

การวิเคราะห์ค่า API วิฤติเพื่อใช้ในการเตือนภัยดินถล่มจากฝนตกหนัก

Analysis of critical API using for warning of heavy rainfall-induced landslide

สุทธิศักดิ์ สรลัมพ์ (SUTTISAK SORALUMP)¹นายบรรพต กุลสุวรรณ (BUNPOAT KUNSUWAN)²นายวรวัชร ทอวิวัฒน์ (WORLAWAT TORVIWAT)³¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ และหัวหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, fengsus@ku.ac.th²วิศวกรปฐพีอาวุโส ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, BeeBunpoat@hotmail.com³นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมปฐพี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, w_thowiwat@yahoo.com

บทคัดย่อ : ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน หรือค่า API (Antecedent Precipitation Index) เป็นค่าที่ชี้ถึงความชุ่มชื้นของดิน ณ เวลาใด ๆ โดยเป็นค่าที่ตรวจวัดได้โดยเครื่องวัดน้ำฝน หากค่า API มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากฝนตกโอกาสการเกิดดินถล่มย่อมสูงตามมา เนื่องจากเสถียรภาพของลาดดินจะต่ำลงเมื่อดินอ่อนตัวลง เมื่อความชุ่มชื้นของมวลดินเพิ่มขึ้นจนถึงจุดวิกฤติ (Critical API) ลาดชันจะเกิดการพิบัติ บทความนี้เสนอแนวทางในการเตือนภัยดินถล่มเนื่องจากฝนตกหนัก โดยการวิเคราะห์หาค่า Critical API หรือหาความชุ่มชื้นของดินที่ทำให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดดิน (F.S) เท่ากับ 1.0 จากผลการศึกษาพบว่าแนวทางการวิเคราะห์ต้องประกอบด้วยการทดสอบ KU-MDS Shear Test และการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชัน เพื่อหาความชื้นวิกฤติ ณ ผิวการพิบัติ จากนั้นจึงวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลซึมลงสู่ชั้นดิน เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำทั้งหมดในมวลดินขณะที่ดินเกิดการพิบัติ

ABSTRACT : Antecedent Precipitation Index or API is the index that indicates the moisture in soil at any single time. This index can be calculated from precipitation reading from rain gage. The landslide potential can be indicated from by this index because it also reflexes the softening behavior of soil due to rain fall. When soil moisture reaches its critical the slope will fail. This paper proposes landslide warning method by using critical API as criteria for warning. Critical API can be calculated by using the result from KU-MDS shear test and slope stability analysis in order to determine failure moisture content at failure surface. Seepage analysis is done to determine total amount of water, equivalent to precipitation at failure.

KEYWORDS : Landslide, Antecedent precipitation index, API, Direct shear test

1. บทนำ

ภัยพิบัติตามธรรมชาติในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบเพิ่มมากขึ้น ภัยพิบัติที่สำคัญ ได้แก่ อุทกภัย แผ่นดินไหว และดินถล่มเป็นภัยพิบัติที่ส่งผลกระทบอย่าง ต่อเนื่อง โดยภัยดินถล่มมักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จับพลัด ส่งผลให้

เกิดอันตรายทั้งชีวิตและทรัพย์สิน และส่วนใหญ่จะเกิดควบคู่กับการเกิดอุทกภัย การศึกษาเหตุการณ์ดินถล่มและหาแนวทางในการเฝ้าระวังและเตือนภัย เพื่อป้องกันหรือลดความสูญเสีย เนื่องจากการเกิดดินถล่ม มีอยู่หลายวิธี เช่น การกำหนดพื้นที่เสี่ยง

ภัยการพัฒนาสิ่งก่อสร้างเพื่อชะลอหรือลดความรุนแรง การศึกษา เพื่อกำหนดเกณฑ์ในการเตือนภัย

ปัจจัยคงที่ส่งผลให้เกิดดินถล่มมีอยู่หลายปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ ธรณีวิทยา, ความลาดชันของพื้นที่, คุณสมบัติของดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น ค่าปริมาณน้ำฝนถือเป็นปัจจัย กระตุ้นที่สำคัญให้เกิดดินถล่มในประเทศไทย เนื่องจากน้ำจะทำให้มวลดินมีค่ากำลังรับแรงเฉือนต่ำลง ดังนั้นหากเราทราบ ปริมาณน้ำวิกฤติที่มวลดินสามารถจะรับได้ก่อนการพิบัติเราจะ สามารถนำค่าดังกล่าวไปใช้เป็นเกณฑ์ในการเตือนภัยได้ ค่าดัชนี ความชุ่มชื้นของดิน (Antecedent Precipitation Index: API) เป็น ค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในมวลดิน ณ เวลาต่าง ๆ ซึ่งเป็นปัจจัย ของศักยภาพของดินในการอุ้มน้ำอันเนื่องจากอิทธิพลของน้ำฝน เนื่องจากคุณสมบัติด้านกำลังของดินจะลดลงเมื่อมวลดินมี ความชื้นเพิ่มมากขึ้น [1] ดังนั้นหากมีการจำลองพฤติกรรม การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในมวลดินที่เกิดเนื่องจากการไหลซึม ของน้ำฝนลงสู่ชั้นดิน และวิเคราะห์หาอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of safety: FS) ของลาดชันจะทำให้สามารถพยากรณ์พื้นที่ ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มได้ ซึ่งจะนำไปสู่การเฝ้าระวังและเตือนภัย ดินถล่มได้ถ้าสามารถตรวจวัดปริมาณฝนที่ตกแบบเวลาจริง (Real Time) และทำการคำนวณค่า API ณ เวลาต่าง ๆ เพื่อ เปรียบเทียบกับค่า API วิกฤติ

