

# Dynamic Landslide Warning from Rainfall and Soil Suction Measurement

## การเตือนภัยดินถล่มแบบพลวัต จากการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนและแรงดึงน้ำในดิน

Dr. Warakorn Mairaing

Associate Professor, Civil Engineering Department, Kasetsart University, Jatuchak, Bangkok, Thailand

Santi Thaiyuenwong

Dotoral Student, Civil Engineering Department, Kasetsart University, Jatuchak, Bangkok, Thailand

คำสำคัญ: ดินถล่มจากการกระตุ้นของน้ำฝน, แรงดึงน้ำในดิน, แบบจำลองการซึมน้ำ, เสถียรภาพของลาดเอียง

บทคัดย่อ: ปัญหาดินถล่มที่เกิดจากฝนตกหนักนับวันจะทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นอย่างมากโดยเฉพาะในช่วงสิบปีที่ผ่านมา จากบันทึกข้อมูลความเสียหายจากดินถล่มที่เกิดขึ้นในอดีตของประเทศไทยแสดงให้เห็นว่า มีความสูญเสียชีวิตเฉลี่ย 15 คน และมูลค่าความเสียหายประมาณ 105 ล้านบาทต่อปี วิธีการคาดการณ์และเตือนภัยดินถล่มวิธีหนึ่งซึ่งสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพได้แก่ วิธีธรณีวิศวกรรม (Geotechnical engineering method) ดำเนินการด้วยการเก็บดินตัวอย่างและทดสอบคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil) เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงน้ำกับปริมาณน้ำในดิน (SWCC) ความสามารถในการซึมน้ำของดินแปรผันตามแรงดึงน้ำในดิน (Permeability function) และแบบจำลองของกำลังรับแรงเฉือนของดินแปรผันตามแรงดึงน้ำในดินของ Fredlund ร่วมกับแบบจำลองการซึมน้ำ (Infiltration) ในระหว่างฝนตก สามารถคาดการณ์การเกิดดินถล่มได้และผลการวิเคราะห์สามารถสอบเทียบได้จากการตรวจสอบในสนาม ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) เป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับฐานข้อมูลลักษณะพื้นที่และคุณสมบัติดินใช้ในการคาดการณ์เสถียรภาพและโอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียงในพื้นที่เป้าหมาย และนำเสนอในรูปแบบพื้นที่เชิงพลวัต ข้อดีของแบบจำลองแบบพลวัตคือ เมื่อป้อนข้อมูลปริมาณน้ำฝนอย่างต่อเนื่องจะทำให้สามารถติดตามศักยภาพในการเกิดดินถล่มได้ใกล้เคียงเวลาจริง นอกจากนี้แผนภูมิปริมาณน้ำฝนกระตุ้น (Triggered rainfall) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนราย 24 ชั่วโมง และปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า 3 วัน สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์อย่างง่ายโดยไม่อาศัยคอมพิวเตอร์ในการเตือนภัยในพื้นที่เฉพาะได้ ดังเช่นกรณีศึกษาบริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

### 1 บทนำ

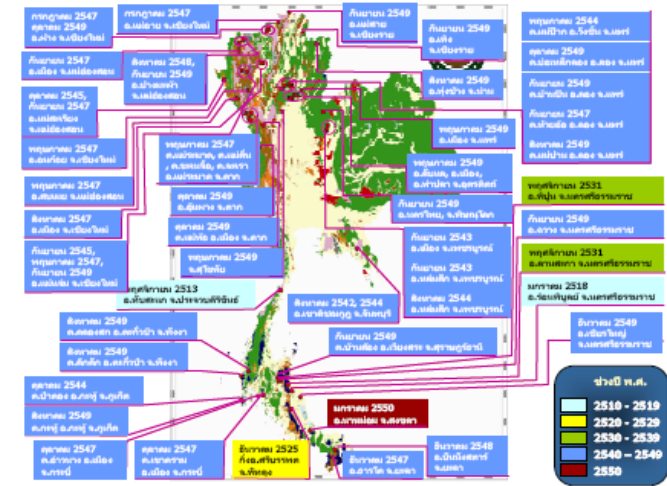
ในช่วงเวลาสิบปีที่ผ่านมา ดินถล่มที่เกิดจากการกระตุ้นของน้ำฝนเป็นหนึ่งในพิบัติภัยธรรมชาติที่สำคัญอย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความสำคัญอย่างมากในแถบพื้นที่ภูเขาของประเทศไทย ผู้คนจำนวนมากได้ผลกระทบจนเกิดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินทุกๆ ปี มูลค่าความเสียหายจากดินถล่มซึ่งเกิดขึ้นทั้งจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์นั้น มากกว่าที่จะยอมรับได้

จากการรวบรวมข้อมูลดินถล่มที่เกิดขึ้นในช่วง 30 ปีที่ผ่านมาในประเทศไทย ซึ่งดำเนินการโดยศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Geotechnical Engineering Research and Development Center; GERD, 2006) ดังแสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าดินถล่มโดยมากเกิดขึ้นในภาคเหนือและภาคใต้ของประเทศ จากการศึกษาโอกาสเกิดดินถล่ม (Landslide hazard) โดย Soralum

(2007) พบว่าความถี่ของเหตุการณ์เกิดดินถล่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงสิบปีที่ผ่านมา นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 รูปที่ 2 แสดงข้อมูลเชิงสถิติของเหตุการณ์เกิดดินถล่มซึ่งมีผลให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์มากกว่า 100 ล้านบาท Soralum (2007, 2010) ได้รายงานว่าดินถล่มที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มี 2 ประเภทได้แก่ดินถล่มที่เกิดขึ้นเฉพาะพื้นที่ และดินถล่มที่เกิดขึ้นเป็นพื้นที่วงกว้าง โดยที่มากกว่า 95% ของดินถล่มเฉพาะพื้นที่มีสาเหตุมาจากการรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การก่อสร้างถนน อาคาร และการทำการเกษตรบนลาดเอียง ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ รวมทั้งลักษณะการไหลของน้ำใต้ดิน ส่วนดินถล่มขนาดใหญ่เกิดขึ้นบนลาดเอียงธรรมชาติเนื่องจากฝนตกหนัก

พฤติกรรมของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil) บนลาดเอียงธรรมชาติ ซึ่งกำลังรับแรงเฉือนของดินเปลี่ยนแปลงไป

ตามปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงไปตามฝนที่ตก ปริมาณน้ำในดินที่เพิ่มขึ้น ทำให้แรงดึงน้ำในดิน (Soil suction) ลดลงเป็นผลให้กำลังรับแรงเฉือนลดลง ในช่วงกลางฤดูฝน ลาดเอียงมีเสถียรภาพต่ำมากเนื่องจากดินมีปริมาณน้ำสูง และมีโอกาสเกิดดินถล่มสูงเมื่อเกิดฝนตก

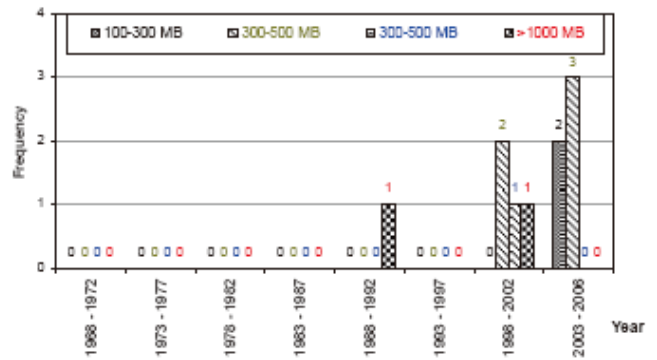


รูปที่ 1 เหตุการณ์เกิดดินถล่มในประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2513 - 2549 (GERD, 2006)

ตารางที่ 1 บันทึกเหตุการณ์ดินถล่ม

Year	Locations	Live loss
Nov 1970	Tubsakea, Prachubkirikan	12
Jan 1975	Ronpibol, Nakorn Srithumarat	58
Dec 1982	Sibunpot, Pattalung	4
Nov 1988	Pipun, Nakorn Srithumarat	> 200
Nov 1988	Lansaka, Nakorn Srithumarat	12
Aug 1999	Kao-kichakud, Chantabuti	1
Sep 2000	Lumsak-Muang, Phetchabun	> 10
May 2001	Wangchin, Phae	> 30
Aug 2001	Lumsak, Phetchabun	132
May 2004	Mae Ramad, Tak	5
July 2004	Mae Aye, Cheingmai	1
May 2004	Mae Chame, Cheingmai	1
May 2004	Omkoii, Cheingmai	1
Oct 2004	Muang, Krabi	3
May 2006	Muang, Utradit	71
May 2006	Bangtuk, Sukhothai	7
May 2006	Choehae, Phae	5
Oct 2006	Fang, Cheingmai	8

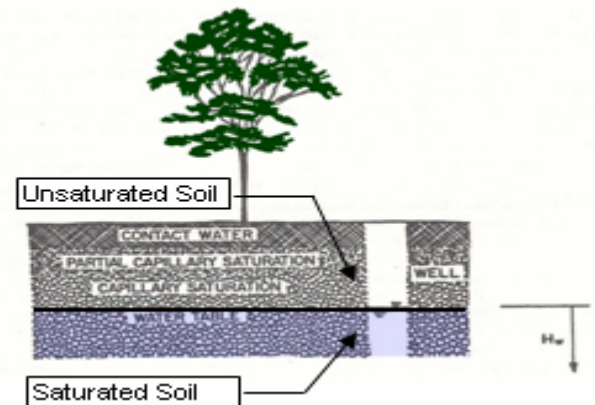
สำหรับการเตือนภัยโดยคาดการณ์จากข้อมูลการตรวจวัดปริมาณน้ำฝน เป็นวิธีที่ใช้กันหลายประเทศ เช่น งานวิจัยในฮ่องกง (Lumb, 1975 และ Brand, 1985) ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดดินถล่มในอดีตและปริมาณน้ำฝน ในประเทศไทยมีความพยายามใช้แนวทางดังกล่าว แต่เนื่องจากการขาดการบันทึกข้อมูลดินถล่มในอดีตอย่างเป็นระบบตามแนวทางดังกล่าว ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการศึกษา



รูปที่ 2 ความเสียหายจากดินถล่มในประเทศไทยที่มีมูลค่ามากกว่า 100 ล้านบาท (Soralump, 2007)

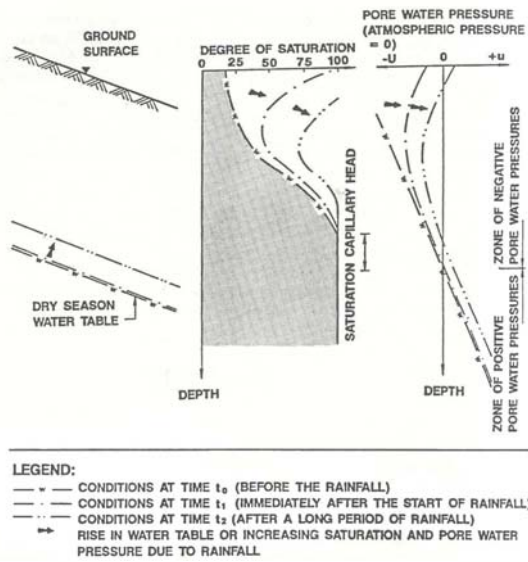
## 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับการเกิดฝนตก

Abramson et al. (1996) ได้จำแนกดินในธรรมชาติออกเป็น 2 ชั้นตามปริมาณน้ำในช่องว่างของมวลดินดังแสดงในรูปที่ 3 ชั้นแรกเรียกว่าชั้นดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated zone) โดยที่ช่องว่างระหว่างเม็ดดินเต็มไปด้วยน้ำซึ่งอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ส่วนชั้นที่สองเป็นชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ช่องว่างระหว่างเม็ดดินประกอบด้วยน้ำและอากาศ และมีแรงดันน้ำต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (ความดันเป็นลบ) เรียกว่า Matric suction โดยทั่วไป Matric suction จะเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่ห่างจากระดับน้ำใต้ดิน

