

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเก็บตัวอย่าง

การวิจัยนี้ทำการเก็บตัวอย่างจาก 2 จังหวัด คือ จังหวัดสงขลาและจังหวัดสตูล โดยเลือกจุดเก็บตัวอย่างจังหวัดละ 4 จุด คัดเลือกพื้นที่ที่เป็นดินอ่อน ที่ราบลุ่มและมีความชื้นสูง กอปรกับมีถนนตัดผ่าน และเกิดการชำรุดของถนนบ่อยครั้งอันเนื่องมาจากการก่อสร้างถนนบนชั้นดินอ่อน การเก็บตัวอย่างทำโดยการใช้เครื่องเจาะเก็บตัวอย่างดินด้วยมือ หรือ ใช้รถขุดดิน โดยจะเก็บดินตัวอย่างที่ระดับความลึก 0.00 – 3.00 ม. และเก็บตัวอย่างในถุงพลาสติกที่มิดสนิท จากนั้นนำดินตัวอย่างใส่ถังพลาสติกปิดฝาเพื่อป้องกันความชื้นระเหยออกจากตัวอย่างดิน (รูปที่ 2.1)

รวมจุดเก็บตัวอย่างดินเพื่อการวิจัยนี้จะมีทั้งหมด 8 จุด รายละเอียดลักษณะบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินของจังหวัดสงขลาและจังหวัดสตูล แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 ตามลำดับ และแผนที่ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างดินแสดงในรูปที่ 2.2 และ รูปที่ 2.3 ตามลำดับ ตารางที่ 2.1 พื้นที่เก็บดินตัวอย่างจังหวัดสงขลา