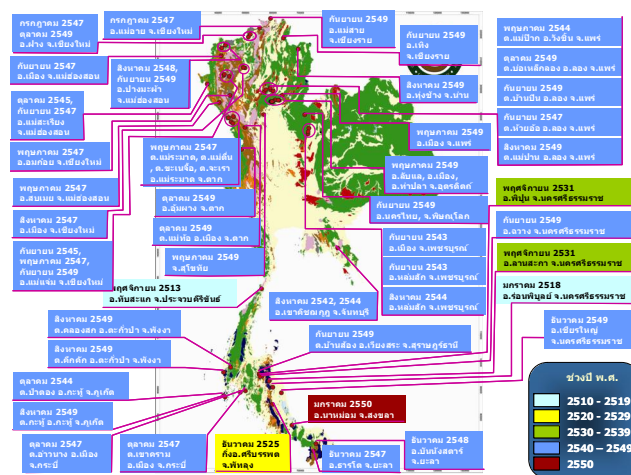
2. สถิติการเกิดดินถล่มในประเทศไทย

เหตุการณ์ดินถล่มเป็นภัยธรรมชาติที่ทำให้เกิดความสูญเสีย ชีวิตและทรัพย์สิน ซึ่งส่งผลให้เศรษฐกิจ และสังคมของประเทศ หยุดชะงัก เนื่องจากงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด ต้องนำมาใช้ในการ ให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยและฟื้นฟูพื้นที่ที่ได้รับ ผลกระทบ ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้รวบรวมข้อมูล เหตุการณ์ดินถล่ม ในอดีตตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2513 ที่ อ.ทับสะแก จ.ประจวบคีรีขันธ์ จนถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2550 อ.นาหม่อม จ.สงขลา ดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อพิจารณาเหตุการณ์ ดินถล่มเป็นช่วงเวลาและมูลค่าความเสียหายของเหตุการณ์ ตาม ความถี่ของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาปี พ.ศ. 2510-2519, พ.ศ. 2520 – 2529, พ.ศ. 2530 – 2539 และ พ.ศ.2540-2549 เราจะ สามารถวิเคราะห์แนวโน้มของความรุนแรงกับเวลาได้ ดังรูปที่ 2 ซึ่งรูปดังกล่าวแสดงความถี่ของเหตุการณ์ที่มีมูลค่าความเสียหาย

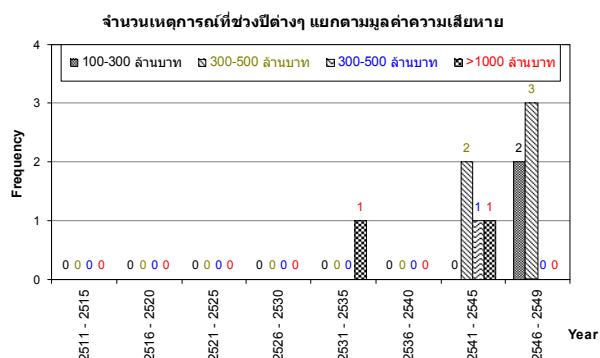
รวม มากกว่า 100 ล้านบาทขึ้นไป และรูปที่ 3 แสดงความถี่ของ เหตุการณ์ที่มีมูลค่าความเสียหายรวม น้อยกว่า 100 ล้านบาท

จากรูปที่ 2 และรูปที่ 3 พบว่าจากอดีตจนถึงปัจจุบัน เหตุการณ์ดินถล่มมีแนวโน้มของความถี่ และมูลค่าความเสียหาย ของเหตุการณ์ดินถล่มเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงปี 2545 ถึง 2549 เกิดดินถล่มที่มีมูลค่าความเสียหายน้อยกว่า 100 ล้านบาท อยู่ 33 เหตุการณ์ และเหตุการณ์ดินถล่มที่มีมูลค่า มากกว่า 100 ล้านบาทอยู่ 10 เหตุการณ์ จากข้อมูลดังกล่าว สามารถตั้งสมมุติฐานของการเพิ่มขึ้นของความถี่และปริมาณ ความสูญเสียได้เป็น 3 กรณี อันได้แก่

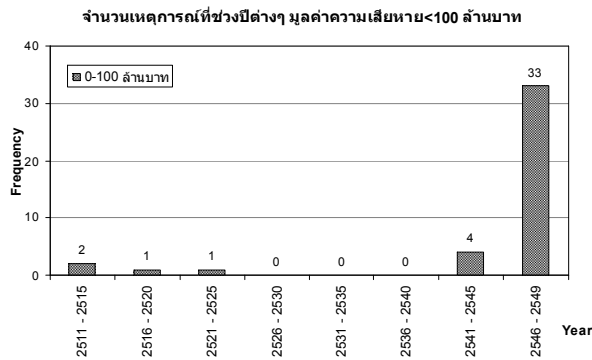
1. เกิดจากดินถล่มเกิดขึ้นบ่อยครั้งขึ้นจริง
2. การบริหารจัดการด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เสี่ยงภัยมีความผิดพลาด
3. ทั้ง 2 กรณีข้างต้น



