

## บทที่ 4

### ภาพรวมการเกิดดินถล่มในพื้นที่เป้าหมายและ แนวทางการพยากรณ์และการเตือนภัย

#### 4.1 โอกาสเกิดดินถล่ม

##### 4.1.1 ลักษณะของดินในพื้นที่ศึกษา

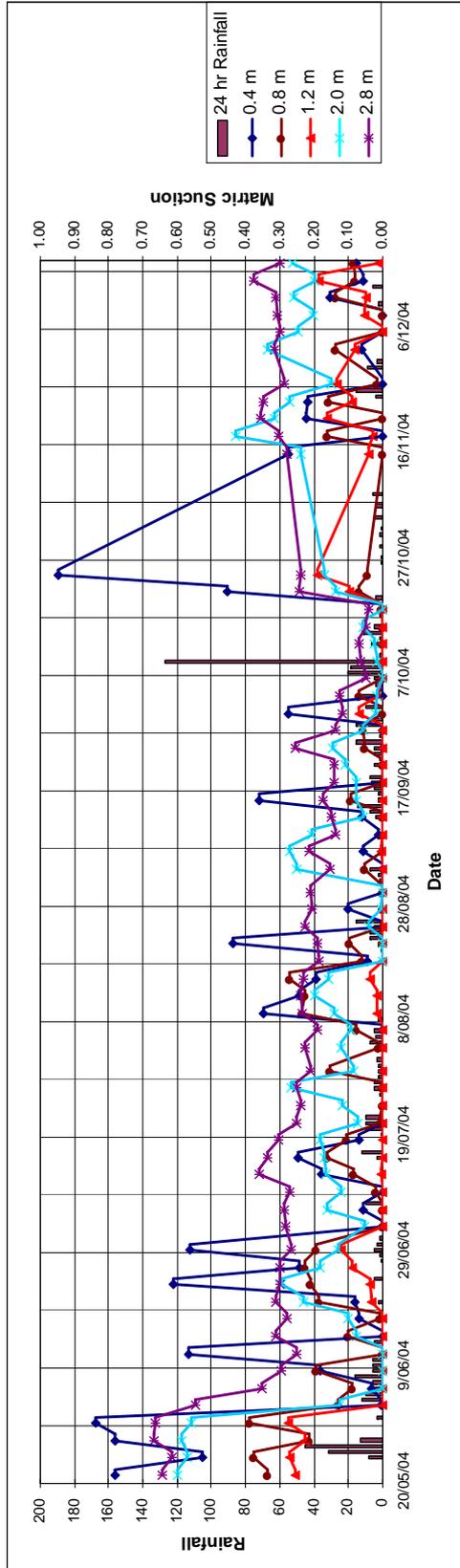
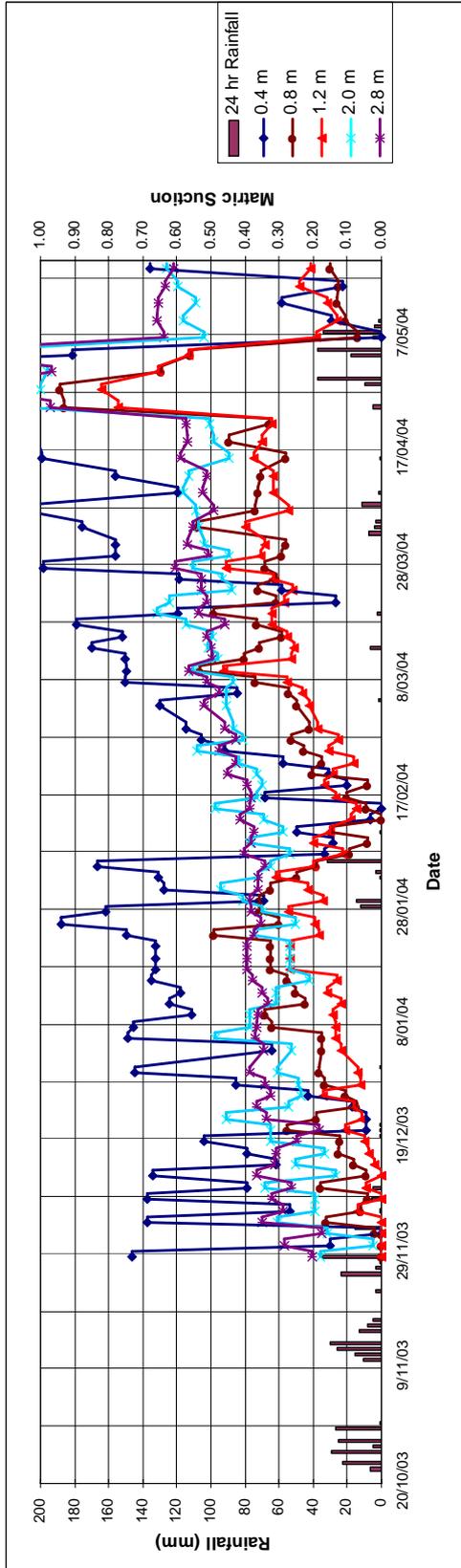
จากข้อมูลในรายงานการตรวจสอบข้อเท็จจริงเกี่ยวกับสาเหตุการเกิดอุทกภัยในพื้นที่อำเภอ กะทู้ จังหวัดภูเก็ต ปี พ.ศ.2544 และจากการสำรวจและทดสอบคุณสมบัติดินในโครงการวิจัย สามารถสรุป ได้ว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ในบริเวณฝั่งตะวันตกของเกาะภูเก็ต เป็นภูเขาปกคลุมด้วยหินแกรนิต ซึ่งเมื่อฝนจะตก ออกเป็นกาบร้อนออกเป็นแผ่นหนา และสามารถเปลี่ยนสภาพเป็นตะกอนทรายหยาบปนกับดินเหนียว ซึ่งน้ำ จะชะล้างให้พังทลาย หรือเกิดดินถล่มได้ง่าย ประกอบกับสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ มีลักษณะร้อนชื้นตลอดทั้ง ปี และมีเพียง 2 ฤดูกาล คือฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนธันวาคม ถึงเดือนมีนาคม และฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือน เมษายน ถึงเดือนพฤศจิกายน โดยช่วงที่ฝนตกชุกที่สุดในรอบปี ได้แก่ช่วงเดือนตุลาคม ซึ่งจากการสำรวจ ร่องรอยการเกิดดินถล่มในอดีตพบว่า จะเกิดขึ้นในเดือนนี้มากที่สุด

จากการสำรวจและทดสอบในบริเวณพื้นที่ต้นแบบทั้ง 2 แห่ง ได้แก่บริเวณไหล่เขาเหนืออ่าว กมลา ช้างฝ่ายน้ำล้นบ้านบางหวาน และบริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวป่าตอง ริมถนนห้าสิบปี พบว่าดินชั้นบนลึก จากผิวดินประมาณ 3 เมตร มีลักษณะเป็นทรายปนดินเหนียวและดินตะกอนหลวมมากถึงหลวม (Very Loose to Loose clayey sand) และถัดจากชั้นดินนี้ลงไปจะเป็น Granitic Soil (Completely decomposed granite) ซึ่งเป็นดินประเภท Non-Plastic โดยที่ชั้นดินนี้จะมีความแน่นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามความลึก

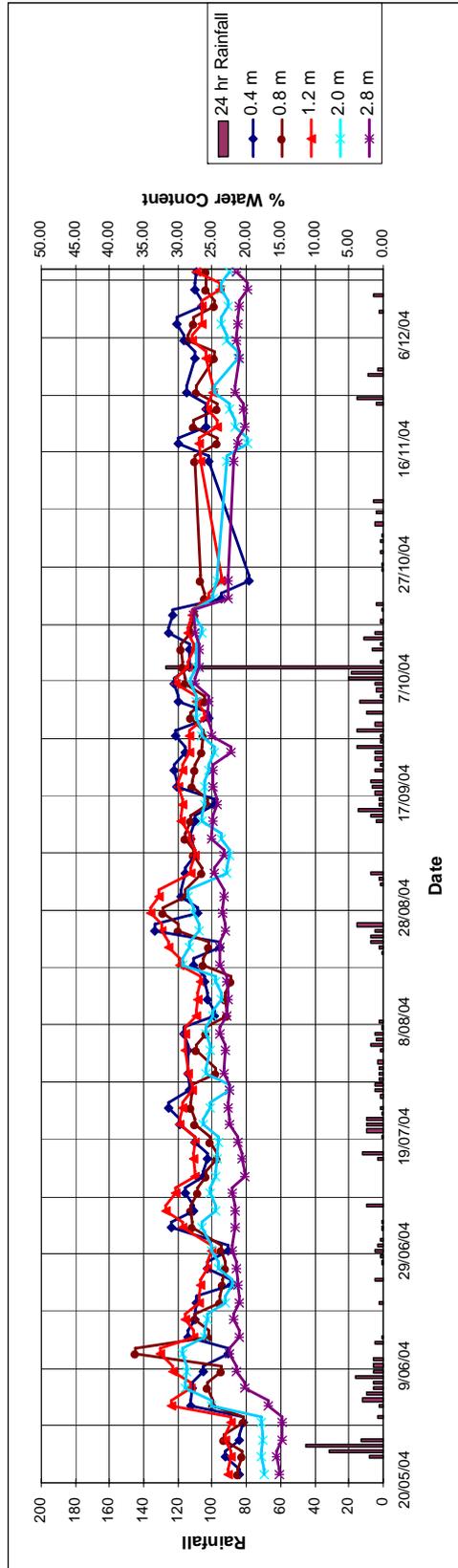
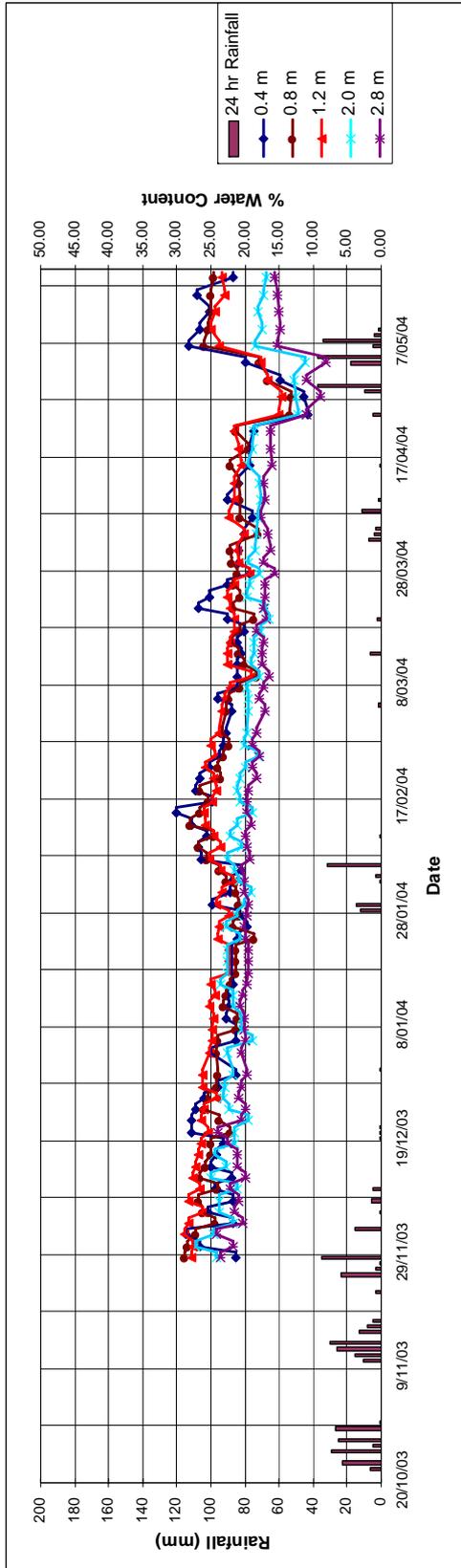
สำหรับคุณสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินนั้น จากการทดสอบ Direct shear Test โดยแปรผันความชื้นในมวลดิน พบว่าแรงยึดเหนี่ยวของดิน (Cohesion) จะแปรผกผันกับปริมาณความชื้นที่ เปลี่ยนแปลงไป และจะลดลงอย่างมากเมื่อดินมีความชื้นเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว (Degree of Saturation >90%) ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3

##### 4.1.2 แนวโน้มการเกิดดินถล่มเนื่องจากฝนตก

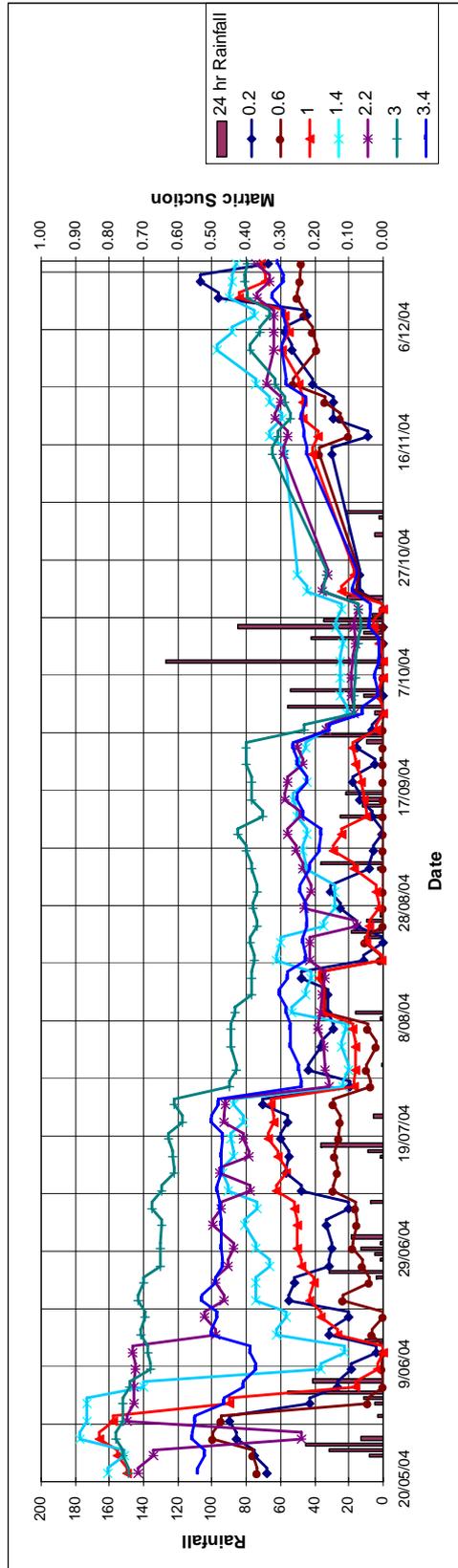
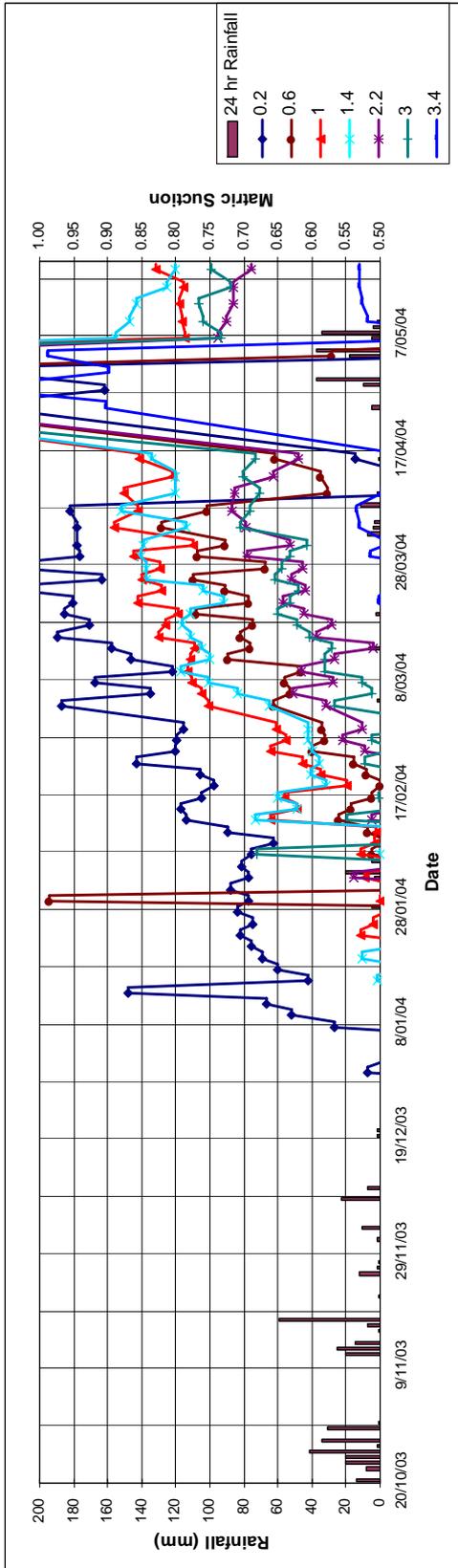
จากการตรวจวัดพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงแรงดึงน้ำในมวลดิน (Matric Suction) และการ เปลี่ยนแปลงความชื้นในมวลดิน เทียบกับปริมาณฝนตกประจำวัน เป็นระยะเวลาประมาณ 1 ปี (หนึ่งรอบ ฤดูกาล) ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2546 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2547 ในพื้นที่ต้นแบบทั้ง 2 แห่ง ดังรูปที่ 4-1 ถึง 4-4 แสดงให้เห็นว่า แรงดึงน้ำในมวลดิน และความชื้นในดิน จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณฝนตก และระยะทางในการเดินทางของน้ำที่ซึมลงในดิน กล่าวคือดินที่อยู่ชั้นบนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงก่อนดินที่อยู่ ชั้นที่ลึกลงไป



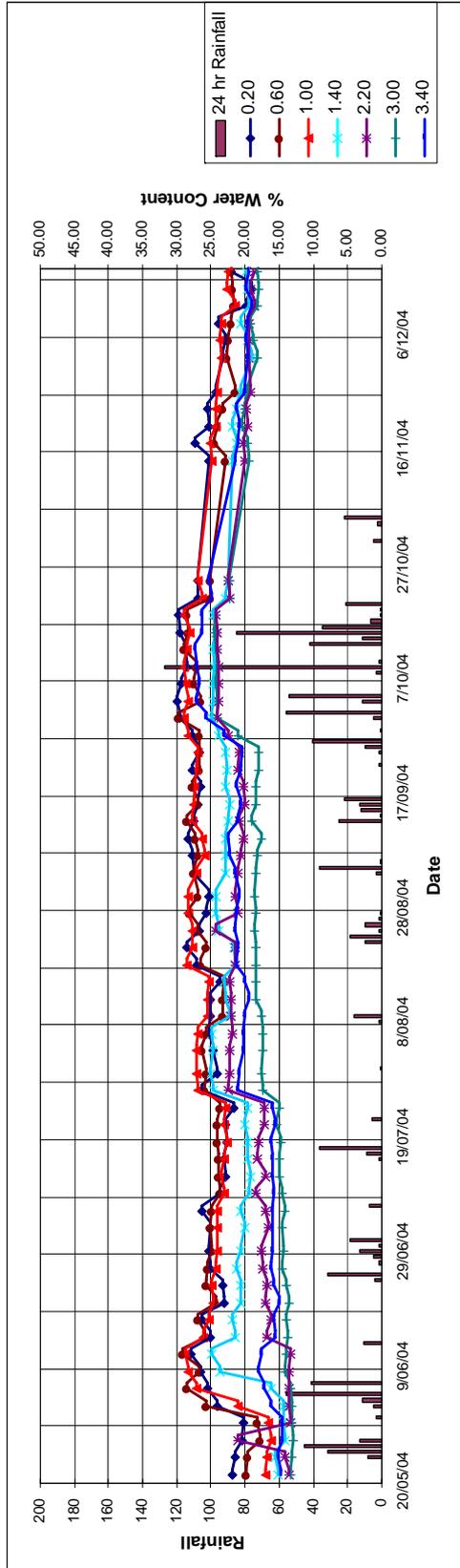
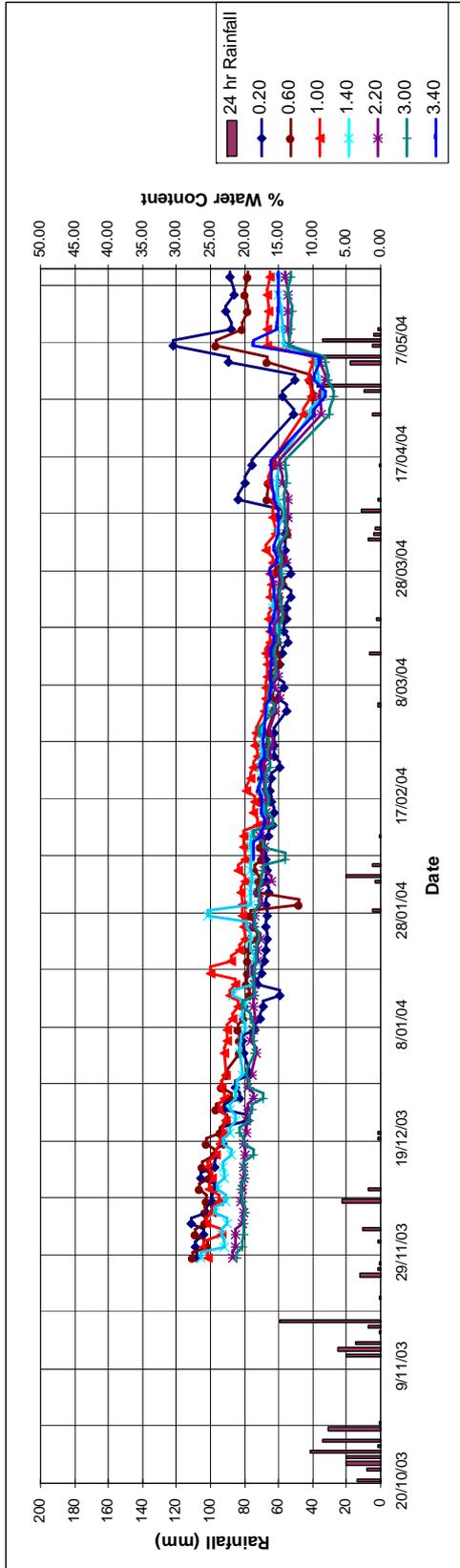
รูปที่ 4-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนตกกับการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงน้ำในดินบริเวณเหนืออ่างมกลา



รูปที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนตกกับการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินบริเวณเหนืออ่างมลา



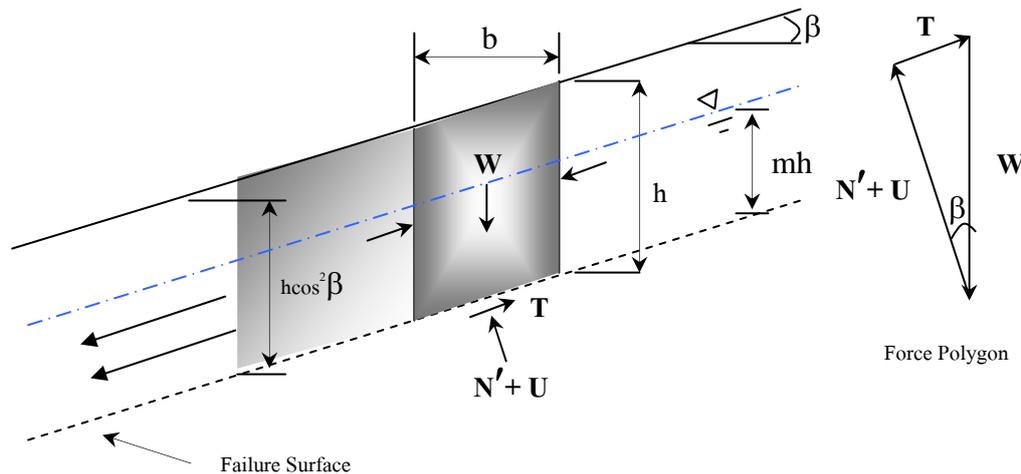
รูปที่ 4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนตกกับการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดึงน้ำในดินบริเวณเหนืออ่าวป่าตอง



รูปที่ 4-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนตกกับการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินบริเวณเหนืออ่าวป่าตอง

การเปลี่ยนแปลงแรงดึงน้ำในมวลดินและความชื้นในดินเนื่องจากฝนตกมีผลต่อการเกิดดินถล่ม ซึ่งถ้ามีฝนตกปริมาณมากติดต่อกัน น้ำฝนจะไหลลงสู่ชั้นดินด้านล่าง เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (Gravity Force) และแรงดึงน้ำในดิน (Matric Suction) ทำให้ดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น แรงดึงน้ำในดินลดลงทำให้มวลดินมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น กำลังรับแรงเฉือนลดลง ทำให้โอกาสเกิดดินถล่มสูงขึ้น ในทางกลับกันถ้าฝนหยุดตกหรือตกน้อยลง ความชื้นในมวลดินจะลดลง แรงดึงน้ำในดินเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำในดินไหลลงสู่ด้านล่างและเกิดการระเหยที่ดินชั้นบน ทำให้ดินมีน้ำหนักลดลง กำลังรับแรงเฉือนสูงขึ้น ทำให้โอกาสเกิดดินถล่มลดลง

สำหรับโอกาสเกิดดินถล่มเนื่องจากฝนตก สามารถประเมินได้จากการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งการวิเคราะห์เบื้องต้นสำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์แบบลาดอนันต์ (Infinite Slope Stability Analysis) โดยกำหนดให้มวลดินเป็นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Soil) บางส่วนและมีบางส่วนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Zone) ดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 แสดงแบบจำลองการวิเคราะห์แบบลาดอนันต์ (Infinite Slope Stability Analysis)

จากแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 4-5 สามารถคำนวณหาอัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety) ได้ดังแสดงในสมการที่ 4-1

$$FS = \frac{c' + h \cos^2 \beta \tan \phi' [(1 - m)\gamma_m + m\gamma']}{h \sin \beta \cos \beta [(1 - m)\gamma_m + m\gamma_{sat}]} \quad (4-1)$$

โดยที่

- $c'$  = แรงแยัดเหนียวของมวลดิน
- $h$  = ความลึกของแนวการพิบัติ
- $\beta$  = มุมลาดเอียงของพื้นที่

$\phi'$	=	มุมเสียดทานภายใน
$m$	=	อัตราส่วนความลึกระดับน้ำใต้ดินเหนือแนวพิบัติกับความลึกของแนวพิบัติ
$\gamma_m$	=	ความหนาแน่นชั้นของดิน
$\gamma'$	=	ความหนาแน่นประสิทธิผล ( $\gamma_{sat} - \gamma_w$ )
$\gamma_{sat}$	=	ความหนาแน่นของดินที่จุดอิ่มตัว
$\gamma_w$	=	ความหนาแน่นของน้ำ

ในกรณีของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ค่ากำลังรับแรงเฉือนแปรผันตามระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ ดังแสดงในสมการที่ 4-2

$$\tau = c^s - \ln(S) \tan \alpha + \sigma \tan \phi' \quad (4-2)$$

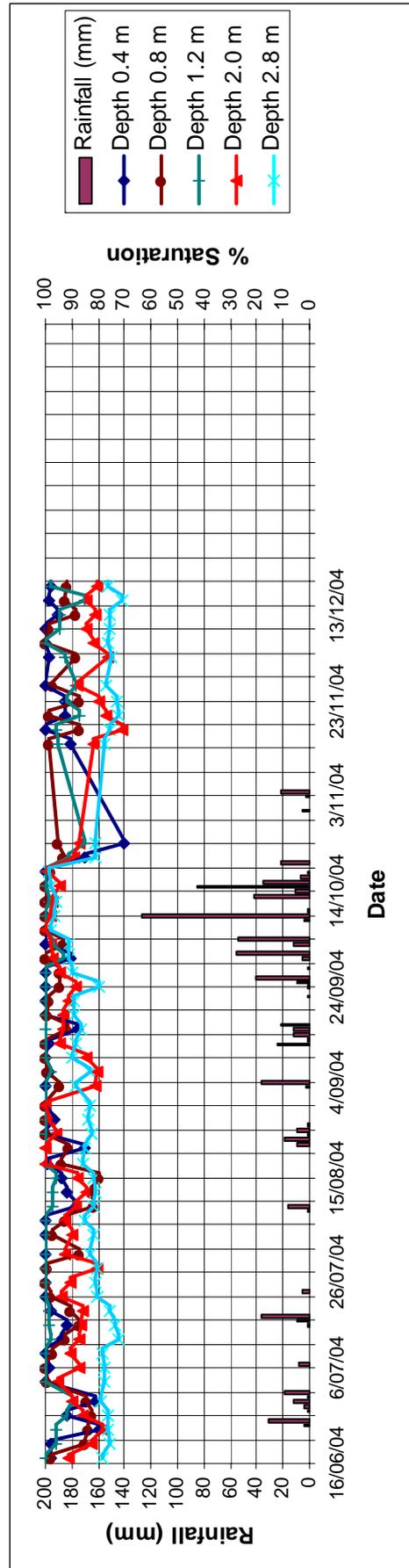
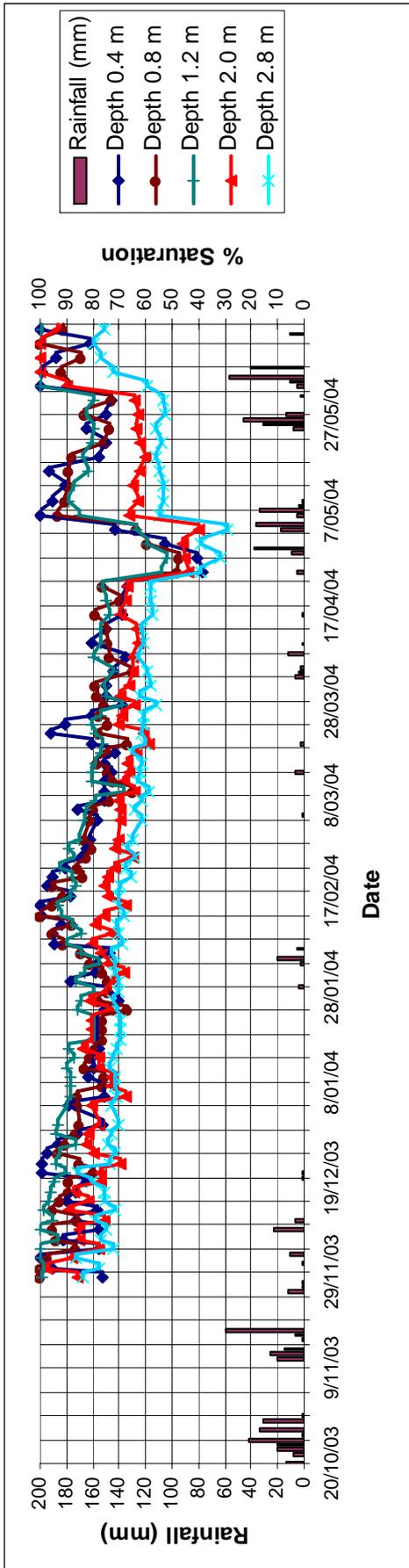
โดยที่

$c^s$	=	ค่าแรงยึดเหนี่ยวในมวลดินแห้ง
$\alpha$	=	มุมความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Stress กับ %S
$S$	=	ระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำของมวลดิน (%)

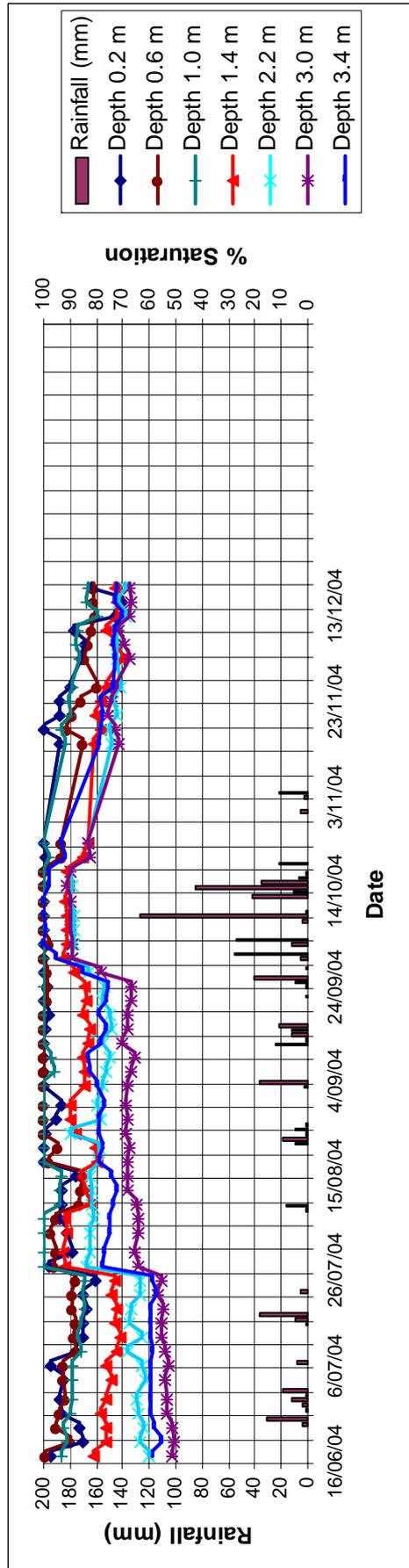
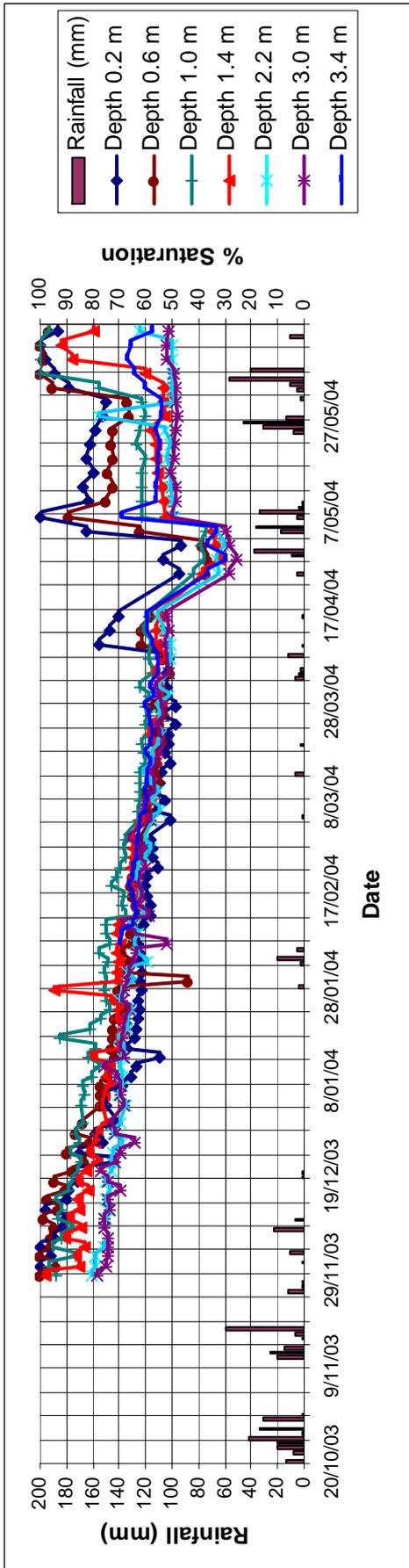
แทนค่าสมการที่ 4-2 ลงในสมการที่ 4-1 สามารถเขียนสมการหาค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่แปรผันตามระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำได้ดังแสดงในสมการที่ (4-3)

$$FS = \frac{c^s - \ln(S) \tan \alpha + h \cos^2 \beta \tan \phi' [(1-m)\gamma_m + m\gamma']}{h \sin \beta \cos \beta [(1-m)\gamma_m + m\gamma_{sat}]} \quad (4-3)$$

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากฝนตกจะใช้ข้อมูลระดับความอิ่มตัวของน้ำในมวลดินที่คำนวณจากข้อมูลปริมาณความชื้นในดินรายวันที่เก็บในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2546 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2547 (ดังแสดงในรูปที่ 4-6 และ 4-7) วิเคราะห์ร่วมกับคุณสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยคุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ 4-1



รูปที่ 4-6 แสดงระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำในมวลดินเนื่องจากฝนตกบริเวณเหนืออ่างมลา



รูปที่ 4-7 แสดงระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำในมวลดินเนื่องจากฝนตกบริเวณเหนืออ่าวป่าตอง

ตารางที่ 4-1 แสดงคุณสมบัติของดินในพื้นที่ต้นแบบ

Layer	Depth (m)		Soil Type	Gs	C <sup>s</sup> (T/m <sup>2</sup> )	tan $\alpha$	tan $\phi$	Slope Degree
	From	To						
บริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวกมลลา								
KML01	0.00	1.20	ML	2.612	9.775	2.097	0.632	31
KML02	1.20	2.80	SM	2.607	5.609	1.173	0.494	31
บริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวป่าตอง								
PT01	0.00	2.20	SM	2.646	3.246	0.72	0.618	26
PT02	2.20	3.00	SM	2.638	1.398	0.287	0.707	26

ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 4-8 และ 4-9 ซึ่งจะแสดงให้เห็นได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพของลาดเอียงกับการการเกิดฝนตกในช่วงเวลาต่าง ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงของระดับความชื้นในดิน พบว่าสอดคล้องและมีความสัมพันธ์ระหว่างกัน

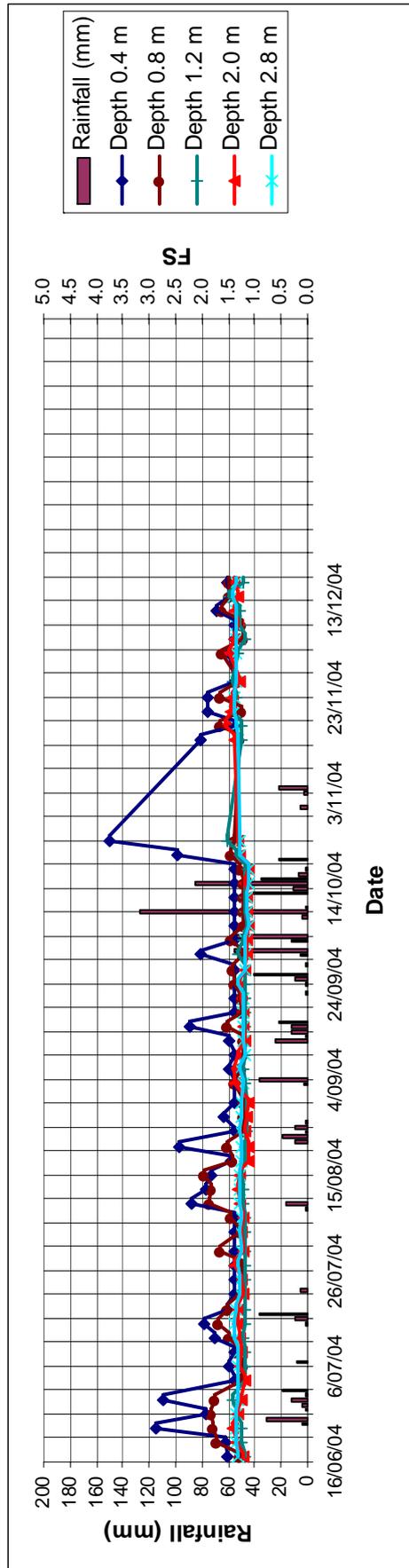
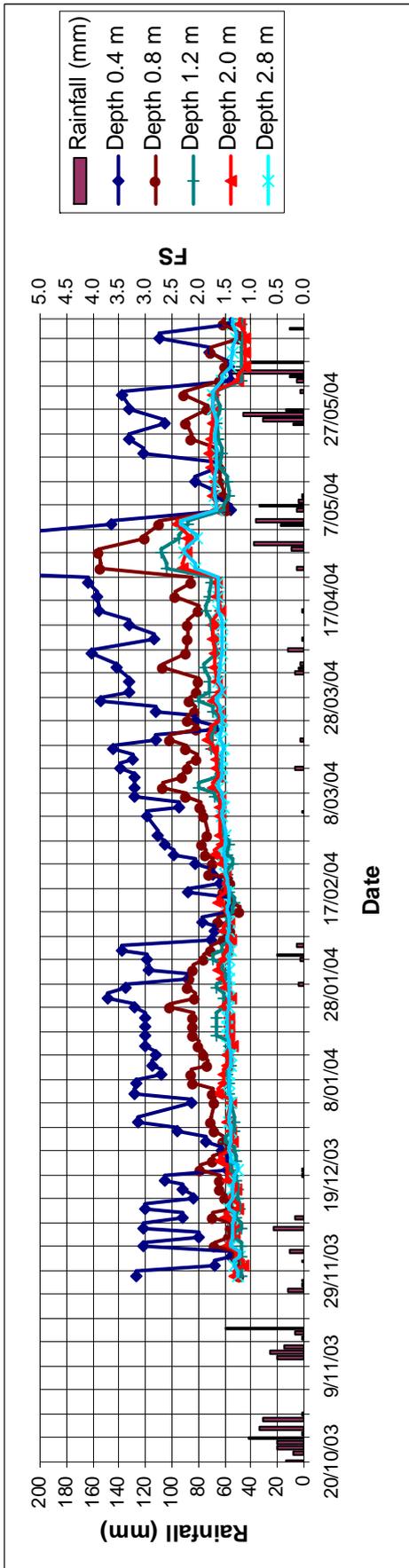
## 4.2 การประเมินโอกาสเกิดดินถล่ม

### 4.2.1 ปัจจัยอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม

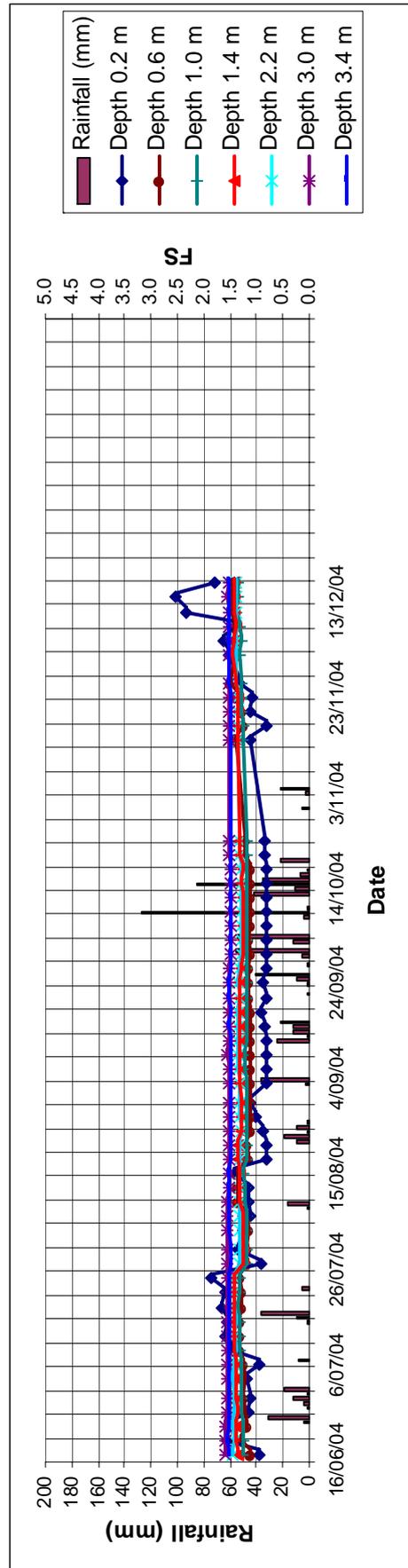
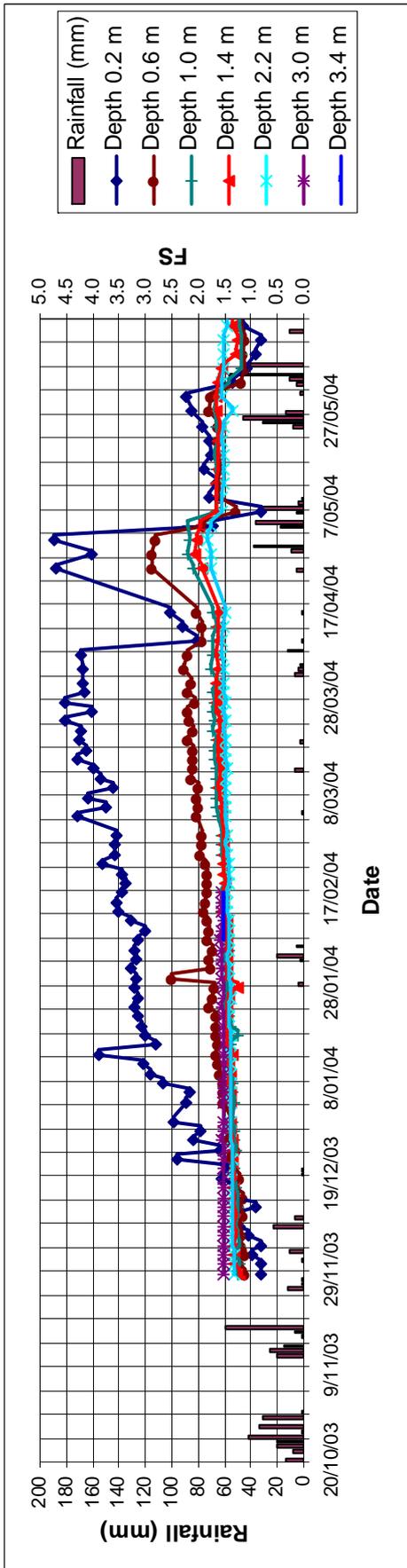
การเกิดดินถล่มขึ้นอยู่กับปัจจัยอิทธิพลหลายปัจจัยด้วยกัน และในแต่ละปัจจัยสามารถรวบรวมและจำแนกประเภทได้เป็น 2 กลุ่มได้แก่ ปัจจัยทางด้านสภาพพื้นที่ (Condition Factor) และปัจจัยกระตุ้น (Triggering Factor)

ปัจจัยสภาพพื้นที่ (Condition Factor) หมายถึงปัจจัยที่เป็นลักษณะคุณสมบัติของแต่ละพื้นที่ซึ่งทำให้มีโอกาสเกิดดินถล่มแตกต่างกัน ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ ความลาดชัน สิ่งปกคลุมดิน ลักษณะทางธรณีวิทยา เป็นต้น ปัจจัยสภาพพื้นที่นี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น ปัจจัยคงที่ ซึ่งเป็นปัจจัยที่เป็นลักษณะเฉพาะและไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากปัจจัยกระตุ้น เช่นลักษณะภูมิประเทศ และลักษณะทางธรณีวิทยา เป็นต้น และปัจจัยผันแปร ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีปัจจัยอื่นมากระตุ้น เช่น ความชื้นในดิน กำลังรับแรงเฉือนของดิน และธรณีโครงสร้าง เป็นต้น

ปัจจัยกระตุ้น (Triggering Factor) เป็นปัจจัยภายนอกที่เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะทำให้ปัจจัยสภาพพื้นที่บางปัจจัยเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว เป็นเหตุให้มีแนวโน้มที่จะเกิดดินถล่มสูงขึ้น เช่นการเกิดฝนตกหนัก แผ่นดินไหว เป็นต้น สำหรับในพื้นที่ศึกษา ซึ่งได้มีการรวบรวมการเกิดดินถล่มในอดีต พบว่าฝนเป็นปัจจัยกระตุ้นหลักที่ทำให้เกิดดินถล่ม



รูปที่ 4-8 แสดงผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเชิงเนินจากฝนตกบริเวณเหนืออ่างมกลา



รูปที่ 4-9 แสดงผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดตื้นเนื่องจากฝนตกบริเวณเหนืออ่าวป่าตอง

#### 4.2.2 การพยากรณ์การเกิดดินถล่ม

การพยากรณ์เป็นการประเมินแนวโน้มการเกิดดินถล่มทั้งตำแหน่งและเวลาที่จะเกิดเหตุการณ์ ซึ่งสามารถจำแนกวิธีการดำเนินงานออกได้ดังนี้

##### ก. การพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองทางปฐพีกลศาสตร์

เป็นการพยากรณ์การเกิดดินถล่มโดยพิจารณาจากปัจจัยอิทธิพลต่างๆ ได้แก่ ปัจจัยสภาพพื้นที่ และปัจจัยกระตุ้น อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือพิจารณาร่วมกัน

การพยากรณ์การเกิดดินถล่มโดยพิจารณาจากปัจจัยสภาพพื้นที่ เป็นการพยากรณ์โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้เสถียรภาพของลาดเอียง ปัจจัยที่แปรผันไปตามปัจจัยที่มากกระตุ้น ได้แก่ แรงตึงน้ำในดิน ความชื้น และกำลังรับแรงเฉือนของดิน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความสัมพันธ์กัน และมีผลต่อเสถียรภาพของลาดเอียง

การพยากรณ์การเกิดดินถล่มโดยพิจารณาจากปัจจัยกระตุ้น เป็นการพยากรณ์โดยการเก็บข้อมูลการเกิดปัจจัยกระตุ้นซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับการเกิดดินถล่มและค่าวิกฤตที่ทำให้เกิดดินถล่ม ซึ่งในการวิเคราะห์อาจใช้วิธีการทางสถิติ หรือการวิเคราะห์พฤติกรรมเชิงกลศาสตร์ โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Modeling) ที่สามารถคำนวณติดตามความมั่นคงของลาดดินที่ต่อเนื่อง โดยเฉพาะการติดตามในระหว่างฝนตก ขั้นตอนในการวิเคราะห์คาดการณ์ดินถล่มทางด้านวิศวกรรมนั้นสามารถดำเนินการได้ตั้งแผนภูมิในรูปที่ 4-10 โดยเริ่มจาก

**ขั้นตอนที่ 1** ติดตามข้อมูลน้ำฝนในพื้นที่ที่เกิดขึ้นในอดีต นำมาวิเคราะห์ทางด้านสถิติของโอกาสเกิดในคาบย้อนกลับ (Return Period) ต่างๆ ตามหลักอุทกวิทยา จัดรูปแบบของพายุฝนในแต่ละรูปแบบนำเข้าวิเคราะห์โดยแบบจำลองการไหลซึมของน้ำฝนเข้าสู่ชั้นดิน เพื่อให้ทราบความชื้นของชั้นดินที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

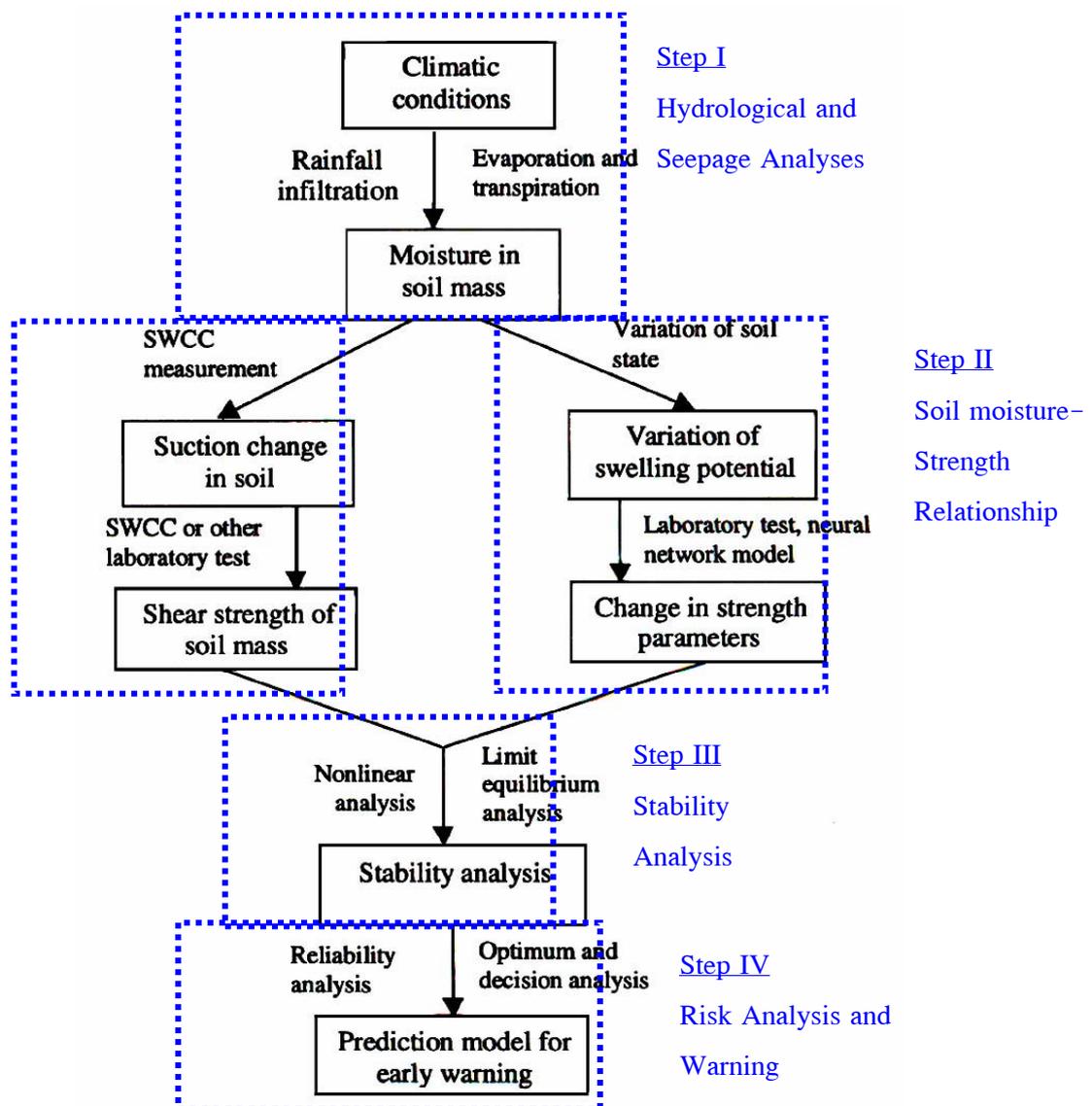
**ขั้นตอนที่ 2** นำเอาความชื้นที่เกิดขึ้นในชั้นดินต่างๆ ขณะฝนตก มาหาความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของมวลดินที่ลดลง ซึ่งได้มีการทดสอบเอาไว้ล่วงหน้า

**ขั้นตอนที่ 3** วิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินที่ความสูงชันต่างๆ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น เช่น KU-Slope เพื่อหาเสถียรภาพของลาดเอียง ในช่วงเวลาต่างๆ เมื่อทราบค่าเส้นน้ำฝนวิกฤต (Critical Rainfall Envelope) ที่ทำให้เกิดการพิบัติจากปริมาณน้ำฝนสะสม (Accumulated Rainfall) และน้ำฝนกระตุ้น (Trigger Rainfall) แล้วตรวจสอบกับกรณีที่เคยเกิดขึ้นจริงเพื่อเป็นการสอบเทียบความถูกต้อง จึงจะนำไปสู่การนำไปใช้เป็นข้อมูลในการเตือนภัยจากฝนในเบื้องต้น

**ขั้นตอนที่ 4** ในพื้นที่เสี่ยงภัยที่อาจมีผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินอย่างมาก จะต้องมีการวิเคราะห์ทางด้านสถิติของความเป็น ความแปรปรวนของข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และความเสียหายที่

เกิดขึ้น เพื่อประมวลเป็นระบบ แล้วยังสามารถนำไปสู่การเปรียบเทียบกับมาตรการแก้ไขป้องกัน ซึ่งจะต้องมีการเปรียบเทียบระหว่างโอกาสเกิดความเสียหาย และค่าใช้จ่ายในการป้องกันต่อไป

การพยากรณ์การเกิดดินถล่มเป็นส่วนสำคัญที่จะนำไปใช้ในการเตือนภัย ซึ่งการเตือนภัยที่ประสิทธิภาพจะต้องมีข้อมูลการพยากรณ์ที่มีความน่าเชื่อถือและและมีระยะเวลาเพียงพอที่จะดำเนินการป้องกัน บรรเทาความเสียหายก่อนที่จะเกิดดินถล่มได้ โดยทั่วไปการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำจะเป็นการพยากรณ์ในช่วงที่ใกล้จะเกิดดินถล่มทำให้ระยะเวลาในการเตรียมการสั้นมาก ส่วนการพยากรณ์ที่มีระยะเวลายาวนานก่อนที่จะเกิดดินถล่ม จะมีความคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจากในช่วงเวลาก่อนเกิดดินถล่ม อาจมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ฝนหยุดตกเป็นระยะเวลานาน หรือปริมาณหรือรูปแบบของฝนไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้



รูปที่ 4-10 ขั้นตอนการวิเคราะห์และคาดการณ์ดินถล่ม

## ข. การพยากรณ์การเกิดดินถล่มโดยใช้เครื่องมือวัดพฤติกรรมของดิน

เป็นการพยากรณ์แนวโน้มของการเกิดดินถล่มโดยติดตามจากการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของลาดเอียงและคุณสมบัติของดิน จากการศึกษาการเตือนภัยและแผนงานการป้องกันภัยจากดินถล่มในโครงการ “การพัฒนาแผนหลักการจัดการภัยธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับดินถล่ม” โดย รศ.ดร.วรากร ไม้เรียง และคณะ (2546) ได้จัดแบ่งวิธีการตรวจวัดออกเป็น การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวดิน และการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงใต้ผิวดิน

### - การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงบริเวณผิวดิน

เป็นการตรวจวัดขอบเขตการพิบัติของลาดดิน ขนาด ทิศทางของการเคลื่อนที่ และพิจารณาถึงการเคลื่อนที่ของการพิบัติ จุดการพิบัติน้อยของลาดการพิบัติใหญ่ สามารถที่จะใช้แนวขอบที่เกิดการพิบัติและรอยแตกที่พบให้เป็นประโยชน์ในการพิจารณาได้ เครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจวัดได้แก่

1. เครื่องมือวัดการขยายตัว (Extensometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนที่โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระยะห่างของจุด 2 จุด หรือมากกว่าในแนวแกนเดียวกัน โดยปกติจะติดตั้งบริเวณรอยแยกหลัก (Main scrap) โดยจะติดตั้งในแนวขวางกันรอยแยกของดินบริเวณปลายล่างและบนของลาดดิน ข้อมูลที่จากการตรวจวัดจะช่วยในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของลาดดินได้อย่างละเอียด ขนาดของการเคลื่อนตัวและปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละวันจะนำมาพิจารณาร่วมกันเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนตัวและอัตราการซึมของน้ำในดิน

2. เครื่องมือวัดความเอียง (Tiltmeter) จะใช้ในการพิจารณาการเคลื่อนตัวของลาดดินบริเวณส่วนบนและส่วนล่างของลาดดิน เพื่อใช้ในการประเมินความเป็นไปได้ในการเกิดการเคลื่อนตัวของลาดดินในอนาคต เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของลาดดินนี้ จะสามารถวัดการเคลื่อนตัวในแนวเหนือ-ใต้ และ ตะวันออก-ตะวันตก ได้

3. การวัดการเคลื่อนตัวแบบธรรมดา (Simple method to measure movement) เป็นวิธีการวัดแบบง่าย ซึ่งสามารถทำได้โดยการตอกหมุดไม้ โดยให้รอยขาดยังคงติดกันอยู่ คอยสังเกตรอยขาด โดยการวัดระยะเพื่อใช้ในการวัดการเคลื่อนตัวของลาดดิน

### - การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงใต้ผิวดิน

เป็นการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงใต้ผิวดินซึ่งทำให้เกิดการเลื่อนไถลของลาดดิน โดยการวัดอัตราการเคลื่อนตัวของลาดดินที่มีความแตกต่างกันในระนาบต่างๆ ของดิน เครื่องมือที่ใช้ในการวัดได้แก่

1. Pipe Strain Gauge เป็นเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของลาดดินโดยการใช้ท่อพีวีซี ที่มีการติดตั้ง Strain gauge หย่อนลงในหลุมเจาะ เมื่อมีการเคลื่อนตัวของลาดดินจะทำให้ท่อพีวีซีงอ ดังนั้นจึงสามารถวัดค่าการเคลื่อนตัวจาก Strain gauge ที่ติดตั้งไว้ได้

2. Inclinometer เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้ในการเฝ้าตรวจวัดการเคลื่อนตัวในทิศทางตั้งฉากกับแกนของท่อหน้า หรือการเคลื่อนตัวในแนวราบของดินในพื้นที่ที่มีการเคลื่อนตัวเกิดขึ้น การตรวจวัดวิธีนี้สามารถตรวจวัดได้แม้การเคลื่อนตัวมีปริมาณที่น้อยมากและมีความถูกต้องสูง

3. Multi layer movement meter เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการเคลื่อนตัวของดินแต่ละชั้น โดยจะมีเส้นลวดจำนวนหลายเส้นที่มีความยาวต่าง ๆ กันเพื่อใช้วัดการเคลื่อนตัวที่ระดับต่างกัน ปลายด้านบนของเส้นลวดจะผูกติดรวมกัน การเคลื่อนตัวของลาดดินสามารถวัดได้โดยตรงโดยใช้ไม้บรรทัดวัด วิธีนี้เหมาะสำหรับลาดดินที่มีการเคลื่อนตัวสูงและไม่สามารถชนิดอื่นในการตรวจวัดได้

4. Tensiometer เป็นเครื่องมือตรวจวัดแรงดึงน้ำ (Matric suction) ในมวลดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil) อันเนื่องมาจากฝนตก การเปลี่ยนแปลงแรงดึงน้ำในมวลดินมีผลทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินลดลง ทำให้ลาดดินมีเสถียรภาพลดต่ำลงจนอาจเกิดการพังถล่มได้ โดยทั่วไปมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

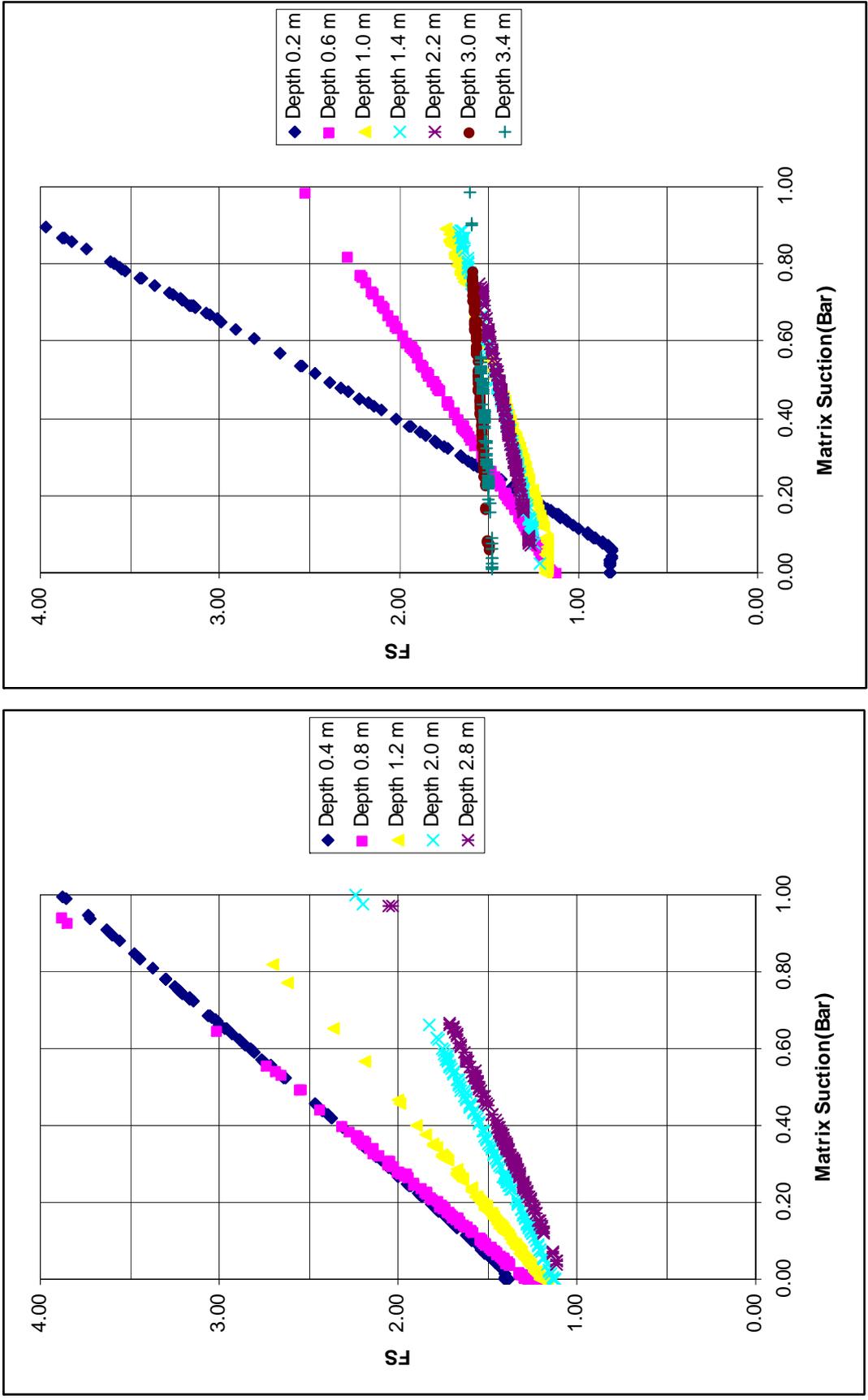
- หินพรุนที่มีค่า Air-entry สูง
- ช่องว่างมีน้ำอยู่เต็ม (Water reservoir) ต้องปราศจากฟองอากาศ
- เครื่องมือที่ใช้วัดแรงดึงในน้ำ เช่น Manometer, Vacuum gauge หรือ Electronic sensor

การติดตั้ง Tensiometer จะต้องทำควบคู่กันไปกับการวิเคราะห์ในข้อ ก. ซึ่งผลการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงแนวโน้มที่จะเกิดดินถล่ม

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของดิน และตรวจวัดพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความชื้นโดยการเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบ และแรงดึงน้ำในดิน (Matric Suction) โดยใช้ Tensiometer ติดตั้งในบ่อสังเกตการณ์ เพื่อทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียงที่แปรผันไปตามฝนตก ซึ่งเมื่อนำผลการวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงความชื้นเปรียบเทียบกับแรงดึงน้ำที่วัดได้ในสนามพบว่ามีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4-11 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าแรงดึงน้ำในดิน ซึ่งวัดโดย Tensiometer สามารถนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงเสถียรภาพของลาดเอียงได้

เนื่องจาก Tensiometer ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้สามารถวัดค่าแรงดึงน้ำสูงสุดได้เพียง 1 bar เท่านั้น และนอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดคือ จะเริ่มมีฟองอากาศขึ้น และหยุดทำงาน เมื่อแรงดึงน้ำในดินสูงเกินกว่า 0.8 bar ถึงแม้ว่าค่า Air-entry value ของหินพรุนที่ใช้มีค่าสูงกว่า 1 bar ทั้งนี้เนื่องจากภายในกะเปาะบรรจุน้ำ จะมีฟองอากาศเกาะตัวอยู่ที่ผิวของวัสดุที่ใช้ทำ Tensiometer ในรูปแบบของ Nuclei ขนาดเล็ก ๆ เมื่อน้ำในกะเปาะรับแรงดึง อากาศที่อยู่ในรูป Nuclei ก็ จะขยายตัวเป็นฟองอากาศที่ใหญ่ขึ้นและทำให้น้ำในกะเปาะแห้ง และ Tensiometer หยุดทำงาน

สำหรับปัญหาการแห้งและหยุดทำงานของ Tensiometer นั้นเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเสมอ จึงจำเป็นต้องมีการดูแลอย่างใกล้ชิดเมื่อใช้เครื่องมือชนิดนี้ในสนาม เช่นต้องมีการอ่านค่าเป็นประจำเพื่อที่จะสามารถตรวจสอบความผิดปกติในการทำงานของ Tensiometer และควรมีการเติมน้ำในกะเปาะบรรจุน้ำอยู่เสมอ ๆ

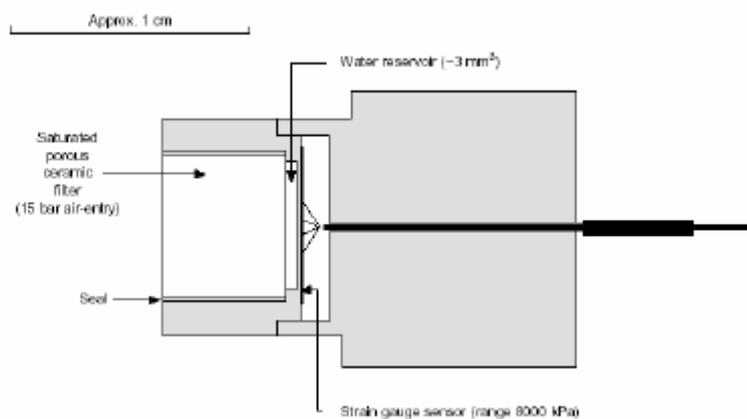


ข. พื้นที่ไหลเขาเหนืออ่าวป่าตอง

ก. พื้นที่ไหลเขาเหนืออ่าวกมลา

รูปที่ 4-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงน้ำในดินกับค่าอัตราส่วนปลอดภัยในแต่ละความลึก

สำหรับการแก้ปัญหาการแห้งของ Tensiometer นั้น Ridley & Burland (1993) เป็นกลุ่มวิจัยกลุ่มแรกที่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าว ได้โดยการใช้ค่าหินพรุนที่มีความหีบสูง (Air-entry value = 15 bar) และ ขนาดของ water reservoir ที่เล็กมาก ( $4 \text{ mm}^3$ ) และวัสดุที่ใช้ทำ Water reservoir เป็น stainless steel เพื่อลดโอกาสที่จะมี nuclei ของอากาศที่ผิววัสดุ สำหรับ Imperial College tensiometer ของ Ridley & Burland (1993) ดังแสดงในรูปที่ 4-12 สามารถวัดค่าแรงดึงน้ำในดิน ได้สูงสุดถึงประมาณ 17 Bar สำหรับการพัฒนาในประเทศ ขณะนี้ทางศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานรากได้มีการพัฒนา tensiometer โดยใช้เทคนิคเดียวกับที่ Imperial college และได้รับเงินทุนสนับสนุนจาก สกว ภายใต้ โครงการพัฒนาศักยภาพนักวิจัยรุ่นใหม่ (รหัสโครงการ MRG49) Tensiometer ที่กำลังพัฒนานี้ใช้เทคโนโลยีของ Piezoresistive transducer ซึ่งสามารถอ่านข้อมูลโดยอัตโนมัติจาก Automatic data acquisition system ได้ ทำให้สามารถส่งข้อมูลผ่านทางระบบ electronics ต่างๆ ได้ด้วย เชื่อว่า เครื่องมือ Tensiometer ที่จะพัฒนาขึ้นนี้จะสามารถช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมการพังทลายของลาดเขาเมื่อฝนตก และช่วยในการเตือนภัยจากดินถล่มได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในอนาคต

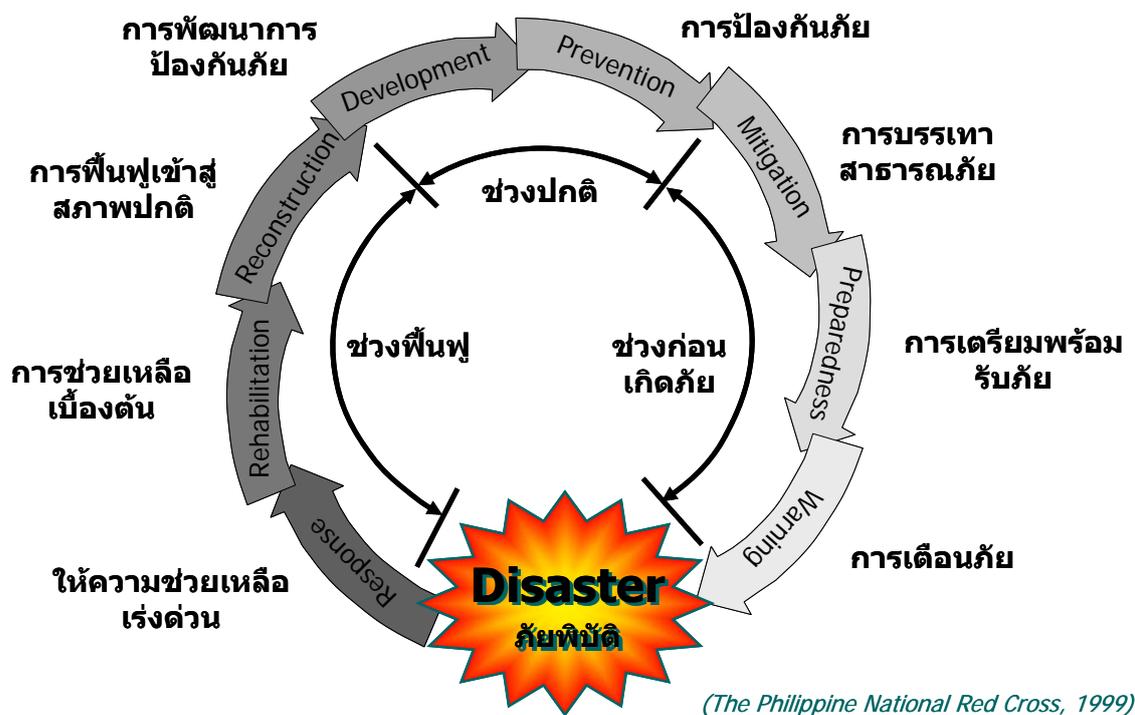


รูปที่ 4-12 Imperial College tensiometer (Ridley & Burland, 1993)

### 4.3 ขบวนการเตือนภัยและการจัดการภัยธรรมชาติ

#### 4.3.1 วัฏจักรการจัดการภัยธรรมชาติดินถล่ม

จากการศึกษาวิจัยในโครงการ “การพัฒนาแผนหลักการจัดการภัยธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับดินถล่ม” โดยวารการ และคณะ (2546) ได้กล่าวไว้ว่าดินถล่มเป็นสาธารณภัยประเภทหนึ่งที่มีวัฏจักรการเกิดและขบวนการจัดการภัยคล้ายกับภัยประเภทอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-13 ซึ่งเป็นขบวนการต่อเนื่องมิใช่การดำเนินการเฉพาะเมื่อเกิดภัย และภายหลังการช่วยเหลือฟื้นฟูเสร็จสิ้นลงแล้วเท่านั้น แต่ยังมีขบวนการที่ต้องดำเนินการในช่วงปกติเมื่อไม่มีภัยและช่วงก่อนเกิดภัยเพื่อลดผลกระทบของภัยให้น้อยที่สุดด้วย หากมีการจัดการให้มีการปฏิบัติได้อย่างครบถ้วนก็จะสามารถลดความเสี่ยงและการสูญเสียเนื่องจากดินถล่มลงได้มาก



รูปที่ 4-13 แสดงวัฏจักรการจัดการภัยธรรมชาติ

สำหรับเหตุการณ์และช่วงการจัดการภัยดินถล่มนั้น ได้แก่

1. ช่วงเกิดภัย หรือขณะเกิดเหตุการณ์
2. ช่วงช่วยเหลือและฟื้นฟู ประกอบด้วย

- การช่วยเหลือเร่งด่วน (Emergency response) ได้แก่ การกู้ภัย ช่วยเหลือ ค้นหา ผู้บาดเจ็บ จัดการศพ ขนย้ายซากสิ่งก่อสร้าง ต้นไม้ รากไม้ และ ประเมินค่าความเสียหายเบื้องต้น
- การช่วยเหลือเบื้องต้น (Rehabilitation) ได้แก่ การช่วยเหลือให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ชั่วคราว เช่นสร้างเต็นท์ที่พักอาศัย จัดหาอาหาร น้ำ และการปฐมพยาบาล
- การช่วยเหลือฟื้นฟูเข้าสู่สภาพปกติ (Reconstruction) ได้แก่ การสร้างบ้านพักชั่วคราว ซ่อมแซมสาธารณูปโภคให้เข้าสู่สภาพปกติ

### 3. ช่วงเหตุการณ์กลับสู่สภาวะปกติ ต้องดำเนินการเพื่อป้องกันภัยและลดผลกระทบ

- การพัฒนาเพื่อลดความเสี่ยง (Development) ได้แก่ การก่อสร้าง เพื่อลดความเสี่ยง เช่น คันดิน เขื่อน ป้องกันหมู่บ้าน และการให้ความรู้ในการป้องกันตนเอง
- การป้องกันภัย (Prevention) ได้แก่การดำเนินการไม่ให้เกิดขึ้น มุ่งที่จุดเกิดการพิบัติ เช่น ฟื้นฟูสภาพป่าไม้ ปรับสภาพภูมิประเทศ เสริมความแข็งแรงของดิน และการให้ความรู้ในการอนุรักษ์ป่าต้นน้ำ
- การบรรเทาผลกระทบ (Mitigation) ได้แก่การก่อสร้างสิ่งก่อสร้างหรือขบวนการในการลดผลกระทบที่ทำให้เกิดความเสียหาย เช่น ติดตั้งระบบเตือนภัย แต่งตั้งและอบรมอาสาสมัครป้องกันภัย

### 4. ช่วงก่อนเกิดภัย เป็นช่วงที่มีเริ่มเข้าสู่สถานการณ์เสี่ยงต่อภัย ต้องดำเนินการ

- การเตรียมพร้อมรับภัย (Preparedness) ได้แก่ช่วงเวลาที่ภัยดินถล่มมีโอกาสเกิดขึ้น เช่น ช่วงต้นฤดูมีฝนตกชุก เป็นต้น ในช่วงนี้ จะต้องมีการเตรียมตัวของราษฎร ชักซ้อม ทำความเข้าใจถึงการหนีภัย การแจ้งภัย และการปฏิบัติตัวในระหว่างเกิดภัย ตรวจสอบระบบเตือนภัย
- การเตือนภัย (Warning) ได้แก่ช่วงที่เริ่มวิกฤต เช่น พายุฝนต่อเนื่องใกล้เคียงระดับคาดการณ์หรือเคยเกิดภัยพิบัติ มีรอยเลื่อนบนไหล่เขา เป็นต้น ช่วงนี้ ต้องมีการเฝ้าระวังโดยอาสาสมัคร มีการแจ้งข่าวสถานการณ์ และการเตือนภัยเป็นระยะ ตามระดับความรุนแรงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นและสั่งการให้มีการอพยพไปในที่ปลอดภัย

#### 4.3.2 การเตือนภัยและแนวทางการจัดการภัยดินถล่ม

การเตือนภัยเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งจะดำเนินการควบคู่ไปกับการพยากรณ์ดินถล่ม การเตือนภัยเป็นการแจ้ง หรือประกาศให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทราบ และทำให้ขบวนการต่างๆ ได้เตรียมพร้อมสามารถปฏิบัติงานได้ทันท่วงที ซึ่งจะเป็นการควบคุมความเสียหายให้ได้ตามกรอบหรือแผนการที่ได้วางไว้

การเตือนภัยที่ประสิทธิภาพจะต้องมีข้อมูลการพยากรณ์ที่มีความน่าเชื่อถือและมีระยะเวลาเพียงพอที่จะเตรียมการป้องกัน บรรเทาความเสียหายก่อนที่จะเกิดดินถล่ม ดังนั้นการเตือนภัยที่มีประสิทธิภาพจะต้องแบ่งระดับขั้นของการพยากรณ์และเตือนภัยโดยคำนึงถึงความแม่นยำ ระยะเวลาในการเตรียมการ และบุคลากรที่เกี่ยวข้องตลอดจนประชาชนที่อยู่ในพื้นที่ ลำดับขั้นตอนการเตือนภัย ซึ่งในแต่ละพื้นที่ไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับโอกาสเกิดดินถล่ม และความสูญเสียที่จะเกิด โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนได้ดังนี้

1. ช่วงก่อนเกิดฝนตก เป็นช่วงที่มีการก่อตัวของพายุฝน การพยากรณ์จะพิจารณาจากข้อมูลฝนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา การพยากรณ์ในระยะนี้มีความไม่แน่นอนสูง แต่มีระยะเวลายาวนานหากเกิดดินถล่ม การเตือนภัยระยะนี้ เพื่อการเตรียมความพร้อม ทางด้านพื้นที่หลบภัย เส้นทางเพื่อการอพยพ เจ้าหน้าที่ เครื่องมือวัดเพื่อการเตือนภัยในระยะต่อไป

2. ช่วงระหว่างฝนตก เป็นระยะที่ฝนตกติดต่อกัน ในระยะนี้การพยากรณ์จะพิจารณาจากการวัดปริมาณน้ำฝนเปรียบเทียบกับค่าวิกฤต การพยากรณ์ในระยะนี้จะมีความแม่นยำมากขึ้น แต่ระยะเวลาก่อนเกิดดินถล่มสั้นลง การเตือนภัยระยะนี้ เพื่อการอพยพประชาชนออกจากพื้นที่อันตรายก่อนเกิดดินถล่ม ในบางพื้นที่ซึ่งมีความแปรปรวนในการพยากรณ์สูง จำเป็นต้องทำการติดตั้งเครื่องวัดพฤติกรรมของลาดเอียงเพื่อให้เกิดความแม่นยำ ลดความผิดพลาดในการเตือนภัยให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

ดังนั้นการเตือนภัยดินถล่มต้องมีลำดับขั้นตอนที่รอบครอบ มีการฝึกฝนที่จะหนีภัยและการป้องกันตนเองหรือช่วยเหลือผู้อื่น และที่สำคัญที่สุดคือต้องเลือกปัจจัยหลักที่สามารถเป็นตัวดัชนีชี้ถึงระดับความเสี่ยงต่อดินถล่มที่ถูกต้อง ดัชนีดังกล่าวจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

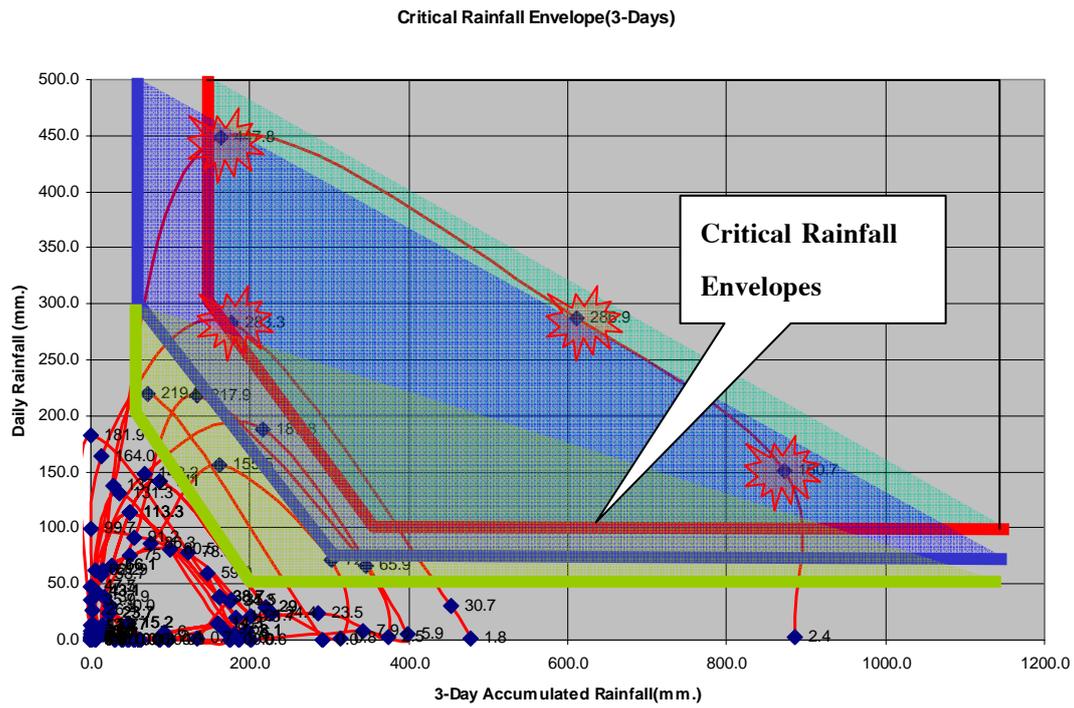
- การตรวจวัดดัชนีในสนามต้องทำได้ไม่ยุ่งยากโดยบุคคลในท้องถิ่น
- ดัชนีมีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับความมั่นคงของลาดดิน และสามารถคำนวณตรวจสอบได้โดยแบบจำลองจึงจะสามารถขยายผลไปในพื้นที่ต่างๆได้
- ดัชนีสามารถสอบเทียบได้จากเหตุการณ์พิบัติที่เคยเกิดขึ้นอย่างถูกต้อง
- เมื่อสภาพแวดล้อมหรือปัจจัยอื่นๆ เปลี่ยนแปลงไป จะสามารถคำนวณหาดัชนีที่เปลี่ยนแปลงไปได้

ค่าดัชนีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการการเตือนภัยได้แก่การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมทางด้านวิศวกรรมของดิน เนื่องจากดินถล่มเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนของดินซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในดิน หรือแรงดันน้ำ แต่การวัดค่าทำได้ค่อนข้างยากและต้องใช้เครื่องมือเฉพาะด้านได้แก่ Tensiometer หากแต่ค่าดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงไปตามน้ำฝนที่ไหลซึมลงในชั้นดินใช้ช่วงเวลาฝนตกหนัก ดังนั้นถ้าจะใช้ปริมาณฝนสะสมในช่วง 3 วันก่อน(3-day accumulated rainfall) ประกอบกับปริมาณฝนในวันนั้นๆที่กำลังตรวจวัด (Daily rainfall) มาเป็นดัชนีในการเตือนภัยก็จะสามารถ

ตรวจวัดได้ง่ายด้วยเครื่องวัดน้ำฝนในพื้นที่นั้นเรียกว่า “น้ำฝนวิกฤต” โดยมีค่าน้ำฝนวิกฤตต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในการกำหนดปริมาณดังกล่าวจะต้องมีการคำนวณวิเคราะห์ตามขั้นตอนในรูปที่ 4-10 และมีการตรวจสอบเทียบกับกรณีที่เคยมีการพิบัติของลาดดินในบริเวณข้างเคียงมาแล้ว ตัวอย่างของน้ำฝนวิกฤตในพื้นที่ภาคใต้ที่เคยเกิดในบริเวณ จังหวัดนครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี และจังหวัดข้างเคียง เมื่อปี พ.ศ. 2531 ซึ่งมีผู้เสียชีวิตหลายร้อยคน ดังแสดงในตารางที่ 4-1 และรูปที่ 4-14

ตารางที่ 4-2 ปริมาณน้ำฝนที่เกิดการพิบัติของดินถล่มที่ภาคใต้ในช่วงตุลาคม พ.ศ. 2531

Province	วันที่													
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Prachuap Khiri Khan	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	181.9	19.5
Chumphon	0.0	0.0	0.7	99.7	80.5	5.5	0.0	0.0	0.0	0.9	12.6	58.7	219.8	0.0
Surat Thani	0.0	0.0	24.1	30.0	0.6	0.0	0.0	0.4	7.4	6.1	164.0	283.3	30.7	1.8
Nakhon Si Thammarat	66.8	30.5	80.4	35.5	59.9	0.0	2.4	0.0	26.4	137.2	447.8	286.9	150.7	2.4
Songkhla	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	5.6	62.2	148.2	187.8	5.9	7.9	0.6
Pattani	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.7	12.7	61.9	86.3	155.5	72.0	0.8	24.4	0.3
Narathiwat	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	11.4	4.7	37.9	91.2	217.9	65.9	2.5	23.5	6.0
Ranong	0.0	0.0	0.0	47.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	35.9	131.3	9.5	1.6
Trang	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.3	0.1	47.7	75.0	78.3	21.7	34.3	0.7
Satun	0.0	0.0	23.0	23.7	15.2	0.0	0.0	5.4	43.1	113.3	38.7	8.1	14.3	0.3
Phuket	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	3.3	5.7	6.3	13.7	66.1	141.0	29.0
Rajjaprabha Dam Sta.1	11.4	5.6	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	2.3	5.8	120.0	149.5	50.0	1.6
Rajjaprabha Dam Sta.2	10.9	6.7	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	3.5	6.1	113.1	142.2	30.0	0.7
Bang Lang Dam	0.0	0.0	2.0	3.3	11.3	0.0	0.4	6.5	75.5	246.5	3.4	4.8	17.5	0.0



รูปที่ 4-14 ปริมาณน้ำฝนวิกฤตในกรณีดินถล่มจังหวัดภาคใต้ในปี พ.ศ. 2531