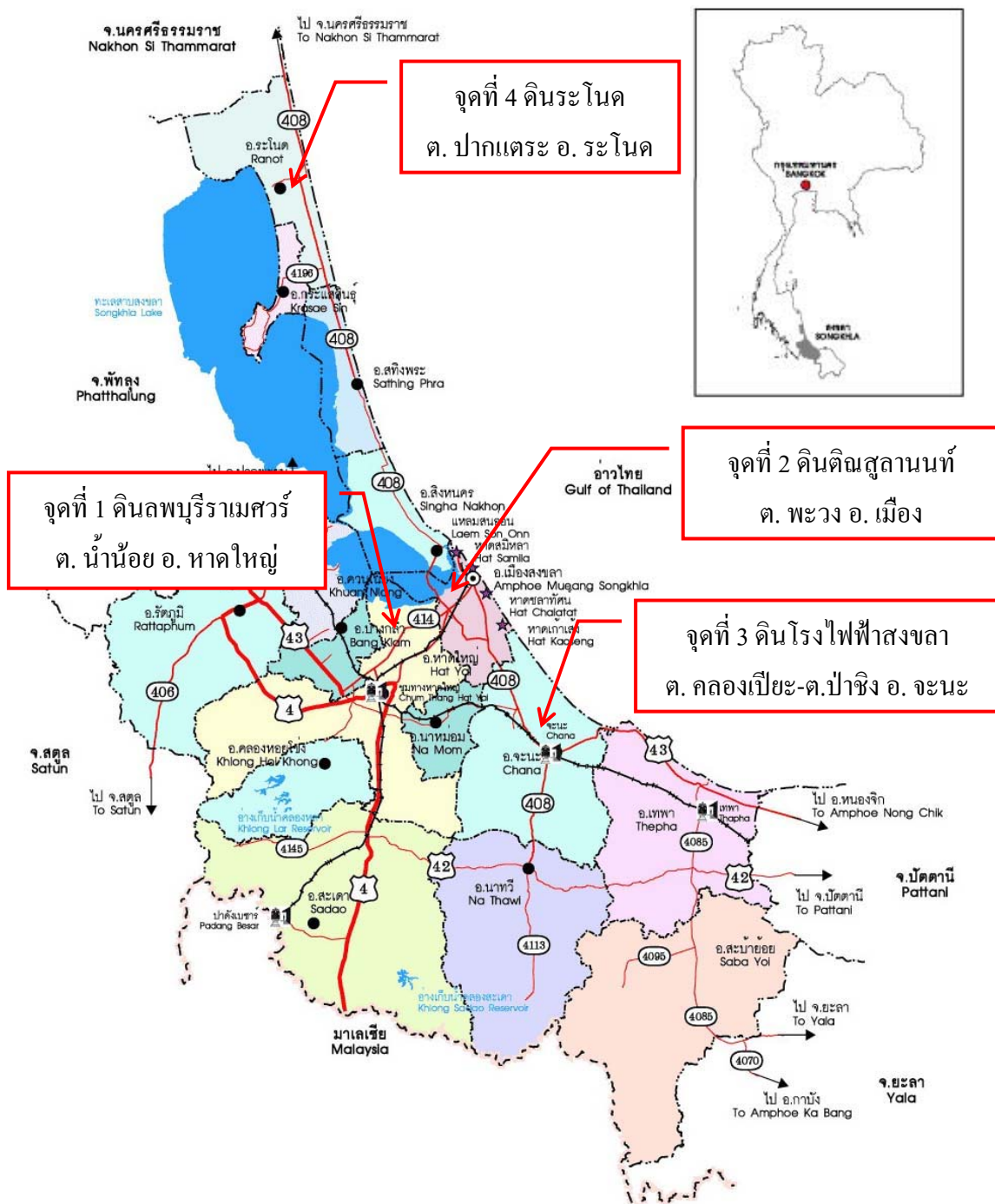
หมายเลขจุด	ลักษณะภูมิประเทศ	เขตการปกครอง	ชื่อเรียก
1	ที่ราบลุ่มมีน้ำขังบางช่วง	ถนนลพบุรีราเมศวร์ (ทางหลวงหมายเลข 414 กม. 11-12) ต. น้ำน้อย อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา	ดินลพบุรีราเมศวร์
2	ที่ราบลุ่มมีน้ำขังบางช่วง ติดทะเลสาบสงขลา	ถนนติณสูลานนท์ (อบจ. 2090 กม. 3-4) ต. พะวง อ. เมือง จ. สงขลา	ดินติณสูลานนท์
3	ที่ราบลุ่มมีน้ำขังบางช่วง	โรงไฟฟ้าสงขลา (ทางหลวงหมายเลข 43 กม. 58-59) ต. คลองเปี๊ยะ - ต. ป่าชิง อ. จะนะ จ. สงขลา	ดินโรงไฟฟ้าสงขลา
4	ที่ราบลุ่มมีน้ำขังบางช่วง	ถนนสายสงขลา – ระโนด (ทางหลวงหมายเลข 408 กม. 89-90) ต. ปากแตร อ. ระโนด จ. สงขลา	ดินระโนด

ตารางที่ 2.2 พื้นที่เก็บดินตัวอย่างจังหวัดสตูล

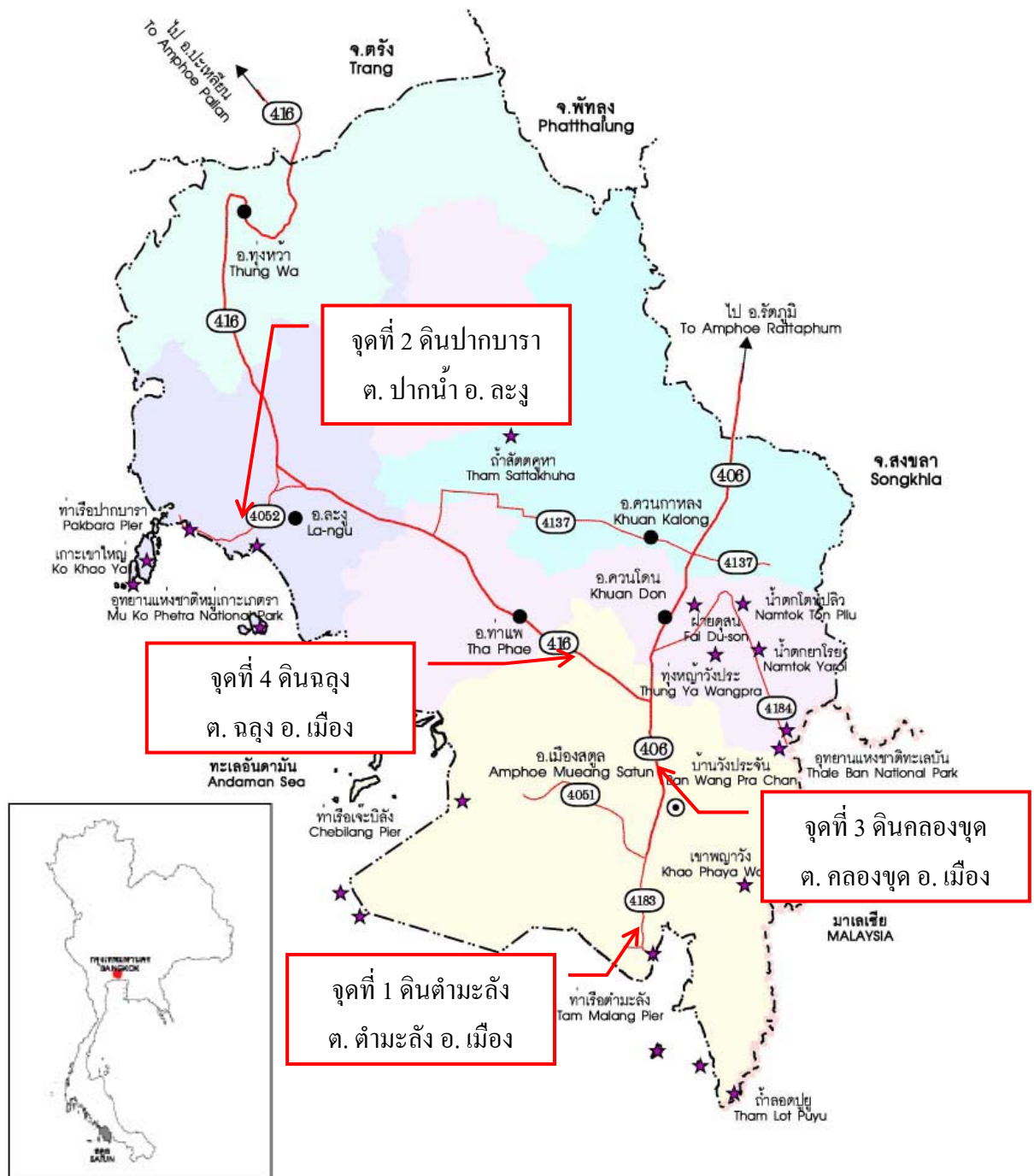
หมายเลขจุด	ลักษณะภูมิประเทศ	เขตการปกครอง	ชื่อเรียก
1	ที่ราบลุ่มมีน้ำขังบางช่วง เป็นป่าชายเลนใกล้ทะเล	ถนนทางไปท่าเทียบเรือตำมะลัง (ทางหลวงหมายเลข 4183 กม. 4-5) ต. ตำมะลัง อ. เมือง จ. สตูล	ดินตำมะลัง
2	ที่ราบลุ่มมีน้ำขังบางช่วง	ถนนทางไปท่าเทียบเรือปากบารา (ทางหลวงหมายเลข 4052 กม. 4-5) ต. ปากน้ำ อ. ละงู จ. สตูล	ดินปากบารา
3	ที่ราบลุ่มมีความชื้นสูง	ถนนทางเข้าอำเภอเมืองสตูล (ทางหลวงหมายเลข 406 กม. 74-75) ต. คลองขุด อ. เมือง จ. สตูล	ดินคลองขุด
4	ที่ราบลุ่มมีความชื้นสูง	ถนนสายฉลุง - ท่าแพ (ทางหลวงหมายเลข 416 กม. 5-6) ต. ฉลุง อ. เมือง จ. สตูล	ดินฉลุง



รูปที่ 2.1 การเก็บดินตัวอย่างในถังพลาสติก



รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างของดินในพื้นที่จังหวัดสงขลา



รูปที่ 2.3 แผนที่แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างของดินในพื้นที่จังหวัดสตูล

2.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบจะเป็นการเตรียมตัวอย่างจากตัวอย่างดินที่ถูกเก็บมาแบบดินที่ถูกกรบกวน (Disturbed Sample) แล้วนำมาบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (ASTM D 1557) โดยใช้เบ้า (Mold) บรรจุตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว (5.00 ซม.) สูง 4 นิ้ว (10.00 ซม.) ใช้ก้อนหนัก 2.78 ปอนด์ (1262.10 กรัม) ระยะยก 12 นิ้ว (30 ซม.) โดยแบ่งจำนวนชั้นเป็น 5 ชั้น กระทุ้งชั้นละ 29 ครั้ง (รูปที่ 2.4) โดยมีพลังงานในการบดอัดเท่ากับ 274,636.5 กิโลกรัม-เมตรต่อลูกบาศก์เมตร (56,250 ปอนด์-ฟุตต่อลูกบาศก์ฟุต) ซึ่งการเตรียมตัวอย่างแบบนี้จะทำให้ตัวอย่างทุกตัวอย่างได้รับพลังงานในการบดอัดเท่าๆ กัน ตัวอย่างที่ใช้จะประกอบไปด้วย ตัวอย่างดินที่ยังไม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์และตัวอย่างดินที่ถูกปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์แล้ว โดยใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 อัตราส่วนที่ใช้ คือ ร้อยละ 5, 10 และ 20 โดยเทียบกับน้ำหนักของดินแห้ง ในการผสมจะผสมแบบรวม (Total Mixing) ไม่ใช่ผสมแบบบางส่วน (Partial Mixing) โดยใช้ปริมาณน้ำ 3 สถานะ คือ ปริมาณน้ำที่พิกัดเหลว (Liquid Limit, LL) ปริมาณน้ำตามธรรมชาติ (Natural Water Content, NWC) และปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Moisture Content, OMC) และตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้วจะทำการห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกสำหรับถนอมอาหารเพื่อป้องกันความชื้นไม่ให้ระเหยออก (รูปที่ 2.5) และเก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดและควบคุมความชื้นบ่มตัวอย่างเป็นเวลา 1, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ (รูปที่ 2.6) จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมดแสดงในตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.4 เบ้า (Mold) สำหรับบดอัดตัวอย่าง



รูปที่ 2.5 การห่อหุ้มตัวอย่างด้วยแผ่นพลาสติกป้องกันความชื้นไม่ให้ระเหยออก



รูปที่ 2.6 การบ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 2.3 จำนวนตัวอย่างและการทดสอบทั้งหมดตลอดโครงการ

การทดสอบ	ปริมาณน้ำ	ตัวอย่างดิน	อายุบ่ม (วัน)												
			0		1		7			14			28		
			%C		%C		%C			%C			%C		
			0	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20
UCS	LL / NWC / OMC	1.ลพบุรีรามสวร์	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3
		2.ดิษสุลานนท์	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3
		3.โรงไฟฟ้าสงขลา	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3
		4.ระโนด	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3
		5.ตำมะลัง	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3
		6.ปากบารา	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3
		7.คลองขุด	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3
		8.ฉลุง	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3	3/3/3
Consolidation Test	LL / NWC / OMC	1.ลพบุรีรามสวร์	-1/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1/-	-1/-	-1/-
		2.ดิษสุลานนท์	-1/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1/-	-1/-	-1/-
		3.โรงไฟฟ้าสงขลา	-1/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1/-	-1/-	-1/-
		4.ระโนด	-1/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1/-	-1/-	-1/-
		5.ตำมะลัง	-1/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1/-	-1/-	-1/-
		6.ปากบารา	-1/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1/-	-1/-	-1/-
		7.คลองขุด	-1/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1/-	-1/-	-1/-
		8.ฉลุง	-1/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1/-	-1/-	-1/-
SEM, XRF	LL / NWC / OMC	1.ลพบุรีรามสวร์	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		2.ดิษสุลานนท์	-1/-	-	-	-1/-	-	-	-1/-	-	-	-1/-	-	-	1/1/1
		3.โรงไฟฟ้าสงขลา	-1/-	-	-	-1/-	-	-	-1/-	-	-	-1/-	-	-	1/1/1
		4.ระโนด	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		5.ตำมะลัง	-1/-	-	-	-1/-	-	-	-1/-	-	-	-1/-	-	-	1/1/1
		6.ปากบารา	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		7.คลองขุด	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		8.ฉลุง	-1/-	-	-	-1/-	-	-	-1/-	-	-	-1/-	-	-	1/1/1
XRD	LL / NWC / OMC	1.ลพบุรีรามสวร์	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		2.ดิษสุลานนท์	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	1/1/1
		3.โรงไฟฟ้าสงขลา	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	1/1/1
		4.ระโนด	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		5.ตำมะลัง	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	1/1/1
		6.ปากบารา	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		7.คลองขุด	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		8.ฉลุง	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	-1/-	1/1/1

หมายเหตุ : %C คือ ปริมาณร้อยละของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผสมกับดินตัวอย่างโดยเทียบกับน้ำหนักของดินแห้ง

2.3 การทดสอบ

2.3.1 การทดสอบสมบัติดัชนี (Index Properties)

เป็นการทดสอบสมบัติดัชนีของดินตัวอย่างที่เป็นดินเดิมที่ยังไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพซึ่งทำการทดสอบ ดังนี้

1. การทดสอบหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (Total Unit Weight, γ_m) ตามมาตรฐาน ASTM D 3282
2. การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลดิน (Water Content, ω) ตามมาตรฐาน ASTM D 2216
3. การทดสอบค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit, LL) และค่าพิกัดพลาสติก (Plastic Limit, PL) ตามมาตรฐาน ASTM D 4318
4. การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity, G_s) ตามมาตรฐาน ASTM D 854
5. การวิเคราะห์หาขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรง (Sieve Analysis) ตามมาตรฐาน ASTM D 421
6. การวิเคราะห์หาขนาดเม็ดดินด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis) ตามมาตรฐาน ASTM D 422
7. การจำแนกดินแบบ USCS (Unified Soil Classification System) ตามมาตรฐาน ASTM D 2487

2.3.2 การทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2166 เพื่อหาค่าความสามารถในการรับแรงของดินตัวอย่างที่ยังไม่ทำการปรับปรุงคุณภาพและดินตัวอย่างที่ทำการปรับปรุงคุณภาพแล้ว ซึ่งจากการทดสอบแรงอัดแกนเดียวสามารถหาค่ากลสมบัติทางวิศวกรรมต่างๆ ได้ดังนี้

1. ค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, UCS, q_u)
2. ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ร้อยละ 50 ของกำลังอัดแกนเดียว (Modulus of Elasticity at 50% q_u)
3. ความเครียดวิบัติ (Strain at Failure, ϵ_p)

4. ปริมาณความชื้นในมวลดิน (Water Content, ω)

2.3.3 การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2435 เพื่อหาค่าคงตัวของการอัดตัวได้ (Compressibility Parameter) ซึ่งค่าคงตัวของการอัดตัวได้ สามารถนำมาวิเคราะห์ระยะเวลาและการทรุดตัวของดินชั้นทางใต้ ซึ่งค่าคงตัวของการอัดตัวได้ประกอบด้วย

1. ค่าความดันดินเคยอัดตัวมาก่อน (Preconsolidation Pressure, P_c)
2. ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัว (Coefficient of Consolidation, C_v)
3. ค่าดัชนีอัดตัว (Compression Index, C_c)
4. ค่าดัชนีอัดตัวซ้ำ (Recompression Index, C_r)

2.3.4 การตรวจโครงสร้างจุลภาคโดยภาพถ่ายจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

เป็นการตรวจสอบเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างดินซีเมนต์ (ดินผสมปูนซีเมนต์) ในระดับจุลภาคของเนื้อดินก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ โดยใช้เครื่องมือตรวจสอบกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL JSM-5800LV) วิธีการตรวจสอบอ้างอิง WI-RES-SEM5800-001 และใช้เทคนิคการตรวจสอบแบบถ่ายภาพอิเล็กตรอนไมโครกราฟ ซึ่งผลที่ได้จะใช้ประกอบในการวิเคราะห์และอธิบายการพัฒนากำลังของดินซีเมนต์

2.3.5 การตรวจองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF)

เป็นการตรวจเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุที่อยู่ในดินซีเมนต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ โดยใช้เครื่องมือตรวจสอบเอกซ์เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์ สเปกโตรมิเตอร์ (PHILIPS PW2400) วิธีการตรวจสอบอ้างอิง WI-RES-XRF-001 และ WI-RES-XRF-002 และใช้เทคนิคการตรวจแบบ X-Ray Fluorescence Spectrometry ซึ่งผลที่ได้จะใช้ประกอบในการวิเคราะห์และอธิบายการพัฒนากำลังของดินซีเมนต์

2.3.6 การตรวจชนิดแร่ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction, XRD)

เป็นการตรวจเพื่อศึกษาการก่อตัวแร่จากสารประกอบที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาของ ดิน ปูนซีเมนต์ และน้ำก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ โดยใช้เครื่องมือตรวจสอบเอกซ์เรย์ ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (Philips X'Pert MPD) วิธีการตรวจสอบอ้างอิง WI-RES-XRD-001 และใช้เทคนิคการตรวจแบบ X-Ray Diffraction ซึ่งผลที่ได้จะใช้ประกอบในการวิเคราะห์และอธิบายการพัฒนากำล้างของดินซีเมนต์

2.4 การวิเคราะห์ผลและสรุปผล

หลังจากการทดสอบตัวอย่างดินซีเมนต์แล้วเสร็จ นำผลการทดสอบทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบและสรุปผล ดังต่อไปนี้

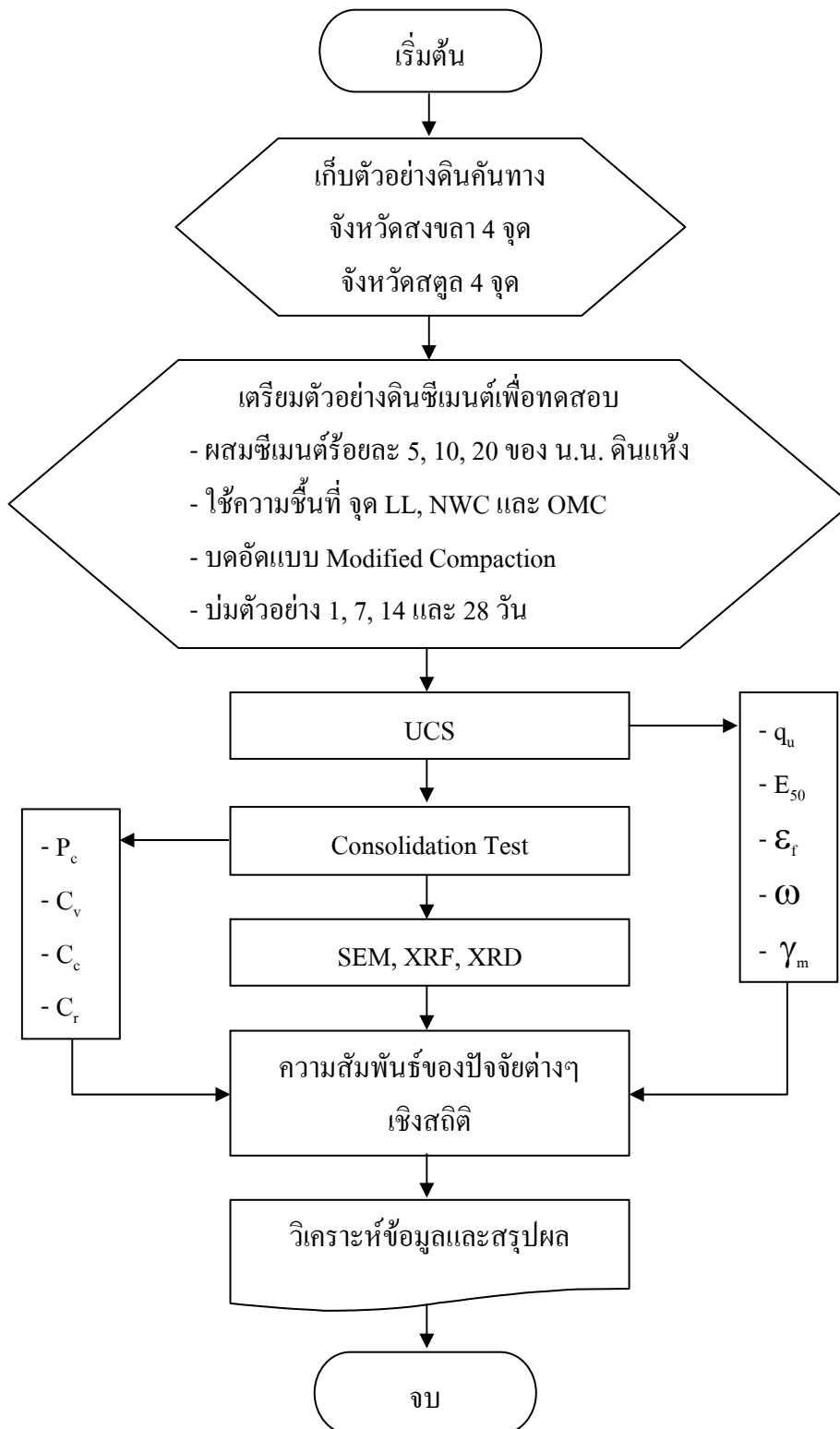
1. วิเคราะห์และสรุปผลการพัฒนากำล้างของดินคันทางที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ของดินคันทางในพื้นที่จังหวัดสงขลาและสตูล โดยวิเคราะห์จากผลการตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์ คือ การตรวจโครงสร้างจุลภาคโดยภาพถ่าย SEM เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างดินซีเมนต์ ในระดับจุลภาคของเนื้อดินก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ การตรวจองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี XRF เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของธาตุที่อยู่ในดินซีเมนต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ และการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD เพื่อศึกษาการก่อตัวแร่จากสารประกอบที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาของ ดิน ปูนซีเมนต์ และน้ำ ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ

2. วิเคราะห์และสรุปผลของกลสมบัติทางวิศวกรรมของดินคันทางที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ของดินคันทางในพื้นที่จังหวัดสงขลาและสตูล โดยพิจารณาจากผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ

3. วิเคราะห์และสรุปผลความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียว ปริมาณปูนซีเมนต์ อายุการบ่ม และปริมาณความชื้น ของดินคันทางที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ในพื้นที่จังหวัดสงขลาและสตูล โดยการสร้างสมการสหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Variable Regression) ระหว่างตัวแปร กำลังอัดแกนเดียว ปริมาณปูนซีเมนต์ อายุการบ่ม และปริมาณความชื้นเพื่อที่จะนำไปใช้งานต่อไป

4. วิเคราะห์และสรุปผลปริมาณปูนซีเมนต์ อายุการบ่ม และปริมาณความชื้น ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงดินคันทางด้วยปูนซีเมนต์ของดินคันทางในพื้นที่จังหวัดสงขลาและสตูล เพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุคันทาง

ขั้นตอนการเก็บและตรวจสอบตัวอย่าง ทดสอบ วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล
 ดังแสดงในรูปที่ 2. 7



รูปที่ 2.7 แผนภูมิการไหลของการเก็บและตรวจสอบตัวอย่าง ทดสอบ วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล