

การหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า  
บริเวณอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ในปี พ.ศ.2549



นายอภิศักดิ์ จักรบุตร

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

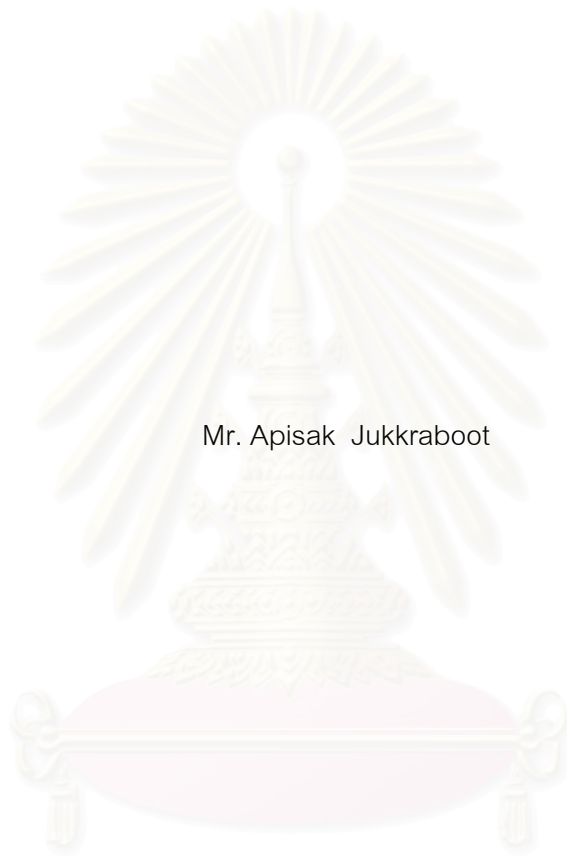
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DETERMINATION OF PARAMETERS INFLUENCING THE OCCURRENCE  
OF 2006 DEBRIS FLOW - DEBRIS FLOOD IN AMPHOE LAPLAE,  
CHANGWAT UTTARADIT



Mr. Apisak Jukkraboot

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและ  
น้ำปนตะกอนป่า บริเวณอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์  
ในปี พ.ศ.2549

โดย

นายอภิศักดิ์ จักรบุตร

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ อยู่เมือง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ อยู่เมือง)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรวัด บุญญะรัฐ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภิชัย ตั้งใจตรง)

อภิศักดิ์ จักรบุตร : การหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า บริเวณอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ในปี พ.ศ.2549. (DETERMINATION OF PARAMETERS INFLUENCING THE OCCURRENCE OF 2006 DEBRIS FLOW - DEBRIS FLOOD IN AMPHOE LAPLAE, CHANGWAT UTTARADIT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.สมบัติ อยู่เมือง, 133 หน้า.

การหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า บริเวณอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ในปี พ.ศ. 2549 กระทำโดยใช้ข้อมูลที่จัดทำและแปลความหมายด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล และข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล การวิเคราะห์เพื่อประเมินความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ได้ใช้ข้อมูลร่องรอยการเกิดตะกอนถล่มและน้ำปนตะกอนท่วมและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีของความน่าจะเป็นแบบตัวแปรเดียว และการคำนวณค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดพิบัติภัย จากตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ผลการวิเคราะห์สามารถจัดทำเป็นแผนที่แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดพิบัติภัยตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าขึ้นในพื้นที่

ผลการศึกษา พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าในครั้งนี้ นอกเหนือไปจากปัจจัยด้านปริมาณน้ำฝนซึ่งตกหนักเพียงอย่างเดียว ได้แก่ ปัจจัยระยะห่างจากทางน้ำที่น้อยกว่า 50 เมตร ปัจจัยความลาดชันที่มากกว่า  $30^\circ$  ปัจจัยการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบพื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่ชุมชน ผลการศึกษสามารถจัดทำสามารถจัดแบ่งระดับพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าเป็น 5 ระดับคือ ระดับสูงมาก ระดับสูง ระดับปานกลาง ระดับต่ำ และระดับต่ำมาก มีพื้นที่ 0.02, 3.12, 138.15, 6.52 และ 2.63 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ

สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....  
ปีการศึกษา..... 2551.....

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

# # 4889166120 : MAJOR Inter-Department of Environmental Science

KEYWORDS : DEBRIS FLOW AND DEBRIS FLOOD / GIS AND REMOTE SENSING / SUSCEPTIBILITY / LABLAE / UTTARADIT / THAILAND

APISAK JUUKRABOOT : DETERMINATION OF PARAMETERS INFLUENCING THE OCCURRENCE OF 2006 DEBRIS FLOW - DEBRIS FLOOD IN AMPHOE LAPLAE, CHANGWAT UTTARADIT. ADVISOR : ASST. PROF. DR. SOMBAT YUMUANG 133 pp.

Thematic (GIS and remote sensing) data interpretation, field investigation, and laboratory analysis were carried out to investigate parameters influencing the debris flow and debris flood occurred on May 2006 in Amphoe Lablae, Changwat Uttaradit. The relationship between debris flow-flood and relevant parameters was analyzed for debris flow-flood susceptibility assessment. In Lablae sub-catchment, scar-scouring locations detected from remote sensing interpretation and field surveys were compiled into a GIS database. Various maps were constructed from the flow-flood relevant parameters derived from the database. The parameters, univariant probability method, and calculation of debris flow-flood susceptibility were applied to analyze and produce a susceptibility map of debris flow-flood hazard in the sub-catchment.

On the contrary to previous concludes, it was found that the disastrous event was not the work of the unusually heavy rainfall alone, the additional factors are distance from drainage less than 50 meters, slope more than 30°, water body and communities area. In Lablae sub-cachment that covering an area of 150.45 square kilometers, it can be divided into the very high-, high-, moderate-, low-, and very low susceptibility zone which have areas of 0.02, 3.12, 138.15, 6.52 and 2.64 square kilometers, respectively.

Field of Study : ...Environmental Science...  
Academic Year : ...2008.....

Student's Signature *[Signature]*  
Advisor's Signature *S. Yumuang*

## กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดี และด้วยความร่วมมือจากบุคคลและหน่วยงานหลายๆฝ่าย ผู้เขียนขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ อยู่เมือง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ที่ช่วยดูแลและให้คำปรึกษาในทุกๆ ด้าน ต่อนิสิตสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จีรวัดร บุญญะฐิติ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภิชัย ตั้งใจตรง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลาในการอ่านเล่มและการสอบครั้งนี้

ผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศแห่งชาติ (GISTDA) ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซต ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาที่ดินจังหวัดอุดรธานี สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 8 พิษณุโลก สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของดิน รวมไปถึงข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ขอขอบคุณสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย จังหวัดอุดรธานี สำนักงานอุดรนิคมวิทยา สำหรับข้อมูลด้านอุดรนิคมวิทยา

ขอขอบคุณ คุณณัฐกานต์ แกนุ คุณทวีเกียรติ แกนุ ในการช่วยเหลือด้านการออกภาคสนาม และการประสานงานข้อมูลในหลายๆ ด้าน ในพื้นที่จังหวัดอุดรธานี ขอขอบคุณ คณาจารย์ และนักศึกษาสาขาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และช่วยสนับสนุนงานวิจัยในทุกๆ ด้าน รวมถึงเพื่อนๆ ธรณีวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และเพื่อนๆ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกคน ที่คอยช่วยเหลือกันเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจอย่างมาก และช่วยอุดหนุนด้านทุนทรัพย์ทั้งหมดในการทำวิจัยครั้งนี้ เป็นอย่างดียิ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

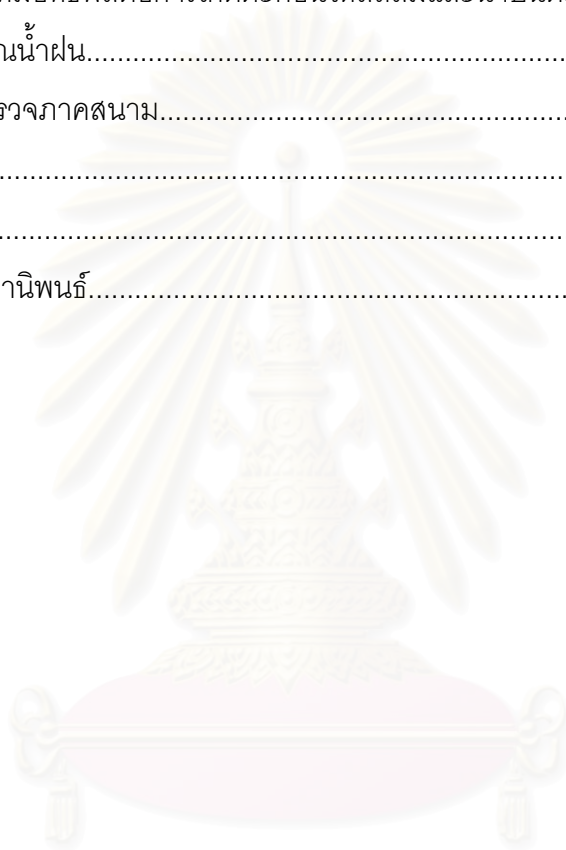
# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 พื้นที่ศึกษา.....	3
1.4 ขอบเขตและวิธีการศึกษา.....	6
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	9
บทที่ 2 ทฤษฎีและการสำรวจเอกสาร	10
2.1 ดินถล่ม.....	10
2.1.1 คำจำกัดความ.....	10
2.1.2 การจำแนกชนิดของดินถล่ม.....	11
2.1.3 ภัยธรรมชาติและการประเมินความเสี่ยง.....	14
2.1.4 การศึกษาดินถล่ม.....	16
2.1.4.1 การประเมินดินถล่ม.....	16
2.1.4.2 มาตรฐานในการศึกษา.....	18
2.1.5 การประเมินศักยภาพและปัจจัยที่มีอิทธิพลของตะกอนไหลถล่ม และน้ำปนตะกอนป่า.....	21
2.1.6 การจัดการภัยพิบัติ.....	27
2.2 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.....	30
2.3 การสำรวจระยะไกล.....	33
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37

บทที่	หน้า
บทที่ 3 การจัดเตรียมข้อมูล.....	42
3.1 การจัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์.....	42
3.2 ข้อมูลเส้นชั้นความสูง.....	44
3.2.1 ความลาดชัน.....	46
3.2.2 ทิศทางความลาดชัน.....	46
3.2.3 ลักษณะธรณีสัณฐาน.....	46
3.3 ทางน้ำ.....	49
3.4 ธรณีวิทยา.....	49
3.4.1 หน่วยหิน.....	49
3.4.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง.....	56
3.5 คุณสมบัติของดิน.....	58
3.5.1 กลุ่มชุดดิน.....	58
3.5.2 ความหนาของชั้นดิน.....	61
3.6 การใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	62
3.7 ร่องรอยของตะกอนถล่มและน้ำปนตะกอนป่า.....	68
3.7.1 ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซต.....	68
3.7.2 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์.....	70
3.8 ปริมาณน้ำฝน.....	77
3.9 ระบบสาธารณูปโภค.....	82
บทที่ 4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า.....	84
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่ม และน้ำปนตะกอนป่า.....	84
4.1.1 ค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยความลาดชัน.....	86
4.1.2 ค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยทิศทางความลาดชัน.....	86
4.1.3 ค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยลักษณะธรณีสัณฐาน.....	90
4.1.4 ค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยระยะห่างจากทางน้ำ.....	90
4.1.5 ค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยธรณีวิทยา.....	98
4.1.6 ค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น.....	98
4.1.7 ค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยกลุ่มชุดดิน.....	104



บทที่	หน้า
4.1.8 ค่าความสัมพันธ์ของความหนาของชั้นดิน.....	104
4.1.9 ค่าความสัมพันธ์ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	110
4.2 ความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า.....	114
บทที่ 5 อภิปราย.....	119
5.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า.....	119
5.2 ปริมาณน้ำฝน.....	122
5.3 การสำรวจภาคสนาม.....	122
บทที่ 6 บทสรุป.....	127
รายการอ้างอิง.....	128
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	133



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	การจำแนกชนิดของการเกิดดินถล่มโดยอาศัยชนิดของมวลวัตถุและรูปการเคลื่อนที่ของมวลวัตถุของ Varnes (1978).....	12
ตารางที่ 2.2	การจำแนกชนิดของการเกิดดินถล่มโดยอาศัยรูปแบบการเคลื่อนที่ ชนิดของมวลวัตถุ และปริมาณน้ำหรือธารน้ำแข็ง (Sharpe, 1938).....	14
ตารางที่ 2.3	องค์ประกอบที่สำคัญของการจัดการความเสี่ยง (Van Westen, 1994).....	28
ตารางที่ 3.1	วิธีการจัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานและแหล่งที่มาของข้อมูล.....	43
ตารางที่ 3.2	รายละเอียดช่วงคลื่น ความละเอียด และการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซต TM7.....	69
ตารางที่ 4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับปัจจัยความลาดชัน.....	87
ตารางที่ 4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับปัจจัยทิศทางความลาดชัน.....	87
ตารางที่ 4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับปัจจัยลักษณะธรณีฐาน.....	93
ตารางที่ 4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับปัจจัยระยะห่างจากทางน้ำ.....	93
ตารางที่ 4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับปัจจัยลักษณะทางธรณีวิทยา.....	99
ตารางที่ 4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น.....	99
ตารางที่ 4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับกลุ่มชุดดิน.....	105
ตารางที่ 4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับความหนาของชั้นดิน.....	105
ตารางที่ 4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับปัจจัยด้านการใช้ประโยชน์ดิน.....	111

## สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1	แผนที่ภูมิศาสตร์แสดงตำแหน่งที่ตั้งของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของกลุ่มน้ำน่าน.....	4
รูปที่ 1.2	พื้นที่ศึกษากลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์.....	5
รูปที่ 1.3	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการศึกษาในพื้นที่กลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	7
รูปที่ 2.1	รูปแบบของการเกิดดินถล่มตามการจำแนกของ Vernes (1978).....	12
รูปที่ 2.2	รูปแสดงลักษณะการเกิดภัย ความล่อแหลม และความเสี่ยง (Varnes, 1984)....	15
รูปที่ 2.3	มาตราส่วนในการศึกษา (Sgzen, 2002).....	20
รูปที่ 2.4	ขั้นตอนหลักในการจัดการเพื่อลดความเสียหายจากพิบัติภัยแผ่นดินถล่ม (ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย, 2546).....	29
รูปที่ 2.5	ระบบการทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Sgzen, 2002).....	31
รูปที่ 2.6	คำถามเกี่ยวกับความสัมพันธ์ด้านพื้นที่ที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถตอบได้ (Sgzen, 2002).....	31
รูปที่ 2.7	การเก็บข้อมูลโดยการสำรวจข้อมูลระยะไกล (Murai, 1993).....	34
รูปที่ 2.8	การเก็บข้อมูลโดยการสำรวจข้อมูลระยะไกล (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2534).....	34
รูปที่ 3.1	แผนที่แสดงช่วงต่างชั้นความสูง (contour interval) ในกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	45
รูปที่ 3.2	แผนที่แสดงความลาดชัน (slope) ในกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	47
รูปที่ 3.3	แผนที่แสดงทิศทางความลาดชัน (aspect) ในกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	48
รูปที่ 3.4	แผนที่ลักษณะธรณีสัณฐาน (landform) ในกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	50
รูปที่ 3.5	แผนที่แสดงระบบทางน้ำ (drainage system) ในกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	51
รูปที่ 3.6	แผนที่ระยะห่างจากทางน้ำ (Buffering distance to drainage-line) ในกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	52
รูปที่ 3.7	แผนที่ธรณีวิทยา (geology) ในกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล (หมายเลขแสดงตำแหน่งภาพถ่ายในรูปที่ 3.8).....	53
รูปที่ 3.8	ภาพถ่ายแสดงลักษณะธรณีวิทยา ในพื้นที่กลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	54
รูปที่ 3.9	แผนที่ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น (Buffering distance to lineament) ในกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	57
รูปที่ 3.10	แผนที่กลุ่มชุดดิน (soil group unit) ในกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	59

รูปที่ 3.11	แผนที่แสดงความหนาของชั้นดิน (soil thickness) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูน.....	63
รูปที่ 3.12	แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use) บริเวณลุ่มน้ำย่อยแม่พูน ในปี พ.ศ. 2546 (หมายเลขแสดงตำแหน่งภาพถ่ายในรูปที่ 3.13).....	66
รูปที่ 3.13	ภาพถ่ายแสดงการใช้ประโยชน์พื้นที่บางบริเวณ ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูน.....	67
รูปที่ 3.14	ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซต TM7 (R=5, G=4, B=3) ถ่ายวันที่ 7 มีนาคม 2549 (ก่อนเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า).....	71
รูปที่ 3.15	ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซต TM7 (R=5, G=4, B=3) ถ่ายวันที่ 10 พฤศจิกายน 2549 (หลังเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า).....	73
รูปที่ 3.16	ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอแมลไลซ์ (NDVI Values) ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูน ก่อนเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า (วันที่ 7 มีนาคม 2549).....	74
รูปที่ 3.17	ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอแมลไลซ์ (NDVI Values) ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูนหลังเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า (วันที่ 10 พฤศจิกายน 2549).....	75
รูปที่ 3.18	แผนที่แสดงร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ที่เกิดขึ้นในเดือนพฤษภาคม 2549 บริเวณลุ่มน้ำย่อยแม่พูน ซึ่งหาได้จากค่าการเปลี่ยนแปลงดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอแมลไลซ์ก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า.....	76
รูปที่ 3.19	ภาพถ่ายแสดงร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าบริเวณลุ่มน้ำย่อยแม่พูน บริเวณตำแหน่งต่างๆ .....	78
รูปที่ 3.20	แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนรอบพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูน.....	79
รูปที่ 3.21	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันวันที่ 13 ถึง 22 พฤษภาคม 2549 (ก่อนเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า 10 วัน).....	80
รูปที่ 3.22	ปริมาณน้ำฝนรายวันของสถานีตรวจวัดต่างๆ ในเดือนพฤษภาคม 2549.....	80
รูปที่ 3.23	เส้นชั้นปริมาณน้ำฝนสะสมราย 10 วัน (13 ถึง 22 พฤษภาคม 2549) ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูน ก่อนวันเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า 10 วัน.....	81

รูปที่ 3.24	ปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือนบริเวณพื้นที่อำเภอลับแล ในปี พ.ศ.2548 และ พ.ศ. 2549.....	80
รูปที่ 3.25	แผนที่แสดงเส้นทางคมนาคม และความหนาแน่นของชุมชน ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	83
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอยของปัจจัยความลาดชัน (a) และ ค่า b/a ratio ของความลาดชัน (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	88
รูปที่ 4.2	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับปัจจัยความลาดชัน.....	89
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอย ของปัจจัยทิศทางความลาดชัน (a) และ ค่า b/a ratio ของความลาดชัน (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	91
รูปที่ 4.4	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับปัจจัยทิศทางความลาดชัน.....	92
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอย ของปัจจัยลักษณะธรณีสัณฐาน (a) และ ค่า b/a ratio ของลักษณะธรณีสัณฐาน (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	94
รูปที่ 4.6	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับปัจจัยลักษณะธรณีสัณฐาน.....	95
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอยของแผนที่ระยะห่างจากทางน้ำ (a) และ ค่า b/a ratio ของระยะห่างจากทางน้ำ (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	96
รูปที่ 4.8	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับปัจจัยระยะห่างจากทางน้ำ.....	97
รูปที่ 4.9	กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอย ของปัจจัยลักษณะทางธรณีวิทยา (a) และ ค่า b/a ratio ของหน่วยหิน (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	100
รูปที่ 4.10	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับปัจจัยธรณีวิทยา.....	101

รูปที่ 4.11	กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอยฯ ของระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น (a) และ ค่า b/a ratio ของระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	102
รูปที่ 4.12	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า กับปัจจัยระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น.....	103
รูปที่ 4.13	กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอยฯ ของปัจจัยด้านกลุ่มชุดดิน (a) และ ค่า b/a ratio ของกลุ่มชุดดิน (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	106
รูปที่ 4.14	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า กับปัจจัยกลุ่มชุดดิน.....	107
รูปที่ 4.15	กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอยฯ ของความหนาของชั้นดิน (a) และ ค่า b/a ratio ของความหนาของชั้นดิน (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	108
รูปที่ 4.16	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า กับปัจจัยความหนาของชั้นดิน.....	109
รูปที่ 4.17	กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอยฯ ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (a) และ ค่า b/a ratio ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล.....	112
รูปที่ 4.18	ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า กับปัจจัยด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	113
รูปที่ 4.19	ค่าดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า จากผลรวมของค่า b/a ทั้ง 7 ปัจจัย.....	115
รูปที่ 4.20	ค่าดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า จากผลรวมของค่า b/a ทั้ง 7 ปัจจัย โดยกำหนดให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.....	117
รูปที่ 4.21	แผนที่แสดงพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์.....	118
รูปที่ 5.1	แผนที่แสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่ม จังหวัดอุตรดิตถ์ (กรมทรัพยากรธรณี, 2547).....	121
รูปที่ 5.2	แผนที่พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล แสดงตำแหน่งของจุดสำรวจภาคสนาม ซึ่งได้รับความเสียหายจากเหตุการณ์ เมื่อวันที่ 21 พฤษภาคม 2549.....	123

รูปที่ 5.3	ลักษณะการผูกพันของหินดินดาน ในหมวดหินลับแล ที่แสดงแนวแตกเรียบชัดเจน เป็นจำนวนมาก บริเวณพิกัด 603367E, 1960747N.....	125
รูปที่ 5.4	พื้นที่บ้านห้วยใต้ ซึ่งเป็นบริเวณจุดรวมของทางน้ำ 3 สาขาไหลมาบรรจบกัน แสดงสะพานซึ่งสร้างกีดขวางการไหลของทางน้ำ.....	125



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

ในรอบหลายปีที่ผ่านมา เราจะพบว่า ภัยพิบัติทางธรรมชาติที่ปรากฏอยู่ทั่วไปในโลกนี้ นับว่าจะก่อเกิดปัญหาทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ เหตุการณ์เหล่านี้ได้สร้างความเสียหาย ความสูญเสียต่อชีวิต ทรัพย์สินและสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก และค่อนข้างที่จะมีแนวโน้มของการเกิดภัยพิบัติในอนาคต เพิ่มความถี่และทวีความรุนแรงที่หลากหลายเนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปของโลก ที่เป็นผลมาจากปรากฏการณ์โลกร้อน (global warming) ในปัจจุบันนี้ ภัยธรรมชาติ เป็นปัญหาที่คนไทยให้ความสนใจมากขึ้น เพราะเกิดขึ้นบ่อยครั้ง และนับวันจะยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น

แผ่นดินถล่ม เป็นภัยพิบัติธรรมชาติอย่างหนึ่ง ที่เกิดขึ้นในประเทศไทย จากหลายๆ เหตุการณ์ที่ผ่านมา เช่น เหตุการณ์ดินถล่มที่อำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช เมื่อ พ.ศ. 2531 เหตุการณ์ดินถล่มที่อำเภอวังชัน จังหวัดแพร่ และเหตุการณ์ดินถล่มที่อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ เมื่อ พ.ศ. 2544 ดินถล่ม หมายถึงการเคลื่อนที่ของมวลดินและหินลงมาตามลาดเขา ด้วยอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวมักจะมีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยเสมอ ที่ทำให้มวลดินและหินเกิดการเคลื่อนตัวลงสู่พื้นที่ด้านล่าง ซึ่งสร้างความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินกับบ้านเรือน และชุมชน ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เหล่านั้น เป็นจำนวนมาก สาเหตุของการเกิดภัยพิบัติชนิดนี้ มีองค์ประกอบอยู่หลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นปัจจัยภายใน และปัจจัยภายนอก เช่น ลักษณะทางภูมิศาสตร์ คุณสมบัติของมวลวัตถุ หรือแม้แต่สภาพภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำฝนที่ตกมากผิดปกติ รวมถึงปัจจัยที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้น ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ ล้วนเป็นที่เอื้ออำนวยต่อการเกิดแผ่นดินถล่มแทบทั้งสิ้น

### 1.1 หลักการและเหตุผล

เหตุการณ์ฝนตกหนักอย่างผิดปกติ ในบริเวณอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งตั้งอยู่ทางภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทยในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2549 ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติจากธรรมชาติได้แก่ การเกิดตะกอนไหลถล่ม (debris flow) และน้ำปนตะกอนป่า (debris flood) ขึ้นในหลายพื้นที่ของจังหวัดอุตรดิตถ์ โดยเฉพาะในวันที่ 21 ถึงวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 ทำให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนเป็นจำนวนมาก



พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล เป็นลุ่มน้ำย่อยหนึ่งของลุ่มน้ำน่าน อยู่ในอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 165 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นที่หลักแห่งหนึ่งที่ได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงจากการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าดังกล่าว โดยมีผู้เสียชีวิตทั้งสิ้น 23 ราย สูญหาย 4 ราย และบาดเจ็บอีกเป็นจำนวนมาก รวมทั้งก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินและสาธารณูปโภคอีกมากมาย (กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2549) รวมทั้งยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลไปอย่างมาก เช่น การกัดเซาะ การพังทลายของหน้าดิน เกิดการพัดพาตะกอนไปสะสมตัวร่วมกับการเกิดน้ำท่วมซึ่งอยู่เป็นเวลาหลายวัน ในบริเวณที่ราบลุ่มตอนล่างของลุ่มน้ำย่อยแม่พูลดังกล่าวนี้ ทำให้พื้นที่เกษตรกรรมทั้งไร่สวนและพื้นที่ทำนารวมทั้งที่ตั้งชุมชนเกิดความเสียหายเป็นบริเวณกว้าง

การศึกษาและการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมพื้นที่ หลังจากเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติ จะทำให้ทราบถึงตำแหน่งร่องรอยของการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า และสามารถนำร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าดังกล่าวไปประเมินความสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะสาเหตุและมีอิทธิพลต่อการเกิดภัยพิบัติในครั้งนี้ โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีของความน่าจะเป็นแบบตัวแปรเดียว (Lee and Min, 2001) เพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุที่แท้จริงว่ามีปัจจัยอื่นใดที่มีอิทธิพล และมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า นอกเหนือไปจากปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ ซึ่งตกหนักผิดปกติและตกติดต่อกันเป็นเวลาหลายวันแต่เพียงอย่างเดียว ผลการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ที่ได้ จะสามารถนำไปจัดทำแผนที่แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพล ต่อการเกิดภัยพิบัติตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า และสร้างแผนที่พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติดังกล่าวในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลได้

การนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) มาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษา เนื่องจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) ได้เป็นอย่างดี โดยข้อมูลลักษณะต่างๆ ในพื้นที่จะถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันและกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด และรายละเอียดของข้อมูลนั้นๆ และสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ นอกจากนี้การนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing : RS) ในหลายช่วงเวลาเข้ามาประยุกต์ใช้ร่วม เนื่องจากข้อมูลการสำรวจระยะไกล สามารถนำมาวิเคราะห์หรือร่วมกับข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยในการแปลความหมายข้อมูลด้านต่างๆ ในพื้นที่ ช่วยให้เห็นข้อมูลในภาพกว้างและสามารถศึกษาพื้นที่ที่ยากต่อเข้าถึง รวมทั้งยังสามารถใช้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมพื้นที่ก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติได้ และใช้ประโยชน์ในการวางแผนการสำรวจ

ข้อมูลภาคสนาม เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการจัดทำฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทำให้สามารถนำรายละเอียดข้อมูลที่ได้จากการสำรวจนำไปปรับแก้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด รวมไปถึงการสำรวจภาคสนามเพื่อตรวจสอบและหาหลักฐาน อธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติดังกล่าว

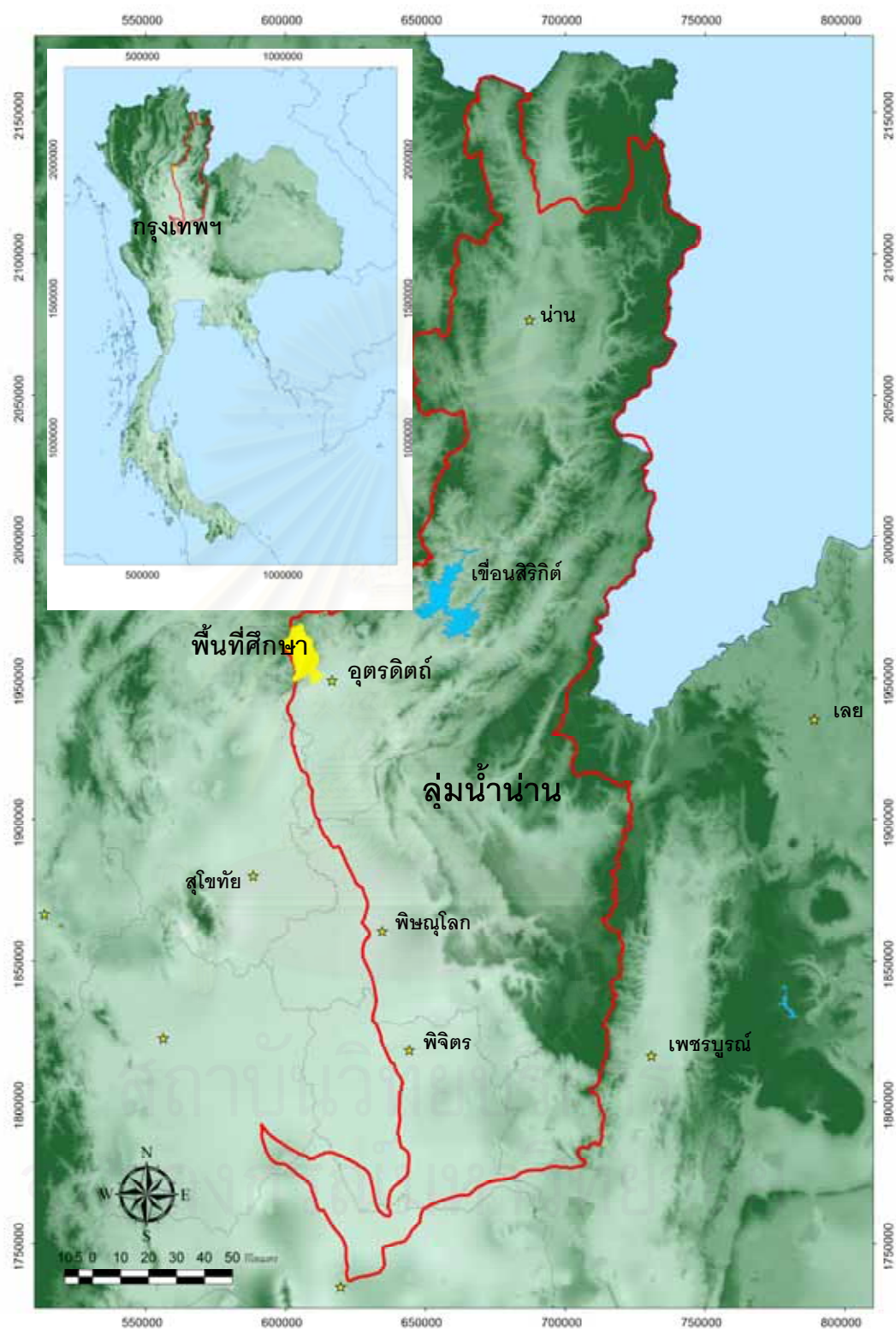
## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาร่องรอย (scar-scouring) ของการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ เมื่อวันที่ 21 พฤษภาคม 2549
2. เพื่อประเมินความสัมพันธ์ ระหว่างร่องรอยของการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าดังกล่าว กับปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง ที่คาดว่าจะป็นสาเหตุ และมีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าดังกล่าว
3. เพื่อประเมินพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า (debris flow-flood susceptibility) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

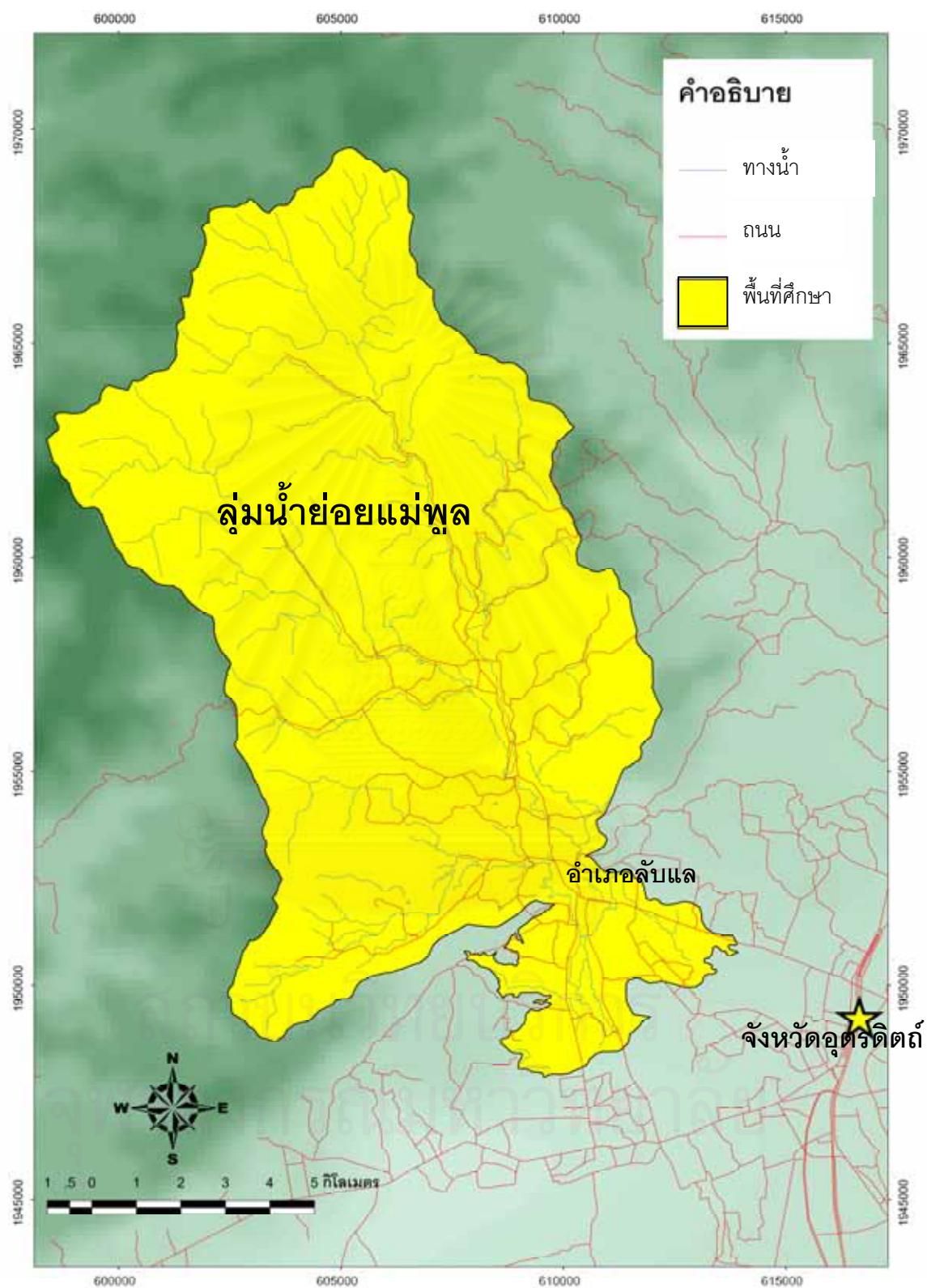
## 1.3 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตก เป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำน่าน (รูปที่ 1.1) มีขนาดพื้นที่ของลุ่มน้ำประมาณ 165 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุม ตำบลแม่พูล ตำบลฝายหลวง ตำบลศรีพนมมาศ ของอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ อยู่ระหว่างพิกัด 598389 ถึง 613924 ตะวันออก และพิกัด 1947860 ถึง 1965566 เหนือ ในระบบพิกัดยูทีเอ็ม (UTM : Universal Transverse Mercator) รูปแบบการอ้างอิงบนพื้นหลักฐาน WGS84 (World Geodetic System 1984 (รูปที่ 1.2))

ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล มีทิศทางการวางตัวในแนวตะวันออกเฉียงใต้ - ตะวันตกเฉียงเหนือ มีความกว้าง 8 กิโลเมตร และความยาว 20 กิโลเมตร โดยประมาณ มีระดับความสูงของภูมิประเทศสูงสุด อยู่ทางตอนบนของลุ่มน้ำ มีระดับความสูง 860 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และ ความสูงของภูมิประเทศระดับต่ำสุด ตั้งอยู่บริเวณตอนล่าง ซึ่งลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ มีระดับความสูง 80 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูลมีทางน้ำหลัก 2 สาย ได้แก่ ห้วยแม่พูล และคลองแม่พร่อง สำหรับทางน้ำสาขามีการไหลของทางน้ำเป็นรูปกิ่งไม้ ซึ่งไหล



รูปที่ 1.1 แผนที่ภูมิศาสตร์แสดงตำแหน่งที่ตั้งของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของกลุ่มน้ำน่าน



รูปที่ 1.2 พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำย่อยแม่พุด อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

จากลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ซึ่งเป็นภูเขา ลงสู่ทางน้ำสายหลัก และไหลลงสู่พื้นที่ราบ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสะสมตัวของตะกอนเชิงเขา และตะกอนทางน้ำ ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ และไหลลงสู่แม่น้ำน่านซึ่งเป็นแม่น้ำสายหลักของจังหวัดอุตรดิตถ์

สภาพภูมิอากาศของอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ จัดอยู่ในภูมิอากาศแบบฝนเมืองร้อน เฉพาะฤดู (tropical savannah climate) โดยระยะช่วงฝนสลับกับช่วงอากาศแห้งแล้งแตกต่างกัน ชัดเจน และเนื่องจากภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขาและที่สูง จึงทำให้อากาศร้อนจัดในฤดูร้อน และหนาวจัดในฤดูหนาว ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม อุณหภูมิเฉลี่ย 35 องศาเซลเซียส ฤดูฝนระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม และฤดูหนาวระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ อุณหภูมิเฉลี่ย 15-17 องศาเซลเซียส

#### 1.4 ขอบเขตและวิธีการศึกษา

ในการดำเนินการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ จะทำการหาปัจจัยที่คาดว่าจะจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด ตะกอนไหลถล่ม และน้ำปนตะกอนป่า ที่เกิดขึ้นในเดือนพฤษภาคม 2549 ขอบเขตการศึกษาค้นคว้านี้ จำกัดอยู่ในบริเวณลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ เนื่องจากเป็นลุ่มน้ำที่เกิดความเสียหายมากที่สุดจากเหตุการณ์ภัยพิบัติในจังหวัดอุตรดิตถ์

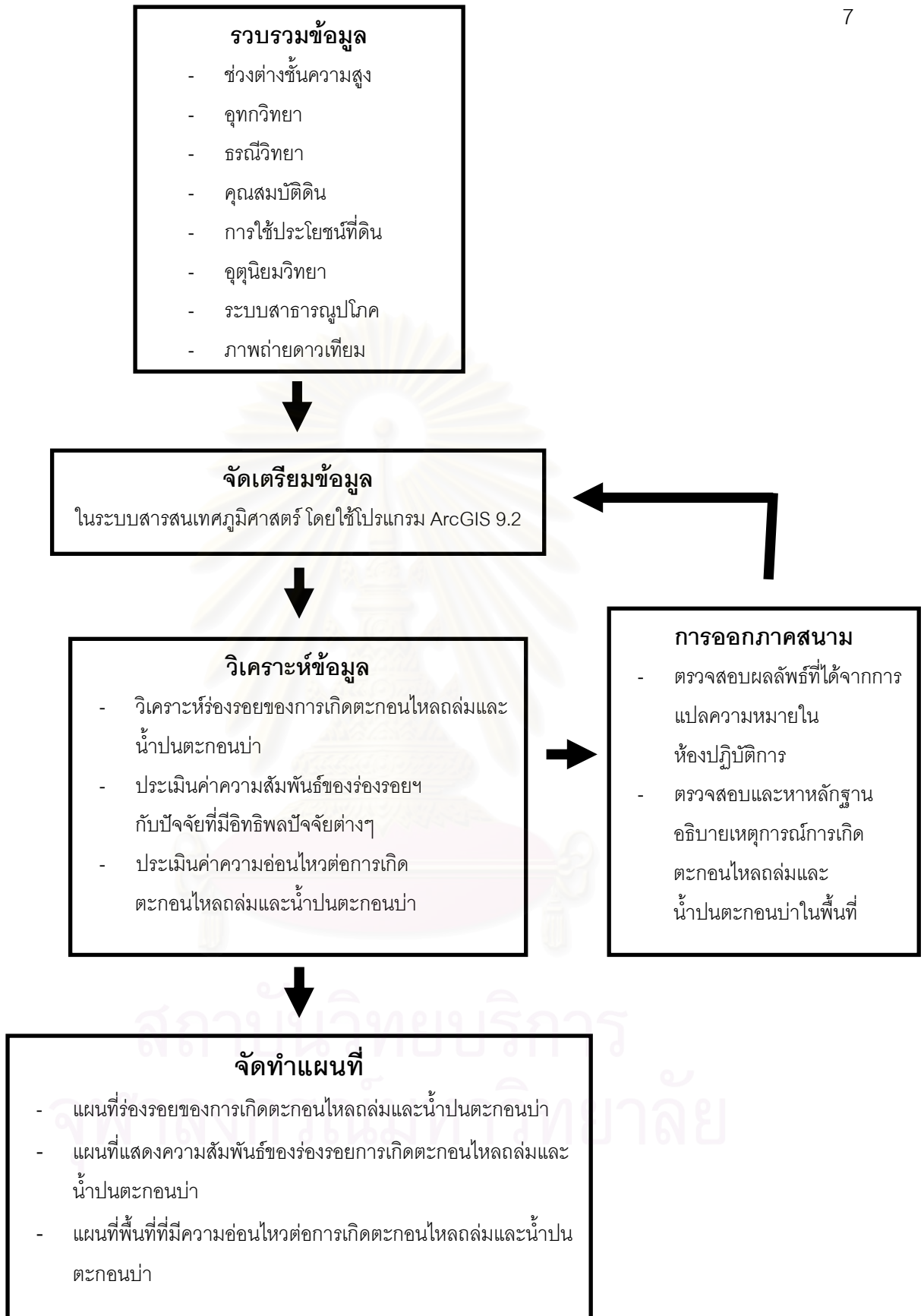
ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน การสำรวจภาคสนาม การจัดเตรียมข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรายละเอียด ดังนี้ (รูปที่ 1.3)

##### 1. รวบรวมข้อมูลพื้นฐาน

รวบรวมข้อมูลพื้นฐานจากข้อมูลที่มีอยู่แล้วของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ แผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่กลุ่มชุดดิน แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายวัน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ตำแหน่งที่ตั้งชุมชน และภาพถ่ายดาวเทียม ก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติ

##### 2. การจัดเตรียมข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ที่ได้ที่รวบรวมได้จากแหล่งที่มาต่างๆ จะถูกนำเข้า (input) และจัดเตรียมแผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ให้อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลคุณลักษณะ (attribute data) ในระบบพิกัดและมาตราส่วนในการวิเคราะห์เดียวกัน โดยใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcGIS Desktop 9.2 ในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลเชิง



รูปที่ 1.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

พื้นที่ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าต่อไป

### 3. การสำรวจภาคสนาม

การสำรวจภาคสนามในพื้นที่ โดยใช้เครื่องบันทึกพิกัดภูมิศาสตร์ (GPS) ในการอ้างอิงตำแหน่ง สำหรับตรวจสอบและอธิบายผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดทำและวิเคราะห์ข้อมูลในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลการสำรวจที่ได้นำไปจัดทำ และปรับแก้ข้อมูลในขั้นตอนของการจัดเตรียมฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ให้มีความถูกต้อง และแม่นยำ โดยทำการสำรวจและสุ่มตรวจสอบตำแหน่งการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตำแหน่งทางน้ำ ที่ตั้งชุมชน และระบบสาธารณูปโภค สำรวจและสุ่มตรวจสอบร่องรอยของการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าสำรวจและสุ่มตรวจสอบลักษณะทางธรณีวิทยา ได้แก่ หน่วยหินและธรณีวิทยาโครงสร้าง สำรวจภาคสนาม เพื่อสุ่มตรวจสอบ และหาหลักฐาน อธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติในภาคสนาม เช่น ลักษณะภูมิประเทศ และธรณีสัณฐาน รวมไปถึงสิ่งปลูกสร้างที่กั้นขวางทางน้ำ โดยอ้างอิงตำแหน่งการสำรวจจากแผนที่แสดงพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า

### 4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลต่างๆ ที่จัดเตรียมข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะถูกนำไปวิเคราะห์หาร่องรอยของการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า โดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์ผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ของค่าดัชนีพืชพรรณ (Normalize Difference Vegetation Index : NDVI) ที่วิเคราะห์ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์ เพื่อจัดทำแผนที่ร่องรอยของการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า

วิเคราะห์ประเมินค่าความสัมพันธ์ ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า กับปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่าง ๆ ที่ได้จากการจัดเตรียมแผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ ความลาดชัน ทิศทางความลาดชัน ลักษณะธรณีสัณฐาน ระยะห่างจากทางน้ำ หน่วยหิน ธรณีวิทยาโครงสร้าง กลุ่มชุดดิน ความหนาของชั้นดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยวิเคราะห์เชิงสถิติ ด้วยวิธีความน่าจะเป็นแบบตัวแปรเดียว (univariate probability method) และจัดทำแผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับร่องรอยของการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า

วิเคราะห์และประเมินค่าความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่ม และน้ำปนตะกอนป่า (Flow-Flood Susceptibility) โดยการคำนวณค่าดัชนีความอ่อนไหว (Flow-Flood Susceptibility Index : FFSI) จากผลรวมของค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลในแต่ละชั้น

ข้อมูล เพื่อจัดทำแผนที่แสดงพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอน  
ป่า

### 1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ทราบถึงตำแหน่งร่องรอยของการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ที่ได้รับความเสียหายจากเหตุการณ์เมื่อเดือนพฤษภาคม 2549 และทราบสาเหตุ ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและมีอิทธิพล ที่ก่อให้เกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูนในครั้งนี้

2. สามารถสร้างแผนที่ แสดงพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการจัดการที่ดีในการเตือนภัยในเขตพื้นที่เสี่ยงภัยของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูน อำเภอลับแล ให้มีประสิทธิภาพ

3. ได้ข้อมูลแผนที่พื้นฐานต่างๆของพื้นที่ศึกษา ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษา ปรับปรุง แก้ไข เพื่อใช้ในการวางแผนจัดการภัยพิบัติดังกล่าวนี้ กับเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นได้อีกในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและการสำรวจเอกสาร

#### 2.1 ดินถล่ม (Landslide)

##### 2.1.1 คำจำกัดความ

ดินถล่ม หรือ แผ่นดินถล่ม เป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของมวลวัตถุต่างๆ ได้แก่ ดิน หิน และเศษซากต่างๆ รวมตัวและเคลื่อนตัวจากพื้นที่สูงลงสู่พื้นที่ต่ำตามทิศทางความลาดชัน ซึ่งส่วนใหญ่มักเกิดในที่ที่มีความลาดชันสูง โดยสาเหตุเกิดจากปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลและเกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณน้ำฝน ลักษณะดิน ความลาดชัน และสิ่งปกคลุมดิน เป็นต้น ในความหมายและคำจำกัดความอื่นๆ ที่คล้ายกัน มีผู้ให้คำจำกัดความของดินถล่มไว้ อย่างหลากหลายดังต่อไปนี้

ราชบัณฑิตยสถาน (2549) ได้ให้ความหมายของคำว่า แผ่นดินถล่ม (landslide) ไว้ว่า แผ่นดินถล่ม คือ การเคลื่อนที่ของแผ่นดิน และกระบวนการซึ่งเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของดินหรือหิน ตามบริเวณพื้นที่ลาดชันที่เป็นภูเขาหรือเนินเขา เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก อาจเลื่อนหลุดออกมาเป็นกะบิหรือพังทลายลงมาก็ได้ สิ่งที่เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดแผ่นดินถล่ม มีทั้งที่เป็นธรรมชาติ และที่มนุษย์กระทำขึ้น

ดินถล่ม เป็นกระบวนการธรรมชาติ ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลวัตถุ ซึ่งเคลื่อนที่ของมวลวัตถุ (mass movement) หมายถึง การเคลื่อนที่บนพื้นลาดของดิน ตะกอน และหิน เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Bennett and Doyle, 1999) ในความหมายอื่นๆ ที่คล้ายกัน การเคลื่อนที่ของมวลวัตถุ หมายถึง การเคลื่อนที่ลงไปตามด้านข้างของมวลวัตถุที่ไม่รวมถึงตัวนำพาซึ่งได้แก่ น้ำ หรือ หมายถึง การเคลื่อนที่ของมวลหิน เศษตะกอน หรือดิน ลงสู่พื้นที่ด้านล่าง (Cruden, 1986)

Varnes (1978) กล่าวว่า แผ่นดินถล่ม คือ กระบวนการเคลื่อนที่หรือการไหลของมวลทราย ดิน และหินจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ

FEMA (1998) ได้ให้ความหมายว่า แผ่นดินถล่มเกิดขึ้นเมื่อมวลดิน แผ่นดิน หรือเศษซากปรักหักพัง เคลื่อนตัวลงมาตามความลาดเอียง บางครั้งจะมีขนาดเล็กบางครั้งจะมีขนาดใหญ่ และ

สามารถเคลื่อนตัวได้ตั้งแต่ช้าๆ ไปถึงเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว โดยมีสาเหตุมาจาก พายุฝน แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด และโดยการปรับเปลี่ยนพื้นที่ของมนุษย์

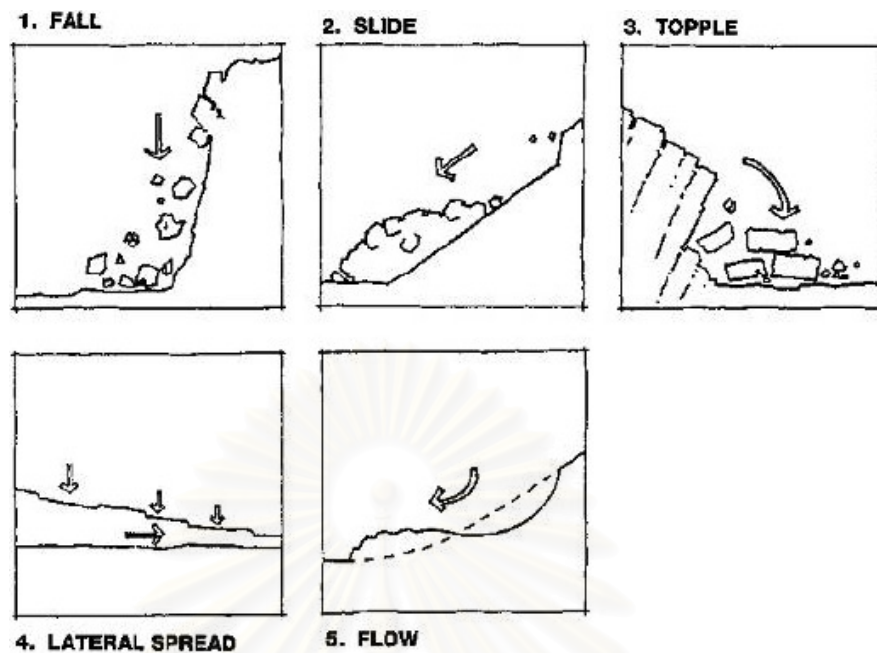
### 2.1.2 การจำแนกชนิดของดินถล่ม (Classifications of Landslides)

การจำแนกชนิดของการเกิดดินถล่ม สามารถจำแนกได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่จะนำมาจำแนก เช่น ชนิดของวัตถุ ลักษณะภูมิฐาน รูปร่างของดินถล่ม ชนิดของการเคลื่อนที่ ภูมิภาค น้ำ ความเร็วในการเคลื่อนที่ และปัจจัยเร่งภายนอกที่เป็นตัวเร่ง

Vernes (1978) ได้จำแนกการเกิดดินถล่ม โดยอาศัยชนิดของมวลวัตถุและการเคลื่อนที่ (รูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.1) โดยชนิดของการเคลื่อนที่ หรืออาจเกิดในรูปแบบผสมได้ โดยมวลวัตถุจะมีลักษณะการเคลื่อนที่อยู่ 5 แบบ จำแนกออกเป็น falls topples slide (rotational and translational) lateral spreads และ flows และชนิดของมวลวัตถุประกอบด้วย bedrock มวลวัตถุเนื้อหยาบ (debris) และมวลวัตถุเนื้อละเอียด (earth)

- fall คือ การที่หิน หรือวัตถุตกหรือหล่นลง ซึ่งปกติจะเกิดขึ้นบริเวณถนนบนที่สูง แนวสันเขื่อน หน้าผา โดยลักษณะการเกิดแบบนี้ จะพบได้ในมวลหินขนาดใหญ่
- slide คือ เป็นผลมาจากการไหลของดินหรือวัตถุผิวหน้า ตามลาดเขาสูงพื้นที่ราบ และเมื่อมีการเคลื่อนที่ของมวลดินมาถึงบริเวณพื้นที่ราบ ทำให้มีการเคลื่อนที่ช้าและสิ้นสุดกระบวนการในที่สุด
- topples คือ การล้มของหินซึ่งเกิดจากการเสียการทรงตัวของหินที่มีแนวการวางตัวหรือมีการโน้มเอียงจากหินฐานไปข้างหน้า มากกว่า  $90^{\circ}$
- lateral spreads คือ การแผ่กระจายของมวลดินฐาน ซึ่งเกิดจากการกดทับของวัตถุจากด้านบน
- flows คือ การเคลื่อนตัวของมวลดินโคลน ซึ่งเกิดจากการที่ดินนั้นมีการอุ้มน้ำไว้ จนเกินขีดจำกัด เมื่อดินมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการไหลของมวลดินลงสู่ที่ต่ำกว่า เกิดเป็นดินโคลนถล่ม

Sheng (1966) แบ่งชนิดของดินถล่ม ไว้ 5 ชนิด ได้แก่ 1) การหล่น (fall) จะเกิดขึ้นเมื่อมวลดินเคลื่อนที่ไปในอากาศโดยอิสระ อาจจะเป็นการตก กระโดดหรือกลิ้งไป การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาก ซึ่งจะเคลื่อนที่ช้าๆ มาก่อน หรือไม่มีการเคลื่อนที่มาก่อนก็ได้ การหล่น มีอยู่ด้วยกันสองแบบคือ หินหล่นและดินถล่ม 2) การเลื่อนไหล (slides) เป็นการเลื่อนไหลจากมวลดินและหินทรุดตัว หินเลื่อนไหล ซึ่งการเลื่อนไหลจะมีลักษณะ คือ การเลื่อนไหลทั้งหมดจะมีผิวที่เกิดเลื่อนไหลแตกต่างกันหรือไม่สม่ำเสมอ 3) การไหล (flow) เป็นการเคลื่อนที่ในมวลดินที่ถูกทำให้



รูปที่ 2.1 รูปแบบของการเกิดดินถล่มตามการจำแนกของ Varnes (1978)

ตารางที่ 2.1 การจำแนกชนิดของการเกิดดินถล่มโดยอาศัยชนิดของมวลวัตถุและรูปการเคลื่อนที่ของมวลวัตถุของ Varnes (1978)

