



รหัสโครงการ SUT7-719-54-24-41

รายงานการวิจัย

การประเมินเสถียรภาพและการพังทลายของความลาดเอียงมวลหิน
ตามแนวถนนทางหลวงในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

(Evaluation of Rock Slope Stability and Failure
along Main Highways in the North and Northeast
using Geo Informatics System)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รหัสโครงการ SUT7-719-54-24-41

รายงานการวิจัย

การประเมินเสถียรภาพและการพังทลายของความลาดเอียงมวลหิน
ตามแนวถนนทางหลวงในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

(Evaluation of Rock Slope Stability and Failure
along Main Highways in the North and Northeast
using Geo Informatics System)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร.ปรีชญา เทพณรงค์

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติเทพ เพ็องขจร

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 และ 2555

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2556

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 และ 2555 ซึ่งงานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีก็ด้วยความช่วยเหลือจากทีมงานหน่วยวิจัยกลศาสตร์ธรณีในการทดสอบและ นางสาวกัลญา พับโพธิ์ ในการพิมพ์รายงานการวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัย

พฤษภาคม 2556

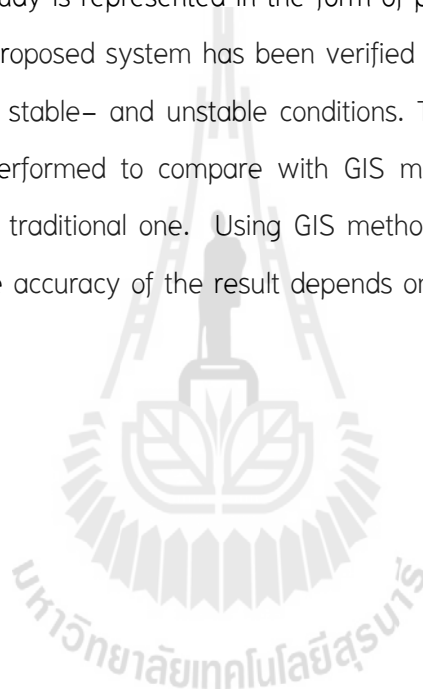


บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินตามแนวทางหลวงด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) โดยไม่มีการออกภาคสนาม ซึ่งพบว่าการพังของความลาดเอียงที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นรูปแบบโค้งเนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการรวมแนวคิดของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และระบบผู้เชี่ยวชาญเข้าไว้ด้วยกัน ดังนั้น เสถียรภาพที่ประเมินได้จึงไม่ได้อ้างอิงตามสมการทางกลศาสตร์หินเพียงอย่างเดียว แต่ได้อ้างอิงจากประสบการณ์และวิจารณญาณของผู้เชี่ยวชาญด้วย ซึ่งค่าที่ประเมินได้อยู่ในรูปของความน่าจะเป็นของการพังทลาย (Probability of Failure: PF) โดยทำการเก็บตัวอย่างจากความลาดเอียง 15 แห่ง ที่แตกต่างกันในด้านของเสถียรภาพ ผลจากการประเมินเมื่อเปรียบเทียบกับผลจากภาคสนามและผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงได้ใกล้เคียงและสอดคล้องกับความเป็นจริง การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถหาพื้นที่เสี่ยงภัยต่อความไม่มีเสถียรภาพในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ ทั้งนี้ ความแม่นยำในการประเมินจะมากขึ้นหากข้อมูลที่ใช้ประกอบมีความละเอียดและทันสมัย

Abstract

The objectives of this study are to detect potential circular failures on rock slopes along highways without field surveying and to locate instability areas along the road cuts by using Geographic Information System (GIS). The circular failure mostly occurs in the study area. This research combines both GIS and expert systems; therefore, the calculation of slope stability is not only based on the known analytical solutions, but also the experience and inference procedure of a slope expert supported by his rationale and logic. The slope stability resulted from this study is represented in the form of probability of failure (PF). The predictive capability of the proposed system has been verified by comparing with 15 actual rock slopes under variety of stable- and unstable conditions. The factor of safety obtained from field investigation is performed to compare with GIS method. The results from GIS method agree well with the traditional one. Using GIS method is able to detect instability risk area in large scale. The accuracy of the result depends on input data which should be updated and real time.



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย.....	2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.6 ผลสำเร็จของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 รูปแบบการพังทลายพื้นฐานของความลาดเอียงมวลหิน.....	7
2.1.1 การพังทลายรูปโค้ง.....	7
2.1.2 การเลื่อนตามแผ่นระนาบ.....	7
2.1.3 การเลื่อนแบบรูปลิ้ม.....	7
2.1.4 การพังแบบพลิกคว่ำ.....	9
2.2 การวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์.....	9
2.3 ระบบปัญญาประดิษฐ์.....	10
2.4 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.....	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การสำรวจภาคสนามและทบทวนกรณีศึกษา	13
3.1 ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม.....	13
3.1.1 ความลาดเอียงมวลหินทางหลวงหมายเลข 304.....	13
3.1.2 ความลาดเอียงมวลหินทางหลวงหมายเลข 12.....	15
3.1.3 ความลาดเอียงมวลหินทางหลวงหมายเลข 11.....	15
3.2 การทบทวนกรณีศึกษา.....	15
บทที่ 4 การประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ	19
บทที่ 5 การสร้างชุดตัวแปรด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	23
5.1 ชุดข้อมูลปฐมภูมิ.....	23
5.1.1 แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข.....	23
5.1.2 แผนที่ธรณีวิทยาในรูปแบบดิจิทัล.....	24
5.1.3 แผนที่ทางหลวง.....	24
5.1.4 ข้อมูลการใช้ที่ดิน.....	24
5.2 ชุดข้อมูลทุติยภูมิ.....	25
5.2.1 ชั้นข้อมูลมุมเทของความลาดเอียง.....	25
5.2.2 ชั้นข้อมูลความสูงของความลาดเอียง.....	27
5.2.3 ชั้นข้อมูลลักษณะและขนาดต้นพืชที่ปกคลุม.....	27
5.2.4 ชั้นข้อมูลระดับความสำคัญของชุดตัวแปร.....	27
5.2.5 ชั้นข้อมูลแรงสั่นสะเทือน.....	30
บทที่ 6 วิธีการประเมินเสถียรภาพด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	33
6.1 วัตถุประสงค์.....	33
6.2 การให้คะแนนชั้นข้อมูลของตัวแปร.....	33
6.2.1 การให้คะแนนชั้นข้อมูลความสูงของความลาดเอียง.....	33
6.2.2 การให้คะแนนชั้นข้อมูลมุมเทของความลาดเอียง.....	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2.3 การให้คะแนนชั้นข้อมูลระดับน้ำบาดาล.....	37
6.2.4 การให้คะแนนชั้นข้อมูลลักษณะและขนาดต้นพืชที่ปกคลุม.....	38
6.2.5 การให้คะแนนชั้นข้อมูลแรงสั่นสะเทือน.....	39
6.2.6 การให้คะแนนชั้นข้อมูลอื่นๆ ที่ไม่สามารถสร้างขึ้นได้ด้วยระบบ สารสนเทศภูมิศาสตร์.....	39
บทที่ 7 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	43
7.1 ผลการทดสอบ.....	43
7.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	48
7.3 แนวทางการพัฒนางานวิจัยในอนาคต.....	48
บรรณานุกรม.....	49
ประวัตินักวิจัย.....	51

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	อัตราความไม่เสถียรภาพของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาการพังทลายรูปโค้ง ...	20
4.2	ระดับความสำคัญของชุดตัวแปรสำหรับพิจารณาการพังทลายรูปโค้ง.....	22
5.1	การประมาณค่ากำลังรับแรงอัดของหินตัวอย่าง (Brown, 1981).....	29
7.1	ผลการประเมินเสถียรภาพด้วย GIS เปรียบเทียบกับอัตราส่วนความปลอดภัยและผลที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนาม.....	43



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแบบต่างๆ ของการพังทลายของหน้าลาดเอียงมวลหิน เปรียบเทียบกับทิศทางการเทและมุมเทในรูปแบบของ Stereoplots.....	8
3.1 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาบริเวณ อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา เส้นทางหลวงหมายเลข 304 ซึ่งประกอบด้วยจุดเก็บข้อมูลจำนวน 3 จุด.....	14
3.2 ตำแหน่งความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาบริเวณ อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น ถึง อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ ซึ่งประกอบด้วยจุดเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 9 จุด.....	16
3.3 ตำแหน่งความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาบริเวณ อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์ ถึง อ.เด่นชัย จ.แพร่ ประกอบด้วยจุดเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 3 จุด แต่ละจุดอยู่ห่างกันหลายกิโลเมตร.....	17
5.1 แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข มาตรฐาน 1:4000 จากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.....	24
5.2 ชั้นข้อมูลโครงข่ายรูปสามเหลี่ยมที่ถูกสร้างขึ้นจาก DEM เพื่อใช้เป็นตัวแทนลักษณะของความลาดเอียง.....	25
5.3 ผลกระทบของค่า Z tolerance ต่อความสมจริงของระนาบความลาดเอียงที่จำลองด้วยโปรแกรม ArcGIS 9.2.....	26
5.4 การหาความสูงของความลาดเอียงด้วยหลักการอย่างง่าย.....	28
5.5 ข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ในแผนที่การใช้ที่ดินได้ถูกแยกออกเป็น 4 ประเภท ตามขนาดและลักษณะพืชที่ปกคลุม.....	28
5.6 ชั้นข้อมูลกำลังรับแรงอัดของหินมาตรฐาน 1:4,000 ซึ่งได้มาจากแผนที่ธรณีวิทยา มาตรฐาน 1:50,000.....	30
5.7 ชั้นข้อมูลแรงสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้นจากแผนที่ทางหลวง.....	31
6.1 ข้อมูลตารางของ Polygon จากตัวอย่างของจุดเก็บข้อมูลที่ 15 ประกอบด้วย มุมเทและความสูงของความลาดเอียง.....	34
6.2 การให้คะแนนตามช่วงความสูง โดยคะแนนได้ถูกเก็บไว้ในตารางข้อมูลที่สร้างขึ้นใหม่ชื่อว่า H_Rating.....	35
6.3 การให้คะแนนชั้นข้อมูลมุมเทของความลาดเอียงในโปรแกรม ArcGIS 9.2.....	36

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.4 ระดับน้ำบาดาลถูกกำหนดให้อยู่ในสภาวะแบบอิมิตัว ทำให้ทุก polygon มีค่าคะแนนเท่ากันคือ 10 คะแนน และถูกเก็บไว้ในข้อมูลตารางชื่อ Water.....	37
6.5 ตารางข้อมูลของแผนที่การใช้ที่ดินที่นำมาใช้หาลักษณะและขนาดของต้นพืช.....	38
6.6 ตัวอย่างการซ้อนทับชั้นข้อมูลระหว่างชั้นข้อมูลมูเทของความลาดเอียงกับชั้นข้อมูลกำลังรับแรงอัดของหิน.....	40
6.7 การนำระดับความสำคัญคูณกับระดับคะแนน.....	41
6.8 ตัวอย่างแผนที่ศักยภาพที่ได้จากการประเมินเสถียรภาพ.....	42
7.1 แผนที่ศักยภาพบริเวณทางหลวงหมายเลข 304 ประกอบด้วยจุดเก็บข้อมูลที่ 1 จุดเก็บข้อมูลที่ 2 และจุดเก็บข้อมูลที่ 3.....	44
7.2 แผนที่ศักยภาพบริเวณทางหลวงหมายเลข 12.....	45
7.3 แผนที่ศักยภาพของจุดเก็บข้อมูลที่ 13 บริเวณทางหลวงหมายเลข 11.....	46
7.4 แผนที่ศักยภาพของจุดเก็บข้อมูลที่ 14 บริเวณทางหลวงหมายเลข 11.....	47
7.5 แผนที่ศักยภาพของจุดเก็บข้อมูลที่ 15 บริเวณทางหลวงหมายเลข 11.....	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัญหาการพังทลายของความลาดเอียงมวลหินในประเทศไทยได้ก่อให้เกิดความเสียหายทางด้านทรัพย์สิน ชีวิต การพัฒนาท้องถิ่น การท่องเที่ยว และการคมนาคมอย่างมาก (กรมทรัพยากรธรณี 2550) ความลาดเอียงมวลหินในที่นี้หมายถึงความลาดเอียงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Slope) และความลาดเอียงที่เกิดขึ้นจากการออกแบบเชิงวิศวกรรมของมนุษย์ เช่น การขุดคลองส่งน้ำ ช่องเขาหรือไหล่เขาที่มีการขุดตัดเพื่อสร้างถนนหรือทางรถไฟ โดยเฉพาะความลาดเอียงมวลหินที่เกิดจากการสร้างถนน หากเกิดการพังทลายจะก่อให้เกิดความเสียหายทั้งต่อชีวิตของประชาชน ทรัพย์สิน ระบบการคมนาคมขนส่ง และเศรษฐกิจได้ ดังนั้นการตรวจสอบจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุดังกล่าว ในการตรวจสอบเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหินโดยทั่วไปมีความจำเป็นที่จะต้องทำการตรวจวัดในภาคสนาม ซึ่งในบางพื้นที่มีความยากต่อการเข้าไปถึง หรือมีอันตรายจากการจราจรที่มีรถวิ่งผ่านไปมา นอกจากนั้นยังใช้งบประมาณ เวลา และจำนวนบุคลากรเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอแนวทางในการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สร้างแบบจำลองของพื้นที่ศึกษาแทนการตรวจวัดในภาคสนามจริง และนำระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert system) จากงานวิจัยของ กิตติเทพ เฟื่องขจร (2546) รวมเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินออกมาในรูปแบบของความน่าจะเป็นของการพังทลาย ซึ่งสามารถตรวจพบจุดที่มีโอกาสพังและแสดงผลออกมาในรูปแบบของแผนที่ โดยไม่จำเป็นต้องตรวจวัดในภาคสนามจริง ทำให้ประหยัดเวลา งบประมาณ และลดความเสี่ยงต่อชีวิตของผู้ปฏิบัติงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ เพื่อทำการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินที่อยู่ตามแนวทางหลวง โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์แทนการตรวจวัดในภาคสนาม ผลที่ได้จากการประเมินจะถูกแสดงในรูปแบบของแผนที่ศักยภาพ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการประเมินเสถียรภาพมวลหินตามแนวถนนทางหลวงเท่านั้น
- 2) การประเมินเสถียรภาพมุ่งเน้นที่การพังรูปโค้ง (Circular failure) เป็นหลัก
- 3) ใช้แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) ในการจำลองพื้นที่ศึกษา และใช้ระบบฐานข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็น เพื่อให้ได้ข้อมูลแทนการออกสำรวจภาคสนาม
- 4) การออกภาคสนามกระทำเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และเปรียบเทียบผลจากการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินระหว่างการออกภาคสนามจริงกับการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
- 5) ใช้โปรแกรม FLAC Slope 4.0 ในการประเมินเสถียรภาพจากการออกภาคสนาม
- 6) ใช้โปรแกรม ArcGIS 9.2 ในการประเมินเสถียรภาพด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
- 7) จัดทำคู่มือการใช้งานอย่างละเอียด
- 8) จัดอบรมแก่บุคคลในองค์กรของรัฐบาลหรือประชาชนที่เป็นกลุ่มเป้าหมายและนำเทคโนโลยีนี้เผยแพร่แก่นักวิชาการที่เกี่ยวข้อง

1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

การประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้มีการนำฐานข้อมูลจากหลายด้านมาจำแนกและแบ่งออกเป็นชั้นข้อมูล (Data layer) โดยแต่ละชั้นข้อมูลหมายถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การพังทลายซึ่งจะสอดคล้องตามระบบผู้เชี่ยวชาญของ กิตติเทพ เพ็ญขจร (2546) จากนั้นทำการให้คะแนนแบบเชิงพื้นที่ในแต่ละชั้นข้อมูล และเนื่องจาก บทบาทของปัจจัยมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะของมวลหินที่ต่างกัน ดังนั้นชุดของค่าอิทธิพลจะถูกกำหนดขึ้นเพื่อเป็นตัวคูณค่าคะแนนเหล่านี้ จากนั้นทำการรวมคะแนนทุกชั้นข้อมูลเข้าด้วยกัน คะแนนที่ได้คือค่าของความน่าจะเป็นของการพังทลาย สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P[f] = \sum[R_n \times I_n]$$

โดยที่ R_n คือคะแนนของแต่ละปัจจัยหรืออัตราความไม่มีเสถียรภาพของแต่ละปัจจัย I_n คือค่าอิทธิพลหรือระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยในการไม่มีเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหิน

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอน รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทบทวนวรรณกรรมวิจัย

ศึกษาเอกสารอ้างอิง รายงานการประชุม และวารสารที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการพังทลายของความลาดเอียงมวลหิน การประเมินเสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหินโดยระบบผู้เชี่ยวชาญ การประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ การสำรวจในภาคสนาม ซึ่งได้สรุปไว้ในบทถัดไป

ขั้นตอนที่ 2 การสำรวจและเก็บข้อมูลในภาคสนาม

ออกสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลทางวิศวกรรมความลาดเอียงมวลหิน สำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลองและคำนวณเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับ การประเมินเสถียรภาพด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยได้เก็บตัวอย่างจากภาคสนามตามทางหลวง 3 เส้นทางคือ

ทางหลวงหมายเลข 304 อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา – อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี

ทางหลวงหมายเลข 12 อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ – อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น

ทางหลวงหมายเลข 11 อ.เด่นชัย จ.อุตรดิตถ์

โดยข้อมูลความลาดเอียงมวลหินที่ตรวจวัดในภาคสนามประกอบด้วย ความสูง ความชัน กำลังรับแรงอัดของหิน (Brown, 1981) ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ จำนวนชุดรอยแตก การวางตัวของรอยแตก ระยะเปิดเผยขอของรอยแตก ระยะห่างระหว่างรอยแตก และสัมประสิทธิ์ความขรุขระของรอยแตก

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม

ผู้วิจัยได้นำตัวอย่างหินจากภาคสนามมาทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัด และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินตัวอย่าง โดยผลการทดสอบบางส่วนได้อ้างอิงมาจากงานวิจัยของ กิตติเทพ เพ็ญขจร (2546) และ ปริญญา ทองเที่ยงดี (2546)