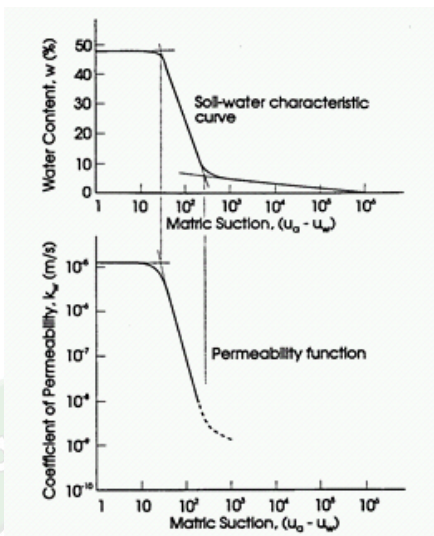


รูปที่ 3 การจำแนกชั้นดินตามปริมาณน้ำในดิน (Dunn et al., 1980)

ในช่วงระหว่างปี ปริมาณน้ำในดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำจะไม่คงที่ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ เช่น เกิดฝนตก เป็นต้น รูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อน้ำฝนไหลซึมผ่านชั้นดิน ปริมาณน้ำในดินจะเพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้แรงดึงน้ำในดินลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดิน และแรงดึงน้ำในดินนี้เรียกว่า Soil-water characteristic curve (SWCC) ขนาดของแรงดึงน้ำในดินยังสัมพันธ์กับความสามารถในการซึมซับน้ำของดิน (Hydraulic conductivity) เรียกว่า Permeability function (Fredlund et al., 1997) ดังแสดงในรูปที่ 5



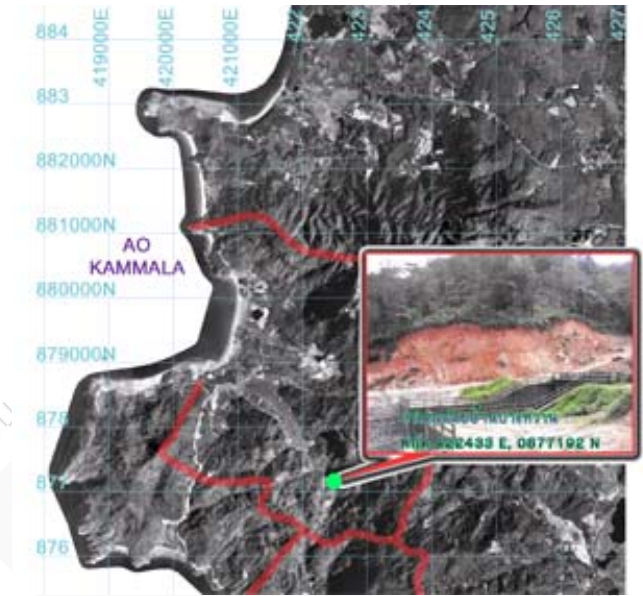
รูปที่ 4 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ (S) และแรงดันน้ำ ( $\mu$ ) เนื่องจากฝนตก (Geotechnical Control Office, 1984)



รูปที่ 5 Soil-water characteristic curve และ permeability function (Fredlund *et al.*, 1997)

Mairaing *et al.* (2006) ได้ศึกษาพฤติกรรมดินถล่มในพื้นที่ไหลเขาเหนืออ่าวกมลา ซึ่งจุดท่องเที่ยวของเกาะภูเกิดดังแสดงในรูปที่ 6 การศึกษานี้เป็นครั้งแรกที่ได้มีการติดตั้งเครื่องมือวัดน้ำฝนอัตโนมัติพร้อมกับเครื่องมือวัดแรงดึงน้ำในดิน (Tensiometer) ในบ่อสังเกตการณ์ เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน (รูปที่ 7 และ 8) การตรวจวัดพฤติกรรมของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ดำเนินการในช่วงปี พ.ศ. 2549 ถึง 2550 ผลการตรวจวัดแสดงในรูปที่ 9 ความเข้มน้ำฝนวัดได้จากเครื่องมือวัดน้ำฝนอัตโนมัติและบันทึกข้อมูลด้วย Data logger ปริมาณน้ำในดินได้จากการเก็บตัวอย่างในภาคสนามและทดสอบในห้องปฏิบัติการ และแรงดึงน้ำในดินวัดได้จาก Tensiometer จากการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำในดิน และแรงดึงน้ำเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำฝน ในดินชั้นดินการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้ง่ายกว่าดินในชั้นที่ลึกลงไป

อย่างไรก็ตาม เครื่องมือตรวจวัดแรงดึงน้ำในดินแบบนี้ไม่สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปริมาณน้ำฝนได้ทั้งหมดเนื่องจากเกิดฟองอากาศในตัว Suction Probe ในช่วงการวัดที่ยาวนาน



รูปที่ 6 พื้นที่ศึกษาบริเวณไหลเขาเหนืออ่าวกมลา จังหวัดภูเก็ต (Mairaing *et al.*, 2006)



รูปที่ 7 การติดตั้ง Tensiometer (Mairaing *et al.*, 2006)



รูปที่ 8 เครื่องมือตรวจวัดน้ำฝนอัตโนมัติ (Mairaing *et al.*, 2006)

### 3 กำลังรับแรงเฉือนของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

Fredlund et al. (1973) เสนอสมการกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำซึ่งปรับปรุงจากสมการของ Mohr-Coulomb ดังแสดงในสมการที่ 1 ขอบเขตกำลังรับแรงเฉือนของดินแสดงในรูปแบบ 3 มิติของพื้นผิวกำลังรับแรงเฉือน ดังในรูปที่ 10

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

- เมื่อ  $c'$  = กำลังรับแรงเฉือนประสิทธิผลในสภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ
- $u_a$  = แรงดันอากาศ
- $\sigma_n - u_a$  = แรงดันตั้งฉากสุทธิ
- $u_a - u_w$  = แรงดึงน้ำในดิน
- $\phi'$  = มุมเสียดทานภายในประสิทธิผล
- $\phi$  = มุมอัตราการผลิตของกำลังรับแรงเฉือนเนื่องจากแรงดึงน้ำในดิน

การทดสอบหาลังรับแรงเฉือนของดินในห้องปฏิบัติการกรณีที่มีปริมาณจำกัด สามารถทำได้โดยวิธี multi-stage direct shear test (KU-MDS) ซึ่งจะช่วยลดปริมาณตัวอย่างสำหรับทดสอบลง (Mairaing, 2008) โดยการใช้ดินตัวอย่างเพียงหนึ่งตัวอย่างสำหรับความชื้นหนึ่ง ทำการทดสอบโดยใช้หน่วยแรงตั้งฉากเริ่มต้นใกล้เคียงกับน้ำหนักกดทับของดินด้านบน จากนั้นเพื่อแรงเฉือนตัวอย่างจนกระทั่งเกิดการพิบัติจึงหยุดการทดสอบขั้นที่หนึ่ง จากนั้นจึงดำเนินการในขั้นต่อไปโดยทำตามขั้นตอนแรกในตัวอย่างเดิมแต่ใช้หน่วยแรงตั้งฉากที่สูงขึ้น ทำซ้ำกันจนกระทั่งสามารถสร้างขอบเขต

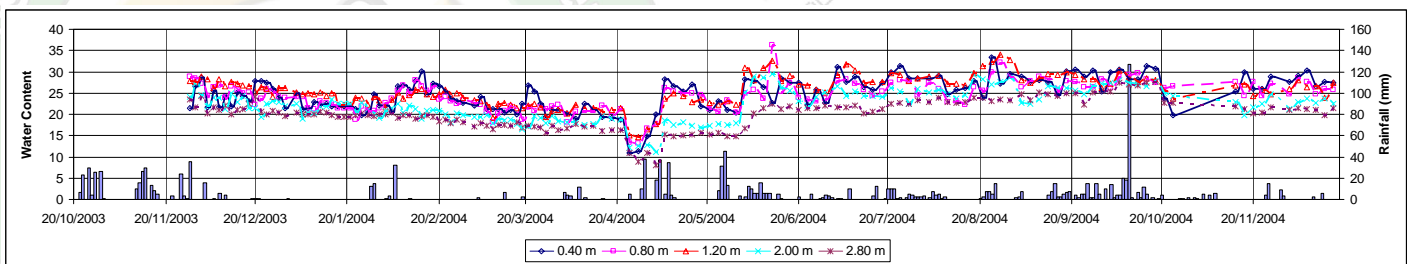
กำลังรับแรงเฉือนได้ กำลังรับแรงเฉือนที่ได้จาก multi-stage direct shear จะต่างจาก Direct shear ปกติประมาณ 3-5 % สำหรับผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนโดยวิธี multi-stage direct shear ที่ระดับความชื้นต่างๆ แสดงในรูปที่ 11 และ 12

### 4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินเนื่องจากการไหลซึมของน้ำฝน

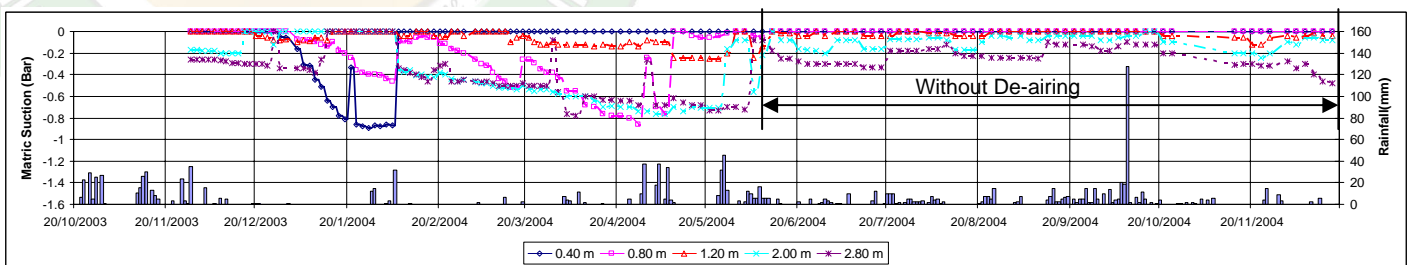
จากการวิเคราะห์เบื้องต้นบนลาดเอียงระยะยาวที่วางตัวอยู่บนชั้นหินพบว่า การไหลซึมเกิดขึ้นในแนวตั้งเป็นหลัก ดังนั้นการไหลซึมของน้ำฝนผ่านชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำสามารถอธิบายในรูปแบบการไหล 1 มิติในแนวตั้งอย่างง่ายดังแสดงในรูปที่ 13 การไหลผ่านชั้นดินนี้มีลักษณะเป็นการไหลแบบไม่คงที่ (unsteady flow) ซึ่งความเร็วการไหลไม่คงที่ และปริมาณน้ำไม่คงที่ตลอดความลึกตามเวลาที่ผ่านไปดังแสดงในสมการที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นตลอดชั้นดินสามารถคำนวณได้จากแบบจำลองการไหล ซึ่งเน้นหนักไปในบริเวณที่มีศักยภาพเกิดดินถล่ม โดยที่ปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยอิทธิพลต่อการไหลซึม

### 5 การวิเคราะห์โอกาสเกิดดินถล่ม

โอกาสเกิดดินถล่มที่ถูกกระตุ้นโดยการเกิดฝนตกสามารถประเมินได้หลายวิธี (Mairaing and Thaiyuenwong, 2007) วิธีหนึ่งคือวิธีทางวิศวกรรมปฐพี (geotechnical engineering method) ซึ่ง โอกาสเกิดดินถล่มพิจารณาจากการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียงต่อเนื่อง หรือลาดอนันต์ (Infinite Slope)

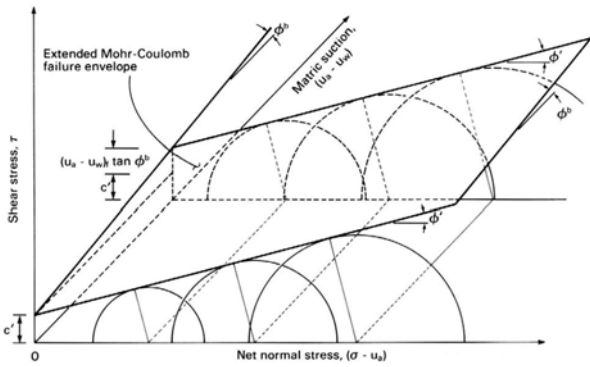


a. Water content changing

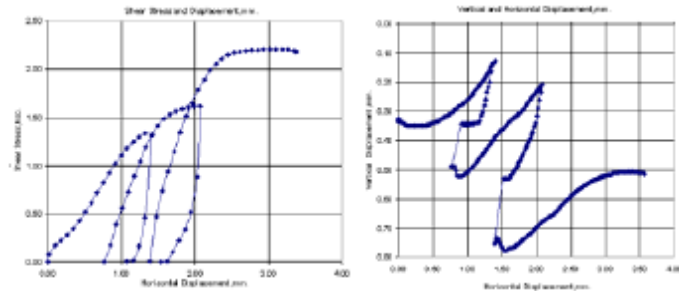


b. Matric suction changing

รูปที่ 9 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น และแรงดึงน้ำในดินเนื่องจากการฝนตก (Mairaing et al., 2006)

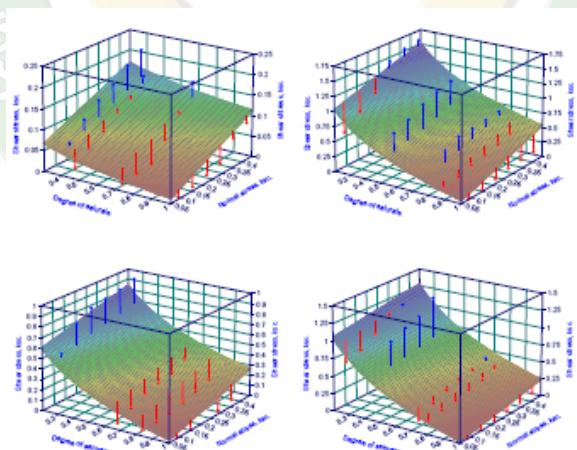


รูปที่ 10 Extended Mohr-Coulomb Envelope for Unsaturated Soil (Fredlund, and Rahardjo, 1993)

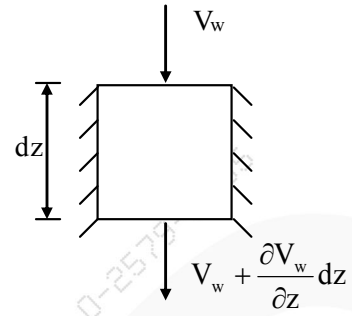


รูปที่ 11 Stress-strain from multi-stage direct shear test. (Mairiang, 2008)

สำหรับในพื้นที่ขนาดใหญ่ การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียงใช้แบบจำลองลาดอนันต์ (Abramson et. al., 1996) ดังแสดงในรูปที่ 14 และสมการที่ 3 การวิเคราะห์ดำเนินการโดยพิจารณาพฤติกรรมของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งกำลังรับแรงเฉือนสัมพันธ์กับหน่วยแรงตั้งฉากและแรงดึงน้ำของดิน ดังแสดงในสมการที่ 1 และรูปที่ 10 สำหรับวิธีการวิเคราะห์แบบ Deterministic approach การเกิดดินถล่มแสดงในรูปแบบของอัตราส่วนปลอดภัย (FS) ซึ่งเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับน้ำฝน ส่วนการวิเคราะห์แบบ Probabilistic approach โอกาสเกิดดินถล่มแสดงในรูปแบบของความน่าจะเป็นที่ลาดเอียงจะเกิดการพิบัติซึ่งเกิดจากความไม่แน่นอนของตัวแปร ในแต่ละปริมาณความชื้น



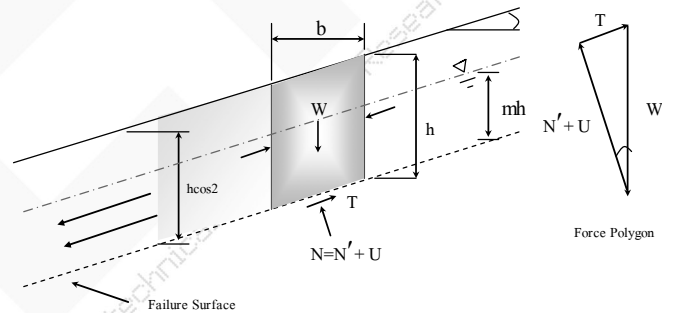
รูปที่ 12 ผลจากการทดสอบ Multistage Direct Shear



รูปที่ 13 Vertical 1-d unsteady flow model

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} K \frac{\partial H}{\partial z} \quad (2)$$

- เมื่อ
- $\theta$  = ความชื้นโดยปริมาตร (V/V)
  - $t$  = เวลา (T)
  - $z$  = ระยะทาง (L)
  - $K$  = ความสามารถในการซึมผ่านของดิน (L/T)
  - $H$  = แร่งคั้นน้ำรวม (L)



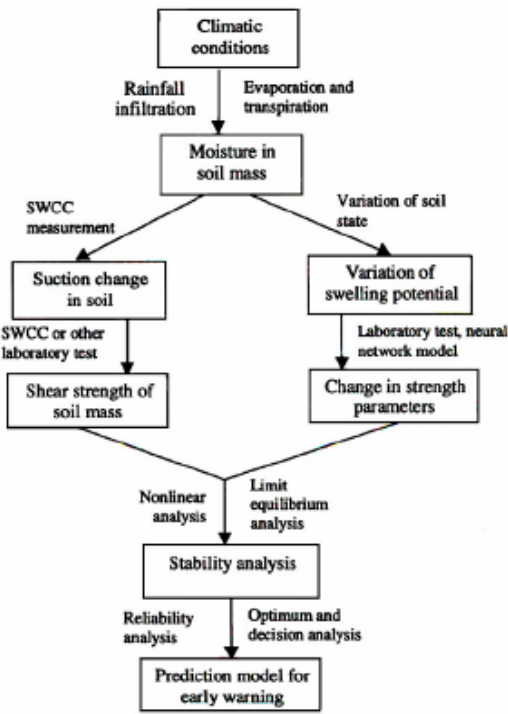
รูปที่ 14 Infinite slope stability analysis model

$$FS = \frac{c' + h \cos^2 \beta \tan \phi' [(1 - m)\gamma_m + m\gamma']}{h \sin \beta \cos \beta [(1 - m)\gamma_m + m\gamma_{sat}]} \quad (3)$$

- เมื่อ
- $c'$  = แรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล
  - $h$  = ความลึกของระนาบพิบัติ
  - $\beta$  = มุมความชันของลาดเอียง
  - $\phi'$  = มุมเสียดทานภายในประสิทธิผล
  - $m$  = อัตราส่วนของความลึกของน้ำใต้ดินเหนือระนาบพิบัติ และความลึกของระนาบพิบัติ
  - $\gamma_m$  = ความหนาแน่นเปียก
  - $\gamma'$  = ความหนาแน่นได้น้ำของดิน ( $\gamma_{sat} - \gamma_w$ )
  - $\gamma_{sat}$  = ความหนาแน่นเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ
  - $\gamma_w$  = ความหนาแน่นของน้ำ

## 6 การคาดการณ์โอกาสเกิดดินถล่มแบบพลวัต

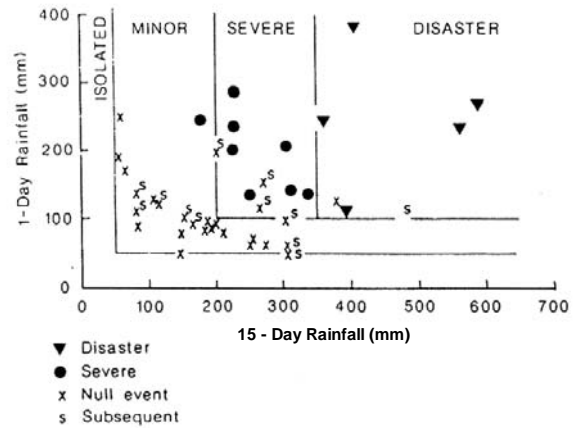
รูปที่ 15 แสดงขั้นตอนการคาดการณ์โอกาสเกิดดินถล่ม เนื่องจากฝนตกแบบไม่คงที่ ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงเป็นแผนที่ทั้งในรูปแบบของอัตราส่วนปลอดภัย (FS) หรือโอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียง ( $P_f$ ) สัมพันธ์กับการเกิดฝนตก ปริมาณน้ำฝนที่กระตุ้นให้เกิดดินถล่มแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ปริมาณน้ำฝนที่ตกมาก่อนในอดีตประมาณ 3 ถึง 15 วัน ซึ่งทำให้น้ำในดินเพิ่มสูงขึ้น ลาดเอียงมีศักยภาพที่จะเกิดดินถล่มสูงขึ้น และฝนสังเกตการณ์ปัจจุบัน 1 วัน หรือ 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดดินถล่ม ปริมาณน้ำฝนทั้ง 2 ส่วนนี้ถูกพล็อตกราฟแสดงขอบเขตวิกฤตน้ำฝนที่ทำให้เกิดดินถล่ม



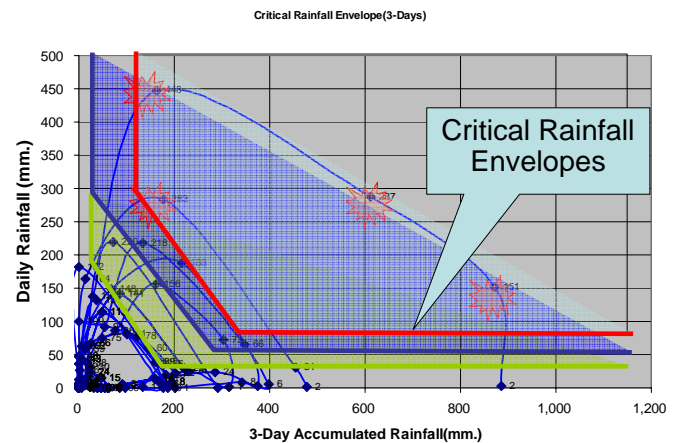
รูปที่ 15 Geotechnical Engineering Method for Landslide Prediction and Warning.

ตัวอย่างเช่น กรณีศึกษาในฮ่องกง (Lumb, 1975) กราฟแสดงขอบเขตน้ำฝนวิกฤต แสดงในรูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างดินถล่มกับปริมาณน้ำฝน ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลดินถล่มในอดีต โดยที่แกน x คือปริมาณน้ำฝนในอดีต 15 วัน และแกน y คือปริมาณน้ำฝน 1 วันสุดท้ายก่อนเกิดดินถล่ม สำหรับในประเทศไทย Mairaing et al. (2006) ได้ประเมินขอบเขตน้ำฝนวิกฤต จากข้อมูลน้ำฝนในอดีต ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช และสุราษฎร์ธานี ดังแสดงในรูปที่ 17 Mairaing and Thaiyuenwong (2007) ได้วิเคราะห์และสร้างกราฟน้ำฝนวิกฤตเพื่อใช้ในการพยากรณ์การเกิดดินถล่มในพื้นที่จังหวัดภูเก็ตดังแสดงในรูปที่ 18 โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างระดับโอกาสเกิดดินถล่มและปริมาณน้ำฝนได้จากการวิเคราะห์ทางปฐพีวิศวกรรม ซึ่งผลจากการวิเคราะห์สามารถกำหนด

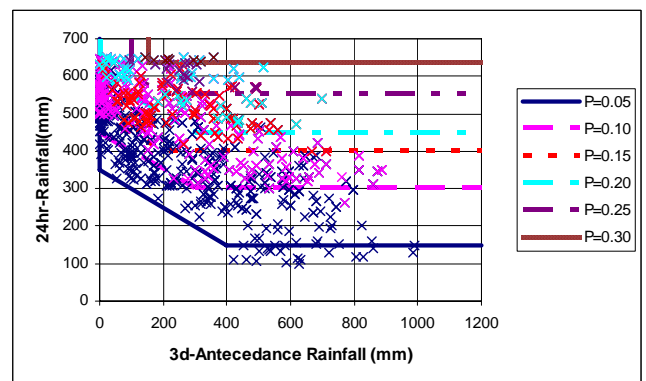
ช่วงเวลาที่ฝนตกที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษามากที่สุดได้เป็น 4 วัน โดยแบ่งช่วงพิจารณาออกเป็น ปริมาณน้ำฝนในอดีต 3 วัน ก่อนการคาดการณ์ และปริมาณน้ำฝนคาดการณ์ล่วงหน้า 24 ชั่วโมง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนทั้งสอง ถูกนำมาสร้างเป็นกราฟแสดงระดับการเตือนภัย ซึ่งในแต่ละจุดจะมีค่าโอกาสเกิดดินถล่มซึ่งกำหนดจากกราฟปริมาณน้ำฝน



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและการเกิดดินถล่มในฮ่องกง (Lumb, 1975)



รูปที่ 17 ปริมาณน้ำฝนวิกฤตพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย ปีพ.ศ 2541 (Mairaing et al., 2006)



Note: P is Probability of landslide occurring

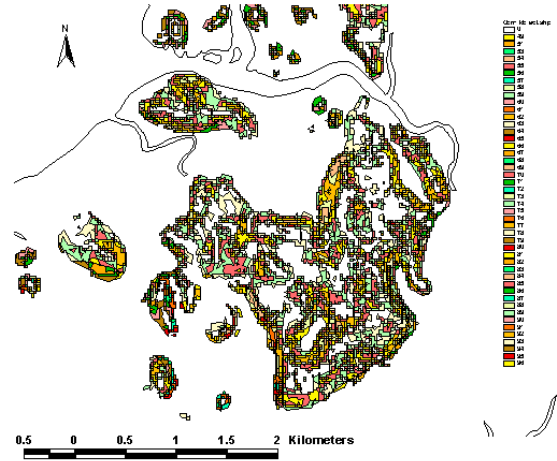
รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสเกิดดินถล่มและปริมาณน้ำฝน (Mairaing and Thaiyuenwong 2007)

ในระหว่างขั้นตอนการคาดการณ์ โอกาสเกิดดินถล่มจะถูกคำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการเกิดดินถล่มกับปริมาณน้ำฝนที่ป้อนเข้ามาในแต่ละพื้นที่ย่อย ผลการคำนวณจะแสดงในรูปแบบที่โดยใช้ GIS แผนที่นี้เป็นแผนที่แบบพลวัตที่โอกาสเกิดดินถล่มสามารถคำนวณขึ้นใหม่ตามข้อมูลที่ป้อนเข้ามาและแสดงโอกาสเกิดดินถล่มที่เปลี่ยนแปลงไปได้

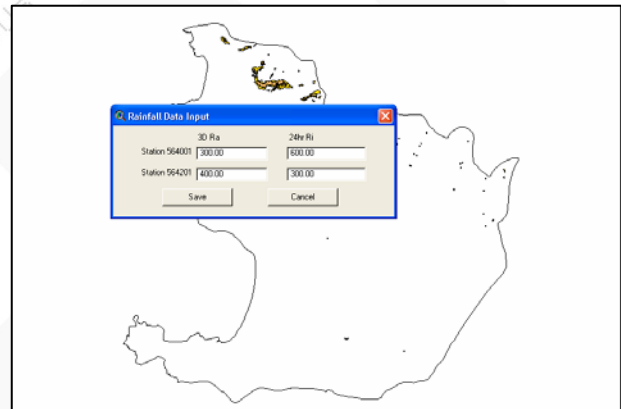
ในการจัดเตรียมแผนที่ในระบบ GIS พื้นที่เป้าหมายจะถูกจำแนกเป็นพื้นที่ย่อย โยพิจารณาจากปัจจัยอิทธิพล ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยา ความลาดชัน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังแสดงในรูปที่ 19 การจำแนกพื้นที่ที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียง และโอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียง ฐานข้อมูลระดับโอกาสเกิดดินถล่ม สัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนในอดีต 3 วัน และฝนราย 24 ชั่วโมง จะถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล GIS เพื่อความสะดวกในการคาดการณ์สำหรับผู้ใช้งาน กล่าวคือรับข้อมูล และการคำนวณแบบอัตโนมัติจะถูกจัดเตรียมโดยการเขียน Script code ควบคุมการทำงานของ GIS ดังแสดงในรูปที่ 20 ภายหลังจากการป้อนข้อมูลน้ำฝน โอกาสเกิดดินถล่มในแต่ละพื้นที่ย่อยจะถูกคำนวณและแสดงผลในรูปแบบของโอกาสเกิดดินถล่มทั่วทั้งพื้นที่เป้าหมาย

ยกตัวอย่างการคาดการณ์ดินถล่มในพื้นที่ไหลเขาเหนืออำเภอป่าตอง จังหวัดภูเก็ต การป้อนข้อมูลน้ำฝนใน GIS แสดงในรูปที่ 19 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน 3 วัน ได้แก่ 300, 400, 500 มม. ตามลำดับ โอกาสเกิดดินถล่มในวันที่ 1 ที่มีฝนตกในอดีต 3 วัน เท่ากับ 100 มม. และฝนคาดการณ์ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 200 มม. แสดงให้เห็นว่าเกือบไม่มีโอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 21a ในวันที่ 2 มีฝนตกในอดีต 3 วัน เท่ากับ 300 มม. และฝนคาดการณ์ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 400 มม. พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 21b และในวันที่ 3 ฝนตกในอดีต 3 วัน เท่ากับ 700 มม. และฝนคาดการณ์ 24 ชั่วโมง เท่ากับ 500 มม. พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มขยายตัวเพิ่มมากขึ้น และมีโอกาสเกิดดินถล่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 21c

ด้วยการใช้แผนที่ดังกล่าวแสดงแสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดการพิบัติ สามารถจัดเตรียมข้อมูลให้กับเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบในพื้นที่นำไปใช้ในการเตือนภัยประชาชนต่อไป สำหรับพื้นที่เล็กๆ ซึ่งมีการรวบรวมข้อมูลน้ำฝนในอดีตและเหตุการณ์เกิดดินถล่ม กราฟแสดงระดับการเตือนภัยสามารถนำมาใช้ได้ดังแสดงในรูปที่ 17 และ 18 ในกรณีที่ไม่สามารถใช้งานคอมพิวเตอร์ได้



รูปที่ 19 ตัวอย่างการจำแนกพื้นที่ย่อยโดยพิจารณาจากปัจจัยอิทธิพล



รูปที่ 20 การป้อนข้อมูลน้ำฝนผ่านระบบ GIS. (Mairaing and Thaiyuenwong 2007)



a. Probability of landslide due to 100 mm. of 3-days antecedence rainfall and 200 mm. of 24 hr. estimated rainfall



b. Probability of landslide due to 300 mm. of 3-days antecedence rainfall and 400 mm. of 24 hr. estimated rainfall



c. Probability of landslide due to 700 mm. of 3-days antecedence rainfall and 500 mm. of 24 hr. estimated rainfall

รูปที่ 21 ตัวอย่างการคาดการณ์โอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่เป้าหมายโดยใช้ระบบ GIS. (Mairiang and Thaiyuenwong 2007)

## 7 สรุป

ดินถล่มที่เกิดจากฝนตกในประเทศไทยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การคาดการณ์สามารถดำเนินการได้อย่างเป็นระบบ โดยใช้วิธีทางปฐพีวิศวกรรม และข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบ Real-time อย่างไรก็ตาม การศึกษาพฤติกรรมของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ทั้งการไหลซึม และกำลังรับแรงเฉือนที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงที่เกิดฝนตกหนักต้องดำเนินการเพิ่มเติม แบบจำลองการวิเคราะห์เสถียรภาพ และโอกาสเกิดการพิบัติของลาดเอียงในพื้นที่ขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้ระบบ GIS เข้าช่วยในการคำนวณ

นำเสนอผลการวิเคราะห์ การจัดเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ และข้อมูลปริมาณน้ำฝน เป็นข้อมูลสำคัญในการวิเคราะห์ในรูปแบบจำลองผลลัพธ์สามารถแสดงในรูปแบบแผนที่โอกาสเกิดดินถล่มแบบพลวัต ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพื้นที่วิกฤตในระหว่างที่เกิดพายุฝน หรือเป็นการวิเคราะห์ล่วงหน้าเพื่อใช้ในการเตือนภัย ผลการวิเคราะห์ และการตรวจวัดในสนามในพื้นที่อำเภอป่าตอง จังหวัดภูเก็ต ได้ให้ข้อมูลที่มีคุณค่าต่อการคาดการณ์ และการสอบเทียบแบบจำลองการไหลซึม ผลที่ได้สามารถนำไปขยายผลในพื้นที่อื่นๆ ของประเทศได้ เช่นที่ คอยตุง และ อูตรดิตถ์ ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของประเทศไทย

## 8 REFERENCES

- Abramson, W.L., L.S. Thomas, S. Sunil and B.M. Glenn. 1996. Slope stability and stabilization method. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Brand, E.W., and H.B. Phillipson. 1985. Review of International Practice for Sampling and Testing of Residual Soils. In Sampling and Testing of Soil (E.W. Brand and H.B. Phillipson, eds.), Scorpion Press, Hong Kong, pp. 7-21.
- Dunn, I.S., L.R. Anderson and F.W. Kiefer. 1980. Fundamentals of geotechnical analysis. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Fredlund, D.G. and H. Rahardjo, 1993. Soil mechanics for unsaturated soil, New York: Wiley.
- Fredlund, M.D., G.W. Wilson and D.G. Fredlund. 1997. Indirect Procedures to determine unsaturated soil property functions. Proceeding of the 50<sup>th</sup> Canadian Conference, Ottawa, Ontario, Canada.
- Geotechnical Control Office. 1984. Geotechnical manual for slopes, 2<sup>nd</sup> ed. Hong Kong: Civil engineering service department.
- Geotechnical Engineering Research and Development Center (GERD), 2006, "Landslide data base of Thailand"
- Lumb, P. 1975. Slope Failures in Hong Kong. Quarterly Journal of Engineering Geology, Geological Society of London, Vol. 8, pp. 31-55.
- Mairiang W. 2008. Landslide Problems and Warning by Geotechnical Methods, CAFEO26 (26th Conference of the ASEAN Federation of Engineering Organization). Sofitel Centara Grand Hotel, Thailand.
- Mairiang, W., S. Thaiyuenwong. 2007, Landslide hazard zoning map by dynamic factors in Andaman coastal area of Thailand. Thailand Research Fund (TRF).
- Mairiang W., K Chantawarangul, T. Konksomboon and S.Soralump. 2006. A study of landslide behavior in Phuket province. Thailand Research Fund (TRF).



Soralump, S. 2007. Corporation of Geotechnical Engineering data for landslide hazard map in Thailand. EIT-JSCE Joint seminar on Rock Engineering, Bangkok, Thailand

Soralump, S. 2010. Rainfall-triggered Landslide: from research to mitigation practice in Thailand. The 17<sup>th</sup> Southeast Asian Geotechnical Conference, Taipei, Taiwan

