การวิเคราะห์และเตือนภัยแผ่นดินถล่ม

LANDSLIDE ANALYSIS AND WARNING

วรากร ไม้เรียง (Warakorn Mairaing)[1]

บรรพต กุลสุวรรณ (Bunpoat Kunsuwan)[2]

[1]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ mairaing@yahoo.com

[2]นักวิจัยศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ beebunpoat@yahoo.com

บทคัดย่อ : การวิเคราะห์แผ่นดินถล่มเพื่อการเตือนภัย จะช่วยให้ลดความสูญเสียของชีวิตและทรัพย์สินที่จะเกิดขึ้นจากดินถล่มได้ โดยปัจจุบันได้การศึกษาจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วมเป็นส่วนใหญ่ และได้มีการศึกษาหาแนวทางในการจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยด้วยวิธีทางธรณีเทคนิค (Geotechnical Engineering Method) ที่นำคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินและหิน โดยได้มีการศึกษาในส่วนของคุณสมบัติของดินที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Soil) การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำลงในชั้นดินเนื่องจากน้ำฝน การวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝน การวิเคราะห์ความมั่นคง หาเส้นขอบเขตน้ำฝนวิกฤตและแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่ม รวมถึงการเตือนภัยแผ่นดินถล่ม

KEYWORDS : Landslide, Warning systems, Unsaturated Soil, Hazard map

1. บทนำ

ประเทศไทยอยู่เขตร้อนชื้นของโลก มีลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบเขตร้อน (Tropical climate) พื้นที่ทั้งหมดของประเทศอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ฤดู คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากแถบมหาสมุทรอินเดียเป็นฤดูฝน และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจากทะเลจีนใต้เป็นฤดูหนาว ทำให้ประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบสะวันนาและแบบป่าฝนเมืองร้อน เป็นปัจจัยที่ให้ประเทศไทยมีโอกาสที่เผชิญกับภัยจากแผ่นดินถล่มเนื่องจากน้ำหลากในฤดูฝนเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์อยู่บนลาดเขาที่มีความลาดชันสูง

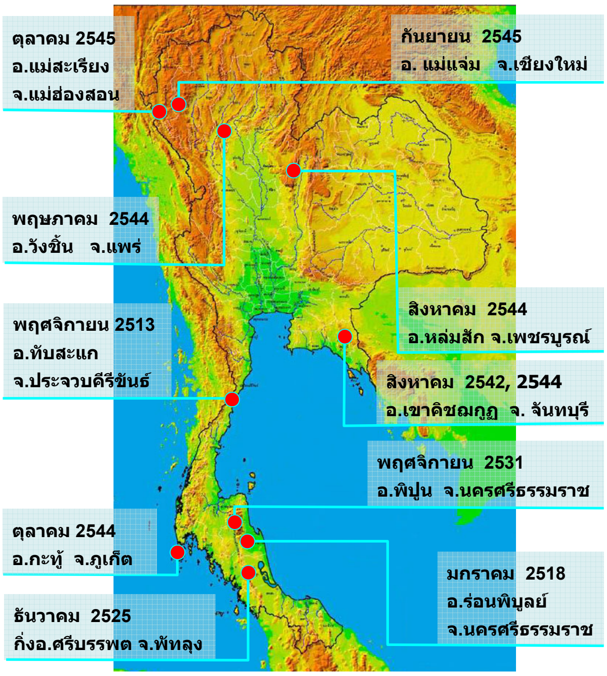
สาเหตุในการพิบัติของลาดดินที่ผ่านมา ประกอบด้วย สาเหตุจากธรรมชาติ ได้แก่ปัจจัยทางภูมิประเทศ ความลาดชันและปัจจัยทางดิน อีกสาเหตุคือ สาเหตุจากมนุษย์ ได้แก่ กิจกรรมในการใช้พื้นที่และเปลี่ยนแปลงลาดดิน ซึ่งจากข้อมูลในปี 2504 มีพื้นที่ป่าไม้ 183 ล้านไร่ ปี 2517 มีพื้นที่ป่าไม้ 119 ล้านไร่ และปี 2539 พื้นที่ป่าไม้ลดลงเหลือ 80 ล้านไร่ จะเห็นว่าพื้นที่ป่าไม้ลดลงเนื่องจากจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้น จึงมีการขยายตัวของพื้นที่เพื่อการใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น ทำให้มีการเข้าใช้พื้นที่ที่มีความลาดชันเพิ่มขึ้น และมีโอกาสได้รับผลกระทบเนื่องจากการพิบัติของลาดดิน โดยตะกอนดินที่เกิดจากการพิบัติของลาดดินเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน ทำให้ให้เกิดผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคม จึงมีการศึกษาการบริหารจัดการด้านการป้องกันและลดผลกระทบ เพื่อเป็นการเตรียมพร้อมรับภัยแผ่นดินถล่ม

2. การเกิดแผ่นดินถล่มในประเทศไทย

การเกิดแผ่นดินถล่มเกิดขึ้นทำให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สิน ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นทำให้การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศต้องหยุดชะงักลง เนื่องจากงบประมาณมีอยู่ค่อนข้างจำกัด แล้วยังต้องนำมาใช้ในการให้ความช่วยเหลือกับผู้ประสบภัยและฟื้นฟูบูรณะพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ สำหรับพื้นที่ที่เคยเกิดดินถล่มมีดังนี้

1.ที่ อ.พิปูน และ อ.ลานสะกา จ.นครศรีธรรมราช พ.ศ. 2531 ก่อให้เกิดวิกฤตการณ์แผ่นดินถล่มและน้ำท่วมอย่างรุนแรง ครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 3200 ตารางกิโลเมตร มีผู้เสียชีวิต 371 คน และเกิดความเสียคิดเป็นมูลค่ารวมมากกว่า 7000 พันล้าน

บาท และสรุปสาเหตุได้ 3 ส่วนคือ ปริมาณน้ำฝน, การตัดไม้เพื่อทำการเกษตร และจากลักษณะภูมิประเทศกับลักษณะทางธรณี



รูปที่ 1 บริเวณที่เคยเกิดแผ่นดินถล่มครั้งใหญ่ในอดีต

2.ที่ อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี พ.ศ. 2542 มีฝนตกหนักในพื้นที่ลุ่มน้ำจันทบุรี ทำให้เกิดแผ่นดินถล่มในลำน้ำสาขาของแม่น้ำจันทบุรีตอนล่าง ซึ่งในเขต จ.จันทบุรีมีมูลค่าความเสียหายกว่า 300 ล้านบาท และในปี 2544 ได้เกิดการพิบัติของลาดดินอีกในบริเวณเขาคิชฌกูฏและเกิดอุทกภัย โดยมีมูลค่าความเสียหายกว่า 330 ล้านบาท

3.ที่ อ.วังชิ้น จ.แพร่ สุโขทัย พ.ศ.2544 เกิดลาดดินถล่มตามแนวเทือกเขาฝั่งตะวันออกของอำเภอวังชิ้นและน้ำท่วมสร้างความเสียหายนับร้อยล้านบาท สาเหตุที่อาจจะทำให้เกิดแผ่นดินถล่ม ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน , ลักษณะทางธรณีวิทยา และสภาพการใช้พื้นที่ ซึ่งก็คือลักษณะของพืชที่ปลูกบริเวณนั้น

3. การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินถล่ม

การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินถล่ม โดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลที่จัดเก็บในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) มาพิจารณาร่วมกัน อาจทำได้ 4 วิธี เรียงลำดับจากง่ายและรวดเร็ว แต่มีข้อผิดพลาดค่อนข้างสูงไปสู่วิธีที่ทำยากใช้เวลานาน แต่มีความถูกต้องและเป็นประโยชน์มากกว่าดังนี้ (วรากร,2542)

1.วิธีทางธรณีสัณฐาน (Geomorphology Method): โดยการวิเคราะห์จากลักษณะภูมิประเทศ ร่องน้ำ และลาดเขา

2.วิธีดัชนีปัจจัยร่วม (Weighted Factor Index): โดยการนำปัจจัยที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์กระทำมาจัดจำแนกลำดับความรุนแรงและให้น้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัย แล้วคิดออกมาเป็นแต้มคะแนนรวมเพื่อจัดลำดับความรุนแรงหรือโอกาสเสี่ยงในแต่ละพื้นที่ วิธีนี้ต้องปรับแก้ความสำคัญของปัจจัยต่างๆให้เข้ากับเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้น

3.วิธีทางธรณีเทคนิค (Geotechnical Engineering Method): โดยการสำรวจและทดสอบคุณสมบัติทางธรณีวิทยาและวิศวกรรมปฐพีของชั้นดินและหิน ร่วมกับอิทธิพลของความชื้นที่เปลี่ยนไป แล้ววิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินและหินจากรูปแบบทางกลศาสตร์เพื่อหาระดับความมั่นคง

4.วิธีการวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk Analysis Method): โดยการดำเนินการต่อจากวิธีที่ 2 และ 3 โดยการศึกษาทางสถิติของโอกาสที่จะเกิดการวิบัติและผลเสียหายทางด้านเศรษฐกิจและสังคมที่จะเกิดขึ้นตามมา

4. การศึกษาพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินถล่ม

หลายหน่วยงานในประเทศไทย มีความพยายามที่จะศึกษาแผ่นดินถล่มเพื่อนำไปเตือนภัย หาทางแก้ไขป้องกัน หรือจัดแบ่งเขตการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดผลกระทบจากแผ่นดินถล่มน้อยที่สุด ดังตัวอย่าง ได้แก่

4.1 กรมทรัพยากรธรณี (2544)

ได้ศึกษาสาเหตุของเหตุการณ์พิบัติพื้นที่ ต.น้ำก้อ-น้ำชุน จ.เพชรบูรณ์ จากปัจจัยต่าง ๆ อันได้แก่ สภาพธรณีวิทยา ความลาดชัน ปริมาณน้ำฝน สภาพการใช้ที่ดิน ซึ่งพบว่าโคลนดินถล่มเกิดขึ้นจากสภาพธรณีวิทยาที่เอื้ออำนวย หินมีการผุพังสูง พื้นที่ป่าปกคลุมอยู่น้อย โดยมีปริมาณฝนตกมากกว่าปกติเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดดินถล่ม

4.2 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (2548)

ได้ทำการศึกษาและจัดทำแผนที่โอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในพื้นที่ภาคใต้ โดยใช้ดัชนีปัจจัยร่วม (Weighted Factor Index) จากปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดดินถล่ม ได้แก่ ลักษณะชนิดดินและหิน

ความลาดชัน ปริมาณฝน สภาพการใช้ที่ดิน ระดับความสูงของพื้นที่ ซึ่งแต่ละปัจจัยมีค่าถ่วงน้ำหนักเป็นเลขโดดที่แตกต่างกัน และมีระดับคะแนนตามช่วงค่าของปัจจัยนั้น ๆ

4.3 Wichai Pantanahiran (1994)

ใช้หลัก Logistic Regression Analysis เพื่อประเมินโอกาศเกิดแผ่นดินถล่มในบริเวณพื้นที่ลาดเขาเขตอำเภอพิปูน และเขาคีรีวงศ์ จ.นครศรีธรรมราช โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานจาก Remote Sensing ประกอบด้วยตัวแปรต่อไปนี้ Elevation , Adjusted aspect , TM4 , Flow accumulation , Brightness , Wetness , Slope , Flow direction

4.4 ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2546)

ได้ศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มมาอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ พื้นที่ต.น้ำก้อ จ.เพชรบูรณ์ อ.วังชิ้น จ.แพร่ อ.เขาคิชฌกูฏ จ.จันทบุรี ต.ป่าตอง จ.ภูเก็ต โดยทำการศึกษาในด้านคุณสมบัติของดินทางวิศวกรรม เพื่อประเมินความมั่นคงของลาดภูเขา โดยเฉพาะเมื่อเกิดฝนตกหนักซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดดินถล่ม

4.5 สถานบันวิจัยและพัฒนาเพื่อป้องกันการเป็นทะเลทรายและเตือนภัย กรมพัฒนาที่ดิน (2548)

จัดทำแผนที่แสดงโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มในประเทศไทย โดยพิจารณาถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดแผ่นดินถล่ม ได้แก่ การใช้ที่ดิน พืชพรรณ ลักษณะชนิดดิน ความลาดชัน และปริมาณฝน โดยวิเคราะห์บนระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ ที่รูปแบบการพิบัติเป็นแบบลาดอนันต์ (Infinite Slope)

4.6 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษา

เนื่องจากพื้นฐานการศึกษาวิเคราะห์ของแต่ละวิธีการ มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณา เกี่ยวข้องหลากหลาย จึงได้มีการรวบรวมปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ได้จากการศึกษาของหน่วยงานต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1

5. การศึกษาแผ่นดินถล่มโดยวิธีทางธรณีเทคนิค

การศึกษาโดยวิธีนี้พิจารณาจากกลศาสตร์ของดิน ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากความชื้นจากน้ำฝน ทั้งทางด้านกำลังของดินที่ลดลง และแรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้น เมื่อมวลดินมีความชื้นสูงขึ้น โดยมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2

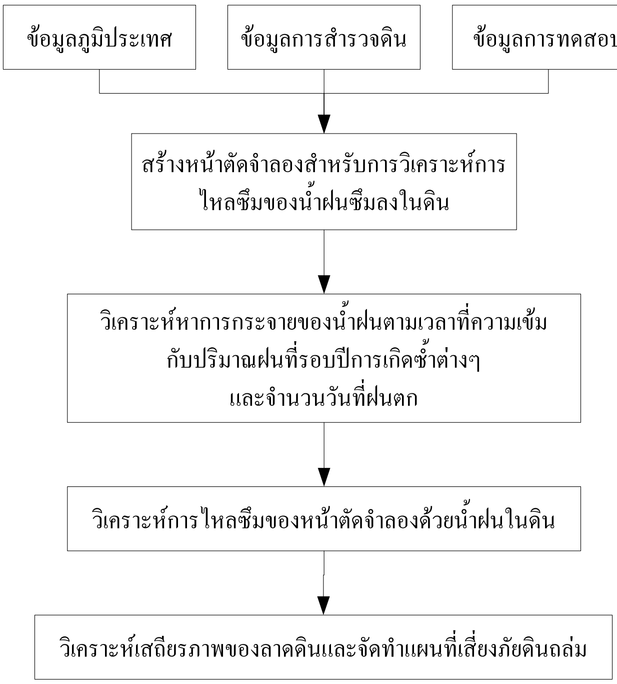
ถึงแม้ว่าวิธีทางธรณีเทคนิคจะมีความชัดเจนด้านคุณสมบัติของดิน และรูปแบบของการพังทลายที่เกี่ยวข้อง แต่ก็มีข้อจำกัดของการนำไปประยุกต์ใช้ จะต้องอยู่ในพื้นที่ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องไม่แปรผันมากนัก ทั้งยังต้องใช้เวลาในการสำรวจและทดสอบคุณสมบัติดินในห้องปฏิบัติการ จึงต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในอนาคต

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการต่างๆ

	วิธีการ/หน่วยงาน	1. วิธีดัชนีปัจจัยร่วม	1.1 ม.สงขลานครินทร์	1.2 กรมพัฒนาที่ดิน	1.3 ศูนย์วิจัยป่าไม้ ม.ก.	1.4 กรมทรัพยากรธรณี	2. วิธีทางธรณีเทคนิค	2.1 ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพี ม.ก.
ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์	ระดับน้ำใต้ดิน							✓
	ความลึกของชั้นดินและชั้นหิน							✓
	ความชื้นของพื้นที่					✓		✓
	ทิศทาง/การไหลของน้ำ					✓		
	พื้นที่รับน้ำฝน					✓		
	การเกิดแผ่นดินถล่มในอดีต				✓			
	ภูมิอากาศ				✓			
	ภูมิประเทศ				✓			
	ลักษณะทางธรณีวิทยา			✓	✓	✓		✓
	ระดับความสูง		✓			✓		
	สิ่งปกคลุมดิน		✓	✓				✓
	สภาพการใช้ที่ดิน		✓	✓	✓	✓		
	ปริมาณฝน		✓	✓				✓
	ความลาดของพื้นที่		✓	✓		✓		✓
	ชนิดของหิน		✓	✓				

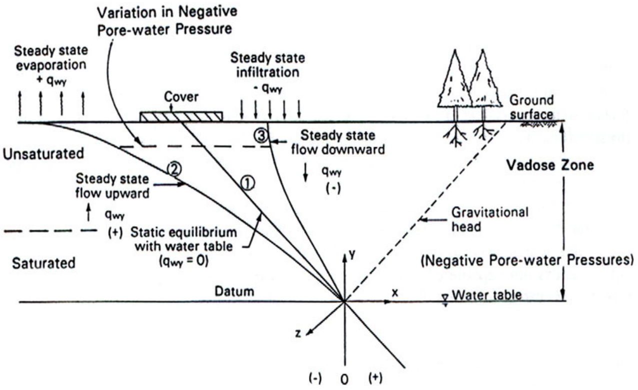
5.1 คุณสมบัติของดินที่ไม่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ

การศึกษาแผ่นดินถล่มด้วยวิธีทางธรณีเทคนิค คือการวิเคราะห์ความมั่นคงของมวลดินบนลาดเขา โดยต้องอาศัยคุณสมบัติของดินในพื้นที่ที่เกิดแผ่นดินถล่ม เป็นปัจจัยทางวิศวกรรมที่สำคัญ เช่นในกรณีที่ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ(Unsaturated Soil) ดินจะมีหน่วยแรงประสิทธิผลเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงตึงผิวของส่วนที่สัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำ ที่เรียกว่า Contractile Skin (Fredlund, 1993) เช่นในกรณี การตัดลาดดินที่สูงชันแต่ก็ไม่เกิดการพังทลาย แม้ว่าไม่มีระบบค้ำยันหรือการปรับปรุงคุณภาพดิน ดังรูปที่ 3 และถ้าพิจารณาชั้นดินในสภาวะปกติดังในรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าดินในช่วงเหนือระดับน้ำใต้ดินมีทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว เรียกว่าช่วง Vadose Zone จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับการไหลของน้ำจากภายนอก ซึ่งระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงนี้เองจะส่งผลถึงกำลังรับแรงและการยุบตัวของดิน



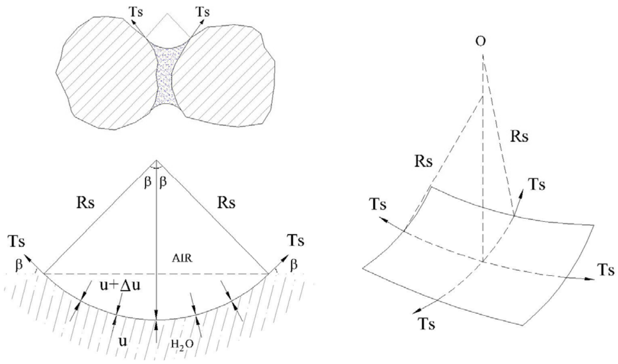
รูปที่ 2 ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยวิธีทางธรณีเทคนิค

รูปที่ 3 การตัดลาดดินไหล่เขา



รูปที่ 4 ลักษณะเส้นระดับน้ำของชั้นดินทั่วไป (Fredlund, 1993)

ความแตกต่างระหว่าง Saturated Soil กับ Unsaturated Soil (Fredlund, 1993) มี 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนประกอบของดิน และแรงดันของน้ำและอากาศในมวลดิน โดยที่ผิวของ Contractile Skin นี้มีแรงดันน้ำ (U) และ ผลต่างของแรงดันอากาศในมวลดินกับแรงดันน้ำคือ (Ua – Uw) คือ Matric Suction ซึ่งเป็นผลต่างของ Pore-Air และ Pore-Water Pressure กระทำที่ผิวของ Contractile ในรูปที่ 5 ซึ่งจะส่งต่อค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำในมวลดิน

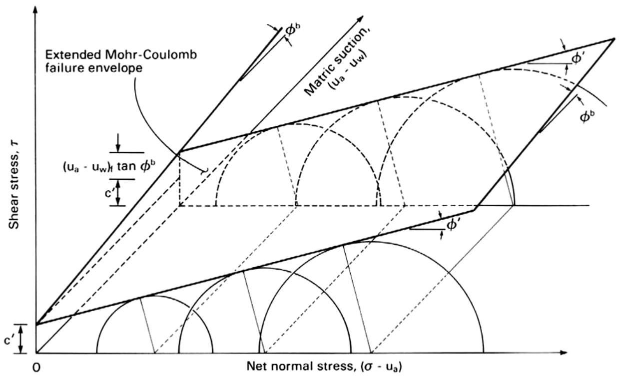


รูปที่ 5 แสดงแรงดันและแรงตึงที่ผิว Contractile (Fredlund, 1993)

Fredlund (1978) พบว่าในกรณีดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ จะมีเทอมที่ประกอบด้วยแรงดันของน้ำและอากาศ ในสมการที่ 1 โดยมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง ดังรูปที่ 6 โดยที่ ϕ_b เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Matric Suction กับ Cohesion (c') คือถ้ายิ่งมีค่า Matric Suction มากขึ้นค่า ϕ_b ก็จะมากขึ้นด้วย และในกรณีที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ แล้ว $\phi' = \phi^b$ ซึ่งก็จะได้สมการในรูปของสมการหน่วยแรงประสิทธิผลดังสมการที่ 2

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a)\tan\phi' + (u_a - u_w)\tan\phi^b \qquad (1)$$

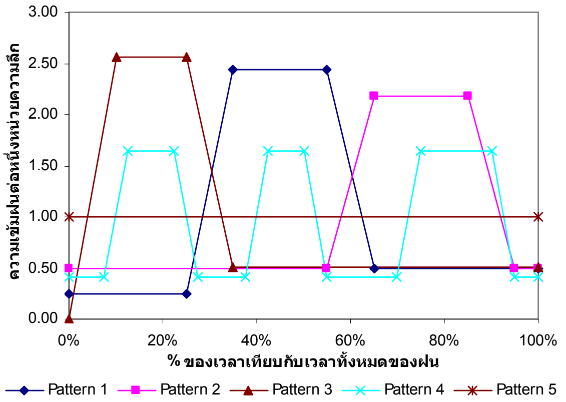
$$\tau_{ff} = \sigma'_{ff}\tan\phi' + c' \qquad (2)$$



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของการวิบัติของดินในรูปของ Unsaturated Soil

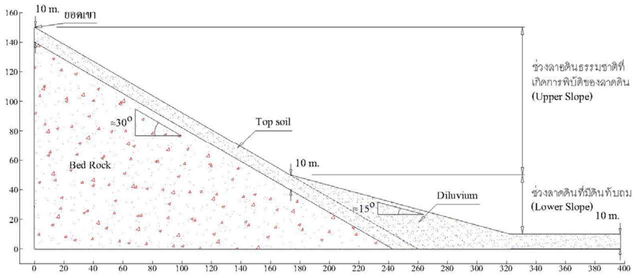
5.2 การวิเคราะห์รูปแบบฝนและการไหลซึมลงในชั้นดิน

น้ำฝนเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญ ในการเกิดแผ่นดินถล่ม จึงมีการวิเคราะห์ข้อมูลของน้ำฝน เพื่อหารูปแบบฝน ที่ตกในพื้นที่เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของรูปแบบฝน กับการไหลซึมลงในชั้นดิน จากการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนทุก 3 ชั่วโมงของสถานี 480201 ที่อยู่ใกล้เคียงกับบริเวณพื้นที่ที่เกิดแผ่นดินถล่มที่เขาคิชฌกูฏ และทำการการแจกแจงฝนตามเวลา (Time Distribution of Rainfall) ได้ผลดังรูปที่ 7 และวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยปริมาณฝน (มม.) สูงสุดรายปี ช่วงเวลาที่ฝนตก (Duration) และที่คาบความถี่ของการเกิดซ้ำ (Return period) ต่างๆ เพื่อวิเคราะห์การไหลซึมและเสถียรภาพของลาดดิน

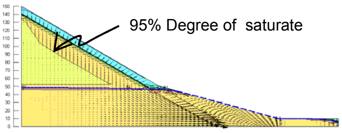


รูปที่ 7 รูปแบบการกระจายของฝน

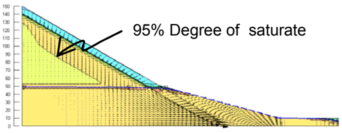
การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำฝนลงในมวลดิน ต้องทำการศึกษาหาหน้าตัดลาดดิน โดยพิจารณาข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมและแผนที่เส้นชั้นความสูง เพื่อหาความลาดชันเฉลี่ยของลาดดินที่เกิดดินถล่ม ในส่วนของข้อมูลลักษณะของชั้นดินได้จากการสำรวจพื้นที่เกิดดินถล่ม การทดสอบ Kunzelstab Penetration Test และผลการเจาะสำรวจของโครงการของโครงการก่อสร้างในพื้นที่ใกล้เคียง ทำให้ได้หน้าตัดสำหรับการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 8 และผลการวิเคราะห์การไหลซึมที่ Return period ต่างๆ ของรูปแบบฝนที่ 2 และ Duration 10 วัน บนลาดดินได้ผลดังรูปที่ 9 ที่แสดงให้เห็นถึงขอบเขตของค่าความอิ่มตัวที่เท่ากับในมวลดินเกิดขึ้นที่ความลึกแตกต่างกัน



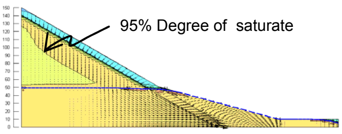
รูปที่ 8 หน้าตัดแบบจำลองของการวิเคราะห์การไหลซึม



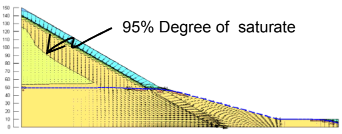
ก. กรณี P2-10d-5y



ข. กรณี P2-10d-20y



ค. กรณี P2-10d-100y

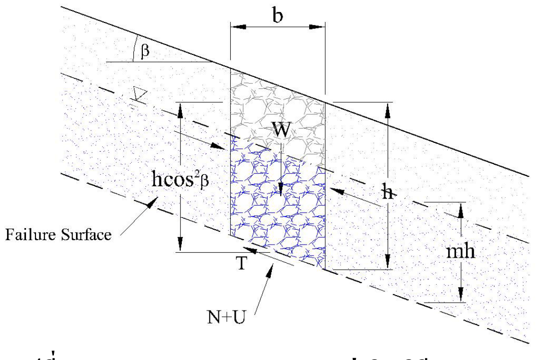


ง. กรณี P2-10d-200y

รูปที่ 9 ค่าความอิ่มตัวของการไหลซึมที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ ในวันที่ 25

5.3 การวิเคราะห์ความมั่นคงรวมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

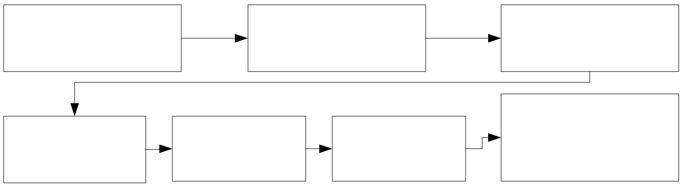
เสถียรภาพของลาดดินลดลง เนื่องจากน้ำฝนเกิดการไหลซึมในมวลดิน ทำให้ความชื้นในมวลดินสูงขึ้น ส่งผลให้กำลังรับแรงเฉือนของมวลดินลดลง โดยใช้การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินแบบลาดอนันต์ (Infinite Slope) ที่ใช้หลักการสมดุลของแรงที่มีแรงกระทำบนลาดดินแสดงดังรูปที่ 10 และสามารถแสดงสมการการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.) ของมวลดินที่ค่าความอิ่มตัวต่างๆดังสมการที่ 3



รูปที่ 10 Free Body Diagram ของแท่งดิน วิธี Infinite Slope

$$F.S. = \frac{c + h\cos^2\beta\tan\phi[(1-m)\gamma' + m(\gamma_{sat} - \gamma_w)] + \ln(S)\tan\alpha}{h\sin\beta\cos\beta[(1-m)\gamma' + m\gamma_{sat}]} \quad (3)$$

การวิเคราะห์ความมั่นคงรวมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะเป็นการนำผลการวิเคราะห์การไหลซึมในมวลดินและการวิเคราะห์ความมั่นคง จัดทำเป็นแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ด้วยการพิจารณาที่ความลาดชันต่างๆ ของพื้นที่และนำมาคำนวณหาค่า F.S. โดยนำข้อมูลจากเส้นชั้นความสูงของพื้นที่ มาจัดทำเป็นข้อมูลแบบ Raster Map ของความลาดชันของพื้น แสดงขั้นตอนดังรูปที่ 11

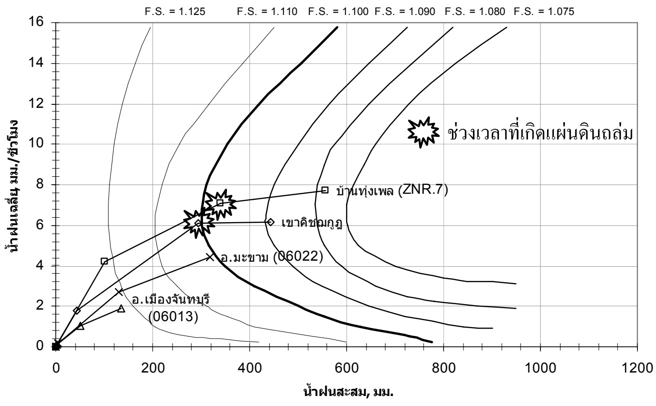


รูปที่ 11 ขั้นตอนการจัดเตรียม Raster Map

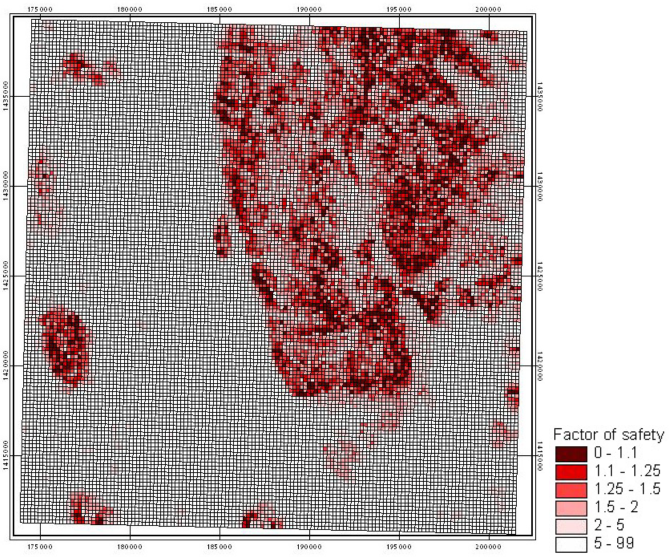
6. การเตือนภัยแผ่นดินถล่ม

เป้าหมายที่สำคัญ ประการหนึ่งในการศึกษาแผ่นดินถล่มคือ การที่สามารถเตือนภัยผู้ที่จะรับผลกระทบได้ล่วงหน้า จะทำให้ลดการสูญเสียได้ ดัชนีที่ใช้ในการเตือนภัยอาจมีตั้งแต่ การเคลื่อนตัวของดิน ความชื้นในมวลดิน ปริมาณและรูปแบบการตกของน้ำฝน สีน้ำหรือความขุ่นในลำน้ำ ไปจนกระทั้งความเข้มของเมฆฝนที่สำรวจได้ด้วยเรดาร์

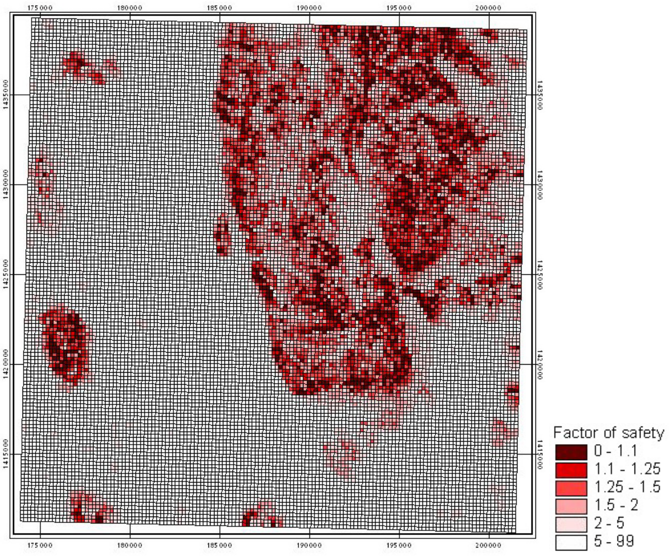
ดัชนีใดที่มีความสัมพันธ์ที่ดีกับการเกิดดินถล่ม และสามารถตรวจวัดได้ก่อนล่วงหน้านานก่อนเกิดแผ่นดินถล่ม ก็จะเป็นดัชนีเตือนภัยที่ดี ในปัจจุบันปริมาณความเข้มและรูปแบบการตกของน้ำฝน ถือได้ว่าเป็นดัชนีที่ดีที่สุด ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อเตือนภัยจึงพยายามหาปริมาณ "น้ำฝนวิกฤต" เพื่อการเตือนภัย ตัวอย่างน้ำฝนวิกฤตของพื้นที่ เขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี (แผนที่ระวาง 5434IV) ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธีทางธรณีเทคนิคแสดงไว้ในรูปที่ 12 และสามารถแสดงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องที่มีโอกาสเกิดการถล่มสูงในรูปที่ 13



รูปที่ 12 ขอบเขตน้ำฝนวิกฤตและเหตุการณ์ดินถล่มที่เกิดในอดีต



ก. ในสภาวะเริ่มต้น



ข.สภาวะฝนตกหนัก

รูปที่ 13 แผนที่เสี่ยงภัยแผ่นดินถล่ม (บรรพต, 2548)

7. สรุป

การศึกษาแผ่นดินถล่มเพื่อการเตือนภัยจะช่วยลดผลความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้ ในปัจจุบันได้มีการศึกษาและหาแนวทางในการเตือนภัยด้วยวิธีทางธรณีเทคนิค ซึ่งได้มีการศึกษาในเรื่องของ กำลังรับแรงเฉือนของมวลดินที่ค่าความชื้นหรือ Degree of saturate ต่างๆ การวิเคราะห์รูปแบบฝน การการวิเคราะห์การไหลซึมเพื่อศึกษาค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากน้ำฝนที่ Intensity-Duration-Return Period การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน รวมถึงการพยายามหาเส้นขอบเขตน้ำฝนวิกฤต และแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่ม อย่างไรก็ตามความมีการศึกษาและพัฒนาด้านแผ่นดินถล่มเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้เข้าใจและสามารถนำมาใช้ในการเตือนภัยแผ่นดินถล่มที่เหมาะสมและถูกต้องยิ่งขึ้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] วรากร ไม้เรียง. 2542. <u>วิศวกรรมเขื่อนดิน.</u> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[2] บรรพต กุลสุวรรณ, 2548. <u>การศึกษาพฤติกรรมการพิบัติของลาดดินในพื้นที่ต้นน้ำของลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำจันทบุรี</u>. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[3] Fredlund, D.G. and H. Rahardjo. 1993. **Soil Mechanics for Unsaturated Soils.** John Wiley & Son,INC., New York.