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงด้วยวิธีเชิงตัวเลข

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลข โดยใช้โปรแกรม FLAC Slope 4.0 เพื่อประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินในรูปแบบของอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety: FS) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับขั้นตอนของการประเมินเสถียรภาพด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 การสร้างแบบจำลองโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ผู้วิจัยได้ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน ซึ่งประเมินในรูปแบบของโอกาสของการพังทลาย (เต็ม 100%) โดยนำข้อมูลระดับสูงเชิงเลข มาตราส่วน 1:4000 จากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มาใช้เป็นแบบจำลองของพื้นที่ศึกษา ประกอบกับข้อมูลจากแผนที่ธรณีวิทยาและข้อมูลจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use map) โดยทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นชั้นข้อมูล ประกอบด้วย ชั้นข้อมูลความสูงของความลาดเอียงมวลหิน ชั้นข้อมูลความชัน ชั้นข้อมูลชนิดหิน ชั้นข้อมูลการใช้ที่ดิน จากนั้นทำการให้คะแนนแต่ละชั้นข้อมูลด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยของ กิตติเทพ เพ็ญขจร (2546)

เมื่อให้คะแนนแต่ละชั้นข้อมูลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว คะแนนที่ได้ในทุกชั้นข้อมูลจะถูกนำมาปรับแก้ด้วยผลคูณตามระดับความสำคัญของข้อมูล ซึ่งมีค่าตามระดับความสำคัญของชุดตัวแปรดังกล่าวและมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของหิน เมื่อผ่านการปรับแก้ค่าแล้ว คะแนนของทุกชั้นข้อมูลจะถูกนำมาซ้อนทับกัน และแสดงผลออกมาเป็นแผนที่โอกาสการพังของความลาดเอียงมวลหิน โดยโอกาสการพังสามารถแสดงด้วยสมการ

$$P[f] = \sum(R_n \times I_n)$$

โดยที่ $P[f]$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการพังในรูปแบบใด

R_n คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของตัวแปรที่ n

I_n คือ ระดับความสำคัญของตัวแปรที่ n

จากการแปลงข้อมูลระดับสูงเชิงเลขให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ (Vector) โดยการสร้างข้อมูลเป็นโครงข่ายสามเหลี่ยม (Triangulated Irregular Network: TIN) ที่มีข้อมูลเชิงบรรยายบรรจุอยู่ภายใน แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาประมวลหาโอกาสของการพังทลายด้วยโปรแกรม ArcGIS 9.2

ขั้นตอนที่ 6 การวิเคราะห์ผลและตรวจสอบจากผลระบบสารสนเทศ

ภูมิศาสตร์

ผลที่ได้จากการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการประเมินด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แทนการตรวจวัดในภาคสนาม

ขั้นตอนที่ 7 การถ่ายทอดเทคโนโลยี

ผลการวิจัยจะนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับชาติหรือระดับนานาชาติและจะตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติหรือนานาชาติหลังจากสิ้นสุดโครงการ

ขั้นตอนที่ 8 การสรุปผลและเขียนรายงาน

แนวคิด ขั้นตอนโดยละเอียด การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการศึกษาทั้งหมด และข้อสรุปได้นำเสนอโดยละเอียดในรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เล่มนี้ เพื่อที่จะส่งมอบเมื่อเสร็จสิ้นโครงการ และตีพิมพ์ในวารสารต่อไป

1.6 ผลสำเร็จของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการวิจัยที่เสนอมานี้จะมีประโยชน์อย่างมากและโดยตรงกับหลายหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและเอกชน สถาบันการศึกษาที่เปิดสอนทางด้านวิศวกรรมธรณี วิศวกรรมโยธา และวิศวกรรมเหมืองแร่ รวมไปถึงหน่วยงานที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการตัดถนนในมวลดินหรือหินหน่วยงานเหล่านี้ได้แก่

- 1) กองธรณีเทคนิค กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- 2) กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม
- 3) สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- 4) สถาบันการศึกษาที่เปิดสอนทางด้านวิศวกรรมเหมืองแร่ และวิศวกรรมธรณี
- 5) บริษัทเอกชนที่ออกแบบความลาดเอียงในมวลหิน
- 6) ศูนย์วิจัย บริษัทเหมืองแร่ และบริษัทที่ปรึกษาทั้งในและต่างประเทศ

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้ได้เสนอผลสรุปที่ได้จากการทบทวนและศึกษาวารสาร รายงานการประชุม และวารสารที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการพังทลายของความลาดเอียงมวลหิน การประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์ (ระบบผู้เชี่ยวชาญ) การประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยสรุปดังต่อไปนี้

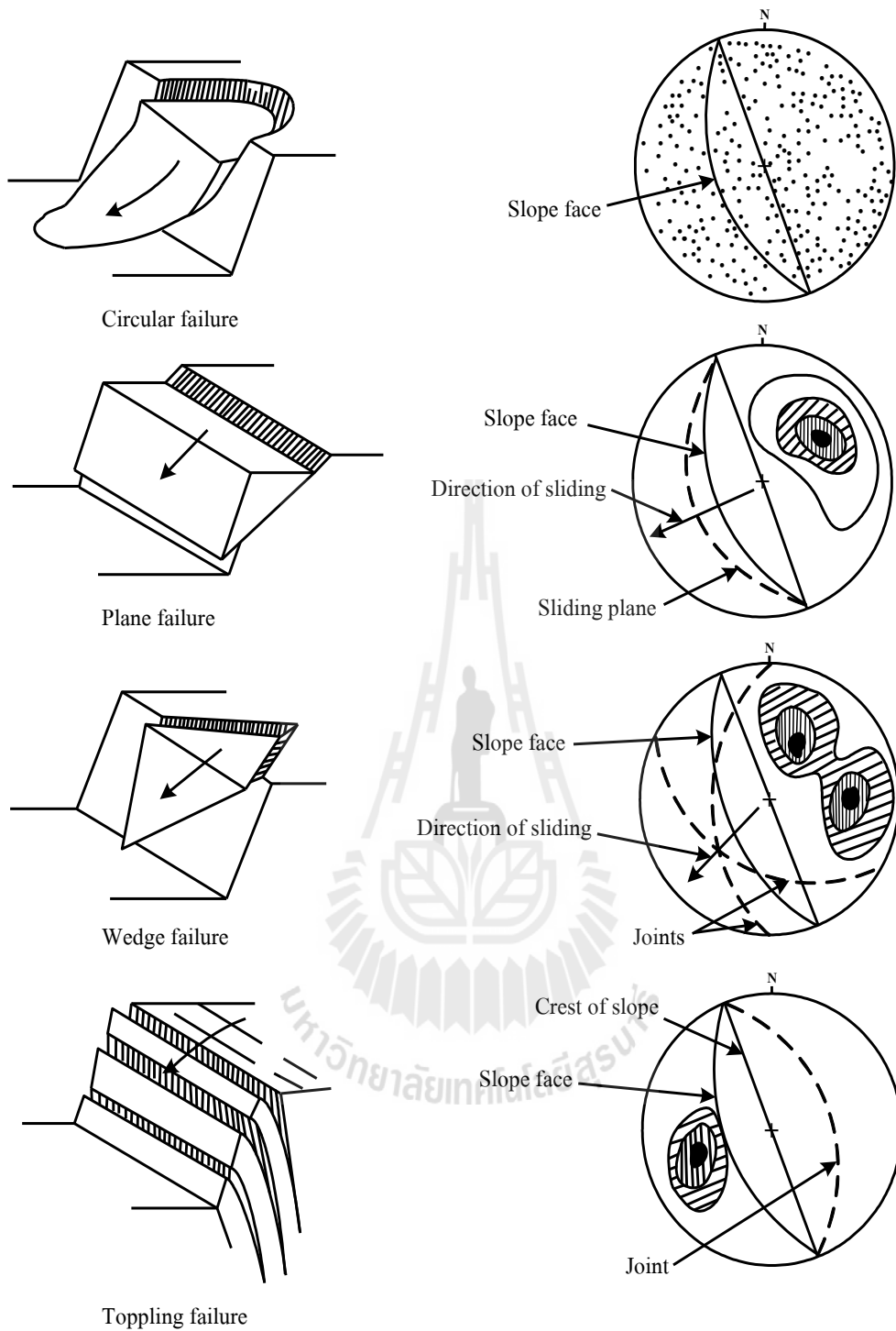
2.1 รูปแบบการพังทลายพื้นฐานของความลาดเอียงมวลหิน

การวิเคราะห์เสถียรภาพและการออกแบบความลาดเอียงมวลหินมีหลายรูปแบบและหลายขนาด ตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น การขุดคลองส่งน้ำ ช่องเขาหรือไหล่เขาที่มีการขุดตัดเพื่อสร้างถนนหรือทางรถไฟ หินลาดที่ทำหน้าที่รองรับฐานรากของโครงสร้างทางวิศวกรรมไปจนถึงขนาดใหญ่ เช่น ความลาดเอียงมวลหินที่อยู่รอบอ่างเก็บน้ำ หรือเหมืองเปิดขนาดใหญ่ Hoek and Bray (1981) ได้จำแนกความไม่มีเสถียรภาพหรือรูปแบบการพังทลายของความลาดเอียงมวลหินออกเป็นสี่รูปแบบดังแสดงในรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย

2.1.1 การพังทลายรูปโค้ง ลักษณะเช่นนี้มักเกิดจากมวลหินที่มีรอยแตกมาก หรือมีความไม่ต่อเนื่องสูง และจะมีลักษณะคล้ายกับการพังทลายของมวลดินหรือมวลหินผสมดิน

2.1.2 การเลื่อนตามแผ่นระนาบ (Plane sliding) การเลื่อนเช่นนี้พบได้น้อย เกิดจากความลาดเอียงที่มีทิศทางหรือแนวระดับ (Strike) ชานานหรือเกือบชานานกับแนวระดับของความไม่ต่อเนื่องชุดหนึ่ง โดยมุมเท (Dip angle) ของความไม่ต่อเนื่องหรือของรอยแตกนั้นจะต้องสูงกว่ามุมเสียดทานของรอยแตก (Friction angle) แต่จะต้องมีค่าน้อยกว่ามุมเทของหน้าความลาดเอียงมวลหิน

2.1.3 การเลื่อนแบบรูปสามเหลี่ยม (Wedge sliding) ลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นเมื่อเส้นที่เกิดจากการตัดกันของรอยแตกสองชุดมีมุมเทไปในทิศทางเดียวกันหรือใกล้เคียงกันกับ “ทิศของมุมเท” (Dip direction) ของหน้าความลาดเอียง และมุมเทของรอยตัดจะต้องมากกว่ามุมเสียดทานของรอยแตกของหิน แต่จะต้องน้อยกว่ามุมเทของความลาดชันของมวลหิน รูปร่างของก้อนหินที่เลื่อนลงมาจะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมซึ่งเกิดจากการตัดกันของรอยแตกทั้งสองชุด



รูปที่ 2.1 รูปแบบต่างๆ ของการพังทลายของหน้าลาดเอียงมวลหิน เปรียบเทียบกับทิศทางของการเทและมุมเทในรูปแบบของ Stereoplots (Hoek and Bray, 1981)

2.1.4 การพังแบบพลิกคว่ำ (Toppling failure) ลักษณะการพังทลายเช่นนี้เกิดขึ้นเมื่อมวลหินมีชุดของความไม่ต่อเนื่องหรือชุดของรอยแตกหลักที่มีมุมเทสูง และมีทิศของมุมเทไปตรงกันข้ามกับทิศของมุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน และอาจจะไม่ต่อเนื่องอีกชุดหนึ่งที่มีทิศของมุมเทไปทางเดียวกับทิศของมุมเทของหน้าลาดเอียงมวลหิน โอกาสที่จะเกิดการพลิกคว่ำของก้อนหินที่เกิดจากการตัดกันของชุดรอยแตกทั้งสองนี้จะมีมากขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างรอยแตก (Spacing) ของชุดแรก (ที่มีมุมเทสูง) มีค่าน้อยกว่าระยะห่างระหว่างรอยแตกของชุดที่สอง (กิตติเทพ เพ็องขจร, 2546)

2.2 การวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์

การวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์สถิต เป็นวิธีการดั้งเดิม (Classical method) และเป็นพื้นฐานในการประเมินเสถียรภาพและออกแบบการค้ำยันความลาดเอียงของมวลหิน ซึ่งได้เสนอไว้ในตำราทางด้านกลศาสตร์หินมากมาย เช่น Hoek and Brey (1981) และ Goodman (1989) วิธีนี้ใช้หลักการเชิงสมดุลของทั้งหมดที่มากกระทำต่อส่วนของมวลหินที่วางตัวอยู่บนความลาดเอียง ส่วนของมวลหินนี้ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม รูปแผ่น หรือรูปปิรามิด ที่เกิดจากการตัดกันของรอยแตก รอยชั้นหิน หรือรอยเลื่อนที่มีอยู่แล้วในมวลหิน ในการประเมินเสถียรภาพ แรงที่มากระทำทั้งหมดจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งคือแรงขับเคลื่อนหรือแรงผลักให้ส่วนของมวลหินที่พิจารณาอยู่นั้นไหลหรือพลิกลงมาจากความลาดเอียง แรงในส่วนนี้ประกอบด้วยน้ำหนักของมวลหิน แรงดันของน้ำบาดาล และแรงจากการสั่นสะเทือน แรงในส่วนที่สองคือแรงที่ต้านการไหล หรือต้านการพลิกคว่ำของมวลหิน แรงในส่วนนี้ประกอบด้วยแรงต้านทานจากรอยแตกต่างๆ ในมวลหิน และอาจจะรวมไปถึงแรงค้ำยันที่ออกแบบขึ้น ในการคำนวณค่าความปลอดภัยก็สามารถทำได้โดยการหาอัตราส่วนของแรงในส่วนที่สอง (แรงต้านการไหล) หารด้วยแรงในส่วนที่หนึ่ง (แรงขับเคลื่อน)

ข้อดีสำหรับวิธีนี้คือ การคำนวณสามารถทำได้โดยง่าย ซึ่งอาศัยเพียงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงเรขาคณิตของหน้าลาดเอียงและของรอยแตก ประกอบกับสมบัติทางกลศาสตร์ของรอยแตกในมวลหิน

ข้อเสียของการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้คือ การนำมาประยุกต์ใช้มีข้อจำกัดและอยู่ภายใต้สมมติฐานมากมาย เช่น หน้าลาดเอียงจำเป็นต้องมีรูปทรงเรขาคณิตที่แน่นอนและง่ายต่อการคำนวณปริมาตร การวางตัวของทิศทางและมุมเทของรอยแตกชุดต่างๆ ที่ต้องมีความสม่ำเสมอ

จากข้อจำกัดที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าวิธีวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์สถิตถึงแม้จะสะดวกและง่ายต่อการใช้และทำความเข้าใจ แต่เป็นวิธีที่ค่อนข้างจะไม่สมจริงและต้องอาศัยสมมติฐานเชิงกลศาสตร์อย่างมาก ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะทำให้ผลที่คำนวณได้ออกไปในเชิงอนุรักษ์ค่อนข้างสูง

2.3 ระบบปัญญาประดิษฐ์

ระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence – Rich and Knight, 1991) หรือเรียกย่อๆ ในที่นี้ว่า “AI” การนำ AI เข้ามาใช้ในวิศวกรรมหินเริ่มขึ้นเมื่อประมาณ 30 ปีที่แล้ว AI คือ การสร้างเครือข่ายของแนวคิด (Neural network) หรือกระบวนการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาเฉพาะที่มีความซับซ้อน มีปัจจัยที่ต้องพิจารณาจำนวนมาก และมีเงื่อนไขการตัดสินใจที่แน่นอนในแต่ละขั้นตอน เครือข่ายของแนวคิดก็เหมือนแผนภูมิที่มีแนวทางมุ่งไปหาคำตอบ โดยนำข้อมูลและปัจจัยทั้งหมดที่มีอยู่มาพิจารณา AI จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการประเมินเสถียรภาพหรือออกแบบในวิศวกรรมหินที่ต้องเผชิญกับปัญหาที่ซับซ้อนและมีความแปรปรวนของปัจจัยที่นำมาพิจารณา AI ไม่ใช่ฐานข้อมูล (Database) แต่เป็นระบบที่สร้างขึ้นให้เป็นกลไกในการพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างครบถ้วน และมีการประเมินด้วยข้อแม้และเงื่อนไขเพื่อมุ่งไปสู่คำตอบที่เหมาะสม

ขบวนการของการพิจารณา AI อย่างง่ายๆ อาจถูกออกแบบให้เป็นไปตามหลักการที่มีอยู่แล้ว เช่น การจำแนกมวลหินในระบบ Q system (Hoek and Brown, 1980) หรือในระบบ RMR (Goodman, 1989) เป็นต้น ระบบ AI ที่ซับซ้อนขึ้นจะเขียนโดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์และทางสถิติมาช่วยในการประเมินและประมวลผลข้อมูล โดยจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลที่นำมาพิจารณา ซึ่งข้อมูลที่มีอาจจะครบถ้วนหรือไม่ครบก็ได้ AI ที่มีการนำประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญเข้ามาประกอบการพิจารณาตัดสินใจและออกแบบบางครั้งอาจจะเรียกชื่อเป็น ระบบองค์ความรู้ (Knowledge-base system) หรือระบบผู้เชี่ยวชาญ มีผู้อธิบายถึงระบบปัญญาประดิษฐ์ไว้ในเรื่องต่างๆ โดย Adeli (1988) จำแนกการทำงานของระบบปัญญาประดิษฐ์ไว้สามแบบคือ 1) แบบ Forward chaining เป็นระบบที่เหมาะสมกับปัญหาที่มีจำนวนตัวแปรด้านเข้าน้อยกว่ากลุ่มของคำตอบที่อยู่ด้านนอก วิธีนี้กลุ่มตัวแปรด้านเข้าจะเป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบที่มุ่งสู่คำตอบที่เหมาะสมและมีอยู่มากมาย 2) แบบ Backward chaining เป็นระบบที่เหมาะสมกับปัญหาที่มีจำนวนตัวแปรด้านเข้ามากกว่ากลุ่มคำตอบที่เป็นผลเฉลยด้านนอก ซึ่งวิธีนี้คำตอบจะเป็นจุดเริ่มต้นของการทำงานที่มุ่งสู่กลุ่มตัวแปรด้านเข้าที่เหมาะสมกับคำตอบ และ 3) แบบ Combination เป็นการรวมทั้งสองวิธีเข้าด้วยกัน