Type of Movement		Type of Material			
		Bedrock	Engineering Soils		
			Predominantly Coarse	Predominantly Fine	
Falls		Rock Fall	Debris Fall	Earth Fall	
Topples		Rock Topple	Debris Topple	Earth Topple	
Slides	Rotational	Rock Slump	Debris Slump	Earth Slump	
	Translational	Few Units	Rock Block Slide	Debris Block Slide	Earth Block Slide
		Many Units	Rock Slide	Debris Slide	Earth Slide
Lateral Spreads		Rock Spread	Debris Spread	Earth Spread	
Flows		Rock Flow (Deep Creep)	Debris Flow (Soil Creep)	Earth Flow	
Complex – Combination of Two or More Principal Types of Movement					

เคลื่อนที่ 4) การไหลคลาน (creeps) หมายถึง การเคลื่อนที่ของมวลอย่างช้า ๆ ลงข้างล่างของดิน หรือเศษหิน ที่ถูกน้ำซัดจนเป็นโคลนลงสู่ที่ต่ำ ตามความลาดเทด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก 5) การไหลเลื่อน (subsidence solifluction) เป็นการก่อดันของวัตถุในทางตั้งที่มีการเคลื่อนที่ไปตามแนวอนเล็กน้อย ซึ่งมักจะเป็นเนื่องมาจากการซุดบ่อถ่านหิน น้ำหนักบรรทุกมากเกินไปหรือ แผ่นดินไหว การอัดตัวกันแน่นของตะกอน

Howes และคณะ (1996) แบ่งชนิดของแผ่นดินถล่มไว้ 7 รูปแบบ ตามลักษณะการเคลื่อนที่ ดังนี้

1. การยุบตัว (slump) ลักษณะการเคลื่อนที่มีความซับซ้อนของการเคลื่อนที่ของมวลวัตถุ ที่อยู่บนพื้นที่ที่มีความลาดชัน ประกอบด้วย การยุบตัวแบบมีการม้วนตัวของมวลดิน
2. การเลื่อนไหล (slide) ลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลดินในรูปแบบขนานไปบนพื้นผิวราบซึ่งมีความอ่อนตัว และจะขนานไปกับความลาดชัน
3. การไหลคลาน (creep) ลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลดินจะช้ามาก ในลักษณะค่อยเป็นค่อยไป
4. การล้มตัว (topple) เป็นการเคลื่อนไหวเอนตัวล้มลงของหิน ตามแนวของความลาดเอียง
5. การหล่น (fall) ลักษณะของการเคลื่อนที่ของมวลดินเป็นอย่างอิสระ
6. การไหล (flow) การเคลื่อนที่ของมวลดินที่ถูกทำให้ไหลไปกับของเหลวที่ไหลได้
7. การไหลทะลัก (torrent) คือ การเกิดแผ่นดินถล่มในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นนานๆ ครั้งและเกิดอย่างรวดเร็วในบริเวณช่องเขาที่มีการไหลของน้ำ และตะกอนของดินและหิน

Sharpe (1938) จำแนกชนิดของดินถล่มบนพื้นฐานของ รูปแบบการเคลื่อนที่ของมวลวัตถุ (slip และ flow) ชนิดของมวลวัตถุ (earth และ rock) และปริมาณน้ำหรือธารน้ำแข็งซึ่งเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเคลื่อนตัวของมวลวัตถุ (ตารางที่ 2.2)

Wieczorek และคณะ (1983) จำแนกชนิดของดินถล่ม โดยอาศัยปริมาณน้ำ และการตัดขนาดของมวลวัตถุ จำแนกออกเป็น ตะกอนไหลถล่ม (debris flow) และน้ำปนตะกอนป่า (debris flood) โดยตะกอนไหลถล่มนั้น น้ำและมวลวัตถุต่างๆ ซึ่งโดยมากเป็นมวลวัตถุเนื้อหยาบ ซึ่งรวมตัวกันคล้ายมีลักษณะคอนกรีตเปียก มีความหนืดมาก และมีสัดส่วนของปริมาณมวลวัตถุมากกว่าปริมาณน้ำ เคลื่อนตัวลงมาตามหุบเขา สำหรับน้ำปนตะกอนป่านั้น มวลวัตถุส่วนมากเป็นมวลวัตถุขนาดละเอียด มีความหนืดน้อยกว่า และมีสัดส่วนของปริมาณน้ำที่มากกว่าปริมาณของมวลวัตถุ

ตารางที่ 2.2 การจำแนกชนิดของการเกิดดินถล่มโดยอาศัยรูปแบบการเคลื่อนที่ ชนิดของมวลวัตถุ และปริมาณน้ำหรือธารน้ำแข็ง (Sharpe, 1938)

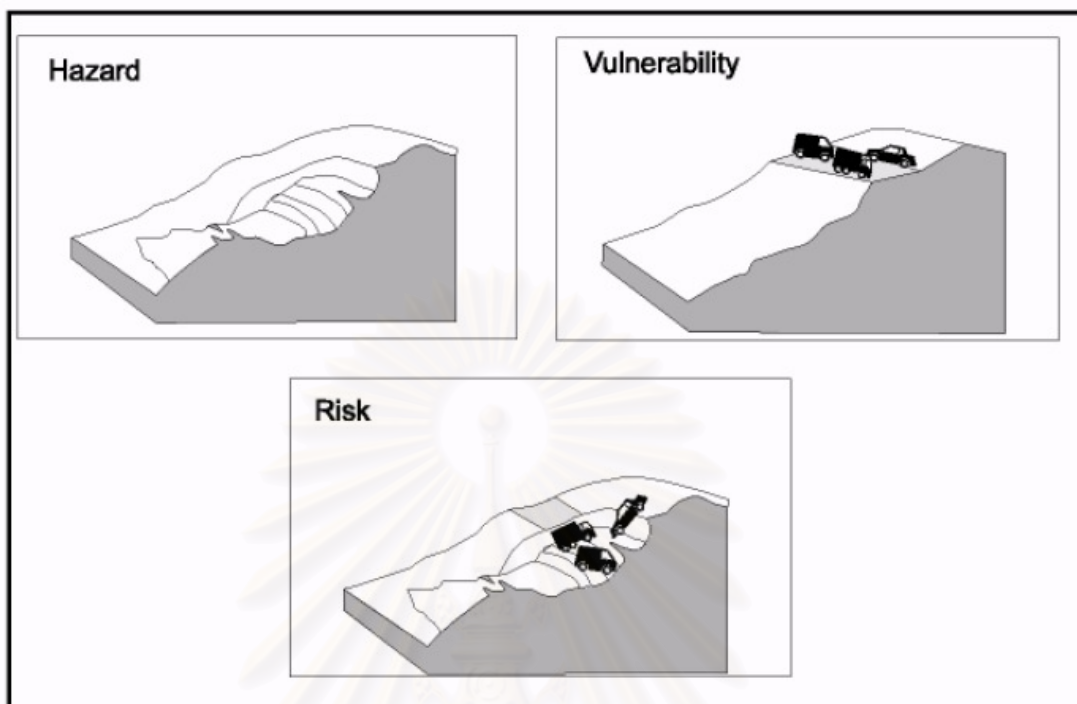
		MOVEMENT		EARTH OR ROCK				
		KIND	RATE	ICE	EARTH OR ROCK PLUS ICE	EARTH OR ROCK DRY OR WITH MINOR AMOUNTS OF ICE OR WATER	EARTH OR ROCK PLUS WATER	WATER
				CHIEFLY ICE	EARTH OR ROCK PLUS ICE	EARTH OR ROCK DRY OR WITH MINOR AMOUNTS OF ICE OR WATER	EARTH OR ROCK PLUS WATER	CHIEFLY WATER
WITH FREE SIDE	FLOW	USUALLY PERCEPTIBLE	SLOW TO RAPID	ROCK GLACIER CAP	SOULFLUCTION	ROCK --- CREEP TALUS CREEP SOIL CREEP	SOULFLUCTION EARTHFLOW	FLUVIAL TRANSPORTATION
		PERCEPTIBLE	RAPID	DEBRIS --- AVALANCHE			MUDFLOW SEMIRAPID, ALPINE VOLCANIC DEBRIS --- AVALANCHE	
NO FREE SIDE	SLIP OR FLOW	PERCEPTIBLE	SLOW TO RAPID	GLACIAL TRANSPORTATION		SLUMP DEBRIS --- SLIDE DEBRIS --- FALL		
		FAST OR SLOW	VERY RAPID		ROCKSLIDE ROCKFALL		SUBSIDENCE	

### 2.1.3 ภัยธรรมชาติและการประเมินความเสี่ยง (Natural Hazards and Risk Assessment)

ภัยพิบัติ (disaster) หมายถึงสภาวะที่ระบบการทำงานของชุมชนหรือสังคมได้รับการกระทบกระเทือนอย่างรุนแรงเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียชีวิต ทรัพย์สิน เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ที่เกินกำลังความสามารถของชุมชนหรือสังคมที่ได้รับผลกระทบจะจัดการได้โดยใช้ทรัพยากรของตนเองที่มีอยู่ ซึ่งภัยพิบัติเป็นกระบวนการของความเสียหายซึ่งเป็นผลมาจากการรวมตัวกันของภัย สภาพความอ่อนแอ และความสามารถหรือมาตรการที่ไม่เพียงพอที่จะลดผลด้านลบของความเสี่ยงนั้นได้

ความเสี่ยง (risk) หมายถึง ความน่าจะเป็นของการเกิดผลที่เป็นอันตราย หรือความสูญเสียที่คาดว่าจะเกิด (ความตาย การบาดเจ็บ ทรัพย์สิน การดำรงชีวิต กิจกรรมทางเศรษฐกิจที่ได้รับการกระทบกระเทือน หรือสิ่งแวดล้อมที่ถูกทำลาย) ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิภังการระหว่างภัยธรรมชาติหรือภัยที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ และสภาพความอ่อนแอ โดยความเสี่ยงแสดงได้เป็นรูปสมการ ดังนี้ (รูปที่ 2.2)

$\text{ความเสี่ยง} = \text{ภัย} \times \text{ความอ่อนแอ}$
---



รูปที่ 2.2 รูปแสดงลักษณะการเกิดภัย ความล่อแหลม และความเสี่ยง (Varnes, 1984)

กลยุทธ์สากลเพื่อการลดภัยพิบัติ (International Strategy for Disaster Reduction ; ISDR) ได้ให้คำจำกัดความของคำที่เกี่ยวข้องไว้ดังต่อไปนี้

ภัย (hazard) หมายถึง เหตุการณ์ที่อาจสร้างความเสียหายทางกายภาพ ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือสิ่งที่มีมนุษย์เป็นผู้กระทำซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียชีวิต หรือการได้รับบาดเจ็บ ความเสียหายต่อทรัพย์สิน การกระทบกระเทือนทางสังคมและเศรษฐกิจ หรือการเสื่อมสลายทางสิ่งแวดล้อม

ความล่อแหลม (vulnerability) สภาพที่กำหนดโดยปัจจัยหรือกระบวนการทางกายภาพ สังคม เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมซึ่งจะทำให้ชุมชนอยู่ในภาวะที่ไวต่อการจะได้รับผลกระทบจากภัย

พื้นที่เสี่ยงภัย เป็นพื้นที่ที่จะได้รับความเสียหายจากภัยธรรมชาติในรูปแบบต่างๆ ซึ่งในแต่ละครั้งที่เกิด จะมีขอบเขตความเสียหายมากน้อยต่างกันไปตามภูมิภาค ภูมิประเทศและระดับความรุนแรงของภัยธรรมชาตินั้นๆ โดยการกำหนดระดับความเสี่ยงภัยจากดินถล่ม Hunt (1984) ได้เสนอไว้ว่า จะเกี่ยวข้องกับความสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่เกิดแผ่นดินถล่ม และได้กำหนดระดับความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินถล่มออกเป็น 5 ระดับคือ

1. ระดับไม่เสี่ยงภัย หมายถึง ไม่มีผลกระทบต่อชีวิต ทรัพย์สินและกิจกรรมของประชาชน
2. ระดับเสี่ยงภัยต่ำ (low) หมายถึง การไม่ทำให้เกิดการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน แต่ทำให้เกิดความไม่สะดวกในการสัญจร และการทำกิจกรรมประจำวัน
3. ระดับความเสี่ยงปานกลาง (moderate) หมายถึง การทำให้เกิดความไม่สะดวกในการสัญจรและการทำกิจกรรมประจำวันของประชาชน แต่ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินโดยตรง
4. ระดับความเสี่ยงภัยรุนแรง (high) หมายถึง การทำให้เกิดความไม่สะดวกในการสัญจรและสูญเสียชีวิตตลอดจนทรัพย์สินของประชาชน
5. ระดับความเสี่ยงภัยรุนแรงมาก (very high) หมายถึง การทำให้เกิดความสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน ตลอดจนเป็นอุปสรรคในการสัญจร และการทำกิจกรรมประจำวัน

## 2.1.4 การศึกษาดินถล่ม

### 2.1.4.1 การประเมินดินถล่ม (Landslide assessment)

ในการคาดการณ์เหตุการณ์แผ่นดินถล่มในอนาคต สามารถคาดการณ์ภายใต้สมมติฐานว่าเหตุการณ์แผ่นดินถล่มในอนาคตจะสามารถเกิดขึ้นได้ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกับเหตุการณ์แผ่นดินถล่มที่เคยเกิดขึ้นในอดีต ซึ่งเป็นวิธีการศึกษาที่แตกต่างจากการศึกษาวิชาทางด้านธรณีวิทยา ที่กล่าวว่า “ปัจจุบันเป็นกุญแจไขไปสู่อดีต : Present is the key to the past” แต่กระบวนการการศึกษาแผ่นดินถล่มนั้น เป็นการศึกษาในรูปแบบของ “ปัจจุบันและอดีตเป็นกุญแจไขไปสู่อนาคต : Present and past are the keys to the future”

วัตถุประสงค์ของการคาดการณ์กระบวนการดินถล่มสรุปได้ดังนี้ (Yoomeung 2005)

- เพื่อหาธรรมชาติของลักษณะทางธรณีวิทยา ภูมิประเทศ อุทกวิทยา ที่เป็นเงื่อนไขก่อให้เกิดความไม่เสถียรของพื้นลาด (slope failures)
- เพื่อประเมินปัจจัยกระตุ้น ทั้งปัจจัยทางธรรมชาติ และปัจจัย ที่มนุษย์เป็นผู้สร้างขึ้น
- วิเคราะห์ช่วงเวลา ที่ตั้งทางกายภาพ กลไก อัตรา ขอบเขตของการเกิดดินถล่มในอดีต เพื่อนำไปสู่การคาดการณ์เหตุการณ์ในอนาคต
- ศึกษาองค์ความรู้ใหม่ๆ เกี่ยวกับกระบวนการพังทลายของพื้นลาด ซึ่งนำไปใช้สำหรับการเตรียมการป้องกัน บรรเทาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น
- นำเสนอข้อสรุป

การคาดการณ์เหตุการณ์การเกิดดินถล่มนั้น ไม่สามารถทำนายล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำถึงช่วงระยะเวลาของการเกิด หากแต่เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่มีโอกาสเกิดดินโคลนถล่ม อาทิ การที่ฝนตกหนัก หรือการเกิดแผ่นดินไหว การเกิดดินโคลนถล่ม สามารถคาดการณ์จากปัจจัยที่มีอิทธิพล และเป็นตัวการก่อให้เกิดดินถล่ม รวมถึงเป็นการศึกษาข้อมูลในอดีตของพื้นที่ ทั้งทางด้านธรณีวิทยา ด้านภูมิศาสตร์ ด้านอุทกวิทยา และด้านพืชพรรณธรรมชาติ ดังนี้ 1) ลักษณะทางธรณีวิทยา (geology) ที่ใช้ในการประเมินความเป็นไปได้ในการเกิดดินโคลนถล่ม มี 2 ลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ ลักษณะเฉพาะของหิน เช่น ส่วนประกอบ เนื้อหินหรือลักษณะเด่นของหิน เพื่อที่จะสามารถทราบถึง ความแข็ง การดูดซับน้ำ ลักษณะทางเคมีการผุพังทางกายภาพ และส่วนประกอบที่สามารถทำให้เกิดดินโคลนถล่ม และลักษณะโครงสร้างของหินและดิน ซึ่งจะมีผลต่อความสมดุล รวมถึงลำดับและชนิดของชั้นหิน การเปลี่ยนแปลงทางธรณี ระบายชั้นหิน แนวรอยเลื่อน และลักษณะการคดโค้งของชั้นหิน 2) ลักษณะธรณีสัณฐาน (geomorphology) โดยการพิจารณาลักษณะภูมิศาสตร์ที่สำคัญที่สุดในการคาดการณ์การเกิดดินถล่ม โดยพิจารณาจากการเกิดดินโคลนถล่มในอดีตของพื้นที่ นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบที่สำคัญอื่นๆ เช่น ความลาดชัน ความแข็งแรงของพื้นที่ และทิศทางของความลาดชัน 3) อุทกวิทยาและภูมิอากาศ (hydrology and climatology) แม่น้ำ จำนวนแหล่งน้ำ และอัตราการไหล รวมทั้งรูปแบบภูมิอากาศกับชนิดของดิน เป็นสาเหตุให้เกิดความแตกต่างของชนิดของดินโคลนถล่ม 4) พืชพรรณ (vegetation) พืชที่ปกคลุมพื้นที่อาจมีผลทั้งทางบวกและทางลบต่อการเกิดดินถล่ม เช่น รากของพืชสามารถลดปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินได้ และเพิ่มการยึดเกาะหน้าดิน หรือในทางกลับกันรากของพืชอาจเป็นตัวการเร่งให้เกิดกระบวนการผุพังและการกัดกร่อนของหิน

หลักในการประเมินภัยแผ่นดินถล่มและพื้นที่เสี่ยงภัย โดยทั่วไปแล้วจะประเมินโดยตั้งอยู่บนสมมติฐาน 4 ข้อ ดังนี้ (Varnes, 1984 และ Hutchinson, 1991) คือ

1. พื้นที่ที่จะเกิดดินถล่มในอนาคต จะเกิดขึ้นบนพื้นที่ที่มีปัจจัยด้านธรณีวิทยา ธรณีสัณฐาน อุทกวิทยา และสภาพภูมิประเทศ ในรูปแบบเดียวกันกับพื้นที่ที่เคยเกิดดินถล่มในอดีต
2. ปัจจัยหลัก ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดดินถล่ม จะถูกควบคุมโดยปัจจัยทางกายภาพจำเพาะภายใน (identifiable physical)
3. ระดับความเสี่ยงของภัยจากแผ่นดินถล่ม สามารถประเมินได้
4. การเกิดการพังทลายของพื้นลาด (slope failure) ทุกรูปแบบ สามารถจำแนกออกเป็นระดับต่างๆ ได้



สำหรับการประเมินความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม ในการศึกษา นั้น จำเป็นที่จะต้องตอบคำถามเหล่านี้ได้ว่า ดินถล่มจะเกิดขึ้นที่ไหน (where?) รูปแบบของการพังทลายที่เกิดดินถล่มเป็นแบบใด และดินถล่มที่จะเกิดขึ้นเกิดขึ้นได้อย่างไร

วิธีการประเมินความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มสามารถจำแนกได้เป็น 2 วิธีหลักๆ ได้แก่ วิธีเชิงคุณภาพ (qualitative) และวิธีเชิงปริมาณ (quantitative) โดยในการเลือกวิธีประเมินความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มนั้น จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ทำการศึกษา และผลลัพธ์ของการศึกษาที่ต้องการได้

วิธีการเชิงคุณภาพเป็นวิธีการประเมิน ซึ่งขึ้นอยู่กับความชำนาญและทัศนะของผู้ประเมิน โดยการประเมินดินถล่ม ในรูปแบบง่าย ๆ คือ การจำแนกที่ตั้งของความคล้ายคลึงกันของลักษณะธรณีวิทยา และคุณสมบัติทางธรณีวิศวกรรม โดยมีการใช้ช่วง (ranking) และค่าถ่วงน้ำหนัก (weighting) และสามารถพัฒนาให้เป็นเชิงปริมาณได้ (semiquantitative) เช่น การใช้กระบวนการแบ่งลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process ; AHP) และกระบวนการรวมน้ำหนักเชิงเส้น (Weighted Linear Combination ; WLC ) วิธีการเชิงปริมาณ เป็นวิธีการพื้นฐานของการแสดงตัวเลขของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยควบคุม และการเกิดดินถล่ม สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ วิธีการทาง deterministic และวิธีทางสถิติ โดยวิธี deterministic เป็นวิธีการใช้หลักการทางวิศวกรรมศาสตร์ของความไม่มั่นคงของความลาดชันที่แน่นอน ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย โดยวิธีการนี้จะได้ข้อมูลที่แน่นอน มีความละเอียดถี่ถ้วนของลักษณะความลาดชัน ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการทำแผนที่เพียงพื้นที่ขนาดเล็ก

ในการศึกษาประเมินพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม (landslide susceptibility mapping) วิธีการทางสถิติ เป็นวิธีการที่สามารถนำมาใช้เพื่อศึกษาวิเคราะห์เหตุการณ์ดินถล่มในอดีตที่เคยเกิดขึ้น เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพล และการกระจายตัวของการเกิดดินถล่ม (landslide distribution) ได้เป็นอย่างดี

#### 2.1.4.2 มาตรฐานในการศึกษา (Scale analysis)

ในเบื้องต้นของการเริ่มทำการศึกษาด้านดินถล่ม สิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง คือ จะต้องทราบถึงขอบเขตการศึกษาของโครงการ โดยคำนึงถึงปัจจัยที่ควบคุมการศึกษาดังต่อไปนี้

- วัตถุประสงค์ของโครงการ
- มาตรฐานที่ใช้ เพื่อกำหนดผลลัพธ์ของการศึกษาที่ต้องการความถูกต้องและแม่นยำมากน้อยเพียงใด
- ปัจจัยด้านทรัพยากร ได้แก่ ทรัพยากรบุคคล ทรัพยากรทางด้านเศรษฐศาสตร์

มาตราส่วนแผนที่ เป็นวิธีสำหรับกำหนดระยะบนแผนที่เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นโลกจริง ซึ่งการกำหนดมาตราส่วนในการศึกษาจะมีผลกระทบต่อการศึกษาแผนที่ โดยทั่วไปแล้วมาตราส่วนจำแนกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แผนที่มาตราส่วนใหญ่ และแผนที่มาตราส่วนเล็ก โดยแผนที่มาตราส่วนใหญ่จะครอบคลุมพื้นที่เล็กๆ แต่สามารถให้รายละเอียดของพื้นที่สูง ส่วนแผนที่มาตราส่วนเล็กจะครอบคลุมพื้นที่มาก และให้รายละเอียดของพื้นที่ต่ำ

การกำหนดมาตราส่วนในการศึกษาเป็นสิ่งแรกที่ต้องคำนึงให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาว่าต้องการรายละเอียดของผลการศึกษามากน้อยเพียงใด ซึ่งมาตราส่วนแผนที่ที่กำหนด จะเป็นตัวควบคุมชนิดความถูกต้องของข้อมูลที่จะนำเข้า และจะเป็นตัวกำหนดผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาว่าจะมีความถูกต้องและแม่นยำเพียงใด ขึ้นอยู่กับมาตราส่วนที่ใช้ในการศึกษา นอกจากนี้ มาตราส่วนของแผนที่จะเป็นปัจจัยในการควบคุมทรัพยากรทั้งในด้านทรัพยากรบุคคล และทรัพยากรด้านเศรษฐศาสตร์

สมาคมวิศวกรรมธรณีนานาชาติ (International Association of Engineering Geologist : IAEG) ได้จำแนกระดับมาตราส่วนในการศึกษาภัยพิบัติธรรมชาติออกเป็น 4 ระดับ (IAEG, 1976) ดังนี้ (รูปที่ 2.3)

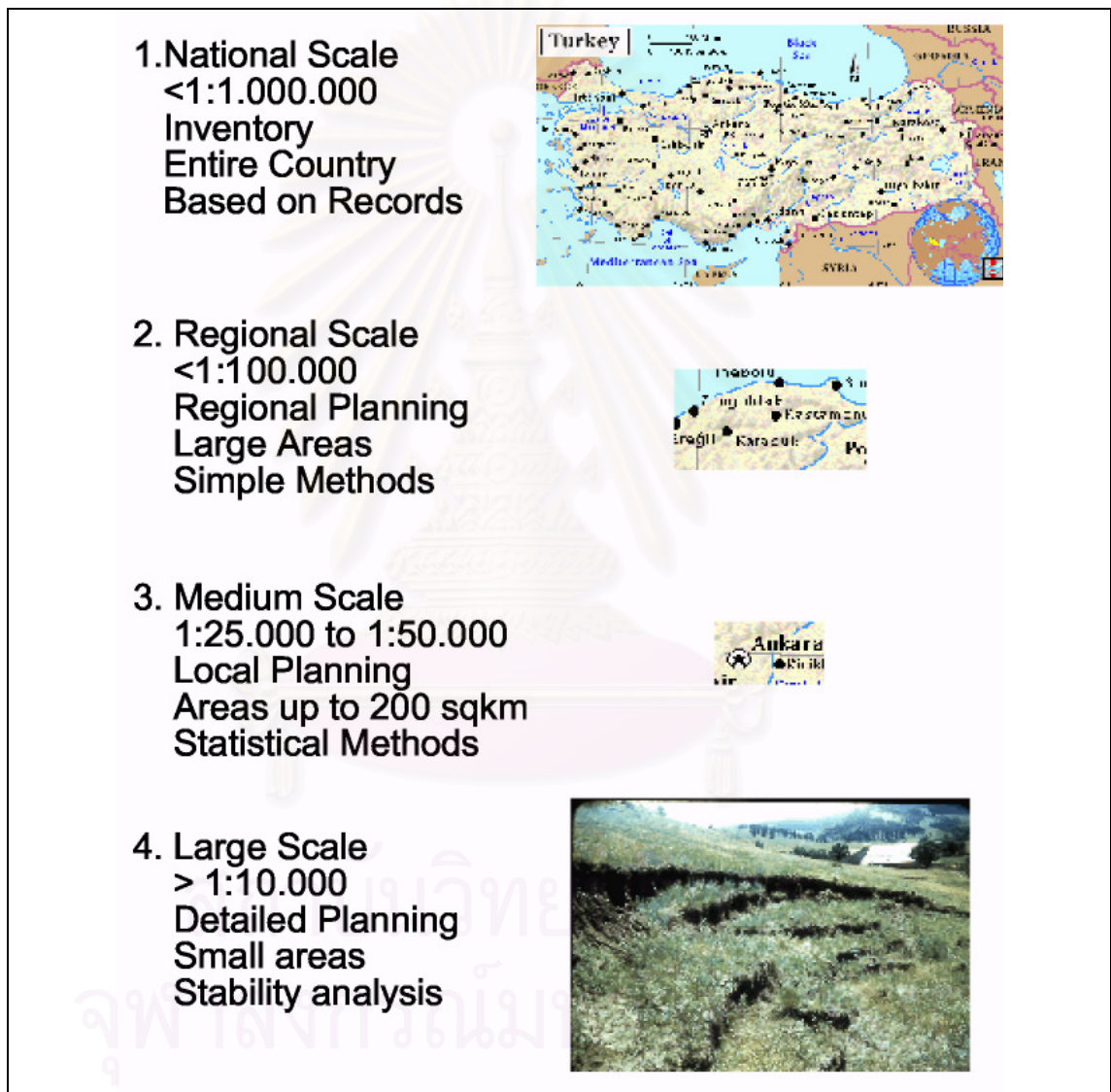
1. มาตราส่วนระดับชาติ (National scale ;  $<1/1,000,000$ ) เป็นมาตราส่วนที่ใช้ในการวิเคราะห์เบื้องต้น เพื่อเสนอแนวทางชนิดของภัยพิบัติ และผลกระทบจากภัยพิบัติ โดยมีการนำข้อมูลพื้นฐานทั่วไปในระดับประเทศมาใช้วิเคราะห์ โดยให้รายละเอียดข้อมูลในเบื้องต้น แผนที่มาตราส่วนนี้เป็นแผนที่จัดเตรียมสำหรับการกำหนดแผนและแนวทางการป้องกันระดับชาติ

2. มาตราส่วนระดับภูมิภาค (Regional scale ;  $1/100,000$ ) เป็นมาตราส่วนขนาดเล็กที่ใช้วิธีวิเคราะห์แบบเชิงคุณภาพ เพื่อใช้สำหรับหน่วยงานส่วนท้องถิ่น ในการวางแผนเบื้องต้นเพื่อกำหนดการศึกษาในขั้นรายละเอียดสำหรับขั้นตอนต่อไป แผนที่มาตราส่วนนี้มีรายละเอียดแผนที่น้อย และข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์จะเป็นข้อมูลระดับภูมิภาค

3. มาตราส่วนขนาดกลาง (Medium scale ;  $1/25,000 - 1 ; 50,000$ ) เป็นมาตราส่วนที่ใช้สำหรับการเตรียมการวางแผนการจัดการระดับองค์กร เทศบาล หรือเอกชน แผนที่มาตราส่วนระดับนี้สามารถนำไปใช้ประเมินการตัดสินใจ โดยให้รายละเอียดมากกว่าแผนที่มาตราส่วนระดับภูมิภาค มีส่วนสำคัญซึ่งใช้ในการประเมิน การวิเคราะห์ การตัดสินใจ กำหนดระบบสาธารณูปโภคหรือการพัฒนาเขตอุตสาหกรรม การศึกษาโดยใช้วิธีการทางสถิติ เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สำหรับแผนที่มาตราส่วนนี้

4. มาตราส่วนขนาดใหญ่ (Large scale ;  $>1/10,000$ ) เป็นมาตราส่วนที่กำหนดขึ้นมาสำหรับการศึกษาขั้นรายละเอียดสูง การวางแผนระบบสาธารณูปโภค การวางแผนโครงการ

โยธาธิการและผังเมือง เป็นการประเมินความเสี่ยงระดับชุมชน ครอบคลุมพื้นที่บริเวณเล็กๆ  
วิธีการที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ คือวิธีการวิเคราะห์แบบ deterministic



รูปที่ 2.3 มาตรฐานส่วนในการศึกษา (Sgzen, 2002)

### 2.1.5 การประเมินศักยภาพและปัจจัยที่มีอิทธิพลของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า

ดินถล่ม เป็นคำศัพท์ที่ครอบคลุมกระบวนการที่แตกต่างกันมากมาย ซึ่งล้วนเป็นกระบวนการที่เกิดการเคลื่อนที่ไปทางด้านล่างและเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกของมวลวัตถุบนพื้นลาด มวลวัตถุอาจมีเคลื่อนย้ายเนื่องจากการเคลื่อนที่ 5 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ การหล่น การล้ม การลื่น ไถล การแผ่กระจาย และการไหล หรือเกิดจากของกระบวนการเหล่านี้ร่วมกัน (Varnes, 1978)

เนื่องจากการเคลื่อนที่และชนิดของวัตถุที่เกี่ยวข้อง เป็นสิ่งสำคัญในทุกขั้นตอนของการประเมินแผ่นดินถล่ม และการจำแนกชนิด ทั้งสองปัจจัยนี้ ซึ่งได้แก่ ชนิดของการเคลื่อนที่และชนิดของมวลวัตถุ โดยทั่วไป ถูกใช้ในการจำแนกชนิดของแผ่นดินถล่ม นอกจากนี้ กระบวนการเกิดดินถล่มแต่ละประเภท จะเป็นตัวกำหนดคำตอบที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการจำแนกชนิด การป้องกันหรือการบรรเทาภัย ตามแต่ละประเภทของดินถล่มนั้น ๆ ด้วยความคิดพื้นฐานต่างๆ ที่กล่าวมานี้ เป้าหมายของการศึกษากระบวนการเกิดดินถล่มและการคาดการณ์ดินถล่ม สามารถสรุปได้ดังนี้

เพื่อกำหนด สภาพทางธรณีวิทยา ทางภูมิศาสตร์ และทางอุทกวิทยาที่มีอยู่ร่วมกัน ซึ่งทำให้เกิดระยะเวลาความล้มเหลวของทางลาดเอียง

เพื่อกำหนด รอยแตก ทั้งที่เกิดโดยธรรมชาติ อาทิเช่น จากพายุ และแผ่นดินไหว หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ที่ทำให้เสถียรภาพของของพื้นลาดเกิดการเปลี่ยนแปลง

เพื่อวิเคราะห์ เวลา ลักษณะทางกายภาพ กลไก อัตรา และ ขอบเขตของความล้มเหลวในอดีต เพื่อพัฒนาความสามารถในการทำนายความล้มเหลว และความเสียหายในอนาคต

เพื่อจัดหาค่าความรู้ใหม่ เกี่ยวกับกระบวนการความล้มเหลว ของพื้นลาดซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการป้องกันและการบรรเทาความเสียหาย

เพื่อนำเสนอบทสรุปที่กล่าวถึงกระบวนการของพื้นลาด ที่มีความเสี่ยงภัยในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบวิธี การระบุตำแหน่ง และประเมินระดับความเสี่ยงภัยทั้งในบริเวณกว้าง และบริเวณแคบ ประกอบด้วยหลายๆ ขั้นตอนที่จำเป็นเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย ได้แก่

- 1) การจำแนกกระบวนการของพื้นลาดที่มีความเสี่ยง
- 2) กำหนดระดับความสัมพันธ์ ของความเสี่ยงภัย และความเสียหาย จากกระบวนการต่าง ๆ ของความไม่มีเสถียรภาพของพื้นลาด
- 3) จำแนกในความรู้เกี่ยวกับหัวข้อต่อไปนี้
  - วิธีสำหรับการจำแนกออก ของพื้นที่ที่ไม่เสถียร
  - การคาดการณ์ สถานที่ ขอบเขต เวลา ศักยภาพความเสียหาย ของความล้มเหลว

- การออกแบบ เทคนิค เพื่อหลีกเลี่ยง ป้องกัน หรือบรรเทาภัยดินถล่มและความเสียหาย

U.S. Geological Survey (1982) ได้อธิบายว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตะกอนไหลถล่มกับเหตุการณ์ที่ได้รับการกระตุ้นจากสภาพอากาศ แสดงปัญหาในการคาดการณ์เวลาและสถานที่ ซึ่งไม่เพียงรวมถึงแค่สภาพทางธรณีวิทยา และสภาพภูมิศาสตร์ แต่ยังรวมถึงสภาพทางอุตุนิยมวิทยาอีกด้วย เพื่อปรับความสามารถในการคาดการณ์ การประยุกต์การทำงานร่วมกันในภาคสนาม ในห้องปฏิบัติการ และการศึกษาเชิงวิเคราะห์และเชิงสถิติ เป็นวิธีที่ควรดำเนินการ โดยเฉพาะการทำงานในด้านต่อไปนี้

- สร้างแบบจำลองเชิงวิเคราะห์ แบบจำลองเชิงตัวเลขและแบบจำลองเชิงกายภาพในการทดลอง เพื่อช่วยให้เข้าใจการเกิดและพฤติกรรมทางกลไกของตะกอนไหลถล่ม
- ดำเนินการตรวจสอบทางธรณีเทคนิค เพื่อกำหนดลักษณะของมวลวัตถุเชิงเขาในพื้นที่กำเนิดของตะกอนไหลถล่มที่รุนแรง เพื่อที่จะกำหนดว่าดินชนิดใดมีความไวต่อการเกิดความอึดตัว และจะเกิดการเคลื่อนย้ายมวลวัตถุภายใต้ปริมาณฝนที่ตกหนัก การละลายของหิมะ หรือการละลายของพื้นดินแช่แข็ง
- จัดให้มีการใช้เครื่องมือในที่ตั้งภาคสนาม เพื่อควบคุมปริมาณฝน ระดับน้ำใต้ดิน และการเคลื่อนไหวของพื้นที่กำเนิดของตะกอนไหลถล่มที่รุนแรง
- เพิ่มฐานข้อมูลที่มีอยู่และ สร้างแบบจำลองเชิงสถิติที่เชื่อมสัมพันธ์ตะกอนไหลถล่มกับตัวแปรทางแผนที่ เช่น วิทยาหินของหินดาน ชนิดของดิน ความลาดชัน พืช และปริมาณฝน
- กำหนดผลกระทบของการลดลงของพืช (จากไฟป่า การตัดไม้ และอื่น ๆ) เนื่องจากการสีก่อนและรูปแบบของการทับถมของตะกอนทำให้น้ำที่สัมพันธ์กับตะกอนไหลถล่ม
- การรื้อฟื้น (นำมาสร้างใหม่) ประวัติ ของความหลากหลายทางด้านสภาพอากาศในช่วงทางธรณีวิทยาปัจจุบันของพื้นที่สภาพอากาศหนึ่ง
- ออกแบบและปรับปรุงเทคนิค เพื่อดันหาลักษณะทางธรณีวิทยาในปัจจุบันสำหรับการกำหนด เวลาและความถี่ของตะกอนไหลถล่ม
- ศึกษาข้อมูลเชิงสถิติของข้อมูลปริมาณน้ำฝนในปัจจุบัน ในพื้นที่ศึกษา เพื่อตรวจสอบผลกระทบของความแตกต่างของปริมาณน้ำฝน ระหว่างสถานการณ์ที่เกิดฝนตกในระดับต่างๆ และจัดตั้งกลุ่มนักวิทยาศาสตร์และวิศวกร เพื่อตรวจสอบเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่ม ในระหว่างเกิดเหตุการณ์ และหลังจากเหตุการณ์นั้น ๆ เกิดขึ้นโดยทันที

Ikeya (1974) ได้เสนอสาเหตุหลัก 3 ประการสำหรับตะกอนไหลถล่ม ได้แก่ 1) ตะกอนที่เกิดจากการแตกหัก และการสลายตัวของพื้นที่ลาดชัน บริเวณเนินเขาผสมกับน้ำและไหลลงด้านล่าง 2) การพังทลายของตะกอนที่เกิดขวางแม่น้ำและทะเล่อกออกมา 3) การทับถมของชั้นตะกอนทางน้ำได้รับการชะล้าง และเกิดการขัดสีอย่างรุนแรง

Takei (1980) ได้ให้รายละเอียดของสาเหตุสำหรับตะกอนไหลถล่มเพิ่มเติมดังนี้

- ความรุนแรงของฝนที่ตกลงมาสูง ในระยะเวลาอันสั้นหลังจากฝนที่ตกอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาหนึ่ง
- ความรุนแรงของฝนที่ตกลงมาปริมาณมาก ในระยะเวลาอันสั้นในพื้นที่ที่มีตะกอนภูเขาไฟใหม่
- ลักษณะของตะกอนที่ไม่เสถียร บนชั้นหิน และลักษณะทางน้ำที่ไหลเชี่ยว มีความชันสูง (มากกว่า  $20^{\circ}$ ) เมื่อตะกอนเกิดการอิมตัว ก่อให้เกิดการเปลี่ยนเป็นของเหลวขึ้น เนื่องจากการกระทำของน้ำไหลผ่านบนพื้นผิว
- การพังทลายของมวลวัตถุ ที่มีกรไหลลงโดยการพาน้ำ ร่วมกับตะกอนจากชั้นหินตามทางน้ำที่ไหลเชี่ยวไปด้วย
- การเกิดพังทลายของตะกอนกั้นขวางทางน้ำที่ไหลเชี่ยว เกิดลักษณะของเขื่อนธรรมชาติ จากนั้นเกิดการแตกพังทำให้ตะกอนที่ขวางกั้นอยู่ร่วมกับน้ำเกิดเป็นตะกอนไหลถล่ม
- มวลวัตถุดินถล่มกลายเป็นตะกอนไหลถล่มเนื่องจากการกลายเป็นของเหลว
- แผ่นดินไหวหรือการสั่นไหวจากการปะทุของภูเขาไฟ เป็นสาเหตุที่ทำให้บางส่วนของพื้นที่ลาด เกิดการพังแตกออกและตะกอนตามทางน้ำเชี่ยว ไหลกลายเป็นของเหลว
- สาเหตุอื่น ๆ เช่น การไหลของหินตะกอนภูเขาไฟ การปะทุของภูเขาไฟ และการละลายอย่างรวดเร็วของหิมะ

Wieczorek และคณะ (1983) ได้สรุปว่า ตะกอนเนื้อหยาบที่มีอยู่ในปริมาณมาก สามารถถูกพัดพาและนำไปสะสมตัว โดยสองกระบวนการ คือ ตะกอนไหลถล่ม (debris flow) และน้ำปนตะกอนป่า (debris flood) ทั้งสองกระบวนการมักจะเกิดขึ้นในช่วงที่น้ำสะสมตัวอย่างรวดเร็วบนพื้นภูมิประเทศเนื่องจากฝนตกหรือหิมะละลาย ในตะกอนไหลถล่ม น้ำและมวลวัตถุ รวมถึงหิน จะรวมตัวกันเป็นโคลนชั้นคล้ายกับคอนกรีตเปียก ที่ความหนืดกว่าน้ำไหลอย่างมาก เคลื่อนตัวลงตามหุบเขา โดยมีมวลวัตถุเนื้อหยาบ เช่น ก้อนหินมนใหญ่ หรือเศษซากต้นไม้ เป็นเกราะด้านหน้า ตะกอนไหลถล่มอาจจะทิ้งมวลวัตถุไว้ตามขอบของการไหล ปรากฏให้เห็นมวลวัตถุขนาดหยาบสะสมตัวอยู่ทางด้านข้างและแนวตั้งในช่วงแรกของการไหลแบบน้ำปนตะกอนป่า ซึ่งมวลวัตถุดินขนาดละเอียดที่ประกอบด้วยน้ำที่มีสัดส่วนมากกว่า จะถูกพัดพาโดยการไหลป่าของน้ำที่รวดเร็ว

ตะกอนทับถมที่เกิดจากน้ำปนตะกอนป่าจะต่างจากตะกอนทับถมที่เกิดจากตะกอนไหลถล่ม คือ จะมีการคัดขนาดของตะกอนที่ถูน้ำพัดพามาที่ดีกว่า ในทางตรงกันข้ามการทับถมตะกอนที่เกิดจากตะกอนไหลถล่ม จะมีการคัดขนาดต่ำโดยเศษหินแขวนลอยอยู่ในเมทริกซ์คัดขนาดต่ำที่ประกอบด้วย ทรายเนื้อทรายแป้งที่มีอนุภาคเคลย์ขนาดเล็กจำนวนมากอยู่ด้วย ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า อาจจะทำให้เกิดลำดับที่ต่อเนื่อง เมื่อน้ำในตะกอนไหลถล่มเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงทางพลาสติกจะลดลงอย่างฉับพลัน และความเหนียวจะเข้าใกล้ความเหนียวของน้ำไหลที่มีตะกอนพามาด้วย

การประเมินศักยภาพของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า อย่างรอบคอบ ควรจะมีการอภิปรายถึงสิ่ง ต่อไปนี้ (Wieczorek และคณะ, 1983)

- 1) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝน (หรือ หิมะละลาย) ระดับน้ำใต้ดิน และชนิดการเคลื่อนที่ของดินถล่ม
- 2) เสถียรภาพของดินถล่มที่มีบางส่วนแยกหลุดออก
- 3) กระบวนการของการเปลี่ยนสภาพจากดินถล่มเป็นตะกอนไหลถล่ม
- 4) การรวมตัวกันของมวลวัตถุตามร่องน้ำโดยตะกอนไหลถล่ม
- 5) การเปลี่ยนจากตะกอนไหลถล่มเป็นปนตะกอนป่า
- 6) ปัจจัยที่ควบคุมการไหลของตะกอนไหลถล่ม
- 7) การเกิดซ้ำของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าที่ปากหุบเขา

Varnes (1984) ได้เสนอว่าดินถล่มในส่วนที่เป็นโดยธรรมชาติของสิ่งแวดล้อมที่ต้องการการควบคุมและยุทธวิธีจัดการภัยเองนั้น ไม่ใช่ภัยพิบัติแต่เป็นปัจจัยที่เป็นสาเหตุของภัยพิบัติมากกว่า การศึกษาการให้ความหมายคำศัพท์ ที่สัมพันธ์กับภัยและภัยพิบัติได้ให้คำจำกัดความไว้หลายประการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติเฉพาะตัว หรือความสนใจพิเศษของบุคคลนั้น หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น ควรค่าอย่างยิ่งถ้าคำจำกัดความที่ได้รับการยอมรับ และมีความหมายที่กว้างกว่าและมีความเป็นสากล สามารถถูกนำมาประยุกต์ใช้กับคำศัพท์เหล่านี้

Varnes (1984) ยังได้ระบุรายละเอียดว่า การพิจารณาตัวแปรสำหรับการประเมินภัยจากดินถล่ม ความอ่อนไหวและความเสี่ยง รวมเอาแผนที่ดินถล่ม (ทั้งดินถล่มในปัจจุบันและในอดีต) ประเภทหลักๆ ของการใช้ประโยชน์พื้นที่ ปัจจัยทางภูมิศาสตร์ ฯลฯ การสังเคราะห์จากการประเมินภัยจากดินถล่ม ความอ่อนไหวและความเสี่ยง เครื่องมือการจัดการภัยจากดินถล่ม ควรจะถูกนำมาใช้เพื่อช่วยในการระบุชนิดและการเกิดดินถล่ม ระดับความสูญเสียซึ่งเป็นปัจจัยของความอ่อนไหว จะสามารถช่วยในการประเมินความเสี่ยงจากดินถล่มได้ ดังนั้น การประเมินความเสี่ยง

จะเป็นการรวมเอาการประเมินภัยและความอ่อนไหว ซึ่งจะช่วยด้วยการทำนายที่ตั้งพื้นที่เกิดเหตุ ดินถล่มที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายในแต่ละพื้นที่ศึกษา

Hansen (1984) เสนอว่า การเคลื่อนที่ของมวลวัตถุในพื้นที่ภูเขา คือกระบวนการลดระดับ แผ่นดินตามธรรมชาติ พื้นที่ส่วนใหญ่ในเขตภูเขาจะต้องเกิดความล้มเหลวของทางพื้นลาดอย่างน้อยหนึ่งครั้ง ภายใต้อิทธิพลของความหลากหลายของปัจจัยที่อาจเกิดจากความบังเอิญ และถูกกระตุ้นโดยเหตุการณ์ต่าง ๆ เช่น แผ่นดินไหว หรือฝนตกอย่างหนัก การเคลื่อนที่ของมวลวัตถุ กลายเป็นปัญหาเมื่อมีกิจกรรมการดำรงชีวิตของมนุษย์เข้ามาแทรกแซง ความถี่และความรุนแรงของความล้มเหลวของทางลาดเพียงอย่างเดียวจะเพิ่มขึ้นตามกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การตัดไม้ทำลายป่า หรือการขยายตัวของตัวเมือง ในการพัฒนาประเทศ ปัญหานี้จะเกี่ยวข้องโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการพัฒนาที่ไม่ยั่งยืนของทรัพยากรธรรมชาติ ความสูญเสียที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลเท่ากับหนึ่งในสี่ของความสูญเสียทั้งหมดที่เกิดจากภัยธรรมชาติ

Innes (1985) ได้กล่าวว่า ความถี่ของเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่ม จากแต่ละพื้นที่ต้นกำเนิดถูกควบคุมโดยอัตราการสะสมตัวในแอ่งหรือร่องน้ำ และโดยการเกิดซ้ำ ๆ ของเหตุการณ์ที่ถูกกระตุ้นโดยสภาพอากาศ เนื่องจากอัตราของกองเศษหิน ที่ถูกสะสมตัวถูกจำกัด จะต้องมีการขอบเขตบอกถึงความรุนแรงและความถี่ของตะกอนไหลถล่ม

Crozier (1986) ได้เสนอว่า การบรรเทาภัยพิบัติดินถล่ม สามารถสำเร็จได้เพียงเมื่อได้รับความรู้โดยละเอียดเกี่ยวกับความถี่ที่คาดไว้ ลักษณะ และความรุนแรงของการเคลื่อนที่ของมวลวัตถุในพื้นที่หนึ่ง การกำหนดอาณาเขตของภัยดินถล่มต้องเป็นพื้นฐานของโครงการบรรเทาภัยจากดินถล่มทุกโครงการ และควรให้ข้อมูลที่พอเพียงและเข้าใจได้กับผู้วางแผนและผู้มีอำนาจตัดสินใจ การวิเคราะห์ภัยดินถล่มเป็นงานที่ซับซ้อน เนื่องจากว่ามีปัจจัยหลายปัจจัยที่สามารถแสดงบทบาทในการเกิดการเคลื่อนที่ของมวลวัตถุ

Osterkamp and Hupp (1987) รายงานว่า การหาอายุจากคาร์บอนกัมมันตรังสี การหาอายุหินโพลโดยอาศัยไลเคน และการศึกษาวงปีของต้นไม้ ได้พิสูจน์ว่าเป็นเทคนิคที่เป็นประโยชน์ในการประเมินการเกิดซ้ำของตะกอนไหลถล่ม

Hutchinson (1988) ได้สรุปไว้ว่า ดินถล่มในบางกรณีมีเคลื่อนที่อย่างช้าๆ และทำให้เกิดความเสียหายที่เล็กน้อย ในขณะที่บางกรณีเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถทำลายล้างทรัพย์สินสมบัติและฆ่าชีวิตอย่างเฉียบพลันและอย่างคาดไม่ถึง ตะกอนไหลถล่มส่วนใหญ่เป็นประเภทดินถล่มหรือการไหลอย่างรวดเร็ว ซึ่งตะกอนไหลถล่มเหล่านั้นจะเป็นตัวทำลายที่มีศักยภาพสูงจากการเคลื่อนที่ของมวลในพื้นที่ภูเขาที่มีปริมาณน้ำสูงเกินปกติ เนื่องจากฝนที่ตกหนัก หรือหิมะที่ละลาย โดยสามารถเคลื่อนย้ายกองเศษหินมาปกคลุมทางลาดเอียงและรวมเข้ากับตะกอนไหล



ถล่ม ตะกอนไหลถล่มที่เกิดจากแหล่งกำเนิดที่ต่างกันอย่างสิ้นเชิงสามารถมารวมกันในร่องน้ำ ซึ่งเพิ่มพลังในการทำลายล้างอาจเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก มันจะไหลต่อไปทางเนินเขาตลอดทางน้ำ และปริมาณจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จากการรวมของน้ำ ทราย โคลน ก้อนหินมนใหญ่ ต้นไม้ และวัสดุอื่น ๆ

Van Westen (1993) สรุปว่า ความแตกต่างที่มากมายของชื่อได้ถูกนำมาใช้สำหรับกระบวนการชะล้าง (mass washing) ด้วยเหตุนี้ดินหรือหินที่ถูกเคลื่อนย้ายไปตามพื้นลาด โดยแรงโน้มถ่วงเป็นหลัก ชื่อที่ใช้ในการเคลื่อนที่บนทางพื้นลาดบ่อยที่สุด คือ การเคลื่อนที่ของมวลวัตถุ การทำลายมวลวัตถุ และดินถล่ม ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา ดินถล่ม เป็นคำที่นำมาใช้มากที่สุด ถึงแม้ว่าในความหมายที่แคบของคำนี้ ชี้ให้เห็นเพียงชนิดเฉพาะของการเคลื่อนที่บนทางลาดเอียง ด้วยส่วนประกอบ รูปแบบและความเร็วที่จำเพาะก็ตาม

Reed (1997) ได้อธิบายสาเหตุ รูปแบบ และปัจจัยการเกิดดินโคลนถล่ม ว่าการเกิดดินโคลนถล่มมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงในส่วนประกอบโครงสร้าง อุทกวิทยา พีชพรรณธรรมชาติ บนพื้นที่ที่มีความลาดชัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงมีทั้งแบบเกิดขึ้นทันที และรูปแบบการเปลี่ยนแปลงแบบช้าๆ โดยการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ โดยเมื่อวัตถุบนพื้นที่ที่มีความลาดชัน มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอย่างรวดเร็ว เกินขีดจำกัดของพื้นที่ที่สามารถรองรับได้ จนกระทั่งเกิดการเคลื่อนที่ของมวลวัตถุลงมาตามลาดเขาด้วยอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงโลก โดยมีปัจจัยดังนี้

- 1) การที่ฝนตกหนัก ส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของความจุของน้ำ หรือปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินมีมาก
- 2) การเปลี่ยนแปลงความลาดชันที่เกิดจากการกัดเซาะของแม่น้ำ ส่งผลให้มีความลาดชันมากขึ้น
- 3) การเปลี่ยนแปลงของวัตถุบนพื้นที่ความลาดชัน ซึ่งเกิดจากการวางระบบท่อใต้ดิน การผูกอยู่กับที่ของวัตถุ และกระบวนการทางธรณีวิทยาอื่น ๆ
- 4) การสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว การระเบิดหน้าดิน การทำงานของเครื่องจักร และการจลาจล
- 5) การพังทลายของพื้นที่ข้างเคียง
- 6) การลดลงของพื้นที่ป่าไม้ ซึ่งอาจจากการเกิดไฟป่า การตัดไม้ทำลายป่า และพืชมีการเจริญเติบโตเกินการรองรับของหน้าดิน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้อนุภาคของดินมีการคลายตัวมีแรงยึดเกาะน้อย
- 7) การแบกรับน้ำหนักเพิ่มของพื้นที่ จากฝนตก ลูกเห็บ หิมะ การสะสมของหิน น้ำหนักของสิ่งก่อสร้าง น้ำที่ไหลซึมจากระบบชลประทาน และระบบระบายน้ำเสีย

### 2.1.6 การจัดการภัยพิบัติ (Disaster management)

องค์ประกอบที่สำคัญในการจัดการความเสี่ยงแบ่งออกเป็นสองระยะ (ตารางที่ 2.3) คือ ระยะก่อนเกิดภัย และระยะหลังเกิดภัย โดยระยะก่อนเกิดภัย ประกอบด้วย การระบุถึงความเสี่ยง (risk identification) การบรรเทาความเสี่ยง (mitigation) การโอนความเสี่ยง (risk transfer) และการเตรียมความพร้อม (preparedness) ในขณะที่ ระยะหลังเกิดภัยจะประกอบด้วย การตอบโต้สถานการณ์ฉุกเฉิน (emergency response) การฟื้นฟูและการบูรณะผลกระทบจากภัยพิบัติ (rehabilitation and reconstruction)

กระบวนการดำเนินงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การดำเนินการก่อนเกิดภัย การดำเนินงานขณะเกิดภัย และการดำเนินงานภายหลังเกิดภัย ดังนี้

1) การดำเนินการก่อนเกิดภัย (prevention and preparedness) เป็นการดำเนินการป้องกันและลดผลกระทบจากภัยพิบัติ และเตรียมพร้อมเผชิญเหตุ ได้แก่

- มีการศึกษา ค้นคว้าวิจัย และวิเคราะห์ความเสี่ยง การแจ้งเตือนภัย
- มีการจัดทำแผนอำนวยการ แผนป้องกันภัย โดยจัดทำเป็นแผนปฏิบัติการ (action plan)/แผนโครงการ
  - จัดทำการวางระบบป้องกัน เช่น การวางระบบกั้นน้ำ เขื่อน ฯลฯ
  - กำหนดมาตรการป้องกันภัย และวางระบบปฏิบัติงาน
  - จัดให้มีการฝึกอบรม และจัดเตรียมบุคลากรและเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ให้พร้อมตลอดเวลา และสามารถนำไปใช้ได้อย่างปลอดภัย
  - ต้องมีความพร้อมในการนำแผนไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ ควรมีการฝึกซ้อมร่วมกัน ระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้วย
  - ต้องมีการซักซ้อมและประสานงานการปฏิบัติอย่างเป็นระบบ
  - ควรให้การให้ความรู้กับชุมชน และประชาชนในเรื่องของภัยพิบัติต่าง ๆ

2) การดำเนินงานขณะเกิดภัย (response rescue relief and mitigation)

เป็นการดำเนินงานขณะที่เกิดภัยพิบัติ ในสภาวะฉุกเฉินที่จะต้องเข้าไประงับภัย และให้การช่วยเหลือผู้ประสบภัยอย่างทันที่ ดังนี้

