บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

การดำเนินการวิจัยสำหรับการวิจัยนี้ ได้ถูกกำหนดให้เป็นไปตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในบทที่ 3 กล่าวคือ ได้ทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างทดสอบขึ้นจากส่วนผสมที่แตกต่างกันของคอนกรีตที่มีของเสียจากการผลิตกระเบื้องซีเมนต์ใยหิน(Sludge Waste) เป็นองค์ประกอบ ตามรายละเอียดในตารางที่ 3.1 ถึง 3.4 แล้วนำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบที่ได้มาทดสอบ เพื่อหาค่าคุณสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้แก่ กำลังอัด(Compressive Strength) กำลังดัด(Bending Strength) ความหนาแน่น(Density) และการดูดซึมน้ำ(Water Absorption)

ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลด้านต่างๆ สำหรับการวิจัยครั้งนี้ สามารถแบ่งผลการทดสอบและการวิเคราะห์ออกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย
   1.1 การตรวจสอบขนาดคละและโมดูลัสยืดหยุ่นของทราย
   1.2 การตรวจสอบขนาดคละและโมดูลัสยืดหยุ่นของทราย
2. ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบ
   2.1 คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต เมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste
   2.2 คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต เมื่อแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste
   2.3 คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต เมื่อแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste
   2.4 คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต เมื่อเพิ่ม Sludge Waste ในส่วนผสม
3. การวิเคราะห์ผลด้านต้นทุนวัตถุดิบและค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย
4. ผลการทดสอบการใช้งานจริงของหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องที่มี Sludge Waste เป็นองค์ประกอบ

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

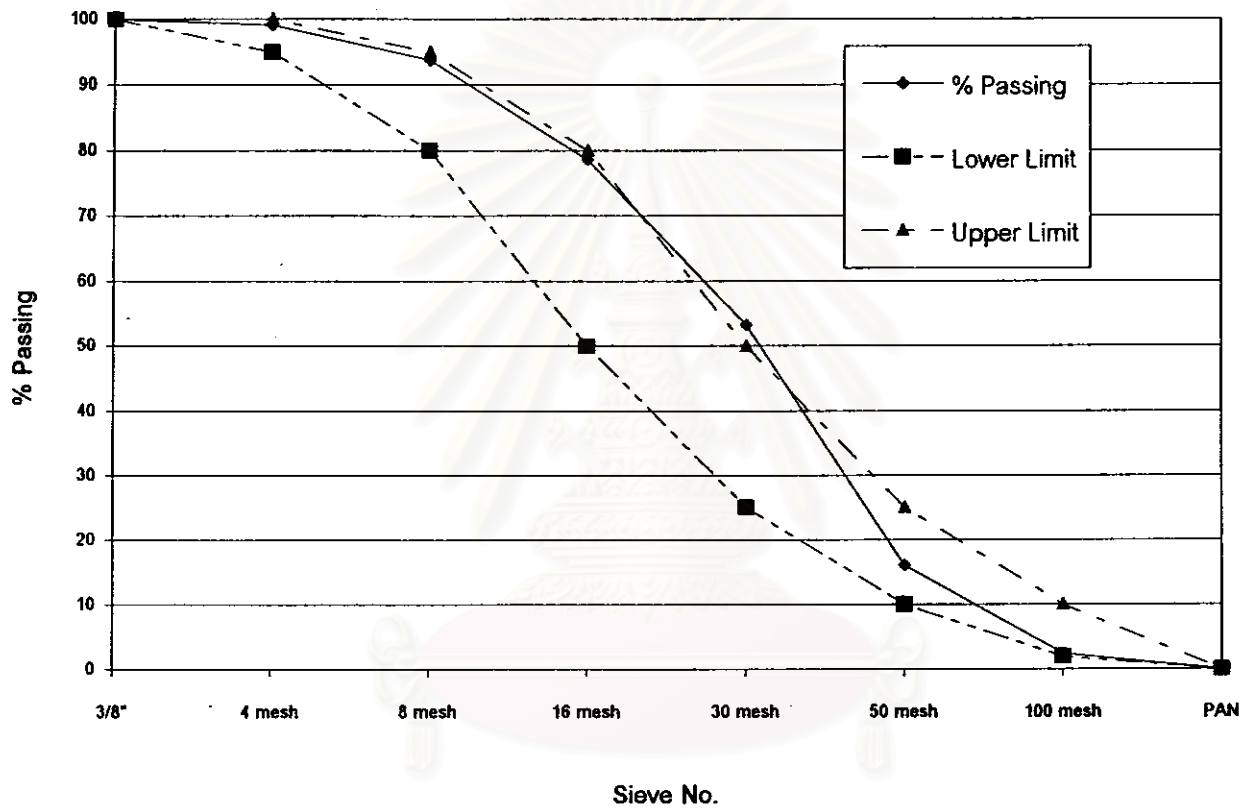
4.1.1 การตรวจสอบขนาดคละและโมดูลัสยืดหยุ่นของทราย

ผลที่ได้จากการตรวจสอบขนาดคละและโมดูลัสยืดหยุ่นของทราย เป็นไปตามตาราง ที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทรายที่ใช้ในการวิจัยนี้ มีขนาดความคละตามมาตรฐาน ASTM C 33 และมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น 2.57

Sieve No.	Weight of Sample Retained	% Retained	Cumulative % Retained	Cumulative % Passing	Spec. Limit	
					Lower	Upper
3/8 "	0	0.0	0.0	100.0	100	100
4 mesh	10	0.9	0.9	99.1	95	100
8 mesh	60	5.3	6.2	93.8	80	95
16 mesh	174	15.3	21.4	78.6	50	80
30 mesh	288	25.3	46.7	53.3	25	50
50 mesh	424	37.3	84.0	16.0	10	25
100 mesh	154	13.5	97.5	2.5	2	10
PAN	28	2.5	100.0	0.0	0	0
Total Weight(g)	**1138**	-	**F.M. = 2.57**	-	-	-

F.M. = Fineness Modulus = $\frac{\sum(\text{Cumulative \% Retained})}{100}$

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบขนาดคละและโมดูลัสยืดหยุ่นของทรายที่ใช้ในการวิจัย



รูปที่ 4.1 ขนาดคละของทรายที่ใช้ในงานวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 การตรวจสอบขนาดคละและโมดูลัสยืดหยุ่นของหินเกล็ด

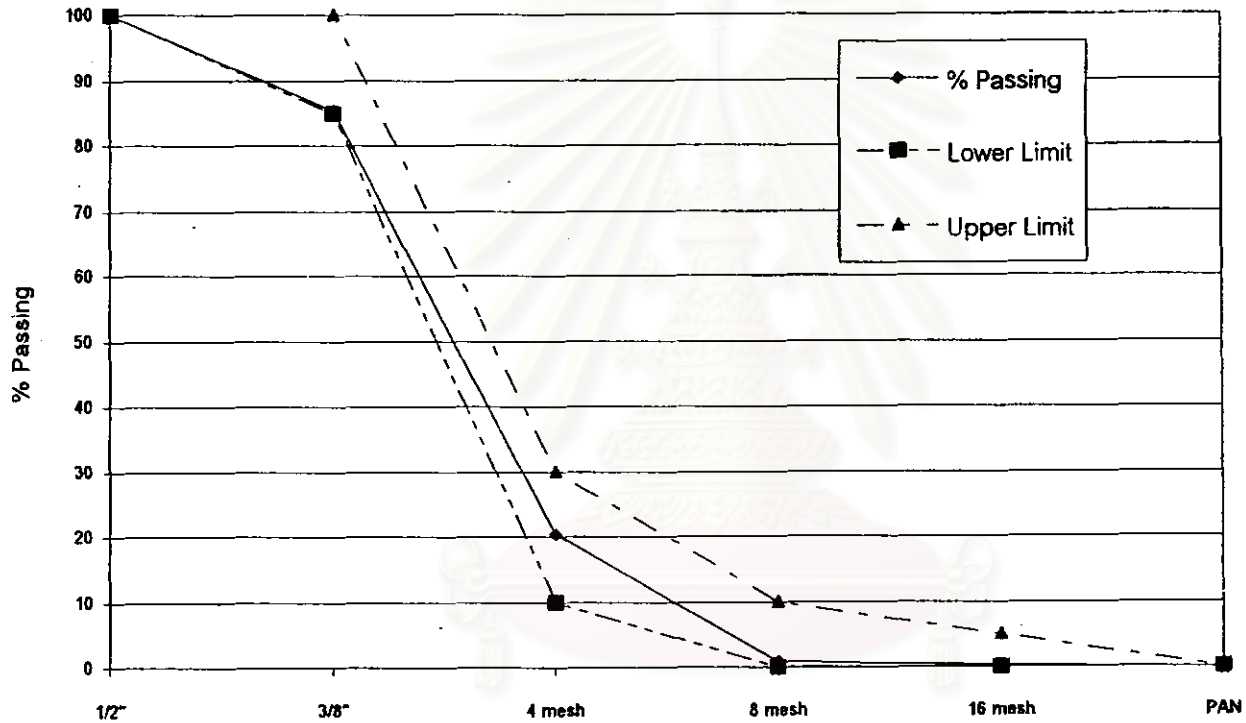
ผลที่ได้จากการตรวจสอบขนาดคละและโมดูลัสยืดหยุ่นของหินเกล็ดเป็นไปตามตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหินเกล็ดที่ใช้ในการวิจัยนี้ มีขนาดความคละตามมาตรฐาน ASTM C 33 และมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น 2.93

Sieve No.	Weight of Sample Retained	% Retained	Cumulative % Retained	Cumulative % Passing	Spec. Limit	
					Lower	Upper
1/2 "	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8 "	187	14.5	14.5	85.5	85	100
4 mesh	836	64.8	79.2	20.4	10	30
8 mesh	256	19.8	99.1	0.9	0	10
16 mesh	8	0.6	99.7	0.3	0	5
PAN	4	0.3	100.0	0.0	0	0
Total Weight(g)	1291	-	FM. = 2.93	-	-	-

$$\text{F.M.} = \text{Fineness Modulus} = \frac{\sum(\text{Cumulative \% Retained})}{100}$$

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบขนาดคละและโมดูลัสยืดหยุ่นของหินเกล็ดที่ใช้ในการวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ขนาดคละของหินเกล็ดที่ใช้ในงานวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3 การตรวจสอบความชื้น ความหนาแน่น และคุณสมบัติทางเคมีของ Sludge Waste

Sludge Waste ที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้จากบ่อทิ้งเศษของโรงงานผลิตกระเบื้องซีเมนต์ไยหินที่ผลิตด้วยระบบเปียก มีลักษณะเป็นผงสีเทาขาว ซึ่งจากการทดสอบคุณสมบัติของ Sludge Waste ที่นำมาใช้ทดลอง พบว่า มีความชื้น 81.20% ความหนาแน่น 0.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนประกอบทางเคมีของ Sludge Waste แสดงได้ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่า มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ SiO_2 14.72% CaO 44.68% นอกนั้นเป็นส่วนประกอบทางเคมีอื่น ๆ เพียงเล็กน้อย การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา 22.8% และมีสารที่ไม่ละลายในกรดหรือด่าง 3.42%

รายชื่อสารประกอบ	ปริมาณสารประกอบ (%)
SiO_2	14.72
Al_2O_3	2.04
Fe_2O_3	2.11
CaO	44.68
MgO	3.45
Na_2O	-
K_2O	3.63
Ti_2O	0.12
SO_3	3.03
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา	22.8
กากที่ไม่ละลายในกรดหรือด่าง	3.42

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของ Sludge Waste ที่ใช้ในการวิจัย

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบ

4.2.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตเมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste

ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste มาเป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่างๆ โดยการแทนที่ซีเมนต์เป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ได้แก่ 0% 10% 20% 30% 40% และ 50% สามารถแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้ดังนี้

4.2.1.1 ผลการทดสอบกำลังอัด

เป็นการประเมินความสามารถในการรับแรงอัดของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 5 ซม. ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบดังกล่าวจำนวน 360 ชิ้น เป็นไปตามตารางที่ 4.4 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของ Sludge Waste อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอายุการบ่มน้ำ มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่ากำลังอัด

เมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังอัดมีค่าลดลง คือ เปอร์เซนต์การแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 10% 20% 30% 40% และ 50%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังอัดมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่ากำลังอัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

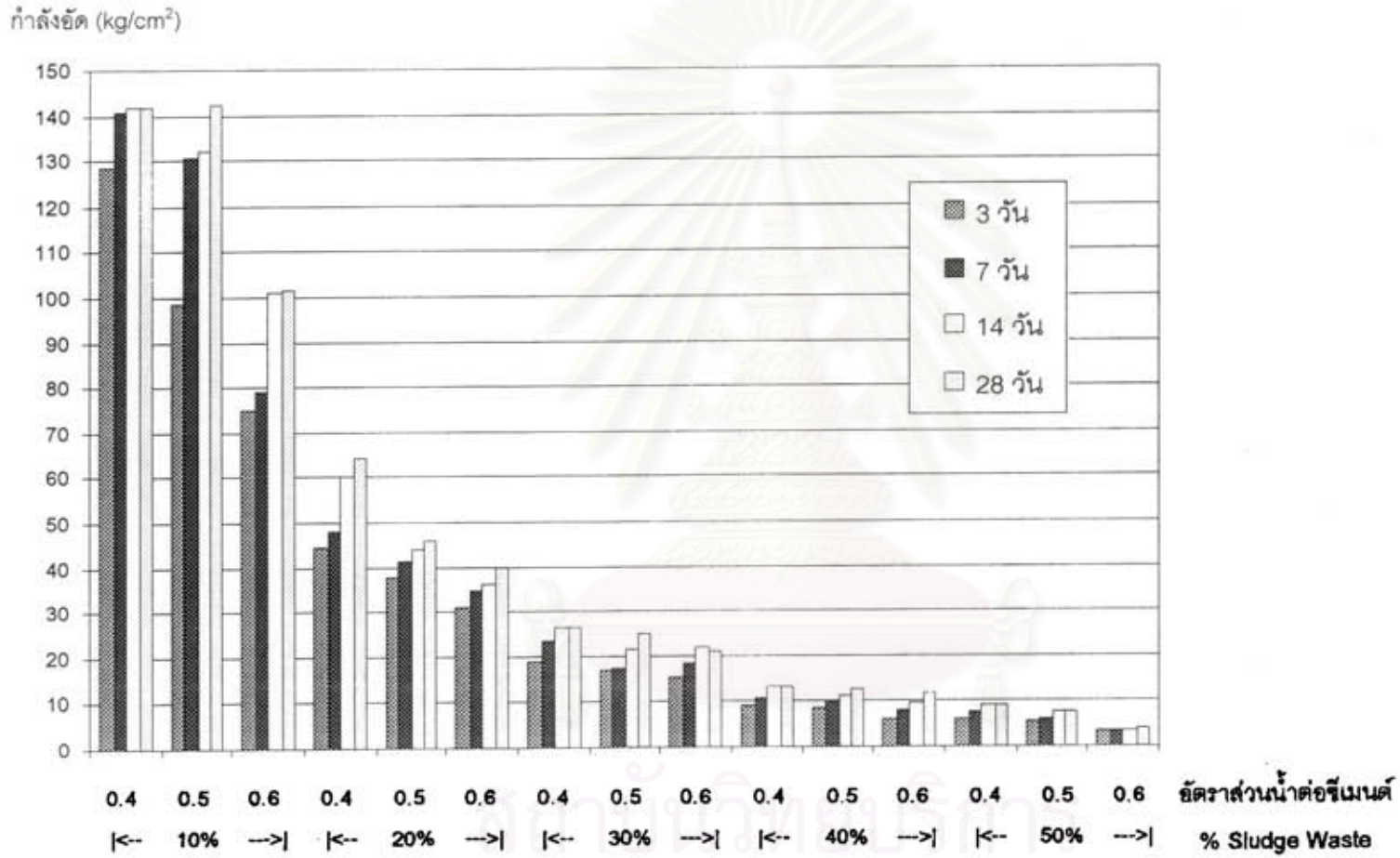
แต่ถ้าอายุการบ่มน้ำของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่ากำลังอัดสูงขึ้น โดยเรียงตามลำดับจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ คือ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

หน่วย : กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

%การแทนที่ ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste	กำลังอัด(กก./ตร.ม.) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4				กำลังอัด(กก./ตร.ม.) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.5				กำลังอัด(กก./ตร.ม.) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	169.34	217.36	245.03	269.64	155.11	211.71	241.43	262.06	151.50	204.96	237.97	259.88
10	128.53	140.83	141.66	141.81	98.64	130.63	132.14	142.12	74.77	79.26	101.27	101.46
20	44.62	48.15	60.43	64.38	37.98	41.32	43.94	45.71	30.98	34.68	36.33	40.02
30	18.94	23.56	23.61	26.70	16.91	17.46	21.51	25.23	15.48	18.41	21.69	20.93
40	9.00	10.82	13.36	13.14	8.42	10.00	11.09	12.57	6.36	8.21	9.55	11.78
50	5.99	7.42	8.99	9.11	5.51	6.20	7.61	7.88	3.42	3.73	3.77	4.09

ตารางที่ 4.4 ผลทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.1.2 <u>ผลการทดสอบกำลังดัด</u>

เป็นการประเมินความสามารถในการรับแรงดัดของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 5x50x5 ซม. ผลการทดสอบค่ากำลังดัดของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบดังกล่าว จำนวน 360 ชิ้น เป็นไปตามตารางที่ 4.5 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Sludge Waste อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอายุการบ่มน้ำ มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่ากำลังดัด

เมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังดัดมีค่าลดลง คือ เปอร์เซนต์การแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ให้ค่ากำลังดัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 10% 20% 30% 40% และ 50%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังดัดมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่ากำลังดัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

แต่ถ้าใช้อายุการบ่มน้ำของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่ากำลังดัดสูงขึ้น โดยเรียงตามลำดับจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ คือ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

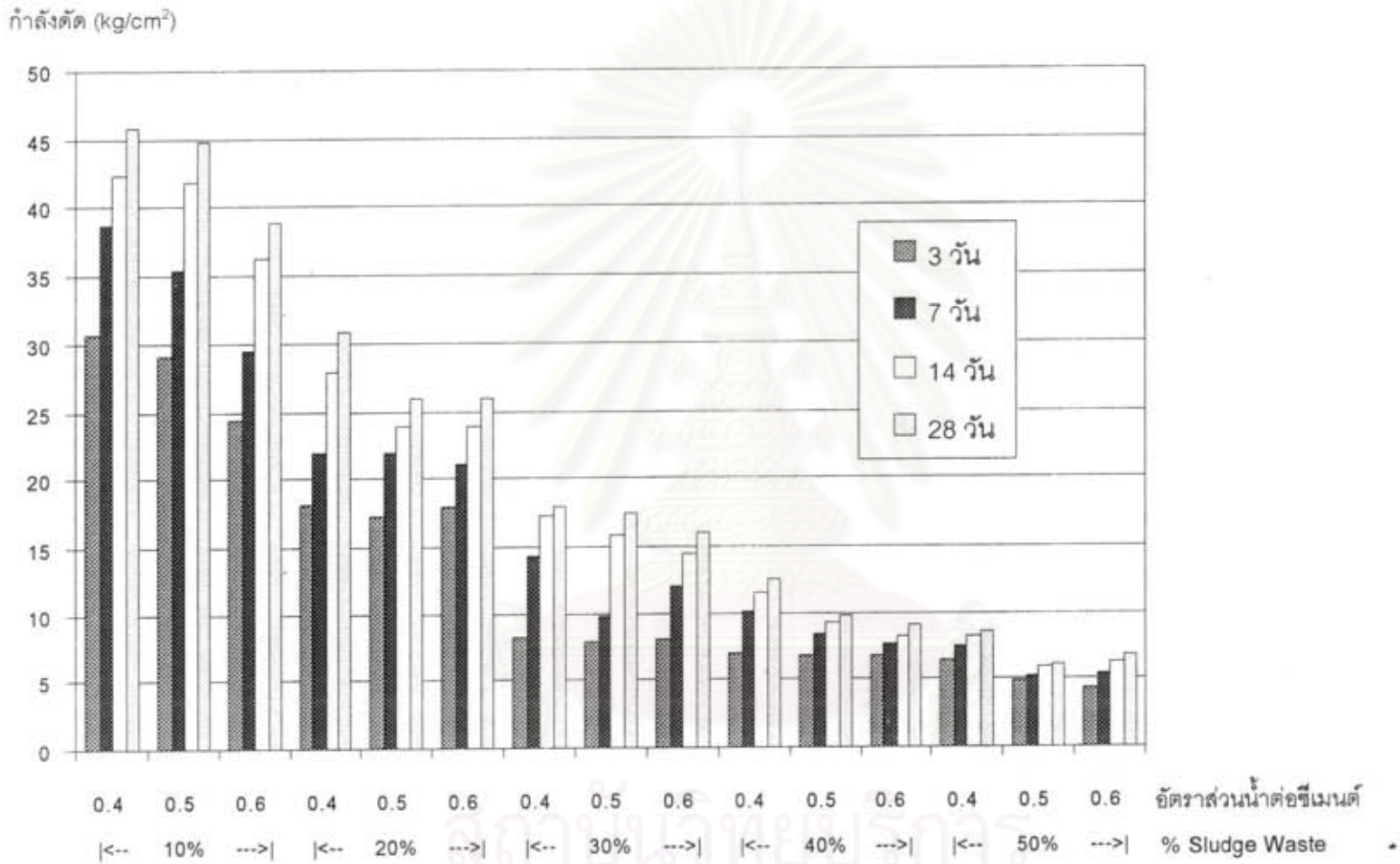
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน่วย : กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

%การแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste	กำลังดัด ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4				กำลังดัด ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.5				กำลังดัด ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	51.41	62.84	67.25	71.48	48.41	59.92	68.52	76.23	35.19	41.98	49.92	54.18
10	30.66	38.65	42.25	45.78	29.07	35.37	41.84	44.84	24.47	29.42	36.16	38.91
20	18.11	22.02	27.95	30.92	17.25	22.02	23.93	26.00	17.91	21.07	23.91	26.04
30	8.21	14.24	17.20	18.02	7.88	9.79	15.91	17.46	8.04	12.10	14.52	16.11
40	6.95	10.19	11.49	12.63	6.72	8.33	9.26	9.74	6.83	7.58	8.16	9.09
50	6.53	7.49	8.16	8.57	4.85	5.27	5.97	6.18	4.31	5.42	6.29	6.81

ตารางที่ 4.5 ผลทดสอบกำลังดัด(Bending Strength)ของส่วนผสมคอนกรีตเมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.1.3 <u>ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น</u>

ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 5 ซม. ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบดังกล่าวเป็นไปตามตารางที่ 4.6 และกราฟความสัมพันธ์รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Sludge Waste และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่น

เมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง คือ เปอร์เซนต์การแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 10% 20% 30% 40% และ 50%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

แต่ถ้าใช้อายุการบ่มน้ำของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหรือไม่เปลี่ยนแปลง

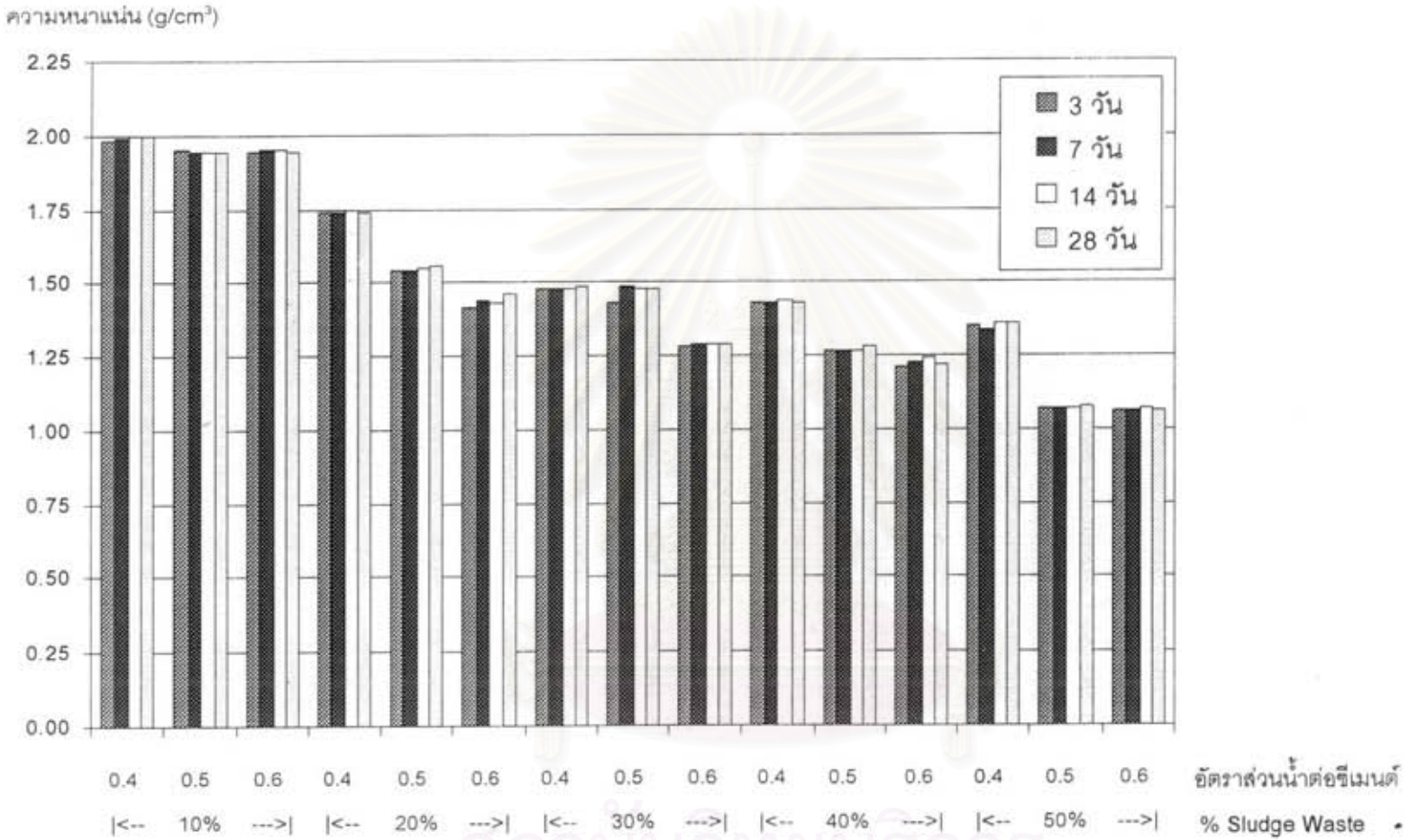
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน่วย : กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

%การแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste	ความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4				ความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.5				ความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	2.14	2.15	2.16	2.18	2.13	2.15	2.16	2.17	2.14	2.18	2.21	2.24
10	1.98	1.99	2.00	2.00	1.95	1.94	1.94	1.94	1.94	1.95	1.95	1.94
20	1.74	1.74	1.75	1.74	1.54	1.54	1.55	1.56	1.42	1.44	1.43	1.46
30	1.48	1.48	1.48	1.49	1.43	1.49	1.48	1.48	1.28	1.29	1.29	1.29
40	1.43	1.43	1.44	1.43	1.27	1.27	1.27	1.28	1.21	1.23	1.24	1.22
50	1.35	1.34	1.36	1.36	1.07	1.07	1.07	1.08	1.06	1.06	1.07	1.06

ตารางที่ 4.6 ผลทดสอบความหนาแน่นของส่วนผสมคอนกรีตเมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบความหนาแน่นของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.1.4 <u>ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ</u>

การทดสอบการดูดซึมน้ำเป็นการทดสอบหาน้ำหนักน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปในชิ้นงานตัวอย่างทดสอบของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 5 ซม. สามารถแสดงผลการทดสอบได้ตามตารางที่ 4.7 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Sludge Waste อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอายุการบ่มน้ำ มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อการดูดซึมน้ำ

เมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้การดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น คือ เปอร์เซนต์การแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ให้การดูดซึมน้ำต่ำสุด และเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 10% 20% 30% 40% และ 50%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด และเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

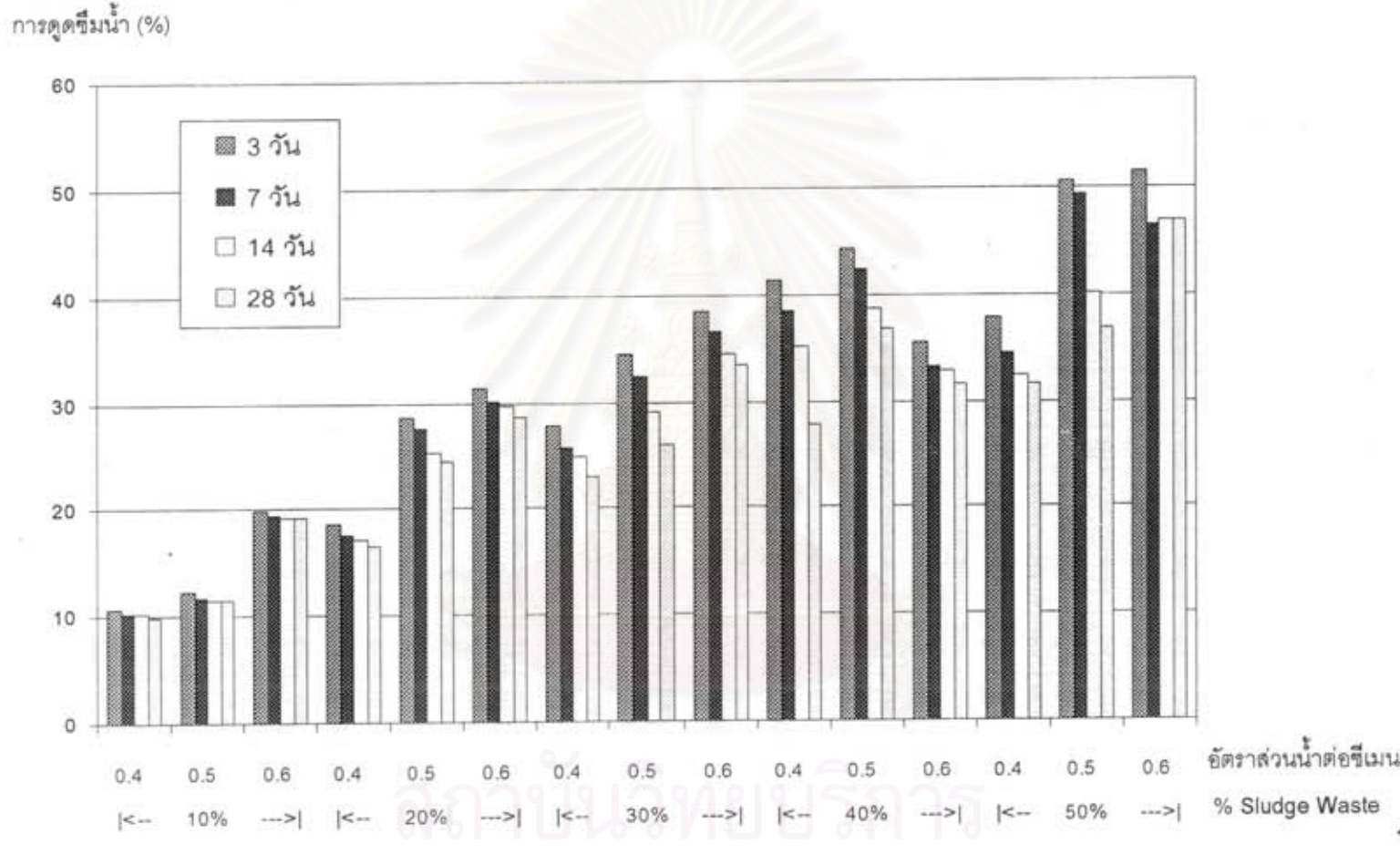
แต่ถ้าใช้อายุการบ่มน้ำของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำลง โดยเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ คือ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

%การแทนที่ ซีเมนต์ด้วย	การดูดซึมน้ำ (%) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4				การดูดซึมน้ำ (%) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.5				การดูดซึมน้ำ (%) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6			
Sludge Waste	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	6.24	6.14	5.75	5.64	7.38	6.74	6.27	5.88	8.03	7.94	7.28	6.55
10	10.58	10.32	10.20	9.79	12.26	11.68	11.53	11.41	19.77	19.52	19.32	19.13
20	18.59	17.63	17.10	16.53	28.69	27.60	25.20	24.51	31.27	30.15	29.76	28.60
30	27.82	25.67	24.90	23.08	34.43	32.44	29.10	25.87	38.56	36.49	34.52	33.35
40	41.29	38.47	35.05	27.88	44.34	42.46	38.78	36.75	35.48	33.19	32.92	31.62
50	37.84	34.47	32.44	31.49	50.67	49.42	40.12	36.79	51.39	46.45	46.76	46.88

ตารางที่ 4.7 ผลทดสอบการดูดซึมน้ำของส่วนผสมคอนกรีตเมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตเมื่อแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste

ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste มาเป็นวัสดุทดแทนทราย ในอัตราส่วนต่างๆ โดยการแทนที่ทรายเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของทราย ได้แก่ 0% 15% 30% 45% 60% และ 100% สามารถแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้ดังนี้

4.2.2.1 ผลการทดสอบกำลังอัด

เป็นการประเมินความสามารถในการรับแรงอัดของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นทดแทนทราย โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 5 ซม. ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบดังกล่าว จำนวน 360 ชิ้น เป็นไปตามตารางที่ 4.8 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Sludge Waste อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอายุการบ่มน้ำ มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่ากำลังอัด

เมื่อแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังอัดมีค่าลดลง คือ เปอร์เซนต์การแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักของทราย ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 15% 30% 45% 60% และ 100%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังอัดมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่ากำลังอัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

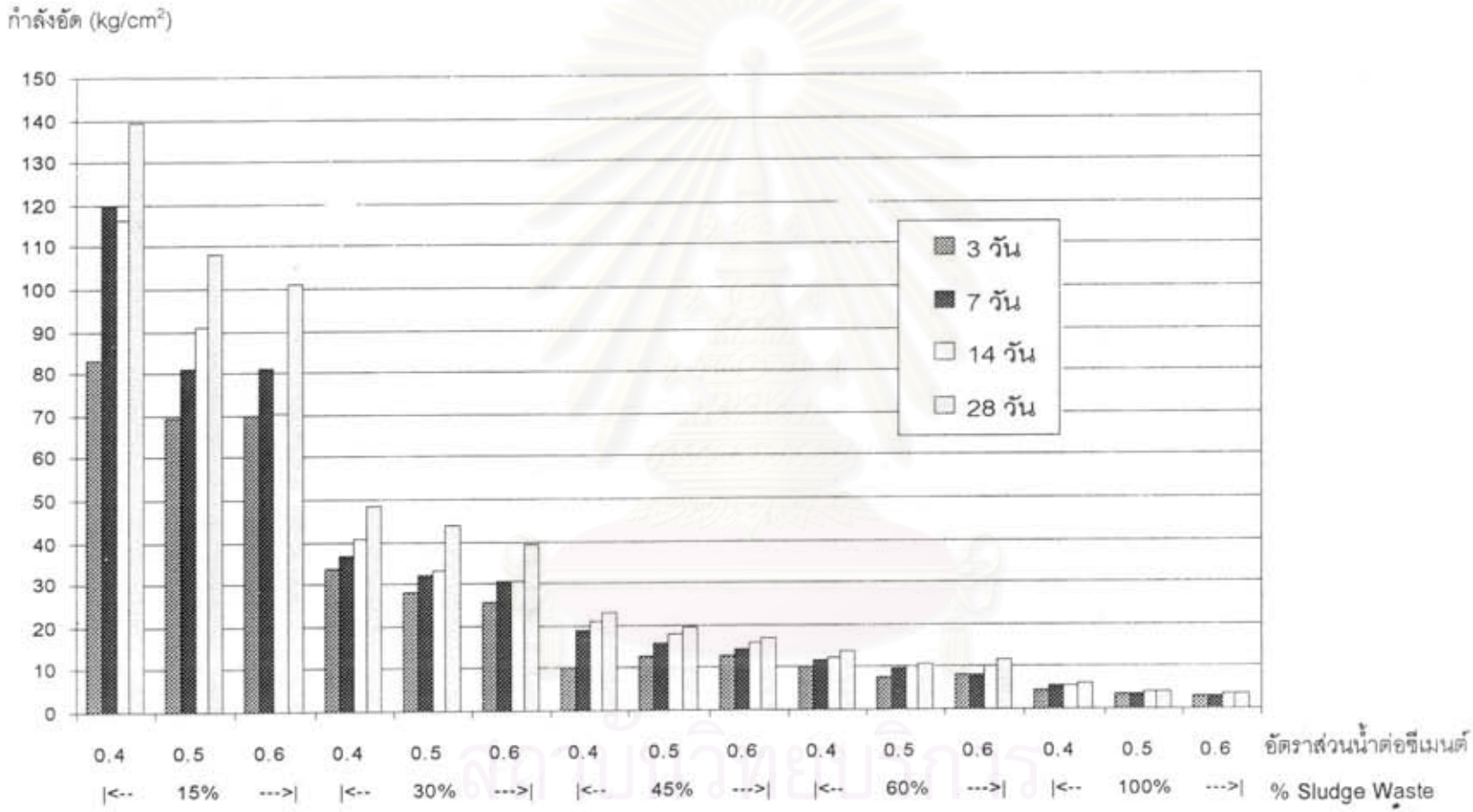
แต่ถ้าอายุการบ่มน้ำของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่ากำลังอัดสูงขึ้น โดยเรียงตามลำดับจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ คือ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

หน่วย : กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

%การแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste	กำลังอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4				กำลังอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.5				กำลังอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	169.34	217.36	245.03	269.64	155.11	211.71	241.43	262.06	151.50	204.96	237.97	259.88
15	83.26	119.85	116.55	139.34	69.35	81.15	90.57	108.07	69.75	81.12	70.29	100.94
30	33.46	36.80	40.97	48.26	28.10	32.20	33.34	43.79	25.29	30.77	30.67	39.25
45	10.36	19.02	20.79	22.91	12.99	15.56	17.94	19.29	12.62	14.13	15.71	16.82
60	9.98	11.79	12.42	14.02	7.67	9.48	10.27	10.81	8.15	8.28	10.25	11.85
100	4.80	5.48	5.83	6.08	3.47	3.56	3.85	4.04	2.89	3.20	3.41	3.82

รูปที่ 4.8 ผลทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.2.2 <u>ผลการทดสอบกำลังดัด</u>

เป็นการประเมินความสามารถในการรับแรงดัดของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นวัสดุทดแทนทราย โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 5x50x5 ซม. ผลการทดสอบค่ากำลังดัดของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบดังกล่าว จำนวน 360 ชิ้น เป็นไปตามตารางที่ 4.9 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Sludge Waste อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอายุการบ่มน้ำ มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่ากำลังดัด

เมื่อแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังดัดมีค่าลดลง คือ เปอร์เซนต์การแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักของทราย ให้ค่ากำลังดัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 15% 30% 45% 60% และ 100%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังดัดมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่ากำลังดัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

แต่ถ้าใช้อายุการบ่มน้ำของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่ากำลังดัดสูงขึ้น โดยเรียงตามลำดับจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ คือ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

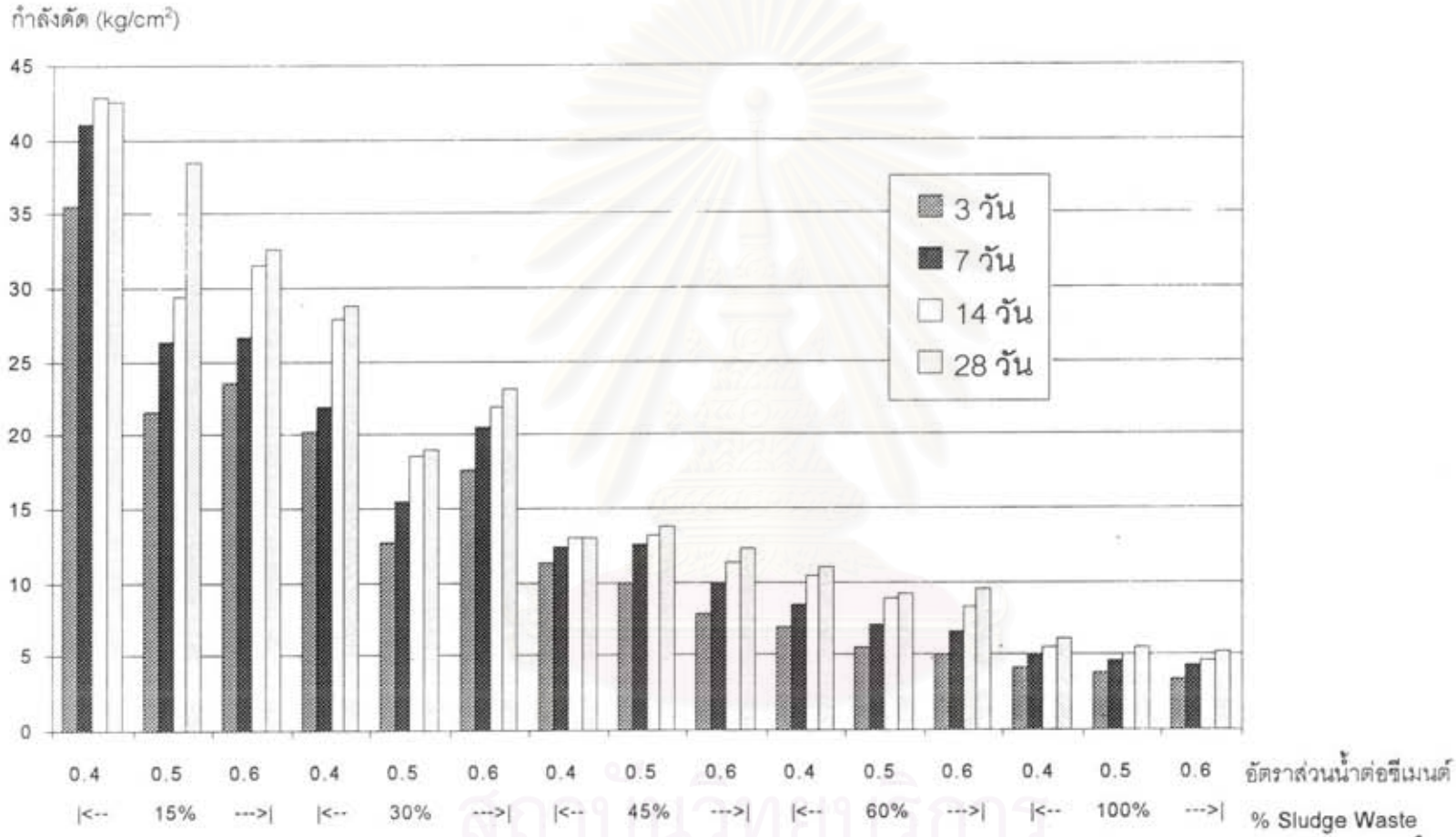
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน่วย : กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

%การแทนที่ทรายด้วย ludge Wast	กำลังอัด ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4				กำลังอัด ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.5				กำลังอัด ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	51.41	62.84	67.25	71.48	48.41	59.92	68.52	76.23	35.19	41.98	49.92	54.18
15	35.58	40.98	42.80	42.61	21.51	26.34	29.35	38.49	23.52	26.59	31.48	32.66
30	20.16	21.89	27.89	28.82	12.64	15.51	18.55	19.02	17.35	20.46	21.92	23.13
45	11.29	12.35	13.02	13.05	9.94	12.61	13.01	13.76	7.78	9.96	11.32	12.24
60	6.89	8.46	10.35	11.08	5.49	7.04	8.81	9.24	5.12	6.62	8.30	9.51
100	4.10	5.03	5.50	6.05	3.80	4.52	4.98	5.47	3.36	4.24	4.62	5.17

ตารางที่ 4.9 ผลทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.2.3 <u>ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น</u>

ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นวัสดุทดแทนทราย โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 5 ซม. ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบดังกล่าวเป็นไปตามตารางที่ 4.10 และกราฟความสัมพันธ์รูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Sludge Waste และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่น

เมื่อแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง คือ เปอร์เซนต์การแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักของทราย ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 15% 30% 45% 60% และ 100%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

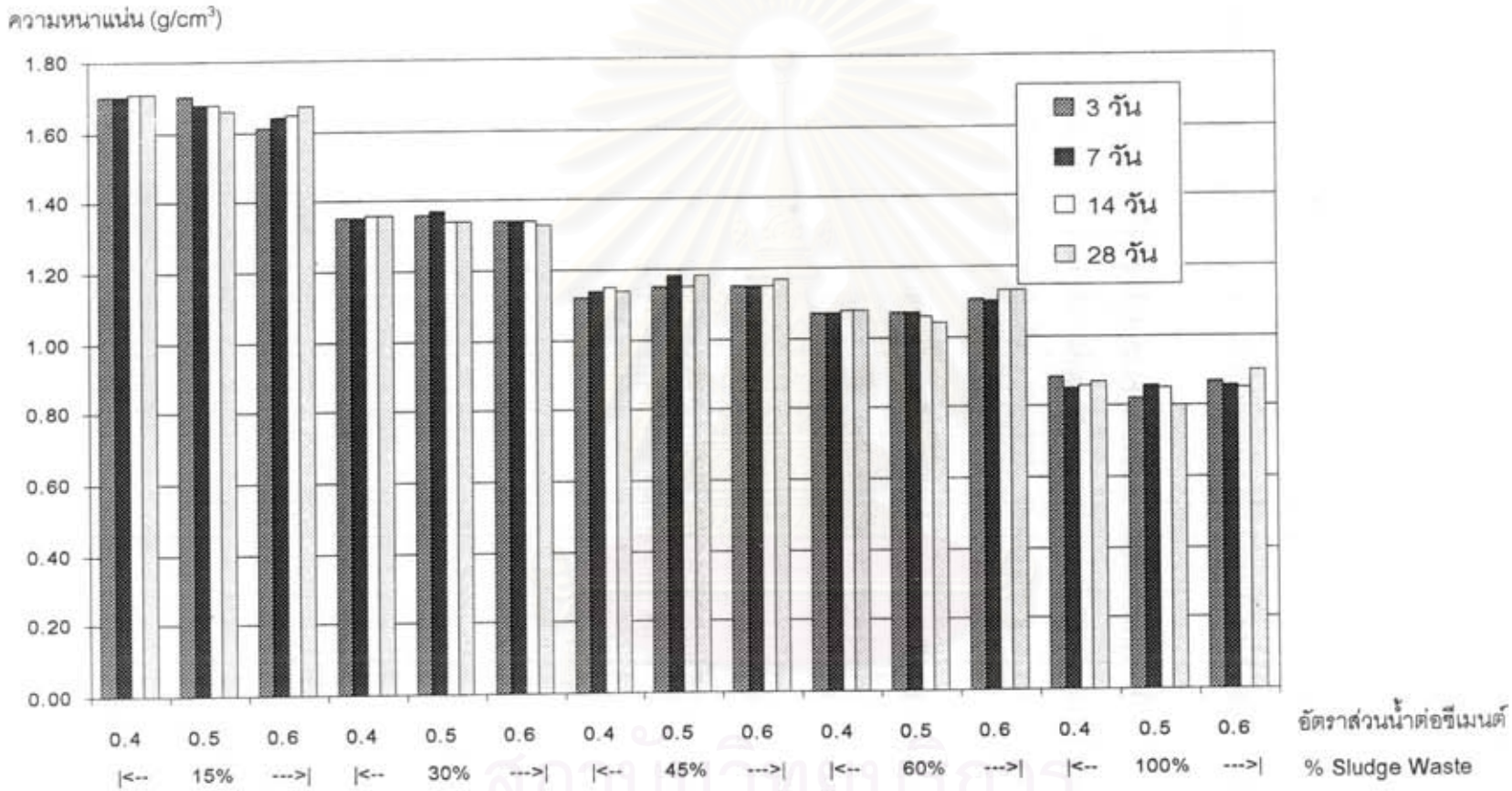
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน่วย : กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

%การแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste	ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4				ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.5				ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	2.14	2.15	2.16	2.18	2.13	2.15	2.16	2.17	2.14	2.18	2.21	2.24
15	1.70	1.70	1.71	1.71	1.70	1.68	1.68	1.66	1.61	1.64	1.65	1.67
30	1.35	1.35	1.36	1.36	1.36	1.37	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.33
45	1.12	1.14	1.15	1.14	1.15	1.18	1.15	1.18	1.15	1.15	1.15	1.17
60	1.07	1.07	1.08	1.08	1.07	1.07	1.06	1.04	1.11	1.10	1.13	1.13
100	0.88	0.85	0.86	0.87	0.82	0.86	0.85	0.80	0.87	0.86	0.85	0.90

ตารางที่ 4.10 ผลทดสอบความหนาแน่นของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบความหนาแน่นของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.2.4 <u>ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ</u>

การทดสอบการดูดซึมน้ำเป็นการทดสอบหาน้ำหนักน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปในชิ้นงานตัวอย่างทดสอบของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นวัสดุทดแทนทราย โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 5 ซม. สามารถแสดงผลการทดสอบได้ตามตารางที่ 4.11 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Sludge Waste อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอายุการบ่มน้ำ มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อการดูดซึมน้ำ

เมื่อแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้การดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น คือ เปอร์เซนต์การแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักของทราย ให้การดูดซึมน้ำต่ำสุด และเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 15% 30% 45% 60% และ 100%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด และเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

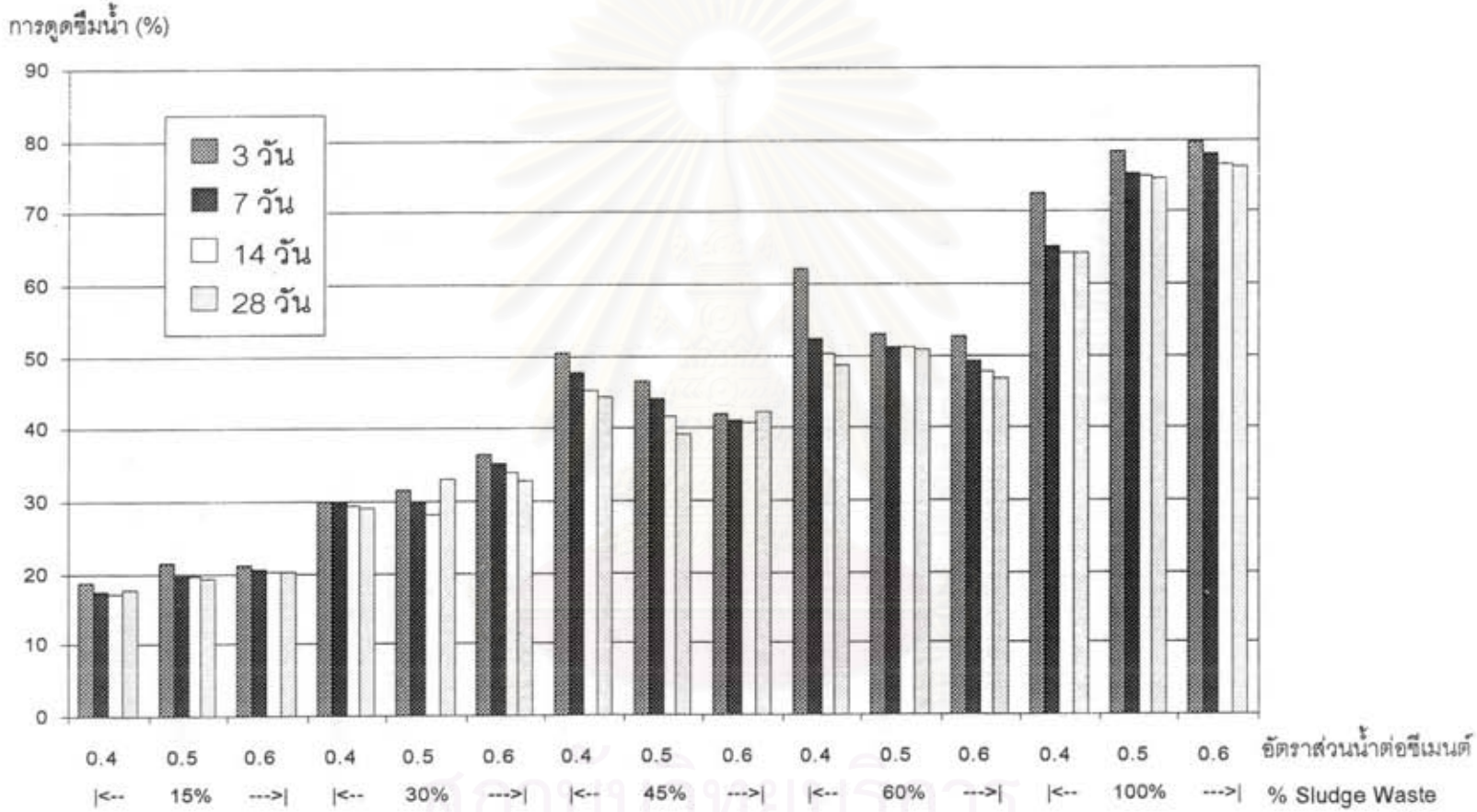
แต่ถ้าใช้อายุการบ่มน้ำของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำลง โดยเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ คือ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

%การแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste	การดูดซึมน้ำ (%) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4				การดูดซึมน้ำ (%) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.5				การดูดซึมน้ำ (%) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	6.24	6.14	5.75	5.64	7.38	6.74	6.27	5.88	8.03	7.94	7.28	6.55
15	18.74	17.31	17.20	17.85	21.37	19.62	19.56	19.37	21.19	20.38	20.25	20.18
30	30.10	29.86	29.34	29.19	31.42	29.96	28.21	33.09	36.58	35.27	33.89	32.61
45	50.57	47.89	45.17	44.42	46.57	44.06	41.62	39.20	42.01	41.14	40.83	42.26
60	62.14	52.22	50.31	48.54	53.05	51.04	50.97	50.72	52.63	49.17	47.78	46.71
100	72.69	65.11	64.36	64.24	78.28	75.19	74.96	74.65	79.69	77.95	76.52	76.30

ตารางที่ 4.11 ผลทดสอบการดูดซึมน้ำของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่ทรายด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตเมื่อแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste

ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste มาเป็นวัสดุทดแทนหินเกล็ดในอัตราส่วนต่างๆ โดยการแทนที่หินเกล็ดเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของหินเกล็ด ได้แก่ 0% 15% 30% 45% 60% และ 100% สามารถแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้ดังนี้

4.2.3.1 ผลการทดสอบกำลังอัด

เป็นการประเมินความสามารถในการรับแรงอัดของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นทดแทนหินเกล็ด โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 5 ซม. ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบดังกล่าว จำนวน 360 ชิ้น เป็นไปตามตารางที่ 4.12 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Sludge Waste อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอายุการบ่มน้ำ มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่ากำลังอัด

เมื่อแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังอัดมีค่าลดลง คือ เปอร์เซนต์การแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักของหินเกล็ด ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 15% 30% 45% 60% และ 100%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังอัดมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่ากำลังอัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

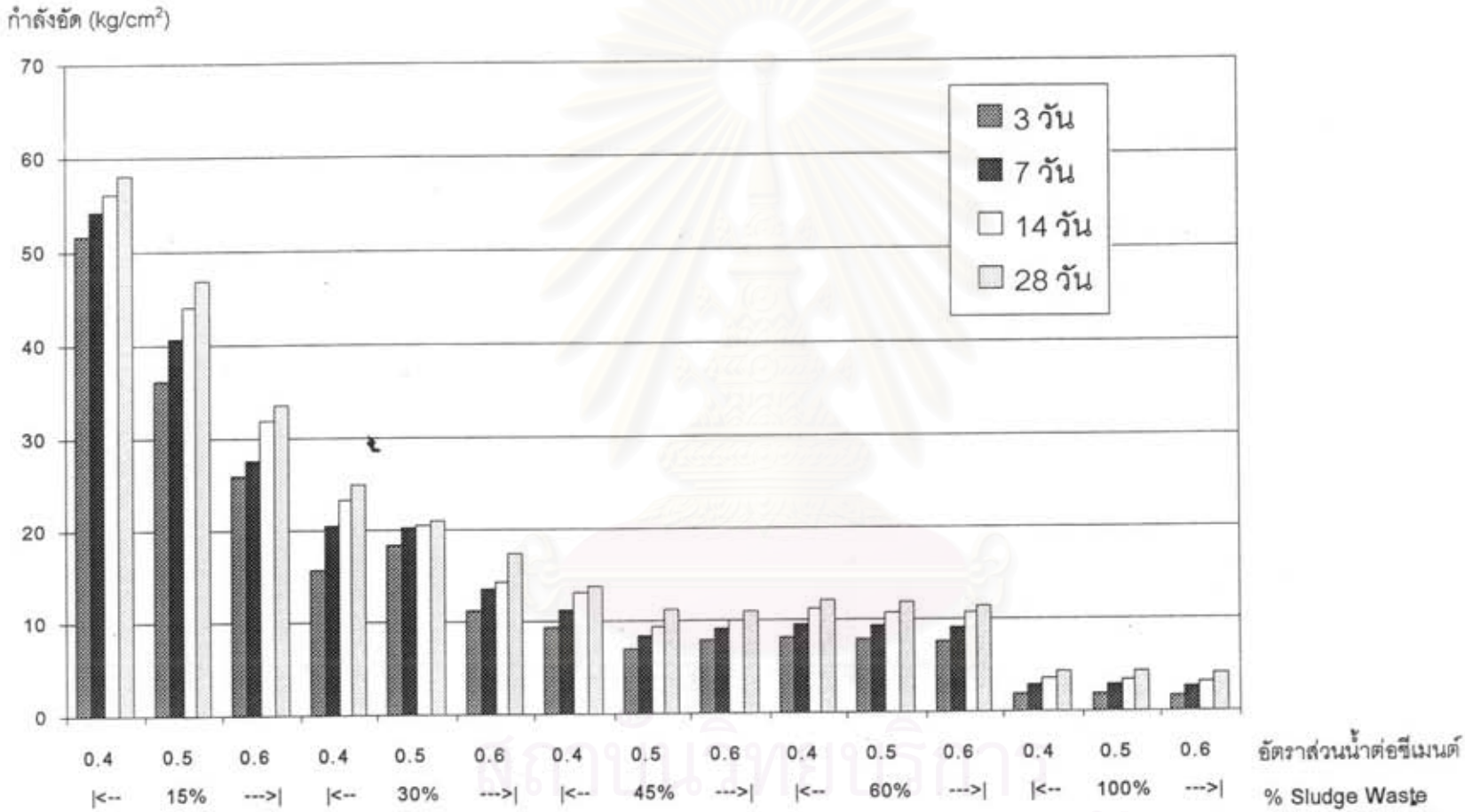
แต่ถ้าอายุการบ่มน้ำของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่ากำลังอัดสูงขึ้น โดยเรียงตามลำดับจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ คือ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

หน่วย : กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

%การแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste	กำลังอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4				กำลังอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.5				กำลังอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	169.34	217.36	245.03	269.64	155.11	211.71	241.43	262.06	151.50	204.96	237.97	259.88
15	51.58	54.23	56.15	57.98	36.18	40.60	43.99	46.80	26.07	27.57	31.82	33.47
30	15.83	20.42	23.26	25.08	18.38	20.14	20.41	20.90	11.11	13.55	14.40	15.47
45	9.28	11.26	13.07	13.71	6.82	8.34	9.39	11.10	7.81	8.94	9.95	11.03
60	8.00	9.60	11.16	12.07	7.80	9.24	10.82	11.88	7.64	9.09	10.61	11.48
100	2.02	2.76	3.48	4.30	1.81	2.68	3.34	4.19	1.67	2.55	3.08	3.97

ตารางที่ 4.12 ผลทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.3.2 ผลการทดสอบกำลังดัด

เป็นการประเมินความสามารถในการรับแรงดัดของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นวัสดุทดแทนหินเกล็ด โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 5x50x5 ซม. ผลการทดสอบค่ากำลังดัดของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบดังกล่าว จำนวน 360 ชิ้น เป็นไปตามตารางที่ 4.13 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Sludge Waste อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอายุการบ่มน้ำ มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่ากำลังดัด

เมื่อแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังดัดมีค่าลดลง คือ เปอร์เซนต์การแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักของหินเกล็ด ให้ค่ากำลังดัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 15% 30% 45% 60% และ 100%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังดัดมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่ากำลังดัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

แต่ถ้าใช้อายุการบ่มน้ำของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่ากำลังดัดสูงขึ้น โดยเรียงตามลำดับจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ คือ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

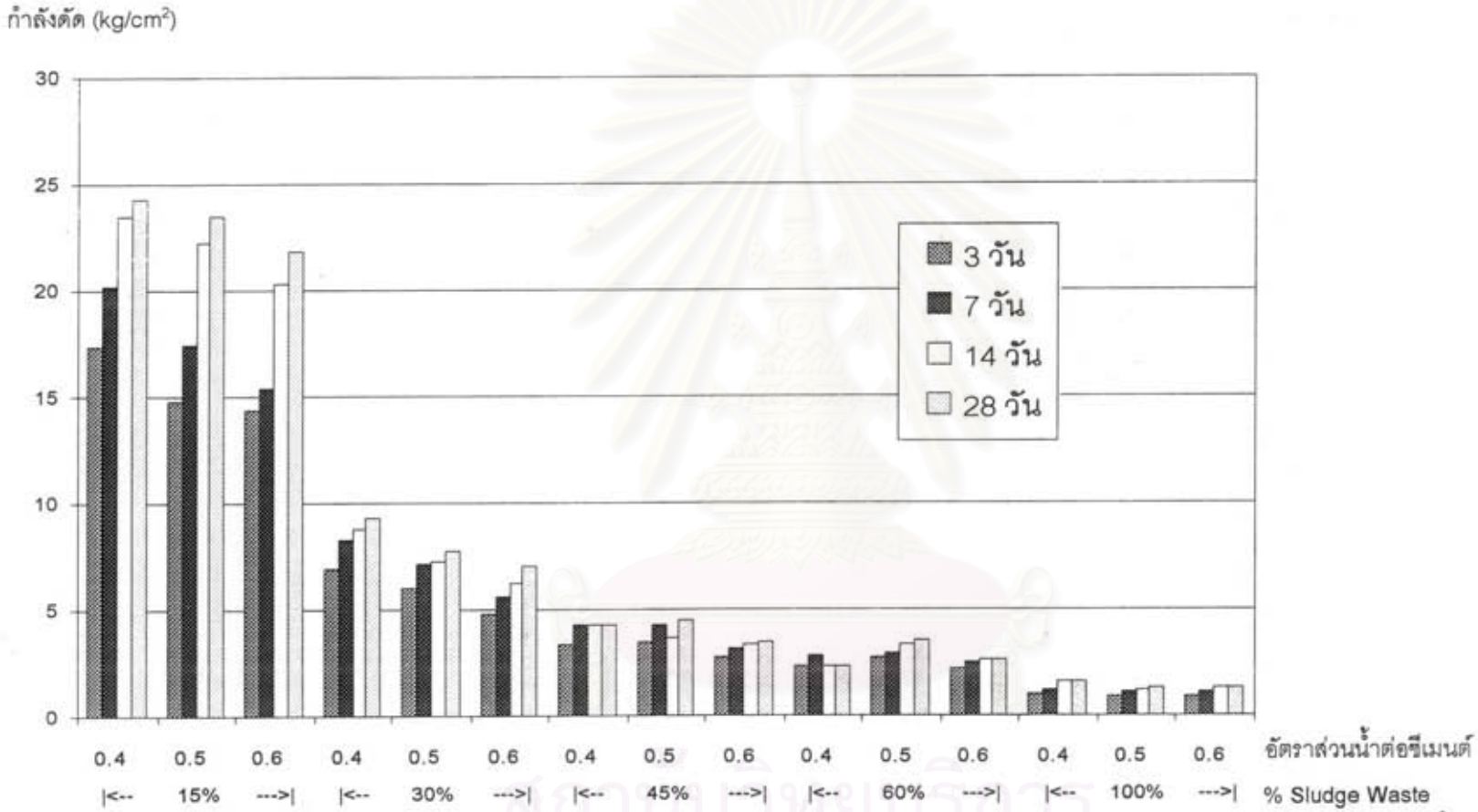
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน่วย : กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

%การแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste	กำลังอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อทราย = 0.4				กำลังอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อทราย = 0.5				กำลังอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อทราย = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	51.41	62.84	67.25	71.48	48.41	59.92	68.52	76.23	35.19	41.98	49.92	54.18
15	17.33	20.23	23.45	24.31	14.75	17.48	22.24	23.50	14.34	15.36	20.33	21.88
30	6.92	8.28	8.82	9.31	5.99	7.14	7.26	7.78	4.84	5.64	6.23	7.09
45	3.38	4.24	4.25	4.26	3.42	4.29	3.66	4.51	2.76	3.13	3.37	3.47
60	2.36	2.85	2.39	2.37	2.73	3.00	3.37	3.59	2.21	2.56	2.64	2.70
100	1.05	1.20	1.59	1.66	0.92	1.12	1.24	1.34	0.91	1.13	1.30	1.29

ตารางที่ 4.13 ผลทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.3.3 <u>ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น</u>

ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นวัสดุทดแทนหินเกล็ด โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 5 ซม. ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบดังกล่าวเป็นไปตามตารางที่ 4.14 และกราฟความสัมพันธ์รูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Sludge Waste และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ที่ใช้ในการผลิตหมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่น

เมื่อแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง คือ เปอร์เซนต์การแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักของหินเกล็ด ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 15% 30% 45% 60% และ 100%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

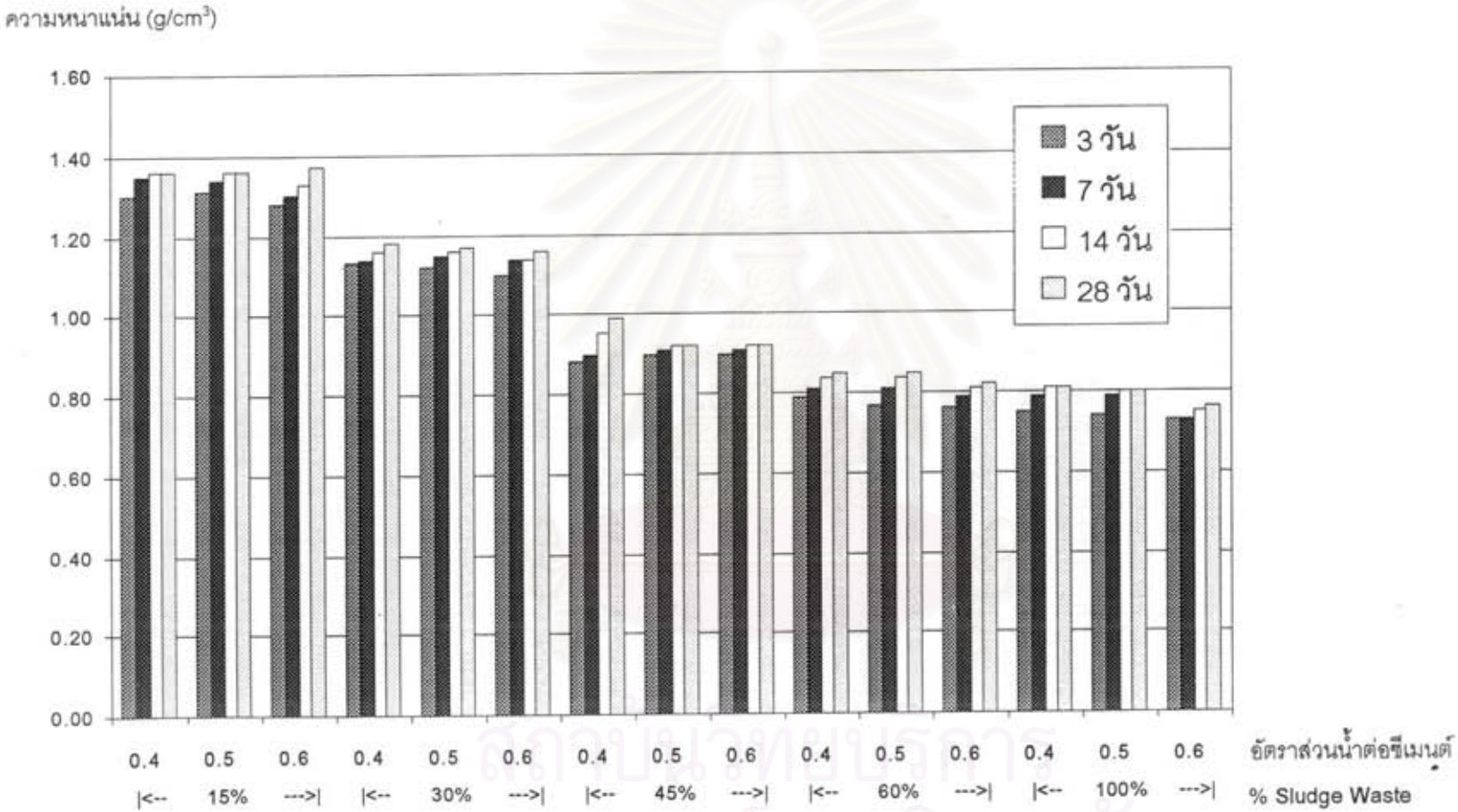
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน่วย : กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

%การแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste	ความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4				ความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.5				ความหนาแน่นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	2.14	2.15	2.16	2.18	2.13	2.15	2.16	2.17	2.14	2.15	2.16	2.15
15	1.30	1.35	1.36	1.36	1.31	1.34	1.36	1.36	1.28	1.30	1.33	1.37
30	1.13	1.14	1.16	1.18	1.12	1.15	1.16	1.17	1.10	1.14	1.14	1.16
45	0.88	0.90	0.95	0.99	0.90	0.91	0.92	0.92	0.90	0.91	0.92	0.92
60	0.79	0.81	0.84	0.85	0.77	0.81	0.84	0.85	0.76	0.79	0.81	0.82
100	0.75	0.79	0.81	0.81	0.74	0.79	0.80	0.80	0.73	0.73	0.75	0.76

ตารางที่ 4.14 ผลทดสอบความหนาแน่นของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบความหนาแน่นของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.3.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำเป็นการทดสอบหาน้ำหนักน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปในชิ้นงานตัวอย่างทดสอบของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นวัสดุทดแทนหินเกล็ด โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 5 ซม. สามารถแสดงผลการทดสอบได้ตามตารางที่ 4.15 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Sludge Waste อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอายุการบ่มน้ำ ที่ใช้ในการผลิตหมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อการดูดซึมน้ำ

เมื่อแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้การดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น คือ เปอร์เซนต์การแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักของหินเกล็ด ให้การดูดซึมน้ำต่ำสุด และเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 15% 30% 45% 60% และ 100%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด และเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

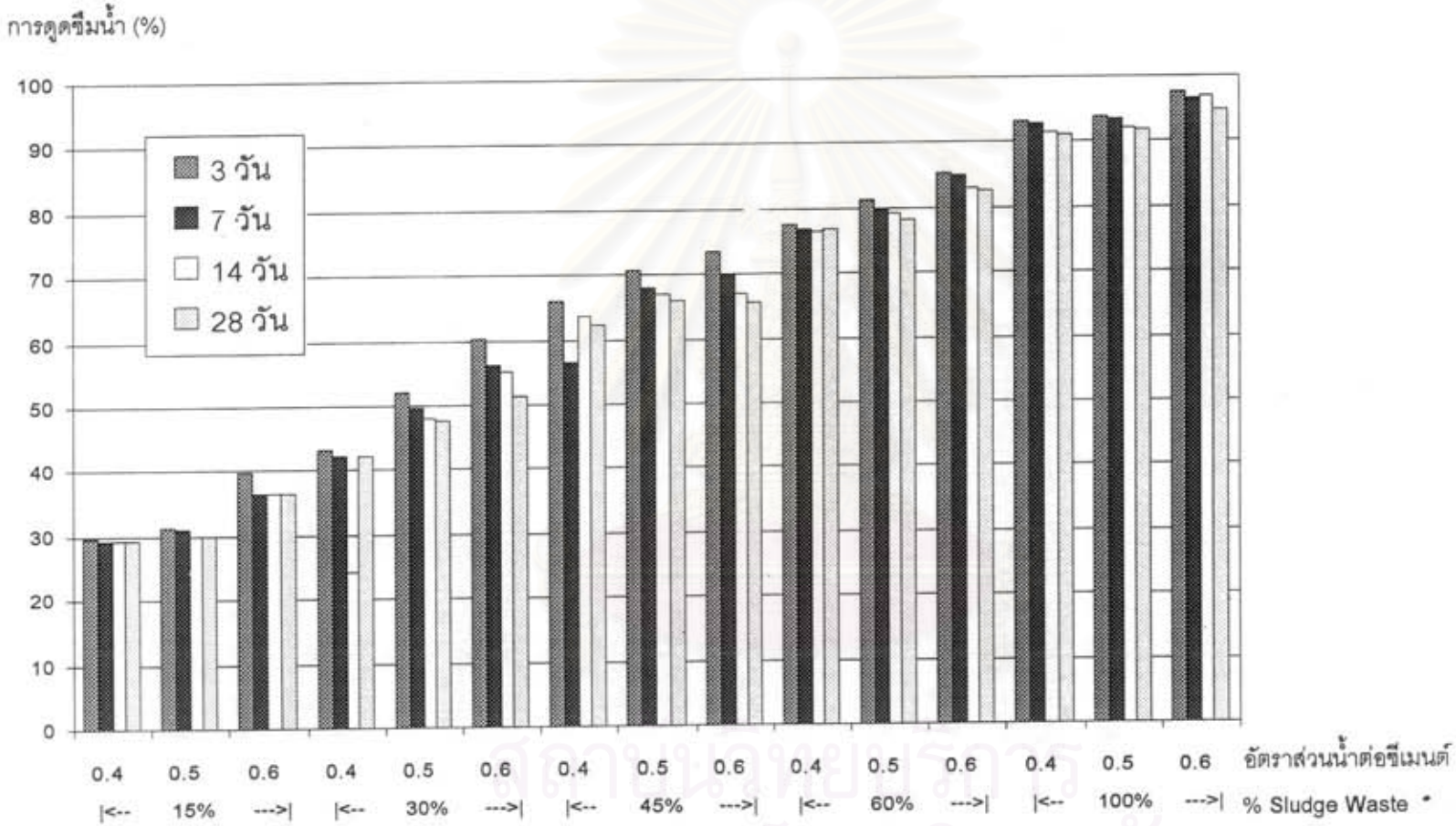
แต่ถ้าใช้อายุการบ่มน้ำของหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำลง โดยเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ คือ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

%การแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste	การดูดซึมน้ำ (%) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4				การดูดซึมน้ำ (%) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.5				การดูดซึมน้ำ (%) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	6.24	6.14	5.75	5.64	7.38	6.74	6.27	5.88	8.03	7.94	7.28	6.55
15	29.56	29.24	29.15	29.13	31.44	31.00	29.83	30.09	39.72	36.36	36.36	36.25
30	43.05	42.28	42.27	42.28	52.17	49.71	48.04	47.48	60.11	56.15	55.08	51.41
45	65.82	65.46	63.57	62.31	70.60	68.91	67.13	65.94	73.46	70.01	66.95	65.62
60	77.51	76.90	76.60	76.75	81.21	80.04	79.21	78.29	85.36	84.96	83.10	82.55
100	93.04	92.86	91.37	91.17	93.83	93.48	92.34	91.72	97.70	96.58	96.77	94.89

ตารางที่ 4.15 ผลทดสอบการดูดซึมน้ำของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อแทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตเมื่อเพิ่ม Sludge Waste ในส่วนผสมคอนกรีต

ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เพิ่มในส่วนผสมเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักรวมของส่วนผสม ได้แก่ 0% 10% 20% 30% 40% และ 50% สามารถแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้ดังนี้

4.2.4.1 ผลการทดสอบกำลังอัด

เป็นการประเมินความสามารถในการรับแรงอัดของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นวัสดุเพิ่มในส่วนผสม โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 5 ซม. ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบดังกล่าวจำนวน 360 ชิ้น เป็นไปตามตารางที่ 4.16 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของ Sludge Waste อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอายุการบ่มน้ำที่ใช้ในการผลิตหมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่ากำลังอัด

เมื่อเพิ่มปริมาณ Sludge Waste ในส่วนผสมคอนกรีตมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังอัดมีค่าลดลง คือ เปอร์เซนต์การเพิ่ม Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักรวมของส่วนผสม ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 10% 20% 30% 40% และ 50%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังอัดมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่ากำลังอัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

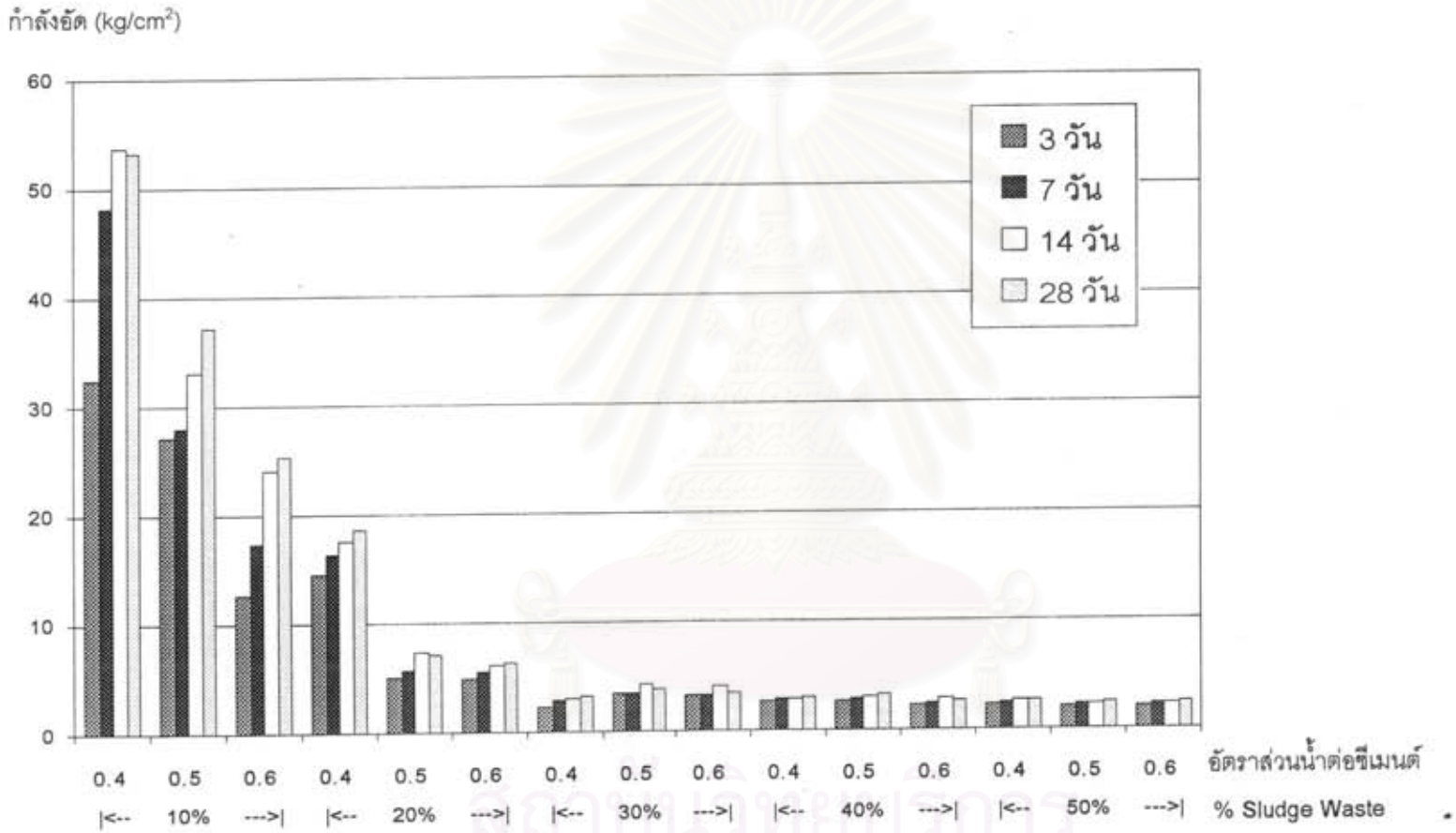
แต่ถ้าอายุการบ่มน้ำของหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่ากำลังอัดสูงขึ้น โดยเรียงตามลำดับจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ คือ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

หน่วย : กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

%การเพิ่ม Sludge Waste ในส่วนผสม	กำลังอัด ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4				กำลังอัด ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.5				กำลังอัด ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	169.34	217.36	245.03	269.64	155.11	211.71	241.43	262.06	151.50	204.96	237.97	259.88
10	32.38	48.11	53.64	53.29	27.20	28.06	33.12	37.20	12.64	17.27	24.04	25.21
20	14.42	16.28	17.63	18.50	5.03	5.62	7.33	7.19	4.98	5.45	6.12	6.30
30	2.34	2.85	3.10	3.33	3.54	3.49	4.27	3.86	3.29	3.30	4.10	3.53
40	2.58	2.78	2.86	3.00	2.66	2.92	3.02	3.19	2.25	2.46	2.89	2.64
50	2.26	2.45	2.57	2.67	2.04	2.20	2.28	2.35	2.06	2.16	2.31	2.36

ตารางที่ 4.16 ผลทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อเพิ่ม Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อเพิ่ม Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.4.2 ผลการทดสอบกำลังดัด

เป็นการประเมินความสามารถในการรับแรงดัดของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นวัสดุเพิ่มในส่วนผสม โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 5x50x5 ซม. ผลการทดสอบค่ากำลังดัดของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบดังกล่าว จำนวน 360 ชิ้น เป็นไปตามตารางที่ 4.17 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Sludge Waste อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอายุการบ่มน้ำที่ใช้ในการผลิตหมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่ากำลังดัด

เมื่อเพิ่มปริมาณ Sludge Waste ในส่วนผสมคอนกรีตมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังดัดมีค่าลดลง คือ เปอร์เซนต์การเพิ่ม Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักรวมของส่วนผสม ให้ค่ากำลังดัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 10% 20% 30% 40% และ 50%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังดัดมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่ากำลังดัดสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

แต่ถ้าใช้อายุการบ่มน้ำของหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่ากำลังดัดสูงขึ้น โดยเรียงตามลำดับจากน้อยไปหามากได้ดังนี้ คือ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

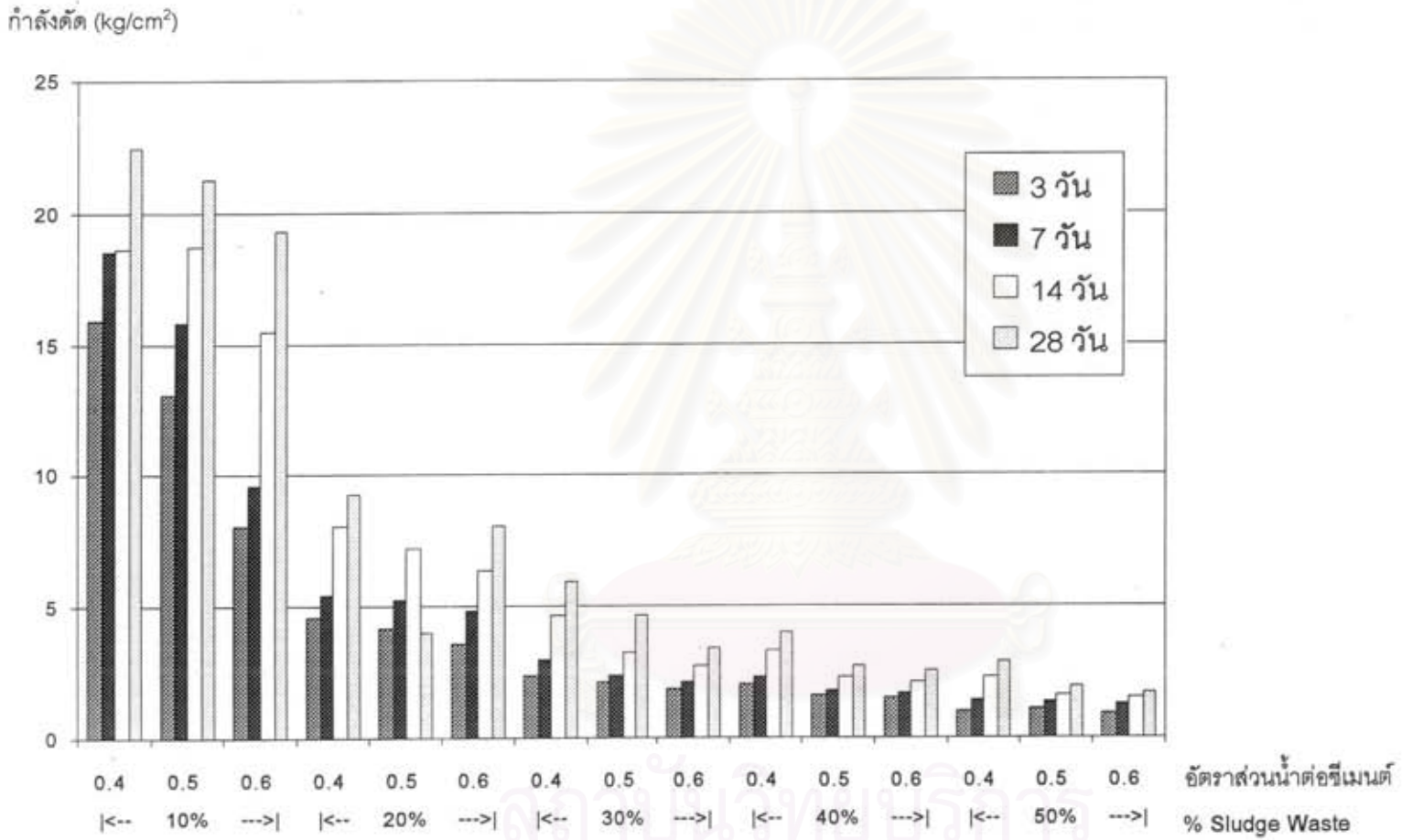
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน่วย : กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

%การเพิ่ม Sludge Waste ในส่วนผสม	กำลังอัด ที่อัตราส่วนน้ำต่อทราย = 0.4				กำลังอัด ที่อัตราส่วนน้ำต่อทราย = 0.5				กำลังอัด ที่อัตราส่วนน้ำต่อทราย = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	51.41	62.84	67.25	71.48	48.41	59.92	68.52	76.23	35.19	41.98	49.92	54.18
10	15.92	18.56	18.65	22.49	13.11	15.81	18.72	21.28	8.07	9.63	15.47	19.32
20	4.55	5.48	8.11	9.25	4.16	5.31	7.22	10.02	3.61	4.83	6.41	8.05
30	2.40	2.94	4.64	5.99	2.12	2.39	3.22	4.70	1.86	2.12	2.76	3.44
40	2.01	2.30	3.32	3.98	1.62	1.78	2.27	2.76	1.53	1.72	2.16	2.55
50	1.00	1.44	2.33	2.91	1.09	1.36	1.61	1.93	0.92	1.26	1.49	1.71

ตารางที่ 4.17 ผลทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อเพิ่ม Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบกำลังอัดของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อเพิ่ม Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.4.3 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นวัสดุเพิ่มในส่วนผสม โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 5 ซม. ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบดังกล่าวเป็นไปตามตารางที่ 4.18 และกราฟความสัมพันธ์รูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Sludge Waste และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ที่ใช้ในการผลิตหมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่น

เมื่อเพิ่มปริมาณ Sludge Waste ในส่วนผสมคอนกรีตมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง คือ เปอร์เซนต์การเพิ่ม Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักรวมของส่วนผสม ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 10% 20% 30% 40% และ 50%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่าความหนาแน่นสูงสุด และลดลงตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

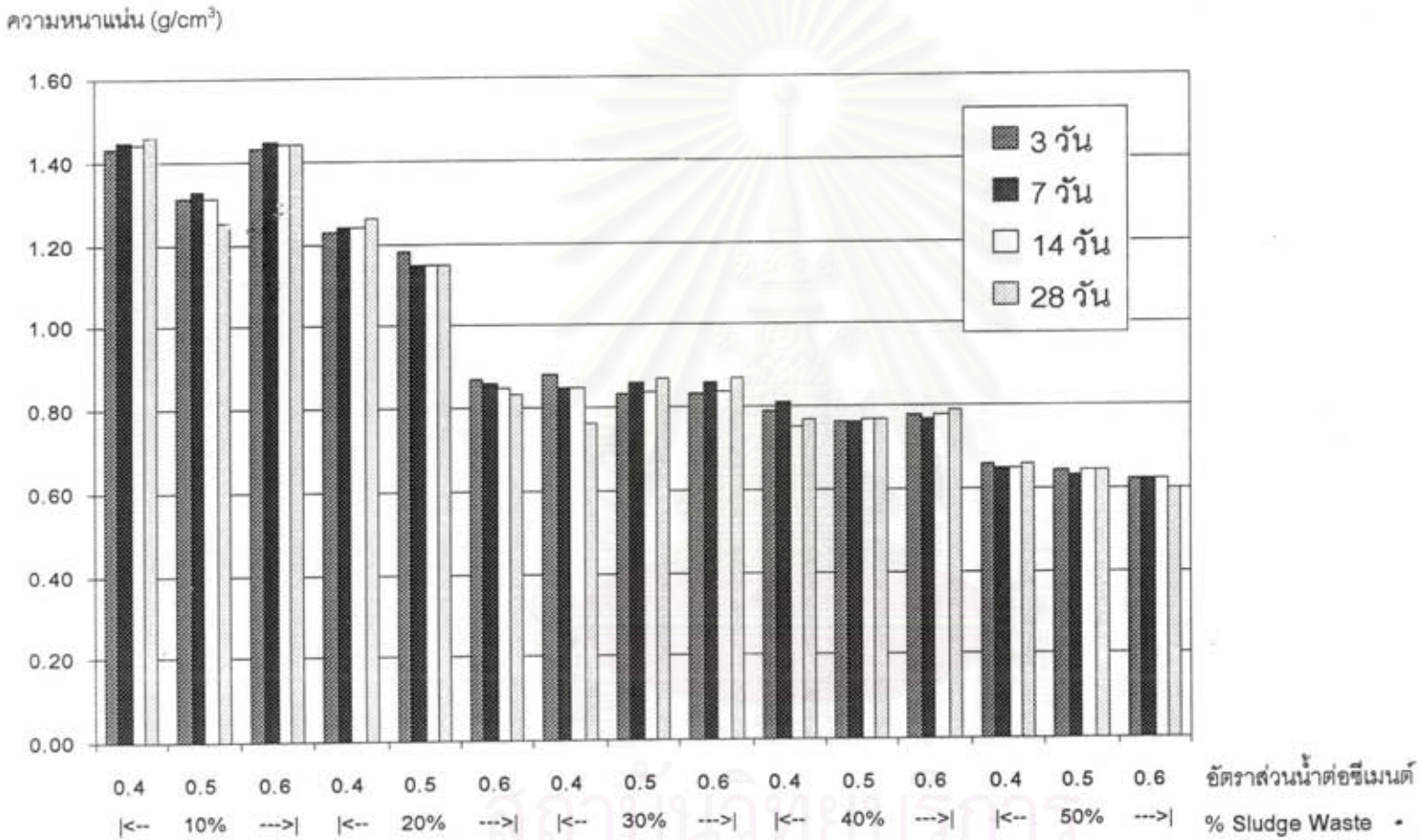
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน่วย : กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

%การเพิ่ม Sludge Waste ในส่วนผสม	ความหนาแน่น ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4				ความหนาแน่น ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.5				ความหนาแน่น ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	2.14	2.15	2.16	2.18	2.13	2.15	2.16	2.17	2.14	2.18	2.21	2.24
10	1.43	1.45	1.44	1.46	1.31	1.33	1.34	1.25	1.43	1.45	1.44	1.44
20	1.23	1.24	1.24	1.26	1.18	1.15	1.15	1.15	0.87	0.86	0.85	0.83
30	0.88	0.85	0.85	0.76	0.83	0.86	0.84	0.87	0.83	0.86	0.84	0.87
40	0.79	0.81	0.75	0.77	0.76	0.76	0.77	0.77	0.78	0.77	0.78	0.79
50	0.66	0.65	0.65	0.66	0.64	0.63	0.64	0.64	0.62	0.62	0.62	0.60

ตารางที่ 4.18 ผลทดสอบความหนาแน่นของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อเพิ่ม Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบความหนาแน่นของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อเพิ่ม Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

4.2.4.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำเป็นการทดสอบหาน้ำหนักน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปในชิ้นงานตัวอย่างทดสอบของส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เป็นวัสดุเพิ่มในส่วนผสม โดยทำชิ้นงานตัวอย่างทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 5 ซม. สามารถแสดงผลการทดสอบได้ตามตารางที่ 4.19 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของ Sludge Waste อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอายุการบ่มน้ำ ที่ใช้ในการผลิตหมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อการดูดซึมน้ำ

เมื่อเพิ่มปริมาณ Sludge Waste ในส่วนผสมคอนกรีตมากขึ้น ส่งผลให้การดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น คือ เปอร์เซนต์การเพิ่ม Sludge Waste ที่ 0% โดยน้ำหนักรวมของส่วนผสม ให้การดูดซึมน้ำต่ำสุด และเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 10% 20% 30% 40% และ 50%

และเมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง คือ ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จะให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด และเพิ่มขึ้นตามลำดับ คือ 0.5 และ 0.6

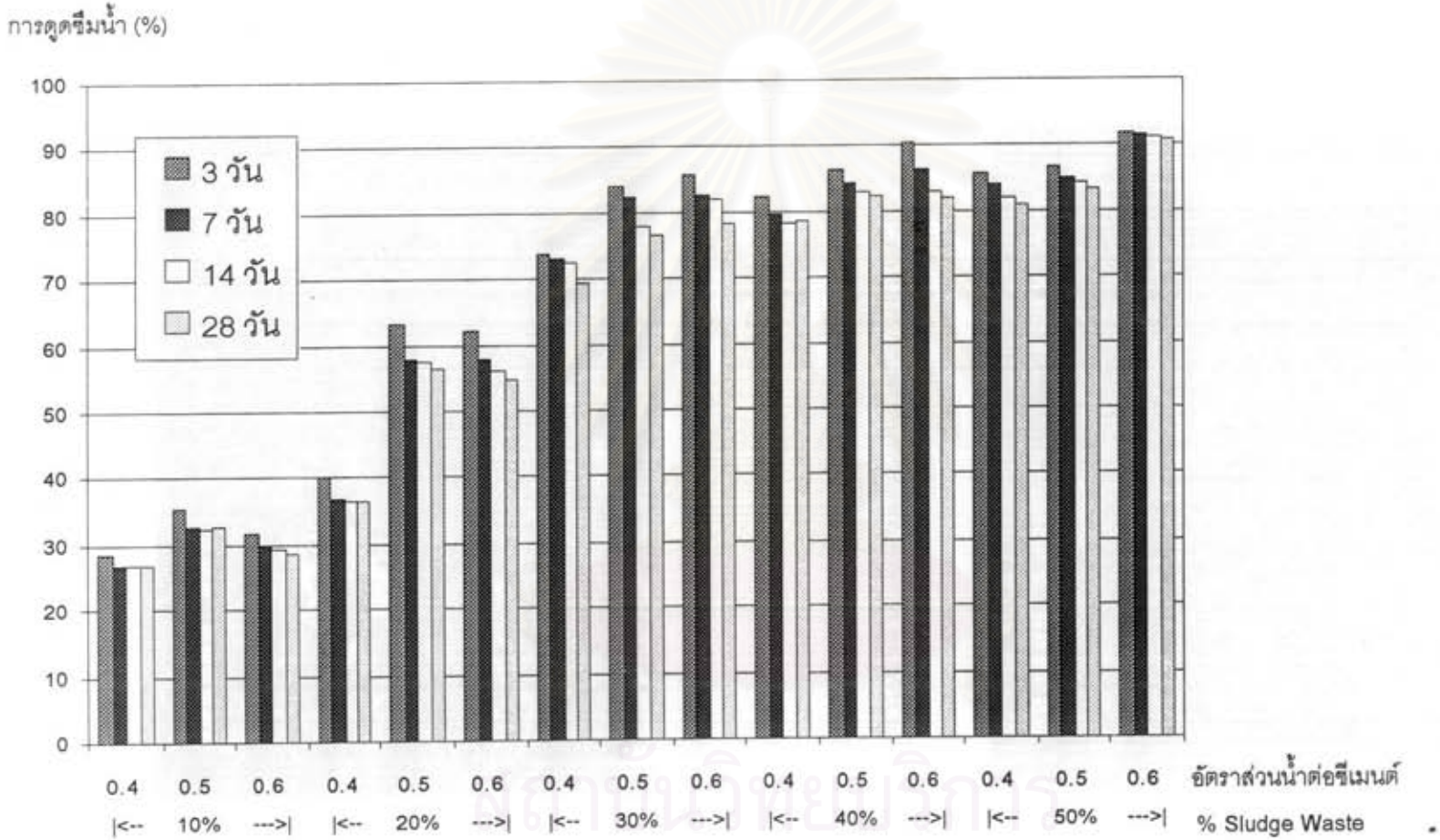
แต่ถ้าใช้อายุการบ่มน้ำของหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำลง โดยเรียงตามลำดับจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ คือ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

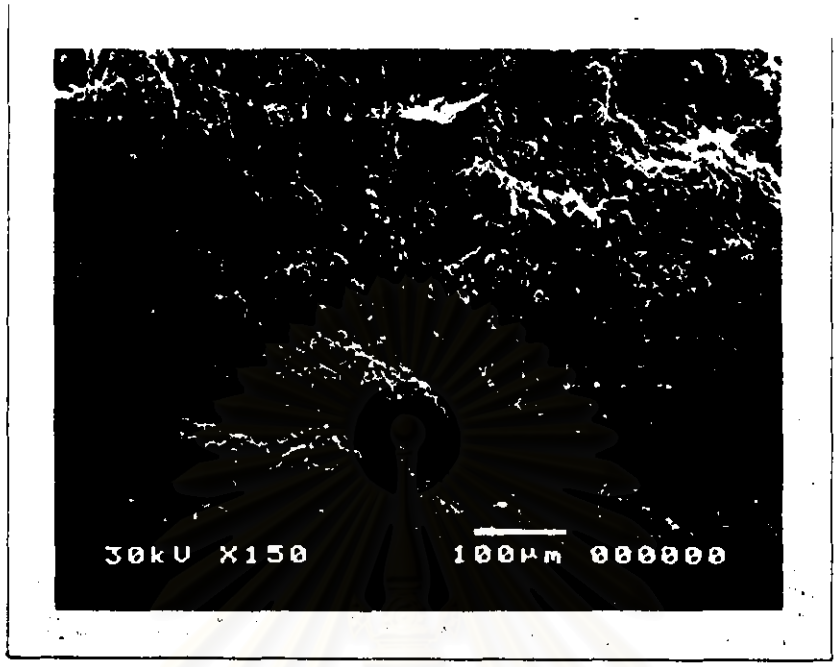
%การเพิ่ม Sludge Waste ในส่วนผสม	การดูดซึมน้ำ (%) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.4				การดูดซึมน้ำ (%) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.5				การดูดซึมน้ำ (%) ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ = 0.6			
	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	6.24	6.14	5.75	5.64	7.38	6.74	6.27	5.88	8.03	7.94	7.28	6.55
10	28.59	27.02	26.84	26.76	35.50	32.67	32.43	32.55	31.47	29.92	29.27	28.69
20	40.06	36.64	36.52	36.50	63.42	57.95	57.50	56.56	62.19	57.99	56.19	54.87
30	73.83	73.10	72.52	69.32	84.11	82.34	77.88	76.47	85.67	82.79	81.91	78.32
40	82.15	79.60	78.20	78.63	86.54	84.21	83.16	82.30	90.34	86.38	83.14	82.11
50	85.66	83.97	82.05	80.88	86.59	85.18	84.25	83.27	91.85	91.50	91.10	90.94

ตารางที่ 4.19 ผลทดสอบการดูดซึมน้ำของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อเพิ่ม Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

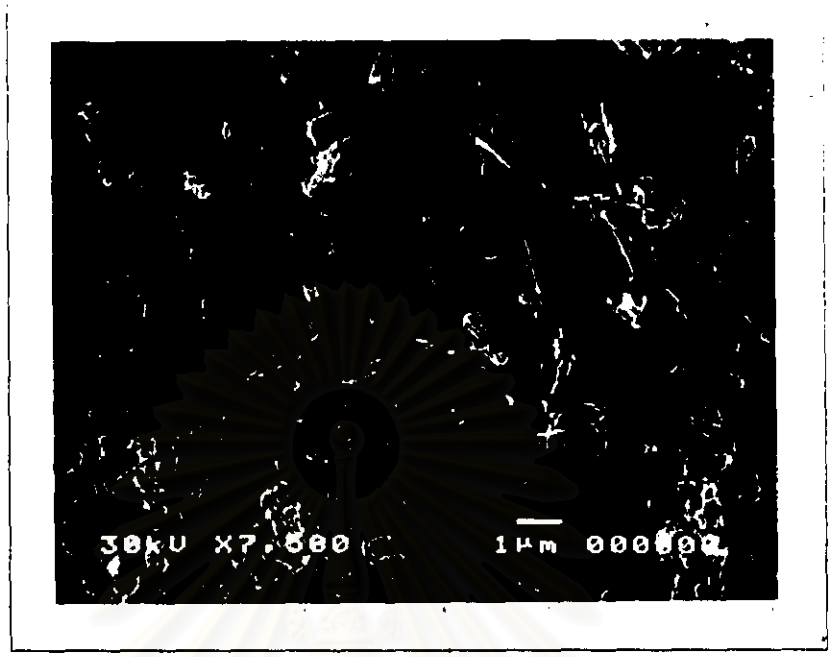


รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของส่วนผสมคอนกรีต เมื่อเพิ่ม Sludge Waste ในปริมาณต่างๆ

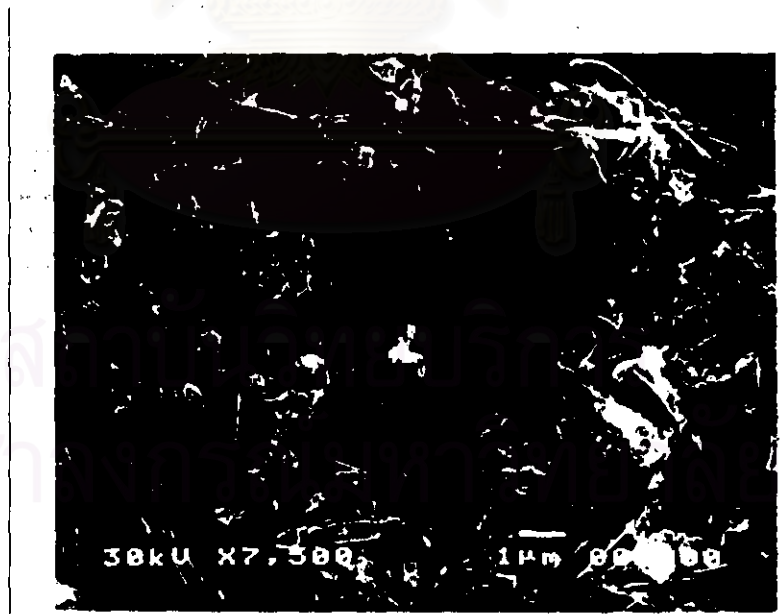


รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายลักษณะทั่วไปบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหัก ของส่วนผสมคอนกรีตที่มี Sludge Waste เป็นองค์ประกอบ กำลังขยาย 150 เท่า

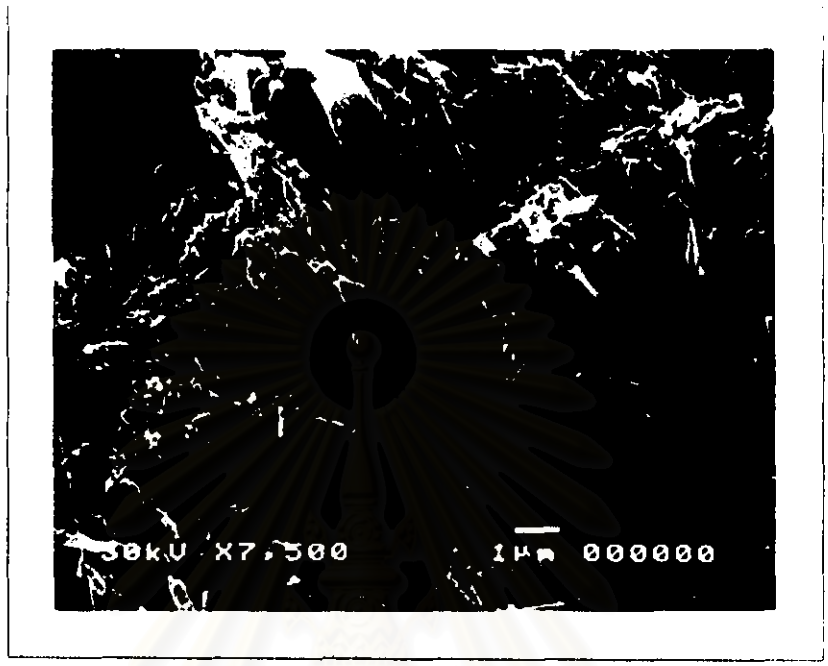
รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหักของส่วนผสมคอนกรีตปกติ กำลังขยาย 7,500 เท่า



รูปที่ 4.21 ภาพถ่ายบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหักของคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เพิ่มในส่วนผสม 10% โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 7,500 เท่า



รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหักของคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เพิ่มในส่วนผสม 20% โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 7,500 เท่า



รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยหักของคอนกรีตที่ใช้ Sludge Waste เพิ่มในส่วนผสม 30% โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 7,500 เท่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การวิเคราะห์ผลด้านต้นทุนวัตถุดิบและค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย

เป้าหมายของการวิจัยนี้ คือ คัดเลือกส่วนผสมหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องที่มี Sludge Waste เป็นองค์ประกอบ ที่สามารถรับแรงอัดเนื่องจากน้ำหนักของการกองกระเบื้องได้มากกว่า 30 กก./ตรซม. รวมทั้งสามารถลดต้นทุนวัตถุดิบและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียได้สูงสุด โดยมีรายละเอียดการพิจารณาคัดเลือกดังนี้

จากผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบ ส่วนผสมที่มีค่ากำลังอัดเหมาะสมต่อการใช้งาน และใช้อายุการบ่มไม่มากเกินไป คือ 7 วัน พบว่า มีจำนวนทั้งหมด 7 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 4.20

การพิจารณาต้นทุนการผลิตหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องในการวิจัยครั้งนี้ ไม่รวมราคาเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ ที่ไม่ใช่วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ในส่วน Sludge Waste ปัจจุบันโรงงานยังไม่มีการขายของเสียและยังไม่มีการนำไปใช้ในรูปแบบอื่น แต่นำไปฝังกลบ(เสียค่าใช้จ่ายในการกำจัด Sludge Waste 500 บาท/ตัน) จึงไม่คิดราคาวัตถุดิบส่วนนี้ ดังนั้นต้นทุนวัตถุดิบจึงมาจากปูนซีเมนต์ (ราคา 1.60บาท/กก.) ทราย(ราคา 0.18 บาท/กก.) และหินเกล็ด(ราคา 0.17 บาท/กก.) ซึ่งเมื่อนำ Sludge Waste มาใช้ในการผลิตหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องจำนวน 2 ล้านก้อน/ปี จะทำให้สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียได้ ผลการพิจารณาต้นทุนการผลิตหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องที่มีคุณสมบัติเชิงกลเหมาะสมต่อการใช้งานทั้ง 7 สูตร สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.21

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สูตรที่	การใช้ Sludge Waste	% การใช้ Sludge Waste	ส่วนผสมวัตถุดิบ C / S / ST /SW *	ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบ ที่อายุการบ่ม 7 วัน			
				กำลังอัด (kg/cm^2)	กำลังดัด (kg/cm^2)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	การดูดซึมน้ำ(%)
1	สูตรปกติ	0%	1.0 : 1.0 : 2.0 : 0.0	217.36	62.84	21.5	6.14
2	แทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste	10%	0.9 : 1.0 : 2.0 : 0.1	140.83	38.65	1.99	10.32
3	แทนที่ซีเมนต์ด้วย Sludge Waste	20%	0.8 : 1.0 : 2.0 : 0.2	48.15	22.02	1.74	17.63
4	แทนที่ทรายด้วย Sludge Waste	15%	1.0 : 0.85 : 2.0 : 0.15	119.85	40.98	1.70	17.31
5	แทนที่ทรายด้วย Sludge Waste	30%	1.0 : 0.7 : 2.0 : 0.3	36.80	21.89	1.35	29.86
6	แทนที่หินเกล็ดด้วย Sludge Waste	15%	1.0 : 1.0 : 1.7 : 0.3	54.23	20.23	1.35	29.24
7	เพิ่มในส่วนผสมคอนกรีต	10%	1.0 : 1.0 : 2.0 : 0.4	48.11	18.56	1.45	27.02

หมายเหตุ : C หมายถึง ปูนซีเมนต์ , ST หมายถึง หินเกล็ด
S หมายถึง ทราย , SW หมายถึง Sludge Waste

ตารางที่ 4.20 ส่วนผสมหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องที่มีค่ากำลังอัดมากกว่า 30 กก./ตร.ซม.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการ	ส่วนผสมปกติ	ส่วนผสมที่มีของเสียจากการผลิตกระเบื้องซีเมนต์ใยหินเป็นองค์ประกอบ					
		% การแทนที่ซีเมนต์		% การแทนที่ทราย		% การแทนที่หินเกล็ด	% การเพิ่มในส่วนผสม
		10%	20%	15%	30%	15%	10%
1. ต้นทุนวัตถุดิบ							
- ปูนซีเมนต์ (บาท/ก้อน)	1.6	1.44	1.28	1.6	1.6	1.6	1.45
- ทราย (บาท/ก้อน)	0.18	0.18	0.18	0.153	0.126	0.18	0.16
- หินเกล็ด (บาท/ก้อน)	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.289	0.31
- รวมต้นทุนวัตถุดิบ (บาท/ก้อน)	**2.12**	**1.96**	**1.8**	**2.093**	**2.066**	**2.069**	**1.93**
- ต้นทุนวัตถุดิบต่อปี (บาท)	4,240,000	3,920,000	3,600,000	4,186,000	4,132,000	4,138,000	3,854,545
ความแตกต่างลดต้นทุนวัตถุดิบกับส่วนผสมปกติ (บาท/ปี) (1)	-	**320,000**	**640,000**	**54,000**	**108,000**	**102,000**	**385,455**
2. ปริมาณของเสียที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ต่อปี (ตัน)	-	200	400	300	600	600	727
- ค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย(บาท/ตัน)		500	500	500	500	500	500
รวมค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย (บาท/ปี) (2)		**100,000**	**200,000**	**150,000**	**300,000**	**300,000**	**363,636**
3. รวมการประหยัดต้นทุนวัตถุดิบและค่ากำจัดของเสีย (บาท/ปี) (1) + (2)		**420,000**	**840,000**	**204,000**	**408,000**	**402,000**	**749,091**

หมายเหตุ : 1. ส่วนผสมปกติ ปูนซีเมนต์ : ทราย : หินเกล็ด = 1 : 1 : 2

2. ราคาวัตถุดิบ ปูนซีเมนต์ 1.6 บาท/กก. ทราย 0.18 บาท/กก. และหินเกล็ด 0.17 บาท/กก.

3. ค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย เป็นค่าขนส่งและฝังกลบ คิดเป็น 500 บาท/ตัน

4. ต้นทุนวัตถุดิบต่อปีและค่าใช้จ่ายกำจัดของเสียต่อปี คิดที่การผลิตหมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง 2 ล้านก้อน/ปี

ตารางที่ 4.21 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการนำ Sludge Waste มาทำหมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการพิจารณาด้านคุณสมบัติเชิงกลและการพิจารณาต้นทุนวัตถุดิบเพื่อคัดเลือกส่วนผสมวัตถุดิบและเงื่อนไขการผลิตที่เหมาะสม ระหว่าง ปูนซีเมนต์ ทราย หินเกล็ด Sludge Waste อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และอายุการบ่ม เพื่อให้ได้หมอนคอนกรีตรองกระเบื้องที่มีคุณสมบัติเชิงกลเหมาะสมต่อการใช้งาน และสามารถลดต้นทุนวัตถุดิบและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียได้สูงสุด พบว่า ส่วนผสมวัตถุดิบและเงื่อนไขการผลิตที่เหมาะสม คือ ซีเมนต์ : ทราย : หินเกล็ด : Sludge Waste เป็น 0.8 : 1 : 2 : 0.2 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 เพื่อให้ได้ความข้นเหลวที่พอเหมาะต่อการขึ้นรูป และควรบ่มส่วนผสมคอนกรีตหลังจากการขึ้นรูปไม่น้อย 7 วัน

4.5 ผลการทดสอบการใช้งานจริงของหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องที่มี Sludge Waste เป็นองค์ประกอบ

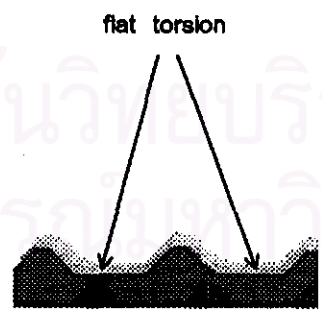
จากผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่ได้รับจากการนำ Sludge Waste มาใช้ในการผลิตหมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง ได้คัดเลือกสูตรที่ให้ค่ากำลังอัดมากกว่า 30 กก./ตร.ซม. และสามารถลดต้นทุนวัตถุดิบและค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียได้มากที่สุด คือ ซีเมนต์ : ทราย : หินเกล็ด : Sludge Waste เป็น 0.8 : 1 : 2 : 0.2 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 และอายุการบ่ม 7 วัน แล้วนำไปผลิตเป็นหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องขนาดเท่าชิ้นงานจริงเพื่อทดลองเปรียบเทียบผลการใช้งานจริงระหว่างหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องสูตรปกติกับหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องที่มี Sludge Waste เป็นองค์ประกอบ ผลการทดลองใช้งานจริงใน 3 ลักษณะเป็นไปดังนี้

4.5.1 ลักษณะที่ 1

ทดลองใช้หมอนคอนกรีตรองกระเบื้องวางบนพื้นราบ แล้วนำกระเบื้องลอนคู่ น้ำหนักแผ่นละประมาณ 6.5 กก. วางซ้อนขึ้นเรื่อยๆ จนกว่าหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องแตกหักเสียหาย ทำการทดลอง 5 ครั้ง แต่ละครั้งใช้หมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง 2 ก้อน รวม 10 ก้อน พบว่า หมอนคอนกรีตรองกระเบื้องที่ผลิตจากสูตรที่คัดเลือกจากการทดลองนี้ สามารถใช้กองกระเบื้องลอนคู่ได้เฉลี่ย 459 แผ่น หรือรับน้ำหนักได้ประมาณ 3,000 กก.

ทดลองครั้งที่	หมอนคอนกรีตรองกระเบื้องเลขที่	จำนวนกระเบื้อง (แผ่น)	ลักษณะการแตกหัก
1	1/1	468	ร้าวที่ flat torsion ด้านซ้าย
	1/2	468	ร้าวที่ flat torsion ทั้ง 2 ด้าน
2	2/1	426	ไม่แตกร้าว
	2/2	426	ร้าวที่ flat torsion ด้านขวา
3	3/1	440	ร้าวที่ flat torsion ด้านซ้าย
	3/2	440	ไม่แตกร้าว
4	4/1	487	ร้าวที่ flat torsion ทั้ง 2 ด้าน
	4/2	487	ร้าวที่ flat torsion ทั้ง 2 ด้าน
5	5/1	472	ร้าวที่ flat torsion ด้านขวา
	5/2	472	ร้าวที่ flat torsion ทั้ง 2 ด้าน
ค่าเฉลี่ย	-	459	-

ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองใช้งานจริงของหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องในลักษณะที่ 1



รูปที่ 4.24 บริเวณที่เกิดการแตกร้าวของหมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง(flat torsion)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.2 <u>ลักษณะที่ 2</u>

ทดลองใช้หมอนคอนกรีตรองกระเบื้องวางบนพื้นราบ แล้วนำกระเบื้องลอนคู่ น้ำหนักแผ่นละประมาณ 6.5 กก. วางซ้อนขึ้นเป็น 3 ชั้น ชั้นละ 130 แผ่น แต่ละชั้นมี pallet คั่น บันทึกข้อมูลผลการทดลองหลังการกองกระเบื้อง 7 วัน และ 14 วัน โดยทำการทดลอง 4 ครั้ง แต่ละครั้งใช้หมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง 6 ก้อน รวม 24 ก้อน พบว่า หมอนคอนกรีตรองกระเบื้องที่ผลิตจากสูตรที่คัดเลือกจากการทดลองนี้ สามารถใช้กองกระเบื้องลอนคู่ได้โดยไม่มีการแตกหักเสียหาย

ทดลองครั้งที่	หมอนคอนกรีตรองกระเบื้องเลขที่	ผลการทดลองใช้งานหลังการกองกระเบื้อง	
		7 วัน	14 วัน
1	1/1	ไม่แตกร้าว	ร้าวที่ flat torsion ด้านขวา
	1/2	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	1/3	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	1/4	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	1/5	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	1/6	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
2	2/1	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	2/2	ร้าวที่ flat torsion ด้านขวา	ร้าวที่ flat torsionทั้ง 2 ด้าน
	2/3	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	2/4	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	2/5	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	2/6	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
3	3/1	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	3/2	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	3/3	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	3/4	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	3/5	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	3/6	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว

ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองใช้งานจริงของหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องในลักษณะที่ 2

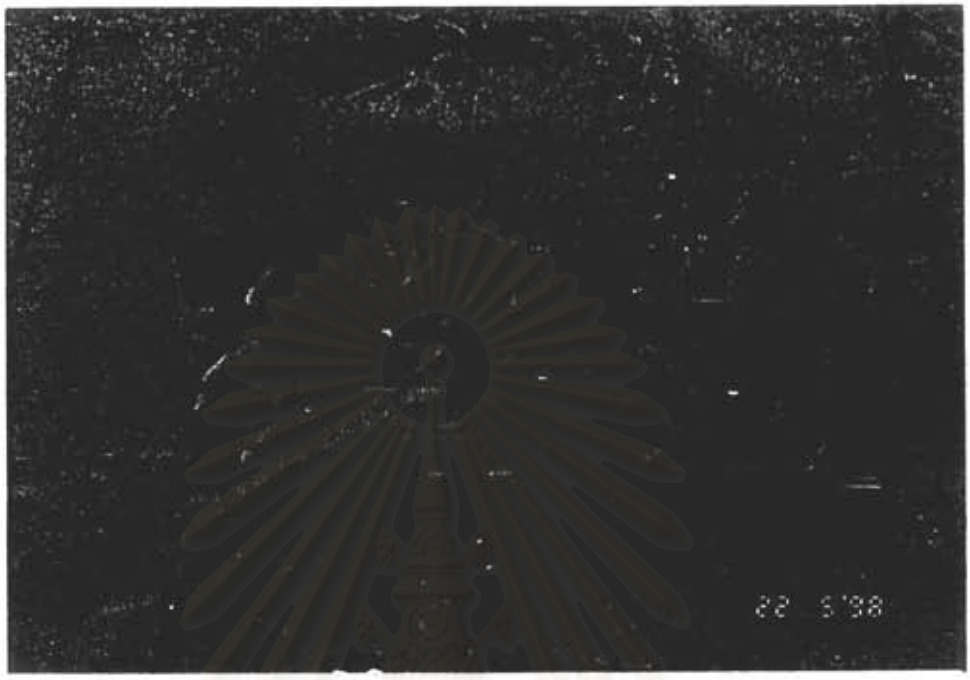
ทดลองครั้งที่	หมอนคอนกรีตรองกระเบื้องเลขที่	ผลการทดลองใช้งานหลังการกองกระเบื้อง	
		7 วัน	14 วัน
4	4/1	ไม่แตกร้าว	ร้าวที่ flat torsionทั้ง 2 ด้าน
	4/2	ร้าวที่ flat torsion ด้านซ้าย	ร้าวที่ flat torsion ด้านซ้าย
	4/3	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	4/4	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	4/5	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว
	4/6	ไม่แตกร้าว	ไม่แตกร้าว

ตารางที่ 4.23(ต่อ) ผลการทดลองใช้งานจริงของหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องในลักษณะที่ 2

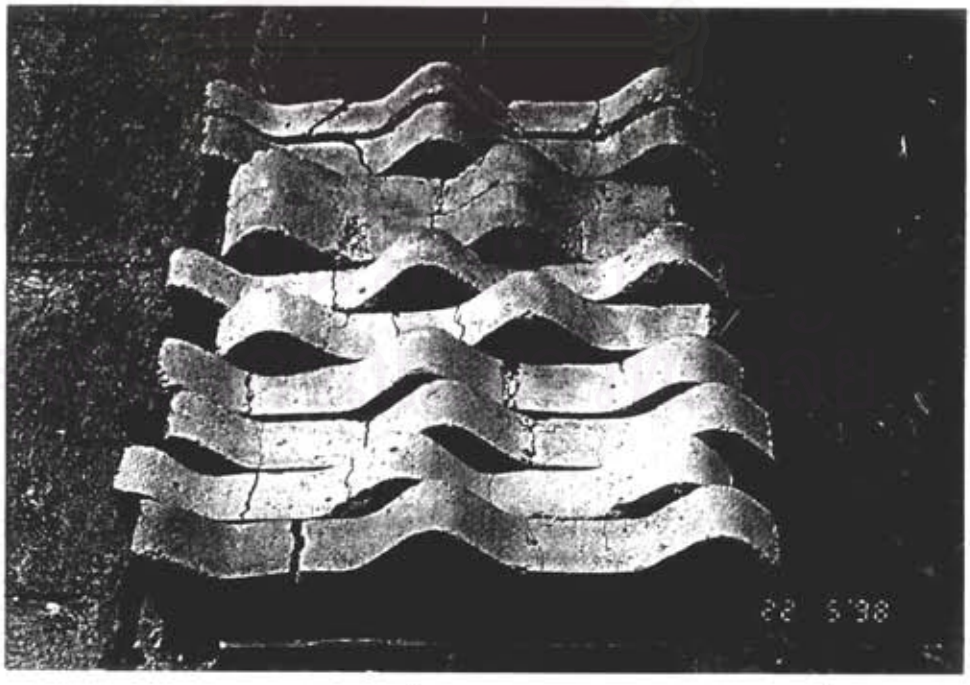
4.5.3 ลักษณะที่ 3

ทดลองใช้หมอนคอนกรีตรองกระเบื้องสูตรทดลองเปรียบเทียบกับหมอนคอนกรีตสูตรปกติ ในการกองกระเบื้องลอนคู่ น้ำหนักแผ่นละประมาณ 6.5 กก. วางซ้อนเป็นกอง กองละ 200 แผ่น บนรถบรรทุกคันเดียวกันส่งให้ลูกค้า รวมระยะทางประมาณ 200 กิโลเมตร ทำการทดลองกองกระเบื้องสูตรละ 20 กอง แต่ละกองใช้หมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง 2 ก้อน รวมสูตรละ 40 ก้อน พบว่า หมอนคอนกรีตรองกระเบื้องทุกก้อนของทั้ง 2 สูตร เกิดรอยแตกร้าวที่บริเวณ flat torsion แต่เนื้อคอนกรีตยังเกาะตัวและทรงตัวเป็นรูปหมอนคอนกรีตรองกระเบื้อง(ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.25 ถึง 4.26) และหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องทุกก้อนสามารถกองกระเบื้องและขนส่งถึงลูกค้าได้โดยไม่มีกระเบื้องแตกหักเสียหาย

จากการทดลองใช้งานหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องทั้ง 3 ลักษณะ พบว่าหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องสูตรทดลองที่ใช้อัตราส่วนผสม ซีเมนต์ : ทราย : หินเกล็ด : Sludge Waste เป็น 0.8 : 1 : 2 : 0.2 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.4 และอายุการบ่ม 7 วัน สามารถใช้งานได้เหมือนหมอนคอนกรีตสูตรปกติ



รูปที่ 4.25 สภาพหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องปกติหลังจากใช้กองกระเบื้องส่งให้ลูกค้า



รูปที่ 4.26 สภาพหมอนคอนกรีตรองกระเบื้องสูตรทดลองหลังจากใช้กองกระเบื้องส่งให้ลูกค้า