

# การวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเนื่องจากปัจจัยที่ไม่คงที่ในจังหวัดภูเก็ต (Landslide Hazard Analysis by Dynamic Factors in Phuket Province)

นายสันติ ไทยยืนวงษ์ (Santi Thaiyuenwong)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมปฐพี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
(santtha@yahoo.com)

**บทคัดย่อ :** จังหวัดภูเก็ต เป็นพื้นที่หนึ่งที่ประสบปัญหาจากการเกิดแผ่นดินถล่ม เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขา ซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวและมีชุมชนอยู่อาศัยบริเวณเชิงเขาอย่างหนาแน่น โดยเฉพาะบริเวณด้านตะวันตกของพื้นที่ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่มประกอบด้วยปัจจัยสภาพพื้นที่ และปัจจัยกระตุ้น ปัจจัยสภาพพื้นที่แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ปัจจัยคงที่ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงในสภาวะปกติ ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยา ความลาดชันของพื้นที่ และลักษณะที่ดิน ส่วนอีกปัจจัยหนึ่งคือ ปัจจัยผันแปรสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีปัจจัยภายนอกมากระตุ้น ได้แก่ กำลังรับแรงเฉือนของดิน ปริมาณน้ำในมวลดิน แรงค้ำน้ำในดิน ส่วนปัจจัยกระตุ้นได้แก่ปัจจัยที่เกิดขึ้นเพียงชั่วระยะเวลาหนึ่งแต่มีผลทำให้ปัจจัยผันแปรเปลี่ยนแปลงไปจนอาจทำให้เกิดแผ่นดินถล่มได้ เช่น การเกิดฝนตก เป็นต้น สำหรับการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วิธีทางธรณีวิศวกรรม โดยคำนึงถึงความไม่แน่นอนเนื่องจากฝนตก ได้แก่สภาวะเริ่มต้นจากฝนที่ตกก่อนล่วงหน้า และรูปแบบของฝนตก ซึ่งมีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนของดินและแรงค้ำน้ำในดิน ผลการวิเคราะห์พบว่ามีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มสูงสุดไม่เกิน  $1 \times 10^{-3}$  ครั้งต่อปี

**ABSTRACT:** Phuket province is one of the area that encounter with the landslide problems. Because most of area, especially western area, is the mountain which is the tourism place and dense community. The causal factors of landslides consist of condition factors and triggering factors. The condition factors can be divided into 2 factors, the first is static factors which constant in general condition such as geology, terrain slope and landform. The second is dynamic factors which depend on the triggering factor such as shear strength of soil, water content and matric suction. The triggering factor is the temporary phenomenon such as rainfall which influence to dynamic factor and result in decrease the stability of slope that trigger landslide finally. The method of landslide hazard analysis in this research is the geotechnical engineering method with uncertainty of rainfall due to antecedent rainfall and rainfall pattern. The maximum landslide hazard in the study area from this method is about  $1 \times 10^{-3}$  in one year.

**KEYWORDS:** Landslide, landslide hazard, matric suction, slope stability, slope failure

## 1. บทนำ

ปัญหาแผ่นดินถล่มในแหล่งชุมชน บริเวณลาดเชิงเขาในประเทศไทยมีมานานแล้ว และทำให้เกิดความเสียหายให้กับชีวิตและทรัพย์สิน รวมทั้งเกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก ดังตัวอย่างที่ได้มีการบันทึกในตารางที่ 1 เนื่องจากสภาพภูมิประเทศในบางพื้นที่เป็นที่ราบสลับไหล่เขา ซึ่งเอื้อให้เกิดแผ่นดิน

ถล่มได้ ได้แก่พื้นที่ทางตอนเหนือของประเทศต่อเนื่องเรื่อยมาทางฝั่งทิศตะวันตก ลงไปจนถึงตอนล่างของประเทศ

สำหรับจังหวัดภูเก็ต ก็ได้รับผลกระทบจากการเกิดแผ่นดินถล่ม เช่นกัน ดังที่มีรายงานความเสียหายจากอุทกภัย และแผ่นดินถล่ม เมื่อเดือนตุลาคม 2544 เนื่องจากมีลักษณะภูมิประเทศเป็นเทือกเขาที่มีความลาดชัน มีแหล่งชุมชน ย่านธุรกิจ และแหล่ง

ท่องเที่ยวอยู่บริเวณที่ราบเชิงเขา รวมทั้งอยู่ในเขตมรสุม ทำให้มีฝนตกชุกเกือบตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงเดือน ตุลาคม-ธันวาคม ของทุกปี ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดแผ่นดินถล่มขึ้นได้ (วารากร และคณะ, 2549)

ตารางที่ 1 การเกิดน้ำหลากและดินถล่มที่รุนแรงในประเทศไทย

วันที่	สถานที่	ความเสียหายต่อชีวิต
พ.ย. 2513	อ. พัทธสีมา จ. ประจวบคีรีขันธ์	12 ราย
ม.ค. 2518	อ. ร่อนพิบูลย์ จ. นครศรีธรรมราช	58 ราย
ธ.ค. 2525	กิ่ง อ. ศรีบรรพต จ. พัทลุง	4 ราย
พ.ย. 2531	อ. ลานสกา จ. นครศรีธรรมราช	12 ราย
พ.ย. 2531	อ. พิปูน จ. นครศรีธรรมราช	> 200 ราย
ส.ค. 2542	อ. เขาคิชฌกูฏ จ. จันทบุรี	1 ราย
ก.ย. 2543	อ. หล่มสัก และ อ. เมือง จ. เพชรบูรณ์	10 ราย
พ.ค. 2544	อ. วังชิ้น จ. แพร่	> 30 ราย
ส.ค. 2544	อ. หล่มสัก จ. เพชรบูรณ์	> 100 ราย
พ.ค. 2547	อ. แม่แจ่ม จ. เชียงใหม่	1 ราย
พ.ค. 2547	อ. แม่ระมาด จ. ตาก	5 ราย
ก.ค. 2547	อ. แม่อาขย จ. เชียงใหม่	1 ราย
ต.ค. 2547	อ. เมือง จ. กระบี่	3 ราย

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ “จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยพิจารณาจากปัจจัยที่ไม่คงที่ พื้นที่ศึกษาภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน” ซึ่งได้รับการสนับสนุนงานวิจัยโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยวิธีทางธรณีวิศวกรรม โดยจะแสดงผลในรูปของความน่าจะเป็นบนแผนที่เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อไป

พื้นที่ศึกษาที่นำเสนอในครั้งนี้เป็นพื้นที่ฝั่งตะวันตกของเกาะภูเก็ต บริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวกมลา ป่าตอง และอ่าวกะรน ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ท่องเที่ยว และเป็นย่านธุรกิจที่สำคัญ และได้มีการพัฒนาที่ดินขึ้นไปบนเขาจำนวนมาก

## 2. หลักการและเหตุผล

แผ่นดินถล่มเป็นการพิบัติของลาดเอียง โดยมีการการแยกตัวของมวลวัสดุออกจากมวลวัสดุเดิม ตามรอยการพิบัติ เคลื่อนตัวตามลาดเอียงจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ ภายใต้แรงดึงดูดของโลก



รูปที่ 1 แสดงที่ตั้งจังหวัดภูเก็ต

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดแผ่นดินถล่มสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ ปัจจัยสภาพพื้นที่ (Condition Factor) และปัจจัยกระตุ้น (Triggering Factor)

ปัจจัยสภาพพื้นที่เป็นลักษณะของพื้นที่ซึ่งมีผลต่อศักยภาพในการเกิดแผ่นดินถล่ม สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

- ปัจจัยคงที่ (Static Factor) เป็นปัจจัยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมากในสภาวะปกติ ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยา ความลาดชันของพื้นที่ ลักษณะที่ดิน ปัจจัยเหล่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อเกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างรุนแรง เช่นเกิดแผ่นดินไหวอย่างรุนแรง จนทำให้โครงสร้างทางธรณีเปลี่ยนแปลง หรือสภาพอากาศของโลกเปลี่ยนแปลงจนทำให้ลักษณะพื้นที่ พืชปกคลุมดินเปลี่ยนแปลงไป และการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมนุษย์

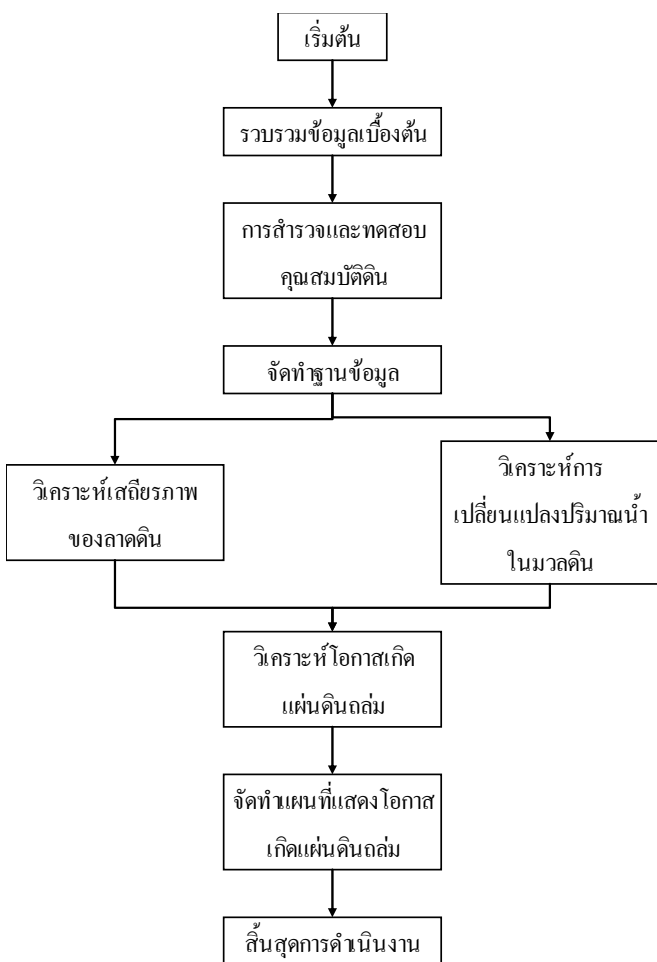
- ปัจจัยผันแปร (Dynamic Factors) เป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีปัจจัยภายนอกมากระตุ้น ได้แก่ ความชื้นในมวลดิน คุณสมบัติของดินทางด้านกำลังรับแรงเฉือน ระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งมีผลทำให้ลาดดินมีเสถียรภาพลดต่ำลงจนอาจก่อให้เกิดการพิบัติได้

ส่วนปัจจัยกระตุ้น เป็นปัจจัยภายนอกที่เมื่อเกิดขึ้นจะมีผลทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ การเกิดฝนตก ปัจจัยกระตุ้นนี้จะเกิดขึ้นเป็นครั้งคราว และมีผลต่อปัจจัยผันแปรชั่วระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น เมื่อปัจจัยกระตุ้นหายไป ปัจจัยสภาพพื้นที่ก็จะกลับคืนสู่ปกติ

การประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม (Landslide Hazard Assessment) เป็นการประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดแผ่นดินถล่มที่สามารถก่อให้เกิดความเสียหายได้จากปัจจัยอิทธิพลต่างๆ (Varnes, 1984) สามารถดำเนินการได้หลายวิธี เช่นวิธีดัชนีปัจจัยร่วม วิธีการทางสถิติ และการวิเคราะห์ทางธรณีวิศวกรรม โดยการวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้วิธีทางธรณีวิศวกรรมในการวิเคราะห์

### 3. การดำเนินงาน

ในการดำเนินงานจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูล ขั้นตอนการวิเคราะห์ และขั้นตอนการจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

#### 3.1 การจัดเตรียมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ในครั้งนี้ได้จากโครงการ “การศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มในจังหวัดภูเก็ต” และโครงการ “ศึกษาหาแนวทางป้องกันและลดผลกระทบจากภัยแผ่นดินถล่ม” ดำเนินการโดยคณะผู้วิจัย ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลนี้ ประกอบด้วยการรวบรวม

ข้อมูลพื้นฐาน ผลการสำรวจลักษณะพื้นที่และผลการทดสอบคุณสมบัติดิน รวมทั้งการจัดทำฐานข้อมูลและกำหนดค่า Parameter

ก. การรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน เป็นการรวบรวมข้อมูลสภาพพื้นที่ ซึ่งมีลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ ได้แก่ แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่ภูมิประเทศ แผนที่การใช้ที่ดิน และข้อมูลการตรวจวัดปริมาณน้ำฝน ซึ่งเป็นปัจจัยกระตุ้น ดำเนินการในรูปแบบ GIS

ข. การรวบรวมผลการสำรวจลักษณะพื้นที่ และทดสอบคุณสมบัติดิน โดยจะนำมาใช้อ้างอิงกับข้อมูลเบื้องต้น และผลการทดสอบคุณสมบัติของดินทางด้านกำลังรับแรงเฉือน และพฤติกรรมการซึมน้ำของดิน ซึ่งเป็นปัจจัยสภาพที่ไม่คงที่

ค. การจัดทำฐานข้อมูล และกำหนดค่า Parameter ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย

- ข้อมูลธรณีวิทยา (Geology) ในบริเวณพื้นที่ศึกษาได้จำแนกลักษณะทางธรณีวิทยาออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มหินแกรนิตซึ่งปรากฏอยู่เป็นบริเวณกว้างบริเวณลาดเขา และมีร่องรอยการเกิดแผ่นดินถล่มในบริเวณนี้ และกลุ่มของตะกอนทรายสะสมอยู่บริเวณเชิงเขาตลอดจนถึงชายฝั่งทะเล (รูปที่ 3ก)

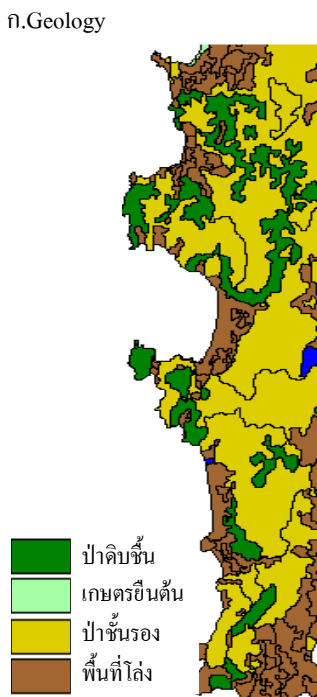
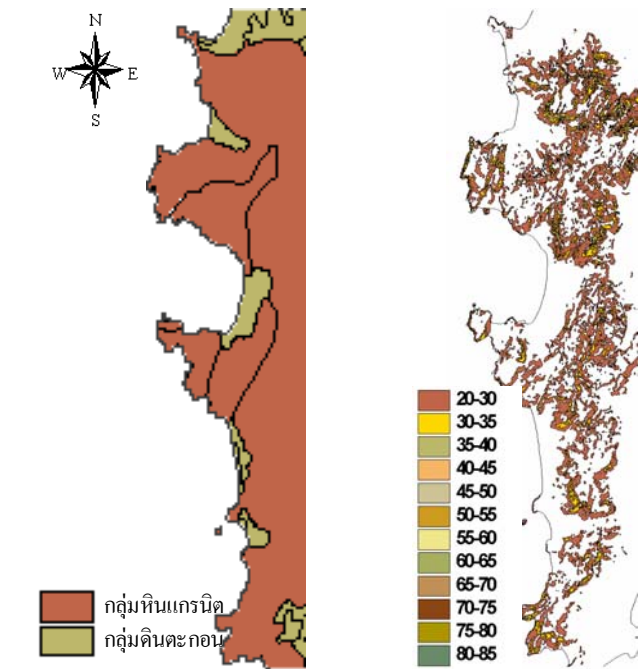
- ข้อมูลความลาดชัน (Slope) กำหนดจากเส้นชั้นความสูงจากแผนที่ภูมิประเทศ ในลักษณะ Polygon โดยแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นช่วงชั้นละ 5° โดยเริ่มตั้งแต่ 30° เป็นต้นไป (รูปที่ 3ข)

- ข้อมูลการใช้ที่ดิน (Land use) จำแนกตามลักษณะของพืชปกคลุมดินโดยพิจารณาความยาวและกำลังรับแรงดึงของรากซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มคือ พื้นที่ป่าดิบชื้น พื้นที่ป่าชั้นรอง พื้นที่เกษตร และพื้นที่โล่ง (รูปที่ 3ค)

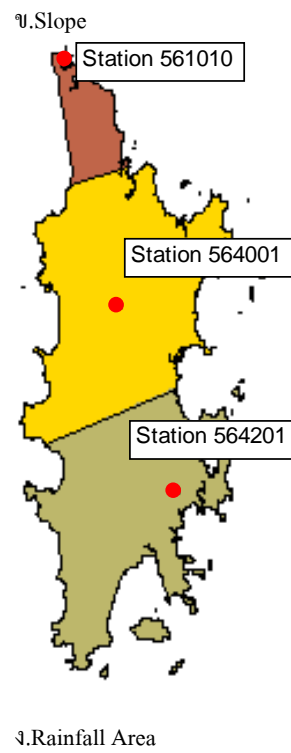
- ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ได้จากสถานีตรวจวัดน้ำฝนที่ครอบคลุมพื้นที่ของกรมอุตุนิยมวิทยาซึ่งมีอยู่ 3 สถานี ได้แก่ สถานี 561010, 564001 และสถานี 564201 ซึ่งแบ่งพื้นที่ครอบคลุมเป็น 3 ส่วน (รูปที่ 3ง) ข้อมูลปริมาณน้ำฝนนี้จะนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของ ความเข้ม-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำของฝน เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์โอกาสเกิดฝนที่ความเข้มต่างๆ ต่อไป

- คุณสมบัติกำลังรับแรงเฉือนของดิน ได้จากผลการทดสอบ Direct Shear Test โดยจำแนกตามกลุ่มหิน ซึ่งกำลังรับแรงเฉือนนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นในมวลดิน โดยกำหนดให้เป็นช่วงชั้นตามระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation, Sr) ดังแสดงในรูปที่ 4

- พฤติกรรมการไหลซึมของน้ำผ่านมวลดิน ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Volumetric Water Content กับค่า Metric Suction ในมวลดิน (Soil-Water Characteristic Curve, SWCC) และความสัมพันธ์ระหว่างค่า Hydraulic Conductivity กับค่า Matric Suction (Permeability Function, PF) ซึ่งถูกกำหนดความสัมพันธ์ด้วยแบบจำลองของ van Genuchten (1980) และค่า Saturated Hydraulic Conductivity (Ks) ซึ่งได้จากการทดสอบในสนามและในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งประมาณได้โดยวิธีทางอ้อมจากผลการทดสอบ Grain Size Distribution และค่า Plasticity Index (Zapata, 2000)

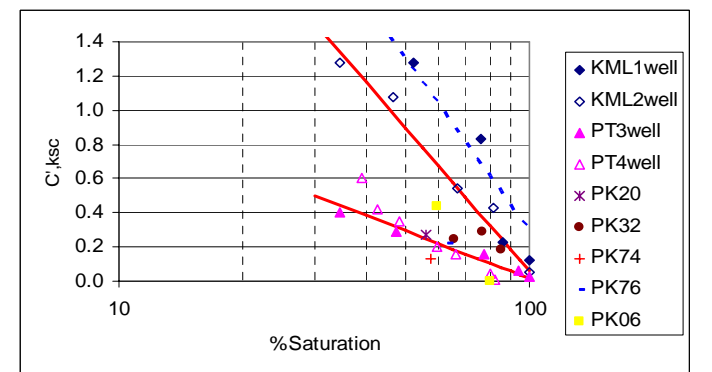


ก. Landuse  
รูปที่ 3 แสดงลักษณะพื้นที่ศึกษา

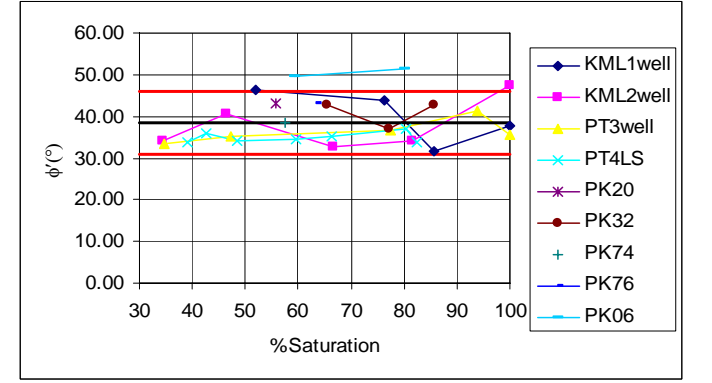


ข. Slope  
จ. Rainfall Area

- ความหนาของชั้นดิน (Soil Thickness) พิจารณาให้เป็นดินชั้นเดียวมีคุณสมบัติเฉลี่ยเท่ากันตั้งแต่ผิวดินจนถึงหน้าหินประมาณค่าจากการสำรวจในสนามบริเวณที่มีการเปิดหน้าดินและบริเวณที่เคยเกิดแผ่นดินถล่ม เปรียบเทียบกับข้อมูลความลาดชันที่มีอยู่ดังแสดงในรูปที่ 5

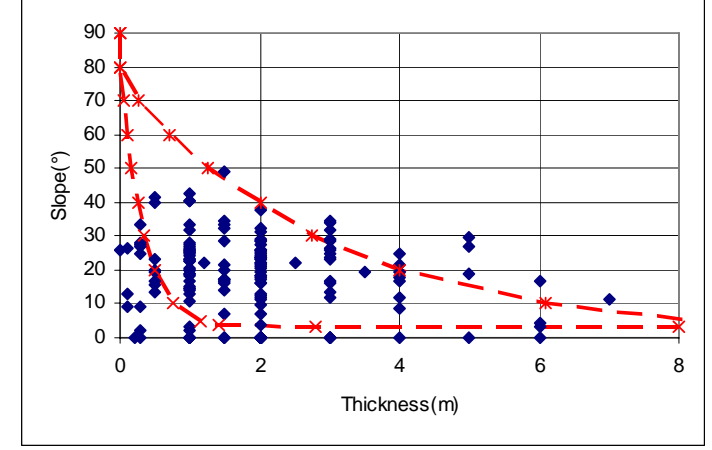


ก. ค่า Cohesion ที่ระดับ Sr ต่างๆ



ข. ค่า Friction Angle ที่ระดับ Sr ต่างๆ

รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบ Direct Shear ที่ระดับ Sr ต่างๆ



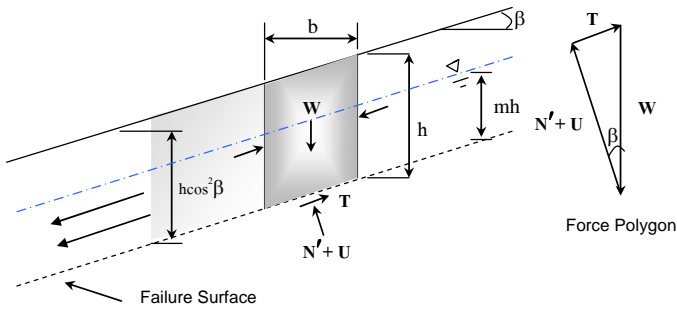
รูปที่ 5 ข้อมูลความลึกเปรียบเทียบกับความชันในพื้นที่ศึกษา

### 3.2 การวิเคราะห์

ในขั้นตอนการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การวิเคราะห์โอกาสเกิดการพิบัติของลาดดินที่สถานะความชื้นต่างๆ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินเนื่องจากฝนตก และการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

ก. การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน วิเคราะห์โดย

- กำหนดแนวการพิบัติเป็นแบบ Infinite Slope เนื่องจากผลการสำรวจในสนามพบว่าลักษณะร่องรอยแผ่นดินถล่มในอดีตเป็น Shallow Landslide ดังแสดงในรูปที่ 6 และวิเคราะห์อัตราส่วนปลอดภัยได้ดังสมการที่ 1



รูปที่ 6 ลักษณะการพิบัติแบบ Infinite Slope

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

- $c'$  = แรงยึดเหนี่ยวของมวลดิน
- $h$  = ความลึกของแนวการพิบัติ
- $\beta$  = มุมลาดเอียงของพื้นที่
- $\phi'$  = มุมเสียดทานภายใน
- $m$  = อัตราส่วนความลึกระดับน้ำใต้ดินเหนือแนวพิบัติกับ ความลึกของแนวพิบัติ
- $\gamma_m$  = ความหนาแน่นขึ้นของดิน
- $\gamma'$  = ความหนาแน่นประสิทธิผล ( $\gamma_{sat} - \gamma_w$ )
- $\gamma_{sat}$  = ความหนาแน่นของดินที่จุดอิ่มตัว
- $\gamma_w$  = ความหนาแน่นของน้ำ

- กำหนดให้ระดับน้ำใต้ดินต่ำกว่าชั้นดินที่พิจารณา เนื่องจากการตรวจวัด Matric Suction ด้วย Tensiometer และการสังเกตในบ่อสังเกตการณ์ที่ความลึกประมาณ 3 เมตร ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2546-2547 ไม่พบว่ามีระดับน้ำใต้ดินขึ้นมาถึงระดับก้นบ่อเลย

- ชั้นดินที่พิจารณามีลักษณะ Homogeneous ตลอดชั้นดิน และได้รับอิทธิพลของรากพืช ซึ่งสามารถวิเคราะห์อัตราส่วน ปลอดภัยได้ดังสมการที่ 2

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

$c_R$  = กำลังรับแรงเฉือนเนื่องจากรากพืช

- ค่า Parameter กำหนดเป็นช่วงต่ำสุด-สูงสุด ตามกลุ่มหิน และช่วงของค่า  $S_r$  ที่ใช้

- จำลองค่า Parameter แบบสุ่ม (Random) โดยกำหนดให้ ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) ค่า Parameter ในการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 2