- มีการระดมทรัพยากร อุปกรณ์เครื่องมือ เข้าไปให้การช่วยเหลือผู้ประสบภัย เพื่อรักษาชีวิตและทรัพย์สิน
- มีการเผชิญเหตุและระงับภัยพิบัติ เพื่อลดความรุนแรงที่เกิดขึ้นปัจจุบันยังไม่มีระบบที่เสริมความปลอดภัยให้กับเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานอย่างเพียงพอ จึงต้องมีการเสริมสร้างให้เกิดความปลอดภัยในชีวิตของผู้ปฏิบัติงานก่อน และความปลอดภัยของผู้ประสบภัยด้วย

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบที่สำคัญของการจัดการความเสี่ยง (Van Westen, 1994)

ระยะก่อนเกิดภัย				ระยะหลังเกิดภัย	
การระบุถึงความเสี่ยง	การบรรเทาความเสี่ยง	การโอนความเสี่ยง	การเตรียมความพร้อม	การตอบโต้สถานการณ์ฉุกเฉิน	การฟื้นฟูและการบูรณะ
การประเมินภัยพิบัติ (ความถี่ ขนาด และ ตำแหน่ง)	งานด้านการบรรเทาความเสี่ยงทางกายภาพ /ทางโครงสร้าง	การประกันภัยโครงสร้างพื้นฐานเพื่อสาธารณประโยชน์ และทรัพย์สินส่วนบุคคล	ระบบการเตือนภัยล่วงหน้า และการสื่อสาร	การช่วยเหลืออย่างมีน้ำใจ	ฟื้นฟู /สร้างโครงสร้างพื้นฐานที่ได้รับความเสียหายขึ้นใหม่
การประเมินความล่าแหลม (ประชากร และ ทรัพย์สิน)	การวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน และรหัสอาคาร	เครื่องมือของตลาดเงิน (พันธบัตรสำหรับความเสียหาย กองทุนเพื่อป้องกันสภาพภูมิอากาศ)	การวางแผนสำหรับเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิด (สาธารณประโยชน์ สาธารณูปโภค)	ทำความเข้าใจ ซ่อมแซมและบูรณะระบบสาธารณูปโภค	เศรษฐศาสตร์มหภาคและการบริหารจัดการงบประมาณ (ความมีเสถียรภาพ ปกป้องการใช้จ่ายทางสังคม)
การประเมินความเสี่ยง (ลักษณะของภัย และความล่าแหลม)	สิ่งจูงใจทางเศรษฐกิจสำหรับพฤติกรรมที่เน้นการบรรเทาความเสี่ยง	การแปรรูปสาธารณูปโภคให้มีกฎข้อบังคับด้านความปลอดภัย (พลังงาน น้ำ การขนส่ง เป็นต้น)	เครือข่ายของผู้ปฏิบัติการในภาวะฉุกเฉิน (ระดับท้องถิ่น และระดับประเทศ)	การประเมินความเสี่ยง	การฟื้นฟูส่วนที่ได้รับความเสียหาย (การส่งออก การท่องเที่ยว เกษตรกรรม เป็นต้น)
การคาดคะเนและการติดตามภัย (ระบบข้อมูลทางภูมิศาสตร์ การทำแผนที่ และการจำลองเหตุการณ์)	การศึกษา การฝึกอบรม และการสร้างความตระหนักรู้เกี่ยวกับความเสี่ยง และการป้องกันความเสี่ยง	กองทุนภัยพิบัติ (ระดับท้องถิ่น และระดับประเทศ)	สิ่งอำนวยความสะดวกในพื้นที่อพยพ แผนการอพยพ	การระดมทรัพยากรเพื่อการฟื้นฟู	รวมองค์ประกอบต่างๆของการบรรเทาสาธารณภัยไว้ในกิจกรรมการฟื้นฟู

- ต้องดำเนินการลดอันตราย และบรรเทาภัยที่เกิดขึ้น เพื่อให้ยุติลงอย่างรวดเร็ว

- ต้องไปให้ความช่วยเหลือ และบรรเทาทุกข์ให้กับประชาชนอย่างเร่งด่วน

และได้กำหนดขั้นตอนการปฏิบัติเมื่อเกิดภัย ไว้ดังนี้

1) จัดตั้งศูนย์อำนวยความสะดวก ต้องทราบว่าจะเกิดเหตุ ใครเป็นผู้บัญชาการในที่เกิดเหตุ เพื่อเข้าไปให้การช่วยเหลือได้อย่างถูกต้อง ต้องมีการแจ้งเตือน ประกาศให้คำแนะนำ

มีการอำนวยความสะดวกอย่างเป็นระบบ เข้าระงับภัย เพื่อลดอันตรายที่จะเกิดขึ้น ต้องดำเนินการตามแผนที่ได้จัดเตรียม

- 2) จัดตั้งหน่วยกู้ภัย โดย จัดเตรียมเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์ จัดชุดประสานงาน
  - 3) ดำเนินการอพยพ โดยจัดสถานที่ที่ปลอดภัยให้กับประชาชน อพยพประชาชนออกจากพื้นที่เสี่ยงและพื้นที่ที่ประสบภัยทันที
  - 4) ดำเนินการรักษาความสงบเรียบร้อยในพื้นที่อย่างรวดเร็ว
- 3) การดำเนินการภายหลังเกิดภัย (recovery and development)

การดำเนินการภายหลังเกิดภัยเป็นการเข้าไปฟื้นฟูพื้นที่ที่ประสบภัยพิบัติโดยการให้ความช่วยเหลือด้านอาชีพ สิ่งสาธารณูปโภค บริการของรัฐ ฯลฯ ให้กลับคืนสู่สภาพเดิมและเสริมสร้างความรู้ให้กับชุมชน ประชาชน เพื่อเตรียมความพร้อมป้องกันภัยพิบัติที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญ รวมถึงเป็นเป้าหมายสำคัญในการดำเนินการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยด้วย อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันไม่ได้ให้ความสำคัญเท่าที่ควรในการนำมาปฏิบัติใช้อย่างเหมาะสม

ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย (Geo-InformaticS center for Thailand : GISTHAI) ได้สรุปแนวทางการวิเคราะห์วิจัยในเชิงวิชาการอย่างเป็นระบบซึ่งเป็นที่ยอมรับในระดับสากลสำหรับการจัดการภัยจากแผ่นดินถล่ม แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน (รูปที่ 2.4) ในขั้นตอนแรกนั้นจะใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ซึ่งเป็นปัจจัยภายใน (intrinsic variables) ที่มีผลโดยตรงต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม เช่น ลักษณะทางธรณีวิทยา ดิน ความชัน สิ่งปกคลุมพื้นดินและพืชพันธุ์ เป็นต้นมาทำการวิเคราะห์ และสร้างแบบจำลองประเมินหาพื้นที่ซึ่งมีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในระดับต่างๆ ก่อนโดยอาศัยเทคโนโลยีระบบข้อมูลเชิงพื้นที่สมัยใหม่คือระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล เข้ามาช่วยในการจัดเก็บ วิเคราะห์ และสังเคราะห์สร้างแบบจำลอง และการติดตามเฝ้าระวัง การติดตั้งระบบเตือนภัย จากนั้นจะนำข้อมูลแหล่งชุมชน โครงสร้างสาธารณูปโภค ข้อมูลด้านเศรษฐกิจ มาซ้อนทับเพื่อประเมินความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในระดับต่างๆอีกชั้นหนึ่ง จึงจะได้เป็น พื้นที่เสี่ยงภัยในระดับต่างๆ (ขั้นตอนที่ 2) จากนั้น จะต้องทำการกำหนดแผนกลยุทธ์ด้านต่างๆ เพื่อนำไปปฏิบัติในการแก้ปัญหาในพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงที่สูงมาก ทั้งในระยะสั้น ระยะปานกลาง และระยะยาวอย่างเป็นระบบ ทั้งด้านการป้องกัน/สร้างเสถียรภาพเชิงวิศวกรรม (ขั้นตอนที่3) และการแก้ปัญหาฉุกเฉินในช่วงเกิดพิบัติภัย (ขั้นตอนที่ 4) รวมทั้งการเผยแพร่ให้ความรู้ การฝึกอบรมต่อผู้ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ (ขั้นตอนที่ 5)

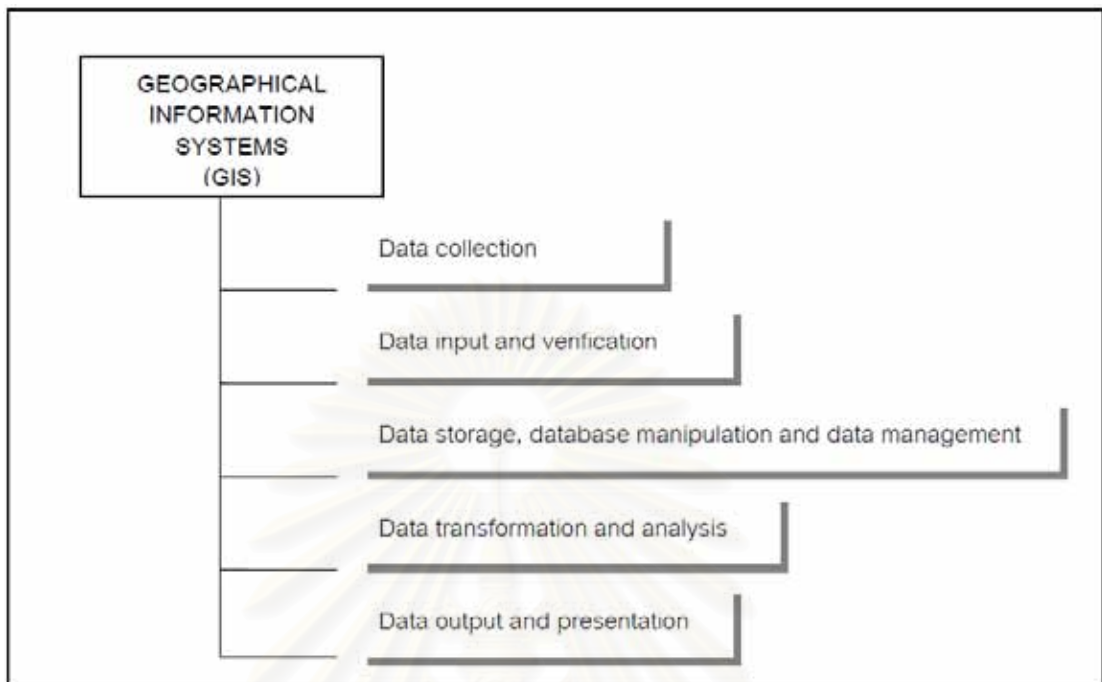


รูปที่ 2.4 ขั้นตอนหลักในการจัดการเพื่อลดความเสียหายจากพิบัติภัยแผ่นดินถล่ม (ศูนย์วิจัยภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย, 2546)

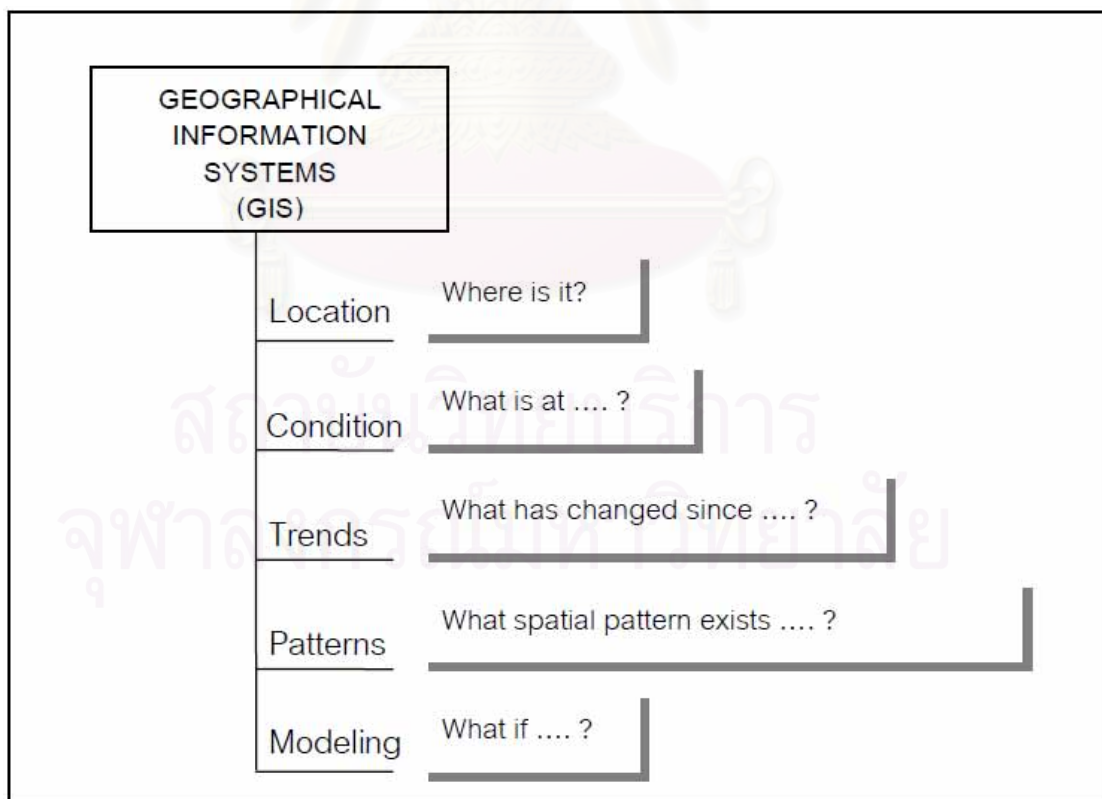
## 2.2 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) หมายถึง เครื่องมือที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการนำเข้า จัดเก็บ จัดเตรียม ดัดแปลง แก้ไข จัดการ และวิเคราะห์ (รูปที่ 2.5) พร้อมทั้งแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่กำหนดไว้ (Burrough, 1986) สำหรับคำจำกัดความอื่นๆ ได้มีผู้ให้ความหมายไว้ดังต่อไปนี้

Federal Interagency Coordination Committee (1990) ได้ให้คำจำกัดความของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ว่า เป็นระบบของคอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และวิธีการออกแบบมา เพื่อการจัดเก็บ การจัดการ การจัดทำ การวิเคราะห์ การทำแบบจำลอง และการแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนที่ซับซ้อน และปัญหาในการจัดการ



รูปที่ 2.5 ระบบการทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Sgzen, 2002)



รูปที่ 2.6 คำถามเกี่ยวกับความสัมพันธ์ด้านพื้นที่ที่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถตอบได้

(Sgzen, 2002)

Wisconsin State Cartographer's Office (2002) ให้ความหมายของระบบภูมิสารสนเทศ โดยอ้างอิงจากองค์ประกอบของระบบ สรุปว่า ระบบภูมิสารสนเทศประกอบไปด้วย ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ ข้อมูล หน่วยงานหรือองค์กร และผู้เชี่ยวชาญทำงานร่วมกันในการวิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์ และระบบภูมิสารสนเทศ อ้างอิงถึงระบบพิกัดภูมิศาสตร์ของ องค์ประกอบของข้อมูลเชิงพื้นที่ของพื้นผิวโลก ภูมิประเทศ อาจจะถูกแบ่งออกเป็นหลายชั้นข้อมูล (layers) ที่จัดเก็บข้อมูลเชิงคุณลักษณะ ที่บรรยายถึงรูปร่างลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่บนแผนที่ ข้อมูลเชิงคุณลักษณะเหล่านี้จัดเก็บในรูปแบบฐานข้อมูลแยกออกจากข้อมูลเชิงพื้นที่ แต่ยังคงมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน ซึ่งสามารถตรวจสอบข้อมูลได้ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงคุณลักษณะในเวลาเดียวกัน

GIS เป็นระบบสารสนเทศที่รวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) และข้อมูลอธิบายต่างๆ (attribute data) ดังนั้น จึงมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ และตอบคำถามเกี่ยวกับความสัมพันธ์ด้านพื้นที่ ได้หลายประการ แบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท คือ (รูปที่ 2.6)

1. มีอะไรอยู่ที่ไหน (Location *What is at...?*) คำถามแรกที่ GIS สามารถตอบได้คือ มีอะไรอยู่ที่ไหน หากผู้ถามรู้ตำแหน่งที่แน่นอน เช่น ทราบชื่อหมู่บ้าน ตำบล หรืออำเภอ แต่ต้องการรู้ว่าที่ตำแหน่งนั้นๆ มีรายละเอียดข้อมูลอะไรบ้าง
2. สิ่งที่ยากทราบอยู่ที่ไหน (Condition *Where is it?*) คำถามนี้จะตรงกันข้ามกับคำถามแรก และต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น เราต้องการทราบว่าบริเวณใดมีดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช โดยมีเงื่อนไขว่าต้องอยู่ใกล้แหล่งน้ำ และไม่อยู่ในเขตป่าอนุรักษ์ เป็นต้น
3. ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมาอะไรเปลี่ยนแปลงบ้าง (Trends *What has change since...?*) เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งคำถามนี้จะเกี่ยวข้องกับคำถามที่หนึ่งและคำถามที่สอง ว่าต้องการทราบการเปลี่ยนแปลงของอะไร และสิ่งที่ได้เปลี่ยนแปลงอยู่ที่ไหน มีขนาดเท่าไร เป็นต้น
4. ความสัมพันธ์ด้านพื้นที่เป็นอย่างไร (Patterns *What spatial patterns exist?*) คำถามนี้ค่อนข้างจะซับซ้อนกว่าคำถาม 1 ถึงคำถามที่ 3 ตัวอย่างของคำถามนี้ เช่น เราอยากทราบว่าปัจจัยอะไร เป็นสาเหตุของการเกิดโรคท้องร่วงของคนที่ย้ายอยู่เชิงเขา หรือเชื้อโรคมาจากแหล่งใด การตอบคำถามดังกล่าว จำเป็นต้องแสดงที่ตั้งของมลพิษต่างๆ ที่อยู่ใกล้เคียง หรืออยู่เหนือลำธาร ซึ่งลักษณะการกระจาย และตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ดังกล่าว ทำให้เราทราบถึงความสัมพันธ์ของปัญหาดังกล่าว เป็นต้น

5. จะมีอะไรเกิดขึ้นหาก (Modeling *What if ...?*) คำถามนี้จะเกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ว่า จะมีอะไรเกิดขึ้นหากปัจจัยอิสระ (independence factor) ซึ่งเป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงไป ยกตัวอย่างเช่น จะเกิดอะไรขึ้นหากมีการตัดถนนเข้าไปในพื้นที่ป่าสมบูรณ์ การตอบคำถามเหล่านี้บางครั้งต้องการข้อมูลอื่นเพิ่มเติม หรือใช้วิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ เป็นต้น

การนำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เข้ามาใช้จัดการกับข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์ จะต้องคำนึงถึงการนำเข้าข้อมูล (data input) ให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปข้อมูลแผนที่ที่มีอยู่แล้ว ข้อมูลจากภาคสนาม และข้อมูลจากเครื่องบันทึกภาพ ข้อมูลที่ป้อนแล้วสามารถจะเก็บไว้ในฐานข้อมูล (Geographic Database) ซึ่งสามารถแก้ไขปรับปรุงให้ทันสมัยอยู่เสมอ และการจัดเก็บฐานข้อมูลข้อมูลภูมิศาสตร์ไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ มี 2 รูปแบบ คือ

1. ข้อมูลเชิงพื้นที่ เป็นข้อมูลที่ทราบตำแหน่งทางพื้นดิน สามารถอ้างอิงอ้างอิงภูมิศาสตร์ได้ (georeference)
2. ข้อมูลคุณลักษณะ เป็นข้อมูลเชิงบรรยาย ตาราง หรือกราฟที่ไม่อยู่ในรูปเชิงพื้นที่ ได้แก่ ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่นั้นๆ (associated Attributes)

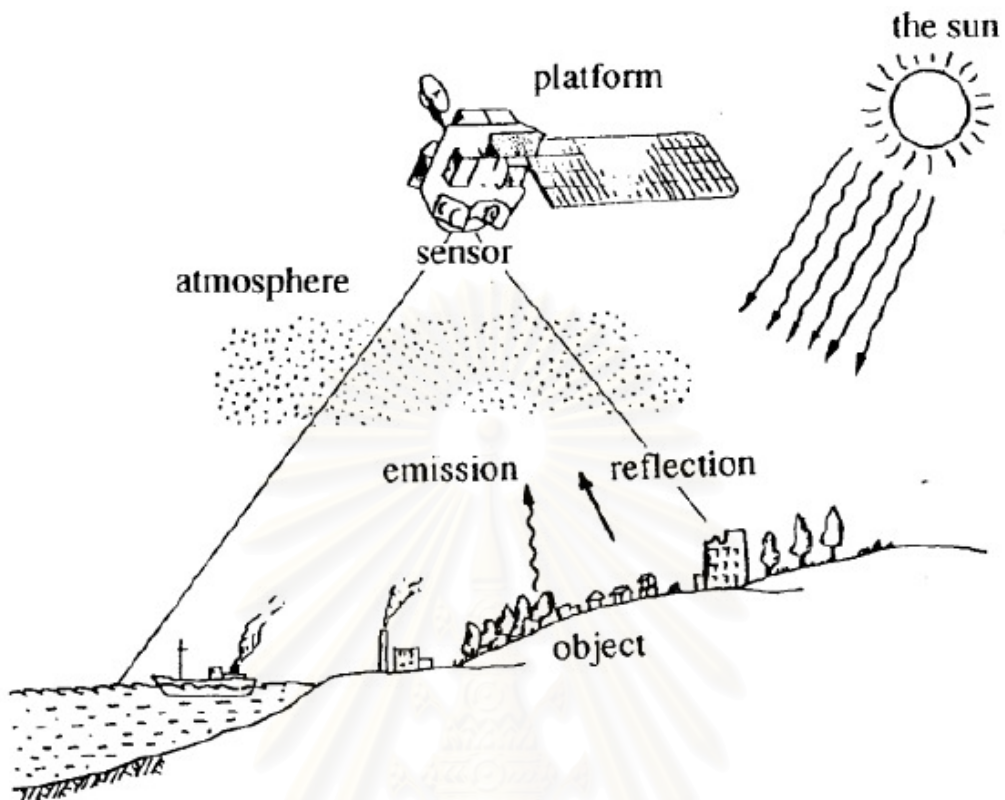
### 2.3 การสำรวจระยะไกล (Remote sensing)

การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล หรือ รีโมทเซนซิงเป็นวิทยาศาสตร์ ศิลปะ และเทคโนโลยีแขนงหนึ่งของการได้รับข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที่ หรือปรากฏการณ์จากอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (remote sensor) โดยมิได้สัมผัสกับวัตถุหรือพื้นที่เป้าหมาย ทั้งนี้อาศัยคลื่นแสงที่เป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูล ที่แสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น (spectral) รูปทรงสัญญาณของวัตถุบนพื้นผิวโลก (spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (temporal) โดยข้อมูลที่ได้รับถูกนำมาจัดการ ทำการวิเคราะห์ และแปลตีความหมายของข้อมูล เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สามารถนำมาใช้ตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้

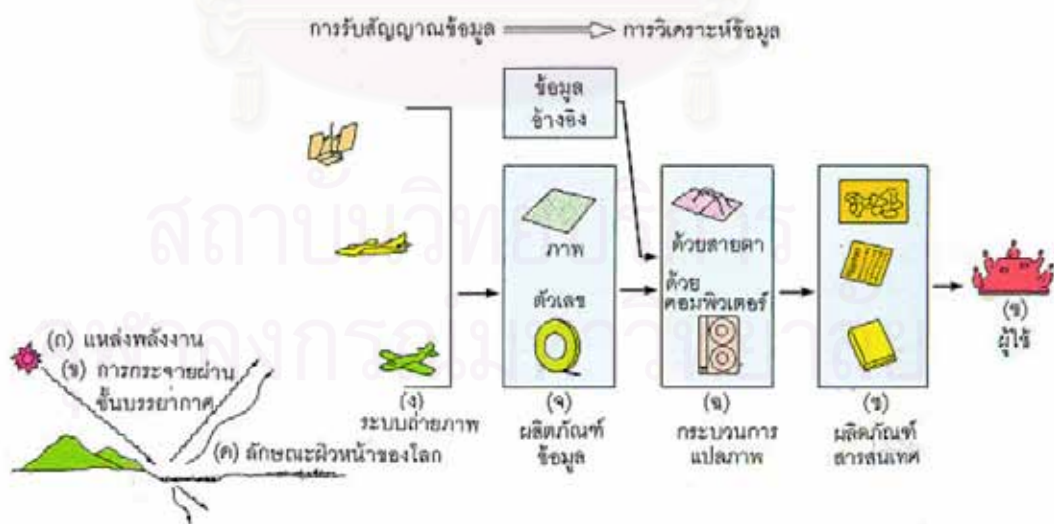
กระบวนการของการสำรวจจากระยะไกลประกอบด้วย 2 กระบวนการหลัก (จรัญ บุญญาภาพ, 2546) คือการศึกษาเกี่ยวกับระบบการรับหรือการเก็บข้อมูล และการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ (data Analysis) หรือ การใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่บันทึกไว้ โดยทั้งสองกระบวนการมีองค์ประกอบ ดังนี้ (รูปที่ 2.7 และ รูปที่ 2.8)

1. ระบบการรับข้อมูล เป็นกระบวนการที่ได้มาซึ่งข้อมูลจากระยะไกล โดยเกิดจากองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้





รูปที่ 2.7 การเก็บข้อมูลโดยการสำรวจข้อมูลระยะไกล (Murai, 1993)



รูปที่ 2.8 การเก็บข้อมูลโดยการสำรวจข้อมูลระยะไกล (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2534)

1) แหล่งพลังงานและการแผ่รังสี (energy sources and radiation) ที่ทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีทั้งแหล่งพลังงานตามธรรมชาติ (ดวงอาทิตย์) และ แหล่งพลังงานที่มนุษย์สร้างขึ้นมา

2) การถ่ายทอดพลังงานในชั้นบรรยากาศ (propagation of energy through the atmosphere) เป็นปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับชั้นบรรยากาศที่เป็นข้อจำกัดในบางช่วงคลื่นที่ไม่สามารถส่งผ่านมาจากพื้นผิวโลกได้ทั้งหมด เพราะถูกดูดกลืนในชั้นบรรยากาศได้ทั้งหมด เช่น รังสีในย่านอุตราไวโอเล็ต (ultraviolet) ถูกดูดกลืนโดยโอโซน ในบรรยากาศชั้นโอโซนเพียร์

3) ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับพื้นผิวโลก (energy interaction with earth surface features) เป็นลักษณะของวัตถุต่างชนิดที่มีการสะท้อน การดูดซับ การส่งผ่าน การแผ่รังสี และการกระจายกลับ ของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงคลื่นและช่วงเวลา ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นประโยชน์ต่อการนำมาแยกแยะวัตถุบนพื้นผิวโลกที่แสดงคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

4) อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (airborne and/or spaceborne sensor) เป็นเครื่องมือที่รับ และบันทึกสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อน (reflection) แผ่รังสีความร้อน (emission) หรือกระจายกลับ (backscatter) จากวัตถุเป้าหมาย แล้วส่งกลับมายังสถานีรับบนพื้นโลก และแปลงสัญญาณนั้นเป็นข้อมูลเชิงเลข (digital data) หรือ ข้อมูลภาพ (image data) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาปรับแก้ขั้นต้น เพื่อลดหรือขจัดความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิต และความบกพร่องของสัญญาณที่ได้รับ ณ สถานีรับสัญญาณก่อนที่จะนำข้อมูลภาพไปเผยแพร่สู่ผู้ใช้งานต่อไป

5) ผลิตภัณฑ์ข้อมูลในรูปแบบข้อมูลภาพหรือข้อมูลเชิงเลข (sensor data in pictorial and/or digital form) เป็นผลผลิตของข้อมูลที่จะเผยแพร่หรือจำหน่าย ซึ่งมีทั้งอยู่ในรูปข้อมูลเชิงเลข (soft copy) ซึ่งนำมาใช้ร่วมกับระบบคอมพิวเตอร์ และข้อมูลภาพกระดาษ (hard copy) ที่อาจอยู่ในรูปแบบแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียม (satellite image map) หรือ ข้อมูลแผ่นภาพพิมพ์ในมาตราส่วนต่าง ๆ

## 2. ระบบการวิเคราะห์ข้อมูล (data Analysis)

1) การแปลตีความภาพด้วยสายตา หรือการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ (visual interpretation and data computer analysis) เป็นการแปลตีความหรือใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพจากดาวเทียม เพื่อสกัดข้อมูลหรือสิ่งที่ต้องการตามวัตถุประสงค์ของการทำงาน

(2) ผลิตภัณฑ์สารสนเทศ (information product) เป็นผลผลิตที่ได้จากการแปลตีความหรือการวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของผลผลิตที่ได้นั้น ก่อนนำไปใช้งาน โดยทำการเปรียบเทียบกับสภาพจริงหรือข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้ โดยวิธีทางสถิติ

(3) ผู้ใช้ (user) เป็นผู้ที่นำผลิตภัณฑ์สารสนเทศที่อยู่ในรูปข้อมูลภาพหรือข้อมูลเชิงเลข ไปประยุกต์ใช้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ อาทิ เช่น ผลการแปลตีความการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียมในหลายช่วงเวลา ผู้ใช้สามารถนำมาใช้เพื่อติดตามตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์ต่างๆ เช่นการขยายตัวของพื้นที่อุตสาหกรรม หรือ การบุกรุกพื้นที่ป่าไม้ เป็นต้น

เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล เป็นเทคนิคที่เป็นประโยชน์อย่างมาก ในการศึกษาเกี่ยวกับดินถล่ม ทั้งในมาตราส่วนระดับภูมิภาคและระดับกลาง ทั้งในด้านการหาตำแหน่งร่องรอยของการเกิดดินถล่ม การแปลความหมายข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดดินถล่มในพื้นที่นั้นๆ ในกรณีพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ และในบางพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยากลำบาก

เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล สามารถประยุกต์เข้ากับงานสาขาต่างๆ ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถให้ข้อมูลที่มีความทันสมัยอยู่ตลอดเวลา และสามารถนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไปผสมผสานกับข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้เป็นอย่างดี

องค์ประกอบของเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลแบ่งออกเป็น 4 องค์ประกอบ (Curran, 1985) ดังนี้

1. แหล่งพลังงาน (source) ต้นกำเนิดของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้ามาจากสามแหล่งคือ พลังงานจากดวงอาทิตย์ การแผ่พลังงานความร้อนจากผิวโลก และระบบบันทึกข้อมูล ในขณะที่มีการทำงานนั้น จะเกิดกระบวนการที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่ การแผ่รังสีความร้อน (radiation) การนำความร้อน (conduction) และการพาความร้อน (convection)

2. ปฏิกริยาที่มีต่อพื้นผิวโลก เป็นปริมาณของการแผ่รังสี หรือการสะท้อนพลังงานจากผิวโลก เนื่องจากวัตถุต่างชนิด จะมีสมบัติในการสะท้อนแสงและการส่งพลังงานความร้อนแตกต่างกันในแต่ละช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือเรียกว่า ลายเซ็นช่วงคลื่น (spectral signature) โดยความแตกต่างนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจำแนกประเภทของวัตถุต่างๆ ได้ตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้

3. ปฏิกริยาที่มีต่อบรรยากาศและเครื่องบันทึกข้อมูล พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในชั้นบรรยากาศจะถูกกระจายโดยธาตุองค์ประกอบของบรรยากาศ ซึ่งมีอิทธิพลต่อคุณภาพของภาพ

4. เครื่องบันทึกข้อมูล ได้แก่ เครื่องบันทึกพลังงานที่สะท้อนจากพื้นผิวของวัตถุหลังจากที่มีปฏิกริยากับพื้นผิวโลกและชั้นของบรรยากาศ

Lillesand and Kiefer (1994) ได้เพิ่มองค์ประกอบของระบบการสำรวจระยะไกล อีก 2 ข้อ ได้แก่

5. ระบบการจัดการข้อมูล ค่าพลังงานการแผ่รังสีและการตอบสนองของช่วงคลื่นเหนือพื้นที่ได้ถูกกำหนดขึ้นมา และถูกเปลี่ยนให้เป็นรูปแบบที่สามารถตีความหมายและเข้าใจได้ในลักษณะเฉพาะขององค์ประกอบพื้นที่นั้น กรรมวิธีนี้อาจจะเกิดขึ้นในเวลาขณะนั้น ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นปัจจุบันที่สุด เนื่องจากว่ามีความสัมพันธ์ที่ต่อเนื่องกันระหว่างพลังงานและสสาร ดังนั้นอาจไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลอ้างอิงในกรรมวิธีวิเคราะห์ ข้อมูลที่ได้มาจะให้ประโยชน์ในการศึกษาสถานะทางด้านกายภาพ และชีวเคมีของวัตถุที่สนใจจะศึกษา

6. ผู้ใช้ข้อมูล กลุ่มผู้ใช้อาจจะมีความรู้ลึกซึ้งในสาขาวิชาต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนความรู้เกี่ยวกับการได้มาของข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ข้อมูลจากชุดเดียวกัน มักจะให้รายละเอียดหลายอย่าง สำหรับผู้ใช้หลายสาขาวิชา ยิ่งถ้าผู้ใช้มีความรู้มากเกี่ยวกับเรื่องคุณสมบัติระหว่างพลังงานกับวัตถุบนพื้นผิวโลกเพียงใด ก็จะทำให้ผู้ใช้เหล่านี้ได้รายละเอียดจากข้อมูลได้มากขึ้น เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และครอบคลุมพื้นที่กว้างขวางมากที่สุด

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yumuang (2005) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ที่เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 11 สิงหาคม 2544 บริเวณพื้นที่น้ำก้อ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ กระทำโดยใช้ข้อมูลที่จัดทำและแปลความหมายด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามและข้อมูลจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ข้อมูลดังกล่าวยังใช้เพื่อพิสูจน์หลักฐานพื้นที่ที่มีศักยภาพเป็นแหล่งกำเนิดตะกอนบริเวณที่มีการเคลื่อนตัวของตะกอน และบริเวณที่มีการสะสมตัวของตะกอน รวมทั้งกำหนดเกณฑ์ที่สามารถแสดงศักยภาพของพิบัติภัยจากการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ในบริเวณลุ่มน้ำก้อใหญ่และเนินตะกอนรูปพัด การศึกษาวิจัยยังกระทำเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างลำดับชั้นของตะกอนและการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ในบริเวณพื้นที่เนินตะกอนรูปพัด

อีกด้วย การวิเคราะห์เพื่อประเมินความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ได้ใช้ข้อมูลร่องรอยการเกิดตะกอนถล่มและน้ำปนตะกอนท่วมและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีของความน่าจะเป็นแบบตัวแปรเดียว และการคำนวณค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดพิบัติภัย จากตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ผลการวิเคราะห์ สามารถจัดทำเป็นแผนที่แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดพิบัติภัยตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าขึ้นในพื้นที่ สำหรับการอธิบายถึงเหตุการณ์ของการเกิดและศักยภาพของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า นั้น สามารถสรุปได้ว่าเหตุการณ์พิบัติภัยดังกล่าวนี้ไม่ได้มีสาเหตุมาจากการทำงานของฝนตกหนักผิดปกติแต่เพียงอย่างเดียวตามที่คาดกันไว้ แต่เป็นการทำงานร่วมกันของปัจจัยที่มีอิทธิพลหลายประการจากลักษณะภูมิประเทศที่มีสิ่งปกคลุมดินเป็นลักษณะเฉพาะ คุณสมบัติทางธรณีเทคนิคของวัสดุรองรับในพื้นที่ และการหน่วงเพื่อการสะสมตัวของซากต้นไม้และตะกอน การประสมประสานของปัจจัยที่มีอิทธิพลดังกล่าวเหล่านี้ได้ทำให้เกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าได้ กระบวนการดังกล่าวนี้ยังทำให้เกิดความรุนแรงมากขึ้นอีกเนื่องจากการเกิดแนวชั่วคราวกั้นการไหลตามธรรมชาติที่ต่อมาได้พังทลายลงจากน้ำหนักของน้ำที่กักเอาไว้หลังจากการเกิดเหตุการณ์พิบัติภัยครั้งนี้แล้ว สามารถประเมินได้ว่าต้องใช้เวลาอีกระยะหนึ่งก่อนจะเกิดเหตุการณ์ ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าครั้งต่อไปขึ้นอีก เนื่องจากต้องการเวลาสำหรับสะสมซากต้นไม้และตะกอนในลุ่มน้ำ ให้มีปริมาณมากพอเสียก่อน

ศูนย์วิจัยภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศภาคเหนือ (2547) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยดินโคลนถล่มโดยกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก (rating weighting) ของแต่ละปัจจัยระดับ ตามความสำคัญของปัจจัย ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ชั้นหินพื้นฐาน ความลาดชันสภาพป่าไม้ แนวกันชนจากรอยเลื่อน ทิศทางการรับน้ำฝน และความสูงของพื้นที่ โดยกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยเท่ากับ 6 5 4 6 2 1 และ 1 ตามลำดับ

Lee and Min (2001) ได้ทำการศึกษาและประเมินพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม บริเวณจังหวัด Yongin สาธารณรัฐเกาหลี โดยนำเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์มาใช้เป็นเครื่องมือ และใช้ภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายดาวเทียม และการสำรวจภาคสนาม ในการวิเคราะห์และจัดทำแผนที่พื้นที่ที่เกิดแผ่นดินถล่ม เพื่อนำไปประเมินความสัมพันธ์โดยวิธีความน่าจะเป็น (probability method) ระหว่างบริเวณที่เกิดแผ่นดินถล่ม กับปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพล ได้แก่ ความชัน การวางตัว เส้นความโค้งของภูมิประเทศ ลักษณะภูมิประเทศ คุณสมบัติของดินป่าไม้ สิ่งปกคลุมพื้นที่ ลักษณะทางธรณีวิทยา และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผลการวิเคราะห์ที่ได้สามารถนำไปจัดทำแผนที่พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดแผ่นดินถล่มได้

Lee and Talib (2005) ได้ทำการศึกษาประเมินพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม บริเวณรัฐปีนัง ประเทศมาเลเซีย โดยการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์มาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีต่างๆ กับบริเวณที่เกิดแผ่นดินถล่มโดยวิธี ความน่าจะเป็นแบบ frequency ratio method ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยทุกประเภทที่เลือกมาวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ที่เกิดแผ่นดินถล่ม ยกเว้น ปัจจัยทางธรณีวิทยา

Lan HX และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องและมีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม บริเวณลุ่มน้ำ Xiaojiang มลรัฐยูนนาน ประเทศจีน โดยใช้วิธี Certainty Factor method (CF) พบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ได้แก่ 1) ลักษณะทางธรณีวิทยาซึ่งประกอบด้วยชุดหิน Proterzoic Kunyang ได้แก่ หินโคลไลไมต์และหินดินดาน กับชุดหิน simian ได้แก่หินโคลไลไมต์และหินทรายยุคแคมเบรียน 2) ลักษณะโครงสร้างธรณีวิทยาแบบ cataclastic 3) ความชันของพื้นที่ระหว่าง 30 ถึง 50 องศา 4) ทิศทางการวางตัวของความชันในแนวทิศใต้ ทิศเหนือ และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ 5) ความสูงจากระดับน้ำทะเล 500 ถึง 2,000 เมตร ผลจากการคำนวณค่า CF สามารถนำไปจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่มตามระดับความเสี่ยงภัยต่างๆ ได้

Thassanapak (2001) ได้ประเมินศักยภาพการเกิดแผ่นดินถล่ม จังหวัดภูเก็ต โดยอาศัยปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย ลักษณะทางธรณีวิทยา (ชนิดหินและบริเวณกลุ่มรอยแตก) สภาพภูมิประเทศ (ความลาดชันและระดับความสูง) ระยะจากบริเวณน้ำผิวดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน คุณลักษณะของดิน และปริมาณฝน โดยนำเทคนิคการถ่วงน้ำหนักปัจจัย หาค่าความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ แบ่งระดับโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินถล่มได้เป็น 5 ระดับ คือ สูงมาก สูง ปานกลาง ต่ำ และต่ำมากจนถึงไม่มีโอกาสเกิด ผลการศึกษาแสดงแทนในรูปแผนที่แสดงระดับศักยภาพของการเกิดแผ่นดินถล่ม พบว่าบริเวณที่ตั้งของโรงแรม และรีสอร์ทที่สำคัญหลายแห่งตั้งอยู่บริเวณที่มีระดับความเสี่ยงสูงถึงสูงมาก

Tangjaitrong (1994) ได้ทำการศึกษาพื้นที่ที่เกิดแผ่นดินถล่ม บริเวณเทือกเขาหลวง อำเภอพิปูน จังหวัดนครศรีธรรมราช ครอบคลุมพื้นที่ 200 ตารางกิโลเมตร โดยพัฒนาเทคนิคระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล และระบบองค์ความรู้พื้นฐานด้านต่างๆ สำหรับคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติดินถล่ม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้ ร่วมกับองค์ความรู้ต่างๆ เป็นวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างดี สำหรับคาดการณ์บริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม

Tantiwanit (1992) ได้สำรวจลักษณะการเกิดแผ่นดินถล่มเทือกเขาหลวง เมื่อวันที่ 20 ถึง 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531 การศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ควบคุมการเกิดแผ่นดินถล่ม

ได้แก่ 1) ลักษณะดินที่ผุมาจากหินแกรนิตซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม 2) ความชันของพื้นที่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์ 3) การเปลี่ยนแปลงพื้นที่เป็นสวนยางพารา 4) ปริมาณฝนที่ตกหนัก นอกจากนี้ Nutalaya (1991) ยังสรุปว่าสาเหตุหลักของการเกิดแผ่นดินถล่มซึ่งเกิดพายุฝนบริเวณเทือกเขาหลวงครั้งนี้ ประกอบด้วย 1) การตัดไม้ทำลายป่าซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการกัดเซาะบริเวณพื้นที่ลาดชัน 2) ความชันของพื้นที่ที่มากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์และพื้นที่ที่มีความชันแตกต่างกันมาก ทำให้เกิดการไหลบรจบกั้นของทางน้ำในหุบเขาลงสู่ที่ราบเกิดเป็นการเนินตะกอนรูปพัด 3) เกิดจากการอึดตัวไปด้วยน้ำของชั้นดินทราย ซึ่งวางตัวอยู่บนหินแกรนิต

Zhibin (1991) ได้สำรวจลักษณะของหินแกรนิตตามด้านข้างและด้านล่างของร่องรอยของการเกิดแผ่นดินถล่มบริเวณข้างแม่น้ำกระตุน การศึกษาพบว่าสาเหตุของแผ่นดินถล่มเกิดจากอิทธิพลของภูมิอากาศ การตัดไม้ทำลายป่า และการเปลี่ยนแปลงให้กลายเป็นสวนยางพารา ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดแผ่นดินถล่ม และจากการศึกษาภาคตัดขวางของบริเวณหินแกรนิตเพื่อหาหลักฐานจากภาคสนาม สรุปได้ว่าชนิดของการเกิดแผ่นดินถล่มส่วนมากเกิดแบบการกัดเซาะแนวลึก (gullying) ดินไหล (earth flow) การไถลตัวของดิน (soil slump) ตะกอนไหลถล่ม (debris flow) และหินเลื่อน (rock slide)

Dorji Gyeltshen (2007) ได้ทำการศึกษาพื้นที่เสี่ยงภัยดินโคลนถล่มบริเวณ ดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยที่จะเกิดดินโคลนถล่มและพื้นที่หมู่บ้านที่เสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากการเกิดดินโคลนถล่ม โดยการกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ความลาดชัน ลักษณะธรณีวิทยา การใช้ที่ดิน และ ระยะห่างจากแม่น้ำ โดยมีการให้ความสำคัญ และมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยโดยวิธีการ Analysis Hierarchy process (AHP) โดยให้น้ำหนักปัจจัยแต่ละปัจจัย เพื่อกำหนดตำแหน่งและความสำคัญของปัจจัย การศึกษามีการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ พบว่าปัจจัยที่เกิดดินถล่มเกิดจากความลาดชัน เนื่องจากพื้นที่มีลักษณะเป็นพื้นที่สูงมีความลาดชันสูง ลักษณะทางธรณีวิทยา เนื่องจากคุณสมบัติ โครงสร้าง ของหินแต่ละชนิด มีความแตกต่างกัน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของมวลดินในการเกิดดินโคลนถล่มอย่างมาก เช่น พื้นที่ที่เป็นหินแข็งเนื้อแน่นแต่ผุง่าย เป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในการเกิดดินโคลนถล่มได้ง่าย การใช้ประโยชน์ที่มีการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้ ส่งผลต่อความเสี่ยงในการเกิดดินโคลนถล่มเพิ่มขึ้น และระยะห่างจากทางน้ำ ในช่วง 50 เมตร มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินโคลนถล่มสูง และที่มีระยะห่างจากทางน้ำมากกว่า 50 เมตร มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินโคลนถล่มน้อย

Fuchu Dai and Chack Fan Lee (2003) ศึกษาลักษณะทางกายภาพ และความเสี่ยงต่อการเกิด ดินถล่มของประเทศฮ่องกงโดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการสร้างแผน

ที่เชิงดิจิทัลและใช้ภาพถ่ายทางอากาศ เพื่อดูข้อมูลทางกายภาพ ร่วมกับการวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยวิธี Logistic multiple regression เพื่อทำนายความเสี่ยงในการเกิดดินถล่มสูง โดยอาศัย ปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความลาดชัน ข้อมูลดิน ข้อมูลชั้นความสูง ข้อมูลทิศทางการความลาดชัน และ ข้อมูล การใช้ประโยชน์ที่ดิน ในการศึกษาได้แบ่งชั้นข้อมูลต่างๆ ตามความถี่ในการเกิดดินถล่ม แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ ขนาดจุดภาพ 20 คูณ 20 เมตร สามารถจำแนกพื้นที่ตาม ระดับความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มออกเป็น 5 ระดับ คือ 1) พื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงมาก 2) พื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง 3) พื้นที่ที่มีความเสี่ยงปานกลาง 4) พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำ และ 5) พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำมาก

กองธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม กรมทรัพยากรธรณี (2548) ได้ทำการศึกษาการเกิดดินโคลนถล่มในจังหวัดเชียงใหม่ การศึกษาได้ใช้เทคนิคการซ้อนทับข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ นำมาช่วยในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยดินโคลนถล่ม ปัจจัยที่ให้ความสำคัญได้แก่ ปริมาณน้ำฝน พื้นที่ป่าเสื่อมโทรม หรือการขยายพื้นที่เกษตรกรรม สภาพทาง ธรณีวิทยา การศึกษาพบว่า การเกิดดินโคลนถล่มจะเกิดในช่วงที่ฝนตกชุกหนาแน่นของดินที่ถึงจุดอิ่มตัวด้วยน้ำ จนกระทั่งเกิดดินโคลนถล่มพร้อมกับการโค่นล้มของต้นไม้ น้ำส่วนเกินจะไหลป่ากัดเซาะพัดพาตะกอนและต้นไม้ที่โค่นล้มไหลทะลักไปกับกระแสน้ำอย่างรุนแรงเกิดเป็นน้ำป่าไหลหลาก ซึ่งความรุนแรงของกระแสน้ำนอกจากขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนแล้ว ความลาดชันและขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นปัจจัยโดยตรงต่อระดับความรุนแรงของกระแสน้ำป่าไหลหลาก และพบว่า หมู่บ้านที่มีความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากการเกิดดินโคลนถล่ม หรือน้ำป่าไหลหลาก โดยปัจจัยที่มีผลต่อความเสี่ยงของพื้นที่ คือ ปริมาณน้ำฝนซึ่งมีปริมาณมากกว่า 100 มิลลิเมตรต่อปี

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 3

### การจัดเตรียมข้อมูล

ข้อมูลและปัจจัยต่างๆ ซึ่งคาดว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพล ก่อให้เกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปัจจัยของการเกิดตะกอนถล่มและน้ำปนตะกอนป่า จะถูกรวบรวมและนำเข้าไปในระบบภูมิสารสนเทศที่อยู่ในระบบพิกัด และตำแหน่งเดียวกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณลักษณะเหมือนกันสำหรับการนำไปวิเคราะห์ เพื่อผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้อง ข้อมูลในการศึกษาค้างนี้จะรวบรวมข้อมูลจากหลายๆแหล่งที่มา ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้จัดทำแผนที่ไว้แล้ว ตามตามร่างที่ 3.1 แสดงวิธีการจัดเตรียมข้อมูลแผนที่และแหล่งที่มาของข้อมูลถูกรวบรวม ได้แก่ ข้อมูลเส้นชั้นความสูง ข้อมูลอุทกวิทยา ข้อมูลด้านธรณีวิทยา ข้อมูลด้านคุณสมบัติของดิน ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งชุมชนและระบบสาธารณูปโภค ข้อมูลปริมาณน้ำฝน และตำแหน่งร่องรอยของการเกิดตะกอนถล่มและน้ำปนตะกอนป่าซึ่งได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมช่วงก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติ

#### 3.1 การจัดทำฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

การจัดทำฐานข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ประกอบด้วย การรวบรวมแหล่งข้อมูล และการออกแบบฐานข้อมูล การจัดเตรียมและการนำเข้าข้อมูล การตรวจสอบและแก้ไขโครงสร้างข้อมูล เพื่อนำฐานข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์และจัดทำผลการศึกษา

การสำรวจรวบรวม ข้อมูลเป็นการตรวจสอบข้อมูลที่ได้มีการสำรวจไว้แล้ว จากหน่วยงานต่างๆ เพื่อนำมาประเมินคุณภาพข้อมูล ทั้งในด้านระดับความละเอียดถูกต้องของข้อมูล โดยเฉพาะข้อมูลแผนที่ และในด้านความทันสมัยของข้อมูลว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการใช้งาน เพื่อกำหนดวิธีการที่จะสำรวจจัดทำข้อมูลนั้นขึ้นมาใหม่ หากไม่มีข้อมูลชนิดนั้นๆ หรือสำรวจปรับปรุงข้อมูลเดิมให้ถูกต้อง ทันสมัย และครบถ้วน โดยข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ จำแนกข้อมูลออกเป็น 2 ประเภทคือ ข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลคุณลักษณะ โดยข้อมูลทั้งสองประเภทนี้จะเป็นข้อมูลที่เชื่อมโยงซึ่งกันและกัน

ข้อมูลแผนที่ที่รวบรวมมานั้นจะต้องทำการจัดเตรียม เพื่อให้พร้อม และง่ายต่อการนำเข้ามา รวมทั้งเป็นการตรวจสอบข้อผิดพลาดที่อาจมีบนแหล่งข้อมูล การจัดเตรียมแผนที่สำหรับการนำเข้านั้น ประกอบด้วย การตรวจสอบกำหนดจุดควบคุมพิกัดแผนที่ ซึ่งจะใช้ในการแปลงค่าพิกัดของข้อมูลแผนที่ ตรวจสอบข้อมูลแผนที่ที่สับสนหรือผิดพลาด ทำการแก้ไขหรือทำให้ชัดเจน การ

ตารางที่ 3.1 วิธีการจัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานและแหล่งที่มาของข้อมูล

ชั้นข้อมูลหลัก	ชั้นข้อมูลรอง	วิธีการจัดเตรียมข้อมูล
ช่วงต่างชั้น ความสูง (Elevation)	ระดับความสูงของ ภูมิประเทศแบบดิจิทัล (digital elevation)	นำเข้าข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร (2542) มาตราส่วน 1: 50,000
	แบบจำลองความสูง เชิงตัวเลข (DEM)	จัดทำจากแผนที่ระดับความสูงของภูมิประเทศแบบดิจิทัล โดยใช้โปรแกรม ArcGIS 9.2
	ความลาดชัน (Slope)	จัดทำจากแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข โดยใช้โปรแกรม ARCGIS 9.2
	ทิศทางความลาดชัน (Aspect)	
ธรณีสัณฐาน (landform)	จัดทำจากแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข โดยใช้โปรแกรม ENVI 4.2	
อุทกวิทยา (Hydrology)	แผนที่ทางน้ำและ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	นำเข้าข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศของ กรมแผนที่ทหาร (2542) มาตราส่วน 1: 50,000 และจัดทำขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย จากลักษณะการไหลของทางน้ำและเส้นแบ่งสันเขา
	ระยะห่างจากทางน้ำ (Buffering distance to drainage-line)	จัดทำจากแผนที่ทางน้ำโดยสร้างแนวกันชน (buffer)
ธรณีวิทยา (Geology)	หน่วยหิน	นำเข้าข้อมูลจากแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณี มาตราส่วน 1: 50,000 และ 1:250,000 (ปรับแต่งข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม และการ สำรวจภาคสนาม)
	ระยะห่างจาก โครงสร้างแนวเส้น	
คุณสมบัติของดิน (Soil properties)	กลุ่มชุดดิน	นำเข้าข้อมูลจากแผนที่กลุ่มชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2543)
	ความหนาของชั้นดิน	จัดทำจากข้อมูลจากแผนที่กลุ่มชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2543)
การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Landuse)	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	แปลความหมายจากภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์สแตตเมื่อวันที่ 7 มีนาคม 2549 (ปรับแต่งข้อมูลจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ของกรมพัฒนาที่ดิน, 2543 และจากการสำรวจภาคสนาม)
อุตุนิยมวิทยา (Meteorology)	เส้นชั้นปริมาณน้ำฝน	จัดทำจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวัน ของกรมอุตุนิยมวิทยาและ สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดอุดรดิตถ์
ระบบสาธารณูปโภค (Infrastructure)	ถนนและหมู่บ้าน	นำเข้าข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร (2542) มาตราส่วน 1: 50,000
เหตุการณ์ดินถล่ม ที่เคยเกิดขึ้น (Landslide inventory)	ร่องรอยของการเกิดตะกอน ถล่มและน้ำปนตะกอนป่า (scar-scouring)	แปลความหมายจากคำดัชนีพืชพรรณผลต่าง จากภาพถ่ายดาวเทียมก่อน (7 มีนาคม 2549) และหลังเกิดเหตุการณ์ (10 พฤศจิกายน) เมื่อวันที่ 21 พฤษภาคม 2549

คัดลอกข้อมูลจากแผนที่ต้นฉบับลงบนวัสดุใหม่โดยเฉพาะในกรณีที่แผนที่ต้นฉบับนั้นประกอบด้วยข้อมูลหลายประเภท และต้องการนำเข้าโดยการสแกน

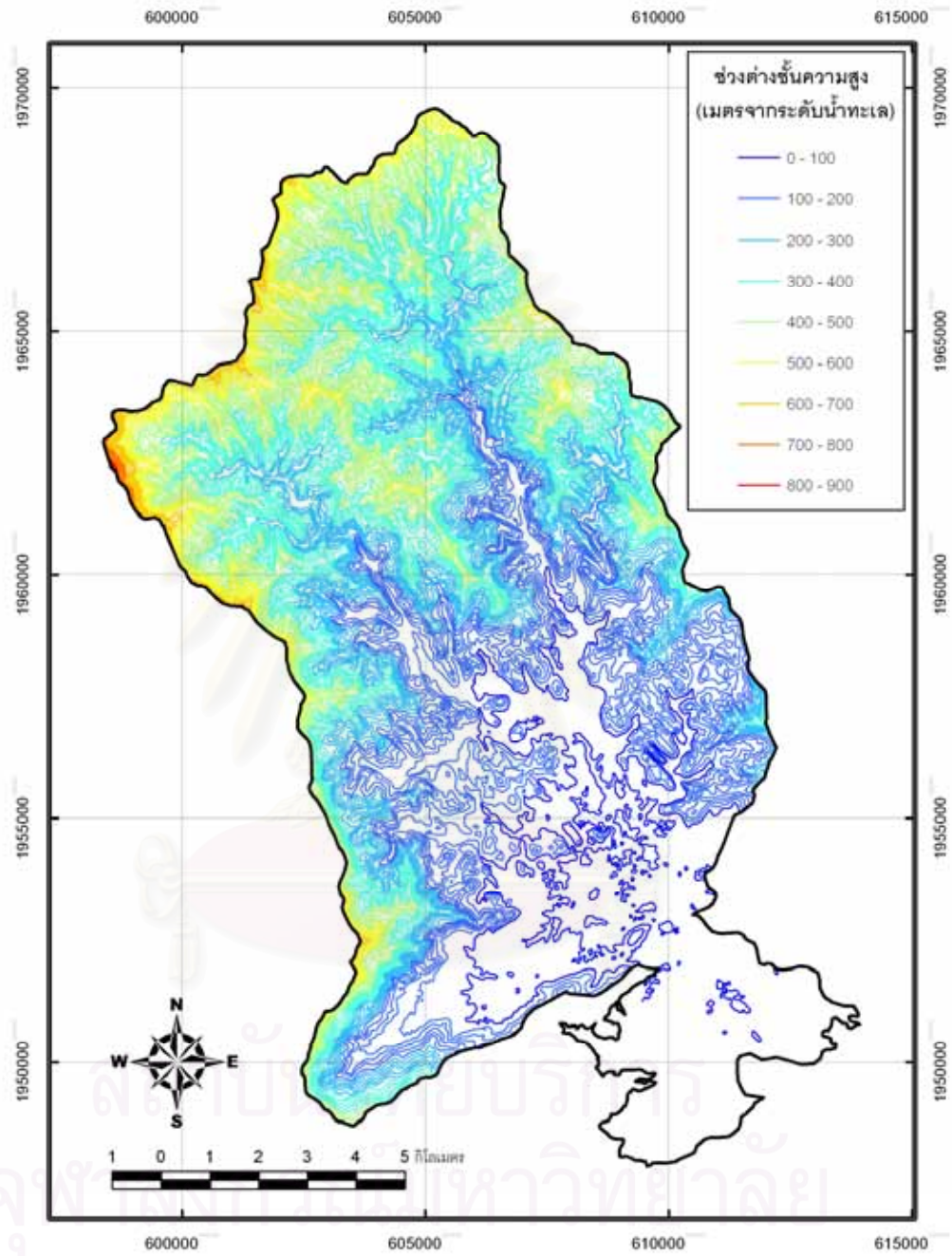
การตรวจสอบและแก้ไขโครงสร้างข้อมูลเชิงรหัสที่ได้นำเข้าสู่ระบบนั้น ยังอาจมีความผิดพลาดและความคลาดเคลื่อน ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการนำเข้า โดยเฉพาะข้อมูลแผนที่ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการตรวจสอบข้อมูลในฐานข้อมูลกับข้อมูลแผนที่ต้นแบบ และแก้ไขความผิดพลาดต่างๆ เพื่อตรวจสอบให้ข้อมูลในฐานข้อมูลมีความละเอียดถูกต้อง ทั้งด้านตำแหน่งและทางด้านข้อมูลเชิงคุณลักษณะอื่นๆ

### 3.2 ข้อมูลเส้นชั้นความสูง (Elevation)

ข้อมูลเส้นชั้นความสูง เป็นข้อมูลที่นำเข้ามาข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศ ของกรมแผนที่ทหาร (2542) มาตราส่วน 1:50,000 โดยมีช่วงต่างชั้นความสูง 20 เมตร เส้นชั้นความสูงของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล มีระดับความสูงตั้งแต่ 80 ถึง 860 เมตรจากระดับน้ำทะเล (รูปที่ 3.1) โดยพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล มีระดับความสูงของพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 80 ถึง 200 เมตร โดยมีพื้นที่ประมาณ 75.76 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นประมาณ 45.81 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ลุ่มน้ำ

ข้อมูลเส้นชั้นความสูง มีรูปแบบชนิดของข้อมูลเป็นแบบเส้น (line) จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (numeric analysis) ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลขขึ้นมา โดยกำหนดขนาดของจุดภาพ 10 คูณ 10 เมตร แบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลขที่สร้างขึ้นมานี้ จัดอยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ระดับความสูง ถูกเก็บไว้ในลักษณะของข้อมูลราสเตอร์ ที่เรียกว่า GRID theme ในลักษณะของหลายๆ แฟ้มข้อมูลที่ถูกรวบรวมอยู่ในโฟลเดอร์เดียวกัน ในการศึกษาครั้งนี้เส้นชั้นความสูงนี้จะถูกนำเข้าในโปรแกรม ArcGIS 9.2 สำหรับเป็นข้อมูลเพื่อนำไปจัดทำแผนที่ความลาดชัน แผนที่ทิศทางการลาดชัน และแผนที่ลักษณะธรณีสัณฐานต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงช่วงต่างชั้นความสูง (contour interval) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

### 3.2.1 ความลาดชัน (Slope)

จากข้อมูลแผนที่ระดับความสูงของภูมิประเทศแบบดิจิทัล ที่มีค่าความสูงอยู่ในทุกๆ กริดแล้ว จะนำไปจัดทำแผนที่ความลาดชัน ค่าความลาดชันเป็นค่าที่วัดได้จากการเอียงของพื้นผิวที่ทำมุมกับพื้นผิวโลกในแนวระดับ ค่าความลาดชันสามารถคำนวณโดยใช้วิธีการโครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ (Triangular Irregular Network : TIN) ซึ่งการคำนวณจากค่าระดับเป็นรูปสามเหลี่ยมต่อเนื่องกันไปจนเต็มพื้นที่ จากแผนที่ระดับความสูงของภูมิประเทศแบบดิจิทัล ค่าความลาดชันนี้มีความลาดชันตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา โดยค่าความลาดชัน 0 องศา หมายถึงพื้นที่ที่ไม่มี ความลาดชัน หรือเป็นพื้นที่ที่วางตัวในแนวระดับ และค่าความลาดชัน 90 องศา หมายถึงพื้นที่ที่มีการวางตัวในแนวตั้งทำมุม 90 องศากับพื้นผิวโลกในแนวระดับ

ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ค่าความลาดชันที่วัดได้มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 50.55 องศา (รูปที่ 3.2) มีค่าเฉลี่ย 15.66 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 11.46 โดยมีพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำกว่า 25 องศาคิดเป็น 74.23 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ลุ่มน้ำ

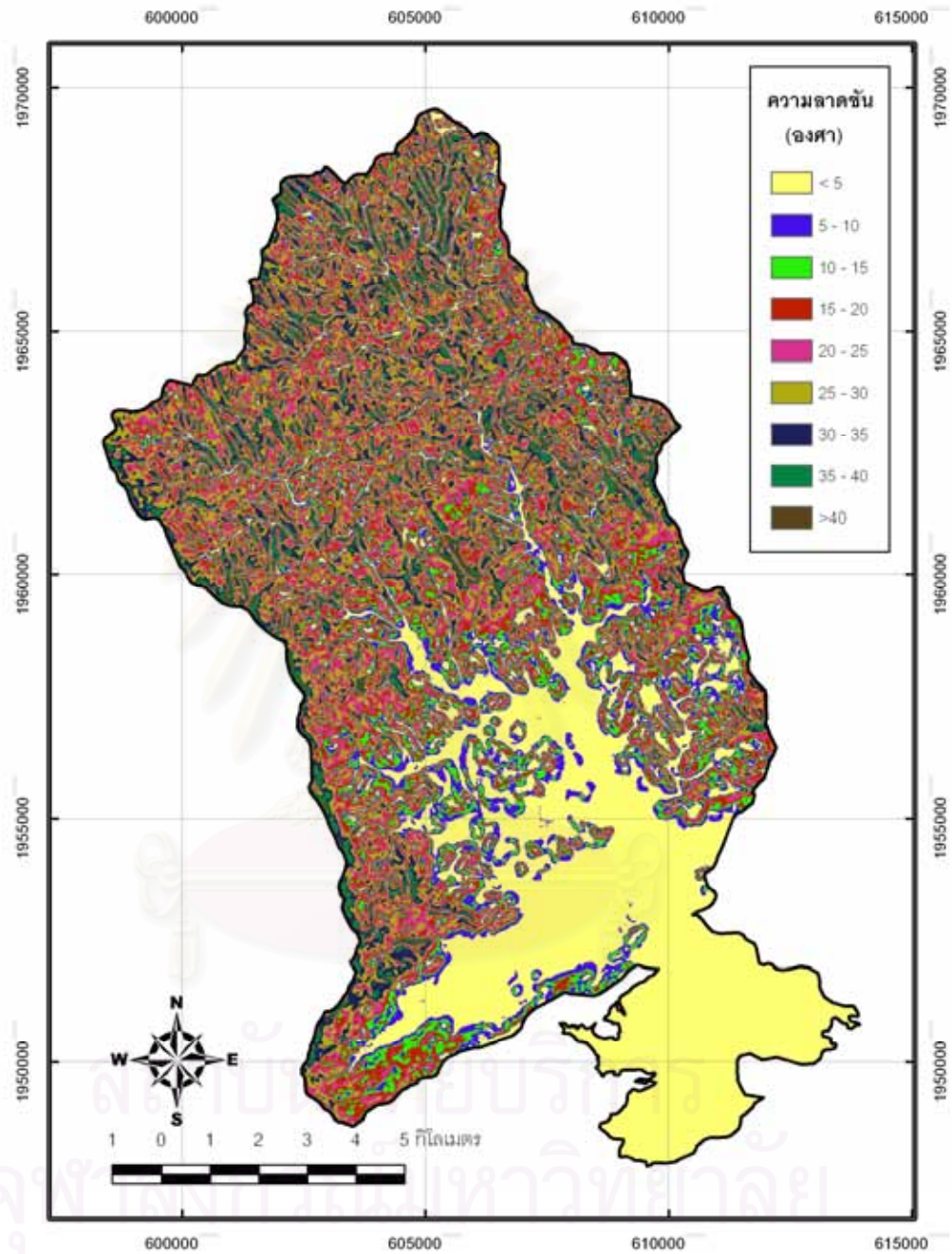
### 3.2.2 ทิศทางความลาดชัน (Aspect)

ทิศทางความลาดชัน เป็นค่าที่วัดได้จาก ทิศทางที่พื้นที่ที่มีความลาดชันเอียงเทไปทางทิศต่างๆ ซึ่งทำมุมอะซิมุทกับทิศเหนือ (0 ถึง 360°) โดยทิศทางการวางตัวแบ่งออกเป็น 8 ทิศทาง ได้แก่ ทิศเหนือ (North, 337.5° – 22.5°) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (Northeast, 22.5° – 67.5°) ทิศตะวันออก (East, 67.5° – 112.5°) ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (Southeast, 112.5° – 157.5°) ทิศใต้ (South, 157.5° – 202.5°) ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (Southwest, 202.5° – 247.5°) ทิศตะวันตก (West, 247.5° – 292.5°) และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (Northwest, 292.5° ถึง 337.5°)

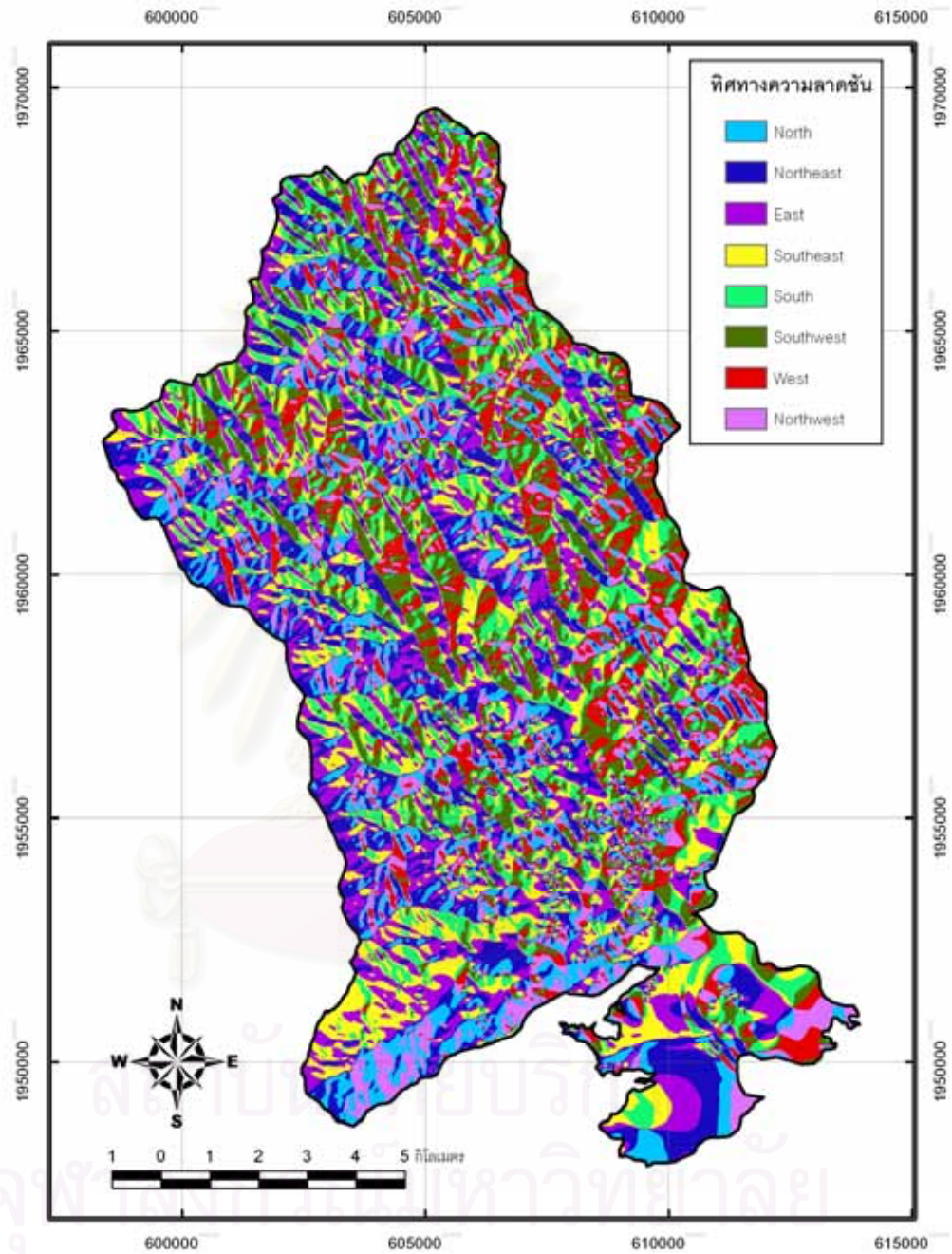
ทิศทางความลาดชันในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล (รูปที่ 3.3) มีค่าการวางตัวเฉลี่ย 164.79° องศา ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 99.42 โดยทิศทางการวางตัวของความลาดชันพื้นที่ที่มีการวางตัวไปในเกือบทุกทิศเท่าๆ กัน ทิศทางความลาดชันมากที่สุดคือทิศตะวันออก (16.09 เปอร์เซ็นต์) และทิศทางความลาดชันน้อยที่สุดคือทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (9 เปอร์เซ็นต์)

### 3.2.3 ลักษณะธรณีสัณฐาน (Topographic Landform)

ลักษณะธรณีสัณฐาน คำนวณได้โดยโปรแกรม ENVI4.2 จากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข ซึ่งจัดแบ่งลักษณะภูมิประเทศออกเป็น 6 รูปแบบ ได้แก่ ยอดเขา (peak) สันเขา (ridge)



รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงความลาดชัน (slope) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูด



รูปที่ 3.3 แผนที่แสดงทิศทางการลาดชัน (aspect) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

ช่องเขา (pass) ที่ราบ (plane) ร่อง (channel) และหลุม (pit) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ลักษณะภูมิประเทศที่พบมากที่สุดคือที่ราบ (49 เปอร์เซ็นต์) และรองลงมาได้แก่ลักษณะภูมิประเทศแบบสันเขา (27.11 เปอร์เซ็นต์) (รูปที่ 3.4)

### 3.3 ทางน้ำ (Stream)

ข้อมูลทางน้ำในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล เป็นข้อมูลที่นำเข้ามาจากแผนที่ภูมิประเทศ ของกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000 ลักษณะทางน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ (รูปที่ 3.5) ส่วนมากเป็นทางน้ำอายุเยาว์ (youth stream) แบบรูปตัววี (v-shape valley) รูปแบบทางน้ำคล้ายต้นไม้ (dendritic pattern) ทางน้ำมีความหนาแน่นปานกลาง การไหลของทางน้ำสาขาย่อยมีทิศทางการไหลลงสู่ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ลงสู่ทางน้ำสาขาใหญ่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ (ห้วยแม่พูลและคลองแม่พร่อง) และไหลไปรวมกับห้วยปู่เจ้า ลงสู่พื้นที่ราบซึ่งบริเวณเนินตะกอนรูปพัด ทางตอนปลายของลุ่มน้ำ

ข้อมูลทางน้ำในพื้นที่ศึกษา จะถูกนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่โดยสร้างแนวกันชน (buffer) จัดทำเป็นแผนที่ระยะห่างจากทางน้ำ (Buffering distance to drainage-line) โดยในพื้นที่ศึกษาแบ่งกลุ่มของระยะห่างจากทางน้ำ (รูปที่ 3.6) เป็น 0 ถึง 20 เมตร 20 ถึง 30 เมตร 30 ถึง 40 เมตร 40 ถึง 50 เมตร 50 ถึง 100 เมตร และมากกว่า 100 เมตร

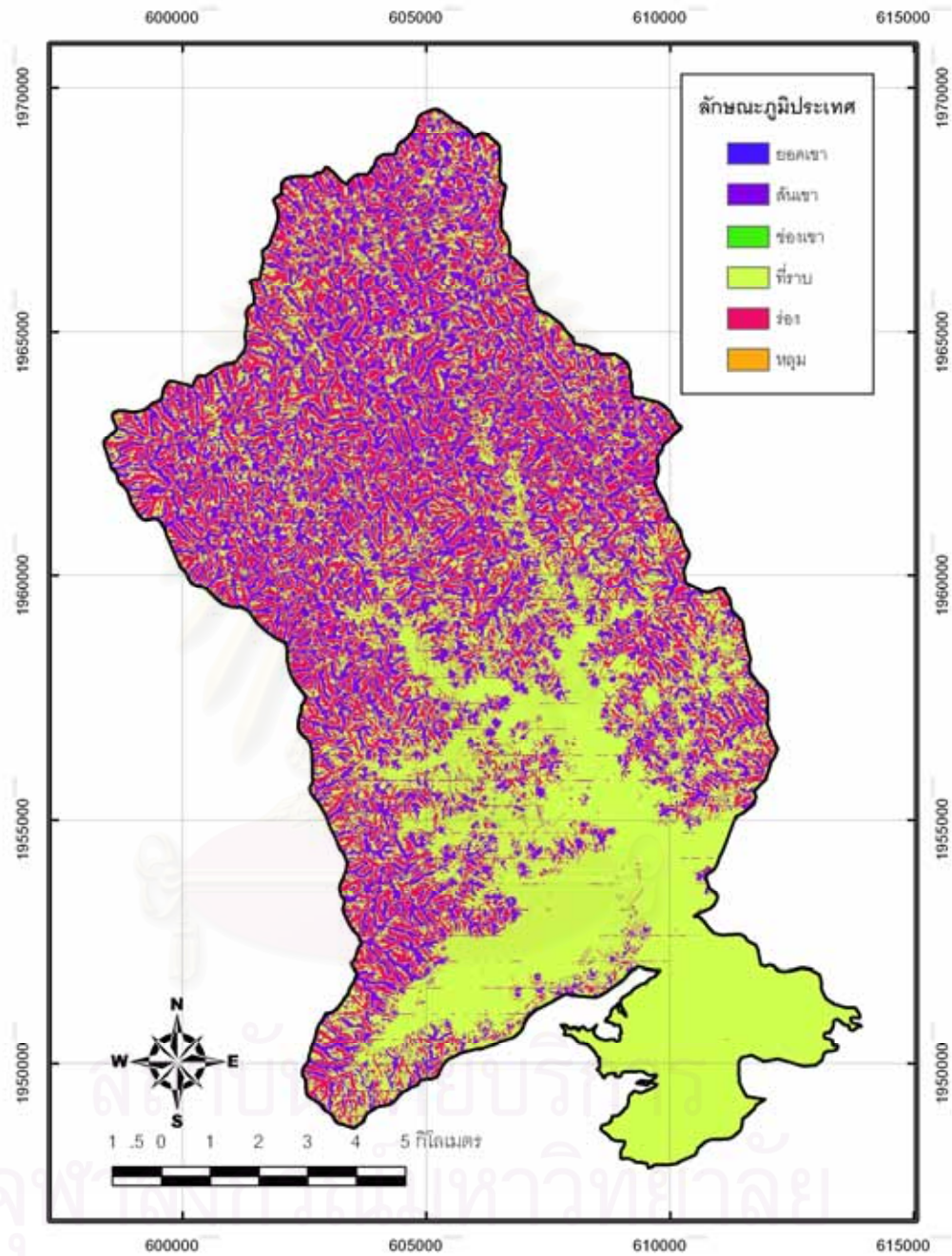
จากแผนที่ระยะห่างจากทางน้ำ พบว่า ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล พื้นที่ที่อยู่ห่างจากลำน้ำมากกว่า 100 เมตร มีพื้นที่ 121.90 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น 73.76 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ พื้นที่ที่มีระยะห่างจากลำน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 1 เมตร พื้นที่ที่มีระยะห่างจากลำน้ำมากที่สุดเท่ากับ 2,612 เมตร

### 3.4 ธรณีวิทยา (Geology)

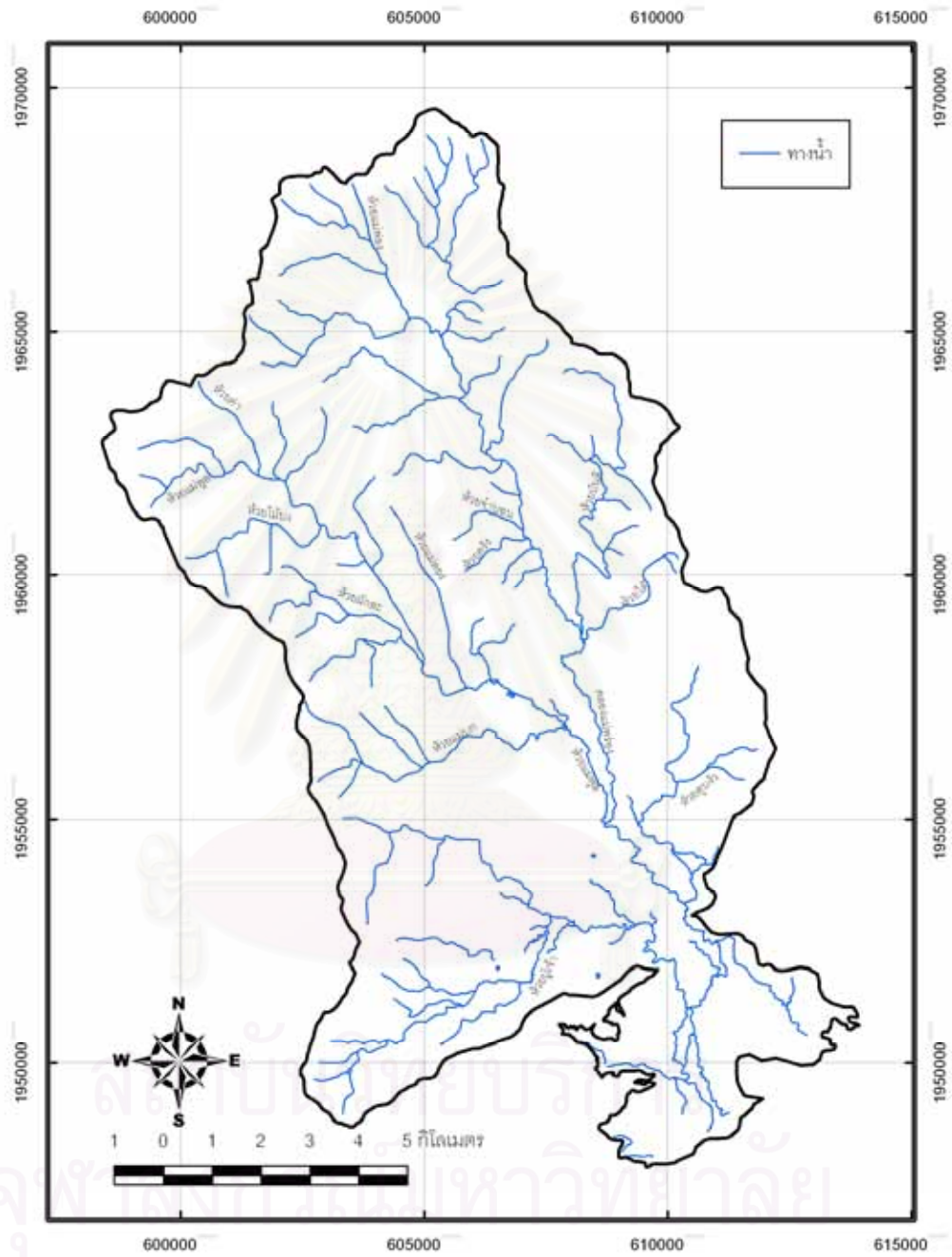
#### 3.4.1 หน่วยหิน

ปัจจัยด้านธรณีวิทยาที่นำมาประเมินหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่ม และน้ำปนตะกอนป่าในการศึกษาคั้งนี้ นำเข้าข้อมูลธรณีวิทยา จากแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:50,000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) ได้แก่ ระวังอำเภอศรีสัชชาลัย (4944II) แผนที่ธรณีวิทยา ระวังจังหวัดอุดรดิตรต์ (5044III) และระวังอำเภอเด่นชัย (5044IV) ประกอบกับแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1: 250,000 ระวังจังหวัดอุดรดิตรต์ (NE 47-11) และมีการสำรวจภาคสนามเพิ่มเติม ในส่วนของแผนที่ระวังบ้านบ่อแก้ว ซึ่งยังไม่ได้ทำการสำรวจจัดทำแผนที่ธรณีวิทยาในมาตราส่วน 1:50,000 ธรณีวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล (รูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8) ปะกฏอยู่ 3 ยุคคือ หินยุค

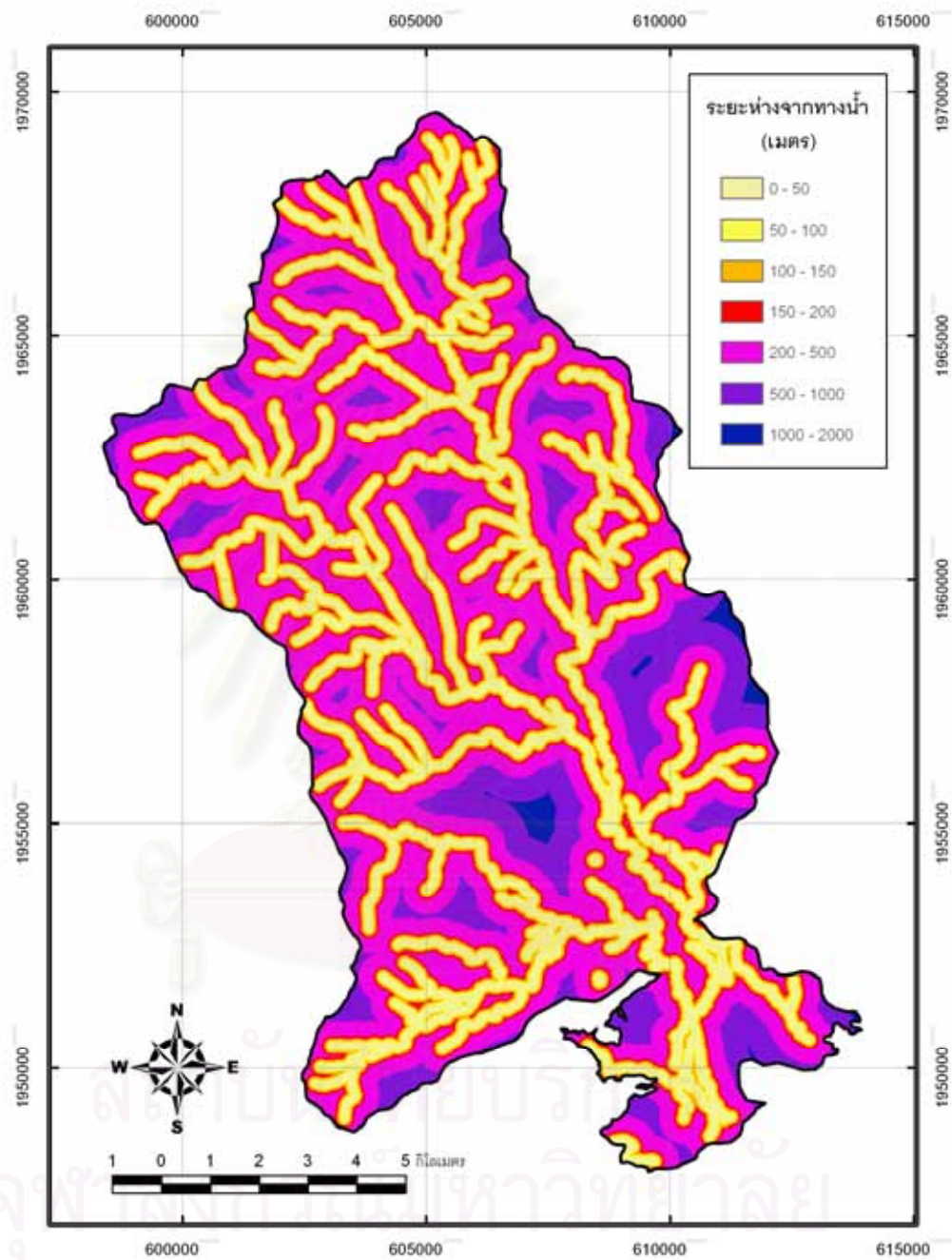




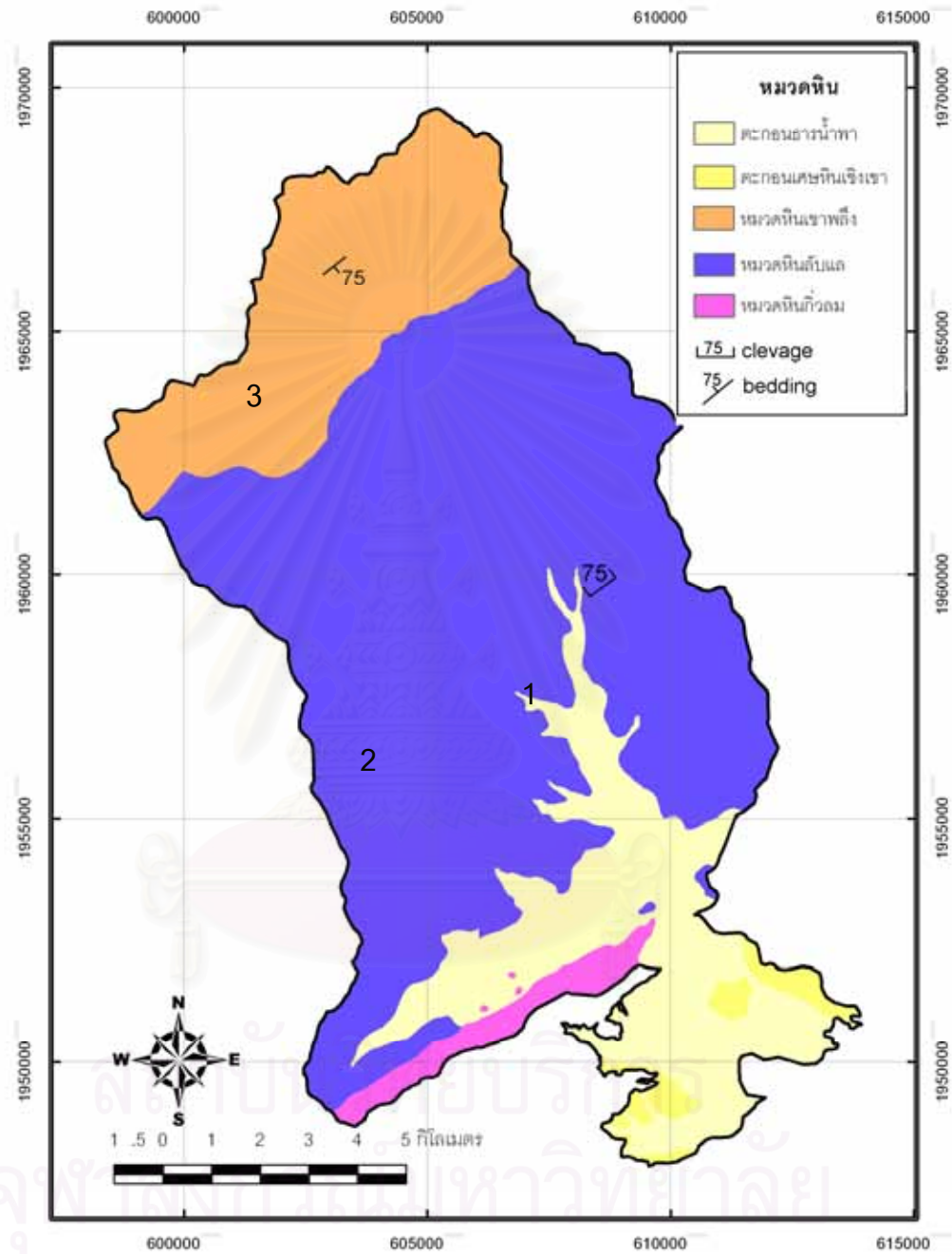
รูปที่ 3.4 แผนที่ลักษณะธรณีสัณฐาน (landform) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล



รูปที่ 3.5 แผนที่แสดงระบบทางน้ำ (drainage system) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูน



รูปที่ 3.6 แผนที่ระยะห่างจากทางน้ำ (Buffering distance to drainage-line)  
ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล



รูปที่ 3.7 แผนที่ธรณีวิทยา (geology) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูน  
(หมายเลขแสดงตำแหน่งภาพถ่ายในรูปที่ 3.8)



1. ตะกอนธารน้ำพา (หน่วยตะกอนควอเทอร์นารี) พิกัด 607236E, 1957412N



2. หินทรายกร่อยแวกสลั๊บ หินดินดาน (หมวดหินลับแล) พิกัด 603938E, 1955929N



3. หินทรายกร่อยแวกแสดงแนวแตกเรียบชัดเจน (หมวดหินเขาพลึง) พิกัด 601795E, 1963339N

รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายแสดงลักษณะธรณีวิทยา ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

เพอร์เมียน (Permian) หินยุคไทรแอสซิก (Triassic) และตะกอนอายุควอเทอร์นารี (Quaternary) โดยหินยุคเพอร์เมียน ประกอบด้วยหมวดหินกิวลมซึ่งวางตัวอยู่ด้านล่างของหมวดหินลับแล และหินยุคไทรแอสซิก ได้แก่ หมวดหินเขาพลึง ตะกอนอายุควอเทอร์นารี ประกอบด้วยตะกอนเศษหินเชิงเขา และตะกอนธารน้ำพา โดยมีรายละเอียด ดังนี้

#### หมวดหินกิวลม (Kiu Lom Formation)

ประกอบด้วยหินเก้าภูเขาไฟประเภทหินทัฟฟ์และหินกรวดเหลี่ยม สีเขียวแสดงแนวแตกเรียบชัดเจน หินตะกอนเนื้อปนเก้าภูเขาไฟของหินทรายและหินดินดาน สีแดง สีน้ำตาลแดง และชั้นบางของหินภูเขาไฟชนิดเบสแทรกขนานอยู่บ้าง หมวดหินกิวลมแผ่คลุมพื้นที่บริเวณเทือกเขาตอนล่างของ คิดเป็น 17.15 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ลุ่มน้ำ

#### หมวดหินลับแล (Lab Lae formation)

ประกอบด้วยหินทรายเกรี้ยวแกวสลับด้วยหินโคลน หินดินดานที่ซ้ำๆ กันไม่สามารถแบ่งแยกออกได้อยู่ทั่วไป ปริมาณหินโคลนเพิ่มขึ้นด้านบน ชั้นหินแสดงแนวแตกเรียบชัดเจน มีหินกรวดมนและหินปูนชั้นบางอยู่ด้านล่างสุด มีหินเชิร์ตชั้นหนาไม่สม่ำเสมอสลับอยู่ทางด้านล่างและตอนบน และมีหินภูเขาไฟเบสิก (บะซอลติกแอนดีไซต์ และแอนดีซิติกบะซอลต์) แทรกขนาน (sills) อยู่บ้าง หมวดหินลับแลแผ่คลุมพื้นที่ตอนกลาง ซึ่งปกคลุมมากที่สุดในกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล คิดเป็น 61.12 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ลุ่มน้ำ

#### หมวดหินเขาพลึง (Khao Phueng formation)

หมวดหินเขาพลึง มีอายุคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน แต่จากหลักฐานที่หมวดหินนี้ในพื้นที่มีลักษณะกายภาพ ลำดับชั้นหิน และชนิดของซากดึกดำบรรพ์ให้มีอายุอยู่ในยุคไทรแอสซิก ซึ่งมีขอบเขตสามารถแบ่งออกเป็นหมวดหินใหม่ได้ ประกอบด้วยหินโคลนอยู่ทางตอนล่างสลับด้วยหินทรายเกรี้ยวแกวบ้าง เป็นหินโคลนสลับด้วยหินเชิร์ตอยู่ทางตอนกลาง และเป็นหินโคลนชั้นบางอยู่ด้านบน ชั้นหินโค้งงอแบบรุนแรง แสดงแนวแตกเรียบชัดเจน และมักจะถูกรอยเลื่อนแบบย้อนตัดผ่าน และรอยแตกเรียบเฉียงออกจากกัน ชั้นหินมักจะถูกแทรกดัน/ตัดผ่านด้วยหินแกรนิตระดับต้น เม็ดละเอียด ได้แก่ หินแกรนิตไดออไรต์ และหินไดออไรต์ชั้นหินปรากฏอยู่กับหินที่อายุแก่กว่า และอ่อนกว่า หมวดหินเขาพลึงแผ่คลุมพื้นที่ภูเขาสูงทางตอนบนของพื้นที่ คิดเป็น 17.15 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ลุ่มน้ำ

#### หน่วยตะกอนอายุควอเทอร์นารี (Quaternary Sediment)

ตะกอนเศษหินเชิงเขา (Qc) ตะกอนเศษหินเชิงเขาเกิดจากการผุพังของหินเดิม แบบอยู่กับที่ หรืออาจจะถูกพัดพาไปแต่ไม่ไกลจากหินต้นกำเนิดมากนัก สะสมตัวอยู่ระหว่างแนวของภูเขา

และที่ราบหรือตามแนวเชิงเขา ประกอบด้วยเศษหินปนกับดิน สีเทาปนน้ำตาล บางบริเวณชั้น ตะกอนปิดทับอยู่บนชั้นหินเดิม และอาจมีมีตะกอนธารน้ำพาปนอยู่ร่วมด้วย ตะกอนเศษหินเชิงเขา ในพื้นที่วางตัวรองรับตะกอนตะพักลำน้ำและตะกอนธารน้ำพา มีการแผ่กระจายตัวชัดเจนอยู่ บริเวณทางตอนล่างของกลุ่มน้ำ ครอบคลุมพื้นที่ 1.92 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่

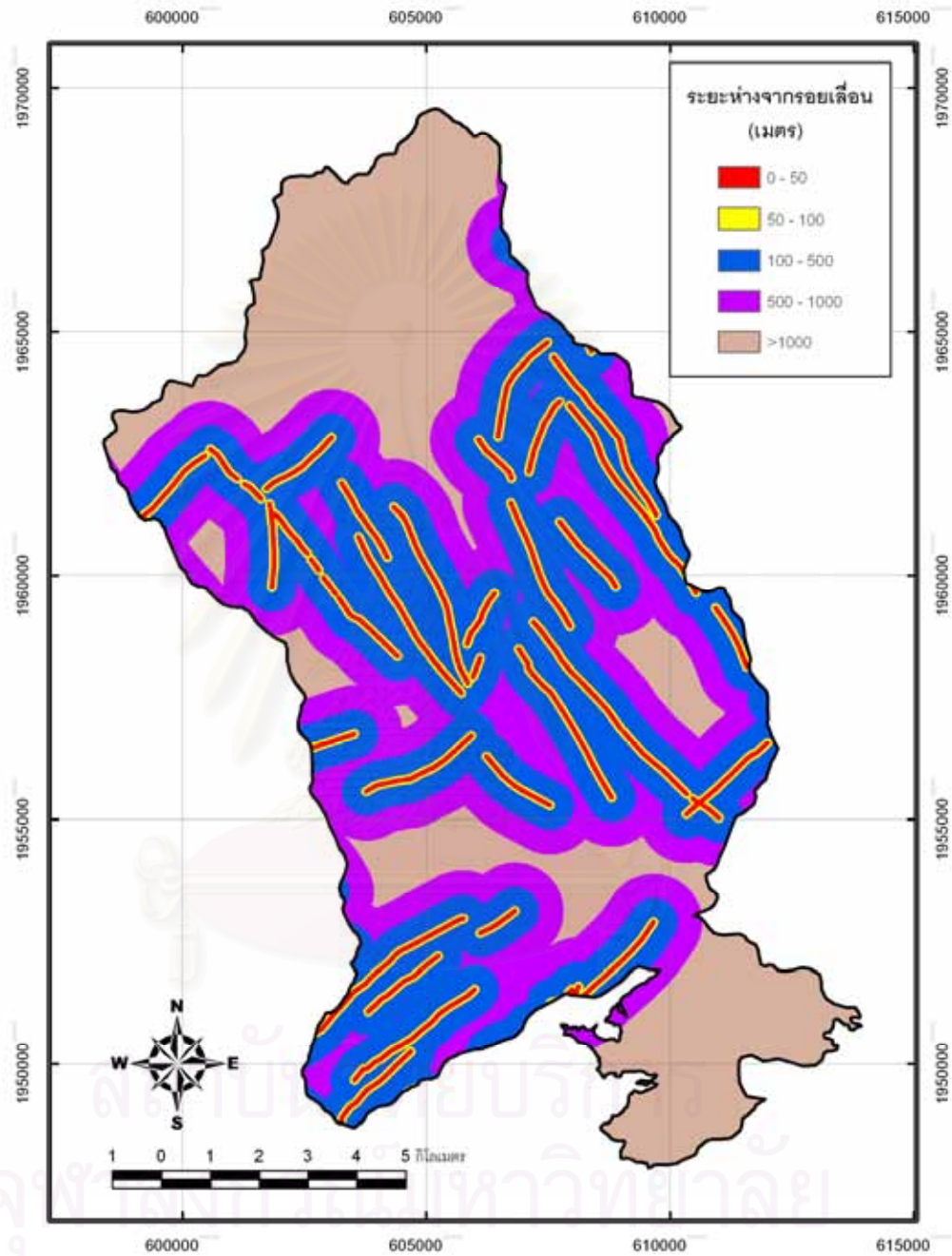
ตะกอนธารน้ำพา (Qa) ประกอบด้วยตะกอนหลายชนิดปนกัน ได้แก่ หวาย หวายแป้ง ดิน เกล็ด และกรวดเม็ดละเอียด ในบางบริเวณพบกรวดละเอียดปนกับลูกรัง ความหนาของตะกอน ธารน้ำพาประมาณ 5-10 เมตร ตะกอนธารน้ำพาสะสมตัวอยู่ตามที่ราบ และระหว่างที่ราบกับที่ลาดเขา ปรากฏเป็นพื้นที่ราบลุ่มของทางน้ำสาขาและทางน้ำหลัก เช่น น้ำแม่พูล และคลองแม่พ่อง มีการแผ่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่ตามบริเวณทางน้ำ และพื้นที่ราบ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่บริเวณทางตอนล่างของพื้นที่ลุ่มน้ำ หน่วยตะกอนนี้ครอบคลุมพื้นที่ 17.37 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่

### 3.4.2 ธรณีวิทยาโครงสร้าง

ข้อมูลธรณีวิทยาโครงสร้างในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล เป็นข้อมูลรอยเลื่อน ที่นำเข้ามาจากแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณี (2550) และทำการปรับแต่งข้อมูลจากการแปลภาพถ่ายดาวเทียมแลนแซต TM7 โดยใช้ภาพสีผสมเท็จ เพื่อแปลความหมายโครงสร้างแนวเส้น (lineament) ที่ปรากฏบนพื้นผิว โดยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ธรณีวิทยาโครงสร้างประกอบด้วยแนวรอยเลื่อน ซึ่งวางตัวอยู่ในแนวหลัก 2 ทิศทางคือ แนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยโครงสร้างแนวเส้นที่มีความยาวมากที่สุดเท่ากับ 6.23 กิโลเมตร

จากแผนที่รอยเลื่อนและโครงสร้างแนวเส้น จะถูกนำไปจัดทำข้อมูลแผนที่ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น โดยนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่โดยสร้างแนวกันชน ในพื้นที่ศึกษาจัดแบ่งกลุ่มของระยะห่างจากรอยเลื่อน (รูปที่ 3.9) เป็น 0 ถึง 50 เมตร 50 ถึง 100 เมตร 100 ถึง 500 เมตร 500 ถึง 1,000 เมตร และระยะห่างจากรอยเลื่อนมากกว่า 1,500 เมตร

จากแผนที่ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น พบว่า ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล พื้นที่ที่อยู่ห่างจากโครงสร้างแนวเส้นมากกว่า 100 เมตร มีพื้นที่ 150.20 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น 90.8 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ และพื้นที่ที่มีระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้นน้อยที่สุด (0 ถึง 10 เมตร) คิดเป็นพื้นที่ 0.86 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3.9 แผนที่ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น (Buffering distance to lineament) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล



### 3.5 คุณสมบัติของดิน (soil properties)

ข้อมูลกลุ่มชุดดิน เป็นข้อมูลที่รวบรวมได้จากจากแผนที่กลุ่มชุดดิน มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน การจัดเตรียมฐานข้อมูลกลุ่มชุดดินและความหนาของชั้นดิน จัดทำโดยการรวบรวมคำอธิบายคุณสมบัติของดิน โดยอ้างอิงจากรายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) และรายงานการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจ จังหวัดอุดรธานี (บุญยงค์ ภูผาเรือง และคณะ, 2534)

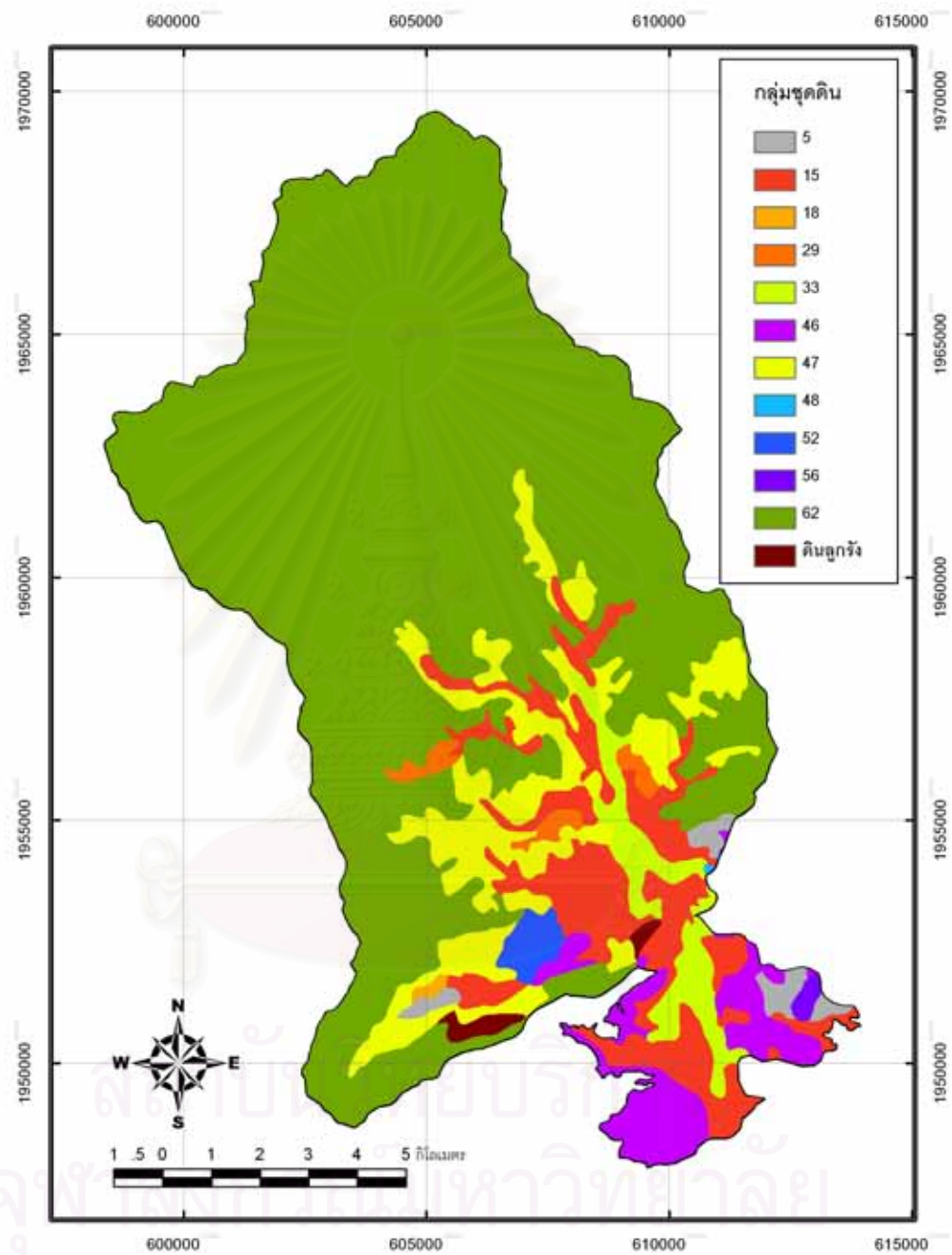
#### 3.5.1 กลุ่มชุดดิน (soil group)

พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ประกอบด้วย 12 กลุ่มชุดดิน (รูปที่ 3.10) โดยแบ่งออกเป็นดินบนพื้นที่ราบ (กลุ่มชุดดินที่ 5 15 และ 18) และดินบนพื้นที่ดอน (กลุ่มชุดดินที่ 29 33 46 47 48 52 56 และ 62) และกลุ่มชุดดินที่เป็นดินลูกรัง มีรายละเอียดดังนี้

กลุ่มชุดดินที่ 5 (ชุดดินหางดง ชุดดินพาน และชุดดินละงู) เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำจืด บริเวณที่ราบต่ำ สภาพพื้นที่ราบเรียบถึงเกือบราบเรียบดินเหนียว ดินชั้นบนเป็นดินเหนียวปนทรายสีเทาเข้ม ดินชั้นล่างเป็นดินเหนียวสีเทาอ่อน เทาอ่อนปนน้ำตาล สภาพพื้นดินเหมาะสมในการทำนา และมีศักยภาพในการปลูกพืชไร่ กลุ่มชุดดินที่ 5 มีพื้นที่ 1.03 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

กลุ่มชุดดินที่ 15 (ชุดดินเฉลียงลับ ชุดดินน่าน ชุดดินแม่สาย ชุดดินลับแล ชุดดินหล่มสัก และชุดดินแม่ทะ) เป็นดินที่เกิดจากตะกอนลำนํ้าพัดพามาทับถมค่อนข้างใหม่ บริเวณตะพักลำนํ้าระดับต่ำ (semi recent terrace) พื้นที่ราบเรียบถึงเกือบราบเรียบ ดินชั้นบนมีสีน้ำตาลปนเทา ดินชั้นล่างมีสีเทาปนชมพู พบเหล็กและแมงกานีสจับตัวกันเป็นก้อนในดินชั้นล่างดินมีการระบายน้ำค่อนข้างเลว เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง พื้นที่ดินเหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวในช่วงฤดูฝน และปลูกพืชไร่ พืชผักในช่วงฤดูแล้ง กลุ่มชุดดินที่ 15 มีพื้นที่ 10.03 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

กลุ่มชุดดินที่ 18 (ชุดดินเขาย้อย และชุดดินชลบุรี) เกิดจากการทับถมของตะกอนที่น้ำพัดพามาทับถมเป็นเวลานาน บริเวณตะพักลำนํ้าระดับต่ำ พื้นที่ราบเรียบถึงเกือบราบเรียบ เนื้อดินละเอียดปานกลาง ดินบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วน ดินล่างเป็นดินเหนียวปนทรายถึงดินเหนียวร่วน มีการระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงเลว ศักยภาพของกลุ่มชุดดินเหมาะสำหรับการทำนามากกว่าการทำไร่ กลุ่มชุดดินที่ 18 มีพื้นที่ 0.12 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล



รูปที่ 3.10 แผนที่กลุ่มชุดดิน (soil group unit) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูน

กลุ่มชุดดินที่ 29 (ชุดดินบ้านจ้อย ชุดดินเชียงของ ชุดดินโชคชัย ชุดดินห้างฉัตร ชุดดินเขาใหญ่ ชุดดินแม่แตง ชุดดินหนองมด ชุดดินปากช่อง และชุดดินสูงเนิน) เกิดจากตะกอนที่พัดพามาทับถมเป็นเวลานาน (old alluvium) บริเวณตะพักลำน้ำระดับกลางถึงสูงและพื้นที่ที่เหลื่อค้ำจากการกัดกร่อน สภาพพื้นที่เป็นที่ดอนถึงเนินเขา เนื้อดินเป็นดินเหนียวสีน้ำตาล สีแดง สีแดงปนเหลือง มีการระบายน้ำดี ศักยภาพของกลุ่มชุดดินเหมาะสำหรับการปลูกพืชไร่ ไม้ผล และพืชผัก ปัญหาของกลุ่มชุดดินนี้คือ การชะล้างพังทลายของหน้าดิน การขาดแคลนน้ำในการเพาะปลูกในฤดูแล้ง และดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ กลุ่มชุดดินที่ 29 มีพื้นที่ 0.91 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

กลุ่มชุดดินที่ 33 (ชุดดินกำแพงแสน ชุดดินลำสนธิ ชุดดินน้ำดุก ชุดดินธาตุพนม และชุดดินตะพานหิน) เกิดจากตะกอนที่น้ำพัดพามาทับถมค่อนข้างใหม่ (semi recent alluvium) บริเวณตะพักลำน้ำค่อนข้างใหม่ (semi recent terrace) สันริมน้ำเก่า (old river levee) และเนินตะกอนรูปพัด (alluvial fan) สภาพพื้นที่ค่อนข้างเรียบถึงเป็นลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง สีน้ำตาล หรือน้ำตาลปนแดง การระบายน้ำดีปานกลางถึงดี กลุ่มชุดดินเหมาะสำหรับการปลูกพืชหลายชนิด ได้แก่ ข้าว พืชไร่ ไม้ผล และพืชผัก โดยการใช้ประโยชน์ที่ดีที่สุดเหมาะสำหรับการปลูกพืชแบบไร่นาสวนผสม กลุ่มชุดดินที่ 33 มีพื้นที่ 3.24 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

กลุ่มชุดดินที่ 46 (ชุดดินเชียงคาน ชุดดินกบินทร์บุรี ชุดดินโป่งตอง และชุดดินสุรินทร์) เป็นดินที่เกิดจากบริเวณที่เหลื่อค้ำจากการกัดกร่อนและทางน้ำ สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงที่ลาดเชิงเขา เนื้อดินเป็นดินเหนียวถึงดินเหนียวปนกรวดลูกรัง สีแดงปนเหลืองถึงสีแดง การระบายน้ำดีปานกลางถึงดี การชะล้างพังทลายระดับปานกลางถึงรุนแรง ศักยภาพของกลุ่มชุดดินไม่เหมาะสมในการปลูกพืชไร่ หรือพืชยืนต้น เนื่องจากเป็นดินตื้น และดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ กลุ่มชุดดินที่ 46 มีพื้นที่ 4.07 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

กลุ่มชุดดินที่ 47 (ชุดดินลี่ ชุดดินมวกเหล็ก ชุดดินโคกปรือ ชุดดินนครสวรรค์ ชุดดินหินซ้อ ชุดดินท่าลี่ ชุดดินสบปราบ ชุดดินโป่งน้ำร้อน ชุดดินไพศาลี และชุดดินงาวเกิดจากการสลายตัวและผุพังของหินตะกอนเนื้อละเอียด และหินอัคนี (หินบะซอลต์ และหินแอนดีไซต์) บริเวณพื้นที่เหลื่อค้ำจากการกัดกร่อน และที่ลาดเชิงเขา สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงเนินภูเขา เนื้อดินเป็นดินร่วนปนกรวดหรือเศษหิน สีน้ำตาล น้ำตาลปนแดง แดงปนเหลือง หรือสีแดง ความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติปานกลางถึงสูง แต่ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากเกิดปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดินอย่างรุนแรง ความเหมาะสมในการเพาะปลูก

เหมาะสำหรับพืชไร่รากตื้นเท่านั้น กลุ่มชุดดินที่ 47 เป็นดินที่ควรทำการอนุรักษ์ และปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน กลุ่มชุดดินที่ 47 มีพื้นที่ 9.77 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

กลุ่มชุดดินที่ 48 (ชุดดินแมริม ชุดดินนาเฉลียง ชุดดินน้ำซุน ชุดดินพะเยา ชุดดินท่ายาง) เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำเก่า และการสลายผุพังตัวของหินทราย บริเวณตะพักลำน้ำระดับกลางถึงสูงและเนินเขา สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงชันเชิงเขา เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ดินเหนียวปนทรายปนเศษหิน หรือดินเหนียวปนกรวดลูกรัง สีนํ้าตาล สีแดงปนเหลือง หรือสีแดง ดินค่อนข้างไม่เหมาะสมถึงไม่เหมาะสมในการปลูกพืช เนื่องจากเป็นดินตื้น และมีปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดินมาก กลุ่มชุดดินที่ 48 มีพื้นที่ 0.02 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

กลุ่มชุดดินที่ 52 (ชุดดินบึงขันธ์ และชุดดินตาคลี) เกิดจากการสลายตัวของหินปูนและหินอัคนีเนื้อละเอียดที่เคลื่อนย้ายลงมาทับถมตามที่ลาดเชิงเขา (colluvial material) สภาพพื้นที่ค่อนข้างเรียบถึงลูกคลื่นลอนลาด เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวหรือดินเหนียวสีนํ้าตาลเข้มหรือสีดำ การระบายน้ำดีปานกลางถึงดี มีความสามารถในการให้น้ำซึมป่าเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ปานกลางถึงสูง เหมาะสมในการปลูกพืชไร่รากตื้น กลุ่มชุดดินที่ 52 มีพื้นที่ 0.81 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

กลุ่มชุดดินที่ 56 (ชุดดินโพนงาม ชุดดินภูสะนา และชุดดินลาดหญ้า) เกิดจากการสลายตัวของหินตะกอนหรือหินอัคนีเนื้อหยาบ บริเวณพื้นที่เหลือค้างจากการกัดกร่อน สภาพพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดถึงเนินเขา เนื้อดินเป็นดินร่วน หรือดินร่วนปนทราย ดินชั้นล่างเป็นดินเหนียวปนทรายและปนเศษหิน สีนํ้าตาล นํ้าตาลแก่ และแดงปนเหลือง มีการระบายน้ำดี ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีปัญหาการชะล้างพังทลายของหน้าดินปานกลางถึงรุนแรง มีการใช้ประโยชน์ในการปลูกพืชไร่ กลุ่มชุดดินที่ 56 มีพื้นที่ 0.22 เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

กลุ่มชุดดินที่ 62 เป็นกลุ่มชุดดินที่มีพื้นที่มากที่สุดในกลุ่มน้ำย่อยแม่พูล (69.26 เปอร์เซ็นต์) ประกอบด้วยดินหรือชุดดินหลายชุด ที่มีคุณสมบัติและลักษณะแตกต่างกัน มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติที่ไม่แน่นอน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของหินซึ่งเป็นวัตถุดิบกำเนิดของดินในบริเวณนั้นๆ เป็นกลุ่มชุดดินที่ไม่เหมาะสมในการทำเกษตร เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขตลุ่มน้ำชั้นที่ 1 ซึ่งควรสงวนพื้นที่ให้คงสภาพเป็นป่าไม้ที่สมบูรณ์ เพื่อเป็นแหล่งต้นน้ำลำธาร กรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้พื้นที่ได้ ควรใช้ประโยชน์พื้นที่ในเชิงอนุรักษ์ หรือใช้พื้นที่ในด้านวนเกษตรเท่านั้น

### 3.5.2 ความหนาของชั้นดิน (Soil thickness)

ข้อมูลความหนาของชั้นดิน รวบรวมได้จากแผนที่กลุ่มชุดดิน มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน การจัดเตรียมฐานข้อมูลความหนาของชั้นดิน จัดทำโดยการรวบรวมคำอธิบาย

คุณสมบัติของแต่ละกลุ่มชุดดิน ซึ่งจะระบุถึงความหนาของชั้นดินของกลุ่มชุดดินนั้นๆ โดยอ้างอิงจากรายงานการจัดการทรัพยากรดิน เพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) และรายงานการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจ จังหวัดอุดรดิตถ์ (บุญยงค์ ฎาเรือง และคณะ, 2534)

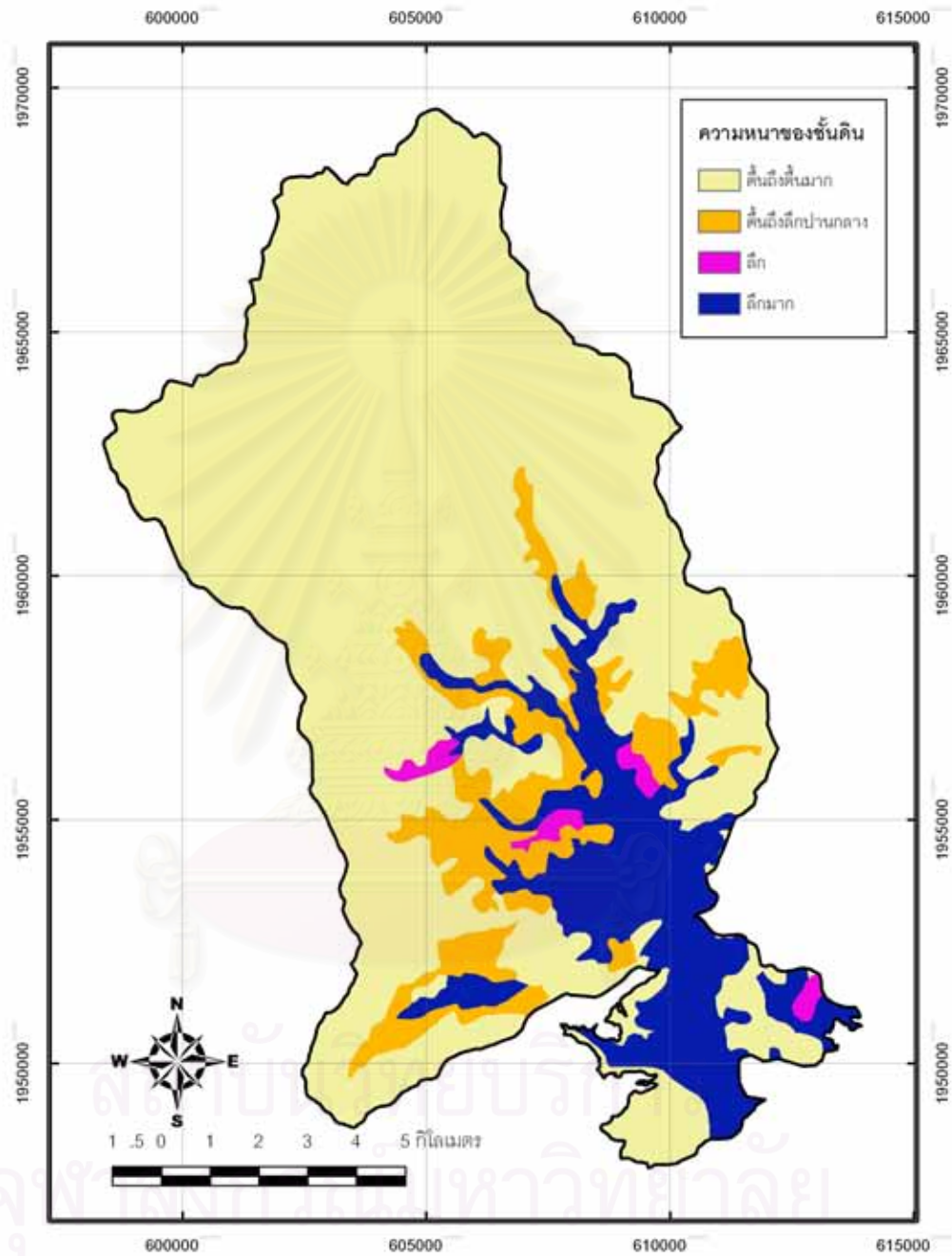
ความหนาของชั้นดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม (รูปที่ 3.11) ได้แก่ 1. ดินที่มีความหนาของชั้นดินตื้นถึงตื้นมาก (0-30 เซนติเมตร) 2. ดินที่มีความหนาของชั้นดินตื้นถึงลึกปานกลาง (30-50 เซนติเมตร) 3. ดินที่มีความหนาของชั้นดินลึก (50-100 เซนติเมตร) 4. ดินที่มีความหนาของชั้นดินลึกมาก (มากกว่า 100 เซนติเมตร)

ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล พบว่าดินที่มีความหนาของชั้นดินตื้นถึงตื้นมากครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด คิดเป็น 74.78 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความหนาของชั้นดินชนิดนี้สัมพันธ์กับกลุ่มชุดดินที่ 62 ซึ่งเป็นกลุ่มชุดดินที่มีพื้นที่มากที่สุดและเป็นกลุ่มชุดดินที่มีหน้าดินตื้น

### 3.6 การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Landuse)

การจัดเตรียมฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในการศึกษาครั้งนี้ จะศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียมแลนดแซต ร่วมกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2543) และแผนที่สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตำบลแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุดรดิตถ์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2537) โดยในการศึกษาขั้นตอนแรกสุดจะทำการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก ๆ คือ พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ชุมชน พื้นที่เกษตร และพื้นที่เปิดโล่ง เป็นหลัก หลังจากนั้นจะทำการซ้อนทับกับแผนที่ของกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในรายละเอียดของชนิดป่าไม้ต่อไป

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ ภาพถ่ายดาวเทียมแลนแซตทีเอ็ม 7 ซึ่งถ่ายเมื่อวันที่ 10 มีนาคม 2549 โดยภาพถ่ายดาวเทียมที่นำเข้า จะถูกตรวจสอบและนำมาปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง (georeferencing) โดยอาศัยจุดควบคุมภาคพื้น (Ground Control Point, GCPs) อ้างอิงโดยค่าพิกัดตำแหน่งจากแผนที่สภาพภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร จากข้อมูลเชิงพื้นที่ ที่มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งแล้ว เช่น ตำแหน่งทางน้ำ หรือตำแหน่งของถนน การปรับแก้เชิงตำแหน่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญเนื่องจากในการแปลภาพจำเป็นต้องใช้ข้อมูลภาพทั้งหมดร่วมกันและกระทำไปพร้อมๆ กัน ดังนั้นตำแหน่งต่างๆ ในพื้นที่เดียวกันต้องไม่มีความคลาดเคลื่อนจากกันมากนัก โดยทำการตรวจสอบจากค่า Root Mean Square errors (RMS) ซึ่งค่า RMS ที่ยอมรับได้จะมีค่าบวกหรือลบไม่เกิน 0.5 จุดภาพ และเมื่อทำการปรับแก้เสร็จแล้ว จึงจะทำการตรวจสอบซ้ำ โดยการนำแผนที่



รูปที่ 3.11 แผนที่แสดงความหนาของชั้นดิน (soil thickness) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

ถนนและแผนที่ทางน้ำมาซ้อนทับกับข้อมูลภาพที่ปรับแก้ หากตำแหน่งส่วนใหญ่ของภาพยังคงคลาดเคลื่อน จำเป็นต้องทำการปรับแก้ภาพเหล่านั้นอีกครั้ง เพื่อให้เกิดความถูกต้องมากที่สุด รูปแบบของสมการที่ใช้คำนวณความคลาดเคลื่อน (RMS) มีดังต่อไปนี้

$$\text{RMS สำหรับแกนราบ X} = (\text{SUM } (X1-Xorg)^2 / (n-k))$$

$$\text{RMS สำหรับแกนราบ Y} = (\text{SUM } (Y1-Yorg)^2 / (n-k))$$

โดย

X1 = ค่าพิกัดแนวราบที่คำนวณได้ในข้อมูลภาพที่ยังไม่ได้ปรับแก้

Y1 = ค่าพิกัดแนวตั้งที่คำนวณได้ในข้อมูลภาพที่ยังไม่ได้ปรับแก้

Xorg = ค่าพิกัดแนวราบของจุดควบคุมทางภาคพื้นดินในภาพ

Yorg = ค่าพิกัดแนวตั้งของจุดควบคุมทางภาคพื้นดินในภาพ

n = จำนวนจุดควบคุมทางภาคพื้นดิน

k = ค่า Degree of freedom หรือ จำนวนจุด GCP ที่ต้องใช้ ซึ่งขึ้นกับรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ในการแปลงพิกัด

ค่า RMS Error สามารถบอกได้ว่า จุดควบคุมภาคพื้นดินมีตำแหน่งพิกัดใกล้เคียงกับพิกัดอ้างอิงเพียงใด โดยทั่วไปค่าความคลาดเคลื่อน ที่ยอมรับได้จะมีค่าบวกหรือลบไม่เกิน 0.5 จุดภาพ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อน มีค่าสูงแสดงว่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมีมาก การกำหนดจุด GCP ในตำแหน่งใหม่ที่เหมาะสมสามารถที่จะเพิ่มความถูกต้องของการแปลงค่าพิกัดได้

จากการพิจารณาเลือกช่วงคลื่น ได้เลือกกลุ่มข้อมูลชุด 5,4,3/R,G,B ในการจำแนก เนื่องจากให้ความชัดเจนในเรื่องของการสะท้อนของวัตถุ สามารถมองเห็นการใช้ประโยชน์ที่ดินได้หลากหลาย จากนั้นนำภาพสีผสมที่ได้ของแต่ละช่วงเวลามาทำการสำรวจค่าการสะท้อนของข้อมูลภาพอย่างละเอียด เพื่อกำหนดลำดับชั้นของชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดินต่าง โดยการจำแนกประเภทแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (maximum likelihood classifier) ซึ่งเป็นวิธีที่มีความถูกต้องมากที่สุดแต่ใช้เวลาในการคำนวณมาก เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ (Curran, 1985) หลักการทำงาน คือครั้งแรกจะมีการคำนวณเวกเตอร์เฉลี่ย ค่าแปรปรวน และค่าสหสัมพันธ์ของช่วงคลื่นที่นำมาใช้ในการจำแนกประเภท ของชั้นข้อมูลจากข้อมูลตัวอย่างโดยตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าแต่ละชั้นข้อมูลจะต้องมีการกระจายตัวเป็นแบบปกติ (normal distribute) การกระจายตัวของจุดภาพรอบๆค่าเฉลี่ย อธิบายได้โดยทฤษฎีของความน่าจะเป็นหรือ "Probability

Function” โดยการจำแนกจะกำหนดจำนวนจุดภาพที่จะทำพื้นที่ตัวอย่าง (Training Area) อย่างน้อย 30 จุดภาพต่อการใช้ที่ดินแต่ละประเภท และในจำนวนจุดภาพที่เลือกมาเป็นตัวแทนของการใช้ที่ดินแต่ละประเภทจะเลือกพื้นที่ตัวอย่างให้กระจายอยู่หลายบริเวณ บนข้อมูลดาวเทียม เพื่อหลีกเลี่ยงความลำเอียง โดยจะกำหนดจำนวนพื้นที่ตัวอย่างของการใช้ที่ดินแต่ละประเภทอย่างน้อย 3 แห่ง

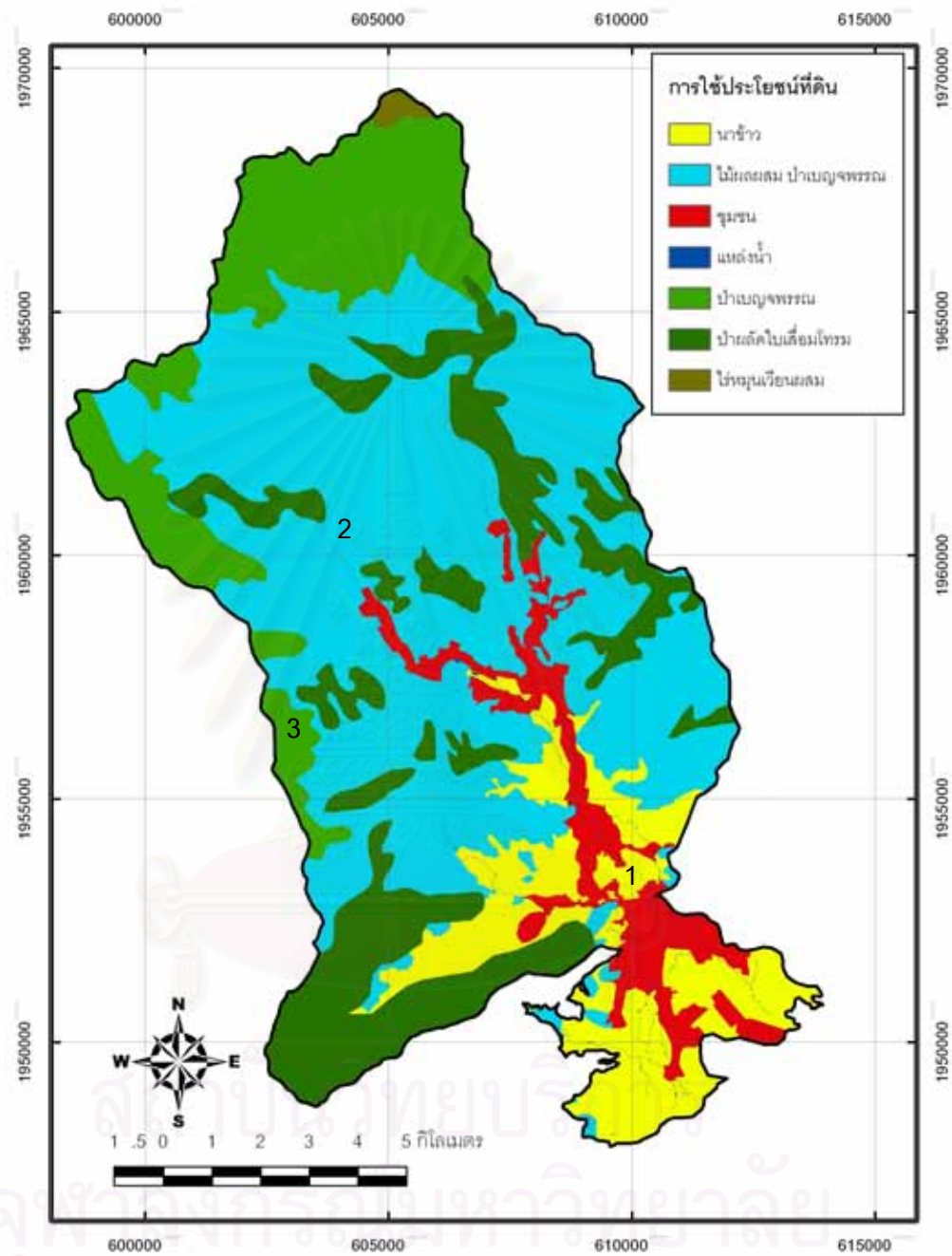
เนื่องจากผลลัพธ์ที่ผ่านการจำแนกประเภทข้อมูล ใช้หลักกระบวนการวิเคราะห์ภาพที่กระทำที่ละจุดภาพ เพราะฉะนั้นจะเกิดจุดภาพที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ขนาดเล็กๆ ปะปนอยู่ในกลุ่มของข้อมูลประเภทอื่น ซึ่งจะถือได้ว่าเป็นข้อมูลรบกวน (noise) ที่ต้องขจัดออกไป ดังนั้น จึงมีความจำเป็นด้วยเหตุผลของความไม่ต่อเนื่องของจุดภาพ ทำให้ข้อมูลแต่ละประเภทมีลักษณะการกระจายตัว จึงต้องทำการวิเคราะห์หลังการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธีการกรองภาพ (image filtering) ก่อนที่จะนำไปใช้งานในขั้นตอนอื่นๆ ต่อไป

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ จากภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซต ได้กำหนดพื้นที่ตัวอย่างสำหรับการจัดกลุ่มการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็น 4 ประเภทหลักๆ สามารถจำแนกพื้นที่ออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ชุมชน พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่นาข้าว จากการจำแนกพบว่าพื้นที่ป่าไม้ที่จำแนกได้ดังกล่าวข้างต้นเป็นชั้นข้อมูลที่ประกอบด้วยพื้นที่ป่าไม้ ไม้พุ่มเตี้ย รวมทั้งไม้ผล หรือพื้นที่ที่มีหญ้าปกคลุมเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกัน ทำให้ค่าการสะท้อนของข้อมูลถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ดังนั้นในการจำแนกประเภทของป่าไม้ในพื้นที่ศึกษาจะทำได้ยาก หากใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพียงอย่างเดียว ดังนั้นหลังการจำแนกข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากภาพถ่ายดาวเทียมออกเป็น 4 ประเภทหลักๆ แล้ว จะจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในรายละเอียดของแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ในฐานะข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2543) โดยการนำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่สำรวจโดยกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งจำแนกย่อยออกเป็นพื้นที่ป่าเบญจพรรณ พื้นที่ไม้ผลผสม พื้นที่ป่าผลัดใบเสื่อมโทรม และพื้นที่ไร่หมุนเวียนผสม มาวิเคราะห์เชิงซ้อนทับกับชั้นข้อมูลพื้นที่ป่าที่จำแนกได้ เพื่อแยกพื้นที่ป่าไม้ออกเป็นกลุ่มต่างๆ

ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล จากภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่าพื้นที่ศึกษาประกอบด้วยการใช้ประโยชน์ที่ดิน 7 ลักษณะ (รูปที่ 3.12 รูปที่ 3.13) คือ

1. พื้นที่นาข้าว กระจายตัวอยู่บริเวณที่ราบ บริเวณตอนล่างของพื้นที่ลุ่มน้ำ คิดเป็นพื้นที่ 11.88 เฮกตาร์
2. พื้นที่ชุมชน พบกระจายตัวตามที่ราบ ที่ราบเชิงภูเขา คิดเป็นพื้นที่ 6.81 เฮกตาร์





รูปที่ 3.12 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use) บริเวณลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ในปี พ.ศ. 2546  
(หมายเลขแสดงตำแหน่งภาพถ่ายในรูปที่ 3.13)



1. การใช้ประโยชน์พื้นที่แบบพื้นที่ทำนา พิกัด 609958E, 1953531N



2. การใช้ประโยชน์พื้นที่แบบไม้ผลผสมและป่าเบญจพรรณ พิกัด 604198E, 1960076N



การใช้ประโยชน์พื้นที่แบบป่าเบญจพรรณ พิกัด 602996E, 1956496N

รูปที่ 3.13 ภาพถ่ายแสดงการใช้ประโยชน์พื้นที่บางบริเวณ ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูน

3. พื้นที่ไม้ผลผสมและป่าเบญจพรรณ ซึ่งไม้ผลในพื้นที่อำเภอลับแลได้แก่ การปลูกสวนทุเรียน และสวนกลางสาตเป็นหลัก ร่วมกับไม้ผลชนิดอื่นๆ เช่น มังคุด มะไฟ ชมพู ฯลฯ การใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดนี้ ถือเป็นการใช้ประโยชน์พื้นที่แบบการบุกเบิกพื้นที่ป่าไม้ โดยคิดเป็นการใช้ประโยชน์พื้นที่มากที่สุดในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ถึง 47.98 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่

4. พื้นที่ป่าเบญจพรรณ เป็นป่าผลัดใบประเภทหนึ่งที่ต้นไม้ส่วนใหญ่มีการผลัดใบในช่วงฤดูแล้งและเริ่มมีการผลิใบใหม่ในต้นฤดูฝน พบบริเวณภูเขาและเทือกเขาสูงของพื้นที่ลุ่มน้ำ คิดเป็น 15.12 เปอร์เซ็นต์

5. พื้นที่ป่าผลัดใบเสื่อมโทรม พบกระจายตัวตามเชิงเขา และภูเขา ทิวไปของพื้นที่ลุ่มน้ำ คิดเป็น 17.64 เปอร์เซ็นต์

6. พื้นที่ไร่หมุนเวียนผสม พบเพียง 0.35 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ อยู่ทางเหนือสุดของลุ่มน้ำ

7. พื้นที่แหล่งน้ำได้แก่ ทางน้ำหลักและพื้นที่อ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก คิดเป็น 0.22 เปอร์เซ็นต์

### 3.7 ร่องรอยของตะกอนถล่มและน้ำปนตะกอนป่า (scar-scouring)

ในการหาปัจจัยของการเกิดตะกอนถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ข้อมูลตำแหน่งของการเกิดร่องรอยของตะกอนถล่มและน้ำปนตะกอนป่าที่เคยเกิดขึ้น เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญมาก การสำรวจหาตำแหน่งร่องรอยที่เกิดขึ้นจริงทางภาคสนาม นับเป็นวิธีการที่ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำ อย่างไรก็ตามในการหาตำแหน่งร่องรอยในการสำรวจภาคสนามนั้น มีข้อจำกัดหลายๆ ด้าน ทั้งปัจจัยด้านระยะเวลาและค่าใช้จ่าย รวมไปถึงการคมนาคมเข้าถึงพื้นที่ในหลายบริเวณของพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วยเทือกเขาสูงโดยทั่วไป กระทำได้ค่อนข้างลำบาก และอาจต้องใช้เวลาาน

วิธีการหนึ่งซึ่งสามารถประเมินร่องรอยของตะกอนถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ที่เคยเกิดขึ้นในอดีต สามารถกระทำได้ดีโดยอาศัยการประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกล จากภาพถ่ายดาวเทียมที่ถ่ายในบริเวณพื้นที่เดียวกัน แต่ต่างเวลา (ช่วงก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติ) ร่วมกับการสำรวจภาคสนาม เพื่อกำหนดและตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการแปลความหมายในห้องปฏิบัติการ เป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงเชิงตัวเลขของแต่ละจุดภาพ เพื่อแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ในพื้นที่ศึกษาได้เป็นอย่างดี

#### 3.7.1 ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซต

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอแมลไลซ์ในครั้งนี้ อาศัยข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซต โดยรายละเอียดช่วงคลื่นความละเอียดของภาพถ่าย และการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซตไปประยุกต์ใช้ แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดช่วงคลื่น ความละเอียด และการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนดแซต TM7 มาประยุกต์ใช้

แบนด์	ช่วงคลื่น	ความละเอียด	การประยุกต์ใช้
1	0.45-0.52 $\mu$ m (Blue-Green)	30 m	สามารถทะลุน้ำได้โดยเฉพาะบริเวณที่ตื้นน้อย เป็นประโยชน์ในการทำแผนที่บริเวณชายฝั่ง แสดงความแตกต่างระหว่างดินและพืชพรรณ ความแตกต่างระหว่างป่าผลัดใบและป่าไม่ผลัดใบ เช่น ป่าสน (การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์) มีไต่อกรมีหรือไม่มีคลอโรฟิลล์ และแสดงดินประเภทต่างๆ
2	0.52-0.60 $\mu$ m (Green)	30 m	ให้รายละเอียดค่าการสะท้อนสีเขียวเป็นประโยชน์ในการหาอัตราการเจริญเติบโตของพืช (แสดงการสะท้อนพลังงานสีเขียวของพืชที่เจริญเติบโตแล้ว) การประเมินความแข็งแรงของพืช (สูงสุดที่ 0.55 ไมโครมิเตอร์) ประเมินการตกตะกอน และสามารถทะลุน้ำที่ค่อนข้างขุ่นได้
3	0.63-0.69 $\mu$ m (Red)	30 m	ให้รายละเอียดเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์ในพืชพรรณชนิดต่างๆ(ช่วยในการแยกชนิดของพืชพรรณ)
4	0.76-0.90 $\mu$ m (Near IR)	30 m	ตรวจวัดปริมาณมวลชีวะ (Biomass) แสดงความหนาแน่นของพืชพรรณ และศึกษาความเครียดของพืชพรรณ (เช่น ขาดน้ำ, แมลงทำลาย) รวมทั้งดูความแตกต่างของส่วนที่เป็นน้ำและไม่ใช่น้ำ
5	1.55-1.75 $\mu$ m (Short wave IR)	30 m	ให้รายละเอียดปริมาณความชื้นของพืชพรรณและความชื้นของดิน พืชที่มีความเครียด (stress) และแร่ธาตุ ตลอดจนเป็นประโยชน์ในการแยกความแตกต่างระหว่างหิมะกับเมฆ
6	10.4- 12.5 $\mu$ m (Thermal IR)	120 m (60 m เฉพาะ LANDSAT 7)	ใช้หาอุณหภูมิของพื้นผิว จำแนกแหล่งชุมชน จำแนกบริเวณที่ถูกเผาไหม้จากแหล่งน้ำและการหาแหล่งความร้อน ใช้ตรวจการเหี่ยวเฉาอันเนื่องมาจากความร้อนในพืช แสดงความแตกต่างของความชื้นของดิน
7	2.08-2.35 $\mu$ m(Short wave IR)	30 m	มีศักยภาพในการจำแนกชนิดของหินในการหาแหล่งแร่ธาตุ จำแนกชนิดของดินและจำแนกบริเวณหรือแหล่งน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิจน (Hydrothermally altered zones)
8	0.52-0.90 $\mu$ m (Green - Near IR)	15 m	ความสามารถถ่ายภาพทางอากาศ เนื่องจากมีความละเอียดของพื้นที่มากโดยเฉพาะข้อมูลเชิงเส้น ทำให้สามารถนำไปศึกษาด้านการทำแผนที่ได้

### 3.7.2 ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalize Difference Vegetation Index : NDVI)

การปฏิบัติการระหว่างภาพ (image operation) เป็นการคำนวณสัดส่วนระหว่างข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่น โดยคำนวณข้อมูลหลายช่วงคลื่นด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ เช่น การบวก การลบ การคูณ และการหาร ซึ่งสามารถให้ผลลัพธ์ที่มีรายละเอียดในบางเรื่องมากขึ้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของช่วงคลื่นที่จะนำมาคำนวณระหว่างข้อมูลภาพหลายช่วงคลื่น

ดัชนีพืชพรรณ (vegetation index) เป็นการปฏิบัติการระหว่างภาพ โดยการคำนวณช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณมาทำสัดส่วนซึ่งกันและกัน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในการจำแนกบริเวณที่มีปริมาณพืชพรรณปกคลุม มีประโยชน์ในการติดตามการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพืชพรรณ ช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณได้แก่ ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นสีแดง มีคุณสมบัติในการวัดค่าการสะท้อนจากส่วนที่มีการดูดกลืนพลังงานในใบพืช หรือส่วนที่มีคลอโรฟิลล์ และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ มีคุณสมบัติในการแยกแยะพืชพรรณและวัดปริมาณมวลชีวภาพ

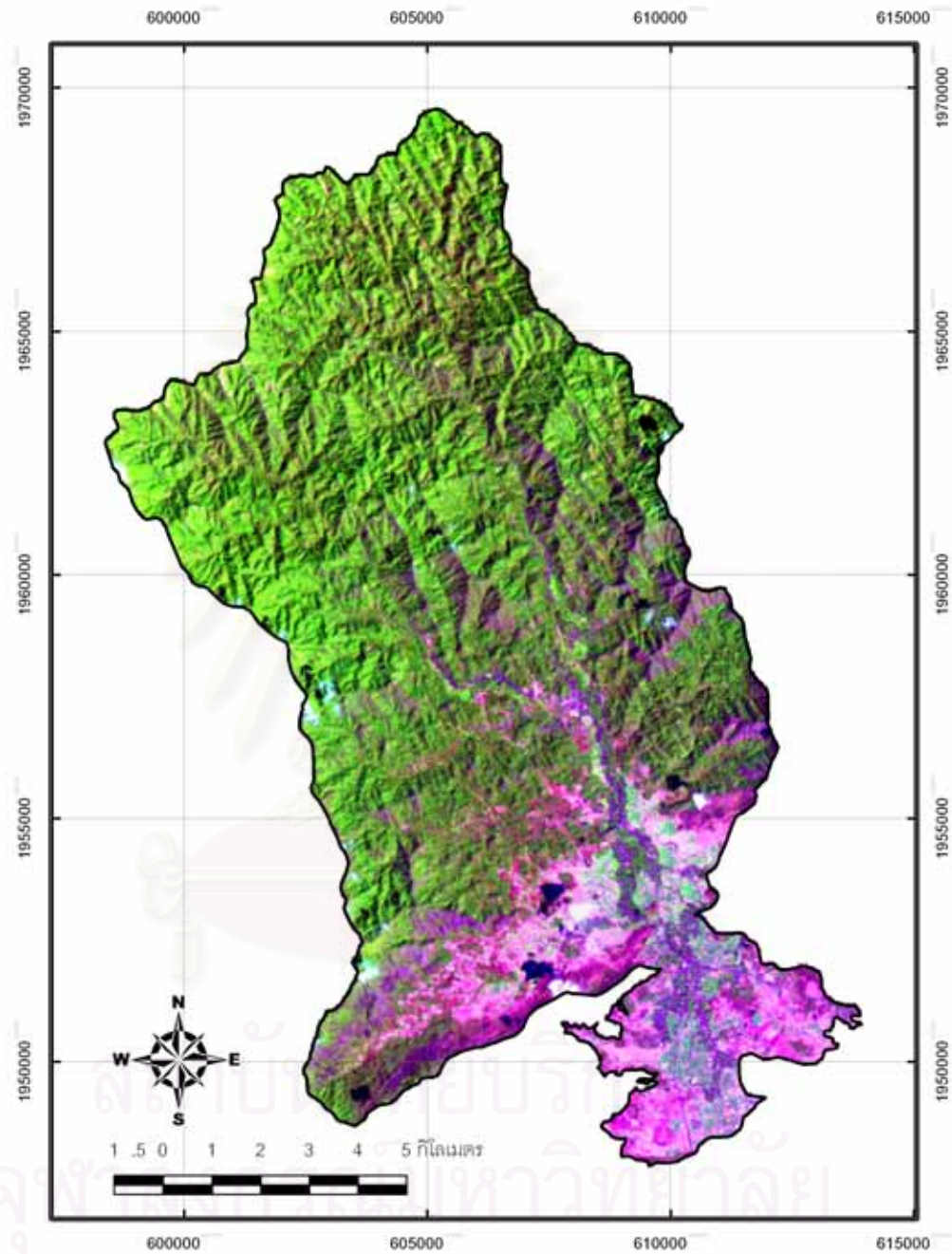
การทำดัชนีพืชพรรณ ด้วยวิธีดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) เป็นการทำสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่น 2 ช่วงคลื่น ที่ปรับให้มีลักษณะเป็นการกระจายปกติ เพื่อทำการวิเคราะห์ให้เห็นถึงการติดตามการเปลี่ยนแปลงดัชนีพืชพรรณ (change detection) หรือพืชที่สีเขียว โดยการนำข้อมูลช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared : NIR) ลบด้วยข้อมูลในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง (Red) และหารด้วยผลบวกของข้อมูลช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรดกับข้อมูลในช่วงคลื่นสีแดง ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ใช้ในการติดตามความเป็นพืช มวลชีวะ พื้นที่สีเขียว และการสะท้อนค่าคลอโรฟิลล์ของพืชพรรณ ดังสมการ

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}}$$

หรือ

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Band4} - \text{Band3}}{\text{Band4} + \text{Band3}}$$

ขั้นตอนการศึกษา โดยการนำเข้าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม จะใช้ภาพถ่ายดาวเทียม แลนด์แซต TM7 ช่วงก่อนเกิดเหตุการณ์ ในวันที่ 7 มีนาคม 2549 (รูปที่ 3.14) และภาพถ่ายดาวเทียม



รูปที่ 3.14 ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์ซัท TM7 (R=5, G=4, B=3) ถ่ายวันที่ 7 มีนาคม 2549  
(ก่อนเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า)

แลนด์เซต TM7 ช่วงหลังเกิดเหตุการณ์ ในวันที่ 10 พฤศจิกายน 2549 (รูปที่ 3.15) มาทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณ โดยอาศัยหลักการว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าเกิดขึ้นแล้ว หลังจากนั้นจะเกิดการกัดเซาะ เกิดการพังทลาย และการทับถมของมวลวัตถุ ซึ่งจะทำให้ปริมาณพืชพรรณ และพื้นที่สีเขียวถูกทำลายลงไป

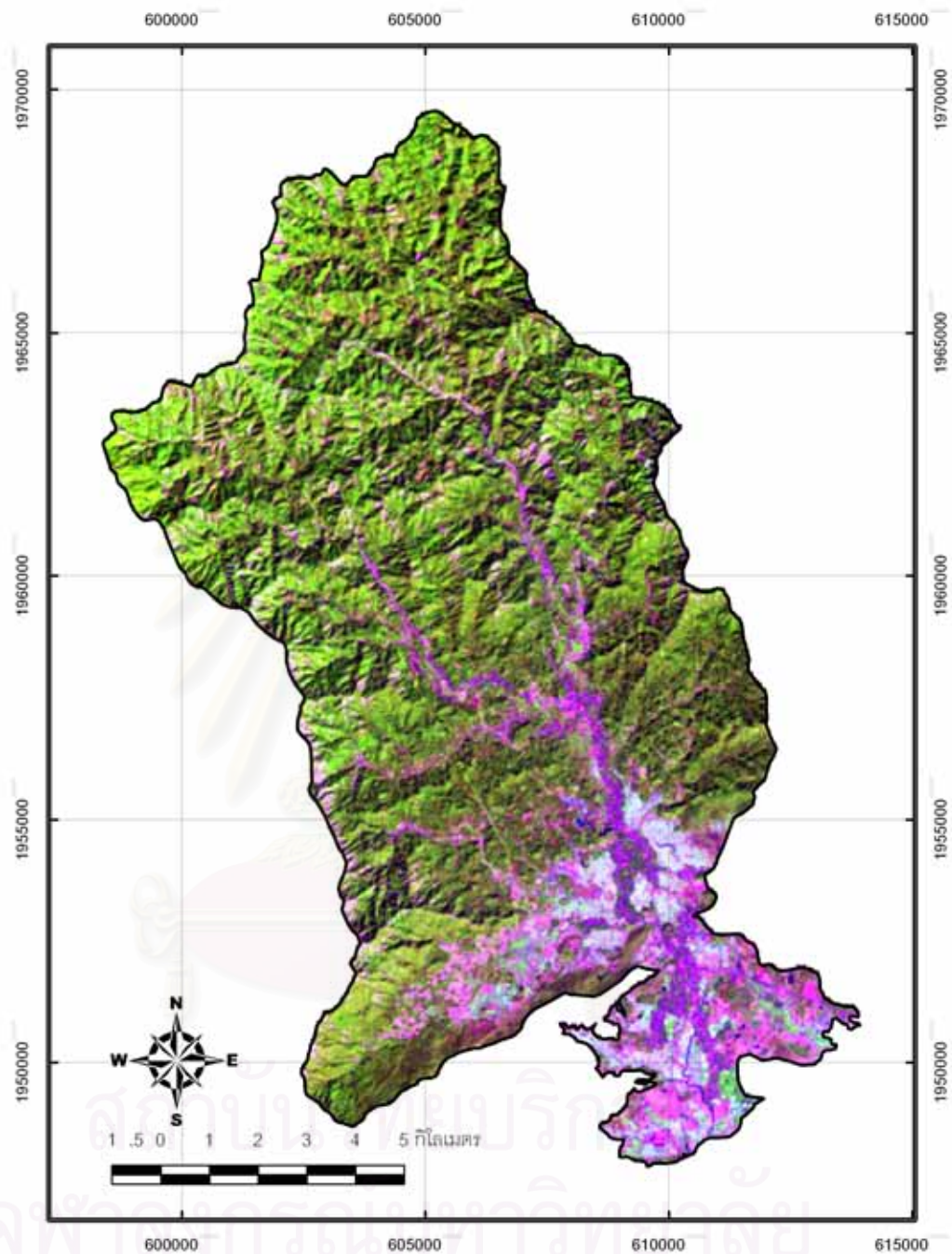
ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ที่คำนวณได้มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 โดยพื้นที่ที่มีค่า NDVI เข้าใกล้ 1 แสดงถึงพื้นที่ประกอบไปด้วยพืชพรรณปกคลุมเป็นจำนวนมาก พื้นที่ที่มีค่า NDVI เข้าใกล้ -1 แสดงถึงพื้นที่มีสิ่งปกคลุมซึ่งเป็นพืชในปริมาณน้อย หรือเป็นพื้นที่ที่ไม่มีพืชปกคลุม เพื่อให้เป็นการง่ายต่อการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์ที่มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 จะถูกนำไปคำนวณเปลี่ยนให้เป็นค่า Scales NDVI ดังสมการ

$$\text{Scale NDVI} = 100 (\text{NDVI} + 1)$$

ค่า Scales NDVI ที่คำนวณได้จากสมการดังกล่าว จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 200 โดยจุดภาพที่มีค่า NDVI เท่ากับ -1, 1 และ 0 จะสามารถคำนวณค่า Scales NDVI ได้เป็น 0, 100 และ 200 ตามลำดับ ค่า Scales NDVI ที่มีค่าต่ำกว่า 100 จะแสดงถึงบริเวณพื้นที่ที่ไม่มีพืชพรรณปกคลุม ค่า Scales NDVI ก่อนและหลังเหตุการณ์ แสดงดังรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17

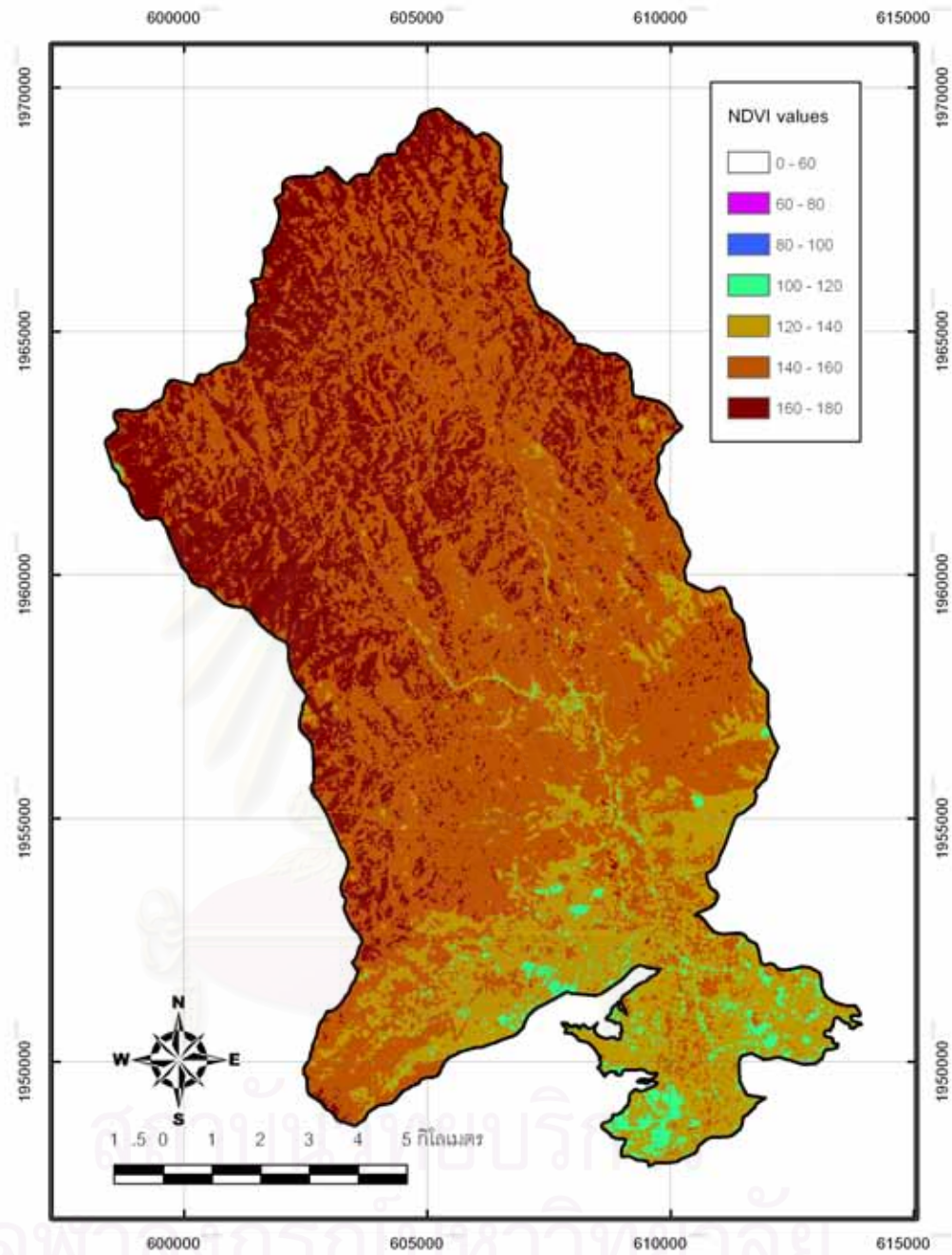
Scales NDVI ก่อนและหลังเหตุการณ์ภัยพิบัติที่คำนวณได้ (รูปที่ 3.18) มีค่าตั้งแต่ -81.76 ถึง 164.49 ซึ่งในการเลือกค่า Scales NDVI ต่ำสุด ที่จะกำหนดว่าค่าการเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นพื้นที่ที่เกิดร่องรอยของการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าหรือไม่นั้น จะขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลง Scales NDVI ของผู้ที่ทำการศึกษาเป็นผู้กำหนด

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการสำรวจภาคสนามถึงพื้นที่ที่เกิดร่องรอยตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า เพื่อนำมากำหนดเป็นพื้นที่ตัวอย่างสำหรับการกำหนดค่า Scales NDVI ที่แสดงถึงร่องรอยของการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่หลังจากเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติ โดยการสำรวจตำแหน่งร่องรอยฯ จากภาคสนามจะอ้างอิงจากตำแหน่งที่ทราบพิกัดแน่นอนในการเกิดภัยพิบัติ ซึ่งสามารถกำหนดตำแหน่งพิกัดบริเวณพื้นที่ ได้จากภาพถ่ายในพื้นที่ของเหตุการณ์ในช่วงเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติ และร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าที่ยังคงเหลือให้เห็นอยู่ โดยค่าการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับการเกิดร่องรอยในพื้นที่ศึกษาครั้งนี้ ได้กำหนดให้ค่าการเปลี่ยนแปลง Scales NDVI ที่มีค่าตั้งแต่ 37.5 ขึ้นไป จะถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่เกิดร่องรอยตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า

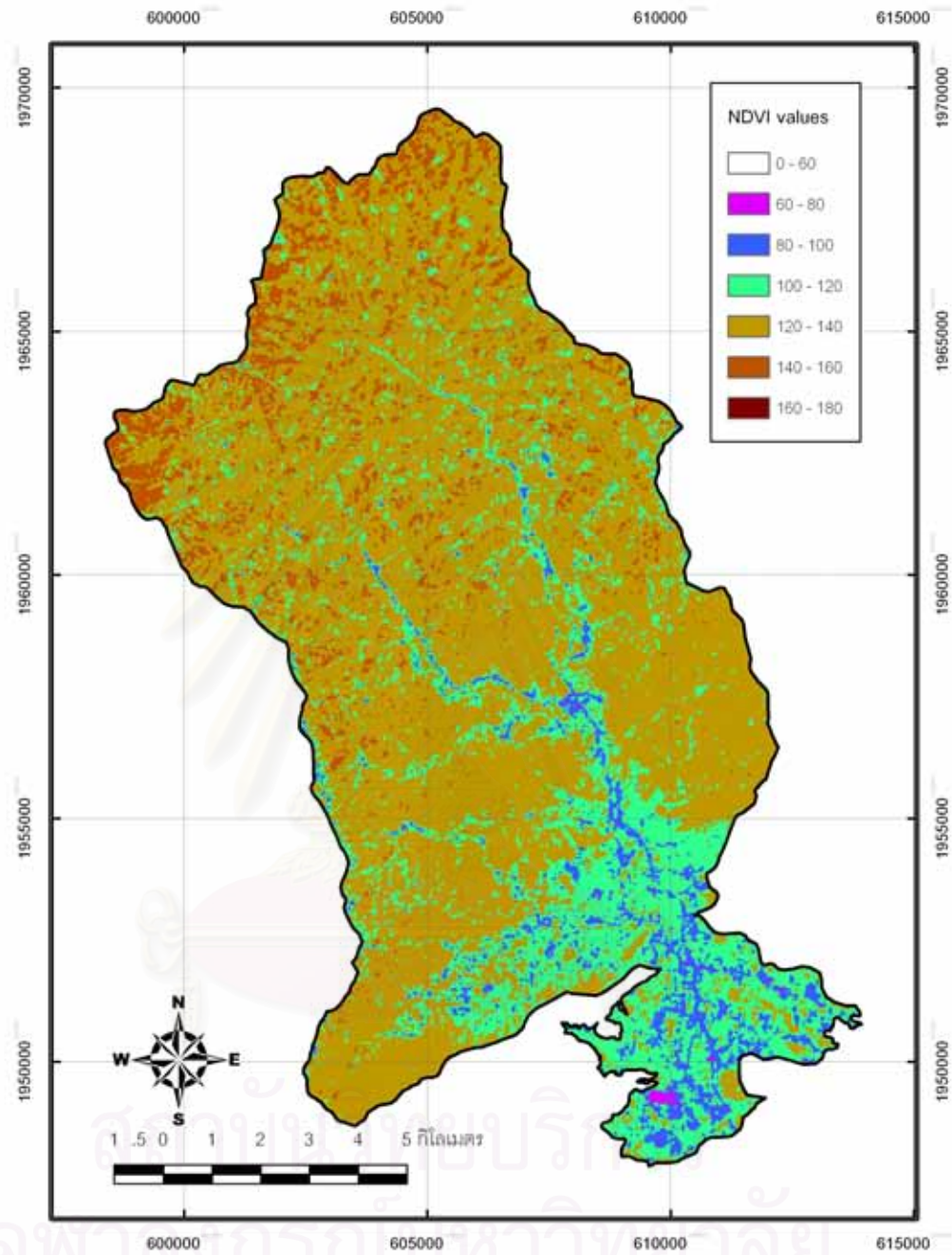


รูปที่ 3.15 ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซต TM7 (R=5, G=4, B=3) ถ่ายวันที่ 10 พฤศจิกายน 2549  
(หลังเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า)

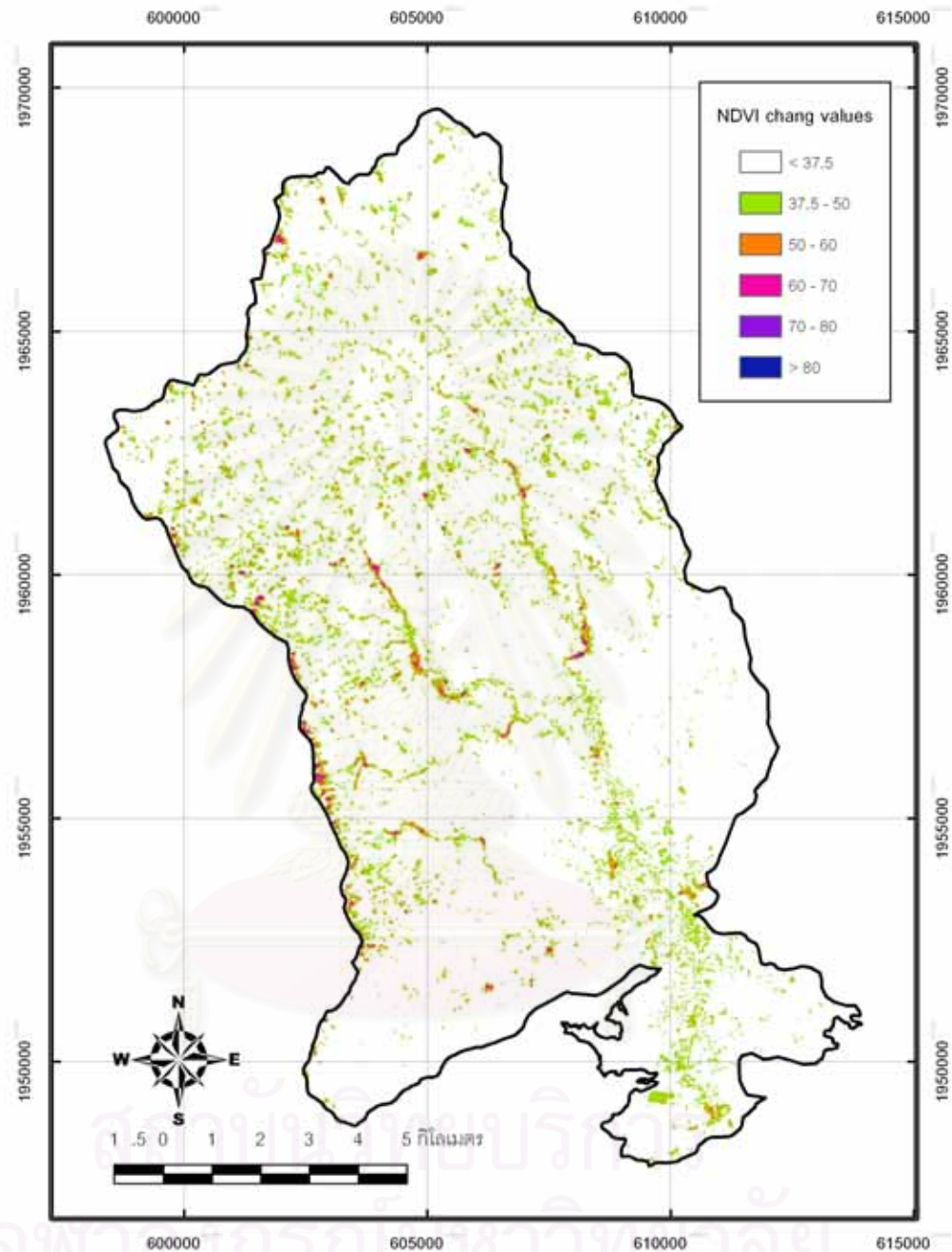




รูปที่ 3.16 ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอแมลไลซ์ (NDVI Values) ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ก่อนเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า (วันที่ 7 มีนาคม 2549)



รูปที่ 3.17 ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอแมลไลซ์ (NDVI Values) ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล หลังเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า (วันที่ 10 พฤศจิกายน 2549)



รูปที่ 3.18 แผนที่แสดงร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าที่เกิดขึ้นในเดือนพฤษภาคม 2549 บริเวณลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ซึ่งหาได้จากค่าการเปลี่ยนแปลงดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอแมลไลซ์ก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า

การตรวจสอบความถูกต้องของร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ที่ได้จากการแปลความหมายได้ในครั้งนี้ นอกจากการตรวจสอบความถูกต้องของร่องรอยฯ จากภาคสนาม (รูปที่ 3.19) แล้ว ยังอาศัยภาพถ่ายดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศบางส่วน ที่ทราบพิกัดแน่นอนและมีข้อมูลที่ชัดเจนของพื้นที่ในบางบริเวณ เพื่อแปลข้อมูลได้ทางสายตาเปรียบเทียบผล และสามารถตรวจสอบยืนยันความถูกต้องของข้อมูลที่วิเคราะห์ได้

