บทที่ 3

วิธีและรายงานผลการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

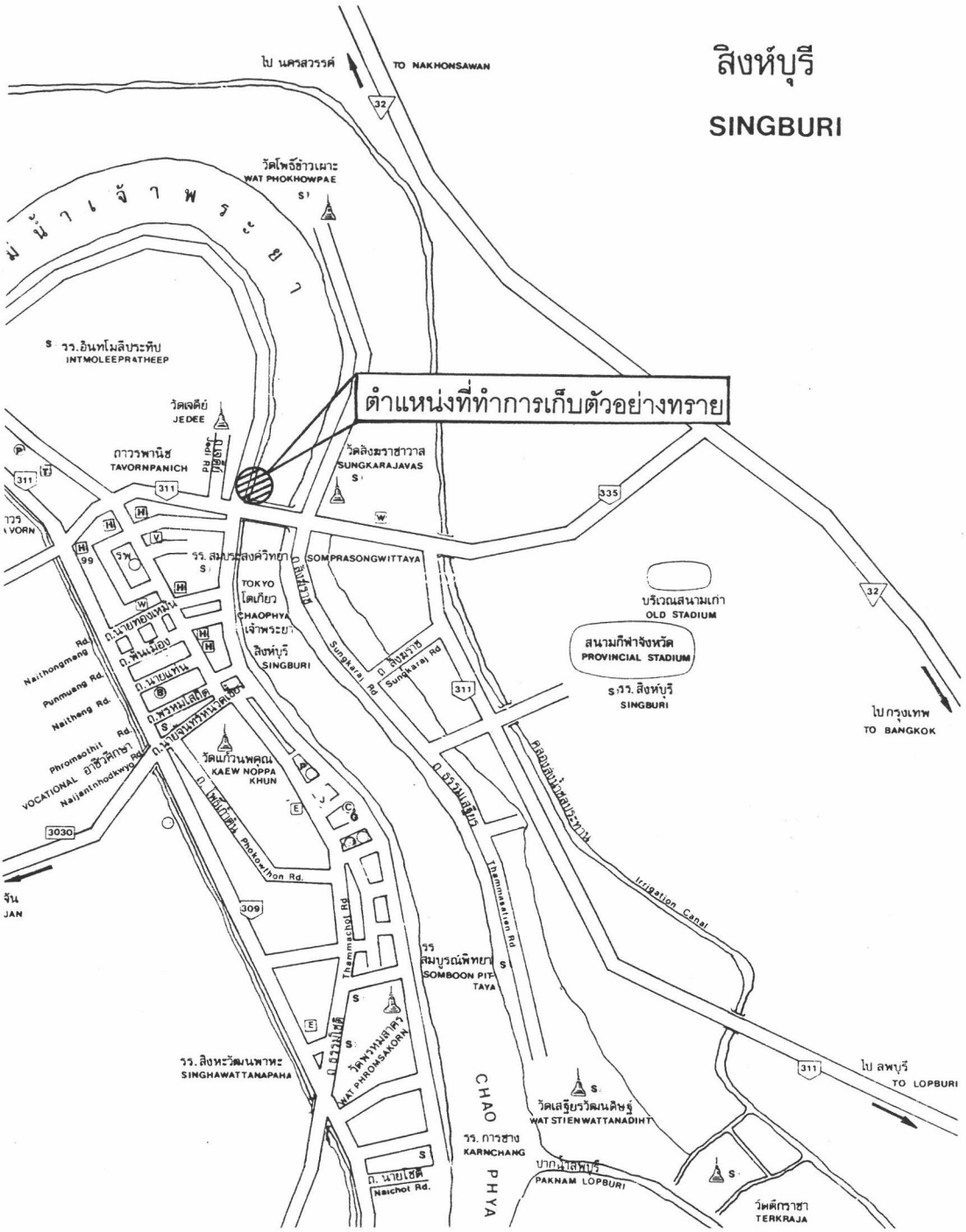
3.1.1 แหล่งวัสดุ

ทรายที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้มาจากการเก็บตัวอย่างทรายบริเวณริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา ในเขตเทศบาลเมือง จังหวัดสิงห์บุรี ตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างทรายจะแสดงในรูปที่ 3.1 เม็ดทรายที่ได้มีลักษณะ Subround และ Round และมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมดังนี้คือ

- Sieve Analysis (% Passing)
  - ผ่านตะแกรง 3/8 ″ = 100.0 %
  - ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 = 100.0 %
  - ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 = 93.4 %
  - ผ่านตะแกรงเบอร์ 16 = 72.4 %
  - ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 = 32.0 %
  - ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 = 7.0 %
  - ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 = 2.4 %
  - ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 = 0.9 %
- Sand Finess Modulus = 1.0
- Specific Gravity = 2.59
- Soundness = 2.40 %

3.1.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างทรายที่เก็บมาได้ (ตัวอย่างแบบ Disturbed Sample) ไปทำการล้างน้ำเพื่อแยกเศษขยะ วัชพืช รากไม้ และวัตถุที่ปะปนมากับทรายออก จากนั้นนำทรายไปอบให้แห้งที่



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่างทราย

อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5°C หลังจากทรายแห้งแล้วนำทรายไปร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดของช่องเปิดต่าง ๆกัน สำหรับชุดของตะแกรงที่ใช้ในการแยกเม็ดทรายในงานวิจัยนี้ตามมาตรฐาน ASTM E-11 มีรายละเอียดตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงขนาดของช่องเปิดตะแกรงและการจำแนกชนิดของดิน

ผ่านตะแกรงหมายเลข	ขนาดของช่องเปิด (มม.)	ชนิดของดินตาม ASTM D2487
4	4.750	Coarse Sand
8	2.360	Coarse Sand
10	2.000	Medium Sand
12	1.700	Medium Sand
16	1.180	Medium Sand
20	0.850	Medium Sand
30	0.600	Medium Sand
40	0.425	Fine Sand
50	0.300	Fine Sand
100	0.150	Fine Sand

เม็ดทรายที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นเม็ดทรายที่มีขนาดอยู่ระหว่าง 0.075 ถึง 4.75 มม.สำหรับเม็ดทรายที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.75 มม.และขนาดเล็กกว่า 0.075 มม.จะถูกคัดออก อัตราส่วนผสมและจำนวนตัวอย่างของทรายที่ใช้ในการวิจัยทั้งหมดจะแสดงในตารางที่ 3.2 ส่วนรูปที่ 3.2 ถึง 3.9 จะแสดง Particle Size Distribution Curve ของตัวอย่างที่นำมาทำการวิจัย

3.2 วิธีการทดลอง

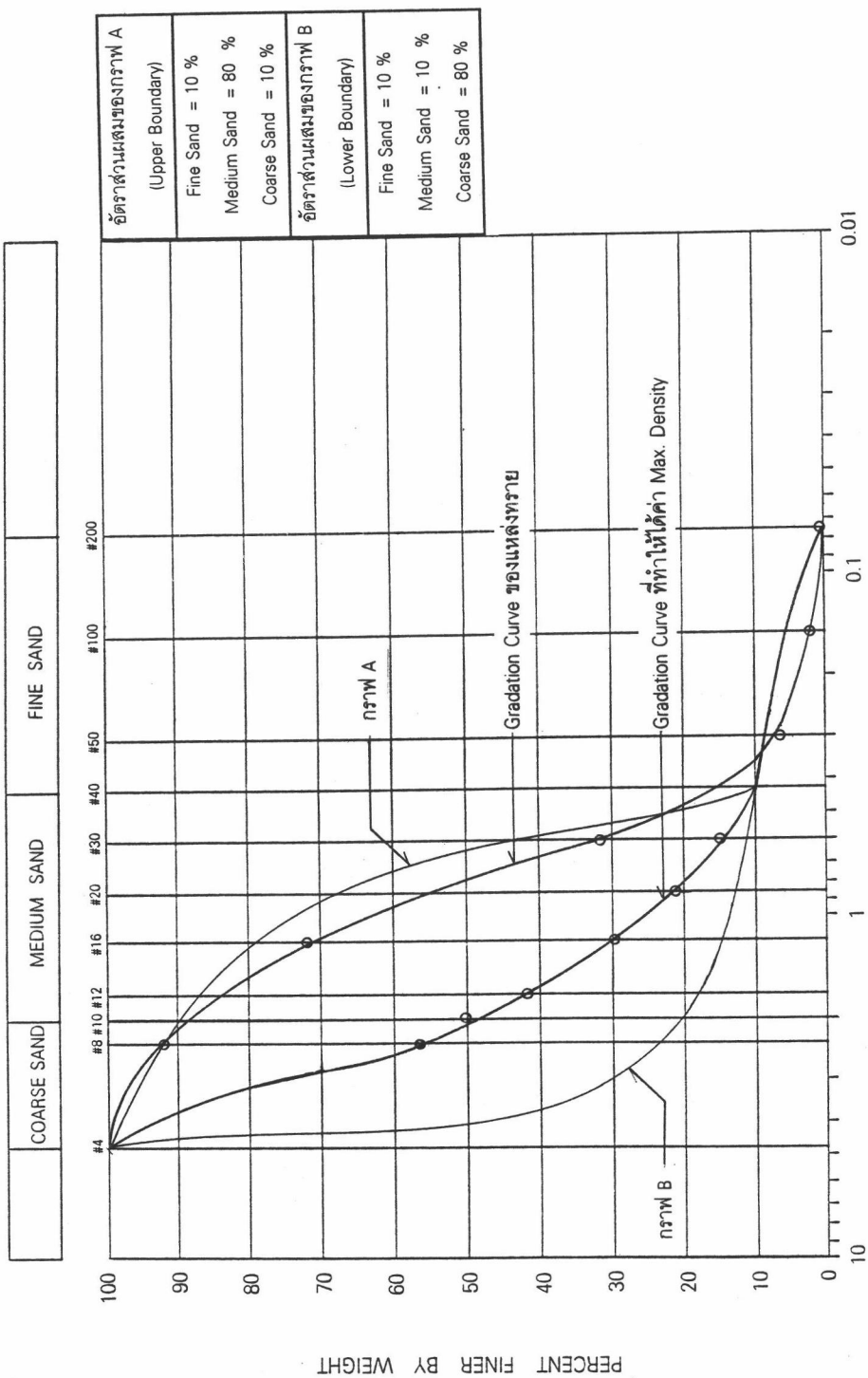
ขั้นตอนของการทดลองในห้องปฏิบัติการของงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

ก. การ Calibrate Vibrating Table เพื่อหาค่าความถี่ (Frequency) ของการสั่นและเวลา (Time) ที่ใช้ในการสั่น ที่ทำให้ทรายใน Mold ทดลองมีค่าความหนาแน่นสูงสุด

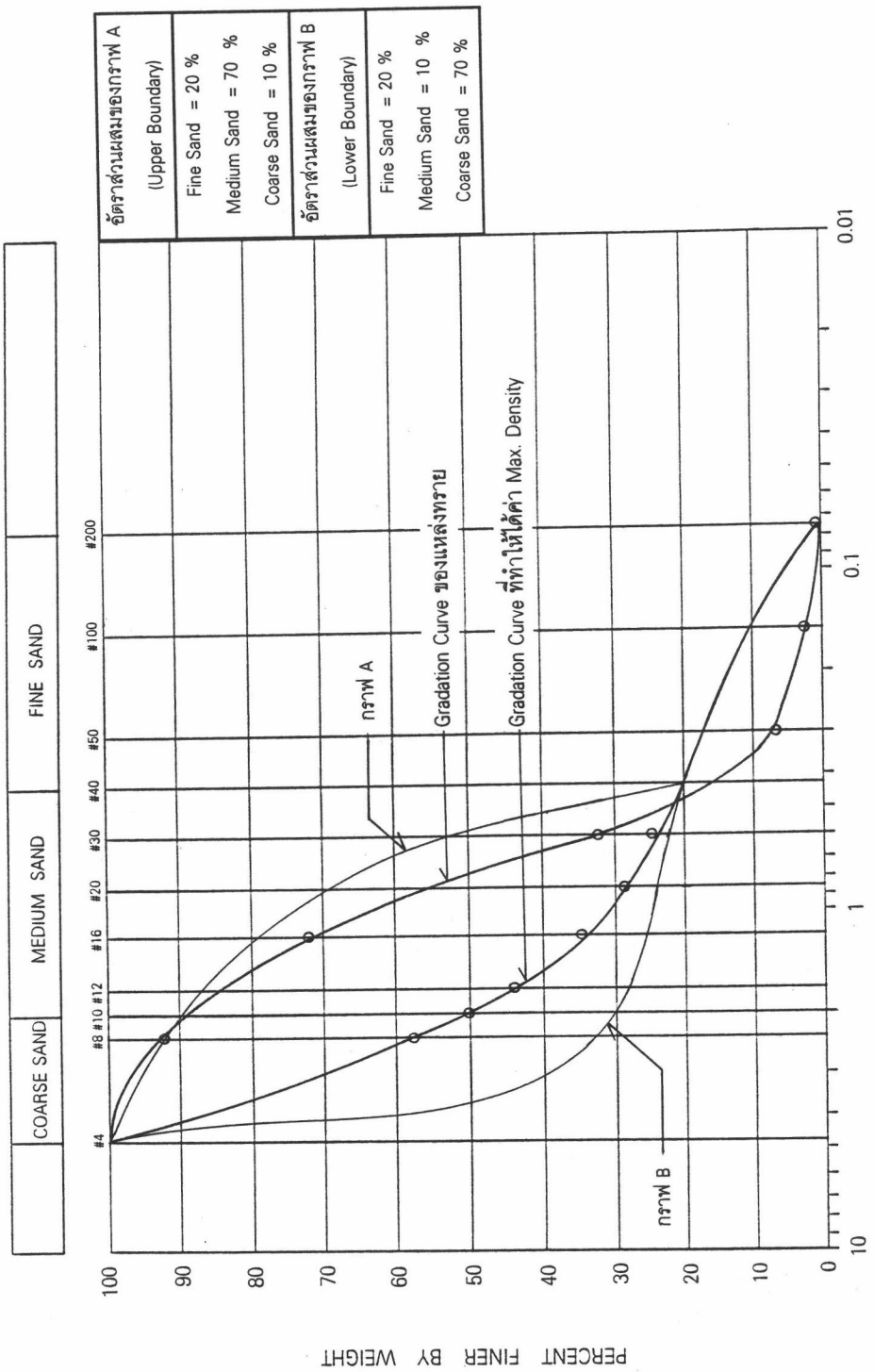
ข. ทดลองหาค่าความหนาแน่นต่ำสุด (Minimum Density) และค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Density)

ตารางที่ 3.2 ร้อยละของอัตราส่วนผสมของทรายที่ใช้ในการทดลอง

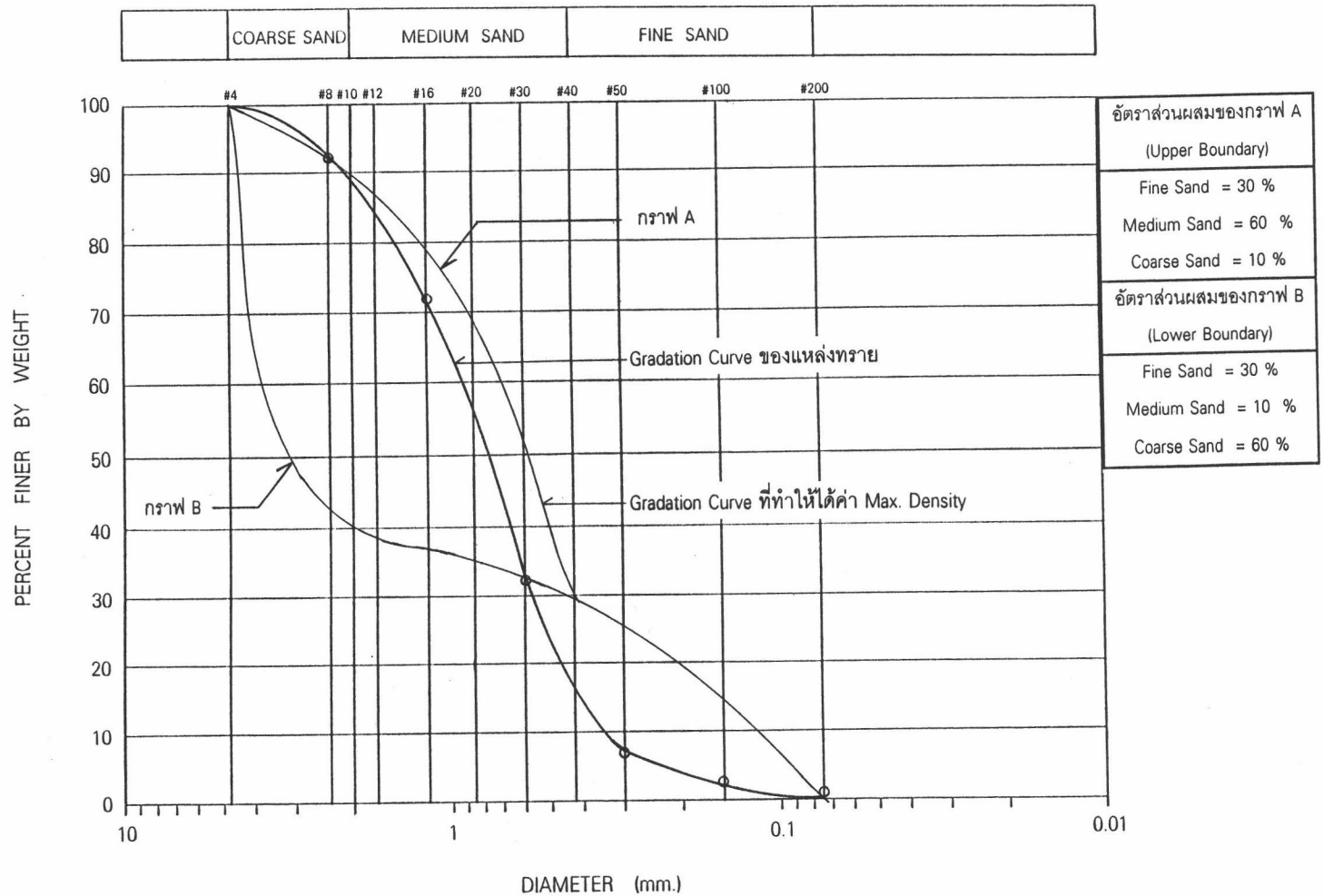
SAMPLE	อัตราส่วนผสมของทรายโดยน้ำหนัก (%)			ร้อยละของส่วนผสมที่ผ่านตะแกรง									
NO.	FINE SAND	MEDIUM SAND	COARSE SAND	#100	#50	#40	#30	#20	#16	#12	#10	#8	#4
1	10	10	80	2.14	4.29	3.57	1.11	1.59	2.10	3.30	1.91	10.47	69.53
2	10	20	70	2.14	4.29	3.57	2.22	3.17	4.19	6.60	3.81	9.16	60.84
3	10	30	60	2.14	4.29	3.57	3.33	4.76	6.29	9.91	5.72	7.85	52.15
4	10	40	50	2.14	4.29	3.57	4.44	6.35	8.38	13.21	7.62	6.55	43.46
5	10	50	40	2.14	4.29	3.57	5.56	7.94	10.48	16.51	9.53	5.24	34.76
6	10	60	30	2.14	4.29	3.57	6.67	9.52	12.57	19.81	11.43	3.93	26.07
7	10	70	20	2.14	4.29	3.57	7.78	11.11	14.67	23.11	13.34	2.62	17.38
8	10	80	10	2.14	4.29	3.57	8.89	12.70	16.76	26.42	15.24	1.31	8.69
9	20	10	70	4.29	8.57	7.14	1.11	1.59	2.10	3.30	1.91	9.16	60.84
10	20	20	60	4.29	8.57	7.14	2.22	3.17	4.19	6.60	3.81	7.85	52.15
11	20	30	50	4.29	8.57	7.14	3.33	4.76	6.29	9.91	5.72	6.55	43.46
12	20	40	40	4.29	8.57	7.14	4.44	6.35	8.38	13.21	7.62	5.24	34.76
13	20	50	30	4.29	8.57	7.14	5.56	7.94	10.48	16.51	9.53	3.93	26.07
14	20	60	20	4.29	8.57	7.14	6.67	9.52	12.57	19.81	11.43	2.62	17.38
15	20	70	10	4.29	8.57	7.14	7.78	11.11	14.67	23.11	13.34	1.31	8.69
16	30	10	60	6.43	12.86	10.71	1.11	1.59	2.10	3.30	1.91	7.85	52.15
17	30	20	50	6.43	12.86	10.71	2.22	3.17	4.19	6.60	3.81	6.55	43.46
18	30	30	40	6.43	12.86	10.71	3.33	4.76	6.29	9.91	5.72	5.24	34.76
19	30	40	30	6.43	12.86	10.71	4.44	6.35	8.38	13.21	7.62	3.93	26.07
20	30	50	20	6.43	12.86	10.71	5.56	7.94	10.48	16.51	9.53	2.62	17.38
21	30	60	10	6.43	12.86	10.71	6.67	9.52	12.57	19.81	11.43	1.31	8.69
22	40	10	50	8.57	17.14	14.28	1.11	1.59	2.10	3.30	1.91	6.55	43.46
23	40	20	40	8.57	17.14	14.28	2.22	3.17	4.19	6.60	3.81	5.24	34.76
24	40	30	30	8.57	17.14	14.28	3.33	4.76	6.29	9.91	5.72	3.93	26.07
25	40	40	20	8.57	17.14	14.28	4.44	6.35	8.38	13.21	7.62	2.62	17.38
26	40	50	10	8.57	17.14	14.28	5.56	7.94	10.48	16.51	9.53	1.31	8.69
27	50	10	40	10.72	21.43	17.86	1.11	1.59	2.10	3.30	1.91	5.24	34.76
28	50	20	30	10.72	21.43	17.86	2.22	3.17	4.19	6.60	3.81	3.93	26.07
29	50	30	20	10.72	21.43	17.86	3.33	4.76	6.29	9.91	5.72	2.62	17.38
30	50	40	10	10.72	21.43	17.86	4.44	6.35	8.38	13.21	7.62	1.31	8.69
31	60	10	30	12.86	25.72	21.43	1.11	1.59	2.10	3.30	1.91	3.93	26.07
32	60	20	20	12.86	25.72	21.43	2.22	3.17	4.19	6.60	3.81	2.62	17.38
33	60	30	10	12.86	25.72	21.43	3.33	4.76	6.29	9.91	5.72	1.31	8.69
34	70	10	20	15.00	30.00	25.00	1.11	1.59	2.10	3.30	1.91	2.62	17.38
35	70	20	10	15.00	30.00	25.00	2.22	3.17	4.19	6.60	3.81	1.31	8.69
36	80	10	10	17.14	34.29	28.57	1.11	1.59	2.10	3.30	1.91	1.31	8.69



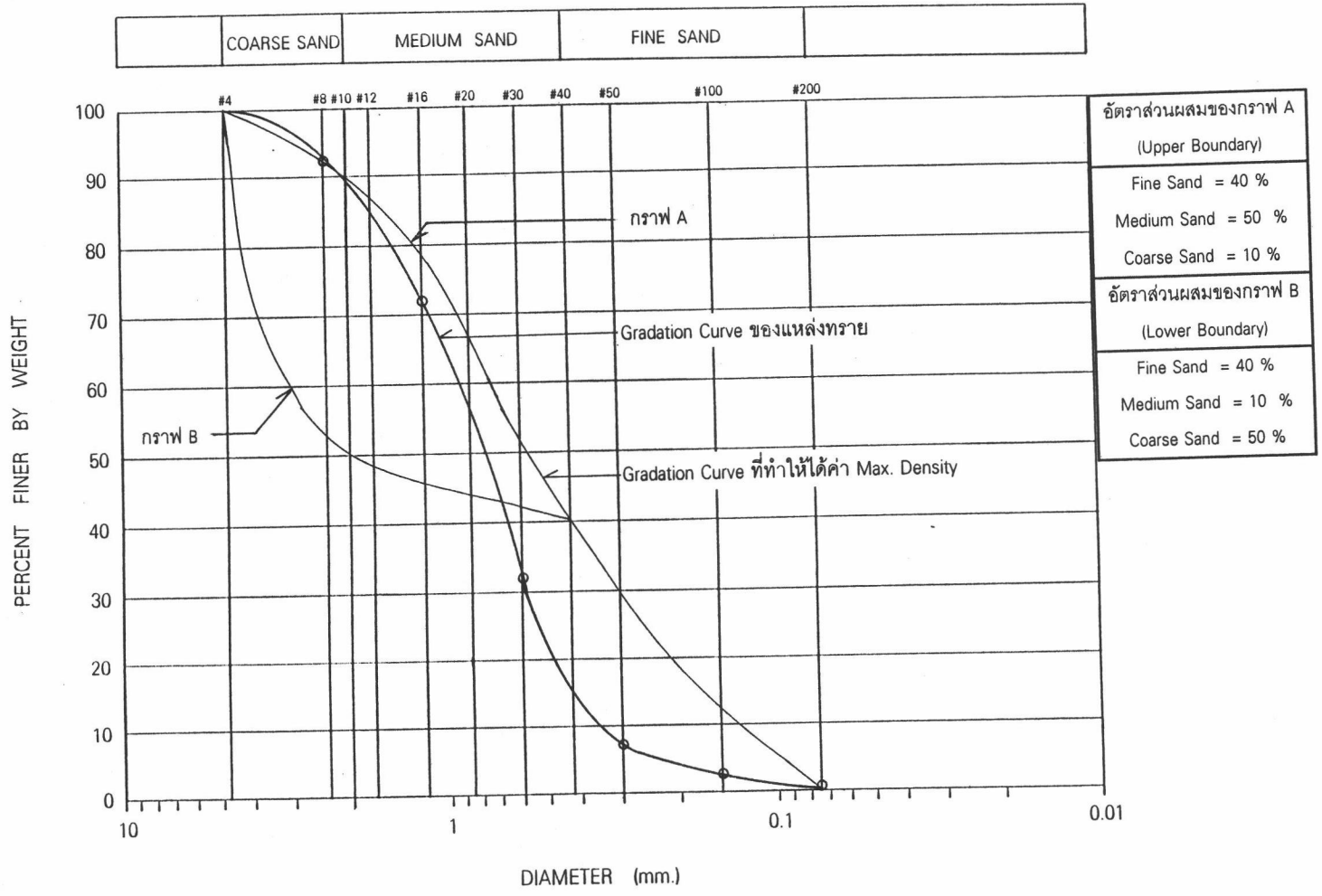
รูปที่ 3.2 Gradation Curve **ของชุดตัวอย่างที่ใช้** Fine Sand 10 % , Medium Sand 10-80 % **และ** Coarse Sand 10-80 % **โดยน้ำหนัก**



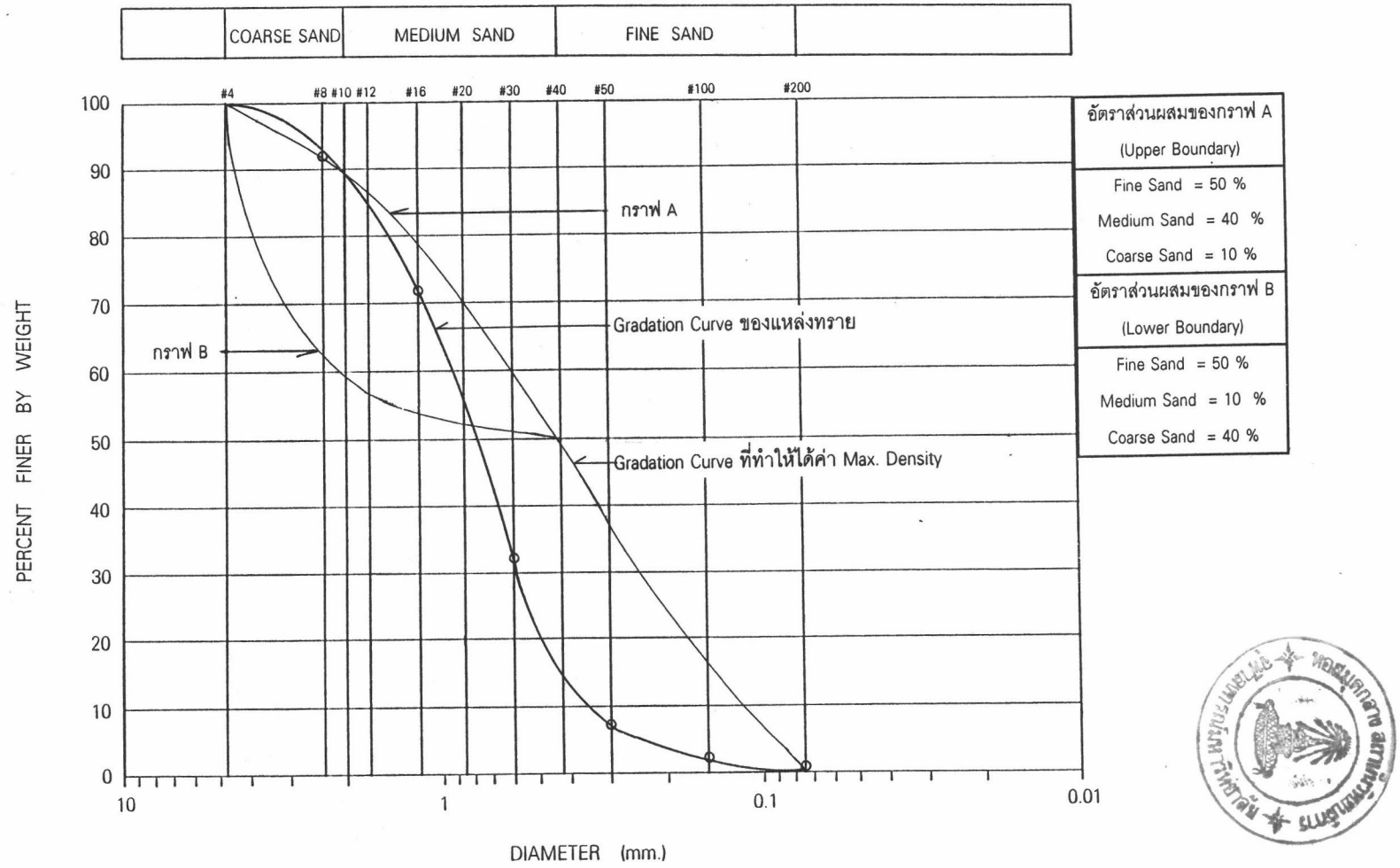
รูปที่ 3.3 Gradation Curve **ของชุดตัวอย่างที่มี** Fine Sand 20 % , Medium Sand 10-70 % **และ** Coarse Sand 10-70 % **โดยน้ำหนัก**



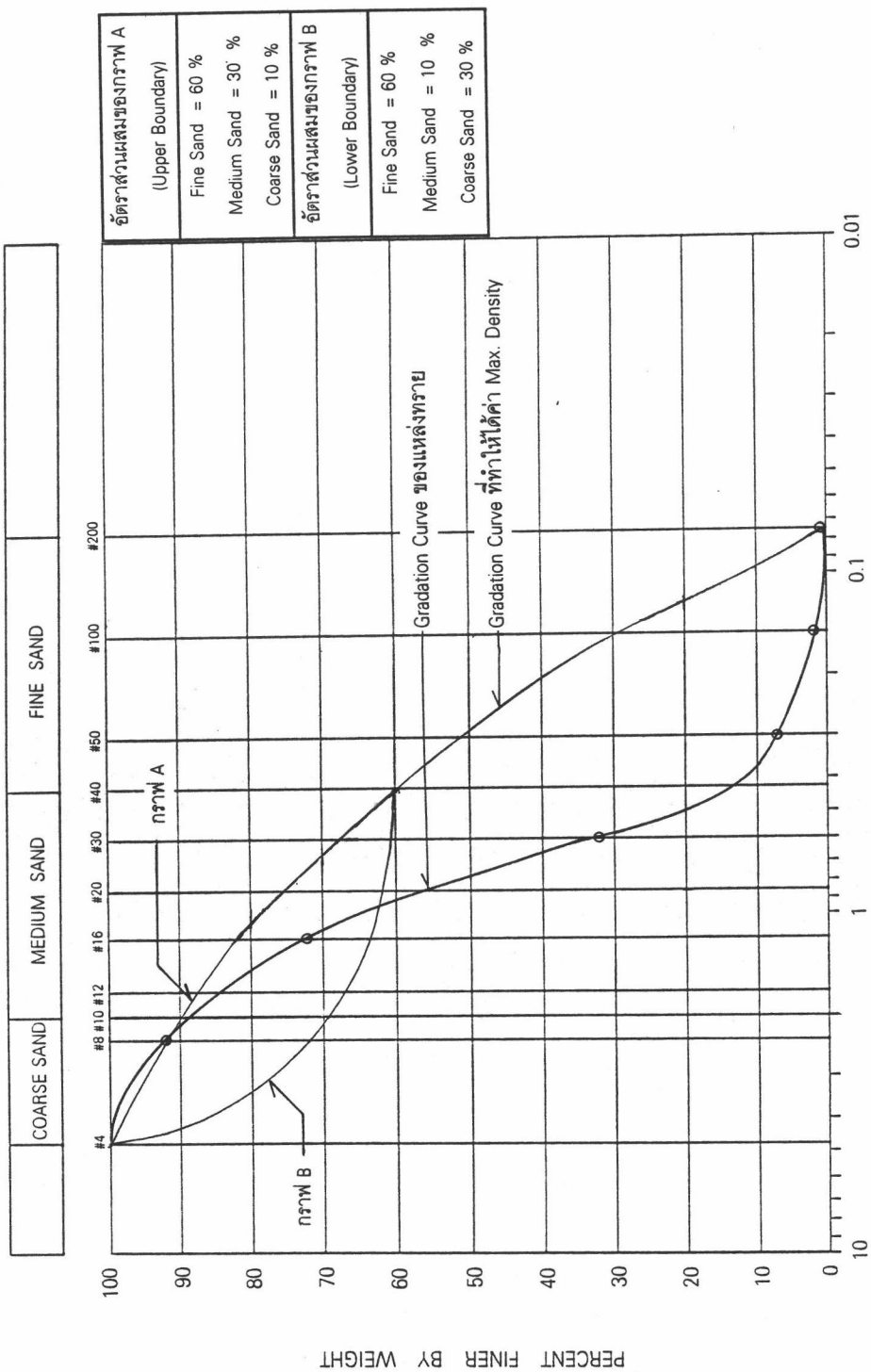
รูปที่ 3.4 Gradation Curve ของชุดตัวอย่างที่มี Fine Sand 30 % , Medium Sand 10-60 % และ Coarse Sand 10-60 % โดยน้ำหนัก



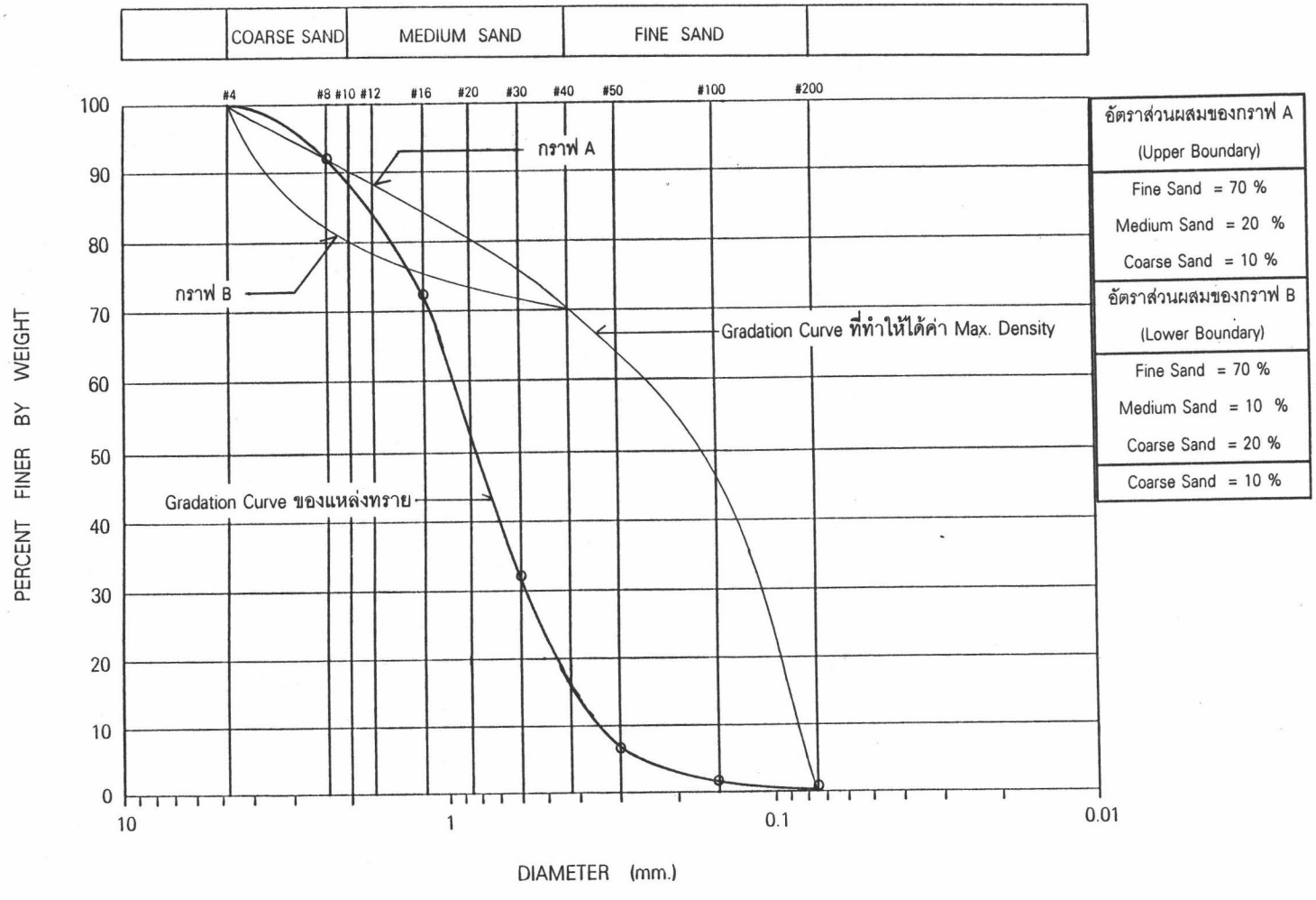
รูปที่ 3.5 Gradation Curve ของชุดตัวอย่างที่มี Fine Sand 40 % , Medium Sand 10-50 % และ Coarse Sand 10-50 % โดยน้ำหนัก



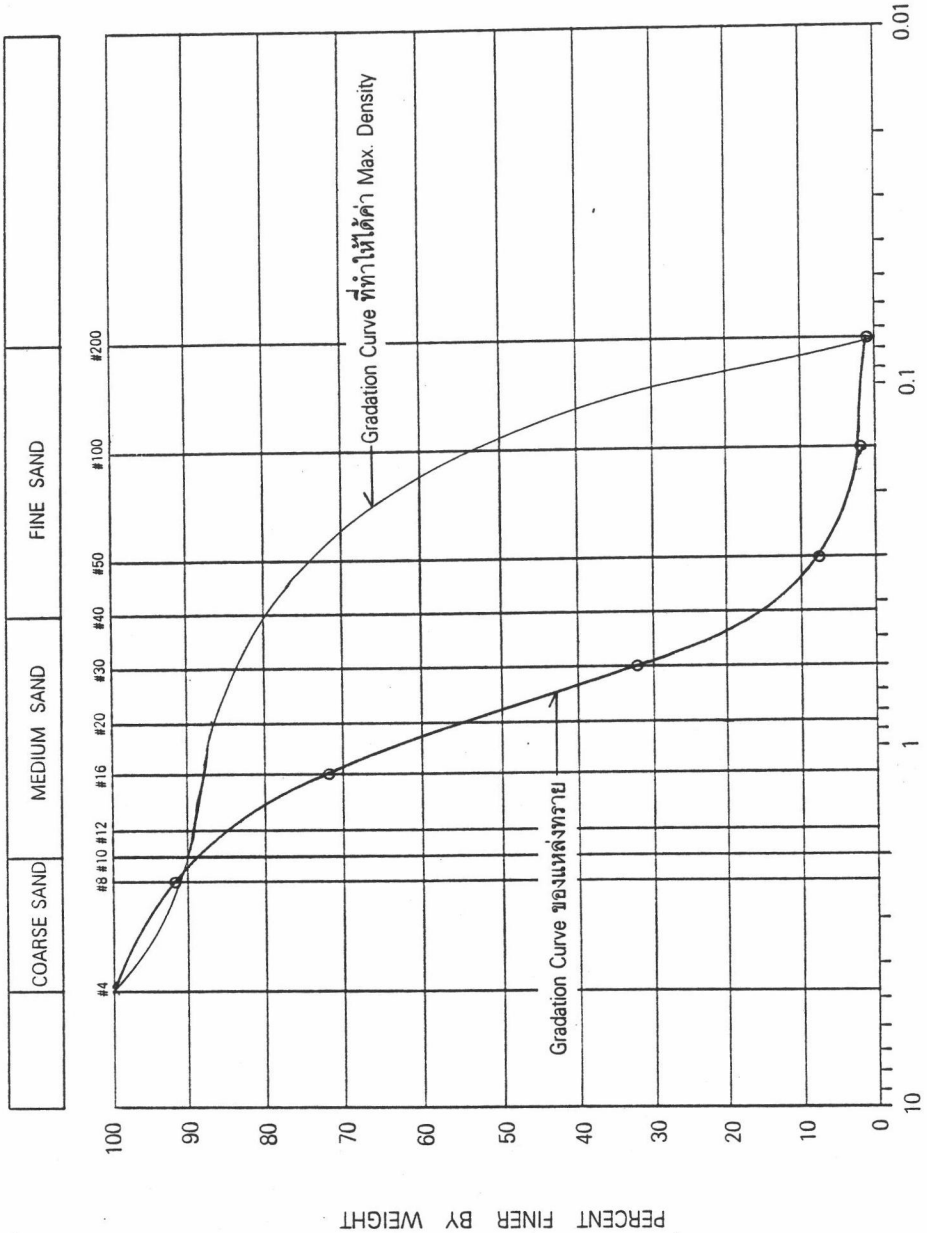
รูปที่ 3.6 Gradation Curve ของชุดตัวอย่างที่มี Fine Sand 50 % , Medium Sand 10-40 % และ Coarse Sand 10-40 % โดยน้ำหนัก



รูปที่ 3.7 Gradation Curve ของชุดตัวอย่างที่มี Fine Sand 60 % , Medium Sand 10-30 % และ Coarse Sand 10-30 % โดยน้ำหนัก



รูปที่ 3.8 Gradation Curve ของชุดตัวอย่างที่มี Fine Sand 70 % , Medium Sand 10-20 % และ Coarse Sand 10-20 % โดยน้ำหนัก



รูปที่ 3.9 Gradation Curve ของชุดตัวอย่างที่มี Fine Sand 80 % , Medium Sand 10 % และ Coarse Sand 10 % โดยน้ำหนัก

3.2.1 การ Calibrate Vibrating Table

ในปี ค.ศ. 1992 Al-Khafaji และ Andersland [1] ได้กล่าวว่าความถี่ (Frequency) ที่ทำให้ Vibrating Table สั่นแล้วให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด คือค่าความถี่ระหว่าง 50-60 Hz ดังนั้นจึงทำการทดลองโดยการลองค่าความถี่ระหว่าง 40-70 Hz และแปรเปลี่ยนเวลาทุก ๆ 5 นาที แล้วพิจารณาค่าความหนาแน่นสูงสุดที่ได้ว่าจะใช้ค่าความถี่และเวลาในการสั่นเป็นเท่าใด จึงจะทำให้ตัวอย่างมีความหนาแน่นสูงสุด

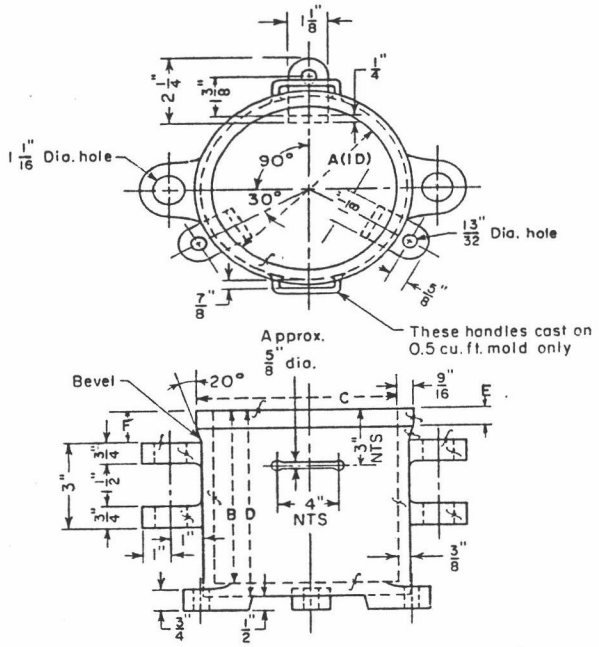
3.2.2 การทดลองหาค่า Minimum และ Maximum Density

ก. การหาค่า Minimum Density

การหาค่า Minimum Density จะทำตามมาตรฐาน ASTM D 2049 ซึ่งมีขั้นตอนพอสรุปได้ดังนี้

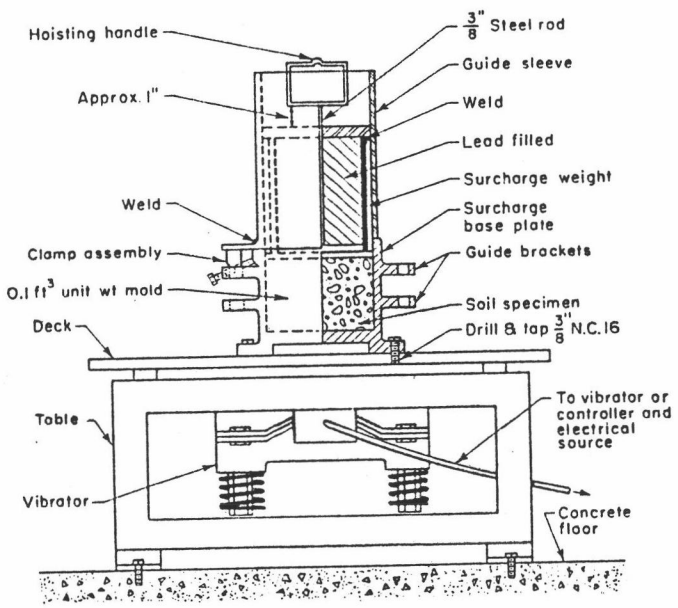
1. นำทรายที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 110 $\pm$ 5°C มาชั่งตามอัตราส่วนในตาราง 3.2
2. นำ Mold ขนาด 0.1 ft^3 หรือ 2,830 cm^3 (ดูรูปที่ 3.10) มาชั่งแล้วบันทึกค่าไว้ หลังจากนั้นบันทึกความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางของ Mold เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาตร Mold
3. ทำการคลุกเคล้าทรายที่เตรียมไว้ให้ทั่วแล้วนำทรายมาเทใส่ใน Mold โดยใช้ Spout ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว (13 มม.) เป็นเครื่องมือช่วยในการเทลงสู่ Mold พยายามเททรายด้วยอัตราคงที่และให้การตกของทรายอยู่ในแนวดิ่งมากที่สุด และรักษาระดับความสูงของ Spout ให้มีระยะตกของทรายประมาณ 0.5 นิ้ว แล้วทำการเลื่อนเครื่องเทในแนวโค้งจากขอบของ Mold เข้าสู่ศูนย์กลาง Mold เพื่อทำให้การกระจายตัวของทรายในแต่ละชั้นเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ (Uniform) การเลื่อนเครื่องเทในลักษณะนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้เกิดการรบกวนต่อตัวอย่างทรายน้อยที่สุด เททรายจนกระทั่งระดับของทรายอยู่สูงกว่าขอบ Mold ประมาณ 0.5 - 1.0 นิ้ว
4. ใช้บรรทัดเหล็กปาดทรายออกจนกระทั่งทรายมีระดับเสมอกับขอบ Mold โดยในขณะที่ปาดทรายออกต้องระวังไม่ให้ทรายที่ผิวถูกรบกวน (Disturbed)
5. นำ Mold พร้อมทรายไปชั่งแล้วบันทึกค่า
6. คำนวณค่า Minimum Dry Density (γ_{min}) ได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของทราย (W_s) กับปริมาตรของ Mold (V_c) ตามสมการที่ (3.1)

$$\gamma_{min} = \frac{W_s}{V_c} \qquad \text{.....(3.1)}$$



Size Mold ft³ (cm³)	Dimensions, in. (mm)					
	A	B	C	D	E	F
0.1 (14 160)	6.000 (152.4)	6.112 (155.19)	7⅛ (181.0)	6½ (105.1)	½ (12.7)	1⅛ (28.6)
0.5 (2 830)	11.000 (279.4)	9.092 (230.89)	12⅛ (308.0)	9½ (241.3)	⅝ (15.9)	2 (50.8)

รูปที่ 3.10 Details of Mold



รูปที่ 3.11 Assembly of Apparatus (with 0.1 ft^3 Mold Assembly)

ข. การหาค่า Maximum Density

การหาค่า Maximum Density จะทำตามมาตรฐาน ASTM D 2049 ซึ่งมีขั้นตอนพอสรุปได้ดังนี้

1. เตรียมตัวอย่างทรายลงใน Mold โดยวิธีเดียวกับการทดลองหาค่า Minimum Density หรือใช้ตัวอย่างเดียวกันกับที่ใช้หาค่า Mimimum Density

2. นำ Mold ไปติดตั้งบน Vibrating Table

3. วาง Surcharge Base Plate ลงบนผิวของทราย ทำการขยับเล็กน้อยเพื่อให้ Surcharge Base Plate สัมผัสกับผิวทรายได้เต็มพื้นที่ ใช้ Dial Indicator Gage วัดความสูงบน Surcharge Base Plate ทั้งสองข้างและวัดความสูงของ Surcharge Base Plate โดยรอบเพื่อหาค่าเฉลี่ย

4. ติดตั้งชุดของ Guide Sleeve ลงบน Mold (ดูรูปที่ 3.11) แล้ววาง Surcharge Weight หนัก 57 $\pm$ 0.5 lb. (25.9 $\pm$ 0.2 Kg.) ลงบน Surcharge Base Plate

5. สั่น Vibrating Table ด้วยความถี่และเวลาที่ได้มาจากการ Calibrate Vibrating Table

6. ใช้ Dial indicator gage วัดความสูงบน Surcharge Base Plate ทั้งสองข้าง

7. คำนวณค่า Maximum Density (γ_{max}) จากสมการที่ (3.2)

$$\gamma_{max} = \frac{W_s}{V_s} \qquad \text{.....(3.2)}$$

โดยที่ W_s = Weight of Dry Soil , lb.

V_s = Volume of Soil , ft^3

$$= V_c - \frac{(R_i - R_f) \times A}{12}$$

V_c = Calibrated Volume of Mold , ft^3

R_f = Final Dial Gage Reading on the Surcharge Base Plate after Completion of the Vibration Period, in.

R_i = Initial Dial Gage Reading, in.

A = Cross-sectional Area, ft^2

12 = ค่าที่ใช้ปรับแก้หน่วยจากนิ้วเป็นฟุต

3.3 สรุปผลการทดลอง

3.3.1 ผลการ Calibrate Vibrating Table

จากการ Calibrate Vibrating Table ผลของค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Density) ที่ความถี่และเวลาต่าง ๆ ได้สรุปอยู่ในตารางที่ 3.3 (ผลการทดลองจะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก) จากผลการทดลองสรุปว่า Vibrating Table จะให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดเมื่อสั่นด้วยความถี่ 60 Hz และใช้เวลาในการสั่น 10 นาที

ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Maximum Density , ความถี่ (Frequency) และเวลา (Time)

SAMPLE NO.	Frequency (Hz)	Time (min)	MAXIMUM DENSITY (t/cu.m.)			
			Trial No. 1	Trial No. 2	Trial No. 3	Average
1	40	15	1.644	1.641	1.643	1.643
2	50	10	1.648	1.651	1.642	1.647
3	50	15	1.645	1.655	1.651	1.650
4	60	5	1.644	1.651	1.655	1.650
5	60	10	1.661	1.664	1.658	1.661
6	60	15	1.658	1.657	1.658	1.658
7	70	10	1.665	1.657	1.656	1.659

3.3.2 ผลการทดลองค่า Maximum และ Minimum Density

จากผลการทดลองสรุปค่า Maximum และ Minimum Density ได้ตามตารางที่ 3.4 (ผลการทดลองจะแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

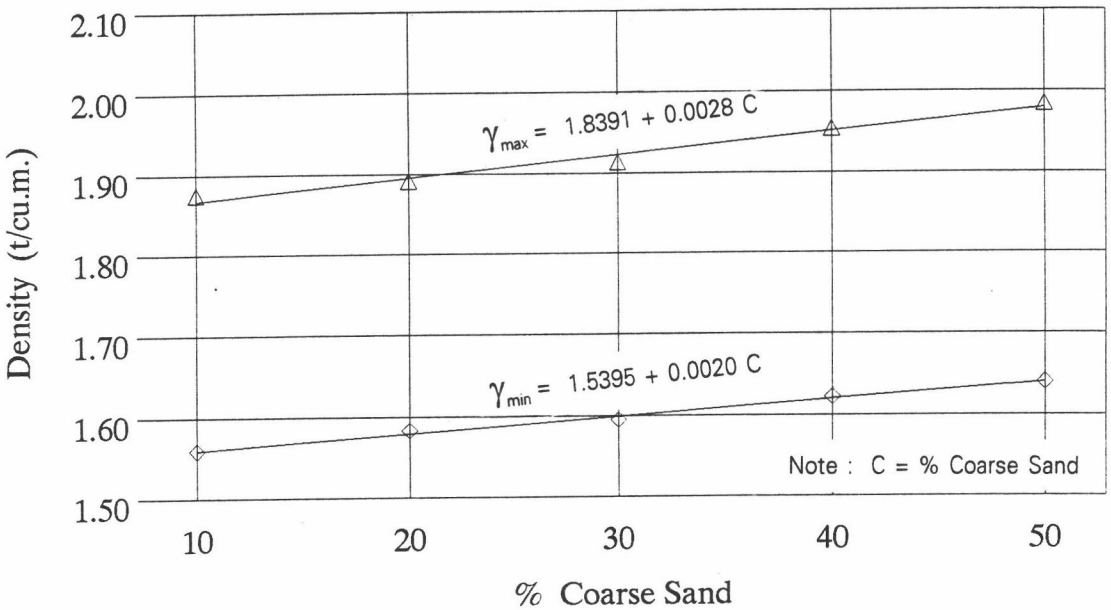
3.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากข้อมูลในตารางที่ 3.4 นำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง Density กับ ร้อยละของส่วนผสมของ Coarse Sand ด้วยวิธีทางสถิติ โดยให้ร้อยละของส่วนผสมของ Coarse Sand เป็นตัวแปรอิสระและค่า Density เป็นตัวแปรตาม หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองด้วยวิธี Regression Analysis พบว่าความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองสามารถแสดงในรูปของสมการเชิงเส้นได้ รูปที่ 3.12 ถึง 3.17 และตารางที่ 3.5 จะแสดงความสัมพันธ์ในรูปของสมการเชิงเส้นระหว่างร้อยละของส่วนผสมของ Coarse Sand กับ Density เมื่อมีร้อยละของส่วนผสมของ Fine Sand ตั้งแต่ 10 จนถึง 60 สำหรับตารางที่ 3.6 จะแสดงผลของการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ ส่วนตารางที่ 3.7 แสดง Density ของทรายที่จุดต่ำสุดและสูงสุดซึ่งหาจากสมการเชิงเส้นในแต่ละส่วนผสมของ Fine Sand

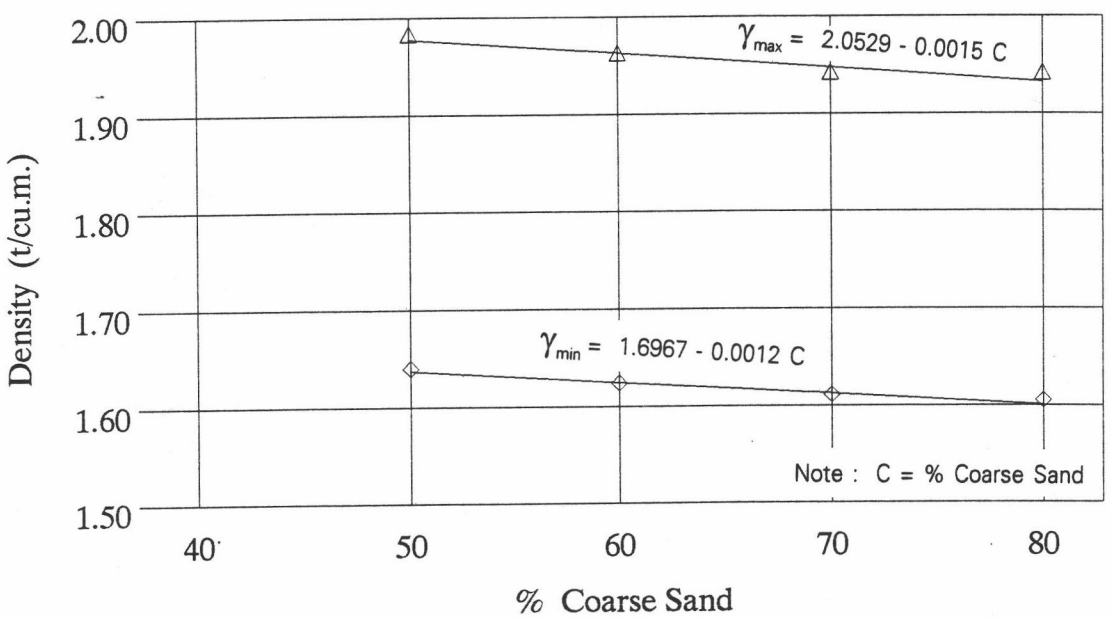
I 16893086

ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบค่า Minimum Density และ Maximum Density

SAMPLE	อัตราส่วนผสมของทรายโดยน้ำหนัก (%)			MAXIMUM DENSITY (t/cu.m.)				MINIMUM DENSITY (t/cu.m.)			
NO.	FINE SAND	MEDIUM SAND	COARSE SAND	Test No. A	Test No. B	Test No. C	Average	Test No. A	Test No. B	Test No. C	Average
1	10	10	80	1.929	1.935	1.963	1.942	1.594	1.614	1.608	1.605
2	10	20	70	1.936	1.944	1.948	1.943	1.595	1.617	1.621	1.611
3	10	30	60	1.956	1.969	1.964	1.963	1.613	1.629	1.631	1.624
4	10	40	50	1.976	1.990	1.986	1.984	1.635	1.640	1.644	1.640
5	10	50	40	1.942	1.968	1.951	1.954	1.614	1.623	1.629	1.622
6	10	60	30	1.907	1.916	1.917	1.913	1.582	1.595	1.607	1.595
7	10	70	20	1.879	1.892	1.903	1.891	1.574	1.586	1.590	1.583
8	10	80	10	1.881	1.878	1.867	1.875	1.549	1.565	1.562	1.559
9	20	10	70	1.976	1.995	1.987	1.986	1.661	1.672	1.680	1.671
10	20	20	60	2.005	2.029	2.021	2.018	1.677	1.687	1.700	1.688
11	20	30	50	2.066	2.063	2.068	2.066	1.695	1.697	1.698	1.697
12	20	40	40	2.048	2.040	2.055	2.048	1.689	1.692	1.687	1.689
13	20	50	30	1.970	1.981	1.987	1.979	1.653	1.661	1.671	1.662
14	20	60	20	1.974	1.971	1.975	1.973	1.627	1.633	1.634	1.631
15	20	70	10	1.933	1.953	1.961	1.949	1.604	1.604	1.605	1.604
16	30	10	60	2.051	2.086	2.089	2.075	1.752	1.751	1.760	1.754
17	30	20	50	2.049	2.070	2.065	2.061	1.745	1.743	1.744	1.744
18	30	30	40	2.066	2.074	2.067	2.069	1.732	1.730	1.739	1.734
19	30	40	30	1.976	1.983	2.012	1.990	1.677	1.686	1.689	1.684
20	30	50	20	2.007	2.021	2.010	2.013	1.673	1.677	1.674	1.675
21	30	60	10	1.977	1.970	1.979	1.975	1.642	1.635	1.636	1.638
22	40	10	50	2.024	2.046	2.036	2.035	1.760	1.753	1.755	1.756
23	40	20	40	2.000	2.003	2.025	2.009	1.736	1.730	1.739	1.735
24	40	30	30	1.972	1.990	1.996	1.986	1.692	1.694	1.697	1.694
25	40	40	20	1.973	1.980	1.977	1.977	1.673	1.679	1.684	1.679
26	40	50	10	1.876	1.892	1.887	1.885	1.619	1.614	1.615	1.616
27	50	10	40	1.951	1.962	1.966	1.960	1.704	1.708	1.707	1.706
28	50	20	30	1.957	1.956	1.966	1.960	1.686	1.688	1.688	1.687
29	50	30	20	1.906	1.912	1.908	1.909	1.636	1.645	1.646	1.642
30	50	40	10	1.849	1.862	1.851	1.854	1.589	1.585	1.587	1.587
31	60	10	30	1.895	1.900	1.895	1.897	1.651	1.650	1.652	1.651
32	60	20	20	1.872	1.881	1.880	1.878	1.631	1.624	1.628	1.628
33	60	30	10	1.806	1.799	1.790	1.798	1.548	1.556	1.559	1.554
34	70	10	20	1.838	1.838	1.846	1.841	1.574	1.581	1.577	1.577
35	70	20	10	1.806	1.816	1.821	1.814	1.525	1.535	1.535	1.532
36	80	10	10	1.762	1.766	1.765	1.764	1.454	1.460	1.468	1.461

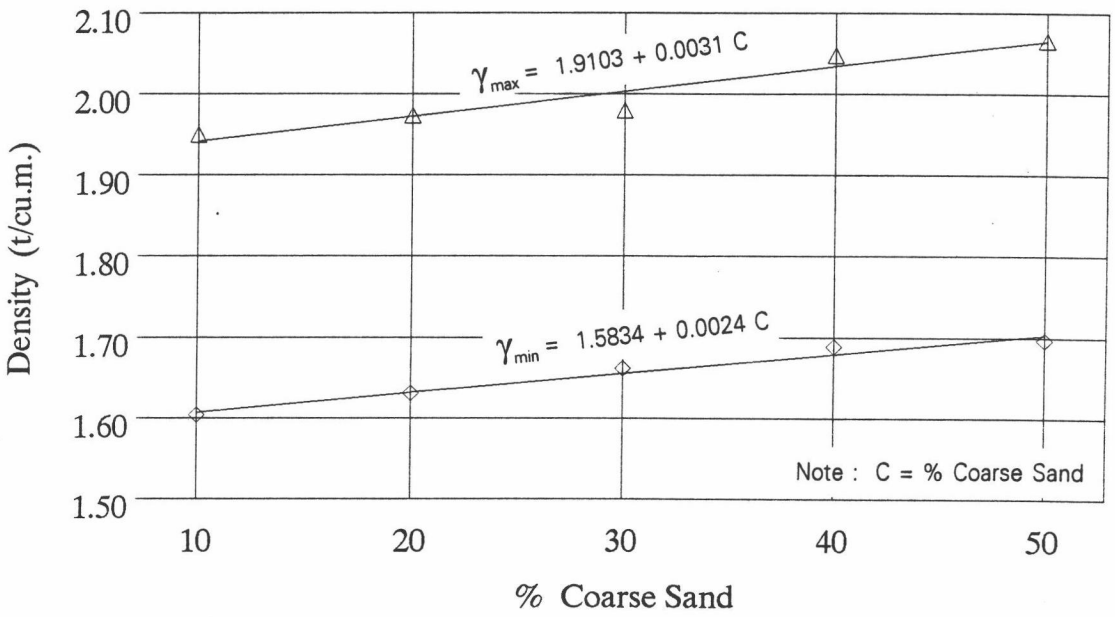


(a) เมื่อปริมาณ Coarse Sand = 10 - 50 %

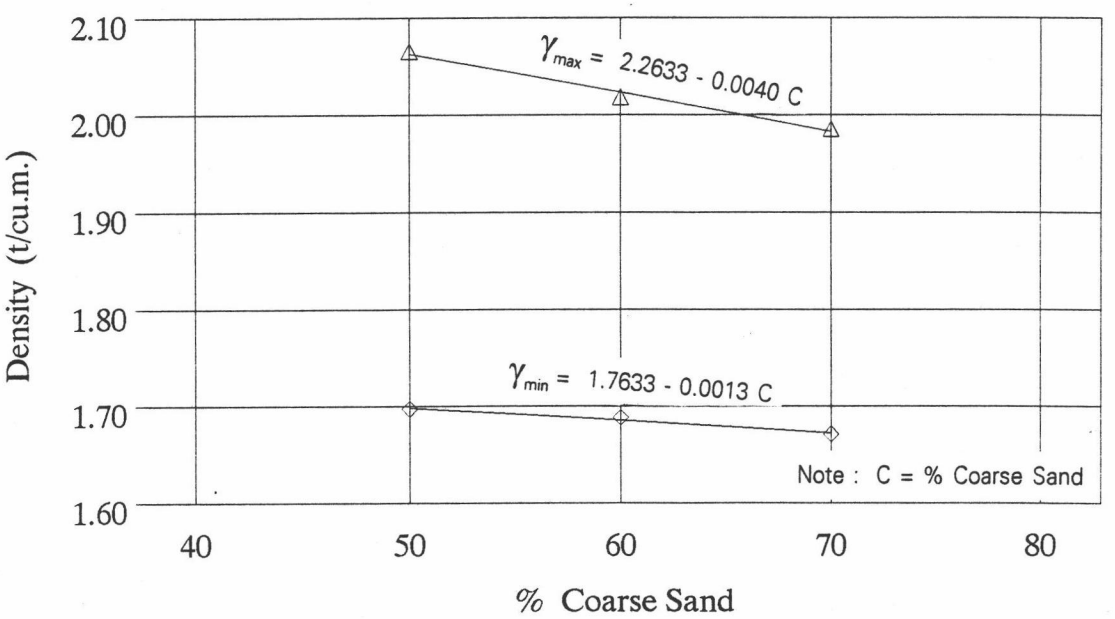


(b) เมื่อปริมาณ Coarse Sand ไม่น้อยกว่า 50 %

รูปที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Coarse Sand กับ Density เมื่อมี Fine Sand 10 % โดยน้ำหนัก

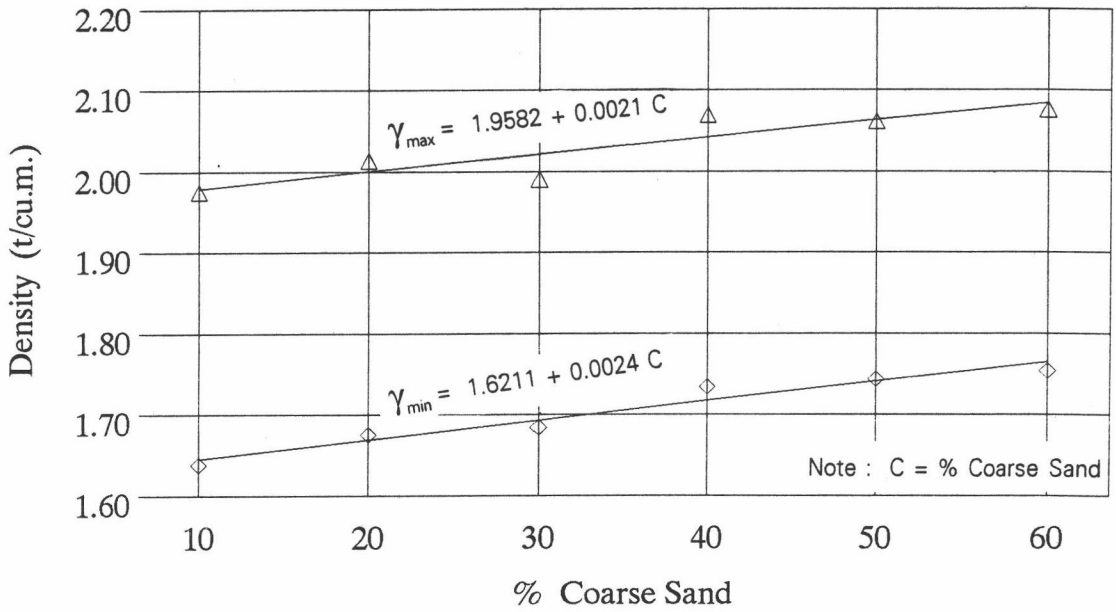


(a) เมื่อปริมาณ Coarse Sand = 10 - 50 %

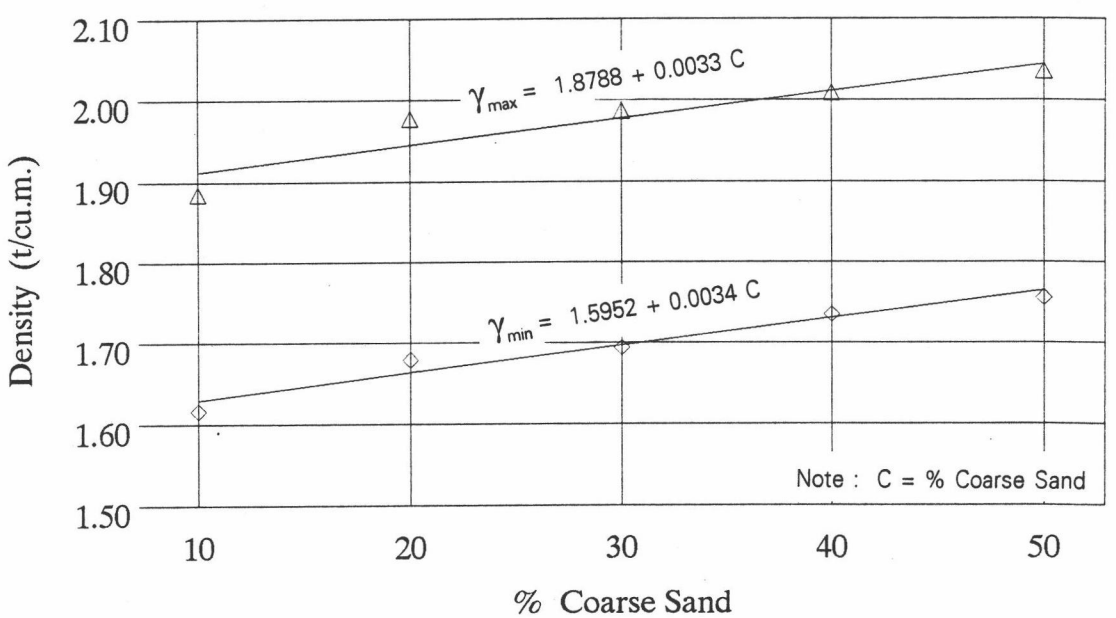


(b) เมื่อปริมาณ Coarse Sand ไม่น้อยกว่า 50 %

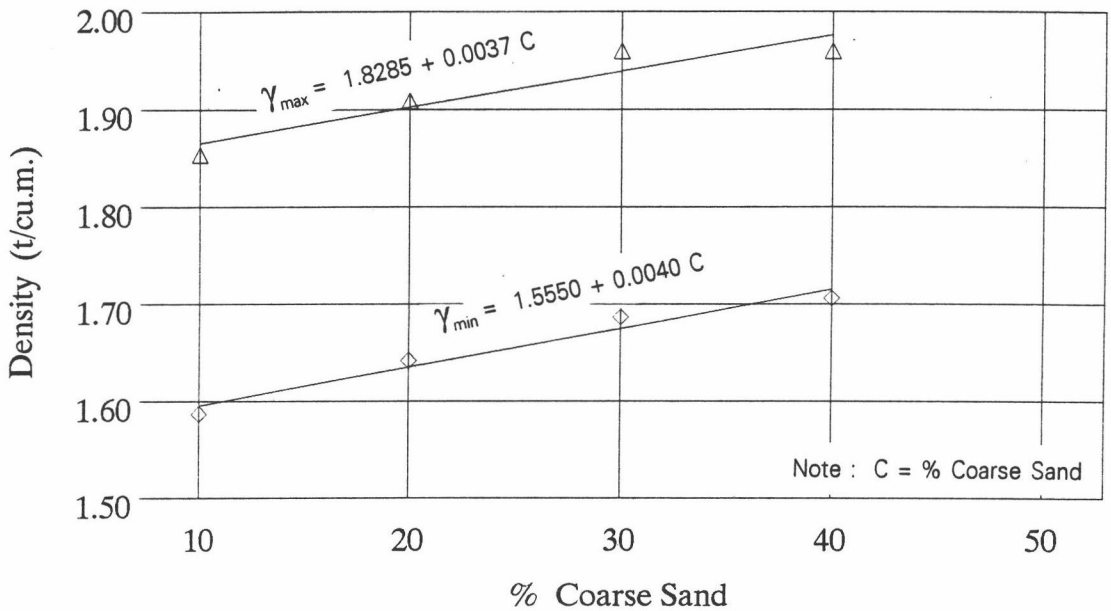
รูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Coarse Sand กับ Density เมื่อมี Fine Sand 20 % โดยน้ำหนัก



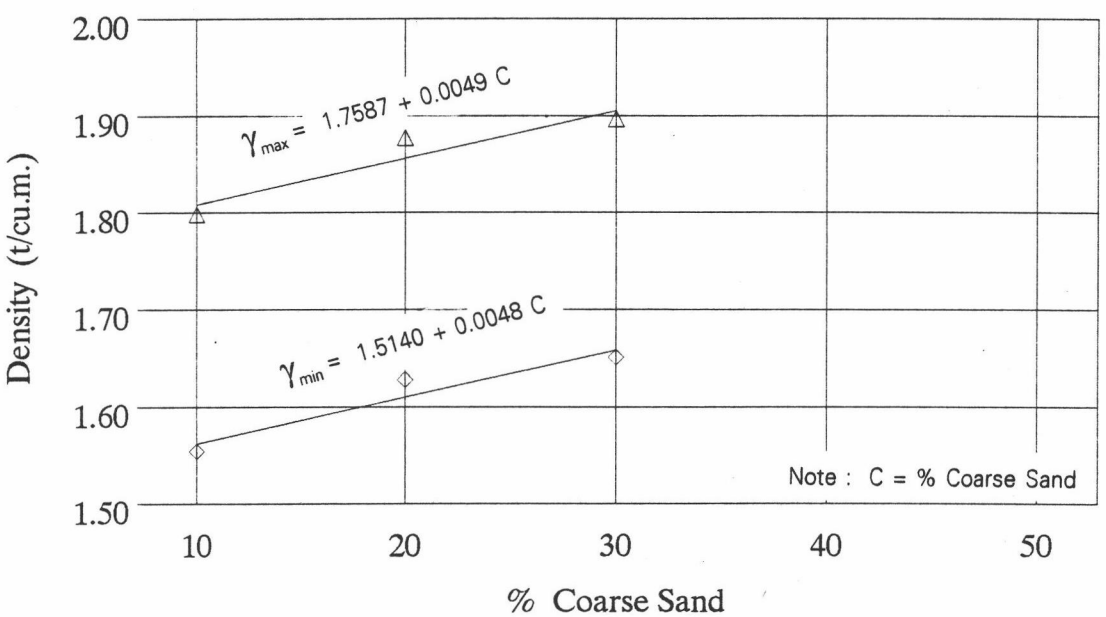
รูปที่ 3.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Coarse Sand กับ Density เมื่อมี Fine Sand 30 % โดยน้ำหนัก



รูปที่ 3.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Coarse Sand กับ Density เมื่อมี Fine Sand 40 % โดยน้ำหนัก



รูปที่ 3.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Coarse Sand กับ Density เมื่อมี Fine Sand 50 % โดยน้ำหนัก



รูปที่ 3.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Coarse Sand กับ Density เมื่อมี Fine Sand 60 % โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 3.12 ถึง 3.17 และตารางที่ 3.5 และ 3.6 สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองโดยแบ่งเป็นกรณีต่าง ๆ ดังนี้

3.4.1 กรณีที่ร้อยละของส่วนผสมของ Fine Sand อยู่ระหว่าง 10-20

จากตารางที่ 3.5 พบว่า Correlation Coefficient มีค่าเข้าใกล้ ± 1 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองที่นำมาพิจารณาได้แก่ ร้อยละของส่วนผสมของ Coarse Sand กับ Density มีความสัมพันธ์กันมาก ดังนั้น เมื่อพิจารณากรณีที่ร้อยละของส่วนผสมของ Coarse Sand อยู่ระหว่าง 10-50 พบว่าค่า Regression Coefficient (b) มากกว่าศูนย์ แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกัน กล่าวคือเมื่อร้อยละของส่วนผสมของ Coarse Sand เพิ่มขึ้นค่า Density จะเพิ่มขึ้นด้วยแต่ถ้าร้อยละของส่วนผสมของ Coarse Sand ลดค่า Density จะลดลงด้วย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากเม็ดทรายที่มีขนาดเล็กโดยทั่วไปจะเข้าไปแทนที่ในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายที่มีขนาดใหญ่กว่า ถ้าปริมาณของเม็ดทรายขนาดใหญ่มีน้อยกว่าปริมาณของเม็ดทรายขนาดเล็ก จะทำให้มีเม็ดทรายขนาดเล็กจำนวนหนึ่งไม่สามารถเข้าไปแทนที่ในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายขนาดใหญ่กว่าได้ ดังนั้นถ้าปริมาณของเม็ดทรายขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้เม็ดทรายที่มีขนาดเล็กเข้าไปแทนที่ในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายที่มีขนาดใหญ่ได้มากขึ้น ทำให้ปริมาณช่องว่างระหว่างเม็ดทรายลดลงเป็นผลทำให้ความหนาแน่นของทรายเพิ่มขึ้น

สำหรับกรณีที่ร้อยละของส่วนผสมของ Coarse Sand ไม่น้อยกว่า 50 จะพบว่าค่า Regression Coefficient (b) น้อยกว่าศูนย์ แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้าม กล่าวคือ เมื่อร้อยละของส่วนผสมของ Coarse Sand เพิ่มขึ้นค่า Density จะลดลง แต่ถ้าร้อยละของส่วนผสมของ Coarse Sand ลดลงค่า Density จะเพิ่มขึ้น มีสาเหตุเนื่องมาจากเมื่อมีปริมาณของเม็ดทรายขนาดใหญ่จำนวนมากกว่าปริมาณของเม็ดทรายขนาดเล็กมาก ๆ เม็ดทรายขนาดเล็กจะเข้าไปแทนที่ในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายขนาดใหญ่จนหมด แต่ยังเหลือช่องว่างระหว่างเม็ดทรายอีก ดังนั้น เมื่อปริมาณของเม็ดทรายขนาดใหญ่ลดลงเป็นผลทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดทรายลดลง เพราะ เม็ดทรายขนาดเล็กที่เพิ่มขึ้นจะเข้าไปแทนที่ในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายขนาดใหญ่มากขึ้น ทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดทรายลดลง เป็นผลทำให้ความหนาแน่นของทรายเพิ่มขึ้น

3.4.2 กรณีที่ร้อยละของส่วนผสมของ Fine Sand มากกว่า 20

จากตารางที่ 3.5 พบว่า Correlation Coefficient มีค่าเข้าใกล้ ± 1 และค่า Regression Coefficient (b) มากกว่าศูนย์ แสดงว่าตัวแปรทั้งสองที่นำมาพิจารณาได้แก่ ร้อยละของส่วนผสมของ Coarse Sand กับ Density มีความสัมพันธ์กันมาก และตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ในทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อร้อยละของส่วนผสมของ Coarse Sand เพิ่มขึ้นค่า Density จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสามารถอธิบายเหตุผลของการเพิ่มขึ้นของค่า Density ได้เช่นเดียวกับข้อ 3.4.1

3.4.3 อัตราส่วนผสมของทรายที่ทำให้ได้ค่าความหนาแน่นสูงที่สุด

จากสมการเชิงเส้นทุก ๆ สมการ เมื่อนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นสูงสุดที่สามารถเป็นไปได้ในแต่ละอัตราส่วนผสมของทราย จะแสดงในตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.18 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นสูงที่สุดที่คำนวณได้ในแต่ละชุดของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ Fine Sand 10 ถึง 60 % พบว่าค่าความหนาแน่นสูงที่สุดจะเกิดในกรณีที่มีส่วนผสมของ Fine Sand 30 % , Medium Sand 10 % และ Coarse Sand 60 %

ตารางที่ 3.5 สมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิจัย

ปริมาณ Fine Sand (%)	ปริมาณ Coarse Sand (%)	สมการความสัมพันธ์
10	10 - 50	γ_{min} = 1.5395 + 0.0020 C (r=0.995) , γ_{max} = 1.8391 + 0.0028 C (r=0.987)
10	50 - 80	γ_{min} = 1.6967 - 0.0012 C (r=-0.982) , γ_{max} = 2.0529 - 0.0015 C (r=-0.950)
20	10 - 50	γ_{min} = 1.5834 + 0.0024 C (r=0.985) , γ_{max} = 1.9103 + 0.0031 C (r=0.959)
20	50 - 70	γ_{min} = 1.7633 - 0.0013 C (r=-0.985) , γ_{max} = 2.2633 - 0.0040 C (r=-0.993)
30	10 - 60	γ_{min} = 1.6211 + 0.0024 C (r=0.972) , γ_{max} = 1.9852 + 0.0021 C (r=0.890)
40	10 - 50	γ_{min} = 1.5952 + 0.0034 C (r=0.978) , γ_{max} = 1.8790 + 0.0033 C (r=0.923)
50	10 - 40	γ_{min} = 1.5550 + 0.0040 C (r=0.980) , γ_{max} = 1.8285 + 0.0037 C (r=0.942)
60	10 - 30	γ_{min} = 1.5140 + 0.0048 C (r=0.957) , γ_{max} = 1.7587 + 0.0049 C (r=0.942)

หมายเหตุ : C = ปริมาณ Coarse Sand (%), γ_{min}= Minimum Density และ γ_{max}= Maximum Density

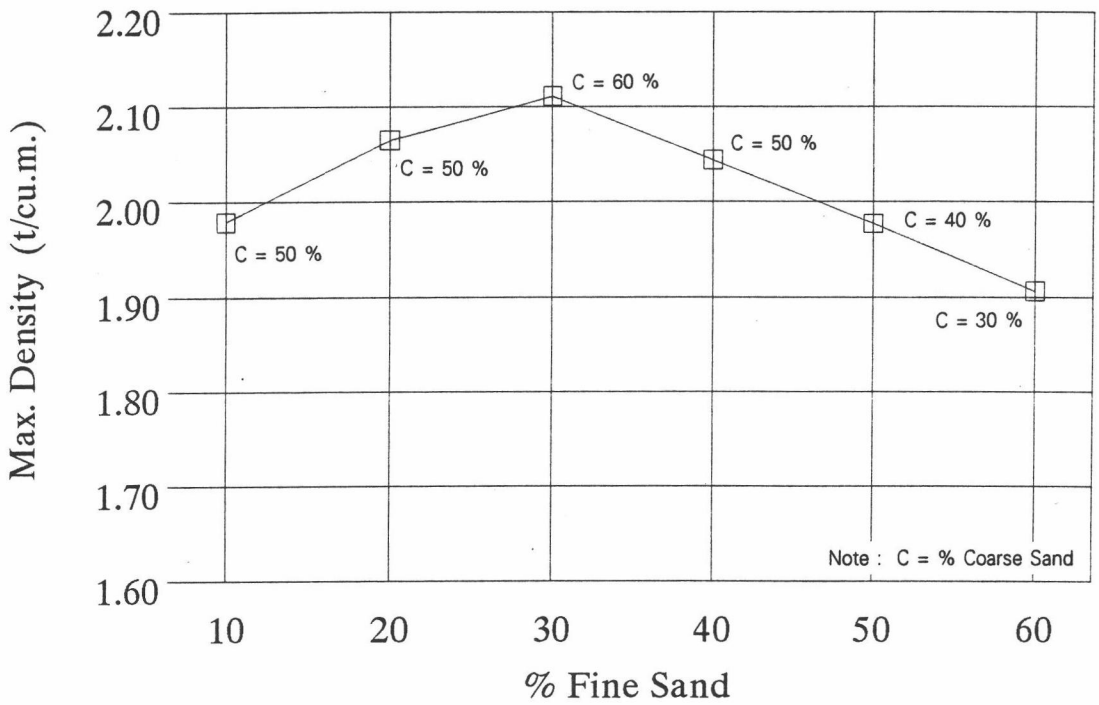
r = Correlation Coefficient

ตารางที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ

รายละเอียดของข้อมูล	ปริมาณ Fine Sand , (%)	ปริมาณ Coarse Sand , (%)	Regression Coeff. , a	Regression Coeff. , b	Correlation Coeff. , r
Min. Density	10	10-50	1.5395	0.0020	0.995
Max. Density	10	10-50	1.8391	0.0028	0.987
Min. Density	10	50-80	1.6967	-0.0012	-0.982
Max. Density	10	50-80	2.0529	-0.0015	-0.950
Min. Density	20	10-50	1.5834	0.0024	0.985
Max. Density	20	10-50	1.9103	0.0031	0.959
Min. Density	20	50-70	1.7633	-0.0013	-0.985
Max. Density	20	50-70	2.2633	-0.0040	-0.993
Min. Density	30	10-60	1.6211	0.0024	0.972
Max. Density	30	10-60	1.9852	0.0021	0.890
Min. Density	40	10-50	1.5952	0.0034	0.978
Max. Density	40	10-50	1.8790	0.0033	0.923
Min. Density	50	10-40	1.5550	0.0040	0.980
Max. Density	50	10-40	1.8285	0.0037	0.942
Min. Density	60	10-30	1.5140	0.0048	0.957
Max. Density	60	10-30	1.7587	0.0049	0.942

ตารางที่ 3.7 ผลการวิเคราะห์ค่า Density จากข้อมูลทางสถิติ

ปริมาณ Fine Sand , (%)	ปริมาณ Coarse Sand , (%)	Regression Coeff. , a	Regression Coeff. , b	Density , (t/cu.m.) ที่ได้จากการคำนวณ
10	10	1.5395	0.0020	1.560
10	50	1.8391	0.0028	1.979
10	50	1.6967	-0.0012	1.637
10	80	2.0529	-0.0015	1.933
20	10	1.5834	0.0024	1.607
20	50	1.9103	0.0031	2.065
20	50	1.7633	-0.0013	1.698
20	70	2.2633	-0.0040	1.983
30	10	1.6211	0.0024	1.645
30	60	1.9852	0.0021	2.111
40	10	1.5952	0.0034	1.629
40	50	1.8790	0.0033	2.044
50	10	1.5550	0.0040	1.595
50	40	1.8285	0.0037	1.977
60	10	1.5140	0.0048	1.562
60	30	1.7587	0.0049	1.906



รูปที่ 3.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Max. Density สูงที่สุดที่คำนวณได้ในแต่ละชุดตัวอย่าง ที่มีส่วนผสม Fine Sand 10 ถึง 60 %