รูปที่ 1 เหตุการณ์ดินถล่มที่เกิดขึ้นในอดีต



รูปที่ 2 เหตุการณ์ดินถล่มที่เกิดขึ้นในอดีตและมูลค่าความเสียหาย ที่มากกว่า 100 ล้านบาท



รูปที่ 3 เหตุการณ์ดินถล่มที่เกิดขึ้นในอดีตและมูลค่าความเสียหายที่น้อยกว่า 100 ล้านบาท

เมื่อพิจารณาความสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของเหตุการณ์ดินถล่มจากปี 2513 ถึง ปี 2549 ดังตารางที่ 1 มีผู้เสียชีวิตจากเหตุการณ์ดินถล่ม 534 คน และมูลค่าความเสียหาย 4,585.6 ล้านบาท และพิจารณาเป็นต่อปี พบว่าการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ดินถล่มในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นกว่าในอดีต โดยการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินในช่วง พ.ศ. 2531-2540 ประมาณ 23 คน/ปี, 100.0 ล้านบาท/ปี และในช่วง พ.ศ. 2541-2549 ประมาณ 34 คน/ปี, 398.4 ล้านบาท/ปี

ตารางที่ 1 มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ดินถล่ม

Year	ผู้เสียชีวิต, คน	มูลค่าความเสียหาย, ล้านบาท	ผู้เสียชีวิต, คน/ปี	มูลค่าความเสียหาย, ล้านบาท/ปี
2510 - 2520	0.00	0.00	0.00	0.00
2521 - 2530	0.00	0.00	0.00	0.00
2531 - 2540	230.00	1000.00	23.00	100.00
2541 - 2549	304.00	3585.60	33.78	398.40

3. การประยุกต์ใช้ค่า API ณ เวลาใด ๆ เพื่อการเตือนภัย

[2] ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (Antecedent Precipitation Index: API) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในชั้นดินที่ดินอุ้มน้ำไว้ ณ เวลาใด ๆ ซึ่งสามารถประเมินได้โดยอาศัยปัจจัยความชื้นในดิน (Soil moisture) กับปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละวันหรือแต่ละช่วงเวลา โดยในความสัมพันธ์ของ Linsely et. al. [3] ดังสมการที่ 1

$$API_t = (K_t \times API_{t-1}) + P_t \quad \dots(1)$$

เมื่อ API_t = ค่า API ณ เวลาใด ๆ (t) (ม.ม.)

API_{t-1} = ค่า API ของเวลาก่อนหน้า (t-1) (ม.ม.)

P_t = ค่าปริมาณน้ำฝน ณ เวลาใด ๆ (t) (ม.ม.)

K = ค่าคงที่คูณลด ณ เวลาใด ๆ

ซึ่ง K นี้หาได้จากความสัมพันธ์ของ Chodhury and Blanchard (1983) [4] ดังสมการที่ 2

$$K_t = \exp(-E_t / W) \quad \dots(2)$$

เมื่อ E_t = การคายระเหย ณ เวลาใด ๆ

W = ความชื้นในดินที่สามารถระเหยได้ (ม.ม.)

จากสมการที่ 1 และ 2 การประเมินค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (API) ขึ้นอยู่กับปัจจัยทั้ง 3 คือ

ก.) ปัจจัยน้ำฝน (Precipitation factor: P) เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ต้องมีการตรวจวัดน้ำฝนในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม เนื่องจากปริมาณน้ำฝนจะมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะความสูงของพื้นที่ หรือที่ราบกับที่มีความลาดชัน

ข.) ค่า API ของเวลาก่อนหน้า (API_{t-1}) เป็นปัจจัยที่บ่งชี้ถึงความชื้นหรือปริมาณน้ำในดินของช่วงเวลาก่อนหน้าที่จะนำมาพิจารณาค่า API ในเวลาปัจจุบัน

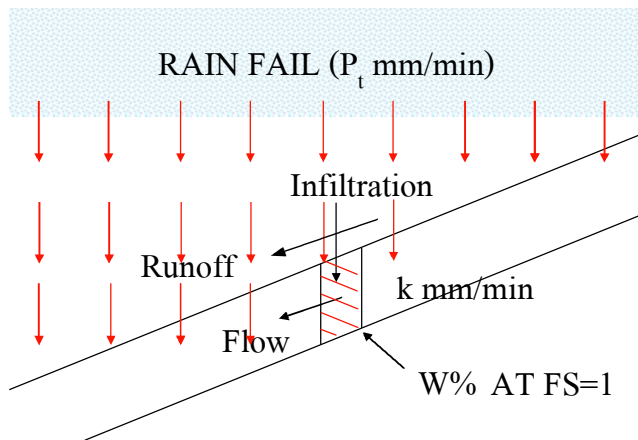
ค.) ค่าคงที่คูณลด (Recession constants: K) เป็นคุณสมบัติของดินในการอุ้มน้ำและปัจจัยการระเหยน้ำ ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่

เมื่อเปรียบเทียบการคำนวณค่า API ณ เวลาใด ๆ กับพฤติกรรมการณ์ไหลซึมของน้ำในมวลดิน (รูปที่ 4) พบว่า ค่า API ให้ความคลาดเคลื่อนในบางประเด็นอันเนื่องจากไม่ได้พิจารณาปัจจัยดังต่อไปนี้

1. การหายไปของปริมาณน้ำเนื่องจากการไหลของน้ำผิวดินเมื่อฝนตก

2. ปัจจัยความชันของพื้นที่อันจะส่งผลต่อการไหลของน้ำทั้งผิวดินและใต้ดิน

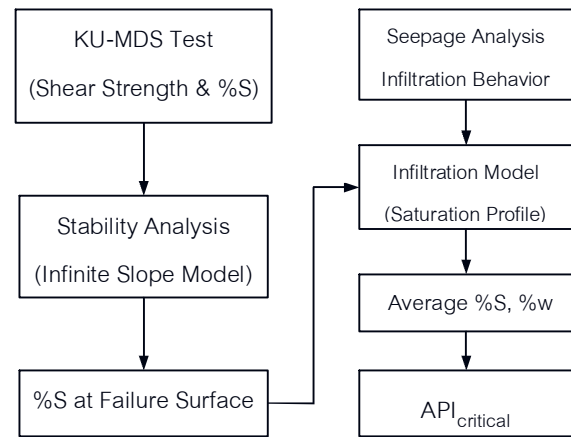
3. พฤติกรรมการณ์ไหลของน้ำในมวลดิน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่า API ณ เวลาใด ๆ พบว่าการไม่พิจารณาปัจจัยข้างต้นส่งผลในทางปลอดภัย (Conservative) กับการเตือนภัยเนื่องจากค่า API ณ เวลาใด ๆ จะเท่ากับหรือมากกว่าค่าความชื้นในดินเสมอ



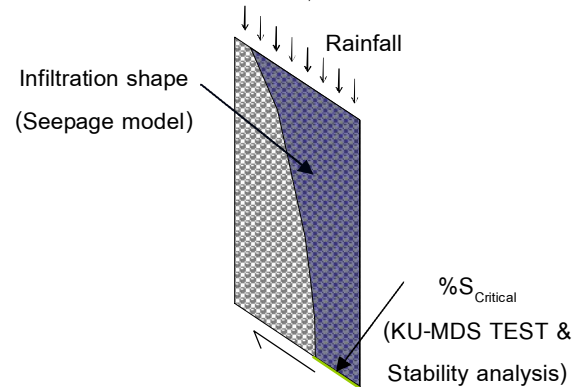
รูปที่ 4 พฤติกรรมการไหลซึมของน้ำในมวลดิน

4. แบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์ API_{วิกฤติ}

การวิเคราะห์ค่า API ที่เวลาใดๆ ทำให้ทราบปริมาณน้ำในชั้นดิน และค่า API ที่เกิดดินถล่ม จะเรียกว่าค่า API_{Critical} หรือ API_{วิกฤติ} ซึ่งอันที่จริงแล้วคือค่าปริมาณน้ำในมวลดินที่ทำให้ดินเริ่มจะพิบัติ (F.S.= 1.0) โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์ค่า API_{วิกฤติ} แสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเริ่มด้วยการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน ที่ความชื้นหรือความอิ่มตัวของดิน (Degree of saturation: S%) ต่างๆ (KU-MDS Shear Test, วรากร และคณะ (2546, 2548) [5]) แล้วนำมาผลวิเคราะห์หาความชื้นที่ทำให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของชั้นดินเท่ากับ 1.0 ภายใต้แบบจำลองลาดอนันต์ จากนั้นจึงทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลซึมของน้ำลงสู่ชั้นดิน (Seepage Analysis of Infiltration Behavior) เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองเพื่อหาความชื้นตลอดชั้นดิน (Infiltration model) ในช่วงที่เกิดฝนตก และคำนวณหาปริมาณน้ำในชั้นดิน โดยปริมาณน้ำในชั้นดินดังกล่าวคือปริมาณน้ำที่ส่งผลให้ชั้นดินมีค่า F.S.= 1.0 หรือเป็นค่า API_{วิกฤติ} นั่นเอง รูปที่ 6 แสดงแบบจำลองในการวิเคราะห์ดังกล่าว



รูปที่ 5 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่า API_{วิกฤติ}



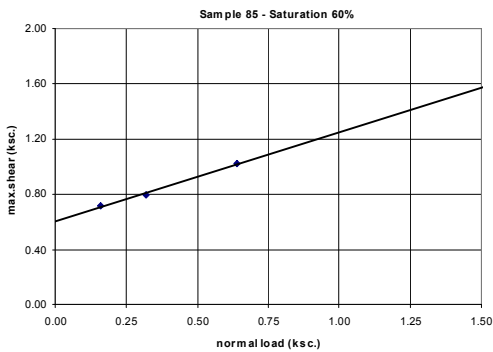
รูปที่ 6 แสดงแบบจำลองในการวิเคราะห์ API_{วิกฤติ}

5. การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันเมื่อความชื้นในดินเปลี่ยนไป

วิธีการทดสอบพฤติกรรมการลดลงของกำลังดิน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความชื้น โดยใช้เครื่องมือทดสอบ Direct Shear โดยดำเนินการทดสอบโดยวิธี Multi-stage ในแต่ละตัวอย่าง และเปลี่ยนแปลงความชื้นทั้งหมด 3 ตัวอย่างรวมเป็น 1 ชุดการทดสอบ การทดสอบนี้มีชื่อเรียกว่า KU-MDS Shear Test (KU-MDS) ซึ่งผลการทดสอบ KU-MDS ทำให้ทราบพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงกำลังดินตามความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถนำไปใช้คาดการณ์และวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันที่เปลี่ยนไปตามความชื้น ตัวอย่างผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินที่ค่าความชื้นคงที่ แต่เปลี่ยนแปลง Normal stress ต่างๆ ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 7



ก) ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress กับ Horizontal displacement



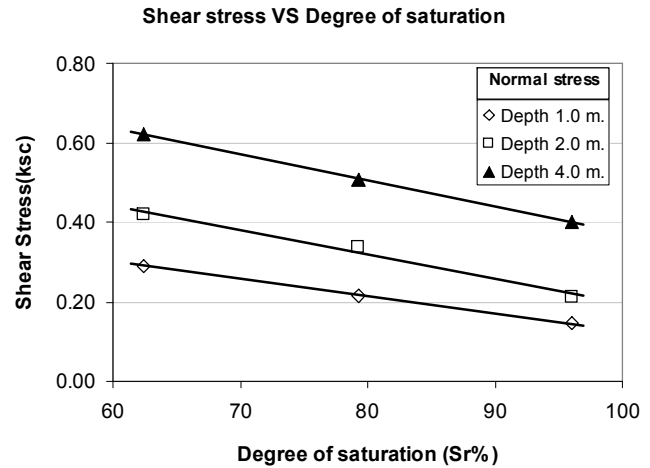
ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง Shear stress กับ Normal stress

รูปที่ 7 ตัวอย่างผลการทดสอบ KU-MDS TEST

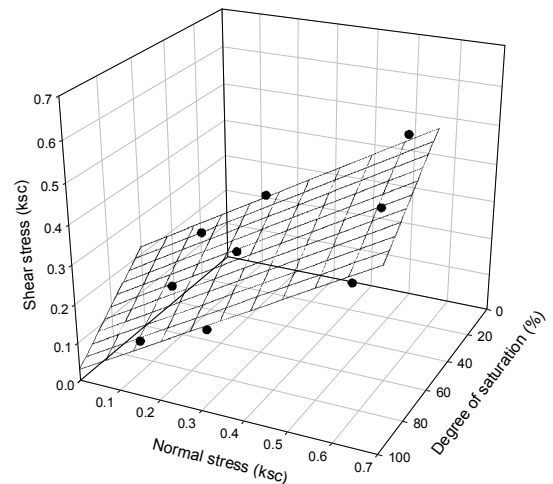
การศึกษาได้ทำการทดสอบดินจากหินภูเขาไฟ บริเวณ อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่ โดยวิธีการทดสอบ KU-MDS ดังรูปที่ 8 ก) และนำผลการทดสอบที่ Shear Stress, Normal Stress กับ Degree of Saturation มาพล็อตในระบบ 3 แกน โดยในแกน x เป็นค่า Degree of Saturate แกน y เป็นค่า Normal Stress และแกน z เป็นค่า Shear Stress ได้ผลดังรูปที่ 8 ข) จะพบว่า ค่า Shear Stress มีแนวโน้มลดลงเมื่อ Degree of Saturation เพิ่มมากขึ้นและค่า Normal Stress ลดลง หรือ Shear Strength มีค่าลดลงเมื่อ Degree of Saturation เพิ่มมากขึ้น และเมื่อนำผลการทดสอบมาทำพิตเป็น สมการระนาบ (Plane Regression) ดังสมการที่ 3 และสมการ ความแข็งแรงของดิน ดังสมการที่ 4

$$Z = Z_0 + aX + bY \quad \dots(3)$$

$$\tau = \tau_0 - aS + b\sigma \quad \dots(4)$$



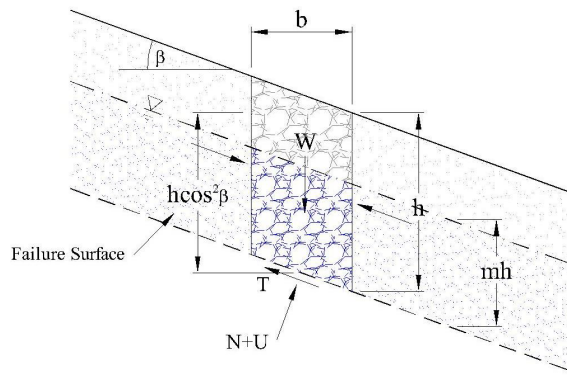
ก) ผลการทดสอบ KU-MDS Shear Test



ข) การวิเคราะห์ค่ากำลังของเป็นสมการระนาบ

รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือนของดิน

การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน วิธีวิเคราะห์แบบลาดอนันต์ (Infinite Slope) เพื่อหาค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ของพื้นที่ลาดชัน ที่เปลี่ยนแปลงไปกับระดับความอิ่มตัวของน้ำในมวลดินที่มีอิทธิพลจากน้ำฝน และการไหลซึมในมวลดิน และจากผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนที่ค่าความอิ่มตัว (Degree of Saturation, S) หรือ ค่าความชื้น ต่างๆ พบว่าแรงเฉือนเป็นฟังก์ชันของ c , σ และ S ($\tau = c + \sigma \tan \phi + S \tan \alpha$) และนำมาวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินด้วยวิธี Infinite slope ที่มีแรงกระทำบนลาดดินแสดงดังรูปที่ 9 และได้รูปแบบของสมการ การวิเคราะห์ค่า F.S. ดังสมการที่ 5



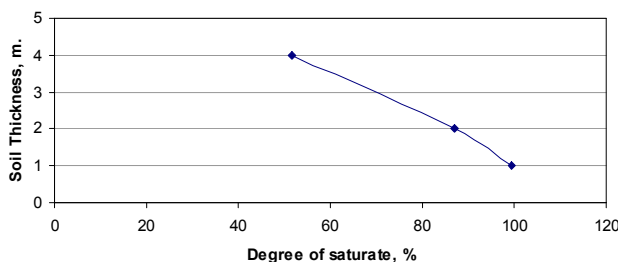
รูปที่ 9 Free Body Diagram ของแท่งดิน สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพ ด้วยวิธี Infinite Slope (บรรพต, 2548) [6]

$$F.S. = \frac{c + h \cos^2 \beta \tan \phi [(1-m)\gamma' + m(\gamma_{sat} - \gamma_w)] + S \tan \alpha}{h \sin \beta \cos \beta [(1-m)\gamma' + m\gamma_{sat}]} \quad \dots(5)$$

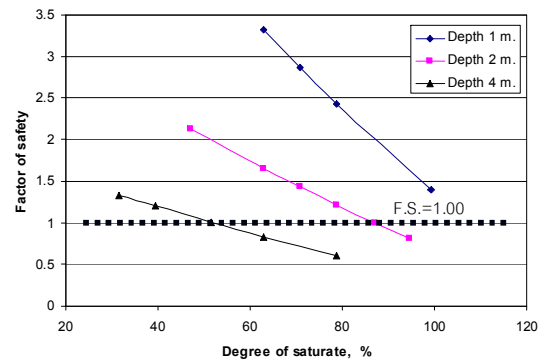
การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินแบบลาดดินอนันต์ ความหนาของชั้นดินที่และปริมาณน้ำในชั้นดินมีผลต่อเสถียรภาพของลาดดิน คือ ในสภาวะที่ดินมีความหนาไม่มากถึงแม้ดินจะมีระดับความชื้นที่สูงมาก เสถียรภาพของลาดดินก็ยังปลอดภัยอยู่ แต่หากความหนาของชั้นดินมีความหนามากขึ้นระดับความชื้นในดินในขณะที่เสถียรภาพของลาดดินอยู่ในสภาวะสมดุล (F.S.=1.00) จะมีค่าที่ต่ำลงอย่างมาก ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 10 และผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย (F.S.) กับผลของความชื้นในชั้นดินและความหนาของชั้นดินที่เกิดดินถล่ม ดังรูปที่ 11

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นดิน กับเสถียรภาพของลาดดิน F.S.

ความหนาชั้นดิน Soil Thickness (m)	ระดับความชุ่มชื้นในดิน ณ. ผิวการพิบัติ Degree of saturation (%)	อัตราส่วนความ ปลอดภัยของลาดดิน Factor of Safety
1	99.38	1.39
2	87.13	1
4	51.58	1



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นดิน กับเสถียรภาพของลาดดิน F.S. = 1.00



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง Degrees of saturate กับเสถียรภาพของลาดดิน F.S.

7. พฤติกรรมการไหลของน้ำในชั้นดิน (Seepage Analysis)

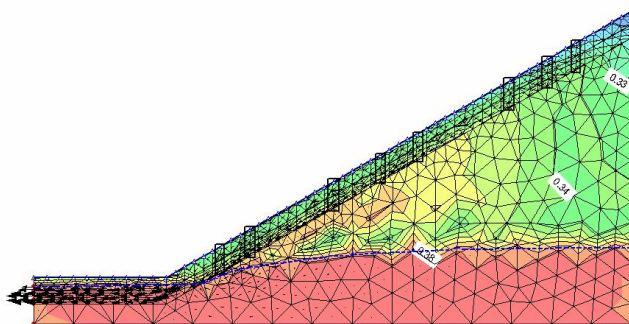
การวิเคราะห์ Seepage analysis เป็นการศึกษาพฤติกรรม การไหลของน้ำในชั้นดินที่เกิดเนื่องจากน้ำฝนที่ตกลงสู่ผิวดิน และไหลซึมลงสู่ชั้นดิน เพื่อศึกษาปริมาณน้ำหรือความชื้นหรือระดับความอิ่มตัวในชั้นดินที่ระดับความลึกต่างๆ และจากความสัมพันธ์กับกำลังรับแรงเฉือนของดิน ทำให้สามารถหาโอกาสเกิดดินถล่ม โดยพิจารณาจากค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.) ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญมากค่าหนึ่งซึ่งใช้ในการวิเคราะห์ Seepage analysis คือ แรงดูดเมตริก (Matric suction) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการดูดน้ำเข้าหาตัวของเม็ดดิน หรือแรงดึงที่ยึดน้ำไว้กับเม็ดดิน เช่นเดียวกับน้ำในหลอดคาปิลลารี Matric suction มีหน่วยเดียวกับแรงดัน (เช่น kPa หรือ Bar) แต่ต่างจากแรงดันเนื่องจากมีค่าเป็นลบ ค่าแรงดูดเมตริกนี้แปรผกผันกับปริมาณความชื้นในดิน เรียกว่า Soil-Water characteristic curve (SWCC) หรือ Soil-water retention curve (SWRC) เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลในดินด้วยกฎของดาร์ซี และในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนของดินตามความชื้นในดินที่เปลี่ยนแปลง

8. แบบจำลองการไหลซึมของน้ำฝนลงสู่ชั้นดิน (Model Infiltration)

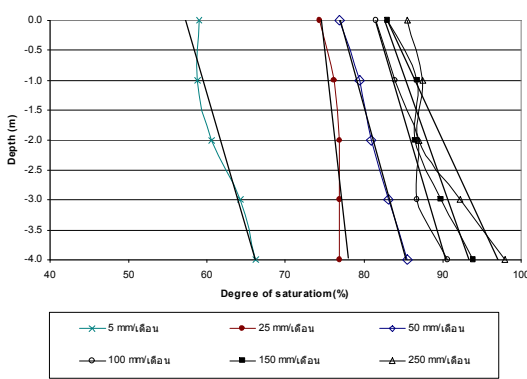
แบบจำลองการไหลซึมจะเป็นเครื่องมือที่จะช่วยหา Saturation profile เพื่อนำค่าระดับความอิ่มตัวที่ผิวการพิบัติไปวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินแบบลาดดินอนันต์ ให้มีความถูกต้องและใกล้เคียงกับสภาพจริงมากยิ่งขึ้น โดยกำหนดหน้าตัดการวิเคราะห์ของลาดดินมีลักษณะของชั้นดินและชั้นหิน ดังรูปที่ 9 แสดงหน้าตัดการวิเคราะห์ลาดดินที่ความลาดชัน 30 องศา โดย

พิจารณาค่าความชื้นตามความลึกในบริเวณพื้นที่ที่เป็นตัวแทนลาดดิน ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้ผลการวิเคราะห์ออกมาเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกอยู่ตอนบนสุดจะมีค่าปริมาณความชื้นน้อย ส่วนที่สองอยู่บริเวณตอนกลางของลาดดิน ซึ่งจะมีความชื้นในชั้นดินมากกว่าตอนบนเนื่องจากการไหลของน้ำทางด้านข้างในชั้นดิน (Interflow) และส่วนสุดท้ายอยู่ตอนล่างจะมีปริมาณความชื้นมากเนื่องจากการไหลของน้ำทางด้านข้างในชั้นดินและอยู่ใกล้กับระดับน้ำใต้ดิน ดังนั้นในการวิเคราะห์ค่าความชื้นหรือปริมาณน้ำชั้นดินที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากน้ำฝนจะพิจารณาที่พื้นที่ของลาดดินในส่วนที่สองที่อยู่บริเวณตอนกลางของลาดดิน

การวิเคราะห์โดยให้สภาวะเริ่มต้นในชั้นดินโดยวิเคราะห์จากค่าน้ำฝนเฉลี่ยจากข้อมูลน้ำฝนในอดีต และทำการจำลองสภาพการตกของฝนที่ปริมาณต่าง ๆ กัน เพื่อพิจารณาค่าความชื้นของชั้นดิน ได้ผลดังรูปที่ 10 พบว่าเมื่อปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นในชั้นดินจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 9 หน้าตัดการวิเคราะห์การไหลซึม



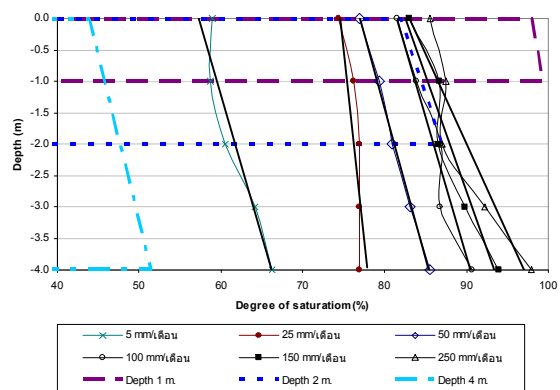
รูปที่ 10 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับความอืดตัวของดินต่อความลึก

จากการวิเคราะห์ข้างต้นจะได้รูปร่างของเส้นความอืดตัวตลอดความหนาของชั้นดิน ณ เวลาใดๆ ของฝน ดังนั้นเราจะสามารถคาดการณ์ได้ว่าความปลอดภัยของลาดดินดังกล่าวมีอัตราส่วนความปลอดภัยเป็นอย่างไร โดยการเปรียบเทียบค่าความอืดตัวของดิน ณ ผิวผิวดินที่ทำให้ดินเริ่มเสถียรสมมูล นอกจากนั้นยังสามารถคาดการณ์ถึงเวลาการพิบัติหากทราบอัตราการตกของฝน ณ เวลาใดๆ

จากผลการวิเคราะห์ที่กล่าวมา ในการเตือนภัยด้านดินถล่มด้วยค่า $API_{วิกฤติ}$ รูปที่ 9 แสดงพฤติกรรมของน้ำในชั้นดินที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากมีน้ำไหลซึมลงสู่ชั้นดินไม่เท่ากัน (ปริมาณน้ำฝน) และจากที่กล่าวมาปริมาณน้ำในชั้นดินจะมีผลต่อกำลังของดิน โดยเมื่อทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในมวลดิน ก็จะทำให้ทราบถึงเสถียรภาพของลาดดินได้ และปริมาณน้ำดังกล่าวคือค่า $API_{วิกฤติ}$ โดยจากผลการวิเคราะห์ความลึกของชั้นดินและค่าระดับความอืดตัวของดิน (Degree of saturation) ดังรูปที่ 11 แสดงค่า Average Saturation ที่เสถียรภาพของลาดดินมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัย เท่ากับ 1 ได้ผลการวิเคราะห์ค่า $API_{วิกฤติ}$ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า $API_{วิกฤติ}$ ที่ระดับความลึกต่างๆ

ระดับความลึก, เมตร	ปริมาณความชื้นวิกฤติ ($API_{วิกฤติ}$)
1.0	384.9
2.0	659.6
4.0	745.5



รูปที่ 11 ค่า Average Saturation ที่ระดับความลึก 1, 2 และ 4 เมตร

9. สรุปผลการศึกษา

ความเสียหายจากเหตุการณ์ดินถล่มจากอดีตถึงปัจจุบัน มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ดังใน พ.ศ. 2531-2540 มีผู้เสียชีวิต 230 คน และมูลค่าความเสียหาย 1,000 ล้านบาท และ พ.ศ. 2541-2549 มีผู้เสียชีวิต 304 คน และมูลค่าความเสียหาย 3,585.6 ล้านบาท เนื่องจากความถี่ของเหตุการณ์ในปัจจุบันเพิ่มสูงขึ้นจากอดีต

การวิเคราะห์ค่า API ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยหลัก คือ ปริมาณฝนที่ตกในบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัย, ค่า API ของเวลาก่อนหน้า และค่าคงที่คูณลด (Recession constants:K) ขั้นตอนในการวิเคราะห์ค่า API เริ่มด้วย การทดสอบ KU-MDS Shear Test ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ระดับความอิ่มตัวต่างๆ ซึ่งได้นำไปทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินด้วยวิธี Infinite Slope และทำการวิเคราะห์หาความชื้นในชั้นดินที่เกิดเนื่องจากการไหลซึมของน้ำ ทำให้สามารถหาสภาวะสมดุลของปริมาณน้ำในชั้นดินที่ค่าความปลอดภัย (F.S.) เท่ากับ 1.0 ผลการวิเคราะห์ของพื้นที่ที่มีลักษณะธรณีวิทยา กลุ่มหินภูเขาไฟหรือหินอัคนี ที่ความลึก 2.0 เมตร %S = 87.13%, ความลึก 4.0 เมตร %S = 51.78% และที่ความลึก 1.0 เมตร ที่ %S = 99.38% ได้ค่า F.S. = 1.39 แสดงให้เห็นว่าการพังที่ระดับความลึก 1.0 เมตรนั้นเกิดขึ้นได้ยากกว่าที่การพังที่ระดับความลึก 2.0 เมตร และ 3.0 เมตร และค่า API ของดินที่ความลึก 1.0 เมตร, 2.0 เมตร และ 3.0 เมตร เท่ากับ 384.9, 659.6 และ 745.5 ตามลำดับ

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] Fredlund, D.G. 1978. Two-Dimensional Finite Element Program Using Constant Strain Triangles (FINEL). Cited by D.G.Fredlund and H. Rahardjo. **Soil Mechanics for Unsaturated Soils**. John Wiley & Son, INC., New York.
- [2] กรมทรัพยากรน้ำ 2548. โครงการกำหนดค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (**Antecedent Precipitation Index: API**) เพื่อสนับสนุนการเตือนภัยล่วงหน้าทั่วระดับลุ่มน้ำ-แผ่นดินลุ่ม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [3] Linsley, R.K., Kohler, M.A., & Paulhus, J.L.H., (1949). **Applied Hydrology**, First Edition, McGraw-Hill Book company, Inc., New York, 689 P.
- [4] Chodhury and Blanchard. 1983. Available source: <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1994/ts3/ts3006.asp>, February 2007

- [5] วรากร, นงลักษณ์ 2546 และ บรรพต 2548, คุณสมบัติดินทางวิศวกรรมเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำน้ำก้อ ต.น้ำก้อ อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, การศึกษาพฤติกรรม การพังทลายของลาดดินในพื้นที่ต้นน้ำของลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำจันทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์
- [6] บรรพต 2548, การศึกษาพฤติกรรม การพังทลายของลาดดินในพื้นที่ต้นน้ำของลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำจันทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์