

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อดินถล่ม
ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและพื้นที่ใกล้เคียง
Effect of Climate Change on Landslide
in Songkhla Lake Basin and Surrounding Area

دنوپل دننโยпас*

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

โรจน์จรรย์ย์ ด่านสวัสดิ์

คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

เพ็ญประไพ ภูทอง

สถาบันทรัพยากรทะเลและชายฝั่ง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

Danupon Tonnayopas*

Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering,
Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Kho Hong, Hat Yai, Songkhla 90110

Rotchanatch Dansawat

Faculty of Environmental Management, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus,
Kho Hong, Hat Yai, Songkhla 90110

Phenprapai Phuthong

Marine and Coastal Resources Institute, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus,
Kho Hong, Hat Yai, Songkhla 90110

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นผลการทำแผนที่ด้วยภูมิสารสนเทศและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อแผ่นดินถล่มในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในสามทศวรรษ พื้นที่ศึกษาคือครอบคลุม 5 จังหวัด คือ สงขลา พัทลุง นครศรีธรรมราช สตูล และตรัง ฐานข้อมูลแผ่นดินถล่มประกอบด้วย 8 ปีวิจัย ซึ่งได้สร้างแผนที่ฝนตกสูงสุด แผนที่ภูมิสารสนเทศหรือแบบจำลองชั้นความสูงเชิงตัวเลข แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่ความลาด แผนที่ทิศทางรับน้ำฝน แผนที่

ทางน้ำ แผนที่รอยแตก และแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินหรือสิ่งปกคลุมดิน ถ่ายจากดาวเทียมแลนดส์เซ็ท 5 ระบบ TM ได้นำมาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน รายงานที่ผ่านมามีใช้อ้างอิงเพื่อสร้างแผนที่หัวเรื่อง การระบุพื้นที่เปราะบาง ปัจจัยที่กล่าวมาใช้วิเคราะห์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยกำหนดช่วงค่าและน้ำหนักคะแนน ผลการผลการประมวลผลแผนที่บริเวณภัยแผ่นดินถล่มแสดงพื้นที่ที่มีหลายระดับชั้นความเสียหายจากแผ่นดินถล่ม จำแนกออกเป็น 4 ระดับ คือ เสียหายต่ำ ปานกลาง สูง และสูงมาก ผลวิเคราะห์ดัชนีแผ่นดินถล่มสามารถเสนอแนะไปดำเนินการมาตรการบรรเทาภัยอย่างเหมาะสม อันช่วยป้องกันการสูญเสียชีวิตและอสังหาริมทรัพย์ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

คำสำคัญ : แผ่นดินถล่ม; ภูมิสารสนเทศ; ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา; สภาพความเปราะบาง

Abstract

Geo-informatic technics approach to mapping and assess the climate change in three decades in the Songkhla Lake Basin landslides investigation. Study area covered 5 provinces including Songkhla, Phatthalung, Nakhon Si Thammarat, Satun and Trang provinces. Landslide database involves eight generation of highest rainfall map, geomorphic map or DEM, geologic map, slope map, aspect, drainage, fracture map, and landuse/land cover change map. Landsat 5-TM images have been input data to process landuse change maps. Existing literatures have also been referred to generate the thematic maps. To identify the vulnerable areas, the above-mentioned parameters were analyzed in a GIS by assigning appropriate ranks and weights. The result is a landslide hazard zonation map showing areas with varying degrees of vulnerability from landslides. The landslide vulnerability map was classified into four zones such as low, moderate, high, and very high. It is pointed that a map which is derived from the analysis of the landslide index will enable to propose and implement suitable mitigating measures, thus preventing loss of life and property in the Songkhla Lake Basin.

Keywords: landslide; geo-informatics; Songkhla Lake Basin; vulnerability

1. บทนำ

ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา ธรณีพิบัติภัยที่เกิดขึ้นบ่อยและสร้างความเสียหายมากแก่ประเทศไทย ได้แก่ น้ำท่วมและดินถล่ม โดยเฉพาะดินถล่มมักจะเกิดขึ้นในสภาพภูมิประเทศที่เป็นภูเขา ในพื้นที่ของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา บริเวณจังหวัดสงขลา พัทลุง นครศรีธรรมราชและจังหวัดใกล้เคียง รายงานวิจัย

หลายแห่ง [1-8] ต่างก็กล่าวถึงภัยดินถล่มว่า พื้นที่ภูเขาสูงชัน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากพายุฝน มีโอกาสที่จะประสบภัยดินถล่มสูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ อย่างไรก็ตามระดับความรุนแรงของภัยดินถล่มนั้นไม่ได้มีเพียงปัจจัยด้านปริมาณน้ำฝนอย่างเดียวเท่านั้น แต่การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่สูงเป็นอีกปัจจัยที่ควรตระหนักถึง [2] รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ปัจจุบันเทคโนโลยีข้อมูลดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้น ในการเฝ้าติดตามภัยจากดินถล่ม [6] เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ คะแนนปัจจัย (parameter rating) [9] น้ำหนักของหลักฐาน (weights of evidence) [10] การถดถอยโลจิสติก (logistic regression model) [11-13] อัตราส่วนความถี่ (frequency ratio) [13] โครงข่ายปัญญาประดิษฐ์ (artificial neural network model) [13,14] แบบจำลองตรรกะแบบฟูลซี (fuzzy logic models) [15] แบบจำลองประสาทฟูลซี (neuro-fuzzy model) [16] ซึ่งในบางครั้งใช้ตัวแปรพหุคูณเชิงสถิติประยุกต์ในการหาพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มได้เช่นกัน [17] ข้อมูลสำคัญต้องนำเข้าไปในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ความลาดชันของพื้นที่ ชนิดหินและดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน มาจัดทำเป็นชั้นข้อมูลเชิงพื้นที่ แล้วซ้อนทับกัน ดังนั้นการประเมินพื้นที่สภาพรับไว้ได้ (susceptibility) ต่อภัยดินถล่มด้วยข้อมูลดาวเทียมและภูมิสารสนเทศ [18] สามารถใช้ในการกำหนดเขตพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาทั้งในระดับจังหวัด ตลอดจนระดับหมู่บ้านได้เช่นกัน มีประโยชน์ในด้านการวางแผนป้องกัน การปรับตัวและลดสภาพความเปราะบาง (vulnerability) ในชีวิตและทรัพย์สินจากภัยดินถล่มในอนาคตได้ งานวิจัยนี้จึงสร้างแผนที่สภาพยอมรับแผ่นดินถล่มในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและพื้นที่เกี่ยวโยง ด้วยเทคนิคภูมิสารสนเทศ จาก การฉายภาพการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตเป็นเวลา 30 ปี หรือในช่วงปี พ.ศ. 2554-2584

2. อุปกรณ์และวิธีการ

การสำรวจและวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในเขตลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ได้ใช้ภาพสีผสมเท็จของ

ดาวเทียม Landsat-5 TM ช่วงคลื่น 3-5-4 (น้ำเงิน-เขียว-แดง) มาตรฐาน 1:50,000 และรูปถ่ายทางอากาศ (1:25,000) นำมาแปลงข้อมูลด้านการใช้ที่ดินเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ทันสมัยและใกล้เคียงกับสถานการณ์ปัจจุบันของพื้นที่ศึกษามากที่สุด รวมทั้งแผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:50,000 จากกรมแผนที่ทหาร คลุมพื้นที่ทั้งหมด 5 จังหวัด ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา และจังหวัดใกล้เคียง (สตูลและตรัง)

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

2.1.1 อุปกรณ์เก็บข้อมูลภาคสนามและข้อมูลสำนักงาน

- ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-5 TM บันทึกข้อมูลในปี พ.ศ. 2554 จากสำนักงานพัฒนาอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

- แผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร จำนวน 52 ระวัง

- แผนที่ธรณีวิทยา มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมทรัพยากรธรณี ครอบคลุม 5 จังหวัด

- ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิรอบ 100 ปี จากแบบจำลองฉายอนาคตการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยด้วยแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค (RCM)-PRECIS (providing regional climates for impacts studies) ของหน่วยงาน SEA START (Southeast Asia START Regional Center)

2.1.2 เครื่องประมวลผลจากภาพดาวเทียมและการวิเคราะห์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

- เครื่องคอมพิวเตอร์ หน่วยประมวลผลกลาง 1000 เมกะไบต์

- อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลได้จำนวน 1 เทระไบต์

- โปรแกรม ERDAS IMAGIN เวอร์ชัน 9.2 และ โปรแกรม ArcGIS เวอร์ชัน 10.0

2.2 วิธีการวิจัย

ปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการเกิดดินถล่ม ได้จากการถอดความจากสภาพทางกายภาพในพื้นที่ที่เคยเกิดดินถล่มมาก่อน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาปัจจัยทางกายภาพที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มในเขตพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 7 ปัจจัยด้วยกัน ซึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ ปัจจัยปริมาณน้ำฝน พ.ศ. 2554 จากกรมอุตุนิยมวิทยาและจากแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาค (RCM)-PRECIS พื้นที่ภาคใต้ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มของอุณหภูมิที่สูงขึ้นประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มฤดูร้อนที่ยาวนานขึ้นถึงประมาณ 1-2 เดือน [19] ในรอบ 3 ทศวรรษ ปริมาณฝนตกชุกสุดปี พ.ศ. 2568 ส่วนอีก 6 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดหิน ความลาดชันของพื้นที่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ระยะห่างจากรอยเลื่อน ทิศด้านลาดและระดับความสูงของพื้นที่ตั้งแต่ 500 เมตร ขึ้นไป ซึ่งทั้งอัตราค่าคะแนนจำแนกและน้ำหนักของปัจจัยได้มาจากวรรณกรรมปริทัศน์ [1-13] ดังในตารางที่ 1

นำข้อมูลเข้าระบบภูมิสารสนเทศประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝนสูงสุดรายปี หน่วยหิน ความลาดชัน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ระยะห่างจากรอยเลื่อน ทิศด้านลาด และระดับความสูงของพื้นที่ สร้างชั้นข้อมูล กำหนดช่วงชั้นข้อมูล (class) ตามเกณฑ์ของแต่ละปัจจัย และกำหนดอัตราค่าคะแนน (rating) และค่าถ่วงน้ำหนัก (weighting) โดยอ้างค่าจากในรายงานของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ปี 2555 [20]

การจัดทำชั้นข้อมูลตามปัจจัยที่ได้กำหนดมาข้างต้น ได้แก่ การใช้ที่ดิน ชนิดหินและโครงสร้างทางธรณีวิทยา (รอยเลื่อน) จากแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณี เส้นชั้นความสูง ทางน้ำ ความลาดชัน ทิศด้านลาด (รับน้ำฝน) การวิเคราะห์สภาพยอมรับของพื้นที่แผ่นดินถล่ม (susceptibility of landslide

area) ใช้วิธีการซ้อนชั้นข้อมูลและรวมค่าคะแนนแต่ละปัจจัย ได้ข้อมูลดังกล่าวอยู่ในรูปเชิงปริมาณ (raster) เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่สภาพยอมรับแผ่นดินถล่ม แล้วนำไปเปรียบเทียบกับแผนที่โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มใน 5 จังหวัด ของกรมทรัพยากรธรณี [21-25] รวมทั้งแผนที่ของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย [26]

2.2.1 ปริมาณน้ำฝนรายวันสูงสุด (rainfall, R)