2.4 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

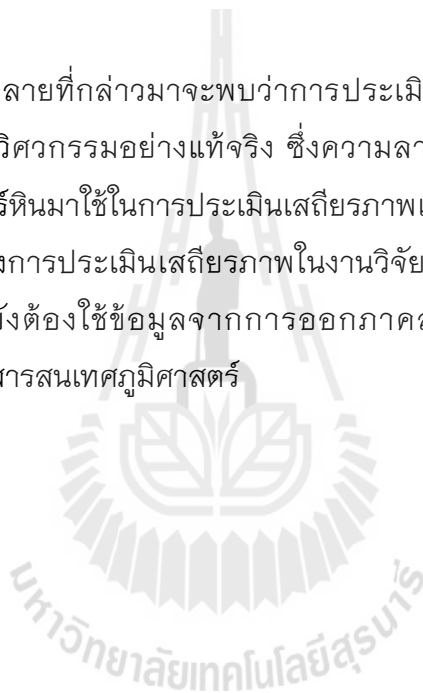
ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือกระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ที่ใช้กำหนดข้อมูลและสารสนเทศ ที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ โดยแผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นระบบข้อมูลสารสนเทศที่อยู่ในรูปของตารางข้อมูลและฐานข้อมูลที่มีส่วนสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) ซึ่งรูปแบบและความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งหลายจะสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และทำให้สื่อ

ความหมายในเรื่องการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับเวลาได้ ข้อมูลเหล่านี้ เมื่อปรากฏบนแผนที่ทำให้สามารถแปลและสื่อความหมายในการใช้งานได้ง่ายระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นระบบข้อมูลข่าวสารที่สามารถแปลความหมายเชื่อมโยงกับสภาพภูมิศาสตร์อื่นๆ สภาพท้องที่ สภาพการทำงานของระบบสัมพันธ์กับสัดส่วนระยะทางและพื้นที่จริงบนแผนที่ ข้อมูลที่จัดเก็บในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ที่แสดงในรูปของภาพ (Graphic) แผนที่ (Map) ที่เชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute data) หรือฐานข้อมูล (Database) การเชื่อมโยงข้อมูลทั้งสองประเภทเข้าด้วยกันจะทำให้ผู้ใช้สามารถที่จะแสดงข้อมูลทั้งสองประเภทได้พร้อมๆ กันหรือในทางตรงกันข้าม สามารถที่จะสอบถามรายละเอียดของจุดตรวจจากตำแหน่งที่เลือกขึ้นมาแผนที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์คือค่าพิกัดที่แน่นอน ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยายสามารถอ้างอิงถึงตำแหน่งที่มีอยู่จริงบนพื้นโลกได้โดยอาศัยระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geocode) ซึ่งจะสามารถอ้างอิงได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) เป็นการสำรวจด้วยเครื่องมือวัดที่ไม่มีการสัมผัสกับสิ่งที่ต้องการตรวจวัดโดยตรง กระทำการสำรวจโดยให้เครื่องวัดอยู่ห่างจากสิ่งที่ต้องการตรวจวัด โดยอาจติดตั้งกล้องถ่ายภาพไว้ยังที่สูง บนบอลลูน บนเครื่องบิน บนยานอวกาศ หรือบนดาวเทียม แล้วอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่หรือสะท้อนมาจากสิ่งที่ต้องการสำรวจเป็นสื่อในการวัด การสำรวจโดยใช้วิธีนี้เป็นการเก็บข้อมูลที่ได้ออกมาจำนวนมากและมีบริเวณกว้างกว่าการสำรวจภาคสนาม ซึ่งการใช้เครื่องมือสำรวจไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับวัตถุตัวอย่าง เช่น เครื่องบินสำรวจเพื่อถ่ายภาพในระยะไกล หรือการใช้ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรเพื่อเก็บข้อมูลพื้นผิวโลกในระยะไกล ดังนั้นการใช้ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลจึงเป็นที่นิยมนำมาใช้เชื่อมโยงให้อยู่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีกลุ่มนักวิจัยให้ความสนใจการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อศึกษาและประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยจากการพังทลายของความลาดเอียงของมวลดินและหินเพิ่มมากขึ้น Jibson (1993, 1996) และ Jibson et al. (1994, 2000) ได้ศึกษาและเสนอแผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินถล่มที่มีสาเหตุมาจากแผ่นดินไหว โดยใช้การวิเคราะห์เสถียรภาพความปลอดภัยความลาดเอียงมวลหินจากผลกระทบแรงสั่นสะเทือนแผ่นดินไหวด้วยวิธีของ Newmark's displacement method ต่อมา Luzi et al. (2000) ได้ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สำหรับงานวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดเอียงและใช้การวิเคราะห์ทางสถิติมาช่วยในการกำหนดการกระจายตัวของค่าแรงยึดติด (Cohesion) มุมเสียดทานภายใน (Angle of internal friction) และน้ำหนักต่อหน่วย (Unit weight) ของมวลดิน โดยทั้งหมดนำเสนอในรูปแบบแผนที่ความเสี่ยงภัยที่อยู่ในรูปแบบความน่าจะเป็นด้วยวิธีของ Bayesian method

Collison et al. (2000) ใช้ฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ รวมแบบจำลองระหว่าง Hydrology model และ Stability model เพื่อศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงของสภาพน้ำในดินที่จะมีผลกระทบต่อเกิดการเกิดแผ่นดินถล่ม Refice and Capolongo (2002) เสนอระบบของ GIS โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อช่วยสร้างแผนที่ภัยพิบัติจากแผ่นดินถล่มอันเนื่องมาจากการเกิดแผ่นดินไหว โดยใช้การคาดการณ์ความไม่แน่นอนจากตัวแปรทางธรณีวิทยา ธรณีเทคนิค และตัวแปรที่เกี่ยวกับคลื่นไหวสะเทือน (Seismological parameters) ในเชิงพื้นที่ Xie et al. (2004) ได้เสนอวิธีแบบง่ายสำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการประเมินหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of safety) จากการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน โดยใช้การวิเคราะห์แบบ 3D Ellipsoid critical slip surface และใช้การจำลองการสุ่มเลือกแบบ Monte carlo ด้วยวิธีของ Hovland (1977)

จากงานวิจัยทั้งหลายที่กล่าวมาจะพบว่า การประเมินเสถียรภาพส่วนใหญ่ยังขาดองค์ประกอบที่เป็นหลักทางวิศวกรรมอย่างแท้จริง ซึ่งความลาดเอียงมวลหินมีความจำเป็นจะต้องนำทฤษฎีทางกลศาสตร์หินมาใช้ในการประเมินเสถียรภาพเพื่อให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด อีกทั้งการประเมินเสถียรภาพในงานวิจัยที่ผ่านมายังมีความซับซ้อนในขั้นตอนการทำงาน เพราะยังต้องใช้ข้อมูลจากการออกภาคสนามมาช่วยในการประเมินเสถียรภาพควบคู่ไปกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์



บทที่ 3

การสำรวจภาคสนามและทบทวนกรณีศึกษา

จุดประสงค์ของการสำรวจภาคสนาม คือ เพื่อนำข้อมูลจากสถานที่จริงมาใช้ในการสอบทาน (Verification) แนวคิดและหลักเกณฑ์ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบถึงความแม่นยำและแนวโน้มความเป็นไปได้ในการประเมินเสถียรภาพด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เนื้อหาในส่วนนี้ได้อธิบายผลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามไว้ดังต่อไปนี้

3.1 ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

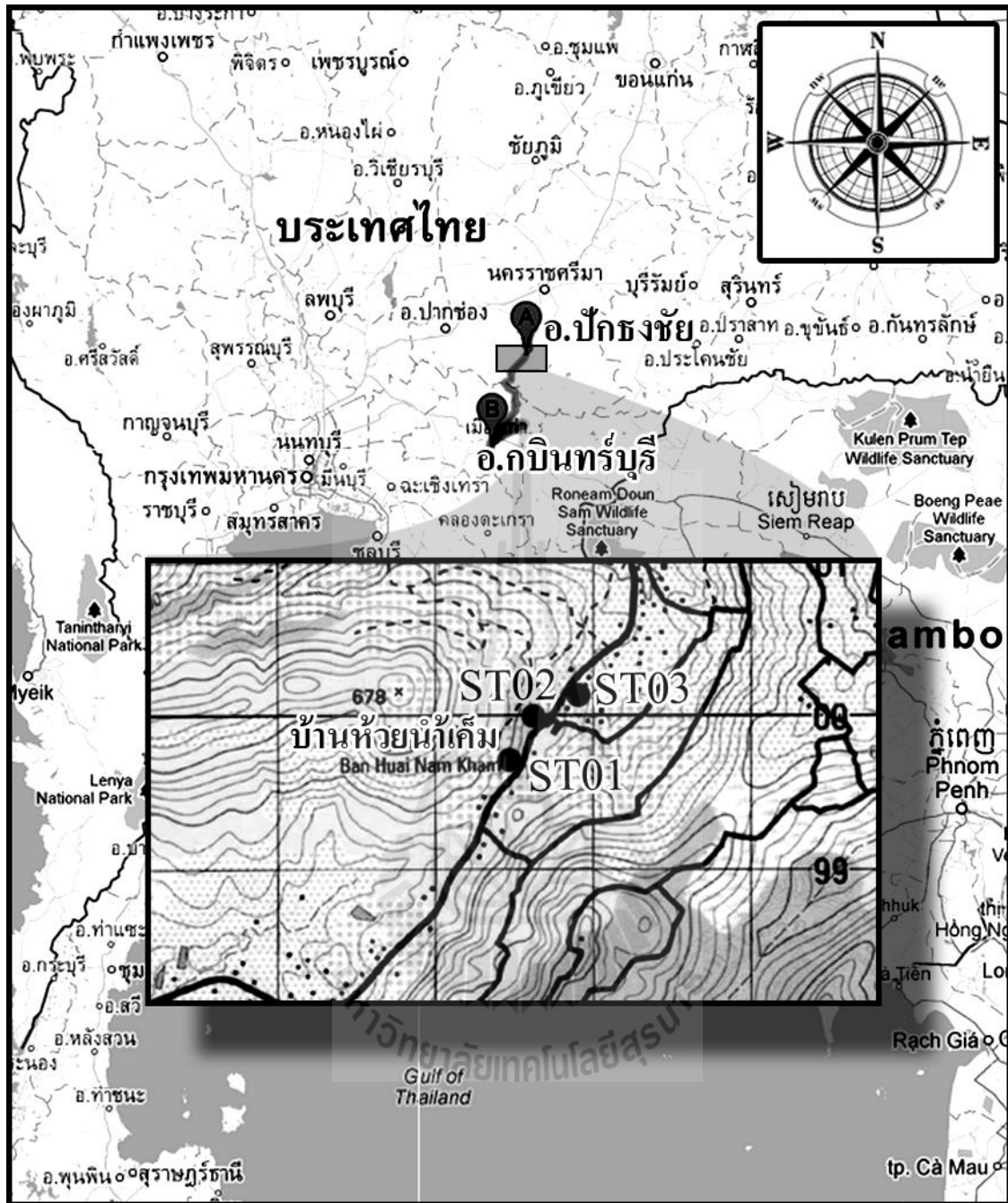
การสำรวจภาคสนามในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการสอบทานการทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อปรับแก้ให้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น สำหรับพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้คัดเลือกตามหลักเกณฑ์ คือ ลักษณะความลาดเอียงมวลหินจะต้องวางตัวตามแนวทางหลวง และความหลากหลายของลักษณะการพัง โดยคัดเลือกเฉพาะความลาดเอียงมวลหินที่มีขนาดใหญ่และสูงชันเป็นหลัก เพื่อให้สามารถเอื้อต่อการประเมินด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ การออกภาคสนามสามารถจำแนกออกเป็น 3 พื้นที่ คือ

- 1) บริเวณทางหลวงหมายเลข 304 ช่วง อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา – อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี
- 2) บริเวณทางหลวงหมายเลข 12 ช่วง อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ – อ. ชุมแพ จ.ขอนแก่น
- 3) บริเวณทางหลวงหมายเลข 11 บริเวณ อ.เด่นชัย จ.แพร่

จากการสำรวจภาคสนามทั้ง 3 พื้นที่ ครอบคลุมด้วย 15 ความลาดเอียงที่สามารถนำไปใช้ประเมินเสถียรภาพด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ ซึ่งสามารถสรุปลักษณะทางวิศวกรรมธรณีโดยสังเขปได้ดังนี้

3.1.1 ความลาดเอียงมวลหินทางหลวงหมายเลข 304

ได้ทำการสำรวจตามแนวทางหลวงหมายเลข 304 จาก อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา ถึง อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี และเก็บข้อมูลในจุดที่น่าสนใจจำนวน 3 แห่ง (รูปที่ 3.1) มวลหินส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นแบบชั้นหินอ่อนสลับกับชั้นหินแข็ง ชั้นหินอ่อนคือหินดินดานซึ่งไม่สามารถวัดค่าการวางตัวและรอยแตกได้ มีความหนาโดยเฉลี่ย 0.1 ถึง 0.7 เมตร ส่วนชั้นหินแข็งคือ หินทราย มีความหนาโดยเฉลี่ย 0.3 ถึง 1 เมตร มีรอยแตก 3 ชุด ความสูงของความลาดเอียงไม่มากนักอยู่ในช่วง 5 ถึง 10 เมตร มีปริมาณน้ำมากโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนและมีการพังทลายแบบ Secondary toppling



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งของความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาบริเวณ อ.วังน้ำเขียว จ.นครราชสีมา
เส้นทางหลวงหมายเลข 304 ซึ่งประกอบด้วยจุดเก็บข้อมูลจำนวน 3 จุด

3.1.2 ความลาดเอียงมวลหินทางหลวงหมายเลข 12

ดำเนินการสำรวจบริเวณทางหลวงหมายเลข 12 ระหว่าง อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น และ อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยได้เก็บข้อมูลความลาดเอียงมวลหินทั้งสิ้น 9 จุด (รูปที่ 3.2) จากการสำรวจพบการพังทลาย 2 รูปแบบ คือ แบบรูปโค้ง และแบบแผ่นระนาบ การพังแบบแผ่นระนาบเกิดในมวลหินแบบแผ่นระนาบของ หินดินดาน และหินทรายกึ่งทรายแป้ง และการพังรูปแบบโค้งพบในมวลหินแบบมีรอยแตกมาก ของหินดินดานและกึ่งดินดาน ความลาดเอียงมวลหินส่วนใหญ่มีความสูง 15–20 เมตร

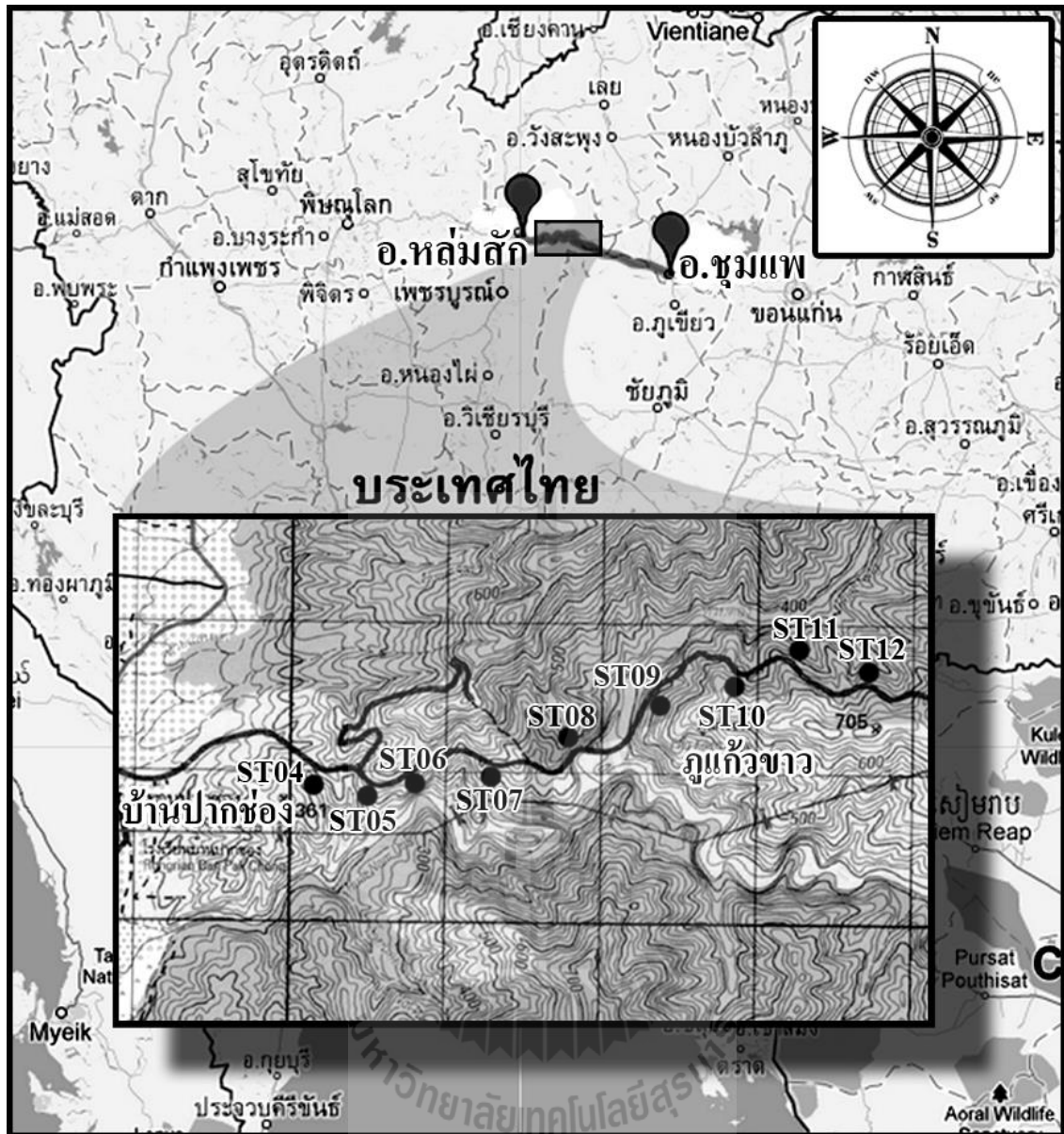
3.1.3 ความลาดเอียงมวลหินทางหลวงหมายเลข 11

ความลาดเอียงมวลหินที่สำรวจบริเวณทางหลวงหมายเลข 11 ตั้งอยู่บริเวณ อ.เด่นชัย จ.แพร่ ได้ทำการเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 3 จุด (รูปที่ 3.3) ซึ่งมีการพังรูปแบบโค้ง เนื่องจากมีปริมาณน้ำมากในช่วงฤดูฝน ประกอบกับความลาดเอียงมีความผุกร่อนและมีรอยแตกในหลายทิศทาง ทำให้เกิดการพังทลายในหลายจุด ความลาดเอียงมวลหินมีความสูงชันและเพิงทำการขุดเจาะได้ไม่นาน มีความสูงเฉลี่ย 15–25 เมตร

3.2 การทบทวนกรณีศึกษา

การทบทวนกรณีศึกษาของงานวิจัยมีจุดประสงค์หลักคือ นำข้อมูลจากกรณีศึกษาไปใช้เป็นฐานข้อมูลประกอบการประเมินเสถียรภาพของความลาดเอียง ข้อมูลที่ได้มาจากรายงานที่อยู่ในวารสารและรายงานการประชุมทางวิชาการด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิคและวิศวกรรมโยธา ตัวอย่างวารสาร เช่น Rock Mechanics and Rock Engineering, Rock Mechanics and Mining Sciences, Geological Engineering and Geotechnical Engineering, Engineering Geology และตัวอย่างรายงานการประชุม เช่น Regional Symposium on Sedimentary Rock Engineering, International Symposium on Geotechnical Stability in Surface Mining, South Africa. Mining Latin America/Minerla Latinoamerina conference, US Symposium on Rock Mechanics โดยข้อมูลส่วนใหญ่ได้มาจากรายงานการประชุม

จากการรวบรวมข้อมูลพบว่ามีเพียงร้อยละ 25 ของบทความทั้งหมดที่สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลได้ โดยเกณฑ์การคัดเลือกบทความคือ บทความจะต้องให้ข้อมูลในส่วนที่สำคัญ เช่น ค่าความสูงของความลาดเอียงมวลหิน มุมเทของหน้าความลาดเอียง การนำไปใช้กับงานรูปแบบใด ลักษณะการพังทลาย จำนวนรอยแตกและคุณลักษณะของรอยแตก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ ค่ามุมเสียดทานของหินหรือรอยแตก และค่าความเค้นยึดติดของผิวรอยแตก



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาบริเวณ อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น ถึง อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ ซึ่งประกอบด้วยจุดเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 9 จุด



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งความลาดเอียงมวลหินที่นำมาศึกษาบริเวณ อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์ ถึง อ.เด่นชัย จ.แพร่ ประกอบด้วยจุดเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 3 จุด แต่ละจุดอยู่ห่างกันหลายกิโลเมตร

บทที่ 4

การประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการนำระบบผู้เชี่ยวชาญมาประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน หลักเกณฑ์ต่างๆได้อ้างอิงมาจากงานวิจัยของ กิตติเทพ เฟื่องขจร (2546) เรื่อง “การพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบความลาดชันของชั้นหิน โดยใช้กรณีศึกษาความรู้และประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ” ซึ่งสามารถวิเคราะห์การพังทลายของความลาดเอียงมวลหินได้หลายรูปแบบ แต่เนื่องจากการพังทลายที่เกิดขึ้นตามแนวทางหลวงส่วนใหญ่ที่พบเป็นการพังทลายรูปโค้ง ส่วนการพังทลายรูปแบบอื่นๆ มีน้อยมากและไม่สามารถนำมาเป็นกรณีศึกษาเพื่อเปรียบเทียบกับกรณีการประเมินเสถียรภาพด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกล่าวถึงการประเมินเสถียรภาพการพังทลายรูปโค้งเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

การพังทลายรูปโค้งจะเกิดกับความลาดเอียงมวลหินที่มีค่ากำลังรับแรงอัดในช่วง RO ถึง R3 หรือในมวลหินที่มีรอยแตกมากๆ และมีระยะห่างระหว่างรอยแตกน้อย โดยมีปัจจัยที่ใช้ประเมินเสถียรภาพคือ

- 1) ความสูงของความลาดเอียงมวลหิน
- 2) ค่ามุมเทของความลาดเอียงมวลหิน
- 3) ระดับน้ำบาดาล
- 4) ระดับของการผุกร่อน
- 5) ลักษณะและขนาดของต้นพืชที่ปกคลุม
- 6) จำนวนชุดรอยแตกในมวลหิน
- 7) แรงสั่นสะเทือน
- 8) ระยะห่างโดยเฉลี่ยของรอยแตก

ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาพิจารณาภายใต้กฎเกณฑ์ โดยผู้เชี่ยวชาญจะกำหนดอัตราของแต่ละปัจจัยข้างต้น (Rating, R_n โดยมีคะแนนเต็มเป็น 10 คะแนน) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.1 ซึ่งสามารถสรุปได้โดยสังเขปดังนี้

- 1) ความสูงเพิ่มขึ้นจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น
- 2) ค่ามุมเทสูงขึ้นจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น
- 3) ค่ามุมเทสูงขึ้นจะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 อัตราความไม่เสถียรภาพของชุดตัวแปรสำหรับการพิจารณาการพังทลายรูปโค้ง

Slope height		Slope face angle		Groundwater		Degree of weathering	
(m)	Rate	Degrees	Rate	(%)	Rate	Conditions	Rate
<7	1	<25	0	0	0	Fresh	2
7-10	5	25-30	1	25	3	Slightly	4
10-15	8	30-35	2	50	5	Moderately	6
>15	10	35-40	3	75	8	Highly	8
		40-45	5	100	10	Completely	10
		45-50	6	Unknown	*5 or 10	Unknown	5
		50-55	8				
		55-60	9				
		60-65	9				
		65-70	10				
		>70	10				
Vegetation		Number of discontinuity		Vibration		Average discontinuity spacing	
Conditions	Rate	(Sets)	Rate	Conditions	Rate	(mm)	Rate
No vegetation	10	≤ 2	1	Near Blasting site, earthquake	10	< 20	10
Only grass	7	3	8	Near main highway	5	20-60	7
Grass with small trees	5	≥ 4	10	No vibration	0	60-200	5
Full grown trees	0	Unknown	5	Unknown	5	> 200	0
Unknown	5					Unknown	5
*5 for arid climate, 10 for tropical climate							

4) ปริมาณน้ำมากทำให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ไม่ทราบระดับน้ำบาดาลผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพเท่ากับกรณีระดับน้ำแบบอิมิตัว เพื่อให้ผลการประเมินออกมาในเชิงอนุรักษ์

5) ระดับการผุกร่อน ถ้ามวลหินมีระดับการผุกร่อนสูงก็จะมีอัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงด้วย ในกรณีที่ไม่ทราบระดับการผุกร่อน ผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้ระดับการผุกร่อนอยู่ในช่วงเล็กน้อยถึงปานกลาง

6) ลักษณะของต้นพืชที่ปกคลุม ผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำว่าถ้าขนาดของต้นพืชที่ปกคลุมบนความลาดเอียงมีขนาดใหญ่และมีมากจะทำให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพมีค่าลดลง ในกรณีที่ไม่ทราบลักษณะของต้นพืชที่ปกคลุม ผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพเท่ากับกรณีที่มีต้นหญ้าและต้นไม้เล็กๆ ซึ่งจะทำให้ผลที่ได้ออกมาในเชิงอนุรักษ์

7) จำนวนชุดรอยแตกในมวลหิน ถ้ามวลหินมีจำนวนชุดรอยแตกมากขึ้นจะทำให้มีอัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้น ในกรณีที่ไม่ทราบชุดรอยแตกผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพมีค่าเท่ากับกรณีมีจำนวนรอยแตก 3 ชุด ซึ่งเป็นค่าที่พบได้โดยทั่วไป

8) แรงสั่นสะเทือน ถ้าความลาดเอียงใดมีอัตราของแรงสั่นสะเทือนสูงหรืออยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดของแรงสั่นสะเทือน จะทำให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพสูงขึ้น ในกรณีที่ไม่ทราบว่าแรงสั่นสะเทือนอยู่ในระดับใด ผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพมีค่าเท่ากับกรณีที่อยู่ใกล้กับเส้นทางหลวงสายหลัก

9) ระยะห่างโดยเฉลี่ยของรอยแตก ถ้ามีระยะห่างมากขึ้นจะทำให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพมากขึ้น ในกรณีที่ไม่ทราบวาระยะห่างโดยเฉลี่ยของรอยแตกมีค่าเท่าใด ผู้เชี่ยวชาญจะสมมติให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพเท่ากับกรณีมีระยะห่าง 60-200 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่พบโดยทั่วไป

ระดับความสำคัญหรือระดับอิทธิพลของปัจจัยที่นำมาพิจารณาจะไม่คงที่ แต่จะขึ้นอยู่กับความแข็งของหินบนความลาดเอียง (Influencing factor: I_n) ดังตารางที่ 4.2 โดยจำแนกเป็นกลุ่ม คือ

1) กลุ่มข้อมูลที่มีระดับความสำคัญเพิ่มขึ้นตามค่ากำลังรับแรงอัดของหินที่สูงขึ้น ประกอบด้วยระดับการผุกร่อน ลักษณะและขนาดต้นพืชที่ปกคลุม วิธีการขุดเจาะ และแรงสั่นสะเทือน

2) กลุ่มข้อมูลที่มีระดับความสำคัญลดลงเมื่อค่ากำลังรับแรงอัดของหินเพิ่มขึ้น ประกอบด้วยความสูง ระดับมุมเทของหน้าลาดเอียง และระดับน้ำบาดาล

ตารางที่ 4.2 ระดับความสำคัญของชุดตัวแปรสำหรับพิจารณาการพังทลายรูปโค้ง

Rock grade	Slope height	Slope face angle	Groundwater	Degree of weathering
R0	2.0	2.0	3.1	0
R1	1.7	1.8	2.2	0.2
R2	0.1	0.1	1.2	0.4

Rock grade	Vegetation	Number of discontinuity	Vibration	Average discontinuity spacing
R0	0.5	0	2.4	0
R1	1.1	0.4	0.5	2.1
R2	2.0	1.2	0.1	4.9

เมื่อพิจารณาระดับคะแนนความสำคัญของตัวแปรทั้งหมดในแต่ละค่ากำลังรับแรงอัด (มีคะแนนเต็ม 10 คะแนน) สามารถเรียงระดับความสำคัญของข้อมูลแต่ละชุดจากมากไปน้อยคือ ระยะห่างโดยเฉลี่ยของรอยแตกมีความสำคัญคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 23% ระดับน้ำบาดาลมีสัดส่วนประมาณ 22% ค่ามุมเทและค่าความสูงของหน้าลาดเอียงมวลหินมีสัดส่วนประมาณ 13% ลักษณะและขนาดต้นพืชที่ปกคลุมมีสัดส่วน 12% แรงสั่นสะเทือนมีสัดส่วน 10% จำนวนชุดรอยแตกมีสัดส่วน 5% และระดับการผุกร่อนมีสัดส่วนประมาณ 2%

เมื่อกำหนดคะแนนเสร็จทั้งสองชุดแล้วจะต้องนำคะแนนทั้งสองชุดมาคูณและรวมกันเป็นค่าความน่าจะเป็นของการพังทลาย ซึ่งค่าจะอยู่ในรูปร้อยละของการเกิดการพังรูปแบบโค้ง โดยแสดงเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$P\{f\}_{\text{circular}} = \sum [R_n \times I_n]$$

โดย $P\{f\}_{\text{circular}}$ คือ ร้อยละของความน่าจะเป็นที่จะเกิดการพังรูปแบบโค้ง
 R_n คือ อัตราความไม่มีเสถียรภาพของตัวแปรที่ n
 I_n คือ ระดับความสำคัญของตัวแปรที่ n

บทที่ 5

การสร้างชุดตัวแปรด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงกระบวนการสร้างชุดข้อมูลที่ใช้ประกอบการพิจารณาเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งได้แสดงวิธีการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลในรูปแบบต่างๆ มารวบรวม และสร้างชุดข้อมูลของตัวแปรให้เกิดความสอดคล้องกับหลักเกณฑ์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยคำนึงถึงความถูกต้องและความแม่นยำของข้อมูล เพื่อให้คล้ายกับสภาพจริงในภาคสนามมากที่สุด โดยในที่นี่ได้กล่าวถึงการประเมินลักษณะการพังทลายรูปแบบโค้ง โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

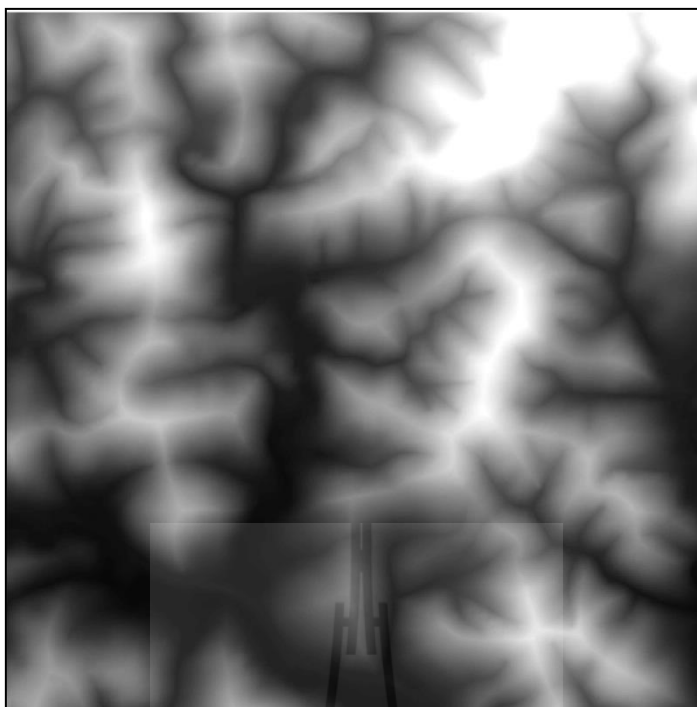
5.1 ชุดข้อมูลปฐมภูมิ

ชุดข้อมูลปฐมภูมิ คือ ข้อมูลหลักที่ได้มาจากการสำรวจด้วยเครื่องมือทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ประกอบด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายดาวเทียม แผนที่ หรือบันทึกการณีกิจการต่างๆ ซึ่งมีชุดข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยดังต่อไปนี้

5.1.1 แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข

แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขเป็นแบบจำลองของพื้นผิวที่ได้จากการวัดความสูงหรือจุดระดับความสูงที่เป็นตัวแทนของภูมิประเทศ มีการจัดเก็บข้อมูล การประมวลผล และการนำเสนอแบบจำลองในรูปแบบต่างๆ การสร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข เป็นกระบวนการวัดความสูงของภูมิประเทศ แล้วนำมาจัดเก็บในคอมพิวเตอร์ในรูปแบบที่สามารถเรียกกลับมาใช้ได้ โดยได้ชื่อแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขมาจากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีมาตราส่วน 1:4000 ครอบคลุมพื้นที่ 4 ตารางกิโลเมตรต่อตาราง สามารถให้ค่าความถูกต้อง 95% ซึ่งถือเป็นค่าสูงสุดในปัจจุบัน (รูปที่ 5.1)

การนำแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขมาใช้ประโยชน์จะต้องใช้คอมพิวเตอร์และโปรแกรมจัดการฐานข้อมูล ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม ArcGIS 9.2 สำหรับจัดการข้อมูลต่างๆ และแสดงผลการคำนวณในรูปแบบของแผนที่ ซึ่งจะกล่าวในบทถัดไป



รูปที่ 5.1 แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข มาตราส่วน 1:4000 จากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

5.1.2 แผนที่ธรณีวิทยาในรูปแบบดิจิทัล

ข้อมูลสำหรับชั้นหิน ประเภท และทิศทางการวางตัวภายในชั้นข้อมูลได้มาจากแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:50000 ของกรมทรัพยากรธรณี ซึ่งมีข้อมูลเชิงอัตราที่สามารถแสดงชนิดหิน ข้อมูลของแผนที่ธรณีวิทยานี้ถูกนำมาใช้ในการสร้างชุดตัวแปรของค่ากำลังรับแรงอัดของหิน ที่มีความเกี่ยวข้องกับชนิดและการผูกกร่อนของหิน

5.1.3 แผนที่ทางหลวง

แผนที่ทางหลวงที่นำมาใช้ ถูกนำมาเป็นขอบเขตของพื้นที่ศึกษา เนื่องจากงานวิจัยต้องการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินที่อยู่ตามแนวทางหลวงเท่านั้น จึงทำให้อัตราความไม่มีเสถียรภาพจากแรงสั่นสะเทือนมีค่าเท่ากับกรณีอยู่ใกล้ทางหลวงสายหลัก

5.1.4 ข้อมูลการใช้ที่ดิน

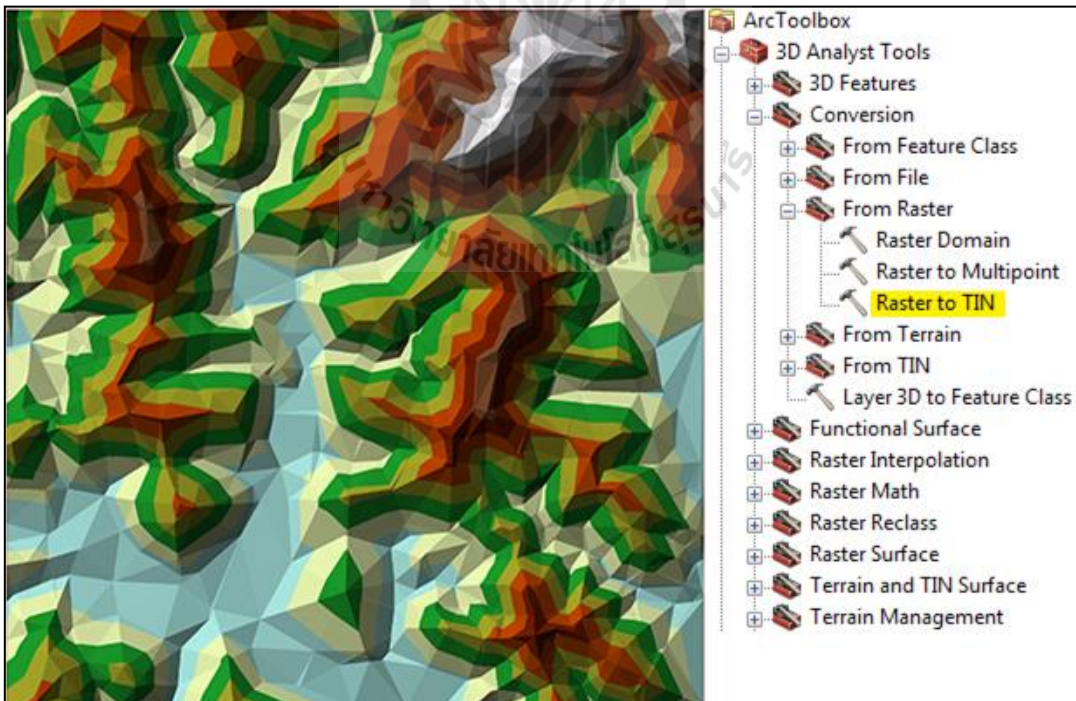
ข้อมูลการใช้ที่ดิน หรือ Land use ถูกนำมาใช้ในการจำแนกลักษณะและขนาดของต้นพืชที่ปกคลุม ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ ภายในประกอบด้วยข้อมูลเชิงบรรยาย สามารถบ่งบอกลักษณะพืชพรรณและปริมาณน้ำ รวมไปถึงการใช้พื้นที่ในด้านอื่นๆ โดยแสดงไว้ในแผนที่มาตราส่วน 1:50000 เช่นเดียวกับแผนที่ธรณีวิทยา

5.2 ชุดข้อมูลทุติยภูมิ

ชุดข้อมูลทุติยภูมิ คือ ข้อมูลที่เกิดจากการแปลงผล แปลงค่า หรือสร้างขึ้นใหม่ โดยอ้างอิงจากข้อมูลปฐมภูมิ แบ่งออกเป็น 8 ชุดข้อมูลและในที่นี้เรียกว่าชั้นข้อมูล ซึ่งเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อความไม่เสถียรภาพของความลาดเอียงมวลหิน ดังนี้

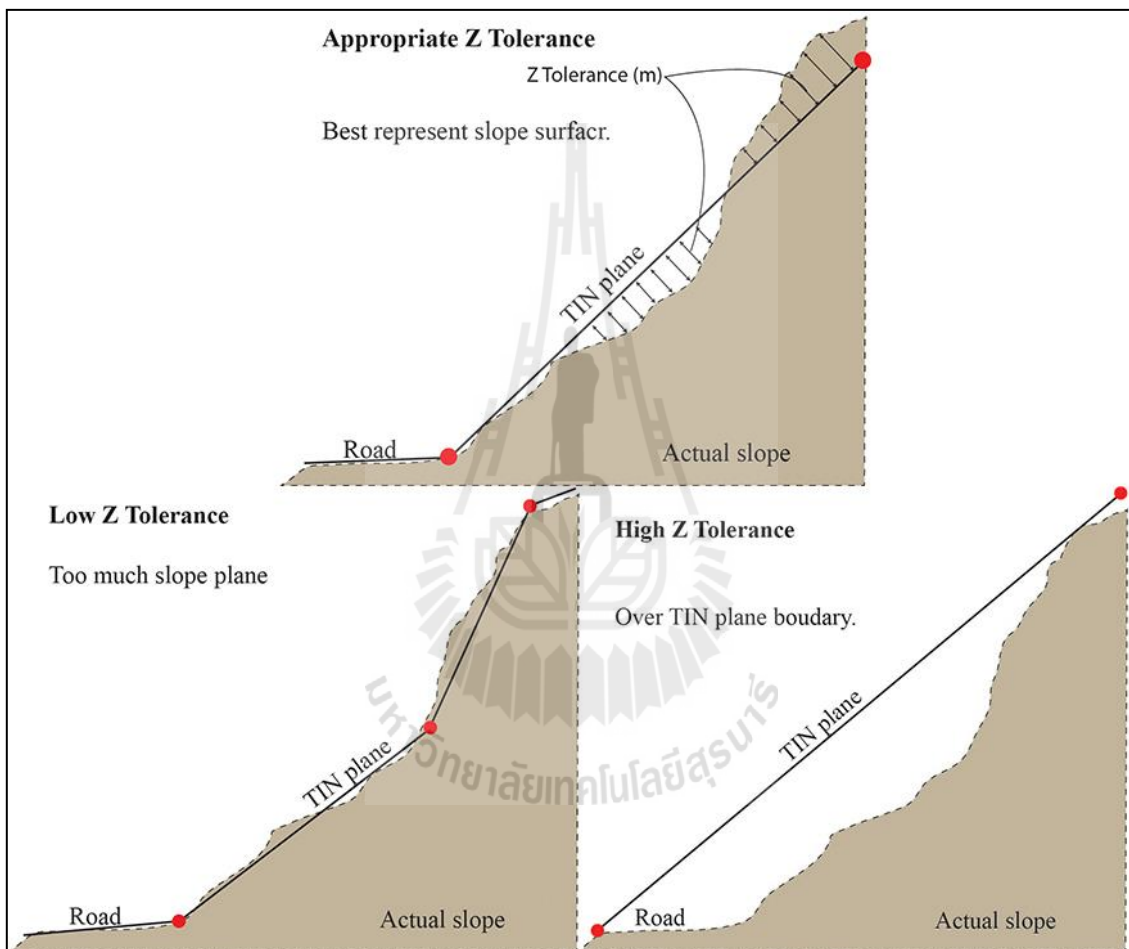
5.2.1 ชั้นข้อมูลมุมเทของความลาดเอียง

แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขที่ได้จากดาวเทียมเป็นข้อมูลที่ยังไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้โดยตรง เนื่องจากยังไม่มีข้อมูลเชิงบรรยายที่บ่งบอกลักษณะของภูมิประเทศ จึงต้องแปลงชั้นข้อมูลให้สามารถบรรจุข้อมูลเชิงบรรยายเข้าไปได้ โดยการแปลงชั้นข้อมูลให้อยู่ในรูปของโครงข่ายรูปสามเหลี่ยม เพื่อใช้เป็นตัวแทนของระนาบความลาดเอียง ภายในโครงข่ายรูปสามเหลี่ยม (รูปที่ 5.2) จึงมีค่าความชันเก็บไว้ในข้อมูลตาราง ซึ่งสามารถใช้เป็นค่าของมุมเทประจำพื้นผิวของความลาดเอียงนั้นๆ ได้ นอกจากนี้ยังมีขนาดพื้นที่และความสูงจากระดับน้ำทะเลเก็บไว้ในตารางข้อมูลด้วย โดยการสร้างโครงข่ายรูปสามเหลี่ยมจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมและความสมจริง เพื่อให้ได้ระนาบสามเหลี่ยมที่เป็นตัวแทนของพื้นผิวความชันในภาคสนาม



รูปที่ 5.2 ชั้นข้อมูลโครงข่ายรูปสามเหลี่ยมที่ถูกสร้างขึ้นจาก DEM เพื่อใช้เป็นตัวแทนลักษณะของความลาดเอียง

ในการสร้างโครงข่ายรูปสามเหลี่ยมด้วยโปรแกรม ArcGIS 9.2 จะต้องกำหนดค่า Z Tolerance ซึ่งเป็นระยะของความต่างระหว่างพื้นผิวจริงกับพื้นผิวจำลอง หากกำหนดค่า Z Tolerance ไม่สอดคล้องกับพื้นผิวจริงจะส่งผลให้ระนาบที่จำลองมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงน้อยลง ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบสร้างโครงข่ายรูปสามเหลี่ยมโดยกำหนดค่า Z Tolerance ต่างกัน 5 ระดับ คือ ตั้งแต่ 1 ถึง 5 เมตร และค่าที่เหมาะสมที่สุดคือใช้ค่า Z Tolerance เท่ากับ 2 เมตร (รูปที่ 5.3)



รูปที่ 5.3 ผลกระทบของค่า Z tolerance ต่อความสมจริงของระนาบความลาดเอียงที่จำลองด้วยโปรแกรม ArcGIS 9.2

5.2.2 ชั้นข้อมูลความสูงของความลาดเอียง

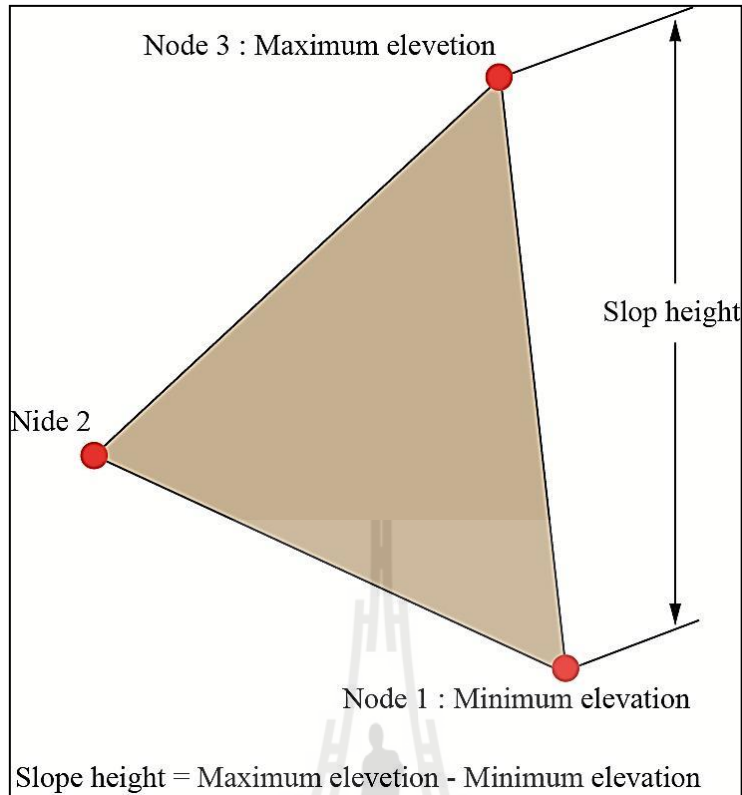
เนื่องมาจากค่าความสูงที่ถูกเก็บในแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข เป็นความสูงที่วัดจากระดับน้ำทะเล จึงต้องทำการหาความสูงที่แท้จริงของหน้าความลาดเอียงใหม่ ซึ่งความสูงของความลาดเอียงมาจากผลต่างระหว่างระดับความสูงของทางหลวงกับระนาบของความลาดเอียง (รูปที่ 5.4) โดยการนำโครงข่ายรูปสามเหลี่ยมที่ได้จากขั้นตอนสร้างชั้นข้อมูลมุมเทของความลาดเอียง ซึ่งมีค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลเก็บไว้ที่มุมของสามเหลี่ยม จากนั้นสร้างชั้นข้อมูลค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของระดับความสูงของสามเหลี่ยมแต่ละรูป โดยค่าความสูงของความลาดเอียงหาได้จากผลต่างระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด

5.2.3 ชั้นข้อมูลลักษณะและขนาดต้นพืชที่ปกคลุม

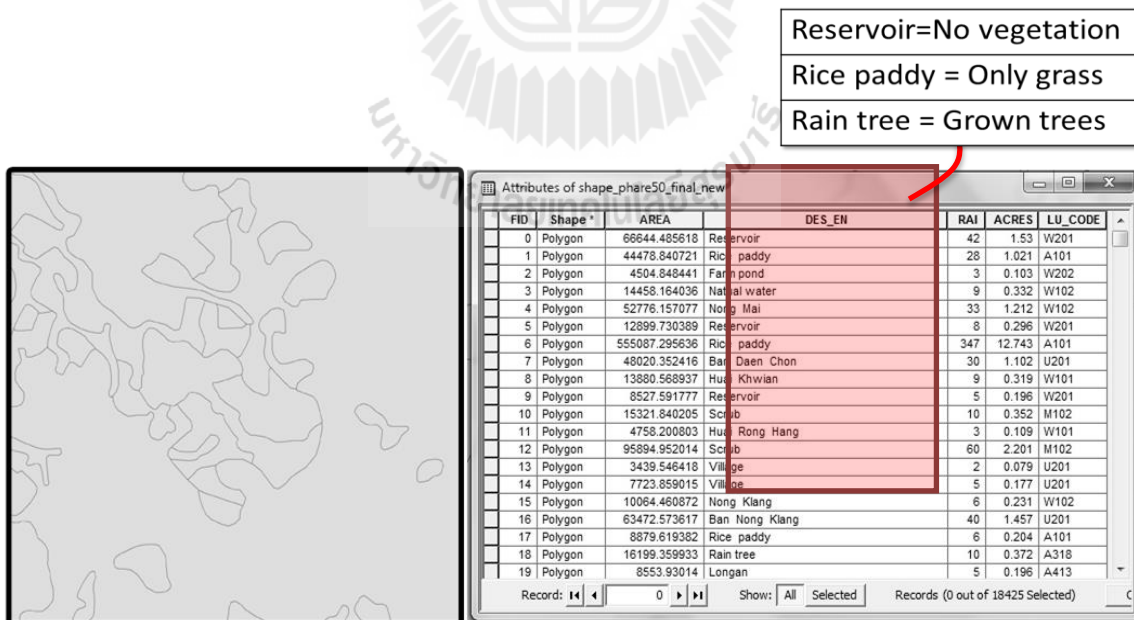
สำหรับชั้นข้อมูลลักษณะและขนาดต้นพืชสามารถหาได้จากแผนที่การใช้ที่ดิน ซึ่งเก็บข้อมูลแสดงลักษณะพันธุ์พืชของแต่ละพื้นที่เอาไว้ในข้อมูลตาราง ข้อมูลการใช้ที่ดินทั้งหมดจะถูกแปลความหมายให้สามารถนำมาใช้เป็นตัวแปรเพื่อประเมินเสถียรภาพของความลาดเอียง โดยแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ บริเวณที่มีต้นไม้ปกคลุมเป็นไม้ยืนต้น บริเวณที่มีต้นหญ้าและต้นไม้ขนาดเล็กปกคลุม บริเวณที่มีต้นหญ้าปกคลุมเพียงอย่างเดียว และบริเวณที่ไม่มีพืชปกคลุม (รูปที่ 5.5)

5.2.4 ชั้นข้อมูลระดับความสำคัญของชุดตัวแปร

ระดับความสำคัญของชุดตัวแปรมีค่าขึ้นกับกำลังรับแรงอัดของหินที่อ้างอิงจากงานวิจัยของนักวิจัยหลายท่านคือ Goodman (1989) Thongthiangdee (2003) Wyllie and Mah (2004) และ Alden (2010) และแปรค่ากลับเป็นระดับความสำคัญของชุดตัวแปรตามตารางที่ 5.1 (Brown 1981) สำหรับการพิจารณาการพังทลายรูปแบบโค้งค่าระดับความสำคัญของชุดตัวแปรแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ R0, R1 และ R2 โดยการนำเข้าข้อมูลด้วยการดิจิไทซ์ (Digitize) จากแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณีมาตราส่วน 1:50,000 (รูปที่ 5.6) โดยส่วนใหญ่ในพื้นที่ศึกษาจะครอบคลุมชนิดหินประมาณ 2-3 ชนิด ซึ่งอาจมีบางพื้นที่ที่ครอบคลุมชนิดหินเพียงชนิดเดียว การประเมินกำลังรับแรงอัดของหินขึ้นอยู่กับประสบการณ์และวิจารณญาณของผู้ประเมิน



รูปที่ 5.4 การหาความสูงของความลาดเอียงด้วยหลักการอย่างง่าย



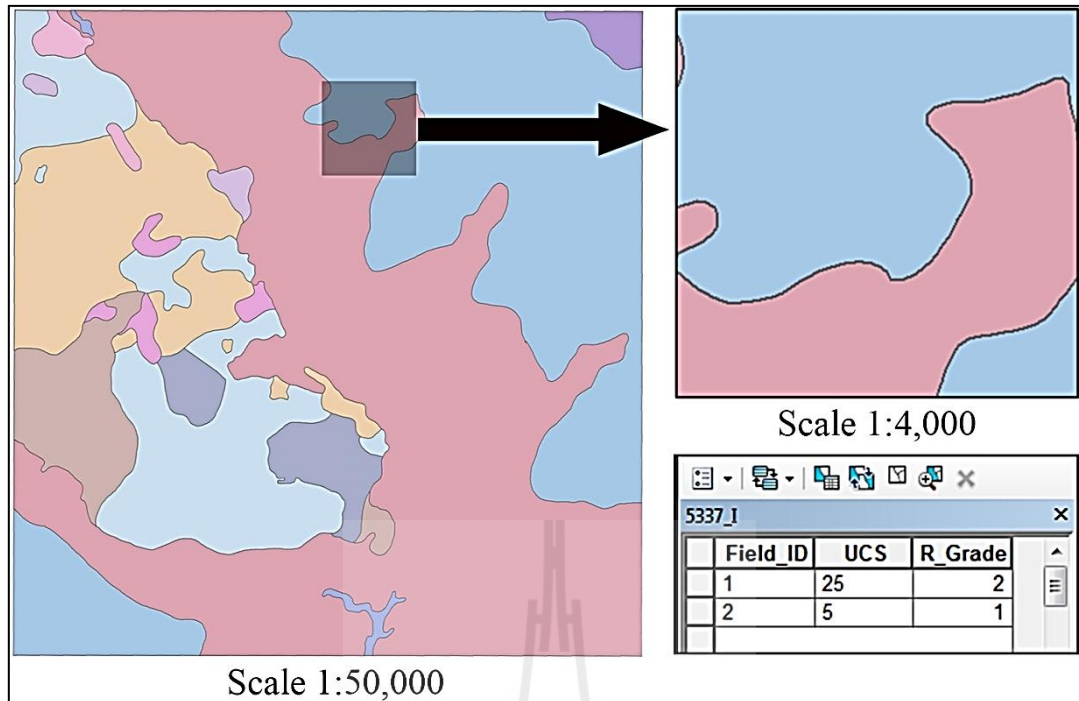
รูปที่ 5.5 ข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ในแผนที่การใช้ที่ดินได้ถูกแยกออกเป็น 4 ประเภท ตามขนาดและลักษณะพืชที่ปกคลุม

