

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร ทฤษฎี สมมติฐาน และหรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย

2.1 ทฤษฎีทางปฐพีกลศาสตร์ที่ใช้ในการประเมินค่าความชื้นสะสมวิกฤติในดิน

การประเมินค่าความชื้นสะสมวิกฤติในดินเพื่อนำไปใช้ในการเตือนภัยดินถล่ม อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อฝนตกลงสู่พื้น น้ำฝนบางส่วนจะตกค้างบนต้นไม้ บางส่วนระเหย บางส่วนกลายเป็นน้ำผิวดิน ส่วนที่เหลือหากสภาพดินเอื้ออำนวยน้ำจะไหลลงสู่พื้นดิน โดยที่บางส่วนจะถูกดูดซึมไปโดยรากไม้ ส่วนที่เหลือจะไหลซึมผ่านชั้นหน้าดินลงสู่ชั้นที่ลึกกว่า ทำให้ดินส่วนดังกล่าวมีกำลังรับแรงเฉือนลดลง หากความชื้นมากขึ้น และมีปัจจัยเอื้อให้เกิดการเสียดลของลาดดิน ดินถล่มจะเกิดขึ้น

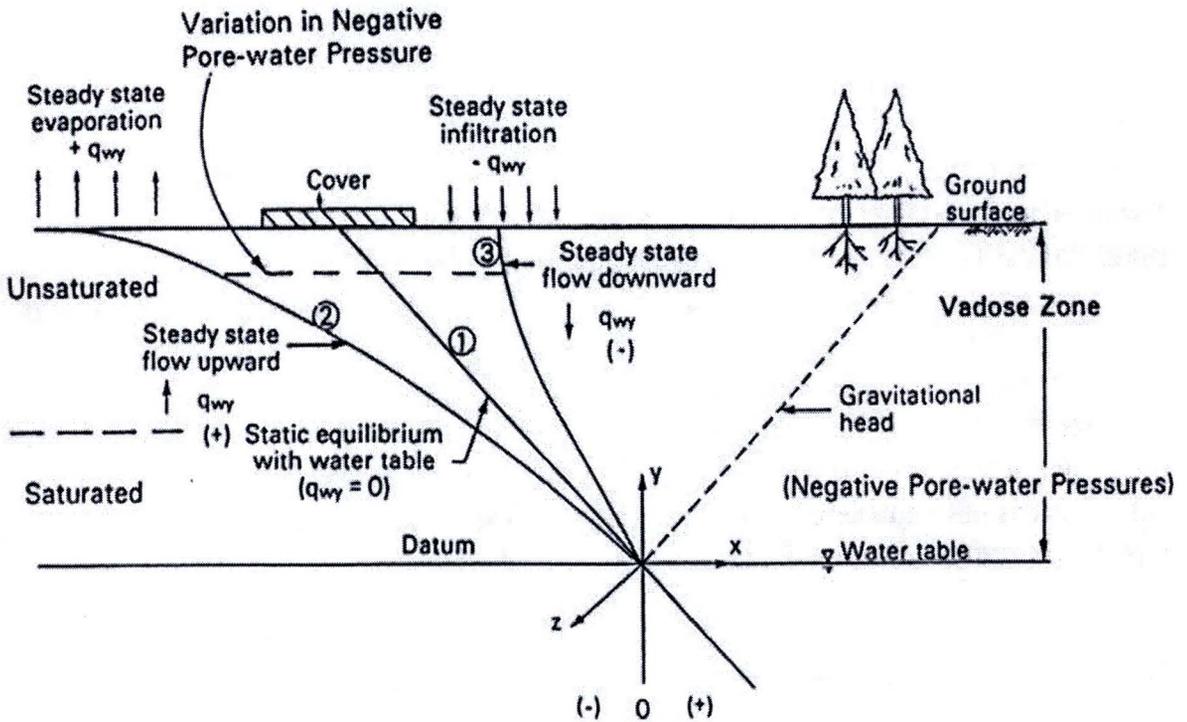
ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจะสนใจพฤติกรรมของการเสียดลของลาดดินจากปริมาณน้ำสะสมที่ไหลซึมลงสู่ระดับลึก ดังนั้นทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องได้แก่

2.1.1 ทฤษฎีกลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนตามความชื้นในมวลดิน

ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ(Unsaturated Soil) ดินจะมีหน่วยแรงประสิทธิผลเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงดึงผิวของส่วนที่สัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำ ที่เรียกว่า Contractile Skin (Fredlund, 1993) เช่นในกรณี การตัดลาดดินที่สูงชันแต่ก็ไม่เกิดการพังทลาย แม้ว่าไม่มีระบบค้ำยันหรือการปรับปรุงคุณภาพดิน ดังรูปที่ 2-1 และถ้าพิจารณาชั้นดินในสภาวะปกติดังในรูปที่ 2-2 จะเห็นได้ว่าดินในช่วงเหนือระดับน้ำใต้ดินมีทั้งอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว เรียกว่าช่วง Vadose Zone จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับการไหลของน้ำจากภายนอก ซึ่งระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงนี้เองจะส่งผลถึงกำลังรับแรงและการยุบตัวของดิน



รูปที่ 2-1 การตัดลาดดินไหล่เขา



รูปที่ 2-2 ลักษณะเส้นระดับน้ำของชั้นดินทั่วไป

ที่มา: Fredlund (1993)

นงลักษณ์ (2546) ได้รวบรวมการศึกษาเกี่ยวกับดินไม่อิ่มตัวด้วย เริ่มตั้งแต่ประมาณปี 1941 โดย Biot (1941) ได้เสนอทฤษฎีเกี่ยวกับการระบายน้ำของดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Theory of consolidation for an Unsaturated Soil) โดยได้มีการศึกษาและเสนอสมการหน่วยแรงประสิทธิผลสำหรับดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำต่อมาเป็นลำดับ จนกระทั่ง Aitchison (1965) ได้อธิบายส่วนประกอบของแรงดูดในดิน ค่าแรงดูดในดินนี้มีความสัมพันธ์กับค่าความชื้นซึ่งเรียกว่า แรงดูดโดยรวม (Total Suction) ประกอบด้วย 2 องค์ประกอบคือ Matric Suction และ Osmotic Suction ซึ่งมีค่าต่างๆ มีค่าจำกัดความ ดังนี้

Matric หรือ Capillary เป็นส่วนประกอบของพลังงานอิสระของแรงดูด ซึ่งเป็นแรงดูดเนื่อง จากแรงตึงผิวของน้ำในดิน

Osmotic เป็นส่วนประกอบของพลังงานอิสระของแรงดูด ซึ่งเป็นแรงดูดเนื่องจากสารละลายที่ละลายในน้ำในดิน

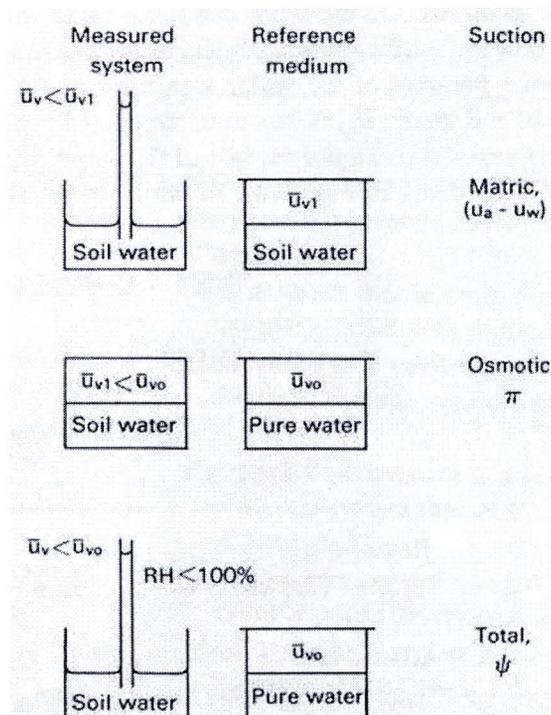
แรงดูดโดยรวม เป็นพลังงานอิสระของแรงดูด ซึ่งเป็นผลรวมของ Matric Suction กับ Osmotic Suction ดังสมการที่ 1

$$\psi = (u_a - u_w) + \pi \quad (2-1)$$

เมื่อ	$(u_a - u_w)$	=	Matric Suction
	u_a	=	แรงดันอากาศ
	u_w	=	แรงดันน้ำ
	π	=	Osmotic Suction

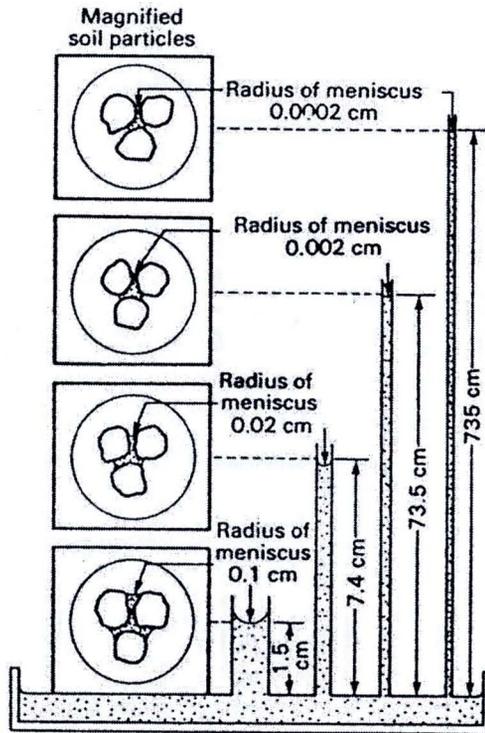
รูปที่ 2-3 อธิบายถึงส่วนประกอบ ของพลังงานอิสระของน้ำในดิน ค่า Matric Suction เป็นส่วนที่มาจากปรากฏการณ์ Capillary จากค่าแรงตึงผิวของน้ำ ซึ่งเป็นผลจากแรงตึงผิวของน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินดังแสดงดังรูปที่ 2-4

Krahn and Fredlund (1972) ได้เสนอว่าส่วนค่าแรงดูด Osmotic เป็นผลเนื่องจากสารละลายที่เจือจางในน้ำในดิน (ส่วนมากเป็นเกลือ) ทำให้เกิดแรงดูดชนิดนี้ ซึ่งมีผลการหาค่า Matric Suction & Osmotic Suction ของดินบดอัด (สำหรับ Subgrad ที่สร้างในจังหวัด Saskatchewan แคนาดา) ซึ่งดิน Regina Clay มีค่า LL = 78% และ PL = 31% Glacial Till มีค่า LL = 34% และ PL = 17% ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2-5 ซึ่งมีค่า Matric Suction รวมกับ Osmotic Suction มีค่าใกล้เคียงกับ แรงดูดโดยรวม



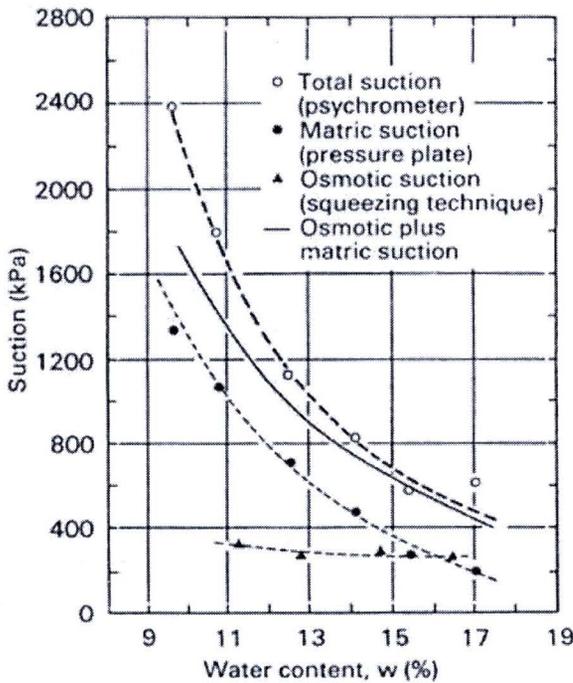
รูปที่ 2-3 แนวคิดของ แรงดูดโดยรวม, Matric Suction, Osmotic Suction

ที่มา: Aitchison (1965)



รูปที่ 2-4 หลอด Capillary แสดง ค่ามุม Meniscus มีผลต่อ Capillary Force

ที่มา: Janssen and Dempsey (1980)

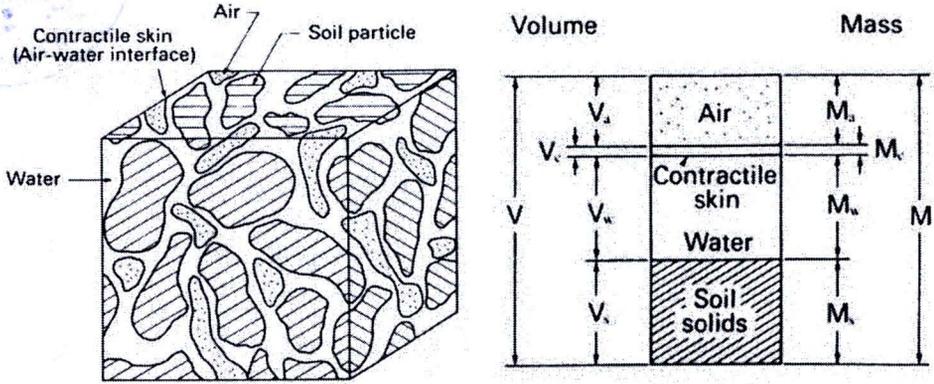


รูปที่ 2-5 ค่าแรงดูดโดยรวม, Matric Suction, Osmotic Suction ของดิน Glacial Till

ที่มา: Krahn and Fredlund (1972)

สํานักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดخانهวิจัย
วันที่..... - 9 ต.ค. 2556
เลขทะเบียน..... 246842
เลขเรียกหนังสือ.....

Fredlund and Morganstern (1977) เสนอทฤษฎีเกี่ยวกับการวิเคราะห์หน่วยแรงในดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำว่า ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ มีส่วนประกอบมวลดิน 4 ส่วน คือ เม็ดดิน, น้ำ, อากาศ และ Contractile Skin ซึ่งเป็นชั้นรอยต่อระหว่าง อากาศกับน้ำ ดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 ภาพจำลองส่วนประกอบของดิน Unsaturated Soil

ที่มา: Fredlund and Morganstern (1977)

ความแตกต่างระหว่าง Saturated Soil กับ Unsaturated Soil (Fredlund, 1993) มี 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนประกอบของดิน และแรงดันของน้ำและอากาศในมวลดิน โดยที่ผิวของ Contractile Skin นี้มีแรงดันน้ำ (U) และ ผลต่างของแรงดันอากาศในมวลดินกับแรงดันน้ำ ΔU ซึ่งก็คือ $(u_a - u_w)$ ในรูปที่ 2-7 แรงดึงผิวที่เกิดบน Contractile Skin สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$2T_s \sin \beta = 2 \Delta U R_s \sin \beta \tag{2-2}$$

เมื่อ $(u_a - u_w) = \text{Matric Suction}$

โดยที่ $2 R_s \sin \beta = \text{ความยาวของผิว Contractile ในแนวราบ}$

จะได้ $\Delta U = \frac{T_s}{R_s}$

$$\Delta U = T_s \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

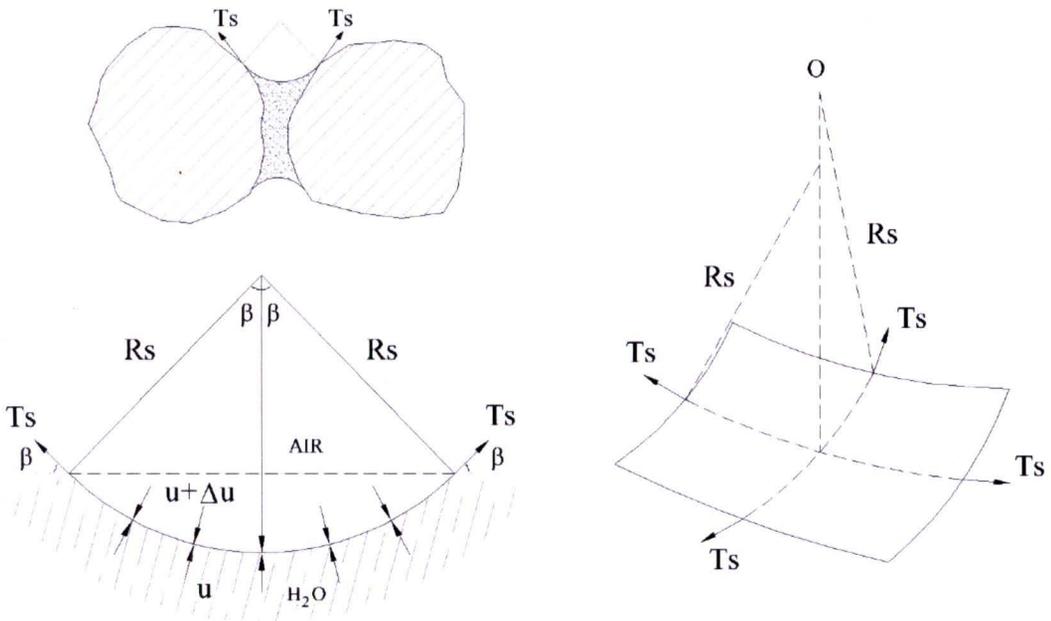
ให้ $R_1 = R_2 = R_s$

จะได้ $\Delta U = 2 \frac{T_s}{R_s}$

และ $(u_a - u_w) = \frac{2T_s}{R_s}$ (2-3)

โดยที่ $(U_a - U_w) = \text{Matric Suction}$ ซึ่งเป็นผลต่างของ Pore-Air และ Pore-Water Pressure กระทำที่ผิวของ Contractile

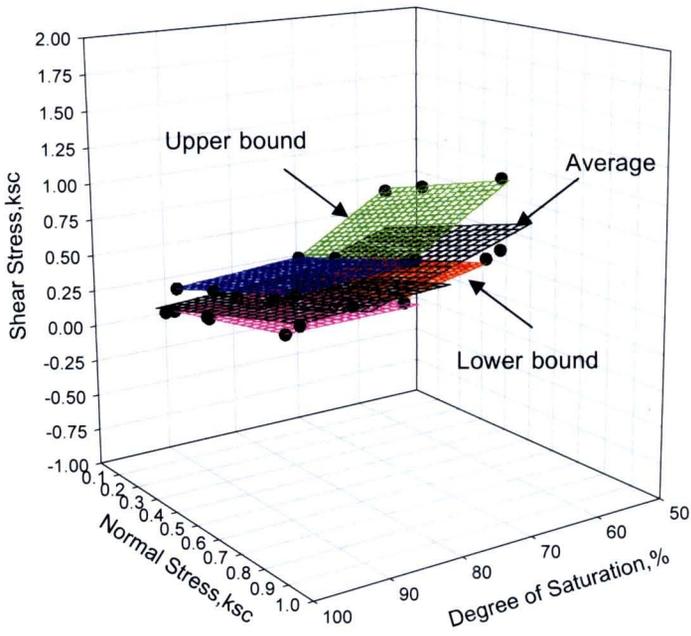
จากสมการ $(U_a - U_w) = 0$ ได้ก็ต่อเมื่อ R_s มีค่ามากเข้าใกล้ Infinity นั่นคือสถานะที่ดินมีความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Soil) และค่า $(U_a - U_w)$ จะมากขึ้นก็เมื่อขนาดรัศมีของ Contractile Skin ลดลง



รูปที่ 2-7 แรงดันและแรงดึงที่ผิว Contractile

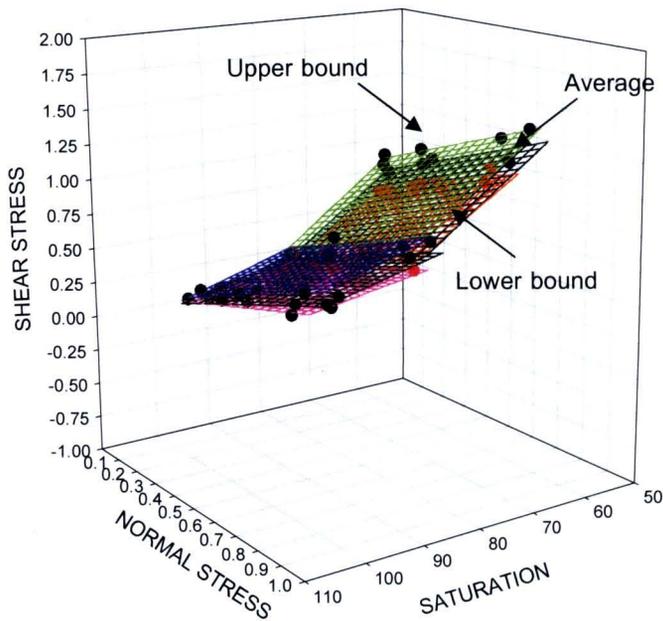
ที่มา: Fredlund (1993)

วรวัชร (2552) ได้ศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนตามความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป โดยวิธีการทดสอบที่เรียกว่า KU-MDS Shear Test (วรการ และนงลักษณ์, 2546 และ วรการ และบรรพต, 2548) กับตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวนจากทั่วประเทศ จำนวน 307 ชุดตัวอย่าง พบว่า พฤติกรรมกำลังรับแรงเฉือนของดินที่เปลี่ยนแปลงตามระดับความอิ่มตัวของดินมี 2 รูปแบบ อันได้แก่ พฤติกรรมของการแสดงให้เห็นถึงการยุบตัว คือ ในสถานะที่ความชื้นเพิ่มขึ้นถึงจุดๆ หนึ่งกำลังรับแรงเฉือนของดินลดลงอย่างมากและกำลังรับแรงเฉือนของดินจะมีค่าค่อนข้างคงที่ในขณะที่ระดับความชื้นในมวลดินจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งดินอิ่มตัว ดังรูปที่ 2-8 และอีกพฤติกรรมหนึ่งคือ กำลังรับแรงเฉือนของดินมีการลดลงอย่างสม่ำเสมอในสถานะที่ระดับความชื้นในมวลดินเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งดินอยู่ในสถานะอิ่มตัว ดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-8 พฤติกรรมการลดลงอย่างไม่สม่ำเสมอของกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ผุจากหินกลุ่มที่ 1 (หินแกรนิตยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน)

ที่มา: สุทธิศักดิ์และวรวัชร (2551)

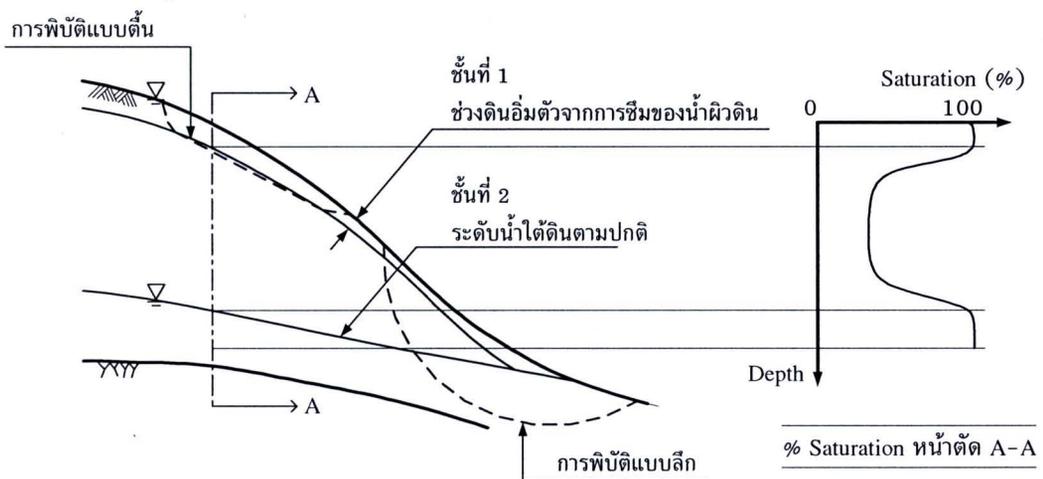


รูปที่ 2-9 พฤติกรรมการลดลงอย่างสม่ำเสมอของกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ผุจากหินกลุ่มที่ 4 (หินภูเขาไฟและหินอัคนีอื่นๆ)

ที่มา: สุทธิศักดิ์และวรวัชร (2551)

2.1.2 ทฤษฎีการไหลซึมของน้ำฝนลงสู่ดิน

ผลของน้ำใต้ดินจะมีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของลาดดินในธรรมชาติเป็นอย่างมาก เนื่องจากกำลังรับแรงเฉือนของดินจะลดลงเมื่อระดับความอิ่มตัวเพิ่มขึ้น โดยฝนที่ตกหนักในระยะเวลาสั้นๆ จะทำให้เกิดระดับน้ำใต้ดิน 2 ชั้น ชั้นล่างเป็นระดับน้ำใต้ดินปกติ ชั้นบนเป็นระดับน้ำใต้ดินเสมือนเกิดในระยะเวลาสั้น ส่วนกรณีฝนตกน้อยๆ ในระยะเวลานาน จะทำให้ระดับน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นปกติ (นงลักษณ์, 2546) ซึ่งผลเนื่องจากน้ำใต้ดินชั้นที่ 1 จะทำให้เกิดการพิบัติในแบบตื้นๆ แต่ในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินชั้นที่ 2 อยู่สูงหรือบริเวณที่น้ำใต้ดินทั้ง 2 ชั้น มาบรรจบกันจะมีโอกาสเกิดการพิบัติแบบลึกได้ ดังรูปที่ 2-10 นอกจากนั้นชนิดของดิน และลักษณะการใช้พื้นที่ที่แตกต่างกัน จะมีผลทำให้การซึมน้ำลงใต้ดินต่างกันด้วย



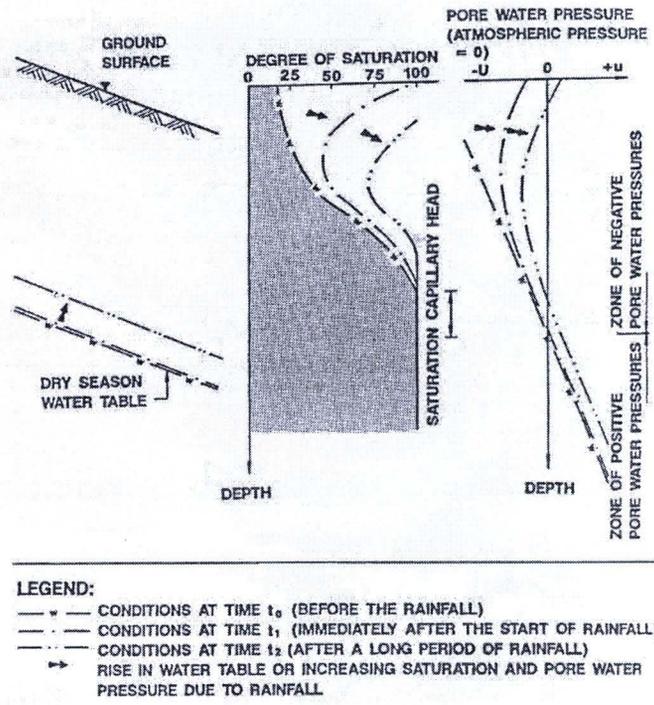
รูปที่ 2-10 ระดับน้ำใต้ดิน 2 ชั้น เนื่องจากฝนที่ตกหนักในระยะเวลาสั้นๆ

ที่มา: นงลักษณ์ (2546)

ปริมาณน้ำในดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดดินถล่ม ซึ่งมีลักษณะที่ไม่คงที่แปรผันไปตามปริมาณน้ำฝนที่ไหลซึมลงสู่ชั้นดิน โดยทั่วไปลาดเอียงในธรรมชาติมีลักษณะเป็นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil) ซึ่งอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินขึ้นไป การศึกษาของ Abramson et al. (1996) พบว่า ดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ คือ ดินที่ช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะประกอบด้วยน้ำและอากาศ แรงดันน้ำจะมีค่าต่ำกว่าความดันบรรยากาศ และมีค่าเป็นลบเรียกว่าแรงดึงน้ำในมวลดิน (Matric suction) ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่ห่างออกจากระดับน้ำใต้ดิน การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำในมวลดินจะทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะส่งผลต่อเสถียรภาพของลาดเอียง

เมื่อฝนตกลงสู่พื้นดิน ปริมาณน้ำฝนส่วนหนึ่งจะไหลไปตามผิวดิน (Surface runoff) ด้วยแรงดึงดูดของโลก ลงสู่แหล่งน้ำ อีกส่วนหนึ่งจะไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดิน (Infiltration) น้ำฝนส่วนที่ซึมลงไปชั้นใต้ดินจะไหลไปยังชั้นน้ำใต้ดิน โดยผ่านชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวที่อยู่ด้านบน ซึ่งการที่จะผ่านชั้นนี้ลงไปได้ปริมาณน้ำต้องมีมากเพียงพอที่จะลดแรงดึงน้ำ (Capillary) ที่จะกักไม่ให้น้ำไหลผ่าน ซึ่งการไหลซึมผ่านนี้จะผลทำ

ให้ความชื้นในดินที่ไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น ทำให้แรงดึงน้ำในมวลดินลดลงมีผลทำให้หน่วยแรงประสิทธิผลลดลงและกำลังรับแรงเฉือนลดลง และระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เสถียรภาพของดินลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน ความอิ่มตัวด้วยน้ำในมวลดิน (S) และแรงดันน้ำ (μ) เนื่องจากฝนตก

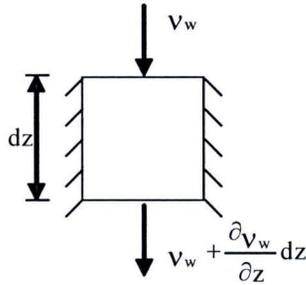
ที่มา: Geotechnical Control Office (1984)

การไหลของน้ำผ่านมวลดินเกิดขึ้นจากการไหลจากจุดที่มีความดันสูงไปสู่จุดที่มีความดันต่ำกว่าตามกฎของ Darcy (วรากร, 2546) โดยได้แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วในการไหลซึมของน้ำในดินกับความต่างศักย์ระหว่างเหนือน้ำและท้ายน้ำ ดังนี้

$$v = K \frac{\partial H}{\partial z} \tag{2-4}$$

- โดยที่
- K = ความสามารถในการซึมผ่านของดิน (Hydraulic conductivity)
 - H = แรงดันรวมของน้ำ
 - $\frac{\partial H}{\partial z}$ = ความชันทางชลศาสตร์ (Hydraulic gradient)

พฤติกรรมการไหลของน้ำผ่านมวลดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำมีลักษณะเป็นการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady flow) ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านมวลดินจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา และอัตราการไหลจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง (Kumar, 2002) ดังแสดงในรูปที่ 2-12 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังแสดงในสมการที่ 5



รูปที่ 2-12 จำลองรูปแบบการไหลของน้ำแบบไม่คงที่ผ่านมวลดิน

$$\frac{\partial V_w}{\partial t} = \left(v_w + \frac{\partial v_w}{\partial z} dz \right) dx dy - v_w dx dy \quad (2-5)$$

- โดยที่
- $\frac{\partial V_w}{\partial t}$ = อัตราการไหลของน้ำผ่านมวลดินในช่วงเวลาหนึ่ง
 - V_w = ความเร็วในการไหล
 - $\frac{\partial v_w}{\partial z}$ = การเปลี่ยนแปลงความเร็วในการไหลตามระยะทาง
 - dz = ระยะทางการไหล
 - $dx dy$ = พื้นที่หน้าตัดที่น้ำไหลผ่าน

สมการที่ 2 สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{\partial V_w}{\partial t} = \left(\frac{\partial v_w}{\partial z} dz \right) dx dy \quad (2-6)$$

ค่า $dz dx dy$ เป็นปริมาตรของมวลดินที่น้ำไหลผ่าน เท่ากับ V_0 ดังนั้น

$$\frac{\partial V_w}{\partial t} = \frac{\partial v_w}{\partial z} V_0 \quad (2-7)$$

และ

$$\frac{\partial V_w / V_0}{\partial t} = \frac{\partial v_w}{\partial z} \quad (2-8)$$

โดยที่ $v_w/V_0 = \Theta$ = ปริมาณความชื้นในมวลดินโดยปริมาตร

ดังนั้น

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial v_w}{\partial z} \quad (2-9)$$

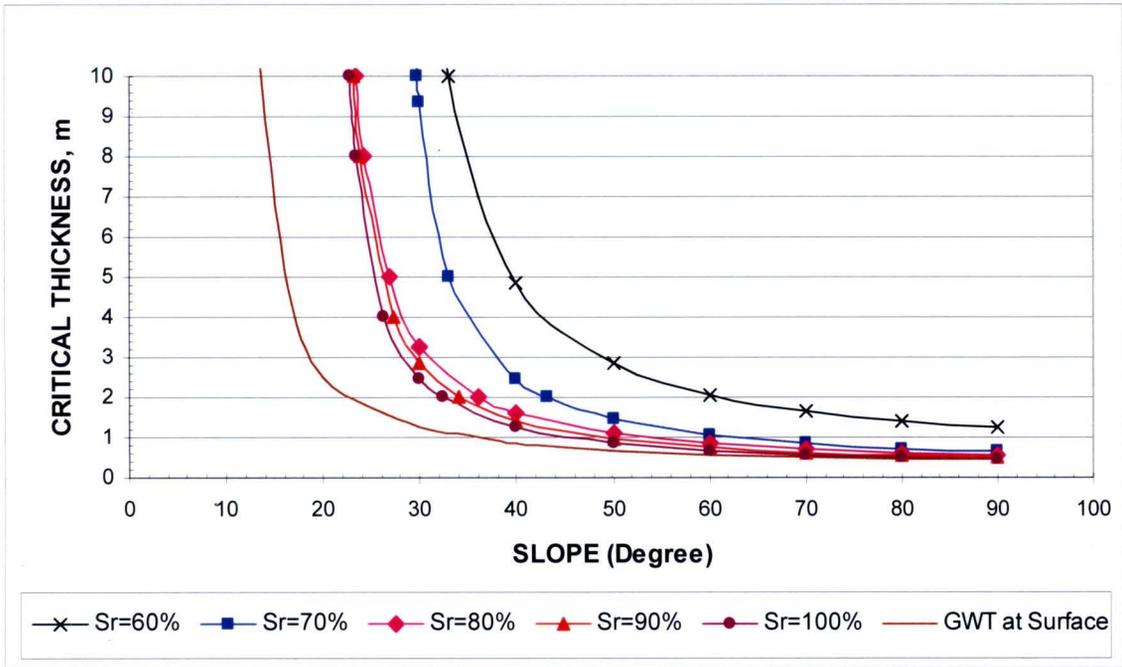
จากกฎของ Darcy ในสมการที่ 1 จะได้สมการแสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน เนื่องจากการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady flow)

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} K \frac{\partial H}{\partial z} \quad (2-10)$$

2.1.3 ทฤษฎีทางกลศาสตร์ของเสถียรภาพลาดดิน

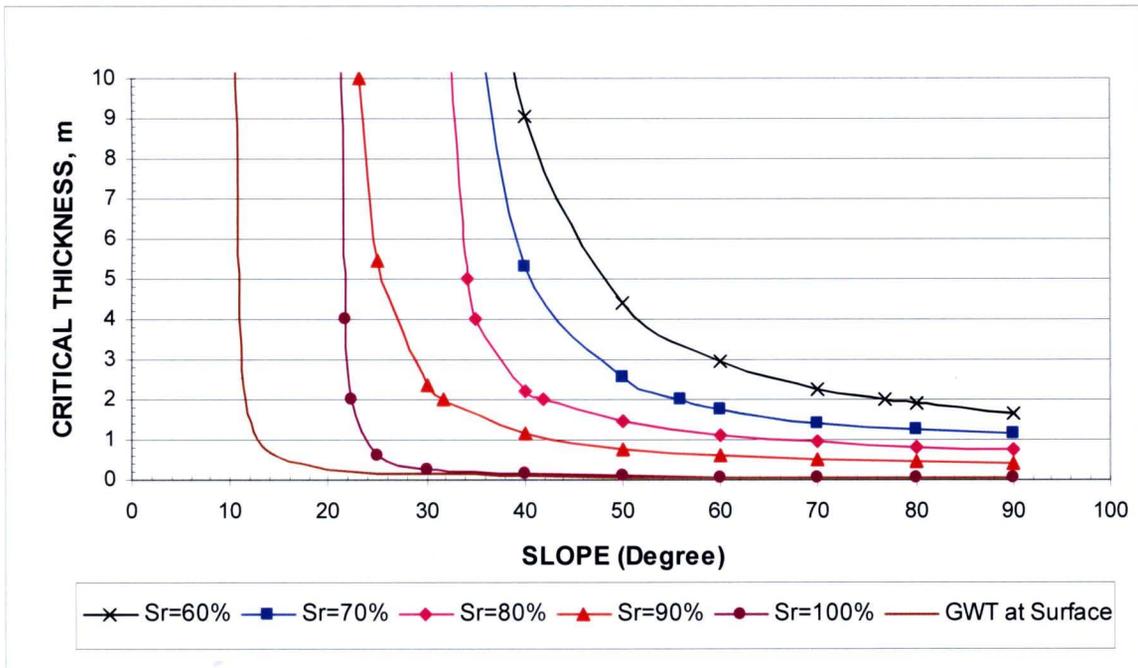
การเกิดดินถล่มสามารถอธิบายโดยทฤษฎีทางปฐพีกลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลซึมของน้ำฝนจากผิวดิน (Infiltration) การไหลซึมของน้ำในมวลดิน (Seepage) และการสูญเสียกำลังรับแรงเฉือนของดินเมื่อความอิ่มตัวเพิ่มขึ้นเป็นต้น ทฤษฎีดังกล่าวมีอยู่แล้วในทฤษฎีการออกแบบเพื่อการก่อสร้างในงานทางวิศวกรรมโยธาและได้นำมาปรับใช้ในการวิเคราะห์เพื่อการป้องกันภัยและลดผลกระทบจากดินถล่ม โดยนักวิจัยหลายท่านทั้งจากต่างประเทศและในประเทศไทย (Fredlund, D.G. and H. Rahardjo (1993), Blong, R.J. (1973-1974), Brand, E.W., Y. Premchitt and H.B. Phillipson. (1984), Coussot, P. and Meunier, M. (1996), Hansen, A. (1984), H.X. Lana. (2004), Iverson, R.M. and Denlinger, R.P. (1987), Iverson, R.M., (1997), Jahns, R.H. (1978), Soralump, S. and B. Kunsuwan. (2006), วรากร(2549), วรากรและคณะ (2549), บรรพต (2548), นงลักษณ์ (2546), อภินิติและสุทธิศักดิ์ (2551), อภินิติและวิชญพงษ์ (2551), อภินิติและอัคคพัฒน์ (2551), วรวัชร (2552), วรวัชรและสุทธิศักดิ์ (2552), สุทธิศักดิ์และคณะ (2549), สุทธิศักดิ์และคณะ (2550), อภินิติและสุทธิศักดิ์ (2551), สุทธิศักดิ์และวรวัชร (2552))

จากการศึกษาของสุทธิศักดิ์และคณะ(2551) ได้ทำการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินแบบลาดอนันต์ (Infinite Slope) โดยการวิเคราะห์ไม่ได้กำหนดหรือตั้งสมมุติฐานถึงความหนาของชั้นดินที่เกิดการพิบัติ แต่ศึกษาเพื่อหาความหนาวิกฤติที่เป็นไปได้ในธรรมชาติ โดยเสนอผลการวิเคราะห์ในลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างความหนาวิกฤติของชั้นดิน (Critical Thickness) ตามองศาความลาดชันภายใต้ระดับความอิ่มตัวของดินต่างๆ พบว่าความหนาวิกฤติมีพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของโค้งความสัมพันธ์ 2 ลักษณะ คือ การเปลี่ยนแปลงความหนาวิกฤติอย่างทันทีเมื่อความลาดชันมีค่าความชันค่าหนึ่งดังรูปที่ 2-13 และการเปลี่ยนแปลงแบบค่อยๆ เปลี่ยนไป ดังรูปที่ 2-14 สิ่งสัมพันธ์ตามข้อมูลการทดสอบ KU-MDS ดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว นอกจากนั้นยังพบอีกว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงกราฟตามความชันนั้นมีสองรูปแบบเช่นเดียวกับรูปแบบของกำลังรับแรงเฉือนที่เปลี่ยนไปตามความชันคือแสดงพฤติกรรมการยุบตัวหรือเปลี่ยนแปลงความหนอย่างกะทันหันและการเปลี่ยนแปลงแบบค่อยๆ เปลี่ยนไปอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 2-13 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงโค้งความสัมพันธ์ความหนาวิกฤติอย่างทันที
กรณีดินที่ผุจากหินกลุ่มที่ 1 (หินแกรนิตยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน)

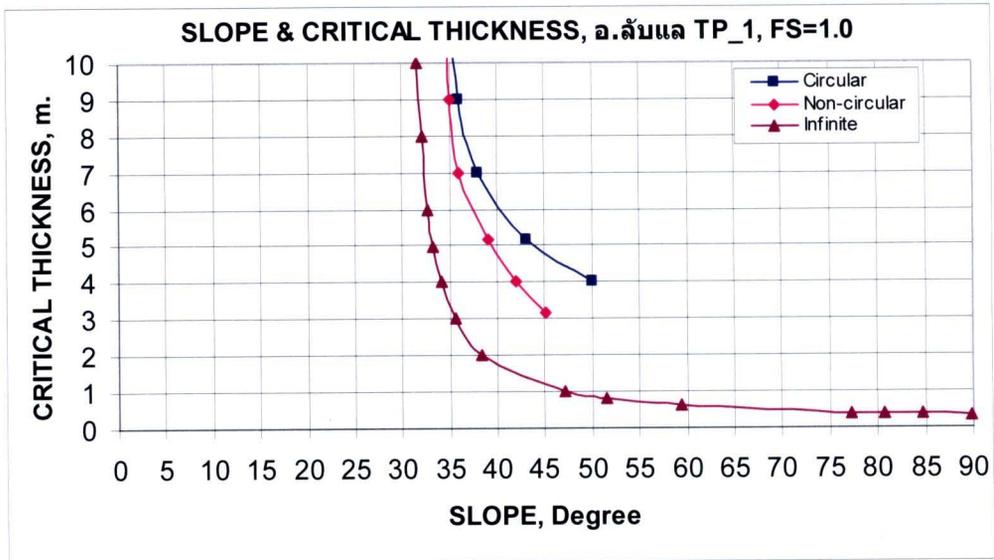
ที่มา: สุทธิศักดิ์และวรวัชร (2551)



รูปที่ 2-14 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงโค้งความสัมพันธ์แบบค่อยๆ เปลี่ยนไป
กรณีดินที่ผุจากหินกลุ่มที่ 4 (หินภูเขาไฟและหินอัคนีอื่นๆ)

ที่มา: สุทธิศักดิ์และวรวัชร (2551)

สุทธิศักดิ์และคณะ(2551) ได้ศึกษาเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินใน 3 ระนาบการพิบัติ คือ การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินแบบผิวโค้ง (Circular failure), การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินแบบลาดอนันต์ (Infinite slope) และการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินแบบไม่เป็นส่วนโค้งของวงกลม (Non-circular failure) ในพื้นที่ศึกษา (ต.แม่พูล อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์) พบว่าวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินแบบลาดอนันต์จะให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุด เหมาะสมกับการนำมาวิเคราะห์ความปลอดภัยของลาดชันธรรมชาติ ดังรูปที่ 2-15



รูปที่ 2-15 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินทั้ง 3 วิธี

ที่มา: สุทธิศักดิ์และวรวัชร (2551)

2.1.4 ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อเสถียรภาพของพื้นที่ลาดเอียง

2.1.4.1 น้ำหนักกระทำภายนอก (External Load) คือ แรงกระทำที่เกิดจากเครื่องจักรในการก่อสร้าง การจราจร หรือสิ่งปลูกสร้าง เป็นต้น โดยกำหนดให้น้ำหนักจากเครื่องจักรหรือการจราจรขณะขุดดินหรือถมดินมีค่าไม่น้อยกว่า 20 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (2,000 กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร) และน้ำหนักกระทำภายนอกขณะใช้งานไม่น้อยกว่า 10 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร (1,000 กิโลกรัมแรงต่อตารางเมตร)

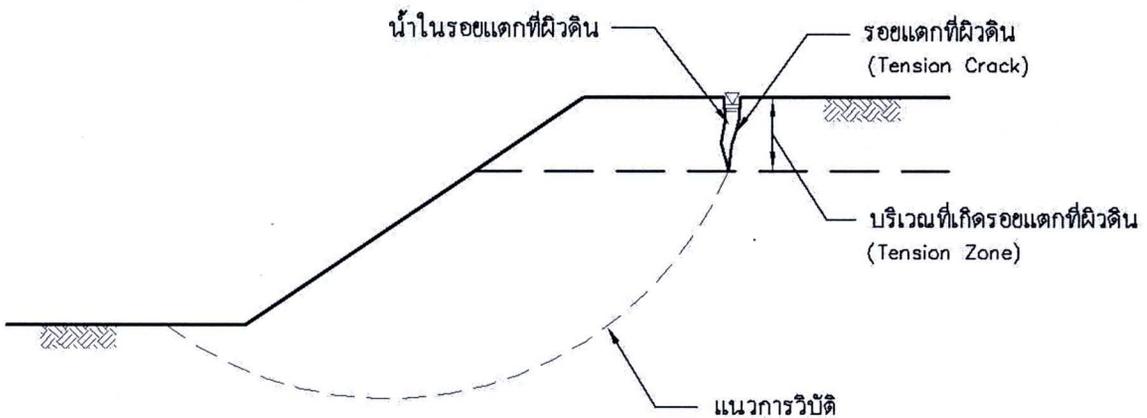
2.1.4.2 แรงจากแผ่นดินไหว (Seismic Load) สามารถประยุกต์ใช้หลักการเสมือนสถิตย์ (Pseudo Static) โดยการใช้สัมประสิทธิ์ความสั่นสะเทือนคูณกับน้ำหนักของมวลดิน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย

2.1.4.3 ระดับน้ำใต้ดิน (Ground Water Level) ได้จากการสำรวจจริงในสนาม หรือกำหนดที่ระดับผิวดิน

2.1.4.4 ระดับน้ำผิวดิน (Surface Water Level) คือ ระดับน้ำอิสระที่อยู่ด้านข้างพื้นที่ลาดเอียง เช่น แม่น้ำ หรืออ่างเก็บน้ำ เป็นต้น

2.1.4.5 วัสดุเสริมแรง (Reinforcement) คือ วัสดุที่ใส่เข้าไปในดินเพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพ เช่น เสาเข็ม เสาเข็มดินซีเมนต์ (Cement Column) แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) ตาข่ายสังเคราะห์ (Geogrid) หรือสลักยึดดิน (Soil Nail) เป็นต้น

2.1.4.6 รอยแตกที่ผิวดิน (Tension Crack) คือ รอยแตกที่เกิดขึ้นบนผิวดินเนื่องจากการแห้งตัว (Desiccation Crack) หรือการเคลื่อนตัวเล็กน้อยทำให้เกิดแรงดึงบริเวณผิวบนของขอบบ่อหรือเนินดิน ดินบริเวณที่เกิดรอยแตกจะไม่มีสัมผัสกันจึงไม่สามารถมีแรงต้านทานการวิบัติได้ ผิวเคลื่อนจึงมักเริ่มต้นเกิดที่ปลายของรอยแตก และหากมีแรงดันน้ำเสริมในรอยแตกดังกล่าว จะทำให้เกิดการวิบัติง่ายขึ้นอีกด้วย ดังรูปที่ 2-16



รูปที่ 2-16 การเกิดรอยแตกที่ผิวดินและแรงดันน้ำในรอยแตก

ที่มา: กรมโยธาธิการและผังเมือง (2552)

2.2 ทฤษฎีสำหรับการเตือนภัยโดยอาศัยข้อมูลสถิติน้ำฝน

2.2.1 ทฤษฎีการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับความชื้นสะสมในมวลดิน

พงษ์ศักดิ์และวารินทร์ (2549) กล่าวว่าอุทกภัยและดินถล่ม เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันมาตั้งแต่อดีตกาล โดยมีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากฝนที่ตกหนัก และ/หรือ ฝนที่ตกนาน ในปัจจุบันอุทกภัยและดินถล่มเกิดขึ้นบ่อยครั้ง และนับวันจะทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากกิจกรรมของมนุษย์ นั่นคือ การตัดไม้ทำลายป่า เพื่อเป็นการบรรเทาความเสียหายของชีวิตและทรัพย์สิน มนุษย์พยายามศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน กับน้ำท่าหรือน้ำไหลในลำธาร โดยมี

การศึกษาครั้งแรกเมื่อประมาณ 325 ปีที่ผ่านมา ที่แม่น้ำ Seine ใกล้กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส การศึกษาในครั้งนั้นพบว่าปริมาณน้ำท่ารายปี (Qa) กับปริมาณน้ำฝนรายปี (Pa) มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$Qa = Pa/6 \quad (2-11)$$

การศึกษาในครั้งนั้น ถือได้ว่าเป็นการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองน้ำท่าเป็นครั้งแรก ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ภายใต้แบบจำลองมาตรฐานที่ใช้เป็นหลัก โดยมีรูปลักษณะดังต่อไปนี้

$$Q = P - E \quad (2-12)$$

เมื่อ Q เป็นปริมาณน้ำท่ารายปี P เป็นปริมาณน้ำฝนรายปี และ E เป็นปริมาณน้ำรายปีที่สูญเสียออกจากกลุ่มน้ำโดยกระบวนการคายระเหยน้ำ และเล็ดลอดผ่านชั้นหินที่อยู่ใต้ชั้นดินออกนอกกลุ่มน้ำไป (Mishra and Singh, 2003)

สมการที่ 2-12 นี้ มีชื่อเรียกว่าสมการสมดุลน้ำ หรือ water budget equation ซึ่งกำหนดให้ใช้กับข้อมูลระยะยาว คือ ข้อมูลรายปี สำหรับข้อมูลระยะสั้น เช่น การเกิดน้ำท่ารายเดือน และ/หรือ น้ำท่าที่เกิดขึ้นจากการตกของฝนแต่ละครั้ง สำหรับปัจจัยที่ก่อให้เกิดอุทกภัยและดินถล่มนั้น จะมีปัจจัยของปริมาณน้ำที่คงอยู่ก่อนในดิน หรือ ปริมาณน้ำในดิน หรือ ปริมาณความชื้นในดิน (S) เข้ามาร่วมในการประเมินค่าอีกปัจจัยหนึ่ง ทำให้สมการที่ 12 เปลี่ยนแปลงรูปแบบไปเป็นดังสมการที่ 13 (Lee, 1980)

$$Q = P - E - S \quad (2-13)$$

Viessman et al. (1989) อธิบายว่า ปริมาณความชื้นในดินจะมีความผันแปรไปในแต่ละจุดของพื้นที่ลุ่มน้ำ จึงไม่นิยมเก็บวัดจากพื้นที่จริง แต่มักจะใช้ค่าดัชนีที่เรียกว่า Antecedent Precipitation Index หรือค่า API เป็นตัวแทน ค่า API นี้จะมีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่าง ๆ อาทิ ปริมาณน้ำฝน การระเหยน้ำ และปริมาณน้ำใต้ดิน เป็นต้น

เนื่องจากปริมาณน้ำฝนเป็นข้อมูลที่เก็บวัดได้ง่าย และมีบทบาทโดยตรงต่อปริมาณความชื้นในดิน จึงนิยมใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเป็นตัวหาค่าดัชนีความชื้นที่มีอยู่ก่อนในดิน โดยมีรูปแบบของสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้หาดังต่อไปนี้ คือ

$$Pa = a.P0 + b.P1 + c.P2 \quad (12-4)$$

เมื่อ	Pa	เป็นค่า API มีหน่วยเป็น มม.
	P0, P1 และ P2	เป็นค่าปริมาณน้ำฝนรายปีที่ตกในปีนี้ ตกในปีที่แล้ว และตกเมื่อสองปีก่อนหน้า
	a, b และ c	เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่รวมกันแล้วมีค่าเท่ากับ 1

ต่อมาได้มีการพัฒนาสมการที่ (2-14) มาใช้กับฝนที่ตกในแต่ละครั้ง โดยมีรูปแบบดังนี้ คือ

$$P_a = b_1.P_1 + b_2.P_2 \cdots + \cdots b_t.P_t \quad (2-15)$$

เมื่อ P_t เป็นปริมาณน้ำฝนที่ตกก่อนหน้า t วัน ส่วนค่า b เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นฟังก์ชันกับค่า t

จากการศึกษาของ Linsley et al.(1982) พบว่าปริมาณความชื้นในดิน ที่เกิดขึ้นจากการสะสมของฝนที่ตกลงมาในแต่ละครั้ง โดยปกติจะมีค่าลดลงตามช่วงระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นหลังจากฝนหยุดตก ทั้งนี้ลักษณะของการลดลงจะเป็นไปในรูปของ logarithm ซึ่งสามารถอธิบายออกมาเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ดังต่อไปนี้ คือ

$$API_{(t)} = API_{(0)} \cdot k_t \quad (2-16)$$

เมื่อ $API_{(0)}$ เป็นค่าเริ่มต้นของ API

$API_{(t)}$ เป็นค่าของ $API_{(0)}$ ที่ลดลงตามเวลา t

k_t เป็นค่าคูณลดคงที่ ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.85 ถึง 0.98

จากสมการที่ (16) เมื่อจะคิดหาค่า API ในลักษณะวันต่อวันแล้ว รูปแบบของสมการจะเปลี่ยนแปลงไปเป็น

$$API_{(t)} = API_{(t-1)} \cdot k_{(t-1)} \quad (2-17)$$

นั่นคือค่าดัชนีความชื้นที่มีอยู่ก่อนในดินของวันใด ๆ ($API_{(t)}$) จะมีค่าเท่ากับดัชนีความชื้นในดินของวันก่อนหน้า ($API_{(t-1)}$) คูณด้วยค่า k ของวันก่อนหน้า หรือค่า $k_{(t-1)}$ โดยที่ค่า k จะเป็นฟังก์ชันกับปริมาณการคายระเหยน้ำ (evapotranspiration) ในกรณีที่วันดังกล่าวมีฝนตกลงมา ค่าดัชนีความชื้นที่มีอยู่ก่อนในดิน จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาด้วย ทำให้รูปแบบของสมการที่ (2-17) เปลี่ยนแปลงไปเป็นสมการที่ 2-18

$$API_{(t)} = (API_{(t-1)} \cdot K_{(t-1)}) + P_{(t)} \quad (2-18)$$

เมื่อ $API_{(t)}$ เป็นค่า API ของวันที่ t (มม.)

$API_{(t-1)}$ เป็นค่า API ของวันก่อนหน้า หรือ $t-1$ (มม.)

$P_{(t)}$ เป็นปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในวันนั้น (มม.)

$K_{(t-1)}$ เป็นค่า recession constant ของวันก่อนหน้า ที่หาได้จาก

$$K_{(t-1)} = \text{EXP} - (E_{(t-1)} / W_{m(t-1)}) \quad (2-19)$$

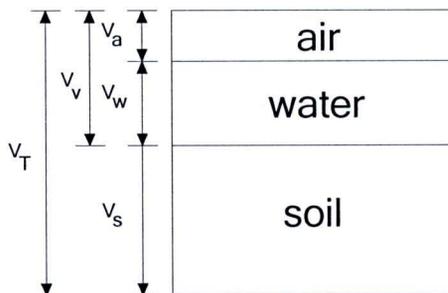
เมื่อ	$E_{t(t-1)}$	เป็นค่าการคายระเหยน้ำสูงสุดของวันที่ t-1 (มม.)
	$W_{m(t-1)}$	เป็นค่าสูงสุดของปริมาณน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการคายระเหยน้ำ หรือ maximum soil water available ของวันที่ t-1 (มม.) (Bothale et al., 2005) = $(WHC/100) \times B.D. \times 100$
	WHC	Water Holding Capacity (%)
	B.D	Bulk Density (g/cm^3)

การหาค่า Water Holding Capacity (WHC) จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยการทดสอบกับตัวอย่างดินที่เก็บแบบคงสภาพ 2 ตัวอย่าง เพื่อหาปริมาณน้ำในมวลดินสองสภาวะคือปริมาณน้ำในมวลดินสภาวะดินอิ่มตัว (Saturation) และปริมาณน้ำในมวลดินสภาวะที่ปล่อยให้ดินแห้ง ณ อุณหภูมิห้องเรียกว่า Field Capacity (FC) โดยปริมาณน้ำทั้งสองสภาวะนำไปคำนวณหาค่า Water Holding Capacity (WHC) จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 20

$$WHC = Saturation - FC \quad (2-20)$$

จากความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝน ค่าคงที่คูณลดและค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินก่อนหน้า ในสมการที่ 14 ใช้สำหรับประเมินค่า API_t

สุทธิศักดิ์และคณะ (2551) และวรวัชร (2551) ได้เสนอการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำหรือค่า API จากความสัมพันธ์ของระดับความอิ่มตัว ปริมาณน้ำที่ได้จะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณช่องว่างในมวลดินหรือความพรุนของดิน และความหนาของชั้นดิน รูปที่ 2-17 แสดงส่วนประกอบของมวลดิน ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน อันได้แก่ ส่วนที่มีสถานะเป็นของแข็ง คือ เนื้อดิน ส่วนที่มีสถานะเป็นของเหลว คือ น้ำในมวลดิน และส่วนที่มีสถานะเป็นก๊าซ คือ อากาศจากความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างๆ ของมวลดินนั้นสามารถหาค่าปริมาณน้ำหรือค่า API ได้ดังแสดงความสัมพันธ์จากสมการที่ 2-21 ถึงสมการที่ 2-28



รูปที่ 2-17 ผังแสดงส่วนประกอบของดิน

ที่มา: Fredlund and Morganstern (1977)

1. ความพรุน (Porosity) ;
$$n = \frac{V_v}{V_T} \quad (2-21)$$

2. Volumetric water content;
$$\theta = \frac{V_w}{V_T} \quad (2-22)$$

3. ระดับความอิ่มตัว (Degree of saturation)
$$Sr = \frac{V_w}{V_v} \quad (2-23)$$

จากสมการที่ 2-21 จัดรูปใหม่จะได้
$$V_v = nV_T \quad (2-24)$$

จากสมการที่ 2-23 จัดรูปใหม่จะได้
$$V_w = \theta V_T \quad (2-25)$$

ดังนั้นนำสมการที่ 2-24 และ 2-25 แทนค่าลงในสมการที่ 2-23 จะได้

$$Sr = \frac{\theta V_T}{n V_T} \quad (2-26)$$

จัดรูปสมการที่ 26 ใหม่จะได้ว่า
$$\theta = nSr \quad (2-27)$$

จากสมการที่ 27 สามารถนำไปหาค่า API ได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2-28

$$API_T = nSrT \quad (2-28)$$

- เมื่อ
- API_T = พิจารณาความหนาของชั้นดินเท่ากับ T
 - V_T = ปริมาตรของดินทั้งหมด
 - V_S = ปริมาตรของเม็ดดิน
 - V_v = ปริมาตรของช่องว่าง
 - V_w = ปริมาตรของน้ำ
 - V_a = ปริมาตรของอากาศ
 - T = ความหนาของชั้นดินถึงผิวการเคลื่อนพัง

2.2.2 ทฤษฎีการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนวิกฤติกับความชื้นสะสมในมวลดิน

ปริมาณน้ำฝนวิกฤติสำหรับการเตือนภัยดินถล่มจะขึ้นอยู่กับปริมาณฝนสะสมที่ผ่านมากับอัตราการตกของน้ำฝนในปัจจุบัน การหาขอบเขตวิกฤติดังกล่าวสามารถหาได้โดยวิธีดังต่อไปนี้

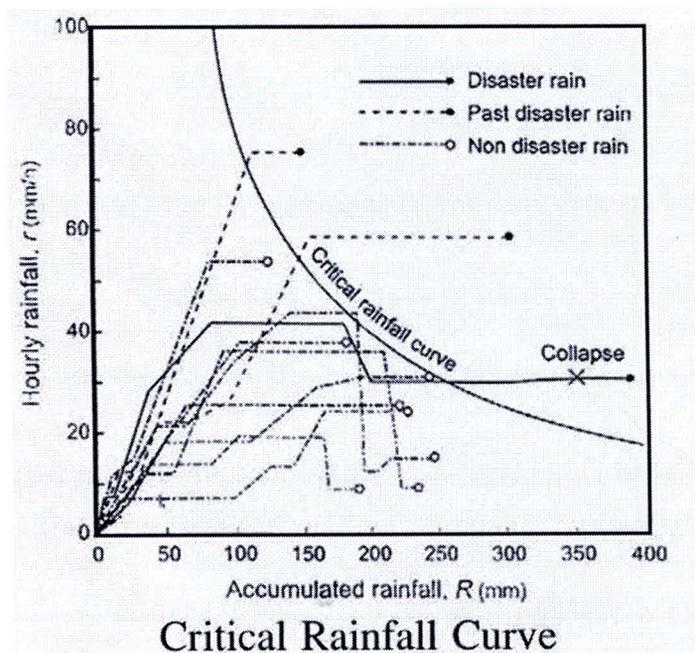
2.2.2.1 การใช้วิธีทางสถิติ

Okada et al.(1992) ได้นำความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและการพิบัติมาสร้างขอบเขตน้ฝนวิกฤติ (Critical rainfall) เพื่อใช้ในการเตือนภัยสำหรับดินตัดดินถม โดยใช้หลักทางสถิติจาก

ฐานข้อมูลการเกิดพิบัติ น้ำฝน รวมทั้งลักษณะของลาดดิน สมบัติดิน และความแข็งแรงของดิน สมการที่ได้ เป็นฟังก์ชันของตัวแปรต่างๆ ดังสมการที่ 29 โดยได้ผลดังรูปที่ 2-18

$$R^{0.3} r^{0.3} = f(H, S_E, N_C, k, S_B, \Theta_B, W_G, T_L, T_H, R_E) + \text{Principal Point} \quad (2-29)$$

เมื่อ	R	=	น้ำฝนสะสม (mm)
	r	=	ความเข้มน้ำฝนต่อชั่วโมง (mm/h)
	H	=	ความสูงของลาดดิน
	S_E	=	ชนิดของดิน เช่นดินเหนียว ดินทราย และกรวด
	N_C	=	ความแข็งแรงของดิน
	k	=	ค่าความชื้นน้ำ
	S_B	=	ดินฐานราก
	Θ_B	=	มุมเอียงของดินฐานราก
	W_G	=	ภูมิประเทศของกลุ่มน้ำ
	T_L	=	Longitudinal Section of Embankment
	T_H	=	Cross-Section of Embankment
	R_E	=	น้ำฝนสะสมตั้งแต่ก่อสร้าง

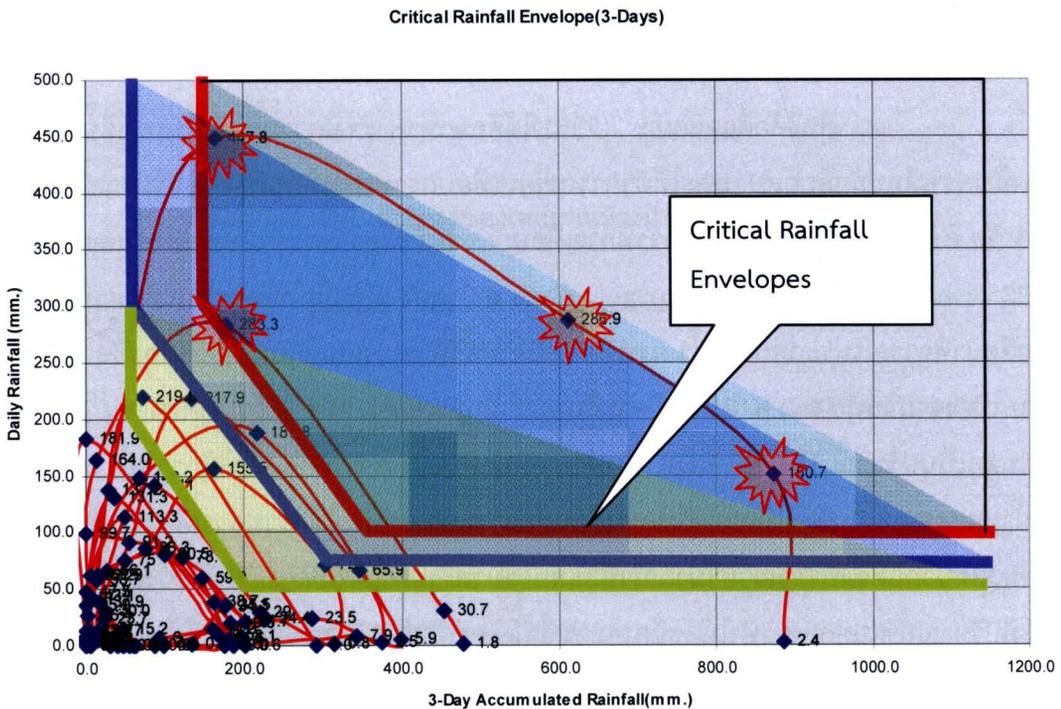


รูปที่ 2-18 ขอบเขตน้ำฝนวิกฤติ (Critical rainfall Curve)

ที่มา: Okada et al. (1992)

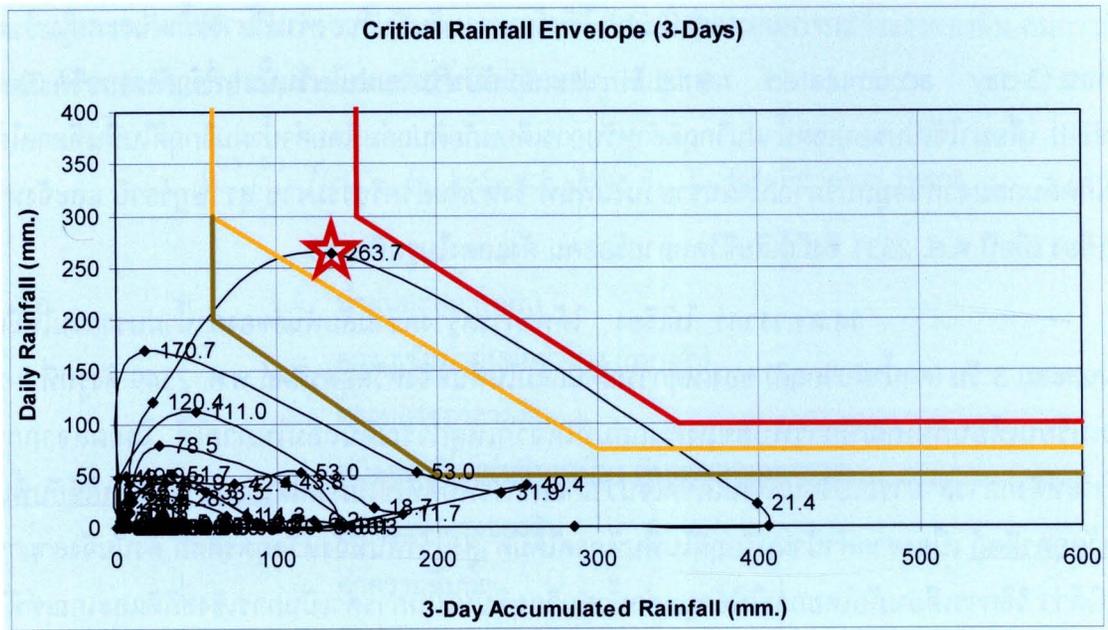
วรากรและคณะ (2549) ได้สร้างความสัมพันธ์ของค่าปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วง 3 วันก่อน (3-day accumulated rainfall) ประกอบกับปริมาณฝนในวันนั้นๆที่กำลังตรวจวัด (Daily rainfall) เพื่อมาใช้เป็นขอบเขตน้ำฝนวิกฤติสำหรับการเตือนภัยดินถล่ม โดยค่าน้ำฝนวิกฤติในพื้นที่ภาคใต้ที่เคยเกิดดินถล่มจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันในพื้นที่ จังหวัดนครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี และจังหวัด ช่างเคียง เมื่อปี พ.ศ. 2531 ซึ่งมีผู้เสียชีวิตหลายร้อยคน ดังแสดงในรูปที่ 2-19

รศ.ดร.วรากร ไม้เรียง ได้ทำการสร้างความสัมพันธ์ของค่าน้ำฝนรายวันให้มีค่าน้ำฝนสะสม 3 วัน (ค่าน้ำฝนวิกฤติ) ของเหตุการณ์ดินถล่มในพื้นที่จังหวัดอุดรดิตถ์ พ.ศ. 2549 ดังรูปที่ 2-20 เพื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การพิบัติของดินถล่มที่ได้จากเหตุการณ์ดินถล่มในภาคใต้ โดยผลจากการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถเปรียบเทียบได้ชัดเจนว่าเกณฑ์การพิบัติที่ใช้ในภาคใต้ไม่สามารถนำไปใช้กับพื้นที่จังหวัดอุดรดิตถ์ เนื่องจากค่าน้ำฝนวิกฤติในพื้นที่ภาคใต้มีค่าสูงกว่าพื้นที่จังหวัดอุดรดิตถ์ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า วิธีการเตือนภัยโดยการใช้ข้อมูลค่าน้ำฝนวิกฤตินั้นเป็นการดำเนินการเชิงสถิติและเกณฑ์ที่ได้จะต้องได้จากเหตุการณ์การพิบัติจริง ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นเพียงการวิเคราะห์เฉพาะพื้นที่นั้นๆ เท่านั้น จึงควรใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวอย่างระมัดระวัง



รูปที่ 2-19 ปริมาณน้ำฝนวิกฤติในกรณีดินถล่มจังหวัดภาคใต้ในปี พ.ศ. 2531

ที่มา: วรากร (2549)

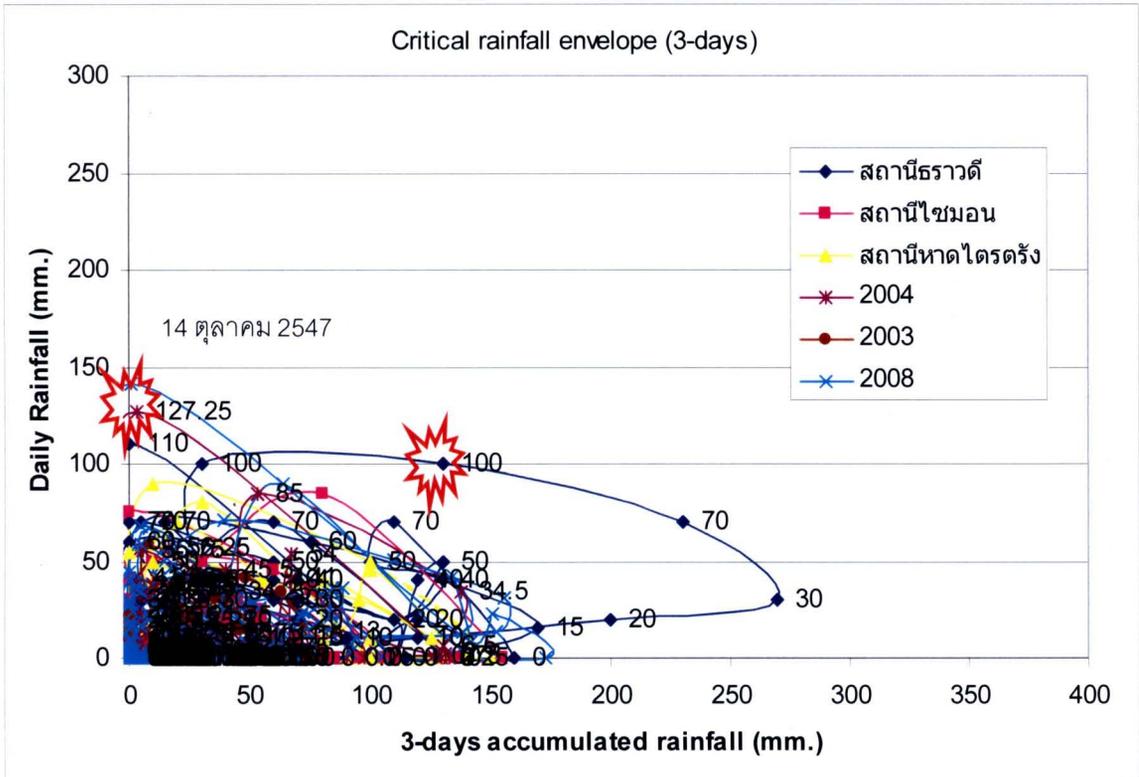


รูปที่ 2-20 ปริมาณน้ำฝนวิกฤติในเหตุการณ์ดินถล่มจังหวัดอุตรดิตถ์ในปี พ.ศ. 2549

★ : เหตุการณ์ดินถล่มจริงอาจมีปริมาณน้ำฝนมากกว่านี้

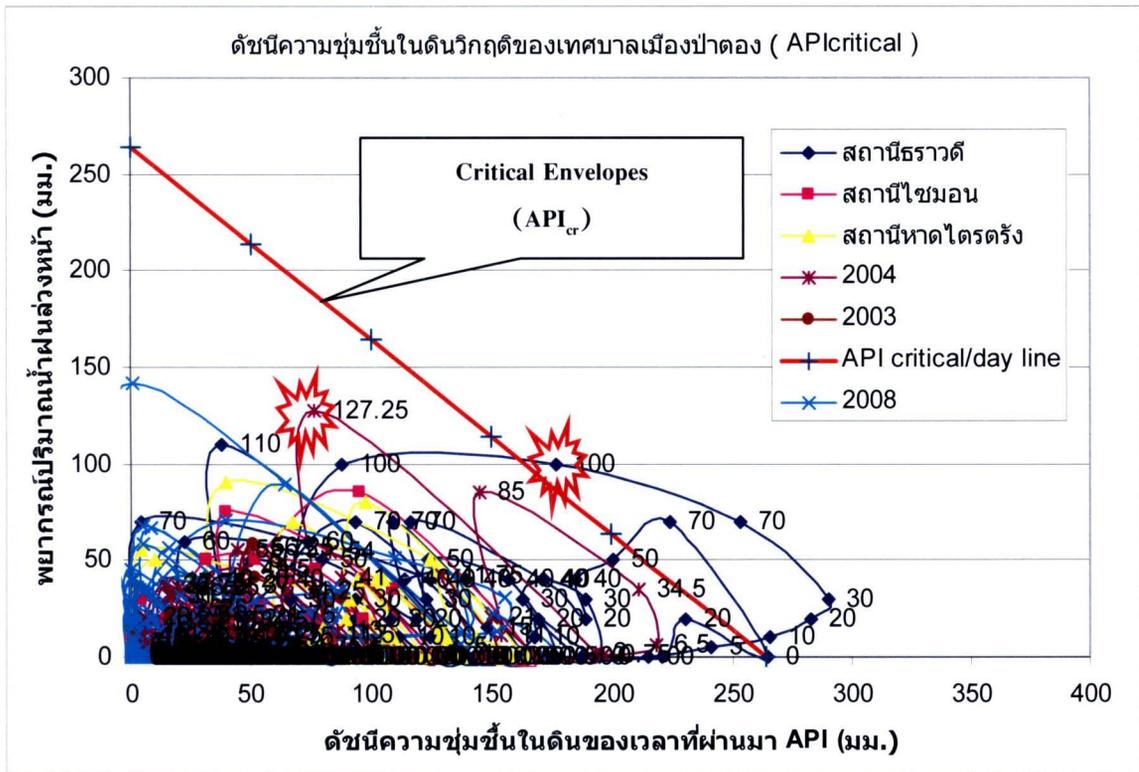
ที่มา: ดัดแปลงจาก วรากรและคณะ (2549)

สุทธิศักดิ์และคณะ (2551) ได้ศึกษาหาค่าดัชนีความชุ่มชื้นในมวลดินวิกฤติเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเตือนภัยดินถล่ม และได้ทำการเปรียบเทียบกราฟการเตือนภัยด้วยปริมาณน้ำฝนสะสมที่ผ่านมา 3 วัน ดังแสดงในรูปที่ 2-21 กับกราฟการเตือนภัยด้วยดัชนีความชุ่มชื้นในมวลดินวิกฤติ ดังแสดงในรูปที่ 2-22 จากการวัดปริมาณน้ำฝนโดยกระจายทั่วทั้ง ต.ป่าตอง และเมื่อใช้เหตุการณ์ที่เคยเกิดดินถล่มในพื้นที่ในอดีตมาพิจารณาประกอบ พบว่า การเตือนภัยด้วยปริมาณน้ำฝนสะสม 3 วันของปีค.ศ.2004 ไม่เหมาะสม เนื่องจากวันที่ 14 ต.ค. 2547 มีค่าปริมาณน้ำฝนสะสมล่วงหน้า 3 วันเป็นปริมาณ 3.55 มม. วันต่อมามีฝนตกเป็นปริมาณ 127.25 มม. เกิดดินถล่มน้ำท่วมใน ต.ป่าตอง การใช้กราฟการเตือนภัยด้วยปริมาณน้ำฝนสะสม 3 วันจึงไม่มีโอกาสในการเตือนภัยล่วงหน้า แต่หากใช้กราฟการเตือนภัยด้วยดัชนีความชุ่มชื้นในมวลดินวิกฤติซึ่งพิจารณาปริมาณน้ำที่สะสมในมวลดินตลอดทั้งปีจึงทำให้มีช่วงเวลาที่ใช้เตือนภัยก่อนที่จะมีปริมาณน้ำฝนตกลงมาทำให้ดัชนีความชุ่มชื้นในมวลดินถึงปริมาณวิกฤติ



รูปที่ 2-21 กราฟการเตือนภัยด้วยปริมาณน้ำฝนสะสม 3 วัน

ที่มา: สุทธิศักดิ์และคณะ (2551)



รูปที่ 2-22 ค่า API_{t-1} และ P_t จากข้อมูลน้ำฝนในอดีต

ที่มา: สุทธิศักดิ์และคณะ (2551)

2.2.2.1 การวิเคราะห์โดยวิธีทางวิศวกรรมปฐพี

วรวิษฐ์ (2552) ได้เสนอการคำนวณหาค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤติจากสมการที่ 2-30 ซึ่งมีตัวแปรสำคัญในการคำนวณอยู่ 3 ส่วน คือ ค่าความพรุนของดิน (porosity, n) ซึ่งได้จากการคำนวณตามความสัมพันธ์ของอัตราส่วนช่องว่าง (Void ratio, e) ของตัวอย่างที่เก็บในกระบอกเก็บตัวอย่าง (PVC Sample) ระดับความอิ่มตัวของดินวิกฤติ (Critical Degree of saturation, $S_{r,cr}$) และ ความหนาวิกฤติของชั้นดินถึงผิวการเคลื่อนพัง (Critical thickness, T_{cr})

$$API_{cr} = n \cdot S_{r,cr} \cdot T_{cr} \quad (2-30)$$

เมื่อ API_{cr} = ดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤติ
 n = ความพรุนของดิน (Porosity)
 $S_{r,cr}$ = ระดับความอิ่มตัวของดินวิกฤติ (Critical Degree of Saturation)
 T_{cr} = ความหนาของชั้นดินถึงผิวการเคลื่อนพัง (Critical Thickness)

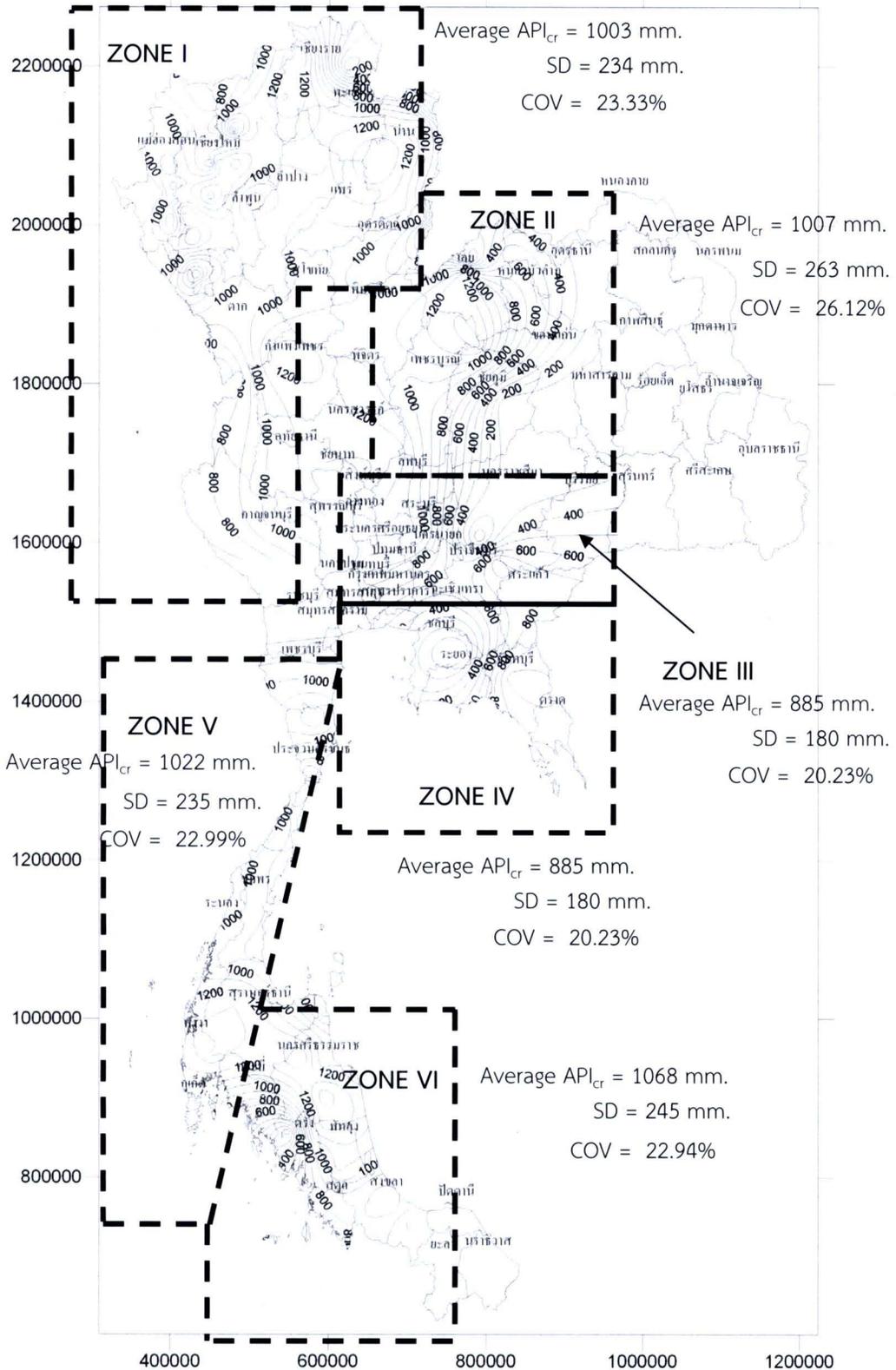
เนื่องจากพื้นที่เสี่ยงภัยของการเกิดธรณีพิบัติภัยนั้นมีความลาดชันที่หลากหลาย (Multi Slope) ทำให้ค่า API_{cr} มีหลายค่าตามความลาดชันในพื้นที่นั้นๆ การพิจารณาค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤติให้สอดคล้องกับพื้นที่ ดำเนินการโดยพิจารณาความถี่ของค่าความลาดชันในพื้นที่ศึกษา เพื่อนำมาใช้ในการถ่วงน้ำหนักค่า API_{cr} การคำนวณค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤติ โดยการถ่วงน้ำหนักพื้นที่ของความลาดชันคำนวณได้จากสมการที่ 2-31 ดังต่อไปนี้

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

$$API_{ave} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [API_{si} \times \%Area_{si}]_{Sr\%j}}{m} \quad (2-31)$$

เมื่อ API_{ave} = ดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤติเฉลี่ย
 API_{si} = ดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤติช่วงของความลาดชันใดๆ
 $\%Area_{si}$ = เปอร์เซ็นต์พื้นที่ช่วงของความลาดชันนั้นๆ
 $Sr\%j$ = ระดับความอิ่มตัวของดินใด ๆ
 n = จำนวนช่วงของความลาดชัน
 m = จำนวนระดับความอิ่มตัวของดิน

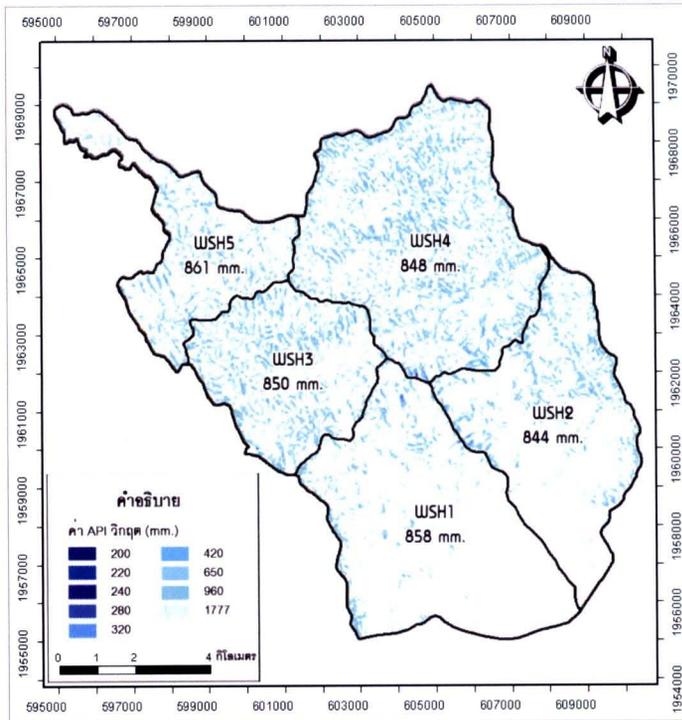
จากค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤติ (API_{cr}) สร้างเป็นข้อมูลเส้นชั้นความสูง (Contour) ของพื้นที่ในประเทศไทยสามารถแบ่งเป็นกลุ่มตามความอันตรายต่อการเกิดดินถล่มออกเป็น 6 พื้นที่ ตามข้อมูล API_{cr} พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 885-1068 mm. และมีค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient Of Variation, COV) อยู่ในช่วงร้อยละ 20.23-26.12 ดังแสดงในรูปที่ 2-23



รูปที่ 2-23 เส้นชั้นของดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤติและการแบ่งพื้นที่การเตือนภัย

ที่มา: วรวัชรและสุทธิศักดิ์ (2551)

สุทธิศักดิ์และคณะ (2551) ได้ศึกษาค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤติหรือ API วิกฤติสำหรับใช้กำหนดเกณฑ์การเตือนภัยดินถล่มในพื้นที่ศึกษา ต.แม่พูล อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์ ได้ใช้วิธีการคำนวณค่า API วิกฤติถ่วงน้ำหนักพื้นที่ความลาดชันตามลักษณะของพื้นที่รับน้ำ (Water shed) ออกเป็น 5 พื้นที่ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 844-861 mm แสดงในรูปที่ 2-24 โดยค่า API วิกฤติที่มีค่าน้อยแสดงถึงความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มสูงเมื่อเกิดฝนตกในพื้นที่



รูปที่ 2-24 แผนที่ค่า API วิกฤติเชิงพื้นที่ ต.แม่พูล อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์

ที่มา: สุทธิศักดิ์และคณะ (2551)

2.3 ทฤษฎีการประเมินพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่ม

การเลือกเทคนิคในการประเมินพื้นที่โอกาสดินถล่มนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ ความละเอียดของข้อมูลและความสามารถของผู้ประเมิน โดยทั่วไปวิธีการประเมินประกอบด้วยวิธีการเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ (Aleotti and Chowdhury, 1999) ซึ่งการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม เพื่อจัดจำแนกระดับความเสี่ยงภัยต่อการเกิดดินถล่มในแต่ละพื้นที่ นำไปสู่การวางแผนหรือเตรียมการลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นให้น้อยที่สุด นั้น สามารถสรุปผลการวิเคราะห์พื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มด้วยวิธีการต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.3.1 วิธีการเชิงคุณภาพ (Qualitative Method) ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ทำการประเมิน ซึ่งวิธีการนี้มี 2 วิธี คือ

2.3.1.1 วิธีการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ (Expert method)

เป็นการประเมินเชิงคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องกับดินถล่ม โดยพิจารณาจากปัจจัยพื้นฐาน อันได้แก่ คุณสมบัติทางธรณีสังฐาน ลักษณะภูมิประเทศ ร่องน้ำ และลาดเขา ร่วมกับเหตุการณ์เกิดดินถล่มในอดีต

ตัวอย่างการประเมินดังเช่นงานศึกษาของ วรุฒิ (2535) ซึ่งพบว่าการเกิดดินถล่มบริเวณลุ่มน้ำคลองกะทูน เมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531 มักเกิดตามทางน้ำเดิมหรือเกิดบนร่องเล็ก ๆ บนไหล่เขาที่น้ำไหลมารวมกัน ชนิดของดินถล่มเป็นแบบ Flow slides เป็นส่วนใหญ่ โดยปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดดินถล่มบริเวณลุ่มน้ำคลองกะทูนนั้น แบ่งออกได้ 4 ปัจจัย ดังนี้

ก) ลักษณะภูมิประเทศ พบว่าบริเวณที่เกิดดินถล่มของลุ่มน้ำคลองกะทูนอยู่ในช่วงความลาดชัน 30-45 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 200 เมตรขึ้นไป

ข) ลักษณะทางธรณีและปฐพีวิทยา พบว่าบริเวณที่เกิดดินถล่มของลุ่มน้ำคลองกะทูนส่วนใหญ่เกิดในบริเวณที่เป็นหินแกรนิตเท่านั้น และมีความลึกของดินเฉลี่ย 1.5 เมตร สภาพหินเป็นหินผุ และมีรอยแยกมากทำให้เกิดการพังทลายของภูเขาตามแนวรอยแยกได้ง่ายขึ้น

ค) ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าบริเวณที่เกิดดินถล่มของลุ่มน้ำคลองกะทูนส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ป่าไม้และสวนยางพารา ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนอกจากต้นไม้จะช่วยเพิ่มค่าแรงต้านแรงเฉือนของดินแล้ว น้ำหนักของต้นไม้ยังทำให้แรงเฉือนของดินเพิ่มมากขึ้นด้วย ประกอบกับพื้นที่ป่าไม้และสวนยางพารามักอยู่ในตำแหน่งที่มีความลาดชันค่อนข้างสูงจึงทำให้เกิดดินถล่มถี่และมีพื้นที่ที่เกิดมากกว่าการใช้ประโยชน์แบบอื่น

ง) ลักษณะภูมิอากาศ โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ในการทำให้เกิดดินถล่ม พบว่าบริเวณที่เกิดดินถล่มของลุ่มน้ำคลองกะทูน เป็นช่วงที่มีลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทยและอ่าวไทย และห่อมความกดอากาศต่ำกำลังแรง ปกคลุมทะเลอันดามันและภาคใต้ของไทย ลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดฝนตกติดต่อกันเป็นเวลานานหลายวัน โดยในวันที่ 21 พฤศจิกายน 2531 วัดปริมาณน้ำฝนที่สถานีนครศรีธรรมราชภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ได้เท่ากับ 447.8 มิลลิเมตร (เทียบได้กับช่วงระยะเวลาที่จะเกิดฝนตกประมาณ 150 ปี) จึงทำให้เกิดดินถล่มลงมาหลายจุดในพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีและจังหวัดนครศรีธรรมราช (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2535)

การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่ามีข้อจำกัดของการประเมิน คือ ไม่สามารถทำซ้ำหรือตรวจสอบได้โดยผู้ประเมินท่านอื่น และความน่าเชื่อถือขึ้นอยู่กับทักษะและประสบการณ์ของผู้ประเมิน การกำหนดระดับโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มจึงไม่มีเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัว อาจแตกต่างกันได้ในแต่ละพื้นที่ศึกษา

2.3.1.2 วิธีดัชนีปัจจัยร่วม (Weighted factor index method)

โดยการนำปัจจัยที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์กระทำมาจัดจำแนกลำดับความรุนแรงและให้น้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยแล้วคิดออกมาเป็นแต้มคะแนนรวมเพื่อจัดลำดับความรุนแรงในแต่ละพื้นที่ วิธีนี้ต้องปรับแก้ความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ให้เข้ากับเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้น

กรมพัฒนาที่ดิน (2544) ได้จัดทำแผนที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดดินถล่มโดยการศึกษาปัจจัยที่ใช้ในการประเมินและจัดทำพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดดินถล่มในภาคใต้ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และนำมาปรับปรุงโดยมีการประชุมร่วมกับผู้เชี่ยวชาญจากกรมทรัพยากรธรณี กรมอุตุนิยมวิทยา กรมป่าไม้ กรมชลประทาน และสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ โดยปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์การจัดทำแผนที่เสี่ยงภัยโดยเรียงลำดับตามความสำคัญจากมากไปน้อยได้แก่ ชนิดของหิน ความลาดชันของพื้นที่ สภาพการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมลักษณะและสมบัติบางประการของดิน และปริมาณฝน

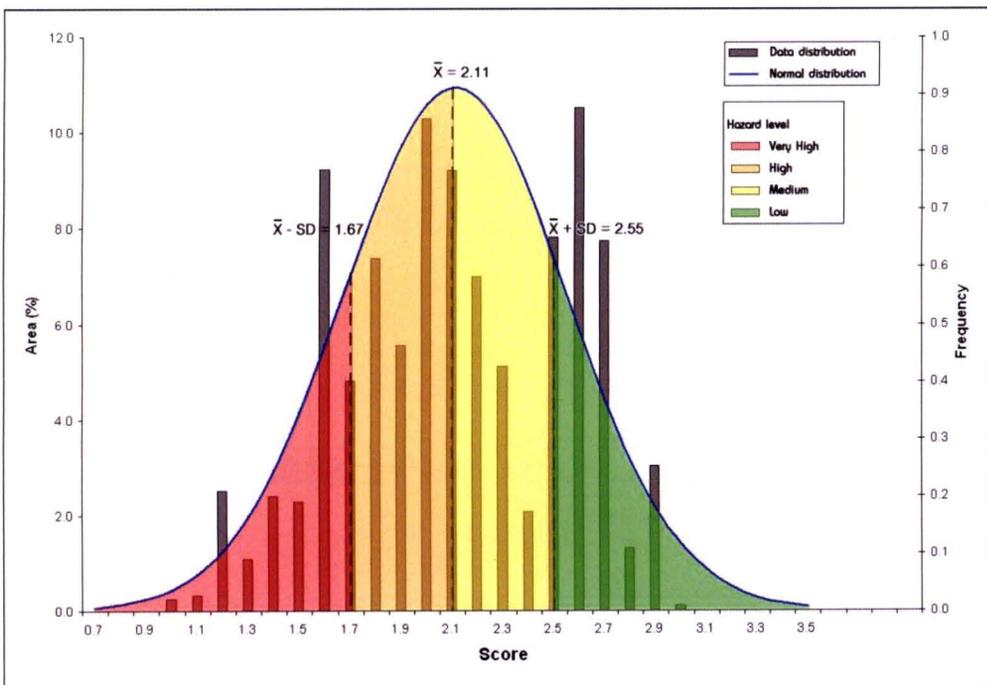
ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้พัฒนาการจัดทำแผนที่โอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่ 6 จังหวัดภาคใต้ ร่วมกับกรมทรัพยากรธรณี (2549) ในโครงการศึกษาหาแนวทางป้องกันและลดผลกระทบจากภัยดินถล่ม โดยใช้วิธีดัชนีปัจจัยร่วม โดยนำปัจจัยทางด้านคุณสมบัติของดินทางวิศวกรรม เข้ามาร่วมพิจารณาในการจัดทำแผนที่โอกาสเกิดดินถล่ม ซึ่งมีปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ปัจจัยหลักที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แผนที่โอกาสเกิดดินถล่มในโครงการนี้ ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยา (ชนิดหินและบริเวณกลุ่มรอยแตก), สภาพภูมิประเทศ (ความลาดชันและระดับความสูง), ระยะจากบริเวณน้ำผิวดิน, การใช้ประโยชน์ที่ดิน, ลักษณะของดิน, ปริมาณน้ำฝน และคุณสมบัติดินทางวิศวกรรม

นอกจากนั้นศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานรากได้วิเคราะห์และพัฒนาการจัดทำแผนที่โอกาสเกิดดินถล่ม เสนอต่อสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(2552) ในโครงการการศึกษาพฤติกรรมการณ์เกิดน้ำท่วม-ดินถล่ม ในพื้นที่ต้นแบบ เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับกำหนดเกณฑ์และวิธีการในการเตือนภัย โดยใช้วิธีดัชนีปัจจัยร่วมโดยพิจารณาปัจจัยค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชันประกอบการวิเคราะห์และประเมินโอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา นี้ได้ประมวลวิธีวิเคราะห์การเกิดดินถล่มในประเทศและต่างประเทศ มากำหนดค่าคะแนนของดัชนีปัจจัยต่างๆ โดยกำหนดระดับค่าคะแนนตามความสำคัญของปัจจัย โดยการรวบรวมปัจจัยที่ทำให้เกิดดินถล่มในอดีต มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านี้กับการเกิดดินถล่มด้วยวิธีการทางสถิติ และนำผลที่ได้มาจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ทำให้พื้นที่นั้นมีศักยภาพการเกิดดินถล่มจากน้อยไปหามาก โดยปัจจัยที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์แผนที่โอกาสเกิดดินถล่ม ได้แก่ ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชันแสดงโดยใช้อ้างอิงของความลาดชัน ระดับความสูง ปริมาณน้ำฝนสะสม ทิศด้านลาด การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

การให้ค่าคะแนนถ่วงน้ำหนักสามารถใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ AHP (Analysis Hierarchy Process) ที่ถูกสร้างขึ้นโดย Saaty (1980) ซึ่งทำการเปรียบเทียบ “ความสำคัญ”

ของเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเพื่อหา “น้ำหนัก” ของแต่ละเกณฑ์ก่อนหลัง โดยการเปรียบเทียบสิ่งที่ถูกเลือกทีละคู่ (Pairwise comparison) ให้ครบทุกคู่และทุกเกณฑ์ เมื่อทำการเปรียบเทียบครบจึงทำการจัดทำเมทริกซ์ของการเปรียบเทียบความสำคัญแต่ละปัจจัย โดยผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นค่าคะแนนถ่วงน้ำหนัก จากนั้นนำรายละเอียดของแต่ละปัจจัยมาจัดลำดับความสำคัญของปัจจัย ด้วยวิธี Ranking technique โดยการนำรายละเอียดของแต่ละปัจจัยและตำแหน่งการพิบัติจริงมาทำการเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์กันเพื่อคำนวณหาสถิติของตำแหน่งการพิบัติจริงต่อปัจจัยรายละเอียดย่อยในแต่ละปัจจัย

สำหรับการจัดทำแผนที่โอกาสเกิดดินถล่ม สามารถดำเนินการโดยการประมวลข้อมูลปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดดินถล่ม ทุกปัจจัยในรูปแบบข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ และทำการแบ่งพื้นที่วิเคราะห์ออกเป็น Grid สีเหลี่ยม โดยในแต่ละ Grid จะมีข้อมูลปัจจัย ปัจจัยที่พิจารณารวมถึงคะแนนที่แสดงศักยภาพการเกิดดินถล่ม สำหรับงานวิจัยของสุทธิศักดิ์และคณะ (2551) ได้พิจารณาปัจจัย 7 ปัจจัยภายใต้ Grid ขนาด 5x5 เมตรและสามารถสรุประดับโอกาสเกิดดินถล่มออกเป็น 4 ระดับ โดยการนำค่าคะแนนที่ได้ในแต่ละกริด มาสร้างกราฟในรูปแบบการแจกแจงแบบโค้งปกติ (Normal Distribution) ดังรูปที่ 2-25



รูปที่ 2-25 กราฟแสดงระดับโอกาสเกิดดินถล่ม คำนวณได้จาก Normal Distribution

ที่มา: สุทธิศักดิ์และคณะ (2551)

ทั้งนี้คะแนนที่ใช้ในการแบ่งระดับโอกาสเกิดดินถล่ม สามารถนำมาวิเคราะห์หาความน่าจะเป็น เพื่อให้ทราบว่าเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง มีโอกาสเกิดขึ้นมากหรือน้อยเพียงใด และทำการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลกับการตัดสินใจเชิงตัวเลขและช่วงของความรู้สึกต่อโอกาสความน่าจะเป็น 18 ช่วง (Reagan, et. al., 1989) ดังตารางที่ 2-1 พบว่าที่ระดับโอกาสเกิดสูงมาก มีระดับโอกาสเกิด

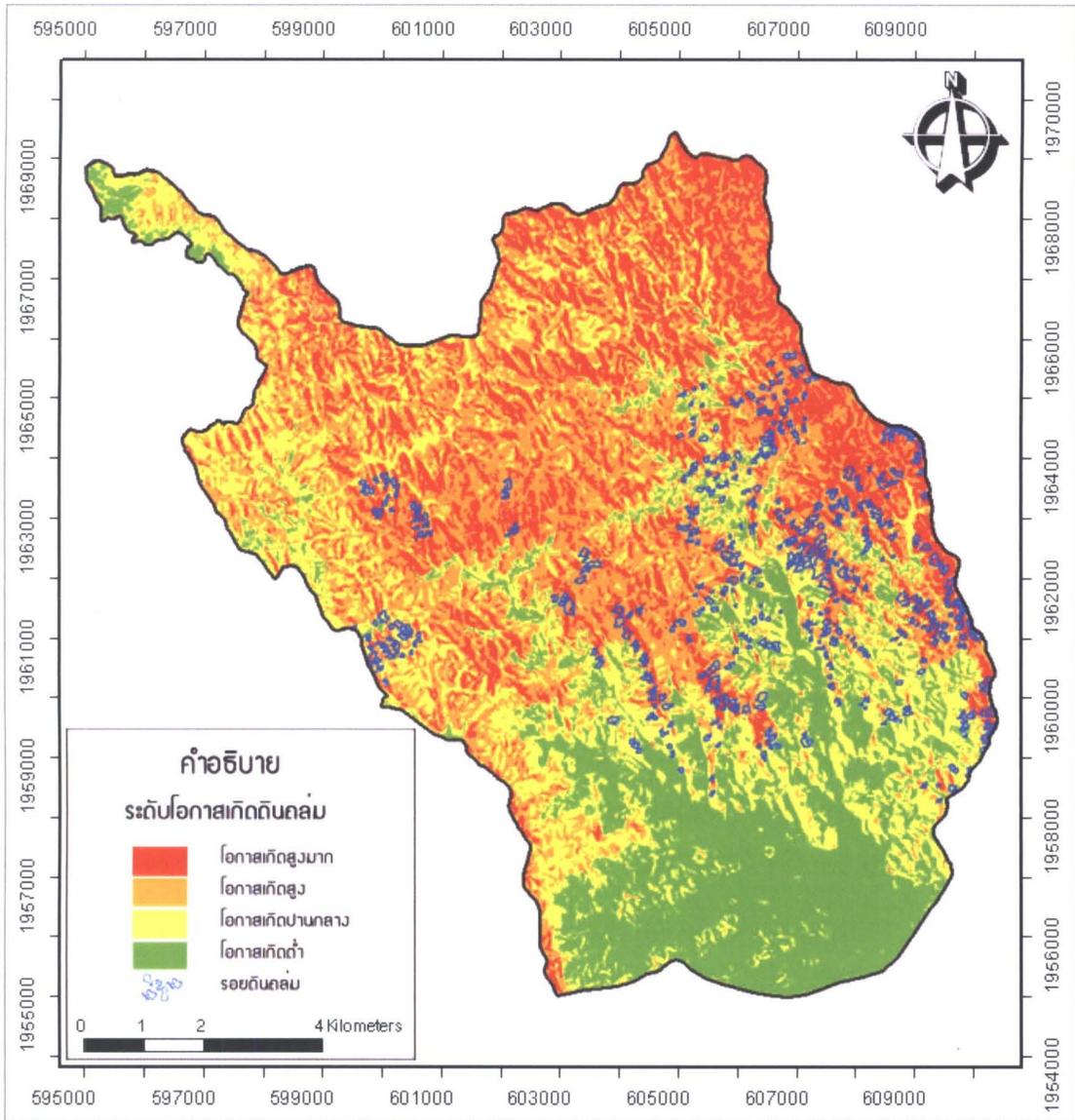
อยู่ที่ 84% ระดับโอกาสเกิดสูงมีระดับโอกาสเกิดอยู่ที่ 50% ระดับโอกาสเกิดปานกลางมีระดับโอกาสเกิดอยู่ที่ 16% และระดับโอกาสเกิดต่ำมีระดับโอกาสเกิดน้อยกว่า 16%

ตารางที่ 2-1 Numerical responses and ranges for 18 probability expressions

Expression	Single-number probability equivalent, % (median of responses)	Specified range, % (median upper and lower bounds)
Almost impossible	2	0 to 5
Very improbable	5	1 to 15
Very unlikely	10	2 to 15
Very low chance	10	5 to 15
Improbable	15	5 to 20
Unlikely	15	10 to 25
Low chance	20	10 to 20
Possible	40	40 to 70
Medium chance	50	40 to 60
Even chance	50	45 to 55
Probable	70	60 to 75
Likely	70	65 to 85
Very possible	80	70 to 87.5
Very probable	80	75 to 92
High chance	80	80 to 92
Very likely	85	75 to 90
Very high chance	90	85 to 99
Almost certain	90	90 to 99.5

ที่มา: Reagan, et. al. (1989)

ตัวอย่างผลของการวิเคราะห์ที่ได้ถูกตรวจสอบโดยการนำข้อมูลที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่มขึ้นจริงในพื้นที่ ต.แม่พูล อ.ลับแล จ.อุตรดิตถ์ เมื่อวันที่ 22-23 พฤษภาคม 2549 มาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยใช้วิธีดัชนีปัจจัยร่วม พบว่าประมาณร้อยละ 75 ของพื้นที่เกิดดินถล่มจริงอยู่ในพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มระดับสูงดังแสดงในรูปที่ 2-26



รูปที่ 2-26 ตำแหน่งรอยการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ เปรียบเทียบกับโอกาสเกิดดินถล่ม

ที่มา: สุทธิศักดิ์และคณะ (2551)

2.3.2 วิธีการเชิงปริมาณ (Quantitative) เป็นพื้นฐานของการแสดงตัวเลขของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยควบคุมและปัจจัยการเกิด landslide ซึ่งวิธีการนี้มี 2 วิธี คือ

2.3.2.1 วิธีทางธรณีเทคนิค (Geotechnical engineering method)

ใช้หลักการทางวิศวกรรมศาสตร์ ของความไม่มั่นคงของความลาดชันที่แน่นนอนใน ส่วนที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย โดยการสำรวจและทดสอบคุณสมบัติทางธรณีวิทยาและวิศวกรรมปฐพี ของชั้นดินและหิน ร่วมกับอิทธิพลของความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป แล้ววิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินและหินจาก

รูปแบบทางกลศาสตร์เพื่อหาระดับความมั่นคง ซึ่งวิธีนี้จะได้ ข้อมูลที่แน่นอน มีความละเอียดถี่ถ้วนของลักษณะความลาดชัน ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการทำแผนที่เพียงพื้นที่เล็ก ๆ

นงลักษณ์ (2546) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการพิบัติของลาดดิน ที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำฝน เพื่อนำไปใช้ในการประเมินเสถียรภาพของลาดดินภูเขาในบริเวณลุ่มน้ำน้ำก้อ ต.น้ำก้อ อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์ โดยทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินที่ลดลงเมื่อมีปริมาณน้ำในดินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกรณีฝนตกหนัก (Rainfall induced landslide) ซึ่งมักจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดลาดดินถล่มได้ จากการศึกษาพบว่าเมื่อระดับความชื้นในดินมีค่ามากขึ้น กำลังรับแรงเฉือนจะมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำในดินที่เพิ่มมากขึ้นได้ไปทำลายแรงตึงผิวของอากาศในดิน และปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นยังลดแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดิน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความชื้นและระดับน้ำใต้ดินของลาดดินจึงขึ้นอยู่กับรูปแบบของฝนซึ่งทำให้ส่งผลโดยตรงต่อเสถียรภาพของลาดดิน

ศุภชัยและพัฒนานิศจรรยาพรภูมิและฐานราก (2548) ภายใต้โครงการบรรเทาอุทกภัย จังหวัดจันทบุรี ของกรมชลประทาน ได้ทำการศึกษาพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดดินถล่มบริเวณน้ำตกกระทิง บริเวณคลองทุ่งเพล คลองตะเคียน เขตอุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรีใน ศึกษาถึงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงกำลังของดินที่มีผลต่อของความมั่นคงความลาดชันของพื้นที่กับปริมาณความชื้นในมวลดินทำให้สามารถสร้างแผนที่โอกาสเกิดดินถล่มในช่วงเวลาต่างๆ ได้ตามลักษณะของความเข้มของฝนหรือความชื้นในดินที่เปลี่ยนแปลงไป

กรมทรัพยากรธรณี (2550) โดยศุภชัยและพัฒนานิศจรรยาพรภูมิและฐานราก ได้พัฒนาการประเมินพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่ม โดยการศึกษาความเสถียรภาพของลาดชันในพื้นที่โครงการพัฒนาออยตุง และได้นำข้อมูลความลาดชันในพื้นที่ศึกษามาประกอบกับข้อมูลตัวแปรด้านกำลังรับน้ำหนักของดินทำให้สามารถวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันธรรมชาติได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถแบ่งช่วงความลาดชันตามระดับโอกาสเกิดดินถล่ม โดยพิจารณาช่วงของความลาดชันที่ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่มากกว่า 1.2 ถือว่ามีโอกาสเกิดต่ำ หากเท่ากับ 1.2 ถือว่าปานกลาง และหากต่ำกว่า 1.2 ถือว่ามีโอกาสเกิดดินถล่มสูง

วิธีทางธรณีเทคนิค พบว่ามีข้อจำกัดของการประเมิน คือ ผลวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวกับสมบัติของดิน ทั้งกำลังรับแรงเฉือนและการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมซึ่งมีผลต่อกำลังของมวลดิน ซึ่งความคลาดเคลื่อนสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดทุกขั้นตอนการดำเนินงาน

2.3.2.2 วิธีการประเมินโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Approach)

โดยการรวบรวมปัจจัยที่ทำให้เกิดดินถล่มในอดีต มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านี้กับการเกิดดินถล่มโดยวิธีการทางสถิติ และผลที่ได้จะนำมาใช้ในการพยากรณ์โอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่ซึ่งมีสภาพพื้นที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งรูปแบบของสถิติที่นิยมใช้คือ Logistic Regression เพราะเป็นเทคนิคที่ใช้ในการคาดคะเนหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรที่สนใจศึกษา โดยอาศัยความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ

ที่เกี่ยวข้อง โดยตัวแปรตาม (Y) ที่ต้องการศึกษาจะเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ ในลักษณะของโอกาสในการเกิด ความเสี่ยงต่างๆ ส่วนตัวแปรอิสระ (X) เป็นได้ทั้งตัวแปรเชิงปริมาณและ ตัวแปรเชิงคุณภาพ

เลิศ (2538) ได้ใช้ข้อมูลระยะไกลเพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดดินถล่ม บริเวณอำเภอพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยการกำหนดความชัน (Slope), ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use), ลักษณะทางธรณีสัณฐาน (Landform), ลักษณะทางธรณีวิทยา (Geology), ลักษณะทาง ปฐพีวิทยา (Soil), และปริมาณน้ำฝน (Rainfall) เป็นตัวแปรอิสระ และเปอร์เซ็นต์การเกิดดินถล่มซึ่ง วิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียมเป็นตัวแปรตาม ดังแสดงในสมการที่ 2-32 และสร้างสมการถดถอยพหุคูณ โดยวิธี stepwise ในการทำนายพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Log Y} = & 1.3285 - 0.0101 (\text{Slope}) + 0.1021 (\text{Landform}) + \\ & 0.9178 (\text{Land use}) + 0.5189 (\text{Geology}) - 0.8939 (\text{Soil}) + 0.3213 \\ & (\text{Rainfall}) \end{aligned} \quad (2-32)$$

กรมทรัพยากรธรณี (2547) ได้ทำการศึกษาพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดดินถล่มใน ประเทศไทย โดยใช้วิธีดัชนีปัจจัยร่วม (Weighted factor index) โดยการศึกษาหาความเป็นไปได้ของพื้นที่ ที่มีความเสี่ยงภัยต่อดินถล่ม (Landslide probability) ระดับต่างๆ ของประเทศ ในมาตราส่วน 1:250,000 ทั้งนี้โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Landslide predictive model) ที่นำเสนอโดย Pantanahiran (1994) ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณ ได้แก่ ระดับความสูง (Elevation), หารับน้ำฝน (Adjusted aspect), ความลาดชัน (Slope), ทิศทางการไหลของน้ำ (Flow direction), การไหลรวมของน้ำ (Flow accumulation), พืชพรรณ (TM4), คุณลักษณะของดิน (Brightness) และความชื้นของพื้นที่ (Wetness) ดังแสดงในสมการที่ 2-33

$$\begin{aligned} Y = & 1.8914 - 0.00281 (\text{Elevation}) + 1.4215 (\text{Adjusted aspect}) + \\ & 0.00698 (\text{Slope}) + 0.00073 (\text{Flow accumulation}) - 0.00165 \\ & (\text{Flow direction}) - 0.00505 (\text{TM4}) - 0.0042 (\text{Brightness}) - \\ & 0.00504 (\text{Wetness}) \end{aligned} \quad (2-33)$$

$$\text{และ } P = 1 / (1 + \exp(-Y))$$

เมื่อ P หมายถึง ค่าคาดคะเนความเสี่ยงของแต่ละหน่วยพื้นที่

การแสดงผลระดับพิบัติภัย (Hazard Class) ในแผนที่ ได้จัดแบ่งเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับสูงมาก (Very high) เมื่อค่าความเสี่ยงมากกว่า 60 %, ระดับสูง (High) เมื่อค่าความเสี่ยงอยู่ระหว่าง 41 - 60%, ระดับปานกลาง (Medium) เมื่อค่าความเสี่ยงอยู่ระหว่าง 21 - 40 % และระดับต่ำ (Low) เมื่อ ค่าความเสี่ยงน้อยกว่า 21%

วิธีการประเมินโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีข้อจำกัดของการประเมิน คือ ต้องคำนึงถึงปริมาณงานที่ต้องการในการวิเคราะห์ข้อมูลที่หลากหลาย นอกจากนี้การวิเคราะห์ยังต้องการรายละเอียดของแผนที่ร่องรอยการเกิดดินถล่ม (Landslide inventory) ที่มีเหตุการณ์เกิดดินถล่มเป็นจำนวนมากเพื่อสร้างความสัมพันธ์ที่ถูกต้องได้ และไม่ได้นำประสบการณ์และการตัดสินใจของผู้ดำเนินการเข้ามามีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ด้วย

การเลือกใช้วิธีการประเมินพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มที่เหมาะสมทั้ง วิธีการเชิงคุณภาพ (qualitative method) และเชิงปริมาณ (quantitative method) นั้น เป็นการสร้างและพัฒนาองค์ความรู้ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญสำหรับทางภาครัฐในการวางแผนบรรเทาหรือป้องกันภัยที่จะเกิดขึ้นจากเหตุการณ์ดินถล่มได้ ซึ่งได้ทำการสรุปผลการศึกษาศึกษาการประเมินพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มด้วยวิธีต่างๆ ได้ดังตารางที่ 2-2

นอกจากนี้มีวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้ทำการศึกษาประเมินพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มด้วยวิธีที่แตกต่างกันมาทำการประเมินในพื้นที่เดียวกัน และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน สามารถสรุปได้ดังนี้

ธนิตย์ (2550) ได้สรุปผลการศึกษาของอายาลิว, ยามากิชิ, มารูอิ และคันโนะ (Ayalew, Yamagishi, Marui & Kanno, 2005) ที่นำการวิเคราะห์แบบ Analytical Hierarchy Process (AHP) และการวิเคราะห์การถดถอยแบบโลจิสติก มาใช้ในการศึกษาถึงโอกาสในการเกิดดินถล่มบริเวณเขาโคซาดะ (Kosada Mountain) ตั้งอยู่ที่เกาะซาโดะ (Sado Island) ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีลักษณะพื้นที่ขรุขระ มีชั้นหินที่มีความอ่อนไหว และลักษณะภูมิอากาศที่เอื้อต่อการเกิดดินถล่ม นอกจากนี้ยังได้รับผลกระทบจากน้ำฝนที่ตกลงมา และการละลายของหิมะ โดยปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของหิน ความลาดชัน ทิศทางความลาดชัน ความสูง และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้น ลักษณะธรณีวิทยาเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุดถ้าศึกษาโดยใช้วิธี AHP แต่ในการศึกษาโดยใช้วิธีการถดถอยแบบโลจิสติก ความลาดชันเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุด โดยหลังจากนำผลลัพธ์ทั้งสองมาทำการเปรียบเทียบความถูกต้องพบว่า วิธี AHP มีศักยภาพในการศึกษามากกว่าเล็กน้อย โดยมีระดับความถูกต้องร้อยละ 70 ในขณะที่วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโลจิสติกนั้น มีระดับความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 63

ตารางที่ 2-2 สรุปผลการศึกษาการประเมินพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มด้วยวิธีต่างๆ

วิธี	ข้อดี	ข้อด้อย
วิธีประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ (expert method)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประเมินเชิงคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ 2. พิจารณาจากปัจจัยพื้นฐาน เหตุการณ์เกิดดินถล่มในอดีต 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่สามารถทำซ้ำหรือตรวจสอบโดยผู้ประเมินท่านอื่น 2. ความน่าเชื่อถือขึ้นอยู่กับทักษะและประสบการณ์ 3. ส่วนใหญ่เป็นการประเมินภายหลังจากการเกิดดินถล่ม
วิธีดัชนีปัจจัยรวม (weighted factor index method)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประเมินจากปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดดินถล่ม 2. ให้ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting) ในแต่ละปัจจัยตาม ความสำคัญ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ต้องใช้ความรู้และประสบการณ์เฉพาะในพื้นที่เป็นอย่างมาก
วิธีทางธรณีเทคนิค (geotechnical engineering method)	<ol style="list-style-type: none"> 1. เป็นการวิเคราะห์หาอัตราส่วนปลอดภัย (Safety factor) ของลาดดิน 	<ol style="list-style-type: none"> 1. เหมาะสำหรับลาดดินที่ยาวและดินมีความลึกไม่มาก และมีคุณสมบัติเหมือนกันตลอดความยาวของลาดดิน 2. ผลวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของดิน ซึ่งความคลาดเคลื่อนสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดทุกขั้นตอนการดำเนินงาน 3. อาจมีการตัดปัจจัยบางประการออก เนื่องจากข้อจำกัดในการสำรวจ และทดสอบ
วิธีการประเมินโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ (statistical approach)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประเมินจากการรวบรวมปัจจัยที่ทำให้เกิดดินถล่มในอดีต 2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยกับการเกิดดินถล่มโดยวิธีการทางสถิติ 3. พยากรณ์ในพื้นที่ซึ่งมีสภาพพื้นที่ใกล้เคียงกันได้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. การวิเคราะห์ข้อมูลที่หลากหลาย ปริมาณงานมาก 2. ต้องการรายละเอียดของร่องรอยการเกิดดินถล่ม (Landslide inventory) ที่มีเหตุการณ์เกิดแผ่นดินถล่มเป็นจำนวนมาก

Lee & Evangelista (2005) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดดินถล่ม ในจังหวัดบาเกียว ประเทศฟิลิปปินส์ เพื่อทำการพยากรณ์โอกาสในการเกิดดินถล่ม โดยนำความน่าจะเป็นใช้วิธีอัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio) ซึ่งเป็นการหาอัตราส่วนระหว่าง ความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุการณ์และความน่าจะเป็นที่ไม่เกิดเหตุการณ์ ถ้ามีค่ามากกว่า 1 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับปัจจัยที่เจาะจงนั้น มีความสัมพันธ์กัน แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการเกิดดินถล่มกับปัจจัยนั้น มีความสัมพันธ์กันน้อย และวิธีทางสถิติที่ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก ซึ่งเป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่ม ใช้ในการทำนายค่าเหตุการณ์เกิดหรือไม่เกิดของเหตุการณ์ ปัจจัยที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความลาดชัน ทิศด้านลาด ความโค้งนูนของพื้นที่ ระยะห่างจากทางน้ำ ลักษณะทางกายภาพของหิน ระยะห่างจากโครงสร้างหลัก ลักษณะพื้นที่ ปัจจัยทางด้านดิน และปัจจัยทางด้านสิ่งปกคลุมดิน จากนั้นทำการตรวจสอบผลที่ได้จากวิธีการทั้งสองแล้วนำผลมาเปรียบเทียบกัน พบว่าการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกให้ผลลัพธ์ที่มีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 80 ในขณะที่ผลลัพธ์จากวิธีอัตราส่วนความถี่ มีค่าความถูกต้องที่ร้อยละ 78

E. Yesilnacara & T. Topal (2005) ได้ทำการประเมินผลของการใช้การถดถอยโลจิสติก (logistic regression) และโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (neural networks) ในการวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม บริเวณเมือง Hendek (ตุรกี) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากดินถล่มมาเป็นเวลาหลายปี โดยปัจจัยที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ทิศด้านลาด ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากโครงสร้างหลัก ระยะห่างจากยอดเขา ความหนาแน่นของการระบายน้ำ ความสูง ความหนาแน่นของโครงสร้างหลัก ธรณีวิทยา สิ่งปกคลุมดิน ความโค้งของพื้นที่ ความนูนของพื้นที่ ความหนาแน่นของถนน ความลาดชัน ความยาวของลาดชัน stream power อัตราส่วนของพื้นที่ ดัชนีความชื้นของพื้นที่ และพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย จากการศึกษาพบว่าวิธีโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ มีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องในการคาดการณ์สูงกว่าการใช้การถดถอยโลจิสติก โดยเฉพาะในโซนที่มีโอกาสเกิดดินถล่มสูงและสูงมาก และมีความถูกต้องมากกว่าเมื่อเทียบกับเหตุการณ์จริง

Gregory & John (2003) ได้ใช้การถดถอยโลจิสติก (logistic regression) และเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการทำนายพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่ม ในบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของ Kansas (สหรัฐอเมริกา) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับความเสียหายจากเหตุการณ์ดินถล่มครั้งล่าสุด คิดเป็นมูลค่าหลายล้านดอลลาร์ โดยปัจจัยที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความลาดชัน ทิศด้านลาด ธรณีวิทยา และชนิดของดิน จากการศึกษาพบว่าความลาดชัน และ ธรณีวิทยา เป็นตัวแปรที่ดีที่สุดที่ใช้ในการทำนายความน่าจะเป็นของโอกาสเกิดดินถล่ม นอกจากนั้นชนิดของดิน และธรณีวิทยาเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กัน ทำให้สามารถใช้ชนิดของดิน แทนธรณีวิทยาได้ในกรณีที่แผนที่ธรณีวิทยาไม่มีความละเอียดมากพอ ในขณะที่ทิศด้านลาดไม่มีนัยสำคัญสำหรับทำนายโอกาสเกิดดินถล่มของพื้นที่ศึกษานี้ ถึงแม้จะมีความสำคัญในพื้นที่อื่น และเมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับแผนที่เหตุการณ์ดินถล่มจริง พบว่า บริเวณพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มสูงและตำแหน่งดินถล่มจริงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเชิงปริมาณ เนื่องจากมีร่องรอยของเหตุการณ์ดินถล่มในอดีต หรือปัจจุบัน ทำให้สามารถทำนายบริเวณที่มีโอกาสเกิดดินถล่มในอนาคตได้ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากปัจจัยต่างๆ ทางกายภาพที่อยู่ในบริเวณพื้นที่นั้นๆ ในรูปแบบการวิเคราะห์การถดถอยแบบโลจิสติก มาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่เกิดดินถล่ม และปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดดินถล่ม เพื่อทำนายโอกาสในการเกิดดินถล่มต่อไป