การวิเคราะห์ครั้งนี้ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันสูงสุดจาก 2 แหล่ง คือ ข้อมูลปริมาณฝนรายวันสูงสุดในอดีตจากสถานีตรวจวัดอากาศจำนวน 57 แห่ง ของกรมอุตุนิยมวิทยา ได้ปริมาณฝนสะสมปี พ.ศ. 2554 เป็นตัวแทนข้อมูลในอดีต ส่วนปริมาณน้ำฝนรายวันสูงสุดในอนาคตนำมาจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตของประเทศไทย โดยเลือกปริมาณน้ำฝนรายวันสูงสุดในรอบ 30 ปี เป็นค่าตัวแทนฝนตกหนาแน่น ฝนตกหนัก ฝนที่ตกสะสมในช่วง 30 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2555-2584 ได้แก่ ปี พ.ศ. 2568 (รูปที่ 1) และกำหนดค่าปริมาณน้ำฝนรายวันสูงสุดให้กับพื้นที่ช่องอื่น ๆ (geo-spatial) ที่ไม่มีสถานีวัดด้วยวิธีการ Interpolate ของโปรแกรม ArcGIS ทำให้มีค่าคลุมทั่วพื้นที่ศึกษา ผลวิเคราะห์มีความถูกต้องสูง

2.2.2 หน่วยหิน (rock unit, RU)

ชนิดหิน โครงสร้างทางธรณีวิทยา การผุพังและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในเนื้อดินและหิน และลักษณะทางกายภาพของชั้นหินของพื้นที่ศึกษาได้จัดรวมหน่วยหินชั้นใหม่ คำนึงถึงสมบัติที่อ่อนไหวต่อสภาวะเกิดดินถล่ม (รูปที่ 2) หินที่ต่างชนิดกันมีอัตราการผุพังที่แตกต่างกัน และได้เป็นดินก็มีความหนาที่ต่างกัน เช่น หินแกรนิต มีอัตราการผุพังสูงและจะให้ดินทรายร่วนหรือดินทรายปนดินเหนียวที่มีชั้นหนา ส่วนหินดินดานหรือหินโคลน มีอัตราการผุพังน้อยกว่าและจะให้ชั้นดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายที่หนา

ตารางที่ 1 การให้ค่าน้ำหนักและค่าคะแนนในแต่ละปัจจัยที่ใช้ศึกษาดินถล่มครั้งนี้

ปัจจัย (parameter)	จำแนกข้อมูล (class)	ค่าอัตราคะแนน จำแนก (rating = r)	ค่าน้ำหนักของปัจจัย (weighting = w)
1. ปริมาณน้ำฝนรายวันสูงสุด (rainfall, R)	มากกว่า 200 มม.	4	6
	150 – 200 มม.	3	
	100 – 150 มม.	2	
	50 – 100 มม.	1	
	น้อยกว่า 50 มม.	0	
2. หน่วยหิน (rock unit, RU)	หินแกรนิต หินไนส์	4	5
	หินปูน หินทราย	3	
	หินดินดาน หินทรายแป้ง	2	
	ตะกอนเชิงเขา	1	
	ตะกอนที่ราบ	0	
3. ความลาดชันของพื้นที่ (slope, S)	มากกว่า 45 องศา	3	4
	30-45 องศา	2	
	15-30 องศา	1	
	น้อยกว่า 15 องศา	0	
4. การใช้ที่ดิน (landuse, L)	ไม่ใช่พื้นที่ป่า	3	3
	ป่าเสื่อมโทรม	2	
	ป่าสมบูรณ์	1	
5. ระยะห่างจากรอยเลื่อน (distance to fault, DF)	น้อยกว่า 1,000 เมตร	3	2
	1,000-2,000 เมตร	2	
	มากกว่า 2,000 เมตร	1	
6. ทิศด้านลาด (aspect, A)	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	3	1
	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	2	
	ทิศทางอื่น ๆ	1	
	ที่ราบ	0	
7. ระดับความสูงของพื้นที่จาก ระดับน้ำทะเลปานกลาง (elevation, H)	สูงกว่า 500 เมตร	4	1
	300 – 500 เมตร	3	
	100 – 300 เมตร	2	
	50 - 100 เมตร	1	
	ต่ำกว่า 50 เมตร	0	

น้อยกว่า กำหนดค่าน้ำหนักเป็น 5 และคะแนนปัจจัย ในตารางที่ 1

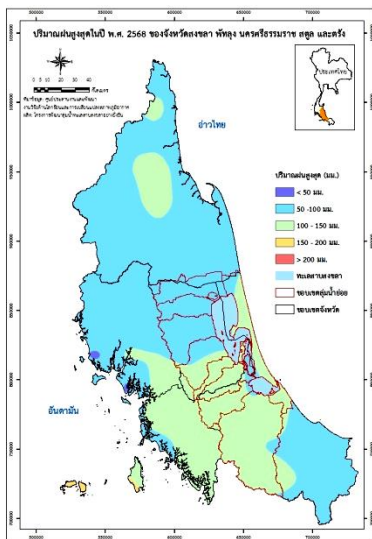
2.2.3 ความลาดชันของพื้นที่ (slope, S)

พื้นที่ที่มีมุมความลาดชันสูงเมื่อมีฝนตกหนัก จะส่งผลให้น้ำฝนที่ไหลบ่าตามผิวดินมีความเร็วและความแรงสูงเกิดการชะล้างบริเวณหน้าดินสูง จาก ข้อมูลความลาดชันค่ามุมชันสูงสุดกับต่ำสุด (รูปที่ 3) แบ่งช่วงกระจายให้เหมาะสมและกำหนดคะแนน ปัจจัยและค่าน้ำหนักมีความสำคัญเป็นอันดับ 4 ดังใน ตารางที่ 1

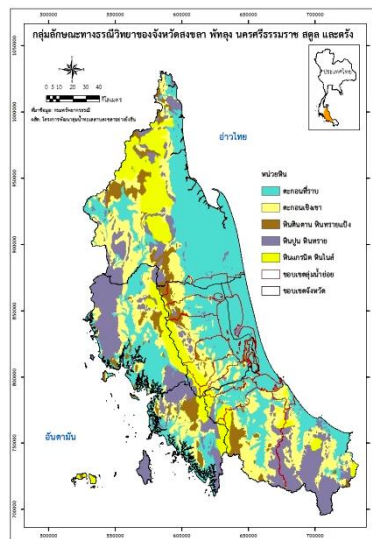
2.2.4 การใช้ที่ดิน (landuse, L)

พื้นที่มีป่าไม้หรือพืชคลุมดินหนาแน่น ย่อมจะเกิดการชะล้างพังทลายของดินน้อยกว่าใน บริเวณที่ไม่มีต้นไม้หรือพืชคลุมดินน้อยกว่าหรือไม่

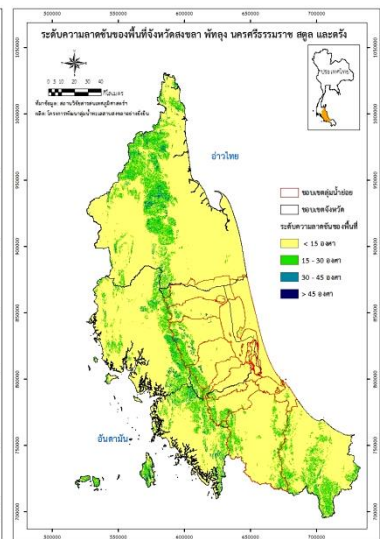
ดังนั้นการมีสภาพป่าที่สมบูรณ์ หรือมีความสมบูรณ์ น้อย หรือไม่มีป่าไม้เลย ย่อมส่งผลต่ออัตราความเสี่ยง ภัยการเกิดแผ่นดินถล่ม ด้วยแบบจำลอง PRECIS ซึ่ง ดำเนินการภายใต้ scenario แบบ B2 ของ IPCC (intergovernmental panel on climate change) [27] จะเป็นสมมุติฐานของแนวทางการพัฒนา เศรษฐกิจและสังคมแบบสมดุล ซึ่งเน้นที่การแก้ปัญหา ท้องถิ่นทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม มี การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีที่หลากหลาย โดยมีการ ปกป้องสิ่งแวดล้อมและความเสมอภาคของสังคมซึ่ง เน้นท้องถิ่นและภูมิภาคเป็นหลัก ซึ่งตรงกับทฤษฎี เศรษฐกิจพอเพียงของประเทศไทยในปัจจุบัน ดังนั้น ด้วยเงื่อนไขและสมมุติฐานดังกล่าวทำให้การใช้ที่ดินใน อนาคตค่อนข้างคงเดิมเหมือนกับสภาพปี พ.ศ. 2554



รูปที่ 1 แผนที่ปริมาณน้ำฝนรายวัน สูงสุดในรอบปี พ.ศ. 2568



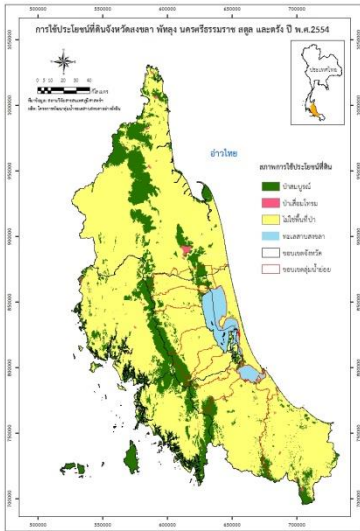
รูปที่ 2 แผนที่หน่วยหินสำหรับ วิเคราะห์แผ่นดินถล่ม



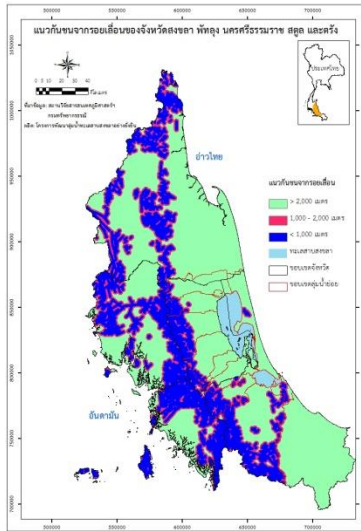
รูปที่ 3 แผนที่ความลาดชัน

ได้จัดกลุ่มสภาพป่าไม้จากข้อมูลการใช้ ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2554 จากการแปลภาพถ่าย ดาวเทียม Landsat 5-TM ปี พ.ศ. 2554 ด้วยวิธีแปล ด้วยสายตา และกำหนดค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนัก

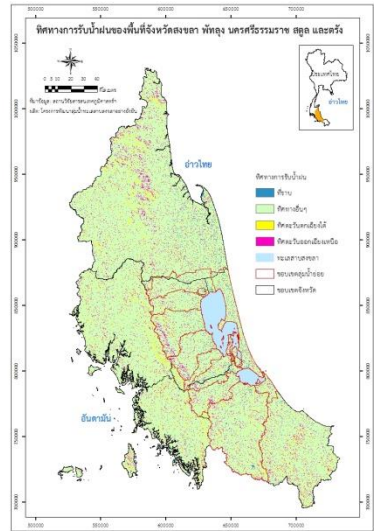
ของปัจจัยด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ป่าสมบูรณ์ ป่าเสื่อมโทรม และไม่ใช่ พื้นที่ป่า โดยป่าสมบูรณ์ ได้รวบรวมมาจากกลุ่มป่าพรุ ป่าชายเลน ป่าชายหาด และป่าไม่ผลัดใบ ส่วนป่าเสื่อม



รูปที่ 4 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2554



รูปที่ 5 แผนที่ระยะห่างจากรอยเลื่อน



รูปที่ 6 แผนที่ทิศด้านลาด

โทรมได้ยู่รวมมาจากกลุ่ม สวนป่า ป่าไม่ผลัดใบ เสื่อมสภาพ และไม่ใช้พื้นที่ป่า ได้ยู่รวมกลุ่มการใช้ประโยชน์ที่ดินชนิดอื่นๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาข้างต้น กำหนดค่าคะแนนให้กับแต่ละชนิดเป็น 1 2 และ 3 ตามลำดับ และกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักให้กับสภาพป่าไม้ หรือการใช้ที่ดินมีค่าเท่ากับ 3 เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดดินถล่มรองลงมาเป็นอันดับ 4 (รูปที่ 4)

2.2.5 ระยะห่างจากรอยเลื่อน (distance of fault, DF)

โครงสร้างทางธรณีวิทยามีผลต่อการผุพังของหิน โดยหินที่มีรอยแตกมาก และอยู่ในเขตรอยเลื่อน เนื่องจากน้ำและอากาศจะเข้าไปทำปฏิกิริยาทางเคมีได้ง่าย ชั้นหินจึงผุพังเร็วกว่าหินบริเวณอื่น พื้นที่ใดอยู่บริเวณแนวรอยเลื่อนที่มีหินผุพังก็มีความเสี่ยงเกิดภัยดินถล่มได้ง่ายกว่าพื้นที่ที่อยู่ห่างจากรอยเลื่อนเหล่านั้น การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ได้ใช้แนวกันชนจากรอยเลื่อนในการวิเคราะห์ โดยนำรอยเลื่อนจากกรมทรัพยากรธรณี มากำหนดแนวกันชน และ

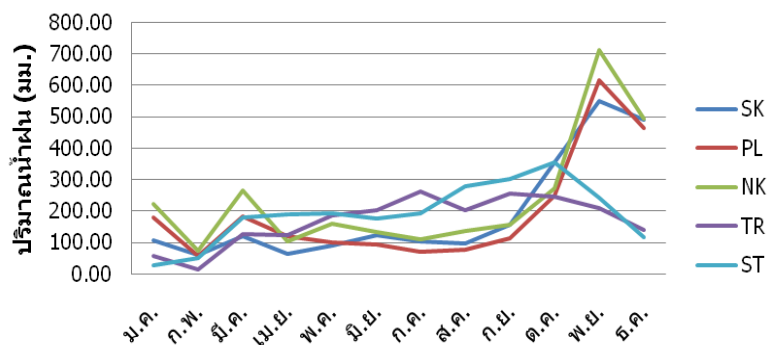
กำหนดค่าคะแนน และค่าถ่วงน้ำหนักของแนวกันชนจากรอยเลื่อนออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระยะห่างจากรอยเลื่อน 1,000, 2,000 และมากกว่า 2,000 เมตร โดยกำหนดค่าคะแนนแต่ละประเภทเป็น 3, 2 และ 1 ตามลำดับ ที่กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักให้กับแนวกันชนรอยเลื่อนเป็น 2 เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดดินถล่มรองลงมาเป็นอันดับ 5 (รูปที่ 5)

2.2.6 ทิศด้านลาด (aspect, A)

ทิศด้านลาดมีความสำคัญต่อการตกกระทบของเมฆฝน ฝนที่ตกในภาคใต้ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม 2 ประเภท คือ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะพัดความกดอากาศสูงจากซีกโลกใต้เข้าประเทศไทยระหว่างเดือนพฤษภาคมจนถึงกลางเดือนตุลาคม ทำให้ภาคใต้มีฝนตกชุกโดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะพัดพาความหนาวเย็นจากซีกโลกเหนือเข้าสู่ประเทศไทยช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ทำให้ภาคใต้ฝั่ง

อ่าวไทยจะมีฝนตกชุกหนาแน่นมาก คือมีฤดูฝน 8 เดือน และฤดูร้อน 4 เดือน เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พายุที่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้นรายปี ในช่วงปี พ.ศ. 2554-2554 จากแบบจำลอง PRECIS จำนวน 7 ลูก [19] ในการวิเคราะห์ทิศทางการรับน้ำฝนได้วิเคราะห์จากระดับความสูงเชิงเลข และกำหนดให้ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าคะแนนมากที่สุด คือ 3 คะแนน และทิศตะวันตกเฉียงใต้มีค่าคะแนนรองลงมา คือ 2 คะแนน ทิศทางอื่น ๆ มีคะแนนเป็น 1 และที่

ราบมีค่าคะแนนน้อยสุดคือ 0 และให้ค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1 ดังในรูปที่ 6 สนับสนุนจากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ย 10 ปี ย้อนหลังระหว่าง พ.ศ. 2544-2554 ของพื้นที่จังหวัดสงขลา (SK) พัทลุง (PL) นครศรีธรรมราช (NK) สตูล (TR) และตรัง (ST) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนตกสะสมรายเดือนในแต่ละเดือนพบว่าในพื้นที่ศึกษา ช่วงเดือนมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือนมากกว่าในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนของสถานีวัดใน 5 จังหวัด ระหว่าง พ.ศ. 2544-2554

2.2.7 ระดับความสูงของพื้นที่จากระดับน้ำทะเล (elevation, H)

เนื่องจากในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและจังหวัดเชื่อมโยงมีระดับความสูงแตกต่างกันอย่างฉับพลัน จากระดับชายฝั่งอ่าวไทยจนถึงขอบเขตเชิงเทือกเขาบรรทัดเป็นที่ราบ และระดับความสูงก็เริ่มชันขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงยอด (รูปที่ 8) จากสถิติแผ่นดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นมักเกิดที่ระดับความสูงตั้งแต่ 100 เมตร ขึ้นไป ดังนั้นจึงกำหนดค่าน้ำหนักให้กับปัจจัยระดับความสูงของพื้นที่จากระดับน้ำทะเลเพียง 1 เท่านั้น เพราะพื้นที่เปิดรับโอกาสเสี่ยงแผ่นดินถล่มน้อยมาก ในการวิเคราะห์ได้เน้นรูปแบบแผ่นดินถล่มระดับ

ต้นเป็นหลัก ได้แก่ โคลนไหล (mudflow) และกองเศษหินดินถล่ม (debris slide) ซึ่งพบได้ในที่ระดับความสูง 500 เมตร ขึ้นไป จึงได้นำมาพิจารณาเป็นเกณฑ์ในการตัดพื้นที่ที่อาจจะมีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในระดับน้อยมากที่สุดออกไป

2.3 การวิเคราะห์พื้นที่สภาพยอมรับแผ่นดินถล่ม

การวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ดัชนีแผ่นดินถล่ม (landslide index) ของ Zaruba และ Menzl (1982) ดังสมการความสัมพันธ์ต่อไปนี้เป็นารรวมค่าชั้นข้อมูลด้วยฟังก์ชัน model builder ในโปรแกรม ArcGIS ที่ใช้ครั้งนี้ คือ

landslide index = (RrRw)+(RuRUw)+(SrSw)+(LrLw)+(DFrDFw)+(ArAw)+(HrHw) โดยกำหนดให้ landslide index = ระดับโอกาสที่เกิดแผ่นดินถล่ม เป็นค่าคะแนนรวมของปัจจัยทั้งหมด R = ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย RU = ปริมาณหน่วยหิน S = ปริมาณความลาดชันของพื้นที่ L = ปริมาณการใช้ประโยชน์ที่ดิน DF = ปริมาณระยะห่างจากรอยเลื่อน A = ปริมาณทิศด้านลาด H = ปริมาณระดับความสูงของพื้นที่จากระดับน้ำทะเล r = ค่าคะแนนของปัจจัย และ w = ค่าถ่วงน้ำหนักปัจจัย

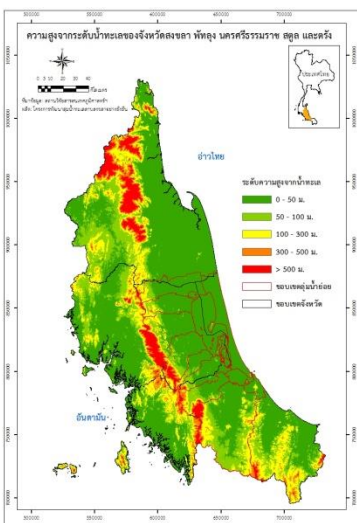
3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลศึกษาพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มรอบ 30 ปี ช้างหน้าด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และข้อมูลจากดาวเทียมในกลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและจังหวัดใกล้เคียง พบว่าพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณภูเขาสูงในจังหวัดนครศรีธรรมราช และพัทลุง หรือบริเวณทิศตะวันตกของเขตพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ซึ่งมีรายละเอียดในภาพรวมของพื้นที่ทั้งหมด

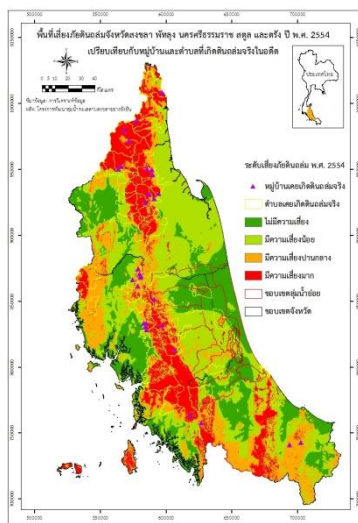
ดังนี้

3.1 ผลจำแนกคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม

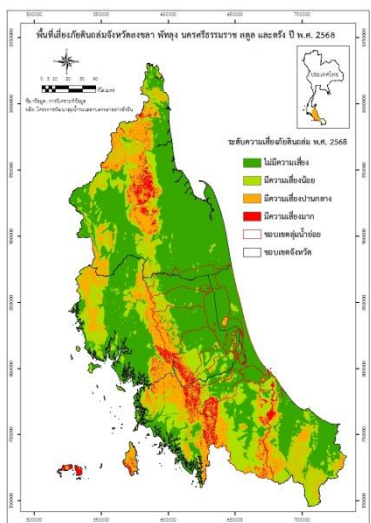
การวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและจังหวัดใกล้เคียง ด้วยใช้ปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรายวันสูงสุด ชุดหน่วยหิน ความลาดชันของพื้นที่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ระยะห่างจากรอยแตก ทิศด้านลาด และระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางของพื้นที่ ได้กำหนดช่วงของค่าดัชนีแผ่นดินถล่ม (landslide index) จากลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล พ.ศ. 2554 (รูปที่ 9) และ พ.ศ. 2568 (รูปที่ 10) โดยค่าช่วงคะแนนจากวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของพื้นที่ศึกษาแบ่งเป็นช่วงเท่ากัน 4 ช่วง ดังตารางที่ 2 จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการจัดกลุ่มค่าคะแนนโดยอาศัยค่าเฉลี่ย (mean) แล้วนำค่าการกระจายของข้อมูล (standard deviation) มากำหนดค่าพิสัย (rang) อ้างอิง



รูปที่ 8 แผนที่ระดับความสูงจากน้ำทะเลปานกลาง



รูปที่ 9 แผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม พ.ศ. 2554



รูปที่ 10 แผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม พ.ศ. 2568

ตารางที่ 2 การจำแนกระดับความเสี่ยงภัยดินถล่ม จากผลวิเคราะห์สภาพยอมรับแผ่นดินถล่ม

ระดับความเสี่ยง	ระดับความเสี่ยงภัยดินถล่ม	ช่วงคะแนนวิเคราะห์ที่ได้
1	ไม่มีความเสี่ยง	ต่ำกว่า 33
2	ระดับความเสี่ยงน้อย	33-43
3	ระดับความเสี่ยงปานกลาง	43-53
4	ระดับความเสี่ยงมาก	สูงกว่า 53

3.2 พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม พ.ศ. 2554

พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและจังหวัดใกล้เคียงจัดลำดับมีพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มมากที่สุดเป็น “ระดับน้อย” คิดเป็นพื้นที่จำนวน 6,464,140 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 35.8 อันดับสอง ได้แก่ “ไม่มีความเสี่ยง” มีพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม 4,302,993 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 23.8 อันดับสาม ได้แก่ “ระดับปานกลาง” มีพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม 4,121,405 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 22.8 และอันดับสุดท้ายซึ่งมีพื้นที่จัดเป็น “ระดับมาก” มีพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม 3,174,295 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 17.6 (รูปที่ 10) โดยจังหวัดที่มีพื้นที่เสี่ยง

ภัยระดับมากมีจำนวนพื้นที่มากที่สุด ได้แก่ จังหวัดนครศรีธรรมราช รองลงมา ได้แก่ จังหวัดสตูล จังหวัดสงขลา จังหวัดพัทลุง และจังหวัดตรัง ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับแผนที่ในรายงานดินถล่ม พ.ศ. 2554 ที่ได้จัดทำแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับชุมชนทั้ง 5 จังหวัด [21-25] และตำแหน่งการเกิดแผ่นดินถล่มในอดีตที่รายงานโดยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (ปภ) กระทรวงมหาดไทย [26] ถึงประมาณร้อยละ 75 โดยเฉพาะขอบเขตระดับพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มของจังหวัดนครศรีธรรมราช พัทลุง และสงขลาค่อนข้างใกล้เคียงกันกับตำแหน่งเหตุการณ์ที่ได้เกิดดินถล่มขึ้นจริงทั้งก่อนและในปี 2554 (รูปที่ 9)

3.3 แผ่นดินถล่มคาดการณ์ในอนาคต

การคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มใน 30 ปี ภายภาคหน้าระหว่าง พ.ศ. 2555-2584 (ตารางที่ 3) โดยเลือกใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนสูงสุดจากปี พ.ศ. 2568 จากแบบจำลองของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [27] ได้ประมวลผลแสดงให้เห็นว่าในคาบ 30 ปีข้างหน้าไปนั้น ปริมาณน้ำฝนรายวันส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 50-100 มิลลิเมตรต่อวัน และ 100-150 มิลลิเมตรต่อวัน และผลวิเคราะห์คาด

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์คาดการณ์พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มปี พ.ศ. 2568 ในคาบ 30 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2555-2584

จังหวัด	พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม พ.ศ. 2568 (ไร่)									
	ไม่มี	ร้อยละ	น้อย	ร้อยละ	ปานกลาง	ร้อยละ	มาก	ร้อยละ	รวม	ร้อยละ
ตรัง	1,529,432	16.1	641,913	15.5	645,792	17.3	53,833	8.1	2,870,969	15.9
นครฯ	3,702,116	38.9	1,055,837	25.5	1,222,919	32.8	203,423	30.6	6,184,296	34.2
พัทลุง	1,489,959	15.6	501,797	12.1	307,859	8.3	76,652	11.5	2,376,267	13.2
สงขลา	2,296,484	24.1	1,510,618	36.4	889,575	23.9	176,973	26.6	4,873,649	27.0
สตูล	504,041	5.3	437,024	10.5	662,310	17.8	154,348	23.2	1,757,723	9.7
รวม	9,522,032	52.7	4,147,190	23.0	3,728,456	20.6	665,228	3.7	18,062,905	100.0

ว่ามีพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มส่วนใหญ่อยู่ในชั้น “ระดับมาก” ในพื้นที่รวมทั้ง 5 จังหวัด (รูปที่ 9) คิดเป็นพื้นที่ 665,228 ไร่ หรือประมาณ 1,064 ตารางกิโลเมตร และมีพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม “ระดับปานกลาง” ในพื้นที่ทั้ง 5 จังหวัด คิดเป็นพื้นที่ 3,728,456 ไร่ หรือประมาณ 5,965 ตารางกิโลเมตร

4. สรุป

การศึกษาพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มโดยใช้เทคโนโลยีข้อมูลดาวเทียม และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและจังหวัดใกล้เคียง พบว่าจังหวัดนครศรีธรรมราชมีพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มมาก เป็นพื้นที่มากที่สุดถึง 203,423 ไร่ หรือประมาณ 325 ตารางกิโลเมตร และมีพื้นที่ไม่เสี่ยงภัยดินถล่ม 3,702,116 ไร่ หรือประมาณ 5,923 ตารางกิโลเมตร ลักษณะของพื้นที่ที่มีโอกาสเสี่ยงเกิดดินถล่มสูง ได้แก่ พื้นที่ที่เป็นภูเขาสูงและมีปริมาณน้ำฝนรวมกันในรอบสามวันติดต่อกันค่อนข้างสูง (เกิน 100 มิลลิเมตร) คือปัจจัยหลักในการเกิดดินถล่ม ที่ผ่านการเกิดดินถล่มในจังหวัดนครศรีธรรมราชได้สร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเป็นภัยธรรมชาติที่สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายในเขตพื้นที่สูง จึงทำให้บริเวณอำเภออบพิตา จังหวัดนครศรีธรรมราช และอำเภอศรีบรรพต จังหวัดพัทลุง ได้รับผลกระทบจากการเกิดดินถล่มอยู่เป็นประจำทุกปี แม้ว่ามีหลายหน่วยงานรัฐบาลได้เข้ามาให้ความช่วยเหลือ โดยจัดตั้งศูนย์เตือนภัยในหมู่บ้านที่มีพื้นที่สภาพยอมรับแผ่นดินถล่ม แต่กระนั้นหากขาดความร่วมมือจากคนในชุมชน การเฝ้าระวังและเตือนภัยไม่อาจประสบความสำเร็จได้ ดังนั้นควรจัดให้มีการเผยแพร่ความรู้เรื่องของธรณีพิบัติภัยดินถล่มแก่คนในชุมชน และปลูกจิตสำนึก กระตุ้นให้คนในชุมชนเกิดความตระหนัก ในการเตรียมความพร้อมรับมือกับสภาพความเสียหายจากภัยพิบัติ

แผ่นดินถล่มที่จะเกิดและอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (climate change) และสามารถที่ปรับตัวรับเพื่อให้ดำรงชีพอยู่ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลกในอนาคต โดยมีรายงานแผนที่สภาพยอมรับแผ่นดินถล่มช่วยระบุพื้นที่คาดว่านำไปสู่ความเสี่ยงภัยพิบัติและเป็นข้อมูลเสริมในการวางแผนจัดการในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ให้แก่หน่วยวิจัยสิ่งแวดล้อมระบบโลกศึกษาคั้งนี้

6. รายการอ้างอิง

- [1] Othman, A.N., Naim, W.M. and Noraini, S., 2012, GIS based multi-criteria decision making for landslide hazard zonation, Proc. Soc. Behav. Sci. 35: 595-602.
- [2] Robin, F., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E. and Savage, W.Z., 2008, Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning, Eng. Geol. 102: 85-111.
- [3] Claessens, L., Knapen, A., Kitutu, M.G., Poesen, J. and Deckers, J.A., 2007, Modelling landslide hazard, soil redistribution and sediment yield of landslides on the Ugandan foot slopes of Mount Elgon, Geomorphology 90: 23-35.
- [4] Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. and

- Reichenbach, P., 1999, Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, *Geomorphology* 31: 181-216.
- [5] Lan, H.X., Zhou, C.H., Wang, L.J., Zhang, H.Y. and Li, R.H., 2004, Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China, *Eng. Geol.* 76: 109-128.
- [6] Metternicht, G., Hurni, L. and Gogu, R., 2005, Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geo-spatial systems for hazard assessment in mountainous environments, *Remote Sens. Environ.* 98: 284-303.
- [7] Jibson, R.W., Harp, E.L. and Michael, J.A., 2000, A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps, *Eng. Geol.* 58: 271-289.
- [8] Fall, M., Azzam, R. and Noubactep, C., 2006, A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping, *Eng. Geol.* 82: 241-263.
- [9] Budetta, P., Santo, A. and Vivencio, F., 2008, Landslide hazard mapping along the coastline of the Cilento region (Italy) by means of a GIS-based parameter rating approach, *Geomorphology* 94: 340-352.
- [10] Dahal, R.K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Dhakal, S. and Paudyal, P., 2008, Predictive modelling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence, *Geomorphology* 102: 496-510.
- [11] Pradhan, B., 2010, Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia, *Adv. Space Res.* 45: 1244-1256.
- [12] Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A.C. and Yomralioglu, T., 2011, A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey, *Catena* 85: 274-287.
- [13] Choi, J., Oh, H.J., Lee, H.J., Lee, C. and Lee, S., 2012, Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS, *Eng. Geol.* 124: 12-23.
- [14] Pradhan, B. and Lee, S., 2007, Utilization of optical remote sensing data and GIS tools for regional landslide hazard analysis using an artificial neural network model, *Earth Sci. Front.* 14: 143-151.
- [15] Bui, D.T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I. and Dick, O.B., 2012, Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam): A comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models,

- Catena 96: 28-40.
- [16] Oh, H.J. and Pradhan, B., 2011, Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area, *Comput. Geosci.* 37: 1264-1276.
- [17] Schicker, R. and Moon, V., 2012, Comparison of bivariate and multivariate statistical approaches in landslide susceptibility mapping at a regional scale, *Geomorphology* 161-162: 40-57.
- [18] van Westen, C.J., Castellanos, E. and Kuriakose, S.L., 2008, Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview, *Eng. Geol.* 102: 112-131.
- [19] อำนาจ ชิดไธสง, 2553, การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย เล่มที่ 2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิอากาศในอนาคต, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ, 176 น.
- [20] สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2556, บทที่ 6 ในรายงานฉบับสมบูรณ์ (เล่ม 2) ผลการศึกษาผลกระทบด้านชีวภาพและคุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์, น. 6-1 - 6-73, โครงการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาอย่างยั่งยืน, สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- [21] กรมทรัพยากรธรณี, 2554, รายงานแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับชุมชนจังหวัดนครศรีธรรมราช, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 92 น.
- [22] กรมทรัพยากรธรณี, 2554, รายงานแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับชุมชนจังหวัดสงขลา, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 89 น.
- [23] กรมทรัพยากรธรณี, 2554, รายงานแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับชุมชนจังหวัดพัทลุง, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 34 น.
- [24] กรมทรัพยากรธรณี, 2554, รายงานแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับชุมชนจังหวัดสตูล, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 38 น.
- [25] กรมทรัพยากรธรณี, 2554, รายงานแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับชุมชนจังหวัดตรัง, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ, 40 น.
- [26] กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, 2015, ข้อมูลพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยและโคลนถล่มปี 2553-2554, แหล่งที่มา : http://www.disaster.go.th/dpm/datarisk/data_risk53-54/risk2554.htm, 1 กุมภาพันธ์ 2558.
- [27] Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014, Climate change 2014 impacts, adaptation, and vulnerability part B: Regional aspects, Available Source: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap24_FINAL.pdf, September 28, 2012.