิมหรือเกิดบนร่องเล็ก ๆ บนไหล่เขาที่น้ำไหลมารวมกัน ชนิดของแผ่นดินถล่มเป็นแบบ flow slides เป็นส่วนใหญ่ โดยปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดดินถล่มบริเวณลุ่มน้ำคลองกะทูนนั้น แบ่งออกได้ 4 ปัจจัย ดังนี้

1) ลักษณะภูมิประเทศ พบว่าบริเวณที่เกิดดินถล่มของลุ่มน้ำคลองกะทูนอยู่ในช่วงความลาดชันร้อยละ 30-45 และอยู่ในระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 200 เมตรขึ้นไป

2) ลักษณะทางธรณีและปฐพีวิทยา พบว่าบริเวณที่เกิดดินถล่มของลุ่มน้ำคลองกะทูนส่วนใหญ่เกิดในบริเวณที่เป็นหินแกรนิตเท่านั้น และมีความลึกของดินเฉลี่ย 1.5 เมตร สภาพหินเป็นหินผุและมีรอยแยกมากทำให้เกิดการพังทลายของภูเขาตามแนวรอยแยกได้ง่ายขึ้น

3) ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าบริเวณที่เกิดดินถล่มของกลุ่มน้ำคลองกะทูนส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ป่าไม้และสวนยางพารา ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนอกจากต้นไม้ช่วยเพิ่มค่าแรงต้านแรงเฉือนของดินแล้ว น้ำหนักของต้นไม้ยังทำให้แรงเฉือนของดินเพิ่มมากขึ้นด้วย ประกอบกับพื้นที่ป่าไม้และสวนยางพารามักอยู่ในตำแหน่งที่มีความลาดชันค่อนข้างสูงจึงทำให้เกิดดินถล่มและมีพื้นที่การเกิดมากกว่าการใช้ประโยชน์แบบอื่น

4) ลักษณะภูมิอากาศ โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ในการทำให้เกิดดินถล่ม พบว่าบริเวณที่เกิดดินถล่มของกลุ่มน้ำคลองกะทูน เป็นช่วงที่มีลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทยและอ่าวไทย และหย่อมความกดอากาศต่ำกำลังแรงปกคลุมทะเลอันดามันและภาคใต้ของไทย ลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดฝนตกติดต่อกันเป็นเวลานานหลายวัน โดยในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2531 วัดปริมาณน้ำฝนที่สถานีนครศรีธรรมราชภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ได้เท่ากับ 447.8 มิลลิเมตร (เทียบได้กับช่วงระยะเวลาที่จะเกิดฝนตกประมาณ 150 ปี) จึงทำให้เกิดดินถล่มลงมาหลายจุดในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีและจังหวัดนครศรีธรรมราช (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2535)

5.1.2 วิธีดัชนีปัจจัยร่วม (weighted factor index method) โดยการนำปัจจัยที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์กระทำมาจัดจำแนกลำดับความรุนแรงและให้น้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยแล้วคิดออกมาเป็นแต้มคะแนนรวมเพื่อจัดลำดับความรุนแรงในแต่ละพื้นที่ วิธีนี้ต้องปรับแก้ความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ให้เข้ากับเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้น

กรมพัฒนาที่ดิน (2544) ได้จัดทำแผนที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่มโดยการศึกษาปัจจัยที่ใช้ในการประเมินและจัดทำพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในภาคใต้ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และนำมาปรับปรุงโดยมีการประชุมร่วมกับผู้เชี่ยวชาญจากกรมทรัพยากรธรณี กรมอุตุนิยมวิทยา กรมป่าไม้ กรมชลประทาน และสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ โดยปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์การจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยโดยเรียงลำดับตามความสำคัญจากมากไปน้อยได้แก่ ชนิดของหิน ความลาดชันของพื้นที่ สภาพการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุม ลักษณะและสมบัติบางประการของดิน และปริมาณฝน

เมื่อนำแผนที่เสี่ยงภัยที่กรมที่ดินจัดทำไว้มาเปรียบเทียบกับจากการเกิดแผ่นดินถล่มที่บริเวณบ้านน้ำก่อ น้ำซุน อำเภอหล่มสัก เมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2544 ที่ผ่านมา พบได้ว่า ความเสี่ยงภัยที่ทำนายโดยแผนที่เสี่ยงภัย บริเวณอำเภอหล่มสักจะมีความเสี่ยงภัยอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ซึ่งไม่ตรงกับสภาพจริงที่ได้มีการพังทลายของลาดดินและทำให้สูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงค่าความสำคัญและปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เพิ่มเติม

กรมทรัพยากรธรณี (2549) ได้ศึกษาหาแนวทางป้องกันและลดผลกระทบจากภัยดินถล่ม โดยใช้วิธีดัชนีปัจจัยร่วม โดยนำปัจจัยทางด้านคุณสมบัติของดินทางวิศวกรรม เข้ามาร่วมพิจารณาในการจัดทำแผนที่โอกาสเกิดดินถล่ม ซึ่งมีปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ปัจจัยหลักที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แผนที่โอกาสเกิดดินถล่มในโครงการนี้ ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยา (ชนิดหินและบริเวณกลุ่มรอยแตก) สภาพภูมิประเทศ (ความลาดชันและระดับความสูง) ระยะจากบริเวณน้ำผิวดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะของดิน ปริมาณน้ำฝน และสมบัติดินทางวิศวกรรม

5.2 วิธีการเชิงปริมาณ (quantitative method)

วิธีการเชิงปริมาณ (quantitative method) เป็นพื้นฐานของการแสดงตัวเลขของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยควบคุมและปัจจัยการเกิด landslide ซึ่งวิธีการนี้มี 2 วิธี คือ

5.2.1 วิธีทางธรณีเทคนิค (geotechnical engineering method) ใช้หลักการทางวิศวกรรมศาสตร์ของความไม่มั่นคงของความลาดชันที่แน่นอนในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย โดยการสำรวจและทดสอบคุณสมบัติทางธรณีวิทยาและวิศวกรรมปฐพีของชั้นดินและหิน ร่วมกับอิทธิพลของความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป แล้ววิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินและหินจากรูปแบบทางกลศาสตร์เพื่อหาระดับความมั่นคง ซึ่งวิธีนี้จะได้ ข้อมูลที่แน่นอน มีความละเอียดถี่ถ้วนของลักษณะความลาดชัน ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการทำแผนที่เพียงพื้นที่เล็ก ๆ

นงลักษณ์ (2547) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการภัยพิบัติของลาดดินที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำฝน เพื่อนำไปใช้ในการประเมินเสถียรภาพของลาดดินภูเขาในบริเวณลุ่มน้ำน้ำก่อ ตำบลน้ำก่อ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินที่ลดลงเมื่อมีปริมาณน้ำในดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกรณีฝนตกหนัก (rainfall induced landslide) ซึ่งมักจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดลาดดินถล่มได้ จากการศึกษาพบว่าเมื่อระดับความชื้นในดินมีค่า

มากขึ้น กำลังรับแรงเหวี่ยงจะมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำในดินที่เพิ่มมากขึ้นได้ไปทำลายแรงดึงผิวของอากาศในดิน และปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นยังลดแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดิน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความชื้นและระดับน้ำใต้ดินของลาดดินจึงขึ้นอยู่กับรูปแบบของฝน ซึ่งทำให้ส่งผลโดยตรงต่อเสถียรภาพของลาดดิน

กรมชลประทาน (2547) ได้ทำการศึกษาพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดดินถล่ม บริเวณน้ำตกกระทิง บริเวณคลองทุ่งเพล คลองตะเคียน เขตอุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี โดยศึกษาถึงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงกำลังของดินที่มีผลต่อของความมั่นคงความลาดชันของพื้นที่กับปริมาณความชื้นในมวลดินทำให้สามารถสร้างแผนที่โอกาสเกิดดินถล่มในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ตามลักษณะของความชื้นของฝนหรือความชื้นในดินที่เปลี่ยนแปลงไป

กรมทรัพยากรธรณี (2550) ได้พัฒนาการประเมินพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่ม โดยการศึกษาความเสถียรของลาดชันในพื้นที่โครงการพัฒนาออยตุง และได้นำข้อมูลความลาดชันในพื้นที่ศึกษามาประกอบกับข้อมูลตัวแปรด้านกำลังรับน้ำหนักของดินทำให้สามารถวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันธรรมชาติได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถแบ่งช่วงความลาดชันตามระดับโอกาสเกิดดินถล่ม โดยพิจารณาช่วงของความลาดชันที่ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่มากกว่า 1.2 ถือว่ามีโอกาสเกิดต่ำ หากเท่ากับ 1.2 ถือว่าปานกลาง และหากต่ำกว่า 1.2 ถือว่ามีโอกาสเกิดดินถล่มสูง

5.2.2 วิธีการประเมินโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ (statistical approach) โดยการรวบรวมปัจจัยที่ทำให้เกิดแผ่นดินถล่มในอดีต มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านี้กับการเกิดแผ่นดินถล่มโดยวิธีการทางสถิติ และผลที่ได้นำมาใช้ในการพยากรณ์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ซึ่งมีสภาพพื้นที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งรูปแบบของสถิติที่นิยมใช้คือ logistic regression เพราะเป็นเทคนิคที่ใช้ในการคาดคะเนหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรที่สนใจศึกษา โดยอาศัยความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยตัวแปรตาม (Y) มีค่าได้เพียงสองค่าเท่านั้น คือ 1 แทนการเกิดเหตุการณ์ และ 0 แทนการไม่เกิดเหตุการณ์ เรียกตัวแปรลักษณะนี้ว่าตัวแปรคู่ (dichotomous variable) ในขณะที่ตัวแปรอิสระ (X) สามารถเป็นได้ทั้งตัวแปรแบบต่อเนื่อง (continuous variable) และตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete variable)

กรมทรัพยากรธรณี (2547) ได้ทำการศึกษาพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในประเทศไทย โดยการศึกษาหาความเป็นไปได้ของพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยต่อแผ่นดินถล่ม (landslide probability) ระดับต่าง ๆ ของประเทศ ในมาตราส่วน 1:250,000 ทั้งนี้โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (landslide predictive model) ที่นำเสนอโดย Pantanahiran (1994) ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณ ได้แก่ ระดับความสูง (elevation) ทิศด้านลาด (adjusted aspect) ความลาดชัน (slope) ทิศทางการไหลของน้ำ (flow direction) การไหลรวมของน้ำ (flow accumulation) พืชพรรณ (TM4) ค่าความส่องสว่าง (brightness) และความชื้นของพื้นที่ (wetness) ดังสมการที่ 1

$$Y = 1.8914 - 0.00281 (\text{elevation}) + 1.4215(\text{adjusted aspect}) + 0.00698 (\text{slope}) + 0.00073 (\text{flow accumulation}) - 0.00165 (\text{flow direction}) - 0.00505 (\text{TM4}) - 0.0042 (\text{brightness}) - 0.00504 (\text{wetness}) \quad (1)$$

$$\text{และ } P = 1/(1 + \exp(-Y))$$

เมื่อ P หมายถึง ค่าคาดคะเนความเสี่ยงของแต่ละหน่วยพื้นที่

การแสดงระดับพิบัติภัย (hazard class) ในแผนที่ ได้จัดแบ่งเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับสูงมาก (very high) เมื่อค่าความเสี่ยงมากกว่าร้อยละ 60 ระดับสูง (high) เมื่อค่าความเสี่ยงอยู่ระหว่างร้อยละ 41 - 60 ระดับปานกลาง (medium) เมื่อค่าความเสี่ยงอยู่ระหว่างร้อยละ 21 - 40 และระดับต่ำ (low) เมื่อค่าความเสี่ยงน้อยกว่าร้อยละ 21

รูปแบบของสถิติอีกอย่างหนึ่งคือการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) หรือตัวแปรเกณฑ์ (criterion variable) จำนวน 1 ตัว กับตัวแปรอิสระ (X) หรือตัวแปรพยากรณ์ หรือตัวแปรทำนาย (predictor variable) ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป เป็นเทคนิคทางสถิติที่อาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรมาใช้ในการทำนาย โดยวิธีการคัดเลือกตัวแปรเข้าระบบสมการนิยมใช้ stepwise ในขั้นแรกจะเลือกตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุดเข้าสมการ ก่อนจากนั้นก็ทดสอบตัวแปรที่ไม่ได้อยู่ในสมการว่ามีตัวแปรใดบ้างมีสิทธิ์เข้ามาอยู่ในการสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบก้าวหน้า (forward selection) และขณะเดียวกันก็จะทดสอบตัวแปรที่อยู่ในสมการด้วยว่า ตัวแปรพยากรณ์ที่อยู่ในสมการตัวใดมีโอกาสที่จะถูกขจัดออกจากสมการด้วย

วิธีการคัดเลือกแบบถอยหลัง (backward Selection) โดยจะกระทำการคัดเลือกผสมทั้งสองวิธีนี้ในทุกขั้นตอนจนกระทั่งไม่มีตัวแปรใดที่ถูกคัดออกจากสมการและไม่มีตัวแปรใดที่จะถูกนำเข้ามาสมการกระบวนการก็จะยุติและได้สมการถดถอยที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงสุด

เลิศ (2538) ได้ใช้ข้อมูลระยะไกลเพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม บริเวณอำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยการกำหนดความชัน (slope) ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use) ลักษณะทางธรณีสัณฐาน (landform) ลักษณะทางธรณีวิทยา (geology) ลักษณะทางปฐพีวิทยา (soil) และปริมาณน้ำฝน (rainfall) เป็นตัวแปรอิสระ และร้อยละการเกิดดินถล่มซึ่งวิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียมเป็นตัวแปรตาม และสร้างสมการถดถอยพหุคูณโดยวิธี regression แล้วใช้เทคนิค stepwise ในการคัดเลือกตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม โดยผลการทำนายพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ดังสมการที่ 2

$$\text{Log Y} = 1.3285 - 0.0101 (\text{slope}) + 0.1021 (\text{landform}) + 0.9178 (\text{land use}) + 0.5189 (\text{geology}) - 0.8939 (\text{soil}) + 0.3213 (\text{rainfall}) \quad (2)$$

สุเทพ (2546) ศึกษาเพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมฉับพลันและแผ่นดินถล่มในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตเป็นการประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม (Artificial Neural Network; ANN) โดยใช้ปัจจัยต่าง ๆ ประกอบด้วย ลักษณะสภาพภูมิประเทศ ลักษณะทางธรณีสัณฐาน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และปัจจัยทางอุตุ-อุทกวิทยา ซึ่งใช้กระบวนการเรียนรู้แบบผันกลับ (back - propagation) จากเหตุการณ์การเกิดน้ำท่วมฉับพลันและแผ่นดินถล่มในอดีต ได้แก่ อำเภอกะทูน จังหวัดนครศรีธรรมราช บ้านน้ำก้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่ และ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่นำไปประเมินในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาหินแกรนิตและมีความเสี่ยงในระดับต่าง ๆ คือ ระดับเสี่ยงและเป็นอันตรายมากร้อยละ 4.3 ส่วนใหญ่อยู่บริเวณที่เป็นภูเขาสูงแถบเขากระพู้ ระดับเสี่ยงและเป็นอันตรายปานกลางร้อยละ 9.85 ระดับเสี่ยงและเป็นอันตรายน้อยร้อยละ 7.31 และพื้นที่ที่ไม่มีความเสี่ยงร้อยละ 78.49

6. แผนที่ดินถล่ม (landslide map)

ผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม โดยทั่วไปแสดงในรูปแบบแผนที่ ซึ่งแสดงถึงการกระจายตัวของระดับโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ หรือการจำแนกพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการนำไปใช้งาน หรือนำไปวิเคราะห์ หรือประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินถล่ม (risk map) ต่อไป และเพื่อให้แผนที่ที่ได้ออกมาตรงกับประโยชน์การใช้งานที่แตกต่างกัน Guzzetti *et al.* (2000) สรุปความหมายของแผนที่ประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มและแผนที่อื่นที่เกี่ยวข้องดังนี้

6.1 แผนที่บริเวณและความรุนแรงที่เคยเกิดดินถล่ม (landslide inventory map)

เป็นการรวบรวมข้อมูลที่ตั้งและ ขอบเขตของดินถล่มที่เคยเกิดขึ้นในอดีต ในรูปของแผนที่ ซึ่งอาจเป็นข้อมูลที่แสดงเหตุการณ์เดียวหรือหลายเหตุการณ์จึงสามารถจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล และด้วยมาตราส่วนขนาดเล็กจึงแสดงเฉพาะตำแหน่งแผ่นดินถล่มเท่านั้น แผนที่นี้จะเป็นประโยชน์ในการประเมินความเสียหายโดยรวมและวางแผนเพื่อการบริหาร (Hansen, 1984; Wiczorek, 1984 and Guzzetti *et al.* 2000)

6.2 แผนที่แสดงความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม (landslide susceptibility map)

เป็นแผนที่จำแนกระดับชั้นของเสถียรภาพของลาดเอียงในพื้นที่ แผนที่นี้แสดงบริเวณที่อาจเกิดแผ่นดินถล่มขึ้น โดยจำแนกตั้งแต่สถานะเสถียรภาพจนถึงสถานะเสถียรภาพวิกฤต ซึ่งจะแสดงเป็นสีหรือสัญลักษณ์แตกต่างกัน เช่น สีแดง แสดงถึงพื้นที่ที่ไม่มีเสถียรภาพ สีส้มและเหลือง พื้นที่ที่มีเสถียรภาพน้อย สีน้ำเงิน พื้นที่ที่มีเสถียรภาพปานกลาง และสีเขียว พื้นที่ที่มีเสถียรภาพสูง

6.3 แผนที่โอกาสเกิดดินถล่ม (landslide hazard map)

เป็นแผนที่คาดการณ์บริเวณที่มีโอกาสเกิดดินถล่มโดยใช้วิธีการคำนวณจากความน่าจะเป็นในการเกิดซ้ำ แบบจำลองและ ข้อมูลต่าง ๆ กัน แผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มที่สมบูรณ์ควรแสดงทั้งโอกาสเกิดในบริเวณแหล่งกำเนิด และโอกาสที่แผ่นดินถล่มจากบนลาดเอียงมาถึงได้พร้อมกันนี้ควรมีการทดสอบปรับแก้ให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นจริง ทำให้สามารถ

นำไปใช้ในการจำแนกพื้นที่เสี่ยง การเตือนภัยต่อสาธารณะ และการวางแผนบรรเทาความสูญเสีย (Guzzetti *et al.* 2005a)

6.4 แผนที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (landslide risk map)

เป็นแผนที่ประเมินความเสี่ยงจากมูลค่าความเสียหายจากดินถล่ม โดยการนำเอาแผนที่โอกาสเกิดดินถล่มมาวิเคราะห์โอกาสเกิดภัยทางสถิติ พร้อมประเมินความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินที่อาจเกิดขึ้น โดยสามารถนำไปใช้ในการบริหารจัดการภัยและพิจารณาการลงทุนแก้ไขปรับปรุงเสริมความปลอดภัยในพื้นที่เสี่ยง (Vandine *et al.* 2004).

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนิตย์ (2550) ได้สรุปผลการศึกษาของอายาลิว ยามากิชิ มารูอิ และคัน โนะะ (Ayalew *et al.* 2005) ที่นำการวิเคราะห์แบบ Analytical Hierarchy Process (AHP) และการวิเคราะห์การถดถอยแบบโลจิสติก มาใช้ในการศึกษาถึงโอกาสในการเกิดดินถล่มบริเวณเขาโคซาดา (Kosada Mountain) ตั้งอยู่ที่เกาะซาโดะ (Sado Island) ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีลักษณะพื้นที่ขรุขระ มีชั้นหินที่มีความอ่อนไหว และลักษณะภูมิอากาศที่เอื้อต่อการเกิดดินถล่ม นอกจากนี้ยังได้รับผลกระทบจากน้ำฝนที่ตกลงมา และการละลายของหิมะ โดยปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของหินความลาดชัน ทิศทางความลาดชัน ความสูง และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้น ลักษณะธรณีวิทยาเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุดถ้าศึกษาโดยใช้วิธี AHP แต่ในการศึกษาโดยใช้วิธีการถดถอยแบบโลจิสติก ความลาดชันเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุด โดยหลังจากนำผลลัพธ์ทั้งสองมาทำการเปรียบเทียบความถูกต้องพบว่า วิธี AHP มีศักยภาพในการศึกษามากกว่าเล็กน้อย โดยมีระดับความถูกต้องร้อยละ 70 ในขณะที่วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโลจิสติกนั้นมีระดับความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 63

Lee and Evangelista (2005) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดดินถล่ม ในจังหวัดบาเกียว ประเทศฟิลิปปินส์ เพื่อทำการพยากรณ์โอกาสในการเกิดดินถล่ม โดยนำความน่าจะเป็นใช้วิธีอัตราส่วนความถี่ (frequency ratio) ซึ่งเป็นการหาอัตราส่วนระหว่าง ความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุการณ์ และความน่าจะเป็นที่ไม่เกิดเหตุการณ์ ถ้ามีค่ามากกว่า 1 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับปัจจัยที่เจาะจงนั้น มีความสัมพันธ์กัน แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการเกิดดินถล่มกับปัจจัยนั้น มีความสัมพันธ์กันน้อย และวิธีทางสถิติใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก

ซึ่งเป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่ม ใช้ในการทำนายค่าเหตุการณ์เกิดหรือไม่เกิดของเหตุการณ์ ปัจจัยที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความลาดชัน ทิศด้านลาด ความโค้งนูนของพื้นที่ ระยะห่างจากทางน้ำ ลักษณะทางกายภาพของหิน ระยะห่างจากโครงสร้างหลัก ลักษณะพื้นที่ ปัจจัยทางด้านดิน และปัจจัยทางด้านสิ่งปกคลุมดิน จากนั้นทำการตรวจสอบผลที่ได้จากวิธีการทั้งสองแล้วนำผลมาเปรียบเทียบกัน พบว่า การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก ให้ผลลัพธ์ที่มีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 80 ในขณะที่ผลลัพธ์จากวิธีอัตราส่วนความถี่ มีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 78

Yesilnacara and Topalb (2005) ได้ทำการประเมินผลของการใช้การถดถอยโลจิสติก (logistic regression) และโครงข่ายประสาทประคิษฐ์ (neural networks) ในการวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม บริเวณเมือง Hendek (ตุรกี) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับความเสี่ยงจากดินถล่มมาเป็นเวลาหลายปี โดยปัจจัยที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ทิศด้านลาด ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากโครงสร้างหลัก ระยะห่างจากยอดเขา ความหนาแน่นของการระบายน้ำ ความสูง ความหนาแน่นของโครงสร้างหลัก ธรณีวิทยา สิ่งปกคลุมดิน ความโค้งนูนของพื้นที่ ความนูนของพื้นที่ ความหนาแน่นของถนน ความลาดชัน ความยาวของลาดชัน stream power อัตราส่วนของพื้นที่ผิวดิน ดัชนีความชื้นของพื้นที่ และพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย จากการศึกษาพบว่าวิธีโครงข่ายประสาทประคิษฐ์ มีร้อยละความถูกต้องในการคาดการณ์สูงกว่าการใช้การถดถอยโลจิสติก โดยเฉพาะในโซนที่มีโอกาสเกิดดินถล่มสูงและสูงมาก และมีความถูกต้องมากกว่าเมื่อเทียบกับเหตุการณ์จริง

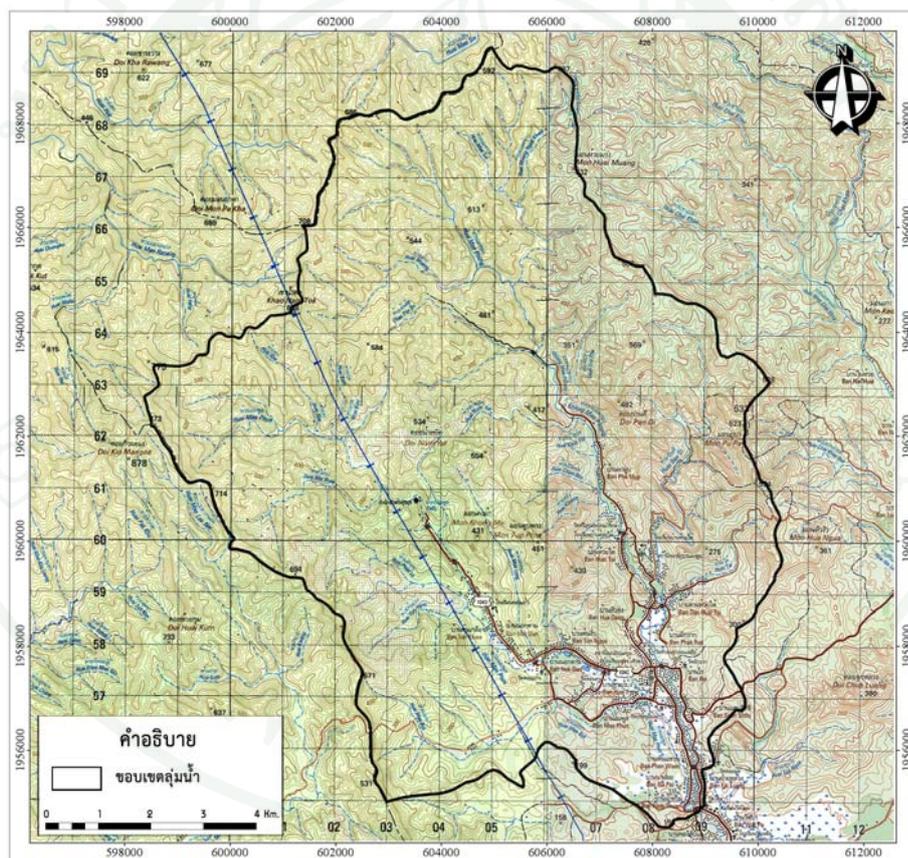
Ohlmacher and Davis (2003) ได้ใช้การถดถอยโลจิสติก (logistic regression) และเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการทำนายพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่ม ในบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของ Kansas สหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับความเสี่ยงจากเหตุการณ์ดินถล่มครั้งล่าสุด คิดเป็นมูลค่าหลายล้านดอลลาร์ โดยปัจจัยที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความลาดชัน ทิศด้านลาด ธรณีวิทยา และชนิดของดิน จากการศึกษาพบว่าความลาดชัน และ ธรณีวิทยา เป็นตัวแปรที่ดีที่สุดที่ใช้ในการทำนายความน่าจะเป็นของโอกาสเกิดดินถล่ม นอกจากนั้นชนิดของดิน และธรณีวิทยาเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน ทำให้สามารถใช้ชนิดของดิน แทนธรณีวิทยาได้ในกรณีที่ดินธรณีวิทยาไม่มีความละเอียดมากพอ ในขณะที่ทิศด้านลาดไม่มีนัยสำคัญสำหรับทำนายโอกาสเกิดดินถล่มของพื้นที่ศึกษานี้ ถึงแม้จะมีความสำคัญในพื้นที่อื่น และเมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับแผนที่เหตุการณ์ดินถล่มจริง พบว่า บริเวณพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มสูงและตำแหน่งดินถล่มจริงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

Hunhaboon (2009) ประยุกต์ใช้แบบจำลองการวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่และสมการถดถอยลอจิสติกเพื่อการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในจังหวัดอุดรดิตถ์ พบว่าพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ได้จากการวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่ จำแนกเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม และพื้นที่ที่ไม่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม เท่ากับ 1,731.36 ตร.กม. และ 5,778.77 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 23.06 และ 76.94 ของพื้นที่ ในขณะที่พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ได้จากสมการถดถอยลอจิสติก จำแนกเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม และพื้นที่ที่ไม่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม เท่ากับ 3,207.34 ตร.กม. และ 4,302.8 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 42.7 และ 57.29 ของพื้นที่ ค่าความถูกต้องของการทำนายที่ได้จากการวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่เปรียบเทียบกับการทำนายที่ได้จากสมการถดถอยลอจิสติก เท่ากับร้อยละ 68.11 และดัชนี Kappa เท่ากับ 0.36 พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ได้จากการวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่เปรียบเทียบกับพื้นที่ที่เกิดแผ่นดินถล่มจริงเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม 2549 มีค่าความถูกต้องของการทำนายเท่ากับร้อยละ 80.09 และดัชนี Kappa เท่ากับ 0.6 ในขณะที่พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่มที่ได้จากสมการถดถอยลอจิสติกเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่เกิดแผ่นดินถล่มจริงเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม 2549 มีค่าความถูกต้องของการทำนายเท่ากับร้อยละ 66.76 และดัชนี Kappa เท่ากับ 0.34 ซึ่งสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่มีความเหมาะสมในใช้ประเมินพื้นที่เสี่ยงมากกว่าการใช้สมการถดถอยลอจิสติกในการทำนาย

ลักษณะพื้นที่ศึกษา

1. ลักษณะทางภูมิศาสตร์

ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล เป็นลุ่มน้ำสาขาย่อยของลุ่มน้ำน่าน อยู่ในเขตการปกครองตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ตั้งอยู่ในระหว่างพิกัด 1954985 N ถึง 1969469 N และพิกัด 594984 E ถึง 610441 E โดยคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 119.55 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 74,719.61 ไร่ และเป็นพื้นที่ที่เคยเกิดเหตุการณ์ดินถล่มวันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 โดยมีอาณาเขตลุ่มน้ำดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 ที่ตั้งลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ที่มา: กรมแผนที่ทหาร (2542 และ 2546)

ทิศเหนือ ติดต่อกับ อำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่
 ทิศใต้ ติดต่อกับ เขตเทศบาลตำบลหัวดง ตำบลแม่พูล
 ทิศตะวันออก ติดต่อกับ ตำบลนานกกก และเทศบาลหัวดง
 ทิศตะวันตก ติดต่อกับ อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย

2. ลักษณะของภูมิประเทศ

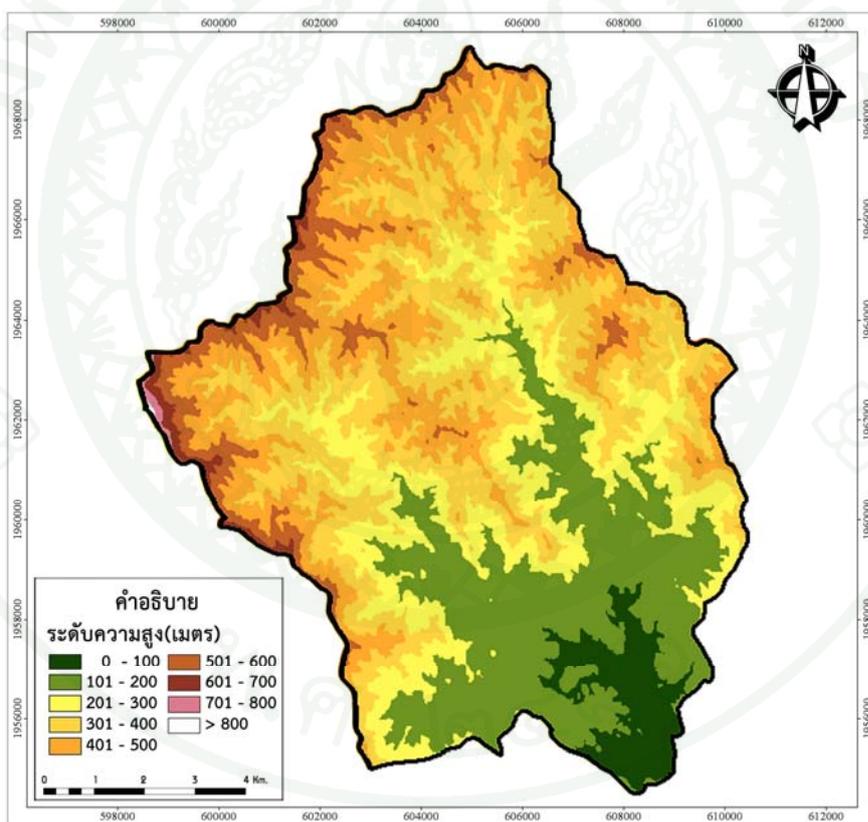
ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ตั้งอยู่ในภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย และอยู่บริเวณตอนเหนือของอำเภอลับแล ประกอบด้วยภูเขาสูงชันทางด้านทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มียอดเขาที่สำคัญ คือ ดอยกุ่มมะแง อยู่ทางด้านทิศตะวันตก (ภาพที่ 9) มีระดับความสูงระหว่าง 85 - 857 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (ภาพที่ 10) ความลาดชันตั้งแต่ 0 - 48 องศา หรือร้อยละ 37 (ภาพที่ 11) เนื่องจากสภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ไหล่เขาที่มีความลาดชันสูง และมีที่ราบแคบ ๆ ระหว่างหุบเขาเป็นที่ตั้งของบ้านเรือนที่อยู่อาศัย ทางตอนเหนือมีภูเขาสูงเป็นแหล่งน้ำลำธารหล่อเลี้ยงพืชผลในอำเภอลับแลได้ตลอดปี มีแหล่งน้ำที่สำคัญ 2 สาย คือ ห้วยแม่พูลไหลจากตอนเหนือของน้ำตกแม่พูลไปสู่ตอนใต้คือบ้านคอนแก้ว และห้วยแม่พร่องไหลผ่านหมู่บ้านผามูบ บ้านมหาราช โดยแม่น้ำทั้งสองสายจะไปบรรจบกันและไหลผ่านไปทางตอนใต้ของกลุ่มน้ำห้วยแม่พูล

3. ลักษณะของภูมิอากาศ

พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ เป็นพื้นที่ส่วนหนึ่งของจังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งสภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นหุบเขา ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่ปลายเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม จากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์จากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งพัดเอาอากาศแห้งแล้งและหนาวเย็น อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 27.3 องศาเซลเซียส ในรอบ 38 ปีที่ผ่านมา (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2543) อุณหภูมิสูงสุดวัดได้ 43.1 องศาเซลเซียส ในเดือนกันยายน อุณหภูมิต่ำสุดวัดได้ 7.5 องศาเซลเซียส ในเดือนธันวาคม ปริมาณน้ำฝน ในเขตลุ่มน้ำห้วยแม่พูล มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปี 1,410.3 มิลลิเมตร / ปี เดือนที่มีฝนตกมากที่สุด คือเดือน กันยายน มีฝนตกเฉลี่ย 263.5 มิลลิเมตร

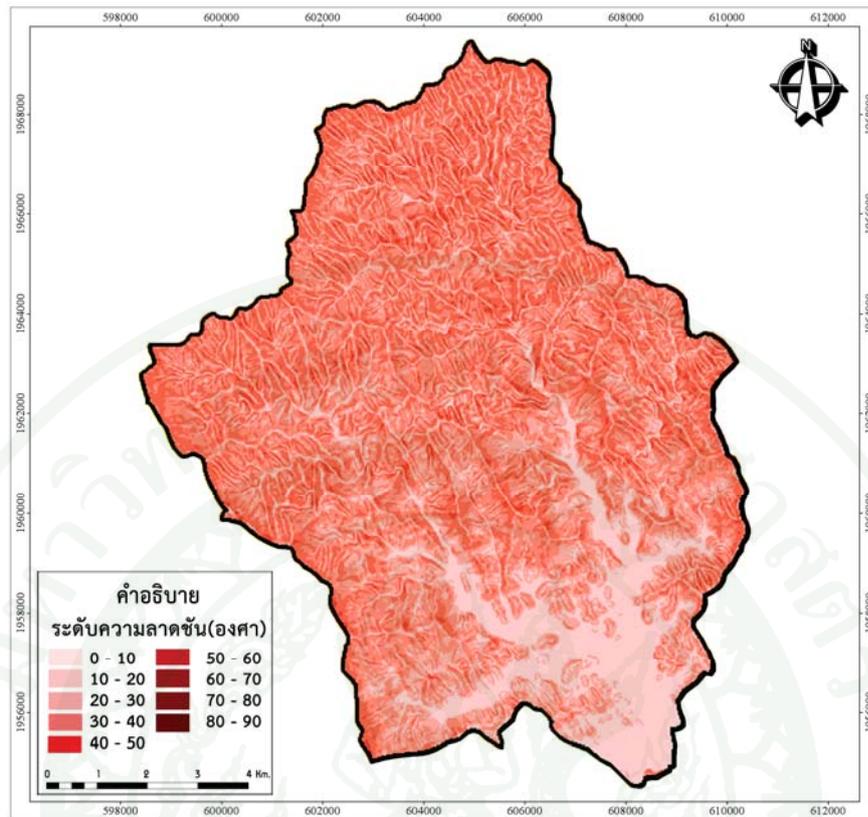


ภาพที่ 9 ลักษณะภูมิประเทศ ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์



ภาพที่ 10 ลักษณะภูมิประเทศ จำแนกตามระดับความสูงในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ที่มา: คัดแปลงจากกรมพัฒนาที่ดิน (2551)

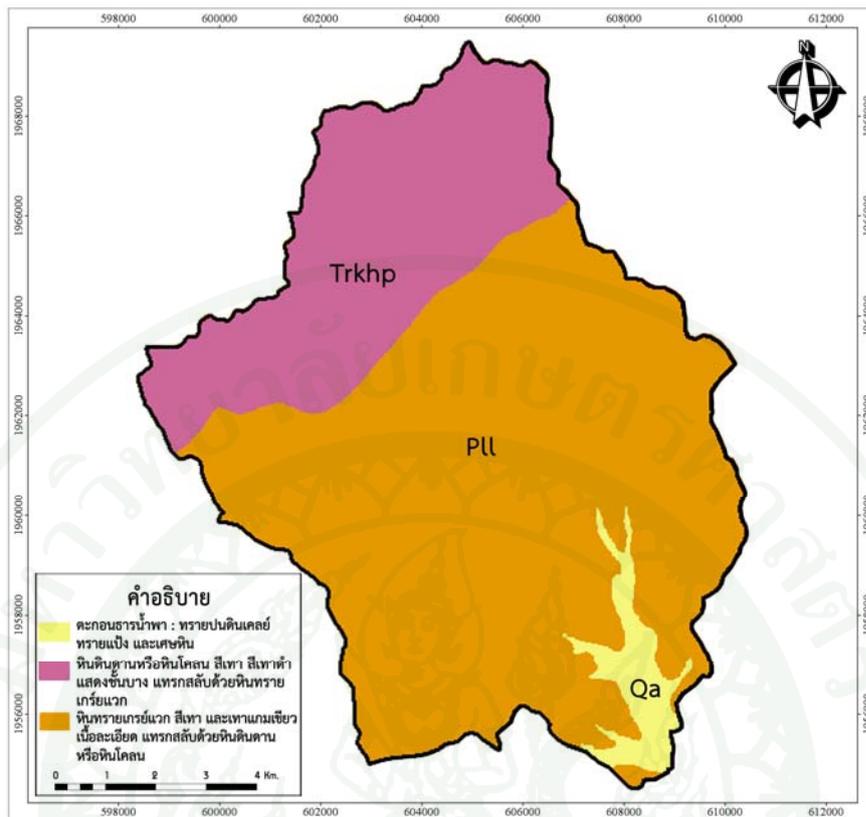


ภาพที่ 11 ระดับความลาดชันในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ที่มา: คัดแปลงจากกรมพัฒนาที่ดิน (2551)

4. ลักษณะธรณีวิทยา

ลักษณะทางธรณีวิทยาของกลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ประกอบด้วยหิน 3 ประเภท ได้แก่ หินอัคนี หินแปร และหินตะกอน หินแต่ละประเภทแยกออกจากกัน โดยอาศัยลักษณะทางกายภาพ การเกิด การสะสมตัว และอายุ เป็นสำคัญ ในลุ่มน้ำห้วยแม่พูล พบหน่วยหิน/หมวดหินที่มีอายุทางธรณีกาล ตั้งแต่ หินยุคปลาย-ช่วงกลางเพอร์เมียน ยุคปลายไทรแอสซิก ถึงยุคควอเตอร์นารี (ประมาณ 430 ล้านปี ถึงปัจจุบัน) แต่ละลำดับชั้นหิน เรียงจากอายุแก่ไปอายุน้อย ซึ่งรายละเอียดธรณีวิทยาชนิดหิน ในพื้นที่สามารถอธิบายได้ดังนี้ (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 ข้อมูลธรณีวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2535 และ 2550)

4.1 หินยุคปลาย-ช่วงกลางเพอร์เมียน (upper-middle permian period rock; Pll) หรือหมวดหินลับแล พบบริเวณตอนบนของพื้นที่ ประกอบด้วยหินทรายแกรนิต เนื้อละเอียด แทรกสลับด้วย หินดินดานหรือหินโคลน สีเทา และเทาเขียว แสดงแนวแตกเรียบชัดเจน ตอนกลางถึงบนสลับด้วย ชั้นขนานของหินแอนดีไซต์เนื้อละเอียด มีความหนา 1 - 1.5 เมตร ตอนล่างเป็นหินกรวดมน สลับกับหินปูนชั้นบาง และหินเชิร์ตชั้นบาง สลับชั้นกับหินโคลน พบซากดึกดำบรรพ์ ได้แก่ ไบรโอซัว หอยสองฝา แบรคิโอพอด และเรดิโอราเลียน (*albaillela* sp.) พบครอบคลุมเกือบทั้งพื้นที่

4.2 หินยุคปลายไทรแอสซิก (upper triassic period rock; Trkhp) หรือหมวดหินเขาพลึง ประกอบด้วยหินดินดานหรือหินโคลน สีเทา สีเทาดำ ขนาดชั้นบางสลับด้วยหินทรายแกรนิต แสดงแนวแตกเรียบชัดเจน บางบริเวณเป็นหินทรายแกรนิตสลับด้วยหินโคลน หินโคลนสลับหิน

เซิร์ต และหินเซิร์ตชั้นบาง พบซากดึกดำบรรพ์จำพวกเรดิโอลาเรีย หมวดหินนี้พบกระจายตัวบริเวณพบกระจายตัวบริเวณตอนกลางของพื้นที่

4.3 ตะกอนยุคควอเทอร์นารี (quaternary period rock; Qa) เป็นตะกอนที่เกิดจากทางน้ำในปัจจุบัน ซึ่งได้แก่ลักษณะ inter-mountain basin ในปัจจุบัน stream meandered และ flood basin ในบริเวณร่องเขา หุบเขา และฝั่งแม่น้ำ จะเป็นตะกอนกรวดสลับกับตะกอนทรายเป็นส่วนใหญ่ ส่วนบริเวณ flood plain จะเป็นตะกอนสลับกันของทราย ดินเหนียว ทรายแป้ง และโคลน โดยมีซากพืชปนอยู่ด้วย พบสะสมตัวอยู่ตามที่ราบ และระหว่างที่ราบกับที่ลาดเขา ทางบริเวณตอนล่างของพื้นที่

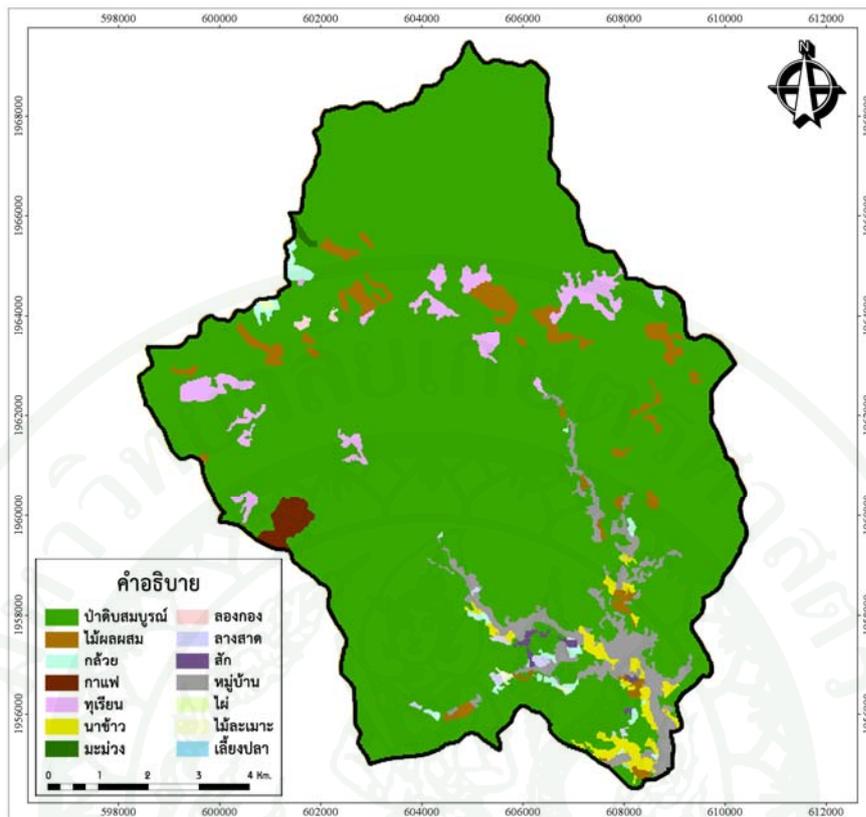
5. ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดินของกลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ซึ่งได้จากกรมพัฒนาที่ดิน (2552) ประกอบไปด้วยประเภทการใช้ประโยชน์หลัก 14 ชนิด และอธิบายรายละเอียดตามลักษณะกลุ่มการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ภาพที่ 13) ได้ดังนี้

5.1 ป่าดิบสมบูรณ์ (dense evergreen forest) ป่าชนิดนี้มีกระจายอยู่ทั่วไป ตามที่ราบลุ่ม ตามหุบเขา หรือตามแนวลำห้วย และลำธาร ตามบริเวณที่มีน้ำฝนค่อนข้างชุก พบมากที่ความสูงสูง 100 - 800 เมตรจากระดับน้ำทะเล หรือร้อยละ 80 ของพื้นที่กลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ป่าชนิดนี้ชั้นดินไม่หนา มีซากใบไม้เน่า ค่อนข้างแห้งในฤดูแล้ง มีช่วงทิ้งใบไม่เกิน 4 เดือน เรือนยอดแบ่งเป็น 3 ชั้น ชั้นบนสุด ประมาณ 20-25 เมตร เป็นพรรณไม้วงศ์ยาง ในขณะที่พืชพื้นล่างเป็นพืชอิงไม้เลื้อยมาก โดยเฉพาะหวาย และมีพรรณไม้ผลัดใบปะปนบ้าง ในปัจจุบันนี้เป็นร่องรอยที่เหลืออยู่ของพื้นที่ ป่าอันกว้างใหญ่ และอุดมสมบูรณ์ไปด้วยพืชพันธุ์ไม้ปกคลุมในอดีต

5.3 ไม้ผลผสม (mixed orchards) ในบริเวณกลุ่มน้ำห้วยแม่พูล เนื่องจากอาชีพส่วนใหญ่ของประชากรในพื้นที่ คือการทำเกษตรกรรม และมีการส่งเสริมให้ปลูกพืชเศรษฐกิจ เช่น ทูเรียน ลองกอง ลางสาด กาแฟ เป็นต้น จึงพบการทำสวนผลไม้ร้อยละ 10 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยมีการปลูกไม้ผลมากในบริเวณ บริเวณพื้นที่ลาดเชิงเขา และเนินเขาที่ต้นไม้อุดมหนาแน่น

5.4 นาข้าว (rice paddy) พื้นที่ทำนาในบริเวณกลุ่มน้ำห้วยแม่พูล พบกในบริเวณที่ราบใกล้ลำน้ำ และสองฝั่งถนน มีอยู่บริเวณไม่มากนัก และมีการใช้พื้นที่ที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า คือ ฤดูฝนใช้ทำนา ส่วนฤดูหนาวใช้ปลูกผัก โดยเฉพาะปลูกหอมแดง หอมหัวใหญ่ และพริกชนิดต่าง ๆ



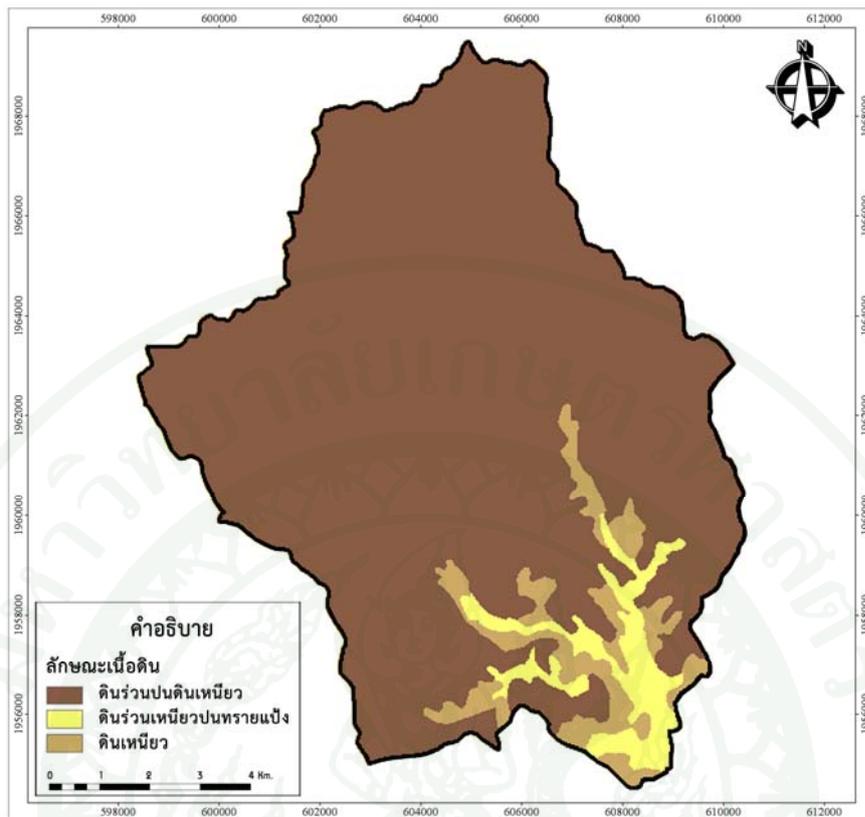
ภาพที่ 13 สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2552)

5.5 พื้นที่อยู่อาศัย (urban and built-up land) เนื่องจากประชากรมีอาชีพเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ คือ ทำนา ทำไร่ และทำสวนผลไม้ บริเวณที่ตั้งหมู่บ้านจึงอยู่ตามสองฝั่งถนน

6. ลักษณะของดิน (soil characteristics)

การจำแนกลักษณะดินของกลุ่มน้ำห้วยแม่พูลนั้น สามารถแยกตามลักษณะของเนื้อดิน (texture) ได้ดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 ลักษณะเนื้อดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2552)

6.1 เนื้อดินเป็นพวกดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง (silty clay loam) เป็นดินที่ประกอบไปด้วยดินเหนียวร้อยละ 27 - 40 และ ทรายน้อยกว่าร้อยละ 20 ดินบนมีสีน้ำตาลปนเทา ดินล่างสีน้ำตาลหรือสีเทาปนชมพูพบจุดประสีเหลืองหรือสีน้ำตาลปนเหลืองตลอดชั้นดิน ในดินชั้นล่างมักพบก้อนสารเคมีสะสมพวกเหล็กและแมงกานีส กลุ่มชุดดินนี้เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกตะกอนลำน้ำ พบบริเวณพื้นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบเป็นดินลึกมาก มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็ว ดินมีความสมบูรณ์ตามธรรมชาติค่อนข้างต่ำถึงปานกลาง ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกลาง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 6.0 - 7.5 ปัจจุบันบริเวณดังกล่าวส่วนใหญ่ใช้ทำนา ในฤดูแล้งบริเวณใกล้แหล่งน้ำใช้ปลูกยาสูบ พืชผักต่าง ๆ หรือพืชไร่บางชนิด ถ้ามีระบบชลประทานใช้ทำนาได้ 2 ครั้ง ในรอบปี

6.2 เนื้อดินเป็นพวกดินเหนียว (clay) เป็นดินที่ประกอบด้วยดินเหนียวมากกว่าร้อยละ 40 ทรายน้อยกว่าร้อยละ 45 และทรายแป้งน้อยกว่าร้อยละ 40 ดินมีสีน้ำตาลเหลือง หรือแดง เกิดจาก วัตถุต้นกำเนิด ดินพวกตะกอนลำน้ำ หรือเกิดจากการสลายตัวผุพังของดินหลายชนิด ที่มีเนื้อ ละเอียด พบบริเวณที่ดอนที่เป็นลูกคลื่นจนถึงเนินเขา มีความลาดชันประมาณร้อยละ 3 - 25 เป็นดิน ลึก มีการระบาย น้ำดีเนื่องจากมีความพรุนสูง มีการอุ้มน้ำต่ำถึงปานกลาง น้ำใต้ดินลึก พืชจะขาดน้ำ เมื่อฝนทิ้งช่วงนาน ดินมีการพังทลายในบริเวณที่มีความลาดชันสูง มีความอุดมสมบูรณ์ตาม ธรรมชาติค่อนข้างต่ำ pH ประมาณ 4.5 - 5.5 ปัจจุบันบริเวณดังกล่าวใช้ปลูกพืชไร่และไม้ผลต่าง ๆ มีส่วนน้อยที่ยังคงสภาพป่าธรรมชาติ

6.3 เนื้อดินเป็นพวกดินร่วนเหนียว (clay loam) เป็นดินที่ประกอบไปด้วยดินเหนียวร้อยละ 27 - 40 และทรายร้อยละ 20 - 45 ดินนี้พบบริเวณพื้นที่ภูเขา ซึ่งมีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 ดินที่พบในบริเวณดังกล่าวนี้มีทั้งดินลึกและดินตื้น ลักษณะของเนื้อดินและความอุดมสมบูรณ์ตาม ธรรมชาติแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของหินต้นกำเนิดในบริเวณนั้น มักมีเศษหิน ก้อนหิน หรือหิน พื้นโผล่ กระจายอยู่ทั่วไป ส่วนใหญ่ยังปกคลุมด้วยป่าไม้ประเภทต่าง ๆ เช่น ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง หรือป่าดิบชื้น หลายแห่งมีการทำไร่เลื่อนลอย โดยปราศจากมาตรการในการอนุรักษ์ดิน และน้ำ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน จนบางแห่งเหลือแต่หินพื้นโผล่ ได้แก่ชุดดิน ที่ลาดชันเชิงซ้อน (Sc) กลุ่มชุดดินนี้ไม่ควรนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เนื่องจากมีปัญหา หลายประการที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ควรสงวนไว้เป็นป่าตามธรรมชาติ เพื่อรักษาแหล่ง ต้นน้ำลำธาร

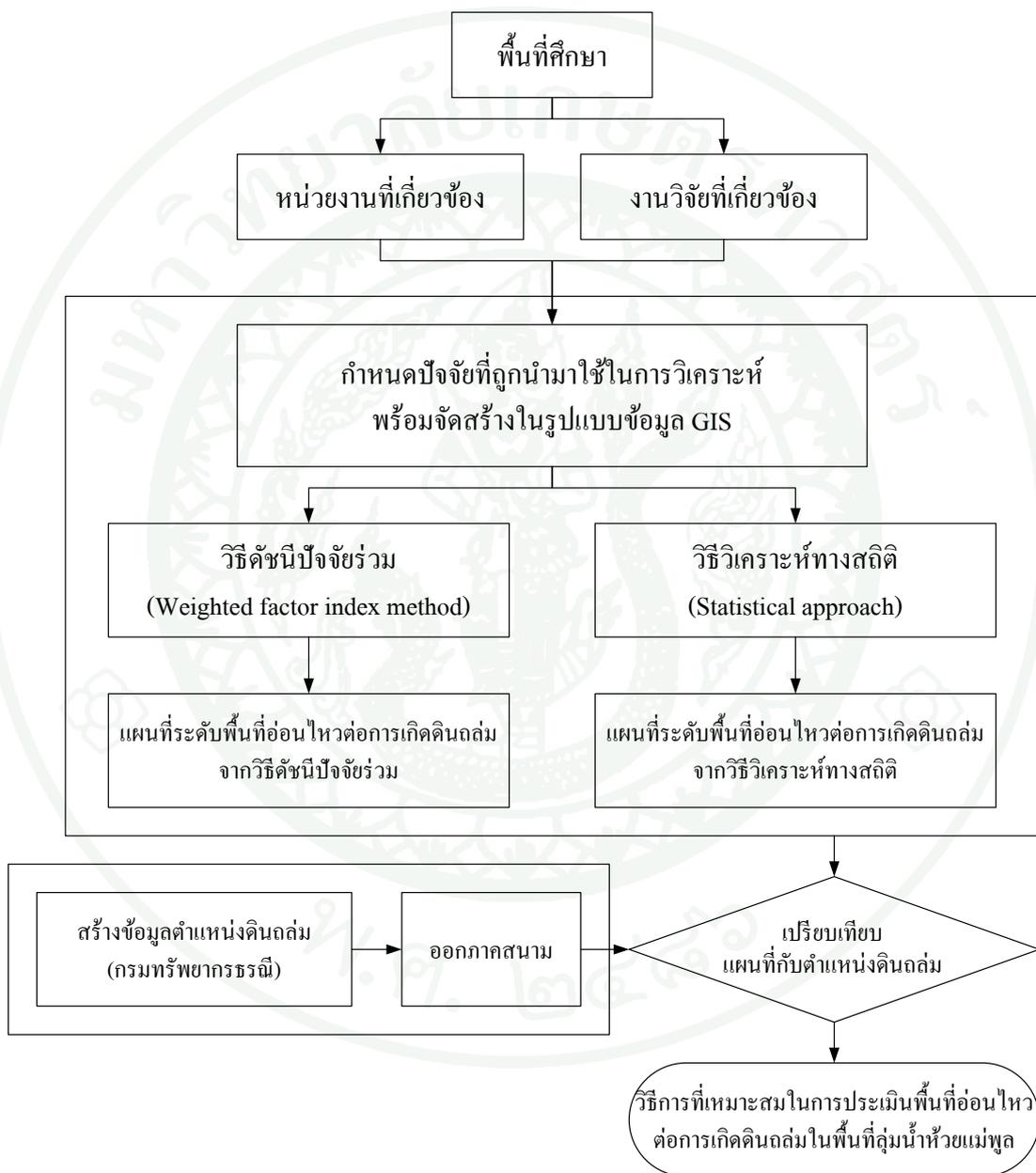
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ข้อมูลตำแหน่งที่เกิดดินถล่ม ปี พ.ศ. 2549 จากการแปลความหมายภาพข้อมูลดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ (SPOT 2-HRV) ของกรมทรัพยากรธรณี
2. แผนที่ภูมิประเทศ ชุด L7018 มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร หมายเลข 4944 I 4944 II 5044 III และ 5044 IV
3. แผนที่ธรณีวิทยา มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมทรัพยากรธรณี หมายเลข 4944 I 4944 II 5044 III และ 5044 IV
4. แผนที่สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณจังหวัดอุดรดิตถ์ ปี พ.ศ. 2552 มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน
5. แผนที่ชุดดินบริเวณจังหวัดอุดรดิตถ์ ปี พ.ศ. 2552 มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน
6. ข้อมูลความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM) ปี พ.ศ. 2551 มาตรฐาน 1:4,000 ของ กรมพัฒนาที่ดิน ความละเอียด 5 เมตร
7. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันตั้งแต่ พ.ศ. 2495 ถึง 2551 รวมทั้งสิ้น 13 สถานี ของกรมชลประทาน ซึ่งทำการวิเคราะห์ โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8. โปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcGIS 9.2
9. โปรแกรม SPSS for Windows

วิธีการ

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบวิธีการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในผังไหล (ภาพที่ 15) โดยรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้



ภาพที่ 15 ขั้นตอนการวิจัย

1. การตรวจสอบเอกสาร

การตรวจสอบเอกสาร งานวิจัย ที่ดำเนินการศึกษาในพื้นที่ครอบคลุมลุ่มน้ำห้วยแม่พูลจากหน่วยงานราชการ รายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) วิทยานิพนธ์ ตลอดจนข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อมูลทุติยภูมิ ข้อมูลอุตุนิยมิวิทยา แผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน แผนที่กลุ่มชุดดิน แผนที่ขอบเขตการปกครอง เป็นต้น

2. การรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลและกำหนดปัจจัยที่ทำให้เกิดดินถล่ม พบว่า มี 6 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชัน ระดับความสูง ชนิดของหิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะเนื้อดิน และปริมาณน้ำฝนสะสมซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร พร้อมกันนี้ได้ทำการจัดเตรียมข้อมูลตำแหน่งดินถล่ม ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากการแปลความหมายภาพข้อมูลดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ (SPOT 2 - HRV) ของกรมทรัพยากรธรณี (2549) เพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์

3. การนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่

การนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่ของแต่ละปัจจัยที่ทำการศึกษา ดำเนินการ โดยนำเข้าด้วยโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ จากนั้นทำการแบ่งตามชั้นข้อมูลของปัจจัยทั้งหมดที่ได้จัดเตรียมไว้ และทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลทั้งหมดพร้อมทั้งแก้ไขและปรับปรุงให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน (พื้นหลักฐานอ้างอิง WGS 1984 utm zone 47Q) ด้วยโปรแกรม ArcGIS 9.2 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลปัจจัยทั้งหมดดังนี้

3.1 ข้อมูลขอบเขตพื้นที่ศึกษา โดยใช้ลุ่มน้ำย่อยที่ครอบคลุมพื้นที่ที่เคยเกิดดินถล่มมาก่อนแล้ว คือ ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ได้จากการนำเข้าข้อมูลเวกเตอร์โดยวิธีการนำเข้าข้อมูลเชิงตัวเลข (digitize) จากแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) มาตรฐาน 1:4,000 ที่มีรายละเอียด 5 เมตร ของกรมพัฒนาที่ดิน แล้วแปลงให้เป็นข้อมูลราสเตอร์ในรูปของกริดขนาด 10 X 10 เมตร

3.2 ข้อมูลระดับความสูง นำแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) มาตรฐาน 1:4,000 ที่มีรายละเอียด 5 เมตร มาแปลงให้เป็นข้อมูลราสเตอร์ในรูปของกริดขนาด 10 X 10 เมตร และนำมาจัดชั้นข้อมูลใหม่ ให้มีความกว้างของอันตรภาคชั้นเท่ากับ 100 เมตร โดยชั้นข้อมูลแรกเท่ากับ 0 - 100 เมตร ชั้นสุดท้ายมากกว่า 800 เมตร รวมทั้งหมด 9 ชั้นข้อมูล

3.3 ข้อมูลความลาดชัน นำแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) มาตรฐาน 1:4,000 ที่มีรายละเอียด 5 เมตร มาคำนวณหาความลาดชันของพื้นที่ และทำการแปลงให้เป็นข้อมูลราสเตอร์ในรูปของกริดขนาด 10 X 10 เมตร และนำมาจัดชั้นข้อมูลใหม่ ให้มีความกว้างของอันตรภาคชั้นเท่ากับ 10 องศา โดยชั้นข้อมูลแรกเท่ากับ 0 - 10 องศา ชั้นสุดท้ายเท่ากับ 80 - 90 องศา รวมทั้งหมด 9 ชั้นข้อมูล

3.4 ข้อมูลชนิดของหิน นำเข้าข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยา มาตรฐาน 1:50,000 ในรูปแบบข้อมูลเวกเตอร์ และทำการแปลงให้เป็นข้อมูลราสเตอร์ในรูปของกริดขนาด 10X10 เมตร และนำมาจำแนกข้อมูลให้เป็น 3 ประเภทตามชนิดของหิน ได้แก่ ตะกอนธารน้ำพา หินดินดานหรือหินโคลน และหินทรายกร่อยแวก

3.5 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน นำข้อมูลแผนที่สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2552 มาตรฐาน 1:50,000 ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมพัฒนาที่ดินในรูปแบบข้อมูลเวกเตอร์ มาทำแปลงให้เป็นข้อมูลราสเตอร์ในรูปของกริดขนาด 10 X 10 เมตร และนำมาจำแนกข้อมูลให้เป็น 14 ประเภทตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ พื้นที่นาข้าว สถานที่เพาะเลี้ยงปลา สวนกาแฟ สวนยางสวน สวนมะม่วง ป่าละเมาะ ป่าไผ่ สวนสัก หมู่บ้าน สวนกล้วย สวนทุเรียน ป่าดิบสมบูรณ์ ไม้ผลผสม และสวนลองกอง

3.6 ข้อมูลลักษณะเนื้อดิน นำข้อมูลแผนที่ชุดดิน ปี พ.ศ. 2552 มาตรฐาน 1:50,000 ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมพัฒนาที่ดินในรูปแบบข้อมูลเวกเตอร์ มาทำแปลงให้เป็นข้อมูลราสเตอร์ในรูปของกริดขนาด 10 X 10 เมตร และนำมาจำแนกข้อมูลให้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะเนื้อดิน ได้แก่ ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินเหนียว และดินร่วนปนดินเหนียว

3.7 ข้อมูลปริมาณน้ำฝน นำข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันตั้งแต่ พ.ศ. 2495 ถึง 2551 รวมทั้งสิ้น 13 สถานี ของกรมชลประทาน ที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์นำมาวิเคราะห์หามาทำการวิเคราะห์สภาพน้ำฝน รอบปีการเกิด -

ช่วงเวลา - ความเข้มข้น (return period - duration - intensity) โดยการแจกแจงความถี่ด้วยวิธีกัมเบล (gumbel distribution) การวิเคราะห์ดังกล่าวต้องขึ้นอยู่กับจำนวนปีของการเก็บข้อมูลน้ำฝนของสถานีวัดน้ำฝน ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะนี้ทำให้ทราบความรุนแรงของฝน พิจารณาจากความถี่และรอบปีการเกิดซ้ำ และทำการแทรกค่า (interpolation) ด้วยโปรแกรมทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ไว้แล้วนั้น มาทำแปลงให้เป็นข้อมูลราสเตอร์ในรูปของกริดขนาด 10 X 10 เมตร และนำมาจัดชั้นข้อมูลใหม่ ให้มีความกว้างอันตรภาคชั้นเท่ากับ 20 มิลลิเมตร โดยจัดชั้นข้อมูลแรกเท่ากับ 450 - 470 มิลลิเมตร ชั้นสุดท้ายมากกว่า 490 มิลลิเมตร รวมทั้งหมด 3 ชั้นข้อมูล

3.8 ข้อมูลตำแหน่งดินถล่ม นำข้อมูลตำแหน่งดินถล่ม ในรูปแบบเวกเตอร์ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากการแปลความหมายภาพข้อมูลดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ (SPOT 2 - HRV) ของกรมทรัพยากรธรณี (2549) มาทำการตรวจสอบกับการสำรวจภาคสนาม (ground check) บริเวณลุ่มน้ำห้วยแม่พลู อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ แล้วทำการปรับแก้ความถูกต้อง และแปลงให้เป็นข้อมูลราสเตอร์ในรูปของกริดขนาด 10 X 10 เมตร

4. การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม

การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี วิธีที่จะสามารถแก้ปัญหาและส่งผลถึงการปฏิบัติได้จำเป็นต้องได้คำตอบที่ชัดเจนจากการวิจัยในหลายศาสตร์ประกอบกัน และการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มต้องอาศัยปัจจัยเฉพาะพื้นที่ (local factor) ที่มีความหลากหลายตลอดพื้นที่ประเทศ ในการวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ด้วย 2 วิธี ได้แก่ วิธีดัชนีปัจจัยร่วม และวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ โดยมีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังนี้

4.1 วิธีดัชนีปัจจัยร่วม (weighted factor index method)

วิธีดัชนีปัจจัยร่วมคือการนำปัจจัยที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์กระทำมาจัดจำแนกลำดับความรุนแรงและให้น้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยแล้วคิดออกมาเป็นแต้มคะแนนรวมเพื่อจัดลำดับความรุนแรงในแต่ละพื้นที่ ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังนี้

4.1.1 การกำหนดค่าคะแนนตามความสำคัญของดัชนีปัจจัยหลัก โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (analysis hierarchy process : AHP) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ในการวัดค่าระดับของการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผลการตัดสินใจที่ถูกต้องตรงกับ

เป้าหมายของการตัดสินใจได้มากที่สุด เริ่มด้วยการให้ผู้เชี่ยวชาญที่สังกัดหน่วยงานที่รับผิดชอบและมีผลงานทางวิชาการด้านดินถล่มตอบแบบสอบถาม เนื่องจากเป็นแบบสอบถามที่ต้องประเมินข้อเท็จจริงทางวิทยาศาสตร์และต้องมียุทธศาสตร์ความรู้ที่เพียงพอ เพื่อหาคำตอบ เพราะจำเป็นต้องมีการตัดสินใจเพื่อให้ได้คำตอบที่น่าเชื่อถือมากที่สุด โดยให้ผู้เชี่ยวชาญในสาขานั้นๆ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญจะทำการเปรียบเทียบ “ความสำคัญ” ของเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเพื่อหา “น้ำหนัก” ของแต่ละเกณฑ์ก่อนหลัง และทำการให้คะแนนโดยการเปรียบเทียบสิ่งที่ถูกเลือกทีละคู่ (pairwise comparison) ให้ครบทุกคู่และทุกเกณฑ์ ซึ่งจำนวนระดับความสำคัญในการเปรียบเทียบนี้ จะแบ่งระดับออกเป็น 9 ระดับตามที่ Saaty (1980) กำหนดไว้ (ตารางที่ 2)

4.1.2 การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อมูล (consistency) โดยนำผลการให้คะแนนความสำคัญ ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบของแต่ละท่านมาทำการตรวจสอบความสมเหตุสมผล เพื่อให้ไม่มีข้อผิดพลาด (error) ในการแสดงความเห็น โดยตรวจสอบจากค่าสัดส่วนความสมเหตุสมผล (consistency ratio; CR) ดังสมการที่ 3 ซึ่งค่าสัดส่วนความสมเหตุสมผลที่ยอมรับได้ คือ 0.1 หรือน้อยกว่า หากค่าความสอดคล้องสูงกว่าที่ยอมรับได้ต้องมีการวิเคราะห์เปรียบเทียบใหม่

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

CR = ค่าสัดส่วนความสอดคล้อง

CI = คำนีความสอดคล้อง

RI = คำนีจากการสุ่มตัวอย่าง (ตารางที่ 3)

$$\text{โดยที่ } CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n k_i / r_i}{n}$$

n = ขนาดของสแควร์เมตริกซ์ หรือจำนวนเกณฑ์

ตารางที่ 2 ขนาดของการเปรียบเทียบระดับความสำคัญ

ระดับความสำคัญ หรือความชอบ	ค่าแสดงเป็นตัวเลข
เท่ากัน	1
เท่ากันถึงปานกลาง	2
ปานกลาง	3
ปานกลางถึงค่อนข้างมาก	4
ค่อนข้างมาก	5
ค่อนข้างมากถึงมากกว่า	6
มากกว่า	7
มากกว่าถึงมากที่สุด	8
มากที่สุด	9

ที่มา: Saaty (1980)

4.1.3 นำผลการเปรียบเทียบระดับความสำคัญของผู้เชี่ยวชาญที่ผ่านการตรวจสอบค่าสัดส่วนความสอดคล้องมาทำการคัดเลือกผลการเปรียบเทียบที่ดีที่สุดด้วยการใช้วิธีฐานนิยม ทำให้ได้คะแนนเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจของปัจจัยต่าง ๆ โดยผู้เชี่ยวชาญ (ตารางที่ 4)

4.1.4 ทำการคำนวณน้ำหนักความสำคัญ (weight) หรือลำดับความสำคัญสัมพัทธ์ (relative priority) ของในแต่ละชั้นคำนวณหาค่ารวมของทุกสดมภ์ และนำค่าที่เป็นผลการเปรียบเทียบแต่ละคู่มาหารด้วยค่ารวมของแต่ละสดมภ์ เพื่อทำการปรับค่าของแต่ละสดมภ์ โดยผลรวมของแต่ละสดมภ์ต้องเท่ากับ 1 จากนั้นจึงคำนวณผลรวมของแต่ละแถว และหารด้วยจำนวนปัจจัย จึงได้คำตอบออกมาเป็นค่าคะแนนถ่วงน้ำหนัก (ตารางที่ 5) และเมื่อเรียงลำดับผลลัพธ์ของน้ำหนักแต่ละปัจจัยตามคะแนนจากมากไปน้อย ปัจจัยที่มีคะแนนมากที่สุดจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุดด้วย

ตารางที่ 3 คำนีจากการสุ่มตัวอย่าง

จำนวนเกณฑ์ (n)	ค่านีจากการสุ่มตัวอย่าง (RI)
1	0
2	0
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49
11	1.51
12	1.48
13	1.56
14	1.57
15	1.59

ที่มา: Saaty (1980)

ตารางที่ 4 คะแนนเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจของปัจจัยต่าง ๆ โดยผู้เชี่ยวชาญ

ดัชนี	ความลาดชัน (องศา)	ชนิดของหิน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ระดับความสูง (เมตร)	ลักษณะเนื้อดิน	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)
ความลาดชัน (องศา)	1	1/2	5	5	3	1/4
ชนิดของหิน	2	1	2	7	2	1/2
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	1/5	1/2	1	1/2	1	1/5
ระดับความสูง (เมตร)	1/5	1/7	2	1	1/2	1/9
ลักษณะเนื้อดิน	1/3	1/2	1	2	1	1/6
ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	1/4	2	5	9	6	1

4.1.5 ทำการให้คะแนนปัจจัยย่อยตามลำดับความสำคัญของรายละเอียดปัจจัยย่อย สำหรับการศึกษานี้ได้ทำการจัดลำดับโดยใช้ข้อมูลสถิติเหตุการณ์ดินถล่มจริงมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับปัจจัยต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมา ด้วยการหาสัดส่วนระหว่างพื้นที่ของแต่ละปัจจัยย่อยที่ตรงกับตำแหน่งดินถล่มต่อพื้นที่ทั้งหมดของแต่ละปัจจัยย่อย และนำค่าที่ได้มาจัดลำดับ โดยค่าลำดับที่สูงหมายถึงรายละเอียดปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุด ขณะที่ค่าลำดับที่น้อยหมายถึงมีผลต่อการเกิดดินถล่มน้อยที่สุด

4.1.6 นำผลการกำหนดค่าคะแนนตามความสำคัญของดัชนีปัจจัยหลัก และปัจจัยย่อยมาสรุปในรูปแบบตาราง (ตารางที่ 6) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

ตารางที่ 5 คะแนนค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยหลัก

ดัชนี	ความลาดชัน (องศา)	ชนิดของหิน	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ระดับความสูง (เมตร)	ลักษณะเนื้อดิน	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	ค่าถ่วงน้ำหนัก
ความลาดชัน (องศา)	0.13	0.11	0.31	0.20	0.22	0.12	0.19
ชนิดของหิน	0.26	0.22	0.13	0.29	0.15	0.23	0.21
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	0.03	0.11	0.06	0.02	0.07	0.09	0.06
ระดับความสูง (เมตร)	0.03	0.03	0.13	0.04	0.04	0.05	0.05
ลักษณะเนื้อดิน	0.04	0.11	0.06	0.08	0.07	0.05	0.07
ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	0.52	0.43	0.31	0.37	0.44	0.46	0.42
คะแนนรวม	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

4.1.7 ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มเชิงพื้นที่โดยการใช้ค่าดัชนีปัจจัยร่วม ซึ่งสามารถกำหนดได้จากผลรวมของน้ำหนักปัจจัยหลักคูณกับคะแนนปัจจัยหลัก ดังสมการที่ 5

$$S = (W1R1) + (W2R2) + (W3R3) + \dots + (WnRn) \quad (5)$$

โดยที่ S = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

W = น้ำหนักของปัจจัยหลัก

R = คะแนนตามลำดับความสำคัญของรายละเอียดปัจจัยย่อย

n = จำนวนปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 6 ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

ปัจจัย	ค่าน้ำหนัก	ลำดับความสำคัญ	
		รายละเอียด	ค่าลำดับ
1. ความลาดชัน(องศา)	0.23	$\leq 10^\circ$	1
		$11^\circ - 20^\circ$	2
		$21^\circ - 30^\circ$	3
		$31^\circ - 40^\circ$	4
		$> 40^\circ$	5
2. ชนิดของหิน	0.17	Qa : ตะกอนธารน้ำพา	1
		Trkhp : หินดินดานหรือหินโคลน	2
		PII : หินทรายเกรย์แวก	3
3. การใช้ประโยชน์ที่ดิน	0.14	พื้นที่นาข้าว	1
		สถานที่เพาะเลี้ยงปลา	1
		สวนกาแฟ	1
		สวนยาง	1
		สวนมะม่วง	1
		ป่าละเมาะ	1
		ป่าไผ่	1
		สวนสัก	1
		หมู่บ้าน	2
		สวนกล้วย	3
		สวนทุเรียน	4
ป่าดิบสมบูรณ์	5		
ไม้ผลผสม	6		
สวนลองกอง	7		

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ปัจจัย	ค่าน้ำหนัก	ลำดับความสำคัญ	
		รายละเอียด	ค่าลำดับ
4. ระดับความสูง (เมตร)	0.09	≤ 100	1
		101 - 200	2
		201 - 300	7
		301 - 400	5
		401 - 500	6
		501 - 600	4
		> 600	3
5. ลักษณะเนื้อดิน	0.13	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง	1
		ดินเหนียว	2
		ดินร่วนปนดินเหนียว	3
6. ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	0.24	< 470 มม.	1
		470 - 490 มม.	2
		> 490 มม.	3

ที่มา: ดัดแปลงจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2552)

4.1.8 นำผลรวมของคะแนนค่าความสำคัญของปัจจัยรวมมาแบ่งช่วงตามระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม โดยนำคะแนนสูงสุด และต่ำสุดที่เป็นไปได้มาจัดชั้นข้อมูลใหม่ ให้ความกว้างของอันตรภาคชั้นที่เท่ากันได้ 5 ระดับคือ พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก พื้นที่อ่อนไหวสูง พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง พื้นที่อ่อนไหวต่ำ และพื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มจากผลรวมของคะแนนค่าความสำคัญของปัจจัย

ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม	ช่วงคะแนน
พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก	3.27 – 3.82
พื้นที่อ่อนไหวสูง	2.70 – 3.26
พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง	2.14 – 2.69
พื้นที่อ่อนไหวต่ำ	1.57 – 2.13
พื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก	1.00 – 1.56

4.2 วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ

วิธีการประเมินโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ (statistical approach) ด้วยการรวบรวมปัจจัยที่ทำให้เกิดแผ่นดินถล่มในอดีต มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านี้กับการเกิดดินถล่ม และนำผลที่ได้นำมาใช้ในการพยากรณ์โอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่ ซึ่งรูปแบบของสถิติที่นิยมใช้คือ logistic regression ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังนี้

4.2.1 การกำหนดพื้นที่ตัวแทน (training area) คือ การใช้จุด (พื้นที่) ที่เคยเกิดเหตุการณ์และไม่เกิดเหตุการณ์ดินถล่มมาเป็นตัวแทนของพื้นที่ โดยตัวแทนค่าการเกิดดินถล่มให้มีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งได้จากร่องรอยการเกิดจากดินถล่มทุกรอยที่แปลความหมายตำแหน่งที่เกิดดินถล่ม โดยกรมทรัพยากรธรณี (2549) และตัวแทนค่าไม่เกิดดินถล่ม ให้มีค่าเท่ากับ 0 ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (multi-stage random sampling) ซึ่งวิธีนี้ใช้ในกรณีที่ประชากรมีขนาดใหญ่มาก อยู่ในพื้นที่กว้าง และประชากรสามารถแบ่งระดับที่แตกต่างกันหลายระดับโดยการศึกษา ใช้หลายวิธีประกอบกันคือ เริ่มจากใช้วิธีสุ่มแบบแบ่งชั้นจากการหาความน่าจะเป็นของปัจจัยย่อยทั้งหมดที่ไม่ซ้ำกันเพื่อให้สอดคล้องครอบคลุมคุณลักษณะทุกประการของตัวแทน ซึ่งพบว่าจำนวนตัวแทนยังมีจำนวนไม่เพียงพอ จึงใช้วิธีสุ่มแบบง่าย (simple random sampling) เพื่อกำหนดให้ตัวแทนค่าไม่เกิดดินถล่มมีขนาดจุด (พื้นที่) ใกล้เคียงกับตัวแทนการเกิดดินถล่ม ทำให้ได้ตัวแทนเพียงพอที่จะทดสอบความเชื่อมั่นทางสถิติได้ โดยจำนวนข้อมูลที่เป็นตัวแทนของพื้นที่เกิดดินถล่มมีจำนวน 28,054 กริด หรือร้อยละ 50.39 และข้อมูลที่ไม่ใช่ตัวแทนของพื้นที่เกิดดินถล่ม มีจำนวน 27,619 กริด หรือร้อยละ 49.61

4.2.2 นำจุด (พื้นที่) ตัวแทนที่ได้ (พื้นที่ที่เคยเกิดเหตุการณ์และไม่เกิดเหตุการณ์ดินถล่ม) ไปใช้ในการอ้างอิงเพื่อเลือกเก็บข้อมูล (intersect) จากชั้นข้อมูลปัจจัยทั้งหมด โดยกำหนดให้ตัวแปรตามคือการเกิดและไม่เกิดดินถล่ม ในขณะที่ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ความลาดชัน ระดับความสูง ธรณีวิทยา การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะเนื้อดิน และปริมาณน้ำฝน จากนั้นทำการแปลงข้อมูลที่ได้ให้อยู่ในรูปแบบแฟ้มข้อมูลนามสกุล .dbf และจัดทำฐานข้อมูลเพื่อนำเข้าสู่การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 ตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม

ประเภทตัวแปร	ชื่อตัวแปร
ตัวแปรตาม (Y)	การเกิดดินถล่ม
ตัวแปรอิสระ (X_1)	ความลาดชัน
ตัวแปรอิสระ (X_2)	ระดับความสูง
ตัวแปรอิสระ (X_3)	ธรณีวิทยา
ตัวแปรอิสระ (X_4)	การใช้ประโยชน์ที่ดิน
ตัวแปรอิสระ (X_5)	ลักษณะเนื้อดิน
ตัวแปรอิสระ (X_6)	ปริมาณน้ำฝน

4.2.3 ทำการวิเคราะห์เลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่การวิเคราะห์ถดถอยแบบโลจิสติก (logistic regression) เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดดินถล่ม กับตัวแปรอิสระ โดยนำตัวแปรอิสระทุกตัวมาทำการจับคู่กับการเกิดถล่ม โดยใช้ฟังก์ชัน analyze/regression/ binary logistic ในโปรแกรม SPSS for windows ทำให้ได้แบบจำลองทางสถิติที่ใช้คาดการณ์เพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม

4.2.4 ทำการวิเคราะห์การถดถอยแบบโลจิสติก (logistic regression model) โดยกำหนดค่าความเสี่ยงเท่ากับ 0.5 ซึ่งตัวแปรอิสระที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์เพื่อเลือกตัวแปรอิสระที่มีความเหมาะสมในการศึกษาแล้ว จะถูกนำเข้าสู่การวิเคราะห์การถดถอยแบบโลจิสติก ดังสมการที่ 6

$$P(Y=1) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)}} \quad (6)$$

โดยที่ $P(Y=1)$ = ความน่าจะเป็น ของพื้นที่การเกิดดินถล่ม

α = ส่วนตัดแกน Y (Intercept)

β = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ

x = ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่ม

e = ค่าคงที่ มีค่าประมาณ 2.17828

4.2.5 นำผลรวมของคะแนนค่าความสำคัญของปัจจัยรวมมาแบ่งช่วงตามระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม โดยนำคะแนนสูงสุดของความน่าจะเป็นต้องไม่เกิน 1 และนำมาจัดชั้นข้อมูลใหม่ ให้มีความกว้างของอันตรภาคชั้นที่เท่ากันได้ 5 ระดับคือ พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก พื้นที่อ่อนไหวสูง พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง พื้นที่อ่อนไหวต่ำ และพื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก (ตารางที่ 9)

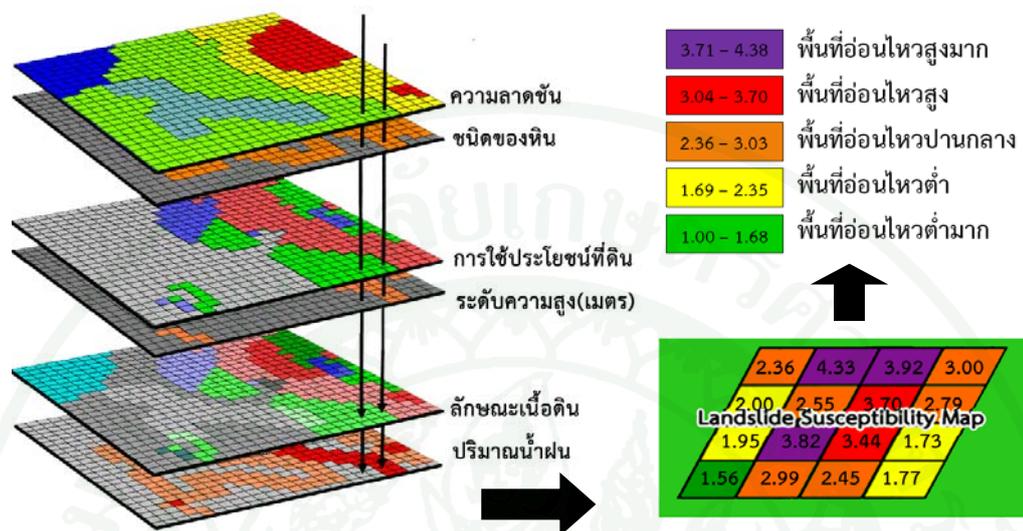
ตารางที่ 9 ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มจากความน่าจะเป็นของพื้นที่การเกิดดินถล่ม

ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม	ช่วงคะแนน
พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก	0.81 - 1.00
พื้นที่อ่อนไหวสูง	0.61 - 0.80
พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง	0.41 - 0.60
พื้นที่อ่อนไหวต่ำ	0.21 - 0.40
พื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก	0.00 - 0.20

5. สร้างแผนที่จำแนกระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีดัชนีปัจจัยรวมและวิธีวิเคราะห์ทางสถิตินำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 9.2 (ภาพที่ 16) ทำให้ทุกจุด (พื้นที่) ศึกษาทั้งหมดมีค่าคะแนนที่ได้จากการวิเคราะห์ และนำค่าคะแนนที่ได้มาแบ่งเป็นช่วงระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม 5 ระดับ คือ พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก พื้นที่อ่อนไหวสูง พื้นที่

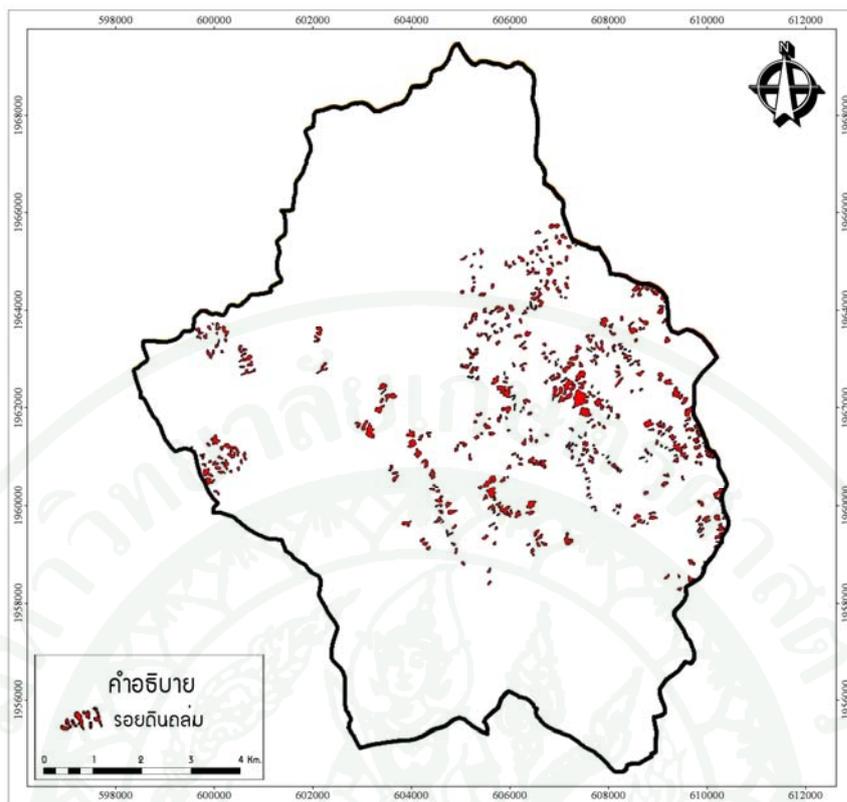
อ่อนไหวปานกลาง พื้นที่อ่อนไหวต่ำ และพื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก จากนั้นทำการแปลงผลที่ได้ให้อยู่ในรูปของแผนที่ระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม (landslide susceptibility mapping)



ภาพที่ 16 การสร้างแผนที่จำแนกระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

6. เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์

นำผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม และวิธีทางวิเคราะห์ทางสถิติ มาเปรียบเทียบกับข้อมูลตำแหน่งดินถล่ม ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากการแปลความหมายภาพข้อมูลดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ (SPOT - 2 HRV) ของกรมทรัพยากรธรณี (2549) (ภาพที่ 17) ด้วย Kappa statistic; KHAT (Cohen, 1960) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ที่จะทำการบ่งชี้ข้อมูลในแต่ละประเภททั้งหมดว่ามีความสอดคล้อง หรือมีความถูกต้องระหว่างข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์และข้อมูลรอยดินถล่มในอดีตมากหรือน้อยอย่างไร โดยค่าสูงสุดที่เป็นไปได้คือ 1.0 หมายถึงมีความสอดคล้องทั้งหมด ส่วนค่าต่ำสุด คือ 0 หมายถึงไม่มีความสอดคล้องกันเลย โดยใช้วิธีการคำนวณในรูปของตารางไขว้ (cross tabulation) ก็จะพิจารณาจากผลการตรวจสอบที่ให้ผลเหมือนกัน ด้วยสมการที่ 7



ภาพที่ 17 รอยเหตุการณ์ดินถล่มของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ วันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2549

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2549)

$$\text{KHAT} = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})} \quad (7)$$

- โดยที่
- r = จำนวนแถว
 - N = จำนวนทั้งหมดที่ทำการจำแนก
 - x_{ii} = จำนวนจุดภาพที่มีความสอดคล้องกัน
 - x_{i+} = จำนวนจุดภาพในแต่ละระดับความเหมาะสมของพื้นที่จริง
 - x_{+i} = จำนวนจุดภาพในแต่ละระดับความเหมาะสมของแบบจำลอง

KHAT = 0.00	ไม่มีความสอดคล้อง
0.01-0.20	มีความสอดคล้องระดับเล็กน้อย (slight)
0.21-0.40	มีความสอดคล้องระดับพอใช้ (fair)
0.41-0.60	มีความสอดคล้องระดับปานกลาง (moderate)
0.61-0.80	มีความสอดคล้องระดับดีพอใช้ (substantial)
0.81-1.00	มีความสอดคล้องระดับดีมาก (almost perfect)



ผลและวิจารณ์

การเปรียบเทียบวิธีการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล จังหวัดอุตรดิตถ์ ปรากฏผลการศึกษาดังนี้

1. การวิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดดินถล่ม

การเกิดดินถล่มมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลายชนิดปัจจัยที่สามารถใช้ในการทำนายปรากฏการณ์นั้นแต่จากการตรวจเอกสาร พบว่า ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มมีทั้งหมด 6 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชัน ระดับความสูง ชนิดของหิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะเนื้อดิน และปริมาณน้ำฝน ซึ่งสามารถนำมาจัดเป็นชั้นข้อมูลใหม่ และนำผลการจัดชั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีดัชนีปัจจัยรวม และวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ ได้ดังนี้

1.1 ความลาดชัน

ความลาดชันของพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับเสถียรภาพของดินที่อยู่บนภูเขา บริเวณที่มีความลาดชันสูง มีโอกาสที่ดินจะเกิดการสูญเสียเสถียรภาพและเคลื่อนที่ลงมาตามลาดชันของภูเขาได้สูง และมีการไหลของน้ำตามผิวหน้าดินที่รุนแรง มีโอกาสในการเกิดดินถล่มสูง ซึ่งสามารถแสดงพื้นที่ของความลาดชันแต่ละระดับเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริงเพื่อคำนวณหาสถิติของตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริงต่อปัจจัยในรูปตาราง (ตารางที่ 10) และอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

จากการศึกษาพบว่า บริเวณที่มีความลาดชันที่ 40 - 50 องศาในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล เป็นพื้นที่ที่เกิดดินถล่มมากที่สุด รองลงมาได้แก่ 30 - 40, 20 - 30 และ 10 - 20 องศา ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Sidle *et al.* (1985) ที่กำหนดค่าต่ำสุดของความชันที่เกิดแต่ละรูปแบบของการพิบัติของลาดดิน พบว่าการพังทลายแบบ การถล่ม (slides) และ การไหล (flows) เกิดขึ้นเมื่อความชันมีค่าระหว่าง 20 องศา ถึงค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 37 องศา

ตารางที่ 10 สถิติความลาดชัน เปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริง

ช่วงชั้น ข้อมูล	พื้นที่ ความลาดชัน ทั้งหมด	ร้อยละ	พื้นที่ความลาด ชันที่ปรากฏ รอยดินถล่ม	ร้อยละ	สัดส่วนของร้อยละความ ลาดชันที่เกิด ดินถล่มต่อพื้นที่ทั้งหมด
	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)/(2)
0 - 10	14.87	14.07	0.08	2.78	0.20
11 - 20	20.95	19.83	0.38	13.43	0.68
21 - 30	37.59	35.58	1.12	39.98	1.12
31 - 40	29.73	28.14	1.13	40.27	1.43
41 - 50	2.51	2.38	0.10	3.54	1.49
51 - 60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
รวม	105.65	100	2.81	100	

หมายเหตุ ใช้ขนาดความละเอียดพื้นที่เท่ากับ 10 X 10 เมตร

โดยในพื้นที่ศึกษาที่บริเวณความลาดชันตั้งแต่ 20 - 50 องศาเป็นพื้นที่หุบเขา และที่ลาดไหล่เขา ซึ่งมีความชันค่อนข้างสูงเมื่อมีน้ำใต้ดินระดับสูงขึ้น และจะไหลภายในช่องว่างของอนุภาคดิน ลงตามความลาดชันของลาดเขาด้วยอัตราเร็ว เมื่อถึงจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความชันของลาดเขา โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงความชันไปมีความชันมากขึ้นจะทำให้เกิดรูปร่างของลาดเขาเป็นแบบโค้งออกด้านนอก (convex form) ระดับน้ำใต้ดินจะสูงขึ้นมากจนไหลขึ้นมาบนผิวดิน และจะพาอนุภาคดินออกมากับน้ำด้วย ซึ่งทำให้แรงต้านทานการเลื่อนไถลลดลงมากหรือเท่ากับศูนย์ จึงเกิดดินเลื่อนไหลขึ้น ในบริเวณนี้เป็นจุดแรกนอกจากนี้บริเวณลาดไหล่เขามีการทำสวนทุเรียน และลองกอง เป็นหลัก ซึ่งระดับความลาดชันนี้ในสภาพธรรมชาติ มีโอกาสเกิดดินถล่มสูง เพราะการทำเกษตรในบริเวณที่ลาดชัน ต้องมีปรับพื้นที่หรือรบกวนหน้าดิน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลของน้ำบริเวณผิวดิน และส่งผลให้เสถียรภาพของลาดดินลดลงไปด้วย ซึ่งวรวิดิ (2535) ได้ทำการศึกษาการเกิดดินถล่มที่บ้านกระทุงเหนือ อำเภอพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช เมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน 2531 พบว่ารอยดินถล่มส่วนมากพบอยู่ในบริเวณที่มีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 30 ในขณะที่พื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 50 องศาขึ้นไป ไม่พบรอยดินถล่ม เนื่องจากยังมีสภาพเป็นป่าธรรมชาติ และความลาดชันน้อยกว่า 10 องศาลงมา ไม่พบรอยดินถล่ม เนื่องจากเป็นพื้นที่ราบ

1.2 ระดับความสูง

ระดับความสูงของพื้นที่ มีความสัมพันธ์กับแรงโน้มถ่วงของโลกเนื่องจากพื้นที่ที่มีระดับสูงได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์มากกว่าพื้นที่ระดับต่ำ เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นอัตราการระเหย (evaporation) และการคายน้ำ (transpiration) จะลดลงเพราะบริเวณที่สูงอุณหภูมิต่ำและความชื้นในอากาศ (humidity) จะสูง ปริมาณและความหนักเบา (intensity) ของฝนที่ตกจะเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้ล้วนส่งผลโดยตรงต่อการผุพังของดินและหินที่อยู่ในระดับความสูง มีโอกาสในการเกิดดินถล่มสูง ซึ่งสามารถแสดงพื้นที่ของระดับความสูงแต่ละระดับเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริงเพื่อคำนวณหาสถิติของตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริงต่อปัจจัยในรูปแบบตาราง (ตารางที่ 11) และอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

จากการศึกษาพบว่า บริเวณที่มีระดับความสูงที่ 200-300 เมตร ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูลเป็นพื้นที่ที่เกิดดินถล่มมากที่สุด รองลงมาได้แก่ 400 - 500, 300 - 400, 500 - 600, 600 - 700 และ 100 - 200 เมตรตามลำดับ ระดับความสูงมีอิทธิพลต่อลักษณะทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล เนื่องจากบริเวณที่สูงเมื่อปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (surface runoff) มีมาก น้ำในลำธารที่อยู่บนที่สูงจะไหลเร็ว เนื่องจากการกักเก็บน้ำไม่ดี น้ำฝนส่วนมากจึงไหลไปตามผิวดิน (overland flow) โดยเฉพาะในระดับความสูงที่ 200 - 400 เมตร เป็นระดับความสูงที่มีการทำเกษตรกรรม โดยเฉพาะสวนทุเรียน ซึ่งทำการปลูกตั้งแต่ลาดไหล่เขาจนถึงสันเขา ทำให้ที่ระดับความสูงนี้มีโอกาสเกิดดินถล่มมากที่สุด

1.3 ชนิดของหิน

ชนิดของหินเป็นปัจจัยสำคัญอีกชนิดหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของพื้นที่ ปกติชั้นดินที่เกิดการถล่มลงมาจากภูเขา เป็นชั้นดินที่เกิดจากการผุกร่อนของหินให้เกิดเป็นดิน โดยหินแต่ละชนิดเวลาผุจะทำให้ชนิดและความหนาของดินที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากชั้นหินแต่ละชนิดมีอัตราการผุพังไม่เท่ากัน ซึ่งผลการศึกษาชนิดของหินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูลสามารถแสดงพื้นที่ชนิดของหินแต่ละระดับเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริงเพื่อคำนวณหาสถิติของตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริงต่อปัจจัยในรูปแบบตาราง (ตารางที่ 12) และอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 11 สถิติระดับความสูงเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริง

ช่วงชั้น ข้อมูล	พื้นที่ ระดับความสูง ทั้งหมด	ร้อยละ	พื้นที่ระดับ ความสูงที่ปรากฏ รอยดินถล่ม	ร้อยละ	สัดส่วนของร้อยละระดับ ความสูงที่เกิดดินถล่ม ต่อพื้นที่ทั้งหมด
	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)/(2)
0 - 100	5.02	4.76	0.00	0.00	0.00
101 - 200	23.05	21.82	0.24	8.56	0.39
201 - 300	18.44	17.44	0.72	25.52	1.46
301 - 400	27.75	26.27	0.89	31.60	1.20
401 - 500	22.60	21.39	0.74	26.41	1.23
501 - 600	7.00	6.63	0.20	7.16	1.08
601 - 700	1.52	1.44	0.02	0.74	0.52
701 - 800	0.24	0.23	0.00	0.00	0.00
801 - 900	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
รวม	105.65	100	2.81	100	

หมายเหตุ ใช้ขนาดความละเอียดพื้นที่เท่ากับ 10 X 10 เมตร

จากการศึกษาพบว่า บริเวณที่มีชนิดของหินเป็นหินยุคปลาย-ช่วงกลางเพอร์เมียน (upper-middle permian period rock; PII) หรือหมวดหินลับแล ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูลเป็นพื้นที่ที่เกิดดินถล่มมากที่สุด เนื่องจากลักษณะเนื้อหินเป็นหินตะกอนกึ่งแปรสภาพที่เกิดจากกระบวนการแปรสภาพโดยแรงกระทำหรือการแปรสภาพพลวัต (dynamic metamorphism) ทำให้เกิดลักษณะเป็นหินดินดานกึ่งหินชนวน เมื่อผุพังจะให้ชั้นดินเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทราย เนื้อละเอียดมาก และยังพบรอยแตกซึ่งเป็นระนาบการแตกที่เกิดในขณะชั้นหินโค้งงอที่ปรากฏในมวลหินและรอยต่อระหว่างชั้นหินจำนวนมากทำให้น้ำและอากาศผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยาเคมีให้หินผุพังได้ง่ายขึ้นอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ สันติ (2553) ซึ่งทำการศึกษาโอกาสเกิดดินถล่มโดยวิธีทางธรณีวิศวกรรม พบว่าดินในกลุ่มหินตะกอนมีความสามารถในการซึมน้ำต่ำกว่าหินแกรนิต จึงมีโอกาสในการเกิดดินถล่มสูง

ตารางที่ 12 สถิติชนิดของหินเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริง

ช่วงชั้น ข้อมูล	พื้นที่ ชนิดของหิน ทั้งหมด	ร้อยละ	พื้นที่ชนิดของ หินที่ปรากฏ รอยดินถล่ม	ร้อยละ	สัดส่วนของร้อยละชนิด ของหินที่เกิดดินถล่ม ต่อพื้นที่ทั้งหมด
	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)/(2)
Pll	72.45	68.57	2.64	93.94	1.37
Trkhp	29.22	27.66	0.17	6.05	0.22
Qa	3.98	3.77	0.00	0.02	0.00
รวม	105.65	100	2.81	100	

หมายเหตุ ใช้ขนาดความละเอียดพื้นที่เท่ากับ 10 X 10 เมตร

1.4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดินมีผลกระทบต่อเสถียรภาพของความลาดชันของพื้นที่ เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของระบบราก ความลึก และความหนาแน่นของรากพืชที่มีความแตกต่างกันจะมีอิทธิพลต่อความมั่นคงของลาดดินต่างกัน ซึ่งสามารถแสดงพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริงเพื่อคำนวณหาสถิติของตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริงต่อปัจจัยในรูปแบบตาราง (ตารางที่ 13) และอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

จากการศึกษาพบว่า ทุกประเภทการใช้ที่ดินมีสัดส่วนการเกิดดินถล่มที่แตกต่างกัน กล่าวคือ บริเวณที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อเป็นสวนลองกอง ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูลเป็นพื้นที่ที่เกิดดินถล่มมากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มของไม้ผลผสม เช่น สวนทุเรียน เนื่องจากเป็นกลุ่มพืชเศรษฐกิจที่ส่งเสริมให้มีการปลูกมากในพื้นที่ ซึ่งตามธรรมชาติลักษณะทางสรีระวิทยาของพืชกลุ่มนี้มีลักษณะใบของเป็นมันลื่น ปลายใบยาว ซึ่งลักษณะพื้นผิวของใบพืชนี้มีศักยภาพในการอุ้มน้ำได้น้อย ไม่สามารถยึดน้ำไว้ได้ และเรือนยอดที่ปลูกอยู่ในระดับชั้นเดียวกัน จึงได้รับอิทธิพลจากฝนโดยตรง ทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน และน้ำหนักดินที่เพิ่มขึ้นจากการดูดซับน้ำฝนประกอบกับความลาดชันสูงจึงเกิดดินถล่มสูง รองลงมาคือป่าดิบสมบูรณ์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง และยังพบว่าพื้นที่เกษตรกรรมมีสัดส่วนการเกิดดินถล่มน้อยที่สุด เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความลาดชันต่ำ เป็นที่ราบเป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 13 สถิติของการใช้ประโยชน์ที่ดินเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริง

ช่วงชั้น ข้อมูล	พื้นที่การใช้ ประโยชน์ที่ดิน ทั้งหมด	ร้อยละ	พื้นที่การใช้ ประโยชน์ที่ดินที่ ปรากฏรอยดินถล่ม	ร้อยละ	สัดส่วนของร้อยละ การใช้ประโยชน์ ที่ดินที่เกิดดินถล่ม ต่อพื้นที่ทั้งหมด
	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)/(2)
ป่าดิบสมบูรณ์	93.07	88.09	2.65	94.45	1.07
นาข้าว	1.26	1.19	0.00	0.00	0.00
สัก	0.20	0.19	0.00	0.00	0.00
กาแฟ	0.68	0.64	0.00	0.00	0.00
ไผ่	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
ไม้ผลผสม	2.96	2.80	0.10	3.44	1.23
ทุเรียน	2.39	2.26	0.04	1.38	0.60
มะม่วง	0.09	0.09	0.00	0.00	0.00
กล้วย	0.76	0.72	0.00	0.07	0.10
ยางสด	0.23	0.22	0.00	0.00	0.00
ลองกอง	0.15	0.14	0.02	0.61	4.88
สถานที่เพาะเลี้ยงปลา	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
ไม้ตะเภา	0.07	0.06	0.00	0.00	0.00
หมู่บ้าน	3.74	3.54	0.00	0.06	0.02
รวม	105.65	100	2.81	100	

หมายเหตุ ใช้ขนาดความละเอียดพื้นที่เท่ากับ 10 X 10 เมตร

การปลูกทุเรียน ยางสด และผลไม้อื่น ๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูลสมัยแรกๆ โดยการข้างหรือยิงเมล็ดยางสดและเมล็ดทุเรียนขึ้นไบบนภูเขา ไม่มีระยะการปลูกที่เป็นระเบียบเหมือนสวนผลไม้ของที่อื่นแต่จะปล่อยให้ต้นทุเรียน ยางสดเติบโตขึ้นเองตามธรรมชาติโดยชาวบ้านจะไม่โค่นต้นไม้อื่นๆ มีเพียงในระยะหลังที่เริ่มมีการพัฒนาปรับปรุงพันธุ์ผลไม้ขึ้นมาใหม่ โดยนำกิ่งลองกองจากทางใต้มาต่อกิ่งกับต้นยางสด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสวนทุเรียน ลองกอง และยางสด ของลุ่มน้ำห้วยแม่พูลจึงขึ้นอยู่ตามภูเขาทั่วไป ทั้งไหล่เขาจนกระทั่งถึง

ยอดเขา มองภาพรวมเหมือนกับป่าไม้ตามธรรมชาติ และเป็นสวนผลไม้ที่ไม่มีรั้วกั้น ซึ่งข้อดีที่ต้นทุเรียนสามารถขึ้นบนพื้นที่ลาดชันได้เนื่องจากต้นทุเรียนมีรูปแบบการแผ่กระจายของรากแบบ R-type (ศูนย์วิจัยป่าไม้, 2537) ซึ่งมีศักยภาพในการเสริมสร้างความมั่นคงของความลาดเท นอกจากนี้ยังพบว่าระบบราก (root system) ของต้นทุเรียนนั้นเป็นระบบรากแก้ว (tap root) ซึ่งเป็นศูนย์กลางที่ก่อให้เกิดการประสานของดินชั้นล่าง และมีรากฝอยทำหน้าที่ในการหาอาหาร แต่เนื่องจากทุเรียนเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ทำให้รากแก้วมีอายุสั้น ซึ่งจะเจริญในช่วงแรกแล้วสลายไป ส่งผลทำให้สมบัติในการเกาะยึดดินและความแข็งแรงของดินลดลง เมื่อฝนตกหนักและต่อเนื่องมากกว่าปกติทำให้น้ำไหลซึมลงสู่ดินชั้นล่างโดยตรง ทำให้ดินด้านล่างจะสูญเสียกำลังและเกิดดินถล่มขึ้น เช่นเดียวกับที่วรุตติ (2535) ทำการศึกษาพื้นที่ที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่มพบว่าพื้นที่เกิดดินถล่มส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภูเขาสูงชันและหลาย ๆ พื้นที่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น ที่บ้านกระทุงเหนือ พบว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพป่าเป็นสวนยางพารา โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีขนาดเล็กอยู่ หรือที่บ้านน้ำก้อ บ้านน้ำซุน มีการบุกรุกทำลายป่าไม้เพื่อทำไร่และทำการเกษตรบนที่สูง เป็นพื้นที่ที่เกิดดินถล่มมากที่สุด

1.5 ลักษณะเนื้อดิน

ลักษณะเนื้อดิน เป็นปัจจัยสำคัญอีกชนิดหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของพื้นที่ สมบัติบางประการของดินที่มีแรงต้านทานการพังทลายของดินอยู่ 2 แรง คือ แรงเชื่อมแน่นและแรงเสียดทาน ดินเหนียวจะมีแรงเชื่อมแน่นมาก แต่มีแรงเสียดทานน้อย ในขณะที่ดินทราย จะมีแรงเชื่อมแน่น น้อย แต่มีแรงเสียดทานมาก ดินที่เกิดจากการสลายตัวผุพังแล้วมีปริมาณทรายมากจะมีโอกาสในการเกิดดินถล่มสูง นอกจากนี้ดินยังสามารถเป็นได้ทั้งปัจจัยที่ช่วยลดหรือเร่งความรุนแรงคือดินที่มีความสามารถอุ้มน้ำได้มาก อนุภาคของดินเกาะตัวกันอย่างแน่นหนาจะช่วยให้ปริมาณน้ำที่จะไหลลงสู่ที่ต่ำลดลง ขณะที่ดินที่อุ้มน้ำได้น้อยหรือดิน จะทำให้น้ำไหลบ่าอย่างรวดเร็วและมีปริมาณมาก ซึ่งสามารถแสดงพื้นที่ลักษณะเนื้อดินแต่ละประเภทเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริงเพื่อคำนวณหาสถิติของตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริงต่อปัจจัยในรูปแบบตาราง (ตารางที่ 14) และอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 14 สถิติลักษณะเนื้อดินเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริง

ช่วงชั้น ข้อมูล	พื้นที่ ลักษณะเนื้อดิน ทั้งหมด	ร้อยละ	พื้นที่ลักษณะเนื้อ ดินที่ปรากฏรอย ดินถล่ม	ร้อยละ	สัดส่วนของร้อยละ ความลาดชันที่เกิด ดินถล่มต่อพื้นที่ทั้งหมด
	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)/(2)
ดินร่วนปนดินเหนียว	94.01	88.98	2.80	99.56	1.12
ดินร่วนเหนียวปน - ทรายแป้ง	5.01	4.74	0.00	0.01	0.00
ดินเหนียว	6.63	6.28	0.01	0.43	0.07
รวม	105.65	100	2.81	100	

หมายเหตุ ใช้ขนาดความละเอียดพื้นที่เท่ากับ 10 X 10 เมตร

จากการศึกษาพบว่า บริเวณที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ห้วยแม่พูลเป็นพื้นที่ที่เกิดดินถล่มมากที่สุด เนื่องจากเป็นดินที่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคขนาดเล็ก และมีปริมาณรวมของช่องว่างมาก มีอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านดินต่ำ ทำให้การเคลื่อนตัวของ น้ำสู่ดินชั้นล่างช้า และเกิดน้ำท่วมขังที่ผิวหน้าดินได้นาน เมื่อฝนตกลงมาหนักในขณะที่ดินมี ความสามารถในการดูดซับน้ำได้น้อย ชั้นดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ น้ำฝนที่ตกลงมาส่วนใหญ่จึงไหล นองตามผิวหน้าดิน และไหลลงสู่ลำธารอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มน้ำหนักดิน น้ำหนัก น้ำ และน้ำหนักต้นไม้ และเมื่อรวมตัวกันแล้วมีค่ามากกว่าแรงยึดเกาะกันเองระหว่างดินในชั้นดิน หรือมากกว่าแรงยึดเกาะกันระหว่างชั้นดินกับชั้นหินที่อยู่ใต้ชั้นดิน จึงเกิดการเลื่อนไหลของดิน กลายเป็นดินถล่มในที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2552) ได้ทำการ ทดสอบคุณสมบัติตามลักษณะชั้นดินบริเวณพื้นที่สวนศรีแก้ว ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัด อุตรดิตถ์ พบดินเม็ดละเอียดตั้งแต่ระดับผิวดินจนถึงความลึก 0.8 เมตร และดินเม็ดหยาบในระดับ ความลึก 0.8-1 เมตร เมื่อพิจารณาค่า Plastic Index (P.I.) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความเหนียว ของดินพบว่าระดับผิวดินมีค่าพลาสติกซิติ่มากที่สุด และระดับความลึกที่ 0.3 เมตร มีปริมาณของดิน เม็ดละเอียดมากที่สุด การพิบัตินี้จึงเกิดในช่วงระหว่างชั้นดินที่ระดับผิวดิน (top soil) ถึงระดับ 1 เมตร เนื่องจากมีค่ากำลังรับแรงเฉือนน้อย

1.6 ปริมาณน้ำฝน

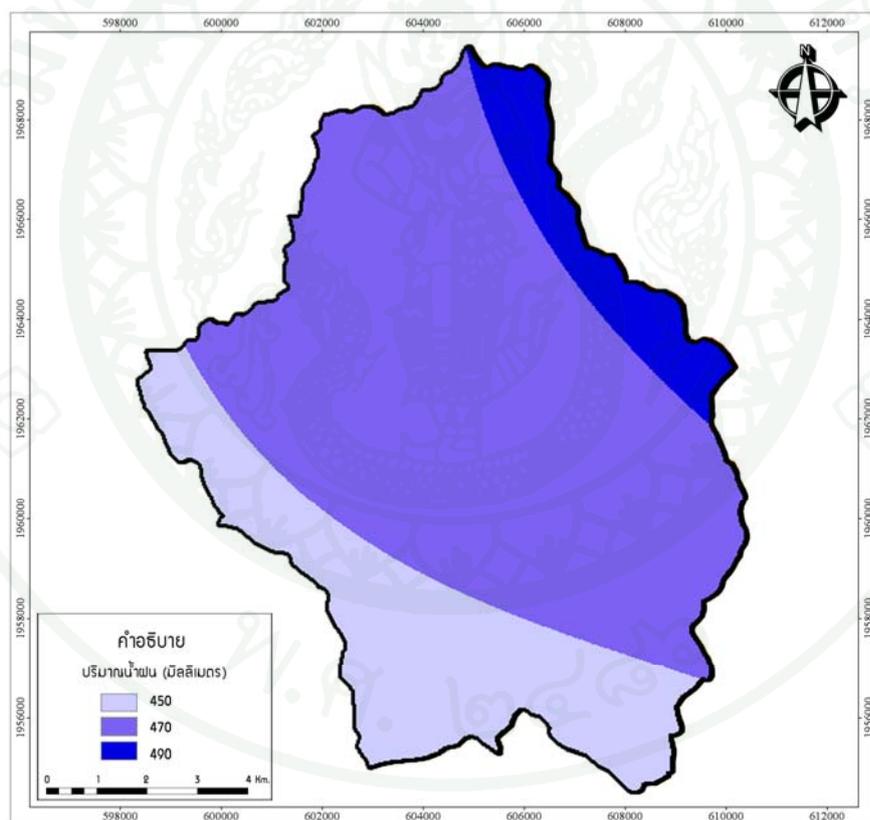
ปริมาณน้ำฝน เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดดินถล่ม โดยเฉพาะการตกหนักของฝนอย่างต่อเนื่อง จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำฝนร่วมกันกับประชาชนในพื้นที่หลายจังหวัดของคณะสำรวจพื้นที่เกิดเหตุดินถล่มภาคเหนือตอนล่าง (2550) พบว่าถ้าปริมาณน้ำฝนมากกว่า 90 มิลลิเมตร ในรอบ 24 ชั่วโมง จะเกิดน้ำป่าไหลหลาก และหากปริมาณน้ำฝนมากกว่า 150 มิลลิเมตร ชั้นดินบางแห่งอาจเกิดดินไหลหรือดินถล่ม นอกจากนี้ปริมาณน้ำฝนที่ตกต่อเนื่องกันหลายวันสะสมมากกว่า 300 มิลลิเมตร บางแห่งอาจเกิดดินไหลหรือดินถล่มได้เช่นเดียวกัน Campbell (1975) พบว่าปริมาณฝนที่มากกว่า 6.35 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จะกระตุ้นให้เกิดดินถล่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีความชื้นจากฝนที่ตกมาก่อนหน้าแล้ว ปริมาณฝนที่ตกติดต่อกันเป็นระยะเวลาานานก่อให้เกิดดินถล่มมากกว่าฝนที่ตกในระยะสั้น ๆ ซึ่งสามารถแสดงพื้นที่ปริมาณน้ำฝนสะสมแต่ละประเภทเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริงเพื่อคำนวณหาสถิติของตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริงต่อปัจจัยได้ในรูปตาราง (ตารางที่ 15) และอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 15 สถิติปริมาณน้ำฝนเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มจริง

ช่วงชั้น ข้อมูล	พื้นที่ ปริมาณน้ำฝน ทั้งหมด	ร้อยละ	พื้นที่ปริมาณ น้ำฝนที่ปรากฏ รอยดินถล่ม	ร้อยละ	สัดส่วนของร้อยละ ปริมาณน้ำฝนที่เกิด ดินถล่มต่อพื้นที่ทั้งหมด
	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)/(2)
< 450	26.47	25.05	0.17	6.05	0.24
450-470	70.96	67.17	2.34	83.27	1.24
> 490	8.22	7.78	0.30	10.68	1.37
รวม	105.65	100	2.81	100	

หมายเหตุ ใช้ขนาดความละเอียดพื้นที่เท่ากับ 10 X 10 เมตร

จากการศึกษาพบว่า บริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 490 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาจากน้ำฝนสะสม 3 วัน รอบปีการเกิดซ้ำใน 100 ปีของปริมาณน้ำฝนรายปีซึ่ง อยู่ตั้งทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ เป็นพื้นที่ที่เกิดดินถล่มมากที่สุด เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศบริเวณนี้เป็นหุบเขาสูงชัน ฝนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ส่วนใหญ่จึงเป็นลักษณะ convectional types คือมีความหนักเบา (rainfall intensity) ค่อนข้างสูง ตกครอบคลุมพื้นที่ไม่กว้างมาก และมีทิศทางหันเข้ารับน้ำฝนที่มาจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยเฉพาะในช่วงระยะของลมมรสุม (เดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคม) จะมีฝนตกตลอดฤดู กอปรกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกซึ่งส่งผลต่อรูปแบบการตกของฝน คือมีปริมาณมากในช่วงสั้น ๆ และมีปริมาณน้ำฝนมากขึ้นกว่าปกติสภาพเช่นนี้จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้บริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 490 มิลลิเมตร เป็นพื้นที่ที่เกิดดินถล่มมากที่สุด (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 ปริมาณน้ำฝนสะสม 3 วัน รอบปีการเกิดซ้ำใน 100 ปีของปริมาณน้ำฝนรายปี ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

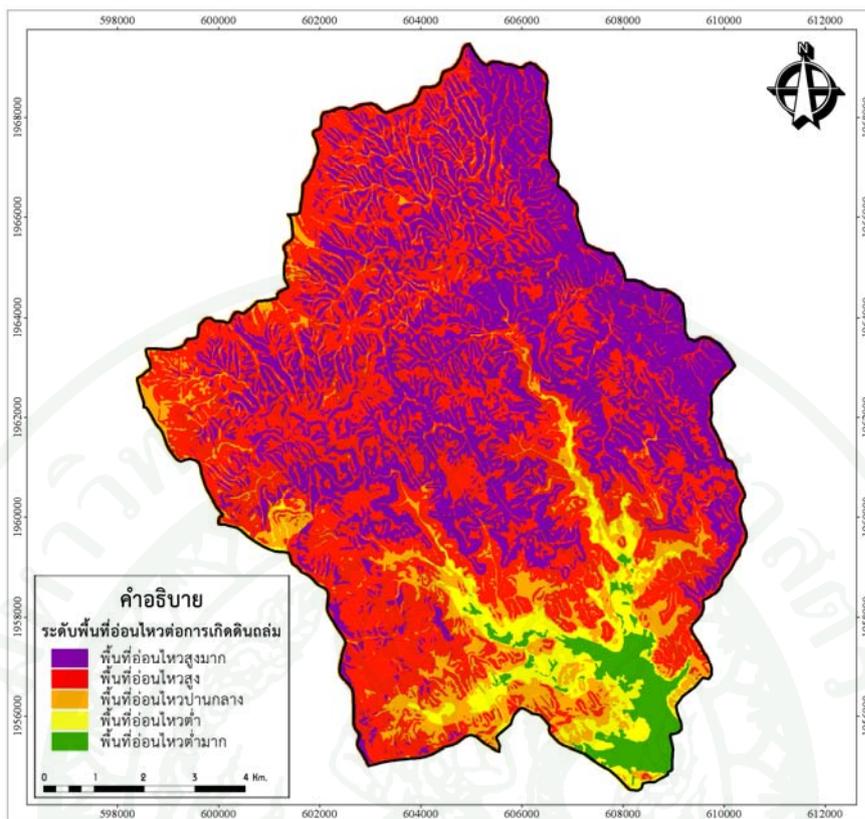
ที่มา: กรมชลประทาน (2495 ถึง 2551)

2. วิธีดัชนีปัจจัยร่วม

การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม คือการนำปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเกิดดินถล่มมาจัดจำแนกลำดับความรุนแรง ซึ่งจากการตรวจสอบเอกสารสามารถสรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดในกระบวนการเกิดดินถล่มและนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ทั้งหมด 6 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชัน ระดับความสูง ธรณีวิทยา การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะเนื้อดิน และปริมาณน้ำฝน ซึ่งปัจจัยหลักเหล่านี้ถูกนำมากำหนดค่าคะแนนตามความสำคัญ ด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (analysis hierarchy process; AHP) โดยผู้เชี่ยวชาญที่สังกัดหน่วยงานที่รับผิดชอบและมีผลงานทางวิชาการด้านดินถล่มตอบแบบสอบถาม (questionnaire) ด้วยการเปรียบเทียบสิ่งที่ถูกเลือกทีละคู่ (pairwise comparison) ให้ครบทุกคู่และทุกเกณฑ์ พร้อมทั้งตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อมูล (consistency) ซึ่งจากการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มโดยวิธี AHP และนำคะแนนหลักมาคูณกับลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยย่อย สามารถอธิบายได้ว่า ค่าคะแนนสูงสุดเท่ากับ 3.82 และต่ำที่สุดเท่ากับ 1.00 จากนั้นนำค่าคะแนนสูงสุดและต่ำสุดมาแบ่งเป็นช่วงเท่า ๆ กัน เพื่อเป็นตัวแทนของระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มทั้ง 5 ระดับ ได้แก่ พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก 3.27 - 3.82 คะแนน พื้นที่อ่อนไหวสูง 2.70 - 3.26 คะแนน พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง 2.14 - 2.69 คะแนน พื้นที่อ่อนไหวต่ำ 1.57 - 2.13 คะแนน และพื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก 1.00 - 1.56 คะแนน พร้อมกันนี้ประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อให้ทราบขนาดของพื้นที่ และร้อยละของแต่ละระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม (ตารางที่ 16) โดยผลจากการวิเคราะห์ (ภาพที่ 19) สามารถอธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 16 ผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม

ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก	36.82	34.48
พื้นที่อ่อนไหวสูง	49.38	46.74
พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง	10.90	10.32
พื้นที่อ่อนไหวต่ำ	5.15	4.87
พื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก	3.40	3.22
รวม	105.65	100.00



ภาพที่ 19 ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่ประเมินด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม ของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก มีพื้นที่ทั้งหมดเท่ากับ 36.82 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 34.48 ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากที่บริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ต้นน้ำมีความลาดชันสูง และมีปริมาณน้ำฝนในพื้นที่มากที่สุด ซึ่งทั้งสองปัจจัยนี้ส่งผลให้พื้นที่บริเวณนี้มีระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มสูงที่สุด ส่วนปัจจัยอื่นนั้นมอิทธิพลน้อยมาก

พื้นที่อ่อนไหวสูง อยู่ในอันดับถัดมา มีพื้นที่ทั้งหมด 49.38 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 46.74 ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากบริเวณที่เป็นพื้นที่ป่าดิบแล้งสมบูรณ์ซึ่งเป็นพื้นที่ที่พบมากที่สุด และมีระดับความสูงมากกว่า 200 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง นอกจากนี้การใช้ประโยชน์ที่ดินทำสวนลองกอง และสวนทุเรียนที่แทรกสลับอยู่ตามพื้นที่ป่าดิบสมบูรณ์ซึ่งมีส่วนที่ทำให้พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มอยู่ในระดับสูงด้วย พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง มีพื้นที่ทั้งหมด 10.9 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 10.32 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งพบมากบริเวณตอนกลางของพื้นที่ซึ่งมีระดับความสูง 100 - 200 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว พื้นที่

อ่อนไหวต่ำ มีพื้นที่ทั้งหมด 5.15 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 4.87 ของพื้นที่ทั้งหมดพบมากบริเวณที่เป็นที่อยู่อาศัย และพื้นที่อ่อนไหวต่ำมากมีพื้นที่ทั้งหมด 3.40 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 3.22 ของพื้นที่ทั้งหมดพบมากบริเวณตอนล่างของพื้นที่ ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่ราบ และใช้ประโยชน์เพื่อการทำนาเป็นส่วนใหญ่

3. วิเคราะห์ทางสถิติ

การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ โดยทำการรวบรวมปัจจัยที่ทำให้เกิดแผ่นดินถล่มในอดีต มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่ม ซึ่งรูปแบบของสถิติที่ใช้ในการศึกษานี้คือ การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (logistic regression analysis) และปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ใช้ปัจจัยเดียวกันกับวิธีดัชนีปัจจัยรวม ได้แก่ ความลาดชัน ระดับความสูง ธรณีวิทยา การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะเนื้อดิน และปริมาณน้ำฝน

3.1 จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ

จำนวนข้อมูล (ตัวแทน) ที่ใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก มีทั้งหมด 51,215 กริด แต่ละกริดมีขนาด 10 X 10 เมตร ซึ่งข้อมูลรอยดินถล่มที่ได้จากการแปลความหมายโดยกรมทรัพยากรธรณี (2549) มีจำนวน 28,054 กริด (ร้อยละ 50.39) และไม่ใช่อรอยดินถล่มมีจำนวน 27,619 กริด (ร้อยละ 49.61) (ตารางที่ 17) นอกจากนี้แต่ละกริดจะประกอบด้วยข้อมูลปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั้ง 6 ปัจจัยหลัก โดยที่แต่ละปัจจัยหลักจะมีค่าลำดับของปัจจัยย่อยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มแตกต่างกันไป ตามสถิติการเกิดดินถล่ม

ตารางที่ 17 จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ

ประเภทข้อมูล	จำนวนข้อมูล (กริด)	ร้อยละ
รอยดินถล่ม	28,054	50.39
ไม่ใช่รอยดินถล่ม	27,619	49.61
รวม	51,215	100.00

3.2 แบบจำลองทางสถิติที่ใช้คาดการณ์เพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม (logistic regression model)

การวิเคราะห์เลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่การวิเคราะห์ถดถอยแบบโลจิสติก (logistic regression) ด้วยโปรแกรม SPSS for windows เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดดินถล่มกับตัวแปรอิสระ สามารถสร้างแบบจำลองทางสถิติที่ใช้คาดการณ์เพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มได้ดังสมการที่ 8

$$LS = 4.810 + 0.376 (\text{SLOPE}) - 0.160 (\text{ELEV}) - 2.338 (\text{GEOL}) - 0.530 (\text{LANDU}) - 2.464 (\text{SOIL}) + 0.813 (\text{RAIN}), R^2 = 0.63 \quad (8)$$

โดยที่	LS	=	การเกิดดินถล่ม
	SLOPE	=	ความลาดชัน (X_1)
	ELEV	=	ระดับความสูง (X_2)
	GEOL	=	ชนิดของหิน (X_3)
	LANDU	=	การใช้ประโยชน์ที่ดิน (X_4)
	SOIL	=	ลักษณะเนื้อดิน (X_5)
	RAIN	=	ปริมาณน้ำฝน (X_6)

เมื่อพิจารณาแบบจำลองทางสถิติที่ใช้คาดการณ์เพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม พบว่า ความลาดชัน ระดับความสูง ชนิดของหิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะเนื้อดิน และปริมาณน้ำฝน มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มถึงร้อยละ 63 จากตัวแปรอิสระทั้ง 6 ปัจจัย สามารถสรุปตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มได้ดังนี้

3.2.1 การเกิดดินถล่มจะแปรผันตรงกับความลาดชัน และมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.16 เนื่องจากความลาดชันของพื้นที่ที่มีอิทธิพลต่อความยากง่ายและความรุนแรงในการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงจะมีความคงทนต่อการเกิดดินถล่มต่ำ และจะเกิดการถล่มแบบรวดเร็ว ส่วนบริเวณที่มีความลาดชันต่ำจะเกิดการถล่มแบบช้าลง จึงพบว่าในพื้นที่ความลาดชันสูงจึงทำให้มีโอกาสเกิดดินถล่มสูงตามไปด้วย

3.2.2 การเกิดดินถล่มจะแปรผกผันกับระดับความสูง และมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.01 ซึ่งตามปกติวัตถุหรือมวลสารจะเคลื่อนที่จากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ (แรงโน้มถ่วงของโลก) ซึ่งดินถล่มมักจะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีความสูงชันแล้วถล่มหรือไหลลงมาในบริเวณที่ราบ แต่ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พุลพื้นที่ระดับสูงมีโอกาสดินถล่มต่ำเนื่องจากส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าดิบสมบูรณ์ซึ่งมีเสถียรภาพของลาดดินสูง ในขณะที่พื้นที่ระดับปานกลางมีโอกาสดินถล่มมากกว่าเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการทำเกษตรเป็นส่วนใหญ่จึงทำให้เสถียรภาพของพื้นที่ลดลง

3.2.3 การเกิดดินถล่มจะแปรผกผันกับชนิดของหิน และมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.25 เนื่องจากหินดินดานหรือหินโคลนที่พบในพื้นที่ บางแห่งถูกแทรกดันด้วยหินอัคนีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างรวดเร็วเมื่อผุพังจะให้ชั้นดินเป็นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทราย และให้ชั้นดินหนา 2-3 เมตร ซึ่งส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นที่ทำการเกษตร จึงมีโอกาสดินถล่มสูง ส่วนบริเวณที่เป็นหินทราย เมื่อผุพังให้ชั้นดินทราย แต่เนื่องจากยังคงสภาพเป็นป่าไม้ซึ่งต้นไม้จึงทำให้เกิดดินถล่มน้อยกว่าหินดินดาน

3.2.4 การเกิดดินถล่มจะแปรผกผันกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน และมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.38 เนื่องจากบริเวณที่เกิดดินถล่มมักพบในพื้นที่ภูเขาสูงชันและในพื้นที่พบว่ามี การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพป่าเดิมไปเป็นสวนผลไม้ เช่น สวนลองกอง กล้วย และทุเรียน ซึ่งระบบรากของสวนผลไม้ หรือพืชเชิงเดี่ยวต่างๆจะมีระบบรากของต้นไม้ชนิดเดียวทำให้มีความหนาแน่นของรากน้อยกว่าป่าไม้ดั้งเดิม เพราะพื้นที่ป่าไม้จะมีระบบรากของพืชหลายชนิดอยู่รวมกันโดยมีรากแก้ว ซึ่งเป็นรากที่ยาวที่สุดของต้นไม้ ฝังลึกลงไปจนถึงชั้นหินข้างล่าง จะทำให้ชั้นดินบนภูเขาแข็งแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดินมากกว่ารากของพืชชนิดเดียว ดังนั้นถ้าฝนตกหนักต่อเนื่อง พื้นที่ที่ใช้ทำสวนจึงเกิดดินถล่มก่อนพื้นที่ป่าไม้ดั้งเดิม

3.2.5 การเกิดดินถล่มจะแปรผกผันกับลักษณะเนื้อดิน และมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.23 จากผลการศึกษาเนื้อดินพวกดินร่วนเหนียวปนทรายแข็ง พบมากบริเวณพื้นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบซึ่งบริเวณดังกล่าวส่วนใหญ่ใช้ทำนา จึงมีโอกาสดินถล่มต่ำมาก เนื้อดินเป็นพวกดินเหนียว พบบริเวณที่ดอนจนถึงเนินเขา และมีความลาดชันเล็กน้อยมีโอกาสดินถล่มปานกลาง และเนื้อดินเป็นพวกดินร่วนเหนียว พบมากบริเวณพื้นที่ภูเขา ซึ่งมีความลาดชันสูง จึงมีโอกาสดินถล่มสูง

3.2.6 การเกิดดินถล่มจะแปรผันตรงกับปริมาณน้ำฝน และมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเท่ากับ 0.12 เนื่องจากบริเวณที่เกิดดินถล่มมักเกิดจากฝนตกต่อเนื่องเป็นระยะเวลาานและมีปริมาณน้ำฝนสะสมมาก จากผลการศึกษาจึงพบว่าในพื้นที่ที่ปริมาณน้ำฝนสะสมสูงเมื่อฝนตกน้ำฝนจะไหลซึมลงไปในพื้นที่ดิน และเข้าไปแทนที่ช่องว่างระหว่างเม็ดดินจนเต็มก่อน กระทั่งชั้นดินชุ่มน้ำจนไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินลดน้อยลง จึงส่งผลให้เกิดดินถล่มมากกว่าพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนสะสมต่ำกว่า

3.3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยแบบโลจิสติก (logistic regression model) เพื่อหาความน่าจะเป็นของพื้นที่ที่เกิดดินถล่ม โดยนำแบบจำลองทางสถิติที่ใช้คาดการณ์เพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มมาแทนค่าในสมการที่ 9

$$P(Y=1) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)}} \quad (9)$$

โดยที่ $P(Y=1)$ = ความน่าจะเป็น ของพื้นที่ที่เกิดดินถล่ม
 α = ส่วนตัดแกน Y (y-intercept)
 β = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ
 x = ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่ม
 e = ค่าคงที่ มีค่าประมาณ 2.17828

ผลการศึกษาเพื่อหาความน่าจะเป็นของพื้นที่ที่เกิดดินถล่ม ด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปัจจัยในการวิเคราะห์ใช้เช่นเดียวกับวิธีดัชนีปัจจัยร่วม ซึ่งมีทั้งหมด 6 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชัน ระดับความสูง ธรณีวิทยา การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะเนื้อดิน และปริมาณน้ำฝน โดยกำหนดให้ทั้ง 6 ปัจจัยเป็นตัวแปรอิสระ และพื้นที่ที่เคยเกิดเหตุการณ์และไม่เกิดเหตุการณ์ดินถล่มเป็นตัวแปรตาม

จากนั้นนำชุดข้อมูลตัวแทนมาสร้างความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการเส้นถดถอย และนำผลรวมที่ได้จากการแทนค่าปัจจัยในสมการ ทำให้ได้ค่าคะแนนสูงสุดเท่ากับ 1.00 และต่ำที่สุดเท่ากับ 0.00 จากนั้นนำค่าคะแนนสูงสุดและต่ำสุดมาแบ่งเป็นช่วงเท่า ๆ กัน เพื่อเป็นตัวแทนของระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มทั้ง 5 ระดับ ได้แก่ พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก 0.80 - 1.00 พื้นที่อ่อนไหวสูง 0.60 - 0.80 พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง 0.40 - 0.60 พื้นที่อ่อนไหวต่ำ 0.20 - 0.40 คะแนน

และพื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก 0.00 - 0.20 พร้อมกันนี้ประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อให้ทราบขนาดของพื้นที่ และร้อยละของแต่ละระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม (ตารางที่ 18) โดยผลจากการวิเคราะห์ (ภาพที่ 20) สามารถอธิบายได้ดังนี้

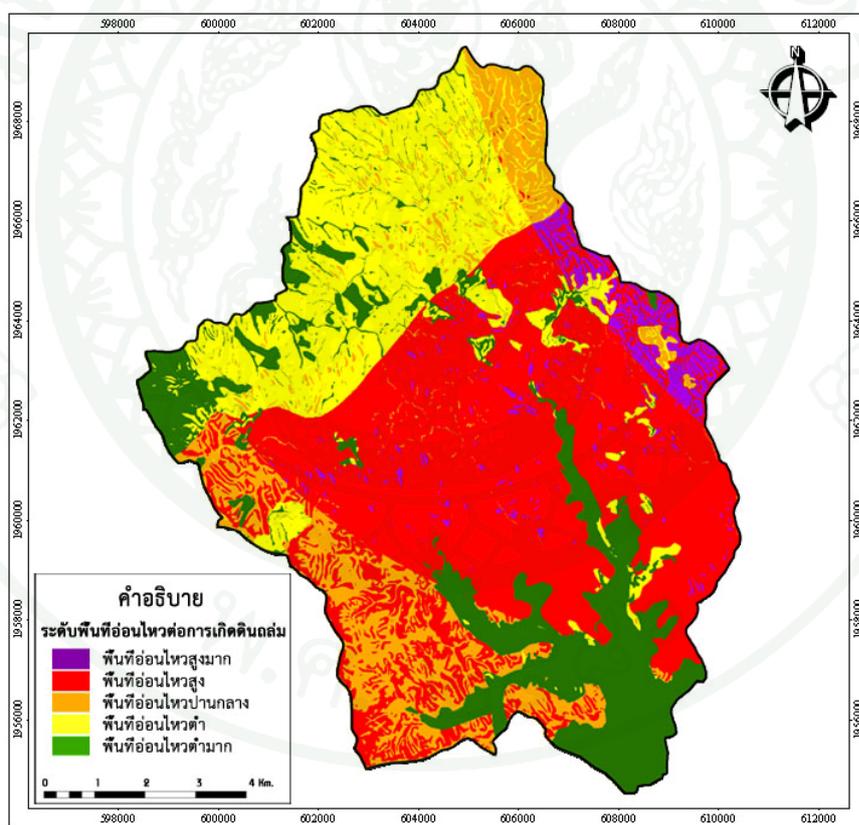
จากผลการศึกษาสามารถอธิบายได้ว่า พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก มีพื้นที่ทั้งหมด 3.28 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 3.10 ของพื้นที่ทั้งหมด พบเพียงเล็กน้อยที่บริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความลาดชันสูง ถัดมากคือพื้นที่อ่อนไหวสูง มีพื้นที่ทั้งหมด 47.95 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 45.39 ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากบริเวณที่เป็นพื้นที่ป่าดิบแล้งสมบูรณ์ มีปริมาณน้ำฝนที่มากกว่า 470 มิลลิเมตร ธรณีวิทยาเป็นหินทรายแทรกสลับด้วยหินดินดาน ทั้งนี้เนื่องจากหินดินดานมีสมบัติให้ชั้นดินหนาเมื่อมีการผุพัง เมื่ออุ้มน้ำไว้นาน ๆ ก็จะพังทลายง่ายกว่าดินชนิดอื่น ๆ พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง มีพื้นที่ทั้งหมด 13.07 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 12.37 ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากบริเวณที่มีธรณีวิทยาเป็นหินดินดานหรือหินโคลน และมีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 470 มิลลิเมตร พื้นที่อ่อนไหวต่ำ มีพื้นที่ทั้งหมด 22.94 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 21.71 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก มีพื้นที่ทั้งหมด 18.41 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 17.42 ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากบริเวณตอนล่างของพื้นที่ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่อาศัย มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตร เช่นทำนา และทำสวนผลไม้ เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแข็งถึงดินร่วนปนดินเหนียว และความลาดชันน้อยกว่า 10 องศา ซึ่งสอดคล้องกับ Crozier *et al.* (1980) ทำการศึกษาใน London clay พบว่าดินถล่มเริ่มเกิดขึ้น เมื่อความชันมีค่าเท่ากับ 10 องศา

4. การเปรียบเทียบความถูกต้องของแผนที่ระหว่างผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม ด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม และวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ กับรอยดินถล่ม

การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับทำนายนั้นจะมีประสิทธิภาพในการทำนายได้อย่างแม่นยำหรือไม่ ต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อนนำไปใช้ในพื้นที่จริง ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากแบบจำลองเพื่อสร้างความมั่นคงปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน รวมทั้งช่วยบรรเทาหรือลดความเสียหายต่าง ๆ ที่อาจเกิดจากภัยพิบัติทางธรรมชาติให้ได้อีกด้วย

ตารางที่ 18 ผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ

ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก	3.28	3.10
พื้นที่อ่อนไหวสูง	47.95	45.39
พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง	13.07	12.37
พื้นที่อ่อนไหวต่ำ	22.94	21.71
พื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก	18.41	17.42
รวม	105.65	100.00



ภาพที่ 20 ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่ประเมินด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ ของพื้นที่
ลุ่มน้ำห้วยแม่พลู ตำบลแม่พลู อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

การศึกษาในครั้งนี้จึงทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของแผนที่ด้วยการใช้ Kappa statistic (KHAT) และค่า overall accuracy เป็นตัวตรวจสอบเพื่อวัดความสอดคล้องทางสถิติ โดยผลการวิเคราะห์เพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วมเปรียบเทียบกับรอยดินถล่มจริงในอดีต (ตารางที่ 19) เมื่อพิจารณาความถูกต้องโดยรวมของแผนที่พบว่า วิธีดัชนีปัจจัยร่วมให้ค่า KHAT และค่าความถูกต้อง overall accuracy เท่ากับ 0.04 และร้อยละ 65.76 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลบนแผนที่ที่มีความสอดคล้องกับรอยดินถล่มต่ำมากเพียง 0.04 และร้อยละ 65.76 ของพื้นที่บนแผนที่ถูกจำแนกอย่างถูกต้อง ซึ่งสาเหตุที่ข้อมูลบนแผนที่ที่มีความสอดคล้องกับรอยดินถล่มต่ำมากเนื่องจากการไม่เท่ากันของจำนวนข้อมูล โดยข้อมูลรอยดินถล่มที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องนั้นมีจำนวนข้อมูล 28,054 กริด ในขณะที่ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งพื้นที่ศึกษามีจำนวนข้อมูล 1,056,552 กริด ซึ่งส่งผลให้ข้อมูลทั้งสองชุดมีความแปรปรวนที่แตกต่างกันมากตามไปด้วย ทางแก้ของปัญหานี้สามารถทำได้โดยการปรับขนาดตัวอย่างของทั้งสองชุดข้อมูลให้มีให้เท่ากัน หรือใช้วิธีการประเมินแบบร้อยละเพื่อนำข้อมูลที่ตรงกับแหล่งรอยดินถล่มเท่านั้นมาทำการตรวจสอบ โดยวิธีการประเมินแบบร้อยละนั้นผู้วิจัยได้นำเสนอในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 19 ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วมกับรอยดินถล่ม

		รอยดินถล่ม ของกรมทรัพยากรธรณี (2549)		
		ไม่ใช่รอยดินถล่ม	รอยดินถล่ม	จำนวนแถวทั้งหมด
รอยดินถล่มจาก วิธีดัชนีปัจจัยร่วม	ไม่ใช่รอยดินถล่ม	7,266	15,895	23,161
	รอยดินถล่ม	36	28,018	28,054
	จำนวนสดมภ์ทั้งหมด	7,302	43,913	51,215

$$\begin{aligned} \text{overall accuracy} &= \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii}}{n} \\ &= ((7,266+ 28,018) / 51,215) \times 100 \\ &= 68.89 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{KHAT} &= \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})} \\
 &= \frac{(51,215 \times (7,266+28,018)) - ((7,302 \times 23,161) + (43,913 \times 28,054))}{(51,215)^2 - ((7,302 \times 23,161) + (43,913 \times 28,054))} \\
 &= 0.33
 \end{aligned}$$

สำหรับการวิเคราะห์เพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบกับรอยดินถล่มจริงในอดีต ก็ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของแผนที่ด้วยการใช้ดัชนี Kappa statistic (KHAT) และค่า overall accuracy เป็นตัวตรวจสอบเพื่อวัดความสอดคล้องทางสถิติเช่นกัน โดยผลการวิเคราะห์ (ตารางที่ 20) เมื่อพิจารณาความถูกต้องโดยรวมของแผนที่พบว่าวิธีดัชนีปัจจัยร่วมให้ค่า KHAT และค่าความถูกต้อง overall accuracy เท่ากับ 0.33 และร้อยละ 68.89 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลบนแผนที่ที่มีความสอดคล้องกับรอยดินถล่มต่ำเพียง 0.33 และร้อยละ 68.89 ของพื้นที่บนแผนที่ถูกจำแนกอย่างถูกต้อง ซึ่งสาเหตุที่ข้อมูลบนแผนที่ที่มีความสอดคล้องกับรอยดินถล่มต่ำมาก เนื่องจากการไม่เท่ากันของจำนวนข้อมูลดังที่กล่าวมาแล้วในการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วมเปรียบเทียบกับรอยดินถล่มจริงในอดีต

ตารางที่ 20 ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติกับรอยดินถล่ม

		รอยดินถล่ม ของกรมทรัพยากรธรณี (2549)		
		ไม่ใช่รอยดินถล่ม	รอยดินถล่ม	จำนวนแถวทั้งหมด
รอยดินถล่มจาก วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ	ไม่ใช่รอยดินถล่ม	21,027	2,134	23,161
	รอยดินถล่ม	7,034	21,020	28,054
	จำนวนสดมภ์ทั้งหมด	28,061	23,154	51,215

$$\begin{aligned} \text{overall accuracy} &= \frac{\sum_{i=1}^r X_{ii}}{n} \\ &= ((21,027 + 21,020) / 51,215) \times 100 \\ &= 82.10 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{KHAT} &= \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})} \\ &= \frac{(51,215 \times (21,027 + 21,020)) - ((28,061 \times 23,161) + (23,154 \times 28,054))}{(51,215)^2 - ((28,061 \times 23,161) + (23,154 \times 28,054))} \\ &= 0.65 \end{aligned}$$

เมื่อนำผลการเปรียบเทียบการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มกับตำแหน่งที่เกิดดินถล่มจริงในอดีต มาจัดลำดับความสอดคล้องพบว่า การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติมีค่าความถูกต้องทั้งหมด (overall accuracy) สูงกว่าวิธีดัชนีปัจจัยร่วมอยู่ร้อยละ 13.21 ในขณะที่ Kappa statistic (KHAT) ของวิธีวิเคราะห์ทางสถิติมีค่าเท่ากับวิธีดัชนีปัจจัยร่วมคือ 0.65 (ตารางที่ 21) วิธีวิเคราะห์ทางสถิติจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล จังหวัดอุตรดิตถ์ เนื่องจากวิธีวิเคราะห์ทางสถิติมีการกำหนดตัวแปรที่นำเข้าอย่างชัดเจน คือ ตัวแทนค่าการเกิดดินถล่มซึ่งได้จากร่องรอยการเกิดจากดินถล่มให้มีค่าเท่ากับ 1 และตัวแทนค่าไม่เกิดดินถล่มที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 0 กอปรกับแบบจำลองทางสถิติที่ได้มีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับพื้นที่ดินถล่มจริงคือพื้นที่ที่มีความลาดชันและปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น จะพบดินถล่มมากขึ้น จึงทำให้พื้นที่บนแผนที่ที่ทำการประเมินด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติถูกจำแนกอย่างถูกต้องสูงมากถึงร้อยละ 82.10 ซึ่งสอดคล้องกับ Young *et al.* (2003) ที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบแผนที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มบริเวณ Gangwao-do, สาธารณรัฐเกาหลี ด้วยวิธี FR (frequency ratio), AHP (analytical hierarchy process), LR (logistic regression) และ ANN (artificial neural networks) พบว่า วิธี ANN ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุด รองลงมาคือ LR, FR และ AHP ตามลำดับ

ตารางที่ 21 ค่าความถูกต้องทั้งหมดจากการเปรียบเทียบการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มกับตำแหน่งที่เกิดดินถล่มจริงในอดีตในกลุ่มน้ำห้วยแม่พูล

วิธีการประเมิน	ค่าความถูกต้องทั้งหมด (overall accuracy) (ร้อยละ)	Kappa statistic ; KHAT
วิธีดัชนีปัจจัยร่วม	68.89	0.33
วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ	82.10	0.65

นอกจากนี้ยังได้ใช้เกณฑ์ร้อยละ (percentage) ซึ่งเป็นสถิติใช้ในการอธิบายคุณลักษณะหรือรายละเอียด (descriptive statistics) เป็นอีกแนวทางเลือกในการตรวจสอบ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายวิธีหนึ่ง โดยที่จะต้องทราบจำนวนประชากรที่ค่อนข้างแน่นอนก่อน แล้วเปรียบเทียบความถี่หรือจำนวนที่ต้องการกับความถี่หรือจำนวนทั้งหมดที่เทียบเป็น 100 โดยในการศึกษานี้ผู้วิจัยกำหนดให้พื้นที่อ่อนไหวสูงและสูงมากเป็นพื้นที่ที่เกิดดินถล่ม และแสดงผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์เพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม (ตารางที่ 22) และวิธีวิเคราะห์ทางสถิติกับรอยดินถล่มจริงในอดีต (ตารางที่ 23) จากผลการศึกษาพบว่า วิธีดัชนีปัจจัยร่วมและวิธีวิเคราะห์ทางสถิติให้ค่าร้อยละความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 98.22 และ 84.07 ตามลำดับ (ตารางที่ 24)

ตารางที่ 22 ค่าร้อยละความถูกต้องจากการเปรียบเทียบการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วมกับตำแหน่งที่เกิดดินถล่มจริงในอดีตในกลุ่มน้ำห้วยแม่พูล

ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก	1.72	61.21
พื้นที่อ่อนไหวสูง	1.04	37.01
พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง	0.05	1.78
พื้นที่อ่อนไหวต่ำ	0	0
พื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก	0	0
รวม	2.81	100.00

ตารางที่ 23 ค่าร้อยละความถูกต้องจากการเปรียบเทียบการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม ด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติร่วมกับตำแหน่งที่เกิดดินถล่มจริงในอดีตในกลุ่มน้ำห้วยแม่พูล

ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก	0.21	7.37
พื้นที่อ่อนไหวสูง	2.15	76.70
พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง	0.14	4.98
พื้นที่อ่อนไหวต่ำ	0.24	8.57
พื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก	0.07	2.38
รวม	2.81	100.00

ตารางที่ 24 ค่าร้อยละความถูกต้องจากการเปรียบเทียบการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม กับตำแหน่งที่เกิดดินถล่มจริงในอดีตในกลุ่มน้ำห้วยแม่พูล

วิธีการประเมิน	ค่าร้อยละความถูกต้อง
วิธีดัชนีปัจจัยร่วม	98.22
วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ	84.07

การที่วิธีดัชนีปัจจัยร่วมมีค่าร้อยละความถูกต้องสูงกว่าวิธีวิเคราะห์ทางสถิติเนื่องจากพื้นที่ที่ถูกทำนายว่าเป็นพื้นที่ดินถล่มของวิธีดัชนีปัจจัยร่วมเป็นพื้นที่ที่มีค่าความสำคัญของปัจจัยคะแนนสูง ได้แก่ ความลาดชันสูง ปริมาณน้ำฝนสูง และมีชนิดของหินเป็นหินดินดาน ซึ่งลักษณะกายภาพเหล่านี้ล้วนส่งผลให้เกิดดินถล่มจริง ในขณะที่วิธีวิเคราะห์ทางสถิติพื้นที่ที่ถูกทำนายว่าเป็นพื้นที่ดินถล่ม มีความแปรปรวนของข้อมูลอันเนื่องมาจากรูปแบบสมการที่นำมาใช้ ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงเฉพาะความลาดชันและปริมาณน้ำฝน คือพื้นที่ดินถล่มสูงจะแปรผันตามความลาดชันและปริมาณน้ำฝน แต่กลับแปรผกผันกับระดับความสูง ชนิดของหิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และลักษณะเนื้อ ทำให้ค่าร้อยละความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ทางสถิติมีค่าน้อยกว่าวิธีดัชนีปัจจัยร่วมเล็กน้อย ซึ่งในภาพรวมหากพิจารณาเฉพาะค่าร้อยละความถูกต้องนั้นจะเห็นได้ว่าทั้งสองวิธีมีค่า

ความถูกต้องของการทำนายสูงมากแสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิธีสามารถใช้ประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในลุ่มน้ำห้วยแม่พูลได้

5. การทดสอบแบบจำลองการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม และวิธีวิเคราะห์ทางสถิติในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี ตำบลน้ำหมัน อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์

5.1 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่

ลุ่มน้ำห้วยรี ตำบลน้ำหมัน อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ เป็นพื้นที่ที่เกิดอุทกภัยน้ำท่วมและดินถล่ม สร้างความเสียหายให้กับประชาชนอย่างรุนแรงเมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นเหตุการณ์เดียวกันกับพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล จึงเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบว่าแบบจำลองนี้ศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปใช้ในพื้นที่อื่นได้หรือไม่ ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรีหรือขยายไว้ในภาคผนวก ก

5.2 การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม

เมื่อนำพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี มาทำการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม โดยใช้ปัจจัยในการวิเคราะห์มีทั้งหมด 6 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชัน ระดับความสูง ธรณีวิทยา การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะเนื้อดิน และปริมาณน้ำฝน ซึ่งได้ทำการปรับค่าลำดับของปัจจัยย่อยที่ไม่พบในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูลให้เข้ากับลุ่มน้ำห้วยรีมากที่สุด (ตารางที่ 25) และจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม ตลอดจนค่าคะแนนสูงสุดและต่ำสุดมาแบ่งเป็นช่วงเพื่อเป็นตัวแทนของระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มทั้ง 5 ระดับ เหมือนกับพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล และประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทำให้ทราบขนาดของพื้นที่ และร้อยละของแต่ละระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม (ตารางที่ 26)

โดยผลจากการวิเคราะห์ (ภาพที่ 21) พบว่า พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรีมีระดับพื้นที่อ่อนไหวสูงมาก คิดเป็นพื้นที่ 2.06 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 3.73 ของพื้นที่ทั้งหมด ถัดมาคือพื้นที่อ่อนไหวสูง คิดเป็นพื้นที่ 31.31 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 56.62 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 21.47 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 38.81 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่อ่อนไหวต่ำ คิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 0.47 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 0.84 ของพื้นที่ทั้งหมด และไม่พบพื้นที่อ่อนไหวต่ำมากในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี

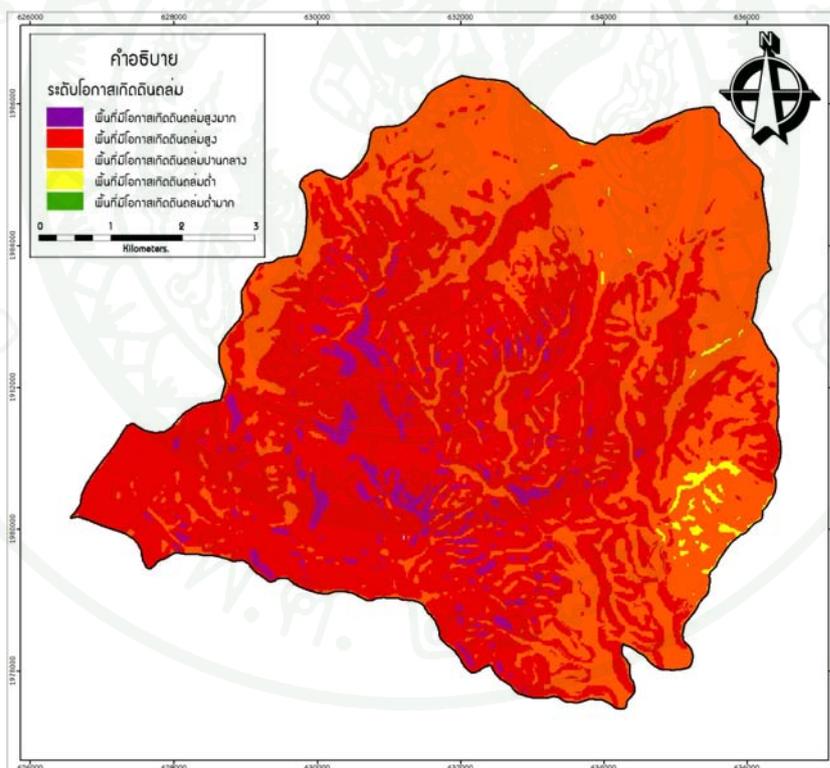
ตารางที่ 25 ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยวี ตำบลน้ำหมัน อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์

ปัจจัย	ค่าน้ำหนัก	ลำดับความสำคัญ	
		รายละเอียด	ค่าลำดับ
1. ความลาดชัน(องศา)	0.23	0 - 10°	1
		11° - 20°	2
		21° - 30°	3
		31° - 40°	4
		> 40°	5
		2. ชนิดของหิน	0.17
Pk1: หินทรายเนื้อเถ้าภูเขาไฟ	2		
Trkhp: หินดินดานหรือหินโคลน	2		
Trgr: หินแกรนิตไดโอรไซต์	3		
3. การใช้ประโยชน์ที่ดิน	0.14	สวนป่าผสม	1
		ไร่หมุนเวียนผสม	3
		ป่าเบญจพรรณ	5
4. ระดับความสูง (เมตร)	0.09	0 -100	1
		101 - 200	2
		201 - 300	7
		301 - 400	5
		401 - 500	6
		501 - 600	4
		> 600	3
5. ลักษณะเนื้อดิน	0.13	ดินร่วนปนดินเหนียว	3
6. ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	0.24	< 470 มม.	1
		470 - 490 มม.	2
		> 490 มม.	3

ที่มา: ดัดแปลงจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2552)

ตารางที่ 26 ผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยรวม ของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี ตำบลน้ำหมัน อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุตรดิตถ์

ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก	2.06	3.73
พื้นที่อ่อนไหวสูง	31.31	56.62
พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง	21.47	38.81
พื้นที่อ่อนไหวต่ำ	0.47	0.84
พื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก	0.00	0.00
รวม	55.30	100.00



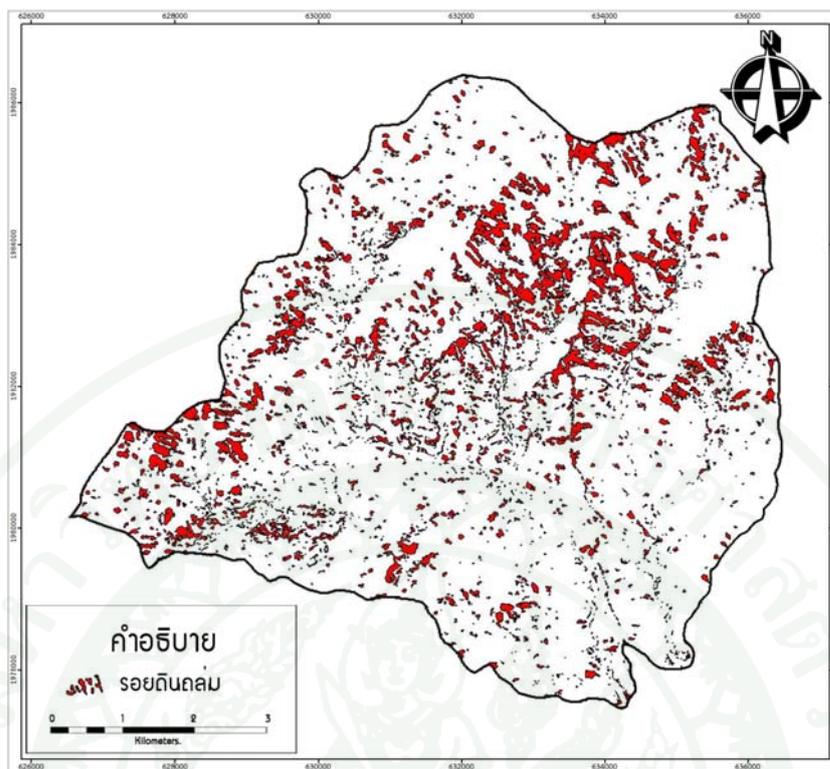
ภาพที่ 21 ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่ประเมินด้วยวิธีดัชนีปัจจัยรวม ของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี ตำบลน้ำหมัน อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุตรดิตถ์

การไม่พบพื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก เนื่องจากปัจจัยทางกายภาพส่วนใหญ่ที่มีค่าลำดับเท่ากับ 1 ไม่ค่อยพบในพื้นที่ห้วยรี ซึ่งได้แก่ ชนิดของหินที่เป็นดินตะกอน ในขณะที่พื้นที่นี้บริเวณที่เกิดรอยดินถล่มพบมากในการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เป็นสวนป่าผสม (สวนสัก) แต่จากวิธีหาค่าลำดับในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล สวนสักไม่ได้เป็นบริเวณที่เกิดดินถล่มมากที่สุด จึงทำให้ได้ค่าลำดับเพียงแค่ 1 นอกจากนี้ลักษณะเนื้อดินพบแค่ชนิดเดียว ดินร่วนปนดินเหนียว ที่มีค่าลำดับมากที่สุดเท่ากับ 3 ซึ่งเหตุผลเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อค่าคะแนนรวม ทำให้เมื่อนำวิธีดัชนีปัจจัยรวมมาใช้ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี จึงไม่พบพื้นที่อ่อนไหวต่ำมากในพื้นที่ศึกษานี้เลย

และเมื่อนำผลวิเคราะห์การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม ด้วยวิธีดัชนีปัจจัยรวม ที่ได้มาเปรียบเทียบความถูกต้องของแผนที่กับรอยดินถล่ม (ภาพที่ 22) ด้วยการเปรียบเทียบความถูกต้องของแผนที่ด้วยการใช้ดัชนี Kappa statistic (KHAT) และค่า overall accuracy เป็นตัวตรวจสอบเพื่อวัดความสอดคล้องทางสถิติเช่นกัน โดยผลการวิเคราะห์ เมื่อพิจารณาความถูกต้องโดยรวมของแผนที่พบว่า วิธีดัชนีปัจจัยรวมให้ค่า KHAT และค่าความถูกต้อง overall accuracy เท่ากับ 0.00 และร้อยละ 85.85 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลบนแผนที่ไม่มีความสอดคล้องกับรอยดินถล่ม และร้อยละ 85.85 ของพื้นที่บนแผนที่ถูกจำแนกอย่างถูกต้อง ซึ่งสาเหตุที่ข้อมูลบนแผนที่ไม่มีความสอดคล้องกับรอยดินถล่ม เนื่องจากการกำหนดระดับช่วงของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลองทั้งสองวิธีได้จากลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล ในขณะที่ลักษณะภูมิประเทศของลุ่มน้ำห้วยรีจะแตกต่างออกไป เช่น ชนิดของหิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และลักษณะเนื้อดิน เป็นต้น ทำให้ผลการวิเคราะห์ได้ลักษณะพื้นที่เกือบทั้งหมดไม่มีความปลอดภัยและมีโอกาสในการเกิดดินถล่มสูงมาก ดังนั้นการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยรวมที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับทำนายนั้นจึงไม่มีประสิทธิภาพในการทำนายพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในลุ่มน้ำห้วยรี

5.3 การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ

เมื่อนำพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี มาทำการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้ปัจจัยในการวิเคราะห์มีทั้งหมด 6 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชัน ระดับความสูง ธรณีวิทยา การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะเนื้อดิน และปริมาณน้ำฝน และใช้แบบจำลองทางสถิติที่ใช้คาดการณ์เพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล



ภาพที่ 22 รอยเหตุการณ์ดินถล่มของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี ตำบลน้ำหมัน อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ วันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2549

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2549)

จากนั้นนำมาทำการสร้างความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการเส้นถดถอย ทำให้ได้ค่าคะแนนสูงที่สุดที่ 1.00 และต่ำที่สุดที่ 0.00 จากนั้นนำค่าคะแนนสูงสุดและต่ำสุดมาแบ่งเป็นช่วงเท่า ๆ กัน เพื่อเป็นตัวแทนของระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มทั้ง 5 ระดับ เหมือนกับพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล และประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทำให้ทราบขนาดของพื้นที่และร้อยละของแต่ละระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม (ตารางที่ 27)

โดยผลจากการวิเคราะห์พบว่า พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรีมีระดับพื้นที่อ่อนไหวต่ำ มากคิดเป็นพื้นที่ 55.30 ตารางกิโลเมตร หรือ 100 ร้อยละของพื้นที่ทั้งหมด และไม่พบพื้นที่อ่อนไหวสูงมาก พื้นที่อ่อนไหวสูง พื้นที่อ่อนไหวปานกลาง และพื้นที่อ่อนไหวต่ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี

ตารางที่ 27 ผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติของพื้นที่
ลุ่มน้ำห้วยวี ตำบลน้ำหมัน อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุตรดิตถ์

ระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
พื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก	55.30	100.00
รวม	55.30	100.00

การที่พบพื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก เพียงระดับเดียว เนื่องจากแบบจำลองทางสถิติที่ใช้
คาดการณ์เพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม เป็นแบบจำลองที่ได้จากการใช้ข้อมูลพื้นที่
ลุ่มน้ำห้วยแม่พลูในการกำหนดพื้นที่ตัวแทน (training area) เพื่อคัดเลือกตัวแปรเข้าสู่การวิเคราะห์
การถดถอยแบบโลจิสติก (logistic regression model) ซึ่งเมื่อนำแบบจำลองที่ได้มาใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำ
ห้วยวีซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะปัจจัยชนิดและชนิดของหินซึ่งจากสมการ
แบบจำลองพบว่ามียุทธพลต่อการเกิดดินถล่มสูงมาก เมื่อนำมาวิเคราะห์ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่มี
ความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง จึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่ได้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้
กับพื้นที่อื่นที่มีความแตกต่างกันในลักษณะทางกายภาพของพื้นที่

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พุด จังหวัดอุดรดิตถ์ ได้แก่ ความลาดชัน ชนิดของหิน ระดับความสูง การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ลักษณะเนื้อดิน และปริมาณน้ำฝน
2. การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มโดยวิธีดัชนีปัจจัยร่วมให้ค่าน้ำหนักแต่ละปัจจัยแตกต่างกันไปตามความสำคัญของสัคยภาพที่ทำให้เกิดดินถล่ม และนำผลรวมของค่าคะแนนมาแบ่งระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มได้ 5 ระดับ คือ สูงมากคิดเป็นร้อยละ 34.48 ระดับสูง ปานกลาง ต่ำ และต่ำมาก คิดเป็นร้อยละ 46.74, 10.32, 4.87 และ 3.22 ตามลำดับ
3. การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มโดยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุด ได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน รองลงมาได้แก่ ธรณีวิทยา ปริมาณน้ำฝน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความลาดชัน และระดับความสูง ตามลำดับ และแบ่งระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มได้ 5 ระดับ คือ สูงมากคิดเป็นร้อยละ 3.10 ระดับสูง ปานกลาง ต่ำ และต่ำมาก คิดเป็นร้อยละ 45.39, 12.37, 21.71 และ 17.42 ตามลำดับ
4. การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มโดยวิธีดัชนีปัจจัยร่วมให้ค่าความถูกต้อง Kappa statistic (KHAT) และ overall accuracy เท่ากับ 0.33 และร้อยละ 68.89 ตามลำดับ ในขณะที่วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ ให้ค่าความถูกต้อง 0.65 และร้อยละ 82.10 วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พุด จังหวัดอุดรดิตถ์

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูลนั้นมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันที่มีสถานีตรวจวัดอยู่ปลายน้ำหรือในพื้นที่เขตเมือง ทำให้ไม่สามารถสะท้อนปริมาณน้ำฝนที่ตกจริงเฉพาะในพื้นที่ลุ่มน้ำได้ ควรเปลี่ยนมาใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงแทนปริมาณน้ำฝนรายวันในการวิเคราะห์ เพื่อความสอดคล้องกับรูปแบบและความหนักเบาของฝนที่เป็นสาเหตุของการเกิดดินถล่มจริงมากกว่า ทำให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เพื่อนำไปสู่การเฝ้าระวัง แก้ไข เตือนภัย หรืออพยพผู้คนบริเวณพื้นที่รับผลกระทบได้อย่างทันท่วงที
2. แบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ในการศึกษานี้ สามารถใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูลหรือพื้นที่อื่นที่มีลักษณะของปัจจัยคล้ายคลึงกับลุ่มน้ำห้วยแม่พูลเท่านั้น หากต้องการใช้กับลุ่มน้ำอื่นควรทำการสร้างแบบจำลองเฉพาะของพื้นที่ศึกษานั้น
3. การเกิดดินถล่มในพื้นที่จริงนั้น เป็นเหตุการณ์ที่ค่อนข้างซับซ้อน และมีความต่อเนื่องกันของปัจจัย จึงยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอีกหลายปัจจัยทั้งที่มีผลทางตรงและทางอ้อม ที่ควรนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติมด้วย เช่น รูปแบบหรือลักษณะของภูเขา ความยาวของลาดชัน ทิศด้านลาด ลักษณะแผ่นดิน ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน รูปแบบของรากต้นไม้ และความลึกของดิน เป็นต้น
4. เนื่องจากการเกิดดินถล่มไม่สามารถควบคุมและพยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ กอรปกับการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่พูลยังมีอีกหลายวิธีที่ยังไม่ได้นำมาทำการศึกษา เช่น วิธีการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ และวิธีทางธรณีเทคนิค จึงควรนำทุกจุดเด่นของทุกวิธีมาผสมผสานกัน เพื่อจะได้วิธีการประเมินที่ดีที่สุด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมชลประทาน. 2547. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการบรรเทาอุทกภัย จังหวัดจันทบุรี. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2551. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันตั้งแต่ พ.ศ. 2495 ถึง 2551. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กรมแผนที่ทหาร. 2542. แผนที่ภูมิประเทศ ปี 2542.

_____. 2546. แผนที่ภูมิประเทศ ปี 2546.

กรมทรัพยากรธรณี. 2535. แผนที่ธรณีวิทยา ปี 2535.

_____. 2547. แผนที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ปี 2547.

_____. 2549. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาหาแนวทางป้องกันและลดผลกระทบจากภัยดินถล่ม 6 จังหวัดภาคใต้. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

_____. 2550. แผนที่ธรณีวิทยา ปี 2550.

_____. 2550. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาความเสถียรของลาดชันในพื้นที่โครงการพัฒนาออยตุง. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

_____. 2554. บันทึกเหตุการณ์ดินถล่ม. แหล่งที่มา:

http://www.dmr.go.th/download/landslide/event_landslide1.htm, 16 ธันวาคม 2554.

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. 2554. สรุปสถานการณ์สาธารณภัย. แหล่งที่มา:

<http://61.19.100.58/public/Group3/datagroup3/2554/dailyreportsep/evening16.pdf>,

16 กันยายน 2554.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2544. แผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยต่อลาดดินถล่มของประเทศไทย ปี 2544. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2547. แผนที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ปี 2547.

_____. 2552. แผนที่สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ 2552.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2535. สถิติภูมิอากาศเฉลี่ย 30 ปี พ.ศ. 2503-2533. กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการจัดทำปทานุกรมปฐพีวิทยา. 2541. ปทานุกรมปฐพีวิทยา. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชนิดย์ อินทร์ดี. 2550. การประเมินระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม บริเวณเทือกเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยบูรพา.

นงลักษณ์ ไทยเจียมอารีย์. 2547. เสถียรภาพของลาดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำก้อโดยใช้คุณสมบัติทางวิศวกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เลิศ เอื้อทวีพล. 2538. การใช้ข้อมูลระยะไกลเพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิด แผ่นดินถล่ม บริเวณอำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรากร ไม้เรียง, วรณี สุขสาคร, สุนันท์ คุณาภรณ์, วรุณี ตันตวินิช และบุญชัย เชิญเกียรติประดับ. 2546. โครงการพัฒนาแผนหลักการจัดการภัยธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินถล่ม. สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย, กรุงเทพฯ.

วรุณี ตันตวินิช. 2535. ธรณีวิทยาภัยพิบัติเนื่องจากแผ่นดินถล่มที่บ้านกะทูนเหนือ จังหวัดนครศรีธรรมราช. ฝ่ายธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม, กองธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ.

วิชา นิยม. 2535. อุทกวิทยาป่าไม้. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศูนย์ข้อมูลและวิจัยทางวิศวกรรมศาสตร์. 2546. การศึกษาพื้นที่เสี่ยงภัยจากดินถล่ม.

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยป่าไม้. 2537. โครงการศึกษาเพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยภัยและภัยธรรมชาติ
ในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สันติ ไทยอินวงษ์. 2553. การวิเคราะห์โอกาสเกิดดินถล่มโดยวิธีทางธรณีวิศวกรรมโดยพิจารณา
จากปัจจัยที่ไม่คงที่ในภาคใต้ของประเทศไทยพื้นที่ฝั่งทะเลอันดามัน. วิทยานิพนธ์ปริญญา
เอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุเทพ จันท์เขียว. 2546. พื้นที่เสี่ยงภัยการเกิดน้ำท่วมฉับพลันและแผ่นดินถล่มในจังหวัดภูเก็ต
โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2552. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาพฤติกรรม
การเกิดน้ำท่วม-ดินถล่มในพื้นที่ต้นแบบเพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับกำหนดเกณฑ์และวิธีการ
ในการเตือนภัย. กรุงเทพฯ.

สำนักบริหารและพัฒนาการใช้ที่ดิน. 2549. ดินถล่มภัยพิบัติทางธรรมชาติในประเทศไทย.
กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

อุทัย เข้มไสย และวรากร ไม้เรียง. 2543. ฐานข้อมูลการเคลื่อนพังของลาดดินในประเทศไทย,
น. 47-52. ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 6. โรงแรมดุสิต รีสอร์ท
แอนด์ โปโลคลับ ชะอำ จ.เพชรบุรี.

Aleotti, P. and R. Chowdhury. 1999. Landslide hazard assessment: Summary review and new
erspectives. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment** 58: 21-44.

Blong, R.J. 1974. Landslide form and hillslope morphology: an example from New Zealand.
Australia Geography 12: 425-438.

- Bloom, A.L. 1998. **Geomorphology: a systematic analysis of late Cenozoic landforms**. 3rd Edition. Prentice Hall, New Jersey.
- California Geology. 1999. **Factors Affecting Landslides in Forested Terrain**. Division of Mines and Geology, California Department of Conservation.
- Canuti P., F. Frascati, C.A. Garzonio and G. Rodolfi. 1979. Dinamica morfologica di un Ambiente Sogetto A Fenomeni Franosi e ad Intensa Attiva Agricola. **Consiglio Nazionale Delle Ricerche** 142: 81-102.
- Campbell, R. H. 1985. **Feasibility of a Nationwide Program for the Identification and Delineation of Hazards from Mud Flows and Other Landslides**. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- Cotton, W.R., and D.A. Cochrane. 1982. Love Creek landslide Disaster January 5, 1982, Santa Cruz County. **California Geology** 7: 153-157.
- Crozier, M.J., R.J. Eyles, S.L. Marx, J.A. McConchie and R.C. Owen. 1980. Distribution of landslips in the Wairarapa hill country. **N.Z.J. Geol. Geophys** 23: 575-586.
- Cruden, D. M. and D. J. Varnes. 1996. Landslide types and processes. *Landslides: Investigation and Mitigation*. **National Research Council, Transportation Research Board** 247: 36-75.
- Geoscience Australia. 2006. **What causes landslides**. Available Source: http://www.ga.gov.au/urban/factsheets/landslide_causes.jsp, December 17, 2009.
- Greenway, D.R. 1987. Vegetation and slope stability, pp. 187-230. *In* Anderson, M.G. & Richards, K.S., eds. **Slope Stability**. John Wiley & Sons Ltd., New York.

- Ohlmacher G.C. and J.C. Davis. 2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. **Engineering Geology** 69: 331-343.
- Grey, D.H. and A.T. Leiser. 1982. **Biotechnical slope protection and erosion control**. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Guzzetti, F., M. Cardinali, P. Reichenbach and A. Carrara. 2000. Comparing landslide maps: A case study in the upper Tiber River Basin, central Italy. **Environmental Management** 25: 247-363.
- Guzzetti, P., M. Reichenbach, M. Cardinali and M. Ardizzone GalliF. 2005a. Landslide hazard assessment in the Staffora basin, northern Italian Apennines. **Geomorphology** 72: 272-299.
- Hansen, A. 1984. Landslide hazard analysis. En: D. Brundsen and D.B. Prior (Editors). **Slope Stability**. 523-602.
- Hunhaboon, H. 2009. **Application of potential surface analysis and logistic regression model for landslide risk assessment in Uttaradit province**. M.S. Thesis, Mahidol University.
- Lee, S. and D. G. Evangelista. 2005. Landslide susceptibility mapping using probability and Statistics Models in Baguio City, Philippines, pp. 20-24. **In Proceedings of the 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment**. 20-24 May 2005, Saint Petersburg, Russia.
- Moser, M. and F. Hohensinn. 1983. Geotechnical aspects of soil slips in Alpine regions. **Engineering Geology** 19: 185-211.
- O Loughlin, C. L. 1974. A study of tree root strength deterioration following clear felling. **Canadian Journal of Forestry Research** 4: 107-113.

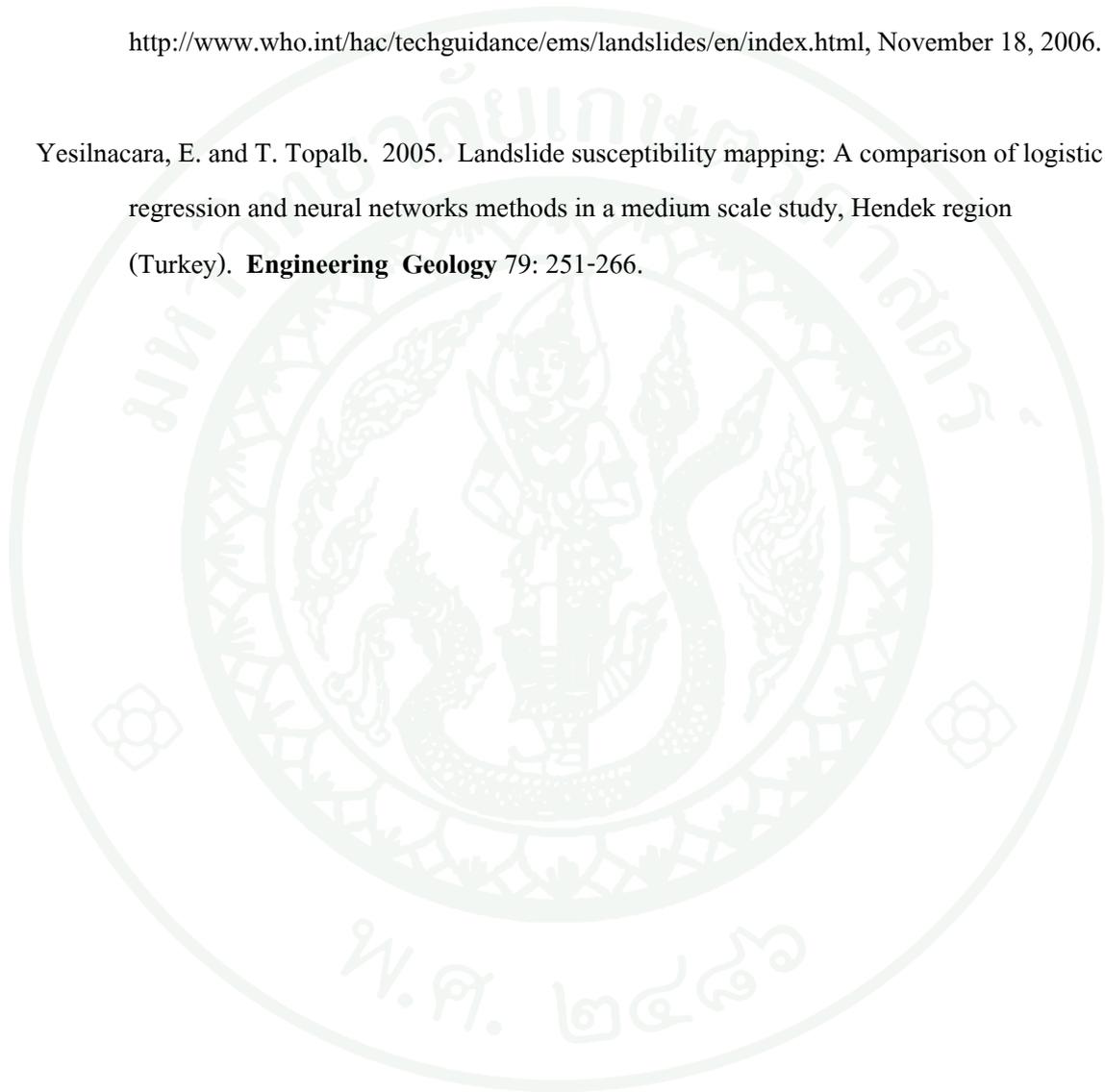
- Young, O. C., K.J. Cheung and C.U. Choi. 2003. The comparative research of landslide susceptibility mapping using FR, AHP, LR, ANN, pp. 1-5. *In Proceedings of the 23rd Esri International User Conference*. 7-11 July 2003, San Diego, California.
- Pilgrim, A.T. and A.J. Conacher. 1974. Causes of earthflows in the southern Chittering Valley, Western Australia. *Australia Geology Studies* 12: 38-56.
- Popescu, E.M. 1996. From landslide causes to landslide remediation, pp. 75-95. *In Proceeding 7th International Symposium on Landslides*. Trondheim.
- Rice, R.M., E.S. Corbett and R.G. Bailey. 1969. Soil slip related to vegetation, topography, and soil in southern California. *Water Resources Research* 5: 647-659.
- Saaty, T. 1980. *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill, New York.
- Schuster, R.L. and R.L. Fleming. 1982. Geologic aspects of landslide control using walls. *Application of Walls to Landslide Control Problems*. 1-18.
- Sidele, R.C., A.J. Pearce, and C.L. O'Loughlin. 1985. Hillslope Stability and Land Use. *Water Resources Monograph* 11: 140.
- Vandine, D., G. Moore and M. Wise. 2004. Technical Terms and Methods, pp. 13-26. *In B.C., Ministry of Forests, eds. Landslide Risk Case Studies in Forest Development Planning and Operations*. Victoria, BC, Canada.
- Varnes, DJ. 1978. Slope movement types and processes. *Special report* 176: pp. 11-33.
- Vaunat, L., S. Leroueil, L. Picarelli, J. Locat, H. Lee and R. Faure. 1996. Geotechnical characterization of slope movement, pp. 53-74. *In Proceeding 7th International Symposium on Landslides*. Trondheim.

Wieczorek, G.F. 1984. Preparing a detailed landslide inventory map for hazard evaluation and reduction. **Bulletin of The Association of Engineering Geologist** 21: 337-342.

World Health Organization. 2006. **Landslides - Technical Harzard Sheet - Natural Diaster Profiles**. Available Source:

<http://www.who.int/hac/techguidance/ems/landslides/en/index.html>, November 18, 2006.

Yesilnacara, E. and T. Topalb. 2005. Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). **Engineering Geology** 79: 251-266.





ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ ลุ่มน้ำย่อยห้วยรี ตำบลน้ำหมัน อำเภอบ้านลาด จังหวัดอุตรดิตถ์

1) ระดับความสูง

ลุ่มน้ำห้วยรี อยู่บริเวณตอนเหนือของอำเภอบ้านลาด สภาพทั่วไปเป็นภูเขาสูงชัน สลับซับซ้อน ยอดเขาสูงจากระดับน้ำทะเลระหว่าง 400 – 1,400 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ทางตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำติดกับป่าสงวนแห่งชาติ มียอดเขาที่สำคัญ คือ ภูเขาพ้อ ซึ่งแบ่งเขตแดนระหว่างแพ่งกับอุตรดิตถ์ อยู่ทางด้านทิศเหนือ มีระดับความสูง 1,440 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง มีแหล่งน้ำที่สำคัญคือ ห้วยน้ำริด ไหลจากยอดเขาสูงทางด้านทิศเหนือ ผ่านพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยรี ไปสู่เขื่อนสิริกิติ์ ทางตะวันออกของพื้นที่ลุ่มน้ำ

2) ความลาดชัน

ความลาดชันของลุ่มน้ำห้วยรี มีความลาดชันของพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 20 - 30 องศา สภาพภูมิประเทศโดยรวมจะมีความลาดเทตามร่องเขา และตามการไหลของลำน้ำ ดังนั้นในฤดูฝน ถ้าฝนตกชุกในบริเวณร่องเขาที่น้ำฝนไหลมารวมกัน และชั้นหินของพื้นที่เป็นหินน้ำซึมผ่านได้ยากด้วยแล้ว น้ำที่ไหลบ่าหน้าดินจะมีปริมาณมากและมีความเร็วสูง ความสามารถในการกักชะพังทลายของน้ำจึงมีมาก นับว่าสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดน้ำท่วม-แผ่นดินถล่มบริเวณนั้น

3) ชนิดของหิน

ลักษณะทางธรณีวิทยาโดยทั่วไปของลุ่มน้ำห้วยรี สามารถอธิบายได้ดังนี้

Trkhp: หินดินดานหรือหินโคลน สีเทา สีเทาดำ แสดงแนวชั้นบาง สลับด้วยหินทราย เกรย์แวก แสดงแนวแตกเรียบชัดเจน และหินทรายเกรย์แวกสลับด้วยหินโคลนบางบริเวณ หินโคลนสลับหินเชิร์ต และหินเชิร์ตชั้นบางโดยทั่วไปขนาด 1 เซนติเมตร พบซากดึกดำบรรพ์ จำพวกเรดิโอลาเรีย

Pkl: หินทรายเนื้อแก้วเขาไฟ หินดินดานเนื้อแก้วเขาไฟ และหินทัฟฟ์ สีเขียว สีน้ำตาล แกมแดง แสดงแนวแตกเรียบชัดเจนเนื้อละเอียดถึงปานกลาง

C1: หินเชิร์ต สีเทาดำ สลับกับหินดินดาน และหินทราย สีเทาขาว สีเทาดำ สีเทาแกมเขียว บางส่วนเป็นหินดินดานเนื้อฟิลไลต์ และหินดินดานกึ่งหินชนวน หินเชิร์ตรูปตา หิน ควอร์ต-ชีสต์ หินกลอไรต์-ชีสต์ หินควอร์ต ไซต์ หินทัฟฟ์เนื้อแอนดิไซต์ และหินไรโอไลต์เนื้อทัฟฟ์

Trgr: มวลหินขนาดเล็กของหินแกรโนไดโอไรต์ หินควอร์ตซ์ไดโอไรต์ และหินโทนาไลต์ สีขาวขุ่น เม็ดละเอียด เนื้อสม่ำเสมอ แสดงรอยสัมผัสชัดเจนกับหินข้างเคียง

4) การใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ที่ดินของกลุ่มน้ำห้วยรี ประกอบไปด้วยประเภทการใช้ประโยชน์หลัก 3ชนิด คือ

(1) ป่าเบญจพรรณ (mixed deciduous forest) เป็นป่าผลัดใบในฤดูแล้งพร้อมกันทั้งต้น และจะเริ่มผลิใบใหม่ในต้นฤดูฝน ในแต่ละพื้นที่จะผลัดใบไม่พร้อมกันแล้วแต่สภาพแวดล้อม มีใบค่อนข้างโปร่ง ซึ่งส่วนมากจะมีไม้สักปะปนอยู่ด้วย ส่วนไม้พื้นล่างจะเป็นพวกไผ่ และข่า ปะปนกระจายอยู่ทั่วไป เป็นประเภทป่าไม้ที่พบมากที่สุดในพื้นที่กลุ่มน้ำห้วยรี จึงเป็นแหล่งต้นน้ำที่สำคัญ พบป่าเบญจพรรณมากที่สุดในบริเวณที่เป็นภูเขาสูง โดยเฉพาะพื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำ

(2) ไร่หมุนเวียนผสม (mixed swidden cultivation) คือการทำไร่ผสมผสาน โดยปลูกทั้งข้าว พริก และพืชผักหลายชนิดลงบนแปลงบริเวณเชิงเขา ในกลุ่มน้ำห้วยรีพบไร่หมุนเวียนผสมมากที่สุดในบริเวณรอยต่อป่าเบญจพรรณ และหมู่บ้าน

(3) สวนป่าผสม (mixed forest plantation) คือ ป่าที่มนุษย์สร้างขึ้นมา เป็นป่าเพื่อทดแทนป่าที่ถูกทำลาย หรือเพื่อผลทางเศรษฐกิจ มีระบบการปลูกแบบเป็นแถวและเป็นระเบียบ ขนาดของต้นไม้ที่ปลูกมีขนาดเท่า ๆ กัน ความสูงอยู่ในระดับเดียวกัน ชนิดพันธุ์ไม้ก็เป็นชนิดเดียว เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำห้วยรีเป็นพื้นที่ในเขตป่าสงวนแห่งชาติ กอปรกับมีโครงการปลูกป่าถาวรเฉลิมพระเกียรติฯ สวนป่าผสมและป่าเบญจพรรณเกือบทั้งหมดจึงเป็นแปลงปลูกป่าสัก

5) คุณลักษณะของดิน (soil characteristics)

คุณลักษณะของดินของกลุ่มน้ำห้วยรี ดังแสดงในรูปที่ 19 เป็นหน่วยแผนที่ดิน 62 ทั้งหมด ประกอบด้วยพื้นที่ภูเขา ซึ่งมีความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35 (Slope complex) ดินที่พบในบริเวณดังกล่าวนี้มีทั้งดินลึกและดินตื้น ลักษณะของเนื้อดินและความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของหินต้นกำเนิดในบริเวณนั้น มักมีเศษหิน ก้อนหิน หรือหินพื้นโผล่กระจัดกระจายทั่วไป ส่วนใหญ่ยังปกคลุมด้วยป่าเบญจพรรณ นอกจากนี้หลายแห่งมีการทำไร่เลื่อนลอย โดยปราศจากมาตรการในการอนุรักษ์ดินและน้ำ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน จนบางแห่งเหลือแต่หินพื้นโผล่ กลุ่มชุดดินนี้ไม่ควรนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เนื่องจากมีปัญหาหลายประการที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ควรสงวนไว้เป็นป่าตามธรรมชาติ เพื่อรักษาแหล่งต้นน้ำลำธาร

6) ปริมาณน้ำฝน (rainfall)

ปริมาณน้ำฝน ในเขตกลุ่มน้ำห้วยรี ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปี 1,250 มิลลิเมตร/ปี เดือนที่มีฝนตกมากที่สุด คือเดือนสิงหาคม มีฝนตกเฉลี่ย 263.6 มิลลิเมตร เนื่องจากสภาพภูมิประเทศส่วนใหญ่ เป็นภูเขาและที่สูง จึงทำให้มีฝนตกชุกในฤดูฝน

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ - นามสกุล	นางสาวมนันยา จันทศร
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 30 ตุลาคม 2519
สถานที่เกิด	กทม.
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-