



## แบบจำลองเพื่อการประเมินค่า API วิกฤติสำหรับการเตือนภัยดินถล่ม

## Critical API Model for Landslide Warning

วรวัชร ทอวิวัฒน์ (WORAWAT THOWIWAT)<sup>1</sup>สุทธิศักดิ์ สรลัมพ์ (SUTTISAK SORALUMP)<sup>2</sup><sup>1</sup>นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมปฐพี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, w\_thowiwat@yahoo.com<sup>2</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, Soralump\_s@yahoo.com

**บทคัดย่อ :** ค่า API วิกฤติเพื่อการเตือนภัยดินถล่มถูกจำลองโดยใช้หลักวิธีทางวิศวกรรม โดยศึกษาเสถียรภาพของลาดดินที่เปลี่ยนไปเมื่อระดับความอิ่มตัวของดินเพิ่มขึ้นเสมือนการจำลองสภาพฝนตกในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ในห้องปฏิบัติการได้ทำการทดสอบ KU-MDS Shear ของตัวอย่างดินคงสภาพที่เก็บจากพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม แล้วทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินแบบลาดอนันต์ที่ความลาดชันต่างๆ เพื่อหาความหนาวิกฤติของแต่ละความลาดชัน สุดท้ายสร้างเป็นแบบจำลองของกำลังรับแรงเฉือนของดินเพื่อไปวิเคราะห์หาค่า API วิกฤติของแต่ละพื้นที่

**ABSTRACT :** Critical API for Landslide Warning is modeled by engineering method by studying the stability of slope when degree of saturation increases. In laboratory, KU-MDS Shear Test is performed on the undisturbed samples from landslide hazard area. Stability of slope is then investigated using infinite slope concept to estimate critical thickness of each slope gradient. Therefore, the model of soil shear strength is able to evaluate critical API of the landslide area.

**KEYWORDS :** Landslide, Antecedent Precipitation Index, API<sub>t</sub>, Landslide Engineering

## 1. บทนำ

การเตือนภัยด้านน้ำท่วมและดินถล่มในหลายๆหน่วยงานนิยมใช้น้ำฝนเป็นเกณฑ์สำหรับการเตือนภัยน้ำท่วมและดินถล่ม อาทิเช่น กรมอุตุนิยมวิทยา กรมพัฒนาที่ดิน กรมป่าไม้และ กรมทรัพยากรน้ำ เป็นต้น ซึ่งแต่ละหน่วยงานมีการศึกษาปัจจัยของน้ำฝนและได้ค่าเกณฑ์ของน้ำฝนที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ข้อดีของการใช้น้ำฝนในการเตือนภัยคือ ข้อมูลน้ำฝนเป็นตัวแทนของก้อนเมฆที่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างจึงเท่ากับสามารถเตือนภัยในพื้นที่บริเวณกว้างได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์เพื่อหาค่าน้ำฝนสะสมวิกฤติ สำหรับใช้ในการกำหนดระดับของการเตือนภัยในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมและดินถล่ม เนื่องจากหน่วยงานต่างๆ มี

สถานีวัดน้ำฝนอยู่แล้วขาดแต่เพียงเกณฑ์หรือวิธีการกำหนดเกณฑ์ค่าน้ำฝนวิกฤติที่เหมาะสม

## 2. การประมาณค่า API<sub>t</sub> โดยใช้ความสัมพันธ์ทางความอิ่มตัวของดิน

ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (Antecedent Precipitation Index: API) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในชั้นดินที่ดินอุ้มน้ำไว้ ณ เวลาใด ๆ ซึ่งสามารถประเมินได้โดยอาศัยปัจจัยความชื้นในดิน (Soil moisture) กับปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละวันหรือแต่ละช่วงเวลา (กรมทรัพยากรน้ำ, 2548) โดยอาศัยความสัมพันธ์ของ Linsely et. al. (1949) ดังสมการที่ 1

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

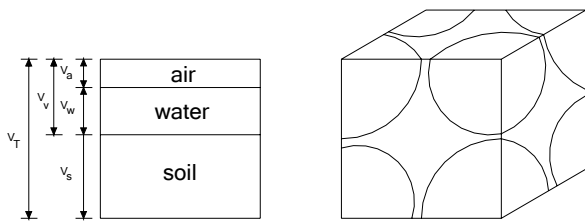
- เมื่อ  $API_t$  = ค่า API ณ เวลาใดๆ (t) (มม.)  
 $API_{t-1}$  = ค่า API ของเวลาก่อนหน้า (t-1) (มม.)  
 $P_t$  = ค่าปริมาณน้ำฝน ณ เวลาใดๆ (t) (มม.)  
 $K$  = ค่าคงที่ที่คูณลด ณ เวลาใดๆ

ค่า  $K$  หาได้จากความสัมพันธ์ของ Chodhury and Blanchard (1983) ดังสมการที่ 2

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

- เมื่อ  $E_t$  = การคายระเหย ณ เวลาใดๆ  
 $W$  = ความชื้นในดินที่สามารถระเหยได้ (ม.ม.)

สำหรับการศึกษานี้ได้เสนอวิธีคำนวณหาค่าปริมาณน้ำในมวลดิน ณ เวลาใดๆ หรือค่า  $API_t$  โดยใช้ความสัมพันธ์ทางฟิสิกส์ของดินแทนการตรวจวัดจากเครื่องมือวัดน้ำฝน ค่าดังกล่าวเป็น  $API$  ณ เวลาใดๆ หรือ ณ Discrete time ใดๆ ที่ไม่มีโอกาสของการระเหยหรือซึมลงของน้ำเข้าหรือออกจากมวลดิน โดยหาได้จากความสัมพันธ์ของระดับความอิ่มตัว ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้จะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณช่องว่างในมวลดินหรือความพรุนของดินและความหนาของชั้นดิน ภาพที่ 1 แสดงส่วนประกอบของมวลดิน ประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 3 ส่วน อันได้แก่ มวลดิน น้ำและอากาศ ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างๆ ของมวลดินนั้นสามารถหาค่าปริมาณน้ำหรือ  $API_t$  ได้ดังแสดงความสัมพันธ์จากสมการที่ 3 ถึงสมการที่ 10



ภาพที่ 1 แสดงส่วนประกอบของดิน

ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างๆ ของมวลดิน

1. ความพรุน(Porosity);  $n = \frac{V_v}{V_T}$  (3)

2. Volumetric water content;  $\theta = \frac{V_w}{V_T}$  (4)

3. ระดับความอิ่มตัว  $S_r = \frac{V_w}{V_v}$  (5)

$V_v = nV_T$  (สมการที่ 3) (6)

$V_w = \theta V_T$  (สมการที่ 4) (7)

ดังนั้นนำสมการที่ 4 และ 5 แทนค่าลงในสมการที่ 3 จะได้

$$S_r = \frac{\theta V_T}{n V_T} \quad (8)$$

หรือ  $\theta = n S_r$  (9)

จากสมการที่ 9 สามารถนำไปหาค่า  $API_t$  ได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 10

$$API_t = n S_r T \quad (10)$$

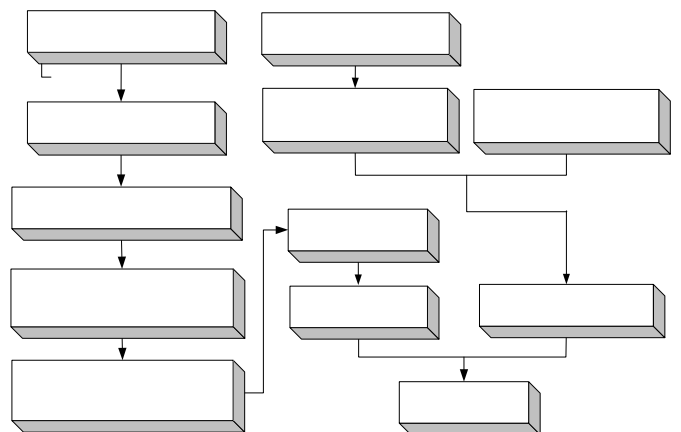
เมื่อ  $S_r$  = ระดับความอิ่มตัวของดิน

$T$  = ความหนาของชั้นดิน

### 3. การหาค่า $API_{cr}$ วิฤติ ( $API_{cr}$ ) โดยวิธีทางปฐพีกลศาสตร์

ค่า  $API_{cr}$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11 ซึ่งมีตัวแปรสำคัญในการคำนวณอยู่ 3 ส่วน คือ ค่าความพรุนของดิน (porosity,  $n$ ) ซึ่งได้จากความสัมพันธ์ของอัตราส่วนช่องว่าง (Void ratio,  $e$ ) ของตัวอย่างที่เก็บแบบคงสภาพ ระดับความอิ่มตัวของดินวิฤติ (Critical Degree of saturation,  $S_{r,cr}$ ) และ ความหนาวิฤติของชั้นดิน (Critical thickness,  $T_{cr}$ ) ขั้นตอนการได้มาซึ่งค่าดังกล่าวแสดงดังแผนภูมิภาพที่ 2 โดยความหมายของระดับวิฤติคือ ปริมาณความชื้นและค่าความหนาของดินที่ทำให้อัตราส่วนความปลอดภัยของลาดอนันต์เท่ากับ 1.0 (สุทธิศักดิ์และคณะ, 2550) ในภาพที่ 3 แสดงแบบจำลองตามหลักการดังกล่าว

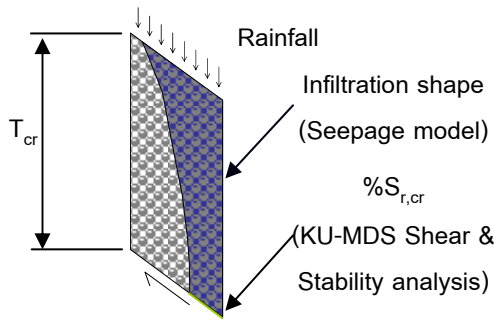
$$API_{cr} = n \cdot S_{r,cr} \cdot T_{cr} \quad (11)$$



ภาพที่ 2 การหาค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิฤติเชิงพื้นที่

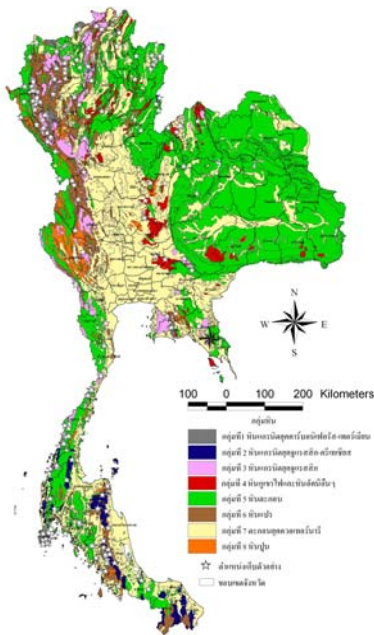
ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความชุ่มชื้นวิฤติ โดยเปลี่ยนความหนาของการพิบัติของชั้นดินตามความลาดชัน ทำให้ได้ค่า  $API_{cr}$  ต่างๆ ตามความลาดชัน ซึ่งน่าจะมี

ความถูกต้องมากกว่าการวิเคราะห์โดยการกำหนดความหนาของการพิบัติ



ภาพที่ 3 แบบจำลองการวิเคราะห์  $API_{cr}$  ที่มา: (สุทธิศักดิ์และคณะ, 2550)

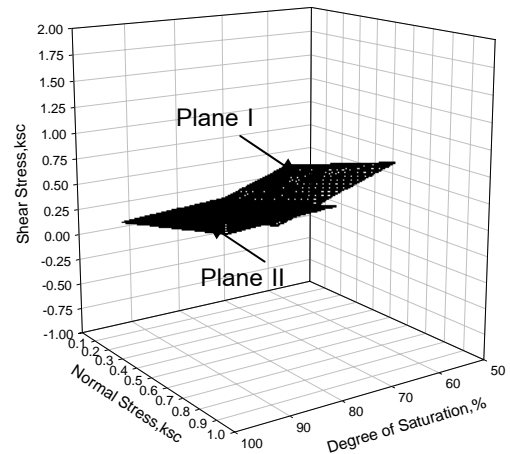
สำหรับการทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนของดินเมื่อความชื้นเปลี่ยนไป ดำเนินการโดยการเก็บตัวอย่าง Undisturbed จำนวน 307 ตัวอย่าง โดยใช้ชุดเก็บตัวอย่าง KU-Miniature Sampler (วารากรและคณะ, 2546, 2548) ในตำแหน่งหมู่บ้านเสี่ยงภัยน้ำท่วม-ดินถล่มทั่วประเทศ โดยจำแนกการเก็บตัวอย่างตามชุดหินทางธรณีวิทยาที่จำแนกตามโอกาสเกิดดินถล่ม 6 กลุ่มหิน (Soralump and Kunsuwan, 2006) ดังภาพที่ 4 ตัวอย่างดินคงสภาพดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณหาค่าความพรุน (Porosity, n) และทดสอบ KU-MDS Shear (วารากรและคณะ, 2546, 2548)



ภาพที่ 4 ตำแหน่งตัวอย่างในการศึกษาตามชุดหินทางธรณีวิทยา ที่มา:(Soralump and Kulsuwan, 2006)

การทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินสำหรับตัวอย่างดินที่เก็บแบบคงสภาพ ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบเฉือนตรง (Direct shear test) ซึ่งการทดสอบจะทำการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนเมื่อปริมาณความชื้นในดินเปลี่ยนแปลงไป เรียกการทดสอบว่า KU-MDS Shear โดยกำหนดสภาวะระดับความอิ่มตัวของตัวอย่างไว้สำหรับการทดสอบคือ ระดับความอิ่มตัวที่ 60%, 80% และ 100% ผลการทดสอบ KU-MDS Shear สามารถนำไปใช้คาดการณ์และวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันที่เปลี่ยนไปตามความชื้น โดยนำข้อมูลผลการทดสอบมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ในระบบ 3 แกน ดังภาพที่ 5

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในระบบ 3 แกนสามารถหาสมการควบคุมในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินของดินที่สลายตัวจากหินแต่ละกลุ่มได้ ซึ่งได้จากการศึกษาในงานวิจัยข้างเคียง



ภาพที่ 5 ลักษณะระนาบของสมการทั้งสองระนาบ

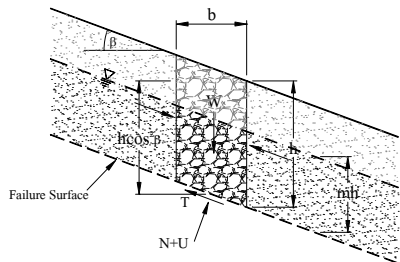
ในการวิเคราะห์ความมั่นคงเราสามารถทำการคำนวณกำลังรับแรงเฉือนของดินจากสมการควบคุมทั้งสองสมการแล้วพิจารณาเลือกค่าของสมการที่ให้กำลังรับแรงเฉือนที่สูงกว่าจากสมการระนาบทั้งสองเป็นสมการที่ใช้คำนวณเพื่อหาอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดดิน

### 3.1 แบบจำลองเสถียรภาพของลาดดิน

การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน ทำโดยวิธีวิเคราะห์แบบลาดดินอนันต์ (Infinite Slope) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นดินบนความลาดชันต่างๆ กับระดับความ

อิมตัวของน้ำในมวลดินที่เปลี่ยนไปจากผลการทดสอบ KU-MDS Shear โดยกำหนดให้อัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ของพื้นที่ลาดชันเท่ากับ 1.0 การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Infinite Slope แสดงในภาพที่ 6 และสมการการวิเคราะห์ดังสมการที่ 12

$$F.S. = \frac{c' + h \cos^2 \beta \tan \phi' [(1-m)\gamma' + m(\gamma_{sat} - \gamma_w)] + S_r \tan \alpha}{h \sin \beta \cos \beta [(1-m)\gamma' + m\gamma_{sat}]} \quad (12)$$



ภาพที่ 6 หน้าตัดการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Infinite Slope ที่มา: บรรพต (2548)

ในงานวิจัยนี้การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Infinite Slope ได้ตั้งสมมติฐานไว้ ดังนี้

1. วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยใช้แบบจำลองกำลังรับแรงเฉือนประเภทแรงดันประสิทธิผล (Effective Stress Analysis)
2. ปริมาณความชื้นมีค่าสม่ำเสมอเท่ากันทั้งหน้าตัด
3. วิเคราะห์เปรียบเทียบกรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดินและกรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่า

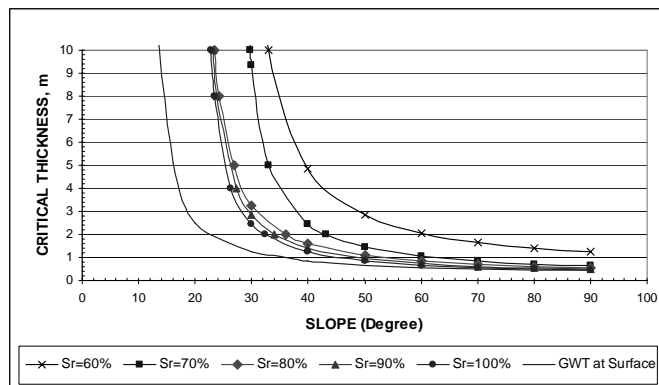
### 3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความหนาวิกฤติ ( $T_{cr}$ )

แบบจำลองการวิเคราะห์สร้างโดยใช้สมการควบคุมจากความสัมพันธ์ในระบบ 3 แกน โดยวิเคราะห์หาความหนาของชั้นดินในแต่ละความลาดชันของแต่ละระดับความอิมตัวที่ทำให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1.0 ดังนั้นสมการการหาอัตราส่วนความปลอดภัยจึงมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม เป็นสมการที่ได้จากการวิเคราะห์และหาความสัมพันธ์ในระบบ 3 แกนแทน โดยสมการที่ 13 ใช้วิเคราะห์กรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน และสมการที่ 14 ใช้วิเคราะห์กรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวการเคลื่อนพัง

$$F.S. = \frac{\tau_0 + b\sigma' - aS_r}{h\gamma_{sat} \sin \beta} \quad (13)$$

$$F.S. = \frac{\tau_0 + b\sigma' - aS_r}{h\gamma_t \sin \beta} \quad (14)$$

ผลการวิเคราะห์นำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นดินวิกฤติ, ความลาดชันและระดับความอิมตัว ซึ่งความหนาของชั้นดินในแต่ละความลาดชันเป็นส่วนสำคัญที่จะนำไปใช้สำหรับการคำนวณหาปริมาณน้ำสะสมวิกฤติในมวลดินหรือค่า  $API_{cr}$  ดังตัวอย่างผลการวิเคราะห์ของดินกลุ่มที่ 1 ตามภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง  $T_{cr}$ , Slope and  $S_{r,cr}$

### 3.3 แบบจำลอง Critical API

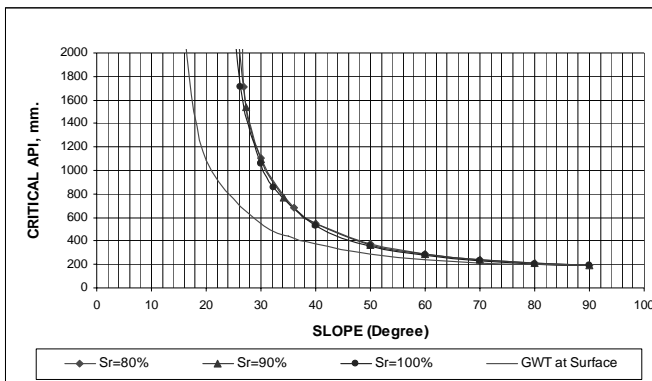
ค่า  $API_{cr}$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11 โดยตัวอย่างการคำนวณใช้กรณีของหมู่บ้านเด่น ต.บ้านหลวง อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ ซึ่งเป็นดินที่สลายตัวจากหินกลุ่มที่ 1 โดยค่าความพรุน (Porosity, n) ของดินบริเวณหมู่บ้านนี้มีค่าเท่ากับ 0.49 การคำนวณค่า  $API_{cr}$  จากสมการที่ 11 แสดงดังตารางที่ 1 โดยภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ค่า  $API_{cr}$  ของแต่ละความลาดชันของหมู่บ้านดังกล่าว ทั้งนี้สมการของแบบจำลองการคำนวณค่า  $API_{cr}$  ของดินที่สลายตัวจากหินทั้ง 6 กลุ่มแสดงดังสมการที่ 15 ถึงสมการที่ 26 ตามลำดับ โดยจากสมการดังกล่าวเราสามารถหาค่า  $API_{cr}$  ตำแหน่งใดๆ ได้ หากทราบข้อมูลชนิดชุดหิน, อัตราส่วนช่องว่างในมวลดิน, ความหนาแน่นแห้งและความถ่วงจำเพาะซึ่งตัวแปรดังกล่าวข้างต้นเป็นตัวแปรพื้นฐานที่สามารถวิเคราะห์ได้โดยง่ายทั้งสิ้น

การคำนวณค่า  $API_{cr}$  สำหรับดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินกลุ่มต่างๆ จากสมการ ซึ่งแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ลักษณะคือ สำหรับดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินกลุ่มที่ 1 และ 6 ใช้กรณีที่ระดับความอิมตัวร้อยละ 80, 90 และ 100 ในการคำนวณโดยที่ระดับความอิมตัวร้อยละ 80 เลือกใช้ค่า  $API_{cr}$  ที่มีค่ามากกว่าแล้วนำไปหาค่าเฉลี่ยร่วมกับค่าที่คำนวณได้จากระดับความอิมตัวร้อยละ

ละ 90 และ 100 และสำหรับดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินกลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5 ใช้กรณีที่ระดับความอึดตัวร้อยละ 90 ในการคำนวณ โดยการคำนวณทั้งสองกรณีหากทราบค่าตัวแปรพื้นฐานของดิน อันได้แก่ ค่าอัตราส่วนช่องว่างในมวลดิน, ความหนาแน่นแห้งของดิน, ค่าความถ่วงจำเพาะของดินและองศาความลาดชันของลาดดินแล้วแทนค่าลงในสมการของการคำนวณค่า  $API_{cr}$  ของแต่ละดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินกลุ่มต่างๆ ได้

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลการคำนวณ  $API_{cr}$  ของดินจากหมู่บ้านเด่น ต.บ้านหลวง อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่

กรณีระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำมากๆ ( $S_r=80\%$ )			กรณีระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ผิวดิน	
Slope (Degree)	Thickness (m.)	$API_{cr}$ (mm)	Thickness (m.)	$API_{cr}$ (mm)
27.5	4.55	1782	1.50	735
32.5	2.63	1028	1.12	549
37.5	1.8	705	0.94	460
42.5	1.45	568	0.81	397
47.5	1.2	470	0.71	348
52.5	1.0	391	0.64	313
60	0.74	290	0.56	277
70	0.71	276	0.50	245
80	0.62	244	0.46	225
90	0.57	224	0.44	216



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ของค่า  $API_{cr}$  กับความลาดชันของดินที่สลายตัวจากหินกลุ่มที่ 1

กลุ่มที่ 1 ดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินแกรนิตยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน

$$API_{cr,1.0.8} = \frac{0.8e}{1+e} \left[ \frac{0.00808}{\gamma_d \left(1 + \frac{0.8e}{G_s}\right) (\sin \beta - 0.4985 \cos \beta)} \right] \quad (15)$$

$$API_{cr,2.0.8} = \frac{0.8e}{1+e} \left[ \frac{0.10542}{\gamma_d \left(1 + \frac{0.8e}{G_s}\right) (\sin \beta - 0.3725 \cos \beta)} \right] \quad (16)$$

$$API_{cr,0.9} = \frac{0.9e}{1+e} \left[ \frac{0.09496}{\gamma_d \left(1 + \frac{0.9e}{G_s}\right) (\sin \beta - 0.3725 \cos \beta)} \right] \quad (17)$$

$$API_{cr,1.0} = \frac{e}{1+e} \left[ \frac{0.0845}{\gamma_d \left(1 + \frac{e}{G_s}\right) (\sin \beta - 0.3725 \cos \beta)} \right] \quad (18)$$

กลุ่มที่ 2 ดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินแกรนิตยุคจูแรสสิก-ครีเทเชียส

$$API_{cr,0.9} = \frac{0.9e}{1+e} \left[ \frac{0.07163}{\gamma_d \left(1 + \frac{0.9e}{G_s}\right) (\sin \beta - 0.3872 \cos \beta)} \right] \quad (19)$$

กลุ่มที่ 3 ดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินแกรนิตยุคจูแรสสิก

$$API_{cr,0.9} = \frac{0.9e}{1+e} \left[ \frac{0.08853}{\gamma_d \left(1 + \frac{0.9e}{G_s}\right) (\sin \beta - 0.4570 \cos \beta)} \right] \quad (20)$$

กลุ่มที่ 4 ดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินภูเขาไฟและหินอัคนีอื่นๆ

$$API_{cr,0.9} = \frac{0.9e}{1+e} \left[ \frac{0.12202}{\gamma_d \left(1 + \frac{0.9e}{G_s}\right) (\sin \beta - 0.5076 \cos \beta)} \right] \quad (21)$$

กลุ่มที่ 5 ดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินตะกอน

$$API_{cr,0.9} = \frac{0.9e}{1+e} \left[ \frac{0.11616}{\gamma_d \left(1 + \frac{0.9e}{G_s}\right) (\sin \beta - 0.4876 \cos \beta)} \right] \quad (22)$$

กลุ่มที่ 6 ดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินแปร

$$API_{cr,1.0.8} = \frac{0.8e}{1+e} \left[ \frac{0.10152}{\gamma_d \left(1 + \frac{0.8e}{G_s}\right) (\sin \beta - 0.4607 \cos \beta)} \right] \quad (23)$$

$$API_{cr,2.0.8} = \frac{0.8e}{1+e} \left[ \frac{0.09624}{\gamma_d \left(1 + \frac{0.8e}{G_s}\right) (\sin \beta - 0.5349 \cos \beta)} \right] \quad (24)$$

$$API_{cr,0.9} = \frac{0.9e}{1+e} \left[ \frac{0.07732}{\gamma_d \left(1 + \frac{0.9e}{G_s}\right) (\sin \beta - 0.5349 \cos \beta)} \right] \quad (25)$$

$$API_{cr,1.0} = \frac{e}{1+e} \left[ \frac{0.0584}{\gamma_d \left(1 + \frac{e}{G_s}\right) (\sin \beta - 0.5349 \cos \beta)} \right] \quad (26)$$

### 3.4 การวิเคราะห์เพื่อหาค่า Critical API เชิงพื้นที่

เนื่องจากพื้นที่เสี่ยงภัยของการเกิดธรณีพิบัติภัยนั้น มีความลาดชันที่หลากหลาย (Multi Slope) ทำให้ค่า  $API_{cr}$  มีหลายค่าตามความลาดชันในพื้นที่นั้นๆ การพิจารณาค่า  $API_{cr}$  ให้สอดคล้องกับพื้นที่ ดำเนินการโดยพิจารณาลักษณะของความลาดชันในพื้นที่ศึกษา เพื่อนำมาใช้ถ่วงน้ำหนักพื้นที่ความลาดชัน การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ เริ่มจากดำเนินการลงตำแหน่งข้อมูล

หมู่บ้านเสี่ยงภัยดินถล่มที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพบนแผนที่ประเทศไทย แล้วนำข้อมูลของความลาดชันซ้อนทับข้อมูลตำแหน่งหมู่บ้าน กำหนดขอบเขตพื้นที่ออกเป็นรัศมี (Buffer Area) โดยรอบจากตำแหน่งหมู่บ้าน แล้วใช้วิธีการซ้อนทับกัน (Intersect) ดังภาพที่ 9ก. และ 9ข. ตามลำดับ หลังจากนั้นคำนวณหาร้อยละของพื้นที่แต่ละองศาความลาดชันตามขนาดของขอบเขตพื้นที่

การคำนวณค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤติ โดยการถ่วงน้ำหนักพื้นที่ของความลาดชันคำนวณได้จากสมการที่ 27 ดังต่อไปนี้

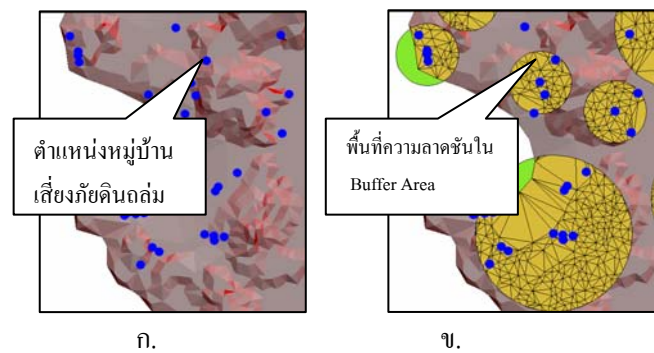
$$API_s = f(\text{slope, saturation})$$

$$API_{ave} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [API_{si} \times \% Area_{si}] Sr\% j}{m} \quad (27)$$

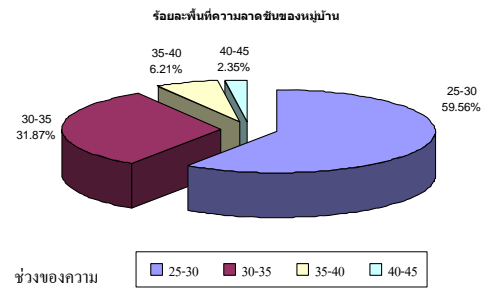
When;

- $API_{ave}$  ดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤติเฉลี่ย
- $API_{si}$  ดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤติของความลาดชันใด ๆ
- $\% Area_{si}$  ร้อยละพื้นที่ช่วงของความลาดชันนั้น ๆ
- $Sr\% j$  ระดับความอิ่มตัวของดินใด ๆ
- $n$  จำนวนช่วงของความลาดชัน
- $m$  จำนวนระดับความอิ่มตัวของดิน

ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่า  $API_{cr}$  โดยใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วงความลาดชันในการคำนวณ จากแผนภูมิความสัมพันธ์ของร้อยละของพื้นที่ความลาดชันกับช่วงของความลาดชันแสดงดังภาพที่ 10 โดยการคำนวณหาค่า  $API_{cr}$  ของดินโดยวิธีการถ่วงน้ำหนักพื้นที่ความลาดชัน แสดงผลการคำนวณ ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 9 การวิเคราะห์เชิงพื้นที่

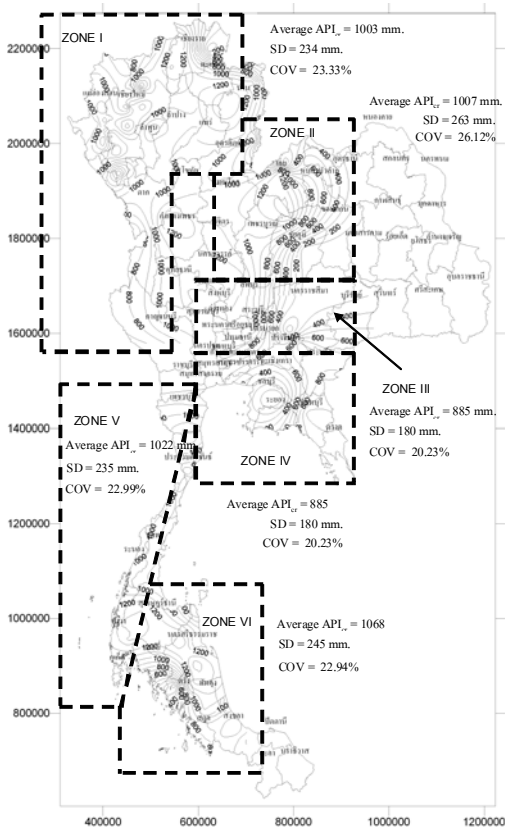


ภาพที่ 10 สัดส่วนร้อยละของความลาดชันจากหมู่บ้านเด่น ต.บ้านหลวง อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่

ตารางที่ 2  $API_{cr}$  เชิงพื้นที่ความลาดชันของหมู่บ้านเด่น ต.บ้านหลวง อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่

ค่าเฉลี่ยช่วง ความลาดชัน (Degree)	ร้อยละพื้นที่ความลาดชัน (Percent, %)	$API_{cr}$ (mm.) โดยการถ่วงน้ำหนักพื้นที่ความลาดชัน			
		$S_r = 80\%$	$S_r = 90\%$	$S_r = 100\%$	GWT at Surface
27.5	59.56	1061.93	997.75	963.74	438.61
32.5	31.87	327.85	319.66	308.34	174.86
37.5	6.21	43.78	43.78	43.33	28.58
42.5	2.35	13.37	13.23	12.68	9.34
รวม		1446.95	1374.42	1327.09	650.39
ค่าเฉลี่ย $API_{cr}$ เชิงพื้นที่		1383			650.39

จากวิธีการดังกล่าวทำให้สามารถวิเคราะห์ค่า  $API_{cr}$  ของแต่ละหมู่บ้านเสี่ยงภัยได้ ภาพที่ 11 แสดงผลจากการคำนวณค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤติเชิงพื้นที่ของดินที่สลายตัวจากหินทั้ง 6 กลุ่มจำนวน 121 ตำแหน่ง และสามารถนำข้อมูลมาสร้างเป็นเส้นชั้นความสูง (contour) ของค่า  $API_{cr}$  โดยจากผลการศึกษาพบว่า สามารถแบ่งพื้นที่ออกเป็น 6 พื้นที่ โดยการแบ่งกลุ่มของค่า  $API_{cr}$  แต่ละพื้นที่ที่ได้พิจารณาจากค่า  $API_{cr}$  ที่มีค่าใกล้เคียงกัน, ลักษณะภูมิประเทศที่ต่อเนื่องกันและสถิติการเกิดดินถล่มเป็นเกณฑ์ แล้วจึงทำการหาค่า Average  $API_{cr}$  ของแต่ละกลุ่มพื้นที่



ภาพที่ 11 เส้นชั้นของ  $API_{cr}$  โดยการถ่วงน้ำหนักพื้นที่ความลาดชัน

#### 4. สรุปผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์หาค่า Average  $API_{cr}$  ในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มทั่วประเทศไทย พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 885-1068 mm. และมีค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient Of Variation, COV) อยู่ในช่วง ร้อยละ 20.23-26.12 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นบนลาดชันที่มีความชันค่าหนึ่ง พบว่า ความหนาวิกฤติเปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่อความชื้นในดินมีค่าความอิ่มตัวเกินร้อยละ 90 ดังนั้นจึงได้เลือกความสัมพันธ์ของความหนาวิกฤติและความลาดชันกรณีดินไม่อิ่มตัวที่มีระดับความอิ่มตัวที่ร้อยละ 90 ในการคำนวณค่า  $API_{cr}$  และวิเคราะห์กำลังรับแรงเฉือน โดยแบบจำลองความเค้นประสิทธิผล และการวิเคราะห์  $API_{cr}$  โดยเปลี่ยนความหนาของการพิบัติของชั้นดินตามความลาดชัน ทำให้ได้ค่า  $API_{cr}$  ต่างๆ ตามความลาดชัน ซึ่งน่าจะมีความถูกต้องมากกว่าการวิเคราะห์โดยการกำหนดความหนาของการพิบัติ

#### 7. กิติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมทรัพยากรธรณี, กรมทรัพยากรน้ำ, ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับข้อมูลการวิจัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติสำหรับการสนับสนุนทุนวิจัย

#### 5. บรรณานุกรม

[1] กรมทรัพยากรน้ำ 2548. โครงการกำหนดค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (Antecedent Precipitation Index: API) เพื่อสนับสนุนการเตือนภัยล่วงหน้าน้ำท่วมฉับพลัน-แผ่นดินถล่ม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[2] Linsley, R.K., Kohler, M.A., & Paulhus, J.L.H., (1949). Applied Hydrology, First Edition, McGraw-Hill Book company, Inc., New York, 689 P.

[3] Chodhury and Blanchard. 1983. Available source: <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1994/ts3/ts3006.asp>, February 2007

[4] สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์, บรรพต กุลสุวรรณและวรัษฐ์ ต่อวิวัฒน์. 2550, การวิเคราะห์ค่า API วิกฤติเพื่อใช้ในการเตือนภัยดินถล่มจากฝนตกหนัก, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12, จ.พิษณุโลก

[5] วรากร ไม้เรียง, นงลักษณ์ ไทยเจียมอารีย์, บรรพต กุลสุวรรณ. 2546, 2548. เสถียรภาพของลาดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำก้อ โดยใช้คุณสมบัติทางวิศวกรรม. การศึกษาพฤติกรรมการพิบัติของลาดดินในพื้นที่ต้นน้ำของกลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำจันทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[6] Sorallump, S. and B. Kulsuwan. 2006. Landslide Risk Prioritization of Tsunami Affected Area in Thailand. Reginal Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering, Joint Workshop 6-9 December, Manila Philippines.

[7] บรรพต กุลสุวรรณ. 2548, การศึกษาพฤติกรรมการพิบัติของลาดดินในพื้นที่ต้นน้ำของกลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำจันทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์