ตารางที่ 5.1 การประมาณค่ากำลังรับแรงอัดของหินตัวอย่าง (Brown, 1981)

Rock Grade	Uniaxial Compressive Strength (MPa)	Field Estimate of Strength	Examples*
R6	> 250	Rock material only chipped under repeated hammer blows	fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite
R5	100 – 250	Requires many blows of a geological hammer to break intact rock specimens	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble rhyolite, tuff
R4	50 – 100	Hand held specimens broken by a single blow of a geological hammer	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale
R3	25 – 50	Firm blow with geological pick indents rock to 5mm, knife just scrapes surface	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone
R2	5 – 25	Knife cuts material but too hard to shape into triaxial specimens	chalk, rocksalt, potash
R1	1-5	Material crumbles under firm blows of geological pick, can be scraped with knife	highly weathered or altered rock
R0	0.25 – 1	Indented by thumbnail	clay gouge

* Well interlocked crystal fabric with few voids

** Rocks with a uniaxial compressive strength below 25 MPa are likely to yield highly Ambiguous results under point load testing



รูปที่ 5.6 ชั้นข้อมูลกำลังรับแรงอัดของหินมาตราช้วน 1:4,000 ซึ่งได้มาจากแผนที่ธรณีวิทยา มาตราช้วน 1:50,000

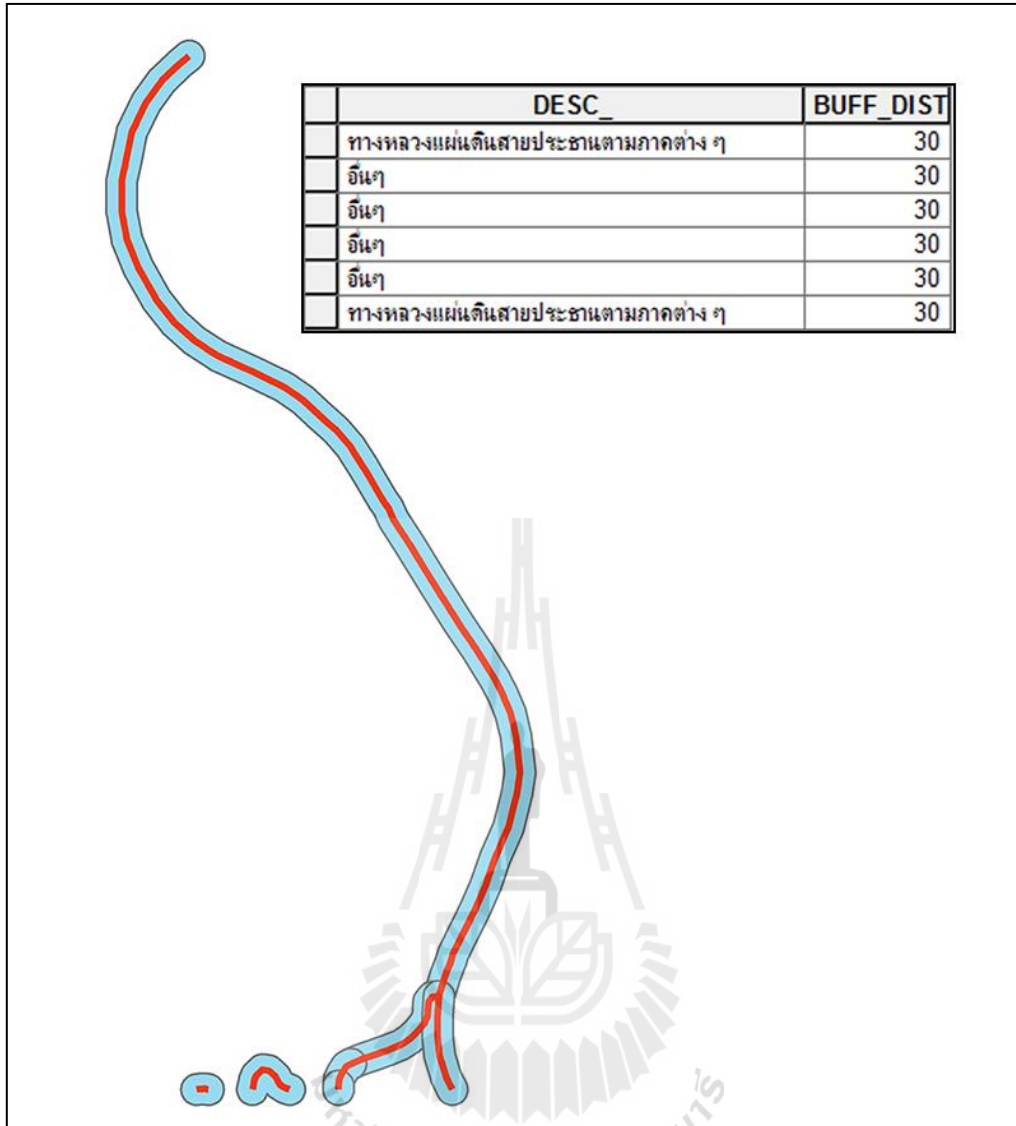
5.2.5 ชั้นข้อมูลแรงสั่นสะเทือน

แรงสั่นสะเทือนสำหรับพิจารณาการพังรูปแบบโค้งเป็นผลมาจากสิ่งปลูกสร้าง สถานที่หรือโครงสร้างที่สามารถเป็นแหล่งกำเนิดแรงสั่นสะเทือน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- 1) บริเวณที่มีการระเบิดหรือแผ่นดินไหว
- 2) บริเวณที่อยู่ใกล้ทางหลวงสายหลัก
- 3) บริเวณที่ไม่มีแรงสั่นสะเทือน เช่น พื้นที่อยู่อาศัย หรือบริเวณแหล่งทำการเกษตร

เป็นต้น

โดยการสร้างขอบเขตจากโครงสร้างดังกล่าวในระยะรัศมี 30 เมตร (รูปที่ 5.7) และสร้างข้อมูลตารางขึ้นใหม่เพื่อบันทึกประเภทของแรงสั่นสะเทือน และบันทึกค่าโอกาสของการพังทลายเพื่อใช้สำหรับรวมกับชั้นข้อมูลอื่นๆ ในขั้นต่อไป



รูปที่ 5.7 ชั้นข้อมูลแรงสั่นสะเทือนที่สร้างขึ้นจากแผนที่ทางหลวง

นอกจากชั้นข้อมูลข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว ยังมีข้อมูลที่เกิดจากการประมาณค่าด้วยประสบการณ์ คือ

- ระดับน้ำบาดาลซึ่งกำหนดให้อยู่ที่ 100% (Full saturated)
- ระดับการพุกร่อน ในกรณีไม่ทราบว่าจะอยู่ระดับใดจะสมมติให้มีการพุกร่อนอยู่ในช่วงเล็กน้อยถึงปานกลาง
- จำนวนชุดรอยแตกในมวลหิน ในกรณีที่ไม่ทราบจะสมมติให้มวลหินมีจำนวนชุดรอยแตก 3 ชุด ซึ่งเป็นค่าที่พบได้โดยทั่วไป
- แรงสั่นสะเทือน ในงานวิจัยนี้มวลหินตั้งอยู่ใกล้กับถนนสายหลักอัตราความไม่มีเสถียรภาพจะมีคะแนนเท่ากับ 5

บทที่ 6

วิธีการประเมินเสถียรภาพด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

6.1 วัตถุประสงค์

ในบทนี้ได้อธิบายถึงขั้นตอนการทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินซึ่งอยู่ในรูปของความน่าจะเป็นที่จะเกิดการพังทลาย โดยการประเมินเสถียรภาพด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของงานวิจัยนี้เป็นการประเมินการพังทลายรูปแบบโค้งเท่านั้น เนื่องจากการพังในรูปแบบอื่นมีปรากฏให้เห็นในภาคสนามน้อยมาก อีกทั้งความลาดเอียงยังมีขนาดเล็กเกินไปที่จะสามารถใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประเมินได้ และเนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือต้องการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหิน โดยไม่มีการสำรวจภาคสนาม ทำให้การทำงานด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ต้องอ้างอิงข้อมูลจากแหล่งข้อมูลหลายแหล่ง รวมไปถึงการใช้วิจารณ์จากผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ผ่านมา

6.2 การให้คะแนนชั้นข้อมูลของตัวแปร

จากเกณฑ์การพิจารณาการพังรูปแบบโค้งของ กิตติเทพ เฟื่องขจร (2546) มีตัวแปรที่เป็นปัจจัยต่อการพังรูปแบบโค้งทั้งสิ้น 8 ตัวแปร (ตารางที่ 4.1) แต่ละตัวแปรมีความสำคัญตามค่ากำลังรับแรงอัดของหิน (ตารางที่ 4.2) ทั้งตัวแปรและกำลังรับแรงอัดของหินดังกล่าวสามารถสร้างขึ้นด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งโดยทั่วไปต้องตรวจวัดจากการสำรวจในภาคสนาม แต่งานวิจัยนี้สามารถสร้างชุดตัวแปรและค่ากำลังรับแรงอัดของหินได้ทั้งสิ้น 5 ชั้นข้อมูลและสามารถอธิบายจากตัวอย่างของจุดเก็บข้อมูลที่ 15 บริเวณบ้านเขาเพลิง อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์ ดังนี้

6.2.1 การให้คะแนนชั้นข้อมูลความสูงของความลาดเอียง

ชั้นข้อมูลความสูงที่ได้จากการสร้างด้วยโปรแกรม ArcGIS 9.2 ของจุดเก็บข้อมูลที่ 15 ครอบคลุมพื้นที่ 4 ตารางกิโลเมตร ถูกแบ่งออกเป็นระนาบหลายเหลี่ยม (Polygon) จำนวน 3,638 ระนาบ แต่ละ Polygon มีความสูงบันทึกไว้ในตารางซึ่งสามารถเรียกใช้งานได้จากโปรแกรม (รูปที่ 6.1) การให้คะแนนแบ่งตามเกณฑ์ของ กิตติเทพ เฟื่องขจร (2546) ด้วยการแบ่ง Polygon ที่มีความสูงในช่วงเดียวกันไว้ด้วยกัน จากนั้นให้คะแนนตามช่วงความสูงและบันทึกไว้ในตารางข้อมูลที่สร้างขึ้นใหม่ ทำให้แต่ละ Polygon มีคะแนนของความสูงเก็บไว้ในตารางเพื่อนำไปรวมกับชั้นข้อมูลอื่นๆ ต่อไป (รูปที่ 6.2)

FID	Slope_Deg	Aspect	Height
3034	25.792232	19.82579	90
1246	34.061591	35.708236	74
1282	33.681008	147.092885	74
1652	35.288022	16.653245	71
1400	34.709626	86.935305	68
103	32.141308	72.539548	67
1281	31.038442	167.327909	67
1398	31.621785	31.52607	66
501	34.382221	306.821005	65
1134	29.79825	61.161938	65
3042	28.071904	163.541691	65
3492	30.240975	342.710149	65
1136	26.861	46.400356	64
1375	28.383827	160.104948	64
3599	29.43146	270.281037	63
1133	30.323293	58.855622	62
463	38.834432	94.836795	61
851	29.057492	342.371743	61
1247	30.462578	44.001269	61
1372	31.001408	145.512998	61
1374	30.878986	149.049202	61
1663	36.977121	44.957788	61
3279	29.387328	80.709952	61
3399	32.85648	357.924369	61

รูปที่ 6.1 ข้อมูลตารางของ Polygon จากตัวอย่างของจุดเก็บข้อมูลที่ 15 ประกอบด้วย มุมเท และความสูงของความลาดเอียง

FID	Height	H_Rating
3410	15	10
3419	15	10
3431	15	10
3449	15	10
3457	15	10
3460	15	10
3497	15	10
3562	15	10
148	14	8
149	14	8
235	14	8
238	14	8
383	14	8
388	14	8
485	14	8
503	14	8
527	14	8

Navigation: 2162

Status: (1 out of 3638 Selected)

Table Name: AH1074Z_5

รูปที่ 6.2 การให้คะแนนตามช่วงความสูง โดยคะแนนได้ถูกเก็บไว้ในตารางข้อมูลที่สร้างขึ้นใหม่ ชื่อว่า H_Rating

6.2.2 การให้คะแนนชั้นข้อมูลมุมเทของความลาดเอียง

การให้คะแนนชั้นข้อมูลมุมเทของความลาดเอียงมีการให้คะแนนเช่นเดียวกับชั้นข้อมูลความสูง คือการแบ่ง Polygon ที่มีมุมเทอยู่ในช่วงเดียวกัน ตัวอย่างเช่น มุมเทที่อยู่ในช่วงตั้งแต่ 70 องศา ขึ้นไปจะมีคะแนนเท่ากับ 10 คะแนนจากนั้นเก็บคะแนนไว้ในตารางข้อมูลที่สร้างขึ้นใหม่สำหรับเก็บคะแนน โดยกำหนดชื่อเป็น A_Rating (รูปที่ 6.3)

The screenshot displays two windows from ArcGIS 9.2. On the left is a 'Table' window showing a data table with the following columns: FID, Slope_Deg, Aspect, and A_Rating. The data rows show various values for the first three columns, with the A_Rating column containing values of 10 or 0. On the right is a 'Field Calculator' window. The 'Parser' is set to 'VB Script'. The 'Fields' list includes FID, Slope_Deg, Aspect, and A_Rating. The 'Type' is set to 'Number'. The 'Functions' list includes Abs, Atn, Cos, Exp, Fix, Int, Log, Sin, Sqr, and Tan. The expression 'A_Rating = 10' is entered in the calculator field. A watermark of a university logo is visible in the background.

FID	Slope_Deg	Aspect	A_Rating
108	76.676431	348.49534	10
103	75.430328	278.20433	10
108	71.496799	178.95066	10
103	67.26908	274.42774	0
369	65.611824	157.67606	0
108	63.875864	149.93289	0
370	61.335862	174.40638	0
103	61.14853	332.57319	0
366	60.594927	168.04082	0
101	59.483433	315.44803	0
102	59.033914	330.59179	0
108	58.205081	334.15262	0
103	57.823057	78.356728	0
499	57.23346	192.22023	0
135	55.245248	156.00970	0
515	54.480637	204.51319	0
101	53.802756	284.62692	0
215	53.422801	179.98104	0
216	52.669361	176.20294	0
106	51.887275	293.14840	0
217	51.781486	182.85053	0
410	51.495071	30.382238	0
417	50.949677	25.946673	0
277	50.746842	147.52759	0
411	50.648837	17.90899	0
447	50.379703	283.98194	0
375	50.308028	239.35334	0
276	49.78877	165.45924	0
106	49.669108	216.14534	0
374	49.492093	141.00185	0
306	49.39623	161.84571	0
145	49.355878	149.34983	0
143	49.285651	298.0617	0

รูปที่ 6.3 การให้คะแนนชั้นข้อมูลมุมเทของความลาดเอียงในโปรแกรม ArcGIS 9.2

6.2.3 การให้คะแนนชั้นข้อมูลระดับน้ำบาดาล

เพื่อในการประเมินเสถียรภาพออกมาในเชิงอนุรักษ์ จึงกำหนดให้ทุกจุดมีปริมาณน้ำบาดาลแบบอิมิตัว ทำให้ทุก Polygon มีค่าคะแนนของระดับน้ำบาดาลเท่ากัน ซึ่งคะแนนดังกล่าวได้ถูกเก็บไว้ในตารางข้อมูลเช่นเดียวกัน (รูปที่ 6.4)

FID	Slope_Deg	Aspect	Height	Water
3034	25.792232	19.82579	90	10
1246	34.061591	35.708236	74	10
1282	33.681008	147.092885	74	10
1652	35.288022	16.653245	71	10
1400	34.709626	86.935305	68	10
103	32.141308	72.539548	67	10
1281	31.038442	167.327909	67	10
1398	31.621785	31.52607	66	10
501	34.382221	306.821005	65	10
1134	29.79825	61.161938	65	10
3042	28.071904	163.541691	65	10
3492	30.240975	342.710149	65	10
1136	26.861	46.400356	64	10
1375	28.383827	160.104948	64	10
3599	29.43146	270.281037	63	10
1133	30.323293	58.855622	62	10
463	38.834432	94.836795	61	10
851	29.057492	342.371743	61	10
1247	30.462578	44.001269	61	10
1372	31.001408	145.512998	61	10
1374	30.878986	149.049202	61	10
1663	36.977121	44.957788	61	10
3279	29.387328	80.709952	61	10
3399	32.85648	357.924369	61	10

รูปที่ 6.4 ระดับน้ำบาดาลถูกกำหนดให้อยู่ในสภาวะแบบอิมิตัว ทำให้ทุก polygon มีค่าคะแนนเท่ากันคือ 10 คะแนน และถูกเก็บไว้ในข้อมูลตารางชื่อ Water

6.2.4 การให้คะแนนชั้นข้อมูลลักษณะและขนาดต้นพืชที่ปกคลุม

เนื่องจากชั้นข้อมูลนี้ได้มาจากแผนที่การใช้ที่ดิน ซึ่งกำหนดลักษณะการใช้ที่ดินของแต่ละบริเวณแตกต่างกันไปตามประเภท โดยมีข้อมูลบรรยายสั้นๆ บ่งบอกให้ทราบว่าบริเวณใดใช้ที่ดินในรูปแบบใด และสามารถแปลความหมายให้สอดคล้องกับลักษณะของต้นพืชที่ปกคลุมตามเกณฑ์ของ กิตติเทพ เฟื่องขจร (2546) ได้ เช่น Reservoir หมายถึง No vegetation (ไม่มีพืชปกคลุม) Rice paddy หมายถึง Only grass (ปกคลุมด้วยต้นหญ้า) และ Rain tree หมายถึง Full grown tree (ปกคลุมด้วยต้นไม้ขนาดใหญ่) เป็นต้น โดยให้คะแนนในแต่ละ Polygon เหมือนกับชั้นข้อมูลอื่นๆ คือการจัดกลุ่ม Polygon ที่มีลักษณะต้นพืชเหมือนกันให้มีค่าคะแนนเท่ากัน และเก็บไว้ในข้อมูลตารางชื่อ Vegetation (รูปที่ 6.5)

