

บทที่ 3

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

3.1 ผลการทดสอบสมบัติดัชนี (Index Properties)

จากการทดสอบสมบัติดัชนีของดินในแต่ละจุดของแต่ละจังหวัดสามารถแสดงค่าได้ดังตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2 ซึ่งดินตัวอย่างที่เก็บมานั้นสามารถจำแนกตามวิธี USCS ได้เป็นดินประเภท CL, CH และ MH ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมีค่าความชื้นในธรรมชาติค่อนข้างสูง ซึ่งทำให้มีค่าความสามารถในการรับกำลังได้น้อย ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการทรุดตัวค่อนข้างสูง ซึ่งมีผลต่อความมั่นคงของถนน และเสถียรภาพความลาดของคันทาง ซึ่งจะนำไปสู่การซ่อมแซมและอายุการใช้งานที่น้อยลง

ตารางที่ 3.1 สมบัติดัชนีของดินเดิมจังหวัดสงขลา

สมบัติดัชนี	ดิน ลพบุรีรามสวร์	ดิน ดินสุลานนท์	ดินโรงไฟฟ้า สงขลา	ดินระโนด
Color	Grayish Brown	Dark Gray	Light Gray	Greenish Yellow
Specific Gravity, G_s	2.63	2.71	2.29	2.64
Liquid Limit, LL	73.80	93.00	86.08	87.69
Plasticity Index, PI	32.85	46.67	43.14	54.84
Liquidity Index, LI	0.41	0.44	0.71	0.18
Natural Water Content (NWC), %	54.53	66.87	73.74	42.90
Optimum Moisture Content (OMC), %	25.00	28.60	24.50	21.20
Unit Weight, g/cm^3	1.65	1.58	1.50	1.84
UCS at NWC, ksc	0.20	0.10	0.37	1.24
pH	3.41	2.13	4.22	8.84
Chloride Content, g/kg	2.81	16.96	7.30	0.36
Organic Content, %	6.39	9.42	9.46	2.27

ตารางที่ 3.1(ต่อ) สมบัติดัชนีของดินเดิมจังหวัดสงขลา

สมบัติดัชนี	ดิน ลพบุรีรามศวร์	ดิน ติณสุลานนท์	ดินโรงไฟฟ้า สงขลา	ดินระโนด
Soil Classification, USCS	MH	MH	MH	CH

จากผลการทดสอบสมบัติดัชนีของดินเดิมดังแสดงในตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าดินตัวอย่างใน จังหวัดสงขลา นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ดิน MH (ลพบุรีรามศวร์, ติณสุลานนท์ (รูปที่ 3.1), โรงไฟฟ้าสงขลา (รูปที่ 3.2ก)) และ ดิน CH (ระโนด (รูปที่ 3.2ข)) ซึ่งดินประเภท MH มีค่าความถ่วงจำเพาะ (G_s) ระหว่าง 2.29-2.63 มีค่าพิกัดเหลว (LL) ระหว่าง 73.80-93.00 ค่าดัชนีพลาสติก (PI) มีค่าระหว่าง 32.85-46.67 ความชื้นตามธรรมชาติมีค่าระหว่างร้อยละ 54.53-73.74 ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง ค่ากำลังอัดแกนเดียว (q_u , UCS) มีค่าระหว่าง 0.10-0.37 กก./ ซม.^2 มีค่าหน่วยน้ำหนักระหว่าง 1.50-1.65 ก./ ซม.^3 มีค่า pH ระหว่าง 2.13-4.22 ซึ่งแสดงว่าดินมีลักษณะเป็นกรด มีปริมาณคลอไรด์ระหว่าง 2.81-16.96 ก./กก. โดยเฉพาะดินติณสุลานนท์มีปริมาณคลอไรด์ค่อนข้างสูงคือ 16.96 ก./กก. เนื่องจากดินตัวอย่างอยู่ใกล้ทะเลสาบสงขลา จึงได้รับผลกระทบจากการปนเปื้อนของความเค็มน้ำทะเล ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าระหว่างร้อยละ 6.39-9.46 ส่วนดิน CH มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.64 มีค่าพิกัดเหลวเท่ากับ 87.69 ค่าดัชนีพลาสติกเท่ากับ 54.84 ความชื้นตามธรรมชาติมีค่าเท่ากับร้อยละ 42.90 ค่ากำลังอัดแกนเดียวมีค่าเท่ากับ 1.24 กก./ ซม.^2 มีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1.84 ก./ ซม.^3 มีค่า pH เท่ากับ 8.84 แสดงว่าดินมีลักษณะเป็นด่างอ่อนๆ มีปริมาณคลอไรด์เท่ากับ 0.36 ก./กก. ซึ่งมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับดินแหล่งอื่นๆ ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.27 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับดินแหล่งอื่นๆ เช่นกัน



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.1 ดินเดิม (ก) ดินลพบุรีรามศวร์ มีสีน้ำตาลแกมเทา (ข) ดินดินสุสานนท์ มีสีเทาเข้ม



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 ดินเดิม (ก) ดินโรงไฟฟ้าสงขลา มีสีเทาอ่อน (ข) ดินระโนด มีสีเหลืองแกมเขียว

ตารางที่ 3.2 สมบัติดัชนีของดินเดิมจังหวัดสตูล

สมบัติดัชนี	ดินตำมะลัง	ดินปากบารา	ดินคลองขุด	ดินฉลุง
Color	Brownish Gray	Brownish Yellow	Reddish Brown	Brownish Yellow
Specific Gravity, G_s	2.62	2.63	2.67	2.63
Liquid Limit, LL	87.33	51.00	42.00	25.00
Plasticity Index, PI	53.67	19.30	17.47	9.20
Liquidity Index, LI	0.87	0.51	0.00	0.62
Natural Water Content (NWC), %	80.26	41.53	24.51	21.54
Optimum Moisture Content (OMC), %	23.20	19.50	14.30	9.80
Unit Weight, g/cm^3	1.60	1.83	1.92	1.87
UCS at NWC, ksc	0.09	0.15	0.49	0.12
pH	4.70	5.85	5.68	5.26
Chloride Content, g/kg	8.45	0.94	0.13	0.06
Organic Content, %	5.54	2.05	1.19	1.84
Soil Classification, USCS	CH	MH	CL	CL

จากผลการทดสอบสมบัติดัชนีของดินเดิมจากจังหวัดสตูล ดังแสดงในตารางที่ 3.2 นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ ดิน CL (คลองขุด (รูปที่ 3.4ก), ฉลุง (รูปที่ 3.4ข)) ดิน CH (ตำมะลัง (รูปที่ 3.3ก)) และ ดิน MH (ปากบารา (รูปที่ 3.3ข)) ซึ่งดินประเภท CL มีค่าความถ่วงจำเพาะ ระหว่าง 2.63-2.67 มีค่าพิกัดเหลว (LL) ระหว่าง 25.00-42.00 ค่าดัชนีพลาสติก (PI) มีค่าระหว่าง 9.20-17.47 ความชื้นตามธรรมชาติมีค่าระหว่างร้อยละ 21.54-24.51 ค่ากำลังอัดแกนเดียวมีค่าระหว่าง 0.12-0.49 กก./ cm^2 มีค่าหน่วยน้ำหนักกระหว่าง 1.87-1.92 ก./ cm^3 มีค่า pH ระหว่าง 5.26-5.68 ซึ่งแสดงว่าดินมีลักษณะเป็นกรดอ่อนๆ มีปริมาณคลอไรด์ระหว่าง 0.06-0.13 ก./กก. ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าดินแหล่งอื่นๆ ประกอบกับดินจากแหล่งนี้อยู่ไกลจากทะเล ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าระหว่างร้อยละ 1.19-1.84 ดิน CH มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.62 มีค่าพิกัดเหลว

เท่ากับ 87.33 ค่าดัชนีพลาสติกเท่ากับ 53.67 ความชื้นตามธรรมชาติมีค่าเท่ากับร้อยละ 80.26 ค่ากำลังอัดแกนเดียวมีค่าเท่ากับ 0.09 กก./ซม.² มีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1.60 ก./ซม.³ มีค่า pH เท่ากับ 4.70 แสดงว่าดินมีลักษณะเป็นกรด มีปริมาณคลอไรด์เท่ากับ 8.45 ก./กก. ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.54 ส่วนดิน MH มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.63 มีค่าพิคคิเลทเท่ากับ 51.00 ค่าดัชนีพลาสติกเท่ากับ 19.30 ความชื้นตามธรรมชาติมีค่าเท่ากับร้อยละ 41.53 ค่ากำลังอัดแกนเดียวมีค่าเท่ากับ 0.15 กก./ซม.² มีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1.83 ก./ซม.³ มีค่า pH เท่ากับ 5.85 แสดงว่าดินมีลักษณะเป็นกรดอ่อนๆ มีปริมาณคลอไรด์เท่ากับ 0.94 ก./กก. ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.05



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.3 ดินเค็ม (ก) ดินตํามะลั่ง มีสีเทาแกมน้ำตาล (ข) ดินปากบารา มีสีเหลืองแกมน้ำตาล



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 ดินเค็ม (ก) ดินคลองขุด มีสีน้ำตาลแกมแดง (ข) ดินฉลุง มีสีเหลืองแกมน้ำตาล

3.2 ผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test)

ผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียวสามารถแสดงได้ ดังนี้

3.2.1 ดินลพบุรีรามесวร์ จังหวัดสงขลา

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ LL ดินลพบุรีรามесวร์

Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_r (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.004*	-	73.80	-	1.541
5	1	0.17*	-	69.27	-	1.565
	7	0.26*	-	67.88	-	1.552
	14	0.42*	-	66.47	-	1.539
	28	0.68*	-	64.00	-	1.515
10	1	0.40	7.14	66.09	9.11	1.595
	7	0.55	6.82	64.40	11.40	1.573
	14	0.73	5.85	63.65	18.46	1.558
	28	1.38	5.13	59.81	42.24	1.530
20	1	1.18	3.35	60.50	52.19	1.623
	7	2.15	2.39	57.31	163.67	1.595
	14	3.17	2.08	55.55	287.37	1.576
	28	3.39	1.63	53.13	305.82	1.552

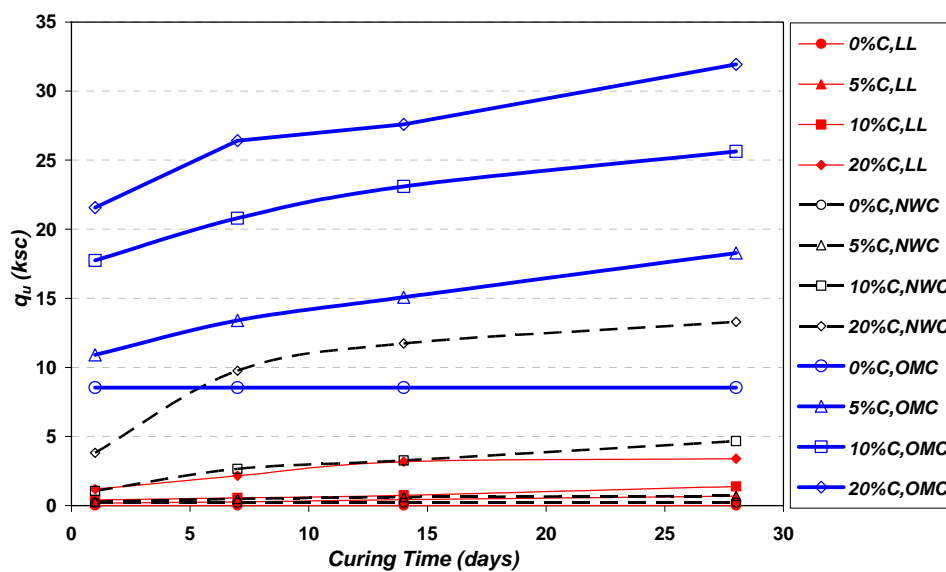
หมายเหตุ : * - ตัวอย่างไม่แข็งตัว ไม่สามารถบดอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ ทดสอบโดยใช้ Pocket Vane Shear

ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ NWC ดินลพบุรีรามศวร์

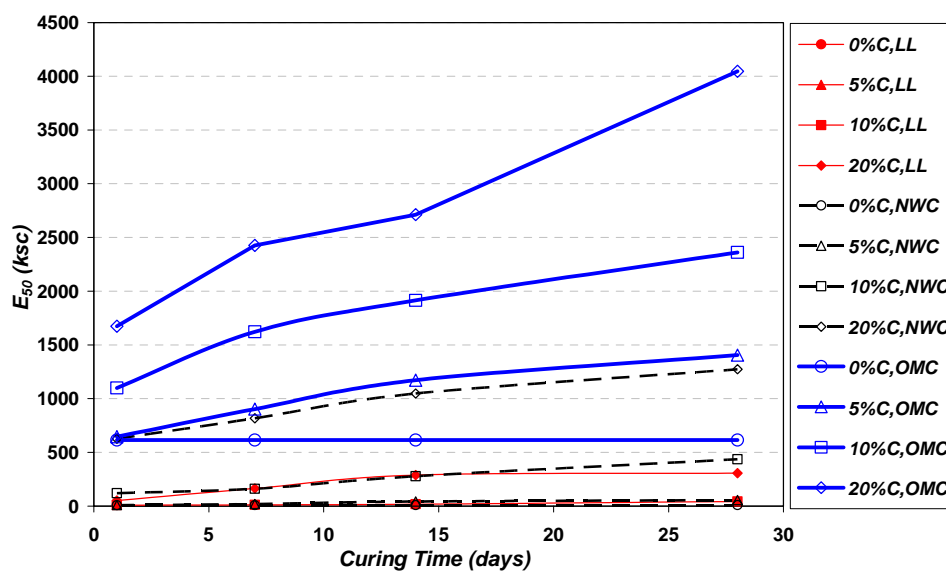
Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.20	9.92	54.53	8.23	1.637
5	1	0.29	8.54	50.93	9.24	1.674
	7	0.48	7.11	48.10	19.22	1.643
	14	0.61	5.25	46.38	42.76	1.621
	28	0.69	4.66	44.31	56.10	1.601
10	1	1.06	3.87	48.73	120.04	1.704
	7	2.65	3.15	45.20	160.50	1.662
	14	3.26	2.43	42.00	277.14	1.629
	28	4.66	2.09	40.14	435.77	1.611
20	1	3.82	1.68	44.44	626.71	1.720
	7	9.75	1.63	40.70	816.29	1.684
	14	11.73	1.55	39.30	1047.90	1.659
	28	13.30	1.40	37.54	1273.98	1.641

ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ OMC ดินลพบุรีรามศวร์

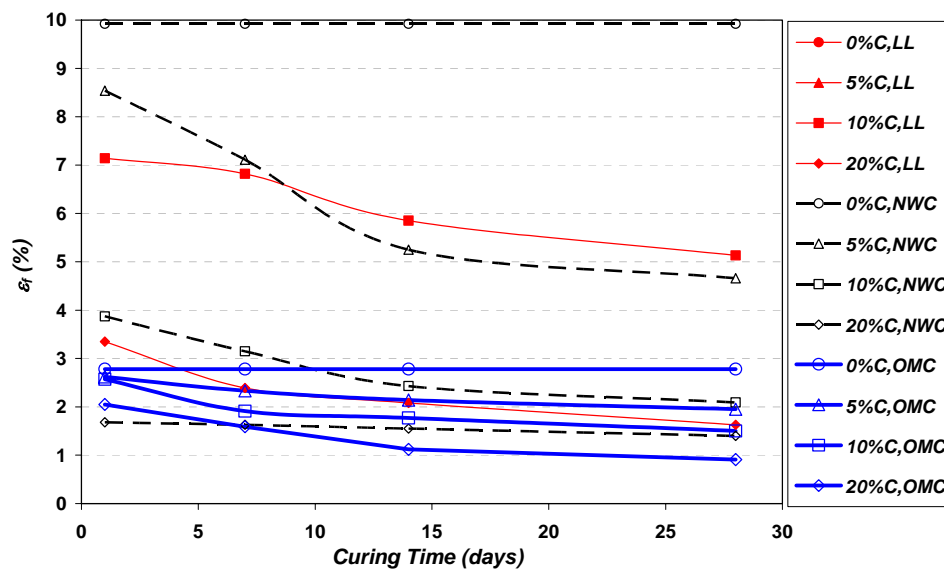
Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	8.54	2.78	25.00	615.11	1.966
5	1	10.91	2.62	22.81	645.97	1.991
	7	13.40	2.33	22.42	903.08	1.985
	14	15.07	2.14	21.80	1171.10	1.975
	28	18.28	1.95	21.20	1405.64	1.967
10	1	17.74	2.57	21.73	1098.42	2.006
	7	20.80	1.91	20.95	1622.43	1.996
	14	23.10	1.77	20.63	1914.46	1.988
	28	25.64	1.50	19.45	2360.10	1.971
20	1	21.57	2.05	19.83	1674.25	2.067
	7	26.42	1.59	18.73	2425.19	2.048
	14	27.59	1.12	18.23	2712.01	2.039
	28	31.93	0.91	17.53	4046.91	2.028



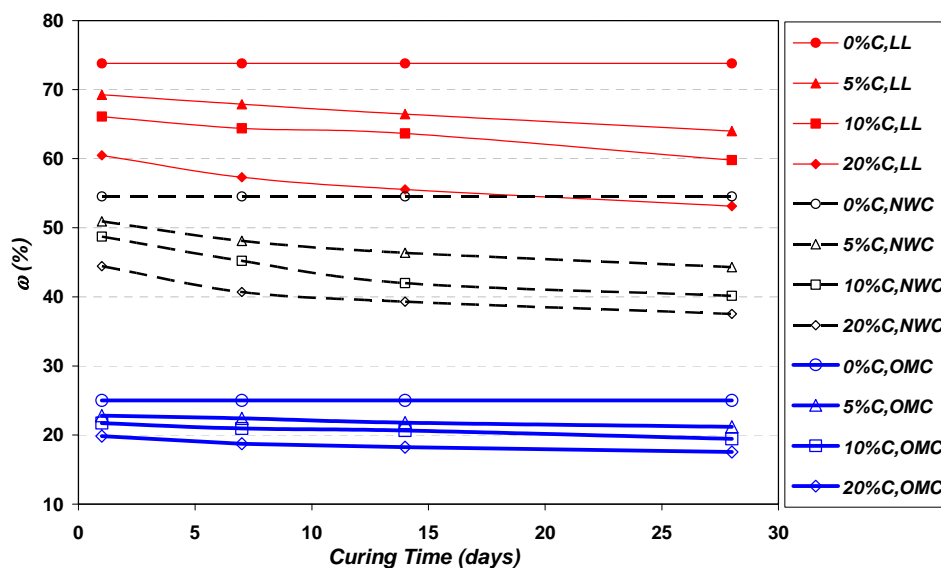
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินลพบุรีรามесวรร



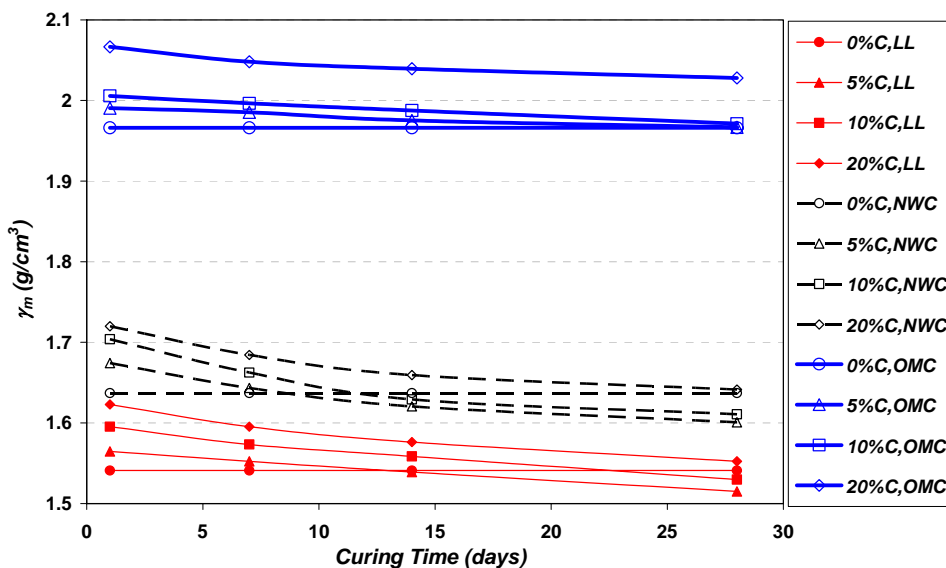
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่า E_{50} ของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินลพบุรีรามесวรร



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าความเครียดวิบัติของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินลพบุรีรามесวรร



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าปริมาณความชื้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินลพบุรีรามесวรร



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าหน่วยน้ำหนักขึ้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินลพบุรีรามศวร์

จากผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียวของดินลพบุรีรามศวร์ จังหวัดสงขลา จะเห็นได้ว่าถ้าใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 ผสมกับปริมาณน้ำที่จุด LL ($\omega = 73.80\%$) อายุบ่ม 1-28 วัน ดินซีเมนต์จะอยู่ในสถานะที่ไม่แข็งตัวไม่สามารถบดอัดขึ้นรูปได้ ซึ่งค่า UCS มีค่า ระหว่าง 0.17-0.68 กก./ซม.² ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจาก ค่า pH ที่อยู่ในดินค่อนข้างต่ำ คือมีค่า 3.41 ซึ่งมีสถานะเป็นกรดประกอบด้วยมีอินทรีย์วัตถุผสมอยู่ถึงร้อยละ 6.39 ซึ่งอินทรีย์วัตถุนี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Cement Hydration ลดน้อยลง ซึ่งเป็นสาเหตุให้ดินซีเมนต์ไม่แข็งตัวเมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อย (ร้อยละ 5) กอปรกับปริมาณน้ำที่ใช้ผสมมีปริมาณค่อนข้างมาก ซึ่งจะต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากขึ้นหรือลดปริมาณน้ำลงเพื่อที่จะทำให้ดินซีเมนต์แข็งตัวและมีกำลังเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 10 และ 20 แล้ว ดินซีเมนต์อยู่ในสถานะที่แข็งตัวสามารถบดอัดขึ้นรูปได้เมื่อใช้ปริมาณน้ำที่จุด LL แต่กำลังที่ได้ก็ยังไม่ต่ำกว่าการใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC และ OMC ส่วนค่า E_{50} มีค่าเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องตามการเพิ่มขึ้นของค่า UCS หรือค่า q_u และค่าความเครียดวิกฤติ ปริมาณความชื้น มีค่าลดลงเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และอายุการเพิ่มมากขึ้น ค่าหน่วยน้ำหนักมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นแต่จะมีค่าลดลงเมื่ออายุบ่มเพิ่มมากขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณน้ำในตัวอย่างลดน้อยลงเนื่องจากน้ำถูกนำไปใช้ในกระบวนการเกิดปฏิกิริยา Cement Hydration ของปูนซีเมนต์กับดิน

3.2.2 ดินดินสุลานนท์ จังหวัดสงขลา

ตารางที่ 3.6 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ LL ดินดินสุลานนท์

Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_r (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.01*	-	93.00	-	1.480
5	1	0.07*	-	87.57	-	1.495
	7	0.12*	-	84.30	-	1.464
	14	0.20*	-	80.32	-	1.436
	28	0.23*	-	78.60	-	1.421
10	1	0.13*	-	83.55	-	1.515
	7	0.21*	-	78.20	-	1.471
	14	0.27*	-	74.85	-	1.444
	28	0.32	8.09	72.30	6.08	1.420
20	1	0.21*	-	76.50	-	1.553
	7	0.33	10.55	74.20	9.16	1.530
	14	0.98	2.46	70.24	111.26	1.496
	28	1.96	2.14	66.50	154.36	1.463

หมายเหตุ : * - ตัวอย่างไม่แข็งตัว ไม่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ ทดสอบโดยใช้ Pocket Vane

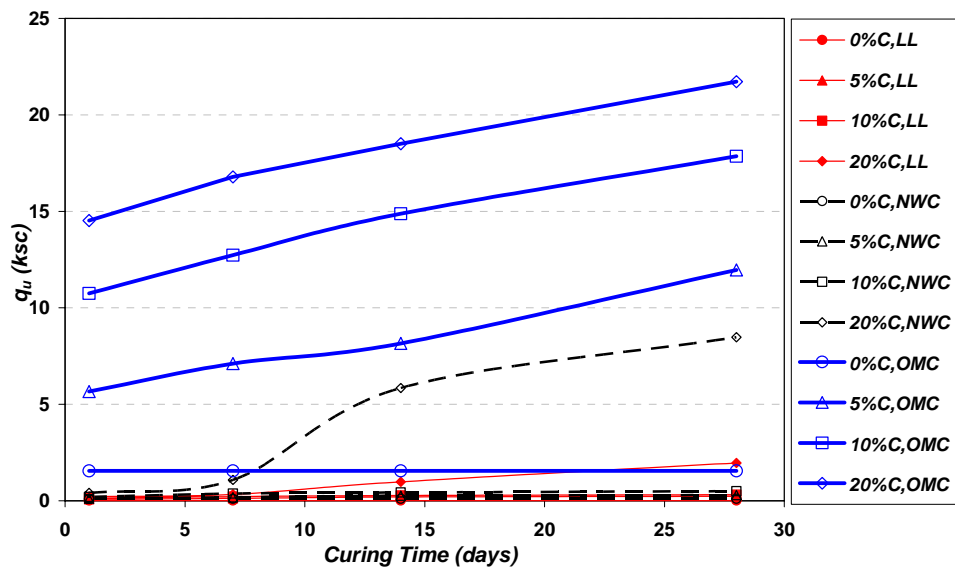
Shear

ตารางที่ 3.7 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ NWC ดินดินสุสานนท์

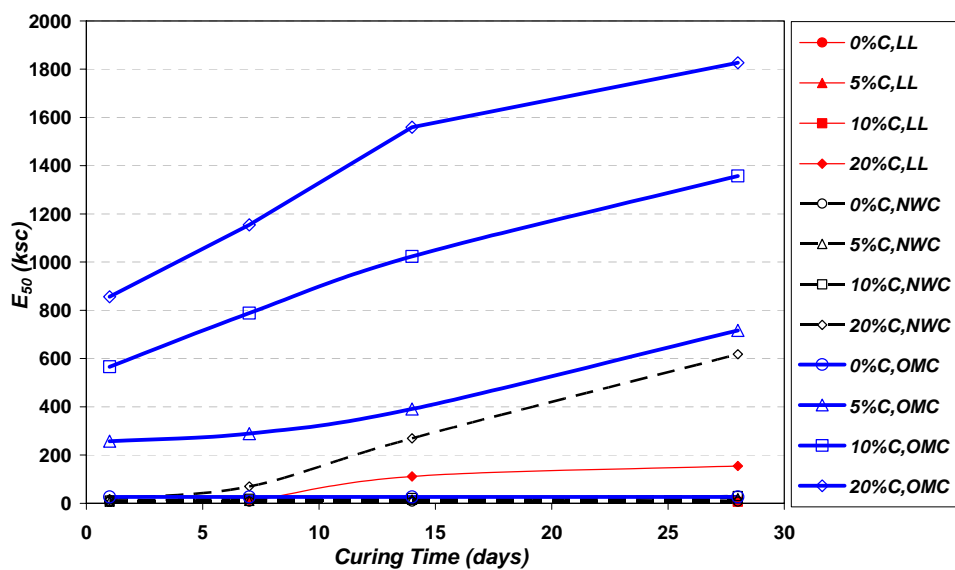
Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.10	8.57	66.87	6.64	1.573
5	1	0.11	5.76	62.69	6.73	1.613
	7	0.18	5.74	58.01	10.07	1.566
	14	0.26	5.61	55.39	14.96	1.538
	28	0.30	4.67	53.64	20.74	1.521
10	1	0.20	5.48	59.79	11.20	1.636
	7	0.37	5.35	53.00	18.16	1.566
	14	0.43	5.18	51.00	21.67	1.546
	28	0.49	4.58	48.10	29.71	1.516
20	1	0.40	5.44	54.73	16.79	1.674
	7	1.08	4.93	49.17	69.54	1.614
	14	5.84	2.58	46.11	269.28	1.583
	28	8.47	2.04	43.66	618.05	1.553

ตารางที่ 3.8 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ OMC ดินดินสุสานนท์

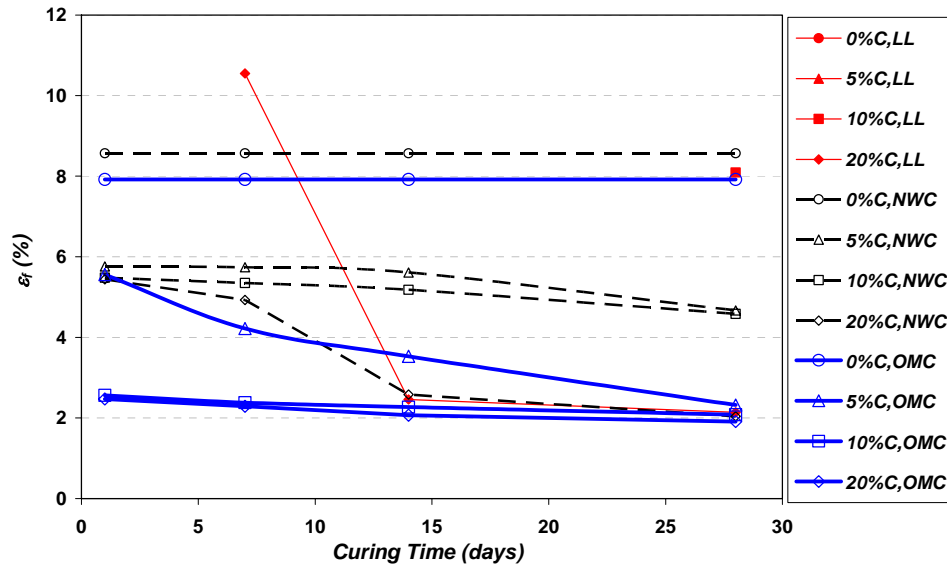
Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	1.55	7.92	28.60	26.14	1.946
5	1	5.66	5.56	26.24	257.33	1.969
	7	7.11	4.22	25.26	288.72	1.954
	14	8.15	3.53	24.86	391.15	1.945
	28	11.96	2.32	23.72	716.40	1.932
10	1	10.74	2.56	25.00	565.87	1.993
	7	12.73	2.38	23.10	788.44	1.967
	14	14.87	2.27	22.54	1023.62	1.955
	28	17.85	2.08	21.84	1357.23	1.943
20	1	14.52	2.47	22.83	856.46	2.044
	7	16.78	2.29	20.63	1154.16	2.011
	14	18.50	2.07	19.88	1559.26	1.994
	28	21.72	1.91	17.56	1826.51	1.961



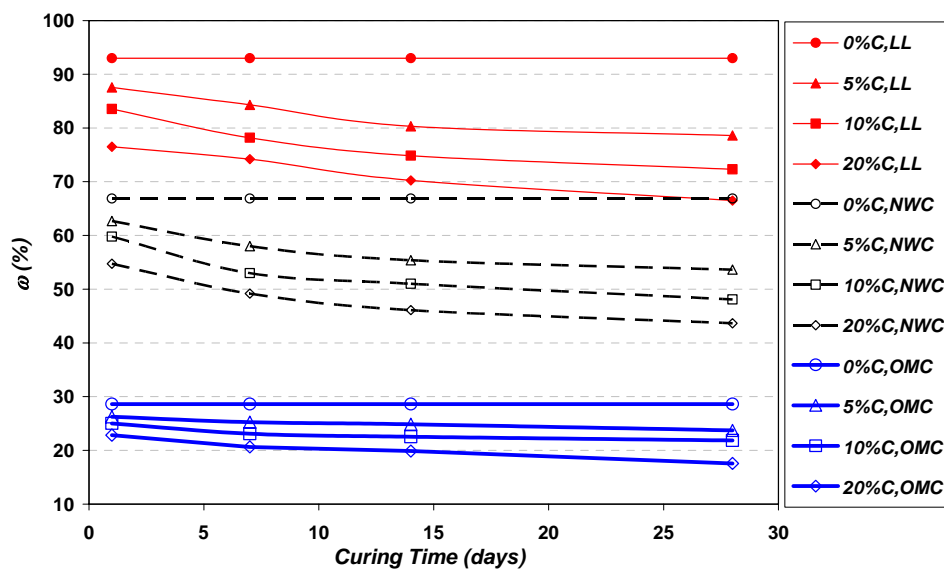
รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินดินสุลานนท์



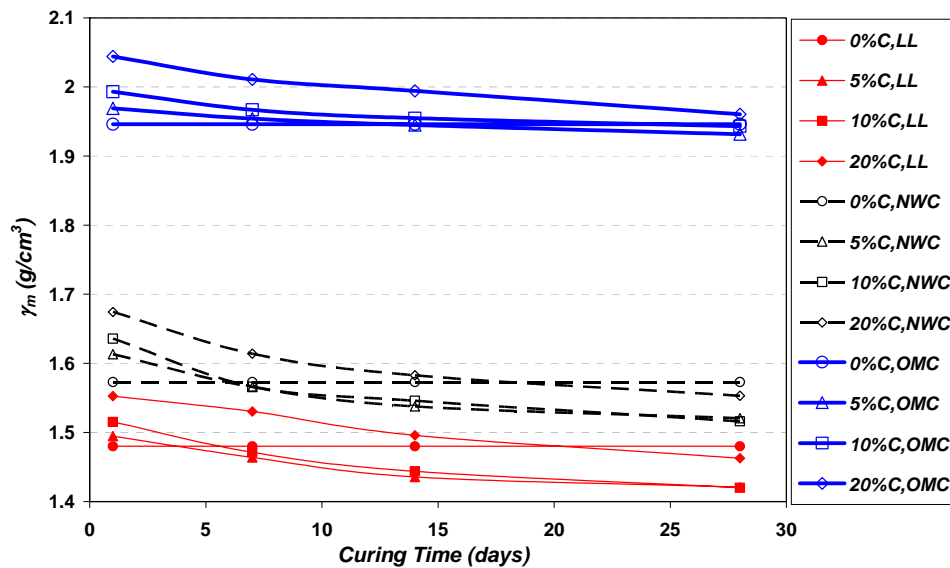
รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่า E_{50} ของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินดินสุลานนท์



รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าความเครียดวิบัติของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินดินสุลานนท์



รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าปริมาณความชื้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินดินสุลานนท์



รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าหน่วยน้ำหนักขึ้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินดินสุลานนท์

จากผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียวของดินดินสุลานนท์ จังหวัดสงขลา จะเห็นได้ว่าถ้าใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 ปริมาณน้ำที่จุด LL ($\omega = 93.00\%$) อายุบ่ม 1–28 วัน ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ปริมาณน้ำที่จุด LL ($\omega = 93.00\%$) อายุบ่ม 1–14 วัน และ ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ปริมาณน้ำที่จุด LL ($\omega = 93.00\%$) อายุบ่ม 1 วัน ดินซีเมนต์จะอยู่ในสภาวะที่ไม่แข็งตัวไม่สามารถบดอัดขึ้นรูปได้ ซึ่งค่า UCS มีค่า ระหว่าง 0.07-0.27 กก./ซม.² ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจาก ค่า pH ที่อยู่ในดินค่อนข้างต่ำ คือ มีค่า 2.13 ซึ่งมีสภาวะเป็นกรด ประกอบกับมีอินทรีย์วัตถุผสมอยู่ถึงร้อยละ 9.42 ซึ่งอินทรีย์วัตถุนี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Cement Hydration ลดน้อยลง ซึ่งเป็นสาเหตุให้ดินซีเมนต์ไม่แข็งตัวเมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อย กอปรกับปริมาณน้ำที่ใช้ผสมมีปริมาณค่อนข้างมาก ซึ่งจะต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากขึ้นและอายุบ่มที่มากขึ้น หรือลดปริมาณน้ำลงเพื่อที่จะทำให้ดินซีเมนต์แข็งตัวและมีกำลังเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์เป็นร้อยละ 20 อายุบ่ม 7 วันขึ้นไป ดินซีเมนต์อยู่ในสภาวะที่แข็งตัวสามารถบดอัดขึ้นรูปได้เมื่อใช้ปริมาณน้ำที่จุด LL แต่กำลังที่ได้ก็ยังไม่ดีกว่าการใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC และ OMC ส่วนค่า E_{50} มีค่าเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องตามการเพิ่มขึ้นของค่า UCS และค่าความเครียดวิกฤติ ปริมาณความชื้น มีค่าลดน้อยลงเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และอายุการเพิ่มมากขึ้น ค่าหน่วยน้ำหนักมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นแต่จะมีค่าลดน้อยลงเมื่ออายุบ่มเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณน้ำในตัวอย่างลดน้อยลงเนื่องมาจากน้ำถูกนำไปในกระบวนการเกิดปฏิกิริยา Cement Hydration ของปูนซีเมนต์กับดิน

3.2.3 ดินโรงไฟฟ้าสงขลา จังหวัดสงขลา

ตารางที่ 3.9 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ LL ดินโรงไฟฟ้าสงขลา

Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_r (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.07*	-	86.08	-	1.433
5	1	0.38	8.92	80.98	17.62	1.447
	7	0.48	6.56	80.20	22.70	1.439
	14	0.68	5.92	78.60	26.01	1.428
	28	1.24	4.84	77.40	41.63	1.421
10	1	0.68	3.50	77.26	74.12	1.471
	7	0.93	3.20	75.30	102.29	1.450
	14	1.48	3.08	71.90	146.08	1.424
	28	1.94	2.65	69.10	165.18	1.401
20	1	0.97	3.21	70.73	118.35	1.513
	7	1.31	2.93	68.10	132.96	1.488
	14	2.93	2.32	65.70	267.60	1.469
	28	3.35	2.10	61.50	341.83	1.435

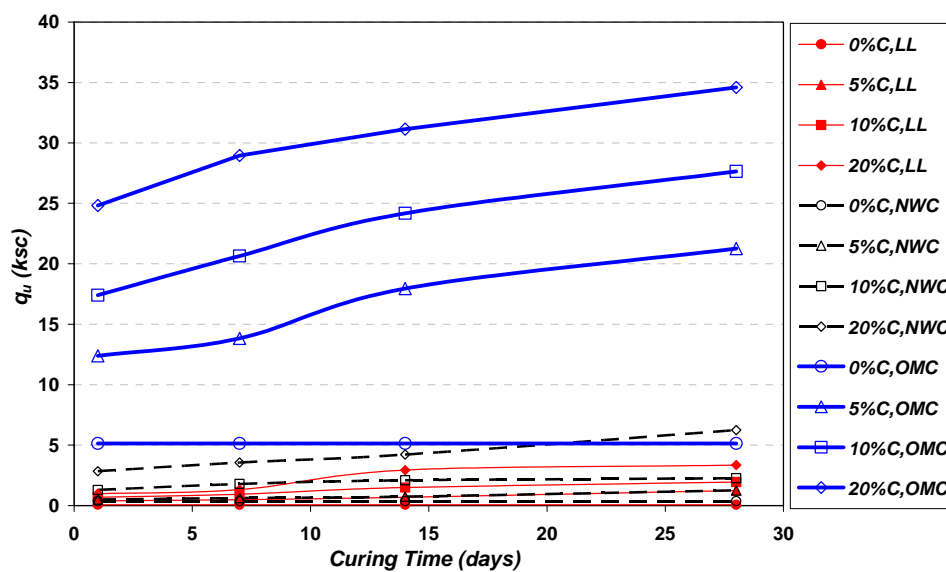
หมายเหตุ : * - ตัวอย่างไม่แข็งตัว ไม่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ ทดสอบโดยใช้ Pocket Vane Shear

ตารางที่ 3.10 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ NWC ดินโรงไฟฟ้าสงขลา

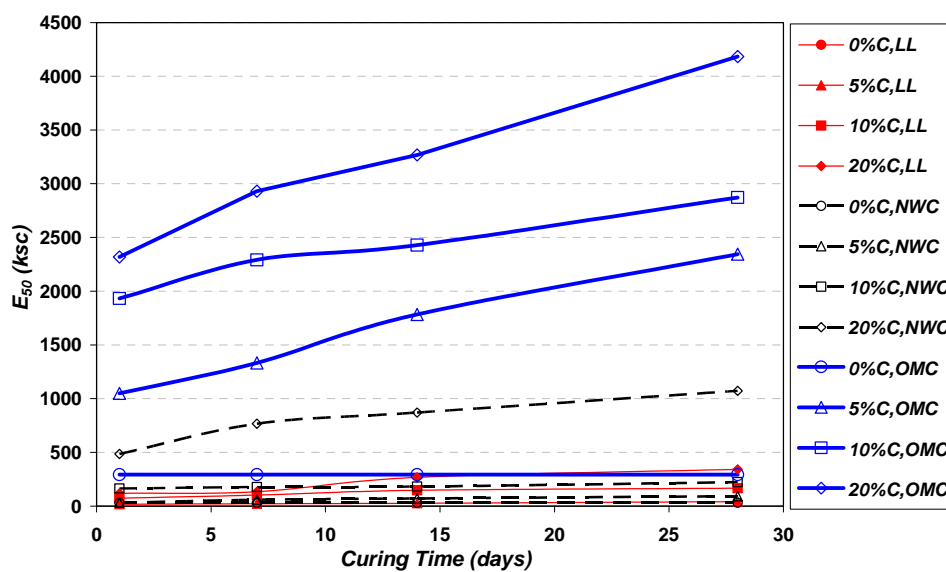
Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.37	6.88	73.74	29.04	1.447
5	1	0.50	5.20	69.23	31.21	1.498
	7	0.62	4.25	68.90	59.83	1.488
	14	0.73	3.91	67.40	71.26	1.476
	28	1.25	3.25	65.90	91.24	1.464
10	1	1.29	2.99	66.04	163.36	1.519
	7	1.78	2.53	63.40	176.78	1.494
	14	2.09	2.39	61.60	181.54	1.480
	28	2.26	2.04	59.50	223.34	1.458
20	1	2.83	2.13	60.45	484.41	1.559
	7	3.56	1.99	58.50	766.66	1.539
	14	4.22	1.52	56.60	869.49	1.519
	28	6.24	1.20	54.40	1071.84	1.501

ตารางที่ 3.11 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ OMC ดินโรงไฟฟ้าสงขลา

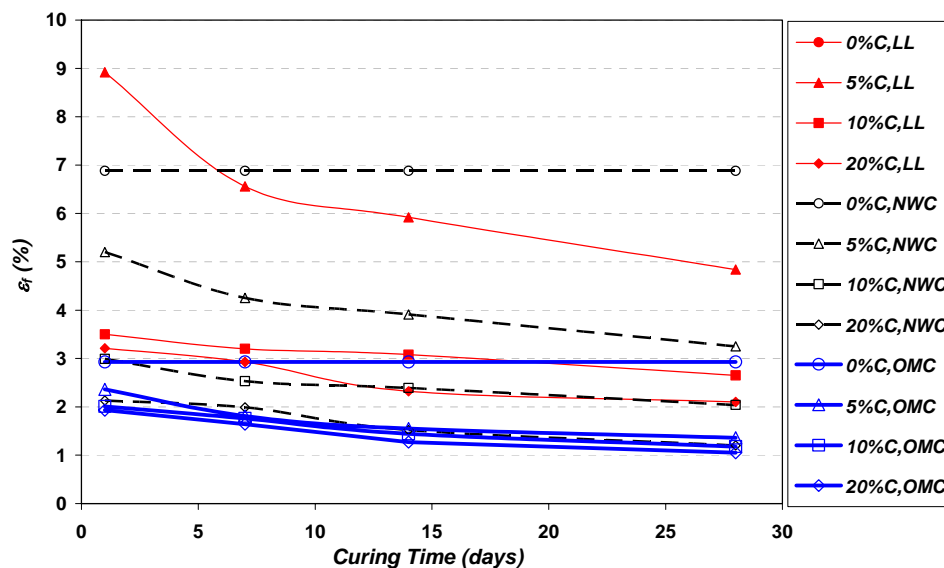
Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	5.14	2.93	24.50	291.83	1.821
5	1	12.39	2.36	22.33	1048.88	1.847
	7	13.83	1.81	20.48	1332.83	1.819
	14	17.95	1.55	20.04	1783.20	1.812
	28	21.26	1.36	19.52	2344.24	1.802
10	1	17.40	2.01	21.27	1932.91	1.876
	7	20.64	1.76	19.20	2291.26	1.844
	14	24.18	1.44	18.00	2428.67	1.826
	28	27.64	1.18	17.00	2872.41	1.808
20	1	24.82	1.93	19.42	2318.50	1.933
	7	28.96	1.64	17.24	2930.99	1.900
	14	31.13	1.27	16.36	3267.44	1.885
	28	34.59	1.05	15.76	4184.18	1.874



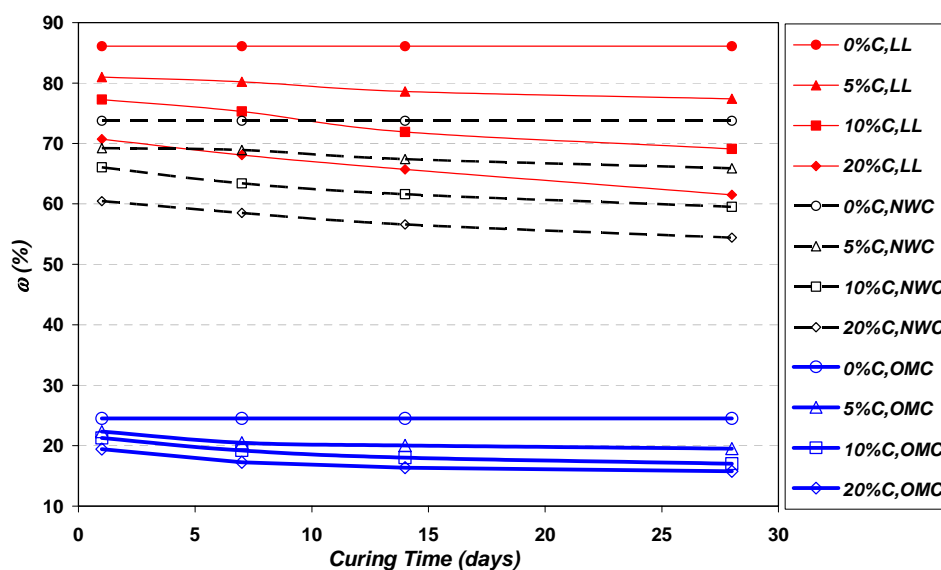
รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินโรงไฟฟ้าสงขลา



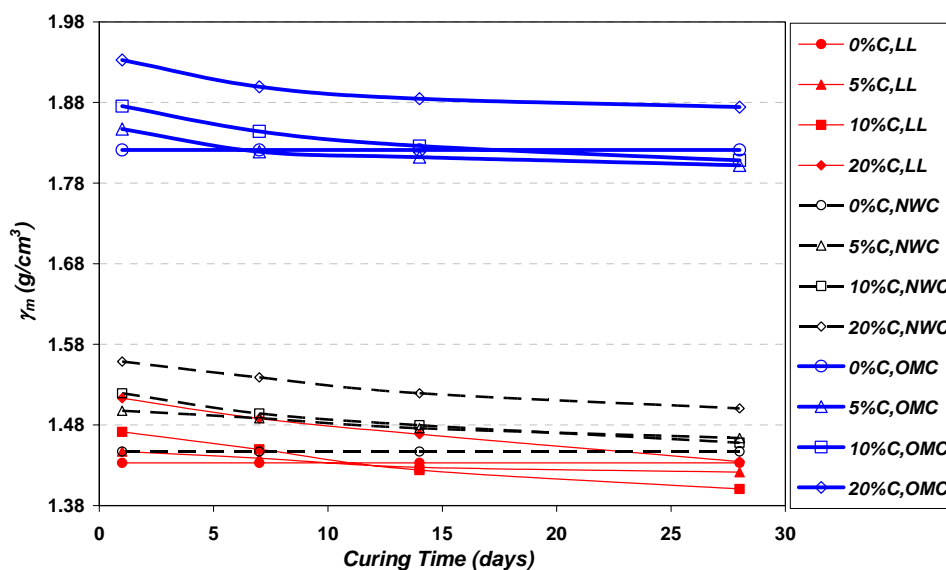
รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่า E_{50} ของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินโรงไฟฟ้าสงขลา



รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าความเครียดวิบัติของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินโรงไฟฟ้าสงขลา



รูปที่ 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าปริมาณความชื้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินโรงไฟฟ้าสงขลา



รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าหน่วยน้ำหนักขึ้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินโรงไฟฟ้าสงขลา

จากผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียวของดิน โรงไฟฟ้าสงขลา จังหวัดสงขลา จะเห็นได้ว่าการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 ปริมาณน้ำที่จุด LL ($\omega = 86.08\%$) อายุบ่ม 1-28 วัน ดินซีเมนต์จะอยู่ในสถานะที่แข็งตัวสามารถอัดขึ้นรูปได้ ซึ่งค่า UCS มีค่า ระหว่าง $0.38-1.24$ กก./ cm^2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าดินมี ค่า pH เท่ากับ 4.22 ซึ่งมีสถานะความเป็นกรดที่น้อยกว่าดินดินดินสุลา นนท์และดินลพบุรีรามเสวร์ และมีอินทรีย์วัตถุเท่ากับร้อยละ 9.46 ซึ่งทำให้ดินซีเมนต์อยู่ในสถานะ ที่แข็งตัวและสามารถอัดขึ้นรูปได้ เพราะดินมีความเป็นกรดที่น้อยกว่า แต่ค่า UCS ก็ยังไม่สูง มากนักสำหรับดินซีเมนต์ที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 อายุบ่ม 1-28 วันสำหรับการผสมที่ปริมาณน้ำ LL ซึ่งถ้าหากต้องการค่ากำลังที่สูงขึ้น จะต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากขึ้นและอายุบ่มที่มากขึ้น และลดปริมาณน้ำลงเพื่อที่จะทำให้ดินซีเมนต์มีกำลังเพิ่มขึ้น เช่นการใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC และ OMC ส่วนค่า E_{50} มีค่า เพิ่มขึ้นสอดคล้องตามการเพิ่มขึ้นของค่า UCS และค่าความเครียดวิบัติ ปริมาณความชื้น มีค่าลดลงเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และอายุการเพิ่มมากขึ้น ค่าหน่วยน้ำหนักมี ค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นแต่จะมีค่าลดลงเมื่ออายุบ่มเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ เนื่องมาจากปริมาณน้ำในตัวอย่างลดลงเนื่องมาจากน้ำถูกนำไปในกระบวนการเกิดปฏิกิริยา Cement Hydration ของปูนซีเมนต์กับดิน

3.2.4 ดินระโนด จังหวัดสงขลา

ตารางที่ 3.12 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ LL ดินระโนด

Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.06*	-	87.69	-	1.471
5	1	0.46	6.23	82.51	18.20	1.503
	7	0.58	5.57	80.60	29.79	1.488
	14	0.73	4.95	79.20	33.88	1.477
	28	1.15	4.24	77.40	52.81	1.462
10	1	1.22	4.34	78.72	50.52	1.520
	7	1.63	3.87	75.70	104.60	1.497
	14	2.07	3.31	74.60	143.40	1.487
	28	4.56	3.11	73.51	309.69	1.479
20	1	2.74	3.31	72.08	152.59	1.562
	7	3.74	2.94	69.30	361.01	1.537
	14	4.94	2.32	67.70	522.31	1.522
	28	8.71	2.08	65.00	649.22	1.498

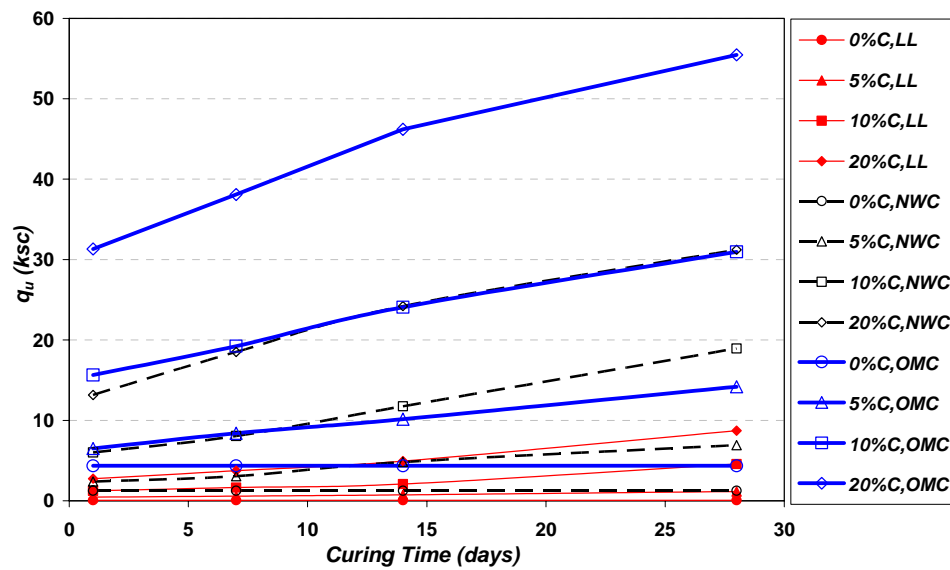
หมายเหตุ : * - ตัวอย่างไม่แข็งตัว ไม่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ ทดสอบโดยใช้ Pocket Vane Shear

ตารางที่ 3.13 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ NWC ดินระโนด

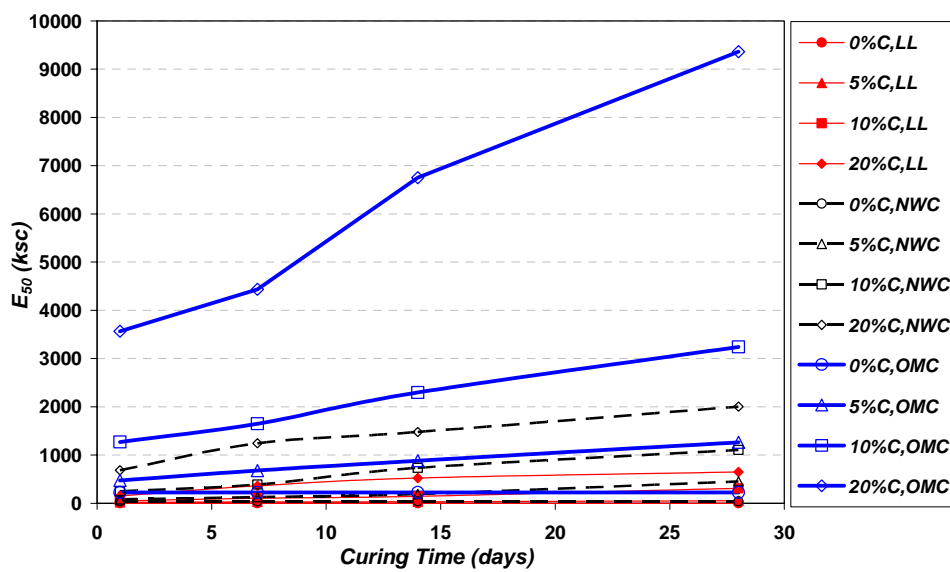
Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	1.24	6.49	42.90	39.43	1.735
5	1	2.38	5.27	39.86	82.63	1.776
	7	3.07	4.70	37.65	127.18	1.751
	14	4.82	4.20	36.25	189.79	1.733
	28	6.91	3.81	35.30	453.81	1.721
10	1	6.01	4.52	38.98	247.50	1.812
	7	8.05	3.89	35.65	388.58	1.770
	14	11.75	3.11	34.05	735.16	1.750
	28	18.93	2.74	32.60	1106.59	1.730
20	1	13.15	3.30	34.76	683.95	1.849
	7	18.50	2.75	31.95	1243.22	1.813
	14	24.20	2.37	31.10	1478.26	1.801
	28	31.21	1.91	30.02	2005.44	1.786

ตารางที่ 3.14 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ OMC ดินระโนด

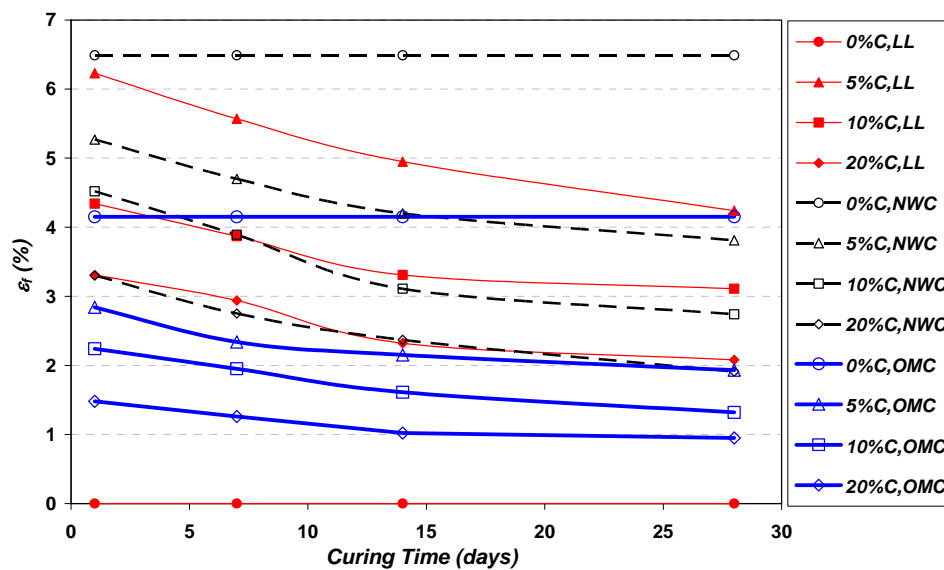
Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	4.35	4.15	21.20	223.55	1.992
5	1	6.50	2.84	19.19	474.45	2.062
	7	8.40	2.34	18.56	677.63	2.047
	14	10.15	2.15	17.62	881.74	2.031
	28	14.17	1.93	16.75	1262.98	2.014
10	1	15.63	2.24	18.27	1271.63	2.066
	7	19.23	1.95	17.05	1649.64	2.044
	14	24.07	1.61	15.63	2296.86	2.015
	28	30.96	1.32	14.40	3241.94	1.995
20	1	31.31	1.48	16.67	3567.92	2.132
	7	38.08	1.26	15.02	4434.18	2.107
	14	46.20	1.02	13.50	6749.04	2.080
	28	55.46	0.95	12.34	9362.31	2.052



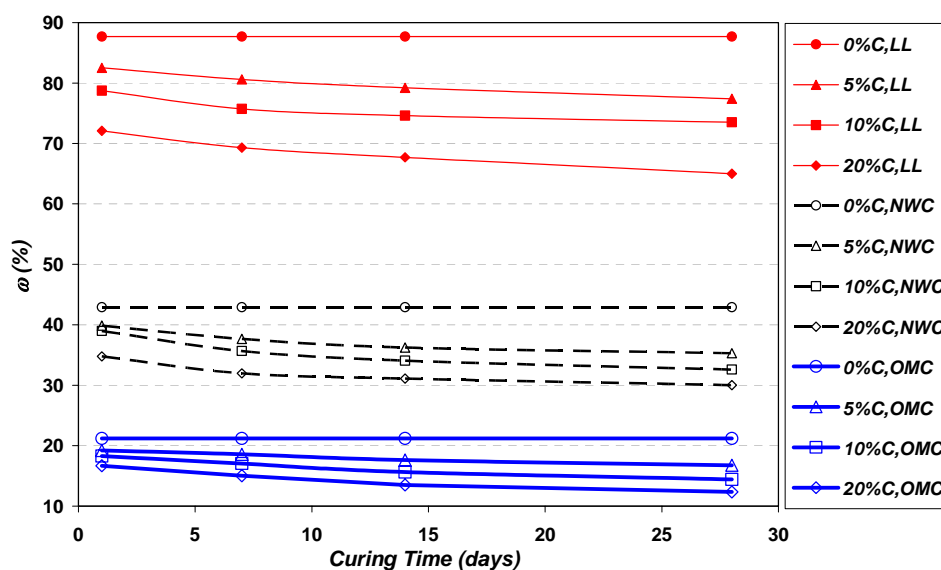
รูปที่ 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินระโนด



รูปที่ 3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่า E_{50} ของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินระโนด



รูปที่ 3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับค่าความเครียดวิบัติของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินระโนด



รูปที่ 3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับค่าปริมาณความชื้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินระโนด

3.2.5 ดินต่ำมะลิ่ง จังหวัดสตูล

ตารางที่ 3.15 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ LL ดินต่ำมะลิ่ง

Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_r (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.07*	-	87.33	-	1.491
5	1	0.13	11.64	82.17	2.71	1.503
	7	0.18	10.30	81.71	3.02	1.495
	14	0.24	9.80	80.19	4.67	1.485
	28	0.27	9.13	79.30	6.70	1.478
10	1	0.41	10.06	78.39	11.10	1.521
	7	0.54	7.86	75.40	13.36	1.503
	14	0.61	6.92	73.50	17.21	1.484
	28	0.70	5.91	72.40	23.64	1.474
20	1	1.18	6.84	71.78	62.00	1.556
	7	1.49	5.34	68.70	85.44	1.528
	14	1.61	4.16	66.60	94.61	1.509
	28	1.71	3.24	65.40	106.93	1.498

หมายเหตุ : * - ตัวอย่างไม่แข็งตัว ไม่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ ทดสอบโดยใช้ Pocket Vane Shear

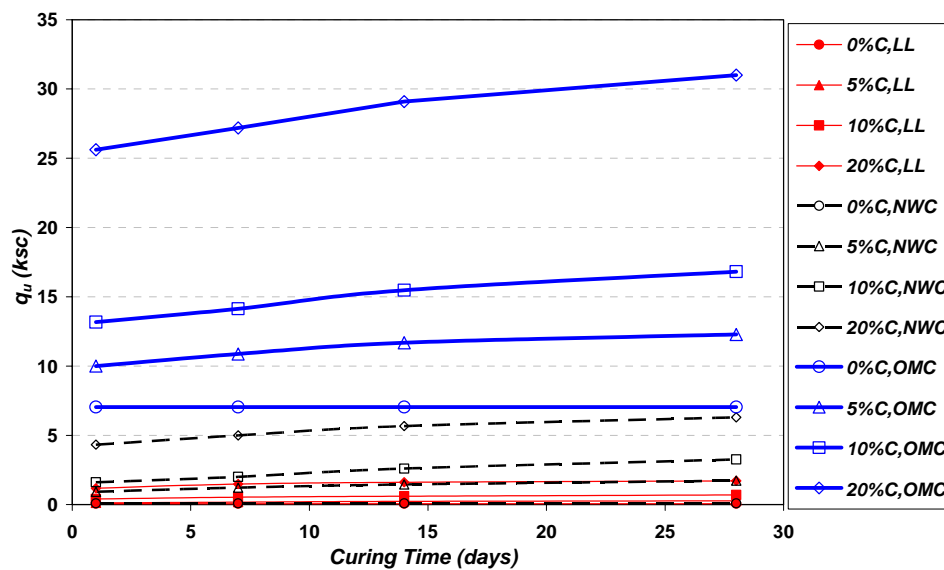
ตารางที่ 3.16 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ NWC ดินต่ำมะลิ่ง

Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.09*	-	80.26	-	1.498
5	1	0.93	10.92	75.44	30.24	1.529
	7	1.23	9.25	74.85	49.53	1.517
	14	1.45	6.84	72.84	59.14	1.506
	28	1.73	5.58	71.79	112.40	1.494
10	1	1.61	9.67	71.96	86.74	1.547
	7	2.01	7.34	69.08	123.04	1.525
	14	2.60	4.57	66.71	142.04	1.502
	28	3.27	3.81	65.05	256.54	1.488
20	1	4.33	6.17	65.88	328.55	1.577
	7	5.00	3.81	63.21	519.20	1.552
	14	5.67	2.44	60.15	635.31	1.524
	28	6.30	1.94	58.92	727.03	1.512

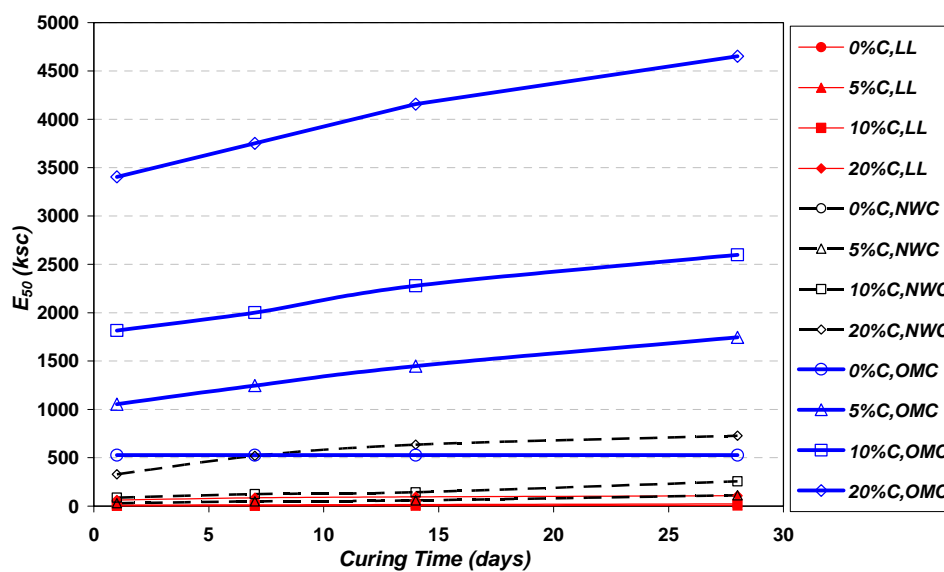
หมายเหตุ : * - ตัวอย่างไม่แข็งตัว ไม่สามารถบดอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ ทดสอบโดยใช้ Pocket Vane Shear

ตารางที่ 3.17 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ OMC ดินต่ำมะลิ่ง

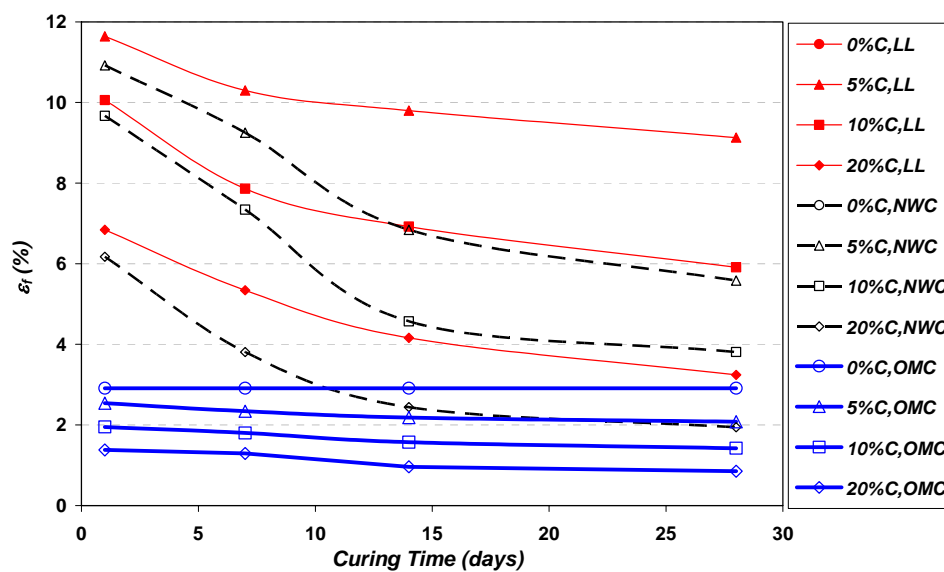
Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	7.05	2.91	23.20	527.27	1.987
5	1	10.00	2.54	21.09	1054.49	2.024
	7	10.87	2.34	20.83	1245.26	2.016
	14	11.69	2.18	20.40	1447.82	2.009
	28	12.28	2.08	20.27	1745.49	2.007
10	1	13.18	1.95	20.10	1815.63	2.050
	7	14.14	1.80	19.39	2001.58	2.036
	14	15.48	1.57	18.94	2278.82	2.030
	28	16.82	1.42	18.44	2597.86	2.017
20	1	25.62	1.38	18.33	3403.72	2.087
	7	27.19	1.29	18.02	3750.38	2.081
	14	29.09	0.96	17.40	4155.84	2.074
	28	31.00	0.85	16.87	4651.96	2.064



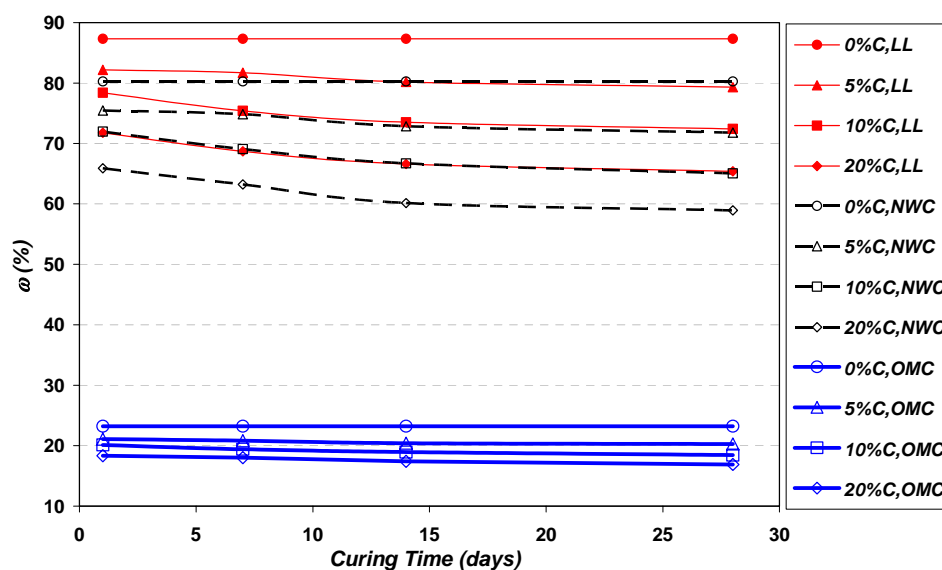
รูปที่ 3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินต่ำมะลิ่ง



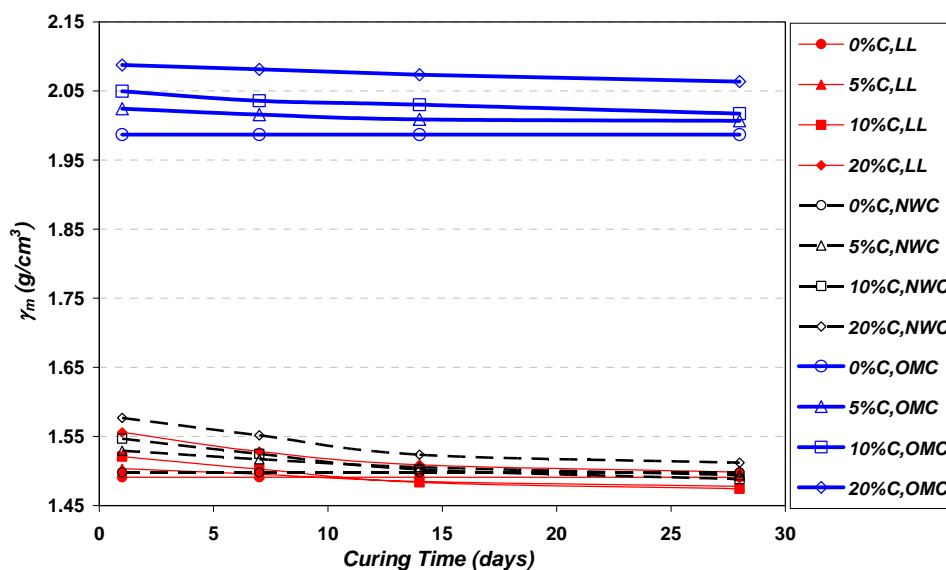
รูปที่ 3.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่า E_{50} ของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินต่ำมะลิ่ง



รูปที่ 3.27 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับค่าความเครียดวิบัติของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินต่ำมะลัง



รูปที่ 3.28 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับค่าปริมาณความชื้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินต่ำมะลัง



รูปที่ 3.29 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าหน่วยน้ำหนักขึ้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินตำมะลิ่ง

นอกจากนี้ผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียวของดินตำมะลิ่ง จังหวัดสตูล ค่า UCS มีการพัฒนาค่ากำลังที่สูงขึ้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และอายุบ่มสูงขึ้น และถ้าหากลดปริมาณของน้ำที่ใช้ผสมก็จะทำให้ค่า UCS สูงขึ้นด้วย และจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 5-20 ผสมน้ำที่ปริมาณจุด LL ($\omega = 87.33\%$) อายุบ่ม 1-28 วัน ค่า UCS มีค่าระหว่าง 0.13-1.71 กก./ซม.² ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่า UCS ที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับดินระโนด จังหวัดสงขลา (UCS มีค่าระหว่าง 0.46-8.71 กก./ซม.²) ทั้งที่ปริมาณน้ำ ($\omega = 87.69\%$) ใกล้เคียงกันและมีเป็นดินชนิดเดียวกัน (CH) แต่ตัวที่มีผลทำให้ได้ค่ากำลังที่ต่ำกว่าน่าจะมีผลมาจากค่า pH ของดินตำมะลิ่งจะมีค่าต่ำกว่า คือ pH เท่ากับ 4.70 ซึ่งจะมีสภาวะความเป็นกรดมากกว่าเมื่อเทียบกับดินระโนด (pH = 8.84) ซึ่งมีสภาวะความเป็นด่าง ดังนั้น ทำให้การพัฒนาค่ากำลังของดินตำมะลิ่งจะด้อยกว่าดินระโนด กอปรกับดินตำมะลิ่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ 5.54) ที่สูงกว่าดินระโนด (ร้อยละ 2.27) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ดินตำมะลิ่งมีการพัฒนาค่ากำลังที่ด้อยกว่า แต่ถ้าหากต้องการค่ากำลังที่สูงขึ้นจะต้องเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ อายุบ่ม และลดปริมาณน้ำ เพื่อให้ได้ค่ากำลังที่สูงขึ้น ส่วนค่า E_{50} มีค่าเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องตามการเพิ่มขึ้นของค่า UCS และค่าความเครียดวิกฤติ ปริมาณความชื้น มีค่าลดลงเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และอายุการเพิ่มมากขึ้น ค่าหน่วยน้ำหนักมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นแต่จะมีค่าลดลงเมื่ออายุบ่มเพิ่มมากขึ้น

3.2.6 ดินปากบารา จังหวัดสตูล

ตารางที่ 3.18 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ LL ดินปากบารา

Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_r (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.11*	-	51.00	-	1.681
5	1	1.61	5.62	47.57	134.37	1.703
	7	2.36	5.00	44.41	230.32	1.666
	14	2.69	4.56	43.45	274.52	1.651
	28	3.07	4.24	42.31	344.76	1.638
10	1	4.95	4.74	45.36	395.66	1.733
	7	5.65	4.11	41.17	430.01	1.686
	14	6.11	3.70	39.25	659.26	1.662
	28	6.57	3.40	38.11	731.11	1.647
20	1	9.09	3.22	41.50	967.85	1.779
	7	10.38	3.08	39.00	1216.90	1.748
	14	11.13	2.91	36.36	1331.06	1.718
	28	11.81	2.67	35.25	1526.51	1.701

หมายเหตุ : * - ตัวอย่างไม่แข็งตัว ไม่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ ทดสอบโดยใช้ Pocket Vane Shear

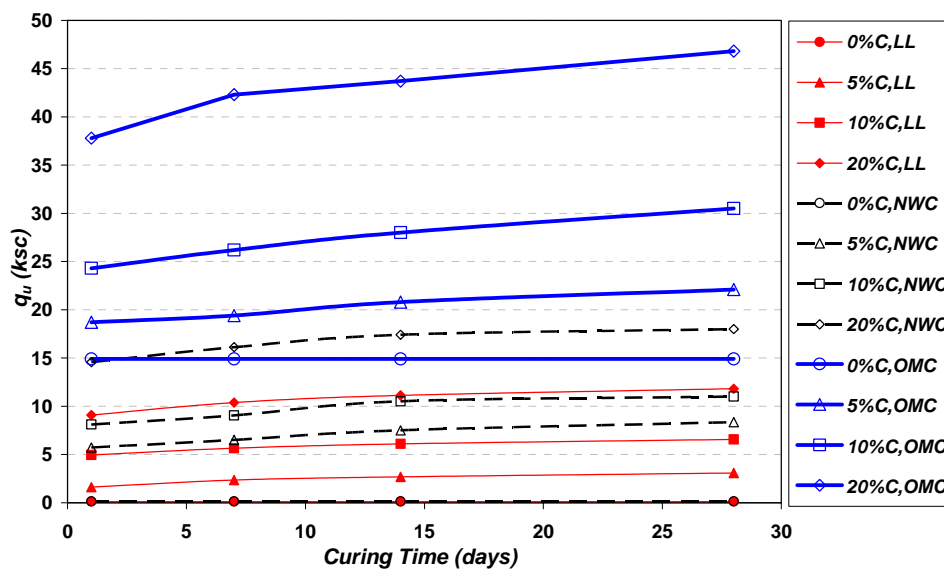
ตารางที่ 3.19 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ NWC ดินปากบารา

Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.15*	-	41.53	-	1.742
5	1	5.72	5.20	38.55	481.45	1.790
	7	6.52	4.24	37.31	630.38	1.773
	14	7.51	3.43	36.75	765.96	1.761
	28	8.36	2.95	35.88	858.58	1.748
10	1	8.11	4.23	36.76	717.35	1.811
	7	9.05	3.53	34.94	1010.47	1.789
	14	10.52	2.90	32.75	1156.04	1.762
	28	11.00	2.63	31.25	1323.32	1.735
20	1	14.58	3.09	33.61	1738.69	1.863
	7	16.12	2.66	31.19	1976.82	1.831
	14	17.41	2.41	29.69	2142.39	1.810
	28	18.00	1.94	28.44	2540.93	1.783

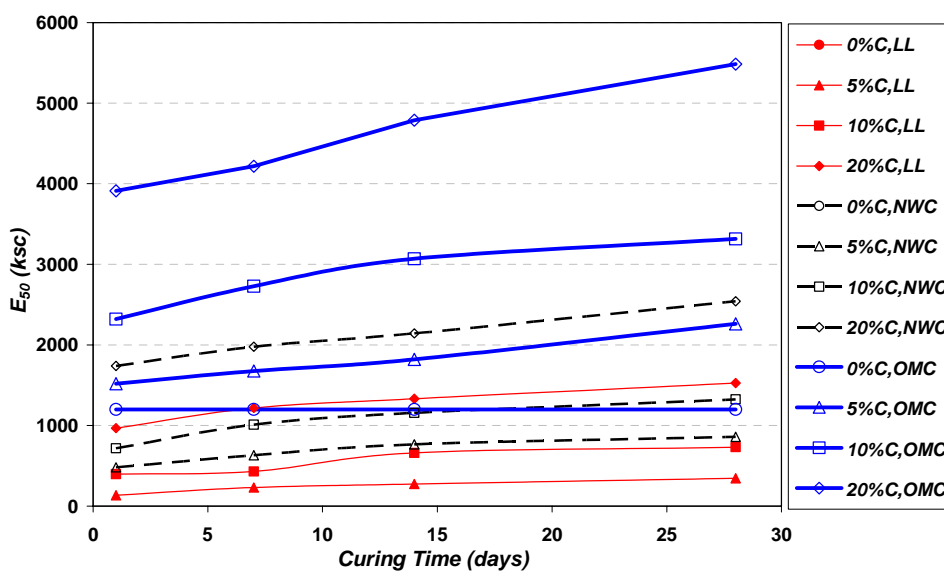
หมายเหตุ : * - ตัวอย่างไม่แข็งตัว ไม่สามารถบดอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ ทดสอบโดยใช้ Pocket Vane Shear

ตารางที่ 3.20 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ OMC ดินปากบารา

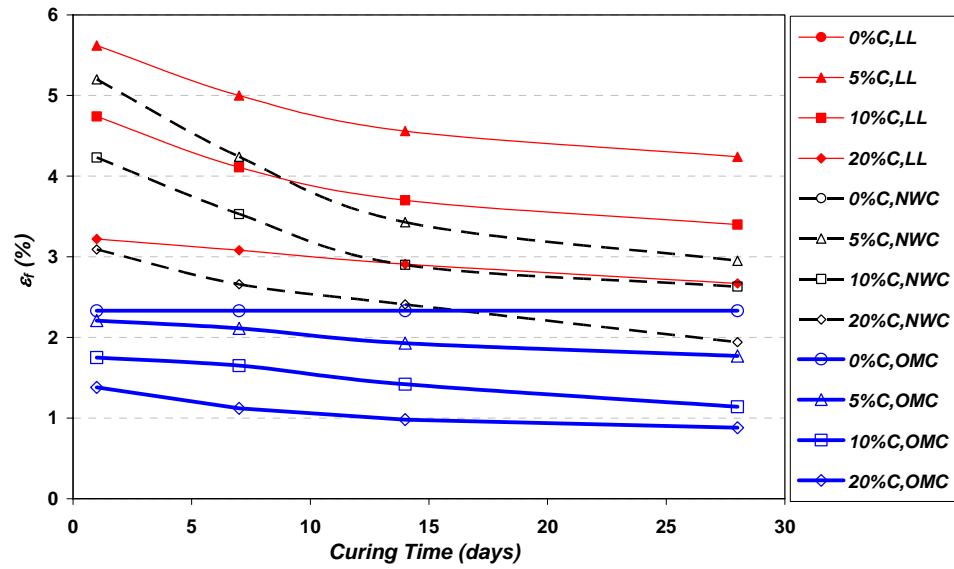
Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	14.91	2.33	19.50	1200.06	2.016
5	1	18.70	2.21	17.57	1518.55	2.092
	7	19.40	2.11	16.88	1675.74	2.081
	14	20.80	1.93	16.38	1820.22	2.066
	28	22.10	1.77	15.63	2260.43	2.057
10	1	24.30	1.75	16.73	2320.97	2.106
	7	26.20	1.65	14.80	2728.07	2.076
	14	28.00	1.42	14.08	3068.60	2.063
	28	30.50	1.14	13.24	3314.95	2.049
20	1	37.80	1.38	15.25	3911.49	2.144
	7	42.30	1.12	13.04	4217.26	2.107
	14	43.70	0.98	11.88	4788.58	2.086
	28	46.80	0.88	11.28	5484.58	2.073



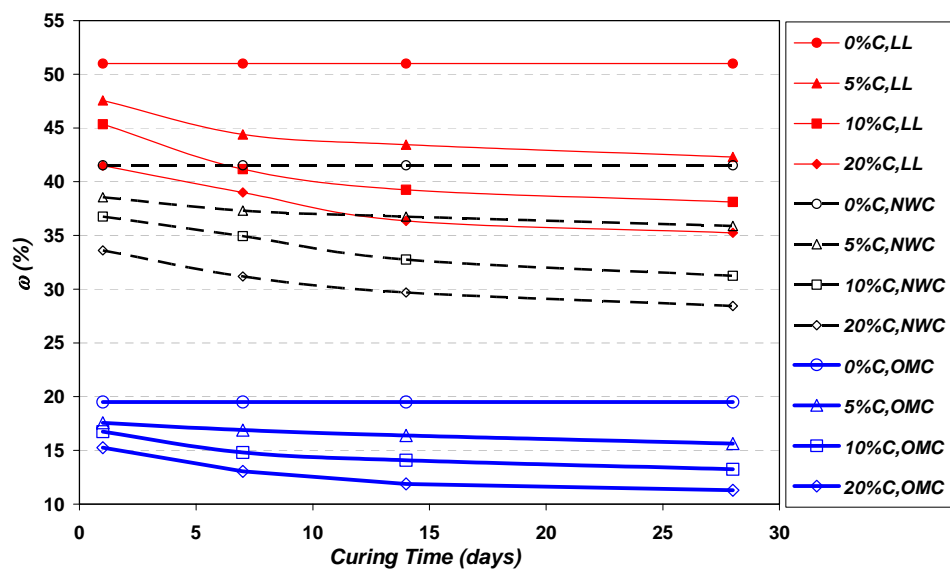
รูปที่ 3.30 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินปากบารา



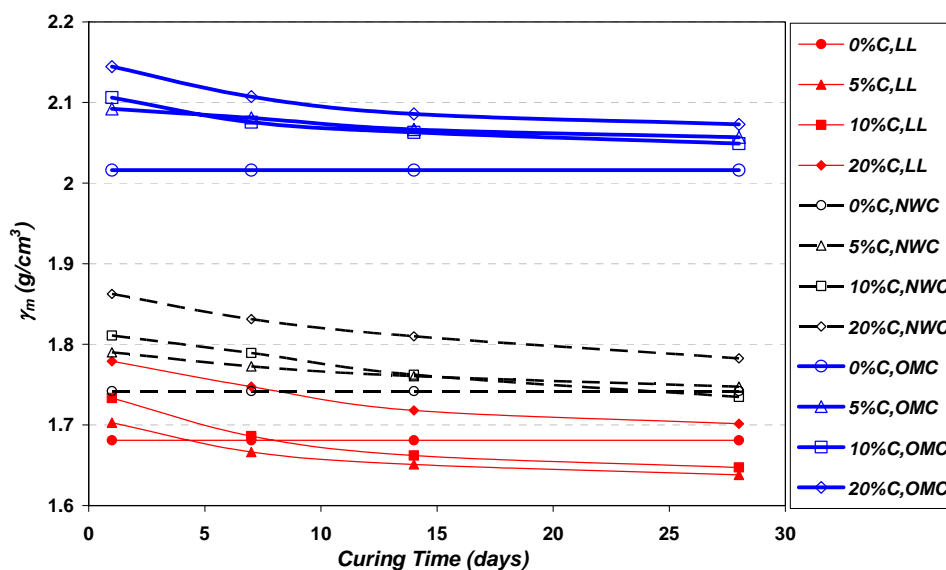
รูปที่ 3.31 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่า E_{50} ของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินปากบารา



รูปที่ 3.32 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าความเครียดวิบัติของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินปากบารา



รูปที่ 3.33 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าปริมาณความชื้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินปากบารา



รูปที่ 3.34 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าหน่วยน้ำหนักขึ้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินปากบารา

จากผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียวของดินปากบารา จังหวัดสตูล ค่า UCS มีการพัฒนาค่าที่สูงขึ้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และอายุบ่มสูงขึ้น และถ้าหากลดปริมาณของน้ำที่ใช้ผสมก็จะทำให้ค่า UCS สูงขึ้นด้วย และจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 5-20 ผสมน้ำที่ปริมาณจุด LL ($w = 51.00\%$) อายุบ่ม 1-28 วัน ค่า UCS มีค่าระหว่าง 1.61-11.81 กก./ซม.² ซึ่งจะเห็นได้ว่าการพัฒนาค่าที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับดินชนิดเดียวกัน(MH) คือ ดินลพบุรีราเมศวร์ ดินติณสุตานนท์ และดินโรงไฟฟ้าสงขลา จังหวัดสงขลา ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะปริมาณน้ำที่น้อยกว่าและก่อบรรกับดินปากบารามีค่า pH เท่ากับ 5.85 ซึ่งมีสถานะความเป็นกรดที่น้อยกว่าดิน จังหวัดสงขลา ก่อบรรกับปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ 2.05) ของดินปากบารามีค่าที่น้อยกว่าดินจังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ดินปากบารามีการพัฒนาค่าที่สูงกว่าดิน จังหวัดสงขลา และค่าค่าล้งจะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ อายุบ่ม และลดปริมาณน้ำ ส่วนค่า E_{50} มีค่าเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องตามการเพิ่มขึ้นของค่า UCS และค่าความเครียดบีบอัด ปริมาณความชื้น มีค่าลดลงเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และอายุการเพิ่มมากขึ้น ค่าหน่วยน้ำหนักมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นแต่จะมีค่าลดลงเมื่ออายุบ่มเพิ่มมากขึ้น

3.2.7 ดินโคลงชุด จังหวัดสตูล

ตารางที่ 3.21 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ LL ดินโคลงชุด

Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.10*	-	42.00	-	1.750
5	1	2.71	3.83	39.00	168.91	1.794
	7	4.41	3.66	37.20	305.09	1.773
	14	6.14	3.46	35.33	366.43	1.752
	28	7.13	3.37	34.50	443.02	1.737
10	1	6.75	3.66	37.18	470.88	1.803
	7	8.60	3.22	33.38	762.10	1.760
	14	10.96	3.09	31.80	883.06	1.739
	28	12.75	3.00	31.05	1105.03	1.727
20	1	16.10	3.03	34.00	1835.46	1.856
	7	19.88	2.67	29.70	2058.64	1.803
	14	24.05	2.53	28.42	2495.56	1.783
	28	25.88	2.31	27.30	2924.66	1.766

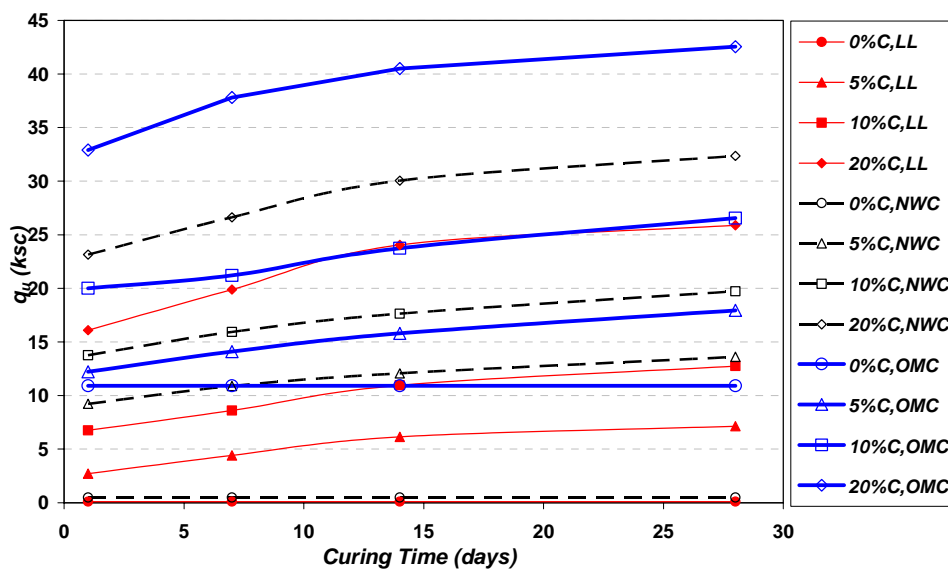
หมายเหตุ : * - ตัวอย่างไม่แข็งตัว ไม่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ ทดสอบโดยใช้ Pocket Vane Shear

ตารางที่ 3.22 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ NWC ดินคลองขุด

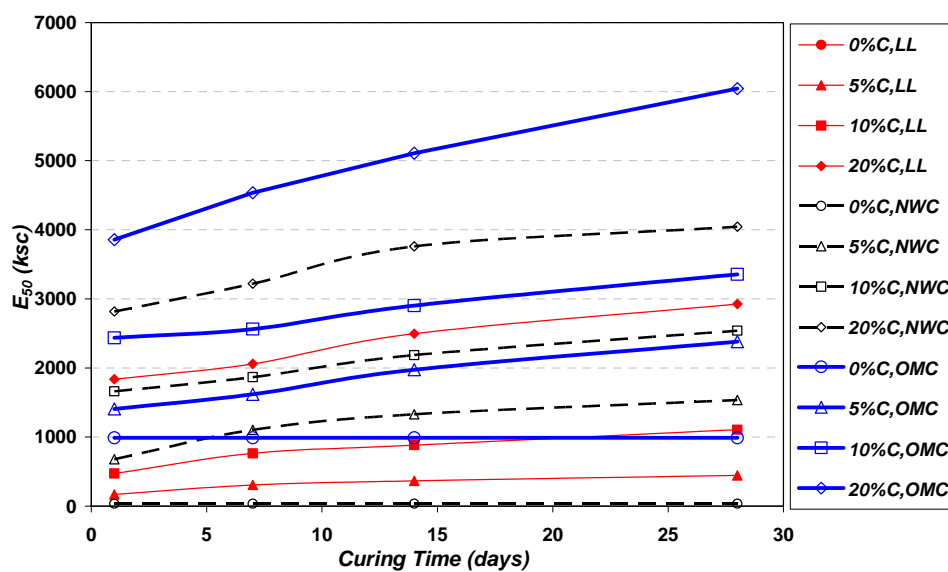
Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.49	2.55	24.51	33.84	1.986
5	1	9.22	2.37	22.34	678.64	2.016
	7	10.88	2.22	22.20	1101.94	2.011
	14	12.07	2.07	21.90	1327.76	2.008
	28	13.61	1.99	21.30	1536.13	1.997
10	1	13.76	2.09	21.28	1662.62	2.032
	7	15.93	1.93	20.70	1865.29	2.023
	14	17.63	1.86	20.05	2185.68	2.011
	28	19.72	1.69	19.58	2539.00	2.004
20	1	23.14	1.64	19.43	2816.36	2.050
	7	26.63	1.50	18.88	3218.99	2.040
	14	30.04	1.41	18.28	3760.47	2.031
	28	32.36	1.28	17.70	4044.68	2.021

ตารางที่ 3.23 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ OMC ดินคลองขุด

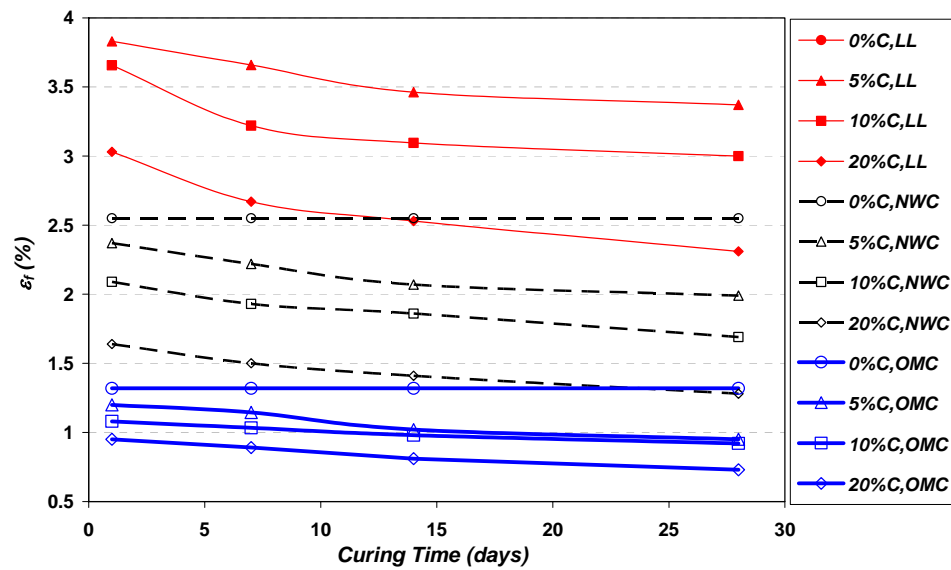
Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	10.92	1.32	14.30	987.74	2.148
5	1	12.21	1.20	12.62	1407.31	2.210
	7	14.10	1.14	12.52	1617.12	2.205
	14	15.80	1.02	12.22	1973.16	2.199
	28	17.95	0.95	12.09	2381.83	2.196
10	1	20.00	1.08	12.02	2436.88	2.228
	7	21.20	1.03	11.74	2563.24	2.219
	14	23.73	0.98	11.50	2902.44	2.212
	28	26.55	0.92	10.92	3355.25	2.202
20	1	32.90	0.95	10.75	3855.96	2.248
	7	37.80	0.89	10.50	4537.28	2.243
	14	40.50	0.81	10.10	5109.02	2.235
	28	42.54	0.73	9.61	6045.07	2.226



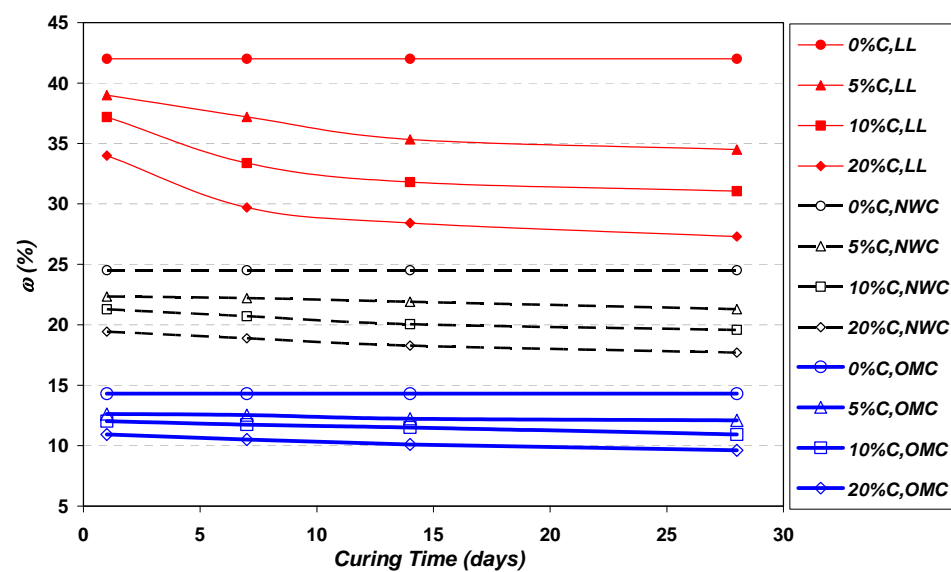
รูปที่ 3.35 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินคลองขุด



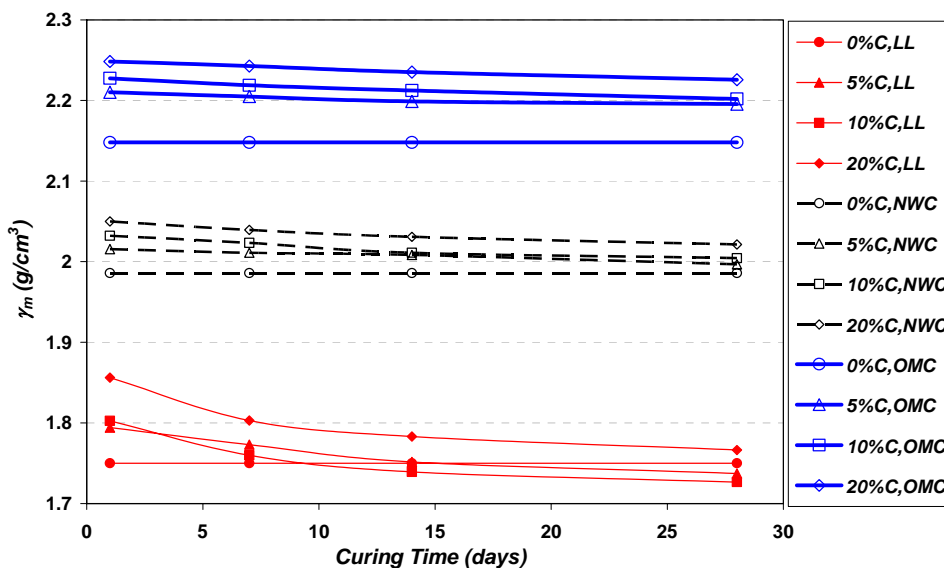
รูปที่ 3.36 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่า E_{50} ของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินคลองขุด



รูปที่ 3.37 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าความเครียดวิบัติของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินคลองขุด



รูปที่ 3.38 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าปริมาณความชื้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินคลองขุด



รูปที่ 3.39 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าหน่วยน้ำหนักขึ้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินคลองขุด

จากผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียวของดินคลองขุด จังหวัดสตูล ค่า UCS มีการพัฒนาค่าตั้งที่สูงขึ้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และอายุบ่มสูงขึ้น และถ้าหากลดปริมาณของน้ำที่ใช้ผสมก็จะทำให้ค่า UCS สูงขึ้นด้วย และจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 5-20 ผสมน้ำที่ปริมาณจุด LL ($\omega = 42.00\%$) อายุบ่ม 1-28 วัน ค่า UCS มีค่าระหว่าง 2.71-25.88 กก./ซม.² ซึ่งจะเห็นได้ว่าการพัฒนาค่าตั้งที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับดินตํามะลิ่ง และดินปากบารา จังหวัดสตูล ทั้งนี้ อาจจะเป็นเพราะปริมาณน้ำที่น้อยกว่าและก่อกับดินคลองขุดมีค่า pH เท่ากับ 5.68 ซึ่งมีสภาวะความเป็นกรดที่น้อยกว่าดินทั้งสอง ก่อกับปริมาณอินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ 1.19) ของดินคลองขุดมีค่าที่น้อยกว่าดินทั้งสอง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ดินคลองขุดมีการพัฒนาค่าตั้งที่สูงกว่า และค่าค่าตั้งจะพัฒนาสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ อายุบ่ม และลดปริมาณน้ำ ส่วนค่า E_{50} มีค่าเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องตามการเพิ่มขึ้นของค่า UCS และค่าความเครียดวิบัติ ปริมาณความชื้น มีค่าลดน้อยลงเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และอายุการเพิ่มมากขึ้น ค่าหน่วยน้ำหนักมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นแต่จะมีค่าลดน้อยลงเมื่ออายุบ่มเพิ่มมากขึ้น

3.2.8 ดินหลุง จังหวัดสตูล

ตารางที่ 3.24 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ LL ดินหลุง

Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.08*	-	25.00	-	1.841
5	1	3.80	2.17	22.80	309.65	1.872
	7	5.54	1.94	22.12	530.64	1.864
	14	6.55	1.81	21.52	728.26	1.857
	28	8.90	1.73	21.03	1070.88	1.846
10	1	8.40	2.02	21.73	1081.12	1.902
	7	11.11	1.87	20.54	1206.98	1.885
	14	13.65	1.73	19.49	1409.80	1.868
	28	17.52	1.65	19.07	1839.26	1.858
20	1	25.80	1.79	19.83	2344.76	1.938
	7	29.35	1.66	18.80	2801.87	1.924
	14	33.12	1.56	18.20	3582.39	1.913
	28	35.37	1.42	17.67	3843.88	1.904

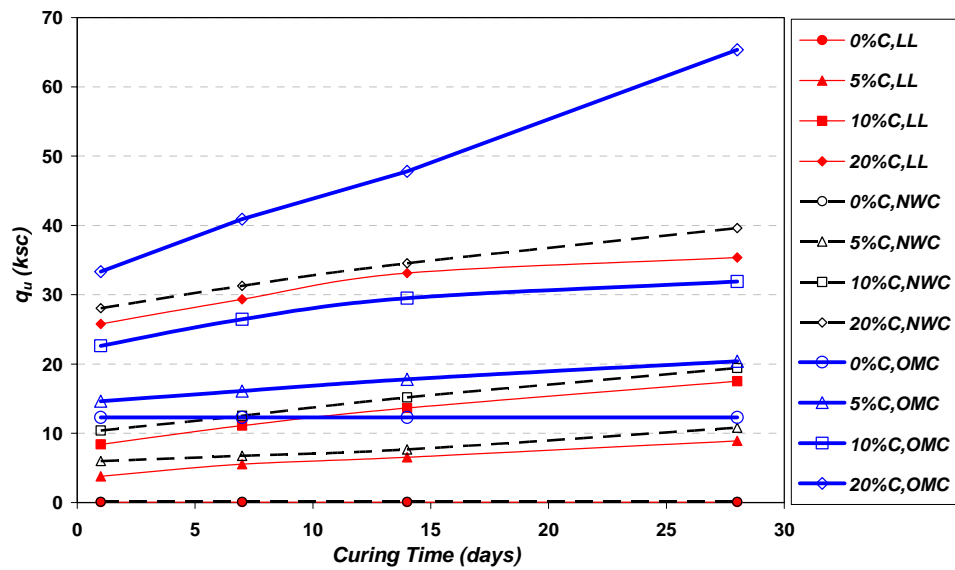
หมายเหตุ : * - ตัวอย่างไม่แข็งตัว ไม่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ ทดสอบโดยใช้ Pocket Vane Shear

ตารางที่ 3.25 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ NWC ดินกลุง

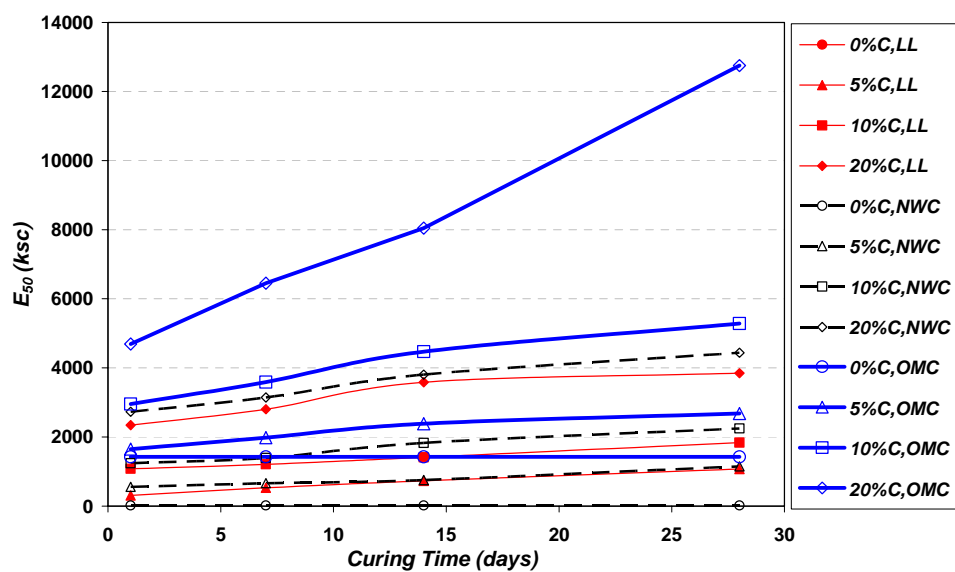
Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	0.12	2.05	21.54	17.70	1.919
5	1	6.00	1.87	19.51	558.13	1.952
	7	6.76	1.74	19.42	661.79	1.944
	14	7.67	1.67	19.12	754.84	1.938
	28	10.81	1.61	18.70	1150.50	1.931
10	1	10.41	1.71	18.58	1240.75	1.966
	7	12.53	1.61	18.19	1391.96	1.960
	14	15.19	1.51	17.83	1827.24	1.951
	28	19.42	1.45	17.41	2245.34	1.943
20	1	28.06	1.48	16.95	2727.50	2.012
	7	31.28	1.36	16.03	3145.00	1.995
	14	34.54	1.27	15.43	3806.36	1.987
	28	39.62	1.14	14.77	4436.66	1.973

ตารางที่ 3.26 ผลการทดสอบ UCS ของดินซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำ OMC ดินกลุง

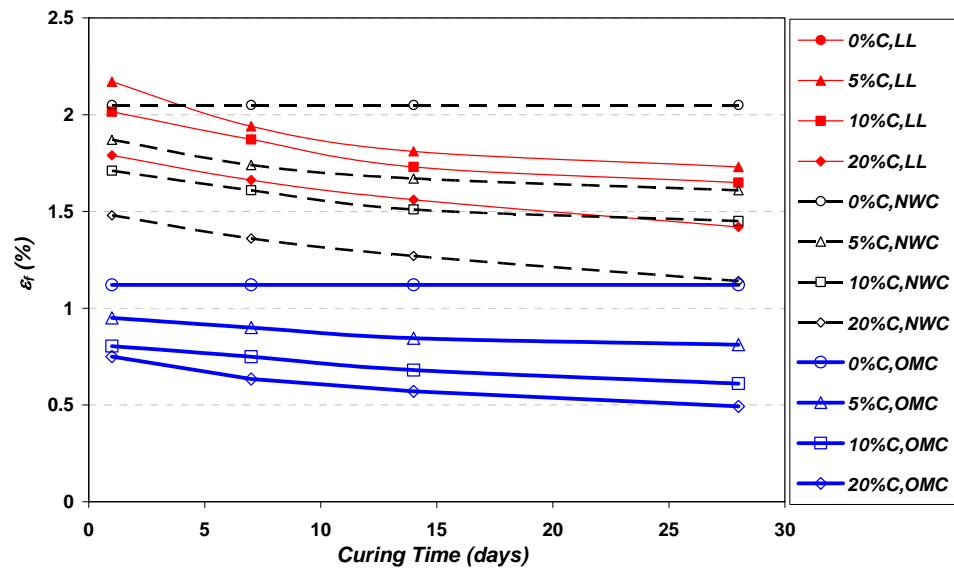
Cement (%)	Curing Time (Days)	q_u (ksc)	ϵ_f (%)	ω (%)	E_{50} (ksc)	γ_m (g/cm ³)
0	0	12.29	1.12	9.80	1423.24	2.148
5	1	14.64	0.95	9.15	1651.03	2.231
	7	16.10	0.90	8.95	1981.77	2.223
	14	17.80	0.85	8.59	2382.72	2.216
	28	20.40	0.81	8.24	2679.81	2.212
10	1	22.62	0.80	8.28	2956.14	2.227
	7	26.45	0.75	7.78	3587.67	2.216
	14	29.51	0.68	7.38	4468.99	2.207
	28	31.91	0.61	7.05	5282.77	2.202
20	1	33.33	0.75	7.98	4692.94	2.291
	7	40.90	0.63	6.75	6450.60	2.265
	14	47.80	0.57	6.40	8047.38	2.257
	28	65.35	0.49	5.68	12752.40	2.247



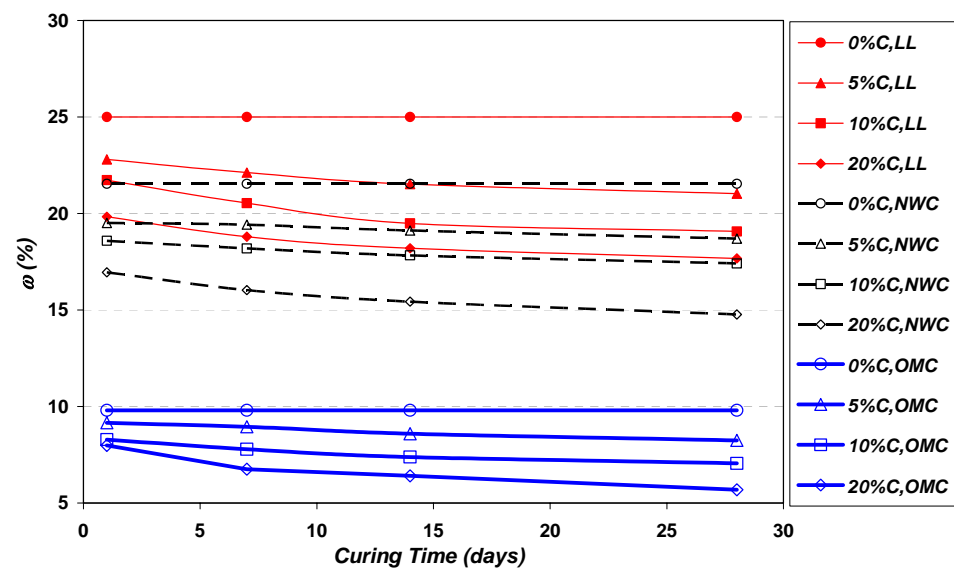
รูปที่ 3.40 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินจลสูง



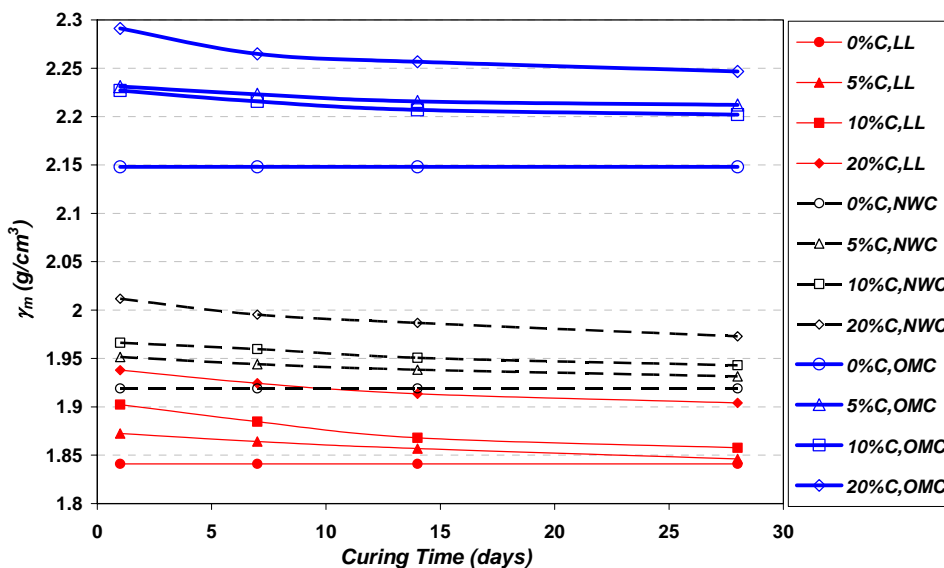
รูปที่ 3.41 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่า E_{50} ของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินจลสูง



รูปที่ 3.42 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าความเครียดวิบัติของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินจลุม



รูปที่ 3.43 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าปริมาณความชื้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินจลุม



รูปที่ 3.44 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่าหน่วยน้ำหนักขึ้นของดินซีเมนต์ที่ผสมปริมาณปูนซีเมนต์และความชื้นต่างๆ ดินจลน

จากผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียวของดินจลน จังหวัดสตูล ค่า UCS มีการพัฒนาค่าที่สูงขึ้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และอายุบ่มสูงขึ้น และถ้าหากลดปริมาณของน้ำที่ใช้ผสมก็จะทำให้ค่า UCS สูงขึ้นด้วย และจะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 5-20 ผสมน้ำที่ปริมาณจุด LL ($\omega = 25.00\%$) อายุบ่ม 1-28 วัน ค่า UCS มีค่าระหว่าง 3.80-35.37 กก./ cm^2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการพัฒนาค่าที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับดินคลองขุด จังหวัดสตูล ซึ่งมีลักษณะเป็นดินเดียวกัน (CL) ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะปริมาณน้ำที่น้อยกว่าส่วนค่า pH และปริมาณอินทรีย์วัตถุของดินจลนและดินคลองขุดมีค่าใกล้เคียงกัน และค่ากำลังจะพัฒนาสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ อายุบ่ม และลดปริมาณน้ำ ส่วนค่า E_{50} มีค่าเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องตามการเพิ่มขึ้นของค่า UCS และค่าความเครียดวิกฤติ ปริมาณความชื้น มีค่าลดน้อยลงเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และอายุการเพิ่มมากขึ้น ค่าหน่วยน้ำหนักมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นแต่จะมีค่าลดน้อยลงเมื่ออายุบ่มเพิ่มมากขึ้น

จากผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียว ความเครียดวิกฤติจะมีค่าสูงเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และอายุบ่มน้อย และมีปริมาณความชื้นสูง ซึ่งวัสดุจะมีการยุบตัวสูง แต่เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และอายุบ่มเพิ่มมากขึ้น และปริมาณความชื้นลดลง ดินซีเมนต์จะมีความเครียดวิกฤติที่ลดต่ำลง ซึ่งทำให้ดินซีเมนต์มีความแข็งแรงยุบตัวได้น้อยมีลักษณะเป็นวัสดุแข็งเปราะซึ่งสามารถสังเกตได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด (Strain) กับความเค้น (Stress) ของดินซีเมนต์ที่ผสมปูนซีเมนต์ ปริมาณความชื้น และอายุบ่มต่างๆ ในภาคผนวก ก.

จากผลการศึกษา จะเห็นได้ว่าค่ากำลังอัดแกนเดียวมีการพัฒนาสูงขึ้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์และอายุบ่มมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Mitchell (1976) ทรงพล บุญมาดี (2529) Ruenkairergsa (1982) อุดม มาศสุวรรณ และ โรจนกร เลิศปิยะนันท์ (2536) พินิต ตั้งบุญเต็ม และ เกษม เพชรเกตุ (2536) เกษม เพชรเกตุ และ โกศล ไกรพัฒน์พงศ์ (2544) ณรงค์ชัย ภัทรสังฆธรรม (2544) โชคก สันติสวัสดิ์ คณะ (2545) และศุภกิจ นนทนานันท์ และ กมล อมรฟ้า (2545) และ Petchgate, et al. (2002)

สำหรับดินที่มีค่าความเป็นกรดสูง (ค่า pH ต่ำ) ถ้าหากใช้ปริมาณปูนซีเมนต์และอายุบ่มน้อย และมีปริมาณความชื้นสูง ดินซีเมนต์จะไม่แข็งตัวและรับกำลังได้น้อย และถ้าหากต้องการให้ดินซีเมนต์ที่มีความเป็นกรดสูงแข็งตัวและสามารถรับกำลังได้ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ จะต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากขึ้น ส่วนปริมาณของอินทรีย์วัตถุส่งผลเช่นเดียวกับค่าความเป็นกรดของดิน คือ ปริมาณอินทรีย์วัตถุมากจะทำให้ค่ากำลังของดินซีเมนต์ต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Bell (1993) ณรงค์ชัย ภัทรสังฆธรรม (2544) และ เกษม เพชรเกตุ และ โกศล ไกรพัฒน์พงศ์ (2544) สำหรับปริมาณของคลอไรด์ที่อยู่ในดินนั้นไม่ค่อยมีผลกระทบต่อกำลังของดินซีเมนต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ เกษม เพชรเกตุ และ โกศล ไกรพัฒน์พงศ์ (2544) และ เชิดชนินทร์ หม่อมมลทิน และคณะ (2548ข)

3.3 ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)

การทดสอบการอัดตัวคายน้ำเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าคงตัวของการอัดตัวได้ (Compressibility Parameter) ของตัวอย่างดินที่เป็นดินเดิมและเป็นตัวอย่างดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมปูนซีเมนต์ โดยตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบการอัดตัวคายน้ำจะประกอบไปด้วยดินเดิม ดินผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 5, 10 และ 20 โดยใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC อายุบ่ม 28 วัน ซึ่งตัวอย่างทั้งหมดจะบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานฐาน (Modified Proctor) ซึ่งค่าคงตัวของการอัดตัวได้สามารถนำมาวิเคราะห์หาค่าคงตัวและการทรุดตัวของดินค้นทางได้ ซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดจะแสดงอยู่ในตารางที่ 3.27 และตารางที่ 3.28 โดยค่าคงตัวของการอัดตัวได้ประกอบด้วย

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

ตารางที่ 3.27 ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดินผสมซีเมนต์ปริมาณต่างๆ โดยใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC อายุบ่ม 28 วัน ของดินจังหวัดสงขลา

Compressibility Parameter	% C	ดินลพบุรีรามสวร์	ดินตีสูลานนท์	ดินโรงไฟฟ้าสงขลา	ดินระโนด
Pressure, ksc	0	0.158 - 12.143	0.158 - 12.143	0.158 - 12.124	0.158 - 12.124
C_v , cm ² /sec		1.633×10^{-4} - 2.417×10^{-5}	9.184×10^{-5} - 2.170×10^{-5}	7.562×10^{-5} - 1.864×10^{-5}	1.918×10^{-4} - 3.156×10^{-5}
k, cm/sec		2.306×10^{-5} - 1.933×10^{-7}	2.862×10^{-5} - 1.844×10^{-7}	1.195×10^{-5} - 2.035×10^{-7}	2.357×10^{-5} - 2.103×10^{-7}
P_c , ksc		0.590	0.500	0.800	0.630
C_c		0.348	0.455	0.461	0.293
C_r		0.051	0.084	0.082	0.031
Pressure, ksc		5	0.158 - 12.143	0.158 - 12.143	0.158 - 12.124
C_v , cm ² /sec	2.467×10^{-4} - 3.926×10^{-5}		2.250×10^{-4} - 3.284×10^{-5}	2.017×10^{-4} - 2.918×10^{-5}	2.836×10^{-4} - 5.101×10^{-5}
k, cm/sec	2.844×10^{-5} - 2.590×10^{-7}		4.497×10^{-5} - 2.791×10^{-7}	2.134×10^{-5} - 2.519×10^{-7}	3.000×10^{-5} - 2.935×10^{-7}
P_c , ksc	0.900		0.780	0.920	0.880
C_c	0.295		0.444	0.393	0.260
C_r	0.033		0.053	0.041	0.038
Pressure, ksc	10		0.158 - 12.143	0.158 - 12.143	0.158 - 12.124
C_v , cm ² /sec		3.751×10^{-4} - 6.306×10^{-5}	3.313×10^{-4} - 6.388×10^{-5}	5.190×10^{-4} - 8.743×10^{-5}	4.305×10^{-4} - 7.680×10^{-5}
k, cm/sec		2.946×10^{-5} - 2.662×10^{-7}	2.046×10^{-5} - 3.552×10^{-7}	2.301×10^{-5} - 4.445×10^{-7}	2.822×10^{-5} - 3.141×10^{-7}
P_c , ksc		1.100	1.200	1.100	1.300
C_c		0.183	0.279	0.237	0.177
C_r		0.018	0.030	0.025	0.020

ตารางที่ 3.27(ต่อ) ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดินผสมซีเมนต์ปริมาณต่างๆ โดยใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC อายุบ่ม 28 วัน ของดินจังหวัดสงขลา

Compressibility Parameter	% C	ดินลพบุรีรามสวร์	ดินตีสถานนท์	ดินโรงไฟฟ้าสงขลา	ดินระโนด
Pressure, ksc	20	0.313 – 12.607	0.313 – 12.607	0.313 – 12.620	0.322 – 12.636
C_v , cm ² /sec		9.753×10^{-4} – 2.309×10^{-4}	7.987×10^{-4} – 1.584×10^{-4}	3.527×10^{-3} – 3.867×10^{-4}	1.031×10^{-3} – 2.443×10^{-4}
k, cm/sec		1.094×10^{-5} – 3.191×10^{-7}	8.921×10^{-6} – 3.370×10^{-7}	2.027×10^{-5} – 1.268×10^{-6}	4.326×10^{-6} – 4.098×10^{-7}
P_c , ksc		1.900	2.000	2.300	2.100
C_c		0.063	0.102	0.128	0.075
C_r		0.008	0.015	0.019	0.008

หมายเหตุ C = Portland Cement, P_c = Preconsolidation Pressure, C_c = Compression Index, C_r = Recompression Index

ตารางที่ 3.28 ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดินผสมซีเมนต์ปริมาณต่างๆ โดยใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC อายุบ่ม 28 วัน ของดินจังหวัดสตูล

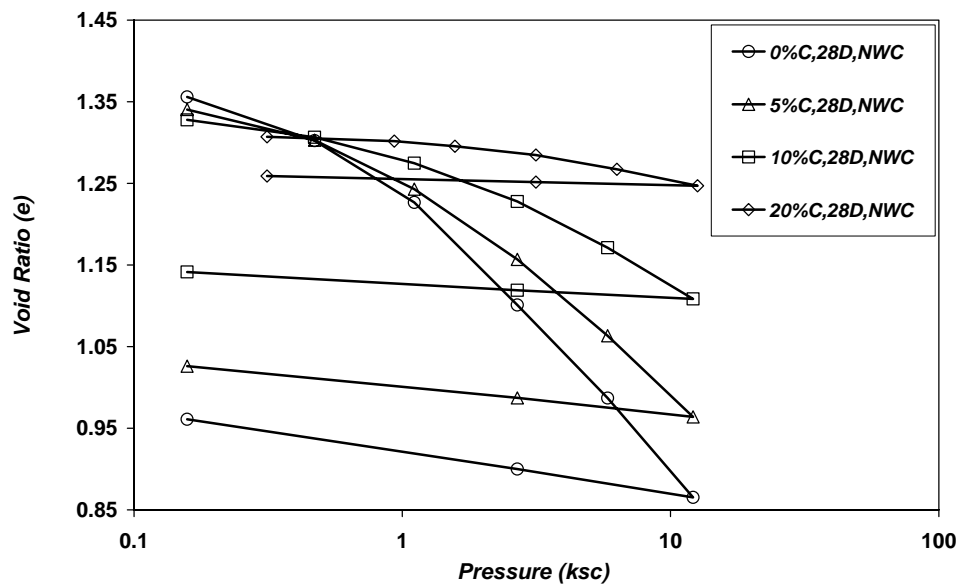
Compressibility Parameter	% C	ดินตำมะลัง	ดินปากบารา	ดินคลองขุด	ดินฉลุง
Pressure, ksc	0	0.158 - 12.176	0.158 – 12.176	0.158 – 12.157	0.158 – 12.157
C_v , cm ² /sec		1.051×10^{-4} – 1.236×10^{-5}	2.593×10^{-4} – 3.470×10^{-5}	2.176×10^{-4} – 4.325×10^{-5}	1.971×10^{-4} – 3.993×10^{-5}
k, cm/sec		6.859×10^{-5} – 1.316×10^{-7}	3.687×10^{-5} – 2.379×10^{-7}	2.053×10^{-5} – 2.274×10^{-7}	4.950×10^{-5} – 1.623×10^{-7}
P_c , ksc		0.700	0.850	0.950	0.360
C_c		0.679	0.273	0.153	0.122
C_r		0.092	0.048	0.025	0.017

ตารางที่ 3.28(ต่อ) ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดินผสมซีเมนต์ปริมาณต่างๆ โดยใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC อายุบ่ม 28 วัน ของดินจังหวัดสตูล

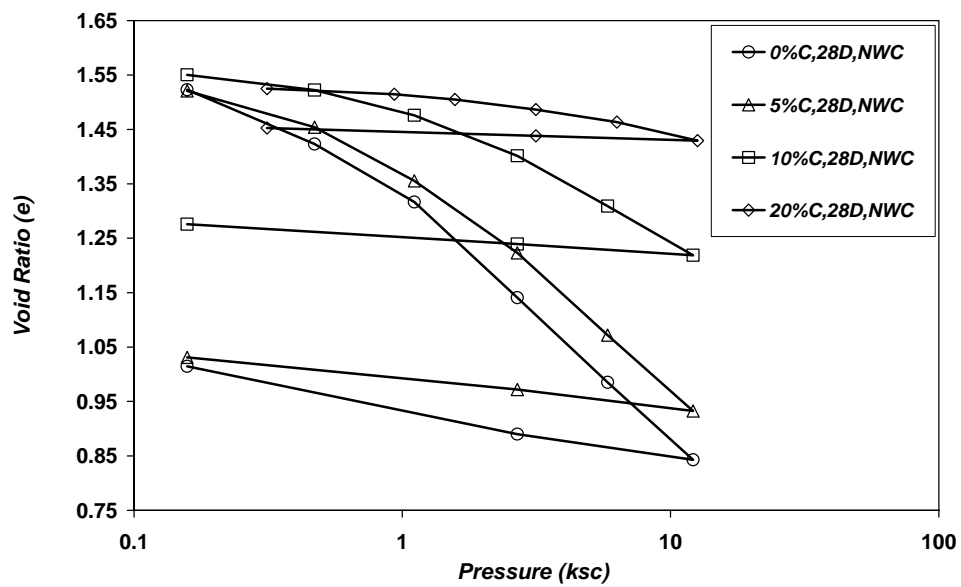
Compressibility Parameter	% C	ดินตำมะลัง	ดินปากบารา	ดินคลองขุด	ดินฉลุง
Pressure, ksc	5	0.158 – 12.176	0.158 – 12.176	0.158 – 12.157	0.158 – 12.157
C_v , cm ² /sec		2.457×10^{-4} – 1.946×10^{-5}	4.275×10^{-4} – 6.386×10^{-5}	2.921×10^{-4} – 7.106×10^{-5}	3.244×10^{-4} – 4.963×10^{-5}
k, cm/sec		1.167×10^{-4} – 2.149×10^{-7}	4.698×10^{-5} – 3.738×10^{-7}	2.971×10^{-5} – 3.222×10^{-7}	6.277×10^{-5} – 1.769×10^{-7}
P_c , ksc		0.890	0.900	1.100	0.600
C_c		0.626	0.228	0.141	0.108
C_r		0.093	0.039	0.016	0.014
Pressure, ksc		10	0.158 - 12.176	0.158 – 12.176	0.158 – 12.157
C_v , cm ² /sec	7.159×10^{-4} – 4.981×10^{-5}		6.051×10^{-4} – 1.132×10^{-4}	4.780×10^{-4} – 9.690×10^{-5}	6.855×10^{-4} – 6.690×10^{-5}
k, cm/sec	2.925×10^{-4} – 5.401×10^{-7}		5.223×10^{-5} – 3.990×10^{-7}	4.218×10^{-5} – 3.279×10^{-7}	7.760×10^{-5} – 1.695×10^{-7}
P_c , ksc	1.900		1.100	1.600	1.100
C_c	0.579		0.131	0.104	0.073
C_r	0.043		0.020	0.012	0.007
Pressure, ksc	20		0.322 – 12.688	0.322 – 12.688	0.322 – 12.636
C_v , cm ² /sec		2.015×10^{-3} – 2.705×10^{-4}	1.085×10^{-3} – 2.030×10^{-4}	9.769×10^{-4} – 2.685×10^{-4}	9.179×10^{-4} – 1.374×10^{-4}
k, cm/sec		7.673×10^{-6} – 2.866×10^{-6}	1.730×10^{-5} – 3.717×10^{-7}	5.920×10^{-6} – 4.717×10^{-7}	3.496×10^{-6} – 1.328×10^{-7}
P_c , ksc		3.500	2.300	3.200	2.100
C_c		0.549	0.070	0.060	0.030
C_r		0.022	0.008	0.005	0.004

หมายเหตุ C = Portland Cement, P_c = Preconsolidation Pressure, C_c = Compression Index,

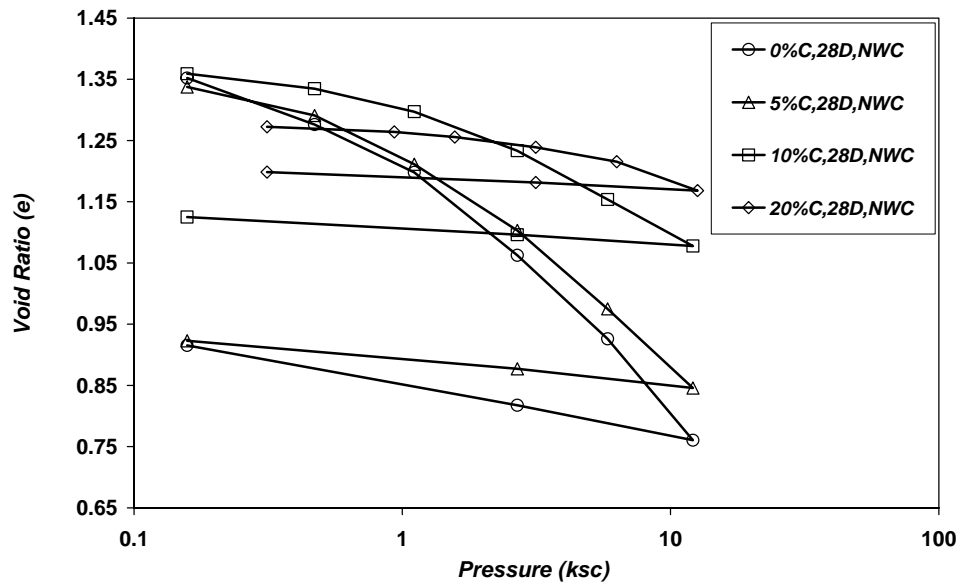
C_r = Recompression Index



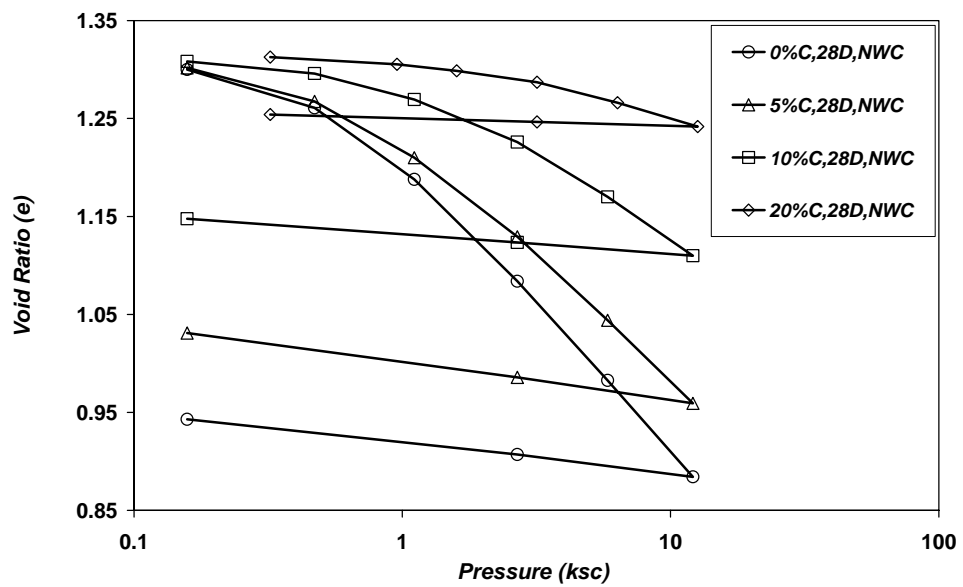
รูปที่ 3.45 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับค่าอัตราส่วนโพรงของดินลพบุรีรามศวร



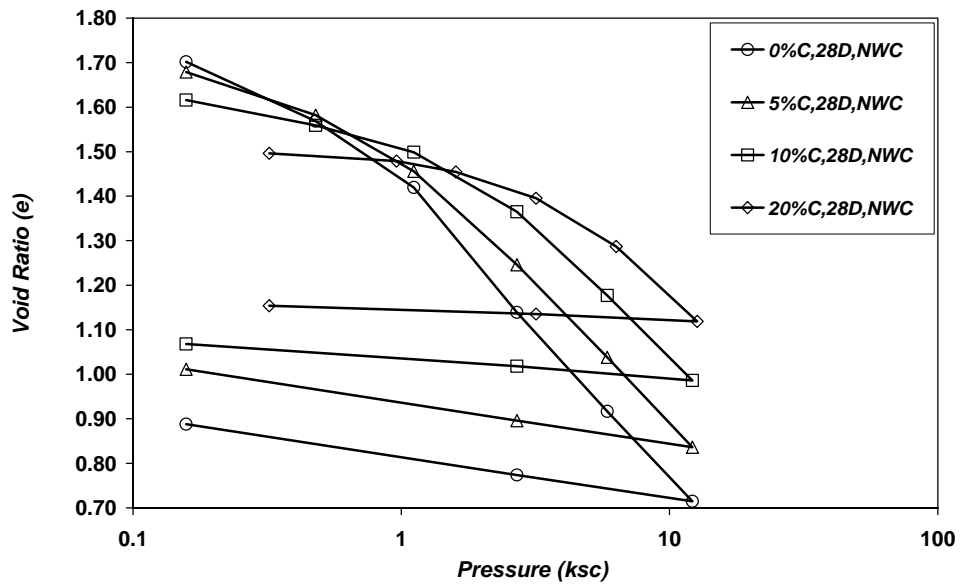
รูปที่ 3.46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับค่าอัตราส่วนโพรงของดินดินสุสานนท์



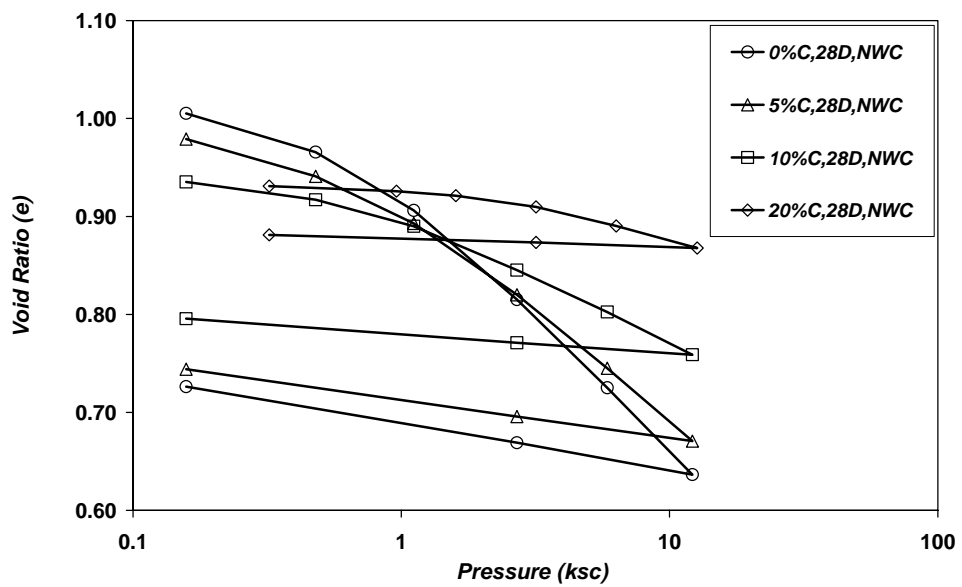
รูปที่ 3.47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับค่าอัตราส่วนโพรงของดินโรงไฟฟ้าสงขลา



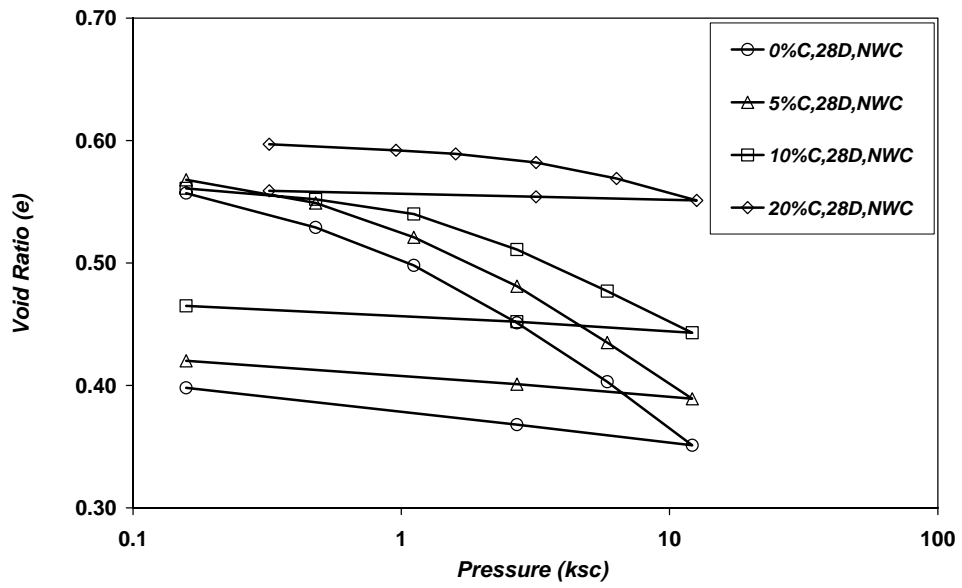
รูปที่ 3.48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับค่าอัตราส่วนโพรงของดินระโนด



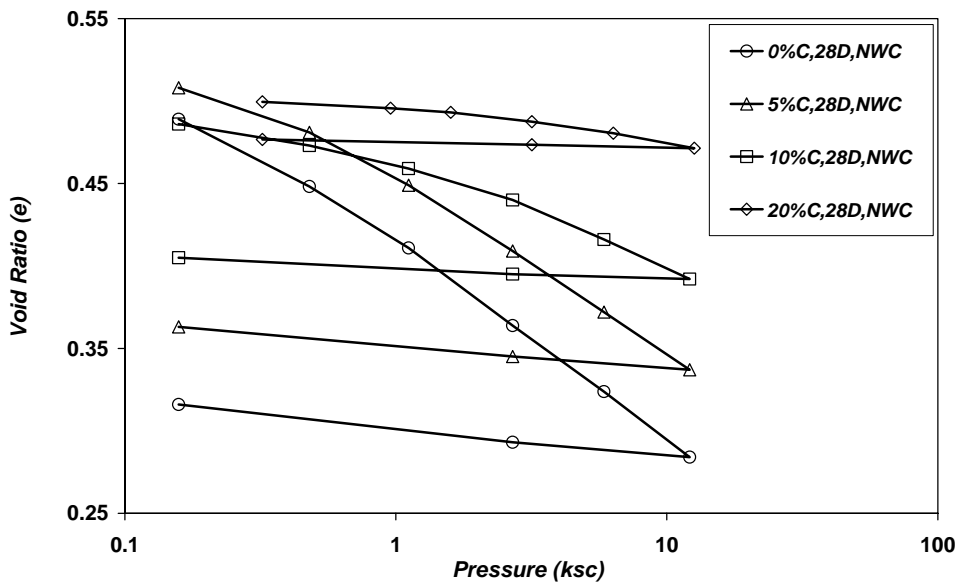
รูปที่ 3.49 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับค่าอัตราส่วน โพรงของดินต้ำมะถัง



รูปที่ 3.50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับค่าอัตราส่วน โพรงของดินปากบารา



รูปที่ 3.51 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับค่าอัตราส่วนโพรงของดินโคลงขุด



รูปที่ 3.52 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับค่าอัตราส่วนโพรงของดินหลุง

จากผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำจะเห็นได้ว่าการนำปูนซีเมนต์ผสมกับดินเดิมนั้นสามารถลดการทรุดตัวของดินลงได้โดยดูจากค่าดัชนีอัดตัว (C_c) ซึ่งมีค่าลดลงจากเดิมเมื่อทำการผสมปูนซีเมนต์ลงไป และค่า C_c จะมีค่าน้อยลงเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น และค่าดัชนีอัดตัวซ้ำ (C_r) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่า C_c และการทรุดตัวของดินมีค่าน้อยลงเมื่อผสมปริมาณปูนซีเมนต์สูงขึ้น โดยสามารถดูได้จากรูปแสดงความสัมพันธ์ ความดัน (Pressure) กับค่าอัตราส่วนโพรง (Void Ratio, e) จากรูปที่ 3.45 – 3.52 ส่วนค่าความดันดินเคยอดตัวมาก่อน (P_c) มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์สูงขึ้น

ถ้าหากจำแนกตามชนิดของดินนั้นสามารถสรุปได้ คือ ดิน CH (ดินระโณดดินต่ำละล้ง) สำหรับดินเดิม จากผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำได้ผลดังนี้ ค่าความดันการทดสอบมีค่าระหว่าง 0.158-12.176 กก./ชม.² ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัว (C_v) มีค่าระหว่าง 1.918×10^{-4} - 1.236×10^{-5} ชม.²/วินาที ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (k) มีค่าระหว่าง 6.859×10^{-5} - 1.316×10^{-7} ชม./วินาที ค่า P_c มีค่าระหว่าง 0.630 – 0.700 กก./ชม.² ค่า C_c มีค่าระหว่าง 0.293 – 0.679 และค่า C_r มีค่าระหว่าง 0.031 – 0.092 เมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC อายุบ่ม 28 วัน ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ คือ ค่าความดันการทดสอบมีค่าระหว่าง 0.322-12.688 กก./ชม.² ค่า C_v มีค่าระหว่าง 1.031×10^{-3} - 2.443×10^{-4} ชม.²/วินาที ค่า k มีค่าระหว่าง 7.673×10^{-6} - 4.098×10^{-7} ชม./วินาที ค่า P_c มีค่าระหว่าง 2.100 – 3.500 กก./ชม.² ค่า C_c มีค่าระหว่าง 0.075 – 0.549 และค่า C_r มีค่าระหว่าง 0.008 – 0.022

สำหรับดิน MH (ดินลพบุรีรามสวร ดินดินสุถานนถ ดินโรงไฟฟาสงขลา ดินปากบารา) ดินเดิมได้ผลการทดสอบ คือ ค่าความดันการทดสอบมีค่าระหว่าง 0.158-12.176 กก./ชม.² ค่า C_v มีค่าระหว่าง 2.593×10^{-4} - 1.864×10^{-5} ชม.²/วินาที ค่า k มีค่าระหว่าง 3.687×10^{-5} - 1.844×10^{-7} ชม./วินาที ค่า P_c มีค่าระหว่าง 0.500 – 0.850 กก./ชม.² ค่า C_c มีค่าระหว่าง 0.273 – 0.461 และค่า C_r มีค่าระหว่าง 0.048 – 0.084 เมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC อายุบ่ม 28 วัน ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ คือ ค่าความดันการทดสอบมีค่าระหว่าง 0.313-12.688 กก./ชม.² ค่า C_v มีค่าระหว่าง 3.527×10^{-3} - 1.584×10^{-4} ชม.²/วินาที ค่า k มีค่าระหว่าง 1.730×10^{-5} - 3.191×10^{-7} ชม./วินาที ค่า P_c มีค่าระหว่าง 1.900 – 2.300 กก./ชม.² ค่า C_c มีค่าระหว่าง 0.063 – 0.128 และค่า C_r มีค่าระหว่าง 0.008 – 0.019

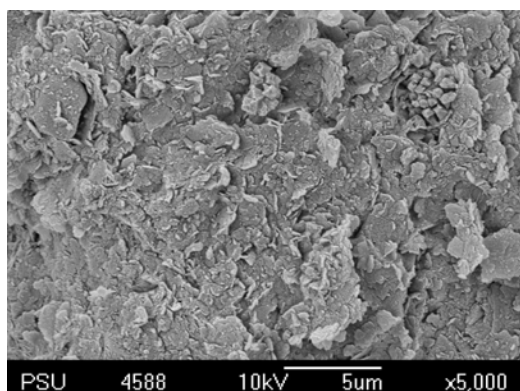
สำหรับดิน CL (ดินคลองขุด ดินจลุง) ดินเดิมได้ผลการทดสอบ คือ ค่าความดันการทดสอบมีค่าระหว่าง 0.158-12.157 กก./ชม.² ค่า C_v มีค่าระหว่าง 2.176×10^{-4} - 3.993×10^{-5} ชม.²/วินาที ค่า k มีค่าระหว่าง 4.950×10^{-5} - 1.623×10^{-7} ชม./วินาที ค่า P_c มีค่าระหว่าง 0.360 – 0.950 กก./ชม.² ค่า C_c มีค่าระหว่าง 0.122 – 0.153 และค่า C_r มีค่าระหว่าง 0.017 – 0.025 เมื่อทำการ

ปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC อายุบ่ม 28 วัน ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ คือ ค่าความดันการทดสอบมีค่าระหว่าง 0.322-12.636 กก./ซม.² ค่า C_v มีค่าระหว่าง $9.769 \times 10^{-4} - 1.374 \times 10^{-4}$ ซม.²/วินาที ค่า k มีค่าระหว่าง $5.920 \times 10^{-6} - 1.328 \times 10^{-7}$ ซม./วินาที ค่า P_c มีค่าระหว่าง 2.100 – 3.200 กก./ซม.² ค่า C_c มีค่าระหว่าง 0.030 – 0.060 และค่า C_r มีค่าระหว่าง 0.004 – 0.005

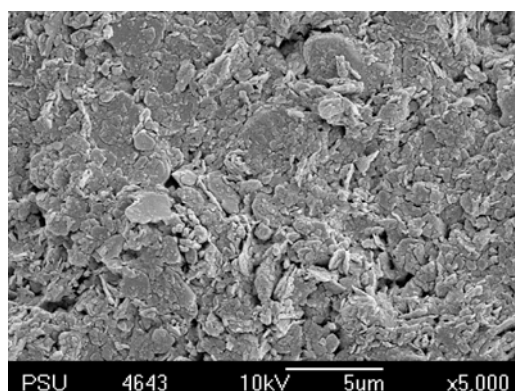
จากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำของดินที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมปูนซีเมนต์นั้นสามารถลดการทรุดตัวของดินคันทางได้โดยสังเกตได้จากค่าคงตัวของการอัดตัว ซึ่งการทรุดตัวจะลดลงเมื่อผสมปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการผสมปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ดินที่ปรับปรุงนั้นมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้การทรุดตัวของดินลดลง ซึ่งค่าคงตัวของการอัดตัวได้นั้น สามารถนำไปวิเคราะห์ระยะเวลาและการทรุดตัวของดินคันทางได้ และผลของการศึกษาที่ได้มีความสอดคล้องและเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับผลการศึกษาของศุภกิจ นนทนานันท์ และ กมล อมรฟ้า (2545) โชคก สันติสวัสดิ์ และคณะ (2545) และ Petchgate, et al. (2002)

3.4 ผลการตรวจโครงสร้างจุลภาค

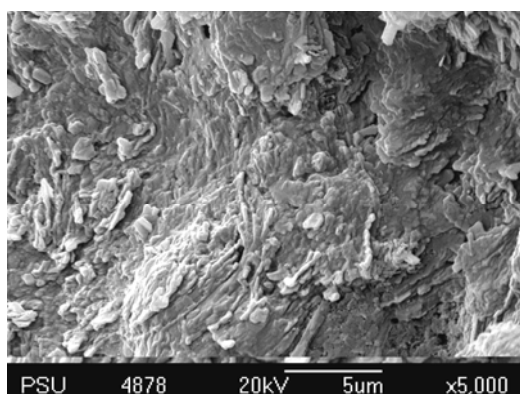
การตรวจโครงสร้างจุลภาคโดยภาพถ่ายจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เป็นการตรวจโครงสร้างจุลภาคของดินเดิมและดินผสมปูนซีเมนต์ (ดินซีเมนต์) โดยเลือกตรวจตัวอย่างจากดิน 4 จุด คือ ดินดินสุสานนท์ (รูปที่ 3.53) ดินโรงไฟฟ้าสงขลา (รูปที่ 3.53) ดินท่ามะลิ่ง (รูปที่ 3.53) และดินฉลุง (รูปที่ 3.53) โดยใช้ตัวอย่าง คือ ดินเดิม ดินผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC อายุบ่ม 1, 7, 14 และ 28 วัน ดินผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ใช้ปริมาณน้ำที่จุด LL, OMC อายุบ่ม 28 วัน ซึ่งได้ผลการตรวจดังนี้



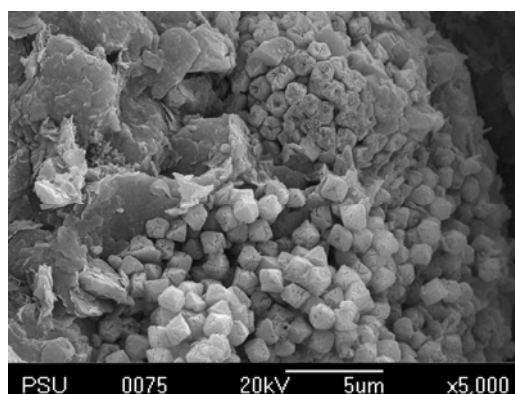
(ก)



(ข)

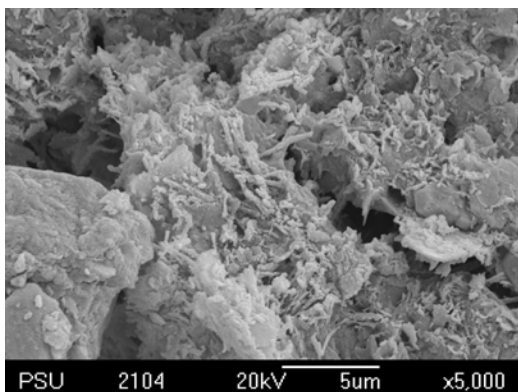


(ค)

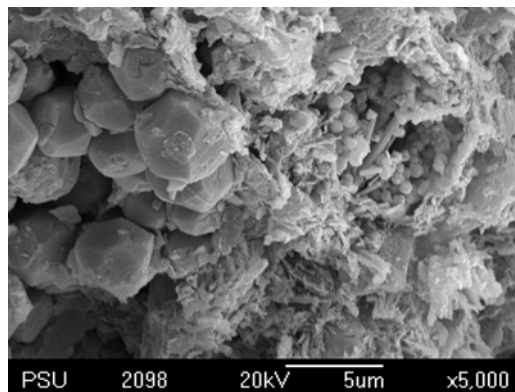


(ง)

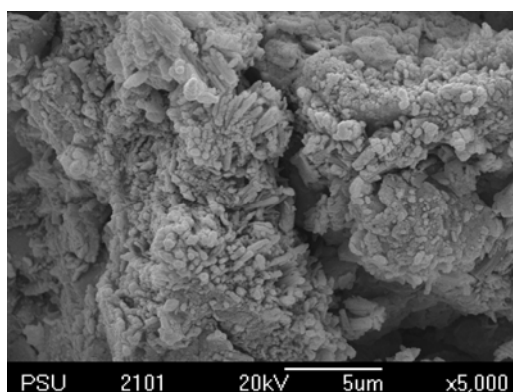
รูปที่ 3.53 ภาพถ่ายจุลทรรศน์ SEM ดินดินสุสานนท์ (ก) 0 %C, 0 D, NWC (ข) 20 %C, 1 D, NWC (ค) 20 %C, 7 D, NWC (ง) 20 %C, 14 D, NWC



(จ)

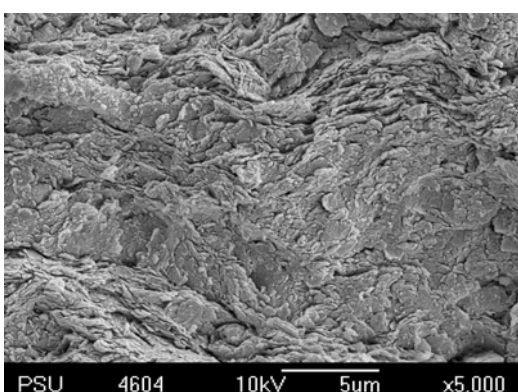


(ฉ)

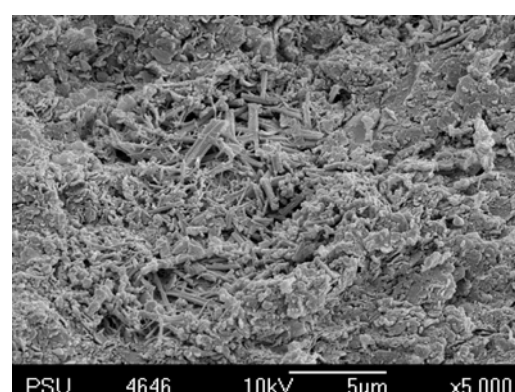


(ช)

รูปที่ 3.53 (ต่อ) ภาพถ่ายจุลทรรศน์ SEM ดินติณสุลานนท์ (จ) 20 %C, 28 D, NWC (ฉ) 20 %C, 28 D, LL (ช) 20 %C, 28 D, OMC

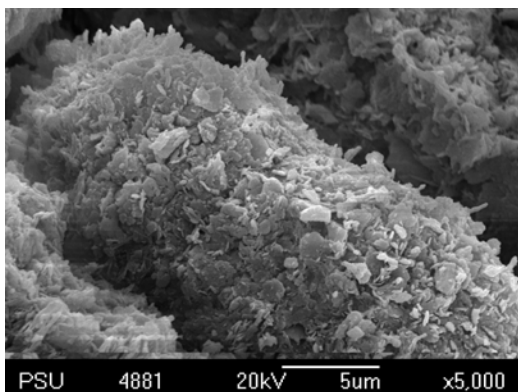


(ค)

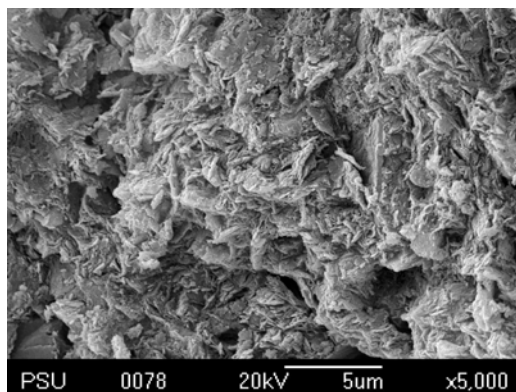


(ข)

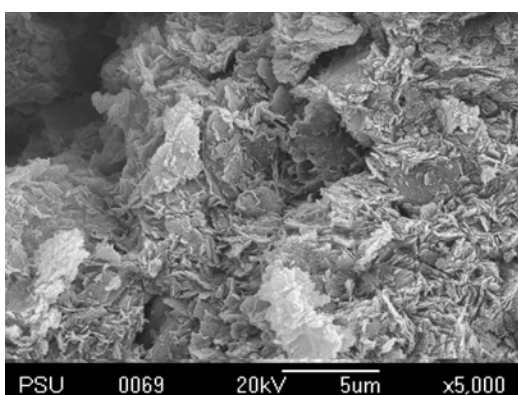
รูปที่ 3.54 ภาพถ่ายจุลทรรศน์ SEM ดินโรงไฟฟ้าสงขลา (ก) 0 %C, 0 D, NWC (ข) 20 %C, 1 D, NWC



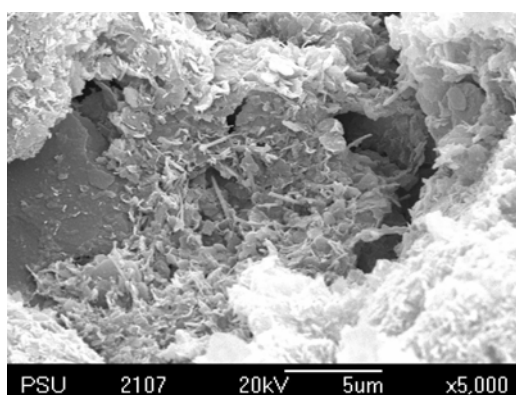
(ก)



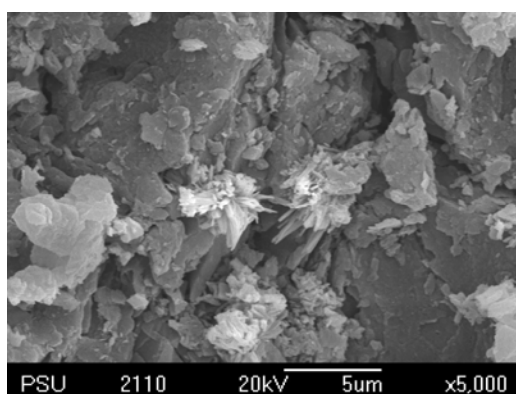
(ง)



(จ)

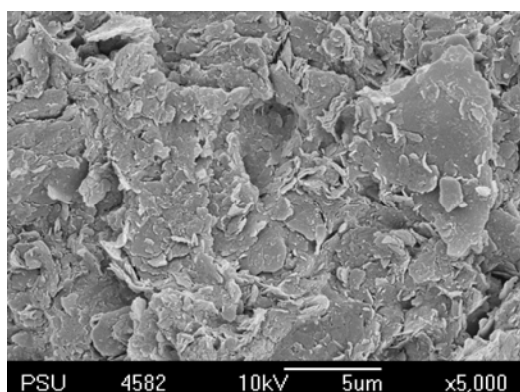


(ฉ)

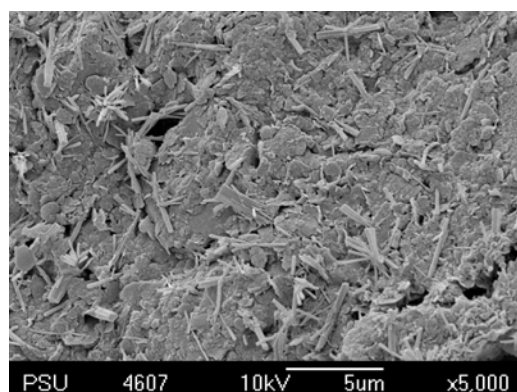


(ซ)

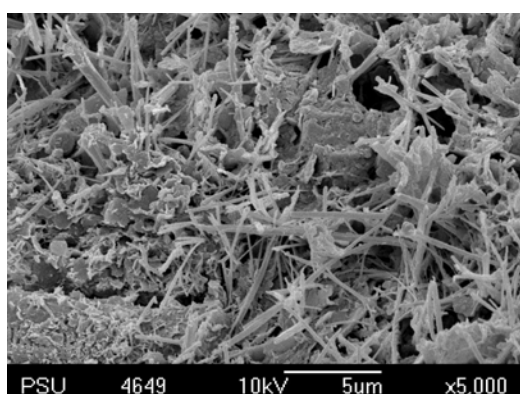
รูปที่ 3.54 (ต่อ) ภาพถ่ายจุลทรรศน์ SEM ดินโรงไฟฟ้าสงขลา (ค) 20 %C, 7 D, NWC (ง) 20 %C, 14 D, NWC (จ) 20 %C, 28 D, NWC (ฉ) 20 %C, 28 D, LL (ซ) 20 %C, 28 D, OMC



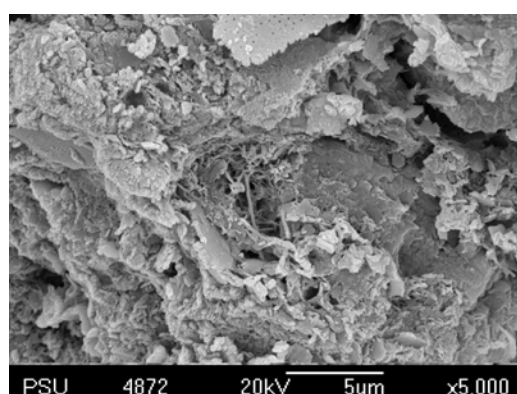
(ก)



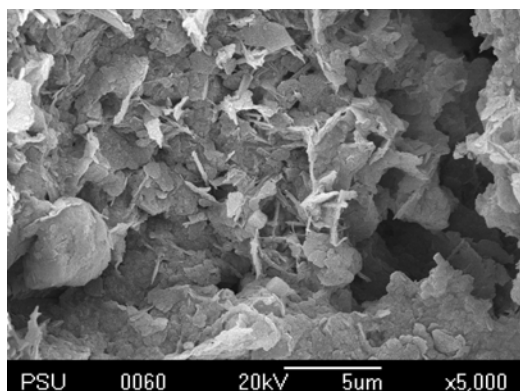
(ข)



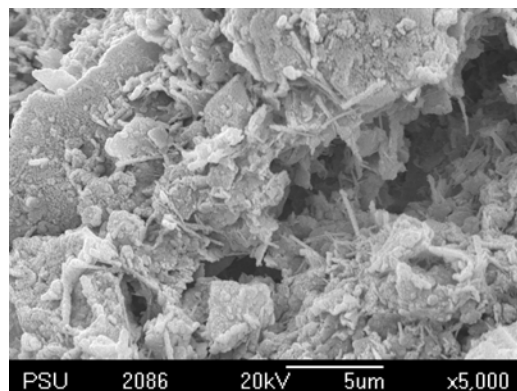
(ค)



(ง)

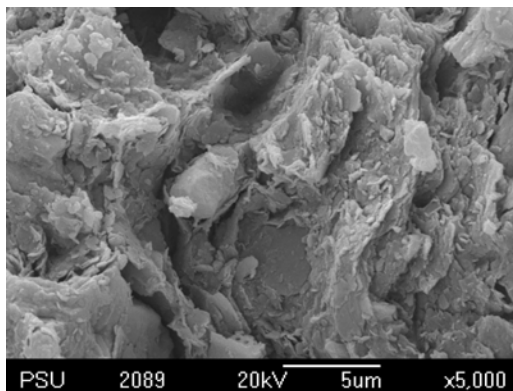


(จ)



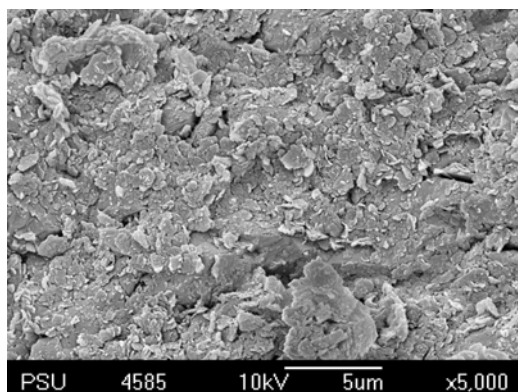
(ฉ)

รูปที่ 3.55 ภาพถ่ายจุลทรรศน์ SEM ดินดำมะลิ (ก) 0 %C, 0 D, NWC (ข) 20 %C, 1 D, NWC (ค) 20 %C, 7 D, NWC (ง) 20 %C, 14 D, NWC (จ) 20 %C, 28 D, NWC (ฉ) 20 %C, 28 D, LL

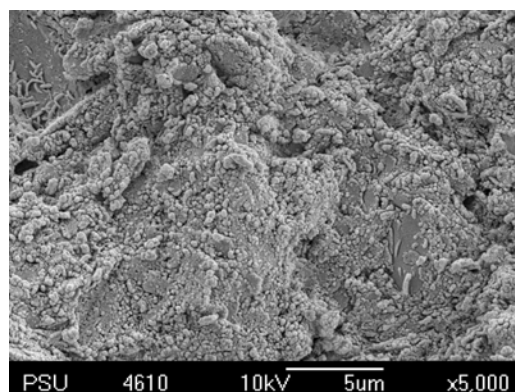


(ข)

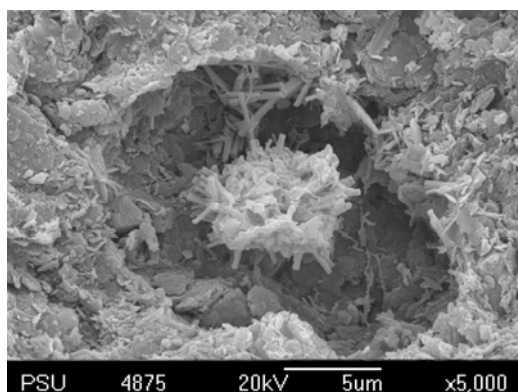
รูปที่ 3.55 (ต่อ) ภาพถ่ายจุลทรรศน์ SEM ดินดำมะลิ่ง (ข) 20 %C, 28 D, OMC



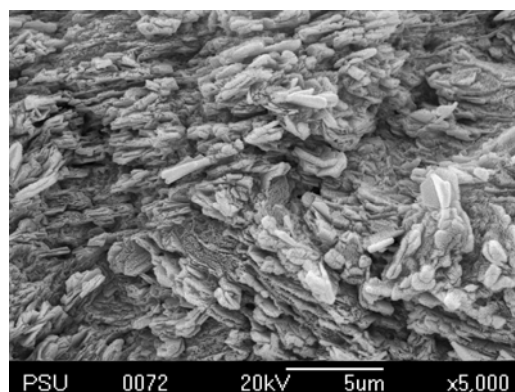
(ก)



(ข)

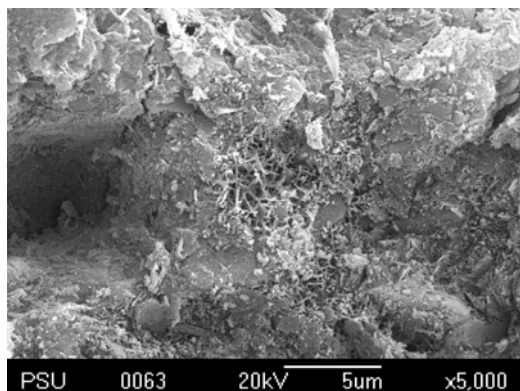


(ค)

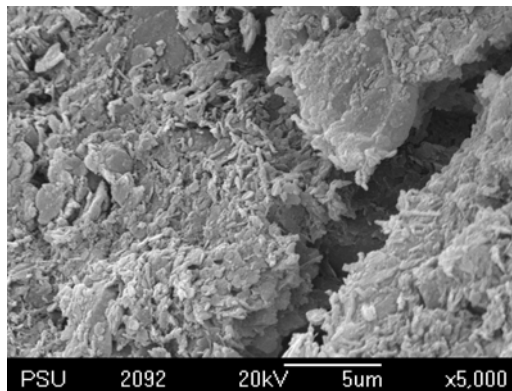


(ง)

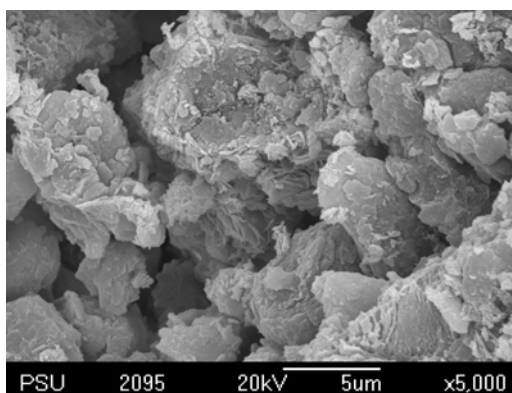
รูปที่ 3.56 ภาพถ่ายจุลทรรศน์ SEM ดินจลุม (ก) 0 %C, 0 D, NWC (ข) 20 %C, 1 D, NWC (ค) 20 %C, 7 D, NWC (ง) 20 %C, 14 D, NWC



(จ)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.56 (ต่อ) ภาพถ่ายจุลทรรศน์ SEM ดินฉลุง (จ) 20 %C, 28 D, NWC (ข) 20 %C, 28 D, LL (ค) 20 %C, 28 D, OMC

จากผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคจะเห็นได้ว่าโครงสร้างจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเมื่อผสมปูนซีเมนต์ในปริมาณต่างๆ และอายุบ่มเพิ่มมากขึ้น จากรูปที่ 3.53 ซึ่งเป็นดินดินสุสานนท์ จังหวัดสงขลา จะเห็นได้ว่าในรูปที่ 3.53 (ก) เป็นโครงสร้างของดินเดิมที่ยังไม่ปรับปรุงคุณภาพซึ่งโครงสร้างโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยแร่ ควอตซ์ (Quartz (Qt)), มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite (Mont)) และ ไมกา (Mica (Mi)) มีลักษณะเป็นแผ่นยึดเกาะกันแบบหลวมๆ โดยส่วนใหญ่แร่ทั้งสามนั้นเป็นแร่ประกอบหลักของดินเดิมเมื่อทำการผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 อายุบ่ม 1 วัน รูปที่ 3.53 (ข) โครงสร้างจุลภาคเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงแร่ภายในโครงสร้างโดยมีแร่เกิดขึ้นใหม่ เช่น เคโอลิไนต์ (Kaolinite (Kao)), แอตริงไนต์ (Ettringite (Ett)) โดยเฉพาะแร่ Ett มีลักษณะเป็นหนามแหลมช่วยในการยึดเกาะโครงสร้างดินเข้ากันเป็นก้อนช่วยเพิ่มกำลังของดินซีเมนต์ จากรูปที่ 3.53 (ค) เมื่ออายุบ่มเป็น 7 วันจะเห็นได้ว่าโครงสร้างมีการจับตัวกันเป็นก้อนและมีความแน่นที่มากขึ้นและมีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากปฏิกิริยา Cement Hydration

จากรูปที่ 3.53 (ง) โครงสร้างจุลภาคก็ยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โครงสร้างมีลักษณะเป็นก้อนซึ่งบ่งบอกถึงการที่จะสามารถรับกำลังได้ดีขึ้น จากรูปที่ 3.53 (จ) เป็นโครงสร้างของดินซีเมนต์ที่มีอายุบ่ม 28 วัน จะเห็นได้ว่าโครงสร้างจุลภาคถูกยึดเกาะด้วยหนามของแร่ Ett และนอกจากนั้นยังมีแร่แคลเซียม ซิลิเกต ไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate (CSH)) และ Kao เกิดขึ้นด้วยและแร่เหล่านี้จะช่วยให้อินทรีย์สารยึดเกาะกันเป็นก้อนซึ่งจะทำให้สามารถรับกำลังได้ดีขึ้น เช่นเดียวกันกับรูปที่ 3.53 (ฉ) และ รูปที่ 3.53 (ช) ซึ่งแตกต่างกันที่ปริมาณน้ำที่ผสม

จากรูปที่ 3.54 เป็นโครงสร้างจุลภาคของดินโรงไฟฟ้าสงขลา จังหวัดสงขลา ซึ่งรูปที่ 3.54 (ก) เป็นโครงสร้างของดินเดิมมีลักษณะเป็นแผ่นจับกันหลวมๆ ซึ่งประกอบไปด้วยแร่ Qt ซึ่งเป็นแร่หลักของดิน แร่ Mont, Kao-mont และ ไฮโดรไบโอไทต์ (Hydrobiotite (Hyd)) การที่ดินมีโครงสร้างที่จับกับหลวมๆนั้นจะทำให้ความสามารถในการรับแรงนั้นต่ำ จากรูปที่ 3.54 (ข) เมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 อายุบ่ม 1 วัน จะเห็นได้ว่าโครงสร้างจุลภาคมีลักษณะเป็นโครงสร้างระเกะระกะมีก้านหนามของแร่ Ett เริ่มเกิดขึ้นช่วยยึดจับโครงสร้างของดินให้รวมกันเป็นก้อน นอกจากนั้นยังมีแร่ที่เกิดจากปฏิกิริยา Cement Hydration คือ แร่ Kao จากรูปที่ 3.54 (ค) อายุบ่มของดินซีเมนต์ 7 วัน โครงสร้างจุลภาคมีการจับตัวรวมกันเป็นก้อน โดยมีแร่ Qt, Kao และ Ett เป็นแร่องค์ประกอบ จากรูปที่ 3.54 (ง) อายุบ่มของดินซีเมนต์ 14 วันมีโครงสร้างของแร่ Qt, Kao และ CSH ซึ่งแร่ CSH เกิดจากปฏิกิริยา Hydration และ Pozzolanic ซึ่งจะช่วยในการยึดเกาะของดินให้เป็นก้อนและแน่นขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มกำลังของดินซีเมนต์ จากรูปที่ 3.54 (จ) ดินซีเมนต์อายุบ่ม 28 วัน จะเห็นได้ว่าดินมีลักษณะเป็นก้อน โครงสร้างมีการยึดจับกันอย่างแน่นหนา โดยมีแร่ Ett และ Kao เป็นองค์ประกอบช่วยในการยึดเกาะซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับดินซีเมนต์ในรูปที่ 3.54 (ฉ) และรูปที่ 3.54 (ช)

และจากรูปที่ 3.55 และรูปที่ 3.56 มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคที่คล้ายกันกับรูปที่ 3.53 และ รูปที่ 3.54 คือ โครงสร้างจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการผสมปูนซีเมนต์และบ่มตัวอย่างในเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่โครงสร้างจุลภาคมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากปฏิกิริยา Cement Hydration ทำให้เกิดแร่ใหม่ๆขึ้นในดินซีเมนต์ โดยแร่เหล่านี้จะช่วยให้อินทรีย์สารยึดเกาะที่ดีและแน่นขึ้น ซึ่งทำให้ดินซีเมนต์มีการพัฒนากำลังที่สูงขึ้นเมื่ออายุบ่มเพิ่มมากขึ้น

จากผลการศึกษาคัดกรองโครงสร้างจุลภาคโดยภาพถ่ายจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคของดินซีเมนต์ การเปลี่ยนแปลงของแร่ เช่น แร่ Ett, Kao และ CSH และยังสามารถมองเห็นการยึดประสานตัวกันของโครงสร้างภายในเนื้อดินซีเมนต์ โดยก่อนปรับปรุงคุณภาพลักษณะการยึด

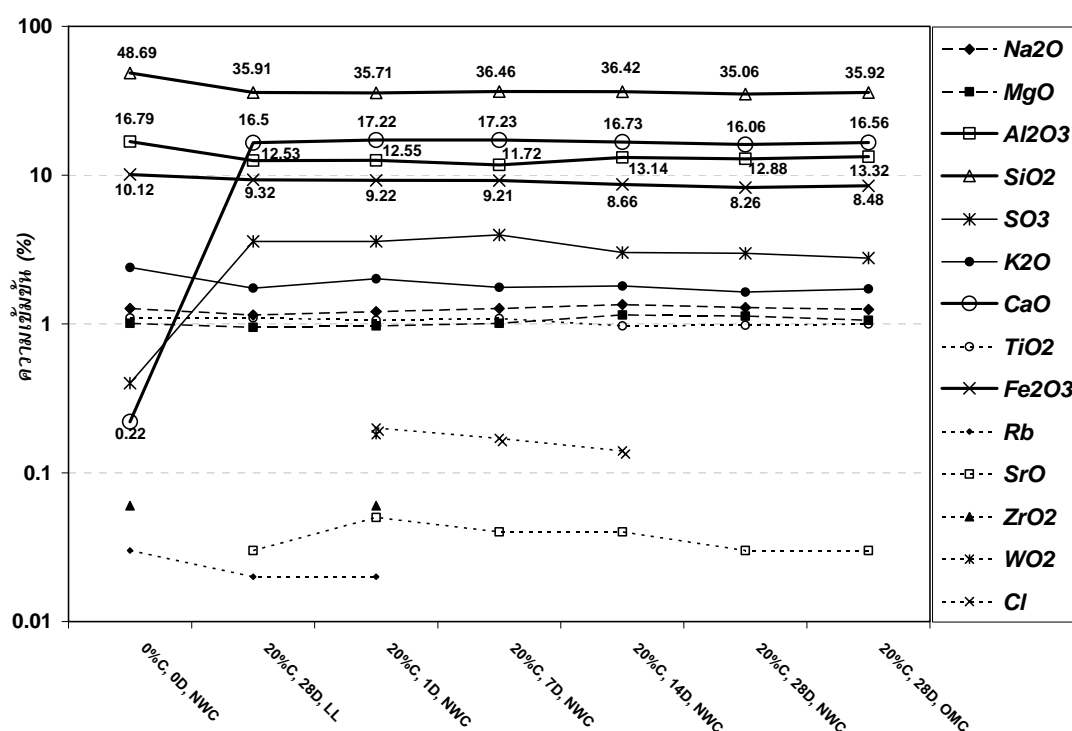
ประสานตัวกันของเนื้อดินเดิมจะยึดประสานตัวกันแบบหลวมๆ ไม่มีลักษณะการยึดเกาะที่ดี แต่เมื่อมีการปรับปรุงคุณภาพแล้วลักษณะของเนื้อดินซีเมนต์จะยึดประสานตัวกันเป็นก้อน มีลักษณะที่มีความแข็งแรงกว่าเดิม สอดคล้องกับค่ากำลังของดินซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจากผลการศึกษาที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Nontananandh, et al. (2005A)

3.5 ผลการตรวจองค์ประกอบทางเคมี

การตรวจองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) เป็นการตรวจองค์ประกอบทางเคมีของดินเดิมและดินซีเมนต์ โดยเลือกตรวจตัวอย่างจากดิน 4 จุด คือ ดินดินสุสานนท์ ดิน โรงไฟฟ้าสงขลา ดินตำมะลัง ดินฉลุง โดยใช้ตัวอย่าง คือ ดินเดิม ดินผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC อายุบ่ม 1, 7, 14 และ 28 วัน ดินผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ใช้ปริมาณน้ำที่จุด LL, OMC อายุบ่ม 28 วัน ซึ่งได้ผลการตรวจองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี XRF ดังนี้

จากผลการตรวจองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี XRF ของดินดินสุสานนท์ จังหวัดสงขลา พบว่าดินเดิม (0 %C, 0 D, NWC) นั้นมีองค์ประกอบทางเคมี คือ มีธาตุ $\text{Na}_2\text{O} = 1.27\%$, $\text{MgO} = 1.01\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16.79\%$, $\text{SiO}_2 = 48.69\%$, $\text{SO}_3 = 0.40\%$, $\text{K}_2\text{O} = 2.40\%$, $\text{CaO} = 0.22\%$, $\text{TiO}_2 = 1.10\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 10.12\%$, $\text{Rb} = 0.03\%$ และ $\text{ZrO}_2 = 0.06\%$ จะเห็นได้ว่าดินเดิมจะประกอบไปด้วยธาตุ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เป็นส่วนใหญ่ แต่สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินนั้น มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบไปด้วยธาตุ $\text{MgO} = 1.10\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 5.00\%$, $\text{SiO}_2 = 20.00\%$, $\text{CaO} = 60.00\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 3.00\%$, ธาตุอื่นๆ = 1.50% และ $\text{LOI} = 2.00\%$ จะเห็นได้ว่าปูนซีเมนต์จะประกอบไปด้วยธาตุ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , และ Fe_2O_3 เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเมื่อนำปูนซีเมนต์ผสมกับดินเดิม โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักดินแห้ง จากรูปที่ 3.57 จะเห็นได้ว่าในส่วนของดินซีเมนต์นั้นไม่ว่าจะใช้ปริมาณน้ำที่ต่างกัน หรืออายุบ่มที่ต่างกันจะมีปริมาณธาตุที่ไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่เท่ากันซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของดินซีเมนต์ของดินดินสุสานนท์จะประกอบไปด้วยธาตุ $\text{Na}_2\text{O} = 1.15 - 1.35\%$, $\text{MgO} = 0.95 - 1.15\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 11.72 - 13.32\%$, $\text{SiO}_2 = 35.06 - 36.46\%$, $\text{SO}_3 = 2.77 - 3.96\%$, $\text{K}_2\text{O} = 1.64 - 2.01\%$, $\text{CaO} = 16.06 - 17.23\%$, $\text{TiO}_2 = 0.97 - 1.10\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 8.26 - 9.32\%$, $\text{Rb} = 0.02\%$, $\text{SrO} = 0.03 - 0.05\%$, $\text{ZrO}_2 = 0.06\%$, $\text{WO}_2 = 0.18\%$ และ $\text{Cl} = 0.14 - 0.20\%$ จะเห็นได้ว่าปริมาณของธาตุในดินซีเมนต์ไม่ค่อยแตกต่างกันมากนักแต่ธาตุเหล่านี้จะทำให้เกิดปริมาณของแร่ที่แตกต่างกันเมื่อมีอายุบ่มและปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน และจะสังเกตได้ว่า

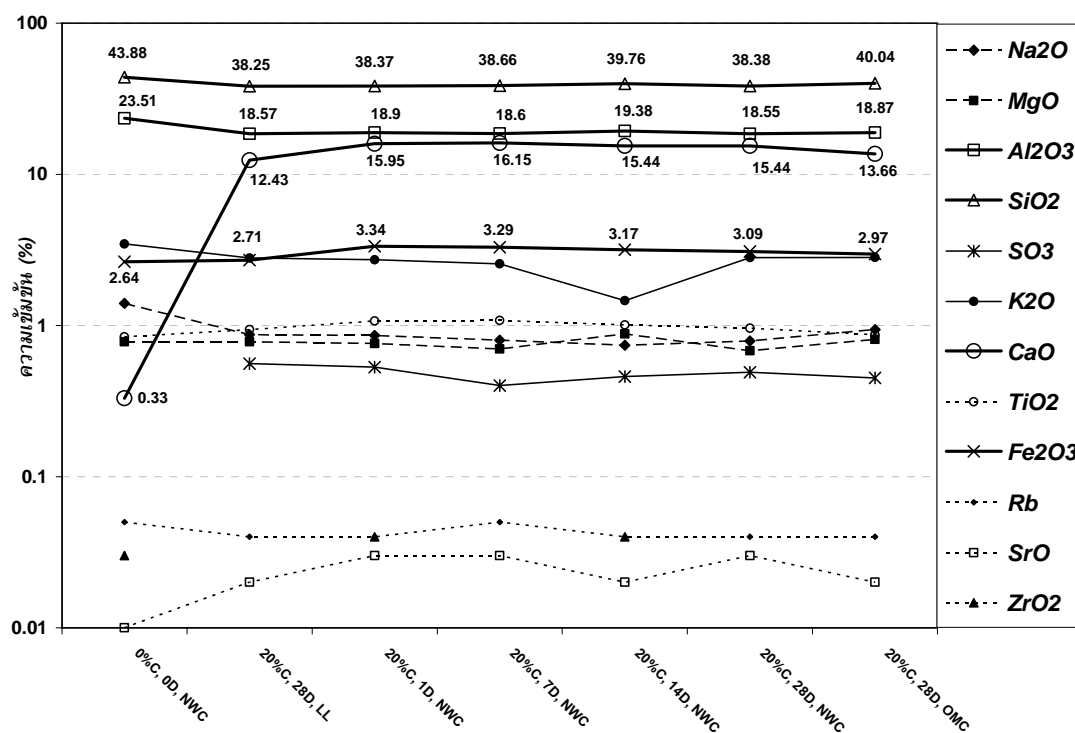
องค์ประกอบของธาตุในดินซีเมนต์นั้นธาตุหลักๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน คือ ธาตุ CaO ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีที่เป็นดินเดิมจะมีธาตุ CaO อยู่เพียงร้อยละ 0.22 แต่เมื่อผสมปูนซีเมนต์เข้าไปร้อยละ 20 จะทำให้ธาตุ CaO ในดินซีเมนต์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16.06 – 17.23 ซึ่งธาตุ CaO นี้เป็นธาตุหลักที่ทำให้เกิดแร่ใหม่ๆ เช่น แร่ อะนอร์ไทต์ (Anorthite (Ano = $\text{CaAlSi}_2\text{O}_8$)), แคลเซียม ไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)), แคลไซต์ (Calcite ($\text{Ca}(\text{CO}_3)$)), แคลเซียม ซิลิเกต ไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate (CSH = $\text{CaO}!\text{SiO}_2! \text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_6\text{Si}_3\text{O}_{12}!\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_{1.5}\text{SiO}_{3.5}!x\text{H}_2\text{O}$)) และ แอตริงไจต์ (Ettringite (Ett = $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}!26\text{H}_2\text{O}$)) ซึ่งแร่เหล่านี้ช่วยทำให้ดินซีเมนต์มีความแข็งแรงและสามารถพัฒนากำลังให้สูงขึ้นในกระบวนการ Cement Hydration ของดินซีเมนต์ ส่วนธาตุอื่นๆ มีการปรับลดหรือเพิ่มบ้างเล็กน้อยตามอัตราส่วนของดินกับปูนซีเมนต์ เช่น Al_2O_3 , SiO_2 และ Fe_2O_3



รูปที่ 3.57 ผลการตรวจองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี XRF ดินดินสุลานนท์

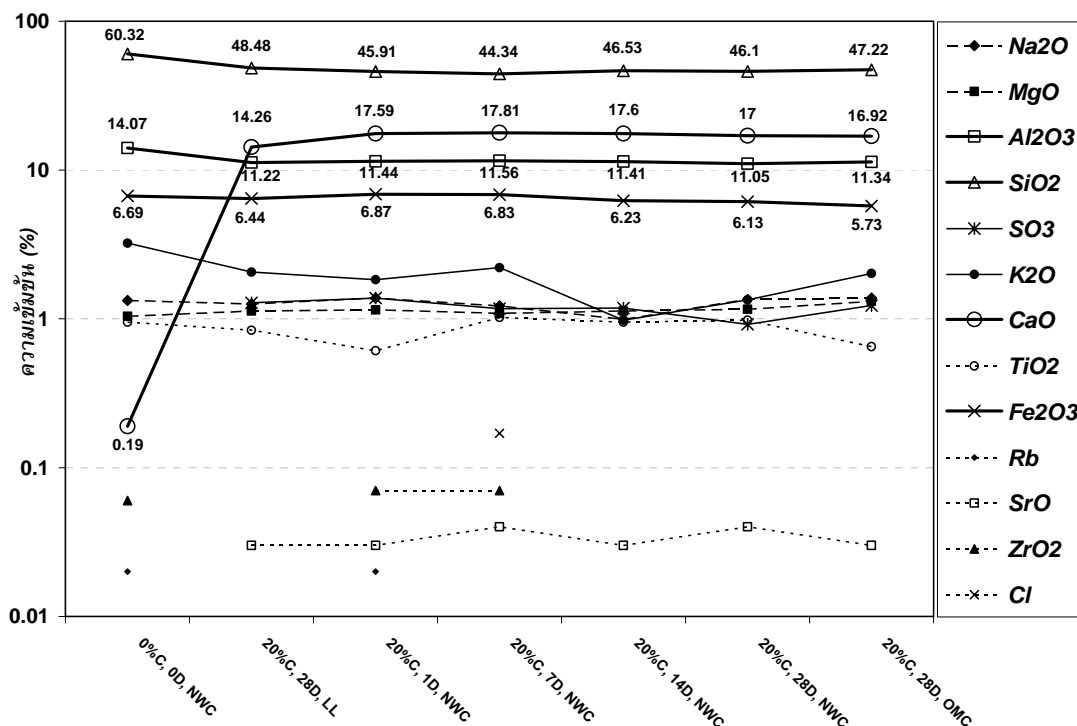
จากผลการตรวจองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี XRF ของดินโรงไฟฟ้าสงขลา จังหวัดสงขลา พบว่าดินเดิมนั้นมีองค์ประกอบทางเคมี คือ มีธาตุ $\text{Na}_2\text{O} = 1.40\%$, $\text{MgO} = 0.78\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 23.51\%$, $\text{SiO}_2 = 43.88\%$, $\text{K}_2\text{O} = 3.47\%$, $\text{CaO} = 0.33\%$, $\text{TiO}_2 = 0.84\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2.64\%$, $\text{Rb} = 0.05\%$, $\text{SrO} = 0.01\%$ และ $\text{ZrO}_2 = 0.03\%$ จะเห็นได้ว่าดินเดิมจะประกอบไปด้วยธาตุ SiO_2 ,

Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเมื่อนำปูนซีเมนต์ผสมกับดินเดิมโดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักดินแห้ง จากรูปที่ 3.58 จะเห็นได้ว่าในส่วนของดินซีเมนต์นั้นไม่ว่าจะใช้ปริมาณน้ำที่ต่างกัน หรืออายุบ่มที่ต่างกันจะมีปริมาณธาตุที่ไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่เท่ากันซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของดินซีเมนต์ของดิน โรงไฟฟ้าสงขลาจะประกอบไปด้วยธาตุ $\text{Na}_2\text{O} = 0.74 - 0.94 \%$, $\text{MgO} = 0.68 - 0.88 \%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 18.55 - 19.38 \%$, $\text{SiO}_2 = 38.28 - 40.04 \%$, $\text{SO}_3 = 0.40 - 0.56 \%$, $\text{K}_2\text{O} = 1.46 - 2.82 \%$, $\text{CaO} = 12.43 - 16.15 \%$, $\text{TiO}_2 = 0.87 - 1.08 \%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2.71 - 3.34 \%$, $\text{Rb} = 0.04 - 0.05 \%$, $\text{SrO} = 0.02 - 0.03 \%$ และ $\text{ZrO}_2 = 0.04 \%$ จะเห็นได้ว่าปริมาณของธาตุในดินซีเมนต์ไม่ค่อยแตกต่างกันมากนักแต่ธาตุเหล่านี้จะทำให้เกิดปริมาณของแร่ที่แตกต่างกันเมื่อมีอายุบ่มและปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน และจะสังเกตได้ว่าองค์ประกอบของธาตุในดินซีเมนต์นั้นธาตุหลักๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน คือ ธาตุ CaO ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีที่เป็นดินเดิมจะมีธาตุ CaO อยู่เพียงร้อยละ 0.33 แต่เมื่อผสมปูนซีเมนต์เข้าไปร้อยละ 20 จะทำให้ธาตุ CaO ในดินซีเมนต์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 12.43 - 16.15 ซึ่งธาตุ CaO นี้เป็นธาตุหลักที่ทำให้เกิดแร่ใหม่ๆ เช่น แร่ Ano , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaI , CSH และ EtI ซึ่งแร่เหล่านี้ช่วยทำให้ดินซีเมนต์มีความแข็งแรง และสามารถพัฒนากำลังให้สูงขึ้นในกระบวนการ Cement Hydration ของดินซีเมนต์ ส่วนธาตุอื่นๆ มีการปรับลดหรือเพิ่มบ้างเล็กน้อยตามอัตราส่วนของดินกับปูนซีเมนต์ เช่น Al_2O_3 , SiO_2 และ Fe_2O_3



รูปที่ 3.58 ผลการตรวจองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี XRF ดิน โรงไฟฟ้าสงขลา

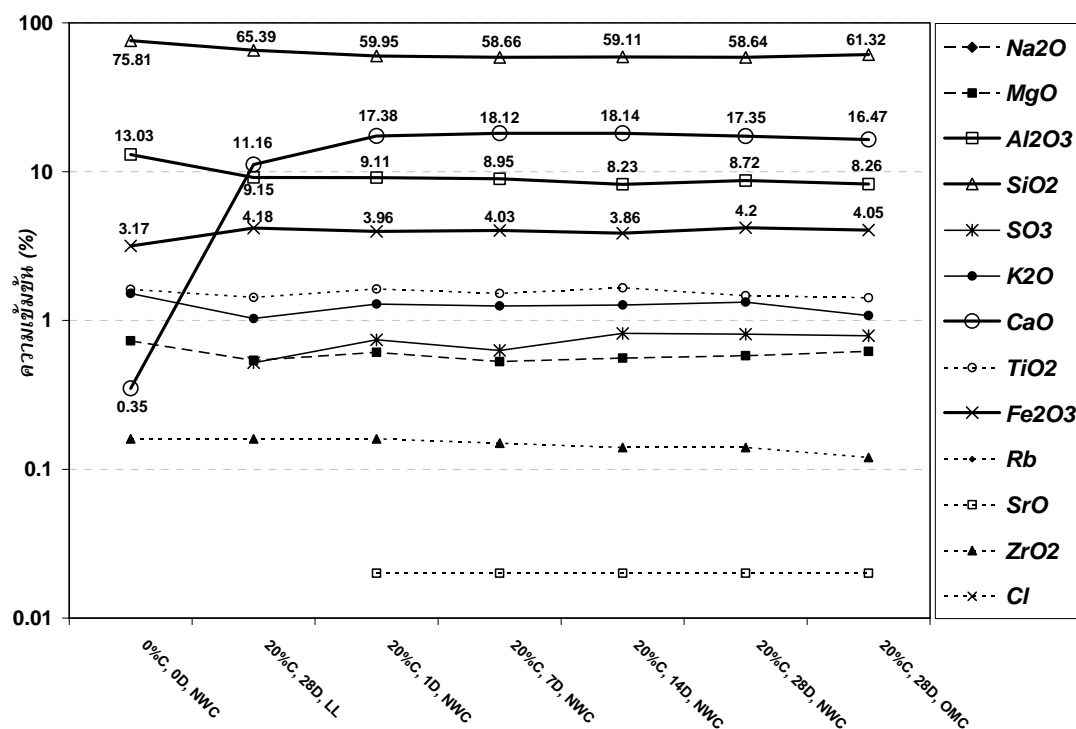
จากผลการตรวจองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี XRF ของดินตำมะลัง จังหวัดสตูล พบว่าดินเดิมนั้นมีองค์ประกอบทางเคมี คือ มีธาตุ $\text{Na}_2\text{O} = 1.33\%$, $\text{MgO} = 1.04\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 14.07\%$, $\text{SiO}_2 = 60.32\%$, $\text{K}_2\text{O} = 3.23\%$, $\text{CaO} = 0.19\%$, $\text{TiO}_2 = 0.95\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 6.69\%$, $\text{Rb} = 0.02\%$ และ $\text{ZrO}_2 = 0.06\%$ จะเห็นได้ว่าดินเดิมจะประกอบไปด้วยธาตุ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเมื่อนำปูนซีเมนต์ผสมกับดินเดิมโดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักดินแห้ง จากรูปที่ 3.59 จะเห็นได้ว่าในส่วนของดินซีเมนต์นั้นไม่ว่าจะใช้ปริมาณน้ำที่ต่างกัน หรืออายุบ่มที่ต่างกันจะมีปริมาณธาตุที่ไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่เท่ากันซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของดินซีเมนต์ของดินตำมะลังจะประกอบไปด้วยธาตุ $\text{Na}_2\text{O} = 0.99 - 1.38\%$, $\text{MgO} = 1.09 - 1.31\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 11.05 - 11.56\%$, $\text{SiO}_2 = 44.34 - 48.48\%$, $\text{SO}_3 = 0.92 - 1.38\%$, $\text{K}_2\text{O} = 0.98 - 2.21\%$, $\text{CaO} = 14.26 - 17.81\%$, $\text{TiO}_2 = 0.61 - 1.02\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5.73 - 6.87\%$, $\text{Rb} = 0.02\%$, $\text{SrO} = 0.03 - 0.04\%$, $\text{ZrO}_2 = 0.07\%$ และ $\text{Cl} = 0.17\%$ จะเห็นได้ว่าปริมาณของธาตุในดินซีเมนต์ไม่ค่อยแตกต่างกันมากนักแต่ธาตุเหล่านี้จะทำให้เกิดปริมาณของแร่ที่แตกต่างกันเมื่อมีอายุบ่มและปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน และจะสังเกตได้ว่าองค์ประกอบของธาตุในดินซีเมนต์นั้นธาตุหลักๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน คือ ธาตุ CaO ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีที่เป็นดินเดิมจะมีธาตุ CaO อยู่เพียงร้อยละ 0.19 แต่เมื่อผสมปูนซีเมนต์เข้าไปร้อยละ 20 จะทำให้ธาตุ CaO ในดินซีเมนต์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 14.26 - 17.81 ซึ่งธาตุ CaO นี้เป็นธาตุหลักที่ทำให้เกิดแร่ใหม่ๆ เช่น แร่ Ano , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Cal , CSH และ Ett ซึ่งแร่เหล่านี้จะช่วยทำให้ดินซีเมนต์มีความแข็งแรงและสามารถพัฒนากำลังให้สูงขึ้นในกระบวนการ Cement Hydration ของดินซีเมนต์ ส่วนธาตุอื่นๆ มีการปรับลดหรือเพิ่มบ้างเล็กน้อยตามอัตราส่วนของดินกับปูนซีเมนต์ เช่น Al_2O_3 , SiO_2 และ Fe_2O_3



รูปที่ 3.59 ผลการตรวจองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี XRF ดินค้ำมะลิ่ง

จากผลการตรวจองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี XRF ของดินฉลุง จังหวัดสตูล พบว่า ดินค้ำมะลิ่งมีองค์ประกอบทางเคมี คือ มีธาตุ MgO = 0.73 %, Al₂O₃ = 13.03 %, SiO₂ = 75.81 %, K₂O = 1.52 %, CaO = 0.35 %, TiO₂ = 1.62 %, Fe₂O₃ = 3.17 % และ ZrO₂ = 0.16 % จะเห็นได้ว่า ดินค้ำมะลิ่งจะประกอบไปด้วยธาตุ SiO₂, Al₂O₃ และ Fe₂O₃ เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเมื่อนำปูนซีเมนต์ผสมกับ ดินค้ำมะลิ่งโดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ของน้ำหนักดินแห้ง จากรูปที่ 3.60 จะเห็นได้ว่าใน ส่วนของดินซีเมนต์นั้นไม่ว่าจะใช้ปริมาณน้ำที่ต่างกัน หรืออายุบ่มที่ต่างกันจะมีปริมาณธาตุที่ไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากใช้ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่เท่ากันซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของดินซีเมนต์ของ ดินฉลุงจะประกอบไปด้วยธาตุ MgO = 0.53 – 0.62 %, Al₂O₃ = 8.23 – 9.15 %, SiO₂ = 58.64 – 65.39 %, SO₃ = 0.52 – 0.82 %, K₂O = 1.03 – 1.33 %, CaO = 11.16 – 18.14 %, TiO₂ = 1.42 – 1.66 %, Fe₂O₃ = 3.86 – 4.20 %, SrO = 0.02 % และ ZrO₂ = 0.12 – 0.16 % จะเห็นได้ว่าปริมาณของธาตุ ในดินซีเมนต์ไม่ค่อยแตกต่างกันมากนักแต่ธาตุเหล่านี้จะทำให้เกิดปริมาณของแร่ที่แตกต่างกันเมื่อมี อายุบ่มและปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน และจะสังเกตได้ว่าองค์ประกอบของธาตุในดินซีเมนต์นั้นธาตุ หลักๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน คือ ธาตุ CaO ซึ่งจะเห็นได้ว่าในกรณีที่เป็นดินค้ำมะลิ่งจะมีธาตุ CaO อยู่เพียงร้อยละ 0.35 แต่เมื่อผสมปูนซีเมนต์เข้าไปร้อยละ 20 จะทำให้ธาตุ CaO ในดินซีเมนต์ เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 11.16 – 18.14 ซึ่งธาตุ CaO นี้เป็นธาตุหลักที่ทำให้เกิดแร่ใหม่ๆ เช่น แร่ Anorthite,

Ca (OH)₂, Cal, CSH และ Ett ซึ่งแร่เหล่านี้จะช่วยทำให้ดินซีเมนต์มีความแข็งแรงและสามารถพัฒนากำลังให้สูงขึ้นในกระบวนการ Cement Hydration ของดินซีเมนต์ ส่วนธาตุอื่นๆ มีการปรับลดหรือเพิ่มบ้างเล็กน้อยตามอัตราส่วนของดินกับปูนซีเมนต์ เช่น Al₂O₃, SiO₂ และ Fe₂O₃



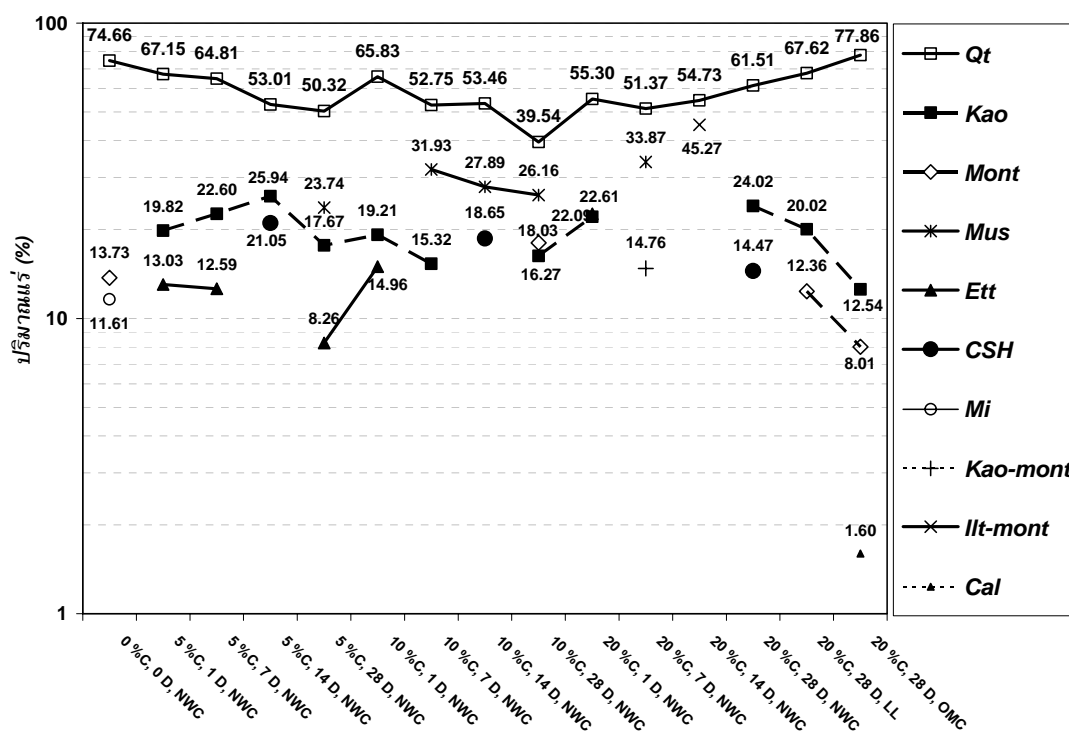
รูปที่ 3.60 ผลการตรวจองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธี XRF ดินฉลุง

3.6 ผลการตรวจชนิดแร่

การตรวจชนิดแร่ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) เป็นการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของดินเดิมและดินซีเมนต์ โดยเลือกตรวจตัวอย่างจากดิน 4 จุด คือ ดินดินสุลลานนท์ ดินโรงไฟฟ้าสงขลา ดินตำมะลัง ดินฉลุง โดยใช้ตัวอย่าง คือ ดินเดิม ดินผสมปูนซีเมนต์ ร้อยละ 5, 10 และ 20 ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC อายุบ่ม 1, 7, 14 และ 28 วัน ดินผสมปูนซีเมนต์ ร้อยละ 20 ใช้ปริมาณน้ำที่จุด LL, OMC อายุบ่ม 28 วัน ซึ่งได้ผลการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ดังนี้

จากผลการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ของดินดินสุลลานนท์ จังหวัดสงขลา แสดงในรูปที่ 3.61 พบว่าดินเดิม (0 %C, 0 D, NWC) นั้นประกอบไปด้วยแร่ Quartz (Qt = SiO₂) = 74.66 %, Montmorillonite (Mont = Na_x (Al,Mg)₂Si₄O₁₀ (OH)₂·zH₂O) = 13.73 % และ Mica (Mi = K-Mg-Fe-Al-Si-O-H₂O) = 11.61 % เมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 อายุบ่ม 1 วัน ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC

(5 %C, 1 D, NWC) พบแร่ Qt = 67.15 %, Kaolinite (Kao = $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) = 19.82 % และ Ettringite (Ett = $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 126\text{H}_2\text{O}$) = 13.03 % เมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 อายุบ่ม 7 วัน ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC (5 %C, 7 D, NWC) พบแร่ Qt = 64.81 %, Kao = 22.60 % และ Ett = 12.59 % เมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 อายุบ่ม 14 วัน ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC (5 %C, 14 D, NWC) พบแร่ Qt = 53.01 %, Kao = 25.94 % และ Calcium Silicate Hydrate (CSH = $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_6\text{Si}_3\text{O}_{12}\cdot\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_{1.5}\text{SiO}_{3.5}\cdot x\text{H}_2\text{O}$) = 21.05 % และเมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 อายุบ่ม 28 วัน ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC (5 %C, 28 D, NWC) พบแร่ Qt = 50.32 %, Kao = 17.67 % , Muscovite (Mus = $\text{H}_2\text{KAl}_3(\text{SiO}_4)_3$) และ Ett = 8.26 % เมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 อายุบ่ม 1 วัน ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC (10 %C, 1 D, NWC) พบแร่ Qt = 65.83 %, Kao = 19.21% และ Ett = 14.96 % เมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 อายุบ่ม 7 วัน ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC (10 %C, 7 D, NWC) พบแร่ Qt = 52.75 %, Kao = 15.32 % และ Mus = 31.93 % เมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 อายุบ่ม 14 วัน ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC (10 %C, 14 D, NWC) พบแร่ Qt = 53.46 %, Mus = 27.89 % และ CSH = 18.65 % และเมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 อายุบ่ม 28 วัน ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC (10 %C, 28 D, NWC) พบแร่ Qt = 39.54 %, Kao = 16.27 %, Mont = 18.03 % และ Mus = 26.16 % เมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 อายุบ่ม 1 วัน ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC (20 %C, 1 D, NWC) พบแร่ Qt = 55.30 %, Kao = 22.09 % และ Ett = 22.61 % เมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 อายุบ่ม 7 วัน ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC (20 %C, 7 D, NWC) พบแร่ Qt = 51.37 %, Mus = 33.87 % และ Kaolinite-montmorillonite (Kao-mont = $\text{Na}_{0.3}\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_6\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) = 14.76 % เมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 อายุบ่ม 14 วัน ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC (20 %C, 14 D, NWC) พบแร่ Qt = 54.73 % และ Illite-montmorillonite (Illt-mont = $\text{K}\cdot\text{Al}_4(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4\cdot x\text{H}_2\text{O}$) = 45.27 % และเมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 อายุบ่ม 28 วัน ใช้ปริมาณน้ำที่จุด NWC (20 %C, 28 D, NWC) พบแร่ Qt = 61.51 %, Kao = 24.02 % และ CSH = 14.47 % และเมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 อายุบ่ม 28 วัน ใช้ปริมาณน้ำที่จุด LL (20 %C, 28 D, LL) พบแร่ Qt = 67.62 %, Kao = 20.02 % และ Mont = 12.36 % และเมื่อผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 อายุบ่ม 28 วัน ใช้ปริมาณน้ำที่จุด OMC (20 %C, 28 D, OMC) พบแร่ Qt = 77.86 %, Kao = 12.54 %, Mont = 8.01 % และ Calcite (Cal = $\text{Ca}(\text{CO}_3)$) = 1.60 %

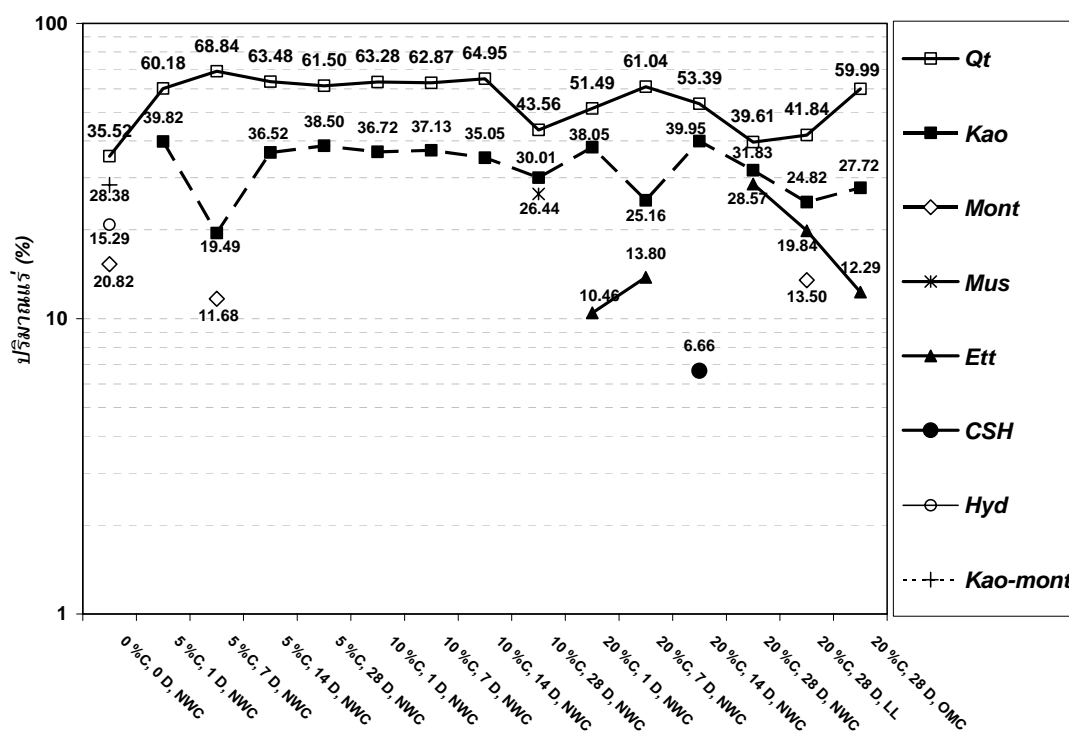


รูปที่ 3.61 ผลการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ดินติณสุลานนท์

จากการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ของดินติณสุลานนท์ จังหวัดสงขลา จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบแร่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการผสมปูนซีเมนต์และอายุการบ่มเพิ่มมากขึ้นซึ่งการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบแร่นี้จะช่วยให้โครงสร้างของดินซีเมนต์มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแร่ที่เกิดจากปฏิกิริยา Cement Hydration ที่เกิดจากธาตุหลักๆ ที่มีอยู่ในดินคือ ธาตุ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ผสมกับปูนซีเมนต์ซึ่งประกอบด้วยธาตุหลักๆ คือ ธาตุ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ได้แก่ แร่ CSH, Ett, Cal, Kao, Mont, Kao-mont และ Ilt-mont ซึ่งแร่เหล่านี้จะช่วยในการยึดเกาะอนุภาคของดินให้เป็นก้อนและมีการประสานกันแน่นทำให้ดินซีเมนต์มีความสามารถในการรับน้ำหนักมากขึ้น นอกจากนี้แล้วปฏิกิริยา Hydration ของดินซีเมนต์ยังทำให้ปริมาณความชื้นในดินลดลงเมื่ออายุบ่มนานขึ้นทำให้ตัวอย่างดินมีความแข็งแรงมากขึ้น อีกทั้งความแข็งแรงของดินซีเมนต์ส่วนหนึ่งนั้นมาจากการบดอัดตัวอย่างดินซีเมนต์ด้วย นอกจากนี้ปริมาณของน้ำที่ผสมก็มีส่วนทำให้ดินซีเมนต์มีความแข็งแรงที่แตกต่างกัน คือ ดินซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณน้ำในการผสมที่สูงจะทำให้รับกำลังได้น้อยกว่าดินซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณน้ำในการผสมที่ต่ำกว่า

จากผลการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ของดินโรงไฟฟ้าสงขลา จังหวัดสงขลา แสดงในรูปที่ 3.62 พบว่าดินเดิม นั้นประกอบไปด้วยแร่ Qt = 35.52 %, Mont = 15.29 %, Cal = 1.60 %

Hydrobiotite (Hyd = K (Mg,Fe)₉ (Si,Al)₈O₂₀ (OH)₄·4H₂O) = 20.82 % และ Kao-mont = 28.38 %
 เมื่อ 5 %C, 1 D, NWC พบแร่ Qt = 60.18 % และ Kao = 39.82 % เมื่อ 5 %C, 7 D, NWC พบแร่ Qt =
 68.84 %, Kao = 19.49 % และ Mont = 11.68 % เมื่อ 5 %C, 14 D, NWC พบแร่ Qt = 63.48 % และ
 Kao = 36.52 % และเมื่อ 5 %C, 28 D, NWC พบแร่ Qt = 61.50 % และ Kao = 38.50 % เมื่อ 10 %C,
 1 D, NWC พบแร่ Qt = 63.28 % และ Kao = 36.72 % เมื่อ 10 %C, 7 D, NWC พบแร่ Qt = 62.87 %
 และ Kao = 37.13 % เมื่อ 10 %C, 14 D, NWC พบแร่ Qt = 64.95 % และ Kao = 35.05 % และเมื่อ 10
 %C, 28 D, NWC พบแร่ Qt = 43.56 %, Kao = 30.01 % และ Mus = 26.44 % เมื่อ 20 %C, 1 D,
 NWC พบแร่ Qt = 51.49 %, Kao = 38.05 % และ Ett = 10.46 % เมื่อ 20 %C, 7 D, NWC พบแร่ Qt
 = 61.04 %, Kao = 25.16 % และ Ett = 13.80 % เมื่อ 20 %C, 14 D, NWC พบแร่ Qt = 53.39 %, Kao
 = 39.95 % และ CSH = 6.66 % และเมื่อ 20 %C, 28 D, NWC พบแร่ Qt = 39.61 %, Kao = 31.83 %
 และ Ett = 28.57 % และเมื่อ 20 %C, 28 D, LL พบแร่ Qt = 41.84 %, Kao = 24.82 %, Mont = 13.50
 % และ Ett = 19.84 % และเมื่อ 20 %C, 28 D, OMC พบแร่ Qt = 59.99 %, Kao = 27.72 % และ Ett
 = 12.29 %

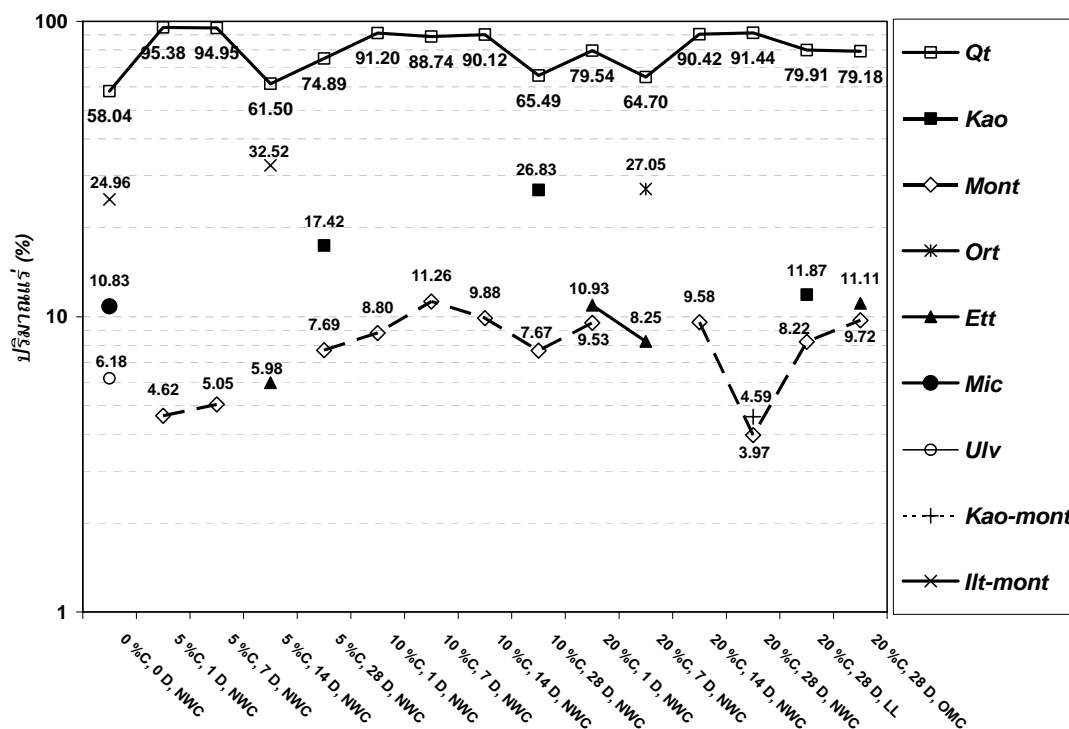


รูปที่ 3.62 ผลการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ดินโรงไฟฟ้าสงขลา

จากการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ของดินโรงไฟฟ้าสงขลา จังหวัดสงขลา จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบแร่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการผสมปูนซีเมนต์และอายุการบ่มเพิ่มมากขึ้นซึ่งการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบแร่จะช่วยทำให้โครงสร้างของดินซีเมนต์มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแร่ที่เกิดจากปฏิกิริยา Cement Hydration ที่เกิดจากธาตุหลักๆ ที่มีอยู่ในดินคือ ธาตุ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ผสมกับปูนซีเมนต์ซึ่งประกอบด้วยธาตุหลักๆ คือ ธาตุ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ได้แก่ แร่ Ett, CSH, Kao, Mont และ Mus ซึ่งแร่เหล่านี้จะช่วยในการยึดเกาะอนุภาคของดินให้เป็นก้อนและมีความเชื่อมแน่นทำให้ดินซีเมนต์มีความสามารถในการรับน้ำหนักมากขึ้น นอกจากนี้แล้วปฏิกิริยา Hydration ของดินซีเมนต์ยังทำให้ปริมาณความชื้นในดินลดลงเมื่ออายุบ่มนานขึ้นทำให้ตัวอย่างดินมีความแข็งแรงมากขึ้น อีกทั้งความแข็งแรงของดินซีเมนต์ส่วนหนึ่งนั้นมาจากการบดอัดตัวอย่างดินซีเมนต์ด้วย นอกจากนี้ปริมาณของน้ำที่ผสมก็มีส่วนทำให้ดินซีเมนต์มีความแข็งแรงที่แตกต่างกัน คือ ดินซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณน้ำในการผสมที่สูงจะทำให้รับกำลังได้น้อยกว่าดินซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณน้ำในการผสมที่ต่ำกว่า และจะเห็นได้ว่าในตัวอย่างของดินผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 – 10 อายุบ่ม 1 – 28 วัน จะไม่พบแร่ที่มีองค์ประกอบของธาตุ CaO เลย ซึ่งที่จริงแล้วน่าจะพบแร่ที่มีองค์ประกอบของธาตุ CaO บ้าง ทั้งนี้เพราะธาตุ CaO เป็นธาตุองค์ประกอบหลักที่อยู่ในปูนซีเมนต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการชุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ไม่ได้คิดแร่ที่เกิดจากธาตุ CaO ทั้งๆที่มีการผสมปูนซีเมนต์เข้ากับตัวอย่างดินซีเมนต์ หรืออาจจะเนื่องมาจากปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในดินและความเป็นกรดของดินทำให้ปฏิกิริยา Cement Hydration ของดินซีเมนต์เกิดขึ้นล่าช้าและน้อย ซึ่งทำให้แร่ที่เกิดจากปฏิกิริยา Hydration ไม่ปรากฏหรือปรากฏขึ้นน้อยซึ่งอาจทำให้การชุ่มตัวอย่างไม่เจอแร่เหล่านั้น

จากผลการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ของดินตามะลั้ง จังหวัดสตูล แสดงในรูปที่ 3.63 พบว่าดินเดิม นั้นประกอบไปด้วยแร่ Qt = 58.04 %, Microcline (Mic = $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$) = 10.83 %, Ulvoespinel (Ulv = Fe_2TiO_4) = 6.18 % และ Illt-mont = 24.96 % เมื่อ 5 %C, 1 D, NWC พบแร่ Qt = 95.37 % และ Mont = 4.62 % เมื่อ 5 %C, 7 D, NWC พบแร่ Qt = 94.95 % และ Mont = 5.05 % เมื่อ 5 %C, 14 D, NWC พบแร่ Qt = 61.50 %, Ett = 5.98 % และ Illt-mont = 32.52 % และเมื่อ 5 %C, 28 D, NWC พบแร่ Qt = 74.89 %, Kao = 17.42 % และ Mont = 7.69 % เมื่อ 10 %C, 1 D, NWC พบแร่ Qt = 91.20 % และ Mont = 8.80 % เมื่อ 10 %C, 7 D, NWC พบแร่ Qt = 88.74 % และ Mont = 11.26 % เมื่อ 10 %C, 14 D, NWC พบแร่ Qt = 90.12 % และ Mont = 9.88 % และเมื่อ 10 %C, 28 D, NWC พบแร่ Qt = 65.49 %, Kao = 26.83 % และ Mont = 7.67 % เมื่อ 20 %C, 1 D, NWC พบแร่ Qt = 79.54 %, Mont = 9.53 % และ Ett = 10.93 % เมื่อ 20 %C, 7 D, NWC พบแร่ Qt = 64.70 %, Orthoclase (Ort = $\text{K}(\text{Al,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$) = 27.05 % และ Ett = 8.25 % เมื่อ 20 %C, 14 D, NWC พบแร่

Qt = 90.42 % และ Mont = 9.58 % และเมื่อ 20 %C, 28 D, NWC พบแร่ Qt = 91.44 %, Mont = 3.97 % และ Kao-mont = 4.59 % และเมื่อ 20 %C, 28 D, LL พบแร่ Qt = 79.91 %, Kao = 11.87 % และ Mont = 8.22 % และเมื่อ 20 %C, 28 D, OMC พบแร่ Qt = 79.18 %, Mont = 9.72 % และ Ett = 11.11 %

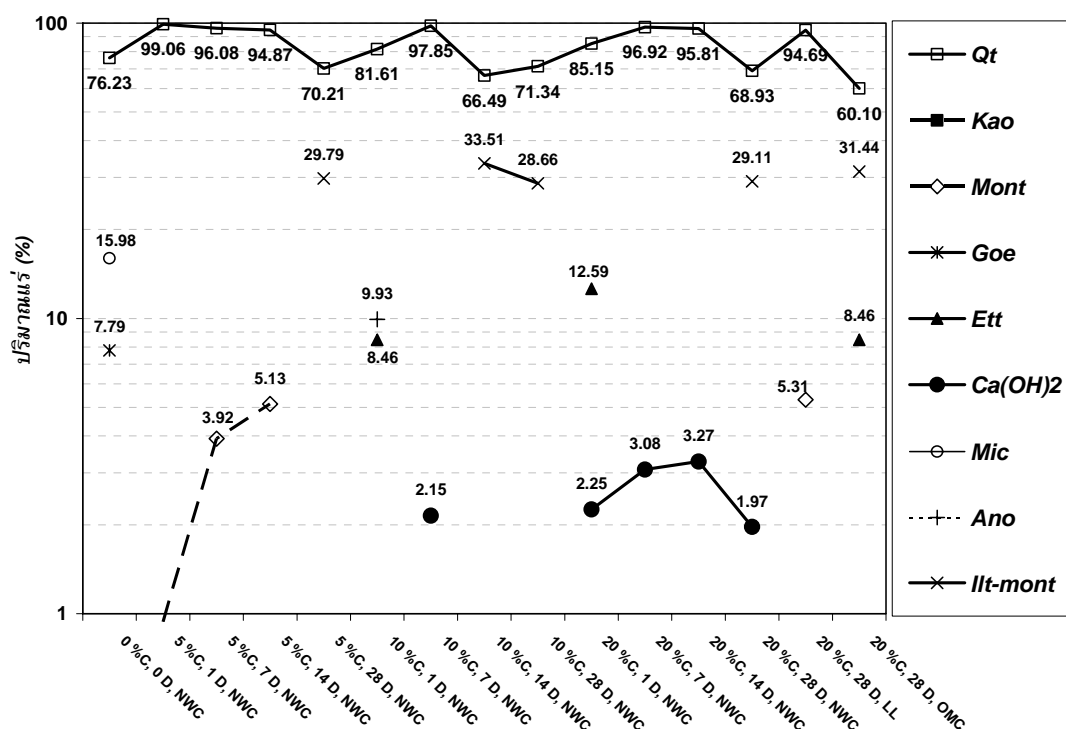


รูปที่ 3.63 ผลการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ดินค้ำมะลิ่ง

จากการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ของดินค้ำมะลิ่ง จังหวัดสตูล จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบแร่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการผสมปูนซีเมนต์และอายุการบ่มเพิ่มมากขึ้นซึ่งการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบแร่นี้จะช่วยให้โครงสร้างของดินซีเมนต์มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแร่ที่เกิดจากปฏิกิริยา Cement Hydration ที่เกิดจากธาตุหลักๆ ที่มีอยู่ในดิน คือ ธาตุ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ผสมกับปูนซีเมนต์ซึ่งประกอบด้วยธาตุหลักๆ คือ ธาตุ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ได้แก่ แร่ Ett, Kao, Mont, Ort, Kao-mont และ Ilt-mont ซึ่งแร่เหล่านี้จะช่วยในการยึดเกาะอนุภาคของดินให้เข้ากันและมีความเชื่อมแน่นทำให้ดินซีเมนต์มีความสามารถในการรับน้ำหนักมากขึ้น นอกจากนี้แล้วปฏิกิริยา Hydration ของดินซีเมนต์ยังทำให้ปริมาณความชื้นในดินลดลงเมื่ออายุบ่มนานขึ้นทำให้ตัวอย่างดินมีความแข็งแรงมากขึ้น อีกทั้งความแข็งแรงของดินซีเมนต์ส่วนหนึ่งนั้นมาจากการบดอัดตัวอย่างดินซีเมนต์ด้วย นอกจากนี้ปริมาณของน้ำที่ผสมก็มี

ส่วนทำให้ดินซีเมนต์มีความแข็งแรงที่แตกต่างกัน คือ ดินซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณน้ำในการผสมที่สูงจะทำให้รับกำลังได้น้อยกว่าดินซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณน้ำในการผสมที่ต่ำกว่า และจะเห็นได้ว่าในตัวอย่างของดินผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 – 10 อายุบ่ม 1 – 28 วัน จะไม่ค่อยพบแร่ที่มีองค์ประกอบของธาตุ CaO ซึ่งที่จริงแล้วน่าจะพบแร่ที่มีองค์ประกอบของธาตุ CaO มากกว่านี้ ทั้งนี้เพราะธาตุ CaO เป็นธาตุองค์ประกอบหลักที่อยู่ในปูนซีเมนต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการชุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ไม่คิดแร่ที่เกิดจากธาตุ CaO ทั้งๆที่มีการผสมปูนซีเมนต์เข้ากับตัวอย่างดินซีเมนต์ หรืออาจจะเนื่องมาจากปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในดินและความเป็นกรดของดินทำให้ปฏิกิริยา Cement Hydration ของดินซีเมนต์เกิดขึ้นล่าช้าและน้อย ซึ่งทำให้แร่ที่เกิดจากปฏิกิริยา Hydration ไม่ปรากฏหรือปรากฏขึ้นน้อย ซึ่งอาจทำให้การชุ่มตัวอย่างไม่ค่อยเจอแร่เหล่านั้น

จากผลการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ของดินฉลุง จังหวัดสตูล แสดงในรูปที่ 3.64 พบว่าดินฉลุง นั้นประกอบไปด้วยแร่ Qt = 76.23 %, Goethite (Goe = FeO (OH)) = 7.79 % และ Mic = 15.98 % เมื่อ 5 %C, 1 D, NWC พบแร่ Qt = 99.06 % และ Mont = 0.94 % เมื่อ 5 %C, 7 D, NWC พบแร่ Qt = 96.08 % และ Mont = 3.92 % เมื่อ 5 %C, 14 D, NWC พบแร่ Qt = 94.87 % และ Mont = 5.13 % และเมื่อ 5 %C, 28 D, NWC พบแร่ Qt = 70.21 % และ Ilt-mont = 29.79 % เมื่อ 10 %C, 1 D, NWC พบแร่ Qt = 81.61 %, Ett = 8.46 % และ Anorthite (Ano = CaAlSi₂O₈) = 9.93 % เมื่อ 10 %C, 7 D, NWC พบแร่ Qt = 97.85 % และ Calcium Hydroxide (Ca (OH)₂) = 2.15 % เมื่อ 10 %C, 14 D, NWC พบแร่ Qt = 66.49 % และ Ilt-mont = 33.51 % และเมื่อ 10 %C, 28 D, NWC พบแร่ Qt = 71.34 % และ Ilt-mont = 28.66 % เมื่อ 20 %C, 1 D, NWC พบแร่ Qt = 85.15 %, Ett = 12.59 % และ Ca(OH)₂ = 2.25 % เมื่อ 20 %C, 7 D, NWC พบแร่ Qt = 96.92 % และ Ca(OH)₂ = 3.08 % เมื่อ 20 %C, 14 D, NWC พบแร่ Qt = 95.81 %, Mont = 0.92 % และ Ca(OH)₂ = 3.27 % และเมื่อ 20 %C, 28 D, NWC พบแร่ Qt = 68.93 %, Ca(OH)₂ = 1.97 % และ Ilt-mont = 29.11 % และเมื่อ 20 %C, 28 D, LL พบแร่ Qt = 94.69 % และ Mont = 5.31 % และเมื่อ 20 %C, 28 D, OMC พบแร่ Qt = 60.10 %, Ett = 8.46 % และ Ilt-mont = 31.44 %

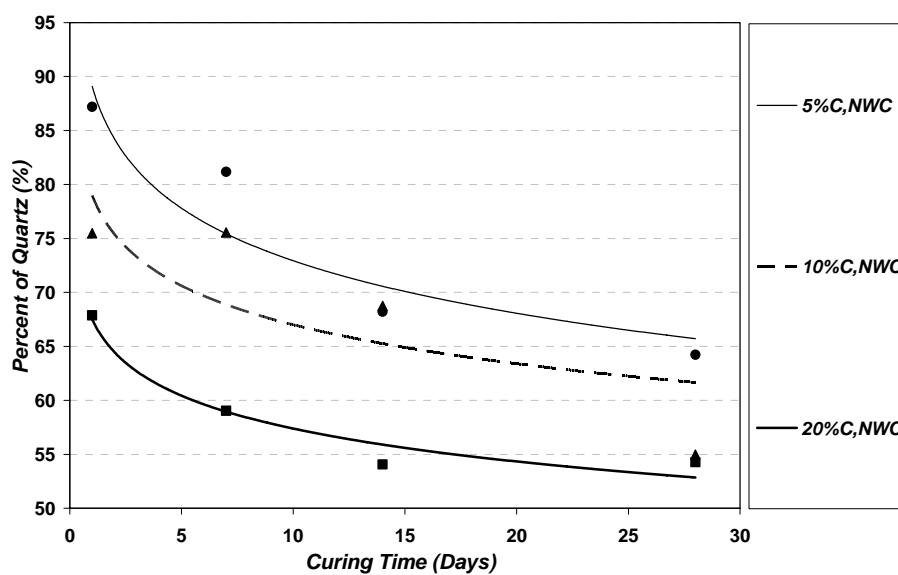


รูปที่ 3.64 ผลการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ดินฉลุง

จากการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ของดินฉลุง จังหวัดสตูล จะเห็นได้ว่า องค์ประกอบแร่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการผสมปูนซีเมนต์และอายุการบ่มเพิ่มมากขึ้นซึ่งการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบแร่นี้จะช่วยให้โครงสร้างของดินซีเมนต์มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแร่ที่เกิดจากปฏิกิริยา Cement Hydration ที่เกิดจากธาตุหลักๆ ที่มีอยู่ในดิน คือ ธาตุ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ผสมกับปูนซีเมนต์ซึ่งประกอบด้วยธาตุหลักๆ คือ ธาตุ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ได้แก่ แร่ Ett, Ca(OH)_2 , Ano, Mont, Goe และ Illt-mont ซึ่งแร่เหล่านี้จะช่วยในการยึดเกาะอนุภาคของดินให้เป็นก้อนและมีความเชื่อมั่นแน่นทำให้ดินซีเมนต์มีความสามารถในการรับน้ำหนักมากขึ้น นอกจากนี้แล้วปฏิกิริยา Hydration ของดินซีเมนต์ยังทำให้ปริมาณความชื้นในดินลดลงเมื่ออายุบ่มนานขึ้นทำให้ตัวอย่างดินมีความแข็งแรงมากขึ้น อีกทั้งความแข็งแรงของดินซีเมนต์ส่วนหนึ่งนั้นมาจากการบดอัดตัวอย่างดินซีเมนต์ด้วย นอกจากนี้ปริมาณของน้ำที่ผสมก็มีส่วนทำให้ดินซีเมนต์มีความแข็งแรงที่แตกต่างกัน คือ ดินซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณน้ำในการผสมที่สูงจะทำให้รับกำลังได้น้อยกว่าดินซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณน้ำในการผสมที่ต่ำกว่า และจะเห็นได้ว่าในตัวอย่างของดินผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 อายุบ่ม 1 – 28 วัน จะไม่พบแร่ที่มีองค์ประกอบของธาตุ CaO ซึ่งที่จริงแล้วน่าจะพบแร่ที่มีองค์ประกอบของธาตุ CaO บ้าง ทั้งนี้เพราะธาตุ CaO เป็นธาตุองค์ประกอบ

หลักที่อยู่ในปูนซีเมนต์ ทั้งนี้เนื่องมาจากการชุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD ไม่ติดแร่ที่เกิดจากธาตุ CaO ทั้งๆ ที่มีการผสมปูนซีเมนต์เข้ากับตัวอย่างดินซีเมนต์

จากรูปที่ 3.65 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแร่ Qt เทียบกับอายุบ่มของดินซีเมนต์ จะเห็นได้ว่าแร่ Qt มีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุบ่มเพิ่มมากขึ้น และยังลดลงเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่ปริมาณของแร่ Qt ลดลงเนื่องจากธาตุ SiO₂ ที่เป็นธาตุองค์ประกอบหลักของแร่ Qt มีปริมาณลดลง เพราะธาตุ SiO₂ ถูกดึงไปใช้ในการเปลี่ยนแปลงการเกิดของแร่เนื่องมาจากปฏิกิริยา Hydration และ Pozzolanic เช่น การเกิดของแร่ Ett และ CSH ซึ่งจะต้องดึงเอาธาตุ SiO₂ จากแร่ Qt ไปทำปฏิกิริยาเพื่อเกิดเป็นแร่ Ett และ CSH ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปริมาณของแร่ Qt ลดลงเมื่ออายุบ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดของแร่ Ett และ CSH ที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน เมื่ออายุบ่มมากขึ้น และการที่ปริมาณของแร่ Qt ลดลงมากเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์มาก เพราะถ้าปูนซีเมนต์มากจะทำให้เกิดปฏิกิริยา Hydration และ Pozzolanic ที่สูงกว่าปูนซีเมนต์น้อย จึงทำให้มีความต้องการธาตุ SiO₂ จากแร่ Qt ในการทำปฏิกิริยาที่มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดของแร่ Ett และ CSH ที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 3.65 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับปริมาณของแร่ควอตซ์ (Qt)

โดยสรุปการตรวจชนิดแร่ด้วยวิธี XRD จะพบแร่ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์ ดิน และน้ำ ซึ่งส่งผลต่อกำลังของดินซีเมนต์โดยปริมาณของแร่จะพบมากขึ้นเมื่อปริมาณของปูนซีเมนต์และอายุบ่มของดินซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแร่ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าวจะช่วยทำให้ดินซีเมนต์มีความสามารถในการรับกำลังได้ดีขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้การปรับปรุงคุณภาพของดิน

โดยใช้ปูนซีเมนต์มีประสิทธิภาพสามารถเพิ่มกำลังให้กับดินคันทางได้ และผลจากการศึกษายังพบว่ามีความสอดคล้องและเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับผลการศึกษาของ Nontananandh, et al. (2005B) และ Yong และ Ouhadi (2007)

3.7 การวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยสหสัมพันธ์ของตัวแปร กำลังอัดแกนเดียว ปริมาณปูนซีเมนต์ อายุบ่ม และปริมาณความชื้น ในรูปสหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Variable Regression)

จากผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียวทั้ง 2 จังหวัด 8 จุด ของดินที่ยังไม่ปรับปรุงคุณภาพ ได้ ค่ากำลังอัดแกนเดียว ($q_{u,0}$) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ร้อยละ 50 ของกำลังอัดแกนเดียว ($E_{50,0}$) ค่าความเครียดวิบัติ ($\epsilon_{r,0}$) ค่าปริมาณความชื้น (ω_0) ค่าน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร ($\gamma_{m,0}$) และของดินที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว (ดินซีเมนต์) ได้ ค่ากำลังอัดแกนเดียว (q_u) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ร้อยละ 50 ของกำลังอัดแกนเดียว (E_{50}) ค่าความเครียดวิบัติ (ϵ_r) ค่าปริมาณความชื้น (ω) ค่าน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (γ_m) จากนั้นนำค่าสมบัติทางวิศวกรรมต่างๆ ที่ได้ มาวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยสหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Variable Regression) เพื่อสร้างสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์กับค่า ปริมาณปูนซีเมนต์ (ร้อยละ 5, 10 และ 20) ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม (ปริมาณน้ำที่จุด LL, NWC และ OMC) อายุบ่ม (1, 7, 14 และ 28 วัน) และนอกจากนี้ยังสามารถรวมตัวแปรของปริมาณปูนซีเมนต์กับปริมาณน้ำที่ใช้ผสมให้อยู่ในรูปของ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water Cement Ratio, W/C)

จากการจำแนกดินแบบ USCS สามารถจำแนกดินเดิมทั้ง 8 จุด ออกเป็น 3 ประเภท คือ ดินประเภท CH ประกอบด้วย ดินระโนด จังหวัดสงขลา และดินต่ามะลัง จังหวัดสตูล ดินประเภท MH ประกอบด้วย ดินลพบุรีรามเสวร์ ดินดิณสุลานนท์ ดินโรงไฟฟ้าสงขลา จังหวัดสงขลา และดินปากบารา จังหวัดสตูล และ ดินประเภท CL ประกอบด้วย ดินคลองขุด ดินฉลุง จังหวัดสตูล ซึ่งในที่นี้จะทำการหาสมการความสัมพันธ์ของค่าสมบัติทางวิศวกรรมต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบแรงอัดแกนเดียวของตัวอย่างดินเดิมและดินซีเมนต์ โดยแบ่งตามประเภทของดินเดิม และรวมข้อมูลทั้งหมดของดินทุกประเภทเข้าด้วยกัน ซึ่งค่าความน่าเชื่อถือของสมการถดถอยจะแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุคูณ (Multiple Coefficient of Determination (R^2)) โดยถ้าหากค่า R^2 มีค่าน้อยกว่า 0.25 แสดงว่า สมการมีความสัมพันธ์น้อย ค่า R^2 มีค่าระหว่าง 0.25 – 0.55 แสดงว่า สมการมีความสัมพันธ์พอใช้ ค่า R^2 มีค่าระหว่าง 0.55 – 0.80 แสดงว่า สมการมีความสัมพันธ์ดี ค่า R^2 มีค่ามากกว่า 0.80 แสดงว่า สมการมีความสัมพันธ์ดีมาก ซึ่งใช้โปรแกรม SPSS (Statistical Package for Social Science) ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ และทำการตรวจสอบความสัมพันธ์

ของตัวแปรต่างๆ โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation) ซึ่งได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง และผลจากการหาสมการความสัมพันธ์ของค่าสมบัติทางวิศวกรรมต่างๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

3.7.1 ดินประเภท CH

ตารางที่ 3.29 สมการความสัมพันธ์ของค่า q_u กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบสมการ
1-28	$q_u = 14.75 - 0.30(\omega_0) + 0.85(C) + 0.22(T)$	0.763	Linear
	$q_u = 10.27 + 1.73(q_{u,0}) - 0.97(W/C) + 0.22(T)$	0.533	Linear
1	$q_u = 13.42 - 0.23(\omega_0) + 0.65(C)$	0.771	Linear
	$q_u = 2.39 + 2.43(q_{u,0})$	0.510	Linear
	$q_u = 43.95(W/C)^{-1.66}$	0.826	Power
7	$q_u = 15.58 - 0.27(\omega_0) + 0.78(C)$	0.778	Linear
	$q_u = 3.40 + 2.66(q_{u,0})$	0.439	Linear
	$q_u = 51.03(W/C)^{-1.61}$	0.825	Power
14	$q_u = 18.57 - 0.32(\omega_0) + 0.92(C)$	0.767	Linear
	$q_u = 21.36 - 1.56(W/C)$	0.410	Linear
	$q_u = 59.11(W/C)^{-1.57}$	0.800	Power
28	$q_u = 22.64 - 0.38(\omega_0) + 1.07(C)$	0.744	Linear
	$q_u = 26.126 - 1.869(W/C)$	0.418	Linear
	$q_u = 69.37(W/C)^{-1.51}$	0.739	Power

ตารางที่ 3.30 สมการความสัมพันธ์ของค่า E_{50} กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบ สมการ
1-28	$E_{50} = 1878.63 - 98.67(\omega_0) + 201.46(C) + 57.53(T)$	0.733	Linear
	$E_{50} = 3304.14 - 573.35(W/C) + 57.53(T)$	0.494	Linear
1	$E_{50} = 2008.94 - 75.32(\omega_0) + 135.70(C)$	0.790	Linear
	$E_{50} = 2766.30 - 402.38(W/C)$	0.472	Linear
	$E_{50} = 5752.65(W/C)^{-2.19}$	0.827	Power
7	$E_{50} = 2160.12 - 81.61(\omega_0) + 166.18(C)$	0.846	Linear
	$E_{50} = 3349.18 - 478.64(W/C)$	0.530	Linear
	$E_{50} = 7555.45(W/C)^{-2.13}$	0.805	Power
14	$E_{50} = 2755.61 - 106.34(\omega_0) + 221.56(C)$	0.738	Linear
	$E_{50} = 4376.98 - 627.70(W/C)$	0.458	Linear
	$E_{50} = 9738.74(W/C)^{-2.12}$	0.808	Power
28	$E_{50} = -358.13 + 282.40(C)$	0.397	Linear
	$E_{50} = 5600.50 - 784.69(W/C)$	0.390	Linear
	$E_{50} = 11213.04(W/C)^{-1.98}$	0.750	Power

ตารางที่ 3.31 สมการความสัมพันธ์ของค่า ϵ_f กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบ สมการ
1-28	$\epsilon_f = 1.28 + 0.09(\omega_0) - 0.09(C) - 0.03(T)$	0.927	Linear
	$\epsilon_f = 0.20 + 0.33(\epsilon_{f,0}) + 0.32(W/C) - 0.03(T)$	0.936	Linear
1	$\epsilon_f = 0.80 + 0.11(\omega_0) - 0.10(C)$	0.949	Linear
	$\epsilon_f = -0.43 + 0.48(\epsilon_{f,0}) + 0.33(W/C)$	0.954	Linear
	$\epsilon_f = 1.45(W/C)^{0.69}$	0.725	Power
7	$\epsilon_f = 0.80 + 0.09(\omega_0) - 0.09(C)$	0.952	Linear
	$\epsilon_f = -0.24 + 0.37(\epsilon_{f,0}) + 0.31(W/C)$	0.943	Linear
	$\epsilon_f = 1.24(W/C)^{0.68}$	0.798	Power

ตารางที่ 3.31(ต่อ) สมการความสัมพันธ์ของค่า ϵ_f กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CH

อายุปม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
14	$\epsilon_f = 0.87+0.08(\omega_0)-0.09(C)$	0.943	Linear
	$\epsilon_f = -0.17+0.27(\epsilon_{f,0})+0.31(W/C)$	0.969	Linear
	$\epsilon_f = 0.98(W/C)^{0.70}$	0.845	Power
28	$\epsilon_f = 0.95+0.07(\omega_0)-0.09(C)$	0.915	Linear
	$\epsilon_f = -0.04+0.19(\epsilon_{f,0})+0.31(W/C)$	0.973	Linear
	$\epsilon_f = 0.85(W/C)^{0.70}$	0.867	Power

ตารางที่ 3.32 สมการความสัมพันธ์ของค่า ω กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CH

อายุปม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
1-28	$\omega = 6.11+0.87(\omega_0)-0.52(C)-0.16(T)$	0.994	Linear
	$\omega = 0.05+0.77(\omega_0)+0.88(W/C)-0.16(T)$	0.997	Linear
1	$\omega = 4.38+0.90(\omega_0)-0.45(C)$	0.997	Linear
	$\omega = -0.89+0.81(\omega_0)+0.74(W/C)$	0.998	Linear
	$\omega = 16.57(W/C)^{0.59}$	0.598	Power
7	$\omega = 4.39+0.88(\omega_0)-0.52(C)$	0.994	Linear
	$\omega = -1.66+0.77(\omega_0)+0.89(W/C)$	0.998	Linear
	$\omega = 15.42(W/C)^{0.61}$	0.617	Power
14	$\omega = 4.02+0.86(\omega_0)-0.54(C)$	0.993	Linear
	$\omega = -2.29+0.75(\omega_0)+0.93(W/C)$	0.997	Linear
	$\omega = 14.46(W/C)^{0.63}$	0.624	Power
28	$\omega = 3.72+0.85(\omega_0)-0.56(C)$	0.992	Linear
	$\omega = -2.86+0.74(\omega_0)+0.97(W/C)$	0.996	Linear
	$\omega = 13.63(W/C)^{0.65}$	0.631	Power

ตารางที่ 3.33 สมการความสัมพันธ์ของค่า γ_m กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CH

อายุปม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
1-28	$\gamma_m = -0.10+1.07(\gamma_{m,0})+0.003(C)-0.002(T)$	0.997	Linear
	$\gamma_m = 0.06+1.02(\gamma_{m,0})-0.004(W/C)-0.002(T)$	0.993	Linear
1	$\gamma_m = 0.30+0.88(\gamma_{m,0})-0.001(\omega_0)+0.004(C)$	0.997	Linear
	$\gamma_m = 0.12+0.99(\gamma_{m,0})-0.005(W/C)$	0.992	Linear
	$\gamma_m = 2.14(W/C)^{-0.13}$	0.612	Power
7	$\gamma_m = -0.12+1.07(\gamma_{m,0})+0.003(C)$	0.998	Linear
	$\gamma_m = 0.04+1.02(\gamma_{m,0})-0.004(W/C)$	0.993	Linear
	$\gamma_m = 2.12(W/C)^{-0.13}$	0.592	Power
14	$\gamma_m = -0.13+1.07(\gamma_{m,0})+0.003(C)$	0.997	Linear
	$\gamma_m = -0.001+1.03(\gamma_{m,0})-0.003(W/C)$	0.992	Linear
	$\gamma_m = 2.10(W/C)^{-0.13}$	0.580	Power
28	$\gamma_m = -0.13+1.07(\gamma_{m,0})+0.003(C)$	0.997	Linear
	$\gamma_m = -0.02+1.03(\gamma_{m,0})-0.003(W/C)$	0.993	Linear
	$\gamma_m = 2.08(W/C)^{-0.13}$	0.569	Power

ตารางที่ 3.34 สมการความสัมพันธ์ของค่า E_{50} กับค่า (S_u) ของดินประเภท CH

อายุปม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
1-28	$E_{50} = 245.86(S_u)$	0.886	Linear
	$E_{50} = 103.34(S_u)^{1.31}$	0.976	Power
1	$E_{50} = 220.22(S_u)$	0.925	Linear
	$E_{50} = 97.76(S_u)^{1.31}$	0.981	Power
7	$E_{50} = 223.28(S_u)$	0.929	Linear
	$E_{50} = 104.50(S_u)^{1.32}$	0.973	Power
14	$E_{50} = 247.59(S_u)$	0.902	Linear
	$E_{50} = 103.00(S_u)^{1.33}$	0.971	Power

ตารางที่ 3.34(ต่อ) สมการความสัมพันธ์ของค่า E_{50} กับค่า (S_u) ของดินประเภท CH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบ สมการ
28	$E_{50} = 264.20(S_u)$	0.862	Linear
	$E_{50} = 110.58(S_u)^{1.28}$	0.973	Power

ตารางที่ 3.35 สมการความสัมพันธ์ของค่า P_c , C_c และ C_r กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบ สมการ
28	$P_c = 0.28+0.13(C)$	0.702	Linear
	$P_c = 3.81(W/C)^{-0.51}$	0.301	Power
28	$C_c = -0.21+0.01(\omega_0)-0.008(C)$	0.978	Linear
	$C_c = -0.14+1.07(C_{c,0})$	0.909	Linear
	$C_c = 0.06(W/C)^{0.89}$	0.441	Power
28	$C_r = -0.005+0.006(W/C)$	0.978	Linear
	$C_r = 0.004(W/C)^{1.16}$	0.975	Linear

3.7.2 ดินประเภท MH

ตารางที่ 3.36 สมการความสัมพันธ์ของค่า q_u กับค่าต่างๆ ของดินประเภท MH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบ สมการ
1-28	$q_u = 10.16+1.12(q_{u,0})-0.21(\omega_0)+0.53(C)+0.15(T)$	0.893	Linear
	$q_u = 9.04+1.56(q_{u,0})-0.85(W/C)+0.15(T)$	0.781	Linear
1	$q_u = 8.81+1.10(q_{u,0})-0.17(\omega_0)+0.41(C)$	0.879	Linear
	$q_u = 7.80+1.44(q_{u,0})-0.63(W/C)$	0.780	Linear
	$q_u = 46.90(W/C)^{-1.95}$	0.635	Power

ตารางที่ 3.36(ต่อ) สมการความสัมพันธ์ของค่า q_u กับค่าต่างๆ ของดินประเภท MH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
7	$q_u = 10.79 + 1.13(q_{u,0}) - 0.20(\omega_0) + 0.52(C)$	0.887	Linear
	$q_u = 9.94 + 1.54(q_{u,0}) - 0.79(W/C)$	0.769	Linear
	$q_u = 56.54(W/C)^{-1.86}$	0.678	Power
14	$q_u = 12.81 + 1.11(q_{u,0}) - 0.23(\omega_0) + 0.57(C)$	0.901	Linear
	$q_u = 11.87 + 1.57(q_{u,0}) - 0.92(W/C)$	0.781	Linear
	$q_u = 65.34(W/C)^{-1.77}$	0.729	Power
28	$q_u = 15.53 + 1.14(q_{u,0}) - 0.26(\omega_0) + 0.62(C)$	0.906	Linear
	$q_u = 13.84 + 1.68(q_{u,0}) - 1.05(W/C)$	0.779	Linear
	$q_u = 69.96(W/C)^{-1.68}$	0.717	Power

ตารางที่ 3.37 สมการความสัมพันธ์ของค่า E_{50} กับค่าต่างๆ ของดินประเภท MH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
1-28	$E_{50} = 581.96 + 1.40(E_{50,0}) - 25.02(\omega_0) + 83.14(C) + 28.32(T)$	0.828	Linear
	$E_{50} = 1105.38 + 1.69(E_{50,0}) - 141.27(W/C) + 28.32(T)$	0.715	Linear
1	$E_{50} = 484.18 + 1.34(E_{50,0}) - 15.84(\omega_0) + 59.51(C)$	0.780	Linear
	$E_{50} = 919.93 + 1.51(E_{50,0}) - 93.40(W/C)$	0.687	Linear
	$E_{50} = 4310.93(W/C)^{-1.97}$	0.579	Power
7	$E_{50} = 765.32 + 1.38(E_{50,0}) - 21.78(\omega_0) + 75.42(C)$	0.816	Linear
	$E_{50} = 1273.62 + 1.62(E_{50,0}) - 125.73(W/C)$	0.702	Linear
	$E_{50} = 5139.10(W/C)^{-1.92}$	0.561	Power
14	$E_{50} = 1027.52 + 1.42(E_{50,0}) - 26.64(\omega_0) + 86.68(C)$	0.840	Linear
	$E_{50} = 1560.77 + 1.73(E_{50,0}) - 149.97(W/C)$	0.714	Linear
	$E_{50} = 6574.78(W/C)^{-1.84}$	0.660	Power

ตารางที่ 3.37(ต่อ) สมการความสัมพันธ์ของค่า E_{50} กับค่าต่างๆ ของดินประเภท MH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบ สมการ
28	$E_{50} = 1466.91 + 1.45(E_{50,0}) - 35.83(\omega_0) + 110.93(C)$	0.849	Linear
	$E_{50} = 2083.28 + 1.89(E_{50,0}) - 1.95.97(W/C)$	0.698	Linear
	$E_{50} = 8826.02(W/C)^{-1.92}$	0.649	Power

ตารางที่ 3.38 สมการความสัมพันธ์ของค่า \mathcal{E}_f กับค่าต่างๆ ของดินประเภท MH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบ สมการ
1-28	$\mathcal{E}_f = 2.50 + 0.25(\mathcal{E}_{f,0}) + 0.02(\omega_0) - 0.11(C) - 0.05(T)$	0.643	Linear
	$\mathcal{E}_f = 1.03 + 0.18(\mathcal{E}_{f,0}) + 0.24(W/C) - 0.05(T)$	0.698	Linear
1	$\mathcal{E}_f = 2.53 + 0.40(\mathcal{E}_{f,0}) - 0.13(C)$	0.563	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.61 + 0.24(\mathcal{E}_{f,0}) + 0.28(W/C)$	0.631	Linear
	$\mathcal{E}_f = 1.57(W/C)^{0.53}$	0.642	Power
7	$\mathcal{E}_f = 2.02 + 0.37(\mathcal{E}_{f,0}) - 0.11(C)$	0.568	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.43 + 0.22(\mathcal{E}_{f,0}) + 0.24(W/C)$	0.657	Linear
	$\mathcal{E}_f = 1.40(W/C)^{0.54}$	0.533	Power
14	$\mathcal{E}_f = 2.10 + 0.29(\mathcal{E}_{f,0}) - 0.12(C)$	0.632	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.41 + 0.14(\mathcal{E}_{f,0}) + 0.25(W/C)$	0.734	Linear
	$\mathcal{E}_f = 1.11(W/C)^{0.56}$	0.694	Power
28	$\mathcal{E}_f = 1.77 + 0.25(\mathcal{E}_{f,0}) - 0.10(C)$	0.603	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.36 + 0.12(\mathcal{E}_{f,0}) + 0.21(W/C)$	0.705	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.92(W/C)^{0.60}$	0.649	Power

ตารางที่ 3.39 สมการความสัมพันธ์ของค่า Ω กับค่าต่างๆ ของดินประเภท MH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
1-28	$\Omega = 6.16+0.86(\Omega_0)-0.48(C)-0.20(T)$	0.990	Linear
	$\Omega = 0.60+0.76(\Omega_0)+0.87(W/C)-0.20(T)$	0.992	Linear
1	$\Omega = 3.90+0.90(\Omega_0)-0.42(C)$	0.997	Linear
	$\Omega = -1.00+0.81(\Omega_0)+0.74(W/C)$	0.998	Linear
	$\Omega = 18.19(W/C)^{0.52}$	0.549	Power
7	$\Omega = 3.16+0.88(\Omega_0)-0.47(C)$	0.993	Linear
	$\Omega = -2.27+0.78(\Omega_0)+0.84(W/C)$	0.995	Linear
	$\Omega = 16.35(W/C)^{0.55}$	0.571	Power
14	$\Omega = 3.54+0.84(\Omega_0)-0.49(C)$	0.990	Linear
	$\Omega = -2.21+0.74(\Omega_0)+0.89(W/C)$	0.993	Linear
	$\Omega = 15.49(W/C)^{0.56}$	0.585	Power
28	$\Omega = 3.84+0.81(\Omega_0)-0.53(C)$	0.987	Linear
	$\Omega = -2.35+0.70(\Omega_0)+0.99(W/C)$	0.992	Linear
	$\Omega = 14.56(W/C)^{0.57}$	0.599	Power

ตารางที่ 3.40 สมการความสัมพันธ์ของค่า γ_m กับค่าต่างๆ ของดินประเภท MH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
1-28	$\gamma_m = 0.15+0.95(\gamma_{m,0})-0.001(\Omega_0)+0.004(C)-0.002(T)$	0.990	Linear
	$\gamma_m = 0.11+0.99(\gamma_{m,0})-0.01(W/C)-0.002(T)$	0.986	Linear
1	$\gamma_m = 0.17+0.93(\gamma_{m,0})-0.001(\Omega_0)+0.004(C)$	0.995	Linear
	$\gamma_m = 0.19+0.95(\gamma_{m,0})-0.01(W/C)$	0.990	Linear
	$\gamma_m = 2.08(W/C)^{-0.11}$	0.548	Power

ตารางที่ 3.40(ต่อ) สมการความสัมพันธ์ของค่า γ_m กับค่าต่างๆ ของดินประเภท MH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
7	$\gamma_m = -0.08+1.04(\gamma_{m,0})+0.004(C)$	0.992	Linear
	$\gamma_m = 0.12+0.97(\gamma_{m,0})-0.01(W/C)$	0.987	Linear
	$\gamma_m = 2.05(W/C)^{-0.11}$	0.529	Power
14	$\gamma_m = -0.13+1.06(\gamma_{m,0})+0.003(C)$	0.989	Linear
	$\gamma_m = 0.05+1.00(\gamma_{m,0})-0.01(W/C)$	0.986	Linear
	$\gamma_m = 2.03(W/C)^{-0.12}$	0.517	Power
28	$\gamma_m = -0.16+1.08(\gamma_{m,0})+0.003(C)$	0.987	Linear
	$\gamma_m = -0.02+1.03(\gamma_{m,0})-0.004(W/C)$	0.984	Linear
	$\gamma_m = 2.01(W/C)^{-0.12}$	0.499	Power

ตารางที่ 3.41 สมการความสัมพันธ์ของค่า E_{50} กับค่า S_u ของดินประเภท MH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
1-28	$E_{50} = 201.36(S_u)$	0.948	Linear
	$E_{50} = 143.37(S_u)^{1.14}$	0.955	Power
1	$E_{50} = 182.08(S_u)$	0.936	Linear
	$E_{50} = 143.30(S_u)^{1.11}$	0.949	Power
7	$E_{50} = 191.23(S_u)$	0.956	Linear
	$E_{50} = 137.78(S_u)^{1.15}$	0.954	Power
14	$E_{50} = 200.77(S_u)$	0.962	Linear
	$E_{50} = 150.32(S_u)^{1.12}$	0.953	Power
28	$E_{50} = 218.58(S_u)$	0.955	Linear
	$E_{50} = 139.65(S_u)^{1.19}$	0.959	Power

ตารางที่ 3.42 สมการความสัมพันธ์ของค่า P_c , C_c และ C_r กับค่าต่างๆ ของดินประเภท MH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบ สมการ
28	$P_c = 0.37+0.09(C)$	0.934	Linear
	$P_c = 2.11-0.11(W/C)$	0.568	Linear
	$P_c = 3.40(W/C)^{-0.56}$	0.782	Power
28	$C_c = 0.14+0.67(C_{c,0})-0.02(C)$	0.878	Linear
	$C_c = 0.02+0.03(W/C)$	0.919	Linear
	$C_c = 0.03(W/C)^{0.98}$	0.936	Power
28	$C_r = 0.03+0.30(C_{r,0})-0.002(C)$	0.813	Linear
	$C_r = 0.01+0.003(W/C)$	0.816	Linear
	$C_r = 0.01(W/C)^{0.87}$	0.845	Power

3.7.3 ดินประเภท CL

ตารางที่ 3.43 สมการความสัมพันธ์ของค่า q_u กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CL

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบ สมการ
1-28	$q_u = 3.86+0.56(q_{u,0})-0.33(\omega_0)+1.52(C)+0.32(T)$	0.923	Linear
	$q_u = 28.96-4.73(W/C)+0.32(T)$	0.645	Linear
1	$q_u = 7.05+0.42(q_{u,0})-0.31(\omega_0)+1.24(C)$	0.951	Linear
	$q_u = 26.75-3.99(W/C)$	0.666	Linear
	$q_u = 25.30(W/C)^{-0.92}$	0.884	Power
7	$q_u = 7.10+0.52(q_{u,0})-0.31(\omega_0)+1.43(C)$	0.957	Linear
	$q_u = 30.75-4.46(W/C)$	0.642	Linear
	$q_u = 28.83(W/C)^{-0.84}$	0.912	Power
14	$q_u = 6.90+0.61(q_{u,0})-0.29(\omega_0)+1.61(C)$	0.958	Linear
	$q_u = 34.52-4.89(W/C)$	0.633	Linear
	$q_u = 32.28(W/C)^{-0.79}$	0.915	Power

ตารางที่ 3.43(ต่อ) สมการความสัมพันธ์ของค่า q_u กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CL

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบ สมการ
28	$q_u = 19.16 - 0.68(W_0) + 1.82(C)$	0.859	Linear
	$q_u = 39.74 - 5.57(W/C)$	0.570	Linear
	$q_u = 36.97(W/C)^{-0.76}$	0.956	Power

ตารางที่ 3.44 สมการความสัมพันธ์ของค่า E_{50} กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CL

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบ สมการ
1-28	$E_{50} = -1546.61 + 1.70(E_{50,0}) + 231.56(C) + 66.92(T)$	0.775	Linear
	$E_{50} = 4477.27 - 1112.51(W/C) + 66.92(T)$	0.564	Linear
1	$E_{50} = -295.24 + 1.05(E_{50,0}) + 160.67(C)$	0.968	Linear
	$E_{50} = 3848.91 - 794.32(W/C)$	0.756	Linear
	$E_{50} = 3110.76(W/C)^{-1.16}$	0.902	Power
7	$E_{50} = -514.15 + 1.40(E_{50,0}) + 199.65(C)$	0.910	Linear
	$E_{50} = 4630.76 - 954.95(W/C)$	0.629	Linear
	$E_{50} = 3582.57(W/C)^{-1.03}$	0.932	Power
14	$E_{50} = -620.06 + 1.73(E_{50,0}) + 237.42(C)$	0.875	Linear
	$E_{50} = 5566.08 - 1150.47(W/C)$	0.608	Linear
	$E_{50} = 4313.91(W/C)^{-1.02}$	0.934	Power
28	$E_{50} = -1410.85 + 2.62(E_{50,0}) + 328.49(C)$	0.706	Linear
	$E_{50} = 7209.43 - 1550.30(W/C)$	0.431	Linear
	$E_{50} = 5234.57(W/C)^{-1.01}$	0.947	Power

ตารางที่ 3.45 สมการความสัมพันธ์ของค่า \mathcal{E}_f กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CL

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
1-28	$\mathcal{E}_f = 0.36+0.39(\mathcal{E}_{f,0})+0.04(\mathcal{W}_0)-0.03(C)-0.01(T)$	0.963	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.05+0.59(\mathcal{E}_{f,0})+0.15(W/C)-0.01(T)$	0.969	Linear
1	$\mathcal{E}_f = 0.24+0.83(\mathcal{E}_{f,0})-0.03(C)$	0.956	Linear
	$\mathcal{E}_f = -0.05+0.66(\mathcal{E}_{f,0})+0.15(W/C)$	0.977	Linear
	$\mathcal{E}_f = 1.15(W/C)^{0.51}$	0.580	Power
7	$\mathcal{E}_f = 0.29+0.08(\mathcal{W}_0)-0.03(C)$	0.956	Linear
	$\mathcal{E}_f = -0.05+0.59(\mathcal{E}_{f,0})+0.15(W/C)$	0.971	Linear
	$\mathcal{E}_f = 1.05(W/C)^{0.52}$	0.614	Power
14	$\mathcal{E}_f = 0.21+0.74(\mathcal{E}_{f,0})-0.03(C)$	0.958	Linear
	$\mathcal{E}_f = -0.09+0.58(\mathcal{E}_{f,0})+0.14(W/C)$	0.966	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.97(W/C)^{0.53}$	0.611	Power
28	$\mathcal{E}_f = 0.25+0.07(\mathcal{W}_0)-0.03(C)$	0.954	Linear
	$\mathcal{E}_f = -0.10+0.52(\mathcal{E}_{f,0})+0.16(W/C)$	0.963	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.88(W/C)^{0.57}$	0.651	Power

ตารางที่ 3.46 สมการความสัมพันธ์ของค่า \mathcal{W} กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CL

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
1-28	$\mathcal{W} = 3.84+0.79(\mathcal{W}_0)-0.22(C)-0.08(T)$	0.983	Linear
	$\mathcal{W} = 1.22+0.68(\mathcal{W}_0)+0.96(W/C)-0.08(T)$	0.987	Linear
1	$\mathcal{W} = 1.52+0.88(\mathcal{W}_0)-0.18(C)$	0.996	Linear
	$\mathcal{W} = -0.59+0.80(\mathcal{W}_0)+0.75(W/C)$	0.997	Linear
	$\mathcal{W} = 12.58(W/C)^{0.46}$	0.488	Power

ตารางที่ 3.46(ต่อ) สมการความสัมพันธ์ของค่า Ω กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CL

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
7	$\Omega = 3.18+0.80(\Omega_0)-0.23(C)$	0.987	Linear
	$\Omega = 0.44+0.68(\Omega_0)+1.03(W/C)$	0.994	Linear
	$\Omega = 11.80(W/C)^{0.49}$	0.541	Power
14	$\Omega = 3.43+0.76(\Omega_0)-0.23(C)$	0.985	Linear
	$\Omega = 0.69+0.64(\Omega_0)+1.01(W/C)$	0.992	Linear
	$\Omega = 11.35(W/C)^{0.49}$	0.550	Power
28	$\Omega = 3.39+0.74(\Omega_0)-0.25(C)$	0.984	Linear
	$\Omega = 0.47+0.62(\Omega_0)+1.05(W/C)$	0.989	Linear
	$\Omega = 10.76(W/C)^{0.51}$	0.566	Power

ตารางที่ 3.47 สมการความสัมพันธ์ของค่า γ_m กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CL

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
1-28	$\gamma_m = -0.02+1.04(\gamma_{m,0})-0.001(\Omega_0)+0.003(C)-0.001(T)$	0.993	Linear
	$\gamma_m = -0.02+1.06(\gamma_{m,0})-0.01(W/C)-0.001(T)$	0.988	Linear
1	$\gamma_m = -0.11+1.07(\gamma_{m,0})+0.004(C)$	0.988	Linear
	$\gamma_m = 0.12+1.00(\gamma_{m,0})-0.01(W/C)$	0.981	Linear
	$\gamma_m = 2.14(W/C)^{-0.08}$	0.452	Power
7	$\gamma_m = -0.21+1.12(\gamma_{m,0})+0.003(C)$	0.994	Linear
	$\gamma_m = -0.03+1.05(\gamma_{m,0})-0.01(W/C)$	0.989	Linear
	$\gamma_m = 2.13(W/C)^{-0.08}$	0.416	Power
14	$\gamma_m = -0.02+1.04(\gamma_{m,0})-0.002(\Omega_0)+0.003(C)$	0.996	Linear
	$\gamma_m = -0.09+1.08(\gamma_{m,0})-0.010(W/C)$	0.990	Linear
	$\gamma_m = 2.12(W/C)^{-0.08}$	0.408	Power

ตารางที่ 3.47(ต่อ) สมการความสัมพันธ์ของค่า γ_m กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CL

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
28	$\gamma_m = -0.02 + 1.04(\gamma_{m,0}) - 0.002(\omega_0) + 0.003(C)$	0.996	Linear
	$\gamma_m = -0.14 + 1.10(\gamma_{m,0}) - 0.01(W/C)$	0.992	Linear
	$\gamma_m = 2.11(W/C)^{-0.08}$	0.401	Power

ตารางที่ 3.48 สมการความสัมพันธ์ของค่า E_{50} กับค่า S_u ของดินประเภท CL

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบ สมการ
1-28	$E_{50} = 264.29(S_u)$	0.878	Linear
	$E_{50} = 133.14(S_u)^{1.24}$	0.964	Power
1	$E_{50} = 233.16(S_u)$	0.931	Linear
	$E_{50} = 136.65(S_u)^{1.22}$	0.962	Power
7	$E_{50} = 244.10(S_u)$	0.911	Linear
	$E_{50} = 144.99(S_u)^{1.20}$	0.974	Power
14	$E_{50} = 260.97(S_u)$	0.904	Linear
	$E_{50} = 130.22(S_u)^{1.25}$	0.952	Power
28	$E_{50} = 291.57(S_u)$	0.864	Linear
	$E_{50} = 117.43(S_u)^{1.30}$	0.950	Power

ตารางที่ 3.49 สมการความสัมพันธ์ของค่า P_c , C_c และ C_r กับค่าต่างๆ ของดินประเภท CL

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบ สมการ
28	$P_c = -5.23+0.24(\omega_0)+0.12(C)$	0.949	Linear
	$P_c = 2.69(W/C)^{-0.78}$	0.620	Power
28	$C_c = -0.10+0.01(\omega_0)-0.01(C)$	0.975	Linear
	$C_c = 0.02+0.02(W/C)$	0.805	Linear
	$C_c = 0.04(W/C)^{0.80}$	0.782	Power
28	$C_r = 0.03-0.001(C)$	0.799	Linear
	$C_r = 0.002+0.003(W/C)$	0.885	Linear
	$C_r = 0.004(W/C)^{0.89}$	0.914	Power

3.7.4 ข้อมูลรวมของดินทั้ง 3 ประเภท (CH, MH, CL)

ตารางที่ 3.50 สมการความสัมพันธ์ของค่า q_u กับค่าต่างๆ ของข้อมูลรวมของดินทั้ง 3 ประเภท (CH, MH, CL)

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบ สมการ
1-28	$q_u = 9.53+0.80(q_{u,0})-0.26(\omega_0)+0.86(C)+0.21(T)$	0.825	Linear
	$q_u = 13.47+1.21(q_{u,0})-1.29(W/C)+0.21(T)$	0.631	Linear
1	$q_u = 8.80+0.80(q_{u,0})-0.20(\omega_0)+0.68(C)$	0.838	Linear
	$q_u = 11.93+1.11(q_{u,0})-0.98(W/C)$	0.646	Linear
	$q_u = 37.71(W/C)^{-1.69}$	0.705	Power
7	$q_u = 10.70+0.81(q_{u,0})-0.24(\omega_0)+0.81(C)$	0.845	Linear
	$q_u = 14.58+1.19(q_{u,0})-1.18(W/C)$	0.637	Linear
	$q_u = 43.96(W/C)^{-1.61}$	0.732	Power
14	$q_u = 13.07+0.78(q_{u,0})-0.27(\omega_0)+0.91(C)$	0.840	Linear
	$q_u = 17.32+1.21(q_{u,0})-1.38(W/C)$	0.626	Linear
	$q_u = 49.91(W/C)^{-1.53}$	0.757	Power

ตารางที่ 3.50(ต่อ) สมการความสัมพันธ์ของค่า q_u กับค่าต่างๆ ของข้อมูลรวมของดินทั้ง 3 ประเภท (CH, MH, CL)

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบสมการ
28	$q_u = 15.98 + 0.81(q_{u,0}) - 0.32(\omega_0) + 1.03(C)$	0.811	Linear
	$q_u = 20.46 + 1.32(q_{u,0}) - 1.60(W/C)$	0.604	Linear
	$q_u = 55.78(W/C)^{-1.46}$	0.738	Power

ตารางที่ 3.51 สมการความสัมพันธ์ของค่า E_{50} กับค่าต่างๆ ของข้อมูลรวมของดินทั้ง 3 ประเภท (CH, MH, CL)

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบสมการ
1-28	$E_{50} = 425.59 + 1.24(E_{50,0}) - 39.76(\omega_0) + 150.90(C) + 45.61(T)$	0.724	Linear
	$E_{50} = 1830.94 + 1.45(E_{50,0}) - 267.76(W/C) + 45.61(T)$	0.541	Linear
1	$E_{50} = 729.19 + 0.97(E_{50,0}) - 28.82(\omega_0) + 104.74(C)$	0.794	Linear
	$E_{50} = 1678.12 + 1.14(E_{50,0}) - 190.85(W/C)$	0.592	Linear
	$E_{50} = 4302.61(W/C)^{-1.93}$	0.720	Power
7	$E_{50} = 841.323 + 1.157(E_{50,0}) - 34.036(\omega_0) + 130.364(C)$	0.810	Linear
	$E_{50} = 2073.656 + 1.327(E_{50,0}) - 232.400(W/C)$	0.593	Linear
	$E_{50} = 5134.430(W/C)^{-1.851}$	0.695	Power
14	$E_{50} = 1143.82 + 1.22(E_{50,0}) - 43.12(\omega_0) + 158.65(C)$	0.762	Linear
	$E_{50} = 2598.89 + 1.46(E_{50,0}) - 288.19(W/C)$	0.546	Linear
	$E_{50} = 6368.98(W/C)^{-1.79}$	0.750	Power
28	$E_{50} = 1268.49 + 1.62(E_{50,0}) - 53.06(\omega_0) + 209.84(C)$	0.672	Linear
	$E_{50} = 3253.52 + 1.90(E_{50,0}) - 359.61(W/C)$	0.466	Linear
	$E_{50} = 7803.53(W/C)^{-1.77}$	0.722	Power

ตารางที่ 3.52 สมการความสัมพันธ์ของค่า \mathcal{E}_f กับค่าต่างๆ ของข้อมูลรวมของดินทั้ง 3 ประเภท (CH, MH, CL)

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบสมการ
1-28	$\mathcal{E}_f = 1.90 + 0.25(\mathcal{E}_{f,0}) + 0.02(\mathcal{W}_0) - 0.08(C) - 0.03(T)$	0.705	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.84 + 0.19(\mathcal{E}_{f,0}) + 0.25(W/C) - 0.03(T)$	0.767	Linear
1	$\mathcal{E}_f = 1.79 + 0.45(\mathcal{E}_{f,0}) - 0.09(C)$	0.688	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.44 + 0.27(\mathcal{E}_{f,0}) + 0.28(W/C)$	0.761	Linear
	$\mathcal{E}_f = 1.28(W/C)^{0.66}$	0.711	Power
7	$\mathcal{E}_f = 1.57 + 0.39(\mathcal{E}_{f,0}) - 0.08(C)$	0.691	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.40 + 0.24(\mathcal{E}_{f,0}) + 0.24(W/C)$	0.773	Linear
	$\mathcal{E}_f = 1.15(W/C)^{0.65}$	0.701	Power
14	$\mathcal{E}_f = 1.64 + 0.31(\mathcal{E}_{f,0}) - 0.08(C)$	0.697	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.43 + 0.15(\mathcal{E}_{f,0}) + 0.25(W/C)$	0.809	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.99(W/C)^{0.64}$	0.775	Power
28	$\mathcal{E}_f = 1.53 + 0.25(\mathcal{E}_{f,0}) - 0.07(C)$	0.668	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.45 + 0.12(\mathcal{E}_{f,0}) + 0.22(W/C)$	0.776	Linear
	$\mathcal{E}_f = 0.87(W/C)^{0.64}$	0.767	Power

ตารางที่ 3.53 สมการความสัมพันธ์ของค่า \mathcal{W} กับค่าต่างๆ ของข้อมูลรวมของดินทั้ง 3 ประเภท (CH, MH, CL)

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบสมการ
1-28	$\mathcal{W} = 5.46 + 0.86(\mathcal{W}_0) - 0.42(C) - 0.16(T)$	0.991	Linear
	$\mathcal{W} = 0.51 + 0.75(\mathcal{W}_0) + 0.88(W/C) - 0.16(T)$	0.994	Linear
1	$\mathcal{W} = 3.40 + 0.90(\mathcal{W}_0) - 0.37(C)$	0.997	Linear
	$\mathcal{W} = -0.89 + 0.81(\mathcal{W}_0) + 0.74(W/C)$	0.998	Linear
	$\mathcal{W} = 14.50(W/C)^{0.62}$	0.640	Power

ตารางที่ 3.53(ต่อ) สมการความสัมพันธ์ของค่า ω กับค่าต่างๆ ของข้อมูลรวมของดินทั้ง 3 ประเภท (CH, MH, CL)

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบสมการ
7	$\omega = 3.36+0.87(\omega_0)-0.42(C)$	0.994	Linear
	$\omega = -1.55+0.77(\omega_0)+0.87(W/C)$	0.997	Linear
	$\omega = 13.40(W/C)^{0.64}$	0.661	Power
14	$\omega = 3.46+0.84(\omega_0)-0.44(C)$	0.991	Linear
	$\omega = -1.68+0.74(\omega_0)+0.91(W/C)$	0.995	Linear
	$\omega = 12.76(W/C)^{0.65}$	0.670	Power
28	$\omega = 3.58+0.82(\omega_0)-0.47(C)$	0.989	Linear
	$\omega = -1.88+0.71(\omega_0)+0.98(W/C)$	0.993	Linear
	$\omega = 12.07(W/C)^{0.66}$	0.680	Power

ตารางที่ 3.54 สมการความสัมพันธ์ของค่า γ_m กับค่าต่างๆ ของข้อมูลรวมของดินทั้ง 3 ประเภท (CH, MH, CL)

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบสมการ
1-28	$\gamma_m = -0.10+1.07(\gamma_{m,0})+0.003(C)-0.002(T)$	0.993	Linear
	$\gamma_m = 0.06+1.01(\gamma_{m,0})-0.004(W/C)-0.002(T)$	0.990	Linear
1	$\gamma_m = -0.06+1.04(\gamma_{m,0})+0.004(C)$	0.996	Linear
	$\gamma_m = 0.16+0.96(\gamma_{m,0})-0.006(W/C)$	0.991	Linear
	$\gamma_m = 2.14(W/C)^{-0.12}$	0.632	Power
7	$\gamma_m = -0.11+1.06(\gamma_{m,0})+0.003(C)$	0.995	Linear
	$\gamma_m = 0.06+1.00(\gamma_{m,0})-0.01(W/C)$	0.991	Linear
	$\gamma_m = 2.11(W/C)^{-0.13}$	0.615	Power
14	$\gamma_m = -0.15+1.08(\gamma_{m,0})+0.003(C)$	0.994	Linear
	$\gamma_m = -0.002+1.03(\gamma_{m,0})-0.004(W/C)$	0.990	Linear
	$\gamma_m = 2.10(W/C)^{-0.13}$	0.606	Power

ตารางที่ 3.54(ต่อ) สมการความสัมพันธ์ของค่า γ_m กับค่าต่างๆ ของข้อมูลรวมของดินทั้ง 3 ประเภท (CH, MH, CL)

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบสมการ
28	$\gamma_m = -0.19 + 1.09(\gamma_{m,0}) + 0.003(C)$	0.993	Linear
	$\gamma_m = -0.07 + 1.05(\gamma_{m,0}) - 0.003(W/C)$	0.990	Linear
	$\gamma_m = 2.09(W/C)^{-0.13}$	0.594	Power

ตารางที่ 3.55 สมการความสัมพันธ์ของค่า E_{50} กับค่า S_u ของข้อมูลรวมของดินทั้ง 3 ประเภท (CH, MH, CL)

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R ²	รูปแบบสมการ
1-28	$E_{50} = 239.17(S_u)$	0.891	Linear
	$E_{50} = 129.52(S_u)^{1.22}$	0.964	Power
1	$E_{50} = 211.91(S_u)$	0.922	Linear
	$E_{50} = 128.85(S_u)^{1.19}$	0.959	Power
7	$E_{50} = 221.11(S_u)$	0.922	Linear
	$E_{50} = 127.46(S_u)^{1.22}$	0.964	Power
14	$E_{50} = 237.86(S_u)$	0.910	Linear
	$E_{50} = 131.70(S_u)^{1.22}$	0.960	Power
28	$E_{50} = 262.52(S_u)$	0.877	Linear
	$E_{50} = 129.19(S_u)^{1.23}$	0.968	Power

ตารางที่ 3.56 สมการความสัมพันธ์ของค่า P_c , C_c และ C_r กับค่าต่างๆ ของข้อมูลรวมของดินทั้ง 3 ประเภท (CH, MH, CL)

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบสมการ
28	$P_c = -0.33+0.95(P_{c,0})+0.11(C)$	0.794	Linear
	$P_c = 2.14-0.10(W/C)$	0.296	Linear
	$P_c = 2.62(W/C)^{-0.42}$	0.426	Power
28	$C_c = 0.15+1.83(C_{c,0})-0.01(\omega_0)-0.01(C)$	0.928	Linear
	$C_c = -0.09+0.60(C_{c,0})+0.02(W/C)$	0.820	Linear
	$C_c = 0.04(W/C)^{0.97}$	0.779	Power
28	$C_r = 0.02+0.001(\omega_0)-0.002(C)$	0.678	Linear
	$C_r = 0.004(W/C)$	0.818	Linear
	$C_r = 0.004(W/C)^{1.01}$	0.915	Power

ตารางที่ 3.57 สมการความสัมพันธ์ของผลจากการทดสอบแรงอัดแกนเดียวกับค่าต่างๆ ของข้อมูลรวมของดินทั้ง 3 ประเภท (CH, MH, CL) โดยพิจารณาค่า pH

อายุบ่ม (วัน)	สมการถดถอย	R^2	รูปแบบสมการ
1-28	$q_u = 5.59+0.82(q_{u,0})-0.25(\omega_0)+0.86(C)+0.21(T)+0.67(pH)$	0.835	Linear
1-28	$E_{50} = -208.73+1.29(E_{50,0})-35.66(\omega_0)+150.90(C)+45.61(T)+97.40(pH)$	0.732	Linear
1-28	$\epsilon_f = 1.90+0.25(\epsilon_{f,0})+0.02(\omega_0)-0.08(C)-0.03(T)$	0.705	Linear
1-28	$\omega = 5.46+0.86(\omega_0)-0.42(C)-0.16(T)$	0.991	Linear
1-28	$\gamma_m = -0.10+1.07(\gamma_{m,0})+0.003(C)-0.002(T)$	0.993	Linear

จากตารางที่ 3.29 – ตารางที่ 3.57 เป็นตารางแสดงสมการถดถอยของการหาค่าความสัมพันธ์ของค่าสมบัติทางวิศวกรรมของดินซีเมนต์กับตัวแปรต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสมการที่หาได้นั้นสามารถแยกคำนวณตามลักษณะของดินเดิมทั้ง 3 ประเภท คือ CH, MH และ CL หรือสมการที่เกิดจากการรวมของข้อมูลทั้งหมดของดินทั้ง 3 ประเภทเข้าด้วยกัน (CH, MH, CL) โดย

ไม่ได้แบ่งตามประเภทของดินเดิม ซึ่งจากสมการที่ได้นั้นสามารถนำมาประมาณค่าสมบัติทางวิศวกรรมของดินซีเมนต์ต่างๆ เช่น q_u , E_{50} , ϵ_p , ω , γ_m , P_c , C_c และ C_r และความสัมพันธ์ของค่า E_{50} กับค่า S_u โดยค่า S_u คือ ค่าแรงเฉือนแบบไม่คายน้ำ (Undrained Shear Strength) ซึ่งค่า S_u มีค่าเท่ากับค่า $q_u/2$ และจะเห็นได้ว่าสมการที่แสดงอยู่ในตารางที่ ตารางที่ 3.29 – ตารางที่ 3.57 นั้นมีสมการให้เลือกใช้ทั้งสมการถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear Equation) และสมการถดถอยแบบยกกำลัง (Power Equation) ซึ่งแต่ละสมการนั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรต้นที่แตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าจะใช้ตัวแปรต้นที่ตัวในการประมาณค่าตัวแปรตาม เช่น จากตารางที่ 3.50 ค่า $q_u = 9.53 + 0.80(q_{u,0}) - 0.26(\omega_0) + 0.86(C) + 0.21(T)$ ค่า $R^2 = 0.825$ จะเห็นได้ว่าจะต้องใช้ตัวแปรต้นในการประมาณค่าตัวแปรตาม q_u คือ ค่า $q_{u,0}$, ω_0 , C และ T โดยมีค่า R^2 ค่อนข้างสูง แต่ถ้าหากใช้สมการ $q_u = 55.78(W/C)^{-1.46}$ ค่า $R^2 = 0.738$ สำหรับการประมาณค่า q_u ของดินซีเมนต์ที่อายุบ่ม 28 วัน จะเห็นได้ว่าใช้ตัวแปรต้นเพียงค่า W/C ในการประมาณค่าตัวแปรตาม q_u แต่ค่า R^2 มีค่าที่ต่ำกว่า ดังนั้นในการเลือกสมการเพื่อนำไปประมาณค่าต่างๆ ก็ขึ้นอยู่กับว่ามีตัวแปรต้นที่จะใช้ประมาณค่าตัวแปรตามกี่ตัว หรือพิจารณาจากค่า R^2 โดยสมการที่มีค่า R^2 ที่สูงกว่าแสดงว่าสมการมีความสัมพันธ์ที่ดีกว่า

จากตารางที่ 3.50 ขอยกตัวอย่างสมการสำหรับการประมาณค่าสมบัติทางวิศวกรรมของดินซีเมนต์ เช่น สมการสำหรับคำนวณหาค่า q_u สำหรับอายุบ่มดินซีเมนต์ 28 วัน สมการ คือ $q_u(\text{ksc}) = 55.78 (W/C)^{-1.46}$ เป็นสมการยกกำลัง สำหรับการคำนวณหาค่า q_u ของดินซีเมนต์ที่มีอายุบ่ม 28 วัน ซึ่งมีหน่วยเป็น กก./ชม.²(ksc) โดยกำหนดค่า W/C ลงในสมการก็สามารถคำนวณค่า q_u ของดินซีเมนต์ได้ เช่น กำหนดค่า W/C เท่ากับ 5 ก็จะได้ค่า $q_u = 55.78 (5)^{-1.46} = 5.33$ กก./ชม.² หรือ จากสมการเดิม ถ้าหากต้องการค่า q_u ที่อายุบ่ม 28 วัน เท่ากับ 6.00 กก./ชม.² โดยทราบปริมาณน้ำในดินหรือกำหนดปริมาณน้ำที่ต้องการผสมดินกับปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 50 ของดินแห้ง ก็สามารถคำนวณหาปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ผสมแล้วทำให้ค่า q_u ของดินซีเมนต์ที่อายุบ่ม 28 วัน โดย

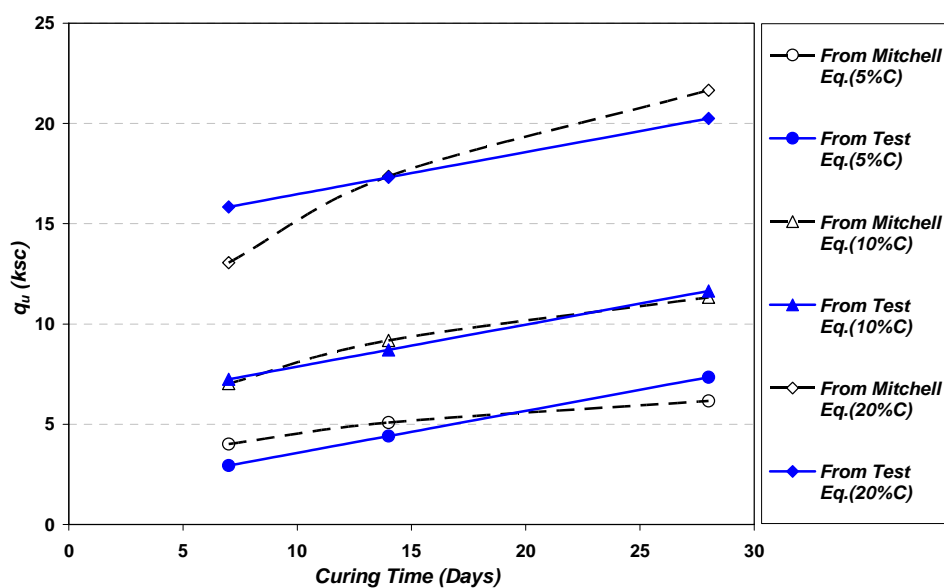
$$\begin{aligned}
 6.00(\text{ksc}) &= 55.78 \left(\frac{50(\%)}{C(\%)} \right)^{-1.46} \\
 \left(\frac{50(\%)}{C(\%)} \right)^{1.46} &= \left(\frac{55.78}{6.00(\text{ksc})} \right) \\
 \left(\frac{50(\%)}{C(\%)} \right) &= \left(\frac{55.785}{6.00(\text{ksc})} \right)^{1/1.46} \\
 \left(\frac{50(\%)}{C(\%)} \right) &= 4.61
 \end{aligned}$$

$$C(\%) = \frac{50(\%)}{4.61}$$

$$C(\%) = 10.84(\%)$$

ดังนั้น ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ต้องการมีค่าเท่ากับ 10.84 % ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะ
ทำให้คิณซีเมนต์ได้ค่า $q_u = 6.00$ กก./ชม.² ที่อายุบ่ม 28 วัน สำหรับค่า E_{50} จากตารางที่ 3.51 คำนวณ
จากสมการ $E_{50} = 7803.53 (W/C)^{-1.77} = 7803.53 (50/10.84)^{-1.77} = 520.84$ กก./ชม.² โดยมีค่า $R^2 =$
0.722 หรือ คำนวณจากสมการ $E_{50} = 262.52 S_u$ จากตารางที่ 3.55 ซึ่งสมการมีความสัมพันธ์ที่ดีกว่า
($R^2 = 0.877$) ซึ่งถ้าหากคำนวณจากสมการที่ใช้ค่า S_u ค่า $E_{50} = 262.52 (6.00/2) = 787.56$ กก./ชม.²
สำหรับหน่วยที่ใช้สำหรับสมการในตารางที่ 3.29 – ตารางที่ 3.56 จะแสดงอยู่ในตารางที่ 3.58

เปรียบเทียบสมการที่ได้จากการทดสอบในตารางที่ 3.50 เพื่อประมาณค่า q_u คือ
 $q_u = 9.53 + 0.80(q_{u,0}) - 0.26(W_0) + 0.86(C) + 0.21(T)$ กับสมการคำนวณค่า q_u ของ Mitchell (1976) คือ
 $q_u(t) = q_u(t_0) + (70/98.1)(C) \log(t/t_0)$ โดยกำหนดค่าตัวแปรสำหรับใช้กับสมการจากการทดสอบ คือ
ค่า $q_{u,0}$ เท่ากับ 0.80 กก./ชม.², W_0 เท่ากับร้อยละ 50, C เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 20, T เท่ากับ 7, 14
และ 28 วัน และค่าตัวแปรสำหรับใช้กับสมการของ Mitchell (1976) คือ t_0 เท่ากับ 1 วัน, $q_u(t_0)$
เท่ากับ 1.00 กก./ชม.², C เท่ากับร้อยละ 5, 10 และ 20, t เท่ากับ 7, 14 และ 28 วัน ซึ่งผลจากการ
คำนวณหาค่า q_u ของทั้งสองสมการแสดงในรูปที่ 3.66



รูปที่ 3.66 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุบ่มกับค่ากำลังอัดแกนเดียวที่คำนวณจากสมการจากการ
ทดสอบและจากสมการของ Mitchell (1976)

จากรูปที่ 3.66 จะเห็นได้ว่าสมการที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยสหสัมพันธ์พหุคูณของผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียวของดินคันทางผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามารถคำนวณค่า q_u ที่ใกล้เคียงกับค่า q_u ที่คำนวณจากสมการของ Mitchell (1976)

ตารางที่ 3.58 หน่วยที่ใช้สำหรับตัวแปรต่างๆ ในตารางที่ 3.29 – ตารางที่ 3.57

ตัวแปร	หน่วย
C	ร้อยละ
C_c	ไม่มีหน่วย
$C_{c,0}$	ไม่มีหน่วย
C_r	ไม่มีหน่วย
$C_{r,0}$	ไม่มีหน่วย
E_{50}	กก./ชม. ² (kg/cm ² , ksc)
$E_{50,0}$	กก./ชม. ² (kg/cm ² , ksc)
P_c	กก./ชม. ² (kg/cm ² , ksc)
$P_{c,0}$	กก./ชม. ² (kg/cm ² , ksc)
pH	ไม่มีหน่วย
q_u	กก./ชม. ² (kg/cm ² , ksc)
$q_{u,0}$	กก./ชม. ² (kg/cm ² , ksc)
S_u	กก./ชม. ² (kg/cm ² , ksc)
T	วัน (Day)
W	ร้อยละ
W/C	ไม่มีหน่วย
ϵ_r	ร้อยละ
$\epsilon_{r,0}$	ร้อยละ
γ_m	ก./ชม. ³ (g/cm ³)
$\gamma_{m,0}$	ก./ชม. ³ (g/cm ³)
ω	ร้อยละ
ω_0	ร้อยละ