จากผลการวิเคราะห์ร่องรอยของการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า พบว่าพื้นที่ที่เกิดร่องรอย มีพื้นที่ 16.93 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 10.24 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

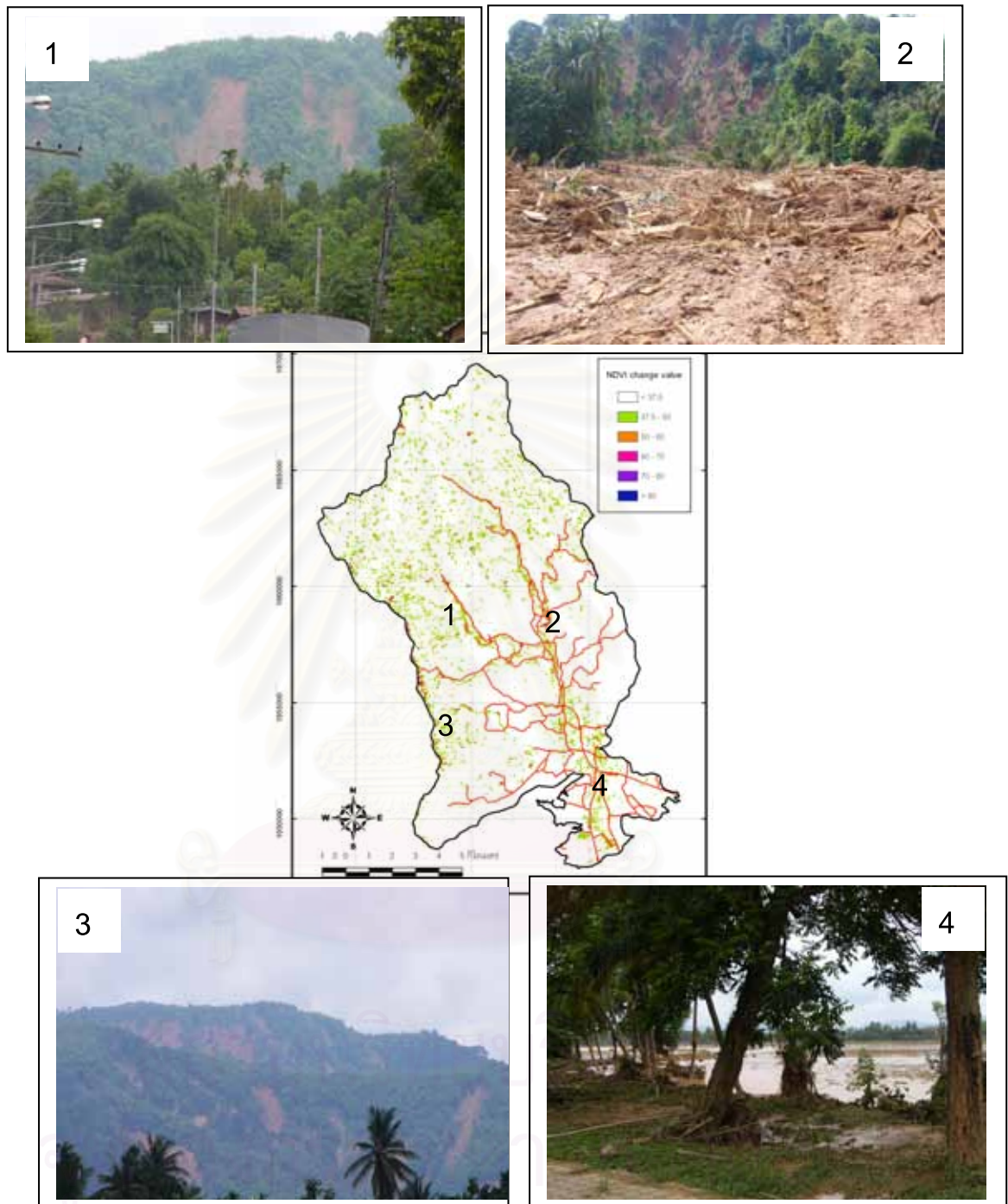
### 3.8 ปริมาณน้ำฝน (Rainfall)

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวัน ได้รับข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาอุตรดิตถ์ และสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งมีที่ตั้งของสถานีวัดปริมาณน้ำฝนดังรูปที่ 3.20 โดยหน้าที่ความรับผิดชอบของสถานีอุตุนิยมวิทยาอุตรดิตถ์ เป็นการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนของอำเภอเมือง นอกจากนั้นได้แก่ สถานีสำนักงานเกษตรอำเภอลับแล อำเภอตรอน อำเภอท่าปลา และอำเภอพิชัย และสถานีที่ว่าการอำเภอทองแสนขัน การตรวจวัดปริมาณน้ำฝนอยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดอุตรดิตถ์

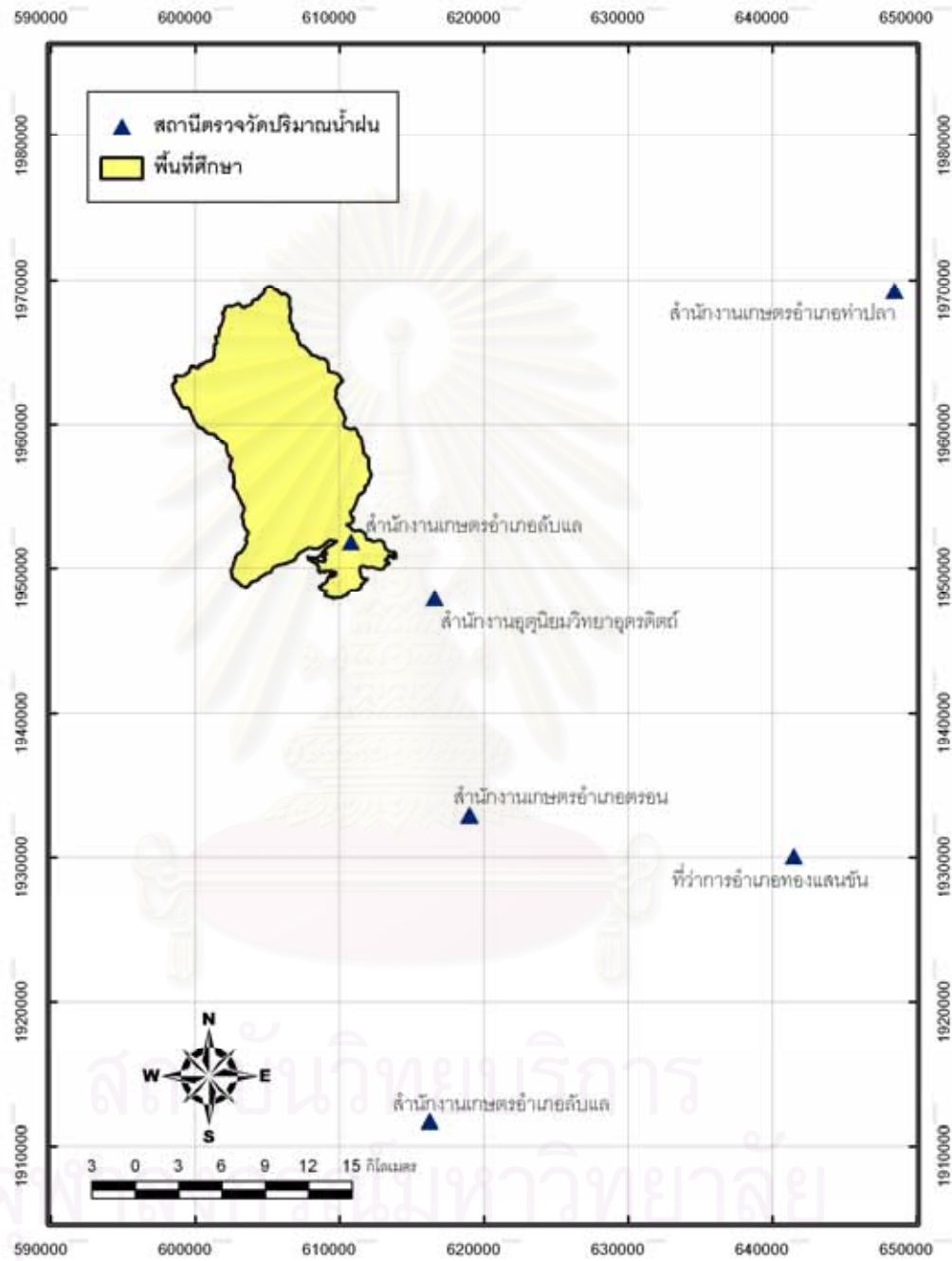
รูปที่ 3.21 แสดงกราฟปริมาณฝนสะสมในช่วง 10 วัน ถึงช่วงเกิดเหตุการณ์ (วันที่ 13 ถึง 22 พฤษภาคม 2549) ของสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนทั้ง 6 แห่ง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝน 29.48 มิลลิเมตรต่อวัน และพบว่าสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนเกษตรอำเภอลับแล ตรวจวัดปริมาณฝนสะสมมากที่สุดได้ถึง 496.1 มิลลิเมตร (ปริมาณฝนในวันที่ 21 เท่ากับ 72.1 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำฝนในวันที่ 22 เท่ากับ 330 มิลลิเมตร)

จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันของแต่ละสถานีในเดือนพฤษภาคม 2549 (รูปที่ 3.22) ซึ่งตั้งอยู่รอบพื้นที่ลุ่มน้ำ สามารถนำข้อมูลมาจัดทำเป็นแผนที่แสดงเส้นชั้นปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วง 10 วันก่อนเกิดเหตุการณ์ (รูปที่ 3.23) พบว่าพื้นที่อำเภอลับแลมีช่วงต่างของเส้นชั้นปริมาณน้ำฝนสะสม ตั้งแต่ 477.5 ถึง 495 มิลลิเมตร

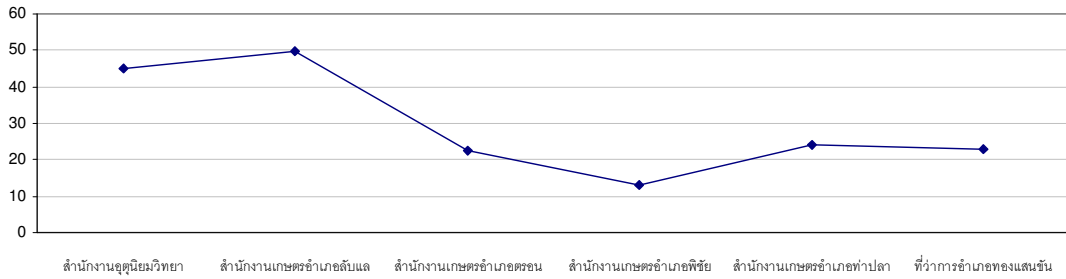
ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนของสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน บริเวณสำนักงานเกษตรอำเภอลับแล (รูปที่ 3.24) เปรียบเทียบระหว่างปี 2548 กับปี 2549 พบว่าในตลอดปี 2548 มีปริมาณน้ำฝนสะสมตลอดทั้งปี 1,364 มิลลิเมตร เดือนที่มีปริมาณน้ำฝนสะสมมากที่สุด คือเดือนมิถุนายน (381.5 มิลลิเมตร) และในปี 2549 ซึ่งเป็นปีที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่ม มีปริมาณน้ำฝนสะสม ตลอดทั้งปี 2,241 มิลลิเมตร เดือนที่มีปริมาณน้ำฝนสะสมมากที่สุด คือเดือนพฤษภาคม (538.2 มิลลิเมตร)



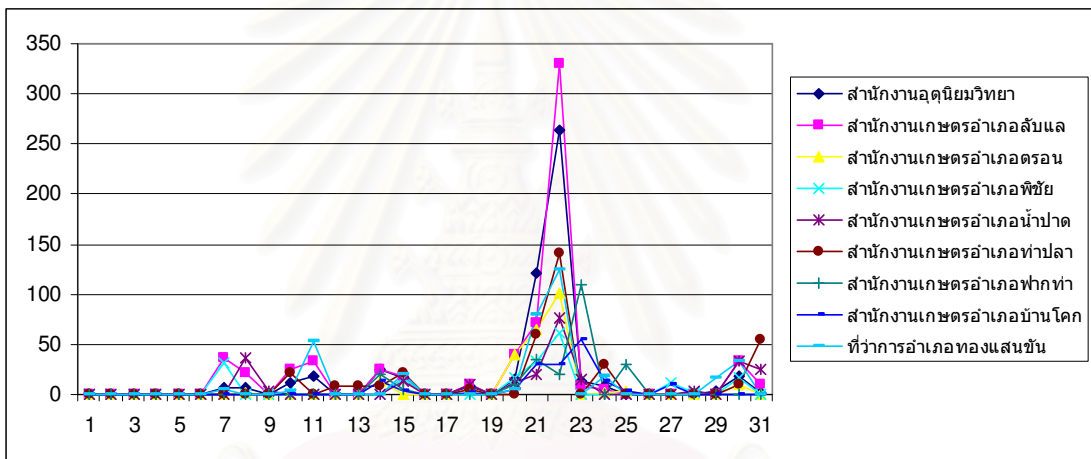
รูปที่ 3.19 ภาพถ่ายแสดงร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าบริเวณลุ่มน้ำย่อยแม่พูน บริเวณตำแหน่งต่างๆ



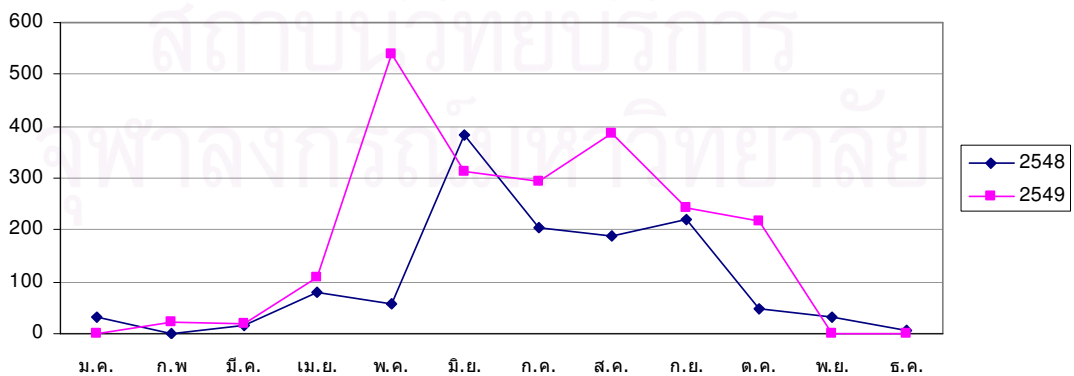
รูปที่ 3.20 แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนรอบพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล



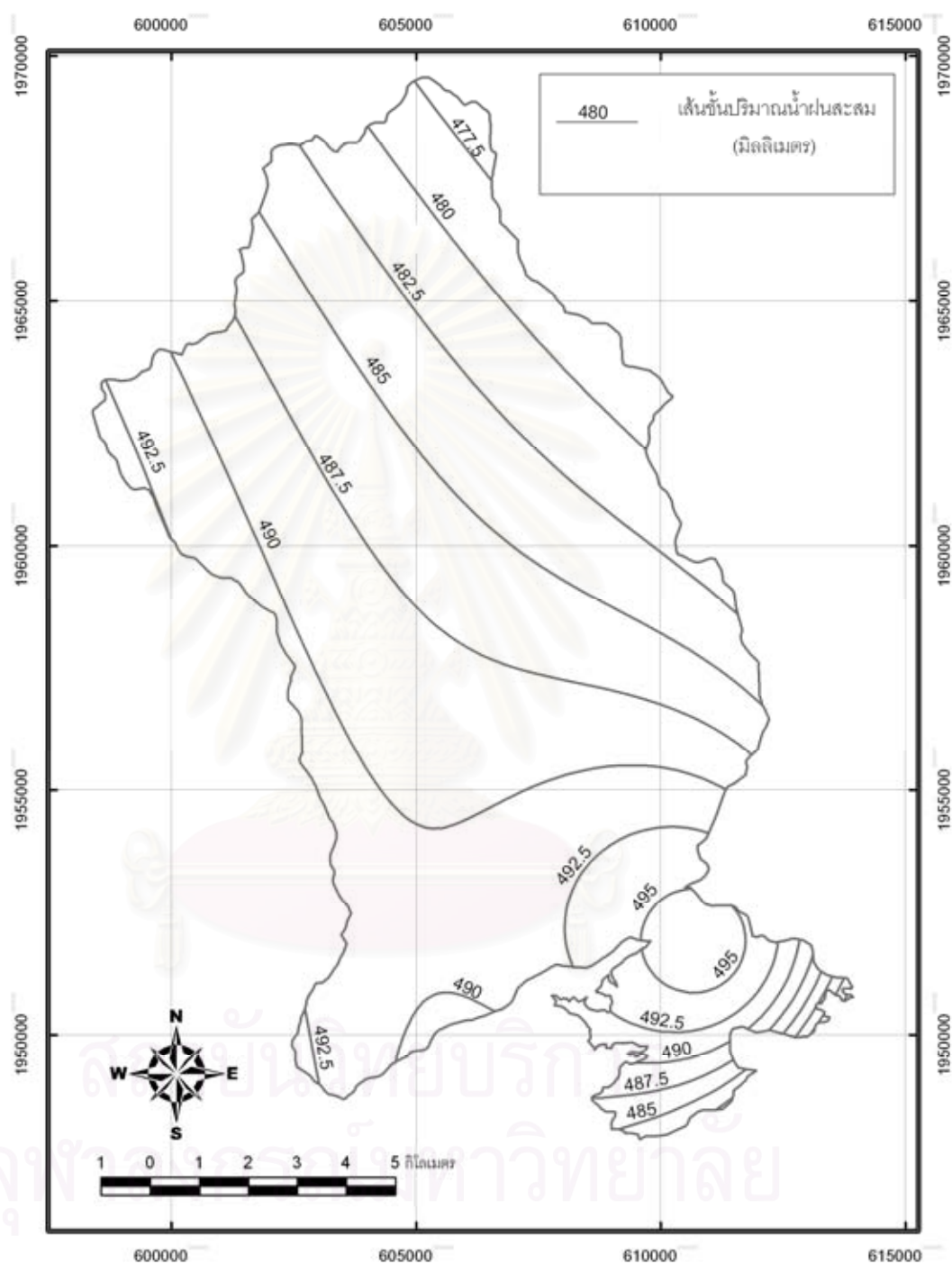
รูปที่ 3.21 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันวันที่ 13 ถึง 22 พฤษภาคม 2549 (ก่อนเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า 10 วัน)



รูปที่ 3.22 ปริมาณน้ำฝนรายวันของสถานีตรวจวัดต่างๆ ในเดือนพฤษภาคม 2549



รูปที่ 3.24 ปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือนบริเวณพื้นที่อำเภอลับแล ในปี พ.ศ.2548 และ พ.ศ.2549



รูปที่ 3.23 เส้นชั้นปริมาณน้ำฝนสะสมราย 10 วัน (13 ถึง 22 พฤษภาคม 2549) ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูด ก่อนวันเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า 10 วัน

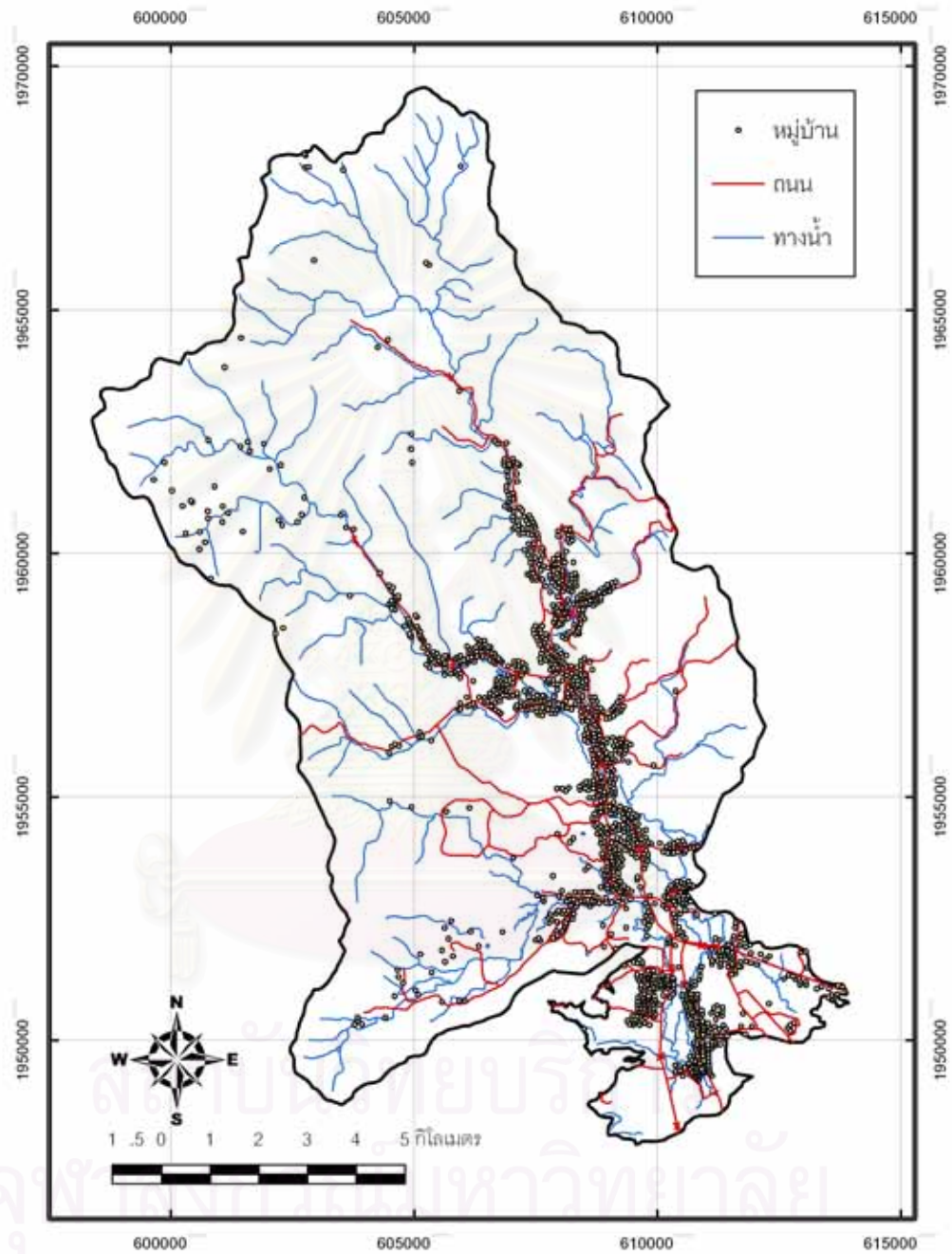


### 3.9 ระบบสาธารณูปโภค

แผนที่ระบบสาธารณูปโภค (รูปที่ 3.25) ได้แก่ ข้อมูลถนน ตำแหน่งหมู่บ้าน จัดทำขึ้นจากฐานข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000 (2542) โดยนำเข้าข้อมูลชนิดจุด (point) ของตำแหน่งที่ตั้งหมู่บ้าน และข้อมูลชนิดเส้น (line) ของถนน ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล พบว่า เส้นทางคมนาคมกระจายอยู่บริเวณตอนกลางและตอนล่างของกลุ่มน้ำ และมีการกระจายตัวของชุมชนค่อนข้างหนาแน่น ตามเส้นทางถนนสายหลัก โดยปริมาณความหนาแน่นของชุมชนมากที่สุดอยู่ทางตอนล่างของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งเป็นที่ตั้งของตัวอำเภอลับแล



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.25 แผนที่แสดงเส้นทางคมนาคม และความหนาแน่นของชุมชน ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

## บทที่ 4

### ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิด ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า

#### 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า

โดยวิธีการวิเคราะห์ดินถล่ม ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน (Einstein, 1988) ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของการเกิดดินถล่ม ตามสมการ

Susceptibility = f (landslide, landslide-related parameters)

Possibility = f (susceptibility, impact parameter)

Risk = f (possibility, damageable objects)

โดย

ความอ่อนไหว (susceptibility) เป็นฟังก์ชันของโอกาสความเป็นไปได้ในการเกิดศักยภาพของดินถล่ม กับแต่ละปัจจัยที่มีอิทธิพลเกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่ม ซึ่งไม่ขึ้นกับปัจจัยเร่งภายนอก (ปริมาณฝนตกหนัก แผ่นดินไหว กิจกรรมของมนุษย์)

ความเป็นไปได้ (possibility) เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นอยู่กับความอ่อนไหว และผลกระทบจากปัจจัยเร่งภายนอก เช่น ปริมาณฝนตกหนัก แผ่นดินไหว หิมะละลาย ฯลฯ

ความเสี่ยง (risk) เป็นฟังก์ชัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความเป็นไปได้กับ ปัจจัยของความล่าช้าและที่ จะก่อให้เกิดความสูญเสีย ซึ่งขึ้นอยู่กับกิจกรรมของมนุษย์ และความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สิน

ในการศึกษาครั้งนี้ จะประเมินและวิเคราะห์เฉพาะปัจจัยที่มีความอ่อนไหวเท่านั้น ไม่รวมถึงปัจจัยเร่งภายนอกที่กระตุ้นให้เกิดภัยพิบัติ เนื่องจากในการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูนนั้น เป็นผลมาจากปริมาณน้ำฝนที่ตกหนักมากติดต่อกันแล้ว และจะวิเคราะห์เฉพาะความสัมพันธ์เฉพาะพื้นที่ร่องรอยที่เกิดจากการกัดเซาะเท่านั้น โดยไม่รวมถึงพื้นที่ที่เกิดการทับถมของตะกอน (alluvial fan) ในบริเวณตอนล่างของพื้นที่

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าในลุ่มน้ำย่อยแม่พูน จะใช้วิธีการเชิงปริมาณ (quantitative) ซึ่งเป็นพื้นฐานของการแสดงตัวเลขของความสัมพัทธ์ระหว่างปัจจัยควบคุมที่มีอิทธิพล กับการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ indirect ซึ่งเป็นวิธีการสำหรับการคาดการณ์ความเป็นไปได้ ในการเกิดอันตรายจากการเคลื่อนที่ของมวลวัตถุ จากค่าทางสถิติของแผนที่แต่ละชนิด และนับเป็นวิธีการที่

เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษาในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล เนื่องจากเป็นการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในระดับมาตราส่วนขนาดกลาง (1:50,000)

ความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า สามารถหาได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีความน่าจะเป็นแบบตัวแปรเดียว (univariate method) ซึ่งเป็นวิธีที่แสดงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าที่เกิดขึ้น กับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิด ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ปัจจัยที่จะนำมาวิเคราะห์ประเมินค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวประกอบด้วย ความลาดชัน ทิศทางความลาดชัน ลักษณะธรณีสัณฐาน กลุ่มชุดดิน ความหนาของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน หน่วยหิน ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้นและระยะห่างจากทางน้ำ โดยใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์มาทำการวิเคราะห์

ค่าความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้ของปัจจัยแต่ละตัว จะบ่งชี้ถึงศักยภาพของความเป็นไปได้ว่าปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์นั้น เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพล มีความสัมพันธ์ และสามารถก่อให้เกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ามากน้อยเพียงใด

โดยวิธีความน่าจะเป็นแบบตัวแปรเดียว ซึ่งแสดงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับปัจจัยอิสระต่างๆ นั้น ข้อมูลเชิงพื้นที่ของแต่ละปัจจัยจะถูกแปลงเป็นจุดภาพ เพื่อนำไปคำนวณ โดยกำหนดขนาดของจุดภาพเท่ากับ 10 คูณ 10 เมตร ในรูปแบบ ARC/INFO GRID โดยในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลนี้มีจำนวนจุดภาพที่นำมาวิเคราะห์รวมทั้งหมดจำนวน 1,504,532 จุดภาพ โดยแบ่งเป็นพื้นที่ที่เกิดร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าจำนวน 154,705 จุดภาพ และพื้นที่ที่ไม่เกิดร่องรอย 1,349,827 จุดภาพ

อัตราส่วนระหว่างเปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอย (b) ต่อเปอร์เซ็นต์ของจำนวนจุดภาพที่ไม่เกิดร่องรอย (a) ของแต่ละชั้นข้อมูล (b/a) ในแต่ละปัจจัย เป็นค่าที่แสดงถึงโอกาสและความอ่อนไหวของการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าในแต่ละปัจจัย ที่เทียบกับค่า b/a มาตรฐาน โดยค่า b/a มีค่ามาตรฐานเท่ากับ 1 หมายถึงถึงข้อมูลมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง แสดงถึงมีโอกาสความน่าจะเป็นในการเกิดหรือไม่เกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าที่เท่าๆ กัน สำหรับปัจจัยที่มีค่า b/a มากกว่า 1 แสดงถึงข้อมูลมีความสัมพันธ์สูง และค่า b/a น้อยกว่า 1 แสดงถึงข้อมูลมีความสัมพันธ์ต่ำ

ชั้นข้อมูลที่มีความสัมพันธ์สูง จะบ่งชี้ถึงว่า ชั้นข้อมูลแต่ละชนิดในปัจจัยนั้นๆ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพล และมีโอกาสความน่าจะเป็นในการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าได้ง่ายกว่าชั้นข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ต่ำ

#### 4.1.1 ค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยความลาดชัน

ความลาดชัน เป็นปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของพื้นลาด เนื่องจากเมื่อมุมของความลาดชันเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้ว มวลดินหรือมวลวัตถุอื่นๆ จะเกิดการพังทลาย และเกิดการเคลื่อนที่ของมวลวัตถุเหล่านั้นลงมาตามพื้นลาด

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความลาดชันกับพื้นที่ที่เกิดร่องรอยตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า และค่า  $b/a$  ratio แสดงในตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ค่าความสัมพันธ์สามารถอธิบายได้จากอัตราส่วนของจุดภาพที่เกิดร่องรอยฯ กับอัตราส่วนของจุดภาพที่ไม่เกิดร่องรอยฯ ในช่วงต่างความลาดชันทุก 5 องศา ซึ่งค่า  $b/a$  ratio จะชี้ให้เห็นถึงโอกาสความเป็นไปได้ที่จะเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล กับปัจจัยในแต่ละช่วงความลาดชัน

ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ความลาดชันน้อยกว่า  $5^{\circ}$  พบว่ามีค่า  $b/a$  ratio เท่ากับ 1.19 แสดงถึงมีความสัมพันธ์ปานกลาง ความลาดชันในช่วง  $5^{\circ} - 10^{\circ}$ ,  $10^{\circ} - 15^{\circ}$  และ  $15^{\circ} - 20^{\circ}$  มีค่า  $b/a$  ratio เท่ากับ 0.72, 0.55 และ 0.63 ตามลำดับ แสดงว่าความลาดชันตั้งแต่  $5^{\circ}$  ถึง  $20^{\circ}$  มีความสัมพันธ์ต่ำ ความลาดชันในช่วง  $20^{\circ} - 25^{\circ}$  และ  $25^{\circ} - 30^{\circ}$  มีค่า  $b/a$  ratio เท่ากับ 0.81 และ 1.12 แสดงถึงมีความสัมพันธ์ปานกลาง ความลาดชันในช่วง  $30^{\circ} - 35^{\circ}$ ,  $35^{\circ} - 40^{\circ}$  และความลาดชันมากกว่า  $40^{\circ}$  ขึ้นไป มีค่า  $b/a$  ratio เท่ากับ 1.63, 2.60 และ 3.40 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าความลาดชันตั้งแต่  $30^{\circ}$  ขึ้นไป มีความสัมพันธ์สูง และความลาดชันที่มากกว่า  $40^{\circ}$  มีความสัมพันธ์สูงสุด ชี้ให้เห็นถึงเมื่อความลาดชันเพิ่มมากขึ้น จะมีโอกาสความเป็นไปได้ที่จะเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

#### 4.1.2 ค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยทิศทางความลาดชัน

ทิศทางความลาดชัน เป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งอาจมีความสำคัญ ก่อให้เกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าได้ โดยทิศทางความลาดชันอาจบ่งบอกถึงลักษณะการวางตัวของโครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่น ระบายชั้นหิน ระบายรอยเลื่อน หรือรอยแตก ที่อาจมีศักยภาพและเกี่ยวข้องกับการพังทลายของพื้นลาด

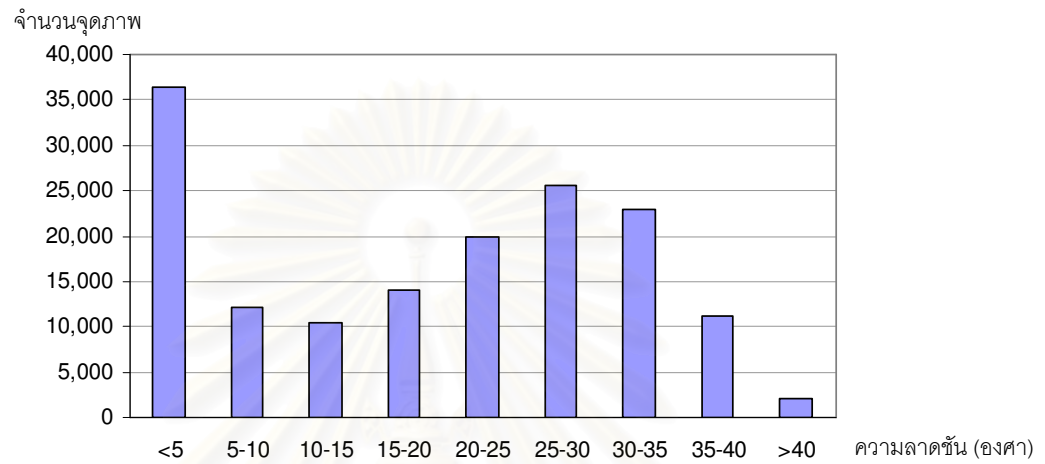
ปัจจัยทิศทางความลาดชัน ที่นำมาหาความสัมพันธ์และโอกาสความเป็นไปได้ในการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า จัดแบ่งชั้นข้อมูลเป็น 8 ชั้นข้อมูล ตามทิศทางการเอียงเทของความลาดชันที่ทำมุมอะซิมุทกับทิศเหนือ ซึ่งแบ่งออกเป็น ทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า  
กับปัจจัยความลาดชัน

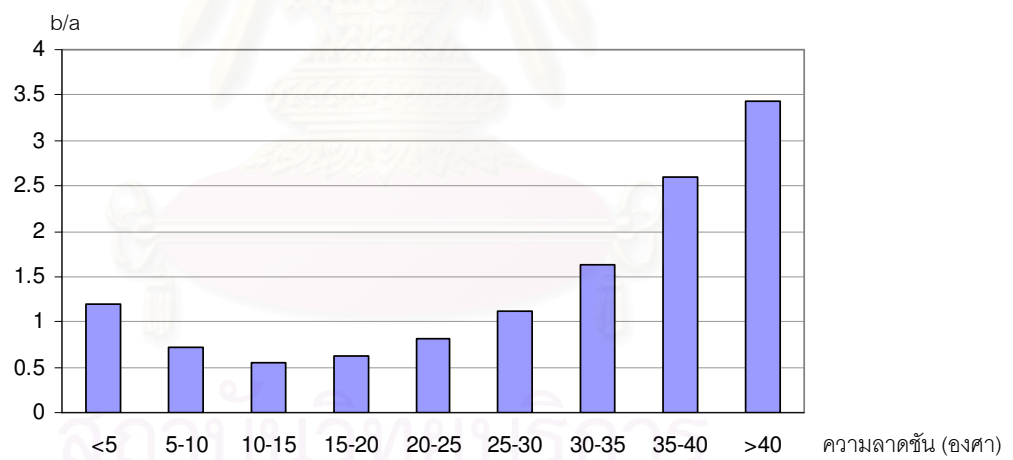
ความลาดชัน	พื้นที่ที่ไม่เกิดร่องรอย (scar-scouring did not occur)		พื้นที่ที่เกิดร่องรอย (scar-scouring occur)		b/a
	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (a)	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (b)	
<5	267,356	19.81	36,448	23.56	1.19
5-10	147,286	10.91	12,166	7.86	0.72
10-15	162,896	12.07	10,336	6.68	0.55
15-20	194,975	14.44	14,122	9.13	0.63
20-25	213,088	15.79	19,826	12.82	0.81
25-30	198,392	14.70	25,529	16.50	1.12
30-35	123,020	9.11	23,023	14.88	1.63
35-40	37,481	2.78	11,159	7.21	2.60
>40	5,333	0.40	2,096	1.35	3.43
<b>รวม</b>	<b>1,349,827</b>	<b>100</b>	<b>154,705</b>	<b>100</b>	

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า  
กับปัจจัยทิศทางความลาดชัน

ทิศทาง ความลาดชัน	พื้นที่ที่ไม่เกิดร่องรอย (scar-scouring did not occur)		พื้นที่ที่เกิดร่องรอย (scar-scouring occur)		b/a
	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (a)	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (b)	
N	129,551	9.60	21,871	14.14	1.47
NE	180,451	13.37	34,711	22.44	1.68
E	213,045	15.78	29,987	19.38	1.23
SE	195,079	14.45	14,775	9.55	0.66
S	183,093	13.56	11,657	7.53	0.56
SW	186,450	13.81	12,986	8.39	0.61
W	145,189	10.76	14,714	9.51	0.88
NW	116,969	8.67	14,004	9.05	1.04
<b>รวม</b>	<b>1,349,827</b>	<b>100</b>	<b>154,705</b>	<b>100</b>	

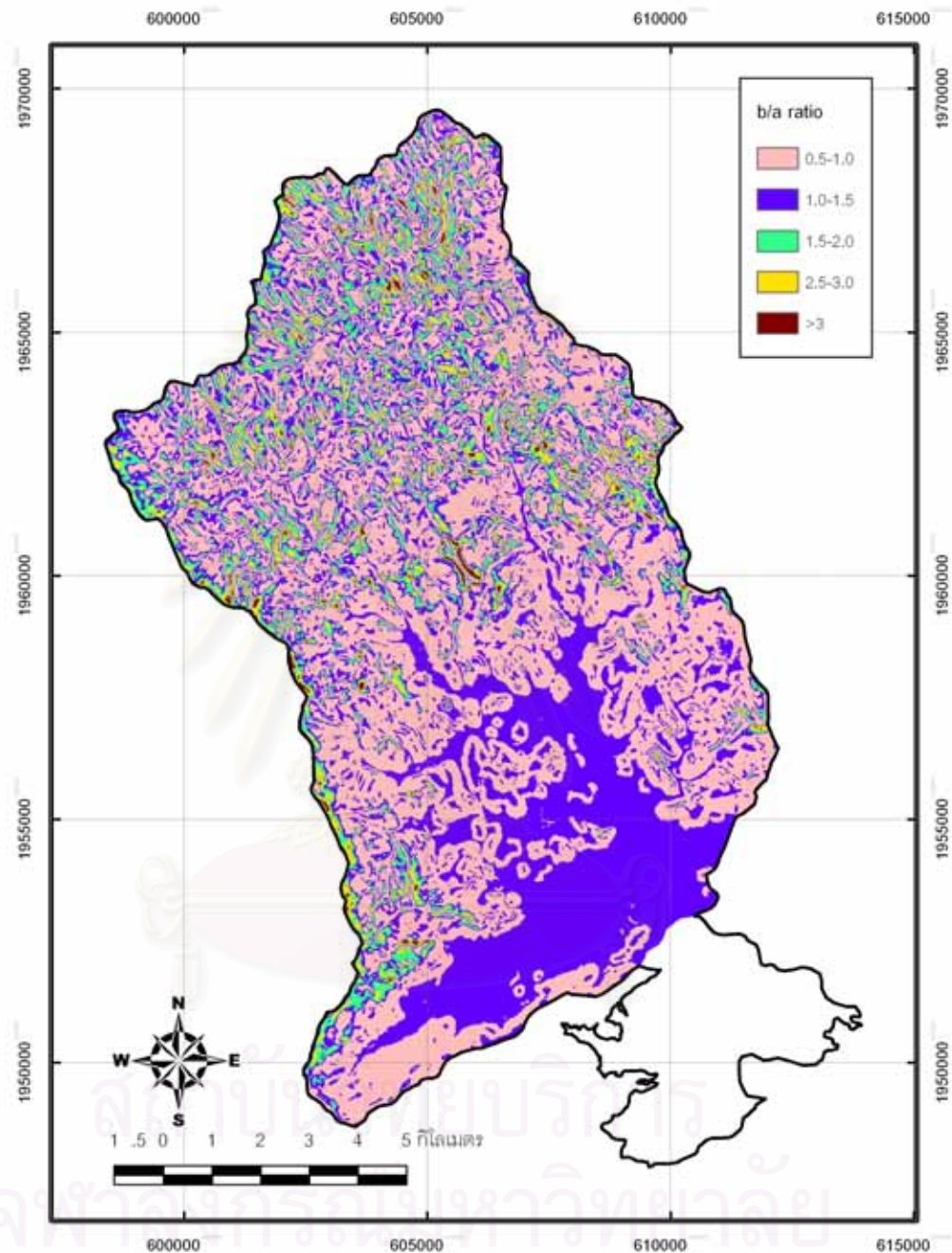


a) พื้นที่ที่เกิดร่องรอยกับความลาดชัน



b) ค่า b/a ratio ของความลาดชัน

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอยของปัจจัยความลาดชัน (a) และ ค่า b/a ratio ของความลาดชัน (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล



รูปที่ 4.2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับปัจจัยความลาดชัน



ค่า  $b/a$  ratio ของปัจจัยทิศทางการลาดชันในกลุ่มน้ำย่อยแม่พูลที่คำนวณได้ แสดงในตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 พบว่าความลาดชันที่เอียงไปไปทางทิศเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่า  $b/a$  ratio เท่ากับ 1.47 และ 1.68 แสดงถึงมีความสัมพันธ์สูง ค่า  $b/a$  ratio ของความลาดชันที่เอียงเทไปทางทิศตะวันออก ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มีค่า 1.23, 0.88 และ 1.04 ตามลำดับ แสดงถึงมีความสัมพันธ์ปานกลาง ค่า  $b/a$  ratio ของความลาดชันที่เอียงเทไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีค่า 0.66, 0.56 และ 0.61 ตามลำดับ แสดงถึงมีความสัมพันธ์ต่ำ

#### 4.1.3 ค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยลักษณะธรณีสัณฐาน

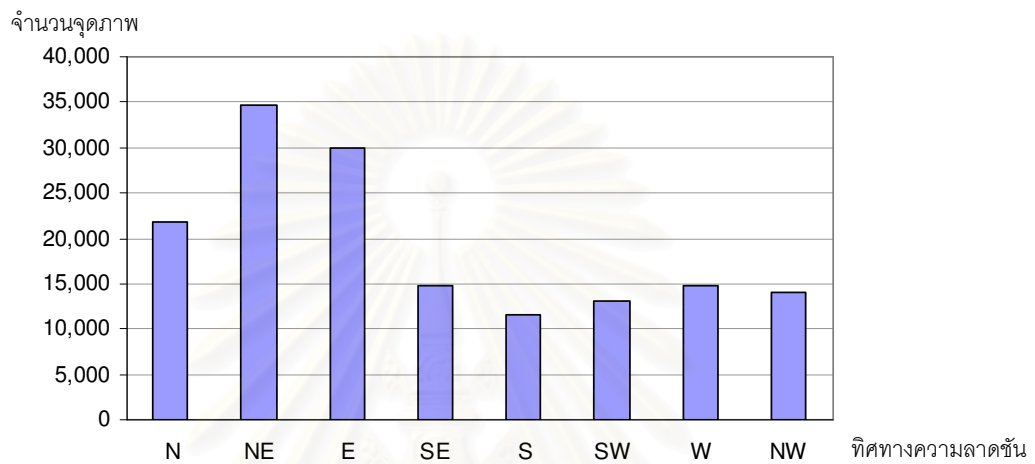
ชั้นข้อมูลลักษณะธรณีสัณฐานที่นำมาคำนวณค่า  $b/a$  ratio ประกอบลักษณะธรณีสัณฐาน 6 รูปแบบ ได้แก่ ยอดเขา สันเขา ช่องเขา ที่ราบ ร่องน้ำ และหลุม ค่า  $b/a$  ratio ของปัจจัยด้านลักษณะธรณีสัณฐาน ในกลุ่มน้ำย่อยแม่พูลที่คำนวณได้ แสดงในตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 จากค่าความสัมพันธ์พบว่า ลักษณะธรณีสัณฐานแบบยอดเขา และช่องเขา มีค่า  $b/a$  ratio เท่ากับ 0.38 และ 0.60 ตามลำดับ แสดงถึงมีความสัมพันธ์ต่ำ และลักษณะธรณีสัณฐานแบบสันเขา ที่ราบ ร่องน้ำ และหลุม มีค่า  $b/a$  ratio เท่ากับ 0.85, 1.02, 1.13 และ 1.18 ตามลำดับ

#### 4.1.4 ค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยระยะห่างจากทางน้ำ

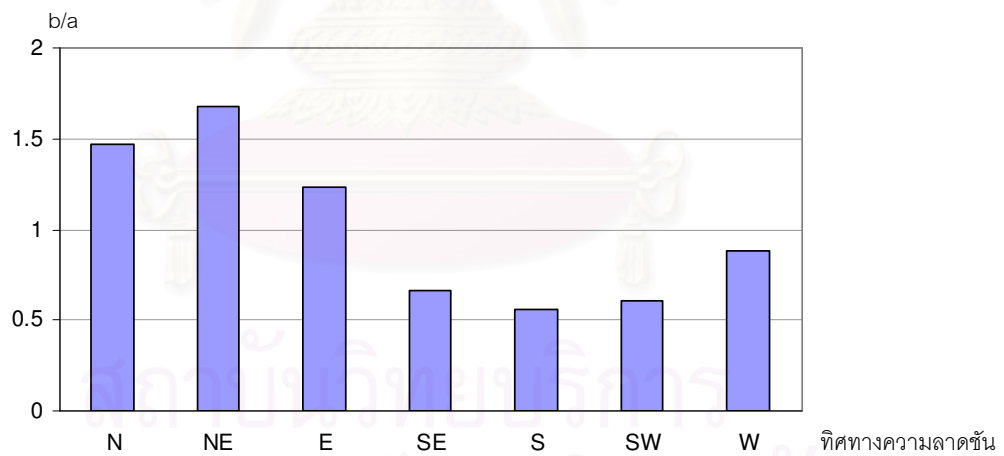
ปัจจัยระยะห่างจากทางน้ำ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า เนื่องจากทางน้ำเป็นเส้นทางกรไหลของน้ำผิวดิน เมื่อปริมาณน้ำฝนมีจำนวนมาก จนเกิดการไหลบ่าของน้ำและมวลวัตถุตกลงมาตามร่องน้ำ

ชั้นข้อมูลของปัจจัยระยะห่างจากทางน้ำ ที่นำมาคำนวณค่า  $b/a$  ratio แบ่งออกเป็น 6 ชั้นข้อมูล ได้แก่ ระยะห่างจากทางน้ำ 0 – 20 เมตร ระยะห่างจากทางน้ำ 20 – 30 เมตร ระยะห่างจากทางน้ำ 30 – 40 เมตร ระยะห่างจากทางน้ำ 40 – 50 เมตร ระยะห่างจากทางน้ำ 50 – 100 เมตร และระยะห่างจากทางน้ำมากกว่า 100 เมตร

จากการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ พบว่าพื้นที่ที่มีระยะห่างจะทางน้ำมากที่สุดจะมีค่าความสัมพันธ์ต่ำสำหรับพื้นที่ที่มีระยะห่างจากทางน้ำน้อย จะมีค่าความสัมพันธ์สูงขึ้นตามลำดับ ค่า  $b/a$  ratio ของปัจจัยระยะห่างจากทางน้ำ ในกลุ่มน้ำย่อยแม่พูลที่คำนวณได้ แสดงในตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 โดยระยะห่างจากทางน้ำ 0 – 20 เมตร ระยะห่างจากทางน้ำ 20 – 30 เมตร ระยะห่างจากทางน้ำ 30 – 40 เมตร และระยะห่างจากทางน้ำ 40 – 50 เมตร มีค่า  $b/a$  ratio เท่ากับ 1.82, 1.76, 1.69 และ 1.60 ตามลำดับ แสดงถึงระยะห่างจากทางน้ำตั้งแต่ 0 – 50 เมตร มี

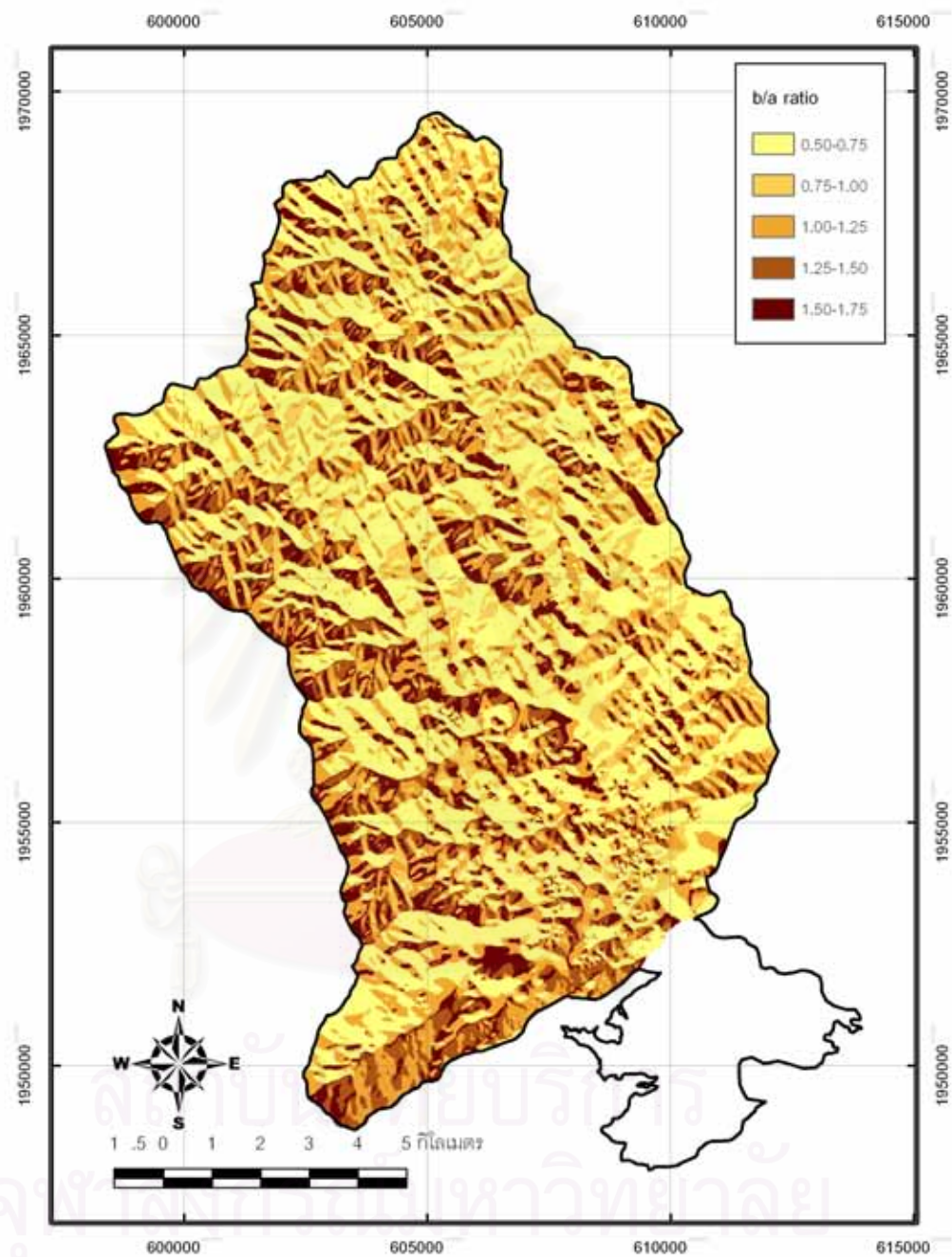


a) พื้นที่ที่เกิดร่องรอยของทิศทางความลาดชัน



b) ค่า b/a ratio ของทิศทางความลาดชัน

**รูปที่ 4.3** กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอย ของปัจจัยทิศทางความลาดชัน (a) และ ค่า b/a ratio ของความลาดชัน (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล



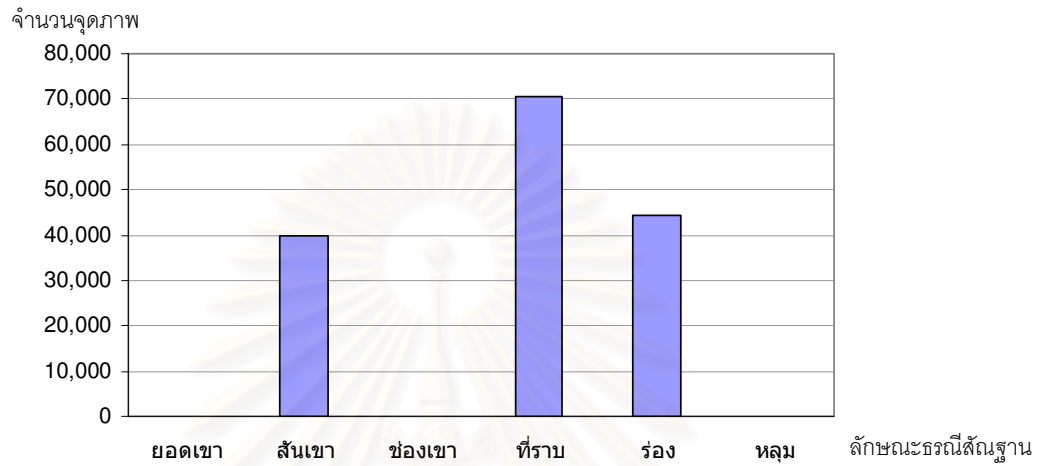
รูปที่ 4.4 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับ ปัจจัยทิศทางการลาดชัน

**ตารางที่ 4.3** ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า  
กับปัจจัยลักษณะธรณีสัณฐาน

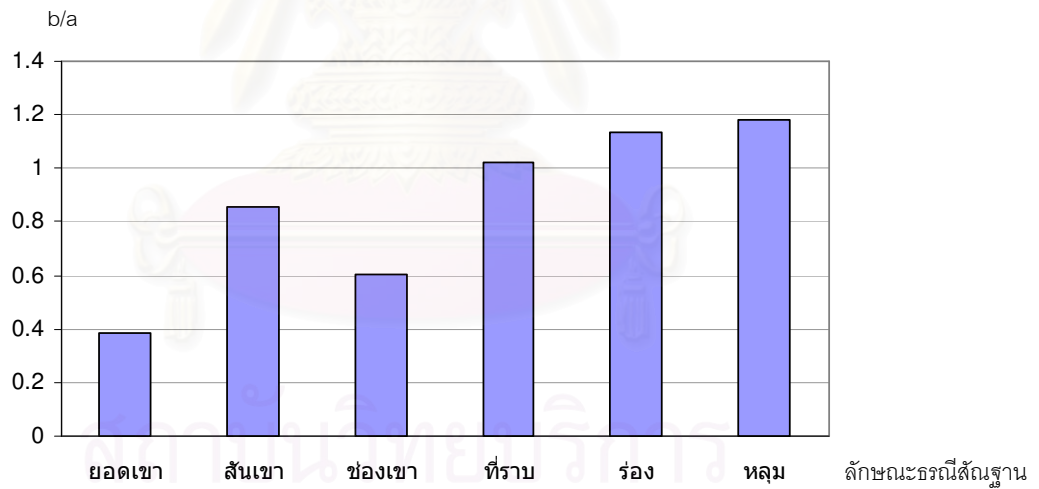
ลักษณะ ธรณีสัณฐาน	พื้นที่ที่ไม่เกิดร่องรอย (scar-scouring did not occur)		พื้นที่ที่เกิดร่องรอย (scar-scouring occur)		b/a
	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (a)	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (b)	
ยอดเขา	160	0.01	7	0.00	0.38
สันเขา	408,180	30.24	39,939	25.82	0.85
ช่องเขา	318	0.02	22	0.01	0.60
ที่ราบ	601,345	44.55	70,542	45.60	1.02
ร่อง	339,728	25.17	44,182	28.56	1.13
หลุม	96	0.01	13	0.01	1.18
<b>รวม</b>	<b>1,349,827</b>	<b>100</b>	<b>154,705</b>	<b>100</b>	

**ตารางที่ 4.4** ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า  
กับปัจจัยระยะห่างจากทางน้ำ

ระยะห่างจาก ทางน้ำ (เมตร)	พื้นที่ที่ไม่เกิดร่องรอย (scar-scouring did not occur)		พื้นที่ที่เกิดร่องรอย (scar-scouring occur)		b/a
	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (a)	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (b)	
0 ถึง 20	67,064	4.97	14,000	9.05	1.82
20 ถึง 30	33,465	2.48	6,749	4.36	1.76
30 ถึง 40	33,347	2.47	6,455	4.17	1.69
40 ถึง 50	33,399	2.47	6,125	3.96	1.60
50 ถึง 100	167,087	12.38	24,407	15.78	1.27
มากกว่า 100	1,015,465	75.23	96,969	62.68	0.83
<b>รวม</b>	<b>1,349,827</b>	<b>100</b>	<b>154,705</b>	<b>100</b>	

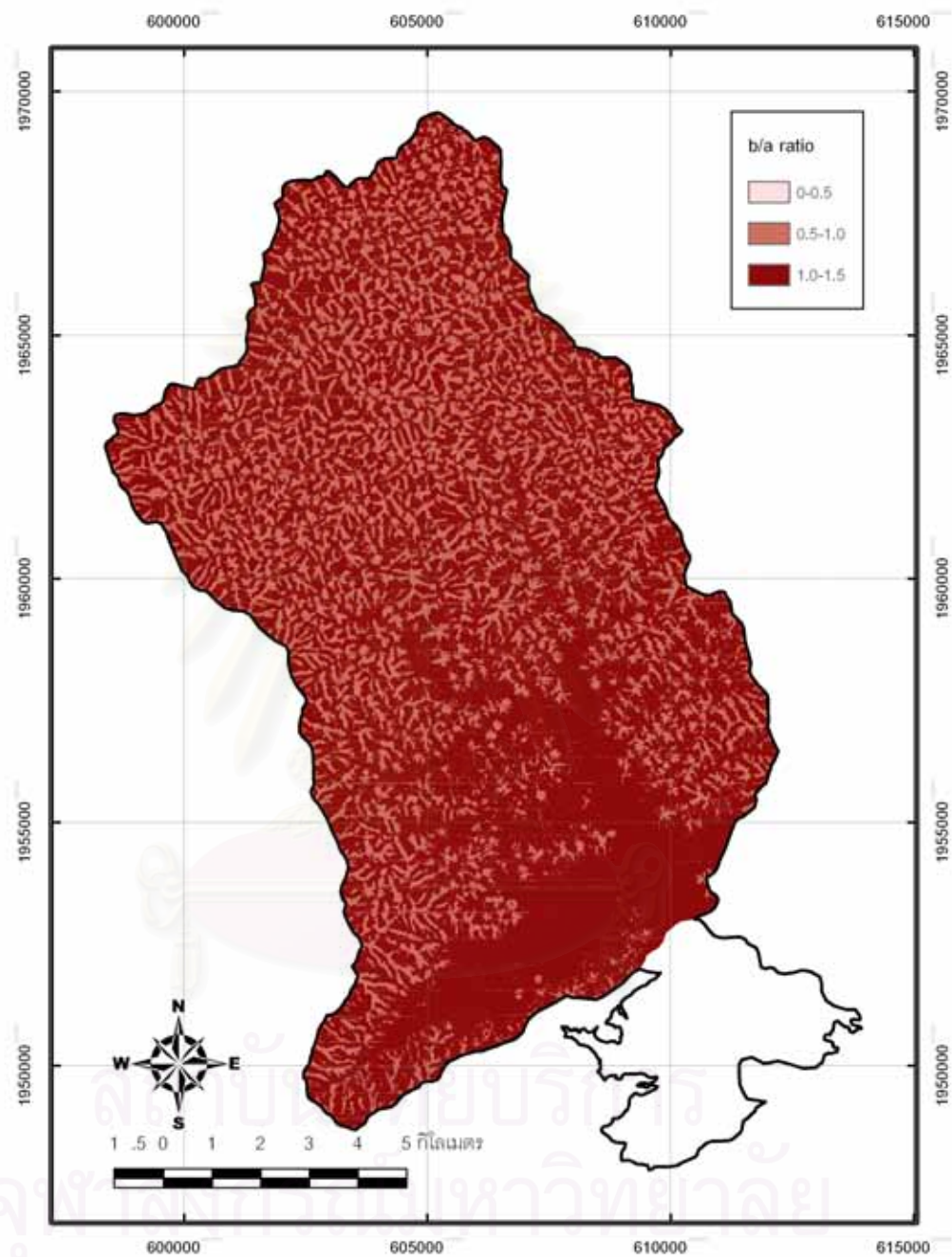


a) พื้นที่ที่เกิดร่องรอยของลักษณะธรณีฐาน

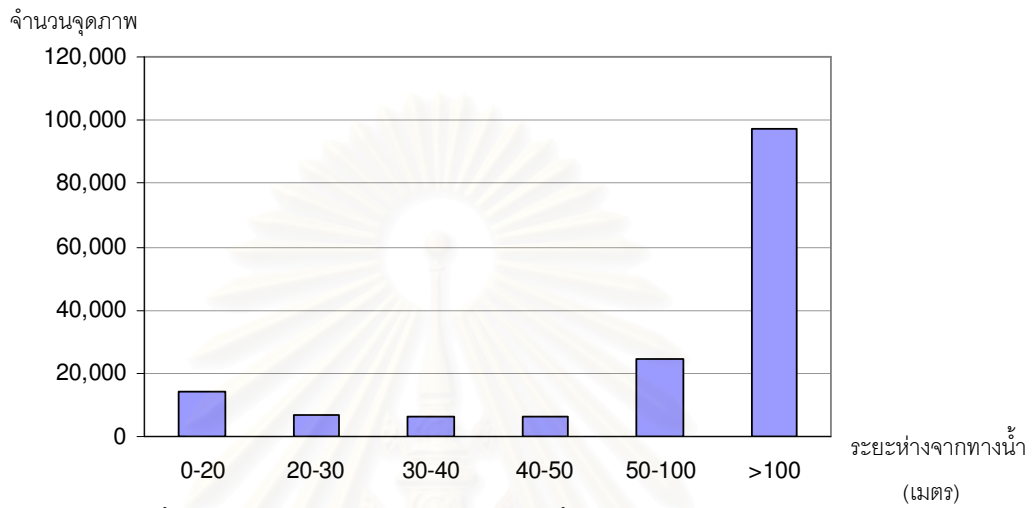


b) ค่า b/a ratio ของลักษณะธรณีฐาน

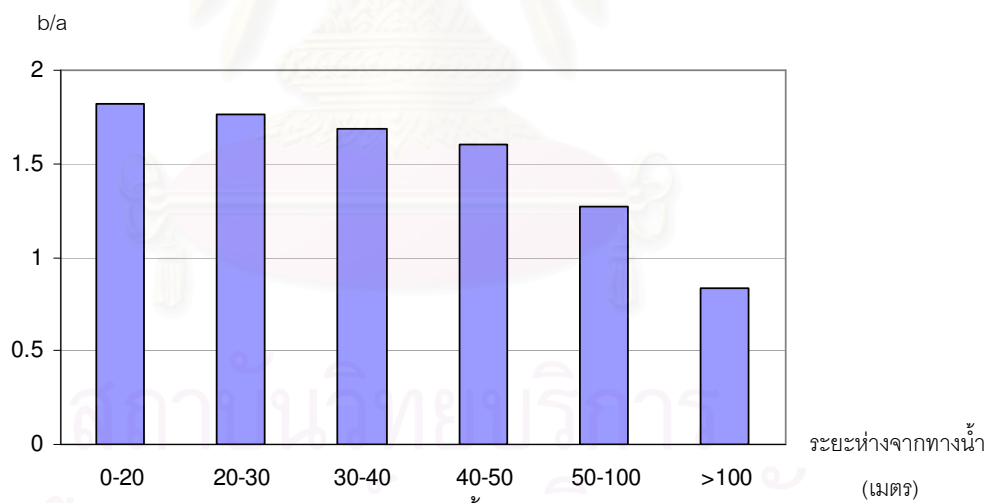
**รูปที่ 4.5** กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอย ของปัจจัยลักษณะธรณีฐาน (a) และ ค่า b/a ratio ของลักษณะธรณีฐาน (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล



รูปที่ 4.6 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับ ปัจจัยลักษณะธรณีสิ่งแวดล้อม

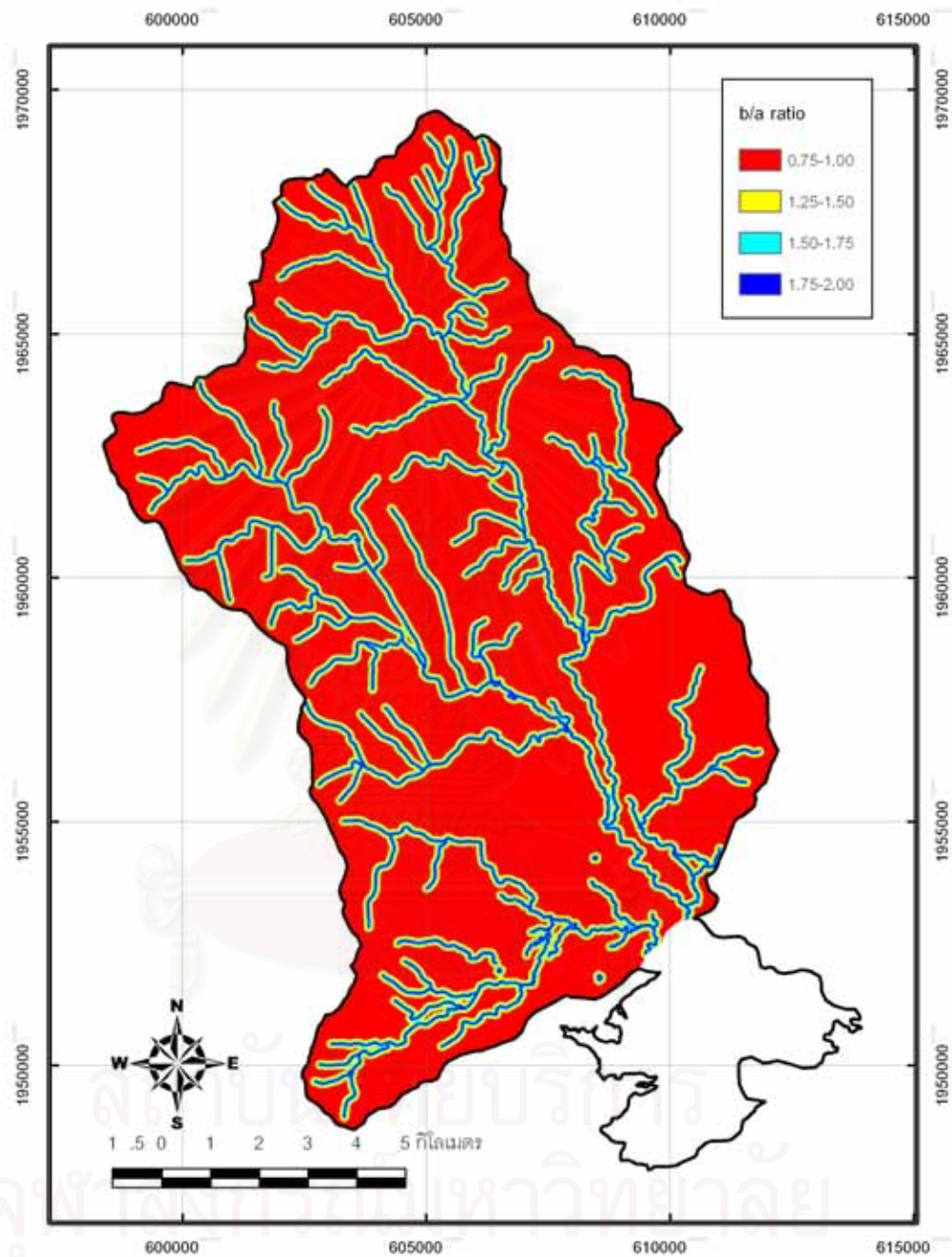


a) พื้นที่ที่เกิดร่องรอยของระยะห่างจากทางน้ำ



b) ค่า b/a ratio ของระยะห่างจากทางน้ำ

**รูปที่ 4.7** กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอยของแผนที่ระยะห่างจากทางน้ำ(a) และ ค่า b/a ratio ของระยะห่างจากทางน้ำ (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล



รูปที่ 4.8 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับ ปัจจัยระยะห่างจากทางน้ำ



ความสัมพันธ์สูงมาก ค่า b/a ratio ของระยะห่างจากทางน้ำ 50 – 100 เมตร มีค่า 1.27 แสดงถึงมีความสัมพันธ์สูง และค่า b/a ratio ของระยะห่างจากทางน้ำตั้งแต่ 100 เมตรขึ้นไป มีค่า 0.83 แสดงถึงมีความสัมพันธ์ปานกลาง

#### 4.1.5 ค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยธรณีวิทยา

ชั้นข้อมูลหน่วยหินที่นำมาคำนวณค่า b/a ratio ของปัจจัยด้านธรณีวิทยา ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ประกอบด้วย 4 หน่วยหิน ได้แก่ หมวดหินกิวลม หมวดหินลับแล หมวดหินเขาพลึง และหน่วยตะกอนธารน้ำพา ค่า b/a ratio ของปัจจัยด้านธรณีวิทยา ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูลที่คำนวณได้ แสดงในตารางที่ 4.5 รูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 จากค่าความสัมพันธ์พบว่า หมวดหินกิวลม มีค่า b/a ratio ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.06 แสดงถึงมีความสัมพันธ์ต่ำมาก หมวดหินลับแล และหมวดหินเขาพลึงมีค่า b/a ratio เท่ากับ 1.04 และ 0.80 แสดงถึงมีความสัมพันธ์ปานกลาง และหน่วยตะกอนธารน้ำพา มีค่า b/a ratio สูงที่สุดเท่ากับ 1.34 แสดงถึงมีความสัมพันธ์สูง

#### 4.1.6 ค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น

ปัจจัยด้านธรณีวิทยาโครงสร้าง เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า เนื่องจากโครงสร้างทางธรณีวิทยา เช่น แนวรอยเลื่อน รอยแตก ระบายชั้นหิน หากมีจำนวนมากจะเป็นตัวกำหนดให้เกิดการแทรกซึมของปริมาณน้ำให้ไหลซึมลงสู่พื้นดินได้ง่าย

ชั้นข้อมูลของปัจจัยระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น ที่นำมาคำนวณค่า b/a ratio แบ่งออกเป็น 6 ชั้นข้อมูล ได้แก่ ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น 0 – 10 เมตร ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น 10 – 20 เมตร ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น 20 – 30 เมตร ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น 30 – 50 เมตร ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น 50 – 100 เมตร และระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้นมากกว่า 100 เมตร

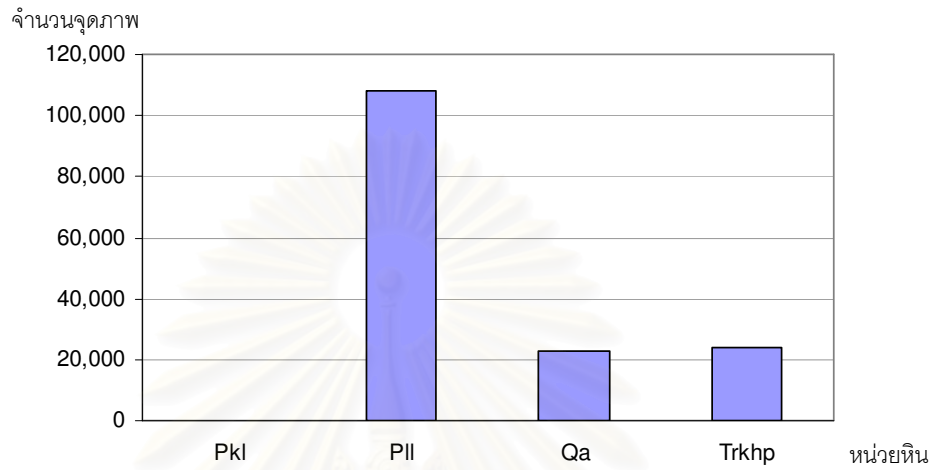
จากการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ พบว่าค่าความสัมพันธ์ของระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้นในช่วงต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความสัมพันธ์ b/a ปานกลางเกือบทั้งหมด ค่า b/a ratio ของปัจจัยระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูลที่คำนวณได้ แสดงในตารางที่ 4.6 รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 โดยระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น 0 – 10 เมตร ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น 10 – 20 เมตร ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น 20 – 30 เมตร ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น 30 – 40 เมตร ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น 40 – 50 เมตร ระยะห่างจาก

**ตารางที่ 4.5** ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า  
กับปัจจัยลักษณะทางธรณีวิทยา

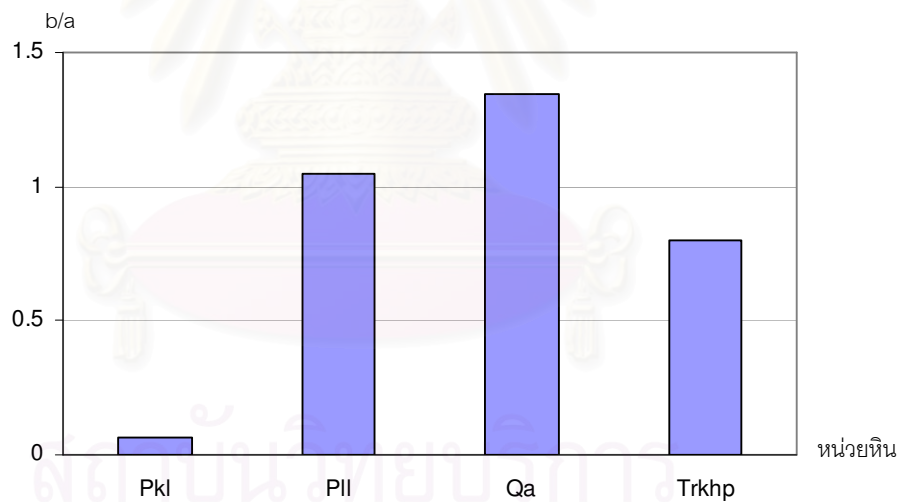
หน่วยหิน	พื้นที่ที่ไม่เกิดร่องรอย (scar-scouring did not occur)		พื้นที่ที่เกิดร่องรอย (scar-scouring occur)		b/a
	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (a)	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (b)	
กิวลม	40,150	2.97	280	0.18	0.06
ลับแล	902,539	66.86	108,009	69.82	1.04
ตะกอนธาร น้ำพา	147,355	10.92	22,703	14.68	1.34
เขาพลึง	259,783	19.25	23,713	15.33	0.80
<b>รวม</b>	<b>1,349,827</b>	<b>100</b>	<b>154,705</b>	<b>100</b>	

**ตารางที่ 4.6** ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า  
กับระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น

ระยะห่าง จากโครงสร้าง แนวเส้น(เมตร)	พื้นที่ที่ไม่เกิดร่องรอย (scar-scouring did not occur)		พื้นที่ที่เกิดร่องรอย (scar-scouring occur)		b/a
	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (a)	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (b)	
0 ถึง 10	12,670	0.94	1,571	1.02	1.08
10 ถึง 20	12,927	0.96	1,679	1.09	1.13
20 ถึง 30	12,999	0.96	1,620	1.05	1.09
30 ถึง 50	26,796	1.99	3,257	2.11	1.06
50 ถึง 100	70,223	5.20	7,842	5.07	0.97
มากกว่า 100	1,214,212	89.95	138,736	89.68	1.00
<b>รวม</b>	<b>1,349,827</b>	<b>100</b>	<b>154,705</b>	<b>100</b>	

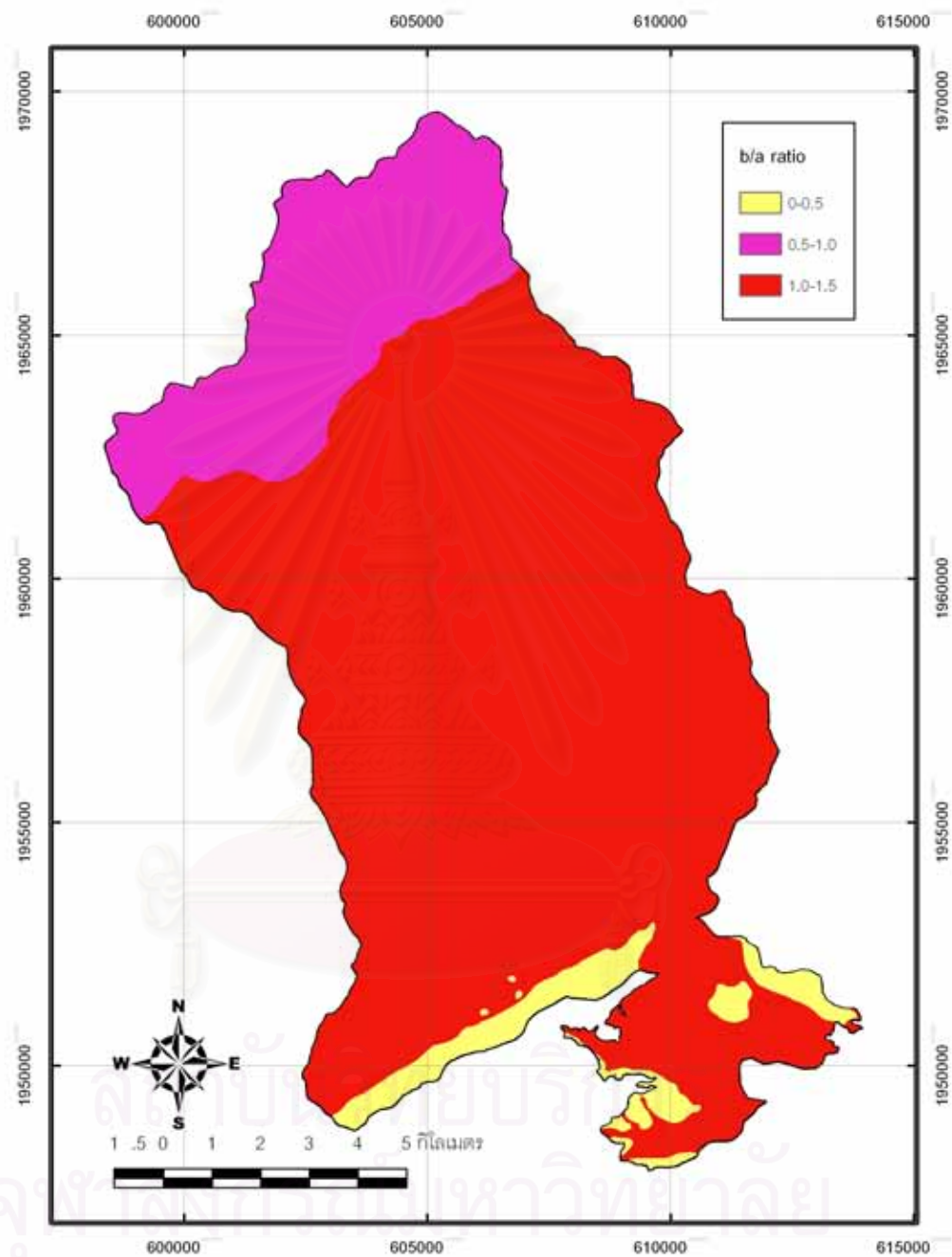


a) พื้นที่ที่เกิดร่องรอยของปัจจัยทางธรณีวิทยา

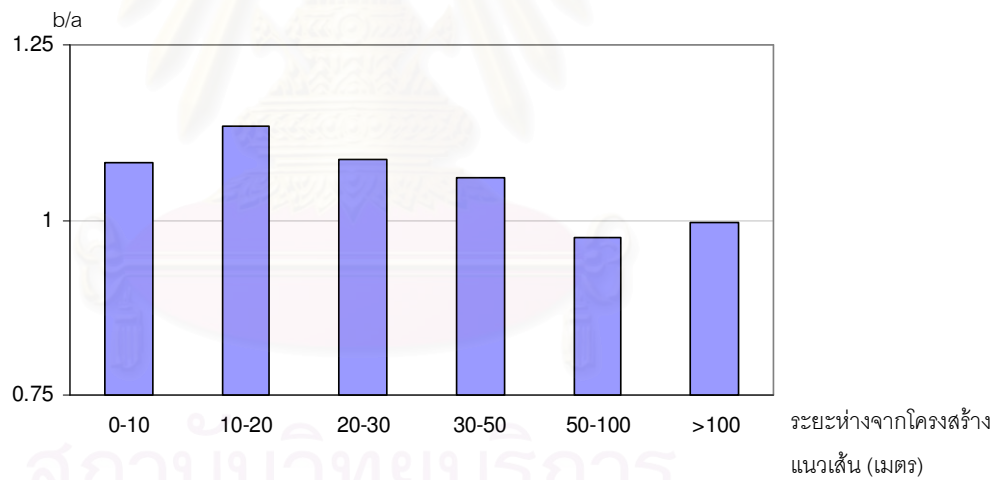
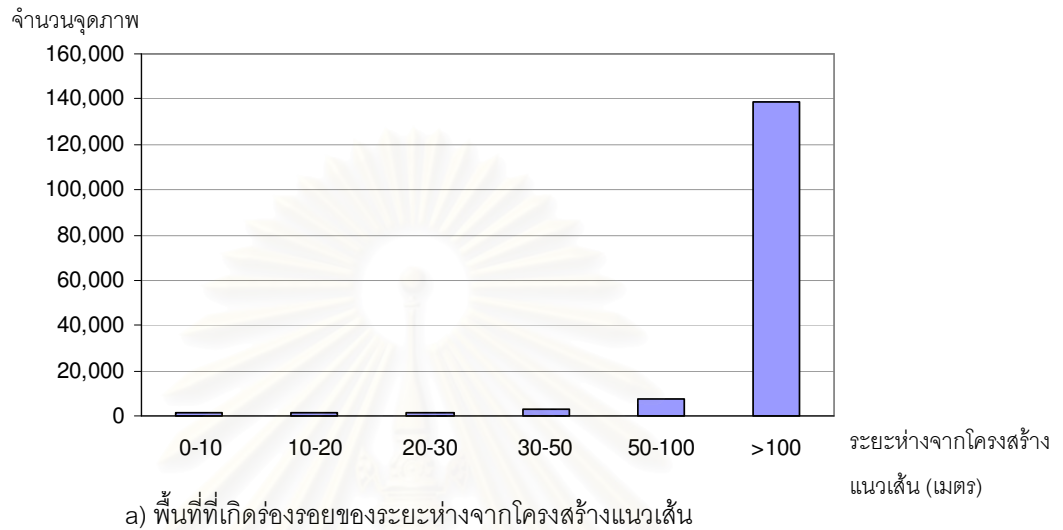


b) ค่า b/a ratio ของปัจจัยทางธรณีวิทยา

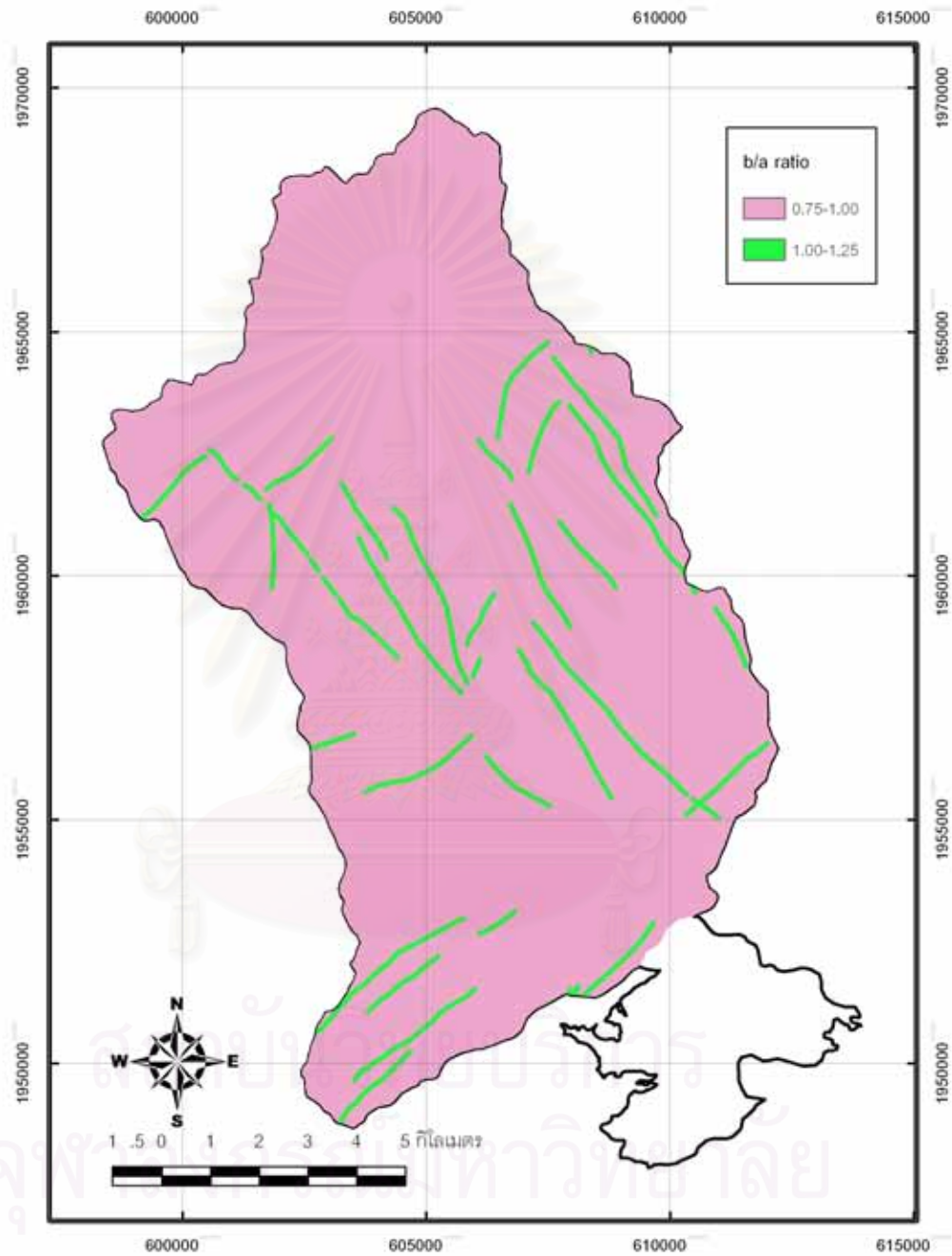
**รูปที่ 4.9** กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอยฯ ของปัจจัยลักษณะทางธรณีวิทยา (a) และ ค่า b/a ratio ของหน่วยหิน (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูน



รูปที่ 4.10 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับ  
ปัจจัยธรณีวิทยา



**รูปที่ 4.11** กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอย ของระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น (a) และ ค่า b/a ratio ของระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล



รูปที่ 4.12 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับ  
ปัจจัยระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น

โครงสร้างแนวเส้น 50 – 100 เมตร และระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้นมากกว่า 100 เมตร มีค่า b/a ratio เท่ากับ 1.08, 1.13, 1.09, 1.06, 0.97 และ 1.00 ตามลำดับ

#### 4.1.7 ค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยกลุ่มชุดดิน

ชั้นข้อมูลชุดดินที่นำมาคำนวณค่า b/a ratio ของกลุ่มชุดดินทั้งหมดในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ประกอบด้วย 11 กลุ่มชุดดิน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 5 กลุ่มชุดดินที่ 15 กลุ่มชุดดินที่ 18 กลุ่มชุดดินที่ 19 กลุ่มชุดดินที่ 33 กลุ่มชุดดินที่ 46 กลุ่มชุดดินที่ 47 กลุ่มชุดดินที่ 48 กลุ่มชุดดินที่ 52 กลุ่มชุดดินที่ 62 และกลุ่มชุดดินลูกรัง

ค่า b/a ratio ของปัจจัยกลุ่มชุดดินในลุ่มน้ำย่อยแม่พูลที่คำนวณได้ แสดงในตารางที่ 4.7 รูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 พบว่า กลุ่มชุดดินที่ 5 กลุ่มชุดดินที่ 46 กลุ่มชุดดินที่ 48 และ กลุ่มชุดดินลูกรัง มีค่า b/a ratio เท่ากับ 0.15, 0.22, 0.15 และ 0.17 ตามลำดับ แสดงถึงมีความสัมพันธ์ต่ำมาก ค่า b/a ratio ของกลุ่มชุดดินที่ 29 มีค่า 0.62 แสดงถึงมีความสัมพันธ์ต่ำ ค่า b/a ratio ของกลุ่มชุดดินที่ 18 กลุ่มชุดดินที่ 47 กลุ่มชุดดินที่ 52 และ กลุ่มชุดดินที่ 62 มีค่า 0.80, 0.84, 1.19 และ 0.97 ตามลำดับ แสดงถึงมีความสัมพันธ์ปานกลาง ค่า b/a ratio ของกลุ่มชุดดินที่ 15 มีค่า 1.37 แสดงถึงมีความสัมพันธ์สูง และค่า b/a ของกลุ่มชุดดินที่ 33 มีค่า 2.57 แสดงถึงมีความสัมพันธ์สูงมาก

จากค่า b/a ratio ในปัจจัยด้านกลุ่มชุดดิน พบว่าค่าความสัมพันธ์และโอกาสความเป็นไปได้ ที่จะเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าสูง คือ กลุ่มชุดดินที่ 15 และกลุ่มชุดดินที่ 33 โดยกลุ่มชุดดินที่ 15 เป็นชุดดินร่วนเหนียวที่เกิดจากตะกอนลำน้ำพัดพามาทับถมค่อนข้างใหม่ บริเวณตะพักลำน้ำระดับต่ำ มีการระบายน้ำค่อนข้างเร็ว และกลุ่มชุดดินที่ 33 เป็นดินชุดดินที่เกิดจากตะกอนที่น้ำพัดพามาทับถมค่อนข้างใหม่ บริเวณตะพักลำน้ำค่อนข้างใหม่ เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง และมีการระบายน้ำดีถึงดี

#### 4.1.8 ค่าความสัมพันธ์ของความหนาของชั้นดิน

ชั้นข้อมูลความหนาของชั้นดินที่นำมาคำนวณค่า b/a ratio ของกลุ่มชุดดินทั้งหมดในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ประกอบด้วย 4 ช่วงความหนา ได้แก่ ความหนาของชั้นดินตื้นถึงตื้นมาก ความหนาของชั้นดินตื้นถึงลึกปานกลาง ความหนาของชั้นดินลึก และความหนาของชั้นดินลึกมาก

ค่า b/a ratio ของปัจจัยด้านความหนาของชั้นดิน ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูลที่คำนวณได้ แสดงในตารางที่ 4.8 รูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16 โดยความหนาของชั้นดินลึกมาก มีค่า b/a ratio สูงที่สุด

**ตารางที่ 4.7** ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า

กับกลุ่มชุดดิน

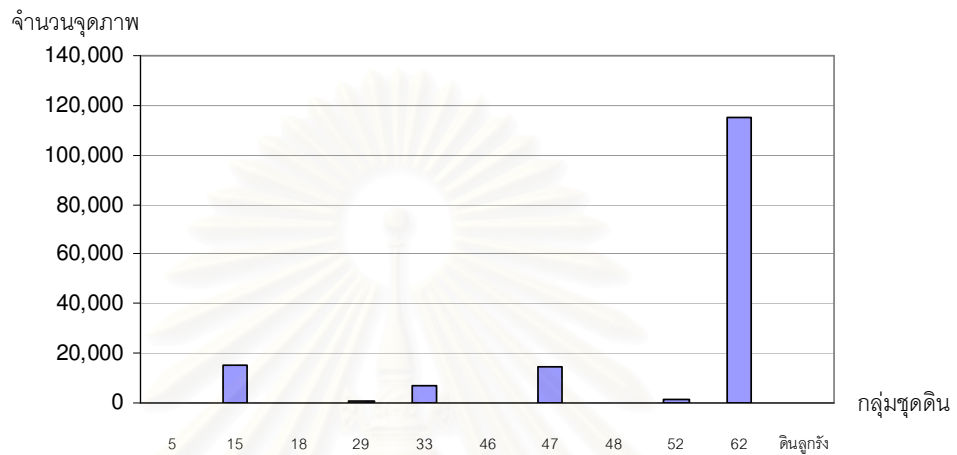
กลุ่มชุดดิน	พื้นที่ที่ไม่เกิดร่องรอย (scar-scouring did not occur)		พื้นที่ที่เกิดร่องรอย (scar-scouring occur)		b/a
	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (a)	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (b)	
5	8,375	0.62	141	0.09	0.15
15	98,723	7.31	15,491	10.01	1.37
18	1,874	0.14	172	0.11	0.80
29	14,133	1.05	1,004	0.65	0.62
33	22,713	1.68	6,680	4.32	2.57
46	6,351	0.47	157	0.10	0.22
47	147,391	10.92	14,225	9.19	0.84
48	360	0.03	6	0.00	0.15
52	11,739	0.87	1,599	1.03	1.19
62	1,029,994	76.31	115,071	74.38	0.97
ดินลูกรัง	8,174	0.61	159	0.10	0.17
<b>รวม</b>	<b>1,349,827</b>	<b>100</b>	<b>154,705</b>	<b>100</b>	

**ตารางที่ 4.8** ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า

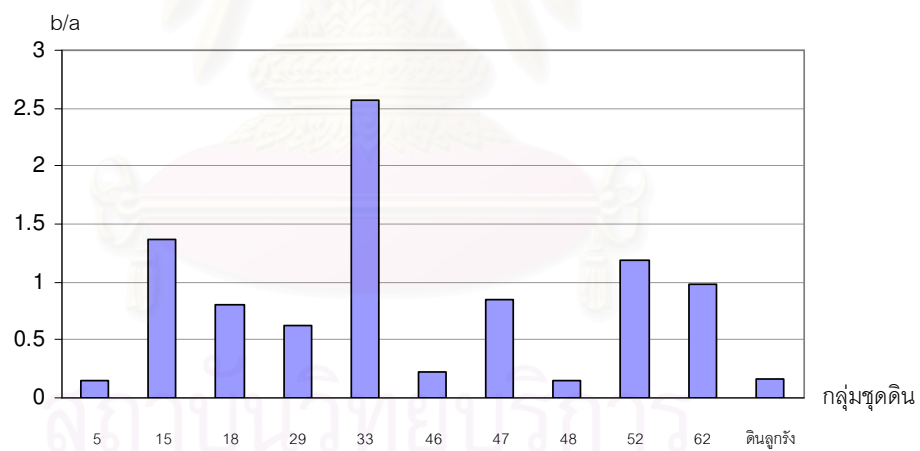
กับความหนาของชั้นดิน

ความหนาของ ชั้นดิน	พื้นที่ที่ไม่เกิดร่องรอย (scar-scouring did not occur)		พื้นที่ที่เกิดร่องรอย (scar-scouring occur)		b/a
	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (a)	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (b)	
ตื้นถึงตื้นมาก	1,058,492	78.42	117,164	75.73	0.97
ตื้นถึงลึกปานกลาง	147,391	10.92	14,225	9.19	0.84
ลึก	14,133	1.05	1,004	0.65	0.62
ลึกมาก	129,811	9.62	22,312	14.42	1.50
<b>รวม</b>	<b>1,349,827</b>	<b>100</b>	<b>154,705</b>	<b>100</b>	



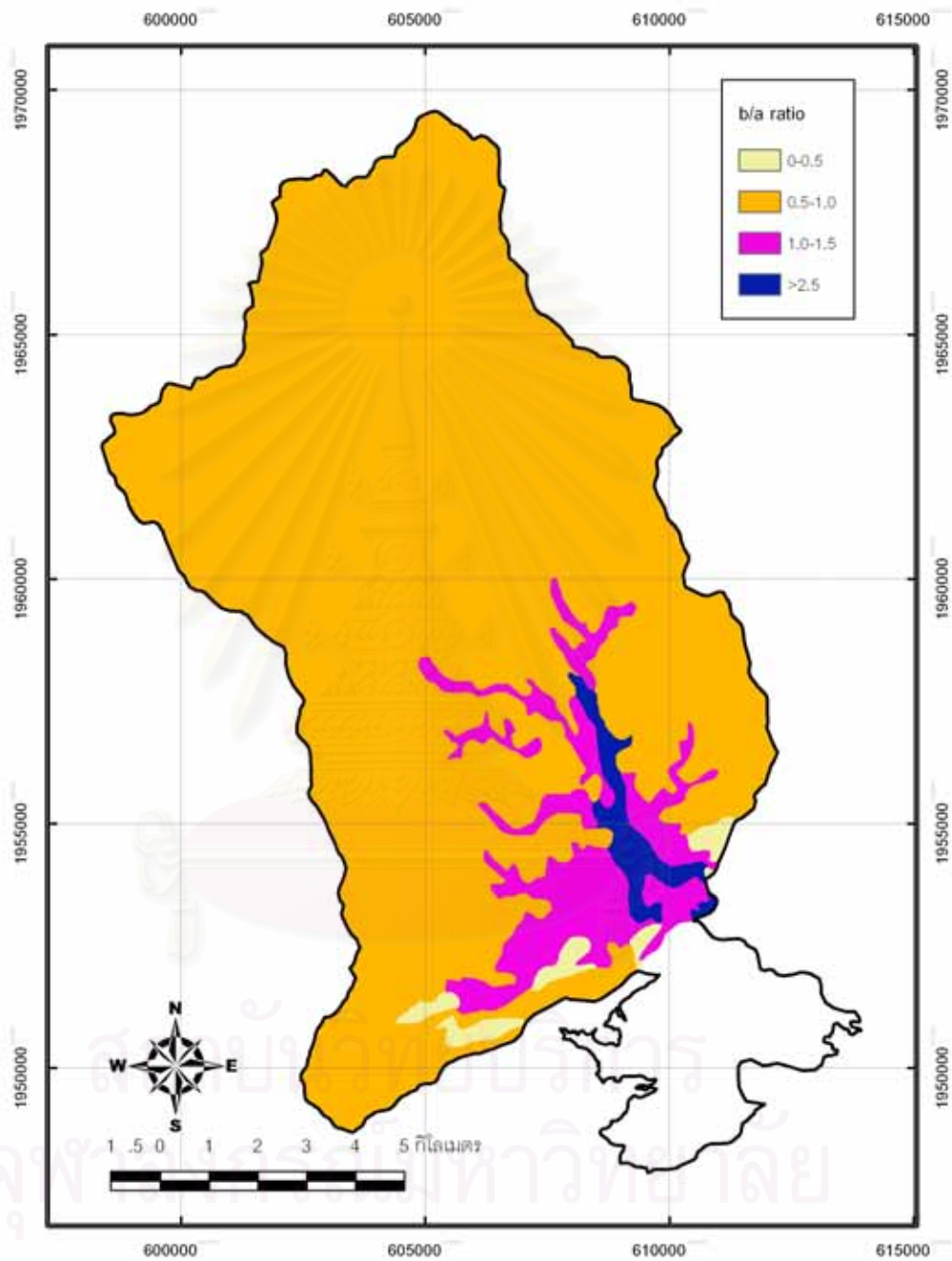


a) พื้นที่ที่เกิดร่องรอยของกลุ่มชุดดิน

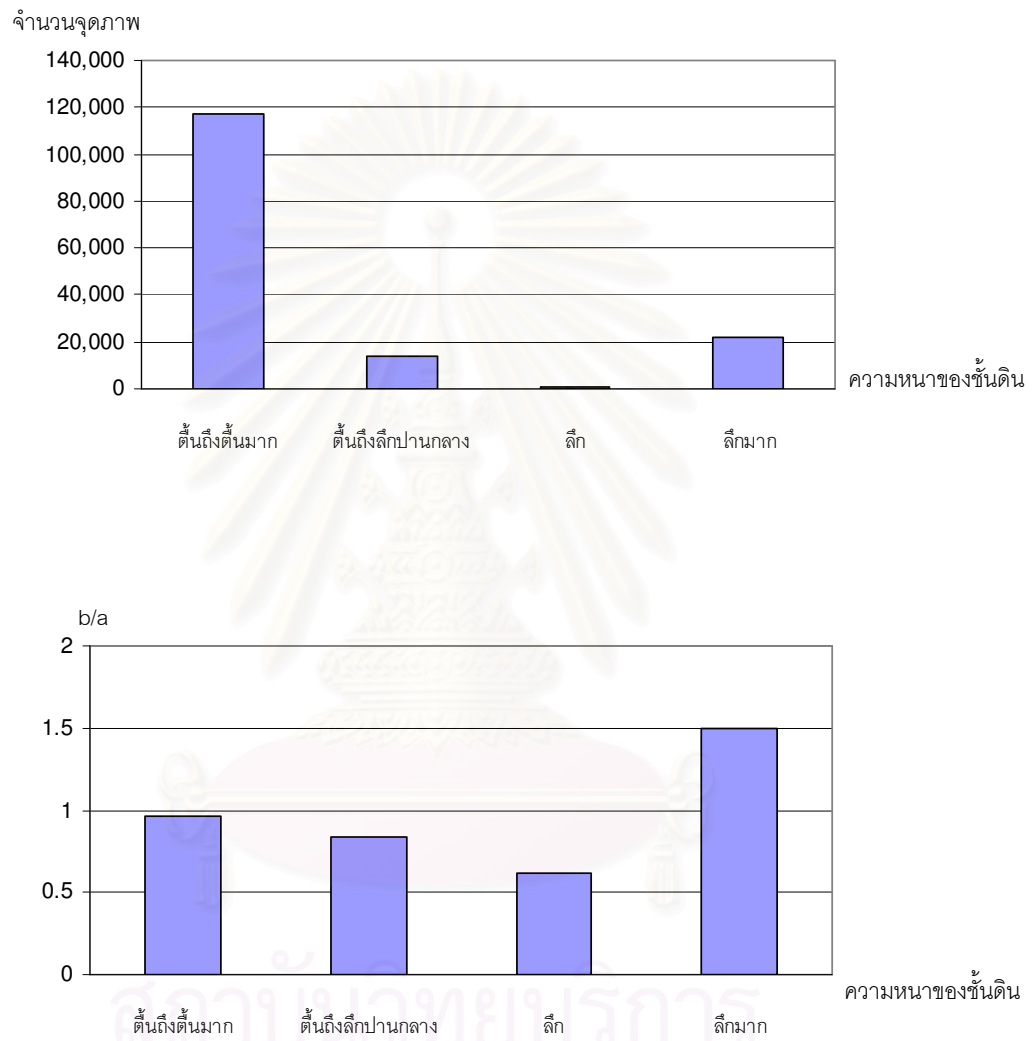


b) ค่า b/a ratio ของกลุ่มชุดดิน

รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอยฯ ของปัจจัยด้าน  
กลุ่มชุดดิน (a) และ ค่า b/a ratio ของกลุ่มชุดดิน (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล

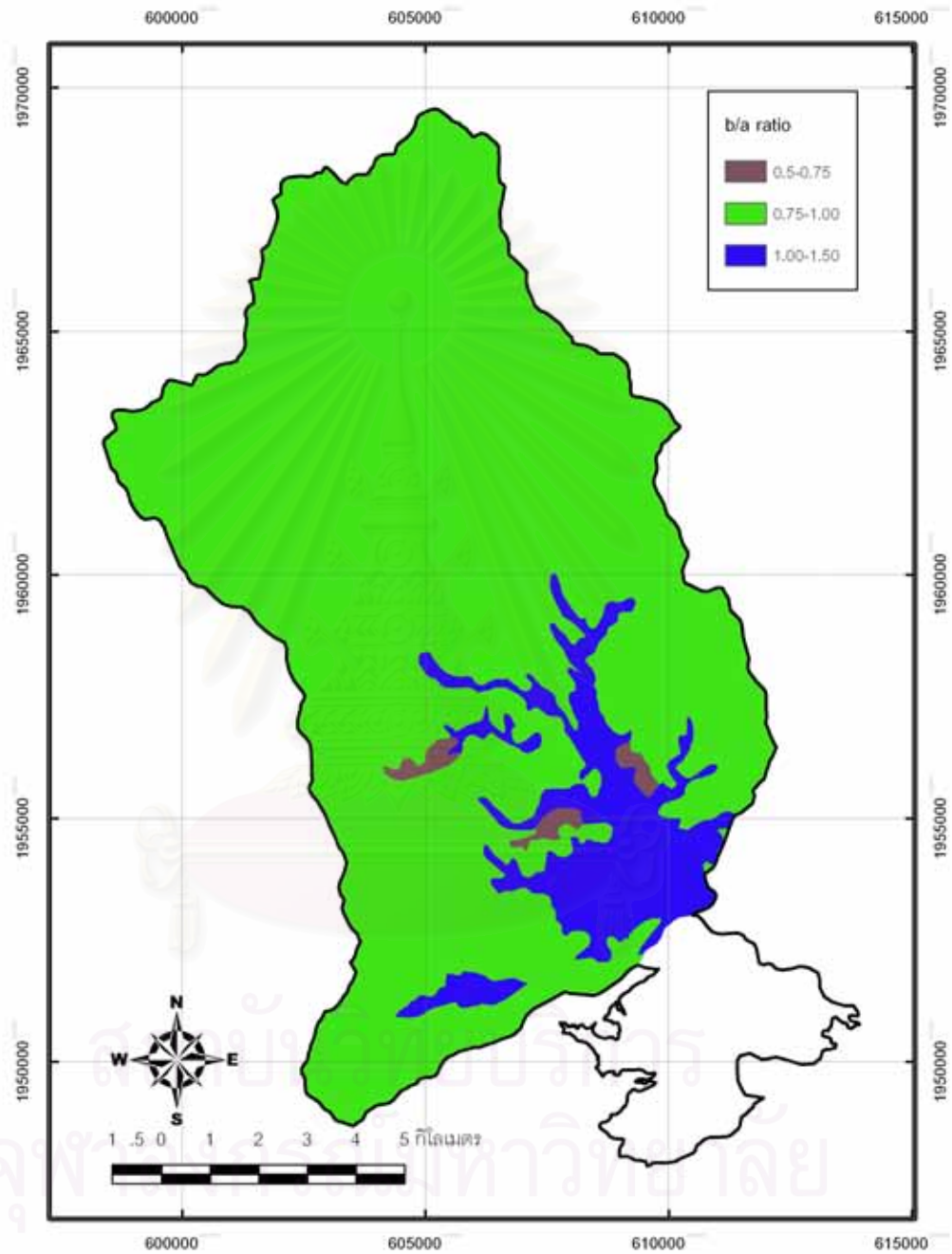


รูปที่ 4.14 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนปากกับ  
ปัจจัยกลุ่มชุดดิน



b) ค่า b/a ratio ของความหนาของชั้นดิน

**รูปที่ 4.15** กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอยๆ ของความหนาของชั้นดิน (a) และ ค่า b/a ratio ของความหนาของชั้นดิน (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล



รูปที่ 4.16 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ากับ  
ปัจจัยความหนาของชั้นดิน

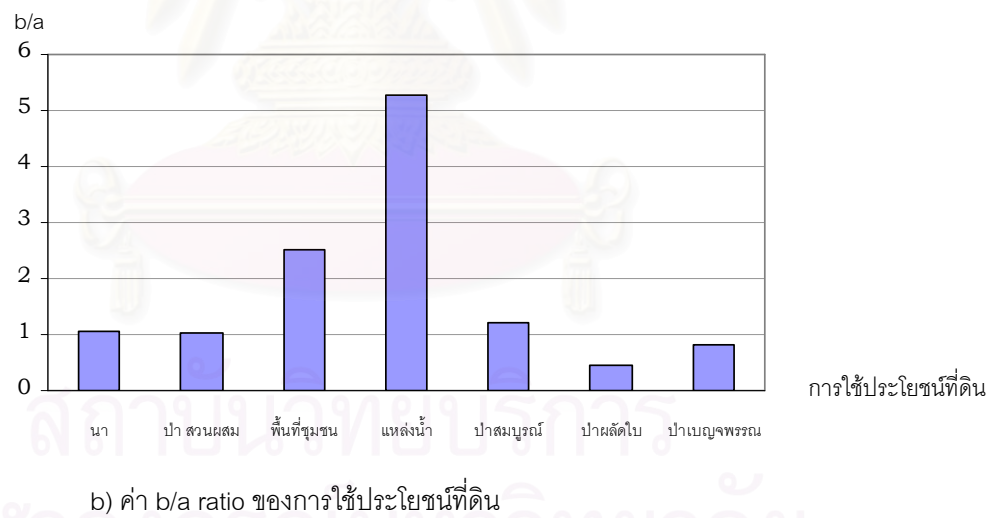
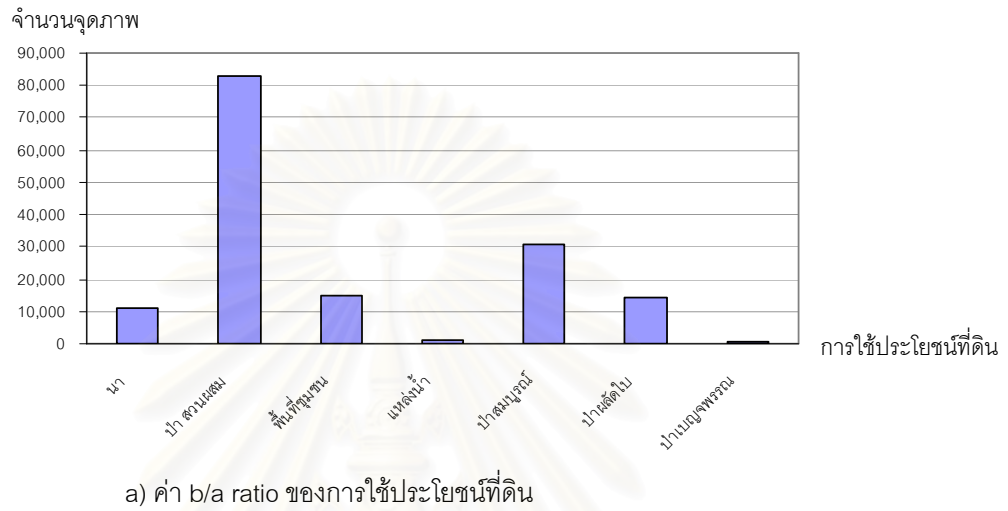
เท่ากับ 1.50 แสดงถึงความสัมพันธ์สูง ค่า  $b/a$  ratio ของดินที่มีความหนาตั้งแต่ต้นถึงต้นมาก และต้นถึง  
 ลึกปานกลาง มีค่า 0.97 และ 0.84 แสดงถึงมีความสัมพันธ์ปานกลาง ความหนาของชั้นดินใน  
 ระดับลึก มีค่า  $b/a$  ratio ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.62 แสดงถึงมีความสัมพันธ์ต่ำ

