

## บทที่ 3

### ผลการวิจัย

โครงการวิจัย“การศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มในจังหวัดภูเก็ต” ได้ทำการศึกษาในขอบเขตพื้นที่บริเวณไหล่เขาทางด้านตะวันตกของเกาะภูเก็ต โดยแบ่งพื้นที่ดังกล่าวออกตามขอบเขตของพื้นที่รับน้ำ (Watershed) เป็น 3 พื้นที่ย่อยได้แก่

- บริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวกมลา
- บริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวป่าตอง
- บริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวกะรน

ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวมีหลักฐานว่าเคยเกิดดินถล่มมาก่อนในอดีต (ข้อมูลการเกิดดินถล่มปี 2544) โดยในการศึกษาจะทำการสำรวจและเก็บข้อมูลการเกิดดินถล่มในพื้นที่ คัดเลือกพื้นที่ต้นแบบ (Training Area) เพื่อเป็นพื้นที่ตัวแทนในการศึกษาพฤติกรรมของดินที่เปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นในมวลดินเนื่องจากฝนตก การทดสอบคุณสมบัติดินทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการ การติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรมของดิน และปริมาณน้ำฝน

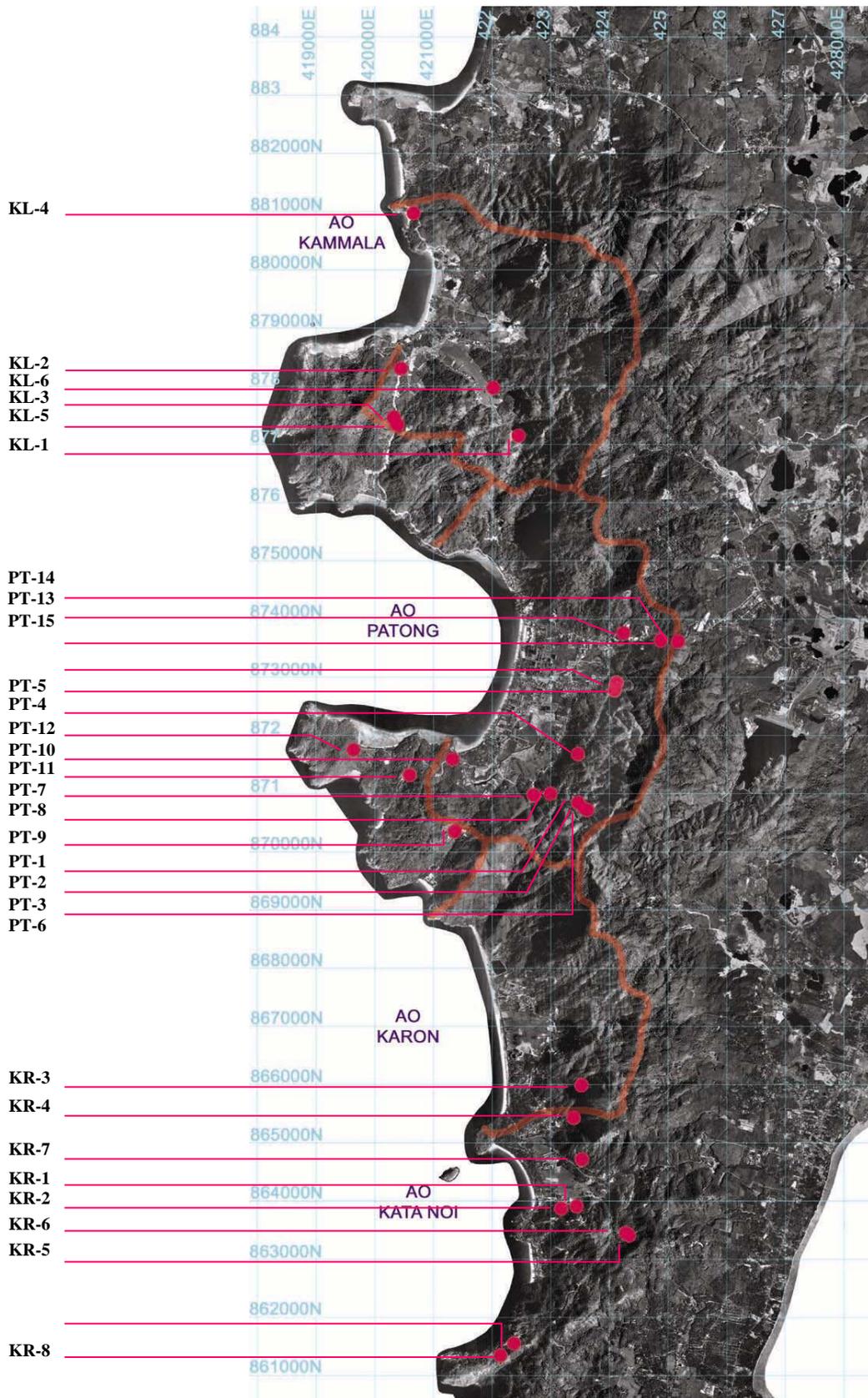
#### 3.1 ผลการสำรวจและเก็บข้อมูลการเกิดดินถล่ม

การสำรวจและเก็บข้อมูลดินถล่ม ได้ดำเนินการครอบคลุมพื้นที่ไหล่เขาทางฝั่งตะวันตกของเกาะภูเก็ต โดยทำการเก็บข้อมูลสถานที่ ตำแหน่ง ลักษณะ และขนาดของดินถล่มที่เกิดขึ้น โดยประสานงานกับเจ้าหน้าที่ส่วนราชการในท้องถิ่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อบต.กมลา เทศบาลป่าตอง อบต.กะรน และเทศบาลกะรน ซึ่งหน่วยงานดังกล่าวได้จัดเตรียมเจ้าหน้าที่เป็นผู้นำคณะผู้วิจัยไปยังบริเวณที่เกิดดินถล่มพร้อมทั้งรายงานข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการสำรวจครั้งนี้ ร่องรอยการเกิดดินถล่มส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างวันที่ 20-22 ตุลาคม 2546 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดฝนตกหนักติดต่อกันหลายวัน โดยผลการสำรวจพบว่ามีร่องรอยการเกิดดินถล่มทั้งสิ้น 30 แห่ง กระจายกันอยู่บริเวณเชิงเขา ดังแสดงในรูปที่ 3-1 ประกอบด้วย

บริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวกมลา	6	แห่ง
บริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวป่าตอง	15	แห่ง
บริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวกะรน	9	แห่ง

รายละเอียดข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจแสดงในภาคผนวก ก. สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3-1 โดยเมื่อพิจารณาข้อมูลดังกล่าว สามารถจำแนกประเภทการเกิดดินถล่มได้ ตามสภาพแวดล้อม และบริเวณที่เกิดได้ดังแสดงในตารางที่ 3-2 โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3-1 ตำแหน่งของดินถล่มบริเวณไหล่เขาทางทิศตะวันตกของเกาะภูเก็ต

ตารางที่ 3-1 ข้อมูลการเกิดดินถล่มบริเวณพื้นที่ไหล่เขาทางทิศตะวันตกของเกาะภูเก็ต

ชื่อรอย แผ่นดินถล่ม	พื้นที่ สำรวจ	สถานที่ตั้ง	ตำแหน่ง		Landslide		ลักษณะดิน	ประเภทดิน	บริเวณ พิบัติ	สภาพ โดยรอบ	สาเหตุ	ขนาดการพิบัติ			ปริมาณดิน ลบลม.	ความถี่
			N	E	ประเภท	วัสดุ						กว้าง	สูง	ลึก		
KL-1	ภมลา	ฝ่ายบางหวาน	877,204	422,399	Slide	Debris	Colluvium	Clayey Gravel	งานดินชุด	พื้นที่ป่า	ฝนตกหนัก	100	3	2	600	60
KL-2	ภมลา	ถนนบางลา-ป่าตอง	878,323	420,464	Slide	Debris	Residual	Clayey Gravel	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	20	2	1	40	60
KL-3	ภมลา	ถนนบางลา-ป่าตอง	877,457	420,351	Slide	Debris	Colluvium	Weathered Rock	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	20	5	2	200	50
KL-4	ภมลา	ถนนบางลา-ป่าตอง	880,992	420,758	Slide	Debris	Colluvium	Gravelly Clay	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	20	3	1	60	60
KL-5	ภมลา	ถนนบางลา-ป่าตอง	877,375	420,426	Slide	Debris	Residual	Gravelly Clay	ลาดถนน	ถนน	ฝนตกหนัก	20	5	2	200	45
KL-6	ภมลา	บ้านบางหวาน	877,928	422,119	Slide	Debris	Residual	Gravelly Clay	เนินเขา	ที่อยู่อาศัย	ฝนตกหนัก	30	10	5	1,500	45
KR-1	กะรน	ถนนโคกตะโหนด	863,940	423,473	Slide	Debris	Colluvium	Clayey Gravel	เนินเขา	ที่อยู่อาศัย	ฝนตกหนัก	30	10	5	1,500	45
KR-2	กะรน	ถนนโคกตะโหนด	863,899	423,216	Slide	Debris	Colluvium	Gravelly Clay	เนินเขา	ที่อยู่อาศัย	ฝนตกหนัก	30	10	2	600	60
KR-3	กะรน	ซอยบูกัก 12	866,006	423,569	Slide	Debris	Residual	Gravelly Clay	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	10	5	2	100	60
KR-4	กะรน	ซอยบูกัก 12	865,459	423,399	Slide	Debris	Colluvium	Weathered Rock	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	20	4	2	160	60
KR-5	กะรน	ถนนลำัดเจ	863,447	424,353	Slide	Debris	Residual	Weathered Rock	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	40	8	3	960	45
KR-6	กะรน	ถนนลำัดเจ	863,477	424,308	Slide	Debris	Residual	Gravelly Clay	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	50	5	1	250	70
KR-7	กะรน	ซอยบูกัก 8	864,757	423,561	Slide	Debris	Colluvium	Clayey Gravel	เนินเขา	ที่อยู่อาศัย	ฝนตกหนัก	100	20	3	6,000	45
KR-8	กะรน	ถนนแหลมมณเฑียร	861,389	422,179	Slide	Debris	Residual	Gravelly Clay	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	1000	8	2	16,000	45
KR-9	กะรน	ถนนแหลมมณเฑียร	861,609	422,415	Slide	Rock	Residual	Rock Fall	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	30	8	2	480	60
PT-1	ป่าตอง	ถนนหัวลำปี่	870,905	423,517	Slide	Debris	Colluvium	Gravelly Clay	ลาดดินบนเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	10	3	1	30	70
PT-2	ป่าตอง	ถนนหัวลำปี่	870,806	423,648	Slide	Debris	Residual	Gravelly Clay	ลาดถนน	ถนน	ฝนตกหนัก	15	5	2	150	45
PT-3	ป่าตอง	ถนนหัวลำปี่	870,779	423,649	Erosion	Debris	Filled Material	Filled Material	ลาดถนน	ถนน	ฝนตกหนัก	5	5	2	50	45
PT-4	ป่าตอง	ถนนหัวลำปี่	871,713	423,501	Slide	Debris	Residual	Gravelly Clay	ลาดถนน	ถนน	ฝนตกหนัก	8	5	1	40	45
PT-5	ป่าตอง	ถนนหัวลำปี่	872,793	424,115	Slide	Debris	Colluvium	Gravelly Clay	เนินเขา	ที่อยู่อาศัย	ฝนตกหนัก	20	10	8	1,600	45
PT-6	ป่าตอง	ถนนหัวลำปี่	872,975	424,128	Slide	Debris	Residual	Weathered Rock	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	5	3	1	15	80
PT-7	ป่าตอง	ถนนหัวลำปี่	870,956	422,734	Slide	Debris	Residual	Gravelly Clay	งานดินชุด	พื้นที่ป่า	ฝนตกหนัก	10	5	1	50	80
PT-8	ป่าตอง	ถนนหัวลำปี่	871,001	423,066	Slide	Debris	Residual	Gravelly Clay	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	10	5	1	50	80
PT-9	ป่าตอง	ถนนศรีราชา	870,413	421,385	Slide	Debris	Residual	Gravelly Clay	งานดินชุด	พื้นที่ป่า	ฝนตกหนัก	30	10	2	600	60
PT-10	ป่าตอง	ถนนหมื่นนรินทร์	871,622	421,362	Slide	Debris	Colluvium	Gravelly Clay	ลาดถนน	ถนน	ฝนตกหนัก	10	5	1	50	45
PT-11	ป่าตอง		871,342	420,636	Slide	Debris	Residual	Gravelly Clay	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	20	8	2	320	70
PT-12	ป่าตอง		871,785	419,698	Slide	Debris	Residual	Gravelly Clay	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	10	6	2	120	45
PT-13	ป่าตอง	ถนนภูเก็ตป่าตอง	873,806	424,263	Slide	Debris	Colluvium	Gravelly Clay	งานดินชุด	พื้นที่ป่า	ฝนตกหนัก	20	3	1	60	70
PT-14	ป่าตอง	ถนนภูเก็ตป่าตอง	873,638	425,211	Slide	Debris	Residual	Weathered Rock	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	10	5	1	50	80
PT-15	ป่าตอง	ถนนภูเก็ตป่าตอง	873,664	424,926	Slide	Debris	Residual	Weathered Rock	เนินเขา	ถนน	ฝนตกหนัก	10	8	1	80	70

**ตารางที่ 3-2 จำแนกลักษณะการเกิดดินถล่มในจังหวัดภูเก็ต**

สภาพพื้นที่	บริเวณที่เกิด Landslide	จำนวน ข้อมูล	ลักษณะดิน	ความลาดชัน	ประเภทของ Landslide	ปริมาณดิน m <sup>3</sup>
ถนนตัดผ่าน	เนินเขา	16	ดินเหนียวปนกรวด	45°-80°	Shallow Slide	100-1,000
	ลาดถนน	5	ดินเหนียวปนกรวด	45°	Shallow Slide	50-200
ที่อยู่อาศัย	เนินเขา	5	ดินเหนียวปนกรวด	45°-60°	Slump	1,000-6,000
แหล่งดินซุด	เนินเขา	4	ดินเหนียวปนกรวด	60°-80°	Shallow Slide	100-600

1. ดินถล่มบริเวณที่มีถนนตัดผ่านไหล่เขา รวบรวมข้อมูลได้ 21 แห่ง โดยเกิดที่บริเวณเนินเขา 16 แห่ง และบริเวณลาดถนน 5 แห่ง ซึ่งลักษณะพื้นที่ของบริเวณดังกล่าวเป็นดังนี้

- บริเวณเนินเขา พื้นที่ที่มีความลาดชันประมาณ 45°-80° มีลักษณะเป็นหินผุ ซึ่งถูกปกคลุมด้วยชั้นดินเหนียวปนกรวดหนาประมาณ 2-4 เมตร ลักษณะการเกิดดินถล่มเป็นการพิบัติของดินส่วนที่ปกคลุมชั้นหิน และส่วนของหินผุที่ถูกซุดเปิดหน้าดินออกมา ปริมาณดินถล่มประมาณ 100-1,000 ลบ.ม. บางแห่งมีปริมาณมากถึง 16,000 ลบ.ม. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ความกว้างของลาดดิน ดังแสดงในรูปที่ 3-2

- ลาดถนน มีความลาดชันประมาณ 45° ดินมีลักษณะเป็นเหนียวปนกรวด ลักษณะการพังเป็นแบบถุกกัดเซาะเนื่องจากข้อมูลที่สำรวจพบ ส่วนใหญ่เป็นบริเวณที่มีท่อลอดเพื่อรับน้ำจากบริเวณข้างเคียงที่มีระดับสูงกว่า เมื่อเกิดฝนตกหนักท่อไม่สามารถระบายน้ำได้ทันจึงเกิดการไหลข้างบนพื้นผิวถนนทำให้เกิดการกัดเซาะและทำไปสู่การพิบัติของลาดถนนได้ ส่วนปริมาณดินถล่มประมาณ 50-200 ลบ.ม. ดังแสดงในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-2 ลักษณะการเกิดดินถล่มบริเวณที่มีถนนตัดผ่านไหล่เขา



รูปที่ 3-3 ลักษณะการเกิดดินถล่มบริเวณลาดถนน

2. ดินถล่มบริเวณเนินเขาที่มีการปลูกสร้างที่อยู่อาศัยใกล้เคียง รวบรวมข้อมูลได้ 5 แห่ง โดยมีความลาดชันประมาณ  $45^{\circ}$ – $60^{\circ}$  มีลักษณะของดินเป็น ดินเหนียวปนกรวด บางแห่งพบลักษณะเป็น หินผุ ซึ่งมีหินลอยขนาดใหญ่ปะปนอยู่ มีลักษณะการพังของดินและหินผุที่ค่อนข้างลึก ปริมาณดินถล่ม ประมาณ 1,000–6,000 ลบ.ม. ดังแสดงในรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 ลักษณะการเกิดดินถล่มใกล้เคียงที่อยู่อาศัย

3. ดินถล่มบริเวณเนินเขาที่เป็นแหล่งดินซุด รวบรวมข้อมูลได้ 4 แห่ง โดยมีความลาดชัน ประมาณ  $60^{\circ}$ – $80^{\circ}$  มีลักษณะของดินเป็นหินผุ ซึ่งถูกปกคลุมด้วยชั้นดินเหนียวปนกรวด ลักษณะการพังเป็นการเลื่อนไถลของดินและหินผุที่ไม่ลึกมาก ปริมาณดินถล่มประมาณ 100–600 ลบ.ม. ดังแสดงในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 ลักษณะการเกิดดินถล่มบริเวณแหล่งดินซุด

ข้อมูลจากการสำรวจข้างต้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณี และข้อมูลลักษณะดินจากกรมพัฒนาที่ดิน จะพบว่าค่อนข้างสอดคล้องกัน กล่าวคือ ลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ไหล่เขาทางทิศตะวันตกของเกาะภูเก็ต เป็นหินแกรนิต ชั้นบนเป็นดินที่เกิดจากการผุพังของหินแกรนิต ซึ่งมีความยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินต่ำ ในชั้นนี้จะพบหินลอยปะปนอยู่ซึ่งเป็นหินแกรนิตส่วนที่ยังไม่ผุพัง

### 3.2 พื้นที่ต้นแบบ (Training Area)

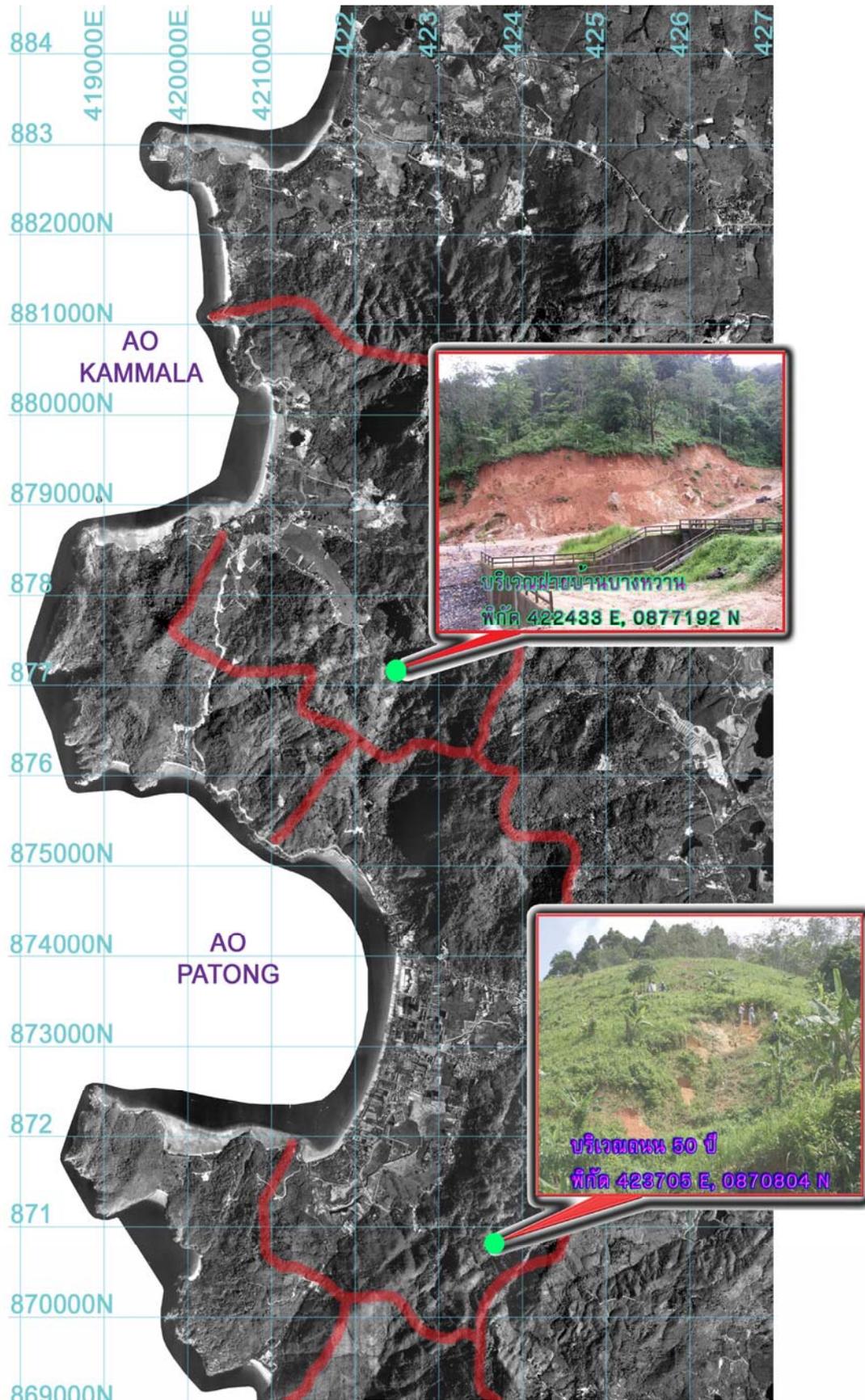
คณะผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกพื้นที่ ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของพื้นที่ทั้งหมด เพื่อใช้ในการศึกษาและติดตามพฤติกรรมของดินที่เปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นในมวลดิน โดยในการเลือกจะพิจารณาจากพื้นที่ที่มีหลักฐานว่าเคยเกิดดินถล่มขึ้นมาก่อนในอดีต และคาดว่าพื้นที่ดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะเกิดดินถล่มได้หากเกิดฝนตกหนัก โดยที่ตำแหน่งที่ตั้งจะแสดงในรูปที่ 3-6

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้คัดเลือกพื้นที่ต้นแบบที่เหมาะสมไว้ 2 พื้นที่ดังนี้

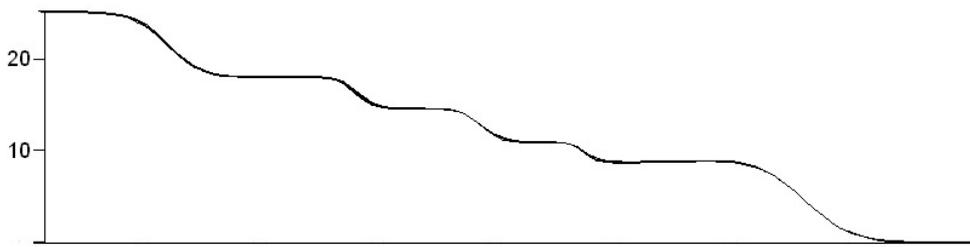
1. บริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวกมลา ข้างฝายน้ำล้นบ้านบางหวาน ตำบลกมลา เขตอำเภอกะทู้ จังหวัดภูเก็ต ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการขุดเปิดหน้าดิน เพื่อนำดินไปใช้ในการก่อสร้างฝายทดน้ำบ้านบางหวาน ลักษณะพื้นที่โดยทั่วไปเป็นป่าไม้อย่างพารา ผิวดินมีลักษณะเป็นดินเหนียวปนกรวด ถัดจากส่วนนี้ลงไปเป็นชั้นดินทราย คล้าย Granitics Soil มีความลาดชันประมาณ  $31^{\circ}$  ดังแสดงในรูปที่ 3-7

2. บริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวป่าตอง ริมถนนห้าสิบปี ตำบลป่าตอง เขตอำเภอกะทู้ จังหวัดภูเก็ต ลักษณะภูมิประเทศมีต้นไม้เล็ก ๆ ขึ้นปกคลุมทั่วบริเวณ และลักษณะดินจะเห็นว่าส่วนผิวดินเป็นดินเหนียวปนทราย มีไมก้าเป็นแผ่นเล็ก ๆ ปนเล็กน้อย ถัดจากส่วนนี้เป็นดินทรายสีน้ำตาล คล้าย Granitics Soil มีความลาดชันของพื้นที่ประมาณ  $26$  องศา ดังรูปที่ 3-8

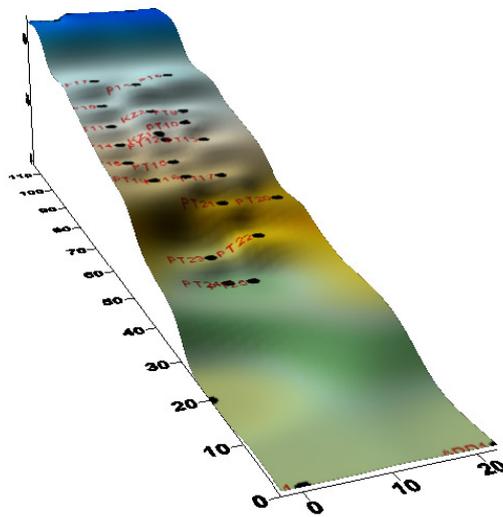
ภายในบริเวณพื้นที่ต้นแบบที่คัดเลือกไว้ ได้กำหนดให้ทำการสำรวจและทดสอบคุณสมบัติของดินในสนาม และในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งชุดบ่อสังเกตการณ์ เพื่อทดสอบและเก็บตัวอย่างดิน รวมทั้งทำการติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรมของดิน ที่สัมพันธ์กับปริมาณฝนในระยะยาวด้วย



รูปที่ 3-6 ตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ต้นแบบ (Training Area)



รูปที่ 3-7 ลักษณะพื้นที่ต้นแบบบริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวกมลาข้างฝายน้ำล้นบ้านบางหวาน



รูปที่ 3-8 ลักษณะพื้นที่ต้นแบบบริเวณไหล่เขาเหนืออ่าวป่าตองริมถนนห้าสิบปี

### 3.3 ผลการสำรวจและทดสอบคุณสมบัติของดิน

การสำรวจและทดสอบคุณสมบัติของดินในบริเวณพื้นที่ต้นแบบประกอบด้วย การทดสอบคุณสมบัติดินในสนาม การเก็บตัวอย่างดิน และการทดสอบคุณสมบัติดินในห้องปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.3.1 การทดสอบคุณสมบัติของดินในสนาม

สำหรับการทดสอบคุณสมบัติดินในสนามประกอบด้วย การทดสอบความหนาแน่นของดินด้วยวิธี Nuclear Density Test และการหยั่งชั้นดิน และการทดสอบกำลังของดินโดยวิธี Kunzelstab Penetrometer

### 1. การทดสอบหาความหนาแน่นของดินโดยวิธี Nuclear Density Test

เป็นวิธีการทดสอบหาความหนาแน่นของดินด้วยเครื่องมือทดสอบ Nuclear Density รุ่น CPN/MC-1DR Portaprobe ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ซึ่งสามารถตรวจวัดได้ทั้งค่าความหนาแน่นเปียก ความหนาแน่นแห้งของดิน และความหนาแน่นของน้ำในมวลดิน ตลอดจนถึงค่าปริมาณน้ำในดินได้อีกด้วย

การทดสอบนี้จะถูกนำมาใช้วัดค่าความหนาแน่นและปริมาณน้ำในมวลดินทันทีหลังจากขุดถึงระดับที่ต้องการวัดค่า ลักษณะการดำเนินการทดสอบ แสดงในรูปที่ 3-9 โดยทำการตรวจวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ในบริเวณพื้นที่ต้นแบบทั้งสองแห่ง ซึ่งผลการทดสอบในพื้นที่อ่าวกมลาแสดงในตารางที่ 3-3 ส่วนพื้นที่อ่าวป่าตองแสดงในตารางที่ 3-4 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ในพื้นที่บริเวณอ่าวกมลาการตรวจวัดในบ่อสังเกตการณ์ที่ความลึก 1.00 เมตร 1.45 เมตร และ 2.00 เมตร มีค่า ความหนาแน่นแบบเปียก ประมาณ 1.77- 1.87 ตัน/ตร.ม และมีค่าปริมาณน้ำในมวลดิน ขณะฝนตกที่ประมาณ 34.76-39.76 % ส่วนบริเวณลาดตัดดิน ทำการวัดตามแนวตัดดินจากระดับ 2.00 เมตร 5.00 เมตร ด้านซ้ายและขวา และที่ 13.00 เมตร จากผิวดินเดิม ได้ค่าความหนาแน่นเปียกที่มีค่าสูงขึ้นตามความลึกจาก 1.68-1.90 ตัน/ตร.ม และความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 20.72-44.77 %

ส่วนในพื้นที่บริเวณอ่าวป่าตองได้ทำการตรวจวัดในบ่อสังเกตการณ์ที่ความลึก 0.45 เมตร 1.00 เมตร 1.50 เมตร และ 2.00 เมตร มีค่าความหนาแน่นแบบเปียก ประมาณ 1.73-1.97 ตัน/ตร.ม และมีค่าปริมาณน้ำในมวลดิน ขณะทำการทดสอบที่ประมาณ 27.02-39.43 % ส่วนบริเวณแนวลาดพิบัติของดิน ทำการวัดตามแนวพิบัติจากระดับ 1.00 เมตร 2.00 เมตร 3.00 เมตร และ 4.00 เมตร จากผิวดินเดิม ได้ค่าความหนาแน่นเปียกที่มีอยู่ในช่วง 1.65-1.85 ตัน/ตร.ม และความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง 18.92-21.73%

คุณสมบัติของชั้นดินที่ตรวจวัดได้นี้ จะนำมาใช้ประกอบในการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน และสามารถคำนวณหาค่าความอิ่มตัวของน้ำในมวลดินที่ความลึกต่างๆ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของการเกิดการพิบัติของลาดดิน



ก. การทดสอบบริเวณลาดดิน



ข. การทดสอบในบ่อสังเกตการณ์

รูปที่ 3-9 ลักษณะการดำเนินการทดสอบ Nuclear Density Test

ตารางที่ 3-3 ผลการทดสอบด้วยเครื่อง Nuclear density ของพื้นที่อ่าวกมลา

Depth (m)	บ่อสังเกตการณ์ (Observation pit)		
	Wet Density (t/m <sup>3</sup> )	Dry Density (t/m <sup>3</sup> )	Water content (%)
1.00	1.871	1.388	34.760
1.45	1.770	1.285	37.840
2.00	1.826	1.308	39.760
Depth (m)	แนวตัดลาดดิน		
	Wet Density (t/m <sup>3</sup> )	Dry Density (t/m <sup>3</sup> )	Water content (%)
2.00	1.691	1.168	44.770
5.00R	1.680	1.257	33.980
5.00L	1.750	1.245	41.390
13.00	1.901	1.576	20.720

ตารางที่ 3-4 ผลการทดสอบด้วยเครื่อง Nuclear density ของพื้นที่อ่าวป่าตอง

Depth (m)	บ่อสังเกตการณ์ (Observation pit)		
	Wet Density (t/m <sup>3</sup> )	Dry Density (t/m <sup>3</sup> )	Water content (%)
0.45	1.975	1.582	27.020
1.00	1.789	1.370	30.550
1.50	1.746	1.258	39.430
2.00	1.737	1.319	31.750
Depth (m)	แนวลาดพิบัติดิน		
	Wet Density (t/m <sup>3</sup> )	Dry Density (t/m <sup>3</sup> )	Water content (%)
1.00	1.848	1.519	21.720
2.00	1.759	1.456	20.860
3.00	1.655	1.359	21.730
4.00	1.743	1.465	18.920

## 2. การหยั่งทดสอบ Kunzelstab Penetrometer

การทดสอบ Kunzelstab Penetration หรือวิธี Light Ram Sounding Test เป็นวิธีการหยั่งทดสอบชั้นดินในสนามในมาตรฐาน DIN 4094 ของประเทศเยอรมันนี โดยใช้แรงกระแทกส่งแท่งทดสอบผ่านชั้นดินลงไป เป็นการทดสอบกำลังต้านทานที่ปลายของหัวหยั่ง (Cone Head) โดยไม่เกิดแรงเสียดทานขึ้นที่ก้านเจาะ เนื่องจากหัวเจาะมีขนาดใหญ่กว่าก้านเจาะ กล่าวคือ หัวเจาะรูปกรวยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ก้านเจาะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ค้อนตอกหนัก 10 กิโลกรัม มีระยะยก 50 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยนับจำนวนครั้งของการตอกทุกระยะ 20 เซนติเมตร (blows/20 cm.) ซึ่งแรงต้านการเคลื่อนที่ของแท่งทดสอบสามารถใช้ประมาณค่ากำลัง และความหนาของชั้นดิน ผลของการทดสอบที่ได้นี้จะทำให้ทราบสมบัติทางกายภาพของชั้นดินในเบื้องต้น

วิธีการหยั่งทดสอบนี้สามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง สำหรับในประเทศไทยก็มีการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ใช้วิธีนี้ ในการทดสอบกำลังของดินสำหรับการก่อสร้างเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง และได้เก็บข้อมูลหาความสัมพันธ์ของผลทดสอบกับกำลังรับน้ำหนักของดินดังแสดงในภาคผนวก ข. ซึ่งวิธีนี้สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายเนื่องจากมีน้ำหนักเบาจึงเหมาะกับบริเวณภูเขาสูง ป่ารก หรือบริเวณที่ห่างจากถนนมาก ๆ วิธีนี้ทำได้อย่างรวดเร็วและประหยัดกว่าการเจาะสำรวจ ผลของการหยั่งก็ยังสามารถบอกให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินนั้นได้ สำหรับค่าการตอกทดสอบโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าการตอกทดสอบมาตรฐานโดย Terzaghi และ Peck (1967) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินได้ ดังในตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง N กับความแข็งแรงของดินเม็ดหยาบ

N (blows/ft)	KPT (EGAT) (blows/20 cm)	Angle of internal friction, $\phi$ (degree)	Relative density
0-4	0-6	25-30	very loose
4-10	6-18	27-32	loose
10-30	18-55	30-35	medium
30-50	55-92	35-40	dense
> 50	> 92	38-45	very dense

หมายเหตุ : EGAT หมายถึงการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ที่มา: นงลักษณ์ (2546)

การสำรวจโดยการหยั่งชั้นดินใน 2 พื้นที่ต้นแบบ ซึ่งยากที่จะนำอุปกรณ์ขนาดใหญ่เข้าไปในพื้นที่ ทำให้เลือกใช้ Kunzelstab Penetration Test สามารถทำการหยั่งทดสอบได้จนถึงความลึกประมาณ 8-9 เมตร ลักษณะการดำเนินการทดสอบแสดงในรูปที่ 3-10 โดยมีผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3-11 และ 3-12

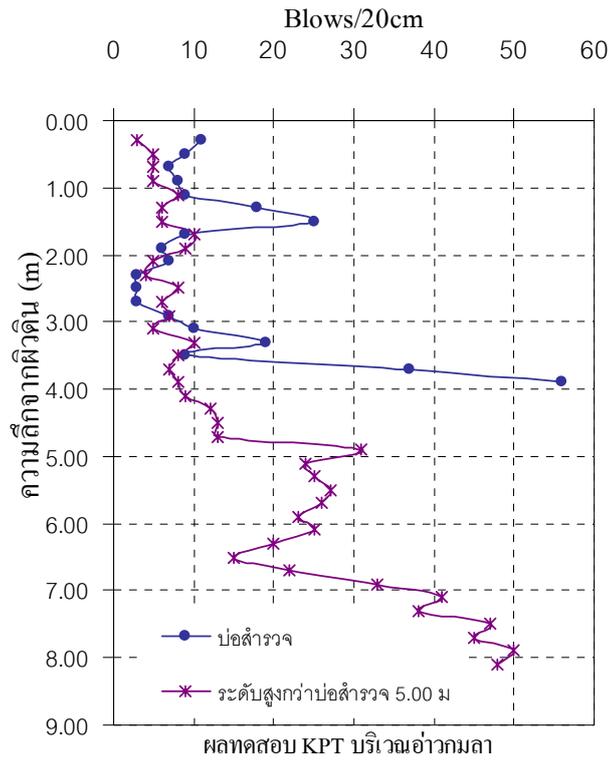


ก. ลักษณะของหัวตอกทดสอบ

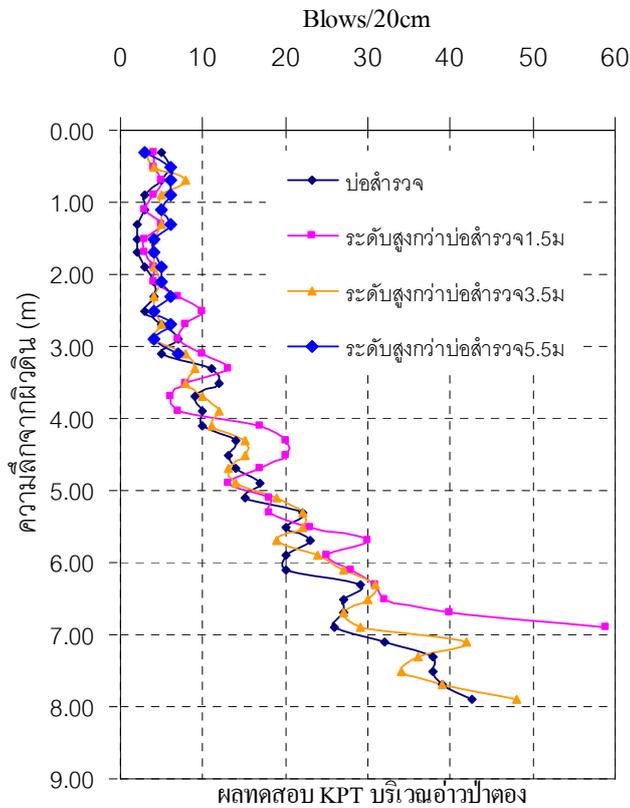


ข. ลักษณะการตอกทดสอบในสนาม

รูปที่ 3-10 ลักษณะการดำเนินการทดสอบ Kunzelstab Penetration



รูปที่ 3-11 ผลการหยั่งทดสอบชั้นดินของพื้นที่อ่าวกมลา



รูปที่ 3-12 ผลการหยั่งทดสอบชั้นดินของพื้นที่อ่าวป่าตอง

- ผลการหยั่งทดสอบในพื้นที่อ่าวกมลา พบชั้นดินหลวมมากถึงหลวม (Very Loose to Loose) อยู่ชั้นบนจนถึงความลึกประมาณ 2.5 เมตร มีค่า KPT  $\approx 3 - 10$  blows/20cm และพบชั้นดินแน่นปานกลาง (Medium) ที่ความลึกประมาณ 5 เมตรลงไป

- ผลการหยั่งทดสอบในพื้นที่อ่าวป่าตอง พบชั้นดินหลวมมากถึงหลวม (Very Loose to Loose) จากผิวดินจนถึงความลึกที่ประมาณ 3 เมตร (KPT  $\approx 3-8$  blows/20cm) และดินมีความแน่นขึ้นเรื่อยๆตามความลึก

จากผลการทดสอบ KPT สามารถนำมาพิจารณาความแข็งแรงของชั้นดินได้ว่า ในส่วนบนของลาดดินพบชั้นดินหลวมมากถึงหลวมอยู่ที่ความลึกประมาณ 3-4 เมตร ด้านล่างของลาดดินไม่พบชั้นหินที่ชัดเจน แต่ลาดดินมีแนวโน้มแข็งแรงมากขึ้นเมื่อชั้นดินลึกมากขึ้น บริเวณพื้นที่อ่าวกมลา ผลการทดสอบแสดงให้เห็นผลการหยั่งที่อาจพบชั้นหินลอยเป็นช่วง ๆ ที่ไม่สามารถตอกทดสอบลงไปได้ ผลการหยั่งนี้เป็นผลการทดสอบด้านกำลังของดินแบบเป็นช่วง ๆ ตามความลึก มีประโยชน์ในการใช้ประกอบกับผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในห้องปฏิบัติการของตัวอย่างดินที่ถูกเก็บแบบไม่ถูกรบกวนด้วยกระบอกบาง

### 3.3.2 การเก็บตัวอย่างดินในสนาม

การเลือกตำแหน่งของหลุมสำรวจดินบนพื้นที่ลาดดินที่มีศักยภาพต่อการถล่ม สามารถเป็นตัวแทนของดินบริเวณนั้นได้ การสำรวจครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินในหลุมที่ถูกขุดเพื่อใช้ในการตรวจวัดพฤติกรรมของดิน และตามแนวลาดดินเพื่อดูลักษณะชั้นดิน ทำการทดสอบ Pocket penetration และเก็บตัวอย่างสำหรับทดสอบความชื้นในดิน สำหรับพื้นที่สำรวจได้ทำการเก็บตัวอย่าง 2 ตำแหน่งด้วยกัน คือ ตำแหน่งในบ่อสังเกตการณ์ (Observation pit) และตำแหน่งของลาดดินถล่ม โดยมีจำนวนตัวอย่างดังในตารางที่ 3-6 และ 3-7 ลักษณะการเก็บตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3-13

ตารางที่ 3-6 จำนวนตัวอย่างดินของพื้นที่อ่าวกมลา

บ่อสังเกตการณ์ (Observation pit)	Depth (m)				
	0.40	0.80	1.20	2.00	2.80
จำนวนตัวอย่าง Undisturbed		15 PVC		15 PVC	
จำนวนตัวอย่าง Disturbed	2 kg	2 kg	2 kg	2 kg	2 kg
แนวตัดลาดดิน	Depth (m)				
	2.00	5.00R	5.00L	13.00	
จำนวนตัวอย่าง Undisturbed	15 PVC	15 PVC	15 PVC	15 PVC	
จำนวนตัวอย่าง Disturbed	2 kg	2 kg	2 kg	2 kg	



รูปที่ 3-13 แสดงลักษณะและการเก็บตัวอย่างดินในสนาม

## ตารางที่ 3-7 จำนวนตัวอย่างดินของพื้นที่อ่าวป่าตอง

บ่อสังเกตการณ์ (Observation pit)	Depth (m)						
	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
จำนวนตัวอย่าง Undisturbed					15 PVC		
จำนวนตัวอย่าง Disturbed	2 kg	2 kg	2 kg	2 kg	2 kg	2 kg	2 kg
แนวลาดพิบัติดิน	Depth (m)						
	1.80		4.00		7.00		10.00
จำนวนตัวอย่าง Undisturbed	15 PVC		15 PVC		15 PVC		15 PVC
จำนวนตัวอย่าง Disturbed	2 kg		2 kg		2 kg		2 kg

ในการเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของลาดดินธรรมชาติ จะต้องทำการเก็บตัวอย่างดินที่สามารถเป็นตัวแทนของลาดดินธรรมชาติได้ โดยแบ่งการเก็บตัวอย่างดินเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นตัวอย่างคงสภาพ (Undisturbed Sample) สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน และ ตัวอย่างแปรสภาพ (Disturbed sample) สำหรับทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ

ในส่วนที่เป็น Undisturbed samples คือ การเก็บด้วยกระบอเก็บตัวอย่างทำด้วยพลาสติกแข็ง (Polyvinyl chloride, PVC) ทรงกระบอมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว สูง 2 นิ้ว หนา 1.40 มม. ลักษณะของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง PVC บรรจุอยู่ในกระบอ Stainless Steel ออกแบบมาเพื่อเก็บตัวอย่างคงสภาพ (Undisturbed Sample) คล้ายการเก็บตัวอย่างด้วยกระบอเก็บตัวอย่างเปลือกบาง มีค่า Area Ratio 13% กระบอเก็บตัวอย่างลักษณะนี้ได้ถูกออกแบบเป็นพิเศษ เพื่อความสะดวกในการนำตัวอย่างดินมาทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในห้องปฏิบัติการแบบ Direct shear Test แล้วทำการจัดเก็บตัวอย่างดินโดยการเคลือบ wax และห่อด้วยพลาสติกกันกระแทกในกล่องโฟม เพื่อให้เกิดการสะท้อนให้น้อยที่สุด

และส่วนที่เป็น Disturbed Sample เป็นการเก็บตัวอย่างดินแปรสภาพ ทำให้สะดวกและประหยัดเวลาในการเก็บตัวอย่าง โดยการเก็บตัวอย่างดินประมาณตัวอย่างละ 2 กิโลกรัม เพื่อใช้ในการทดสอบสมบัติขั้นพื้นฐานต่างๆ ของดิน เช่น Atterberg's Limit, Specific Gravity, Gradation Test, Sieve Analysis

### 3.3.3 การทดสอบคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการ

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างดินที่ได้จากการสำรวจประกอบด้วย

- Natural Water Content
- Atterberg's limits
- Specific gravity
- Unit weight
- Grain-size distribution

เพื่อนำมาจำแนกชนิดของดิน และเพื่อนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมต่อไป โดยผลการทดสอบจะแสดงในภาคผนวก ค. และสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3-8 สำหรับดินตัวอย่างบริเวณอ่าวกมลา และตารางที่ 3-9 สำหรับดินตัวอย่างบริเวณอ่าวป่าตอง

จากข้อมูลในตารางทั้งสอง พบว่าชั้นดินในพื้นที่ต้นแบบ (Training Area) ในบริเวณหาดกมลา และหาดป่าตอง แบ่งได้เป็น 2 ชั้นดิน และมีลักษณะทางกายภาพใกล้เคียงกัน โดยในชั้นแรกมีลักษณะเป็นดินเหนียวปนทรายมีค่า PI ประมาณ 10-15% และดินในชั้นที่ 2 มีลักษณะเป็น Granitics Soil (Completely decomposed granite) เป็นดิน Non Plastic ค่า Specific Gravity ประมาณ 2.65 และ  $\gamma_t$  ประมาณ 1.75 t/m<sup>3</sup> ใกล้เคียงกันทั้ง 2 ชั้น ดังรูปที่ 3-14 และ 3-15

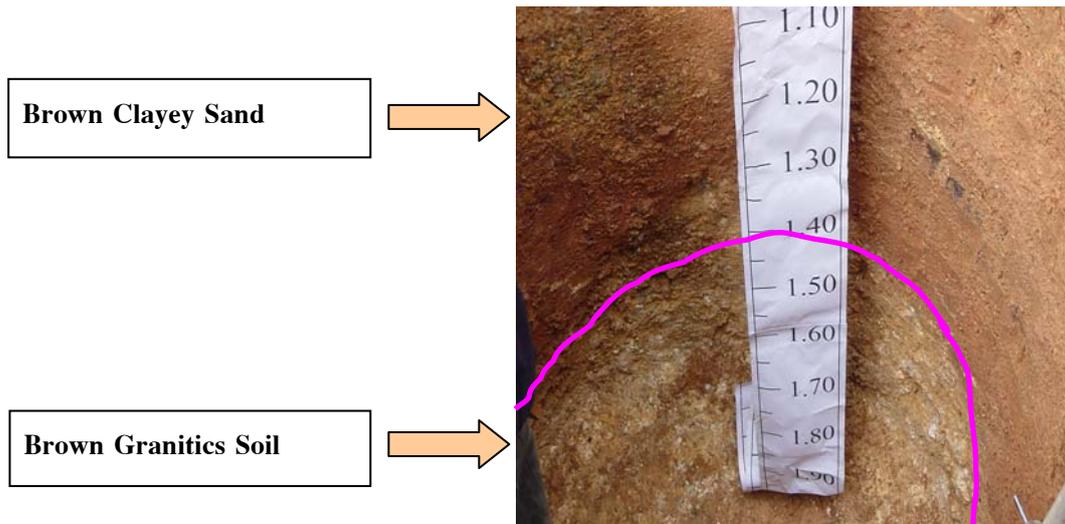


ตารางที่ 3-8 คุณสมบัติของตัวอย่างดินบริเวณเหนืออ่าวภุมล

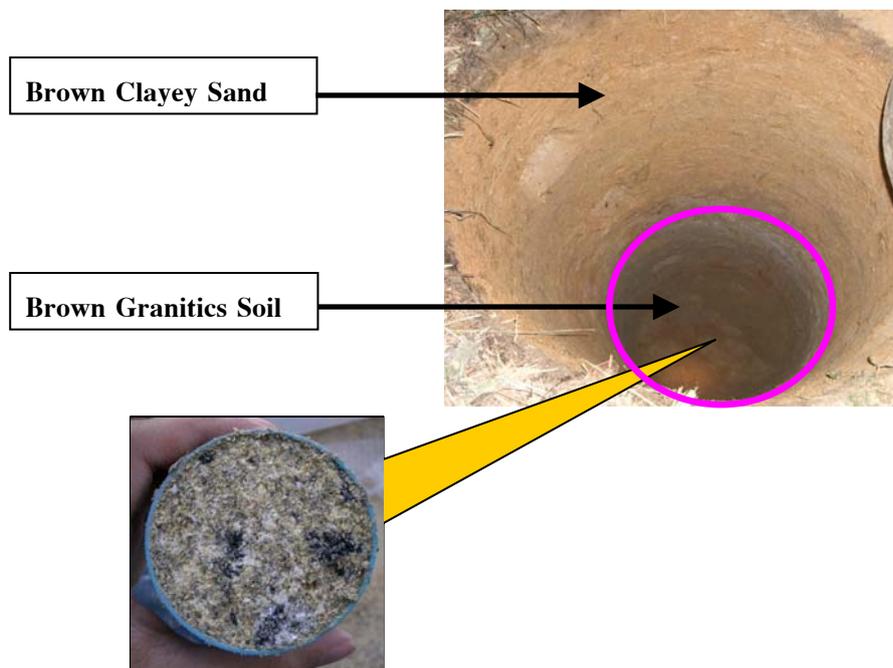
Location	Depth m	Soil Description	USCS	Atterberg's Limits			Specific Gravity	$\gamma_t$ ( $t/m^3$ )	Wn %
				LL	PL	PI			
บริเวณบ่อสังเกตการณ์									
KML_0.40T1Well	0.4	Brown Clayey Sand	MH	54.15	35.10	19.05	2.62		30.39
KML_0.80T2Well	0.8	Brown Clayey Sand	ML	47.04	31.59	15.44	2.61	1.78	24.38
KML_1.20T3Well	1.2	Red Brown Clayey Sand	SM	36.80	27.01	9.79	2.63		
KML_2.00T4Well	2.0	Brown Granitics Soil	SM	29.43	26.65	2.79	2.61	1.85	25.07
KML_2.80T5Well	2.8	Brown Granitics Soil	SM	Non Plastic			2.64		
บริเวณแนวตัดลาดดิน									
KML_2.00Cliff	2.0	Red Sand	SM	30.73	26.86	3.87	2.64	1.51	24.53
KML_5.00RCliff	5.0	Red Sand	SM	Non Plastic			2.63	1.62	30.57
KML_5.00LCliff	5.0	Red Sand	SM	Non Plastic			2.62	1.6	27.41
KML_13.00Cliff	13.0	Brown Sand	SM	Non Plastic			2.63	1.73	21.19

ตารางที่ 3-9 คุณสมบัติของตัวอย่างดินบริเวณเหนืออ่าวป่าตอง

Location	Depth m	Soil Description	USCS	Atterberg's Limits			Specific Gravity	$\gamma_t$ ( $t/m^3$ )	Wn %
				LL	PL	PI			
บริเวณบ่อสังเกตการณ์									
PT_1.00Well	1.0	Brown Clayey Sand	SM	44.60	33.18	11.42	2.67		
PT_1.30Well	1.3	Brown Clayey Sand	SM	40.15	27.63	12.52	2.65		
PT_2.00Well	2.0	Brown Clayey Sand	SM	37.62	31.86	5.75	2.66		
PT_2.50Well	2.5	Brown Granitics Soil	SM	35.33	32.36	2.97	2.64		
PT_3.00Well	3.0	Brown Granitics Soil	SM	31.75	28.60	3.15	2.64	1.64	25.72
PT_3.50Well	3.5	Brown Granitics Soil	SM	Non Plastic			2.63		
PT_4.00Well	4.0	Brown Granitics Soil	SM	Non Plastic			2.65		
บริเวณลาดพิบัติดิน									
PT_1.80LS	1.8	Brown Clayey Sand	SM	44.29	32.05	12.24	2.64	1.78	25.41
PT_4.00LS	4.0	Brown Sand	SM	35.69	29.28	6.40	2.65	1.64	21.85
PT_7.00LS	7.0	Red Brown Sand	SM	Non Plastic			2.65	1.47	23.37
PT_10.00LS	10.0	Red Brown Sand	SM	Non Plastic			2.66	1.52	19.46



รูปที่ 3-14 แสดงลักษณะชั้นดินในหาดกมลา



รูปที่ 3-15 แสดงลักษณะชั้นดินในหาดป่าตอง

จากการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการและในสนาม ทั้งด้านคุณสมบัติด้านกายภาพ และด้านกำลังเบื้องต้น ได้แบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 2 กลุ่ม ตามพื้นที่คือ

- พื้นที่อ่าวกมลา (KML)
- พื้นที่อ่าวป่าตอง (PT)

ตารางที่ 3-10 กลุ่มตัวอย่างดินจากพื้นที่ลาดเขาอ่าวกมลและลาดเขาอ่าวป่าตอง

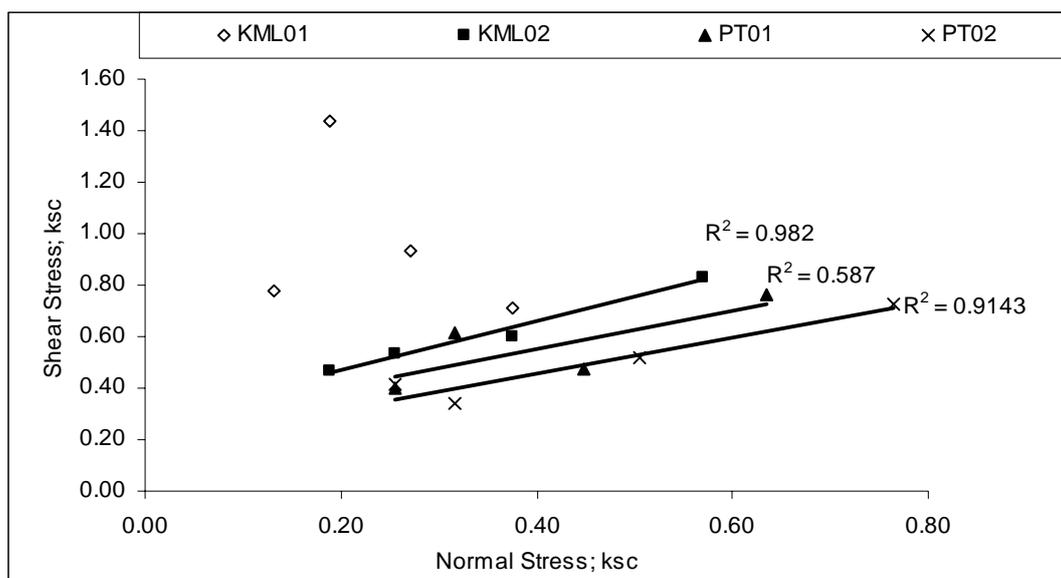
Location	Depth (m)	USCS	Atterberg's Limits			$\gamma_t$ (t/m <sup>3</sup> )	Gs
			LL	PL	PI		
KML01	0 - 1.50	ML	47.04	31.59	15.44	1.800	2.612
KML02	1.50 - 8.00	SM	Non Plastic			1.779	2.607
PT01	0 - 2.20	SM	35.69	29.28	6.40	1.653	2.646
PT02	2.20 - 8.00	SM	31.75	28.60	3.15	1.667	2.638

สำหรับการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางด้านกำลังรับแรงเฉือนของดินนั้น คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบ Direct shear Test โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบที่ความชื้นเริ่มต้น (Conventional Direct Shear Test) เพื่อหาลังรับแรงเฉือนที่สภาวะธรรมชาติ และการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้น แบบ Multi-stage Direct Shear Test เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความชื้นในมวลดิน โดยผลการทดสอบ Direct shear จะแสดงในภาคผนวก ค. ซึ่งผลการทดสอบที่สภาวะความชื้นธรรมชาติสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3-11 และรูปที่ 3-16

ตารางที่ 3-11 ตารางผลการทดสอบกำลังรับแรงของดิน แบบ Conventional Direct Shear ที่ความชื้นธรรมชาติ

Location	C; (ksc)	$\phi$	Wn %
KML01	*	*	20.263
KML02	0.277	43.52	22.250
PT01	0.260	36.27	18.010
PT02	0.182	34.75	20.217

\* ผลการทดสอบมีความแปรปรวนสูง ไม่สามารถหาค่าได้



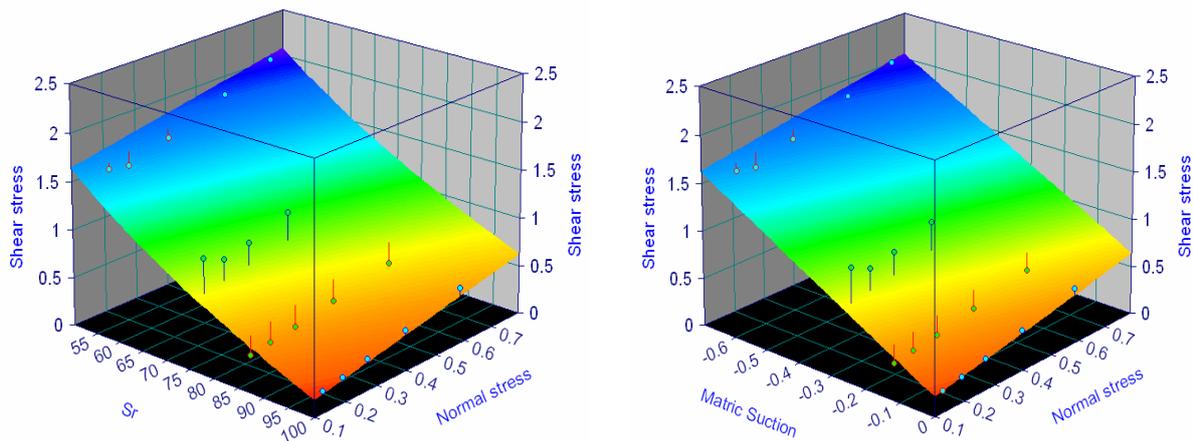
รูปที่ 3-16 ผลการทดสอบกำลังรับแรงของดินแบบ Conventional Direct Shear ที่ความชื้นธรรมชาติ

ในส่วนของการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนที่มีการเปลี่ยนแปลงความชื้น แบบ Multi-stage Direct Shear สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3-12

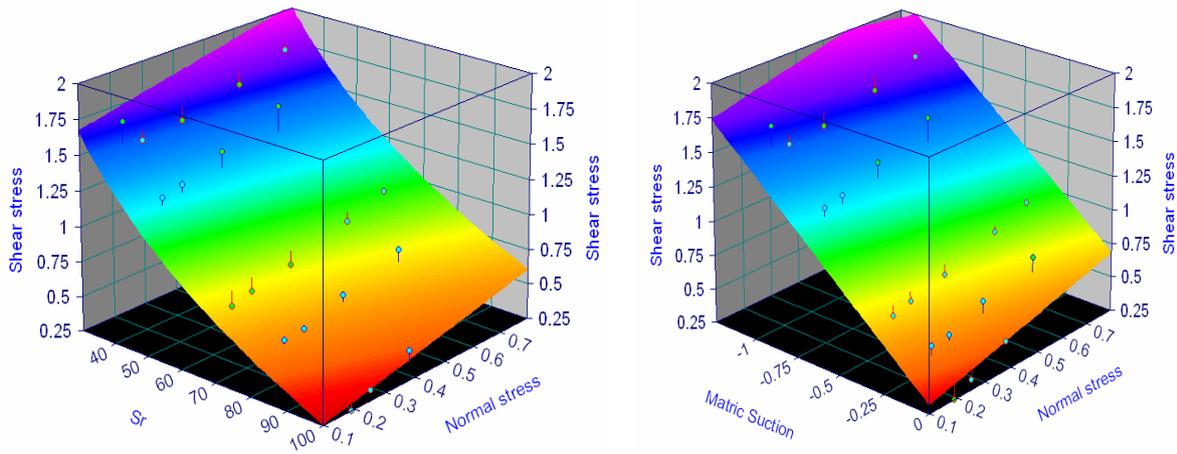
ตารางที่ 3-12 ผลการทดสอบกำลังรับแรงของดินแบบ Multi-stage Direct Shear ที่ระดับความอิ่มตัวต่างๆ

%Sr	30		40		50		60		70		80		90		100	
Location	C	$\phi$														
KML01					1.30	50.03			0.99	43.96	0.23	31.46			0.12	37.67
KML02	1.60	29.35	1.08	40.72			0.54	32.70			0.42	34.27			0.00	47.38
PT01	1.08	13.64	0.61	33.91	0.35	33.96	0.20	34.38	0.15	35.20	0.05	36.94			0.00	33.76
PT02	0.40	33.36			0.29	35.07					0.16	36.64	0.06	41.46	0.00	37.35

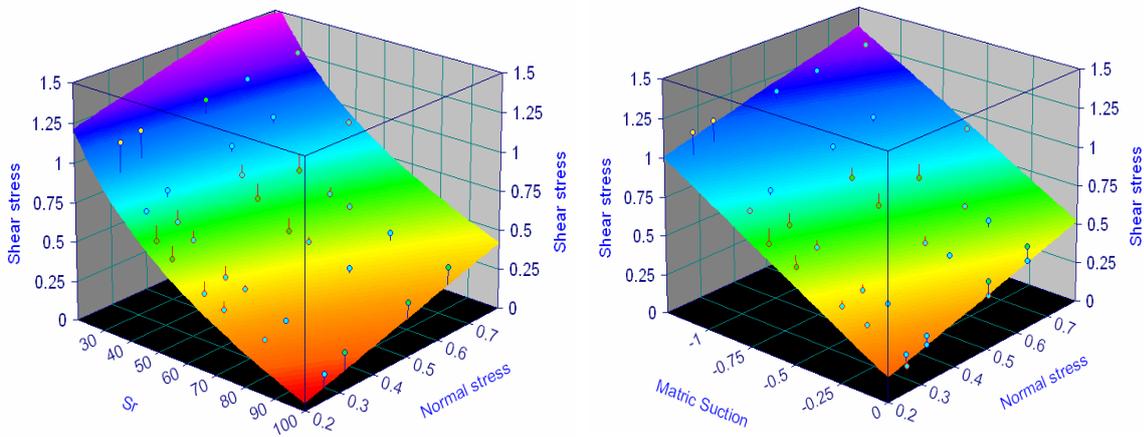
ผลการทดสอบสามารถนำเสนอในรูปแบบ 3 แกน ของค่า กำลังรับแรงเฉือน (Shear stress) หน่วยแรงกด (Normal load) และ เปอร์เซ็นต์ความอิ่มตัวของน้ำ (% Saturation) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนที่ลดลงเมื่อตัวอย่างดินมีความอิ่มตัวมากขึ้น หรือสามารถนำเสนอในรูปแบบของกำลังรับแรงเฉือนที่ลดลงเมื่อค่าแรงดึงน้ำในมวลดินมีค่าลดลง ผลการทดสอบทั้งหมดของตัวอย่างดินในพื้นที่อ่าวกมลและพื้นที่อ่าวป่าตองแสดงไว้ในรูปที่ 3-17 ถึง 3-20



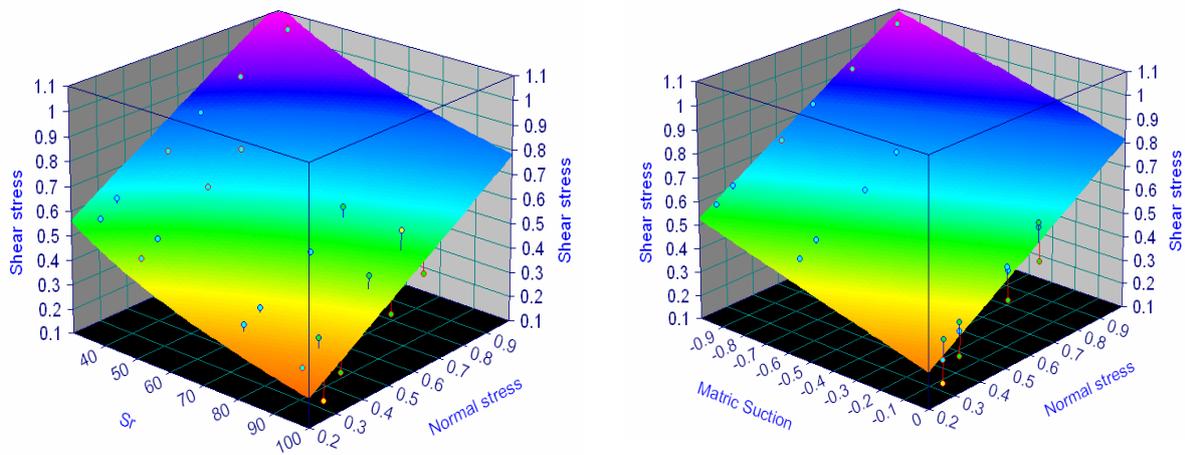
รูปที่ 3-17 ผลการทดสอบ Direct shear ของตัวอย่าง KML01 ในรูปแบบ 3 แกน



รูปที่ 3-18 ผลการทดสอบ Direct shear ของตัวอย่าง KML02 ในรูปแบบ 3 แกน



รูปที่ 3-19 ผลการทดสอบ Direct shear ของตัวอย่าง PT01 ในรูปแบบ 3 แกน



รูปที่ 3-20 ผลการทดสอบ Direct shear ของตัวอย่าง PT02 ในรูปแบบ 3 แกน

การลดลงของกำลังรับแรงเฉือนเมื่อมวลดินมีความอิ่มตัวเพิ่มขึ้นหรือเมื่อมวลดินสูญเสียแรงดึงน้ำในมวลดิน สามารถอธิบายได้โดย ค่า C (Cohesion) ในแต่ละผลการทดสอบจะมีค่าน้อยลงเมื่อดินอิ่มตัวมากขึ้นจนมีค่าใกล้ศูนย์ ที่ค่าความอิ่มตัวเข้าสู่ 100% เนื่องจากน้ำเข้าไปอยู่ในช่องว่างมากขึ้นแล้วไหลเชื่อมต่อกัน ทำให้แรงดึงผิวถูกทำลายค่า Cohesions ลดลง ซึ่งปรากฏการณ์นี้เปรียบเสมือนเมื่อมวลดินบนลาดเขาสูญเสียค่าแรงดึงน้ำนี้เมื่อต้องรับกับปริมาณฝนที่มากขึ้น ดังนั้นเมื่อสามารถพัฒนาระบบตรวจวัดแรงดึงน้ำในมวลดิน (Matric Suction) หรือความอิ่มตัวของน้ำในมวลดินได้อย่างแม่นยำ ก็สามารถทราบกำลังรับแรงเฉือนที่ลดลง อันเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขา ซึ่งเป็นการนำไปสู่ระบบการเตือนภัยที่มีประสิทธิภาพต่อไป

ความสัมพันธ์ของค่า Shear stress, Normal stress และ Degree of saturation โดยใช้ความสัมพันธ์ในแกนของ Degree of saturation ในรูปของ  $\ln$  และสามารถหาสมการได้ดังสมการที่ 1-4 ดังนี้

$$\text{KML01} \quad \tau = 9.775 + 0.632\sigma - 2.097\ln(S) \quad r^2 = 0.909 \quad (1)$$

$$\text{KML02} \quad \tau = 5.609 + 0.494\sigma - 1.173\ln(S) \quad r^2 = 0.968 \quad (2)$$

$$\text{PT01} \quad \tau = 3.246 + 0.618\sigma - 0.720\ln(S) \quad r^2 = 0.937 \quad (3)$$

$$\text{PT02} \quad \tau = 1.398 + 0.707\sigma - 0.287\ln(S) \quad r^2 = 0.972 \quad (4)$$

### 3.4 การติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมในสนาม

#### 3.4.1 การติดตั้ง Tensiometer

Tensiometer เป็นเครื่องมือวัดแรงดึงน้ำในมวลดิน (Matric Suction) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของ Residual soil ซึ่งค่าแรงดึงน้ำในมวลดิน (Matric Suction) นี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้กำลังรับแรงเฉือนของมวลดินเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีฝนตก เป็นผลให้เกิดการพังทลายของลาดดิน แต่เนื่องจากแรงดึงน้ำในมวลดินนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม และภูมิอากาศจึงจำเป็นต้องทำการติดตั้ง Tensiometer ไว้ที่ระดับความลึกต่างๆ ในบ่อสังเกตการณ์ (Observation Pit) ในทั้งสองพื้นที่ต้นแบบ (Training Area) พร้อมทั้งเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดได้สัมพันธ์กับข้อมูลน้ำฝนที่ได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนอัตโนมัติ (Rain gauge with Datalogger) พร้อมกันไว้ที่อาคารถาวรใกล้เคียงกับพื้นที่สำรวจ เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนของดินอันเนื่องจากการลดลงของแรงดึงน้ำในมวลดินแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณฝนที่ตรวจวัดได้ในสนาม ซึ่งแรงดึงน้ำในมวลดินดังกล่าวยังมีความสัมพันธ์กับความชื้นในมวลดินที่เปลี่ยนแปลงอีกด้วย รูปที่ 3-21 แสดงการติดตั้ง Tensiometer ในบ่อสังเกตการณ์ (Observation Pit)



รูปที่ 3-21 การติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดึงน้ำในมวลดิน (Tensiometer)

งานวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการตรวจวัดค่าแรงดึงของน้ำในมวลดินนี้สัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนจากช่วงฤดูแล้งจนผ่านช่วงฤดูฝน ซึ่งเป็นข้อมูลที่น่าสนใจอย่างยิ่งในการวิเคราะห์พฤติกรรมของดินถล่มในพื้นที่นี้ ซึ่งน่าจะเป็นผลการวิจัยนำร่องในการศึกษาพฤติกรรมของดินถล่มเนื่องจากฝนตกต่อไป

### 3.4.2 การติดตั้ง Inclinator

เนื่องจากคณะผู้วิจัยได้เลือกพื้นที่ลาดเนินเขาที่น่าจะเป็นพื้นที่ที่เกิดดินถล่มมาแล้ว และเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพต่อการเกิดดินถล่ม เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของลาดดินที่สามารถตรวจวัดได้ด้วย Inclinator เป็นเบื้องต้น เพื่อตรวจจับการเคลื่อนตัวของลาดดินที่อาจจะเกิดขึ้นตามความลึก พร้อมๆ กับการศึกษาคุณสมบัติของชั้นดินอื่นๆ ที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ชั้นดินเกิดการพิบัติขณะเกิดฝนตกหนัก ข้อมูลการเคลื่อนตัวของชั้นดินนี้ยังเป็นข้อมูลที่บ่งชี้ให้เห็นแนวโน้มของการพิบัติได้อีกด้วย

รูปที่ 3-22 แสดงการติดตั้ง Inclinator ซึ่งประกอบด้วยท่อ PVC เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ติดตั้งโดยการเจาะดินลงไปด้วยสว่านมือ (Hand Auger) ลงไปจนถึงชั้นดินที่แข็งพอที่จะไม่เคลื่อนตัวเมื่อเกิดการพิบัติ ช่องว่างของหลุมเจาะที่ต้องถูกอัดแน่นด้วยทรายและซีเมนต์ เพื่อให้มั่นใจว่าท่อ PVC ที่ฝังไว้จะไม่หลวมคลอนได้ เวลาวัดการเคลื่อนตัวของชั้นดิน จะทำโดยการหย่อนหัววัดลงไปในทิศทางและทุกๆ ช่วงความลึกที่ต้องการวัดค่าการเคลื่อนตัวของชั้นดินสัมพันธ์กับปลายท่อ PVC ที่ต้องมั่นใจว่าเป็นจุดที่ยึดแน่นไม่เคลื่อนที่ตามชั้นดิน



รูปที่ 3-22 การติดตั้ง Inclinometer บริเวณพื้นที่อ่าวป่าตอง

### 3.4.3 การติดตั้ง Rain Gauge

Rain Gauge เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณน้ำฝน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดดินถล่ม ค่าที่วัดได้ทำให้ทราบถึงลักษณะของการตกของฝนที่ก่อให้เกิดปัญหา ซึ่ง Rain Gauge ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นชนิดที่สามารถบันทึกปริมาณฝนได้เป็นรายนาที่ ด้วย Datalogger ที่บรรจุภายในตัว Rain Gauge (รูปที่ 3-23) สามารถบันทึกข้อมูลได้มากติดต่อกันเป็นระยะเวลาประมาณ 1 ปี ทำให้ทราบถึงลักษณะการตกของฝนได้อย่างชัดเจน และนำมาใช้วิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดดินถล่มได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

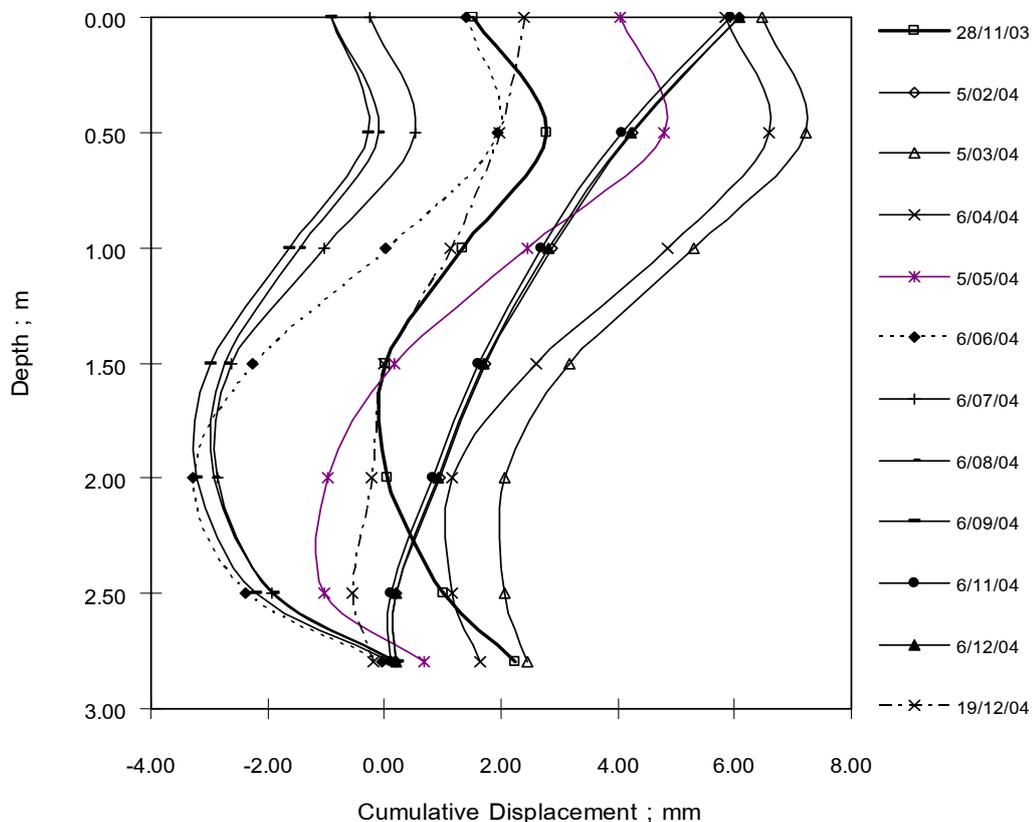


รูปที่ 3-23 แสดงลักษณะของ Rain Gauge

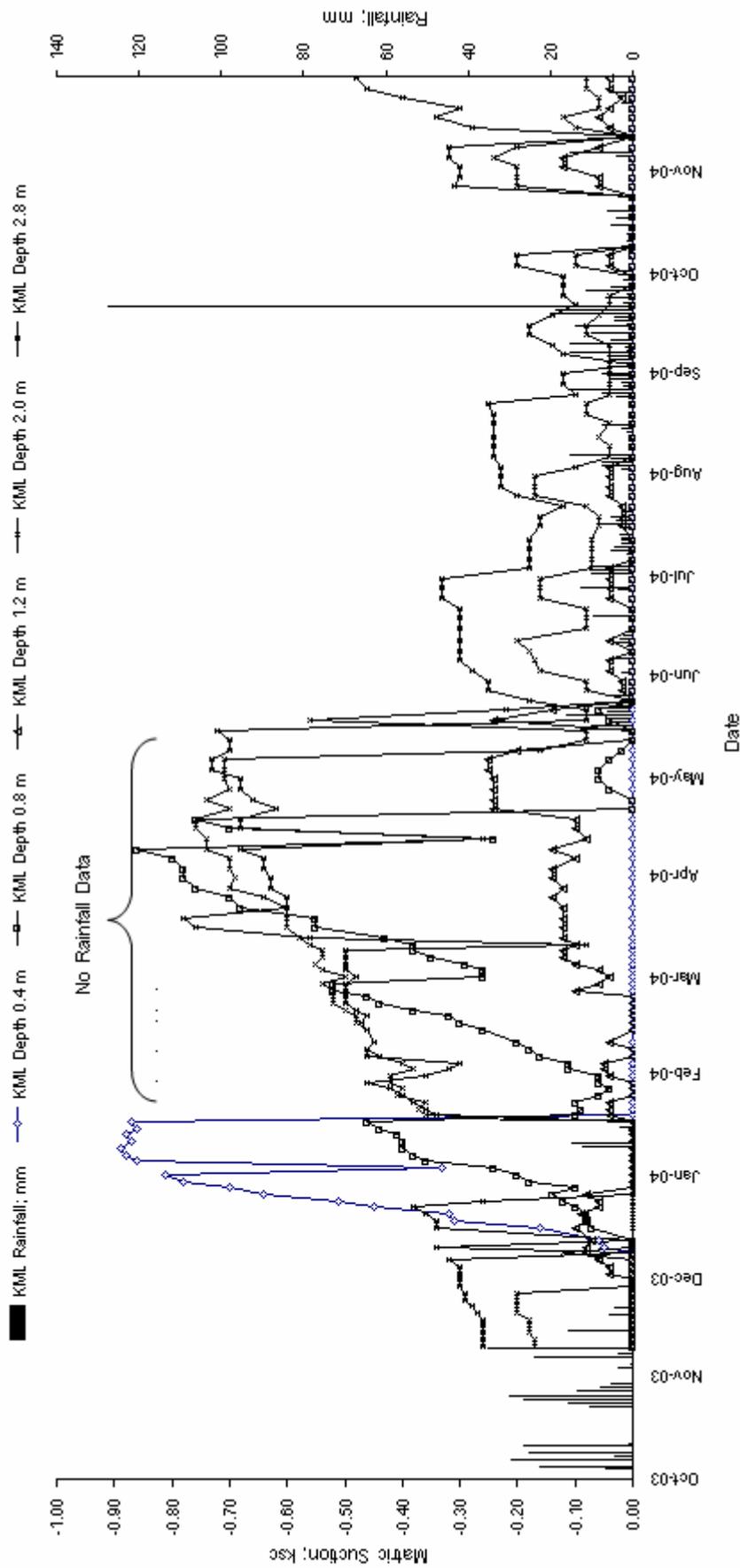
### 3.5 การวิเคราะห์จากผลการตรวจวัดพฤติกรรมในสนาม

#### 3.5.1 ผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดินด้วย Inclinometer

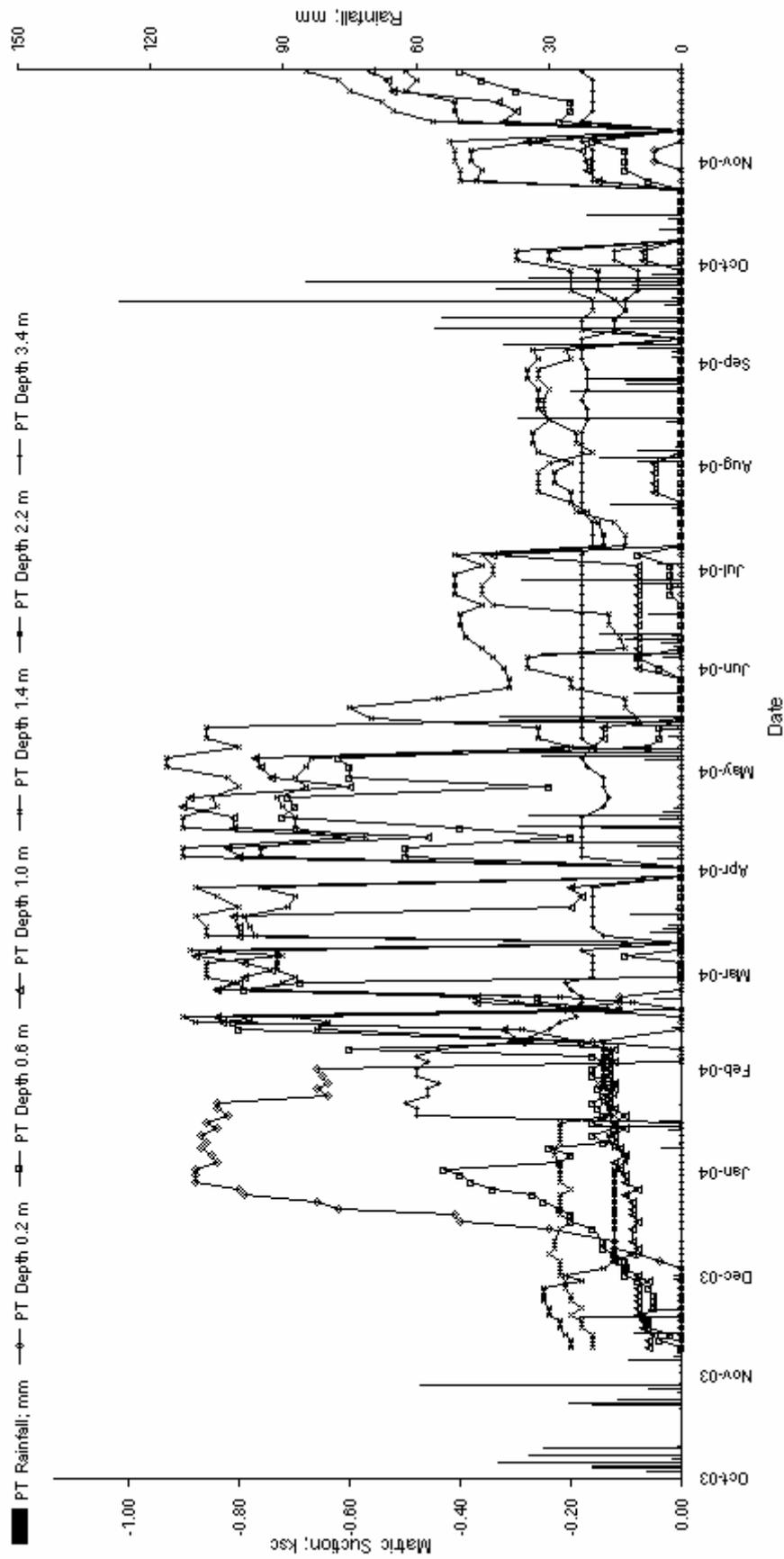
ผลการติดตามตรวจวัดการเคลื่อนตัวของลาดดินในพื้นที่ต้นแบบ (Training Area) บริเวณอ่าวป่าตอง ด้วย Inclinometer ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-24 ได้ติดตามการเคลื่อนตัวของลาดดินเป็นเวลาประมาณ 1 ปี โดยเริ่มทำการติดตั้ง Inclinometer ตั้งแต่วันที่ 28 พฤศจิกายน 2546 ถึงวันที่ 19 ธันวาคม 2547 พบว่าจากการตรวจวัดการเคลื่อนที่ตลอดระยะเวลา ลาดดินมีการเคลื่อนที่ทั้งหมดประมาณ 8 mm ซึ่งนับว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับระยะเวลาทั้งหมดประมาณ 1 ปีของการติดตามผล แต่ถ้ามาดูในรายละเอียดของการเคลื่อนที่เป็นรายเดือน พบว่ามีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากตั้งแต่เริ่มต้นติดตามผลจนถึงเดือน 9 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน ฝนตกน้อย ลักษณะกราฟการเคลื่อนตัวเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และมีการเคลื่อนตัวออกประมาณ 8 mm และจากกราฟในเดือน 11 จนถึงเดือน 12 ช่วงฤดูฝน ลาดดินมีการเคลื่อนตัวเข้าประมาณ 5 mm ซึ่งนับว่าผิดปกติมาก ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านสภาพพื้นที่ซึ่งมีความลาดชันและอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้ง ทำให้ไม่สามารถติดตั้ง Inclinometer ได้ความลึกเพียงพอที่จะทำให้ปลาย PVC ยึดแน่นอยู่กับที่ได้อีก ทำให้ข้อมูลการเคลื่อนตัวของดินในสนามมีข้อบกพร่องบ้างบางประการ แต่สามารถสรุปได้ดังนี้ ในช่วงฤดูร้อน ลาดดินมีการเคลื่อนที่ในช่วงต้นทำให้พบการเคลื่อนที่ดังที่กล่าวมาแล้ว แต่ในช่วงฤดูฝน ลาดดินมีการเคลื่อนที่ในระดับลึกกว่าที่ปลายท่อ PVC กราฟจึงมีลักษณะแตกต่างจากช่วงฤดูร้อน



รูปที่ 3-24 การตรวจวัดการเคลื่อนที่ของลาดดินด้วย Inclinometer บริเวณพื้นที่อ่าวป่าตอง



รูปที่ 3-25 ผลการตรวจวัดค่าแรงดึงน้ำในมวลดินกับปริมาณฝนในพื้นที่อ่างมลา



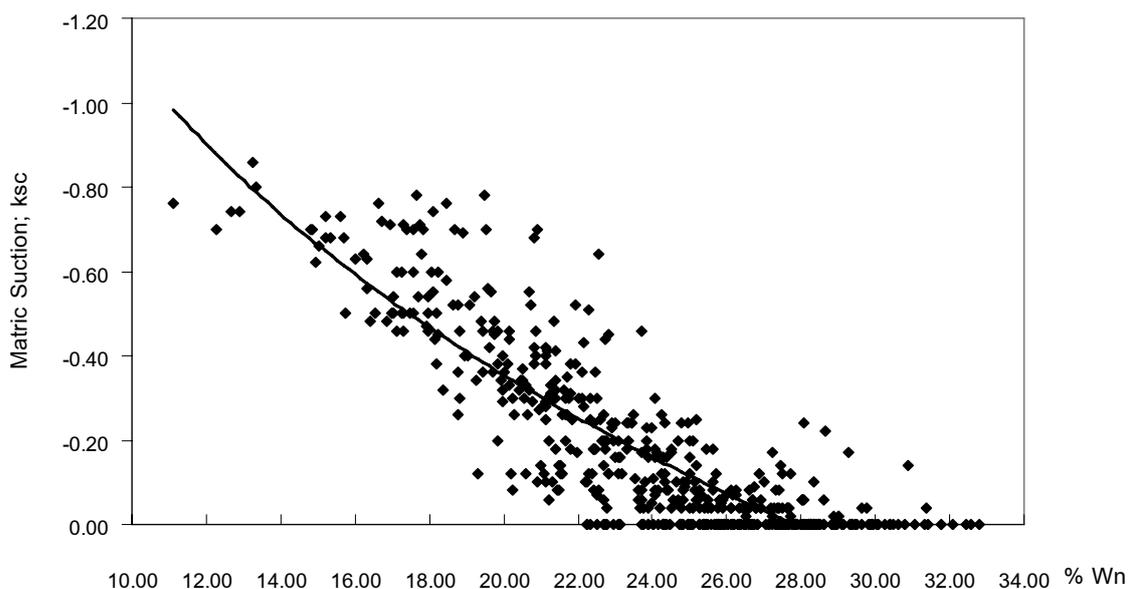
รูปที่ 3-26 ผลการตรวจวัดค่าแรงดึงน้ำในมวลดินกับปริมาณฝนของพื้นที่อ่าวป่าตอง

### 3.5.2 ผลการตรวจวัดแรงดึงน้ำในดิน

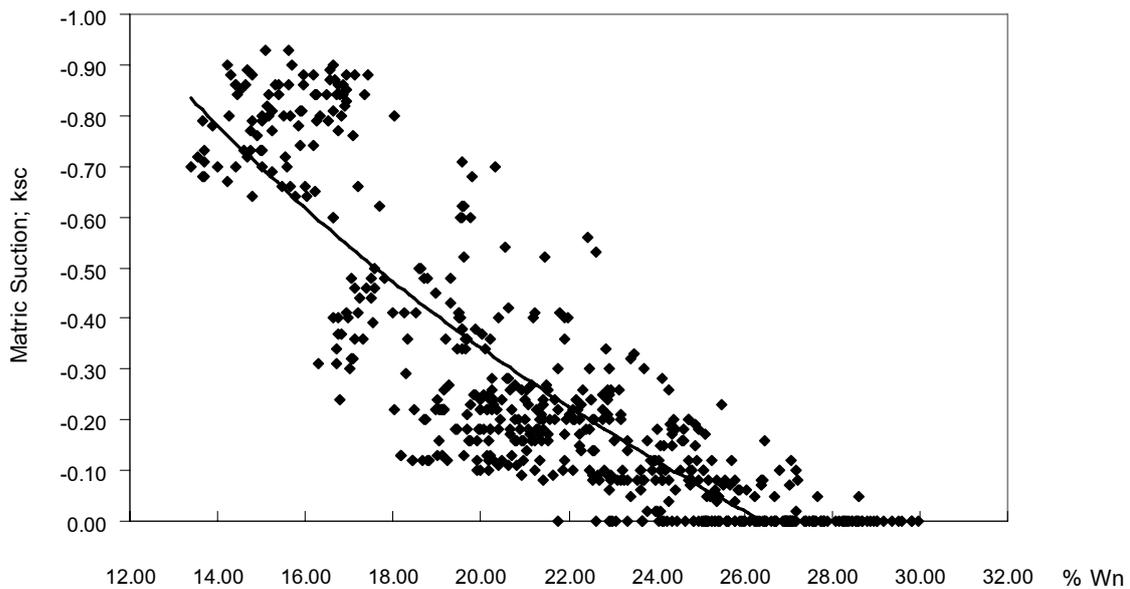
ผลการติดตามตรวจวัดแรงดึงน้ำในมวลดิน และความชื้นในมวลดินในพื้นที่ต้นแบบ (Training Area) ทั้งสองแห่งกับปริมาณฝน ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-25 และ 3-26 จากผลดังกล่าวพบว่า ค่าแรงดึงน้ำในมวลดิน (Matric Suction) มีการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงฤดูกาลต่างๆ ในช่วงปีและ มีความสัมพันธ์กับปริมาณฝนในแต่ละช่วงฤดู

เมื่อพิจารณาในช่วงฤดูแล้งช่วงเดือน ธันวาคม ถึงเดือนพฤษภาคม ถึงแม้จะมีปริมาณฝนบ้าง แต่ค่าแรงดึงน้ำในมวลดินจะมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงดึงน้ำในช่วงเดือน มิถุนายน ถึงช่วงพฤษภาคมที่เป็นหน้าฝน ค่าแรงดึงน้ำนี้จะแปรเปลี่ยนตามความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศของแต่ละฤดูด้วย ซึ่งสามารถสังเกตการณ์ลดลงของแรงดึงน้ำอย่างชัดเจนมากเมื่อช่วงเวลาเปลี่ยนฤดูร้อนไปเป็นฤดูฝนในปลายเดือนพฤษภาคมถึงต้นเดือนมิถุนายน ในทางกลับกันค่าแรงดึงน้ำจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อถึงปลายเดือนพฤษภาคมหรือเมื่ออากาศเริ่มแล้งอีกรอบ จากสองปัจจัยที่ทำให้กำลังรับแรงเฉือนของมวลดินมีค่าลดลงคือ สภาพอากาศในฤดูฝนที่ชื้น และปริมาณฝน จึงทำให้วิเคราะห์จากกราฟในรูปที่ 3-25 และ 3-26 ได้ว่าช่วงวิกฤตที่อาจทำให้เกิดการพังทลายได้น่าจะเกิดในช่วงเดือนกันยายน ถึงเดือนตุลาคม ซึ่งตรงกับเหตุการณ์การพังทลายของลาดเขาทั้งในพื้นที่อ่าวกมลลาและอ่าวป่าตอง ที่ได้รับการบอกเล่าจากคนในพื้นที่ว่าเกิดขึ้นเมื่อตอนดึกของวันที่ 9 ตุลาคม พ.ศ.2547

เมื่อนำผลการตรวจวัดแรงดึงน้ำและค่าความชื้นในสนามมาหาความสัมพันธ์ดังกราฟรูปที่ 3-27 และ 3-28 สามารถหาความสัมพันธ์ของค่าแรงดึงความชื้นในมวลดิน (Matric Suction) กับ Water Content ที่เปลี่ยนแปลงได้



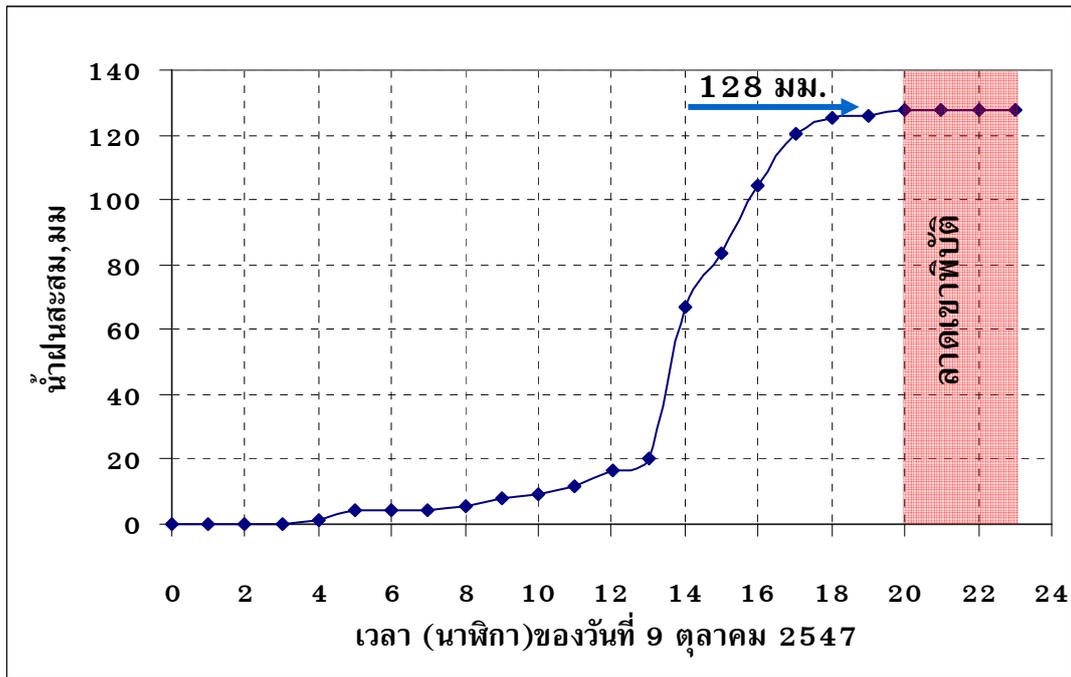
รูปที่ 3-27 ผลการตรวจวัดค่าแรงดึงน้ำในมวลดินกับปริมาณ  $W_n$  ของพื้นที่อ่าวกมลลา



รูปที่ 3-28 ผลการตรวจวัดค่าแรงดึงน้ำในมวลดินกับปริมาณ  $W_n$  ของพื้นที่อ่าวป่าตอง

จากกราฟรูปที่ 3-27 และ 3-28 พบว่าค่าแรงดึงของน้ำในมวลดิน (Matric Suction) กับ Water Content ที่เปลี่ยนแปลงมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญคือ ปริมาณความชื้นในมวลดิน ( $W_n$ ) มีค่าสูง ค่าแรงดึงความชื้นในมวลดินจะมีค่าต่ำลง และถ้ามวลดินมีกำลังรับแรงเฉือนลดต่ำที่สุดเมื่อค่าแรงดึงน้ำในมวลดินมีค่าเป็นศูนย์ หรือที่ปริมาณความชื้นในมวลดินสูงกว่า 23-24% ทำให้คณะผู้วิจัยให้ความสำคัญของการวัดปริมาณความชื้นในสนามเป็นอีกปัจจัยหนึ่งนอกเหนือจากการตรวจวัดแรงดึงน้ำในมวลดิน และปริมาณฝนเพื่อตรวจระวังภัยจากการพิบัติของลาดเขา

เมื่อนำปริมาณฝนที่บันทึกได้ในพื้นที่อ่าวป่าตอง มาผนวกกับเหตุการณ์พิบัติของลาดเขาที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่อ่าวป่าตองเมื่อตอนดึกของวันที่ 9 ตุลาคม 2547 มาวิเคราะห์ตามกราฟในรูปที่ 3-29 จะได้ปริมาณน้ำฝนสะสมที่ 128 มิลลิเมตร ซึ่งอาจจะเป็นตัวแทนของปริมาณน้ำฝนวิกฤตของพื้นที่ลาดเขาที่ถูกบันทึกไว้เฉพาะเหตุพิบัตินี้ หรืออาจวิเคราะห์จากกราฟได้ว่าเมื่อมีปริมาณฝนตกสะสมเกินกว่า 100 มม. ในระยะเวลาสั้นกว่า 5-6 ชั่วโมง ก็อาจทำให้ลาดดินไถลถึงจุดพิบัติได้



รูปที่ 3-29 แสดงปริมาณฝนวิกฤตที่ถูกบันทึกไว้เมื่อเหตุการณ์พิบัติวันที่ 9 ตุลาคม 2547