- ทำการวิเคราะห์โดยแทนค่า Parameter แบบสุ่ม ในแต่ละระดับความชื้นตั้งแต่ 95-100%, 90-95%, 85-90% และ 80-85% ตามลำดับ ซึ่งพบว่าที่ปริมาณความชื้นในมวลดินต่ำกว่า 80% จะไม่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม และใช้ค่านี้เป็นตัวกำหนด จุดเริ่มต้นของการวิเคราะห์ฝน

ตารางที่ 2 แสดงค่า Parameter ที่ใช้ในการวิเคราะห์การพิบัติของลาดดิน คุณสมบัติดินตามกลุ่มหิน

Class	Symbol	Sr(%)	CS	PHI	DEN
Granite	R1_01	95-100	0.25-0.90	32-44	1.89-1.91
	R1_02	90-95	0.46-1.54	32-44	1.87-1.89
	R1_03	85-90	0.69-2.21	32-44	1.85-1.87
	R1_04	80-85	0.92-2.91	32-44	1.83-1.85

ความลาดชัน

Class	Symbol	SLOPE	DEPTH
12	S01	85-89	0.1
11	S02	80-85	0.1
10	S03	75-80	0.1-0.5
9	S04	70-75	0.1-0.5
8	S05	65-70	0.1-1.0
7	S06	60-65	0.1-1.0
6	S07	55-60	0.1-1.5
5	S08	50-55	0.1-1.5
4	S09	45-50	0.1-2.0
3	S10	40-45	0.1-2.0
2	S11	35-40	0.1-3.0
1	S12	30-35	0.1-3.0

การใช้ที่ดิน

Class	Symbol	CR	RDP_MIN
Tropical Evergreen Forest	L1	0.17-0.46	0.0-1.5
Secondary Forest	L2	0.08-0.24	0.0-0.8
Agricultural Crops	L3	0.09-0.35	0.0-1.5
พื้นที่เปิดโล่ง	L4	0.00	0.0

- ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปของความน่าจะเป็นในการ เกิดการพิบัติในแต่ละช่วงของความชื้น

ข. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดิน  
- วิเคราะห์การไหลซึมของน้ำผ่านมวลดิน ด้วยวิธี Finite Difference (FD) แบบทิศทางเดียวในแนวตั้ง (Vertical 1-D Flow) โดยใช้สมการควบคุมของ Richards (Kumar, 2002) ดังแสดงใน สมการที่ 3

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} K \left( \frac{\partial h}{\partial z} - 1 \right) \quad (3)$$

$\theta$  = Volumetric Water Content

$t$  = เวลา

z = ระยะทางตามความลึกจากผิวดินขนานกับทิศ  
ทางการไหล

h = Matric Suction

K = Hydraulic Conductivity

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

- กำหนดค่าเริ่มต้น (Initial Condition) ที่  $S_r = 50\%$  ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่วัดได้ในช่วงที่ทำการตรวจวัดพฤติกรรม (ต.ค. 2546 – ธ.ค. 2547)

- กำหนดขอบเขตการวิเคราะห์ที่ผิวดินให้ปริมาณน้ำฝนที่ไหลซึมลงในดินเป็นค่าคงที่เท่ากับค่าความชื้นของผืนแต่ไม่เกินค่าความสามารถในการซึมน้ำของดิน เมื่อแรงดึงน้ำในมวลดินสูงกว่าแรงดึงน้ำวิกฤติ

$$-K\left(\frac{\partial h}{\partial z} - 1\right) = q \quad (4)$$

- กำหนดขอบเขตการไหลซึมออกด้านล่างเป็นแบบ Free Drainage

$$\frac{\partial h}{\partial z} = 0 \quad (5)$$

- ใช้แบบจำลองของ van Genuchten (1980) กำหนด SWCC และ PF ดังแสดงในรูปที่ 7 และสมการที่ 6 และ 7

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha h)^n\right]^m} \quad \text{For SWCC} \quad (6)$$

$$K = K_s \frac{\left\{1 - (\alpha h)^{n-1} \left[1 + (\alpha h)^n\right]^{-m}\right\}^2}{\left[1 + (\alpha h)^n\right]^{m/2}} \quad \text{For PF} \quad (7)$$

โดยที่

$\theta$  = Volumetric Water Content

$\theta_s$  = Saturated Volumetric Water Content

$\theta_r$  = Residual Volumetric Water Content

$\alpha$  = Shape Parameter,  $\text{cm}^{-1}$

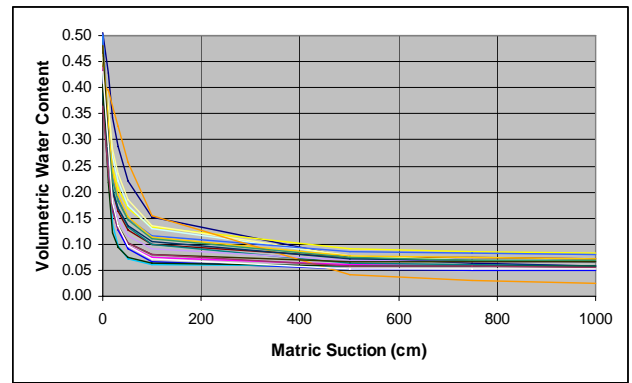
n = Shape Parameter

m = Shape Parameter,  $m=1-1/n$

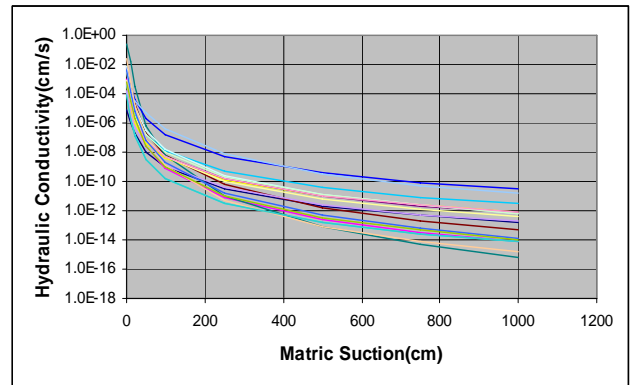
h = Matric Suction, cm

K = Hydraulic Conductivity

$K_s$  = Saturated Hydraulic Conductivity



ก. SWCC จากแบบจำลอง van Genuchten(1980)



ข. PF จากแบบจำลอง van Genuchten(1980)

รูปที่ 7 แสดงพฤติกรรม SWCC และ PF

ค่า Parameter ที่ใช้ในการวิเคราะห์สรุปได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปค่า Parameter สำหรับ SWCC และ PF

$\alpha$	n	$\theta_s$	$\theta_r$	$K_s(\text{cm/s})$
0.133	1.993	0.443	0.024	1.01E-03

- กำหนดช่วงเวลาที่ฝนตก (Duration) เท่ากับ 15 วัน
- กำหนดความชื้นน้ำฝนสูงสุดที่ Return Period 100 ปี (ค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกสถานี) และทำการวิเคราะห์โดยการสุ่ม (Random) ทั้งหมด 500 กรณี
- พิจารณาการไหลซึมที่ระดับความลึก 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 ม. ที่ช่วงเวลาฝนตก 1, 2, 3, ..., 15 วัน
- คัดเลือกช่วงเวลาที่ฝนตกที่เหมาะสม (เลือกจาก 1, 2, 3, ..., 15 วัน) โดยพิจารณาจากค่า  $S_r$  สูงสุดต้องไม่เกินค่าที่ทำให้มีโอกาสเกิดการพังทลายของลาดดิน ที่ความชื้นน้ำฝนเท่ากับศูนย์
- จำนวนการเปลี่ยนแปลงความชื้น โดยพิจารณาจากความชื้นน้ำฝน โดยใช้ช่วงเวลาที่คัดเลือกและโอกาสที่จะเกิดที่ระดับต่างๆ
- ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปของความน่าจะเป็นที่ค่า  $S_r$  เพิ่มขึ้นเนื่องจากฝนตก โดยความไม่แน่นอนดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณฝนที่ตกก่อนหน้า (Antecedent Rainfall) และรูปแบบของฝน (Rainfall Pattern)



ค. การวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

- นำผลการคำนวณโอกาสเกิดการพิบัติของลาดดินที่ระดับความชื้นต่างๆ มาคำนวณร่วมกับโอกาสเกิดความชื้นนั้น
- ผลการวิเคราะห์แสดงถึงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเนื่องจากฝนตกในพื้นที่ศึกษา

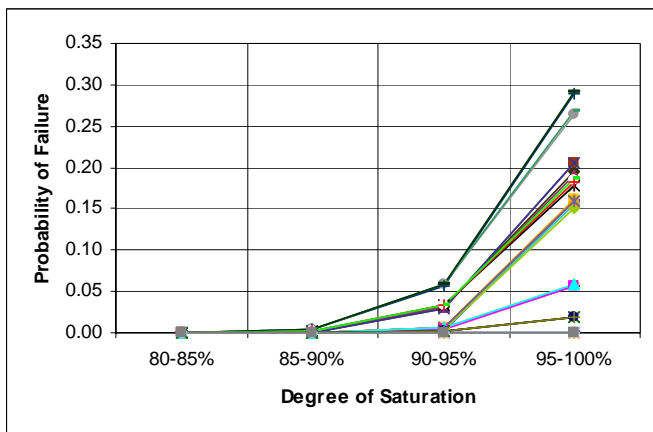
### 3.3 การจัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

- ผลการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในกรณีต่างๆ จะถูกนำไปเปรียบเทียบในบริเวณต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาจากข้อมูลพื้นฐานที่เตรียมไว้ และแสดงผลโดยใช้ GIS
- โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มแสดงในรูปโอกาสเกิดในรอบ 1 ปี

## 4. ผลการวิเคราะห์

### 4.1 ผลการวิเคราะห์โอกาสเกิดการพิบัติ

การวิเคราะห์โอกาสเกิดการพิบัติของลาดดินจากปัจจัยทางธรณีวิทยาซึ่งอยู่ในรูปของกำลังรับแรงเฉือนของดิน ความลาดชันของพื้นที่ และการใช้ที่ดิน มีทั้งสิ้น 48 กรณี และคำนวณในแต่ละช่วงความชื้นตั้งแต่ 95-100%, 90-95%, 85-90% และ 80-85% ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 8 ซึ่งจะเห็นว่าที่  $S_r = 80-85\%$  โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเท่ากับศูนย์ ( $P(F)=0$ )

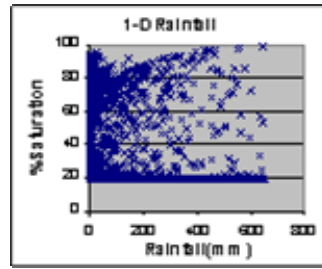


รูปที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์โอกาสเกิดการพิบัติของลาดดินโดยกำหนดให้  $S_r$  เท่ากันตลอดความลึก

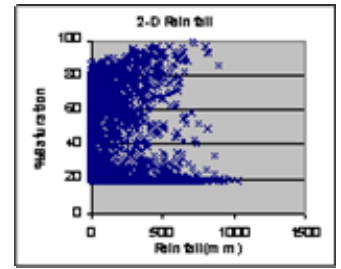
### 4.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้น

- การกำหนดช่วงเวลาฝนตก จากการวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำผ่านมวลดินเนื่องจากฝนตก ซึ่งทำให้ปริมาณความชื้นในมวลดินเปลี่ยนแปลงไป เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฝนในช่วงเวลา 1, 2, 3, ..., 15 วัน ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าช่วงเวลาที่ปริมาณฝนเป็นศูนย์ แล้วที่ค่า  $S_r$  สูงสุดน้อยกว่า 80% ซึ่งทำให้ไม่

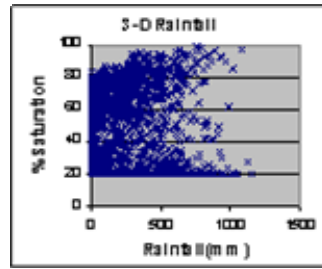
มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มอยู่ที่ 4 วันเป็นต้นไป ดังนั้นจึงเลือกช่วงเวลาที่ 4 วันในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อไป



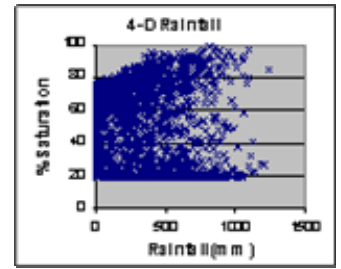
ก. ช่วงเวลา 1 วัน



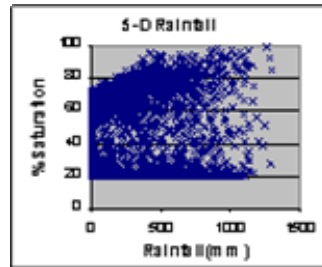
ข. ช่วงเวลา 2 วัน



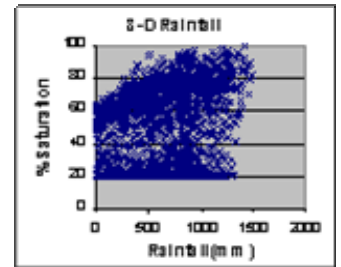
ค. ช่วงเวลา 3 วัน



ง. ช่วงเวลา 4 วัน



จ. ช่วงเวลา 5 วัน



ฉ. ช่วงเวลา 8 วัน

รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างฝนตกที่ช่วงเวลาต่างๆกับ  $S_r$  ที่เปลี่ยนแปลงไป

- การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นเมื่อพิจารณาฝนตก 4 วัน พบว่าที่ปริมาณฝนเท่ากันแต่มีค่า  $S_r$  หลายค่า ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของฝนที่ตกก่อนหน้า และรูปแบบของฝนในช่วงเวลา 4 วัน ดังนั้นจึงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับ  $S_r$  ในรูปของความน่าจะเป็น ดังรูปที่ 10

- การวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มเนื่องจากฝนตกเป็นการวิเคราะห์โอกาสเกิดการพิบัติของลาดดินที่ระดับความชื้นต่างๆ ซึ่งเกิดจากฝนตกที่คำนวณโอกาสเกิด (รอบปีการเกิดซ้ำ) จากสถานีวัดน้ำฝน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มสูงสุดมีค่าต่ำกว่า  $1 \times 10^{-3}$  ดังแสดงในรูปที่ 11

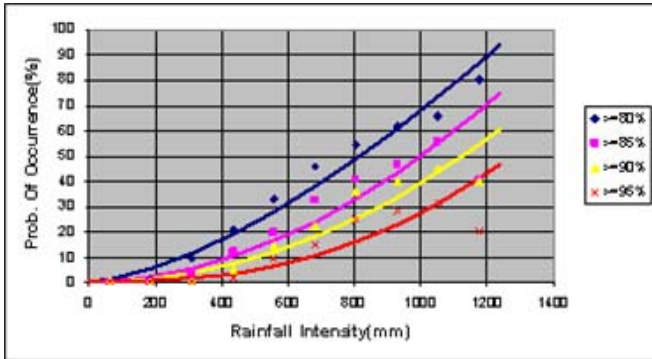
- การจัดทำแผนที่ จากผลการวิเคราะห์สามารถประเมินโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในบริเวณต่างๆ ในพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงในรูปที่ 12

## 6. สรุป

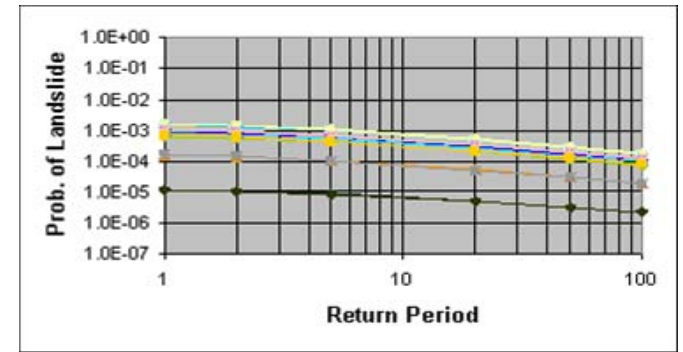
- ผลการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม ซึ่งเมื่อนำไปประเมินในพื้นที่ศึกษาแล้วพบว่า โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มอยู่ใน

ระดับต่ำกว่า  $1 \times 10^{-3}$  ครั้งต่อปี เมื่อพิจารณาจากปัจจัยที่มีอิทธิพล จะเห็นว่าถ้าอยู่สภาพธรรมชาติโดยไม่ถูกรบกวนจะมีโอกาสเกิด แผ่นดินถล่มน้อย และจากการสำรวจแผ่นดินถล่มในอดีต โดยมากจะเป็นข้อมูลในบริเวณที่มีการพัฒนาที่ดิน เปลี่ยนแปลง สภาพพื้นที่เดิม ซึ่งน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้โอกาสเกิด แผ่นดินถล่มเพิ่มขึ้นได้

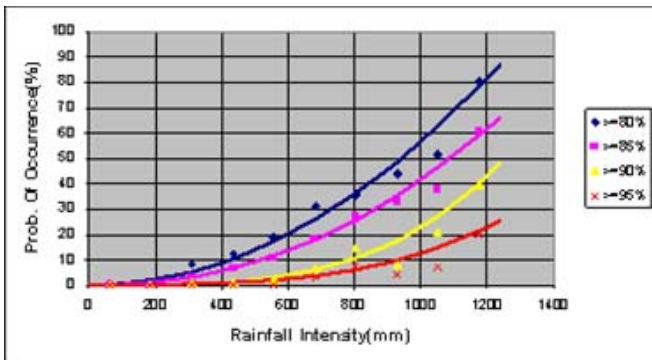
ความเข้มรวมเท่ากันแต่ ความเข้มไม่คงที่มากบ้างน้อยบ้างในแต่ ละช่วงเวลาทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการประมาณความชื้นที่ เกิดขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม ดังนั้น การเลือกช่วงเวลา (Duration) จึงเป็นส่วนที่สำคัญมาก ต้องเป็น ช่วงเวลาที่มากพอที่จะทำให้อิทธิพลของฝนก่อนหน้ามีฝน กระทบน้อย แต่ต้องไม่มากจนทำให้ได้รับอิทธิพลของรูปแบบ มากเกินไป



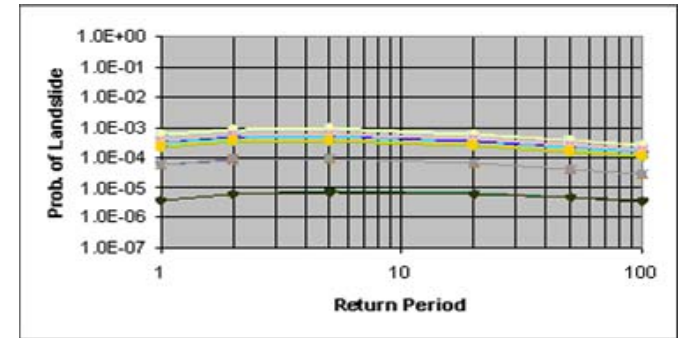
ก. ระดับความลึก 1.00 เมตร



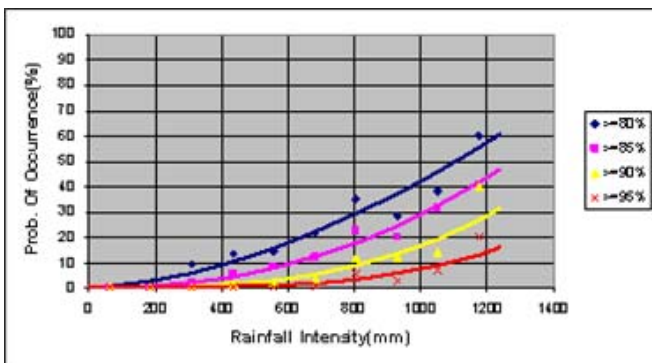
ก. สถานี 561010



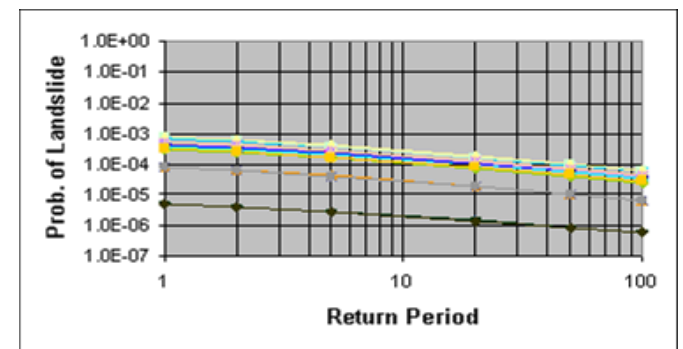
ข. ระดับความลึก 1.00 เมตร



ข. สถานี 564001



ค. ระดับความลึก 1.00 เมตร



ค. สถานี 564201

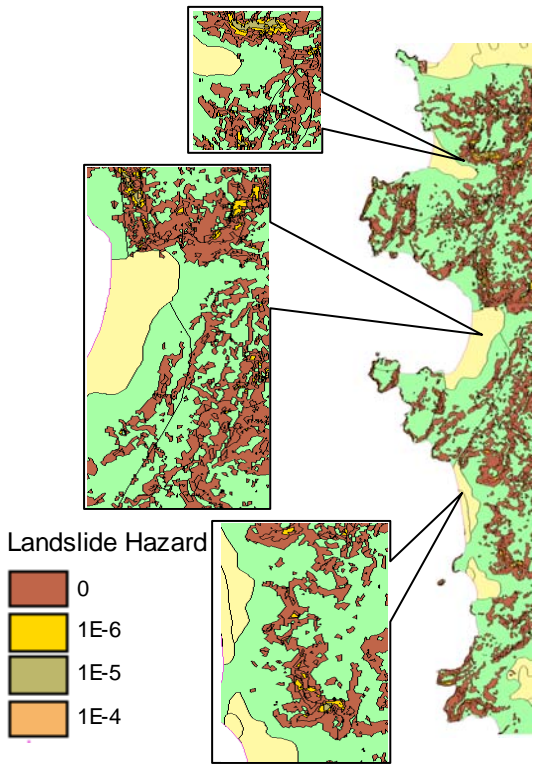
รูปที่ 10 แสดงโอกาสเกิดการเปลี่ยนแปลง Sr ที่ปริมาตรฝนต่างๆ

- การที่ฝนตกที่ความเข้มสูงๆ ไม่ได้หมายความว่าความชื้น ในมวลดินจะเพิ่มขึ้นจนเกิดแผ่นดินถล่มเสมอไป ในบางครั้งฝน ที่ความเข้มต่ำ ก็อาจก่อให้เกิดแผ่นดินถล่มได้ ทั้งนี้เนื่องจาก สภาพะเริ่มต้น (Initial Condition) ซึ่งเป็นผลมาจากฝนก่อนหน้า (Antecedent Rainfall) ทำให้ระดับความชื้นเริ่มต้นสูงเมื่อฝนตก ลงมาเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้เกิดแผ่นดินถล่มได้ นอกจากนี้ รูปแบบของฝนที่ตกก็มีอิทธิพลเช่นกัน ฝนที่ตกในช่วงเวลาและมี

รูปที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์โอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม

- ความเข้มน้ำฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำมาก ไม่จำเป็นที่จะ ก่อให้เกิดแผ่นดินถล่มมากกว่าที่รอบปีการเกิดซ้ำน้อยกว่า เนื่องจากอิทธิพลของฝนก่อนหน้า และรูปแบบฝนในช่วงที่เกิด ฝนตก ทำให้ที่ความเข้มน้อยก็ทำให้เกิดแผ่นดินถล่มได้ถึงจะมี โอกาสเกิดขึ้นได้ต่ำแต่มีรอบปีการเกิดซ้ำที่ถี่กว่าเมื่อนำมาคำนวณ ร่วมกันก็สามารถทำให้มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มสูงกว่า





รูปที่ 12 แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ศึกษา

- ความน่าเชื่อถือ เนื่องจากผลงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย “จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มโดยพิจารณาจากปัจจัยที่ไม่คงที่ พื้นที่ศึกษาภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามัน” ซึ่งขณะนี้อยู่ขั้นตอนของการเทียบวัดเพื่อปรับแก้ความน่าเชื่อถือ ความถูกต้องของการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับการพิจารณาปัจจัยหลายประการ เช่น ความแปรปรวนของข้อมูล และการเลือกตัวแทนที่เหมาะสม การได้มาซึ่งข้อมูล หากมีการดำเนินการเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ในเชิงพฤติกรรมก็เป็นสิ่งที่ควรกระทำ เพราะการที่ทราบถึงกลไกการเกิด จะทำให้สามารถวิเคราะห์และประเมินถึงสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตที่มีเงื่อนไขต่างออกไปจากเดิมได้อย่างถูกต้อง

- ประโยชน์ที่ได้รับ ผลการวิเคราะห์ซึ่งแสดงเป็นโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มต่อปี สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลฐานในการวิเคราะห์ความเสี่ยงภัยจากแผ่นดินถล่มเพื่อใช้ในการวางแผนการดำเนินการเพื่อป้องกันสาธารณภัยต่อไป เช่น การวางแผนและมาตรการเตือนภัย การปรับปรุงพัฒนาโครงสร้างป้องกันและลดผลกระทบ รวมทั้งการหลีกเลี่ยงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลกระทบต่อสภาพเดิมให้มากที่สุด และการวางแผนรับมือภายหลังเกิดภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

- การดำเนินงานในขั้นต่อไป ต้องมีการพัฒนาให้เกิดความน่าเชื่อถือมากขึ้น รวมทั้งการนำปัจจัยเกี่ยวกับกิจกรรมของมนุษย์ที่มีผลต่อสภาพพื้นที่ เพื่อให้การคาดการณ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และคณะผู้วิจัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล รวมทั้งอนุญาตให้เข้าร่วมสังเกตการณ์การดำเนินงานในภาคสนามที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วรกร ไม้เรียง, 2549. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มในจังหวัดภูเก็ต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [2] 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.
- [3] van Genchten M.th, 1980. A closed - form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. J. 44(5):892-898
- [4] Varnes D.J., 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO Natural Hazard Series. Vol. 3.
- [5] 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