FID	AREA	DES_EN	Vegetation
0	66644.485618	Reservoir	10
1	44478.840721	Rice paddy	7
2	4504.848441	Farm pond	7
3	14458.164036	Natural water	10
4	52776.157077	Nong Mai	10
5	12899.730389	Reservoir	10
6	555087.295636	Rice paddy	7
7	48020.352416	Ban Daen Chon	5
8	13880.568937	Huai Khwian	10
9	8527.591777	Reservoir	10
10	15321.840205	Scrub	5
11	4758.200803	Huai Rong Hang	10
12	95894.952014	Scrub	5
13	3439.546418	Village	5
14	7723.859015	Village	5
15	10064.460872	Nong Klang	10
16	63472.573617	Ban Nong Klang	5
17	8879.619382	Rice paddy	7
18	16199.359933	Rain tree	0

รูปที่ 6.5 ตารางข้อมูลของแผนที่การใช้ที่ดินที่นำมาใช้หาลักษณะและขนาดของต้นพืช

6.2.5 การให้คะแนนชั้นข้อมูลแรงสั่นสะเทือน

เนื่องจากความลาดเอียงมวลหินที่พิจารณาทั้งหมดตั้งอยู่ใกล้กับทางหลวง จึงกำหนดให้ Polygon ใดที่อยู่ในรัศมี 30 เมตร จากทางหลวงถือว่ามีค่าคะแนนของแรงสั่นสะเทือนเท่ากับกรณีอยู่ใกล้ทางหลวงสายหลัก ส่วน Polygon อื่นๆ ที่ห่างออกไปจะมีหรือไม่มีค่าคะแนนขึ้นอยู่กับระยะห่างจากแหล่งกำเนิดของการสั่นสะเทือน

6.2.6 การให้คะแนนชั้นข้อมูลอื่นๆ ที่ไม่สามารถสร้างขึ้นได้ด้วยระบบสารสนเทศ

ภูมิศาสตร์

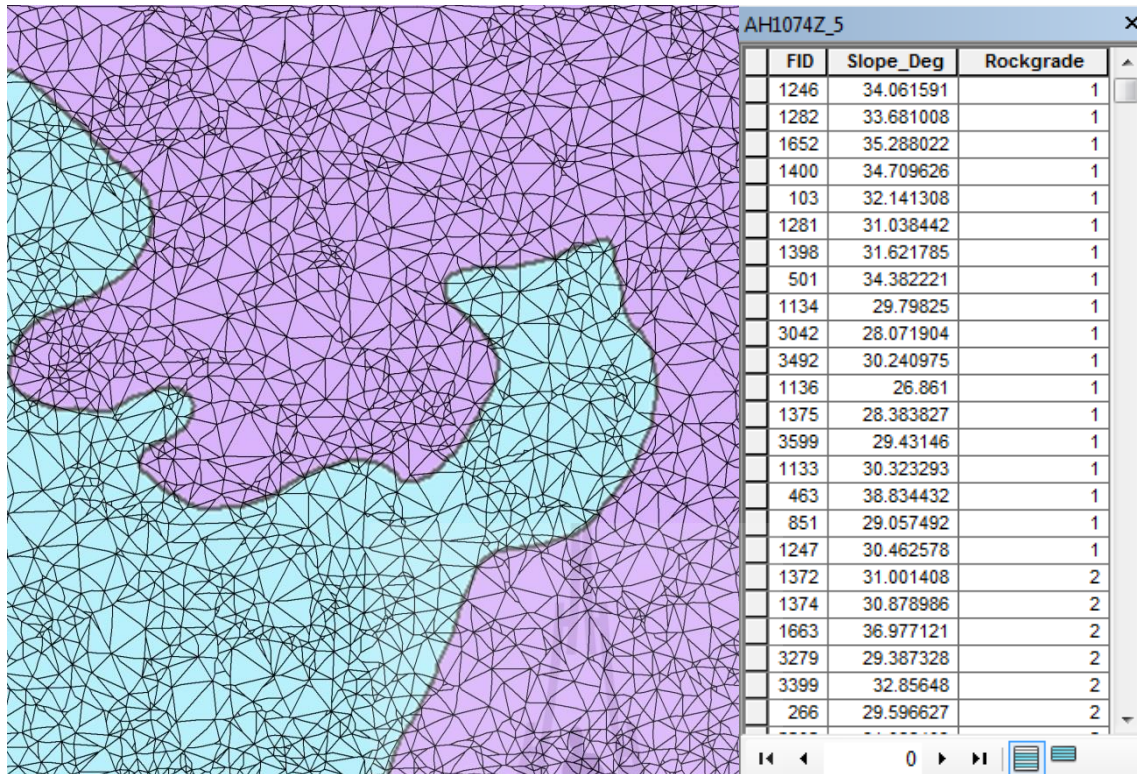
สำหรับชั้นข้อมูลที่ไม่สามารถสร้างด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จะใช้วิจารณญาณของผู้ประเมินในการให้คะแนนตามความเหมาะสมซึ่งประกอบด้วย ระดับของการผูกกร่อน จำนวนชุดรอยแตกในมวลหิน และระยะห่างโดยเฉลี่ยของรอยแตก ซึ่งโดยทั่วไปกรณีที่ไม่ทราบจะกำหนดให้ทุก Polygon มีค่าคะแนนเท่ากันคือ 15 คะแนน จากระดับการผูกกร่อน 5 คะแนน จำนวนชุดรอยแตกในมวลหิน 5 คะแนน และระยะห่างโดยเฉลี่ยของรอยแตก 5 คะแนน โดยในการประเมินไม่จำเป็นต้องสร้างชั้นข้อมูลเหล่านี้ขึ้นมาเนื่องจากคะแนนของทุก Polygon มีค่าคงที่เท่ากันหมด

6.3 ระดับความสำคัญของชั้นข้อมูล

จากตารางที่ 4.2 ชั้นข้อมูลที่น่ามาพิจารณาหลังจากมีการให้คะแนนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะถูกนำมาคูณกับระดับความสำคัญของชุดตัวแปร ซึ่งขึ้นกับค่ากำลังรับแรงอัดของหินในแต่ละ Polygon สำหรับการพิจารณาการพังทลายรูปแบบโค้ง กำหนดระดับความสำคัญออกเป็น 3 ระดับคือ R0, R1 และ R2 ชั้นข้อมูลที่ได้ให้คะแนนไว้แล้วในขั้นตอนที่ 6.2 จะถูกซ้อนทับเข้ากับข้อมูลกำลังรับแรงอัดของหิน ด้วยคำสั่ง Overlay (รูปที่ 6.6) จากนั้นค่าคะแนนจะถูกคูณด้วยค่าระดับความสำคัญของชุดตัวแปรดังตัวอย่างในรูปที่ 6.7 และเก็บค่าไว้ในข้อมูลตารางเพื่อรวมกับชั้นข้อมูลอื่นๆ ในขั้นตอนสุดท้ายต่อไป

6.4 การรวมชั้นข้อมูล

ในขั้นตอนสุดท้ายของการประเมิน ชั้นข้อมูลที่มีค่าความน่าจะเป็นของการพังทลายเป็นที่เรียบร้อยแล้วจะถูกนำมาซ้อนทับกันด้วยคำสั่ง Union เพื่อให้เป็นไปตามสมการที่ 4.1 และแสดงความน่าจะเป็นของการพังทลายในรูปของแผนที่ศักยภาพ (รูปที่ 6.8) โดยสามารถปรับเจดสีในแต่ละช่วงเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน



รูปที่ 6.6 ตัวอย่างการซ้อนทับชั้นข้อมูลระหว่างชั้นข้อมูลมุมเทของความลาดเอียงกับชั้นข้อมูลกำลังรับแรงอัดของหิน



FID	Slope_Deg	Rate_A	Rockgrade	Deg_PF
266	29.596627	1	2	0.1
1372	31.001408	2	2	0.2
1374	30.878986	2	2	0.2
1663	36.977121	3	2	0.3
2202	31.086403	2	2	0.2
2573	26.602353	1	2	0.1
3279	29.387328	1	2	0.1
3399	32.85648	2	2	0.2
103	32.141308	2	1	3.6
463	38.834432	3	1	5.4
501	34.382221	2	1	3.6
851	29.057492	1	1	1.8
1133	30.323293	2	1	3.6
1134	29.79825	1	1	1.8
1136	26.861	1	1	1.8
1246	34.061591	2	1	3.6

Parser
 VB Script Python

Fields:
 FID
 Slope_Deg
 Rate_A
 Rockgrade
 Deg_PF

Type:
 Number
 String
 Date

Functions:
 Abs ()
 Atn ()
 Cos ()
 Exp ()
 Fix ()
 Int ()
 Log ()
 Sin ()
 Sqr ()
 Tan ()

Show Codeblock

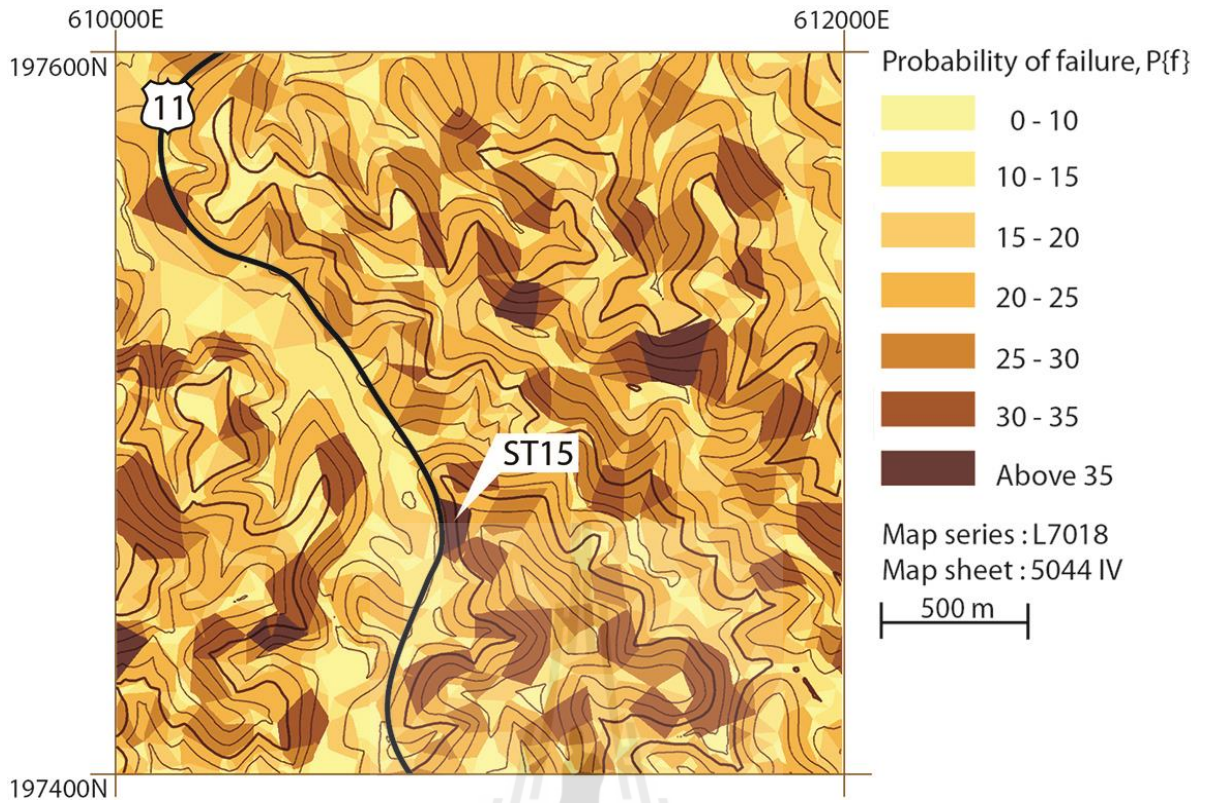
Deg_PF =
 [Rate_A] *0.1

* / & + - =

Clear Load... Save... Help

OK Cancel

รูปที่ 6.7 การนำระดับความสำคัญคูณกับระดับคะแนน



รูปที่ 6.8 ตัวอย่างแผนที่ศักยภาพที่ได้จากการประเมินเสถียรภาพ



บทที่ 7

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

7.1 ผลการทดสอบ

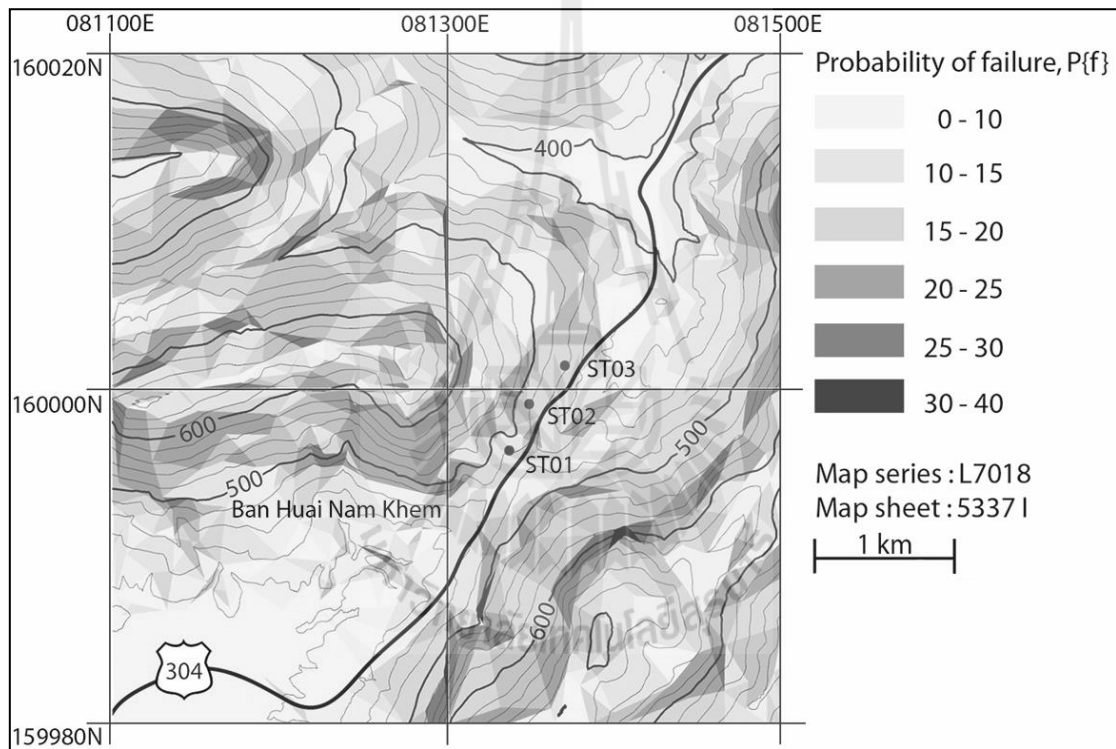
ผลจากการประเมินเสถียรภาพด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ตารางที่ 7.1) จากความลาดเอียงมวลหินทั้งสิ้น 15 จุด พบว่ามี 8 ความลาดเอียงที่ไม่มีเสถียรภาพ (พังในรูปแบบโค้ง) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการประเมินด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อัตราส่วนความปลอดภัยจะมีค่าประมาณ 1.0 เมื่อความน่าจะเป็นของการพังทลายมีค่าประมาณ 40% และเมื่อเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจริงจากภาคสนาม ผลที่ได้สอดคล้องกับผลจากการตรวจวัดจากภาคสนามเป็นอย่างดี คือความลาดเอียงจะไม่มีเสถียรภาพเมื่อความน่าจะเป็นของการพังทลายมีค่าเกิน 40% ขึ้นไป รูปที่ 7.1 ถึงรูปที่ 7.5 คือแผนที่ศักยภาพที่ได้จากการประเมินเสถียรภาพด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ตารางที่ 7.1 ผลการประเมินเสถียรภาพด้วย GIS เปรียบเทียบกับอัตราส่วนความปลอดภัยและผลที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนาม

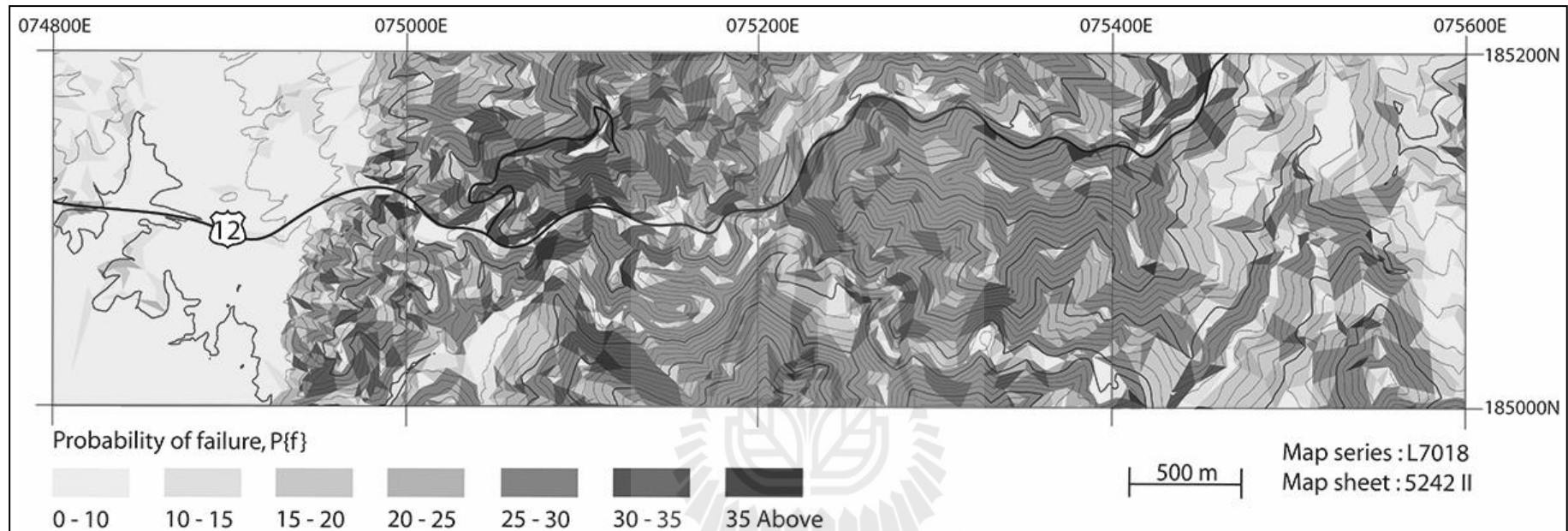
Station	FS. (FLAC Slope 4.0)	PF(%) (ArcGIS 9.2)	Actual Conditions
01	4.87	14	Stable
02	2.36	18	Stable
03	3.96	15	Stable
04	1.12	48	Circular failure
05	1.38	36	Stable
06	1.57	28	Stable
07	1.08	50	Circular failure
08	1.20	41	Circular failure
09	1.57	34	Stable
10	1.48	39	Stable
11	1.21	55	Circular failure
12	1.03	45	Circular failure

ตารางที่ 7.1 ผลการประเมินเสถียรภาพด้วย GIS เปรียบเทียบกับอัตราส่วนความปลอดภัยและผลที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนาม (ต่อ)

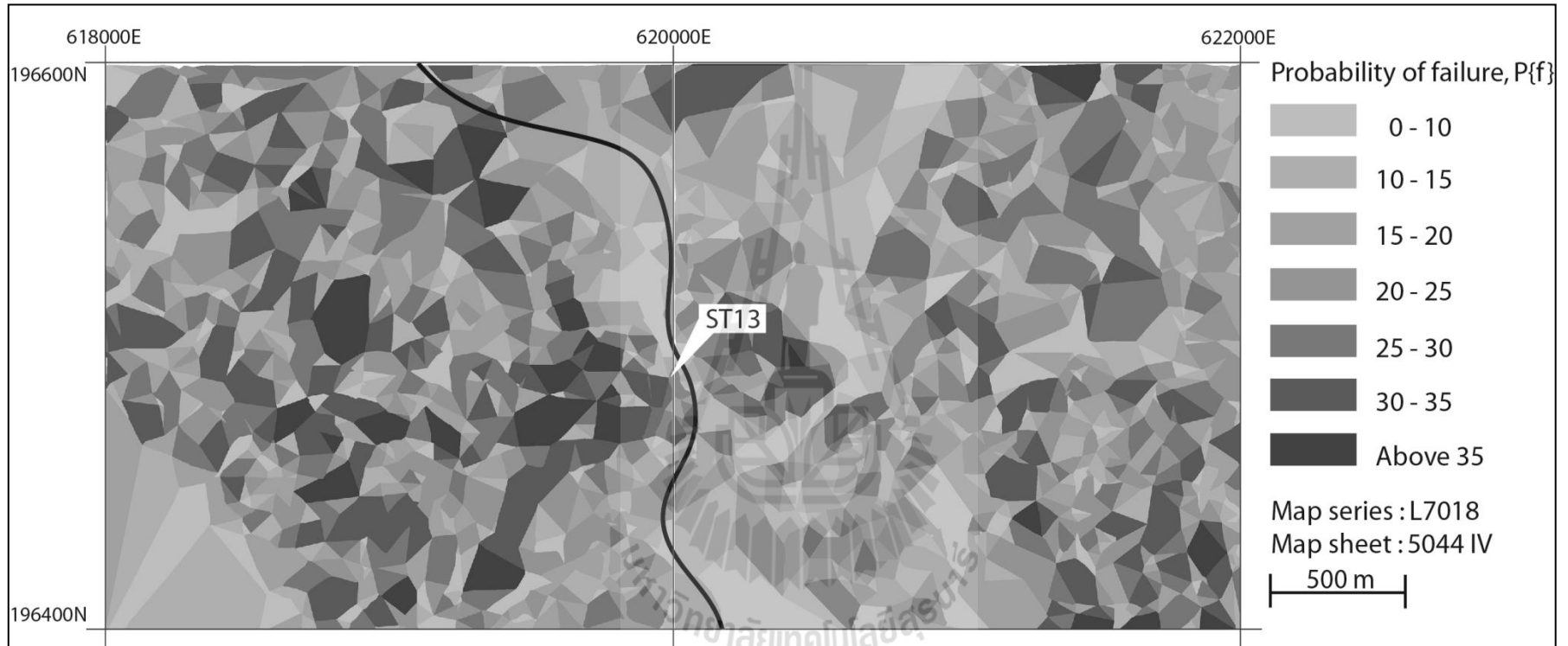
Station	FS. (FLAC Slope 4.0)	PF(%) (ArcGIS 9.2)	Actual Conditions
13	0.66	62	Circular failure
14	0.96	56	Circular failure
15	0.86	63	Circular failure



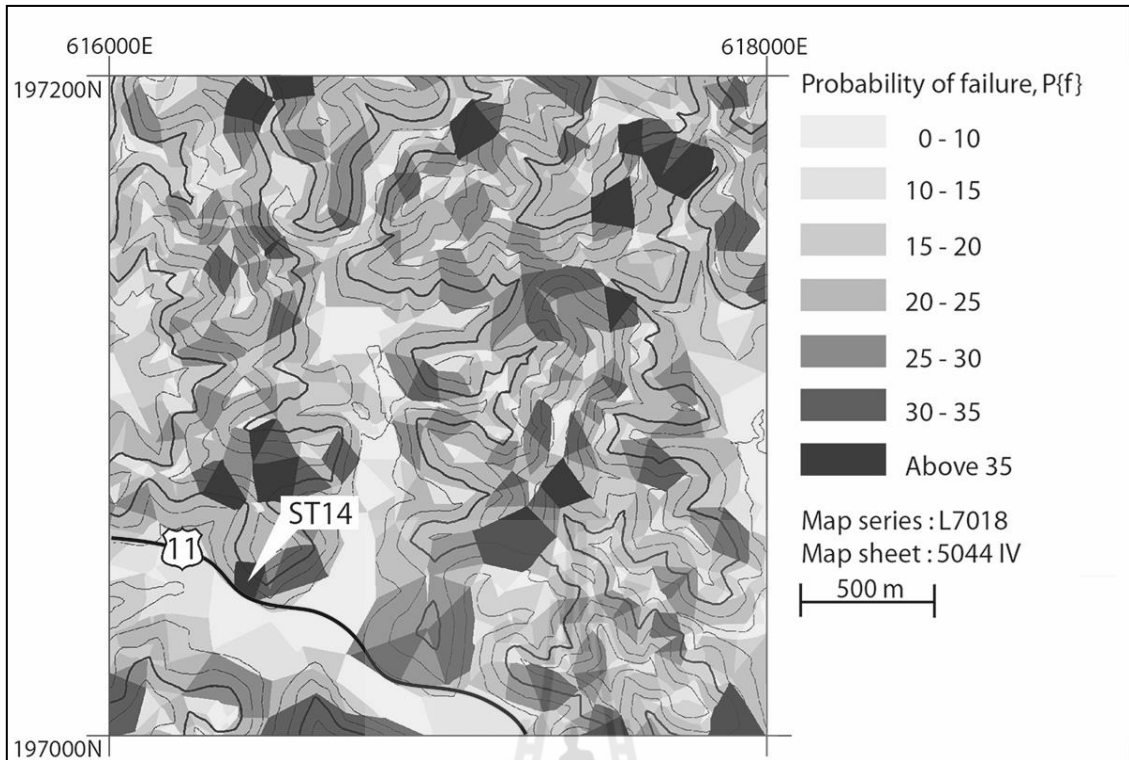
รูปที่ 7.1 แผนที่ศักยภาพบริเวณทางหลวงหมายเลข 304 ประกอบด้วยจุดเก็บข้อมูลที่ 1 จุดเก็บข้อมูลที่ 2 และจุดเก็บข้อมูลที่ 3



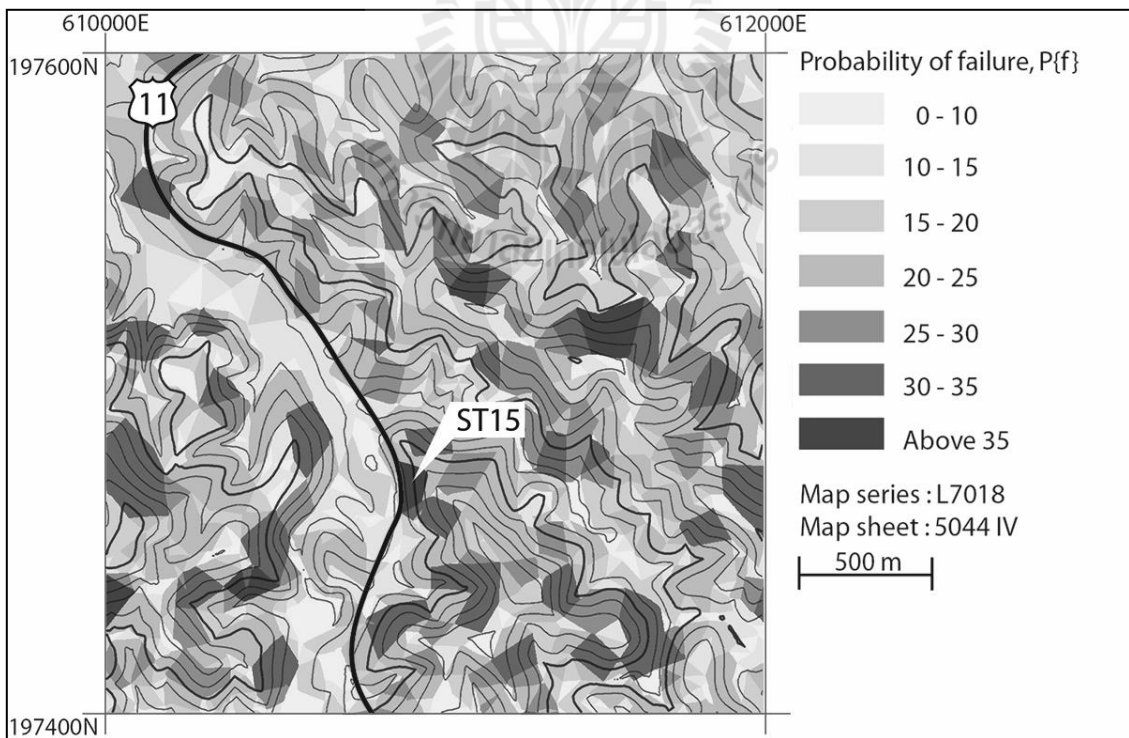
รูปที่ 7.2 แผนที่ศักยภาพบริเวณทางหลวงหมายเลข 12



รูปที่ 7.3 แผนที่ศักยภาพของจุดเก็บข้อมูลที่ 13 บริเวณทางหลวงหมายเลข 11



รูปที่ 7.4 แผนที่ศักยภาพของจุดเก็บข้อมูลที่ 14 บริเวณทางหลวงหมายเลข 11



รูปที่ 7.5 แผนที่ศักยภาพของจุดเก็บข้อมูลที่ 15 บริเวณทางหลวงหมายเลข 11

7.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ความแม่นยำและความถูกต้องของการประเมินเสถียรภาพด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในงานวิจัยนี้ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน เนื่องจากการประเมินเสถียรภาพที่ไม่มีการเก็บข้อมูลจริงในภาคสนาม ทำให้ผู้ประเมินไม่สามารถตรวจสอบเสถียรภาพได้โดยตรง ดังนั้นข้อมูลทางด้านกายภาพที่นำมาใช้แทนการออกสำรวจในภาคสนามจะต้องมีความถูกต้องและแม่นยำ ในงานวิจัยได้ใช้ข้อมูลของแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขที่สามารถจำลองลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ศึกษาได้ดี มีความแม่นยำถึง 95% ข้อดีคือสามารถจำลองความสูงต่ำและความลาดเอียงของภูมิประเทศได้ง่ายกว่าการตรวจวัดจริงในภาคสนาม เพราะบางพื้นที่มีความอันตรายและยากต่อการเข้าถึง ทำให้การตรวจวัดในภาคสนามเป็นไปได้ด้วยความยากลำบาก นอกจากนี้ข้อดีอีกประการหนึ่งคือ แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขสามารถจำลองลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาได้เป็นบริเวณกว้าง ช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายมากกว่าการตรวจวัดจริงในภาคสนาม

การใช้แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขสร้างลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษายังมีจุดด้อยอยู่พอสมควร กล่าวคือแบบจำลองไม่สามารถตรวจวัดลักษณะความไม่ต่อเนื่องของมวลหินได้ เนื่องจากลักษณะความไม่ต่อเนื่องที่เกิดขึ้นในภาคสนามมีขนาดเล็กเกินกว่าที่จะตรวจพบด้วยข้อมูลดาวเทียม การประเมินเสถียรภาพจึงสามารถทำได้เพียงการพังทลายในรูปแบบโค้งเท่านั้น ข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็น เช่น ค่าดัชนีการผุกร่อน และจำนวนชุดรอยแตก ในงานวิจัยนี้ได้ปฏิบัติตามคำแนะนำในกรณีที่ไม่ทราบค่าของระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งอาจไม่ตรงกับสภาพจริงทำให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

จากผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สามารถนำมาใช้ในการประเมินเสถียรภาพความลาดเอียงมวลหินได้ในเบื้องต้น ค่าที่ได้สามารถบ่งชี้ได้ว่าความลาดเอียงนั้น "มี" หรือ "ไม่มี" เสถียรภาพ ซึ่งเป็นการประเมินในขั้นต้นเพื่อระบุจุดเสี่ยงภัยจากการพังทลาย ทำให้ผู้ปฏิบัติงานเพิ่มความระมัดระวังหรือหาแนวทางป้องกันต่อไป ในอนาคตหากมีวิทยาการและปริมาณข้อมูลที่มากพอ งานวิจัยนี้สามารถเป็นต้นแบบเพื่อศึกษาและประเมินเสถียรภาพการพังทลายในรูปแบบอื่นๆ ได้

7.3 แนวทางการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

จากผลการวิเคราะห์การประเมินเสถียรภาพด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในงานวิจัยนี้ ในอนาคตควรที่จะเพิ่มการศึกษาข้อมูลด้านดัชนีการผุกร่อนและชุดของรอยแตกในหิน โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับข้อมูลจากแผนที่ธรณีวิทยาที่สำรวจแล้วจากกรมทรัพยากรธรณี ซึ่งจะสามารถทำให้การคาดคะเนเรื่องดัชนีการผุกร่อนจากชุดดินและหินในพื้นที่การวิเคราะห์ได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น

บรรณานุกรม

- กิตติเทพ เฟื่องขจร. (2546). การพัฒนาคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการคิดวิเคราะห์และ
ออกแบบความลาดชันของหิน โดยใช้กรณีศึกษาความรู้และประสบการณ์จาก
ผู้เชี่ยวชาญ. รายงานวิจัย สำนักวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Adeli, H. (1988). **Expert Systems in Construction and Structural Engineering** (pp 1–
12). New York: Chapman and Hall.
- Adeli, H. (1988). **Expert Systems in Construction and Structural Engineering** (pp 13–
21). New York: Chapman and Hall.
- Adeli, H. (1988). **Expert Systems in Construction and Structural Engineering** (pp 45–
83). New York: Chapman and Hall.
- Brown, E. T. (1981). **Rock Characterization Testing and Monitoring**. London: Pergamon
Press Ltd.
- Collison A., Wade S., Griffiths J., and Dehn M. (2000). Modelling the impact of predicted
climate change on landslide frequency and magnitude in SE England. **Eng
Geol**;55(3):205–18.
- Goodman, R. E. (1989). **Introduction to Rock Mechanics**. New York: John Wiley & Sons.
- Hoek, E., and Bray, J. W. (1981). **Rock Slope Engineering** (Revised third edition). Institution
of Mining and Metallurgy.
- Hoek, E., and Brown, E. T. (1980). **Underground Excavations in Rock**. The Institute of
Mining and Metallurgy, London.
- Hovland H.J. (1977). Three-dimensional slope stability analysis method. *J Geotech Eng Div*;
103(9):971–86.
- Jibson R.W. (1993). Predicting earthquake-induced landslide displacements using Newmark's
sliding block analysis. *Transport Res Rec*: 9–17.
- Jibson R.W. (1996). Use of landslides for paleoseismic analysis. **Eng Geol**;43(4):291–323.
- Jibson R.W., Harp E.L., and Michael J.A. (2000). Method for producing digital probabilistic
seismic landslide hazard maps. **Eng Geol** ;58(3):271–89.

- Jibson R.W., Prentice C.S., Borissoff B.A., Rogozhin E.A., and Langer C.J. (1994). Some observations of landslides triggered by the 29 April 1991 Racha earthquake, Republic of Georgia. **Bull Seismol Soc Am**; 84(4):963–73.
- Luzi L., Pergalani F., and Terlien M.T. (2000). Slope vulnerability to earthquakes at subregional scale, using probabilistic techniques and geographic information systems. **Eng Geol**; 58(3–4):313–36.
- Refice A., and Capolongo D. (2002). Probabilistic modelling of uncertainties in earthquake induced landslide hazard assessment. **Comput Geosci**;28(6)
- Rich, G., and Knight, K. (1991). **Artificial Intelligence**. New York: McGraw–Hill
- Xie M., Esaki. T., and Cai M. (2004). A GIS–based method for locating the critical 3D slip surface in a slope. **Comput Geotechn**;31(4):267–77.



ประวัตินักวิจัย

อาจารย์ ดร.ปรัชญา เทพนรงค์ เกิดเมื่อวันที่ 14 กันยายน 2521 ที่จังหวัดกาญจนบุรี จบการศึกษาปริญญาเอกจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โปรแกรมวิชาวิศวกรรมธรณี ในปี พ.ศ. 2550 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำอยู่ที่สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา มีความชำนาญทางการทดสอบด้านกลศาสตร์หินในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม การออกแบบและการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เป็นนักวิจัยประจำหน่วยวิจัยกลศาสตร์ธรณี และเป็นสมาชิกสามัญตลอดชีพของสมาคมธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย

