



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม
โดยพิจารณาจากปัจจัยที่ไม่คงที่พื้นที่ศึกษาภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน

**Landslide Hazard Zoning Map by Dynamic Factors in
Andaman Coastal Area of Thailand**

โดย

รศ.ดร.วรากร ไม้เรียง และคณะ

กรกฎาคม 2550

สัญญาเลขที่ RDA4730001

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม
โดยพิจารณาจากปัจจัยที่ไม่คงที่พื้นที่ศึกษาภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน

**Landslide Hazard Zoning Map by Dynamic Factors in
Andaman Coastal Area of Thailand**

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1. รศ.ดร.วรากร ไหมเรียง

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. นายสันติ ไทยยืนวงศ์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้ให้การสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในโครงการ “จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม โดยพิจารณาจากปัจจัยที่ไม่คงที่พื้นที่ศึกษาภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน” ในครั้งนี้ รวมทั้งผู้เชี่ยวชาญที่ได้ตรวจสอบผลงาน และความก้าวหน้าของโครงการมาโดยตลอด ซึ่งคำแนะนำและข้อคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทุกท่าน เป็นประโยชน์ต่อแนวทางการดำเนินงานของคณะผู้วิจัยอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุทธสิริศักดิ์ ศรีลัมพ์ นักวิจัย และเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้อนุญาตให้เข้าไปมีส่วนร่วมในการสำรวจ และทดสอบคุณสมบัติดิน ตลอดจนอนุเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาประกอบการทำงานในโครงการวิจัย

ขอขอบพระคุณกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลจากโครงการ “ศึกษาหาแนวทางป้องกันและลดผลกระทบจากภัยแผ่นดินถล่ม” และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับข้อมูลจากโครงการ “การศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มในจังหวัดภูเก็ต”

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่ได้มีส่วนช่วยให้โครงการวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

รศ.ดร.วรารกร ไม้เรียง และคณะ

รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร

โครงการ

จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยพิจารณาจากปัจจัยที่ไม่คงที่พื้นที่ศึกษาภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน

Landslide Hazard Zoning Map by Dynamic Factors in Andaman

Coastal Area of Thailand

1. ความเป็นมาของโครงการ

แผ่นดินถล่มเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติประเภทหนึ่ง ที่ทำให้เกิดความสูญเสียทั้งทางด้านชีวิตและทรัพย์สินในหลายประเทศทั่วโลก สำหรับประเทศไทยก็ได้รับความเสียหายจากภัยพิบัติแผ่นดินถล่มเช่นกัน ซึ่งนับวันจะยิ่งมีความรุนแรง และมีความถี่ในการเกิดมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการขยายตัวของประชากร และการพัฒนาประเทศทำให้มีความต้องการใช้ที่ดินมากขึ้น เป็นเหตุให้มีการบุกรุกเข้าไปอยู่ในพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม นอกจากนี้การปรับเปลี่ยนพื้นที่ เช่น การตัดถนน การปรับพื้นที่เพื่อทำการก่อสร้าง หรือการตัดไม้ทำลายป่า ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีโอกาสดังกล่าวในพื้นที่สูงขึ้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินถล่ม ปัจจัยที่เป็นสาเหตุ เพื่อประเมิน โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวางแผนป้องกัน และบรรเทาผลกระทบที่เกิดจากภัยพิบัติแผ่นดินถล่ม

จากการศึกษาเบื้องต้น สามารถจำแนกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่มออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ปัจจัยคงที่ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยกระตุ้น เช่น ลักษณะทางธรณีวิทยา ความลาดชัน การใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นต้น และปัจจัยไม่คงที่ ซึ่งเป็นปัจจัยทางลักษณะพื้นที่ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีปัจจัยภายนอกมากระตุ้น เช่น กำลังรับแรงเฉือนของดิน ปริมาณน้ำในมวลดิน ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเกิดฝน ส่วนปัจจัยกระตุ้นที่เป็นสาเหตุสำคัญได้แก่ การเกิดฝนตกหนัก

การประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ วิธีการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ วิธีดัชนีปัจจัยร่วม วิธีการประเมินโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ และวิธีการทางธรณีวิศวกรรม การเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับ วัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา และความเชี่ยวชาญของผู้ประเมิน

งานวิจัยในครั้งนี้ จัดทำขึ้นเพื่อประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยพิจารณาจากปัจจัยที่ไม่คงที่ ซึ่งเป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินถล่มบนลาดเขา โดยวิธีทางธรณีวิศวกรรม ซึ่งเป็นการศึกษาถึงเสถียรภาพของลาดเอียง และการลดลงของเสถียรภาพที่สภาวะความชื้นต่างๆ อันเนื่องมาจากฝนตก จนถึงสภาวะวิกฤตที่ลาดเอียงไม่สามารถคงตัวอยู่ได้ จนทำให้เกิดแผ่นดินถล่ม ผลการวิเคราะห์จะนำมาประเมิน โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม และจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มใน

บริเวณต่างๆ ที่แปรผันไปตามปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการจัดเตรียมแผนรับมือได้อย่างเหมาะสมต่อสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่พื้นที่ภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน บริเวณจังหวัดระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง และสตูล ซึ่งเป็นพื้นที่เคยเกิดดินถล่มมาแล้วในอดีต และมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

2. แนวทางการดำเนินงาน

ในการดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ การรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ และการจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

- การรวบรวมข้อมูลจะแบ่งเป็น 2 ส่วนประกอบด้วย ข้อมูลพื้นฐาน ซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะพื้นที่ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ได้แก่ แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่แสดงความลาดชันของพื้นที่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลน้ำฝนรายวันจากสถานีวัดน้ำฝนที่ครอบคลุมพื้นที่เป้าหมาย เป็นต้น และข้อมูลคุณสมบัติดิน ซึ่งได้จากการสำรวจภาคสนาม และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ คุณสมบัติดินทางด้านกำลังรับแรงเฉือน และคุณสมบัติการระบายน้ำของดิน เป็นต้น
- การวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม เป็นการวิเคราะห์โอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียง และโอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำเนื่องจากฝนตก
- การจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม เป็นการจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มลงในบริเวณต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ จากการศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้น และการสำรวจตรวจสอบในสนาม สามารถสรุปลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษาได้ดังนี้

- ลักษณะทางธรณีวิทยาบริเวณลาดเขามีลักษณะเป็นธรณีวิทยาหินแข็ง ซึ่งเป็นหินแกรนิต กระจายตัวอยู่ทั่วไปในบริเวณพื้นที่ศึกษา และกลุ่มหินตะกอน ได้แก่ หินโคลน หินปูน หินทราย และหินดินดาน นอกจากนี้จะเป็นตะกอนดินสะสมบริเวณที่ราบเชิงเขา และบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเล
- การใช้ประโยชน์ที่ดิน จำแนกตามลักษณะของพืชพรรณซึ่งมีผลต่อการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของดิน ได้เป็น 4 กลุ่ม คือ พื้นที่ป่าดิบชื้น (Evergreen forest) พื้นที่ไม้เบิกน้ำ (Secondary forest) พื้นที่เกษตรกรรม (Agricultural Crop) และพื้นที่โล่งไม่มีพืชปกคลุม (Non-Crop)
- ความลาดชันของพื้นที่ คำนวณจากเส้นชันความสูง และแบ่งเป็นช่วง แต่ละช่วงห่างกัน 5° ตั้งแต่ $0^{\circ} - 90^{\circ}$

- ข้อมูลปริมาณน้ำฝน รวบรวมจากสถานีวัดน้ำฝนที่ครอบคลุมพื้นที่ของกรมอุตุนิยมวิทยา และกรมชลประทานและแบ่งพื้นที่รับน้ำฝนโดยวิธี Thiessen Polygon ข้อมูลปริมาณน้ำฝนนี้จะนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของ ความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำของฝน เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์โอกาสเกิดฝนที่ความเข้มต่างๆ ต่อไป

- ข้อมูลคุณสมบัติดิน ประกอบด้วยกำลังรับแรงเฉือนของดิน และคุณสมบัติการระบายน้ำของดิน ซึ่งแปรผันไปตามปริมาณน้ำในมวลดิน โดยจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มตามลักษณะทางธรณีวิทยา ได้แก่ดินในกลุ่มหินแกรนิต และดินในกลุ่มหินตะกอน จากผลการทดสอบพบว่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในกลุ่มหินแกรนิต จะต่ำกว่าดินในกลุ่มหินตะกอน ส่วนการระบายน้ำของดินโดยเฉพาะความชื้นน้ำขณะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำของดินในกลุ่มหินแกรนิตสูงกว่าหินตะกอน โดยดินในหินแกรนิตมีค่าประมาณ 10^{-3} cm/sec และในหินตะกอนประมาณ 10^{-4} cm/sec

3.2 การวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม แยกดำเนินการได้ 3 ส่วน ได้แก่การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน และการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

- การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียงที่ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำต่างๆ กัน พบว่าลาดเอียงเริ่มมีโอกาสเกิดการพิบัติเมื่อความชื้นในมวลดินที่ระดับอิ่มตัวด้วยน้ำมากกว่า 80% ขึ้นไปโดยมีโอกาสเกิดสูงสุดที่ 100% โดยดินที่อยู่ในกลุ่มหินแกรนิตประมาณ 0.45 และกลุ่มหินตะกอน ประมาณ 0.15

- การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน ดำเนินการโดยจำลองสถานการณ์การตกของฝนที่เข้มและช่วงเวลารตกของฝนแตกต่างกัน และคัดเลือกช่วงเวลาที่การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินสัมพันธ์กับปริมาณฝนมากที่สุด ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 4 วัน และทำการวิเคราะห์โอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินเนื่องจากฝนตกที่ปริมาณต่างๆ ตามช่วงเวลาที่ได้เลือกไว้

- การวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม เป็นการนำค่าความน่าจะเป็นจากการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง และการวิเคราะห์โอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินเนื่องจากฝนตก มาวิเคราะห์ร่วมกัน ซึ่งจะได้ค่าโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มที่แปรผันตามปริมาณน้ำฝน (Dynamic Landslide Hazard)

$$P(L) = P(O) \times P(F) \quad (1)$$

โดยที่

$$P(L) = \text{โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแบบผันแปร}$$

$$P(O) = \text{โอกาสที่จะเกิดปริมาณน้ำในมวลดินเนื่องจากฝนตกในกรณีที่พิจารณา}$$

$P(F)$ = โอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียงเนื่องจากปริมาณน้ำในมวลดินที่เปลี่ยนแปลง

ผลการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับถึงความถี่หรือรอบปีการเกิดซ้ำของฝนตกจะได้ค่าโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มรายปี (Annual Hazard Landslide)

$$P(La) = P(E) \times P(L) \quad (2)$$

โดยที่

$P(La)$ = โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแบบรายปี

$P(E)$ = ความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ หรือรอบปีการเกิดซ้ำ

3.3 การจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม เป็นการจำแนกพื้นที่ศึกษาตามโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถดำเนินการจัดทำได้ 2 รูปแบบ

- แผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มรายปี เป็นการจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มที่คำนึงถึงรอบปีการเกิดซ้ำของฝน ในบริเวณต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา
- แผนที่พยากรณ์แผ่นดินถล่ม เป็นแผนที่แสดงถึงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณฝนที่เกิดขึ้น โดยกำหนดขอบเขตวิกฤต ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม และจัดทำแผนที่ดิจิทัลในรูปแบบ GIS ที่สามารถเปลี่ยนแปลงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในบริเวณต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา เมื่อมีการนำเข้าสู่ข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยผู้ใช้งานได้

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

การประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม สามารถทำได้หลายวิธี สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการประเมินโดยวิธีทางธรณีวิศวกรรม และพิจารณาถึงอิทธิพลจากปัจจัยที่ไม่คงที่ ทำให้สามารถจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ศึกษาในลักษณะของความน่าจะเป็น (Probability) ซึ่งจะเป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินถล่ม และนำไปสู่การแก้ไข ป้องกันที่เหมาะสมได้

นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเนื่องจากฝนตกรูปแบบต่างๆ (Random Rainfall Pattern) ทำให้ได้ค่าโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแบบผันแปร (Dynamic Landslide Hazard) ซึ่งโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มจะไม่คงที่ แต่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้น ซึ่งผลที่ได้นี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์แผ่นดินถล่มได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเตรียมความพร้อม และการเตือนภัยแผ่นดินถล่มอย่างมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามจากการดำเนินงานวิจัยดังกล่าว พบว่ายังมีสิ่งที่จะต้องปรับปรุง และพัฒนาเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือมากขึ้น ซึ่งมีผลอย่างยิ่งต่อการตัดสินใจ การวางนโยบาย ในการแก้ไขปัญหาพิบัติภัยแผ่นดินถล่ม โดยมีข้อเสนอดังต่อไปนี้

- การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน ควรเปลี่ยนมาใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง แทนปริมาณน้ำฝนรายวันในการวิเคราะห์ ซึ่งจะสอดคล้องกับรูปแบบและความเข้มของน้ำฝนที่เกิดขึ้นจริง และทำให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับดินในกลุ่มหินแกรนิตที่มีคุณสมบัติความชื้นน้ำสูง
- การทดสอบคุณสมบัติของดินที่เป็นตัวแทนในพื้นที่ศึกษา ควรดำเนินการให้ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดทางด้านสภาพพื้นที่ และความอ่อนไหวต่อปัญหาแผ่นดินถล่มในแต่ละพื้นที่ซึ่งอาจมีไม่เท่ากัน
- เนื่องจากสภาพพื้นที่ศึกษาในปัจจุบันมีการพัฒนาปรับเปลี่ยนลักษณะการใช้ประโยชน์ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงความลาดชัน ซึ่งมีผลทำให้ รูปแบบการพิบัติเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงควรที่จะทำการวิเคราะห์การพิบัติในรูปแบบอื่นเพิ่มเติม และทำการเปรียบเทียบกับลาดเอียงธรรมชาติเดิม ซึ่งจะทำให้ทราบถึงอิทธิพลของการปรับเปลี่ยนพื้นที่ต่อโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ	: RDA 4730001
ชื่อโครงการ	: จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยพิจารณาจากปัจจัยที่ไม่คงที่ พื้นที่ศึกษาภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน
ผู้วิจัยและพัฒนา	: รศ.ดร. วรากร ไหมเรียง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นักวิจัยผู้รับทุน	: นายสันติ ไทยอินวงษ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ระยะเวลาโครงการ	: 1 เมษายน พ.ศ. 2547 สิ้นสุดโครงการวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2549

แผ่นดินถล่มเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติ ที่ทำให้เกิดความสูญเสียทั้งทางด้านชีวิตและทรัพย์สินในหลายประเทศทั่วโลก ประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากแผ่นดินถล่มเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากมีที่ตั้งอยู่ในเขตอิทธิพลของลมมรสุมทำให้มีฝนตกชุกเป็นประจำทุกปี ประกอบกับมีพื้นที่บางส่วนเป็นลาดเขาที่สูงชัน ปัญหาแผ่นดินถลมนับวันยังมีผลกระทบรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากมีความต้องการใช้ที่ดินมากขึ้น เป็นเหตุให้มีการบุกรุกเข้าไปอยู่ในพื้นที่ภูเขา รวมทั้งมีการปรับเปลี่ยนพื้นที่ ทำให้มีแนวโน้มที่จะเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ดังกล่าวสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินถล่มปัจจัยที่เป็นสาเหตุ และประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม ซึ่งจะนำไปสู่การแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง

วิธีการประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการประเมินโดยการวิเคราะห์ทางธรณีวิศวกรรม ซึ่งเป็นการศึกษาพฤติกรรมการเกิดแผ่นดินถล่มทางปฐพีกลศาสตร์ โดยทำการวิเคราะห์เสถียรภาพและโอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียงอันเนื่องมาจากฝนตก ด้วยวิธีขีดจำกัดสมดุล (Limit Equilibrium) และพิจารณาให้การพิบัติของลาดเอียงเป็นแบบลาดอนันต์ เสถียรภาพของลาดเอียงขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพพื้นที่ซึ่งจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ปัจจัยคงที่ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของลาดเอียงเป็นปัจจัยที่ไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเมื่อมีปัจจัยภายนอกมากระตุ้นจนมีผลกระทบต่อเกิดการเกิดแผ่นดินถล่ม และปัจจัยที่ไม่คงที่ เป็นปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีปัจจัยภายนอกมากระตุ้น สำหรับปัจจัยกระตุ้นที่นำมาพิจารณาได้แก่การเกิดฝนตก

จากการวิเคราะห์จะได้ค่าโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้น เรียกว่าโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแบบผันแปร ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ 2 ทาง ได้แก่การประเมินและจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มรายปี ซึ่งจะนำรอบปีการเกิดซ้ำของฝนมาพิจารณาด้วย และการพยากรณ์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนจากพายุใดๆ กับโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม และจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแบบผันแปรในระบบ GIS ที่สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนได้ อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์พบว่า ยังต้องมีการพัฒนาเพิ่มเติมอีกหลายส่วน ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนควรตรวจวัดและเก็บข้อมูลเป็นรายชั่วโมง ซึ่งจะทำให้ได้ความเข้มข้นน้ำฝนมีความถูกต้องมากกว่าฝนราย 24 ชั่วโมง ซึ่งจะมีผลอย่างมากในดินที่มีความชื้นน้ำสูง นอกจากนี้การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง ในบริเวณที่มีการปรับเปลี่ยนพื้นที่ เช่นการตัดถนน หรือการก่อสร้าง ซึ่งมีรูปแบบการพิบัติที่ต่างไปจากลาดเอียงธรรมชาติ จำต้องมีการพัฒนาการวิเคราะห์ให้สอดคล้องกับสภาพที่เกิดขึ้นจริง และสามารถเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์เดิมเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงเสถียรภาพของลาดเอียงเนื่องจากการปรับเปลี่ยนพื้นที่ได้

Abstract

Project Code : RDA 4730001

Project Title : Landslide Hazard Zoning Map by Dynamic Factors in Andaman Coastal
Area of Thailand

TRF Advanced Research Scholar

: Assoc.Prof. Warakorn Mairaing, Ph.D., Civil Engineering, Kasetsart University

TRF Research Scholar

: Mr. Santi Thaiyuenwong, Civil Engineering, Kasetsart University

Duration : April 1, 2004 to September 30, 2006

Landslide is a natural disaster, which cause the loss of lives and properties in many countries. Thailand is one of the country has been losses due to landslide. Because the region under the influence of tropical monsoon then landslides are triggered by heavy rainfall on steep slope of the mountainous area. Furthermore, the expansion of land development into the landslide hazard zone, and some human activities may increase landslide hazard. For those reasons, the studying of landslide behavior and causal factors are necessary to assess landslide hazard for disaster protection and mitigation.

From the various method of landslide hazard assessment, the geotechnical engineering method was selected for this research. Landslide behavior was considered from the view of soil mechanics. Slope stability and probability of failure was analyses by limit equilibrium, which the slope failure surface is considered as infinite slope. The factors, influence to the slope stability, are divided into static and dynamic factors. The static factors are constant not respond to the triggering factors. And the dynamic factors are changeable factors, depend on triggering factors. The considering triggering factor for landslide hazard analysis is rainfall.

The landslide hazard that analyses by this method, called dynamic landslide hazard which the probability of landslide occurrence depend on rainfall intensity and duration. Two types of landslide hazard map are produced from dynamic landslide hazard. The first is the mapping of annual landslide hazard which is probability analysis of dynamic landslide hazard and rainfall return period or frequency of occurrence. The second is the mapping of landslide prediction for each storm from the relationship between dynamic landslide hazard and individual rainfall including antecedence rainfall and rainfall intensity. The landslide prediction map is created by GIS (Geographic Information System) which the probability of landslides as according to rainfall data input by user. However, future improvements can be done such as rainfall data and the land development. The hourly rainfall should be replaced daily rainfall which influence to high saturated conductivity soil. And man-made slope stability in the developed area should be analyses, which differ from natural slope.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
สารบัญ	iii
สารบัญรูป	v
สารบัญตาราง	vii
บทที่ 1 บทนำ	1-1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1-1
1.2 วัตถุประสงค์	1-3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1-3
1.4 แนวทางในงานวิจัย	1-5
1.5 แผนการดำเนินงาน	1-8
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1-8
บทที่ 2 ทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2-1
2.1 ความหมายของแผ่นดินถล่ม	2-1
2.2 การจำแนกประเภทของแผ่นดินถล่ม	2-1
2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม	2-3
2.4 การประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม	2-4
2.4.1 ความหมายของโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide hazard)	2-4
2.4.2 วิธีการประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม	2-5
2.4.3 แผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide hazard map)	2-8
2.5 การประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยวิธีการทางธรณีวิศวกรรม	2-8
2.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพของลาดเอียงกับการเกิดฝนตก	2-9
2.5.2 คุณสมบัติของดินที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม	2-10
2.6 การวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม	2-17
2.6.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง	2-17
2.6.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน	2-19
2.7 การจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยใช้ GIS	2-21
บทที่ 3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงาน	3-1
3.1 วิธีการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม	3-1
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3-1
3.2.1 การรวบรวมข้อมูล	3-1

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์	3-3
3.2.3 ขั้นตอนการจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม	3-4
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	4-1
4.1 การรวบรวมข้อมูล	4-1
4.1.1 ข้อมูลพื้นฐาน	4-1
4.1.2 ข้อมูลคุณสมบัติดิน	4-4
4.1.3 การกำหนดค่า Parameter	4-15
4.2 ผลการวิเคราะห์	4-16
4.2.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง	4-16
4.2.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน	4-19
4.2.3. วิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม	4-27
4.3 การจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม	4-31
4.3.1 แผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม	4-31
4.3.2 แผนที่พยากรณ์แผ่นดินถล่ม	4-31
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	5-1
5.1 สรุปผลการวิจัย	5-1
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ	5-2
5.3 ข้อเสนอแนะ	5-3
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การรวบรวมและจัดทำฐานข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์	
ภาคผนวก ข. ผลการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม	
ภาคผนวก ค. การจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม และการนำเสนอด้วย GIS	
ภาคผนวก ง.	
- บทความสำหรับเผยแพร่ - กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการนำผลจากโครงการไปใช้ประโยชน์ - ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ กิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ	

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1-1	บริเวณที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา	1-5
รูปที่ 1-2	แสดงแนวทางการดำเนินงานวิจัย	1-7
รูปที่ 2-1	การแบ่งชั้นดินตามปริมาณความชื้นในดิน (Dunn et al., 1980)	2-9
รูปที่ 2-2	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน ความอิ่มตัวด้วยน้ำในมวลดิน (S) และแรงดันน้ำ (μ) เนื่องจากฝนตก (Geotechnical Control Office, 1984)	2-11
รูปที่ 2-3	Mohr-Coulomb failure envelope สำหรับดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Fredlund and Rahardjo, 1993)	2-12
รูปที่ 2-4	แสดงรูปแบบความสัมพันธ์ของคุณสมบัติการระบายน้ำของดิน	2-13
รูปที่ 2-5	แสดงแบบจำลองการวิเคราะห์แบบลาดอนันต์ (Infinite Slope Stability Analysis)	2-18
รูปที่ 3-1	แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน	3-2
รูปที่ 4-1	แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาในแต่ละจังหวัด	4-2
รูปที่ 4-2	แสดงลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละจังหวัด	4-3
รูปที่ 4-3	แสดงความลาดชันของพื้นที่	4-5
รูปที่ 4-4	แสดงพื้นที่รับน้ำฝน	4-8
รูปที่ 4-5	กำลังรับแรงเฉือนของดินที่อยู่ในกลุ่มหินแกรนิต	4-9
รูปที่ 4-6	กำลังรับแรงเฉือนของดินที่อยู่ในกลุ่มหินตะกอน	4-9
รูปที่ 4-7	ข้อมูลความลึกเปรียบเทียบกับความชื้นในพื้นที่ศึกษา	4-11
รูปที่ 4-8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในมวลดินและแรงดึงน้ำในดิน	4-12
รูปที่ 4-9	การกระจายตัวของค่า Parameter เกี่ยวกับการระบายน้ำของดินในกลุ่มหินแกรนิต	4-13
รูปที่ 4-10	การกระจายตัวของค่า Parameter เกี่ยวกับการระบายน้ำของดินในกลุ่มหินตะกอน	4-14
รูปที่ 4-11	ผลการวิเคราะห์โอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียงของดินในกลุ่มหินแกรนิต	4-17
รูปที่ 4-12	ผลการวิเคราะห์โอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียงของดินในกลุ่มหินตะกอน	4-18
รูปที่ 4-13	ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ทดสอบแบบจำลองบริเวณไหล่เขาเหนืออำเภอมล	4-20
รูปที่ 4-14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Matric Suction	4-20
รูปที่ 4-15	ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติการระบายน้ำตามแบบจำลองของ van Genuchten (1980)	4-21
รูปที่ 4-16	ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงที่ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับแบบจำลอง	4-22
รูปที่ 4-17	ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเทียบกับผลการตรวจวัดในสนาม ในช่วงระหว่างวันที่ 27 ม.ค. 47 – 8 ก.พ. 47	4-23
รูปที่ 4-18	ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเทียบกับผลการตรวจวัดในสนาม ในช่วงระหว่างวันที่ 24 พ.ค. 47 – 5 มิ.ย. 47	4-24

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-19 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเทียบกับผลการตรวจวัดในสนาม ในช่วงระหว่างวันที่ 30 ก.ย. 47 – 18 ต.ค. 47	4-25
รูปที่ 4-20 แสดงปริมาณน้ำฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 100 ปี ในช่วงเวลาต่างๆ	4-26
รูปที่ 4-21 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเนื่องจากฝนตกในช่วงเวลา 1-4 วัน ที่ความลึก 3.00เมตร ในกลุ่มหินแกรนิต	4-28
รูปที่ 4-22 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเนื่องจากฝนตกในช่วงเวลา 1-4 วัน ที่ความลึก 3.00เมตร ในกลุ่มหินตะกอน	4-28
รูปที่ 4-23 โอกาสเกิดปริมาณความชื้นที่ปริมาณฝนต่างๆ ในช่วง 4 วันของดินในกลุ่มหินแกรนิต	4-29
รูปที่ 4-24 โอกาสเกิดปริมาณความชื้นที่ปริมาณฝนต่างๆ ในช่วง 4 วันของดินในกลุ่มหินตะกอน	4-30
รูปที่ 4-25 แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มรายปีของดินในกลุ่มหินแกรนิต	4-32
รูปที่ 4-26 แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มรายปีของดินในกลุ่มหินตะกอน	4-33
รูปที่ 4-27 แสดงการจำแนกพื้นที่ศึกษาตามปัจจัยอิทธิพล	4-34
รูปที่ 4-28 แผนภูมิแสดงการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม	4-35
รูปที่ 4-29 การจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่จังหวัดระนอง	4-36
รูปที่ 4-30 การจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่จังหวัดพังงา	4-36
รูปที่ 4-31 การจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต	4-36
รูปที่ 4-32 การจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่จังหวัดกระบี่	4-37
รูปที่ 4-33 การจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่จังหวัดตรัง	4-37
รูปที่ 4-34 การจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่จังหวัดสตูล	4-37
รูปที่ 4-35 แผนภูมิแสดงการวิเคราะห์เพื่อการพยากรณ์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม	4-38
รูปที่ 4-36 ขอบเขตวิกฤตของดินในกลุ่มหินแกรนิต	4-39
รูปที่ 4-37 ขอบเขตวิกฤตของดินในกลุ่มหินตะกอน	4-40
รูปที่ 4-38 แสดงตำแหน่งรายการคำสั่ง LHM_View	4-41
รูปที่ 4-39 แสดงตัวอย่างผลการพยากรณ์แผ่นดินถล่มโดย LHM_View	4-42

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1-1 การเกิดน้ำหลากและแผ่นดินถล่มรุนแรงในประเทศไทย	1-2
ตารางที่ 1-2 แผนการดำเนินงานวิจัย	1-9
ตารางที่ 2-1 การจำแนกประเภทของแผ่นดินถล่ม	2-3
ตารางที่ 2-2 ลักษณะการแบ่งชั้นดินตามปริมาณความชื้นในดิน	2-10
ตารางที่ 4-1 แสดงการจำแนกประเภทของลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา	4-4
ตารางที่ 4-2 คุณสมบัติการระบายน้ำของดิน	4-15
ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยของ Parameter ในแบบจำลองของ van Genuchten (Carsel and Parrish, 1988)	4-15
ตารางที่ 4-4 ค่า Parameter กำลังรับแรงเฉือนของดิน	4-15
ตารางที่ 4-5 ค่า Parameter ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	4-16
ตารางที่ 4-6 ค่า Parameter ความลาดชัน	4-16
ตารางที่ 4-7 ค่า Parameter การระบายน้ำของดิน (van Genuchten, 1980)	4-16
ตารางที่ 4-8 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสมสูงสุดในรอบปีการเกิดซ้ำ 100 ปี ในพื้นที่ศึกษา	4-26

บทที่ 1

บทนำ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

แผ่นดินถล่ม (Landslide) เป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติประเภทหนึ่ง ที่ทำให้เกิดความสูญเสียทั้งทางด้านชีวิตและทรัพย์สิน รวมทั้งทำให้เกิดความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจจำนวนมากในหลายประเทศทั่วโลก จากข้อมูลการศึกษาของ Landslide Hazard Team Report (2000) อ้างโดยวรากร และคณะ (2546) ได้ประเมินความเสียหายที่เกิดจากดินถล่มจากทั่วโลก พบว่าทำให้คนเสียชีวิต 1,000 คน และสูญเสียทรัพย์สินประมาณ 10,000 – 20,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี ในหลายประเทศมีการรวบรวมข้อมูลไว้อย่างมีระบบ เช่นในประเทศสหรัฐอเมริกา สามารถประเมินความเสียหายได้ปีละมากกว่า 1,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ในประเทศอิตาลี ประมาณปีละ 1,140 ล้านดอลลาร์สหรัฐ

สำหรับในประเทศไทย พบว่าได้รับความเสียหายจากภัยพิบัติแผ่นดินถล่มเช่นกัน จากการรวบรวมเหตุการณ์แผ่นดินถล่มและความสูญเสียที่เกิดขึ้นในอดีต ดังแสดงในตารางที่ 1-1 พบว่าส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงฤดูฝนที่มีฝนตกหนักบริเวณพื้นที่ลาดเชิงเขาและที่ราบระหว่างหุบเขาในภาคเหนือ ตอนบน ภาคเหนือตอนล่าง และภาคใต้ ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นและได้รับอิทธิพลของลมมรสุม ทำให้มีฝนตกชุกติดต่อกันประมาณ 4-6 เดือน ของทุกปี ประกอบกับสภาพภูมิประเทศในบริเวณดังกล่าวมีลักษณะเป็นภูเขาสูงชัน และมีลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นหินแกรนิตในพื้นที่ทางตอนเหนือ ต่อเนื่องมาทางด้านตะวันตกจนถึงทางใต้ของประเทศซึ่งเมื่อฝนตกจะมีลักษณะเป็นดินปนทราย มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินต่ำทำให้ลาดเอียงมีเสถียรภาพต่ำ มีแนวโน้มที่จะเกิดแผ่นดินถล่มได้

ผลกระทบจากภัยพิบัติแผ่นดินถล่มนับวันจะยังมีความรุนแรง และมีความถี่ในการเกิดมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการขยายตัวของประชากร และการพัฒนาประเทศทำให้มีความต้องการใช้ที่ดินมากขึ้น เป็นเหตุให้มีการบุกรุกเข้าไปอยู่ในพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม นอกจากนี้การปรับเปลี่ยนพื้นที่ เช่น การตัดถนน การปรับพื้นที่เพื่อทำการก่อสร้าง หรือการตัดไม้ทำลายป่า ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่สูงขึ้น

การลดผลกระทบดังกล่าวเป็นเรื่องที่ต้องดำเนินการอย่างเป็นระบบ โดยต้องคำนึงถึงความจำเป็นเร่งด่วนในแต่ละพื้นที่ที่สำคัญ ซึ่งการจัดการที่มีประสิทธิภาพ และดำเนินการในช่วงเวลาที่เหมาะสม จะสามารถป้องกัน หรือบรรเทา ผลจากภัยพิบัติให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยทั่วไปแผ่นดินถล่ม ถือว่ามีสิ่งบอกเหตุที่ทำให้การคาดการณ์ได้ล่วงหน้ากว่าแผ่นดินไหว หรือไฟไหม้ ดังนั้นหากมีมาตรการป้องกันและแก้ไขที่ถูกต้องเหมาะสมจะสามารถลดความเสียหายลงไปได้มาก

ตารางที่ 1-1 การเกิดน้ำหลากและแผ่นดินถล่มรุนแรงในประเทศไทย

วันที่	สถานที่	ความเสียหายต่อชีวิต
พฤศจิกายน 2513	อ. ทับสะแก จ. ประจวบคีรีขันธ์	12 ราย
มกราคม 2518	อ. ร่อนพิบูลย์ จ. นครศรีธรรมราช	58 ราย
ธันวาคม 2525	กิ่ง อ. ศรีบรรพต จ. พัทลุง	4 ราย
พฤศจิกายน 2531	อ. พิปูน จ. นครศรีธรรมราช	> 200 ราย
สิงหาคม 2542	อ. เขาคิชฌกูฏ จ. จันทบุรี	1 ราย
กันยายน 2543	อ. หล่มสัก จ. เพชรบูรณ์	12 ราย
พฤษภาคม 2544	อ. วังชิ้น จ.แพร่	> 30 ราย
สิงหาคม 2544	อ. หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์	> 100 ราย
พฤษภาคม 2547	อ.แม่แจ่ม จ.เชียงใหม่	1 ราย
พฤษภาคม 2547	อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่	1 ราย
พฤษภาคม 2547	อ.แม่ระมา จ.ตาก	396 ราย
ตุลาคม 2547	อ.เมือง จ.กระบี่	4 ราย
ธันวาคม 2547	อ.ธารโต จ.ยะลา	2 ราย

การประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide Hazard Assessment) เป็นขบวนการหนึ่งที่ต้องดำเนินการเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการจัดการพิบัติภัยธรรมชาติ สำหรับประเทศไทย มีหลายหน่วยงานที่ได้ดำเนินการโดยจัดทำในรูปแบบที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม ซึ่งการประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มสามารถดำเนินการได้หลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่นำมาพิจารณา โดยสามารถแบ่งได้เป็นสองกลุ่มตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยกระตุ้น คือ

- ปัจจัยคงที่ ได้แก่ปัจจัยที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยกระตุ้น เช่น ลักษณะทางธรณีวิทยา ความลาดชัน การใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นต้น และ

- ปัจจัยไม่คงที่ เป็นปัจจัยทางลักษณะพื้นที่ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีปัจจัยภายนอกมากระตุ้น เช่น กำลังรับแรงเฉือนของดิน ปริมาณน้ำในมวลดิน เป็นต้น

ส่วนปัจจัยกระตุ้นที่เป็นสาเหตุสำคัญได้แก่ การเกิดฝนตกหนัก

จากการรวบรวมผลงานวิจัยในการประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม ส่วนมากจะประเมินจากปัจจัยคงที่เท่านั้น ทำให้ผลการประเมินแสดงในลักษณะของศักยภาพในการเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide Potential) หรือแสดงในเชิงเปรียบเทียบโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม (Relative Landslide Hazard) ในบริเวณต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา ซึ่งจะเปรียบเทียบในการแสดงว่าบริเวณใดมีโอกาสเกิดมากกว่ากัน ภายใต้อิทธิพลของปัจจัยกระตุ้นเหมือนกัน ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ในพื้นที่ขนาดใหญ่ ปัจจัยกระตุ้นอาจเกิดไม่เท่ากัน หรือไม่พร้อมกันทั้งพื้นที่ทำให้โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไป

จากเหตุผลดังกล่าว จึงได้มีแนวคิดที่จะทำการวิจัยเพื่อประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยพิจารณาจากปัจจัยที่ไม่คงที่ ซึ่งเป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินถล่มบนลาดเขา โดยพิจารณาตามหลักวิชาทางธรณีวิศวกรรม (Geotechnical Engineering) กล่าวคือเป็นการศึกษาถึงเสถียรภาพของลาดเอียง และการลดลงของเสถียรภาพที่สภาวะความชื้นต่างๆ อันเนื่องมาจากฝนตก จนถึงสภาวะวิกฤตที่ลาดเอียงไม่สามารถคงตัวอยู่ได้ จนทำให้เกิดแผ่นดินถล่ม ผลการวิเคราะห์จะนำมาประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ไม่คงที่ และจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในบริเวณต่างๆ ที่แปรผันไปตามปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการจัดเตรียมแผนรับมือได้อย่างเหมาะสมต่อสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักในโครงการวิจัย จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยพิจารณาจากปัจจัยที่ไม่คงที่ มีดังนี้

- 1 ศึกษาพฤติกรรมทางด้านวิศวกรรมของการเกิดแผ่นดินถล่มเนื่องจากปัจจัยที่ไม่คงที่ เพื่อนำมาวิเคราะห์ จำแนกบริเวณที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม
- 2 ศึกษาถึงลักษณะของปัจจัยต่างๆ ความผันแปรของปัจจัยรวมทั้งสภาพแวดล้อม ที่มีผลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย และการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการพิบัติ
- 3 จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มซึ่งได้จากการประเมินด้วยวิธีทางธรณีวิศวกรรม (Geotechnical Engineering Method) ในรูปแบบดิจิทัลในพื้นที่ศึกษา ซึ่งสามารถแสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่า Parameter ของปัจจัยต่างๆ ที่ไม่คงที่ได้ เพื่อใช้ในการวางแผนรับมือกับภัยพิบัติต่อไป

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1 สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้จะทำการศึกษาถึงพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินถล่ม และจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม โดยมีสาเหตุเนื่องมาจากฝนตกหนัก ทั้งนี้เนื่องจากเหตุการณ์แผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ที่ได้มีการบันทึกไว้ จะเกิดขึ้นเนื่องจากฝนตกหนักทั้งสิ้น
- 2 ในส่วนของการประเมินถึงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ศึกษา จะดำเนินการโดยใช้วิธีทางธรณีวิศวกรรม (Geotechnical Engineering Method)
- 3 พื้นที่ศึกษาสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่พื้นที่ภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน บริเวณจังหวัดระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง และสตูล ดังแสดงในรูปที่ 1-1 ซึ่งเป็นพื้นที่เคยเกิดดินถล่มมาแล้วในอดีต และมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นอีกในอนาคต

4 สำหรับแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ศึกษา จะดำเนินการในรูปแบบดิจิทัล ซึ่งจะแสดงถึงแนวโน้มที่จะเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ศึกษาเท่านั้น ไม่ได้ประเมินถึงมูลค่าความเสียหาย อันเนื่องมาจากแผ่นดินถล่ม และผลการวิจัยที่ได้จะนำเสนอเพื่อใช้ในการวางแผนจัดการกับภัยพิบัติต่อไป

สำหรับพื้นที่ศึกษานั้น เดิมได้คัดเลือกไว้ 4 พื้นที่ได้แก่

- บริเวณเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี
- บริเวณไหล่เขาทางทิศตะวันตกของเกาะภูเก็ต ช่วงระหว่างบริเวณหาดป่าตองและหาดกมลา จังหวัดภูเก็ต
- บริเวณลุ่มน้ำน้ำก้อ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์
- บริเวณลุ่มน้ำสรอย และน้ำพุ อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่

เนื่องจากโครงการศึกษาในครั้งนี้ จะต้องดำเนินการวิจัยควบคู่ไปกับโครงการ “การศึกษาพฤติกรรมทางวิศวกรรมของแผ่นดินถล่มที่เกิดจากฝนตกหนัก” ซึ่งได้ทำข้อเสนองานวิจัยให้กับทาง สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) แต่ยังไม่ได้มีการอนุมัติ ทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินไม่เพียงพอ จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนแนวทางการวิจัยโดยการเปลี่ยนพื้นที่ศึกษาอื่นที่มีลักษณะการศึกษาใกล้เคียงกันและดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน เพื่อที่จะให้สามารถดำเนินการต่อไปได้โดยยังคงวัตถุประสงค์เดิมต่อไป สำหรับโครงการศึกษาวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกับที่ต้องการได้แก่ โครงการ “ศึกษาหาแนวทางป้องกันและลดผลกระทบจากภัยแผ่นดินถล่ม” ซึ่งเป็นโครงการวิจัยของกรมทรัพยากรธรณี ศึกษาถึงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มบริเวณลาดเขาที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงไป อันเนื่องมาจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวและคลื่นยักษ์สึนามิ เมื่อวันที่ 26 ธันวาคม 2547 บริเวณพื้นที่ 6 จังหวัดภาคใต้ แถบชายฝั่งทะเลอันดามัน ได้แก่ จังหวัดระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง และสตูล

จากลักษณะของโครงการดังกล่าวจะมีลักษณะใกล้เคียงกับโครงการ “จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยพิจารณาจากปัจจัยที่ไม่คงที่” ซึ่งมีความแตกต่างกันในแนวทางการดำเนินงาน และวัตถุประสงค์ของงานวิจัย กล่าวคือ โครงการ “ศึกษาหาแนวทางป้องกันและลดผลกระทบจากภัยแผ่นดินถล่ม” มีแนวทางการประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในลักษณะเป็นแบบสัมพัทธ์ (Relative Landslide Hazard Assessment) ซึ่งจะพิจารณาจากปัจจัยสภาพ (Condition Factors) เป็นหลัก เช่น ลักษณะทางธรณีวิทยา และวิศวกรรมธรณีของหินและชั้นดิน เป็นต้น โดยใช้วิธีดัชนีปัจจัยร่วม และมีการพิจารณาถึงความเสี่ยงภัยเพื่อหาแนวทางในการป้องกันแก้ไข ส่วนโครงการ “จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยพิจารณาจากปัจจัยที่ไม่คงที่” จะประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแบบสัมบูรณ์ (Absolute Landslide Hazard Assessment) โดยจะพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบทำให้โอกาสเกิดแผ่นดินเปลี่ยนแปลงไป (Dynamic Factors) ได้แก่การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน และการเปลี่ยนแปลงกำลังแรงเฉือนของดินเป็นหลัก และทำการวิเคราะห์โดยวิธีทางธรณีวิศวกรรม



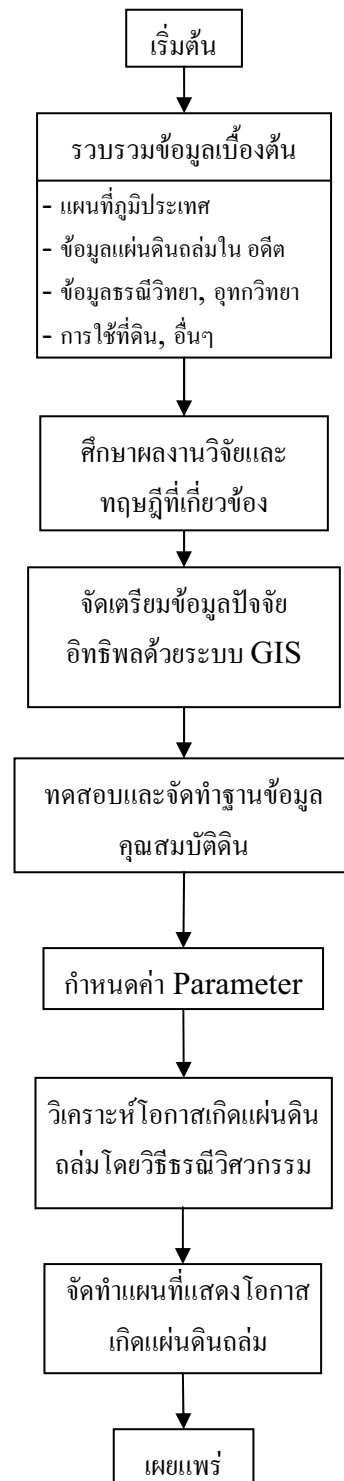
รูปที่ 1-1 บริเวณที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา

อย่างไรก็ตามลักษณะการดำเนินงานและผลงานวิจัยของทั้งสองโครงการ ก็มีส่วนที่เกี่ยวข้องสนับสนุนกันอยู่พอสมควร กล่าวคือในส่วน of พื้นที่ศึกษา โครงการ “จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยพิจารณาจากปัจจัยที่ไม่คงที่” ได้เลือกพื้นที่บริเวณไหล่เขาทางทิศตะวันตกของเกาะภูเก็ต โดยการวิเคราะห์เป็นการศึกษาพฤติกรรมของปัจจัยอิทธิพลในเชิงลึก ส่วนโครงการ “ศึกษาหาแนวทางป้องกันและลดผลกระทบจากภัยแผ่นดินถล่ม” พื้นที่ 6 จังหวัดภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง และสตูล ซึ่งมีลักษณะพื้นที่คล้ายคลึงกัน โดยมีพื้นที่ศึกษาบางแห่งอยู่ในบริเวณเดียวกัน และการวิเคราะห์จะดำเนินการในเชิงพื้นที่ (Spatial Analysis) บริเวณกว้าง ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวทำให้สามารถนำผลการศึกษามาขยายผลระหว่างโครงการทั้งสองได้

1.4 แนวทางในงานวิจัย

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ จะดำเนินการร่วมกับโครงการ “การศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มในจังหวัดภูเก็ต” และโครงการ “ศึกษาหาแนวทางป้องกันและลดผลกระทบจากภัยแผ่นดินถล่ม” โดยจะมีการนำผลงานวิจัยบางส่วนมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ เช่น ข้อมูลคุณสมบัติดินที่แปรผันไปตามความชื้นในมวลดิน และผลการวิเคราะห์รูปแบบการพิบัติของลาดดิน เป็นต้น โดยมีแนวทางในงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 1-2 และมีรายละเอียดเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1 รวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่เป็นปัจจัยอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมโดยหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น
 - ข้อมูลทางภูมิประเทศ ได้แก่ ลักษณะพื้นที่ การใช้ที่ดิน ความลาดชันของพื้นที่ ลักษณะร่องน้ำ
 - ข้อมูลปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดดินถล่ม ได้แก่ ข้อมูลทางธรณีวิทยา อุทกวิทยา คุณสมบัติของมวลดิน พืชที่ปกคลุมดิน
 - ข้อมูลการเกิดแผ่นดินถล่ม ทั้งบริเวณและรูปแบบที่เกิด
- 2 ศึกษาผลงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 3 จัดเตรียมข้อมูลที่ได้รวบรวมไว้ด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์และจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม
- 4 ทดสอบคุณสมบัติของดิน โดยจำลองสภาพแวดล้อม และปัจจัยต่างๆ ตามที่คาดว่าจะสามารถเกิดขึ้นและมีผลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม
- 5 กำหนดค่า Parameter จากข้อมูลพื้นฐาน และผลการทดสอบคุณสมบัติดิน
- 6 ทำการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยวิธีทางธรณีวิศวกรรม
- 7 จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในบริเวณพื้นที่ศึกษา
- 8 นำเสนอผลการวิจัยเพื่อนำไปใช้ในการวางแผนรับมือกับภัยพิบัติต่อไป



รูปที่ 1-2 แสดงแนวทางการดำเนินงานวิจัย

1.5 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานได้แสดงไว้ในตารางที่ 1-2 โดยมีการส่งมอบรายงานจำนวน 5 ฉบับ ซึ่งแต่ละฉบับมีรายละเอียดดังนี้

1 รายงานฉบับที่ 1 ส่งมอบเดือนที่ 6 หลังจากลงนามในสัญญา ประกอบด้วยข้อมูลเบื้องต้นซึ่งได้รวบรวมจากหน่วยงานต่างๆ แผนที่ภูมิประเทศเบื้องต้นของพื้นที่ศึกษา แนวทางการทดสอบพฤติกรรมของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดดินถล่ม

2 รายงานฉบับที่ 2 ส่งมอบเดือนที่ 12 หลังจากลงนามในสัญญา ประกอบด้วยแผนที่ภูมิประเทศโดยละเอียด ของพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 แห่ง ผลการสำรวจส่วนที่ดำเนินการแล้วเสร็จ

3 รายงานฉบับที่ 3 ส่งมอบเดือนที่ 18 หลังจากลงนามในสัญญา ประกอบด้วย ผลการสำรวจส่วนเพิ่มเติม การกำหนด Parameter ในการวิเคราะห์ และผลการวิเคราะห์เบื้องต้น

4 รายงานฉบับที่ 4 ส่งมอบเดือนที่ 24 หลังจากลงนามในสัญญา ประกอบด้วยผลการวิเคราะห์การเกิดดินถล่ม รายงานผลการวิจัยฉบับร่าง รวมทั้งแผนแสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มฉบับร่างในทุกพื้นที่ศึกษา

5 รายงานฉบับที่ 5 ซึ่งเป็นรายงานฉบับสุดท้าย ส่งมอบเดือนที่ 30 หลังจากลงนามในสัญญา ประกอบด้วยรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ แผนที่ดิจิทัลแสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ศึกษา แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยา และคุณสมบัติดิน รวมทั้งแผนที่จำแนกพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในทุกพื้นที่ศึกษา

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่คาดว่าจะได้จากงานวิจัยครั้งนี้ มีดังต่อไปนี้

1 แผนที่ดิจิทัลแสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ศึกษา ซึ่งจะแสดงขอบเขตบริเวณที่มีแนวโน้มในการเกิดแผ่นดินถล่มซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ ให้สอดคล้องกับสถานการณ์จริงได้

2 แผนที่จำแนกพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม ซึ่งแสดงแนวโน้มของการเกิดแผ่นดินถล่มในบริเวณพื้นที่ศึกษา

3 ข้อมูลคุณสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษา พร้อมทั้งลักษณะความสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ ที่ไม่คงที่

4 ข้อมูลพฤติกรรมของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม

ตารางที่ 1-2 แผนการดำเนินงานวิจัย

No.	Activity	Months																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	รวบรวมข้อมูล																														
2	รวบรวมแผนที่เสี่ยงภัย																														
3	จัดเตรียมแผนที่ภูมิประเทศ																														
4	จัดทำฐานข้อมูลคุณสมบัติดิน																														
5	กำหนดค่า Parameter																														
6	วิเคราะห์พฤติกรรมดินถล่ม																														
7	จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม																														
8	เปรียบเทียบการวิเคราะห์กับสภาพจริง																														
9	จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มจากปัจจัยที่ไม่คงที่																														
10	นำเสนอผลการวิจัย																														
11	รายงานผลการวิจัยฉบับที่ 1																														
12	รายงานผลการวิจัยฉบับที่ 2																														
13	รายงานผลการวิจัยฉบับที่ 3																														
14	รายงานผลการวิจัยฉบับที่ 4																														
15	รายงานผลการวิจัยฉบับที่ 5																														

บทที่ 2

ทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2

ทบทวนงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของแผ่นดินถล่ม

ความหมายของแผ่นดินถล่ม (Landslide) ได้มีผู้ให้คำจำกัดความไว้หลายท่านดังนี้

Sharpe (1938) แผ่นดินถล่มหมายถึงการไถล หรือการร่วงหล่นของมวลดินหรือหิน หรือดินปนเศษหิน

Terzaghi (1950) แผ่นดินถล่มหมายถึงการเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็วของมวลหิน ดินที่ตกค้างอยู่กับที่ (Residual soil) หรือดินตะกอนที่บดลงมาตามลาดเอียง

Varnes (1958) แผ่นดินถล่มหมายถึง การเคลื่อนตัวลงมาตามลาดเอียงของวัสดุซึ่งประกอบด้วย ดิน หิน วัสดุถม หรือวัสดุผสมของวัสดุเหล่านี้

Skempton and Hutchinson (1969) กล่าวถึงคำว่า “Landslide” ว่าเป็นการเคลื่อนตัวของมวลดินหรือหิน เนื่องจากแรงเฉือนที่กระทำบนระนาบพิบัติ

Záruba and Mencl (1969) แผ่นดินถล่มหมายถึงการเคลื่อนตัวลงอย่างรวดเร็วของหินซึ่งแยกออกจากมวลหลักของลาดเอียงตามรอยแยก

Varnes (1978) ใช้คำว่า “Slope Movements” แทน “Landslide” เนื่องจากคำว่า Landslide จะจำกัดเพียงแค่การไถล (Slide) เท่านั้น

Sassa (1985) ได้บอกความแตกต่างระหว่างคำว่า “Landslide” และ “Slope Failure” โดยคำว่า “Landslide” คือ การเคลื่อนตัวของลาดดินอย่างช้าๆ บนลาดเอียงที่มีความลาดชันไม่มากนัก ส่วนคำว่า “Slope Failure” คือ การเคลื่อนตัวของมวลดินอย่างรวดเร็วบนลาดเอียงที่มีความลาดชันมาก

Cruden (1991) แผ่นดินถล่มหมายถึงการเคลื่อนตัวของมวลหิน ดิน หรือดินปนหิน ลงมาตามแนวลาดเอียง

Bloom (1998) การถล่มของมวลสาร (Mass washing) หมายถึงการเคลื่อนตัวของชิ้นส่วนของหินลงมาตามลาดเอียง หรือตามแรงโน้มถ่วงของโลก โดยไม่มีตัวกลางในการพัดพา เช่นลม หรือกระแสน้ำ เป็นต้น

วราร (2546) ให้ความหมายของ การพิบัติหรือความไม่มั่นคงของลาดดิน (Sliding หรือ Slope Failure) คือ พหุติกรรมที่มวลดินส่วนใดส่วนหนึ่งเกิดการเคลื่อนตัวพังทลายจากที่สูงลงมาสู่ที่ต่ำภายใต้แรงดึงดูดของโลก

2.2 การจำแนกประเภทของแผ่นดินถล่ม

การจำแนกประเภทของแผ่นดินถล่มมีด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่วิธีการจำแนกของ Varnes (1978) ซึ่งได้มีการปรับปรุงโดย Cruden and Varnes (1996) วิธีกรนี้ได้แบ่งประเภท

ของแผ่นดินถล่มโดยพิจารณาจากชนิดของวัสดุและลักษณะของแผ่นดินถล่ม ดังแสดงในตารางที่ 2-1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ชนิดของวัสดุ

Shroder (1971) และ Varnes (1978) ได้แบ่งประเภทของวัสดุที่ประกอบเป็นมวลของแผ่นดินถล่มออกเป็น ชั้นหิน (Bedrock) และดิน (Soil) ซึ่งเป็นวัสดุมวลละของแร่และหิน โดยที่วัสดุชนิดนี้ยังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ดินเนื้อละเอียด (Earth) และวัสดุมวลละ (Debris)

ดินเนื้อละเอียด (Earth) คือวัสดุมวลดินที่มีส่วนประกอบของอนุภาคซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร มากกว่า 80% โดยน้ำหนัก (Bates and Jackson, 1987)

วัสดุมวลละ (Debris) เป็นวัสดุมวลดินที่ประกอบด้วยวัสดุมวลหยาบที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร ประมาณ 20-80% โดยน้ำหนัก โดยส่วนที่เหลือจะมีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร

2. ประเภทของการเคลื่อนตัว

แบ่งตามลักษณะการเคลื่อนตัวภายหลังการพิบัติได้ดังนี้

Falls คือการที่มวลของดินหรือหินหลุดออกจากลาดเอียงที่มีความลาดชันสูงเคลื่อนตัวลงมาโดยการตกอิสระตามแรงดึงดูดโลก หรือกลิ้ง กระดอนลงมาตามลาดเอียง (Varnes, 1978)

Topples คือการพลิกคว่ำของมวลดินหรือหินรอบจุดหมุนซึ่งเป็นศูนย์กลางของการเคลื่อนตัวลงมาตามลาดเอียง (Varnes, 1978) อาจเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักกดทับที่อยู่เหนือลาดเอียง หรือแรงดันน้ำหรือน้ำแข็งที่อยู่ในรอยแตก

Slide คือการเคลื่อนตัวของมวลดิน หรือหินตามแนวการพิบัติลงมาตามลาดเอียง แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ Rotational และ Translational (Cruden and Varnes, 1996)

- Rotational slide เป็นการเคลื่อนตัวของมวลดินลงตามลาดเอียงในแนวทางของรอยพิบัติที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง โดยทั่วไปจะเกิดบนลาดเอียงที่เป็น homogeneous clay, shale หรือ weathered rocks (Cruden and Varnes, 1996)

- Translational slide เป็นการเคลื่อนตัวของมวลดินตามระนาบพิบัติซึ่งมีลักษณะขนานไปตามพื้นผิว ความลึกของมวลดินที่พิบัติจะน้อยกว่าแบบ Rotational โดยทั่วไปมีอัตราส่วนระหว่างความลึกต่อระยะทางน้อยกว่า 0.1 (Skempton and Hutchinson, 1969) การเคลื่อนตัวจะเกิดขึ้นในระนาบที่มีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ เช่น bedding, joints, foliations, fault เป็นต้น (Varnes 1978 และ Campbell et al., 1985)

Spreads เป็นการขยายตัวออกทางด้านข้างของมวลดิน ร่วมกับการจมตัวของมวลหินที่แตกออกลงไปในช่วงวัสดุที่อ่อนกว่าที่อยู่ด้านล่าง (Cruden and Varnes, 1992) การขยายตัวอาจเป็นผลเนื่องจาก Liquefaction ของตะกอนทราย หรือกรวด หรือการพิบัติของดินเหนียวอ่อนบนลาดเอียง (Schuster and Fleming, 1982)

Flows เป็นการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของวัสดุที่มีลักษณะคล้ายของเหลวที่มีความหนืดบนระนาบพิบัติ โดยมีลักษณะการเคลื่อนตัวอย่างต่อเนื่องเป็นแนวแคบ (Varnes, 1978)

Complex แผ่นดินถล่มอาจประกอบด้วย การเคลื่อนตัวมากกว่าหนึ่งแบบ โดยทั่วไปวัสดุเริ่มต้นเคลื่อนที่แบบหนึ่ง เช่น debris slide และในขณะที่เคลื่อนที่วัสดุอาจเปลี่ยนรูปแบบเป็นแบบอื่น เช่น debris flow (Cruden and Varnes, 1996)

ตารางที่ 2-1 การจำแนกประเภทของแผ่นดินถล่ม

ประเภทของการเคลื่อนตัว		ชนิดของวัสดุ		
		Bedrock	Debris	Earth
Fall		Rock fall	Debris fall	Earth fall
Topple		Rock topple	Debris topple	Earth topple
Slide	Rotational	Rock slump	Debris slump	Earth slump
	Translational	Rock slide	Debris slide	Earth slide
Spread		Rock spread	Debris spread	Earth spread
Flow		Rock flow	Debris flow	Earth flow
Complex		Combination of two or more types of movement		

(Modified from Varnes, 1978)

2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม

ได้มีผู้เชี่ยวชาญทำการจำแนกประเภทของปัจจัยอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม หลายท่านด้วยกัน แต่ละท่านได้มีเกณฑ์ในการพิจารณาแตกต่างกันดังนี้

Terzaghi (1950) ได้แบ่งประเภทของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่มออกเป็น 2 ประเภทตามผลกระทบที่มีต่อหน่วยแรงเฉือน ได้แก่

- ปัจจัยภายนอก (External causes) เป็นปัจจัยที่มีผลทำให้หน่วยแรงเฉือน (Shear stress) เพิ่มขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพื้นที่ การลดน้ำหนักกระทำที่ฐานของลาดเอียง การเพิ่มน้ำหนักกระทำที่ด้านบนของลาดเอียง การกระแทกหรือการสั่นสะเทือน และการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ เป็นต้น

- ปัจจัยภายใน (Internal causes) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการลดแรงต้านทานแรงเฉือน (Shear resistance) เช่น การพัฒนาแนวการพิบัติเพิ่มขึ้น การผุพังของหิน และการกัดเซาะ เป็นต้น

Crozier (1986) ได้แบ่ง ปัจจัยสาเหตุของแผ่นดินถล่ม ออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1 ปัจจัยเตรียมพร้อม (Preparatory causal factor) เป็นปัจจัยที่ทำให้ลาดเอียงมีศักยภาพในการเคลื่อนตัว (Susceptibility) แต่ยังไม่เกิดเหตุการณ์ซึ่งลาดเอียงจะอยู่ในสถานะเสถียรภาพวิกฤต

2 ปัจจัยกระตุ้น (Trigger causal factor) เป็นปัจจัยที่ทำให้ลาดเอียงเกิดการเคลื่อนตัว ซึ่งเปลี่ยนแปลงสถานะของลาดเอียงจากเสถียรภาพวิกฤตไปสู่สถานะขาดเสถียรภาพและเกิดการพิบัติ

Popescu (1996) ได้จำแนกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่มออกเป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณา จากข้อมูลการเคลื่อนตัวของลาดดินลักษณะต่างๆ คือ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อม (Condition) ซึ่งมีส่วนที่ทำให้เสถียรภาพของลาดเอียงต่ำ พร้อมทั้งจะเกิดการพิบัติขึ้นได้ และปัจจัยที่เป็นขบวนการผลักดัน (Processes) ซึ่งจะเป็นตัวกระตุ้น (Trigger) ทำให้ลาดเอียงเกิดการเคลื่อนตัว

วรารกร และคณะ (2546) ได้จำแนกประเภทของปัจจัยโดยพิจารณาจากระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเหล่านั้น ซึ่งจะมีผลกระทบต่อ การเกิดแผ่นดินถล่ม ประกอบด้วยปัจจัยคงที่ (Static Factors) ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยา ความลาดชัน เป็นต้นและปัจจัยไม่คงที่ (Dynamic Factor) ได้แก่ การเกิดฝนตก คุณสมบัติของดินด้านกำลังรับแรงเฉือน เป็นต้น

2.4 การประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

2.4.1 ความหมายของโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide hazard)

United Nations ได้กำหนดนิยามของภัยธรรมชาติ (Natural hazard) ว่าเป็นความน่าจะเป็นเกิดปรากฏการณ์ที่ก่อให้เกิดความเสียหายได้ตามธรรมชาติ (Varnes, 1984)

Fell (1994) ได้นิยามคำว่า “Hazard” ที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินถล่ม ว่าเป็นขนาดความรุนแรงของเหตุการณ์คูณกับความน่าจะเป็น (Probability) ในการเกิดเหตุการณ์นั้น

Spiker and Gori (2000) ได้นิยามความหมายของ “Landslide hazard” และนิยามคำศัพท์อื่นที่มีความหมายใกล้เคียงกันและมีความสัมพันธ์ระหว่างกันดังต่อไปนี้

โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide hazard) หมายถึงความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินถล่มที่สามารถก่อให้เกิดความเสียหายได้ ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นจะหมายรวมถึงการสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สิน ผลกระทบต่อสังคมและเศรษฐกิจ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม

ศักยภาพในการเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide susceptibility) หมายถึงศักยภาพในการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ศึกษา ซึ่งจะพิจารณาจากสภาวะแวดล้อมของลาดเอียง โดยไม่พิจารณาถึงความน่าจะเป็นในการเกิด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับโอกาสเกิดซ้ำของปัจจัยกระตุ้น เช่น ฝนตก หรือ แผ่นดินไหว

ความเสี่ยงภัยแผ่นดินถล่ม (Landslide risk) หมายถึงความน่าจะเป็นของการเกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน รวมทั้งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม สังคม และสภาพเศรษฐกิจอันเนื่องมาจากแผ่นดินถล่ม

การประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มทำได้ยากในพื้นที่ขนาดใหญ่ การคำนวณความน่าจะเป็นที่แท้จริงจะต้องคำนวณหาความน่าจะเป็นของแต่ละปัจจัยกระตุ้น เช่น แผ่นดินไหว หรือ ฝนตก เป็นต้น ซึ่งโดยมากแล้วยังไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเหล่านี้ กับการเกิดแผ่นดินถล่มได้อย่าง

ชัดเจน ดังนั้น ในแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยมากจะหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางด้านสภาวะแวดล้อมกับการเกิดแผ่นดินถล่มในอดีต โดยไม่ได้พิจารณาความน่าจะเป็นของการเกิดซ้ำของปัจจัยกระตุ้น เช่นฝนตก หรือแผ่นดินไหว ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นการประเมินศักยภาพในการเกิดแผ่นดินถล่ม (Susceptibility) ซึ่งมีความหมายใกล้เคียงกับคำว่า “Statically determined hazard” (Hansen, 1984) หรือ “Relative slope stability” (Nilsen et al., 1979) ดังนั้น คำว่า “Hazard” กับ “Susceptibility” บ่อยครั้งก็นำมาใช้ในความหมายเดียวกัน

2.4.2 วิธีการประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

การประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่มได้ดังนี้

1. การประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ

เป็นการประเมินเชิงคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินถล่ม โดย พิจารณาจากปัจจัยพื้นฐาน และเหตุการณ์เกิดแผ่นดินถล่มในอดีต

Kienholz (1978) ประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มและจัดทำเป็นแผนที่ โดยวิธีการวิเคราะห์จากลักษณะทางธรณีสัณฐาน โดยใช้แผนที่ French ZERMOS ขนาด 1:25,000 ร่วมกับแผนที่ธรณีสัณฐาน

Canuti et al. (1979) ประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแผ่นดินถล่ม (Landslide activity) โดยการนำข้อมูลการเกิดแผ่นดินถล่มในช่วงเวลาที่แตกต่างกันมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงบริเวณพื้นที่ซึ่งเคยเกิดแผ่นดินถล่มในช่วงเวลาต่างๆ

Swanson et al (1982) ได้ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของแผ่นดินถล่มโดยการเปรียบเทียบการเกิดแผ่นดินถล่มก่อนและหลังกิจกรรมที่เกิดขึ้นแน่นอน เช่นการตัดไม้ตามฤดูกาล

Wieczorek (1984) ได้ประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยพิจารณาจากการกระจายตัวของแผ่นดินถล่มในอดีต (Landslide distribution)

2. วิธีดัชนีปัจจัยรวม (Weighted factor index method)

เป็นวิธีการประเมินโดยการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ให้ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting) ในแต่ละปัจจัยตามความสำคัญ และทำการประเมินโดยการให้คะแนนในแต่ละปัจจัยและนำมาคำนวณรวมกับค่าถ่วงน้ำหนัก ผลการคำนวณแต่ละปัจจัยจะนำมารวมกัน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับระดับโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide hazard classes) ที่จัดเตรียมไว้สำหรับการประเมินในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

ปัจจัยอิทธิพลส่วนใหญ่ที่ใช้กันมากในการประเมินได้แก่ ความลาดชัน ชนิดของวัสดุ และ ขบวนการทางธรณีสัณฐาน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยประกอบอื่นๆ ที่อาจนำมาใช้ ได้แก่ การระบายน้ำของดิน ความลึกของดิน และพืชปกคลุมดิน ในงานวิจัยบางงานได้รวมข้อมูลเกี่ยวกับร่องรอยการเกิดแผ่นดินถล่มในอดีตเข้าไปเป็นปัจจัยสำคัญด้วย

Gee (1992) ได้ทำการศึกษาวิธีดัชนีปัจจัยร่วม และได้สรุปว่าวิธีการวิเคราะห์โดยการกำหนดระดับคะแนน สามารถดำเนินการได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับข้อมูลและความชำนาญที่มี รวมทั้งระดับความซับซ้อนของวิธีการที่นำมาใช้ ซึ่งอาจทำได้ง่ายโดยการนำคุณสมบัติของปัจจัยต่างๆ มาประเมินเชิงคุณภาพร่วมกัน หรือมีความซับซ้อนมากขึ้นโดยการประเมินเชิงปริมาณ โดยการสร้างตารางปัจจัยถ่วงน้ำหนัก (Weight factor) อย่างไรก็ตามการเพิ่มความซับซ้อนในขบวนการวิเคราะห์ไม่ได้ทำให้ความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์เพิ่มขึ้นมากนัก

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์โดยการสนับสนุนของสภาพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ (2540) ได้ทำการศึกษาภัยพิบัติจากแผ่นดินถล่ม และได้จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย ในโครงการ “การจัดการสาธารณภัยในภาคใต้ของประเทศไทย” ซึ่งได้มีการศึกษาทั้งในระดับภาคและระดับจังหวัด โดยใช้วิธีดัชนีปัจจัยร่วม (Weighted factor index) จากปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ซึ่งได้แก่

- ลักษณะและชนิดของหิน
- ความลาดชันของพื้นที่
- ปริมาณฝน
- สภาพการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุม
- ระดับความสูงของพื้นที่

3. วิธีการประเมินโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Approach)

เป็นการประเมินโดยการรวบรวมปัจจัยที่ทำให้เกิดแผ่นดินถล่มในอดีต มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านี้กับการเกิดแผ่นดินถล่มโดยวิธีการทางสถิติ และผลที่ได้จะนำมาใช้ในการพยากรณ์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ซึ่งมีสภาพพื้นที่ใกล้เคียงกัน

Brabb et al. (1972) เป็นผู้หนึ่งที่ได้บุกเบิกในการใช้วิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่มโดยการศึกษาใน San Mateo County, California โดยใช้ข้อมูลจากแผนที่ธรณีวิทยาและแผนที่แสดงความลาดชันของพื้นที่ เปอร์เซ็นต์พื้นที่ซึ่งถูกปกคลุมด้วยตะกอนจากแผ่นดินถล่มจะถูกประเมินโดยการซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งจากการวิเคราะห์สามารถแบ่งระดับโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มได้เป็น 6 ระดับโดยเริ่มตั้งแต่ ระดับ 1 เป็นพื้นที่ที่ถูกดินตะกอนจากแผ่นดินถล่มทับถม 0% ไปจนถึงระดับที่ 6 เป็นพื้นที่ที่ถูกทับถมด้วยดินตะกอนจากแผ่นดินถล่ม 54%-70% ซึ่งแทนด้วยความน่าจะเป็นสัมพัทธ์ในการเกิดแผ่นดินถล่มจาก น้อยมาก (ระดับ 1) จนถึงสูงมาก (ระดับ 6)

DeGraff and Romesburg (1984) ได้ทำการประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มด้วยวิธีการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นหลายตัวแปร ซึ่งจะสร้างความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลทั้งสองโดยวิธีการถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression)

Rollerson and Sondheim (1985) ได้ทดลองทำการจำแนกระดับโอกาสเกิด โดยพิจารณาจากความลาดชัน ลักษณะทางธรณีสัณฐาน วัสดุที่พื้นผิวของลาดดิน ลักษณะและการเกิดแผ่นดินถล่มในธรรมชาติ

Rollerson (1992) ใช้วิธีทางสถิติในการประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม บริเวณลาดเขาใน Queen Charlotte Islands โดยใช้แผนที่ขนาด 1:20,000 โดยใช้ปัจจัยของลาดเขา 9 ปัจจัย ร่วมกับข้อมูลร่องรอยการเกิดแผ่นดินถล่มทั้งที่เกิดตามธรรมชาติและเนื่องจากการตัดไม้ จากการทดสอบปัจจัยต่างๆ พบว่าประมาณ 50-80% เกิดขึ้นเนื่องจากการตัดไม้

van Westen (1993) ได้หาความสำคัญของปัจจัยโดยการทดลองเพิ่มปัจจัยเข้าไปในการวิเคราะห์ที่ละปัจจัย และทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับข้อมูลร่องรอยแผ่นดินถล่ม ปัจจัยที่ไม่มีผลต่อการคำนวณจะถูกตัดออก

Wichai Pantanahiran (1994) ได้ทำการประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม ในพื้นที่ลาดเขาเขตอำเภอพิปูน และบริเวณเขาคีรีวงศ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยนำเอาค่า parameter ที่ได้จากการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) มาใช้เป็นปัจจัยในการพิจารณา

4 การประเมินโดยวิธีทางธรณีวิศวกรรม (Geotechnical Engineering Method)

เป็นการวิเคราะห์หาโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยการวิเคราะห์หาอัตราส่วนปลอดภัย (Safety factor) ของลาดดิน โดยทั่วไปจะใช้สมการของลาดอนันต์ (Infinite slope) ในการวิเคราะห์ ซึ่งเหมาะสมสำหรับลาดดินที่ยาวและดินมีความลึกไม่มาก และมีคุณสมบัติเหมือนกันตลอดความยาวของลาดดิน สำหรับค่าอัตราส่วนปลอดภัยในงานทางด้านวิศวกรรม จะหมายถึงอัตราส่วนของกำลังรับแรงเฉือนของลาดดินต่อแรงเฉือนกระทำ อัตราส่วนปลอดภัยที่มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 1 แสดงว่าลาดดินเกิดการพิบัติ

Hall et al. (1994) ได้แสดงความเห็นว่า วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน จะแสดงเพียงการกระจายของอัตราส่วนปลอดภัย (Deterministic method) หรือ การกระจายของความน่าจะเป็นของอัตราส่วนปลอดภัยที่มีค่าต่ำกว่า 1 (Probabilistic method) โดยที่วิธี Deterministic จะแสดงผลการวิเคราะห์อัตราส่วนปลอดภัยเป็นจุด (Grid point) ในแผนที่ ส่วนวิธี Probabilistic จะแสดงผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นโดยการกำหนดเป็นพื้นที่ (Polygon) ในแผนที่

นงลักษณ์ (2547) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของดินทางด้านวิศวกรรม เพื่อนำไปใช้ในการประเมินเสถียรภาพของลาดดินภูเขาในบริเวณลุ่มน้ำก้อ ต.น้ำก้อ อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ โดยใช้วิธีขีดจำกัดสมดุล (Limit equilibrium) ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินที่ลดลงเมื่อมีปริมาณน้ำในดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกรณีฝนตกหนัก (Rainfall induced landslide) ซึ่งมักจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดลาดดินถล่มได้ ในการดำเนินงานวิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆในพื้นที่ ประกอบด้วยสภาพทางธรณีวิทยา สภาพทางภูมิประเทศ ลักษณะการพิบัติ ลักษณะทางธรณีวิทยา ลักษณะดินในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยน้ำก้อใหญ่ ข้อมูลน้ำฝน สร้างขอบเขตน้ำฝนวิกฤตได้ เพื่อใช้ในการประกอบกับระบบเตือนภัยของดินถล่มเนื่องจากน้ำฝน

2.4.3 แผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide hazard map)

การประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม โดยทั่วไปจะแสดงในรูปแบบแผนที่ ซึ่งแสดงถึงการกระจายตัวของระดับโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ หรือการจำแนกพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดิน ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการนำไปใช้งาน หรือนำไปวิเคราะห์ หรือประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินถล่ม (Risk map) ต่อไป

Spiker and Gori (2000) ได้ให้ความหมายเกี่ยวแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม และแผนที่อื่นที่เกี่ยวข้องดังนี้

แผนที่แสดงข้อมูลแผ่นดินถล่ม (Landslide inventory map) เป็นแผนที่แสดงตำแหน่งและขอบเขตของแผ่นดินถล่ม ข้อมูลแผ่นดินถล่มอาจเป็นชุดข้อมูลที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์เดียวกันหรือ จากหลายเหตุการณ์ก็ได้ ในแผนที่มาตราส่วนขนาดเล็ก อาจแสดงเพียงแค่ตำแหน่งของแผ่นดินถล่มเท่านั้น ส่วนในแผนที่มาตราส่วนขนาดใหญ่อาจแสดงถึงความแตกต่างของการเกิดแผ่นดินถล่ม ประเภท และข้อมูลประกอบอื่นๆ ที่ทำได้

แผนที่แสดงศักยภาพในการเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide susceptibility map) เป็นแผนที่จำแนกระดับชั้นของเสถียรภาพของลาดเอียงในพื้นที่ แผนที่นี้จะแสดงบริเวณที่อาจเกิดแผ่นดินถล่มขึ้น โดยจำแนกตั้งแต่สถานะเสถียรภาพจนถึงสถานะเสถียรภาพวิกฤต ซึ่งจะแสดงเป็นสีหรือสัญลักษณ์แตกต่างกัน

แผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide hazard map) เป็นแผนที่แสดงความน่าจะเป็นในการเกิดซ้ำ (Annual probability) ของการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ แผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มที่สมบูรณ์ควรจะแสดงทั้งโอกาสเกิดในบริเวณแหล่งกำเนิด และโอกาสที่แผ่นดินถล่มจากบนลาดเอียงมาถึงได้

แผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินถล่ม (Landslide risk map) เป็นแผนที่แสดงความน่าจะเป็นของความสูญเสียเนื่องจากแผ่นดินถล่ม อาจแสดงในรูปของมูลค่าความเสียหายรายปี (Annual cost of landslide damage) แผนที่เสี่ยงภัยจะเป็นการประเมินร่วมกันระหว่างโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide hazard) และ ความน่าจะเป็นในการเกิดผลกระทบ เช่น ความสูญเสียทางด้านชีวิต และทรัพย์สิน ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ และสังคม

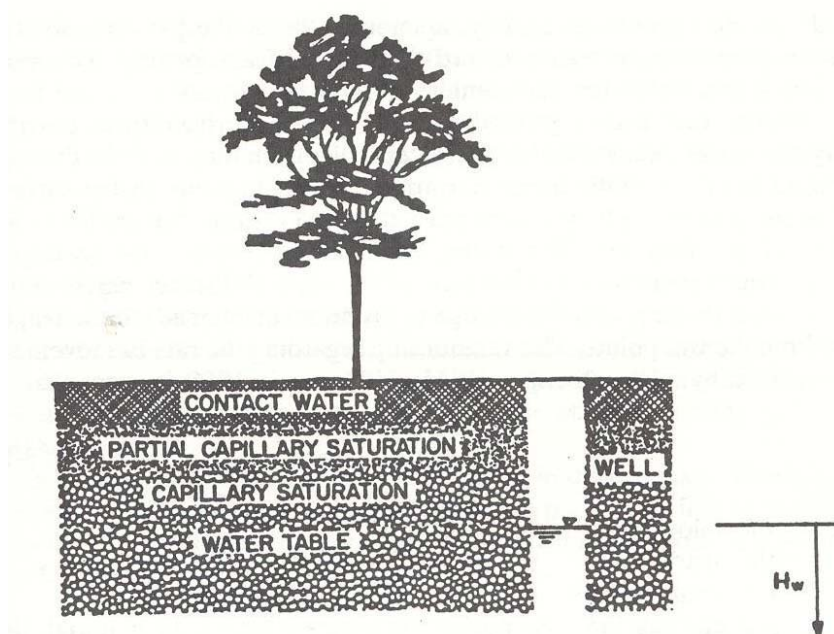
2.5 การประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยวิธีการทางธรณีวิศวกรรม

การประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วิธีการประเมินโดยวิธีการทางธรณีวิศวกรรม เป็นการประเมินโดยการวิเคราะห์เสถียรภาพและโอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียง ซึ่งจะพิจารณาถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่ไม่คงที่ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลดิน

คุณสมบัติของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil) คุณสมบัติของดินด้านกำลังรับแรงเฉือนที่เปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นในมวลดิน ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม

2.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพของลาดเอียงกับการเกิดฝนตก

Abramson et al. (1996) ได้แบ่งชั้นดินตามธรรมชาติออกเป็น 2 ส่วนตามปริมาณน้ำในช่องว่างในมวลดินได้แก่ บริเวณที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated zone) ซึ่งอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน และบริเวณที่เกิดแรงดึงระหว่างน้ำกับเม็ดดิน (Capillary zone) ซึ่งเป็นชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated zone) อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินขึ้นไป ดังรูปที่ 2-1 และตารางที่ 2-2 ชั้นดินที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะเต็มไปด้วยน้ำ และแรงดันน้ำมีค่าสูงกว่าความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure) และมีค่าเป็นบวก ส่วนชั้นดินที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน ช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะประกอบด้วยน้ำและอากาศ แรงดันน้ำจะมีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศ และมีค่าเป็นลบเรียกว่าแรงดึงน้ำในมวลดิน (Soil suction) ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่ห่างออกจากระดับน้ำใต้ดิน การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในมวลดินจะทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะส่งผลต่อเสถียรภาพของลาดเอียง



รูปที่ 2-1 การแบ่งชั้นดินตามปริมาณความชื้นในดิน (Dunn et al., 1980)

ตารางที่ 2-2 ลักษณะการแบ่งชั้นดินตามปริมาณความชื้นในดิน

Zones	Water	Process	Division	Pressure
Unsaturated	Hygroscopic	Infiltration	Discontinuous capillary saturation	Gass phase = atmospheric
	Pellicular		Semicontinuous capillary saturation	Liquid phase < atmospheric
	Capillary		Continuous capillary saturation	< Atmospheric
Water table				
Saturated	Ground water (Phreatic zone)	Percolation	Unconfined ground water	> Atmospheric

ที่มา : Institution of Civil Engineers (1976), reproduced by permission

เมื่อฝนตกลงสู่พื้นดิน ปริมาณน้ำฝนส่วนหนึ่งจะไหลไปตามผิวดินด้วยแรงดึงดูดของโลก ลงสู่แหล่งน้ำ เรียกว่า Surface runoff อีกส่วนหนึ่งจะซึ่มลงสู่ชั้นใต้ดิน เรียกว่า Infiltration น้ำฝนส่วนที่ซึ่มลงไปในชั้นใต้ดินจะไหลไปยังชั้นน้ำใต้ดิน โดยผ่านชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวที่อยู่ด้านบน ซึ่งการที่จะผ่านชั้นนี้ลงไปได้ปริมาณน้ำต้องมีมากเพียงพอที่จะเอาชนะแรงดึงน้ำ (Capillary) ซึ่งการไหลซึ่มผ่านนี้จะมีผลทำให้ความชื้นในดินที่ไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น ทำให้แรงดึงน้ำในมวลดินลดลงมีผลทำให้หน่วยแรงประสิทธิภาพลดลงและกำลังรับแรงเฉือนลดลง และระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เสถียรภาพของดินลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2-2

2.5.2 คุณสมบัติของดินที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม

1. คุณสมบัติของดินทางด้านกำลังรับแรงเฉือน

กำลังรับแรงเฉือนของดิน คือความสามารถในการต้านทานต่อแรงเฉือน (Shear Resistance) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับหน่วยแรงกระทำตั้งฉาก (Normal Stress) ตามกฎของ Coulomb ดังนี้

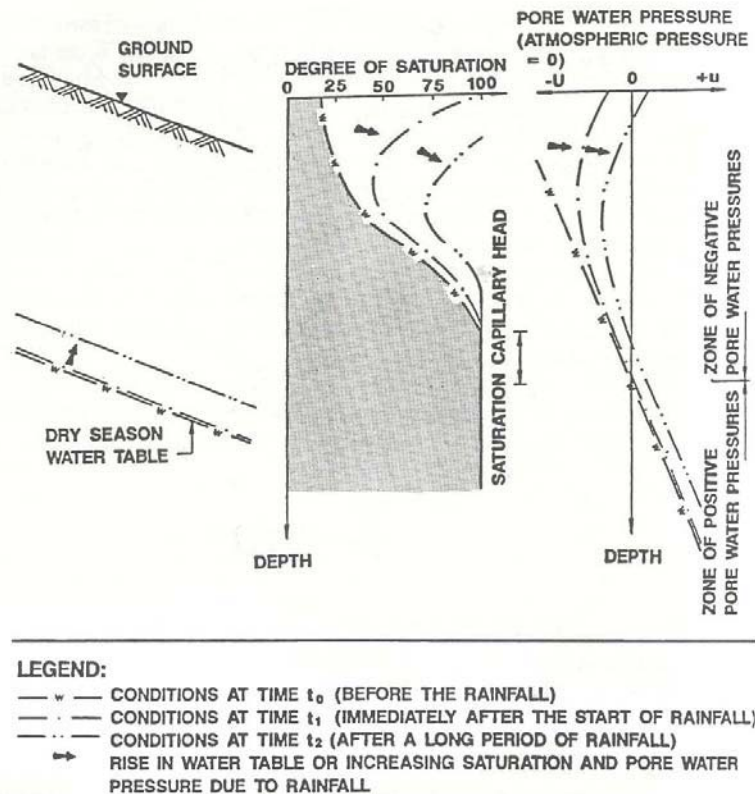
$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (2.1)$$

โดยที่

τ = กำลังรับแรงเฉือนของดิน

c = แรงยึดเหนี่ยวในมวลดิน (Cohesion)

ϕ = มุมเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle)



รูปที่ 2-2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน ความอิ่มตัวด้วยน้ำในมวลดิน (S) และ แรงดันน้ำ (u) เนื่องจาฝนตก (Geotechnical Control Office, 1984)

สำหรับดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Soil) การเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลดินจะทำให้แรงดึงน้ำ (Matric Suction) แปรเปลี่ยนตามไปด้วย แรงดึงน้ำในมวลดินนี้จะมีคุณสมบัติต้านทานรับแรงเฉือนของดิน Ho and Fredlund (1982) ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงดึงน้ำในมวลดิน ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$C = c' + (u_a - u_w) \tan \phi_b \quad (2.2)$$

โดยที่

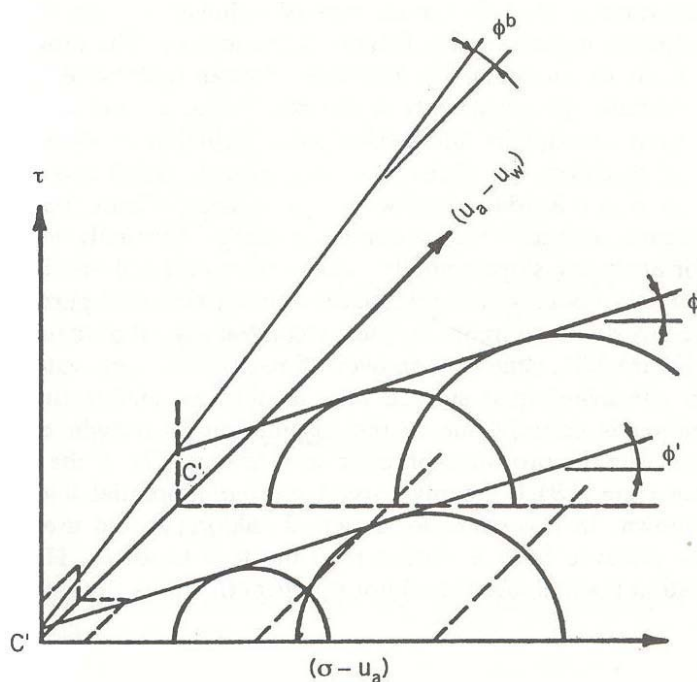
C = Total cohesion of the soil

c' = Effective cohesion

$(u_a - u_w)$ = Matric suction

$\tan \phi_b$ = The slope of the plot of matric suction when $\sigma - u_a$ is held constant

การเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนสามารถแสดงได้ในรูปของพื้นผิวพหุคูณ 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 2-3 ค่าแรงดึงน้ำในมวลดินจะลดลงเมื่อความอิ่มตัวของน้ำของดินเพิ่มขึ้น และกลายเป็นศูนย์เมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ



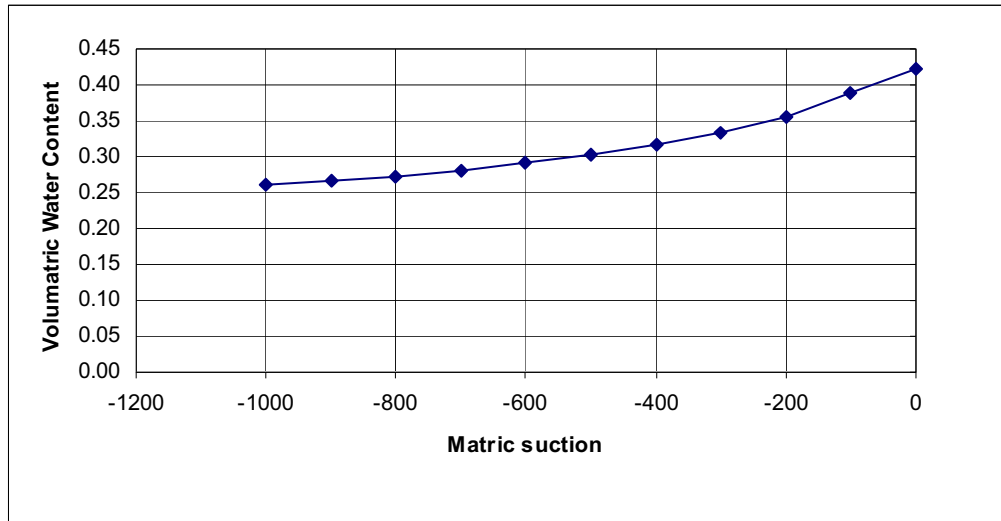
รูปที่ 2-3 Mohr-Coulomb failure envelope สำหรับดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ
(Fredlund and Rahardjo, 1993)

2. คุณสมบัติด้านการระบายน้ำของดิน

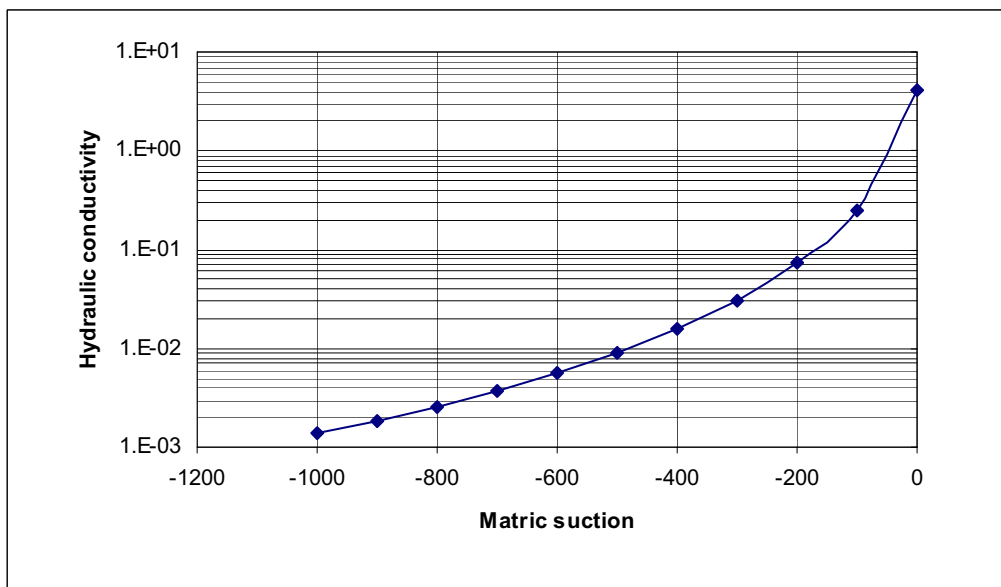
ความสามารถในการเปลี่ยนปริมาณน้ำในมวลดินขึ้นอยู่กับคุณสมบัติด้านการระบายน้ำของดิน ได้แก่ค่าปริมาณน้ำในมวลดิน (Volumetric Water Content, θ) และค่าความซึมน้ำของดิน (Hydraulic Conductivity, K) ซึ่งไม่คงที่ และมีผลต่อแรงดึงน้ำในดิน (Matric Suction)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในมวลดินกับแรงดึงน้ำในดิน เรียกว่า Soil-Water Characteristic (SWCC) ดังแสดงในรูปที่ 2-4(ก) ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าความซึมน้ำของดิน กับแรงดึงน้ำในดิน เรียกว่า Permeability Function (PF) ดังแสดงในรูปที่ 2-4(ข)

สำหรับรูปแบบความสัมพันธ์ดังกล่าวทั้ง SWCC และ PF นั้น ได้มีผู้วิจัยหลายท่านได้พยายามจำลองรูปแบบความสัมพันธ์ ซึ่งในการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองความสัมพันธ์ของ van Genuchten (1980) ซึ่งโดยมีรูปแบบดังนี้



ก. Soil-Water Characteristic Curve (SWCC)



ข. Permeability Function (PF)

รูปที่ 2-4 แสดงรูปแบบความสัมพันธ์ของคุณสมบัติการระบายน้ำของดิน

สำหรับ SWCC

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha h)^n]^m} \quad (2.3)$$

สำหรับ PF

$$K = K_s \frac{\left\{1 - (\alpha h)^{n-1} [1 + (\alpha h)^n]^{-m}\right\}^2}{[1 + (\alpha h)^n]^{m/2}} \quad (2.4)$$

โดยที่

- θ = Volumetric Water Content
- θ_s = Saturated Volumetric Water Content
- θ_r = Residual Volumetric Water Content
- α = Shape Parameter, cm^{-1}
- n = Shape Parameter
- m = Shape Parameter, $m=1-1/n$
- h = Matric Suction, cm
- K = Hydraulic Conductivity
- K_s = Saturated Hydraulic Conductivity

การทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ของ SWCC และ PF ทำได้ยากและใช้เวลา อย่างไรก็ตามมีวิธีการประมาณรูปแบบความสัมพันธ์ดังกล่าวโดยวิธีทางอ้อม วิธีหนึ่งซึ่งเสนอโดย Zapata (1999)

Zapata (1999) ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติการกระจายตัวของเม็ดดินและความเป็น Plasticity ของดิน กับค่า Parameter ของแบบจำลองความสัมพันธ์ SWCC ของ Fredlund and Xing (1994) ซึ่งมีรูปแบบความสัมพันธ์ดังนี้

$$\theta = \left(\frac{\theta_s}{\left[\ln \left[\exp(1) + \left(\frac{h}{a} \right)^b \right] \right]^c} \right) \times \left(1 - \frac{\ln \left(1 + \frac{h}{h_r} \right)}{\ln \left(1 + \frac{10^6}{H_r} \right)} \right) \quad (2.5)$$

โดยที่

- a, b, c = Shape Parameter

h_r = Matric Suction at which residual water content, kPa

ค่า Parameter ต่างๆ หาได้โดยวิธีการของ Zapata (1999) ดังนี้

กรณีที่ดินมีค่า $PI > 0$

$$a = 0.00364(wPI)^{3.35} + 4(wPI) + 11 \quad (2.6)$$

$$\frac{b}{c} = -2.313(wPI)^{0.14} + 5 \quad (2.7)$$

$$c = 0.0514(wPI)^{0.465} + 0.5 \quad (2.8)$$

$$\frac{h_r}{a} = 32.44e^{0.0186(wPI)} \quad (2.9)$$

โดยที่

wPI = Passing#200xPI

Passing#200= อัตราส่วนน้ำหนักของเม็ดดินที่ผ่านตะแกรง No. 200 ต่อน้ำหนักของมวลดินทั้งหมด

PI = Plasticity Index(%) = Liquid Limit – Plastic Limit

กรณีที่ดินมีค่า $PI = 0$

$$a = 0.8627(D_{60})^{-0.751} \quad (2.10)$$

$$\bar{b} = 7.5 \quad (2.11)$$

$$c = 0.1772 \ln(D_{60}) + 0.7734 \quad (2.12)$$

$$\frac{h_r}{a} = \frac{1}{D_{60} + 9.7e^{-4}} \quad (2.13)$$

โดยที่

D_{60} = ขนาดของเม็ดดินที่มีน้ำหนัก 60% ของน้ำหนักทั้งหมด

เนื่องจากค่า Parameter ที่ใช้ในการสร้าง SWCC โดย Zapata (1999) เป็น Parameter ในแบบจำลองความสัมพันธ์ของ Fredlund & Xing (1994) ดังนั้นการหาค่า Parameter ในแบบจำลองของ Van Genuchten (1980) ทำได้โดยการสร้างกราฟ SWCC จากค่า Parameter ในรูปแบบของ Fredlund & Xing (1994) และทำ Curve Fitting จากกราฟดังกล่าวด้วยแบบจำลองของ Van Genuchten (1980) ก็จะหาค่า Parameter θ_r , α และ n ได้

สำหรับค่าความสามารถในการซึมผ่านของดินในสถานะอิ่มตัว (K_s) หาได้จากการทดสอบทั้งจากในสนาม และในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ยังสามารถประมาณจากผลการทดสอบคุณสมบัติดินด้านอื่นๆ ได้แก่วิธีที่เสนอโดย M. Mbonimpa et al. (2002) ซึ่งประมาณค่า K_s จากคุณสมบัติของน้ำ ช่องว่างระหว่างเม็ดดิน และขนาดคละของเม็ดดิน ดังสมการที่ 2.14

$$K_s = f_f f_v f_s \quad (2.14)$$

f_f = Fluid Function

$$f_f = \frac{\gamma_w}{\mu_w} \quad (2.15)$$

โดยที่

γ_w = Water Unit Weight

μ_w = Dynamic Viscosity

f_v = Void Space

$$f_v = C_e \frac{e^{3+x}}{1+e} \quad (2.16)$$

โดยที่

C_e = Material Parameter

x = Material Parameter

e = Void Ratio

f_s = Solid Grain Surface Characteristic

กรณี Granular Soil

$$f_s = C_d C_U^{1/3} D_{10}^2 \quad (2.17)$$

โดยที่

C_d = Constant Material Parameter

C_U = Uniformity Coefficient

D_{10} = Effective Grain Size

กรณี Plastic Soil

$$f_s = \frac{1}{\rho_s^2 \lambda^2 w_L^{2\chi}} \quad (2.18)$$

โดยที่

ρ_s = Solid Grain Density

w_L = Liquid Limit

λ = Function Parameter

χ = Function Parameter

แทนสมการที่ 2.15 – 2.18 ลงในสมการที่ 2.14 จะได้

กรณี Granular Soil

$$K_s = C_G \frac{\gamma_w}{\mu_w} \frac{e^{3+x}}{1+e} C_U^{1/3} D_{10}^2 \quad (2.19)$$

เมื่อ

$$C_G = C_e \times C_d$$

กรณี Plastic Soil

$$K_s = C_P \frac{\gamma_w}{\mu_w} \frac{e^{3+x}}{1+e} \frac{1}{\rho_s^2 w_L^{2\chi}} \quad (2.20)$$

เมื่อ

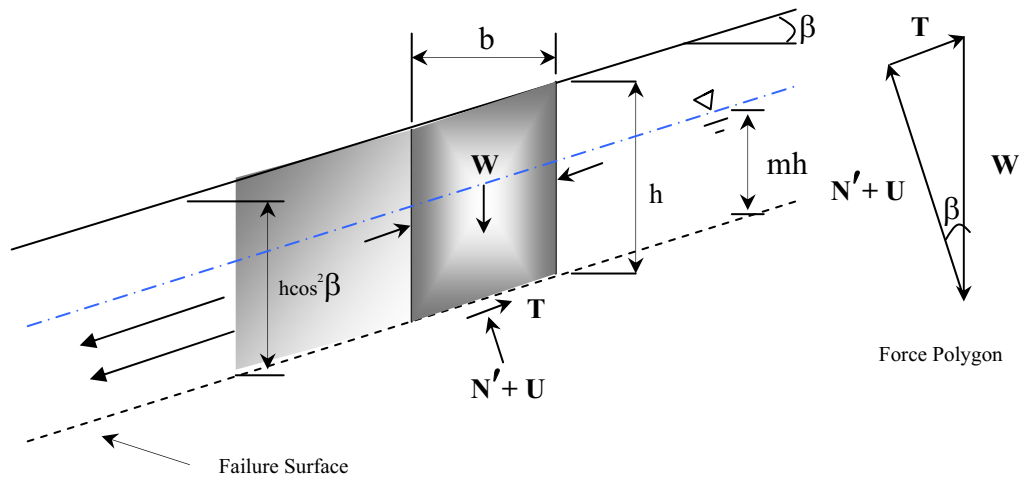
$$C_P = \frac{C_e}{\lambda^2}$$

2.6 การวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

การวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม เป็นการวิเคราะห์โอกาสที่ลาดเอียงจะเกิดการพิบัติ เมื่อปริมาณน้ำในดินบนลาดเอียงเกิดการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นอันเนื่องมาจากฝนตก ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงประกอบด้วย การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินเนื่องจากคุณสมบัติการระบายน้ำของดิน และการเกิดฝนตก

2.6.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินจะใช้วิธีขีดจำกัดสมดุล (Limit Equilibrium) โดยกำหนดให้ระนาบพิบัติเป็นแบบลาดอนันต์ (Infinite Slope) ดังแสดงในรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 แสดงแบบจำลองการวิเคราะห์แบบลาดอนันต์ (Infinite Slope Stability Analysis)

จากแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 4-3 สามารถคำนวณหาอัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety) ได้ดังแสดงในสมการที่ 2.21

$$FS = \frac{c' + h \cos^2 \beta \tan \phi' [(1-m)\gamma_m + m\gamma']}{h \sin \beta \cos \beta [(1-m)\gamma_m + m\gamma_{sat}]} \quad (2.21)$$

โดยที่

c' = แรงยึดเหนี่ยวของมวลดิน

h = ความลึกของแนวการพิบัติ

β = มุมลาดเอียงของพื้นที่

ϕ' = มุมเสียดทานภายใน

m = อัตราส่วนความลึกระดับน้ำใต้ดินเหนือแนวพิบัติกับความลึกของแนวพิบัติ

γ_m = ความหนาแน่นชั้นของดิน

γ' = ความหนาแน่นประสิทธิผล ($\gamma_{sat} - \gamma_w$)

γ_{sat} = ความหนาแน่นของดินที่จุดอิ่มตัว

γ_w = ความหนาแน่นของน้ำ

กรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าแนวการพิบัติ ($m=0$)

$$FS = \frac{c' + h \cos^2 \beta \tan \phi' \gamma_m}{h \sin \beta \cos \beta \gamma_m} \quad (2.22)$$

กรณีที่พิจารณาอิทธิพลของรากพืชที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงเฉือนของดิน

$$FS = \frac{c_R}{h \sin \beta \cos \beta \gamma_m} + \frac{c'}{h \sin \beta \cos \beta \gamma_m} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \quad (2.23)$$

โดยที่

$$c_R = \text{กำลังรับแรงเฉือนเนื่องจากรากพืช}$$

2.6.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน

1. แบบจำลองการไหลของน้ำผ่านมวลดิน

สำหรับการวิเคราะห์ในครั้งนี้ได้เลือกใช้วิธี Finite Difference (FD) โดยกำหนดให้การไหลเป็นแบบทิศทางเดียว (1-D Flow) ในแนวดิ่ง การวิเคราะห์ต้องพิจารณาถึง สมการควบคุม (Governing Equation) ขอบเขตการวิเคราะห์ (Boundary Condition) และสถานะเริ่มต้น (Initial Condition)

- สมการควบคุม (Governing Equation)

จำลองพฤติกรรมของการไหลเป็นไปตามสมการของ Richards (Kumar, 2002) ดังแสดงในสมการที่ 2.24 ซึ่งกำหนดการไหลเป็นแบบไม่คงที่ขึ้นอยู่กับแรงดึงน้ำในดิน (Matric Suction) และการไหลเกิดขึ้นในทิศทางเดียว (1-D Flow) ในแนวดิ่ง

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} K \frac{\partial H}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} K \frac{\partial h}{\partial z} - \frac{\partial K}{\partial z} \quad (2.24)$$

ซึ่งสามารถลดรูปได้ดังแสดงในสมการที่ 2.25

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} K \left(\frac{\partial h}{\partial z} - 1 \right) \quad (2.25)$$

โดยที่

θ = Volumetric Water Content

t = เวลา

z = ระยะทางตามความลึกจากผิวดินขนานกับทิศทางการไหล

h = Matric Suction

K = Hydraulic Conductivity

$\partial\theta/\partial t$ = อัตราการเปลี่ยนแปลง Volumetric Water Content ตามเวลา

จาก Chain's rule สามารถแปลงค่า $\partial\theta/\partial t$ ให้อยู่ในรูปของ $\partial h/\partial t$ ได้ดังนี้

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = \frac{d\theta}{dh} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = C \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.26)$$

โดยที่ค่า $C = d\theta/dh$ เรียกว่า Specific Water Capacity แทนสมการที่ 2.25 ลงในสมการที่ 2.26 จะเป็นดังนี้

$$C \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} K \left(\frac{\partial h}{\partial z} - 1 \right) \quad (2.27)$$

- ขอบเขตการวิเคราะห์ (Boundary Condition)

ขอบเขตการวิเคราะห์ แบ่งออกเป็นสองส่วนได้แก่ ขอบเขตบน (Upper Boundary Condition) และขอบเขตล่าง (Lower Boundary Condition)

ก. ขอบเขตบน เป็นการกำหนดขอบเขตหรือเงื่อนไขในการวิเคราะห์ที่บริเวณผิวดิน ในกรณีนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินเกิดขึ้นเนื่องจากฝนตก ซึ่งจะกำหนดให้ปริมาณน้ำฝนที่ไหลซึมลงไปในดินสูงสุดเท่ากับความเร็วของฝนแต่ไม่เกินค่าความสามารถในการซึมน้ำของดิน เมื่อแรงดึงน้ำในมวลดินสูงกว่าแรงดึงน้ำวิกฤติ

$$-K \left(\frac{\partial h}{\partial z} - 1 \right) = q \quad (2.28)$$

และกำหนดให้ค่าแรงดึงน้ำเท่ากับแรงดึงน้ำวิกฤติเมื่ออัตราการไหลของน้ำผ่านมวลดินเท่ากับความเร็วของฝน

$$h(0,t) = h_c \quad (2.29)$$

โดยที่

q = อัตราการไหลของน้ำที่ผิวดิน

$h(0,t)$ = ค่าแรงดึงน้ำที่ผิวดินที่เวลาใดๆ

ข. ขอบเขตล่าง เป็นขอบเขตการไหลของน้ำผ่านชั้นดินด้านล่างออกจากมวลดินที่พิจารณา กำหนดให้มีการไหลแบบ Free Drainage ซึ่งการไหลเกิดขึ้นเนื่องจาก Elevation head เท่านั้น

$$\frac{\partial h}{\partial z} = 0 \quad (2.30)$$

- สภาวะเริ่มต้น (Initial Condition)

สำหรับการกำหนดสภาวะเริ่มต้น (Initial Condition) ของการไหลจะกำหนดในรูปแบบของแรงดันน้ำในมวลดินที่ระดับความลึกต่างๆ ในชั้นดินที่ทำการวิเคราะห์

2.7 การจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยใช้ GIS

ในการประเมินหาโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มนั้น ข้อมูลปัจจัยต่างๆ รวมทั้งข้อมูลการเกิดแผ่นดินถล่มในอดีตจะต้องทำการเก็บรวบรวมโดยอ้างอิงตำแหน่งพิกัดบนผิวโลก และเนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการประเมินมีจำนวนมาก ซึ่งในบริเวณเดียวกันอาจจะประกอบด้วยข้อมูลหลายประเภทแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการนำเทคโนโลยีทางด้านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) เข้ามาใช้ ซึ่งเทคโนโลยีนี้จะมีขีดความสามารถสูงในการจัดเก็บข้อมูล และบริหารจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยอิทธิพลต่างๆ เชิงพื้นที่ (Spatial information) บนลาดเอียง โดยแยกการจัดเก็บข้อมูลออกเป็นชั้นๆ (Layers) และมีเครื่องมือต่างๆ ช่วยในการจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในแต่ละพื้นที่

GIS เป็นเครื่องมือที่มีความสามารถในการจัดการข้อมูลทั้งจากการนำเข้าและการนำเสนอข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การแปลและนำเสนอข้อมูลเชิงพื้นที่จากสภาพจริงมาใช้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการได้ (Burrough, 1986) สำหรับระบบ GIS เริ่มเปิดตัวครั้งแรกเมื่อประมาณต้นทศวรรษที่ 1960 และมีการนำมาใช้กันอย่างมาก ในช่วงทศวรรษที่ 1980 จากการใช้งานคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยทั่วไปขบวนการทำงานของระบบ GIS จะประกอบด้วย

- การนำเข้าและการตรวจสอบข้อมูล
- การจัดเก็บและการจัดการฐานข้อมูล
- การแปลงและการวิเคราะห์ข้อมูล และ
- การเรียกใช้ข้อมูลและการนำเสนอ

การนำ GIS มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์จำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม เริ่มตั้งแต่ปลายทศวรรษที่ 1970 โดย Newman et al. (1978) ได้รายงานความเหมาะสมในการทำแผนที่แสดงศักยภาพการเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide susceptibility map) ด้วยคอมพิวเตอร์ Carrara et al. (1978) ได้รายงานผลการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Multivariate โดยใช้ Grid cell ขนาด 200x200 เมตร และใช้ตัวแปร 25 ตัว

แปรในการวิเคราะห์ Huma and Radulescu (1978) ซึ่งได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับแผ่นดินถล่มในโรมาเนีย ได้รายงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเชิงคุณภาพ (Qualitative) โดยพิจารณาปัจจัยทางด้านการเกิดการเคลื่อนตัวของมวลดิน ลักษณะทางธรณีวิทยา โครงสร้างทางธรณีวิทยา สภาพทางชลศาสตร์ พืชปกคลุมดิน มุมลาดเอียง และทิศทางของลาดเอียง

Radbruch Hall et al. (1979) ได้เขียน Software ในการสร้างแผนที่มาตราส่วนขนาดเล็ก (1:7,500,000) ของสหรัฐอเมริกา แต่ละแผนที่จะประกอบด้วย Pixel 6 ล้าน Pixel ซึ่งแสดงถึงบริเวณที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม เพื่อใช้ในการวางแผนและวางนโยบายในการพัฒนาพื้นที่ แผนที่นี้จะดำเนินการโดยวิธีเชิงคุณภาพ ของข้อมูลที่น่าเข้ามาซ้อนทับกัน

ในช่วงทศวรรษที่ 1980 การใช้ GIS ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียงและการจัดทำแผนที่เกี่ยวกับเสถียรภาพของลาดดิน เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากการแข่งขันในการพัฒนา Software ในเชิงพาณิชย์มีหลากหลายมากขึ้น เช่น Arc/Info (Environmental System Research Institute, 1992) และ Intergraph Corporation's MGE (Intergraph Corporation, 1993) รวมทั้ง Tydec Corporation's SPAN and IDRISI (Eastman; 1992a, 1992b) การพัฒนาขีดความสามารถของคอมพิวเตอร์ นำไปสู่การพัฒนาวิธีการประยุกต์ใช้ GIS อย่างหลากหลายมากขึ้น

Carrara et al. (1990, 1991, 1992) ได้ทำการวิเคราะห์โดยวิธี Multivariate Statistical โดยใช้ GIS ซึ่งในระยะแรกได้ดำเนินการโดยการแบ่งพื้นที่ออกเป็น Grid cell สี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ในการวิเคราะห์ ต่อมาได้มีการเปลี่ยนมาใช้วิธีการแบ่งแยกโดยพิจารณาจากลักษณะทางธรณีสัณฐานที่เหมือนกัน เรียกว่า "Geomorphometric units" โดยจะทำการเลือกพื้นที่ตัวแทนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม เรียกว่า "Training area" ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีแผ่นดินถล่มกระจายอยู่ (Carrara, 1988) จากนั้นจึงทำการขยายผลไปยังพื้นที่อื่นในบริเวณพื้นที่ศึกษาเรียกว่า "Target area" โดยอาศัยสมมติฐานที่ว่า ปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้ลาดเอียงเกิดการพิบัติใน Target area ต้องเหมือนกับใน Training area

Bernknopf et al. (1988) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มกับปัจจัยอิทธิพลต่างๆ แบบ Multiple regression โดยให้เหตุการณ์เกิดแผ่นดินถล่มเป็นตัวแปรตาม ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ "เกิด" และ "ไม่เกิด" แผ่นดินถล่ม และปัจจัยอิทธิพลที่ใช้ในแบบจำลองเสถียรภาพ (ความลึกของชั้นดิน กำลังของดิน มุมลาดเอียง) เป็นตัวแปรอิสระ โดยไม่พิจารณาถึงระดับน้ำใต้ดิน ผลการวิเคราะห์จะแสดงถึงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในแต่ละ Pixel

Brass et al. (1989), Murphy and Vita-Finzi (1991) และ van Westen (1993) ได้นำระบบ GIS มาประยุกต์ใช้กับวิธีการประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม โดยการใช้เสถียรภาพของลาดเอียง (Slope stability analysis) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วิธีการกำหนดแนวการพิบัติเป็นแบบลาดอนันต์ (Infinite slope) เนื่องจากการวิเคราะห์เฉพาะจุดซึ่งสามารถใช้ในการจำแนกในแต่ละ Pixel ได้

Hammond et al. (1992) ได้เสนอวิธีการซึ่งการแปรผันของอัตราส่วนปลอดภัยคำนวณจากการคัดเลือกตัวแปรโดยใช้วิธี Monte Carlo Techniques วิธีการนี้ต้องมีการคำนวณซ้ำจำนวนมาก ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ GIS ช่วย

บทที่ 3

วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงาน

บทที่ 3

วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 วิธีการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม โดยวิธีทางธรณีวิศวกรรม (Geotechnical Engineering Method) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านเสถียรภาพของลาดเอียงด้วยวิธีขีดจำกัดสมดุล (Limit Equilibrium) โดยพิจารณาให้การพิบัติของลาดเอียงเป็นแบบลาดอนันต์ (Infinite Slope) เนื่องจากการศึกษาลักษณะโดยทั่วไปของแผ่นดินถล่มในพื้นที่ศึกษา พบว่าส่วนมากเกิดในระดับตื้น (Shallow Landslide) เสถียรภาพของลาดเอียงแสดงในรูปของอัตราส่วนปลอดภัย (Factor Safety, FS) ซึ่งเป็นการคำนวณสมดุลของแรงระหว่างแรงกระทำจากน้ำหนักของดินเทียบกับกำลังรับแรงเฉือนของดิน

ในส่วนของการชันดินที่พิจารณามีลักษณะเป็นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Soil) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลดินได้ตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ซึ่งมีผลทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินแปรผันไปตามปริมาณความชื้นในมวลดินที่เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ทำการวิเคราะห์ความน่าจะเป็น (Probability) โดยคำนึงถึงความไม่แน่นอนของคุณสมบัติของดินในแต่ละพื้นที่ และความถี่ของการเกิดฝนตก

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะดำเนินการในส่วนของการประเมินและจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเป็นหลัก ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ส่วนใหญ่รวบรวมจากฐานข้อมูลในโครงการ “การศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มในจังหวัดภูเก็ต” สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และโครงการ “ศึกษาหาแนวทางป้องกันและลดผลกระทบจากภัยแผ่นดินถล่ม” ของกรมทรัพยากรธรณี โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 3-1 โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ

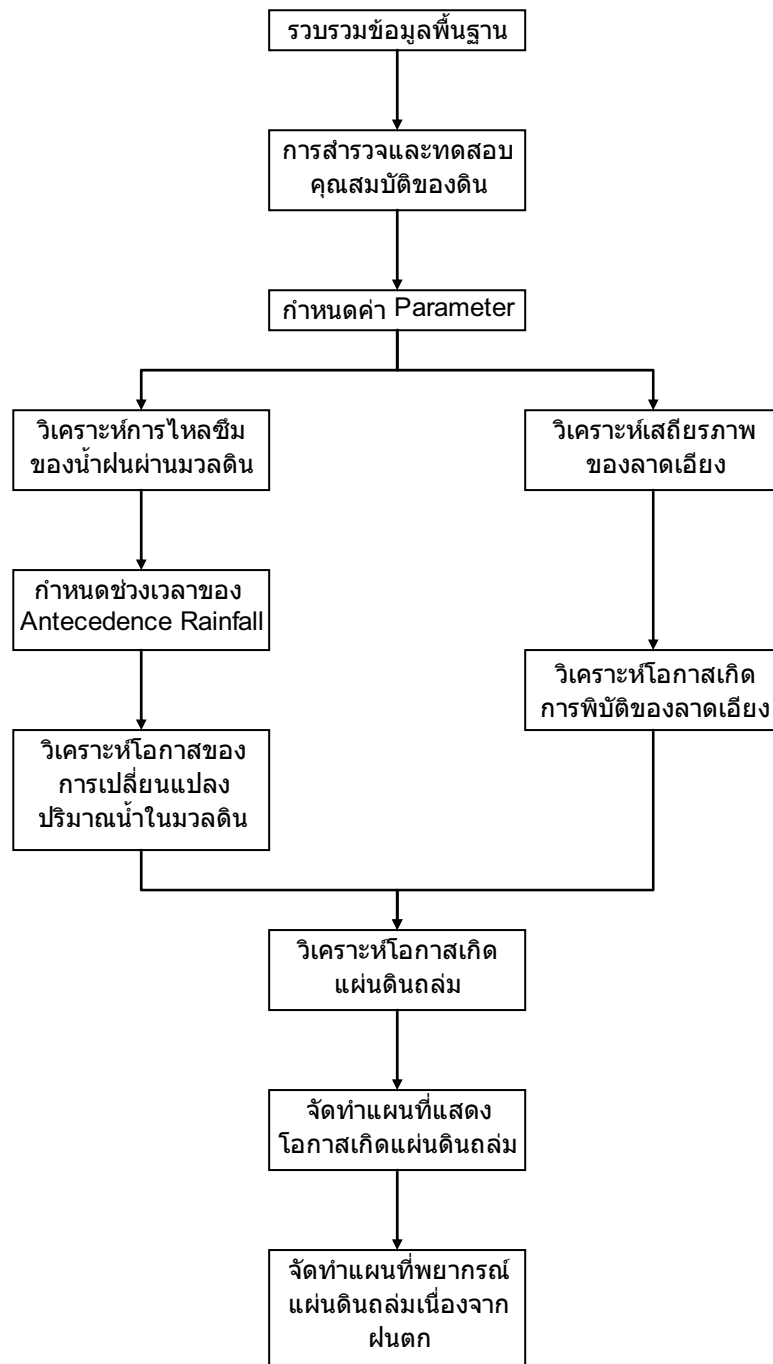
- ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล
- ขั้นตอนการวิเคราะห์
- ขั้นตอนการจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

3.2.1 การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลจะแบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่

1. การรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะพื้นที่ซึ่งมีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่แสดงความลาดชันของพื้นที่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลน้ำฝนรายวันจากสถานีวัดน้ำฝนที่ครอบคลุมพื้นที่เป้าหมาย ข้อมูลการเกิด

แผ่นดินถล่มซึ่งรวบรวมโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกบันทึกในลักษณะเชิงพื้นที่ในรูปแบบ GIS



รูปที่ 3-1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

2. การสำรวจลักษณะทั่วไปของพื้นที่และทดสอบคุณสมบัติของดิน เป็นการดำเนินการเพื่อให้ได้ตัวแทนคุณสมบัติของพื้นที่แบ่งเป็น การสำรวจภาคสนาม และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยที่การสำรวจในภาคสนามประกอบด้วย การสำรวจลักษณะธรณีวิทยา สำรวจร่องรอยการเกิดแผ่นดินถล่มในอดีต เก็บข้อมูลลักษณะพื้นที่ สำรวจและเก็บตัวอย่างดิน การทดสอบคุณสมบัติดินในสนาม ส่วนการทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย การทดสอบคุณสมบัติของดินทางกายภาพ และการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินและความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในปริมาณต่างๆ

3. การแปลผลและการกำหนดค่า Parameter เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มประกอบด้วย

- ข้อมูลลักษณะพื้นที่ จะถูกจำแนกประเภทเป็นกลุ่มย่อย โดยพิจารณาจากลักษณะเฉพาะและอิทธิพลที่มีต่อโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม
- คุณสมบัติของดิน ที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน ได้แก่ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำในมวลดินกับแรงดึงน้ำในดิน (Soil-Water Characteristic Curve, SWCC) การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการซึมผ่านของดินเทียบกับแรงดึงน้ำ (Permeability Function, PF) ความสามารถในการซึมผ่านของดินเมื่อดินอยู่ในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Conductivity, Ksat)
- คุณสมบัติดินที่มีอิทธิพลกับเสถียรภาพของลาดเอียง ได้แก่ คุณสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือนของดิน ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดินกับ ปริมาณน้ำในมวลดิน และความหนาของชั้นดิน

3.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำเนื่องจากฝนตก

1. การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง
 - วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง โดยพิจารณาถึงความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของปัจจัยเนื่องจากขนาดของพื้นที่ และจากการทดสอบ
 - วิเคราะห์โอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียงที่ระดับความชื้นต่างๆ
2. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำเนื่องจากฝนตก
 - วิเคราะห์การไหลของน้ำผ่านมวลดินเนื่องจากฝนตก โดยการสุ่มค่าปริมาณน้ำฝน โดยกำหนดความเข้มสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period) 100 ปี และกำหนดช่วงเวลาการตกของฝนสูงสุดที่ 15 วัน
 - คัดเลือกช่วงเวลาที่ใช้คำนวณปริมาณฝนตกที่เหมาะสมซึ่งเป็นช่วงเวลาที่รูปแบบฝน และปริมาณฝนในอดีตมีอิทธิพลน้อยที่สุด เพื่อใช้ในการประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

- วิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลดินที่ระดับต่างๆ ของชั้นดิน

3. วิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

หลังจากดำเนินการในข้อ 1. และ 2. แล้วนำค่าความน่าจะเป็นทั้งสองส่วนมาคำนวณร่วมกันเพื่อวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม โดยผลการวิเคราะห์ประกอบด้วย

- โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มผันแปรตามปริมาณน้ำฝน (Dynamic Landslide Hazard)
- โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มรายปี (Annual Landslide Hazard)

3.2.3 ขั้นตอนการจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

เป็นขั้นตอนการจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มลงในบริเวณต่างๆ ในพื้นที่เป้าหมายในแผนที่ โดยดำเนินการเป็น 2 ประเภท

1.แผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มรายปี

2.แผนที่ทำนายการเกิดแผ่นดินถล่ม เป็นแผนที่ซึ่งสามารถคำนวณโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มที่เปลี่ยนแปลงไปในบริเวณต่างๆ ได้โดยการเปลี่ยนค่าข้อมูลปริมาณน้ำฝน

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 การรวบรวมข้อมูล

4.1.1 ข้อมูลพื้นฐาน

จากข้อมูลที่รวบรวมมาจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และผลการสำรวจในพื้นที่ดังแสดงในภาคผนวก ก. 1 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยา

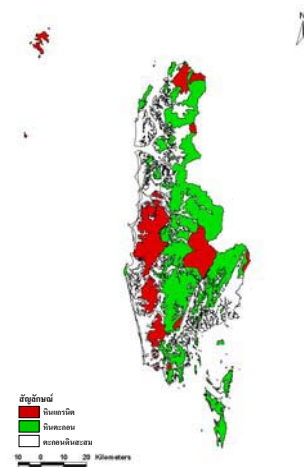
จากแผนที่ธรณีวิทยขนาด 1:250,000 และจากผลการสำรวจในพื้นที่ ร่วมกับการเก็บรวบรวมข้อมูลร่องรอยการเกิดแผ่นดินถล่มดังแสดงในภาคผนวก ก.1 พบว่ามีลักษณะเป็นธรณีวิทยาหินแข็ง และธรณีวิทยา ควอเทอร์นารี โดยในส่วนของธรณีวิทยาหินแข็ง จะประกอบด้วยหินแกรนิต ซึ่งจะพบกระจายอยู่ทั่วไปในบริเวณพื้นที่ศึกษา และกลุ่มหินตะกอน ได้แก่ หินโคลน หินปูน หินทราย และหินดินดาน ส่วนธรณีวิทยาควอเทอร์นารี ได้แก่ตะกอนดินสะสมบริเวณที่ราบเชิงเขา และบริเวณที่ราบชายฝั่งทะเล เนื่องจากผลการสำรวจร่องรอยการเกิดแผ่นดินถล่มในอดีต พบว่าส่วนใหญ่เกิดบนลาดเขาหรือพื้นที่ลาดเอียงบริเวณเชิงเขาในส่วนที่เป็นหินแกรนิต ส่วนในบริเวณหินตะกอนมีมากเช่นกัน เมื่อนับรวมทั้งในหินโคลน หินปูน หินทราย และหินดินดาน ดังนั้นจึงได้จำแนกลักษณะทางธรณีวิทยาในพื้นที่ออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มหินแกรนิต กลุ่มหินตะกอน และกลุ่มของตะกอนดินสะสม ดังแสดงในรูปที่ 4-1 และภาพขยายในแต่ละจังหวัดดังแสดงในภาคผนวก ก. 2

2. ข้อมูลลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน

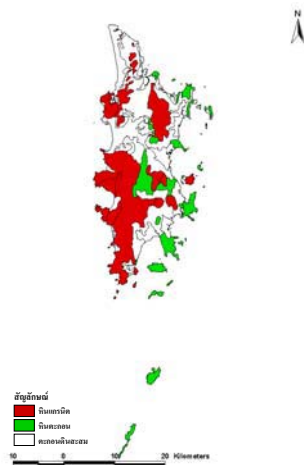
ข้อมูลลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นการศึกษาถึงรูปแบบของพืชปกคลุมดิน และอิทธิพลของรากพืชที่มีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของลาดเอียง จากผลการศึกษาในโครงการ “ศึกษาเพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยและภัยธรรมชาติในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้” (2537) ซึ่งจัดทำโดย ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม และบทความทางวิชาการเรื่อง “Role of tree roots in slope stabilization” โดย N.S. Nilaweera and P. Nutalaya (1999) ซึ่งศึกษาถึงกำลังรับแรงเฉือนของพืชชนิดต่างๆ ในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับข้อมูลจากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินขนาด 1:50,000 สามารถจำแนกลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ พื้นที่ป่าดิบชื้น (Evergreen forest) พื้นที่ไม้เบกาน้ำ หรือป่าชันรอง (Secondary forest) พื้นที่เกษตรกรรม (Agricultural Crop) และพื้นที่โล่งไม่มีพืชปกคลุม (Non-Crop) ทำการศึกษารายการกระจายตัว ความยาว และกำลังรับแรงเฉือนของราก และความยาวของราก ของพืชแต่ละประเภท และประเมินกำลังรับแรงเฉือนรวมของดิน (Root-Soil System) ที่เปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในภาคผนวก ก. 3 โดยสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4-1 และผลการจำแนกประเภทในพื้นที่ต่างๆ สรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 4-2



ก. จังหวัดระนอง



ข. จังหวัดพังงา



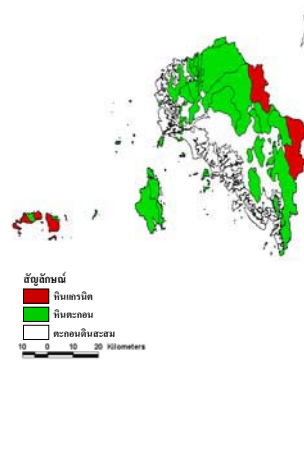
ค. จังหวัดภูเก็ต



ง. จังหวัดกระบี่



จ. จังหวัดตรัง



ฉ. จังหวัดสตูล

รูปที่ 4-1 แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาในแต่ละจังหวัด

ตารางที่ 4-1 แสดงการจำแนกประเภทของลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา

ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ความยาวของราก (m)	กำลังรับแรงเฉือน (T/m^2)
พื้นที่ป่าดิบชื้น	0-1.5	0.17-0.46
พื้นที่ไม่เบิกป่า	0-0.5	0.08-0.24
พื้นที่เกษตรกรรม	0-1.5	0.09-0.35
พื้นที่โล่ง	0	0.00

3. ข้อมูลความลาดชัน

ลักษณะความลาดชันของพื้นที่ หมายถึงองศาความลาดเอียงของพื้นที่ต่อแนวราบ มีหน่วยเป็น “°” ข้อมูลดังกล่าวได้จากแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง (Elevation Contour) ขนาด 1:50,000 ซึ่งจัดเก็บในระบบ GIS และคำนวณความชัน โดยใช้โปรแกรม ArcView Extension 3D-Analysis กำหนดความละเอียดของ Grid Cell ที่ขนาด 20x20 เมตร ครอบคลุมทุกบริเวณในพื้นที่ศึกษา ผลการคำนวณความลาดชันจะแบ่งเป็นช่วง แต่ละช่วงห่างกัน 5° ตั้งแต่ 0° – 90° ผลการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก. 4 และสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 4-3

4. ข้อมูลปริมาณน้ำฝน

ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ได้รวบรวมจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนที่ครอบคลุมพื้นที่ของกรมอุตุนิยมวิทยา และกรมชลประทานซึ่งมีอยู่ทั้งสิ้น 227 สถานี และได้คัดเลือกสถานีที่ใช้เป็นตัวแทนในพื้นที่ 48 สถานี โดยแบ่งพื้นที่รับน้ำฝนโดยวิธี Thiessen Polygon ดังแสดงในภาคผนวก ก. 5 และสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 4-4 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนนี้จะนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของ ความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำของฝน เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์โอกาสเกิดฝนที่ความเข้มต่างๆ ต่อไป

4.1.2 ข้อมูลคุณสมบัติดิน

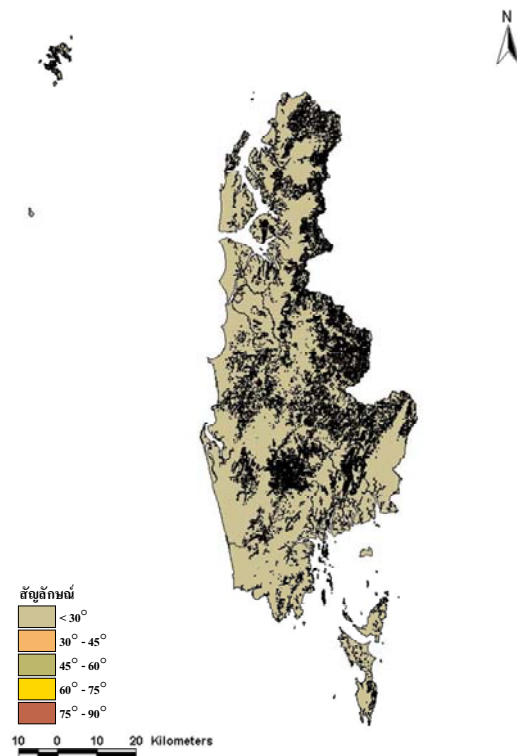
1. คุณสมบัติดินด้านกำลังรับแรงเฉือน

- ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนและปริมาณน้ำในมวลดิน

เนื่องจากกำลังรับแรงเฉือนของดินแปรผันไปตามแรงดึงน้ำในมวลดิน (Matric Suction) ซึ่งแรงดึงน้ำดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในมวลดิน ดังนั้นจึงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดินกับปริมาณน้ำในมวลดินได้โดยตรงจากทดสอบ Direct Shear Test โดยดำเนินการที่ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำของดินแตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก.6 และแสดงความสัมพันธ์ได้ดังแสดงในรูปที่ 4-5 และ 4-6



ก. จังหวัดระนอง

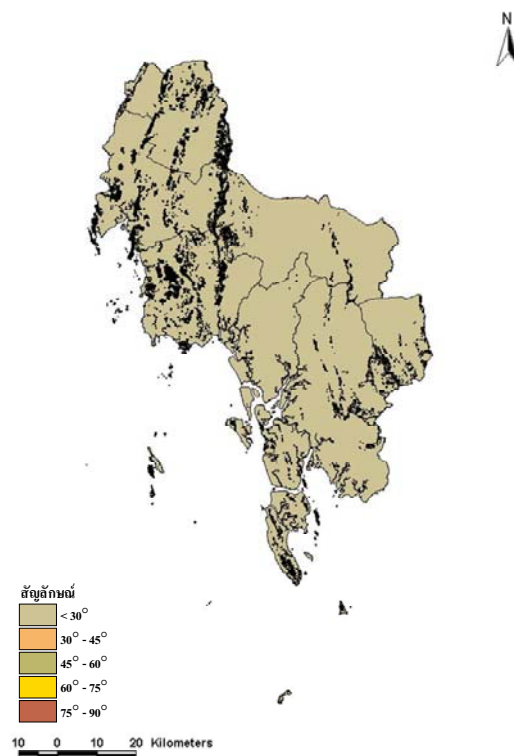


ข. จังหวัดพังงา

รูปที่ 4-3 แสดงความลาดชันของพื้นที่

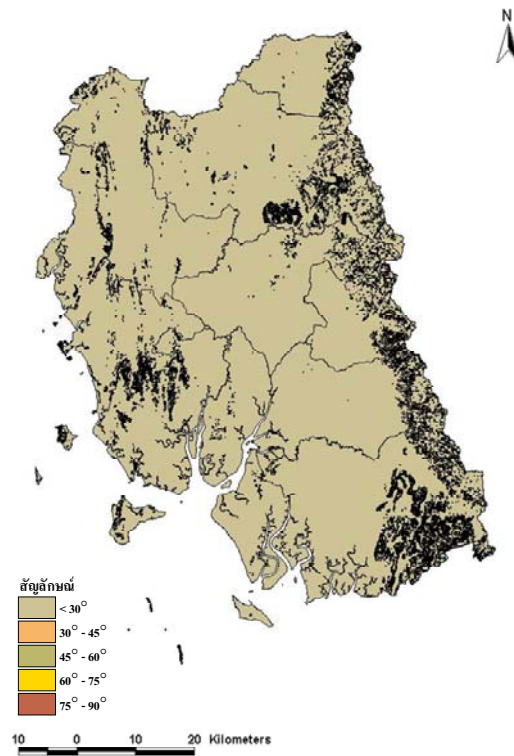


ก. จังหวัดภูเก็ต

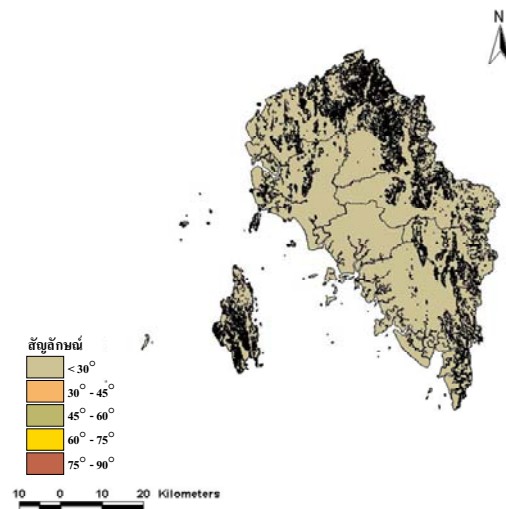


ง. จังหวัดกระบี่

รูปที่ 4-3 (ต่อ) แสดงความลาดชันของพื้นที่

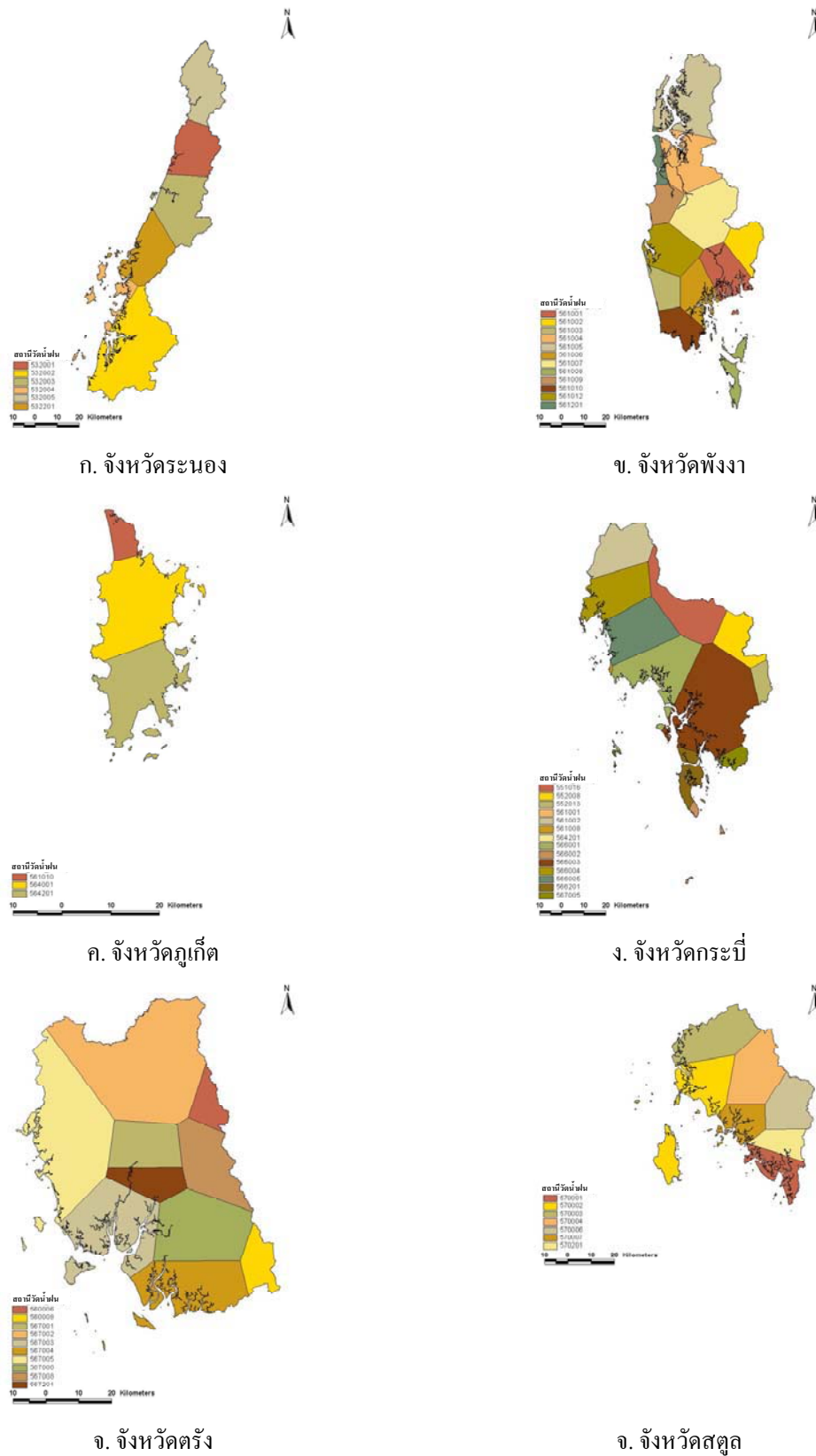


จ. จังหวัดตรัง

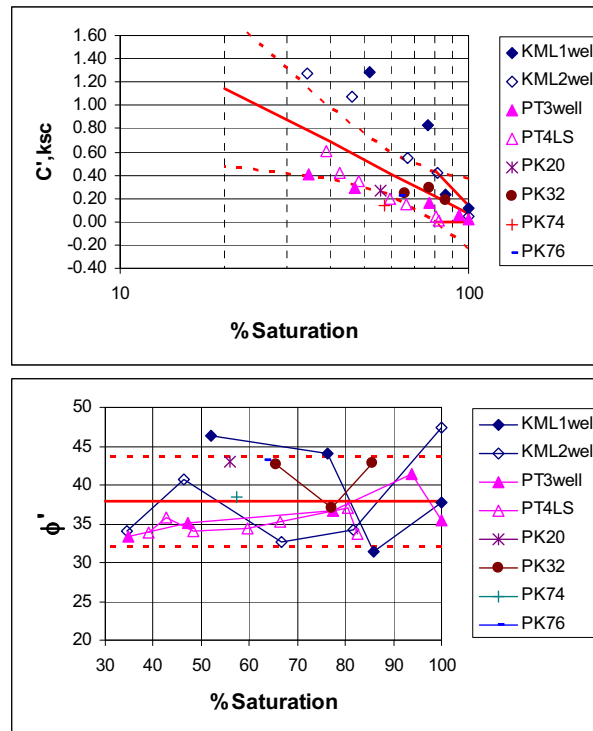


จ. จังหวัดสตูล

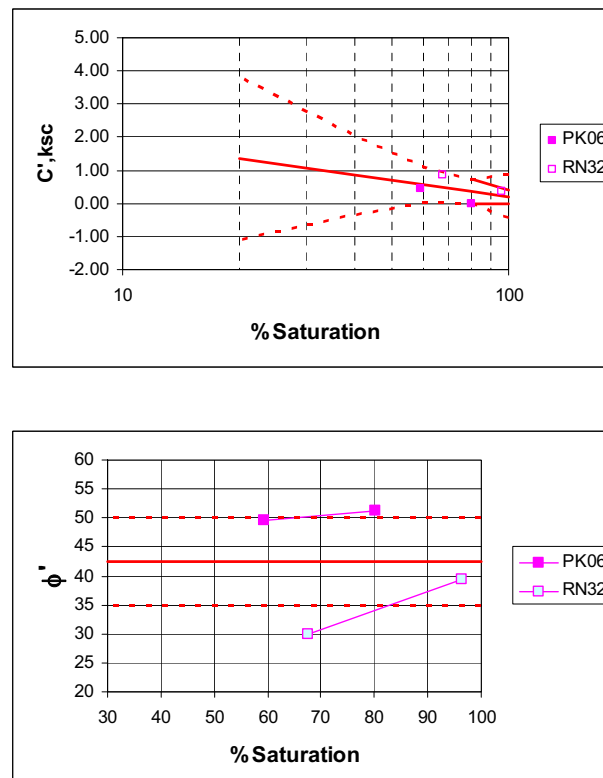
รูปที่ 4-3 (ต่อ) แสดงความลาดชันของพื้นที่



รูปที่ 4-4 แสดงพื้นที่รับน้ำฝน



รูปที่ 4-5 กำลังรับแรงเฉือนของดินที่อยู่ในกลุ่มหินแกรนิต



รูปที่ 4-6 กำลังรับแรงเฉือนของดินที่อยู่ในกลุ่มหินตะกอน

- ความลึกของชั้นดิน

ความลึกของชั้นดิน (Soil Thickness) พิจารณาให้เป็นดินชั้นเดียวมีคุณสมบัติเฉลี่ยเท่ากันตั้งแต่ผิวดินจนถึงชั้นหิน หรือระนาบพิบัติ เนื่องจากการศึกษาเชิงพื้นที่ การสำรวจความลึกไม่สามารถทำได้ครอบคลุมทั้งพื้นที่โครงการ ดังนั้นจึงใช้วิธีประมาณความลึกที่เสนอโดย Dietrich et al. (1995) ซึ่งมีสมมติฐานว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงความลึกของชั้นดินตามระยะเวลานั้นขึ้นอยู่กับอัตราการผุพังกลายเป็นดินของหินตามระยะเวลาและอัตราการสะสมตัวของตะกอน ดังแสดงในสมการที่ 4.1

$$\rho_s \frac{\partial h}{\partial t} = -\rho_r \frac{\partial e}{\partial t} - \nabla \rho_s \tilde{q}_s \quad (4.1)$$

โดยที่

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงความลึกของชั้นดินตามเวลา}$$

$$\frac{\partial e}{\partial t} = \text{อัตราการผุพังของหินกลายเป็นดิน (Soil Product)}$$

$$\rho_s = \text{ความหนาแน่นของดิน}$$

$$\rho_r = \text{ความหนาแน่นของหิน}$$

$$\tilde{q}_s = \text{อัตราการสะสมตัวของตะกอน}$$

$$\nabla \rho_s \tilde{q}_s = \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงการสะสมตัวของตะกอนตามระยะทาง}$$

กำหนดให้อัตราการสะสมตัวของตะกอนแปรผันตรงกับความลาดชัน

$$\tilde{q}_s = -K_t \nabla z \quad (4.2)$$

โดยที่

$$K_t = \text{สัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายตะกอนตามเวลา}$$

$$\nabla z = \text{ความลาดชัน}$$

ดังนั้น

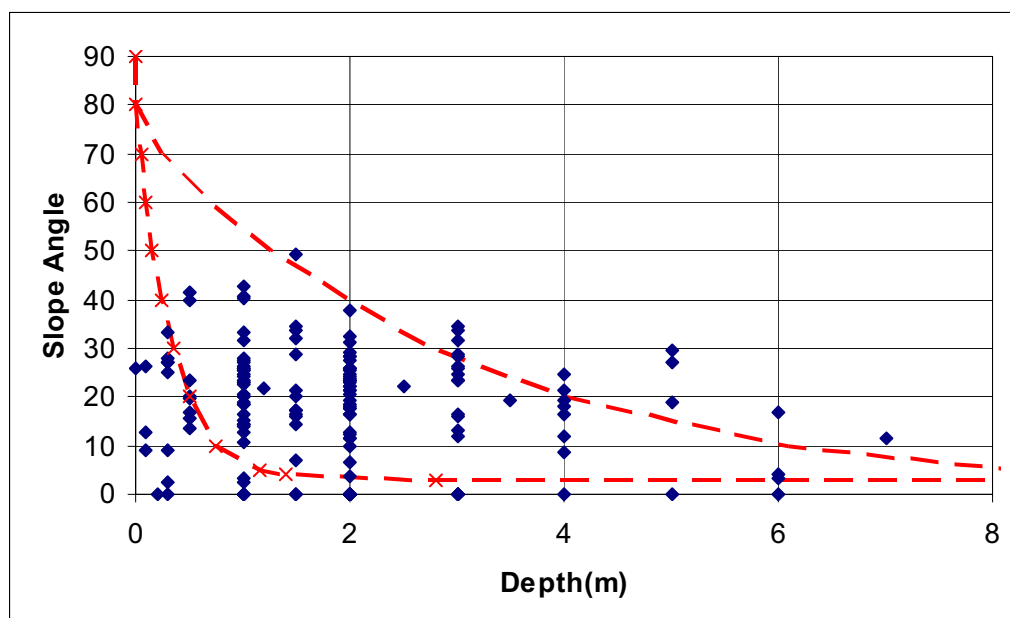
$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\rho_r}{\rho_s} \frac{\partial e}{\partial t} + K_t \nabla^2 z \quad (4.3)$$

โดยที่

$$\nabla^2 z = \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงความชัน, Curvature}$$

จากสมการที่ 4.1 ถึง 4.3 เมื่อพิจารณาให้ความลึกของชั้นดินเท่ากับผลรวมของความลึกเริ่มต้นและอัตราการเปลี่ยนแปลงความลึกในช่วงเวลาที่พิจารณา ดังนั้นจึงพอประมาณได้ว่า ความลึกของชั้นดินมีความสัมพันธ์กับความลาดชันของพื้นที่

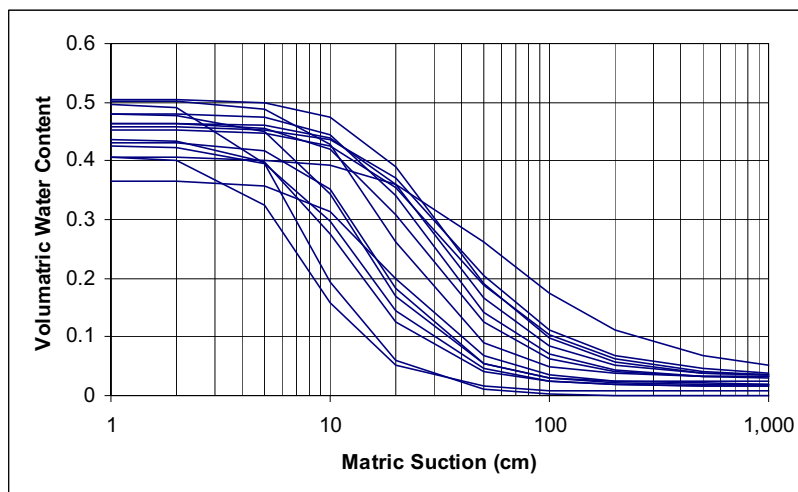
ดังนั้นเมื่อนำผลการสำรวจความลึกของชั้นดินในสนามบริเวณที่มีการเปิดหน้าดิน และบริเวณที่เคยเกิดแผ่นดินถล่มจากภาคผนวก ก.1 เปรียบเทียบกับข้อมูลความลาดชันจากแผนที่ความลาดชัน ดังแสดงในรูปที่ 4-7 สามารถประมาณความลึกของชั้นดินได้



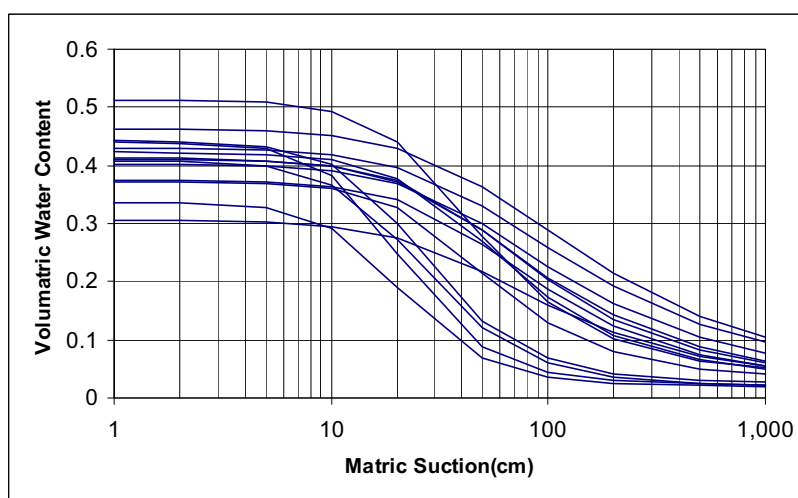
รูปที่ 4-7 ข้อมูลความลึกเปรียบเทียบกับความชันในพื้นที่ศึกษา

2. ข้อมูลคุณสมบัติดินเกี่ยวกับการระบายน้ำ

- คุณสมบัติของดินเกี่ยวกับการระบายน้ำได้แก่ Soil-Water Characteristic Curve (SWCC) และ Permeability Function (PF) เป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน ซึ่งมีความสัมพันธ์แรงดึงน้ำในมวลดิน โดยสร้างรูปแบบความสัมพันธ์ตามแบบจำลองของ Fredlund & Xing (1994) โดยใช้วิธีที่เสนอโดย Zapata (1999) จากขนาดผลของเม็ดดิน และผลการทดสอบ Atterberg's Limits จากนั้นจึงแปลงรูปแบบความสัมพันธ์ตามแบบจำลองของ Van Genuchten (1980) ดังแสดงในภาคผนวก ก.7 และสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 4-8



ก. กลุ่มหินแกรนิต

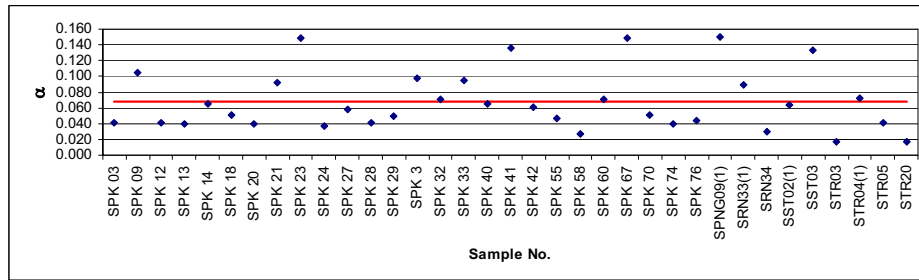


ข. กลุ่มดินตะกอน

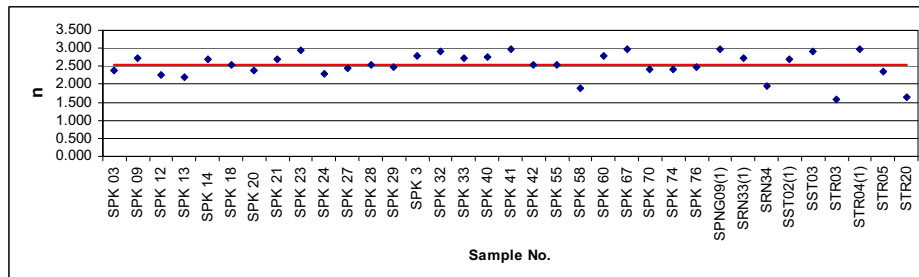
รูปที่ 4-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในมวลดินและแรงดึงน้ำในดิน

- ความสามารถในการซึมผ่านน้ำของดินในสถานะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Hydraulic Conductivity, K_s) ประมาณค่าจากคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ช่องว่างระหว่างเม็ดดิน และขนาดคละของเม็ดดิน ด้วยวิธีที่เสนอโดย M. Mbonimpa et al. (2002)

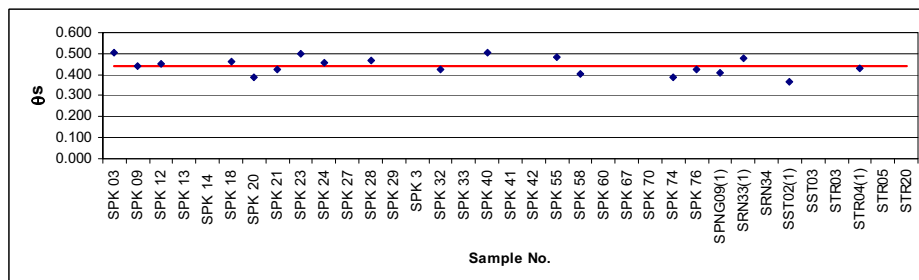
ผลการวิเคราะห์ค่า Parameter ในแบบจำลองของ van Genuchten (1980) และค่า K_s ดังแสดงในภาคผนวก ก. 7 สามารถแสดงการกระจายตัวของข้อมูลได้ดังรูปที่ 4-9 และ 4-10 ซึ่งสามารถสรุปค่า Parameter ได้ดังแสดงในตารางที่ 4-2 จากผลการจำแนกชนิดของดินโดยวิธี พบว่าในกลุ่มของหินแกรนิตจะเป็นดินในกลุ่มของ Sand เป็นส่วนมากและมีกลุ่มของ Sandy Loam บางส่วน ส่วนในกลุ่มของดินตะกอนจะเป็นดินในกลุ่มของ Sandy Loam มากกว่า Sand เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยตามชนิดดินซึ่งจำแนกโดยวิธีของ USDA (Carsel and Parrish, 1988) ในตารางที่ 4-3 พบว่าใกล้เคียงกัน



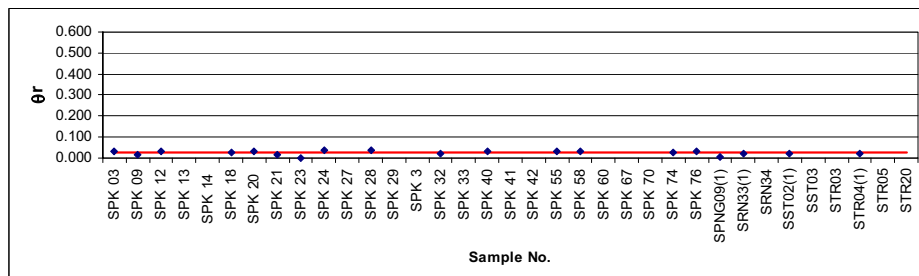
ก. Shape Parameter- α



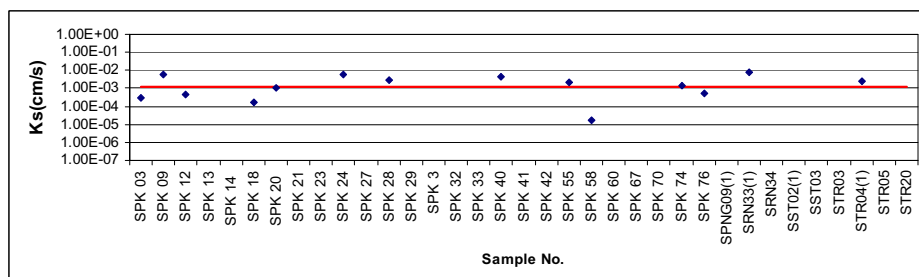
ข. Shape Parameter- n



ค. Saturated Volumetric Water Content

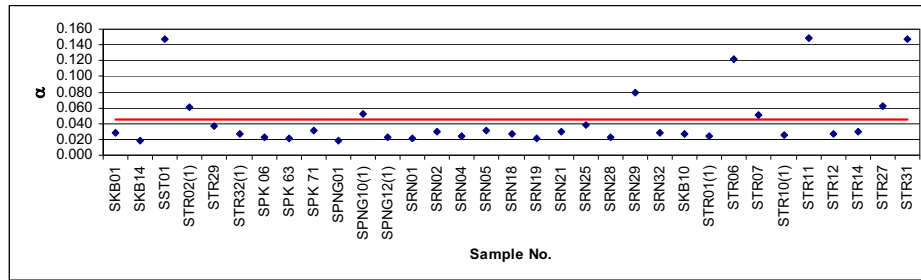


ง. Residual Volumetric Water Content

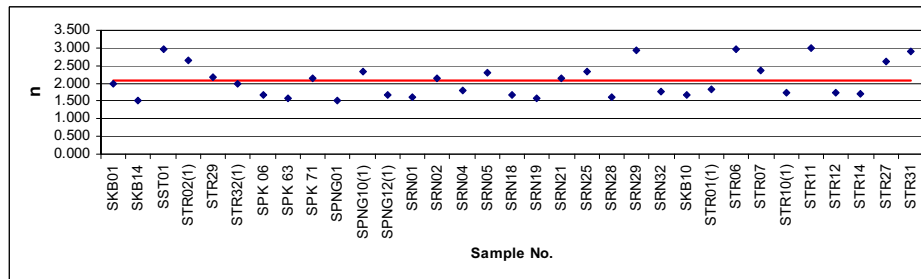


จ. Saturated Hydraulic Conductivity

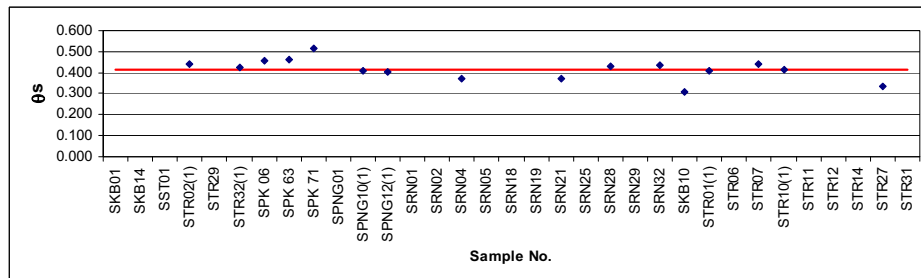
รูปที่ 4-9 การกระจายตัวของค่า Parameter เกี่ยวกับการระบายน้ำของดินในกลุ่มหินแกรนิต



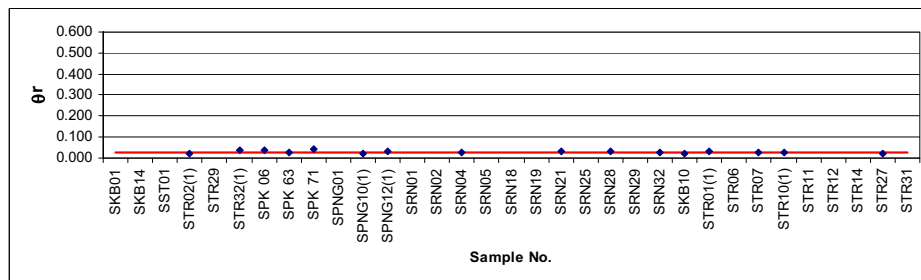
ก. Shape Parameter- α



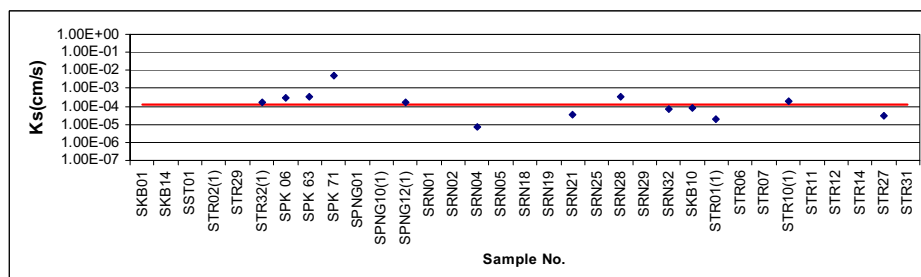
ข. Shape Parameter-n



ค. Saturated Volumetric Water Content



ง. Residual Volumetric Water Content



จ. Saturated Hydraulic Conductivity

รูปที่ 4-10 การกระจายตัวของค่า Parameter เกี่ยวกับการระบายน้ำของดินในกลุ่มหินตะกอน

ตารางที่ 4-2 คุณสมบัติการระบายน้ำของดิน

Geology	Soil Type	θ_s	θ_r	α	n	Ksat cm/sec
Granite	Sand , Sandy loam	0.443	0.025	0.068	2.533	1.16E-03
Non-granite	Sand , Sandy loam	0.414	0.029	0.045	2.078	1.17E-04

ตารางที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยของ Parameter ในแบบจำลองของ van Genuchten (Carsel and Parrish, 1988)

Texture	θ_s	θ_r	α	n	Ks (cm/sec)
Sand	0.430	0.045	0.145	2.680	8.25E-03
Loamy sand	0.410	0.057	0.124	2.280	4.05E-03
Sandy loam	0.410	0.065	0.075	1.890	1.23E-03
Loam	0.430	0.078	0.036	1.560	2.89E-04
Silt	0.460	0.034	0.016	1.370	6.94E-05
Silt loam	0.450	0.067	0.020	1.410	1.25E-04
Sandy clay loam	0.390	0.100	0.059	1.480	3.64E-04
Clay loam	0.410	0.095	0.019	1.310	7.22E-05
Silty clay loam	0.430	0.089	0.010	1.230	1.94E-05
Sandy clay	0.380	0.100	0.027	1.230	3.33E-05
Silty clay loam	0.360	0.070	0.005	1.090	5.56E-06
Clay	0.380	0.068	0.008	1.090	5.56E-05

4.1.3 การกำหนดค่า Parameter

ภายหลังจากที่ได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลปัจจัยอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ศึกษาแล้ว ดำเนินการกำหนดค่า Parameter เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป Parameter ดังกล่าวประกอบด้วย

- กำลังรับแรงเฉือน และความหนาแน่นของชั้นดินที่ระดับความอิ่มตัวของน้ำต่างๆ โดยจำแนกตามกลุ่มหิน ดังตารางที่ 4-4
- ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน จำแนกตามพืชพรรณ ดังตารางที่ 4-5
- ความลาดชัน ดังตารางที่ 4-6
- คุณสมบัติด้านการระบายน้ำของดิน ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-4 ค่า Parameter กำลังรับแรงเฉือนของดิน

Rock Type	Symbol	Degree of Saturation(%)	C_MEAN (T/m ²)	C_STDEV	PHI_MEAN (°)	PHI_STDEV	DENSITY (T/m ³)
Granite	R1_01	100	0.714	0.972	37.84	4.49	1.915
	R1_02	95	1.056	0.899	37.84	4.49	1.892
	R1_03	90	1.416	0.826	37.84	4.49	1.870
	R1_04	85	1.797	0.755	37.84	4.49	1.848
	R1_05	80	2.201	0.688	37.84	4.49	1.825
Non-granite	R2_01	100	1.997	3.703	39.24	7.36	1.960
	R2_02	95	2.367	3.247	39.24	7.36	1.939
	R2_03	90	2.757	2.804	39.24	7.36	1.918
	R2_04	85	3.169	2.402	39.24	7.36	1.897
	R2_05	80	3.606	2.091	39.24	7.36	1.876

ตารางที่ 4-5 ค่า Parameter ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน

Detail	Symbol	CR_MIN	CR_MAX	RDP_MIN	RDP_MAX
Tropical Evergreen Forest	L1	0.17	0.46	0.00	1.50
Secondary Forest	L2	0.08	0.24	0.00	0.80
Agricultural Crops	L3	0.09	0.35	0.00	1.50
พื้นที่เปิดโล่ง	L4	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 4-6 ค่า Parameter ความลาดชัน

Slope Range	Symbol	Slope		DEP_MIN (m)	DEP_MAX (m)
		MIN	MAX		
>85°	S01	85	89	0.10	0.10
80-85°	S02	80	85	0.10	0.10
75-80°	S03	75	80	0.10	0.50
70-75°	S04	70	75	0.10	0.50
65-70°	S05	65	70	0.10	1.00
60-65°	S06	60	65	0.10	1.00
55-60°	S07	55	60	0.10	1.50
50-55°	S08	50	55	0.10	1.50
45-50°	S09	45	50	0.10	2.00
40-45°	S10	40	45	0.10	2.00
35-40°	S11	35	40	0.10	3.00
30-35°	S12	30	35	0.10	3.00

ตารางที่ 4-7 ค่า Parameter การระบายน้ำของดิน (van Genuchten, 1980)

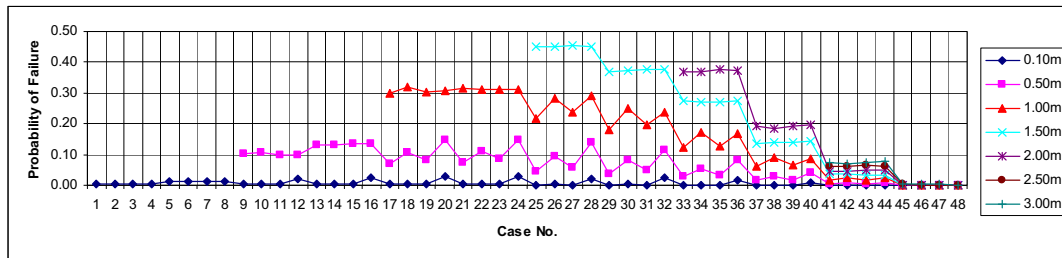
Geology	θ_s	θ_r	α	n	Ksat cm/sec
Granite	0.443	0.025	0.068	2.533	1.16E-03
Non-granite	0.414	0.029	0.045	2.078	1.17E-04

4.2 ผลการวิเคราะห์

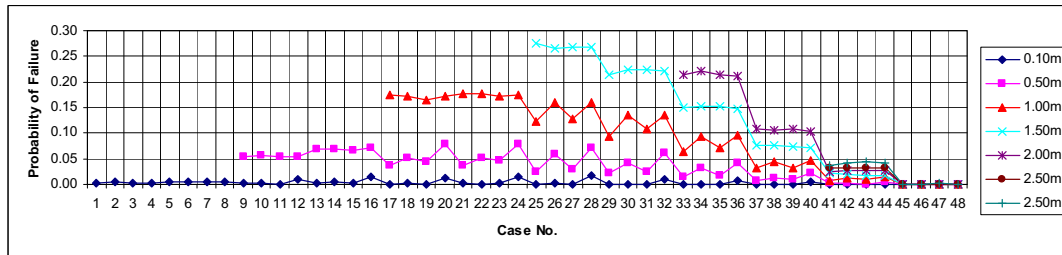
ในขั้นตอนการวิเคราะห์ แยกดำเนินการได้ 3 ส่วน ได้แก่การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน และการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง

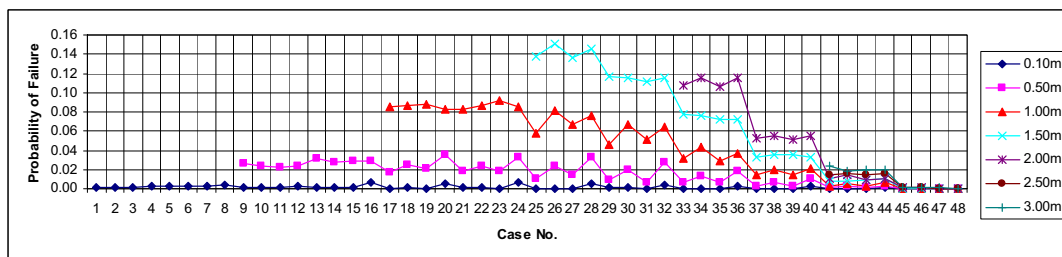
ทำการวิเคราะห์โดยการจำแนกประเภท หรือลักษณะของพื้นที่ตามค่า Parameter ที่เป็นปัจจัยอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ใช้ค่า Parameter ด้วยการสุ่มค่าโดยวิธี Monte Carlo Simulation (MCS) จากช่วงชั้นของข้อมูลในตารางที่ 4-4 ถึง 4-6 การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียงดำเนินการโดยวิธีขีดจำกัดสมดุล (Limit Equilibrium) และกำหนดรูปแบบการพิบัติเป็นแบบลาดอนันต์ (Infinite Slope) วิเคราะห์ที่ระดับความลึกทุกๆ 0.50 เมตร ที่ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ 80%, 85%, 90%, 95% และ 100% ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปของอัตราส่วนปลอดภัยเฉลี่ย (FS) และโอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียงดังแสดงในภาคผนวก ข.1 และสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 4-11 และ 4-12



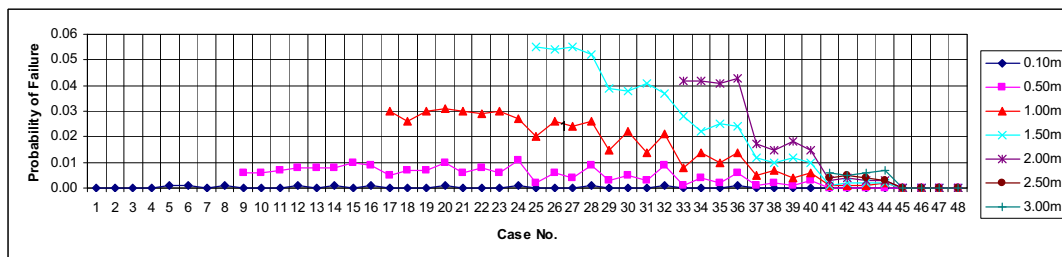
ก. ระดับความอิ่มตัวของน้ำในมวลดิน = 100%



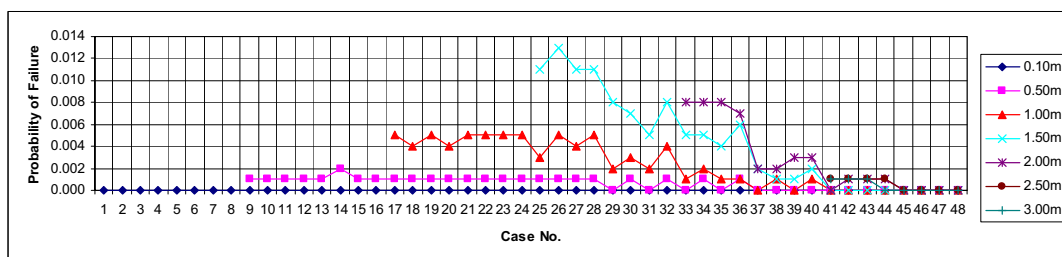
ข. ระดับความอิ่มตัวของน้ำในมวลดิน = 95%



ค. ระดับความอิ่มตัวของน้ำในมวลดิน = 90%

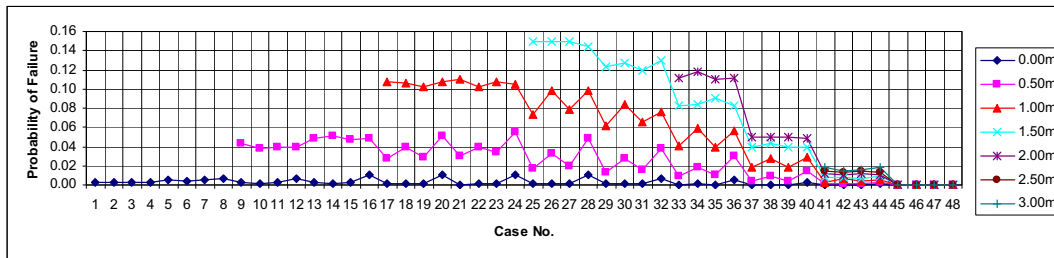


ง. ระดับความอิ่มตัวของน้ำในมวลดิน = 85%

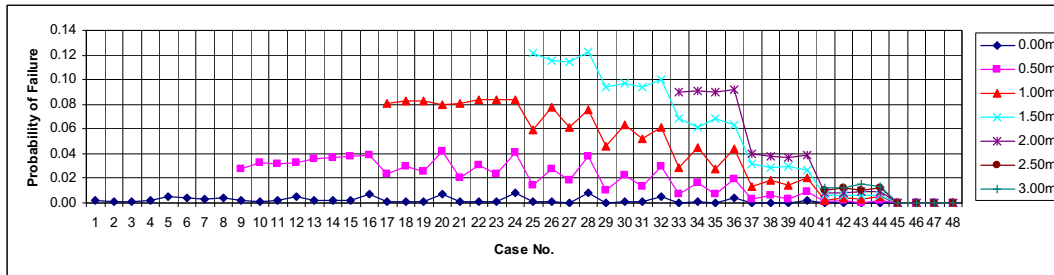


จ. ระดับความอิ่มตัวของน้ำในมวลดิน = 80%

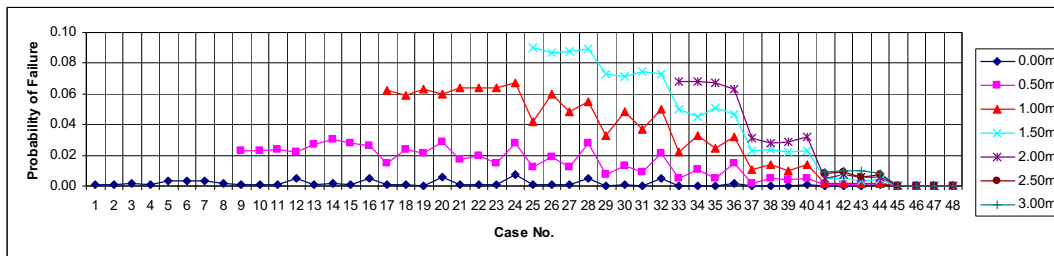
รูปที่ 4-11 ผลการวิเคราะห์โอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียงของดินในกลุ่มหินแกรนิต



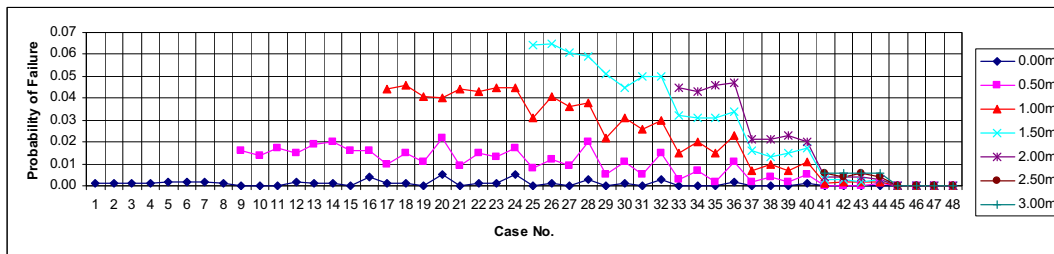
ก. ระดับความอิ่มตัวของน้ำในมวลดิน = 100%



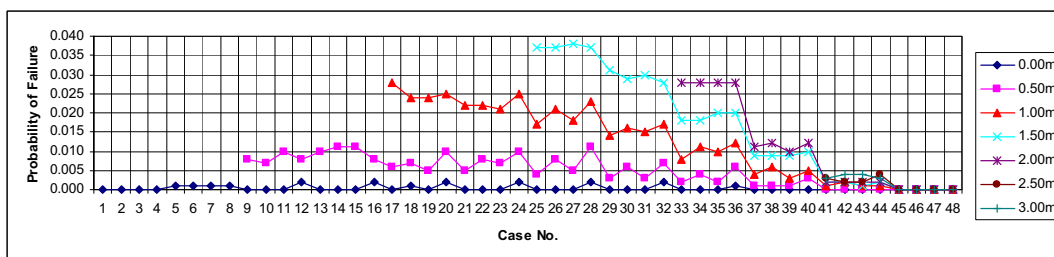
ข. ระดับความอิ่มตัวของน้ำในมวลดิน = 95%



ค. ระดับความอิ่มตัวของน้ำในมวลดิน = 90%



ง. ระดับความอิ่มตัวของน้ำในมวลดิน = 85%



จ. ระดับความอิ่มตัวของน้ำในมวลดิน = 80%

รูปที่ 4-12 ผลการวิเคราะห์โอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียงของดินในกลุ่มหินตะกอน

ผลการวิเคราะห์พบว่าลาดเอียงเริ่มมีโอกาสดเกิดการพิบัติเมื่อ ดินมีระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ 80% ขึ้นไป โดยในกลุ่มหินแกรนิตมีโอกาสดเกิดการพิบัติประมาณ 0.45 และในกลุ่มหินตะกอนประมาณ 0.15

4.2.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน

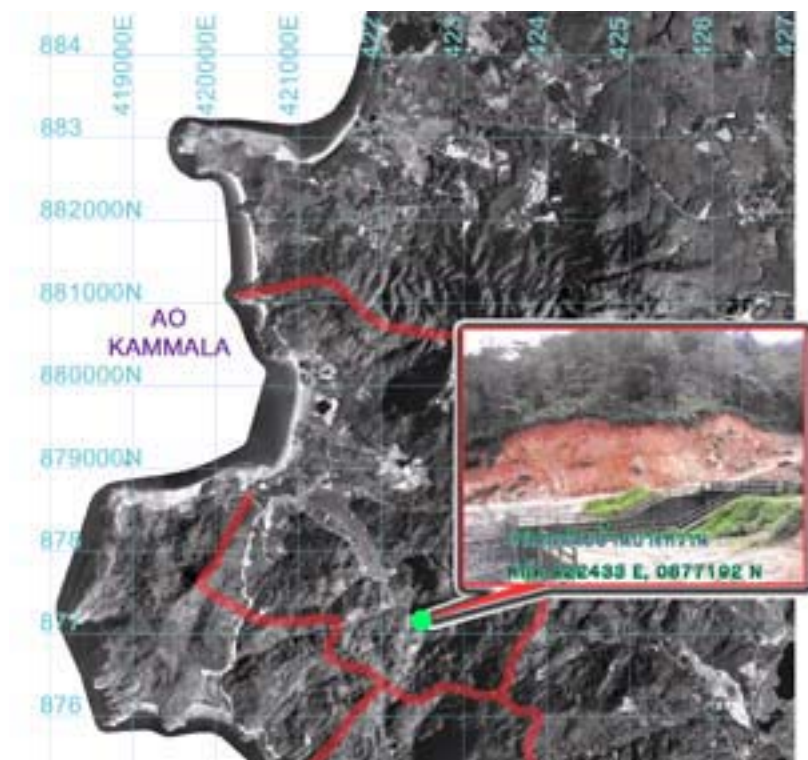
พิจารณาชั้นดินเป็นดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Soil) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการระบายน้ำของดิน และรูปแบบของฝน การวิเคราะห์มีขั้นตอนดังนี้

1. การเลือกแบบจำลองในการวิเคราะห์

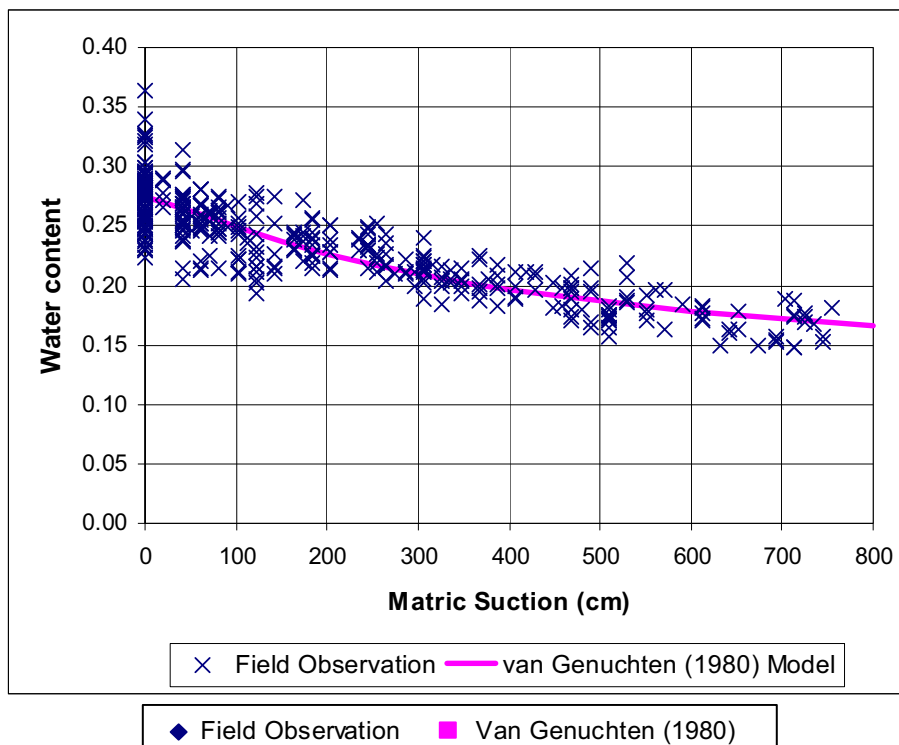
กำหนดรูปแบบของ SWCC และ PF ด้วยแบบจำลองของ van Genuchten (1980) วิเคราะห์การไหลซึมของน้ำผ่านมวลดินโดยวิธี Finite Difference แบบทิศทางเดียวในแนวดิ่ง ทดสอบแบบจำลองโดยทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินในพื้นที่ไหลเขาเหนืออ่างกมลจางหวัดภูเก็ต ดังแสดงในรูปที่ 4-13 ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาในโครงการ “ศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มในจังหวัดภูเก็ต” ซึ่งมีผลการตรวจวัดความชื้น และแรงดึงน้ำในดิน (Matric Suction) ในช่วงปี พ.ศ. 2546 – 2547 ดังแสดงในภาคผนวก ข.2

สร้างความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น และแรงดึงน้ำในดิน จากข้อมูลตรวจวัดในสนามดังแสดงในรูปที่ 4-14 ประมาณค่า Parameter ในแบบจำลองของ van Genuchten (1980) ดังแสดงในรูปที่ 4-15 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินโดยเลือกช่วงระยะเวลา 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงวันที่ 27 ม.ค. 47 – 8 ก.พ. 47 ช่วงวันที่ 24 พ.ค. 47 – 5 มิ.ย. 47 และช่วงวันที่ 30 ก.ย. 47 – 18 ต.ค. 47 ดังรูปที่ 4-16

ในการวิเคราะห์จะทดลองปรับเปลี่ยนค่าความสามารถในการซึมผ่านของดินที่ระดับอิ่มตัว (K_s) ลดลง 10% และเพิ่มขึ้น 10%, 15% และ 20% ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 4-17 ถึง 4-19 ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองมีลักษณะสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้ในสนาม ถึงแม้ว่าจะมีขนาดไม่เท่ากัน แต่เมื่อทดลองปรับเปลี่ยนค่า Parameter พบว่ามีค่าใกล้เคียงมากขึ้น ซึ่งกล่าวได้ว่า ความคลาดเคลื่อนของผลวิเคราะห์เกิดขึ้นเนื่องจากการกำหนดค่า Parameter ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถใช้แบบจำลองนี้ในการวิเคราะห์ได้

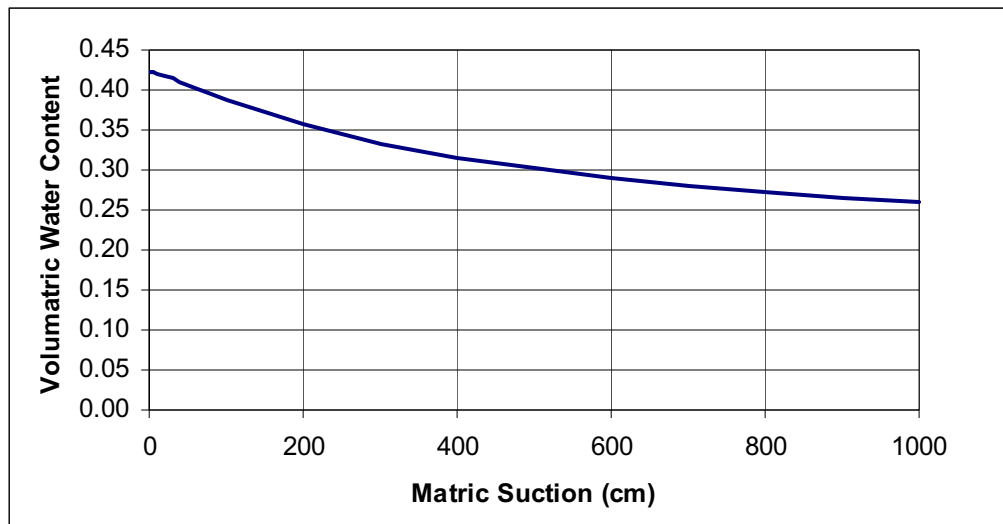


รูปที่ 4-13 ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ทดสอบแบบจำลองบริเวณไหล่เขาเหนืออำเภอมล

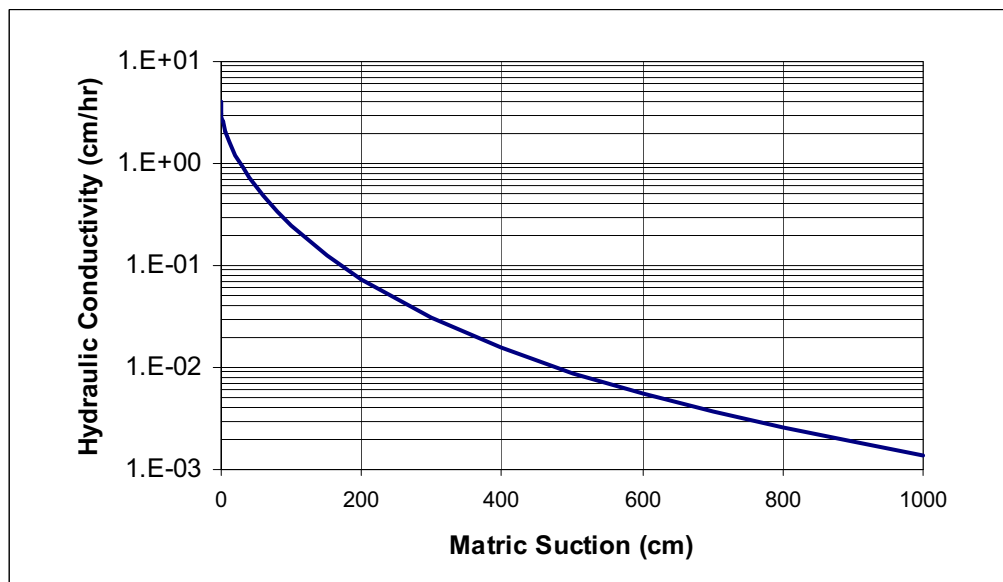


Parameter : $w_s = 0.274$, $w_r = 0.037$, $\alpha = 0.006$, $n = 1.361$

รูปที่ 4-14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content กับ Matric Suction



ก. Soil-Water Characteristic Curve (SWCC)

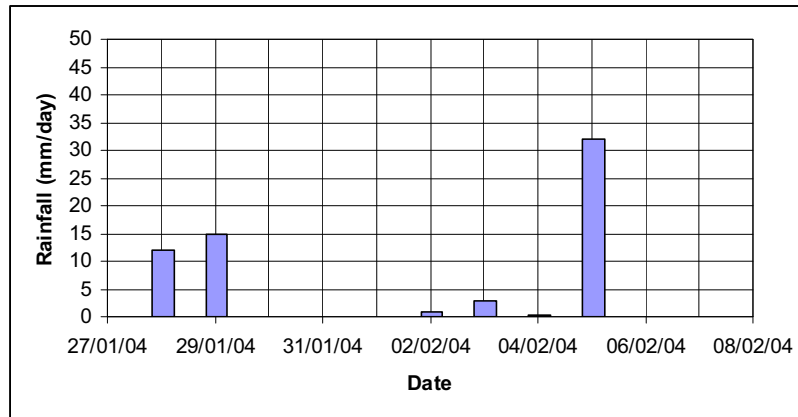


ข. Permeability Function (PF)

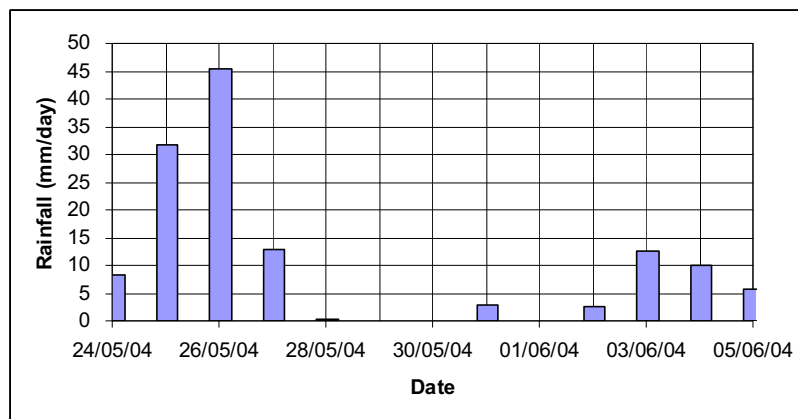
Van Genuchten (1980)'s Parameter

$\theta_s = 0.42$, $\theta_r = 0.09$, $\alpha = 0.006$, $n = 1.361$, $K_s = 4.063$ cm/hr

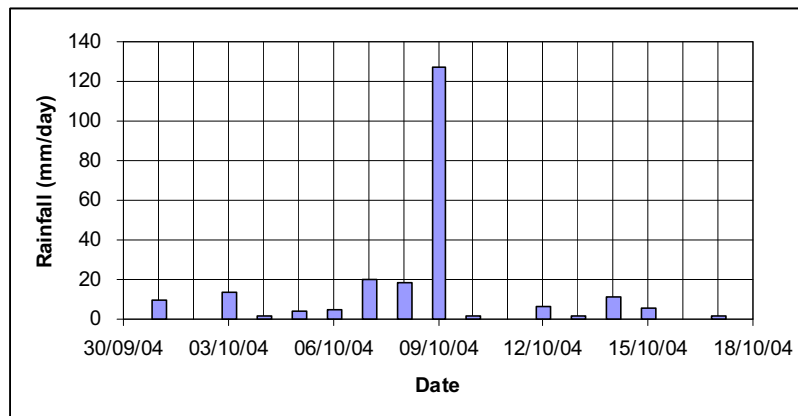
รูปที่ 4-15 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติการระบายน้ำตามแบบจำลองของ van Genuchten (1980)



ก. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงระหว่างวันที่ 27 ม.ค. 47 – 8 ก.พ. 47

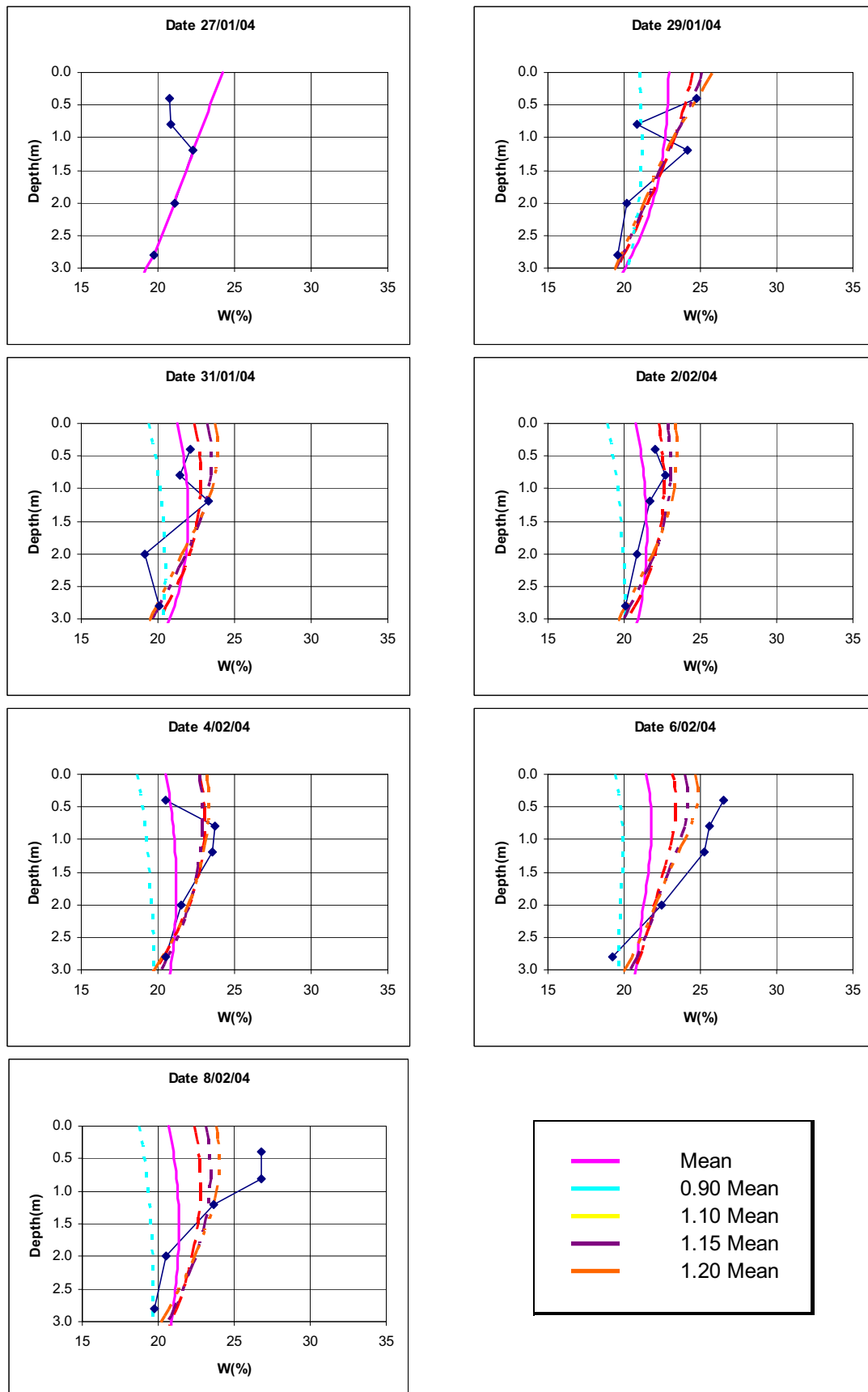


ข. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงระหว่างวันที่ 24 พ.ค. 47 – 5 มิ.ย. 47

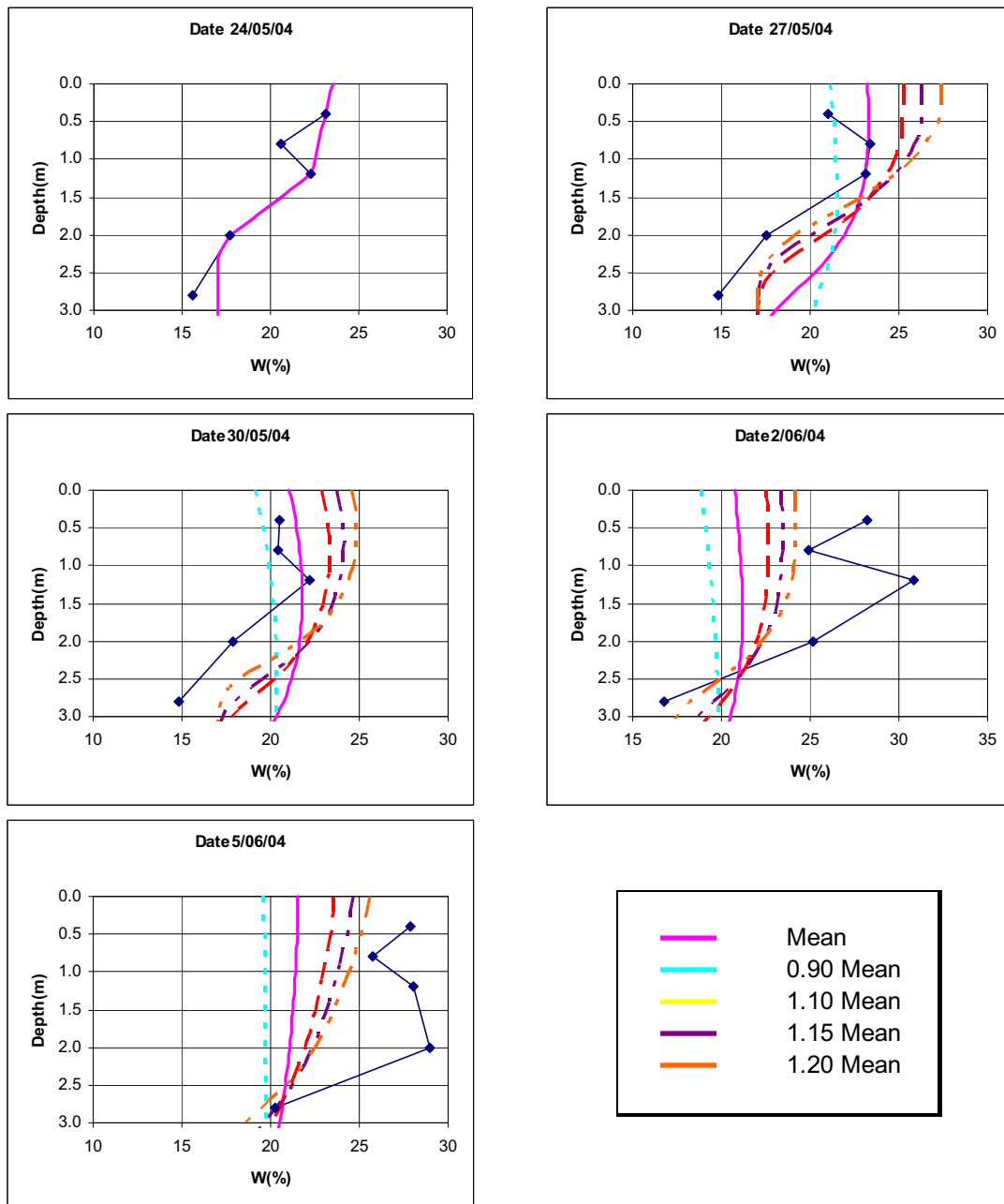


ค. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงระหว่างวันที่ 30 ก.ย. 47 – 18 ต.ค. 47

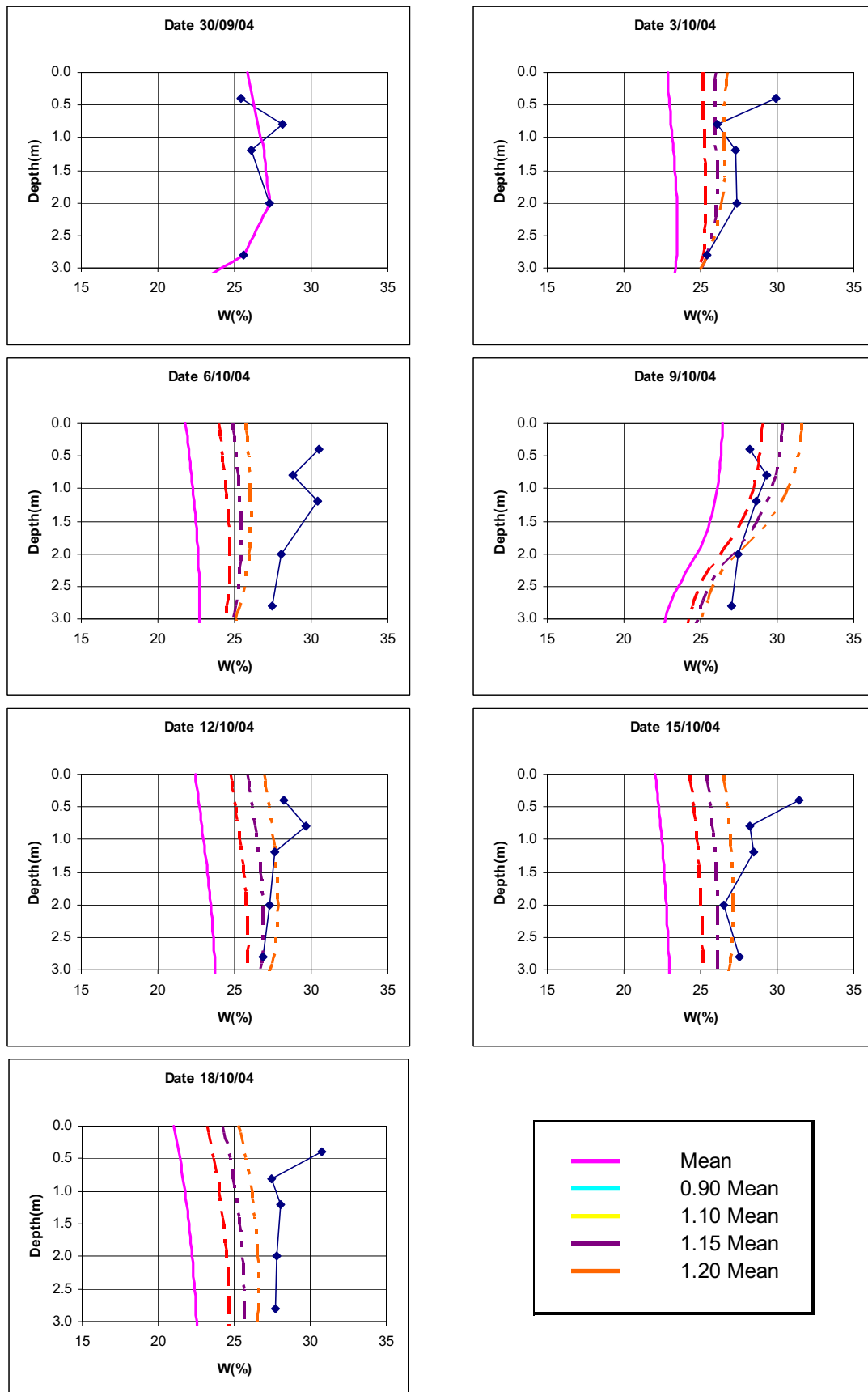
รูปที่ 4-16 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงที่ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับแบบจำลอง



รูปที่ 4-17 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเทียบกับผลการตรวจวัดในสนามในช่วง
ระหว่างวันที่ 27 ม.ค. 47 – 8 ก.พ. 47



รูปที่ 4-18 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเทียบกับผลการตรวจวัดในสนามในช่วง
ระหว่างวันที่ 24 พ.ค. 47 – 5 มิ.ย. 47



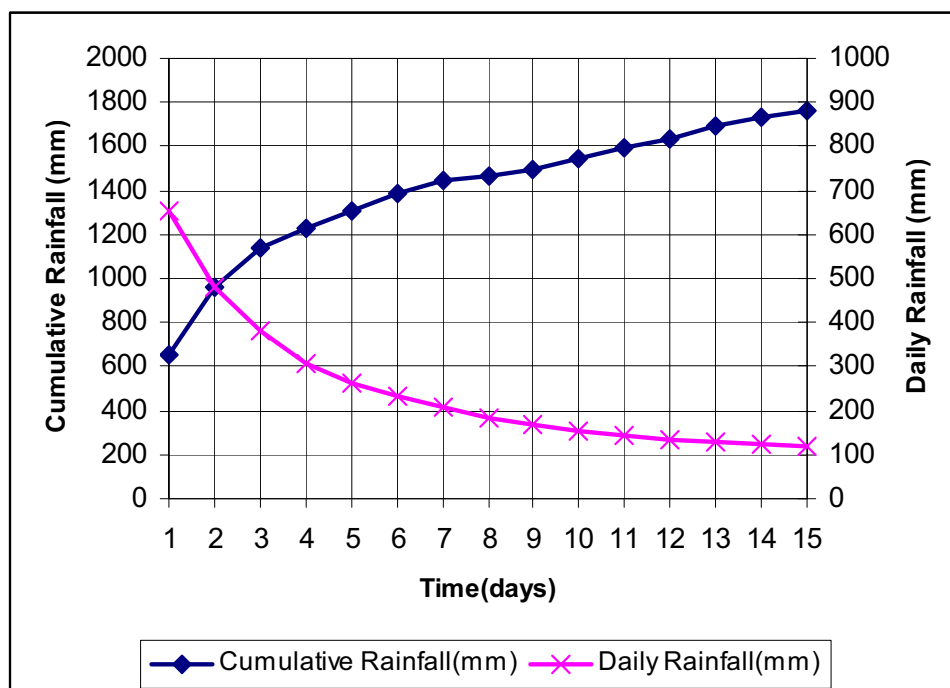
รูปที่ 4-19 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเทียบกับผลการตรวจวัดในสนามในช่วง
ระหว่างวันที่ 30 ก.ย. 47 – 18 ต.ค. 47

2. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลดิน

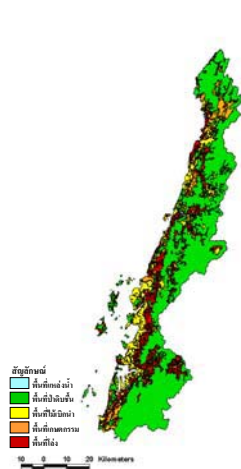
หลังจากเลือกแบบจำลองแล้ว ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลดินเนื่องจากฝนตก โดยกำหนดคุณสมบัติการระบายน้ำของดินจากตารางที่ 4-7 กำหนดช่วงเวลาของฝนตก 15 วัน กำหนดค่าปริมาณฝนสูงสุด จากสถานีที่วัดค่าน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา คำนวณปริมาณฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 100 ปี ดังแสดงในตารางที่ 4-8 และรูปที่ 4-20

ตารางที่ 4-8 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสมสูงสุดในรอบปีการเกิดซ้ำ 100 ปี ในพื้นที่ศึกษา

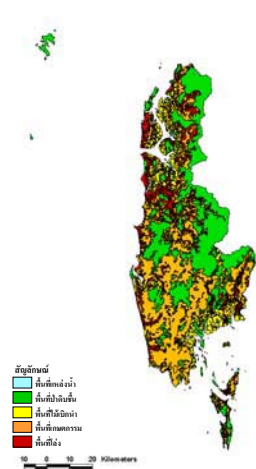
Duration (days)	Accumulate Rainfall (mm)	Rainfall Intensity (mm/day)
1	651.24	651.24
2	963.95	481.98
3	1139.16	379.72
4	1230.70	307.68
5	1302.27	260.45
6	1381.87	230.31
7	1445.43	206.49
8	1466.72	183.34
9	1498.78	166.53
10	1548.85	154.89
11	1596.43	145.13
12	1630.31	135.86
13	1688.37	129.87
14	1733.29	123.81
15	1763.10	117.54



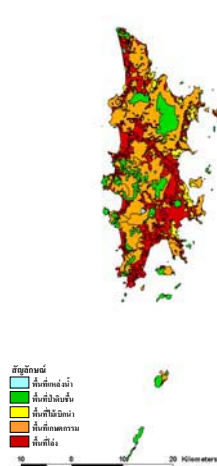
รูปที่ 4-20 แสดงปริมาณน้ำฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 100 ปี ในช่วงเวลาต่างๆ



ก. จังหวัดฉะเชิงเทรา



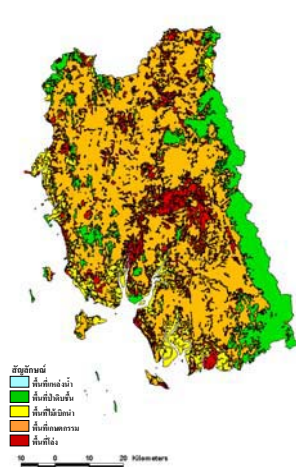
ข. จังหวัดพังงา



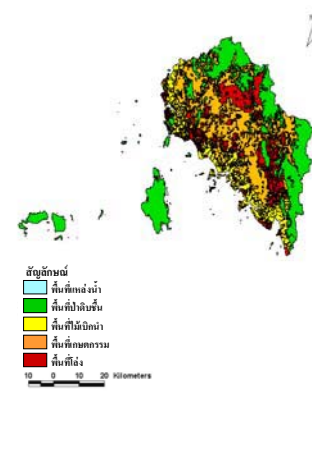
ค. จังหวัดกาฬสินธุ์



ง. จังหวัดกระบี่



จ. จังหวัดตรัง



ง. จังหวัดกระบี่

รูปที่ 4-2 แสดงลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละจังหวัด

ในการวิเคราะห์จะทำการสุ่มค่าปริมาณน้ำฝนโดยที่ค่าสูงสุดไม่เกิดค่าปริมาณน้ำฝนในแต่ละช่วงเวลาในตารางที่ 4-8 ช่วงเวลา 1, 2, 3, ... , 15 วัน รูปแบบของฝนจำนวน 1,000 รูปแบบ ผลการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข.3

3. เลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์โอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน สามารถกำหนดช่วงเวลาที่ฝนตกได้ โดยตั้งสมมติฐานว่า ช่วงเวลาฝนตกที่ใช้ในการแสดงปริมาณน้ำฝนซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงโอกาสเกิดแผ่นดินถลมนั้นจะต้องเป็นช่วงเวลาที่สั้นที่สุดเพื่อให้ได้รับอิทธิพลของรูปแบบฝนน้อยที่สุด และช่วงเวลาดังกล่าวจะต้องได้รับอิทธิพลของฝนก่อนหน้าน้อยที่สุด

จากสมมติฐานดังกล่าวจึงได้พิจารณาช่วงเวลาโดยดูจากช่วงเวลาที่ไม่มีฝนตกติดต่อกัน (ปริมาณฝนเท่ากับศูนย์) สั้นที่สุดที่ไม่ทำให้เกิด ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำของดินที่ทำให้มีโอกาสดังกล่าวเกิดขึ้น ในช่วงระดับความลึกที่พิจารณา

จากผลการวิเคราะห์เสถียรภาพและ โอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียง เทียบกับเกณฑ์ที่ตั้งขึ้น พบว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการระบุปริมาณน้ำฝนคือ 4 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4-21 และ 4-22

4. วิเคราะห์โอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน

เมื่อเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมได้แล้ว ทำการวิเคราะห์โอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินเนื่องจากฝนตกที่ปริมาณต่างๆ ที่ช่วงเวลา 4 วัน ซึ่งสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4-23 และ 4-24

4.2.3. วิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

จากผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง และวิเคราะห์โอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินเนื่องจากฝนตก การวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเป็นการนำผลการวิเคราะห์ทั้งสองส่วนมาวิเคราะห์ร่วมกัน โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

1. การวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มตามปริมาณฝนที่ตก

เป็นการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการเกิดการพิบัติของลาดเอียงเนื่องจากเหตุการณ์ฝนตกในกรณีต่างๆ โดยยังไม่ต้องคำนึงถึงความถี่หรือรอบปีการเกิดซ้ำของฝนกรณีนั้น เรียกว่าโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแบบผันแปร (Dynamic Landslide Hazard) ดังสมการที่ 4.4

$$P(L) = P(O) \times P(F) \quad (4.4)$$

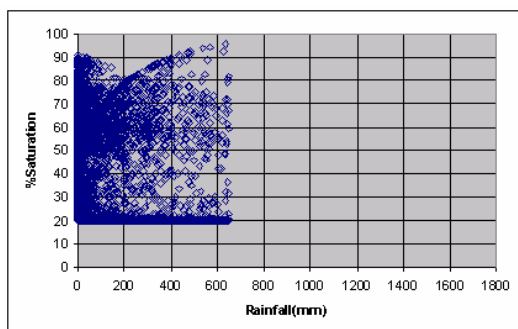
โดยที่

$P(L)$ = โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแบบผันแปร

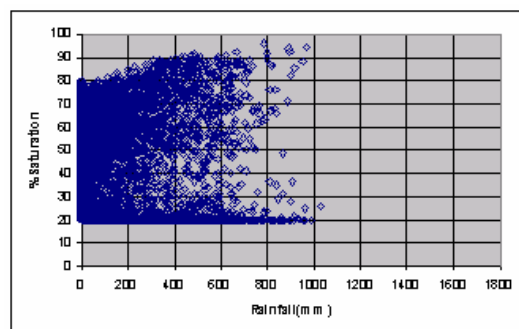
$P(O)$ = โอกาสที่จะเกิดปริมาณน้ำในมวลดินเนื่องจากฝนตกในกรณีที่พิจารณา

$P(F)$ = โอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียงเนื่องจากปริมาณน้ำในมวลดินที่เปลี่ยนแปลง

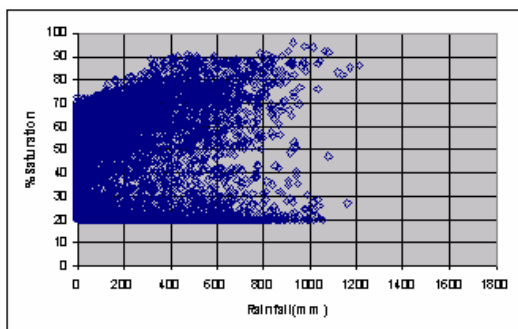
ผลการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข.4



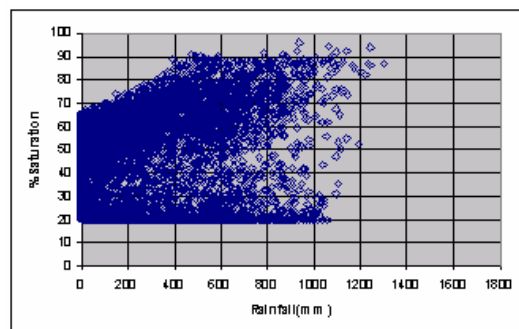
ก. ฝนตก 1 วัน



ข. ฝนตก 2 วัน

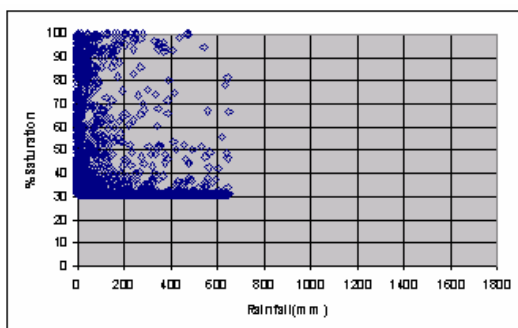


ค. ฝนตก 3 วัน

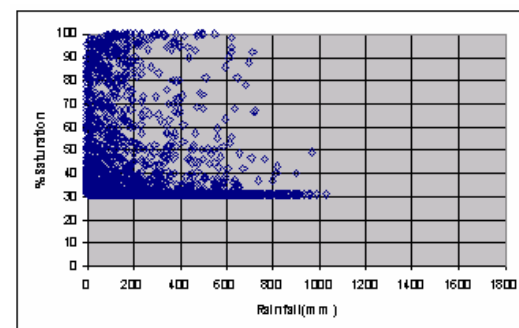


ง. ฝนตก 4 วัน

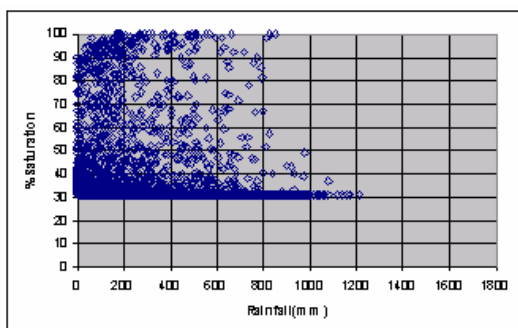
รูปที่ 4-21 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเนื่องจากฝนตกในช่วงเวลา 1-4 วันที่ความลึก 3.00 เมตร ในกลุ่มหินแกรนิต



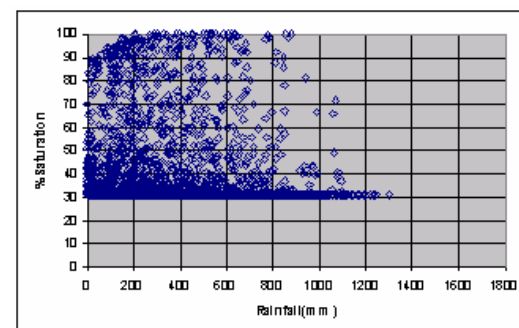
ก. ฝนตก 1 วัน



ข. ฝนตก 2 วัน

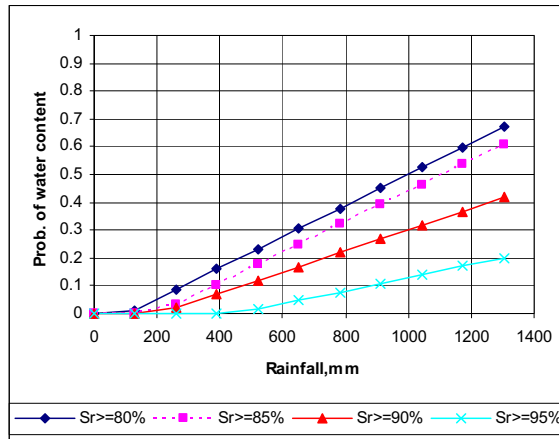


ค. ฝนตก 3 วัน

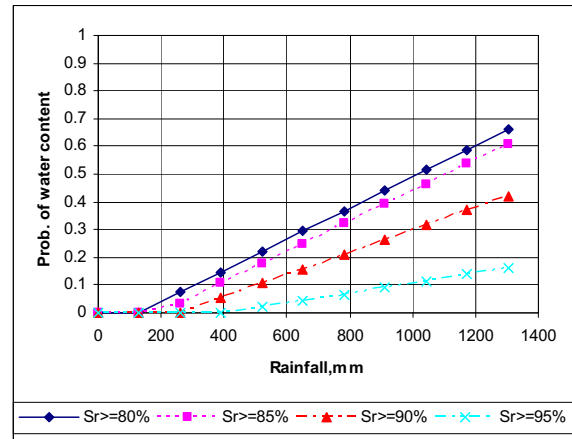


ง. ฝนตก 4 วัน

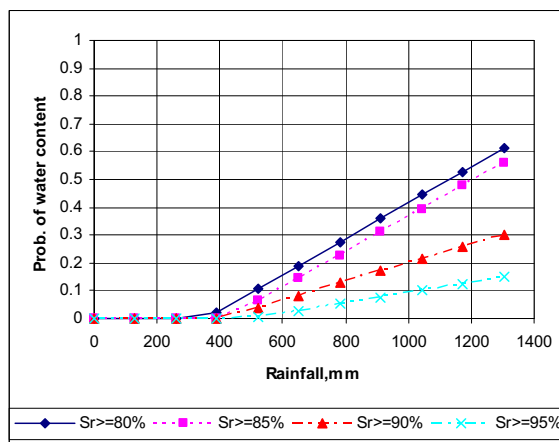
รูปที่ 4-22 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเนื่องจากฝนตกในช่วงเวลา 1-4 วันที่ความลึก 3.00 เมตร ในกลุ่มหินตะกอน



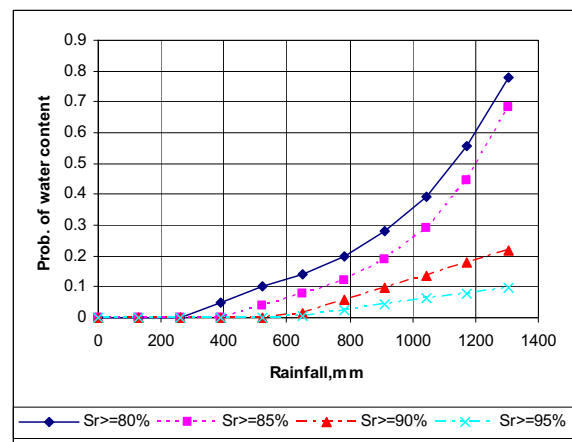
ก. ความลึก 0.50 เมตร



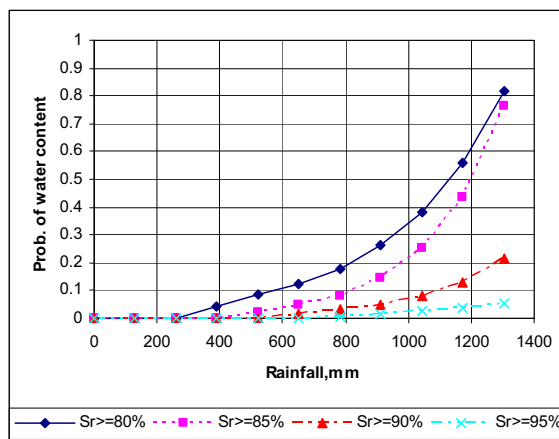
ข. ความลึก 1.00 เมตร



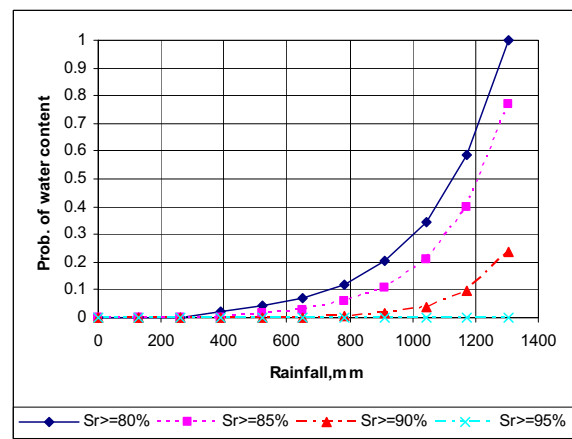
ค. ความลึก 1.50 เมตร



ง. ความลึก 2.00 เมตร

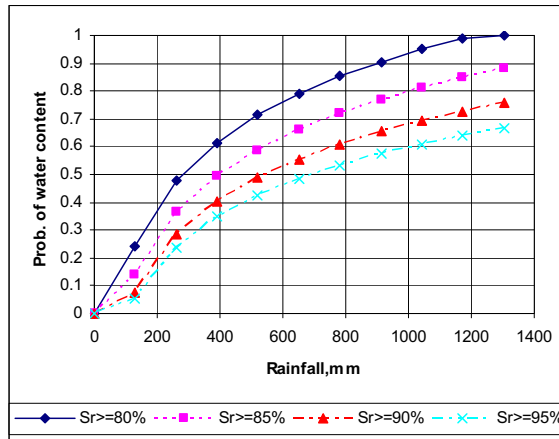


จ. ความลึก 2.50 เมตร

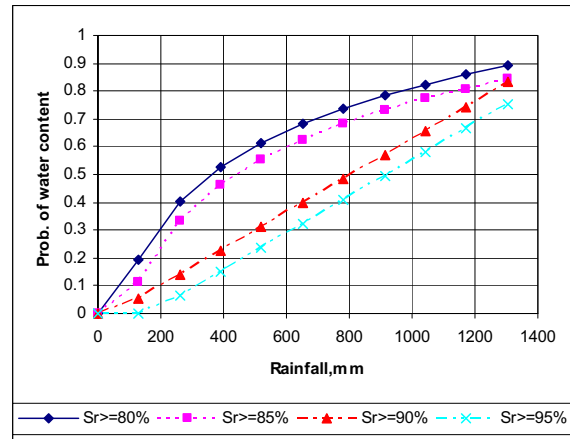


ฉ. ความลึก 3.00 เมตร

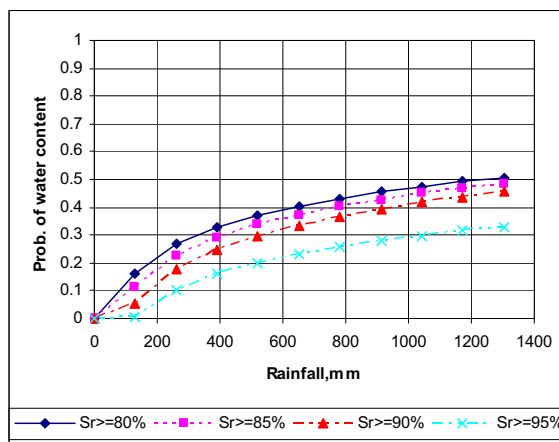
รูปที่ 4-23 โอกาสเกิดปริมาณความชื้นที่ปริมาณฝนต่างๆ ในช่วง 4 วันของดินในกลุ่มหินแกรนิต



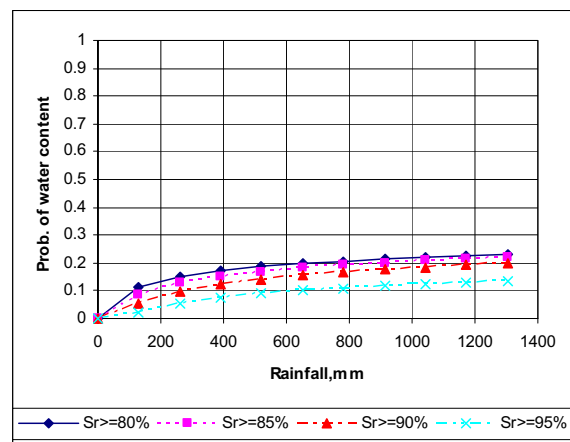
ก. ความลึก 0.50 เมตร



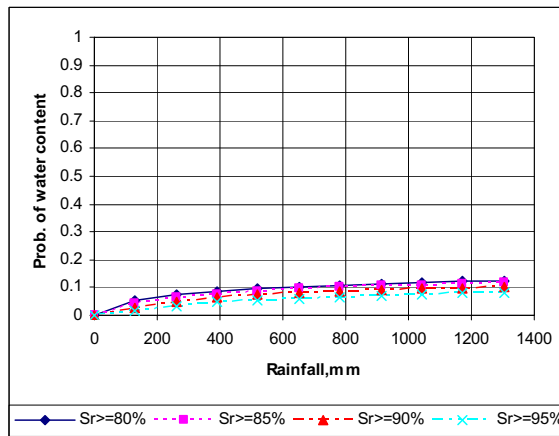
ข. ความลึก 1.00 เมตร



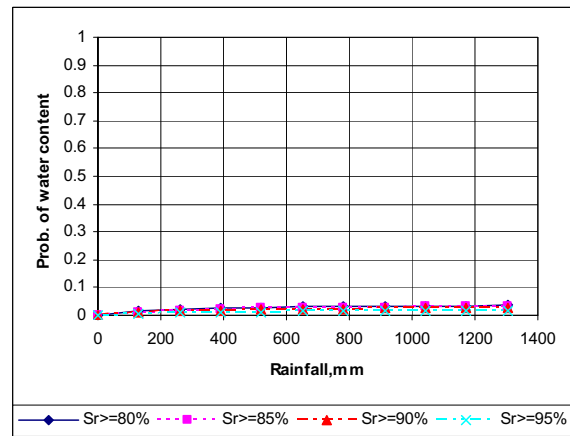
ค. ความลึก 1.50 เมตร



ง. ความลึก 2.00 เมตร



จ. ความลึก 2.50 เมตร



ฉ. ความลึก 3.00 เมตร

รูปที่ 4-24 โอกาสเกิดปริมาณความชื้นที่ปริมาณฝนต่างๆ ในช่วง 4 วันของดินในกลุ่มหินตะกอน

2. วิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มรายปี (Annual Hazard Landslide) เป็นการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นแบบผันแปร โดยพิจารณาถึงความถี่หรือรอบปีการเกิดซ้ำของฝนตกซึ่งเป็นปัจจัยกระตุ้นด้วย กล่าวคือ

$$P(La) = P(E) \times P(L) \quad (4.5)$$

หรือ

$$P(La) = P(E) \times P(O) \times P(F) \quad (4.6)$$

โดยที่

$P(La)$ = โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแบบรายปี

$P(E)$ = ความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ หรือรอบปีการเกิดซ้ำ

ผลการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข.4 และสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 4-25 และ 4-26

4.3 การจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

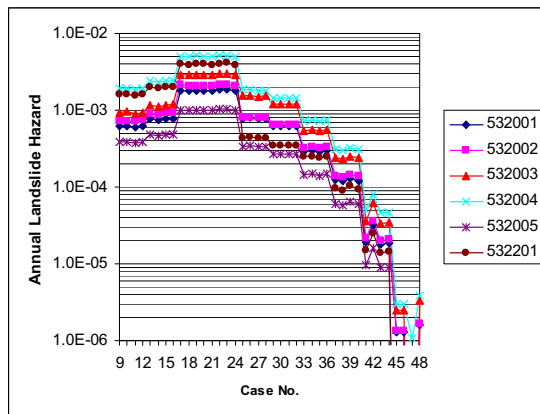
4.3.1 แผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

การจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม เป็นการจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มตามปัจจัยที่มีอิทธิพลในบริเวณต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา จากผลการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มข้างต้น สามารถจำแนกพื้นที่ศึกษาได้เป็น 96 กลุ่มเรียกว่า ความสามารถในการเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide Potential) ดังตัวอย่างในรูปที่ 4-27 ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนการจำแนกได้ดังแสดงในรูปที่ 4-28 ในแต่ละกลุ่มจะถูกวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มที่ปริมาณฝนต่างๆ ในช่วงเวลาที่กำหนด เมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับความถี่หรือรอบปีการเกิดซ้ำของฝน จะได้โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มรายปี ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4-29 ถึง 4-34

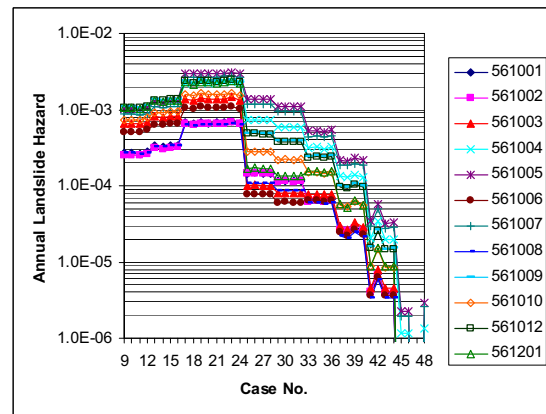
4.3.2. แผนที่พยากรณ์แผ่นดินถล่ม

แผนที่พยากรณ์แผ่นดินถล่มเป็นแผนที่แสดงถึงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณฝนที่เกิดขึ้น ซึ่งมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 4-35 โดยเริ่มจากการจำแนกพื้นที่ศึกษาตามความสามารถในการเกิดแผ่นดินถล่มออกเป็น 96 กลุ่ม กำหนดขอบเขตวิกฤต ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนตกลงหน้า (Antecedence Rainfall) และความชื้นน้ำฝน 24 ชั่วโมง เนื่องจากผลการวิเคราะห์ช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษาเท่ากับ 4 วัน ดังนั้นช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลปริมาณฝนตกลงหน้าจึงเท่ากับ 3 วัน

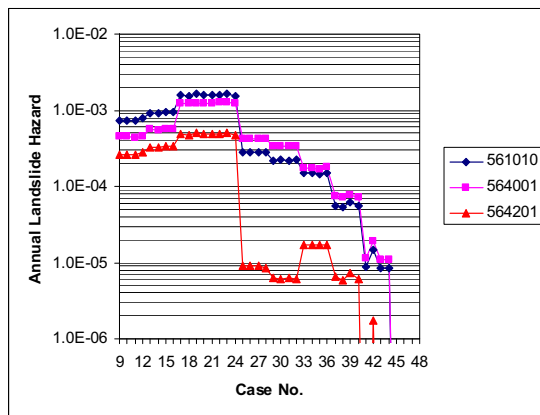
การกำหนดขอบเขตวิกฤต ดำเนินการโดยการพล็อตค่าโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มที่สัมพันธ์กับปริมาณฝนตกลงหน้า 3 วัน และความชื้นน้ำฝน 24 ชั่วโมง โดยกำหนดช่วงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มที่พล็อตเป็นช่วงเดียวกันกับขอบเขตวิกฤต ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้กำหนดช่วงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 ดังแสดงในรูปที่ 4-36 และ 4-37



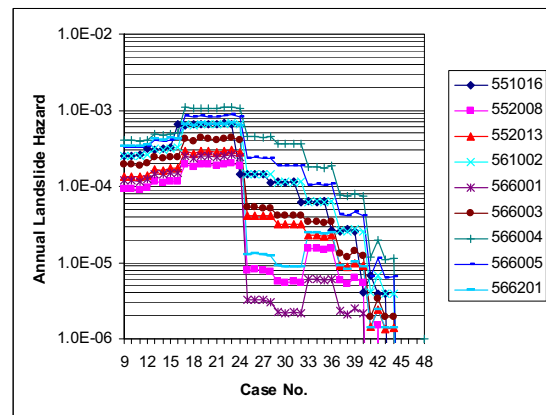
ก. ระนอง



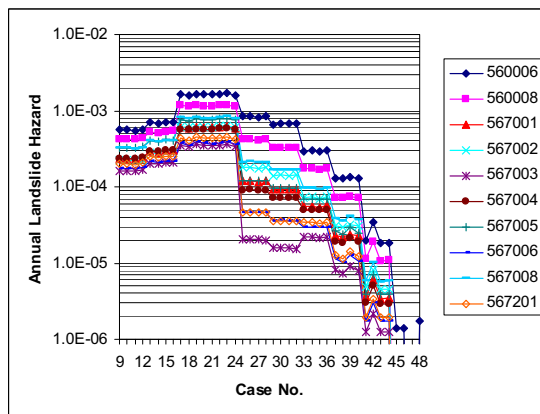
ข. พังงา



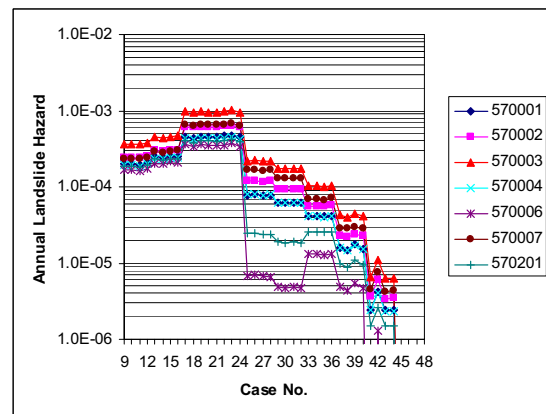
ค. ภูเก็ต



ง. กระบี่

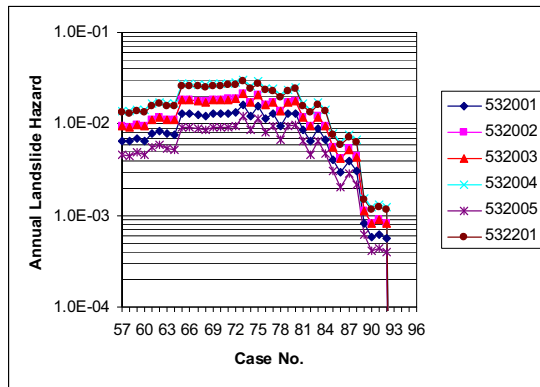


จ. ตรัง

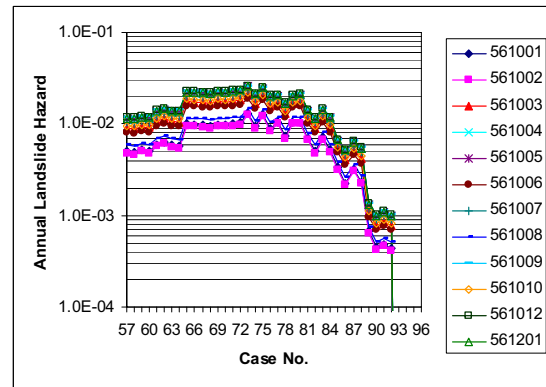


ฉ. สตูล

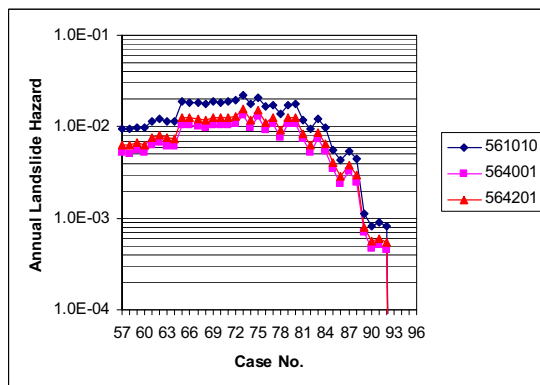
รูปที่ 4-25 แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มรายปีของดินในกลุ่มหินแกรนิต



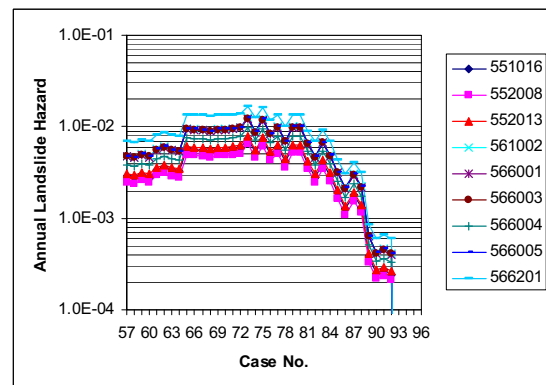
ก. ระนอง



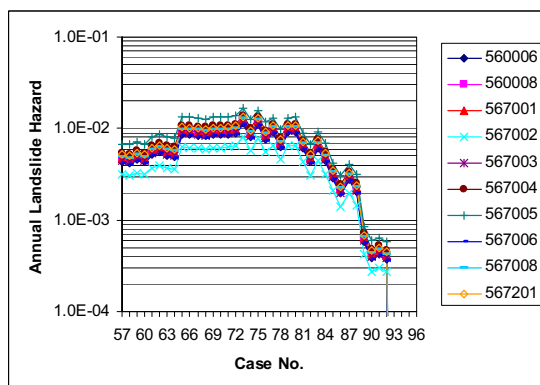
ข. พังงา



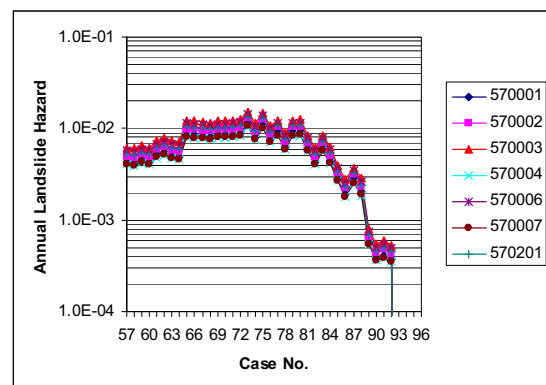
ค. ภูเก็ต



ง. กระบี่



จ. ตรัง



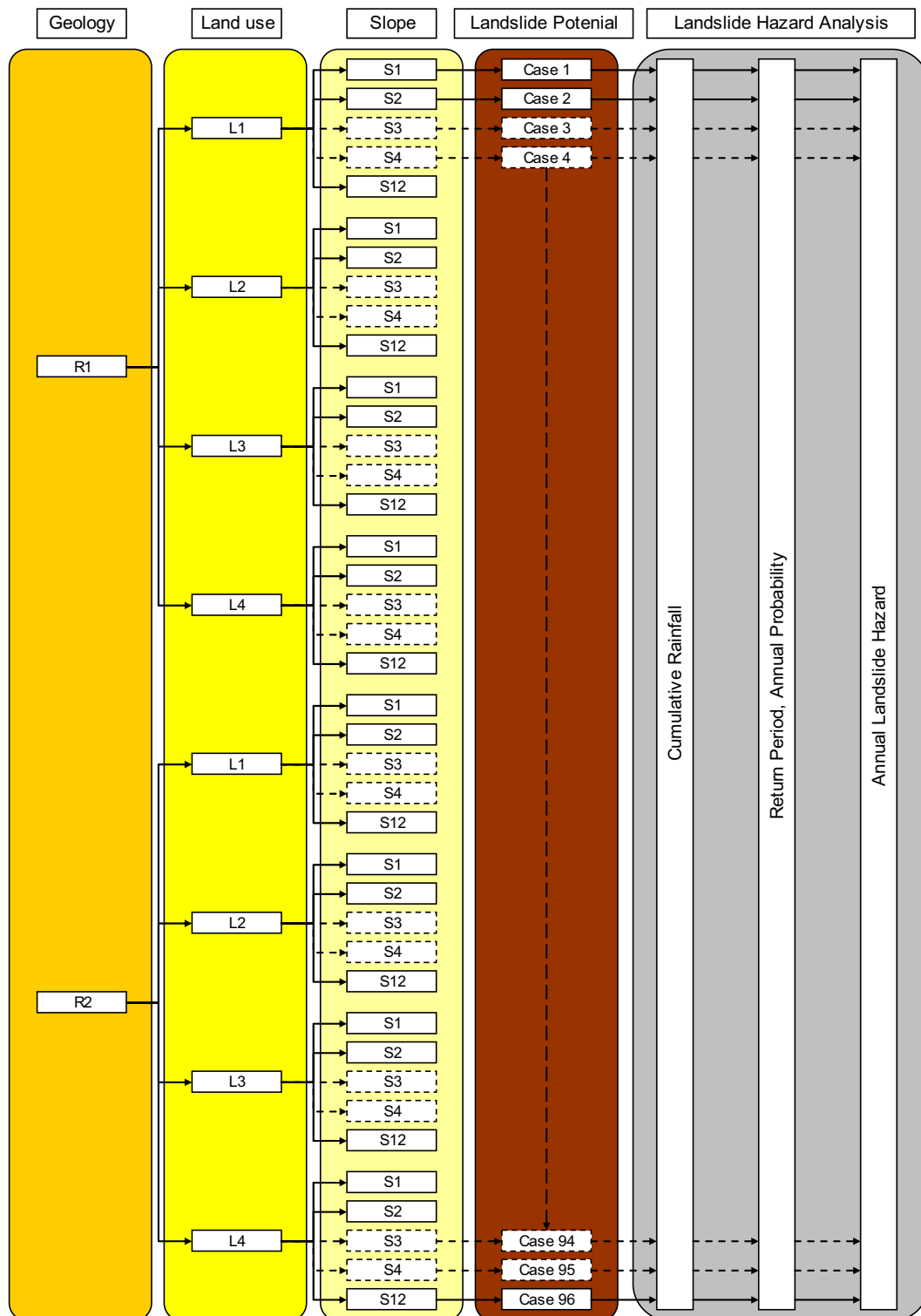
ฉ. สตูล

รูปที่ 4-26 แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มรายปีของดินในกลุ่มหินตะกอน

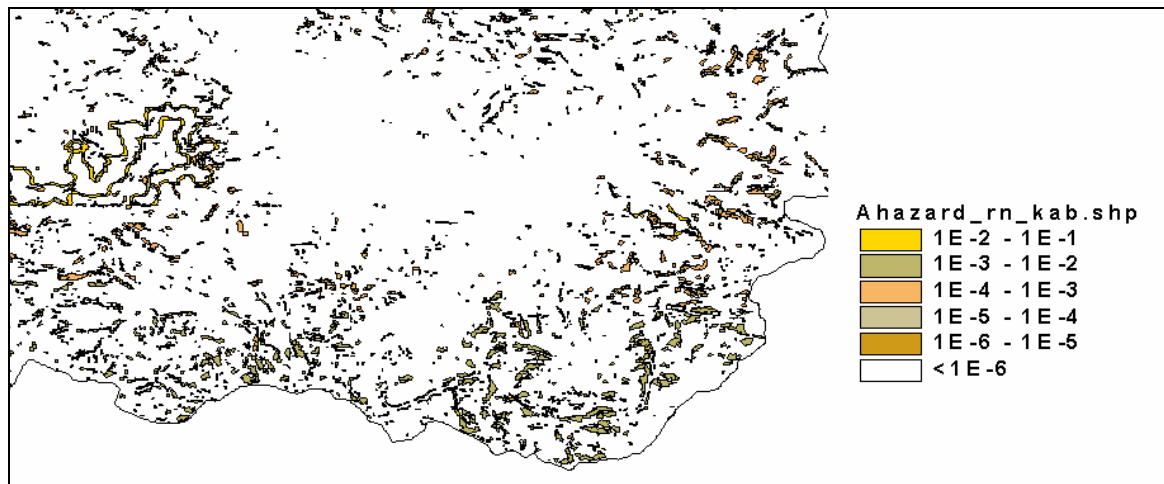


รูปที่ 4-27 แสดงการจำแนกพื้นที่ศึกษาตามปัจจัยอิทธิพล

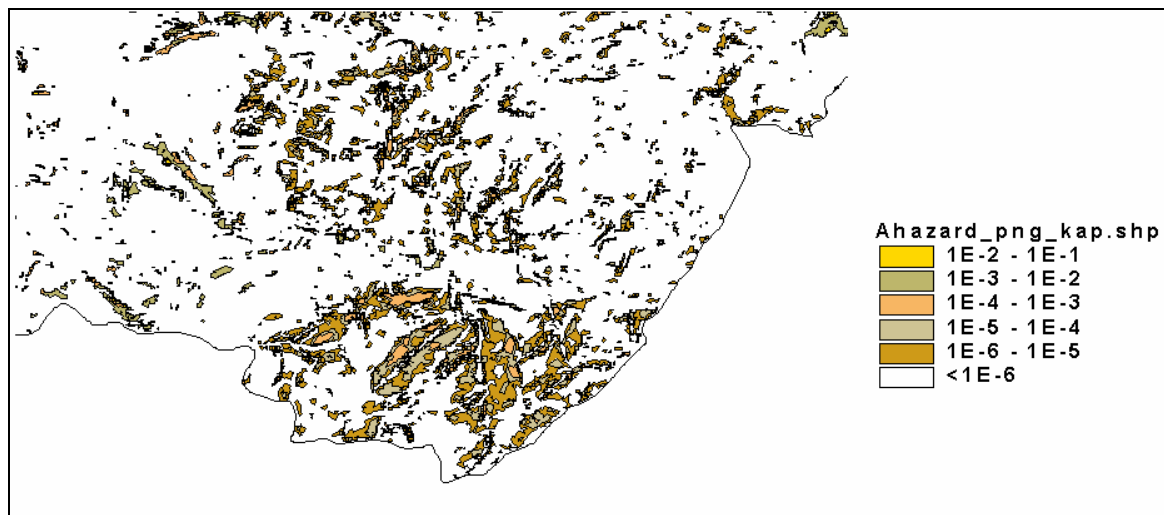
เมื่อกำหนดขอบเขตวิกฤตที่ระดับโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มต่างๆ ตามกลุ่มของความสามารถในการเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ศึกษาได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการจัดทำแผนที่ดิจิทัลในรูปแบบ GIS ด้วยโปรแกรมจัดทำแผนที่ โดยในโครงการวิจัยนี้ได้ใช้ โปรแกรม ArcView ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในงานด้าน GIS ในประเทศไทย สำหรับแผนที่พยากรณ์การเกิดแผ่นดินถล่มนี้จะต้องมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนข้อมูล และคำนวณซ้ำ (Data Update and Re-calculation) เพื่อจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการนำเข้าสู่ข้อมูลปริมาณน้ำฝนใหม่โดยผู้ใช้งาน (User) ลักษณะขบวนการทำงานเช่นนี้ หากดำเนินการโดยใช้ความสามารถพื้นฐานของโปรแกรมเพียงอย่างเดียว จะทำให้ใช้งานได้ยาก ผู้ใช้ต้องมีความชำนาญในการใช้งานโปรแกรม และต้องเข้าใจแนวความคิดและหลักการในการวิเคราะห์เป็นอย่างดี ดังนั้นการเผยแพร่เพื่อนำไปใช้งานอาจอยู่ในวงแคบสำหรับผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น



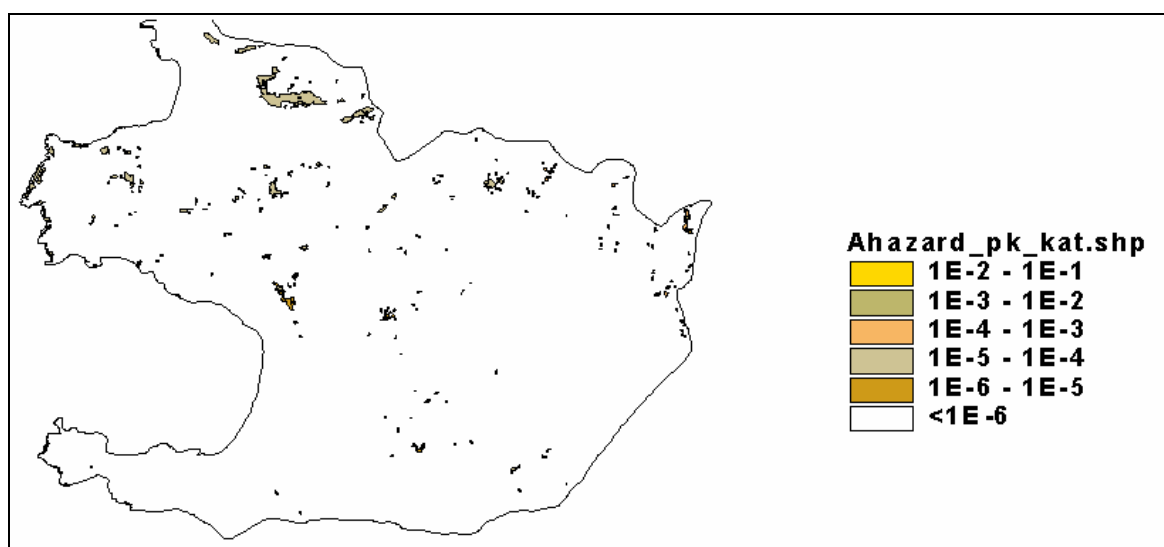
รูปที่ 4-28 แผนภูมิแสดงการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม



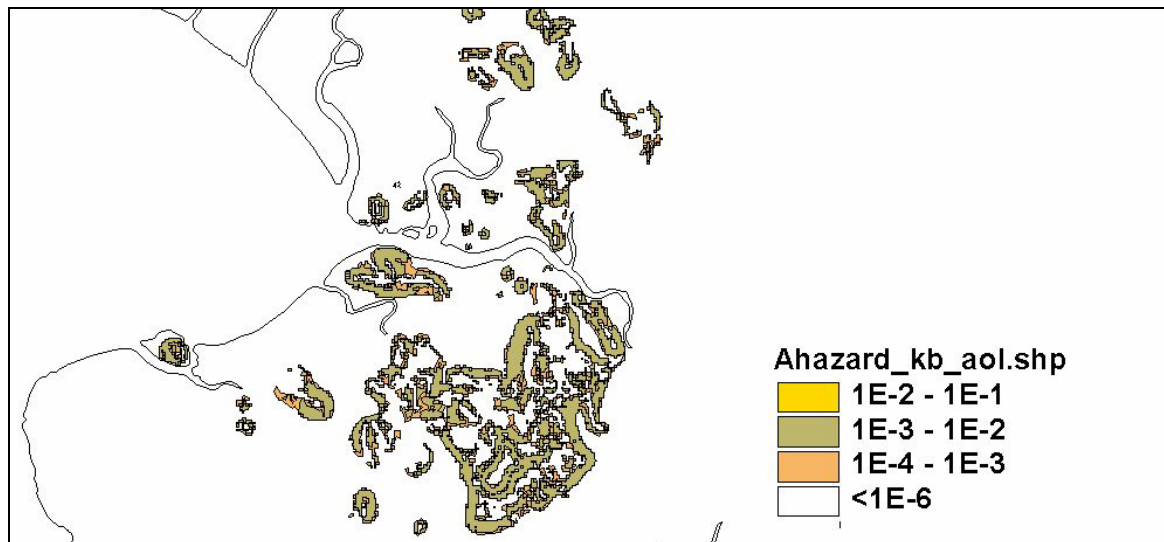
รูปที่ 4-29 การจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่จังหวัดระนอง



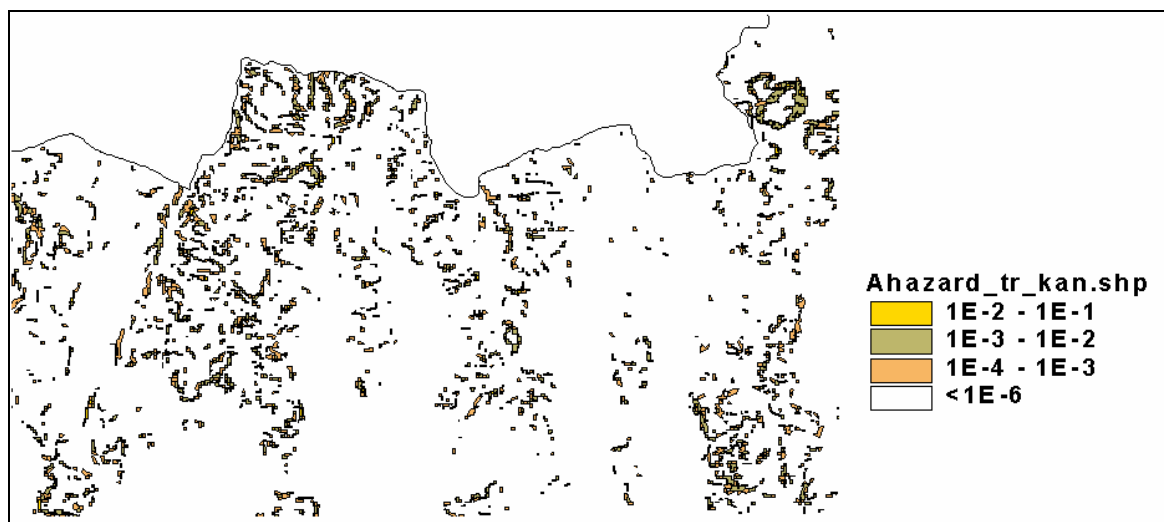
รูปที่ 4-30 การจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่จังหวัดพังงา



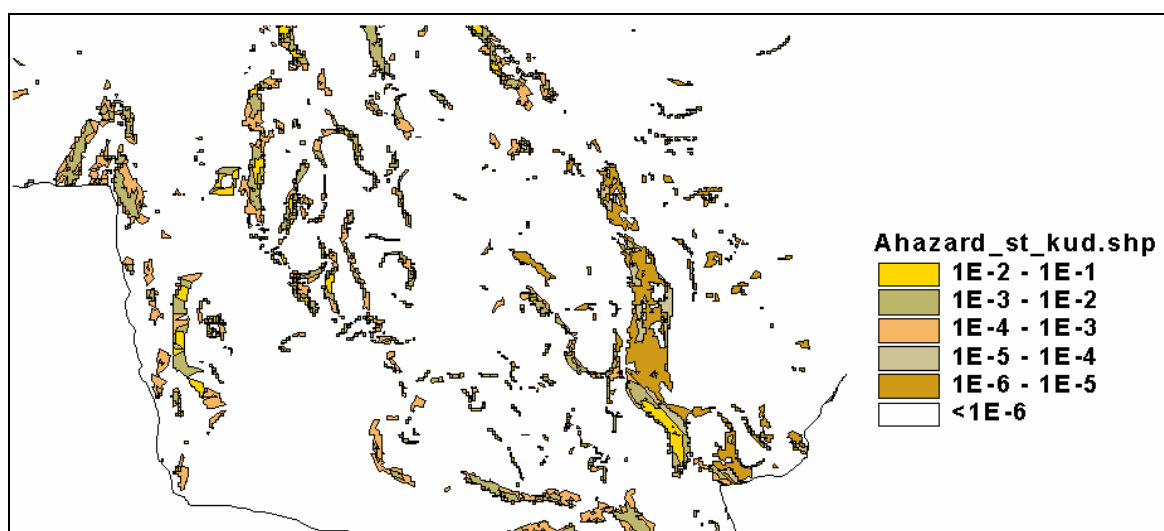
รูปที่ 4-31 การจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต



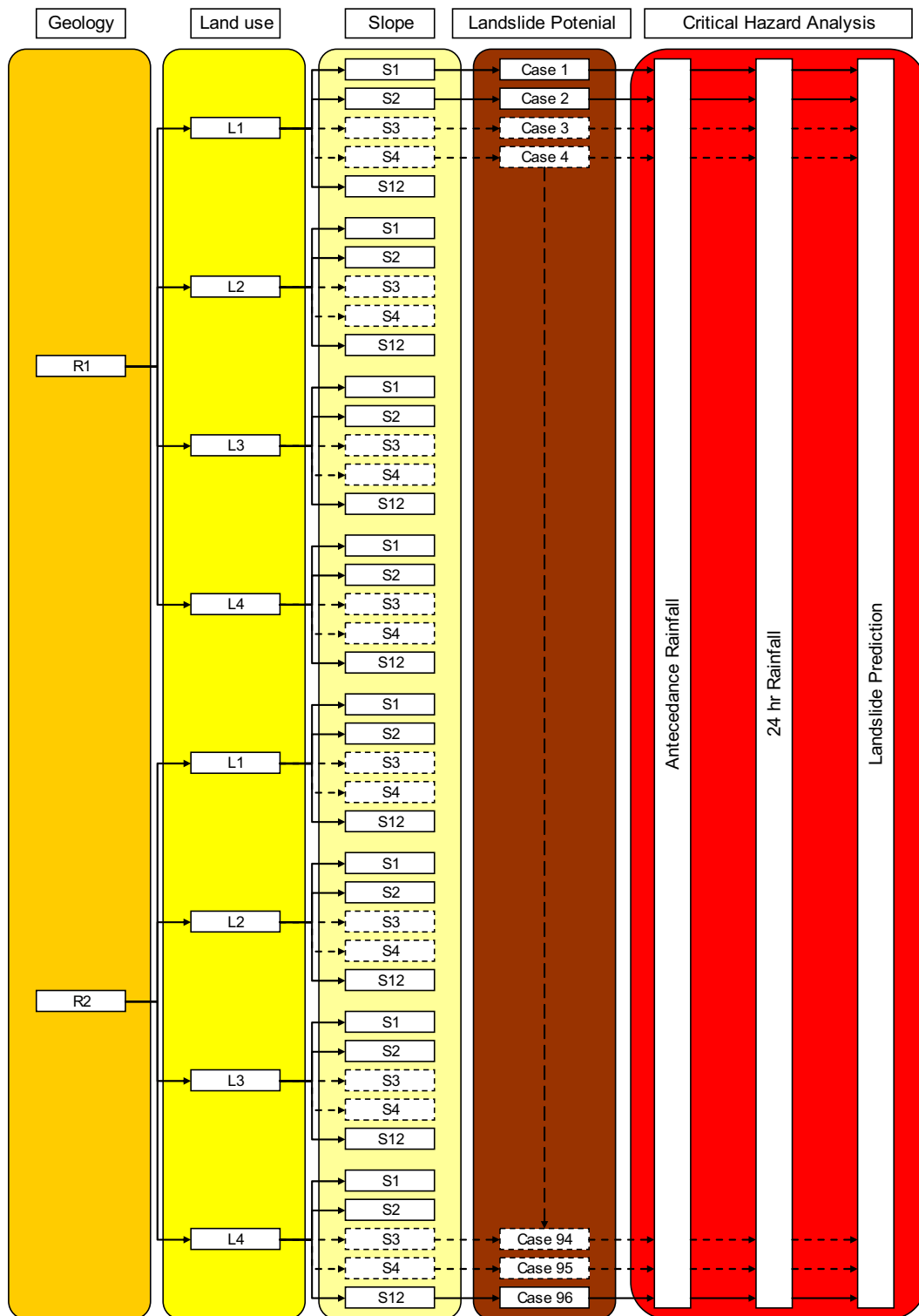
รูปที่ 4-32 การจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่จังหวัดกระบี่



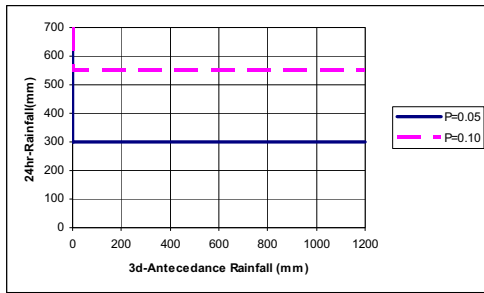
รูปที่ 4-33 การจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่จังหวัดตรัง



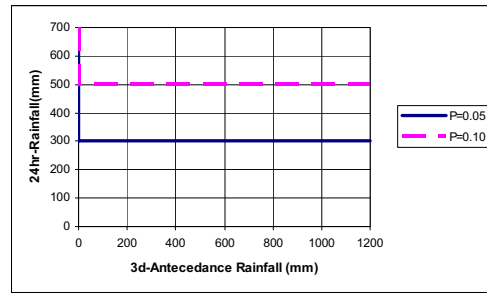
รูปที่ 4-34 การจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่จังหวัดสตูล



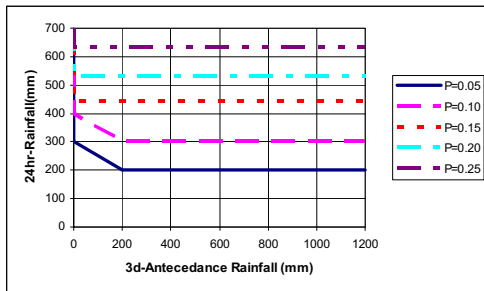
รูปที่ 4-35 แผนภูมิแสดงการวิเคราะห์เพื่อการพยากรณ์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม



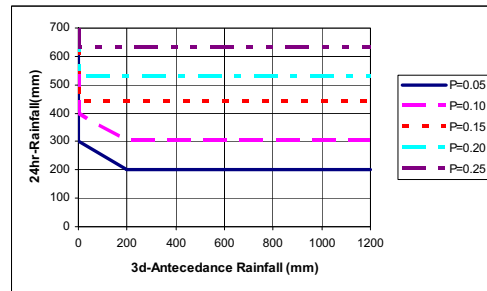
ก. กรณีสถานการณ์ที่ 9-12



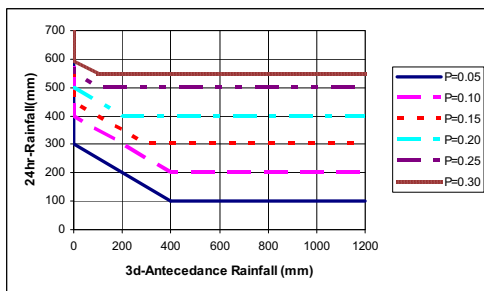
ข. กรณีสถานการณ์ที่ 13-16



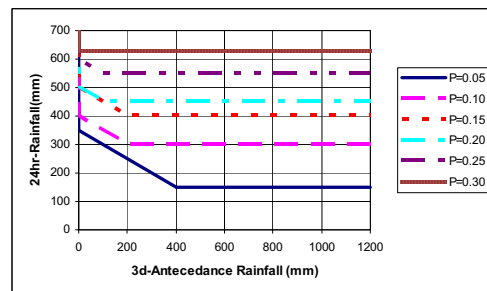
ค. กรณีสถานการณ์ที่ 17-20



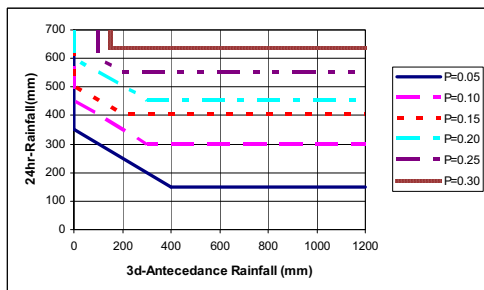
ง. กรณีสถานการณ์ที่ 21-24



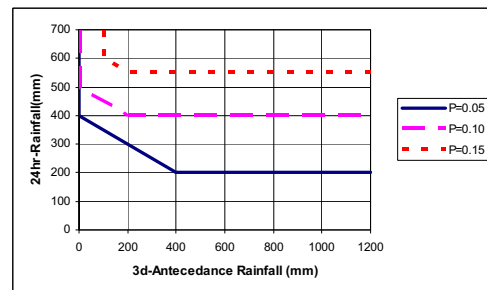
จ. กรณีสถานการณ์ที่ 25-28



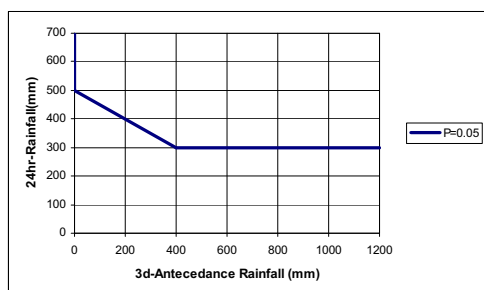
ฉ. กรณีสถานการณ์ที่ 29-32



ช. กรณีสถานการณ์ที่ 33-36

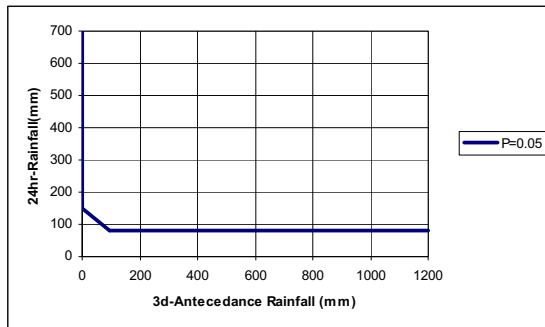


ซ. กรณีสถานการณ์ที่ 37-40

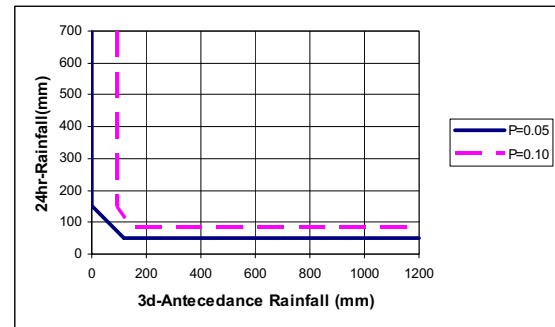


ฅ. กรณีสถานการณ์ที่ 41-44

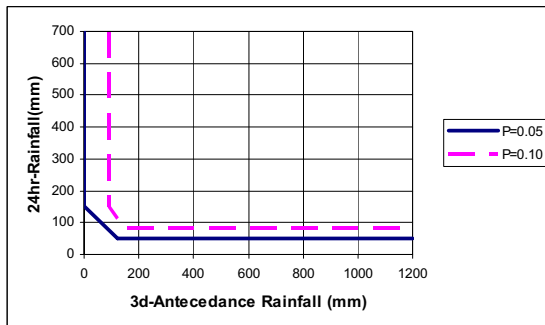
รูปที่ 4-36 ขอบเขตวิกฤตของดินในกลุ่มหินแกรนิต



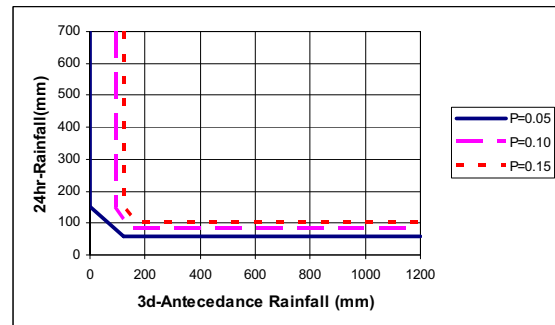
ก. กรณีสถานที่ 13-16



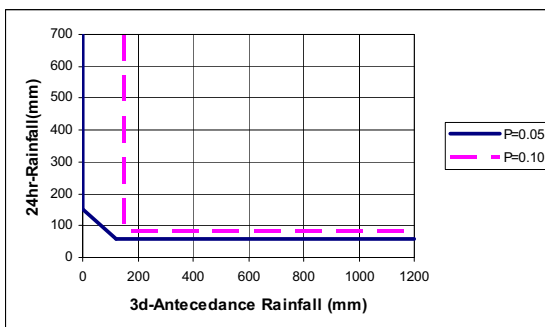
ข. กรณีสถานที่ 17-20



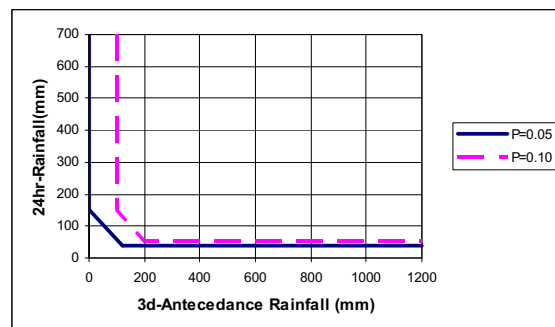
ค. กรณีสถานที่ 21-24



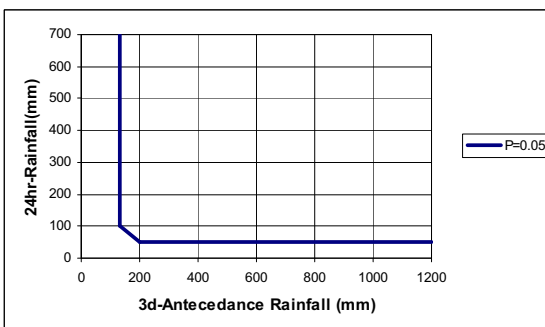
ง. กรณีสถานที่ 25-28



จ. กรณีสถานที่ 29-32



ฉ. กรณีสถานที่ 33-36



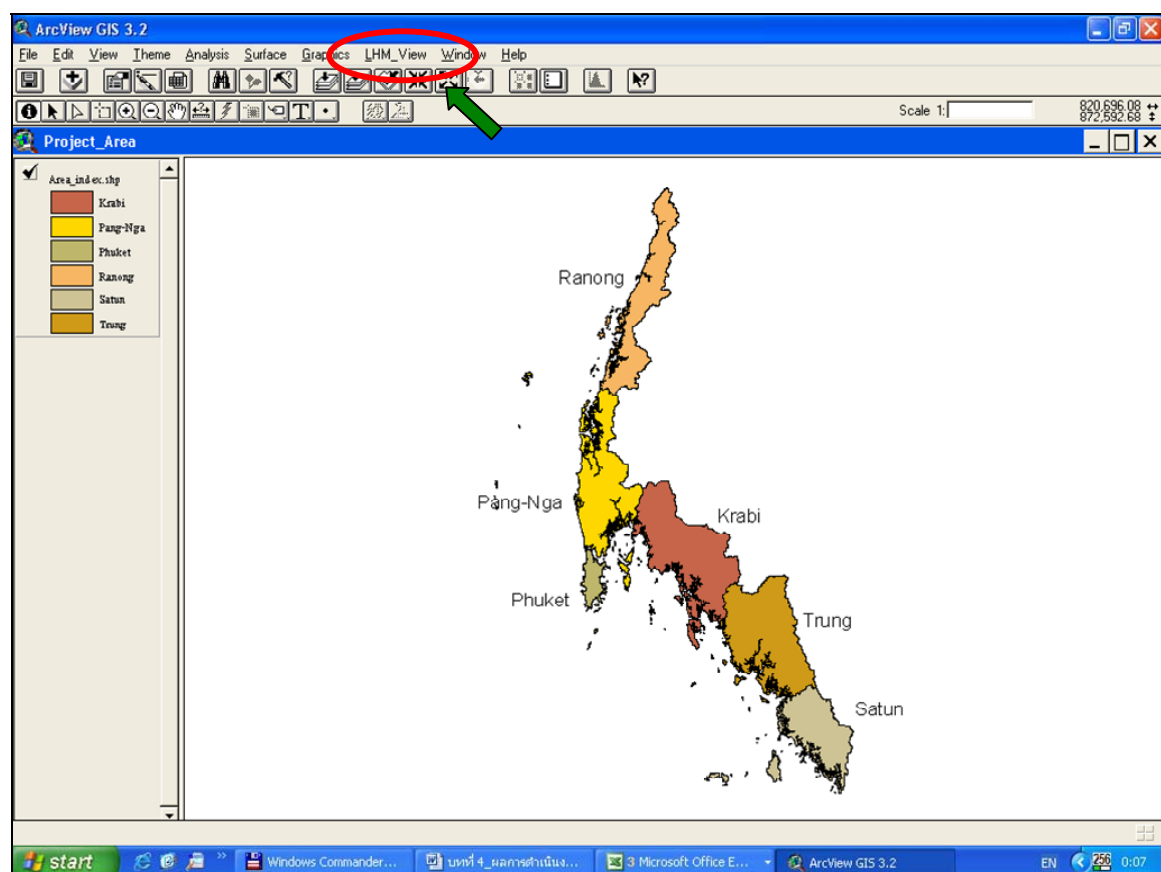
ช. กรณีสถานที่ 37-40

รูปที่ 4-37 ขอบเขตวิกฤตของดินในกลุ่มหินตะกอน

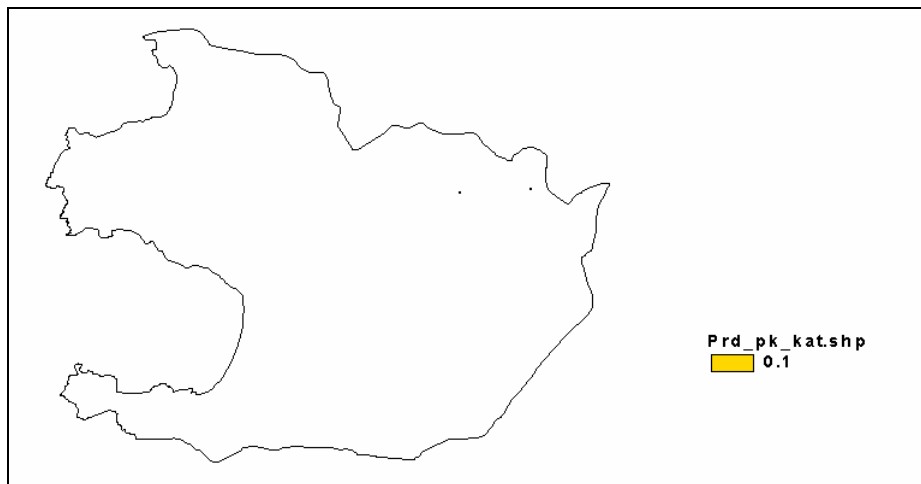
ดังนั้นเพื่อให้การใช้งานแผนที่ทำได้ง่ายขึ้น จึงได้ดำเนินการเขียนชุดคำสั่งเพื่อจัดการกับ ขบวนการด้านการวิเคราะห์ นำเข้าข้อมูลในฐานข้อมูลและการแสดงผล ชุดคำสั่งนี้เรียกว่า “LHM_View” เขียนโดยใช้โปรแกรม Avenue Script ซึ่งรองรับกับโปรแกรม ArcView

LHM_View เป็นชุดคำสั่งที่ประกอบด้วยชุดคำสั่งย่อยเรียกว่า Script อยู่หลาย Script ซึ่งจะปรากฏอยู่บนแถบรายการ (Manu Bar) ในโปรแกรม ArcView ในส่วนของหน้าต่าง View ดังแสดงใน รูปที่ 4-38 นอกจากการใช้งานเพื่อการพยากรณ์แผ่นดินถล่มแล้ว ยังมีความสามารถในการนำเสนอข้อมูลอื่น ที่จำเป็น หรือใช้ประกอบการพยากรณ์ โดยการเขียนชุดคำสั่งย่อยเพิ่มเติมลงไป ซึ่งรายละเอียดจะแสดง ในภาคผนวก ก.

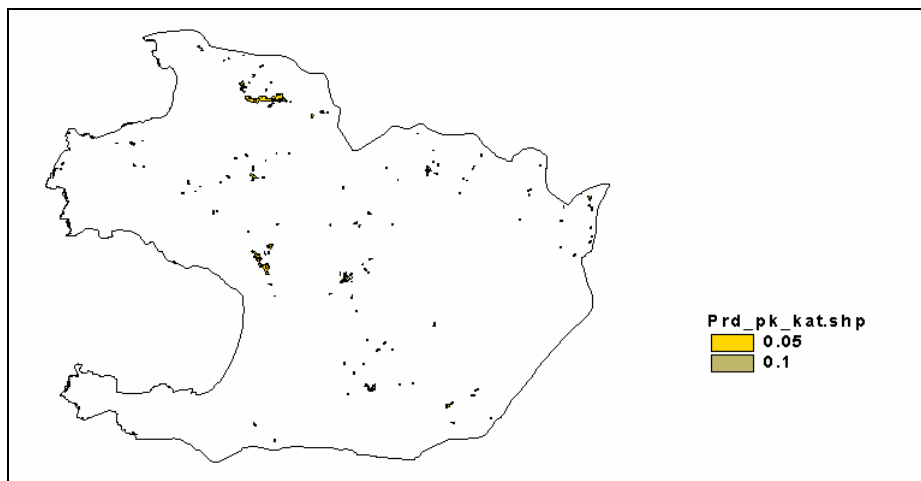
สำหรับการทำงานเกี่ยวกับการพยากรณ์การเกิดแผ่นดินถล่มนั้น เมื่อเลือกรายการนี้แล้วผู้ใช้งาน จะต้องนำเข้าข้อมูลข้อมูลปริมาณน้ำฝนล่วงหน้า 3 วัน (3D_Ra) และปริมาณน้ำฝนคาดการณ์ 24 ชั่วโมง (24hr_Ri) จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณเปรียบเทียบค่าที่นำเข้ากับขอบเขตวิกฤต ทั่วทั้งพื้นที่ และ แสดงผลในรูปแบบของโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มตามปริมาณน้ำฝน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4-39



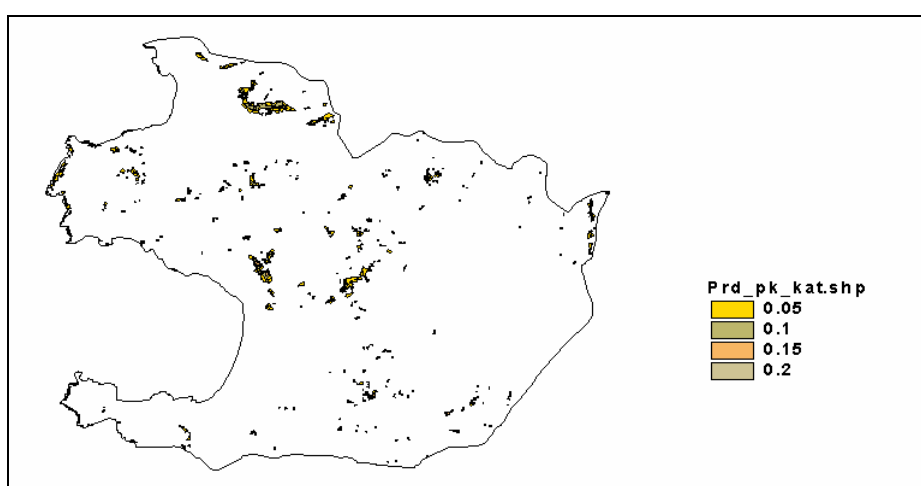
รูปที่ 4-38 แสดงตำแหน่งรายการคำสั่ง LHM_View



ก. โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเมื่อฝนตกลงมา 3 วัน = 100 mm และฝนตก 24 ชั่วโมง = 200 mm



ข. โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเมื่อฝนตกลงมา 3 วัน = 300 mm และฝนตก 24 ชั่วโมง = 400 mm



ค. โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเมื่อฝนตกลงมา 3 วัน = 700 mm และฝนตก 24 ชั่วโมง = 500 mm

รูปที่ 4-39 แสดงตัวอย่างผลการพยากรณ์แผ่นดินถล่มโดย LHM_View

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัย “จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยพิจารณาจากปัจจัยที่ไม่คงที่ในพื้นที่ศึกษาภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน” เป็นโครงการที่ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินถล่ม และวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยใช้วิธีธรณีวิศวกรรม (Geotechnical Engineering Method) โดยในการวิเคราะห์จะพิจารณาจากปัจจัยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่ม ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- ปัจจัยคงที่ (Static Factor) เป็นปัจจัยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีปัจจัยภายนอกมากระตุ้น ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยา การใช้ประโยชน์ที่ดิน และความลาดชันของพื้นที่
- ปัจจัยไม่คงที่ (Dynamic Factor) เป็นปัจจัยที่แปรผันไปตามปัจจัยภายนอกที่มากระตุ้น ได้แก่ กำลังรับแรงเฉือนของดิน และปริมาณน้ำในมวลดิน ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีน้ำฝนซึมผ่านลงไปในชั้นดิน

จากผลการดำเนินงาน สามารถจำแนกลักษณะของปัจจัยคงที่ได้ดังนี้

1. ลักษณะทางธรณีวิทยาบริเวณลาดเขาในพื้นที่ศึกษา จำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มหินแกรนิต (R1) และกลุ่มของหินตะกอน (R2)
2. การใช้ประโยชน์ที่ดิน จำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มไม้ป่าดิบชื้น (L1) กลุ่มไม้ป่าชื้นรอง (L2) กลุ่มไม้เกษตรกรรม (L3) และกลุ่มของพื้นที่เปิดโล่ง (L4)
3. ความลาดชัน จำแนกออกได้เป็น 12 กลุ่ม (S1-S12) ตั้งแต่ความลาดชัน 30° – 90° โดยแบ่งทุกๆ 5°

สำหรับปัจจัยที่ไม่คงที่ ได้แก่กำลังรับแรงเฉือนของดิน คุณสมบัติการระบายน้ำของดิน จะจำแนกตามประเภทของกลุ่มหิน

จากปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น สามารถจำแนกพื้นที่ศึกษาตามปัจจัยได้เป็น 96 กลุ่ม (ธรณีวิทยา x การใช้ประโยชน์ที่ดิน x ความลาดชัน = $2 \times 4 \times 12 = 96$) ทำการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในทุกกรณี โดยการวิเคราะห์โอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียงที่ระดับความชันในมวลดินต่างๆ ร่วมกับการวิเคราะห์โอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลงความชื้นเมื่อเกิดฝนตก

ผลการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มนี้ ยังไม่นำความถี่ของการเกิด (Frequency of Occurrence) หรือรอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period) ของฝนมาพิจารณา ดังนั้นจึงมีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงได้ โดยจะแปรผันไปตามปริมาณฝนที่ตก ซึ่งจะขอเรียกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแบบนี้ว่า โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแบบผันแปร (Dynamic Landslide Hazard)

ในกรณีที่นำความน่าจะเป็น (Probability) ของปริมาณฝนที่ตกโดยการวิเคราะห์ความถี่ของการเกิด หรือรอบปีการเกิดซ้ำ มาพิจารณาพร้อมกับโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแบบผันแปร จะได้เป็นโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มรายปี (Annual Landslide Hazard)

สำหรับค่าโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแบบผันแปร สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์การเกิดแผ่นดินถล่มได้ โดยการพิจารณาร่วมกับขอบเขตวิกฤตซึ่งเป็นค่าระดับโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนสะสมล่วงหน้า และความเข้มน้ำฝนราย 24 ชั่วโมง ขอบเขตวิกฤตนี้อาจใช้แสดงระดับของโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเป็นขั้นๆ หรือแสดงถึงปริมาณน้ำฝนที่ก่อให้เกิดแผ่นดินถล่มได้

จากการวิเคราะห์และจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มรายปี พบว่ามีโอกาสเกิดสูงสุดประมาณ 1×10^{-3} ถึง 1×10^{-2} ทั้งนี้ค่าโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ เมื่อนำไปประเมินร่วมกับค่าความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นจากแผ่นดินถล่ม จะสามารถประเมินความเสี่ยงภัยแผ่นดินถล่มได้

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยในครั้งนี้

1. สามารถจำแนกโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ศึกษาได้ ซึ่งจะเป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินถล่ม และนำไปสู่การแก้ไข ป้องกันที่เหมาะสมได้
2. สามารถคาดการณ์แผ่นดินถล่มโดยพิจารณาจากแผนที่พยากรณ์แผ่นดินถล่ม ซึ่งแสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแบบผันแปร และข้อมูลปริมาณน้ำฝนได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเตรียมพร้อม และการเตือนภัยแผ่นดินถล่มอย่างมีประสิทธิภาพ
3. ทำให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของการเกิดแผ่นดินถล่ม และทราบข้อจำกัดที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นผลดีต่อการปรับปรุงและพัฒนาวิธีการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการวิเคราะห์พบว่า โอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียงสำหรับดินในกลุ่มหินแกรนิต สูงกว่าดินในกลุ่มหินตะกอน แต่เมื่อทำการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มกลับพบว่าดินในกลุ่มหินแกรนิตบางพื้นที่ มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มน้อยกว่าดินในกลุ่มหินตะกอน ทั้งนี้เนื่องจาก

- ดินในกลุ่มหินแกรนิตมีความสามารถในการระบายน้ำได้ดีกว่าดินในกลุ่มหินตะกอนทำให้มีโอกาสที่ดินจะอิ่มตัวด้วยน้ำมีน้อยกว่าที่ปริมาณน้ำฝนเท่ากัน

- เนื่องจากการวัดปริมาณน้ำฝนส่วนใหญ่ สามารถวัดได้ละเอียดสูงสุดเป็นรายวัน แต่รูปแบบการตกของฝนโดยมากแล้วจะตกที่ความเข้มน้ำฝนสูงสุดติดต่อกันประมาณ 3-5 ชั่วโมง ดังนั้นค่าการวัดรายวัน อาจทำให้ความเข้มน้ำฝนต่ำกว่าที่เกิดขึ้นจริงได้

จากเหตุผลดังกล่าวอาจทำให้ผลการวิเคราะห์ลาดเคลื่อนได้ ซึ่งแนวทางในการตรวจสอบ หรือแก้ไข อาจทำได้ 2 แนวทางคือ

- สอบเทียบค่าจากผลการวิเคราะห์ กับเหตุการณ์แผ่นดินถล่มที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งจะต้องระบุเวลาและปริมาณน้ำฝนในช่วงที่เกิด และทำการปรับแก้ค่าจากการวิเคราะห์

- วิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง

ทั้งสองแนวทางอาจต้องใช้ระยะเวลาในการสอบเทียบค่า ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บข้อมูลแผ่นดินถล่มที่ผ่านมา เป็นข้อมูลที่ยังไม่สมบูรณ์ โดยมากจะไม่สามารถระบุวัน เวลาที่เกิดได้ นอกจากนี้การสอบเทียบค่าปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลอย่างน้อย 2-3 ฤดูกาล เพื่อให้ได้ผลการสอบเทียบที่ดี

2. การทดสอบคุณสมบัติของดินที่เป็นตัวแทนในพื้นที่ศึกษา ควรดำเนินการให้ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดทางด้านสภาพพื้นที่ และความอ่อนไหวต่อปัญหาแผ่นดินถล่มในแต่ละพื้นที่ซึ่งอาจมีไม่เท่ากัน

3. คุณสมบัติของดิน ได้แก่กำลังรับแรงเฉือน และการระบายน้ำของดิน ควรทำการทดสอบโดยคัดเลือกตัวอย่างดินในพื้นที่ตามกรณีที่ได้จำแนกไว้ เนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้ นอกจากจะเป็นปัจจัยที่ไม่คงที่แล้ว ยังได้รับอิทธิพลของปัจจัยคงที่อีกด้วย ดังนั้นในการทดสอบควรคัดเลือกตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนของพื้นที่ตามกรณีที่ได้จำแนกไว้

4. เนื่องจากสภาพพื้นที่ศึกษาในปัจจุบันมีการพัฒนาปรับเปลี่ยนลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงความลาดชัน ซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพของลาดเอียง ทั้งนี้เนื่องจากการปรับเปลี่ยนพื้นที่อาจมีผลทำให้ รูปแบบการพิบัติเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมซึ่งพิจารณาแบบลาดคอนันต์ ดังนั้นจึงควรที่จะทำการวิเคราะห์การพิบัติในรูปแบบอื่นเพิ่มเติม เพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบที่เปลี่ยนแปลงไป ผลการวิเคราะห์จะนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์เดิม เพื่อเป็นการเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลง อันเนื่องมาจากการปรับเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดินดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

- คณะทรัพยากรธรรมชาติ, 2540. การจัดการสาธารณภัยในภาคใต้ของประเทศไทย, คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภายใต้การสนับสนุนของ UNDP, 460 หน้า
- นงลักษณ์ ไทยเจียมอารีย์, 2547. คุณสมบัติดินทางวิศวกรรมเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำน้ำก้อ ต.น้ำก้อ อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วรกร และคณะ, 2546. โครงการ “การพัฒนาแผนหลักการจัดการภัยธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินถล่ม”, สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย, มิถุนายน 2546
- วรกร และคณะ, 2549. โครงการ “การศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มในจังหวัดภูเก็ต”, สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย, ตุลาคม 2549
- ศูนย์วิจัยป่าไม้, 2537. รายงานฉบับสุดท้าย โครงการศึกษาเพื่อกำหนดพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยและภัยธรรมชาติในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้, คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ร่วมกับ สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม
- ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก, 2549. โครงการ “ศึกษาหาแนวทางป้องกันและลดผลกระทบจากภัยแผ่นดินถล่ม”, กองธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อมและธรณีพิบัติภัย กรมทรัพยากรธรณี, มีนาคม 2549
- Abramson, W.L., L.S. Thomas, S. Sunil and B.M. Glenn, 1996. Slope stability and stabilization method, New York: Wiley .
- Bates R.L. and J.A. Jackson, eds, 1987. Glossary of Geology, American Geological Institute, Falls Church, Va., 788 pp.
- Bernknopf R.L., R.H. Campbell, D.S. Brookshire and C.D. Shapiro, 1988. A Probabilistic Approach to Landside Hazard Mapping in Cincinnati, Ohio, with Application for Economic Evaluation, Bulletin of The Association of Engineering Geologists, Vol.25, No.1, pp.39-56.
- Bloom A.L., 1998. Geomorphology-A Systematic Analysis of Late Cenozoic Landform, 3rd Edition, Prentice Hall, NJ.

- Brabb, E.E., E.H. Pampeyan and M.G. Bonilla. 1972. Landslide susceptibility in San Mateo County, California, U.S. Geol. Surv., Misc. Field Studies, Map MF-360.
- Brass A., G. Wadge and A.J. Reading, 1989. Designing a Geographical Information System for The Prediction of Landsliding Potential in The West Indies, In Proc., Economic Geology and Geotechnics of Active Tectonic Regions, University College, University of London, April, 13 pp.
- Campbell R.U. et al., 1985. Feasibility of a Nationwide Program for The Identification and Delineation of Hazards From Mud Flows and Other Landslides, Chapter A, Landslide Classification for Identification of Mud Flows and Other Landslides, Department of the Interior U.S. Geological Survey.
- Canuti P., F. Frascati C.A. Garzonio and C. Rodolfi, 1979. Dinamica Morfologica di un Ambiente Sogetto A Fenomeni Franosi e ad Intensa Attiva Agricola, Publ. No. 142, Consiglio Nazionale Delle Ricerche, Perugia, Italy, pp. 81-102.
- Carrara A., 1988. Landslide Hazard Mapping by Statistical Methods: A "Black Box" Approach, In Workshop on Natural Disasters in European Mediterranean Countries, Perugia, Italy, Consiglio Nazionale Delle Ricerche, Perugia, pp.205-224.
- Carrara A., E. Catalano, M. Sorriso-Valvo, C. Realli and I. Ossi, 1978. Digital Terrain Analysis for Land Evaluation, *Geologia Applicata e Idrogeologica*, Vol.13, pp. 69-117.
- Carrara A., M. Cardinali, R. Detti, F. Guzzetti, V. Pasqui and P. Reichenbach, 1990. Geographical Information Systems and Multivariate Models in Landslide Hazard Evaluation, In ALPS 90 Alpine Landslide Practical Seminar, Sixth International Conference and Field Workshop on Landslides, Aug. 31-Sep. 12, Milan, Italy, Università Degli Studi de Milano, pp.17-28.
- Carrara, A., M. Cardinali, R. Detti, F. Guzzetti, V. Pasqui and P. Reichenbach, 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard, *Earth Surf. Proc. and Landforms*, 16:427-445.
- Carrara A., M. Cardinali and F. Guzzetti, 1992. Uncertainty in Assessing Landslide Hazard and Risk, *ITC Journal*, No.2, pp.172-183.
- Carsel R.F. and R.S. Parrish, 1988. Developing joint probability distribution soil water retention characteristics, *Water Resour. Res.* 24:755-769.
- Crozier M.J., 1986. Landslides-Cause, Consequences and Environmenr, Croom Hem, London, 252 pp.

- Cruden D.M., 1991. A simple definition of a landslide, Bulletin of The International Association of Engineering Geology, No. 43, pp. 27-30.
- Cruden D.M. and D.J. Varnes D.J., 1992. Landslide Type and Processes. Landslides: Investigation and Mitigation, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington D.C.
- Cruden, D.M. and Varnes D.J., 1996. Landslide Types and Processes, In Landslides Investigation and Mitigation, Transportation Research Board, US National Research Council, Turner, A.K. and Schuster, R.L. (editors). Special Report 247, Washington, DC 1996, Chapter 3, pp. 36-75.
- DeGraff J.V. and H.C. Romesburg, 1984. Regional landslide susceptibility assessment for wildland management: a matrix approach, In Thresholds in geomorphology, D.R. Coates and J. Vitak (editors), Allen and Unwin, Boston, pp. 401-414.
- Dietrich W.E., R. Reiss, M. Hsu and D.R. Montgomery, 1995. A process-based for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data, Hydrological Processes 9: 383-400.
- Dunn, I.S., L.R. Anderson and F.W. Kiefer, 1980. Fundamentals of geotechnical analysis, New York: Wiley.
- Eastman J.R., 1992a. User's Guide; IDRISI Version 4.0, Graduate School of Geography, Clark University, Worcester, Mass., 178 pp.
- Eastman J.R., 1992b. Technical Reference; IDRISI Version 4.0, Graduate School of Geography, Clark University, Worcester, Mass., 213 pp.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI), 1992. Understanding GIS; The Arc/Info Method, Redlands, Calif., 500 pp.
- Fell R., 1994. Landslide risk assessment and acceptable risk, Can. Geotech J. 31:261-272.
- Fredlund D.G. and A. Xing, 1994. Equation for the soil-water characteristic curve, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 31, No. 3, pp.521-532.
- Fredlund, D.G. and H. Rahardjo, 1993. Soil mechanics for unsaturated soil, New York: Wiley.
- Gee M.D., 1992. Classification of hazard zonation methods and a test of predictive capability, In Proc 6th Inter. Sym. on Landslides, D.H. Bell (editor), Christchurch, N.Z., pp. 947-952.

- Geotechnical Control Office, 1979. Geotechnical manual for slopes, 2nd ed. Hong Kong: Civil Engineering Service Department, September.
- Hall D.E., M.T. Long and M.D. Remboldt, 1994. Slope stability reference guide for National Forests in the United States, U.S.D.A., For. Serv., Washington, DC., EM7170-13.
- Hammond C.J., R.W. Prellwitz and S.M. Miller, 1992. Landslide Hazard Assessment Using Monte Carlo Simulation, In Proc., Sixth International Symposium on Landslides (D.H. Bell, Ed.) Christchurch, Newzealand, A.A Balkema, Rotterdam, Netherlands, Vol.2, pp. 959-64.
- Hansen A., 1984. Landslide hazard analysis, In Slope Instability, D. Brunsten and D.B. Prior (editors), John Wiley and Sons, pp. 523-602.
- Huma L. and D. Radulescu, 1978. Automatic Production of Thematic Map of Slope Instability, Bulletin of The International Association of Engineering Geology, No.17, pp. 95-99.
- Institution of Civil Engineers, 1976. Manual of applied geology for engineers. London: Institution of Civil Engineers.
- Intergraph Corporation, 1993. MGE Technical Reference Manuals, Huntsville, Ala., Various Paging.
- Kienholz H., 1978. Maps of geomorphology and natural hazards of Grindelwald, Switzerland, Arct. Alp Res., 10:169-184.
- Mbonimpa M., M. Aubertin, R.P. Chapuis and B. Bussiere, 2002. Practical pedotransfer function for estimating the saturated hydraulic conductivity, Geotechnical and Geological Engineering, 20: 235-259.
- Murphy W. and C. Vita-Finzi, 1991. Landslide and Seismicity: An Application of Remote Sensing, In Proc., Eighth Thematic Conference on Geological Remote Sensing, Denver, Colo., Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, Vol.2, pp. 771-784.
- Newman E.B., A.R. Paradis and E.E. Brabb, 1978. Feasibility and cost of using a computer to prepare landslide susceptibility maps of San Francisco Bay Region, California, Bulletin 1443, U.S. Geological Survey, Reston, Va., 29 pp.
- Nilaweera N.S. and P. Nutalaya, 1999. Rol of tree roots in slope stabilization, Bull Eng Geol Env 57:337-342

- Nilsen T.H., R.H. Wright, T.C. Vlasic and W.E. Spangle, 1979. Relative Slope Stability and Land-use Planning in The San Francisco Bay Region, California, US Geological Survey Professional Paper 944.
- Popescu M.E., 1996. Landslide Cause to Landslide Recidivism, Proc. of 7th Int. Symp. On Landslides, Trondheim, Norway, pp. 75-96.
- Radbruch-Hall D.H., K. Edwards and R.M. Batson, 1979. Experimental Engineering Geological Maps of The Conterminous United States Prepared Using Computer Techniques, Bulletin of The International Association of Engineering Geology, No.19, pp. 358-363.
- Rollerson T.P., 1992. Relationships between landscape attributes and landslide frequencies after logging-Skidegate Plateau, Queen Charlotte Islands, BC Min. For., Victoria, BC Land Man. Rep., No. 76.
- Rollerson T.P., D.E. Howes and M. Sondheim, 1985. An approach to predicting post-logging slope stability in coastal British Columbia, In Proc. Nat.Coun. of the Paper Industry Air and Stream Improvement, West Coast Regional Meeting, Portland, Oregon. Tech. Bull. 496.
- Sassa K., 1985. The Geotechnical Classification of Landslide, Proceeding IVth International Conference and Field Workshop on Landslides, Tokyo: 31-40
- Sharpe C.F.S., 1938. Landslide and Related Phenomena, Columbia Univ., Press, NY, 137p.
- Shroder J.F., 1971. Landslide of Utah, Bulletin 90, Utah Geological and Mineralogical Survey, 50 pp.
- Skempton A.W. and Hutchinson J., 1969. Stability of Natural Slopes and Embankment Foundation, In, Proc., Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Sociedad Mexicana de Suelo, Mexico City State of The Art Volume, pp. 291-340.
- Spiker E.C. and P.L. Gori, 2000. National Landslide Hazard Mitigation Strategy-A Framework for Loss Reduction, U.S. Geological Survey Open-File Report 00-450, 49 pp.
- Swanson, F.J., R.J. Janda, T. Dunne and D.N. Swanston, 1982. Sediment budgets and routing in forested drainage basins, U.S.D.A., For Serv., Pac. N.W. For. Range Exp. Sta., Gen. Tech. Rep. PNW-141.
- Terzaghi K., 1950. Mechanism of Landslides, In Application of Geology to Engineering Practice (S. Paige, Ed.), Geological Society of America, New York, pp. 83-123.

- Van Westen C.J., 1993. Application of Geographic Information System to Landslide Hazard Zonation, ITC Publication No. 15, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Enschede, Netherlands, 245 pp.
- Varnes D.J., 1958. Landslide Type and Processes, In Special Report 29: Landslides and Engineering Practice (E.B. Eckel, Ed.), HRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 20-47.
- Varnes D.J., 1978. Slope movement types and processes, In Landslides Analysis and Control, National Academy of Sciences, Nat. Res. Coun., Washington, DC., Special Rep. 176:11-33.
- Varnes D.J., 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, UNESCO Natural Hazard Series. Vol. 3.
- Wichai Pantanahiran, 1994. The use of Landsat Imagery and Digital Terrain Models to Assess and Predict Landslide Activity in Tropical Areas, A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of The Requirements for The Degree of Doctor of Philosophy in Natural Resources, University of Rhode Island, 56 p.
- Wieczorek G.F., 1984. Preparing a detailed landslide inventory map for hazard evaluation and Reduction, Bulletin of The Association of Engineering Geologist Vol.21, No. 3, pp. 337-342.
- Zárba Q. And Mencl V., 1982. Landslides and Their Control, II, Eds, Academia, Prague.
- Kumar C.P., 2002. Modelling of unsaturated flow. National Conference on "Modern Trends in Water Resources Development and Environmental Management", 7-8 March 2002, Vellore Institute of Technology, Vellore (Tamil Nadu), pp. 1-9.
- van Genuchten M.th, 1980. A closed - form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. J. 44(5):892-898
- Zapata C.E., Houston W.N., Houston S.L. and Walsh K.D., 2000. Soil-water characteristic curve variability. Advance in Unsaturated Geotechnics: 84-124

ภาคผนวก ก.

การรวบรวมและจัดทำฐานข้อมูล

เพื่อการวิเคราะห์

ภาคผนวก ก.1
ผลการสำรวจภาคสนามในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ ก.1-1 ตำแหน่งที่ทำการสำรวจในพื้นที่ศึกษา 6 จังหวัดภาคใต้

ลำดับที่	วันที่สำรวจ	พิกัด UTM		จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	หมู่บ้าน	ตำแหน่งที่ตั้ง		ระหว้าง	ระวาง
		E	N					ทล. เลขที่	กม.ที่		
SRN01	17/10/05	437,378	1,035,418	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	กำพวน	บ.กำพวน	4			4627 I
SRN02	17/10/05	437,378	1,035,418	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	กำพวน	บ.กำพวน	4			4627 I
SRN03	17/10/05	435,964	1,036,683	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	กำพวน	บ.กำพวน	4			4627 I
SRN04	17/10/05	438,921	1,045,718	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	กำพวน	บ.ทะเลนอก				4627 I
SRN05	17/10/05	438,968	1,045,564	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	กำพวน	บ.ทะเลนอก				4627 I
SRN06	17/10/05	439,051	1,045,375	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	กำพวน	บ.ทะเลนอก				4627 I
SRN07	17/10/05	439,199	1,045,339	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	กำพวน	บ.ทะเลนอก				4627 I
SRN08	17/10/05	439,477	1,045,067	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	กำพวน	บ.ทะเลนอก				4627 I
SRN09	17/10/05	439,542	1,044,961	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	กำพวน	บ.ทะเลนอก				4627 I
SRN10	17/10/05	435,651	1,039,090	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	นาคา	บ.บางกล้วยนอก				4627 I
SRN11	17/10/05	436,674	1,038,812	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	นาคา	บ.บางกล้วยนอก				4627 I
SRN12	17/10/05	437,177	1,038,623	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	นาคา	บ.บางกล้วยนอก				4627 I
SRN13	17/10/05	435,338	1,036,404	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	กำพวน	บ.ภูเขาทอง				4627 I
SRN14	17/10/05	435,450	1,036,536	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	กำพวน	บ.ภูเขาทอง				4627 I
SRN15	17/10/05	435,450	1,036,429	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	กำพวน	บ.ภูเขาทอง				4627 I
SRN16	18/10/05	460,137	1,095,300	ระนอง	เมือง	บางรีน	บ.บางรีน				4728 IV
SRN17	19/10/05	443,734	1,043,637	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	นาคา	บ.บางต้น				4627 I
SRN18	19/10/05	434,013	1,034,939	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	กำพวน	บ.กำพวน	4			4627 I
SRN19	19/10/05	442,864	1,043,577	ระนอง	กิ่ง อ.สุขสำราญ	กำพวน	บ.นางมัน	4			4627 I
SRN20	19/10/05	447,795	1,053,682	ระนอง	กะเปอร์	บางหิน	บ.ขาดลิ				4728 III
SRN21	19/10/05	447,914	1,053,735	ระนอง	กะเปอร์	บางหิน	บ.ขาดลิ				4728 III
SRN22	19/10/05	451,721	1,054,125	ระนอง	กะเปอร์	บางหิน	บ.ขาดลิ	4			4728 III
SRN23	19/10/05	451,940	1,054,427	ระนอง	กะเปอร์	บางหิน	บ.ขาดลิ	4			4728 III
SRN24	19/10/05	457,250	1,058,873	ระนอง	กะเปอร์	กะเปอร์	บ.ฝ้ายท่า	4			4728 III
SRN25	20/10/05	458,970	1,060,399	ระนอง	กะเปอร์	บางหิน	บ.คอกช้าง				4728 III
SRN26	20/10/05	458,970	1,060,399	ระนอง	กะเปอร์	กะเปอร์	บ.ห้วยเลียด	4130	6		4728 III
SRN27	20/10/05	458,970	1,060,038	ระนอง	กะเปอร์	กะเปอร์	บ.ห้วยเลียด	4130	6		4728 III
SRN28	20/10/05	463,659	1,059,121	ระนอง	กะเปอร์	เขียวน้ำเหลือง	บ.นาใน	4130			4728 III
SRN29	21/10/05	459,862	1,106,252	ระนอง	เมือง	บางนอน	บ.บางนอนใน				4729 III
SRN30	21/10/05	456,867	1,102,239	ระนอง	เมือง	ปากน้ำ	บ.เขานางหงส์				4728 IV
SRN31	21/10/05	457,381	1,104,977	ระนอง	เมือง	ปากน้ำ	บ.สามแหลม				4728 IV
SRN32	21/10/05	458,960	1,107,592	ระนอง	เมือง	ปากน้ำ	บ.หินช้าง				4729 III

ตารางที่ ก.1-1 (ต่อ) ตำแหน่งที่ทำกรดำรงชีพในพื้นที่ศึกษา 6 จังหวัดภาคใต้

ลำดับที่	วันที่สำรวจ	พิกัด UTM		จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	หมู่บ้าน	ตำแหน่งที่ตั้ง		ระหว้าง	ระวาง
		E	N					ทล. เลขที่	กม.ที่		
SRN33	23/10/05	462,965	1,107,915	ระนอง	เมือง	บานอน	บ.บางนอน	4218			4729 III
SRN34	23/10/05	466,107	1,099,500	ระนอง	เมือง	หาดส้มแป้น	บ.ส้มแป้น	4005			4728 I
SRN35	18/10/05	472,016	1,118,374	ระนอง	ละอุ่น	บางพระใต้		4091			4729 III
SRN36	18/10/05	471,757	1,118,458	ระนอง	ละอุ่น	บางพระใต้		4091		ถนนบริเวณ อ.ละอุ่น	4729 III
SRN37	18/10/05	470,862	1,119,130	ระนอง	ละอุ่น	บางพระใต้		4091			4729 III
SRN38	18/10/05	482,160	1,108,632	ระนอง	ละอุ่น	ละอุ่นเหนือ		4091			4729 II
SRN39	18/10/05	484,461	1,108,507	ระนอง	ละอุ่น	ละอุ่นเหนือ	หมู่ 2	4091			4729 II
SRN40	18/10/05	482,778	1,109,120	ระนอง	ละอุ่น	ละอุ่นเหนือ	หมู่ 2	4091			4729 II
SRN41	18/10/05	481,585	1,108,816	ระนอง	ละอุ่น	ละอุ่นเหนือ		4091		อ.ละอุ่น-บ.วังในเหนือ	4729 II
SRN42	19/10/05	481,039	1,161,864	ระนอง	กระบุรี	ปากจั่น		4		จปร-อ.กระบุรี	4730 II
SRN43	19/10/05	483,987	1,161,970	ระนอง	กระบุรี	ปากจั่น	บ.คลองหลัก ม.11	4		จปร-อ.กระบุรี	4730 II
SRN44	19/10/05	478,331	1,154,578	ระนอง	กระบุรี	น้ำจืดน้อย		4		บ.ปากสระ-บ.น้ำแดง	4729 IV
SRN45	19/10/05	478,374	1,154,633	ระนอง	กระบุรี	น้ำจืดน้อย		4		ทางเข้าบ้านบางไพร	4729 IV
SRN46	19/10/05	478,447	1,154,713	ระนอง	กระบุรี	มะมู	บ.บางไพร	4		ทางเข้าบ้านบางไพร	4729 IV
SRN47	19/10/05	479,069	1,154,481	ระนอง	กระบุรี	น้ำจืดน้อย	บ.บางไพร	4		ทางเข้าบ้านบางไพร	4729 IV
SRN48	19/10/05	478,874	1,154,517	ระนอง	กระบุรี	น้ำจืดน้อย	บ.บางไพร	4		บ้านบางไพร	4729 IV
SRN49	19/10/05	478,715	1,154,566	ระนอง	กระบุรี	น้ำจืดน้อย	บ.บางไพร	4		บ้านบางไพร	4729 IV
SRN50	19/10/05	476,610	1,146,903	ระนอง	กระบุรี	น้ำจืด		4		ทางเข้าน้ำตกมกทราย	4729 IV
SRN51	19/10/05	476,793	1,146,781	ระนอง	กระบุรี	น้ำจืด		4		ทางเข้าน้ำตกมกทราย	4729 IV
SRN52	19/10/05	482,578	1,146,616	ระนอง	กระบุรี	น้ำจืด		4		ทางแยกบริเวณทางเข้าน้ำตกมกทราย	4729 IV
SRN53	19/10/05	481,388	1,146,567	ระนอง	กระบุรี	น้ำจืด	บ.มกทราย	4		บ.มกทราย	4729 IV
SRN54	19/10/05	480,091	1,146,628	ระนอง	กระบุรี	น้ำจืด	บ.มกทราย	4		ร. บ้านมกทราย-บ้านมกทราย	4729 IV
SRN55	19/10/05	476,305	1,146,872	ระนอง	กระบุรี	น้ำจืด	บ.มกทราย	4		แยกทางเข้าน้ำตกมกทราย	4729 IV
SRN56	19/10/05	476,561	1,146,360	ระนอง	กระบุรี	น้ำจืด	บ.มกทราย	4		บ.ห้วยไทร-ทางเข้าน้ำตกมกทราย	4729 IV
SRN57	19/10/05	477,233	1,139,819	ระนอง	กระบุรี	ลำเลียง	บ.ลำเลียง	4		บ.ลำเลียง	4729 IV
SRN58	19/10/05	480,332	1,137,860	ระนอง	กระบุรี	ลำเลียง	บ.พวนยาย	4		บ.ลำเลียง-บ.พวนยาย	4729 IV
SRN59	19/10/05	489,116	1,157,127	ระนอง	กระบุรี	ปากจั่น		4		แยกบริเวณบ้าน จปร	4729 I
SRN60	20/10/05	489,559	1,162,849	ระนอง	กระบุรี	จปร	บ.จปร	4		จปร	4730 II
SRN61	20/10/05	487,253	1,160,789	ระนอง	กระบุรี	ปากจั่น	บ.น้ำตกชุมแสง	4		น้ำตกชุมแสง	4730 II
SRN62	20/10/05	479,633	1,166,752	ระนอง	กระบุรี	ปากจั่น	บ.หาดจิก	4		บ.หาดจิก	4730 II
SRN63	20/10/05	479,747	1,166,368	ระนอง	กระบุรี	ปากจั่น	บ.หาดจิก	4		บ.หาดจิก	4730 II
SRN64	20/10/05	480,712	1,165,994	ระนอง	กระบุรี	ปากจั่น	บ.คลองเงิน	4		บ.คลองเงิน	4730 II

ตารางที่ ก.1-1 (ต่อ) ตำแหน่งที่ทำกรสำรวจในพื้นที่ศึกษา 6 จังหวัดภาคใต้

ลำดับที่	วันที่สำรวจ	พิกัด UTM		จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	หมู่บ้าน	ตำแหน่งที่ตั้ง		ระหว่าง	ระวาง
		E	N					ทล. เลขที่	กม.ที่		
SRN65	18/10/05	474,029	1,117,359	ระนอง	ละอุ่น	ละอุ่นใต้		4091		แยกทางเข้าบ้านวัดควน	4729 II
SRN66	18/10/05	476,084	1,115,384	ระนอง	ละอุ่น	ละอุ่นเหนือ		4091		วัดปทุมสาคร-สถานีอนามัย ด.ละอุ่นเหนือ	4729 II
SPK01	13/09/05	433,250	873,500	ภูเก็ต	เมือง	ตลาดใหญ่	บ.เขาโต๊ะเขะ	402			4624 I
SPK02	13/09/05	434,100	873,450	ภูเก็ต	เมือง	รัชฎา	บ.กึก	402			4624 I
SPK03	13/09/05	434,050	873,200	ภูเก็ต	เมือง	รัชฎา	บ.กึก	402			4624 I
SPK04	13/09/05	434,350	873,800	ภูเก็ต	เมือง	รัชฎา	บ.ร่มไม้ (กึก)	402			4624 I
SPK05	13/09/05	437,044	872,042	ภูเก็ต	เมือง	รัชฎา	บ.เกาะลิเฮอร์				4624 I
SPK06	13/09/05	437,468	872,597	ภูเก็ต	เมือง	รัชฎา	บ.เกาะลิเฮอร์				4624 I
SPK07	13/09/05	437,598	874,313	ภูเก็ต	เมือง	รัชฎา	บ.เกาะลิเฮอร์				4624 I
SPK08	13/09/05	437,773	873,985	ภูเก็ต	เมือง	รัชฎา	บ.เกาะลิเฮอร์				4624 I
SPK09	13/09/05	430,200	875,000	ภูเก็ต	เมือง	รัชฎา	บ.พังคา	402			4624 I
SPK10	15/09/05	422,450	881,850	ภูเก็ต	ถลาง	เชิงทะเล	บ.บางเทา	4025			4624 I
SPK11	15/09/05	421,990	881,043	ภูเก็ต	ถลาง	เชิงทะเล	บ.บางเทา				4624 I
SPK12	15/09/05	421,400	880,650	ภูเก็ต	กระทุง	กมลา	บ.หัวควน	4233			4624 I
SPK13	14/09/05	422,650	880,450	ภูเก็ต	กระทุง	กมลา	บ.หัวควน				4624 I
SPK14	28/09/05	422,670	880,425	ภูเก็ต	กระทุง	กมลา	บ.หัวควน				4624 I
SPK15	14/09/05	422,900	880,350	ภูเก็ต	กระทุง	กมลา	บ.หัวควน				4624 I
SPK16	14/09/05	423,125	880,075	ภูเก็ต	กระทุง	กมลา	บ.หัวควน				4624 I
SPK17	14/09/05	423,380	880,000	ภูเก็ต	กระทุง	กมลา	บ.หัวควน				4624 I
SPK18	14/09/05	422,400	879,450	ภูเก็ต	กระทุง	กมลา	บ.กมลา	4233			4624 I
SPK19	14/09/05	422,120	879,450	ภูเก็ต	กระทุง	กมลา	บ.กมลา	4233			4624 I
SPK20	08/09/05	420,444	878,319	ภูเก็ต	เมือง	วิชิต	บ.นาคา	4233			4624 I
SPK21	15/09/05	420,342	878,220	ภูเก็ต	เมือง	วิชิต	บ.นาคา	4233			4624 I
SPK22	15/09/05	420,400	878,700	ภูเก็ต	เมือง	วิชิต	Andara	4233			4624 I
SPK23	02/10/05	429,563	878,223	ภูเก็ต	เมือง	เกาะแก้ว					4624 I
SPK24	26/09/05	422,806	875,276	ภูเก็ต	กระทุง	ป่าตอง	บ.กะหลิม				4624 I
SPK25	27/09/05	425,520	877,230	ภูเก็ต	กระทุง	กะทู้	บ.น้ำตก				4624 I
SPK26	14/09/05	425,780	875,330	ภูเก็ต	กระทุง	กะทู้	บ.ไม้เรียบ				4624 I
SPK27	02/10/05	425,050	874,750	ภูเก็ต	กระทุง	กะทู้	บ.กะทู้				4624 I
SPK28	01/10/05	425,570	874,070	ภูเก็ต	กระทุง	กะทู้	บ.กะทู้				4624 I
SPK29	23/09/05	421,300	875,320	ภูเก็ต	กระทุง	ป่าตอง	บ.กะหลิม	4233			4624 I
SPK30	14/09/05	428,200	871,970	ภูเก็ต	กระทุง	กะทู้	บ.กะทู้				4624 I

ตารางที่ ก.1-1 (ต่อ) ตำแหน่งที่ทำกรสำรวจในพื้นที่ศึกษา 6 จังหวัดภาคใต้

ลำดับที่	วันที่สำรวจ	พิกัด UTM		จังหวัด	ตำแหน่งที่ตั้ง			ระหว่ง	ระวาง
		E	N		ตำบล	อำเภอ	หมู่บ้าน	ทล. เลขที่	
SPK31	13/09/05	423,090	870,880	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้	บ.นาใน		4624 I
SPK32	07/10/05	421,425	870,435	ภูเก็ต	เมือง	เมือง	บ.กะรน		4624 I
SPK33	03/10/05	421,600	870,350	ภูเก็ต	เมือง	เมือง	บ.กะรน		4624 I
SPK34	13/09/05	423,000	866,420	ภูเก็ต	เมือง	เมือง	บ.คอกช้าง	4028	4624 I
SPK35	29/09/05	423,400	863,850	ภูเก็ต	เมือง	เมือง	บ.กระทะ		4624 I
SPK36	15/09/05	419,200	878,400	ภูเก็ต	กะทู้	กะทู้			4624 I
SPK37	15/09/05	418,860	877,210	ภูเก็ต	กะทู้	กะทู้			4624 I
SPK38	15/09/05	419,075	876,700	ภูเก็ต	กะทู้	กะทู้			4624 I
SPK39	15/09/05	419,110	876,570	ภูเก็ต	กะทู้	กะทู้			4624 I
SPK40	15/09/05	419,400	876,360	ภูเก็ต	กะทู้	กะทู้			4624 I
SPK41	06/10/05	423,380	870,800	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้		ถนน 50 ปี	4624 I
SPK42	18/09/05	424,125	872,800	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้		ถนน 50 ปี	4624 I
SPK43	18/09/05	423,700	870,850	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้		ถนน 50 ปี	4624 I
SPK44	13/09/05	423,400	870,650	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้		ถนน 50 ปี	4624 I
SPK45	19/09/05	424,903	894,409	ภูเก็ต	สาคู	กลาง	บ.มาลัย	4026	4625 I
SPK46	19/09/05	424,687	894,618	ภูเก็ต	สาคู	กลาง	บ.มาลัย	4026	4625 II
SPK47	16/09/05	421,253	871,622	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้		ทางไปสนามบิน แยกไฟแดงไปสนามบิน	4624 I
SPK48	16/09/05	421,160	871,534	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้		ทางไปโรงแรม Merlin beach	4624 I
SPK49	16/09/05	420,900	871,500	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้	เนินไทรริสอร์ท		4624 I
SPK50	16/09/05	420,533	871,459	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้		ทางไปโรงแรม Merlin beach	4624 I
SPK51	16/09/05	420,500	871,650	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้		ทางไปโรงแรม Merlin beach	4624 I
SPK52	16/09/05	420,650	871,552	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้		ทางไปโรงแรม Merlin beach	4624 I
SPK53	16/09/05	419,685	872,021	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้	บ.แหลมคอไส		4624 I
SPK54	16/09/05	419,670	871,959	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้	บ.แหลมคอไส		4624 I
SPK55	16/09/05	419,667	871,881	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้	บ.แหลมคอไส		4624 I
SPK56	16/09/05	423,150	876,400	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้	บ.กะหลิม	4233	4624 I
SPK57	16/09/05	422,660	875,681	ภูเก็ต	ป่าตอง	กะทู้	บ.กะหลิม	4233	4624 I
SPK58	13/09/05	421,200	869,900	ภูเก็ต	กะรน	กะทู้	บ.กะรน	4233	4624 I
SPK59	15/09/05	422,171	877,455	ภูเก็ต	กะรน	กะทู้	บ.บางหวาน	4233	4624 I
SPK60	19/09/05	423,650	893,550	ภูเก็ต	สาคู	กลาง	บ.บางมาหลา	4031	4625 II
SPK61	19/09/05	421,650	892,210	ภูเก็ต	สาคู	กลาง	บ.บางมาหลา	4031	4624 I
SPK62	19/09/05	423,100	891,193	ภูเก็ต	สาคู	กลาง	บ.บางมาหลา	4031	4624 I

ตารางที่ ก.1-1 (ต่อ) ตำแหน่งที่ทำการสำรวจในพื้นที่ศึกษา 6 จังหวัดภาคใต้

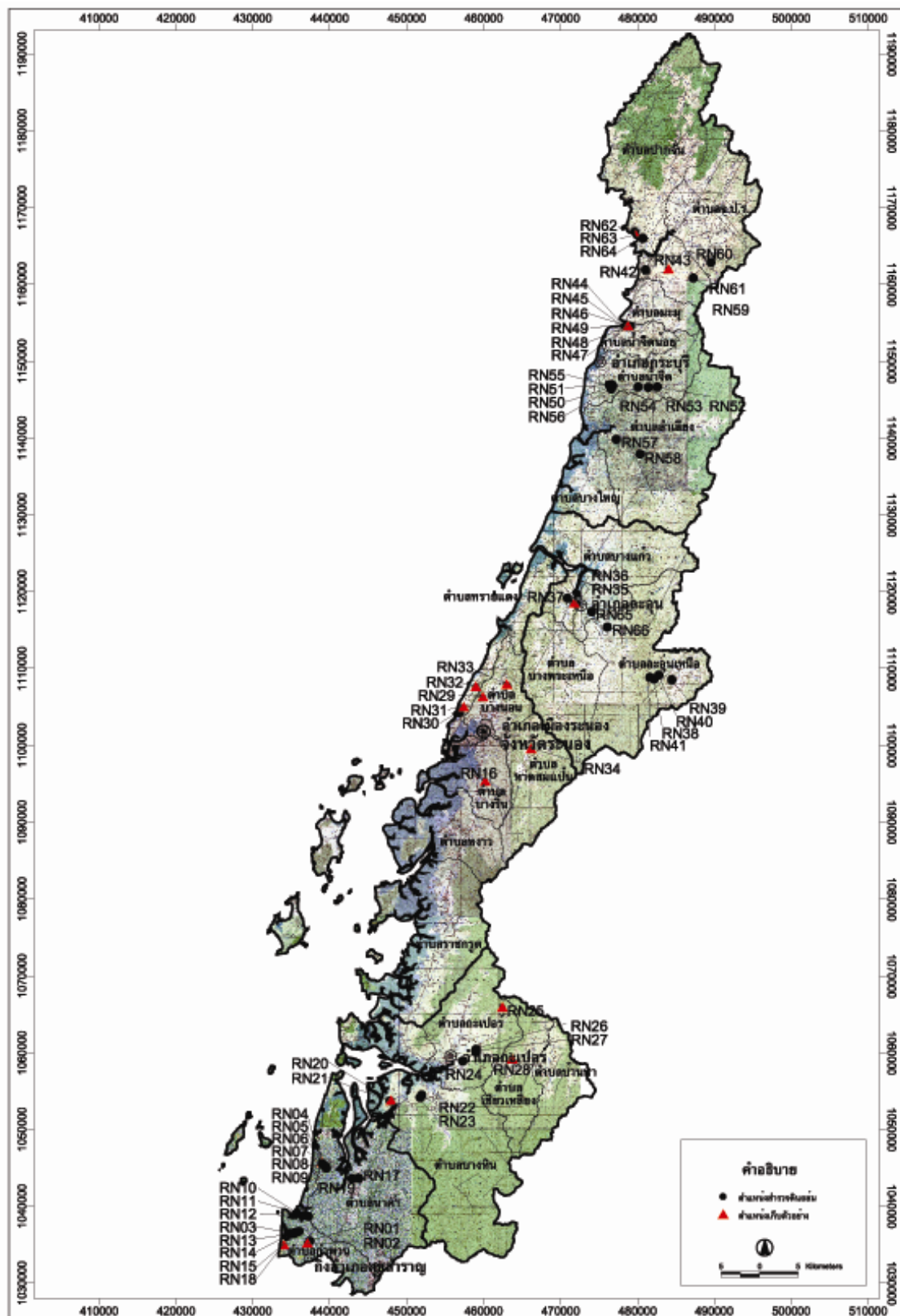
ลำดับที่	วันที่สำรวจ	พิกัด UTM		ตำแหน่งที่ตั้ง							ระหว่าง	ระวาง
		E	N	จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	หมู่บ้าน	ทล. เลขที่	กม.ที่			
SPK63	20/09/05	432,300	866,700	ภูเก็ต	เมือง	วิชิต	บ.อ่าวมะนาว	4129		5 แยกฉลอง-แหลมพันวา	4624 I	
SPK64	20/09/05	433,650	864,200	ภูเก็ต	เมือง	วิชิต	บ.แหลมพันวา	4129		5 แยกฉลอง-แหลมพันวา	4624 I	
SPK65	20/09/05	434,650	863,250	ภูเก็ต	เมือง	วิชิต	Conrad puket	4129		5 แยกฉลอง-แหลมพันวา	4624 I	
SPK66	20/09/05	432,500	863,900	ภูเก็ต	เมือง	วิชิต	บ.อ่าวมะขาม	4129		จุดชมวิวยิวบริเวณแหลมเขาขาด	4624 I	
SPK67	18/09/05	422,344	861,459	ภูเก็ต	เมือง	กระทุง		4233		แยกบริเวณจุดชมวิวกว๊านหลุมขุนใน	4624 I	
SPK68	23/09/05	426,640	877,600	ภูเก็ต	กะทู้	กะทู้				สนามกอล์ฟลีดส์คปาล์ม-รร.นานาชาติดีดิลลิช	4624 I	
SPK69	23/09/05	427,027	877,477	ภูเก็ต	กะทู้	กะทู้				สนามกอล์ฟลีดส์คปาล์ม-รร.นานาชาติดีดิลลิช	4624 I	
SPK70	23/09/05	427,044	877,431	ภูเก็ต	กะทู้	กะทู้				สนามกอล์ฟลีดส์คปาล์ม-รร.นานาชาติดีดิลลิช	4624 I	
SPK71	23/09/05	427,424	877,018	ภูเก็ต	กะทู้	กะทู้				สนามกอล์ฟลีดส์คปาล์ม-รร.นานาชาติดีดิลลิช	4624 I	
SPK72	23/09/05	428,056	877,246	ภูเก็ต	กะทู้	กะทู้				สนามกอล์ฟลีดส์คปาล์ม-รร.นานาชาติดีดิลลิช	4624 I	
SPK73	23/09/05	427,584	877,208	ภูเก็ต	กะทู้	กะทู้				สนามกอล์ฟลีดส์คปาล์ม-รร.นานาชาติดีดิลลิช	4624 I	
SPK74	23/09/05	422,964	874,421	ภูเก็ต	กะทู้	ป่าตอง	บ.กะทูลิမ်	4233		ถนนกมลาป่าตอง	4624 I	
SPK75	23/09/05	423,631	872,366	ภูเก็ต	กะทู้	ป่าตอง				ถนนนาโถ	4624 I	
SPK76	23/09/05	423,685	872,480	ภูเก็ต	กะทู้	ป่าตอง				ถนนนาโถ	4624 I	
SPK77	04/10/05	421,420	891,500	ภูเก็ต	ถลาง	สาธุ	บ.ในทอน			บ้านสาธุ-บ้านในทอน	4625 II	
SPK78	04/10/05	421,430	891,330	ภูเก็ต	ถลาง	สาธุ	บ.ในทอน			บ้านสาธุ-บ้านในทอน	4625 II	
SPK79	04/10/05	420,500	889,500	ภูเก็ต	ถลาง	สาธุ	บ.ในทอน			หาดในทอน (ใกล้ๆ โรงเรียนหาดในทอน)	4625 II	
SPK80	04/10/05	420,550	889,150	ภูเก็ต	ถลาง	สาธุ	บ.ลายัน			บ้านลายัน	4625 II	
SPK81	04/10/05	422,800	889,850	ภูเก็ต	ถลาง	เชิงทะเล	บ.ลายัน			บ้านลายัน	4625 II	
SPK82	04/10/05	423,050	888,000	ภูเก็ต	ถลาง	เชิงทะเล	บ.ลายัน	เกาะกะลา		บ้านลายัน-บ้านโคกโดนด	4625 II	
SPK83	01/10/05	432,100	878,100	ภูเก็ต	เมือง	เกาะแก้ว		402		ถนนเลียบเมือง-โลดัสภูเก็ต	4624 I	
SPK84	08/10/05	431,150	877,150	ภูเก็ต	เมือง	เกาะแก้ว		402		ถนนเลียบเมือง-โลดัสภูเก็ต	4624 I	
SPK85	08/10/05	430,950	876,900	ภูเก็ต	เมือง	เกาะแก้ว		402		ถนนเลียบเมือง	4624 I	
SPK86	08/10/05	430,850	876,700	ภูเก็ต	เมือง	รัชฎา		402		ถนนเลียบเมือง-โลดัสภูเก็ต	4624 I	
SPK87	08/10/05	430,300	875,200	ภูเก็ต	เมือง	รัชฎา		402		ถนนเลียบเมือง	4624 I	
SKB01	13/10/05	518,048	911,988	กระบี่	เขาพนม	พรุเตียว	บ.วังยี่น	4156			4825 IV	
SKB02	13/10/05	518,271	913,259	กระบี่	เขาพนม	พรุเตียว	บ.วังยี่น	4156			4825 IV	
SKB03	13/10/05	517,794	912,600	กระบี่	เขาพนม	พรุเตียว	บ.วังยี่น	4156			4825 IV	
SKB04	13/10/05	516,387	916,040	กระบี่	เขาพนม	พรุเตียว		4156			4825 IV	
SKB05	13/10/05	515,863	914,642	กระบี่	เขาพนม	พรุเตียว		4156			4825 IV	
SKB06	13/10/05	517,452	916,994	กระบี่	เขาพนม	พรุเตียว		4156			4825 IV	
SKB07	13/10/05	491,183	897,859	กระบี่	เมือง	กระบี่น้อย		4			4725 II	

ตารางที่ ก.1-1 (ต่อ) ตำแหน่งที่ทำารสำรวจในพื้นที่ศึกษา 6 จังหวัดภาคใต้

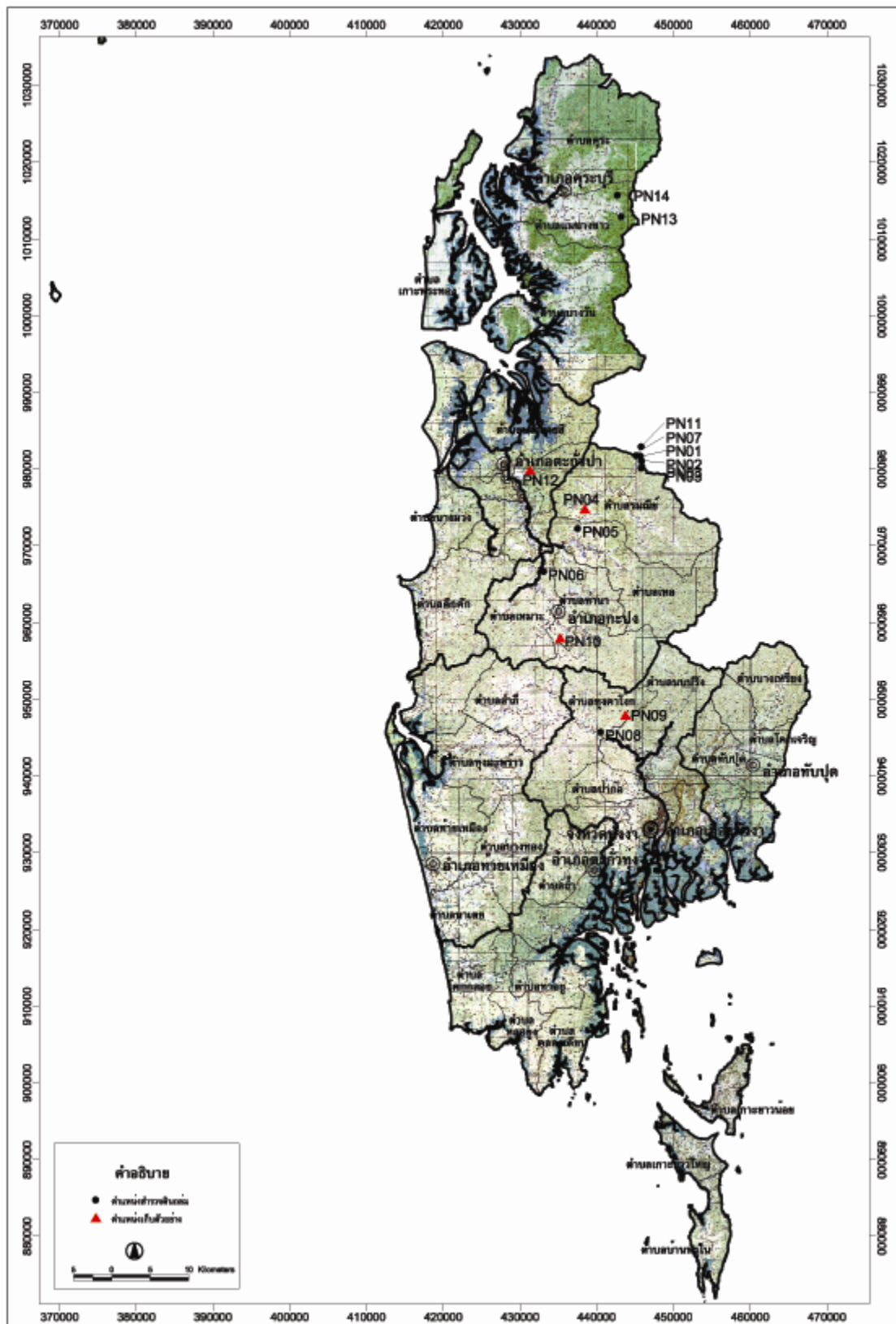
ลำดับที่	วันที่สำรวจ	พิกัด UTM		จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	หมู่บ้าน	ตำแหน่งที่ตั้ง		ระหว้าง	ระวาง
		E	N					ทล. เลขที่	กม.ที่		
SKB08	13/10/05	486,877	895,141	กระบี่	เมือง	ไสไทย		4			4725 II
SKB09	14/10/05	482,183	910,592	กระบี่	เมือง	เขาคราม	บ.ห้วยส้มไฟ	4	127	127-128	4725 II
SKB10	15/10/05	476,189	896,388	กระบี่	เมือง	หนองทะเล	บ.ดินแดงนุ้ย	4034			4725 II
SKB11	15/10/05	491,613	899,537	กระบี่	เมือง	กระบี่น้อย				เลยวัดถ้ำเลือกมาเล็กน้อย	4725 II
SKB12	15/10/05	496,238	910,772	กระบี่	เขาพนม	เขาพนม	บ.หนองเทา				4725 II
SKB13	15/10/05	494,135	906,875	กระบี่	เมือง	กระบี่น้อย					4725 II
SPNG01	14/10/05	445,688	981,682	พังงา	กะปง	รมณีย	บ.ท่าหิน ม.2	401	114	กม.114-115	4726 IV
SPNG02	14/10/05	445,806	980,999	พังงา	กะปง	รมณีย	บ.ท่าหิน	401	115		4726 IV
SPNG03	14/10/05	445,758	980,082	พังงา	กะปง	รมณีย	บ.ท่าหิน	401	116		4726 IV
SPNG04	14/10/05	438,388	974,750	พังงา	กะปง	รมณีย		401		บ้านโคกลอย-บ้านบางจำ	4626 I
SPNG05	14/10/05	437,502	972,229	พังงา	กะปง	ทะเล		401		บ้านบางจำ-บ้านอ้อยดำ	4626 I
SPNG06	14/10/05	433,047	966,617	พังงา	กะปง	เหมาะ	บ. 5/2 ม.3	4090		จุดถ้ำทอดเทโนโลยีพื้นสีมีพื้นเมือง	4626 II
SPNG07	14/10/05	445,131	981,710	พังงา	กะปง	รมณีย	บ.ท่าหิน	401	114		4726 IV
SPNG08	14/10/05	440,471	945,686	พังงา	เมือง	ทุ่งตาโจก		4090		บ้านทางกัน-บ้านทุ่งตาโจก	4626 II
SPNG10	17/10/05	435,210	957,972	พังงา	กะปง	ท่านา	บ.ฝ่ายท่า	4090		บ้านฝ่ายท่า	4626 II
SPNG11	17/10/05	445,791	982,888	พังงา	กะปง	รมณีย		401	110	อ.กะปง จ.พังงา-อ.พนม จ.สุราษฎร์ธานี	4726 IV
SPNG12	17/10/05	431,262	979,802	พังงา	ตะกั่วป่า	โคกเคียน				แยกโคกเคียน	4626 I
SPNG13	17/10/05	443,199	1,012,889	พังงา	กระบี่	แม่น้ำงขาว		4		ทางไปฝ่ายบางหมาน	4627 II
SPNG14	17/10/05	442,657	1,015,682	พังงา	กระบี่	แม่น้ำงขาว		4		ทางแยกก่อนไปฝ่ายบางหมาน	4627 II
SST01	11/10/05	615,008	756,781	สตูล	ควนกาหลง	ควนกาหลง	บ.ถ้ำทะเล	4137			5022 IV
SST02	11/10/05	627,814	757,784	สตูล	ควนกาหลง	ทุ่งนุ้ย		406		น้ำตกโดนปาดัน	5022 IV
SST03	11/10/05	628,511	751,135	สตูล	ควนโดน	ควนสตอ		4184		น้ำตกโดนปลิว	5022 IV
SST04	11/10/05	627,122	751,534	สตูล	ควนโดน	ควนสตอ		4184		น้ำตกโดนปลิว	5022 IV
SST05	11/10/05	623,751	756,519	สตูล	ควนกาหลง	ทุ่งนุ้ย	บ.ทุ่งนุ้ย	406			5022 IV
SST06	11/10/05	613,668	755,802	สตูล	ควนโดน	ควนกาหลง	บ.ถ้ำทะเล	4137			5022 IV
SST07	11/10/05	617,596	747,588	สตูล	ควนโดน	ย่านซื่อ	บ.ดินทรด	406			5022 IV
SST08	11/10/05	584,121	772,817	สตูล	ควนกาหลง	นาทอน	บ.ถ้ำทะเล	4137			4922 I
STR01	10/10/05	560,672	823,126	ตรัง	กันตัง	นางหมาก	บ.นางหมาก	403			4923 IV
STR02	11/10/05	593,223	806,031	ตรัง	ปะเหลียน	ปะเหลียน	บ.ปากแดง				4923 I
STR03	12/10/05	587,228	833,969	ตรัง	นาโยง	ช่อง	บ.ใต้โดน				4924 II
STR04	12/10/05	586,286	835,960	ตรัง	นาโยง	ช่อง		4			4924 II
STR05	12/10/05	585,571	834,705	ตรัง	นาโยง	ช่อง	บ.ใสทอน				4924 II

ตารางที่ ก.1-1 (ต่อ) ตำแหน่งที่ทำการสำรวจในพื้นที่ศึกษา 6 จังหวัดภาคใต้

ลำดับที่	วันที่สำรวจ	พิกัด UTM		จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	หมู่บ้าน	ตำแหน่งที่ตั้ง		ระหว้าง	ระวาง
		E	N					ทล. เลขที่	กม.ที่		
STR06	13/10/05	590,476	812,229	ตรัง	ปะเหลียน	ปะเหลียน	บ.ลำปลอก				4923 I
STR07	13/10/05	578,970	837,021	ตรัง	นาโยง	ช่อง	บ.ควนเจาะ				4924 III
STR08	13/10/05	583,676	839,855	ตรัง	นาโยง	ละมอ	บ.เหมกน้อย				4924 III
STR09	13/10/05	579,457	836,117	ตรัง	นาโยง	ละมอ	บ.ควนเจาะ	4			4924 III
STR10	14/10/05	568,080	841,154	ตรัง	เมือง	นาทามเหนือ	บ.ปอสีเสียด				4924 III
STR11	14/10/05	569,583	841,934	ตรัง	นาโยง	ละมอ	บ.ต้นหยึ่ง				4924 III
STR12	14/10/05	558,366	818,076	ตรัง	กันตัง	บางป่า	บ.ชากวัด				4923 IV
STR13	14/10/05	556,943	818,935	ตรัง	กันตัง	กันตัง					4923 IV
STR14	14/10/05	549,201	823,206	ตรัง	กันตัง	ปอน้ำร้อน	บ.คลองไม้แดง				4823 I
STR15	14/10/05	549,213	822,240	ตรัง	กันตัง	ปอน้ำร้อน	บ.คลองไม้แดง				4823 I
STR16	14/10/05	560,530	821,051	ตรัง	กันตัง	บางป่า	บ.ป่าเดียว				4923 IV
STR17	11/10/05	594,389	811,623	ตรัง	ปะเหลียน	ปะเหลียน	บ.ลำคลอง				4923 IV
STR18	13/10/05	589,942	818,643	ตรัง	ย่านดาขาว	โพรงจระเข้	บ.โคกทรายใต้				4923 I
STR19	14/10/05	569,679	842,262	ตรัง	เมือง	บ้านโพธิ์	บ.ทุ่งจันทน์หอม				4924 III
STR20	15/10/05	586,019	832,055	ตรัง	นาโยง	ช่อง	บ.ไสขุ่น				4924 II
STR21	14/10/05	568,470	842,573	ตรัง	เมือง	นาทามเหนือ	บ.ฟงปง				4924 III
STR22	13/10/05	578,586	837,222	ตรัง	นาโยง	ช่อง	บ.ควนเจาะ				4924 III
STR23	15/10/05	548,878	834,972	ตรัง	สิเกา	นาเมืองเพชร	บ.นาแก้ว	4046			4824 II
STR24	16/10/05	573,962	853,234	ตรัง	ห้วยยอด	ปากแจ่ม	บ.คลองคู้	4123			4924 III
STR25	16/10/05	583,740	850,026	ตรัง	เมือง	น้ำผุด	บ.ด่าน				4924 II
STR26	16/10/05	583,660	847,607	ตรัง	เมือง	น้ำผุด	บ.ด่าน				4924 II
STR27	16/10/05	582,544	847,474	ตรัง	เมือง	น้ำผุด	บ.ห้วยวา				4924 III
STR28	16/10/05	582,384	854,106	ตรัง	เมือง	น้ำผุด	บ.เขาลึก				4924 III
STR29	12/10/05	567,553	851,517	ตรัง	ห้วยยอด		บ.วัดไธราษฎร์			กม.ที่ 18	
STR30	12/10/05	566,883	851,535	ตรัง						อีก 10 กม.ถึงอ.ห้วยยอด	
STR31	12/10/05	570,282	859,019	ตรัง	ห้วยยอด						
STR32	12/10/05	586,334	789,060	ตรัง							



รูปที่ ก.1 ตำแหน่งของการสำรวจพื้นที่ในจังหวัดระนอง



รูปที่ ก.2 ตำแหน่งของการสำรวจพื้นที่ในจังหวัดพังงา