#### 4.1.9 ค่าความสัมพันธ์ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน

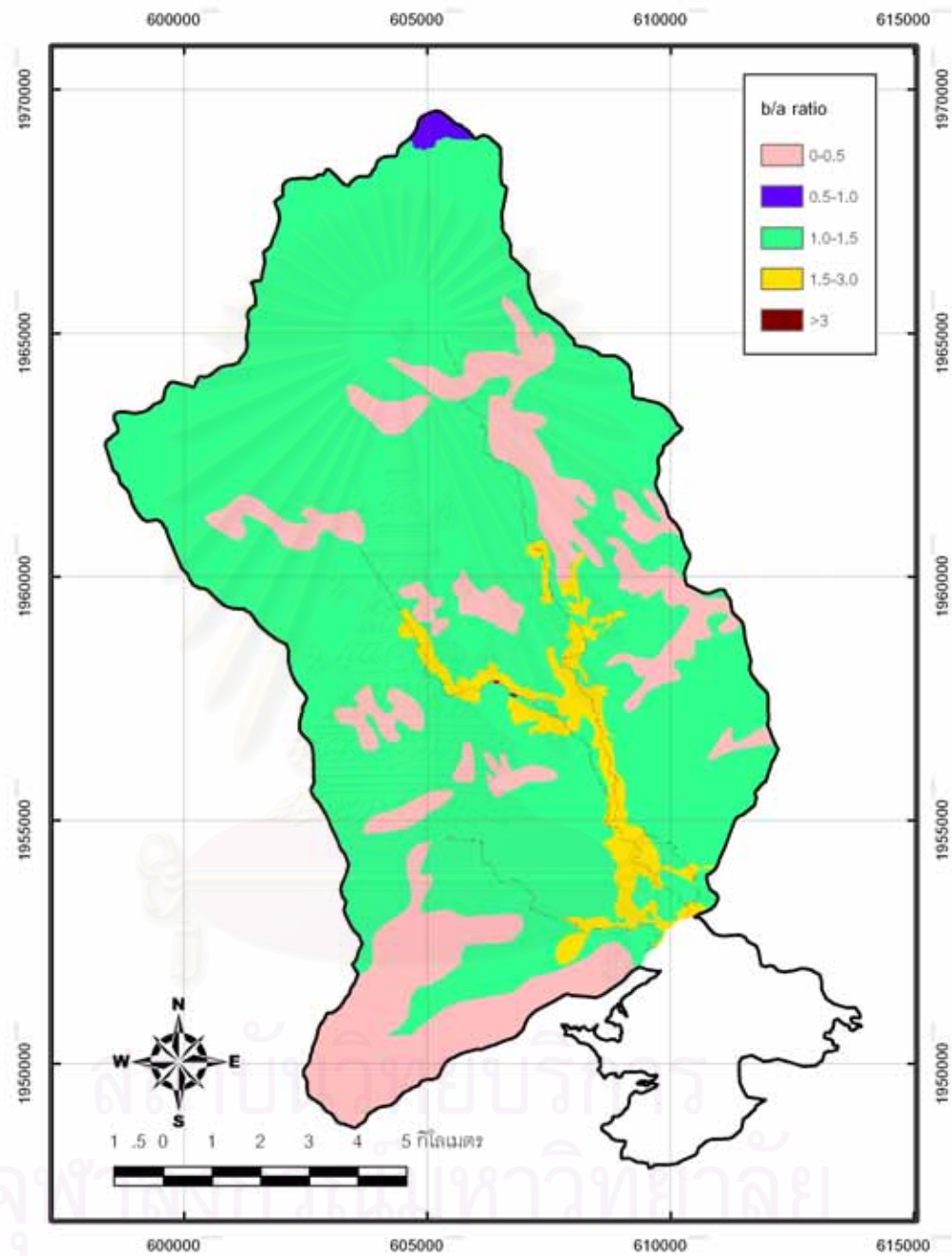
ชั้นข้อมูลปัจจัยด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่นำมาคำนวณค่า  $b/a$  ratio แบ่งออกเป็น 6  
 ประเภท ได้แก่ พื้นที่นาข้าว พื้นที่ไม้ผลผสมและป่าเบญจพรรณ พื้นที่ชุมชน พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่ป่า  
 เบญจพรรณ พื้นที่ป่าผลัดใบเสื่อมโทรม และพื้นที่ไร่หมุนเวียนผสม ค่า  $b/a$  ratio ของปัจจัย  
 ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูลที่คำนวณได้ แสดงในตารางที่ 4.9 รูปที่ 4.17  
 และรูปที่ 4.18 จากค่าความสัมพันธ์พบว่า ลักษณะการใช้ประโยชน์พื้นที่แบบป่าผลัดใบเสื่อม  
 โทรม มีค่า  $b/a$  ratio เท่ากับ 0.44 แสดงถึงมีความสัมพันธ์ต่ำ ลักษณะการใช้ประโยชน์พื้นที่แบบ  
 นาข้าว การใช้ประโยชน์พื้นที่ไม้ผลผสมและป่าเบญจพรรณ การใช้ประโยชน์พื้นที่แบบป่าเบญจ  
 พรรณ และการใช้ประโยชน์พื้นที่แบบไร่หมุนเวียนผสม มีค่า  $b/a$  ratio เท่ากับ 1.06, 1.03, 1.22  
 และ 0.82 ตามลำดับ แสดงถึงมีความสัมพันธ์ปานกลาง และลักษณะการใช้ประโยชน์พื้นที่ชุมชน  
 และพื้นที่แหล่งน้ำ มีค่า  $b/a$  ratio เท่ากับ 2.51 และ 5.26 แสดงถึงมีความสัมพันธ์สูงมากและมี  
 โอกาสความน่าจะเป็นในการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ามากที่สุด

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า  
กับปัจจัยด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การใช้ประโยชน์ ที่ดิน	พื้นที่ที่ไม่เกิดร่องรอย (scar-scouring did not occur)		พื้นที่ที่เกิดร่องรอย (scar-scouring occur)		b/a
	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (a)	จำนวนจุดภาพ	เปอร์เซ็นต์ (b)	
นาข้าว	90,831	6.73	11,030	7.13	1.06
ไม้ผลผสม ป่าเบญจพรรณ	703,508	52.12	82,840	53.55	1.03
ชุมชน	51,673	3.83	14,873	9.61	2.51
แหล่งน้ำ	1,403	0.10	846	0.55	5.26
ป่าเบญจพรรณ	219,463	16.26	30,579	19.77	1.22
ป่าผลัดใบ เสื่อมโทรม	277,691	20.57	14,049	9.08	0.44
ไร่หมุนเวียนผสม	5255	0.39	491	0.32	0.82
<b>รวม</b>	<b>1,349,827</b>	<b>100</b>	<b>154,705</b>	<b>100</b>	



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการกระจายตัวของจำนวนจุดภาพที่เกิดร่องรอยๆ ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (a) และ ค่า b/a ratio ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (b) ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูน



รูปที่ 4.18 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างร่องรอยของตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนบ่ากับ ปัจจัยด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน



## 4.2 ความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า

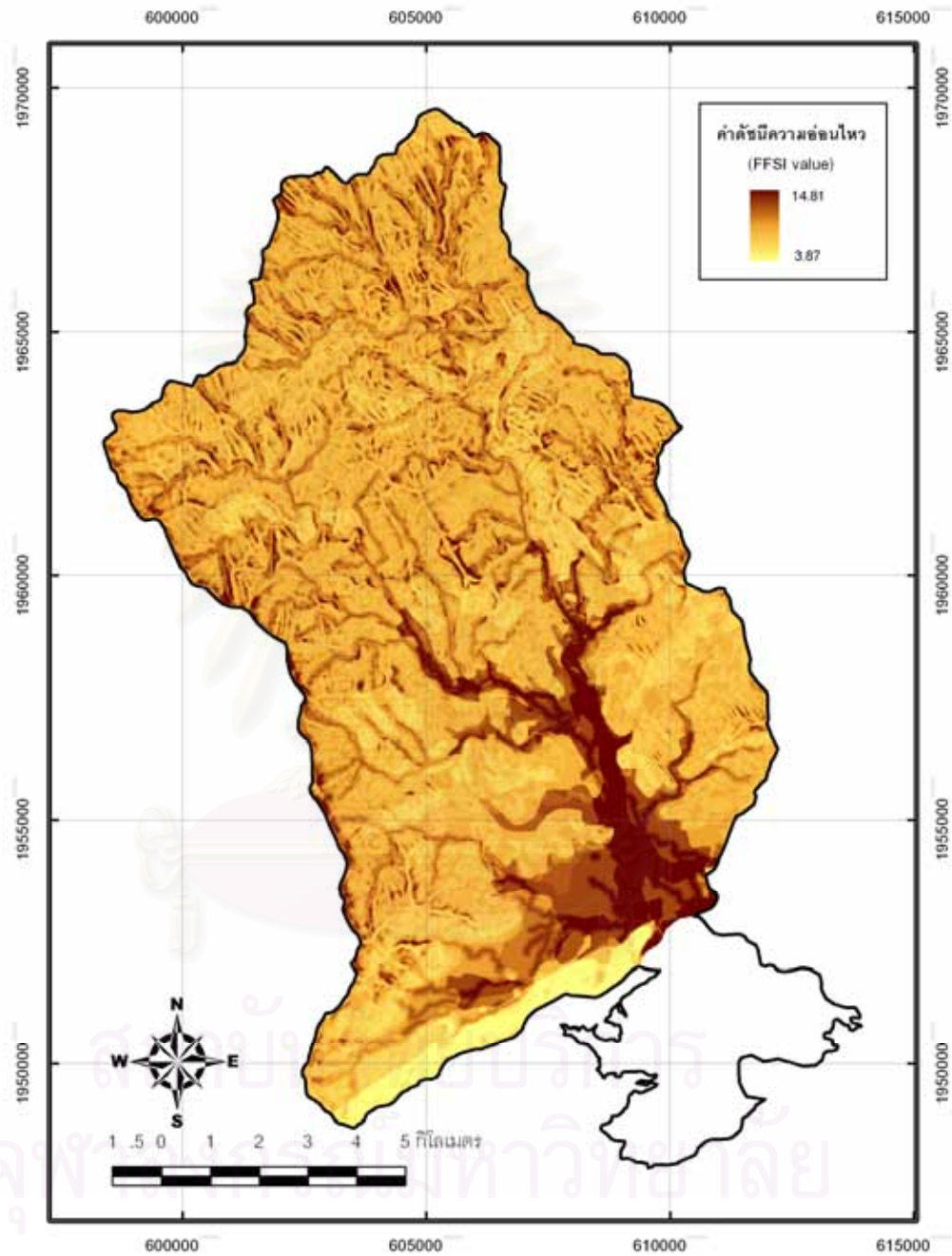
การคำนวณค่าความสัมพันธ์ และประเมินความเป็นไปได้ในการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าของแต่ละปัจจัย โดยใช้วิธีความน่าจะเป็นแบบตัวแปรเดียว อัตราส่วนความสัมพันธ์สามารถคำนวณได้จากการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ (b/a ratio) ระหว่างร่องรอยตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า กับปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลที่เกี่ยวข้อง ค่าอัตราส่วนที่คำนวณได้ของชั้นข้อมูลในแต่ละปัจจัยที่พิจารณาว่ามีความสัมพันธ์ จะถูกเลือกมาทำการคำนวณซึ่งขึ้นอยู่กับความคิดเห็นของผู้ทำการศึกษา ค่าดัชนีพื้นที่ที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า สามารถคำนวณได้จากผลรวมของค่า b/a ดังสมการ

$$FFSI = \sum Fr$$

โดย FFSI = ค่าดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า  
 $\sum Fr$  = ผลรวมของค่า b/a ในแต่ละปัจจัยที่เลือกมาทำการวิเคราะห์

ปัจจัยที่พิจารณา และคัดเลือก เพื่อนำมาคำนวณค่าความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ประกอบด้วย 7 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชัน ลักษณะธรณีสัณฐาน ระยะห่างจากทางน้ำ ชุดหิน กลุ่มชุดดิน ความหนาของชั้นดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน

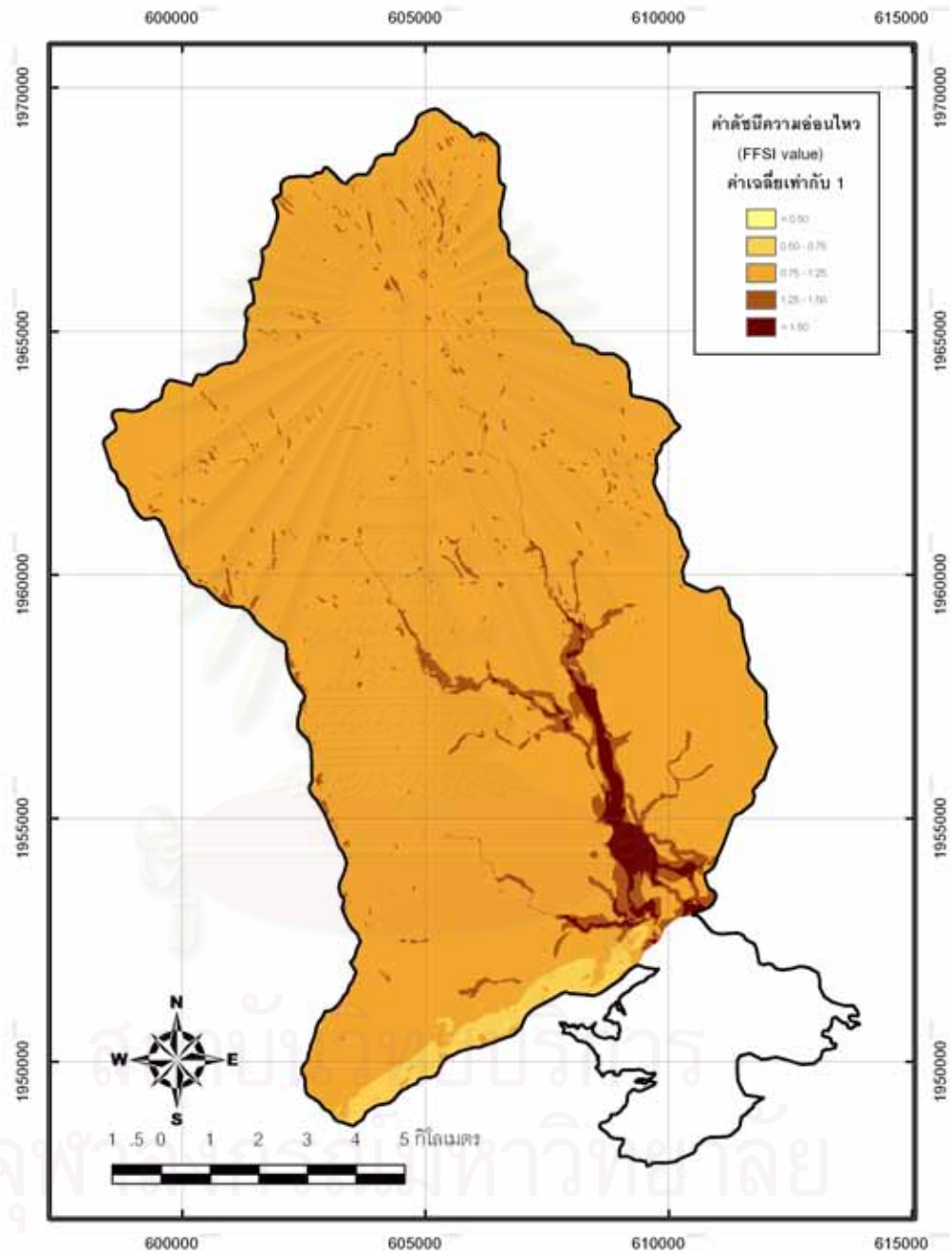
จากการคำนวณค่าดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าในพื้นที่ จากปัจจัยทั้ง 7 ปัจจัย พบว่าค่าดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า มีค่าสูงสุด ต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.81 3.87 7.05 และ 1.07 ตามลำดับ (รูปที่ 4.19) หลังจากได้ผลรวมของค่าความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย สามารถนำไปจัดทำเป็นแผนที่แสดงพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวได้ การจัดแบ่งระดับความอ่อนไหวโดยกำหนดให้ค่าดัชนีความอ่อนไหว ถ่วงน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 1 ซึ่งหมายถึงมีระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าในระดับปานกลาง และสามารถแบ่งระดับความอ่อนไหวได้เป็น 5 ระดับ ดังนี้



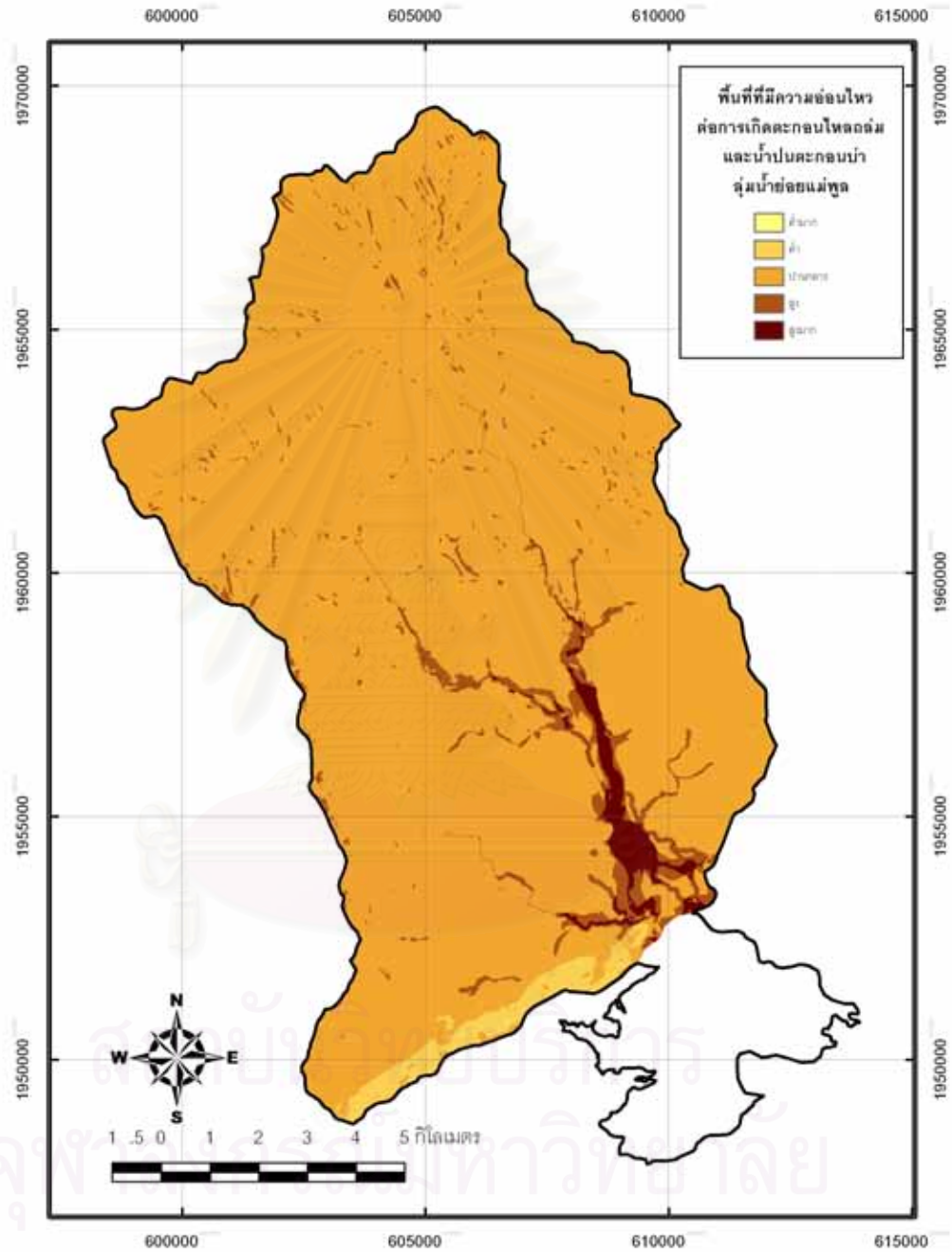
รูปที่ 4.19 ค่าดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า จากผลรวมของค่า b/a ทั้ง 7 ปีวิจัย

ระดับความอ่อนไหว	ค่า FFSI
ต่ำมาก (very low)	น้อยกว่า 0.5
ต่ำ (low)	0.5 – 0.75
ปานกลาง (moderate)	0.75 – 1.25
สูง (high)	1.25 – 1.5
สูงมาก (very high)	มากกว่า 1.5

จากผลรวมของค่าดัชนีความอ่อนไหวในแต่ละปัจจัยที่กำหนดให้ให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.20 สามารถสร้างแผนที่แสดงพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ได้ดังรูปที่ 4.21 จากแผนที่ดังกล่าว พบว่าพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าในระดับสูงมาก ระดับสูง ระดับปานกลาง ระดับต่ำ และระดับต่ำมาก มีพื้นที่ 0.02, 3.12, 138.15, 6.52 และ 2.64 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ โดยพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวในระดับปานกลางครอบคลุมพื้นที่ถึง 91.82 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลทั้งหมด และพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าในระดับสูงถึงระดับสูงมาก พบว่ามีกระจายตัวอยู่ทั้งในพื้นที่ที่เป็นภูเขา พื้นที่หุบเขา และพื้นที่ราบลุ่มตามทางน้ำ



รูปที่ 4.20 ค่าดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า  
จากผลรวมของค่า  $b/a$  ทั้ง 7 ปีจจัย โดยกำหนดให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1



รูปที่ 4.21 แผนที่แสดงพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า  
ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์

## บทที่ 5

### อภิปราย

#### 5.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษากการประเมินภัยพิบัติดินถล่ม ประเภทตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าร่วมกัน โดยการนำวิธีการทางสถิติมาใช้ในการหาปัจจัยที่มีอิทธิพล และประเมินพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล เนื่องจากเป็นการศึกษาดินถล่มในมาตราส่วนขนาดกลาง และทำการศึกษาโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยวิธีการความน่าจะเป็นแบบตัวแปรเดียวระหว่างปัจจัยที่คาดว่าอิทธิพลก่อให้เกิดภัยพิบัติในครั้งนี้ กับร่องรอยของการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลทั้ง 9 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยความลาดชัน ทิศทางความลาดชัน ลักษณะธรณีสัณฐาน ระยะห่างจากทางน้ำ หน่วยหิน ระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้น กลุ่มชุดดิน ความหนาของชั้นดิน และการใช้ประโยชน์พื้นที่ พบว่าปัจจัยที่มีค่าความสัมพันธ์สูงสุดคือ ระยะห่างจากทางน้ำ ซึ่งพบว่าพื้นที่ที่ตั้งอยู่บริเวณใกล้ทางน้ำจะมีความสัมพันธ์และมีโอกาสความเป็นไปได้ ในการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีค่าความสัมพันธ์สูงและค่าความสัมพันธ์จะมีค่าต่ำลงเมื่อพื้นที่ตั้งอยู่ในระยะห่างจากทางน้ำมากขึ้น สำหรับเป็นปัจจัยด้านความลาดชัน พบว่าพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงชันจะมีความสัมพันธ์กับการเกิดตะกอนไหลถล่มเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยพื้นที่ที่มีโอกาสความเป็นไปได้ในการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าสูงคือ พื้นที่ที่มีความลาดชันตั้งแต่ 30 องศาขึ้นไป ซึ่งเกิดดินถล่มในรูปแบบตะกอนไหลถล่ม รวมถึงพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยกว่า 5 องศา ซึ่งเกิดดินถล่มในรูปแบบน้ำปนตะกอนป่า สำหรับปัจจัยด้านธรณีวิทยาพบว่าการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่ามีสัมพันธ์กับหน่วยตะกอนธารน้ำพามากที่สุด เนื่องจากเป็นหน่วยตะกอนที่เกิดขึ้นโดยมีความสัมพันธ์กับทางน้ำ ส่วนในหน่วยหินอื่นๆ พบว่ามีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง ความสัมพันธ์กับปัจจัยคุณสมบัติของดิน พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพล คือ กลุ่มชุดดินที่ 33 เป็นกลุ่มชุดดินที่เกิดจากตะกอนที่น้ำพัดพามาทับถมค่อนข้างใหม่ ที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง มีการระบายน้ำดี และความหนาของชั้นดินในระดับลึกมาก สำหรับปัจจัยด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่ามีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบแหล่งน้ำ พื้นที่ชุมชน และพื้นที่ทำนา

จากแผนที่พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า โดยการรวมค่าความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยทั้ง 7 ปัจจัย เข้าด้วยกัน โดยไม่รวมปัจจัยด้านทิศทาง ความลาดชันและปัจจัยด้านระยะห่างจากโครงสร้างแนวเส้นออกไป เนื่องจากพิจารณาว่าเป็นปัจจัยที่ไม่มีความสำคัญ หลังจากรวมค่าความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 7 ปัจจัย แล้วจึงกำหนดให้ค่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 เพื่อให้ค่าเฉลี่ยของค่าความสัมพันธ์อยู่ในระดับความสัมพันธ์ปานกลาง พบว่า

ระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดภัยพิบัติ สามารถแบ่งออกได้เป็น พื้นที่ที่มีความอ่อนไหว ระดับต่ำมาก ระดับต่ำ ระดับปานกลาง ระดับสูง และระดับสูงมาก โดยพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าในระดับสูงและสูงมาก โดยมากกระจายตัวอยู่ตาม บริเวณพื้นที่ราบลุ่มตามทางน้ำ และมีการกระจายตัวอยู่ตามภูเขาบ้าง ซึ่งส่วนมากเป็นพื้นที่ที่มีความชันตั้งแต่ 30 องศา ขึ้นไป ซึ่งอธิบายได้ว่า บริเวณพื้นที่ภูเขาสูงจะเป็นต้นกำเนิดของการเกิดดินถล่ม เมื่อมีปริมาณฝนตกในปริมาณมาก โดยจะมีลักษณะการเกิดดินถล่มในรูปแบบของ ตะกอนไหลถล่ม ซึ่งบริเวณพื้นที่เหล่านี้จะพบลักษณะของมวลวัตถุที่มีขนาดหยาบ ประกอบด้วย มวลวัตถุหลายชนิดปะปนคละเคล้ากัน และเมื่อการเคลื่อนตัวของมวลวัตถุเริ่มมีการไหลลงสู่หุบเขา และไหลลงสู่ทางน้ำระหว่างหุบเขา ลงสู่บริเวณพื้นที่ราบซึ่งอยู่ในระดับต่ำกว่า ลักษณะการเกิดดินถล่มจะเกิดในรูปแบบของน้ำปนตะกอนป่า โดยความสัมพันธ์กับพื้นที่บริเวณที่ราบสามารถ อธิบายได้จากการเกิดดินถล่ม ในรูปแบบของน้ำปนตะกอนป่า ซึ่งเป็นรูปแบบของดินถล่มที่มี ปริมาณน้ำที่มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป รวมอยู่กับมวลวัตถุซึ่งโดยมากเป็นมวลวัตถุขนาด ละเอียด

แผนที่พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับแผนที่ พื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดดินถล่มของกรมทรัพยากรธรณีวิทยา (2547) มาตราส่วน 1:250,000 (รูปที่ 5.1) พบว่ามีความแตกต่างกันในตำแหน่งพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มบ้าง เนื่องจากมีการศึกษา ในลักษณะที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านของมาตราส่วนในการวิเคราะห์ และวิธีการกำหนดปัจจัยที่ให้ความสำคัญของแต่ละปัจจัยในรูปแบบที่แตกต่างกันในด้านของรายละเอียดพื้นที่ โดยพบว่าพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มของกรมทรัพยากรธรณี ได้จัดแบ่งพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มออกเป็น 3 ระดับ คือ พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มอันดับ 1 พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มอันดับ 2 และพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มอันดับ 3 ซึ่งพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มอันดับ 1 โดยมากจะพบอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง ซึ่งค่อนข้างมีความแตกต่างกับผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ที่พบว่าพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าในระดับสูงถึงระดับสูงมาก มีการกระจายตัวในบริเวณพื้นที่ราบอยู่เป็นบริเวณมาก อธิบายได้ว่า การศึกษาครั้งนี้ ได้ศึกษามาตรา





ส่วนขนาดกลาง และใช้วิธีการทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อทำการศึกษาดินถล่มในรูปแบบ การเกิดชนิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนบ้านนั่นเอง

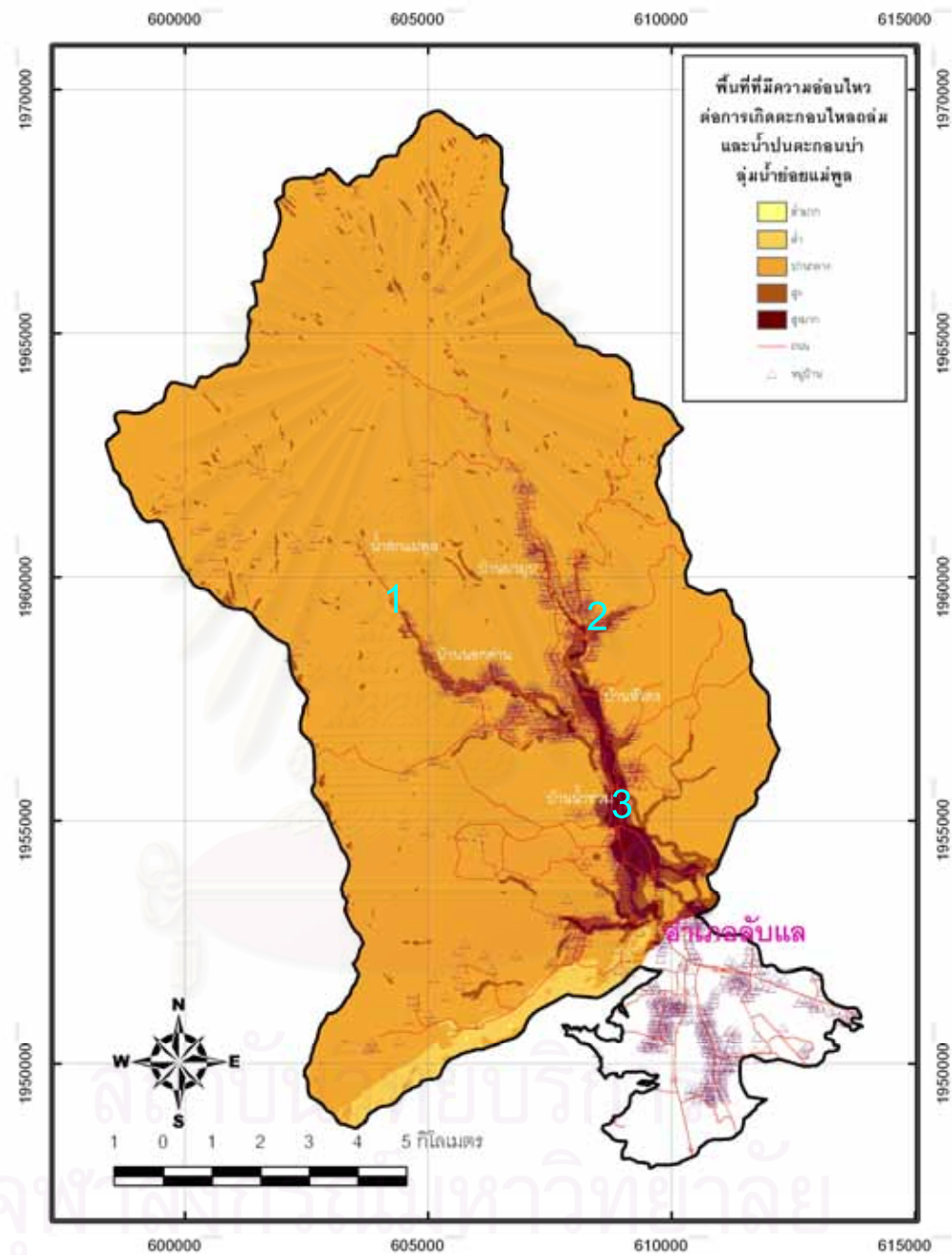
## 5.2 ปริมาณน้ำฝน

จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนอธิบายในบทที่ 3 สามารถอธิบายได้ว่า การที่เกิดฝนตกอย่าง หนักและตกติดต่อกันเป็นเวลาตลอดทั้งวัน ในช่วงก่อนเกิดเหตุการณ์ตะกอนไหลถล่มและน้ำปน ตะกอนป่า ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วง 10 วันก่อนเกิดเหตุการณ์ วัดปริมาณน้ำฝนสะสมได้ มากที่สุดถึง 496.1 มิลลิเมตร โดยช่วง 2 วันก่อนเกิดเหตุการณ์ ปริมาณน้ำฝนในวันที่ 21 พฤษภาคม 2549 วัดได้ 72.1 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำฝนในวันที่ 22 พฤษภาคม 2549 วัดได้ 330 มิลลิเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณน้ำฝนจำนวนเพียง 2 วัน มีปริมาณเทียบเท่าปริมาณ น้ำฝนสะสมเกือบทั้งเดือน ซึ่งให้เห็นว่าปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติ ดินถล่มในครั้งนี้ ประกอบกับในช่วงก่อนเกิดเหตุการณ์ฝนตกหนักผิดปกติใน 2 วันนี้ ได้มีปริมาณ ฝนสะสมตกลงมาอยู่บ้างอย่างต่อเนื่อง ทำให้พื้นดินเกิดการอิ่มตัวไปด้วยน้ำ เมื่อเกิดฝนตกหนักขึ้น จึงก่อให้เกิดดินถล่มได้โดยง่าย

## 5.3 การสำรวจภาคสนาม (field investigation)

การสำรวจภาคสนาม ทำการสำรวจโดยอาศัยแผนที่พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิด ตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ เพื่อหาหลักฐาน และปัจจัยทางภาคสนาม มาสนับสนุนพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำ ปนตะกอนป่าในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล พบว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล มีระบบสาธารณูปโภคที่ ตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มจากปริมาณตะกอน และเศษซาก ต้นไม้เป็นจำนวนมาก โดยทฤษฎีที่สามารถอธิบายความเป็นไปได้ คือ การสร้างตัวของเขื่อนตาม ธรรมชาติ ที่กักเก็บปริมาณเศษซากมวลวัตถุต่างๆ ไว้เป็นจำนวนมากตามบริเวณร่องน้ำ การเกิด พังทลายของเขื่อนที่กักเก็บมวลวัตถุที่มีปริมาณมหาศาลเหล่านี้ สามารถหาหลักฐานได้จากการ สำรวจภาคสนามเพื่อตรวจสอบพื้นที่บริเวณต้นน้ำ ซึ่งตั้งอยู่เหนือชุมชนที่ได้รับความเสียหายอย่าง หนัก

จากการสำรวจความเสียหายหมู่บ้านที่ได้รับผลกระทบ เมื่อนำมาซ้อนทับกับแผนที่พื้นที่ที่ มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า (รูปที่ 5.2) พบว่าแผนที่ที่จัดทำ ขึ้นกับเหตุการณ์ภัยพิบัติที่เกิดขึ้นจริง มีความสอดคล้อง และเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับพื้นที่ที่



รูปที่ 5.2 แผนที่พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า  
 ในลุ่มน้ำย่อยแม่พูล แสดงตำแหน่งของจุดสำรวจภาคสนาม ซึ่งได้รับความ  
 เสียหายจากเหตุการณ์ เมื่อวันที่ 21 พฤษภาคม 2549

ได้รับความเสียหาย ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูลพบว่าพื้นที่ที่น่าสนใจ คือพื้นที่บริเวณน้ำตกแม่พูล (ตำแหน่งที่ 1 ในรูป 5.1) ซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวในตำบลแม่พูล เป็นพื้นที่เกิดความเสียหายอย่างมาก ซึ่งบริเวณทางน้ำ แสดงลักษณะของพื้นที่ราบทางต้นน้ำ ถึงทางน้ำรูปตัววี (V-shape valley) ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของภูมิประเทศอย่างฉับพลัน ทำให้พื้นที่นี้เป็นบริเวณที่มีความเหมาะสมในการสะสมตัวของตะกอนที่ประกอบไปด้วย เศษซากต้นไม้ มวลหินขนาดใหญ่ ที่สามารถประพติตัวเป็นเขื่อนชั่วคราวขึ้นได้ การตรวจสอบหลักฐานจากภาคสนามยังเปิดเผยให้เห็นถึงร่องรอยของเศษซากตะกอนเหล่านี้ ที่ชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดการพังทลายของเขื่อนตามธรรมชาติ ซึ่งส่งผลให้เกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า และเกิดการกัดเซาะไปตามร่องน้ำอย่างรุนแรง และนำตะกอนไปตกสะสมอยู่บริเวณปลายน้ำ ในการสำรวจภาคสนามยังพบว่า ตามเส้นทางคมนาคมก่อนถึงน้ำตกแม่พูลนี้ มีสะพานซึ่งสร้างกีดขวางทางน้ำถึง 3 สะพาน ในบริเวณเดียวกัน ทำให้เกิดเป็นตัวกีดขวางการไหลของและเกิดการหน่วง และสะสมตัวของมวลวัตถุในบริเวณนี้เป็นอย่างดี

ลักษณะธรณีสัณฐานของร่องน้ำ ของห้วยแม่พูล บริเวณต้นน้ำ แสดงข้อสงสัยว่าอาจจะก่อให้เกิดลักษณะของเขื่อนชั่วคราวตามธรรมชาติ คือ ทางน้ำที่มีลักษณะรูปร่างที่สามารถกักเก็บปริมาณน้ำไว้ได้เป็นจำนวนมาก โดยมีลักษณะธรณีสัณฐาน เป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อยกว่า 5 องศา แต่ถูกล้อมล้อมไปด้วยลักษณะภูมิประเทศที่มีความลาดชันมาก แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของภูมิประเทศอย่างฉับพลัน ลักษณะทางน้ำแบบนี้ได้แก่ ทางน้ำรูปตัวยู (U shape valley) และทางน้ำมีการไหลที่ค่อนข้างเป็นเส้นตรง เหมาะสมสำหรับก่อตัวเป็นแหล่งกักเก็บตะกอนไหลถล่มเป็นอย่างยิ่ง

จากการตรวจสอบลักษณะทางธรณีวิทยาของหน่วยหินต่างๆ ในพื้นที่ ซึ่งถึงแม้ว่าค่าการวิเคราะห์ค่าความสัมพัทธ์ในหมวดหินลับแล และหมวดหินเขาพลึง จะมีค่าความสัมพัทธ์ปานกลาง แต่จากการสำรวจพบว่ามีหลายบริเวณที่มีลักษณะธรณีวิทยาของหิน โดยลักษณะเนื้อหินแสดงลักษณะของแนวแตกเรียบเป็นจำนวนมาก (รูปที่ 5.3) ซึ่งเป็นโครงสร้างภายในที่แตกหักง่าย มีความเชื่อมแน่นของหินต่ำ ก่อให้เกิดการผุพัง และถูกกัดเซาะได้ง่าย เมื่อชั้นหินอิมตัว และอุ้มน้ำจนเต็มที จนก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของมวลวัตถุลงมาตามพื้นลาด

เมื่อถึงบริเวณพื้นที่ค่อนข้างราบ ความชันของทางน้ำลดลง เกิดเป็นลักษณะทางน้ำที่ไหลและมีลักษณะการกัดเซาะในแนวระดับในรูปแบบของน้ำปนตะกอนป่า พาดตะกอนซึ่งส่วนมากมีขนาดละเอียดลงไปทับถมกับตะกอนขนาดทรายปนบ้าง ในบริเวณพื้นที่ราบ ซึ่งมีการแผ่กระจายไปตามที่ราบหุบเขาข้างทางน้ำ สร้างความเสียหายกับพื้นที่ราบบริเวณตอนปลายของลุ่มน้ำย่อย ที่อยู่บริเวณใกล้กับทางน้ำดังกล่าว เกิดการทับถมของตะกอนขนาดละเอียด ทำให้บริเวณซึ่ง



รูปที่ 5.3 ลักษณะการผุพังของหินดินดาน ในหมวดหินลับแล ที่แสดงแนวแตกเรียบชัดเจน เป็นจำนวนมาก บริเวณพิกัด 603367E, 1960747N



รูปที่ 5.4 พื้นที่บ้านห้วยใต้ ซึ่งเป็นบริเวณจุดรวมของทางน้ำ 3 สาขาไหลมาบรรจบกัน แสดงสะพานซึ่งสร้างกีดขวางการไหลของทางน้ำ

ส่วนมากเป็นพื้นที่ทำนาที่ได้รับ ความเสียหายจากการถล่มของตะกอน พื้นที่ที่ได้รับ ความเสียหาย จากดินถล่มประเภทน้ำปนตะกอนปานี้ ส่วนมากเป็นพื้นที่ของตำบลฝายหลวง และตำบลศรีพนมมาศ ซึ่งตั้งอยู่บริเวณใกล้กับตัวอำเภอลับแล (ตำแหน่งที่ 3 ในรูปที่ 5.2)

การตรวจสอบภาคสนามบริเวณ หมู่บ้านห้วยใต้ (ตำแหน่งที่ 2 ในรูปที่ 5.2) ซึ่งเป็นหมู่บ้านที่ตั้งอยู่ในลักษณะภูมิประเทศแบบที่ราบหุบเขา อยู่ติดลำห้วย อธิบายเหตุการณ์ว่าเมื่อตะกอนไหลถล่มบริเวณต้นน้ำ จากจุดซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันมาก ปริมาณมวลวัตถุจะไหลสะสมเกิดเป็นตะกอนไหลถล่ม ประกอบด้วยวัตถุขนาดใหญ่ ซึ่งส่วนมากประกอบไปด้วยเศษซากต้นไม้ขนาดใหญ่มีการไหลผ่านตามร่องน้ำ และจะเพิ่มความรุนแรงขึ้นเมื่อมวลวัตถุ ต่างๆ ไหลมารวมกันจากร่องน้ำจากพื้นที่สูงอื่น จนทำให้ปริมาณมวลวัตถุเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันเมื่อมวลวัตถุเคลื่อนตัวมายังพื้นที่บ้านห้วยใต้ ประกอบกับความชันของทางน้ำเริ่มลดลง เริ่มเกิดการกัดเซาะบริเวณในแนวราบแผ่ไปทางด้านข้าง มายังบ้านห้วยใต้ ซึ่งเป็นบริเวณจุดรับน้ำจากทางน้ำสาขา 3 สาขา ได้แก่ ห้วยจำบอน ห้วยบันดิ และห้วยใต้ และพบว่าบริเวณจุดนี้ มีสะพานซึ่งที่มีการสร้างในลักษณะขวางทิศทางการไหลของตะกอนไหลถล่ม (รูปที่ 5.4) ส่งผลให้เกิดความเสียหายรุนแรงเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุดที่เกิดความเสียหายจุดแรกที่เกิดดินถล่มในรูปแบบของตะกอนไหลถล่ม ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่อยู่ปากทางหุบเขา ก่อนที่จะเป็นที่ราบซึ่งมีผลทำให้กระแสน้ำไหลช้าลง และมีการแผ่กระจายและทิ้งตะกอนออกสู่ด้านข้าง ประกอบกับลักษณะการตั้งบ้านเรือนที่อยู่ชิดติดทางน้ำระหว่างหุบเขาทั้งสองด้าน ทำให้มีลักษณะกีดขวางเส้นทาง การไหลของน้ำ ทำให้เกิดการทิ้งตะกอนที่ไหลถล่ม และส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออาคาร และบ้านเรือนในบริเวณพื้นที่นี้เป็นจำนวนมาก

## บทที่ 6

### บทสรุป

1. การหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งเกิดขึ้นในวันที่ 21 พฤษภาคม 2549 โดยวิธีการความน่าจะเป็นแบบตัวแปรเดียว พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าในครั้งนี้ นอกเหนือไปจากปัจจัยด้านปริมาณน้ำฝนที่ตกหนักในระยะเวลาอันสั้น หลังจากที่เกิดฝนตกอย่างต่อเนื่องในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ยังมีปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ ปัจจัยระยะห่างจากทางน้ำที่น้อยกว่า 50 เมตร ปัจจัยความลาดชันที่มากกว่า  $30^\circ$  ปัจจัยการใช้ประโยชน์พื้นที่ใกล้แหล่งน้ำและพื้นที่ชุมชน คุณสมบัติของดินที่มีการระบายน้ำได้ดี ซึ่งเกิดจากตะกอนที่น้ำพัดพามาทับถมค่อนข้างใหม่

2. การหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า จากหลักฐานภาคสนามพบลักษณะธรณีวิทยาของหินที่มีโครงสร้างแตกหักง่าย โดยมีแนวแตกเรียบเป็นจำนวนมาก รวมไปถึงการเกิดแนวชั่วคราวกั้นการไหลตามธรรมชาติของการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ที่สามารถก่อให้เกิดการหน่วงเพื่อการสะสมตัวของซากต้นไม้และตะกอนได้เป็นอย่างดี

3. พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่พูล ประเมินได้จากค่าดัชนีความอ่อนไหวจากผลรวมของค่าความสัมพันธ์ จากปัจจัยทั้ง 7 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชัน ลักษณะธรณีสัณฐาน ระยะห่างจากทางน้ำ ชูดิน กลุ่มชุดดิน ความหนาของชั้นดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยสามารถจัดแบ่งระดับพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่าเป็น 5 ระดับคือ ระดับสูงมาก ระดับสูง ระดับปานกลาง ระดับต่ำ และระดับต่ำมาก มีพื้นที่ 0.02, 3.12, 138.15, 6.52 และ 2.64 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ โดยพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวปานกลางครอบคลุมพื้นที่ถึง 91.82 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด และพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวสูงและสูงมาก ตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง พื้นที่หุบเขา และบริเวณพื้นที่ราบลุ่มตามทางน้ำ ซึ่งส่วนมากเป็นพื้นที่ตั้งของหมู่บ้านและชุมชน

4. แผนที่พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดตะกอนไหลถล่มและน้ำปนตะกอนป่า ที่ได้ในการศึกษาโดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ครั้งนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษา ปรับปรุง แก้ไข เพื่อใช้ในการวางแผนจัดการภัยพิบัติดังกล่าวนี้ กับเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นได้อีกในอนาคต

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, สำนักงาน. 2534. จากห้วงอวกาศสู่พื้นแผ่นดินไทย. กองสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- จรัญ บุญญานุกาพ. 2546. การสำรวจข้อมูลระยะไกล. พิมพ์ครั้งที่ 1. พิษณุโลก คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยนเรศวร. 189 หน้า.
- ทรัพยากรธรณี, กรม. 2547. แผนที่แสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่ม จังหวัดอุดรดิตถ์. มาตราส่วน 1:250,000. กองธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อม ฝ่ายธรณีพิบัติภัย.
- ทรัพยากรธรณี, กรม. 2550. รายงานวิชาการฉบับที่ สทว 8/2550 ธรณีวิทยา ระวังอำเภอศรีสันชาลัย (4944 II) ระวังจังหวัดอุดรดิตถ์ (5044 III) และระวังอำเภอเด่นชัย (5044 IV). 118 หน้า.
- บุญยงค์ ภูผาเรือง, อุดล พร่อมจรรยากุล และสิงห์ ศรีประชา. 2534. รายงานการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจ จังหวัดอุดรดิตถ์. 105 หน้า.
- ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, กรม. 2549. สรุปสถานการณ์อุทกภัย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.disater.go.th/news01/webddpm//test3.html> [25 ธันวาคม 2546].
- แผนที่ทหาร, กรม. 2542. แผนที่ภูมิประเทศระวางจังหวัดอุดรดิตถ์ ระวางบ้านบ่อแก้ว ระวางอำเภอเด่นชัย และระวางอำเภอศรีสันชาลัย.
- พัฒนาที่ดิน, กรม. 2548. รายงานการจัดการทรัพยากรดิน เพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลัก ตามกลุ่มชุดดิน เล่มที่ 1 ดินบนพื้นที่ราบต่ำ. 576 หน้า.
- พัฒนาที่ดิน, กรม. 2548. รายงานการจัดการทรัพยากรดิน เพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลัก ตามกลุ่มชุดดิน เล่มที่ 2 ดินบนพื้นที่ดอน. 645 หน้า.
- ภูมิสารสนเทศเพื่อประเทศไทย, ศูนย์วิจัย. 2546. แนวทางการจัดการภัยจากแผ่นดินถล่ม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [www.gisthai.org](http://www.gisthai.org) [25 ธันวาคม 2546].
- ราชบัณฑิตยสถาน. 2549. พจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพฯ. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์ชวนพิมพ์. 668 หน้า.

## ภาษาอังกฤษ

- Bennett, M. R., Doyle, P., 1999. Environmental Geology. John Wiley and Sons, Chichester. 501 p.
- Burrough, P.A., 1986. Principals of geographical information systems and land resources assessment. Clerandon Press, Oxford, England, 194 pp.
- Crozier, M. J., 1986. Landslides: causes, consequences & environment. Croom Helm, London. 252 pp.
- Curran, P.J., and Williamson, H.D., 1985. The accuracy of ground data used in remote-sensing investigations. Int. J. Remote Sensing 6, 1637 p. 51.
- Dorji, Gyeltshen P. 2007. Landslide hazard and risk assessment of Doi Suthep-Pui area in Chiang Mai province, northern Thailand. 110 pp.
- Einstein, H. H., 1988. Landslide risk assessment procedure. In: Bonnard C (ed) Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides 2:1075- 1090
- Federal Interagency Coordinatiog Committee on Digital Cartography. 1990. Reports Working Group. A Summary of GIS Use in the Federal Government, U.S. Federal Government.
- FEMA. 1998. Landslide and Debris Flow (Mudslide). [online]. Available : <http://www.fema.gov/hazard/landslide/index.shtm>
- Fuchu Dai and Chack Fan Lee. 2003. Landslides on Natural Terrain: Physical Characteristics and Susceptibility Mapping in Hong Kong. pp. 40-47.
- Hansen, A., 1984. Landslide hazard analysis. Slope instability: edited by D. Brunsten and D. B. Prior. (n.p.):John Wiley& Sons, pp. 523-601.
- Hutchinson, J.N., Bromhead E.N., Chandler M.P., 1991. Investigations of the landslides at St Catherine's Point, Isle of Wight. In: Chandler RJ (ed) Slope stability engineering developments and applications. Thomas Telford, London, pp. 169–179
- Hutchinson, J. N., 1988. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrology. In Landslides, Proc. 5th. Int. Symp. on Landslides (Ed. C. Bonnard), Vol. 1:3-35.



- Hunt, I., 1984. Geotechnical Engineering Investigation Manual, McGraw-Hill, New York.
- Howes, D.E. and Kenk, E., 1996. Terrain classification system for British Columbia (2nd revised edition). BC Min. Environ., Victoria, BC Manual 10. Resource Inventory Committee, Government of British Columbia, Victoria, B.C. 1996. Terrain Stability Mapping in BC: A Review and Suggested Methods for Landslide Hazard and Risk Mapping - Final Draft.
- Innes, J., 1985. Lichenometric dating of debris flow deposits on alpine colluvial fans in southwest Norway. *Earth Surface Processes and Landforms* 10:519-524.
- International Association of Engineering Geology (IAEG), 1976. Engineering geological maps: A guide to their preparation, UNESCO Press, Paris. 79 pp.
- International Strategy for Disaster Reduction. 2009. UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. [online]. Available : <http://www.unisdr.org/terminology-2009-eng.html>.
- Ikeya, H., 1974. Introduction for Sabo Works. Tokyo: Bunkyo-ku.
- Lan, HX., Zhou, CH. Wang, LJ. Zhang, HY. Li, RH. 2004. Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China. Engineering Geology 76:109-108.
- Lee, S., and Min, K., 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. Environmental Geology 40:1095-1113.
- Lee, S., and Talib, Jasmi Abdul, 2005. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. Environmental Geology 47:982-990.
- Lillesand and Kiefer and Thomas M. Lillesand, Ralph W. Kiefer. 1994. Remote sensing and image interpretation New York : Wiley, c1994 3rd ed.
- Nutalaya, P., 1991. Catastrophic landslides and sheet flooding in an intermontane tropical basin, southern Thailand. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Murai S., 1993. Remote Sensing Note. Japan Association on Remote Sensing; JARS.
- Osterkamp, W.R., and Hupp, C.R., 1987. Dating and interpretation of debris flows by geologic and botanical methods at Whitney Creek Gorge, Mouth Shasts, California. Geol. Am. Rev. Eng. Geol. VII:157-163.

- Reed, S., 1997. Introduction to Hazards. 3<sup>rd</sup> Edition. New York: UNDP Disaster Management Training Programme.
- Sharpe, C.F.S., 1938. Landslides and related features – a study of mass movements of soils and rocks. New York, Columbia University Press, 137 pp.
- Sheng, T.C., 1966. Landslide Classification and Studies in Taiwan. JCRR, Taipei, Taiwan.
- Sgzen, M. L., 2002. Data driven landslide hazard assessment using geographic information systems and remote sensing. A thesis submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of the Middle East Technical University for the degree of doctor of philosophy in the department of geological engineer, 196 pp.
- Takei, A., 1980. Landslides collapses and debris flows (in Japanese). Tokyo: Kajima Syuppan.
- Tangjaitrong, S., 1994. Modeling landslide hazard using imaged-based GIS. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, The Australian National University, 545 pp.
- Tantiwanit, 1992. A study of landslide disaster in the Kathun area, southern Thailand. Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Thassanapak, H., 2001. Potential landslide assessment of Changwat Phuket. A thesis submitted for Master degree, Department of Geology, Graduate School, Chulalongkorn University, 320pp.
- U.S. National Research Council, 1982. Selecting a methodology for delineating mudslide Hazard areas for the National Flood Insurance Program. National Academic Press, Washington, D.C., 35 pp.
- Van Westen, J.V., 1993. Application of geographic information systems to landslide hazard zonation. Int. Inst. Aerospace Surv. Earth Sci. Publ. No. 15, Enschede.
- Van Westen, J.V., 1994. GIS in landslide hazard zonation : a review, with examples from the Andes of Columbia. In Mountain Environments and Geographic Information Systems. (n.p.):Taylor & Francis, pp. 165-136.

- Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes. In Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (R.L. Schuster and R.J. Krizek, eds.), Transport Research Board (TRB), National Research Council, Washington, D. C., pp. 11-33.
- Varnes, D.J., 1984. Landslide hazard zonation : A review of principles and practice natural hazards 3: UNESCO, France, 63 pp.
- Wieczorek, G.F., Ellen, S., Lips, E.W., Cannon, S.H., and Short, D.N., 1983. Potential for debris flow and debris flood along the Wasatch Front between Salt Lake City and Willard, Utah, and measures for their mitigation. U.S. Geological Survey, Open file report 83-635, 46 pp.
- Wisconsin State Cartographer's Office. 2002. GIS basics. [online]. Available : <http://www.geography.wisc.edu/sco/gis/basics.html#definition>.
- Yumuang, S., 2005. Evaluation of potential for 200 1 debris flow and debris flood in the vicinity of Nam Ko area, Amphoe Lom Sak, Changwat Petchabun, Central Thailand. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University. 229pp.
- Zhibin, T., 1991. A study of landslides in weathered granitic slopes in Amphoe Phi Pun, Nakhon Si Thammarat, Thailand. . A thesis submitted for the Master degree of Science, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand. 51 pp.

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอภิศักดิ์ จักรบุตร เกิดวันที่ 8 กรกฎาคม 2524 ภูมิลำเนาจังหวัดอุดรดิษฐ์ จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่โรงเรียนอุดรดิษฐ์ ได้เข้ารับการศึกษาด้านสาขาวิชา ธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2542 และจบการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ธรณีวิทยา) ในปีการศึกษา 2548 ได้เริ่มเข้าทำงานที่บริษัท เอทอปเทคโนโลยี จำกัด ตั้งแต่ปี พ.ศ.2546 ถึง 2548 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่ปีการศึกษา 2548 เป็นต้นมา ในระหว่างการศึกษาระดับปริญญาโท ได้ทำงานเป็นผู้ช่วยนักวิจัย หลักสูตรธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กาญจนบุรี ในโครงการศึกษาวิจัยรอยเลื่อนมีพลัง บริเวณจังหวัดกาญจนบุรี และพื้นที่ข้างเคียง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย