

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ

การทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุ จะใช้วิธีการตามมาตรฐาน ASTM ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว
ในบทที่ 3 สำหรับค่าของคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2
ส่วนรายละเอียดการทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์และเถ้าลอย

ที่มา: * ผลการทดสอบเถ้าลอยโดยฝ่ายวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้าฝ่ายผลิต
แห่งประเทศไทย

คุณสมบัติ	ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย*
Chemical Composition		
SiO ₂ (%)	20.20	40.89
Fe ₂ O ₃ (%)	2.92	13.33
Al ₂ O ₃ (%)	5.42	19.79
CaO (%)	63.82	14.54
MgO (%)	1.50	2.08
SO ₃ (%)	2.30	2.71
LOI (%)	2.92	0.35
Specific Gravity	3.15	2.20
Fineness (wet seive, >45 μ m. %)	-	37.5

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของมวลรวม

คุณสมบัติ	ทราย		หิน $\frac{3}{4}$ "	
	Sive No.	Passing (%)	Sive No.	Passing (%)
ขนาดกละ	#4	98.83	1"	100
	#8	92.45	$\frac{3}{4}$ "	95.60
	#16	75.84	$\frac{1}{2}$ "	57.89
	#30	48.32	$\frac{3}{8}$ "	28.97
	#50	11.91	#4	0.37
	#100	1.00		
ความถ่วงจำเพาะสภาวะอบแห้ง	2.24		2.68	
ความถ่วงจำเพาะสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง	2.27		2.69	
ค่าความดูดซึม	1.52		0.42	

4.2 ผลการผสมคอนกรีตและค่าการยุบตัว

วิธีการคำนวณหาส่วนผสมของคอนกรีต ทำได้โดยใช้ตารางการคำนวณที่เสนอไว้ในภาคผนวก ก ซึ่งได้ผลการคำนวณดังแสดงในรายการคำนวณส่วนผสมในภาคผนวก ค โดยแต่ละส่วนผสม ออกแบบสำหรับก้อนตัวอย่างชุดละ 25 ก้อน ในแต่ละชุดจะแบ่งเป็น 4 ชุดย่อย ชุดละ 5 ก้อน สำหรับทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7, 14, 28 และ 56 วัน และเพื่อไว้ 5 ก้อน สำหรับความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ระหว่างการทดสอบ ส่วนความเสียหายระหว่างการผสมและสำหรับทดสอบค่าการยุบตัว จะเพื่อไว้ร้อยละ 30 ของส่วนผสม 25 ก้อน ระหว่างการผสม มีการควบคุมเวลาของแต่ละขั้นตอนไว้เป็นอย่างดีตามขั้นตอนการผสมในบทที่ 3 ตารางที่ 4.3 แสดงส่วนผสมของคอนกรีต 20 ชุด ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งต่อปริมาตรคอนกรีต 1 ลบ.ม. ภายใต้อุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างทำการผสม $26^{\circ}\text{C} - 33^{\circ}\text{C}$ และร้อยละ 55 - 85 ตามลำดับ ปรับปริมาณน้ำตามค่าการยุบตัวเท่ากับ 0 ซม. และค่าเวลาวิบิอยู่ในช่วง 7-8 วินาที ตารางที่ 4.4 แสดงส่วนผสมของคอนกรีต 20 ชุด ในสภาวะผสมจริงซึ่งได้ปรับปริมาณหิน ทราย และน้ำ ตามความชื้นจริงที่มีอยู่ในหินและทราย และค่าเวลาวิบิที่วัดได้ วิธีการเก็บรักษาความชื้นหินและทรายให้มีความแปรผันน้อยที่สุดทำได้โดยนำหินและทรายไปเก็บไว้ในภาชนะปิดมิดชิดในที่ร่ม โดยส่วนใหญ่แล้วทรายและหินจะมีความชื้นน้อยกว่าค่าการดูดซึม ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับค่าการยุบตัวเท่ากับ 0 ซม. และค่าเวลาวิบิอยู่ในช่วง 7-8 วินาที จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใส่เถ้าลอยลงไปมากขึ้นทำให้ความต้องการน้ำสำหรับ

ค่าการยุบตัวที่กำหนดมีแนวโน้มลดลงโดยที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานคงที่ และผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน เมื่อพิจารณาที่ปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าลอย ในปริมาณที่เท่ากัน พบว่าความต้องการน้ำสำหรับค่าการยุบตัวที่กำหนดมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเช่นกัน

ตารางที่ 4.3 ส่วนผสมคอนกรีตต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม.

ชื่อตัวอย่าง	ส่วนผสมคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)					อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (ร้อยละ)
	น้ำ	เถ้าลอย	ซีเมนต์	ทราย	หิน		
NS0-0.33	180	0	546	479	1118	30	79
NS15-0.33	180	82	464	454	1118	32.5	74
NS25-0.33	170	129	386	484	1118	33	83
NS35-0.33	165	175	325	492	1118	31.5	76
NS0-0.38	180	0	474	531	1118	31	72
NS15-0.38	180	71	403	509	1118	30	78
NS25-0.38	160	105	316	582	1118	29.5	80
NS35-0.38	160	147	274	568	1118	32	79
NS0-0.43	180	0	419	571	1118	29.5	72
NS15-0.43	170	59	336	592	1118	31	56
NS25-0.43	155	90	270	641	1118	32.5	76
NS35-0.43	155	126	234	630	1118	29	83
NS0-0.48	180	0	375	602	1118	29	64
NS15-0.48	165	52	292	643	1118	34	81
NS25-0.48	150	78	234	691	1118	33	78
NS35-0.48	150	109	203	681	1118	33	56

ตารางที่ 4.4 ส่วนผสมคอนกรีตสภาพผสมจริงต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม. ที่มีค่าการยุบตัวเป็นศูนย์

ชื่อตัวอย่าง	%ความชื้น		ส่วนผสมคอนกรีตตามสภาพจริง (กก./ลบ.ม.)					ค่าเวลาวิปี (วินาที)
	ทราย	หิน	น้ำ	เถ้าลอย	ซีเมนต์	ทราย	หิน	
NS0-0.33	0.41	0.08	189	0	546	474	1114	8
NS15-0.33	0.73	0.12	187	82	464	450	1115	7
NS25-0.33	1.27	0.10	175	129	386	482	1115	8
NS35-0.33	1.17	0.11	170	175	325	490	1115	8
NS0-0.38	0.41	0.08	190	0	474	525	1114	8
NS15-0.38	1.02	0.10	186	71	403	506	1115	7
NS25-0.38	1.25	0.13	165	105	316	580	1115	7
NS35-0.38	1.23	0.09	165	147	274	567	1114	7
NS0-0.43	0.43	0.09	190	0	419	564	1114	7
NS15-0.43	1.12	0.11	176	59	336	589	1114	8
NS25-0.43	1.25	0.13	160	90	270	640	1115	7
NS35-0.43	1.13	0.09	160	126	234	628	1114	7
NS0-0.48	0.73	0.12	188	0	375	597	1115	7
NS15-0.48	0.98	0.10	172	52	292	639	1115	8
NS25-0.48	1.17	0.11	156	78	234	688	1115	8
NS35-0.48	1.12	0.11	156	109	203	678	1115	8

ตารางที่ 4.5 ปริมาณน้ำสำหรับการยุบตัวเป็นศูนย์และค่าเวลาวิบีเป็น 7-8 วินาที ของคอนกรีตสด (กก./ม.³)

w/b แฉะลอย	ปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีต (กก./ม. ³)			
	0.33	0.38	0.43	0.48
0%	180	180	180	180
15%	180	180	170	165
25%	170	160	155	150
35%	165	160	155	150

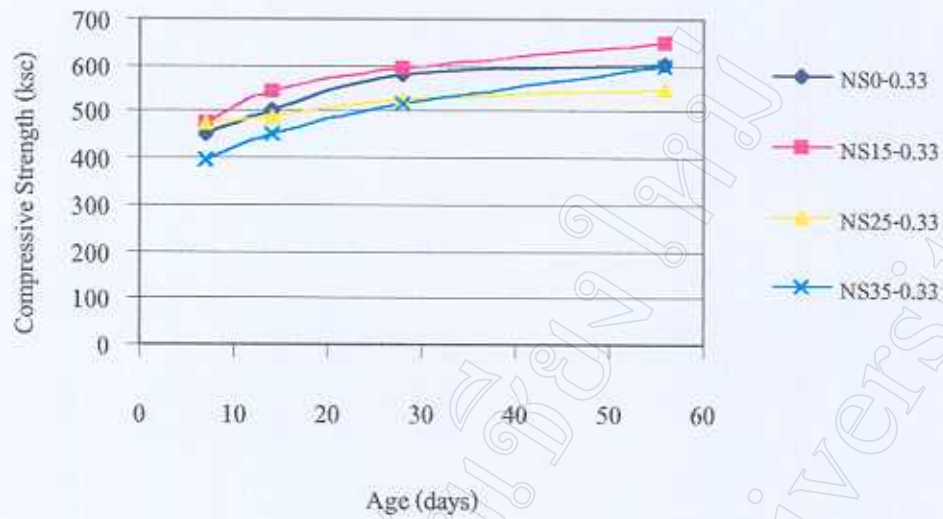
4.3 ผลการทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดจะกระทำที่อายุ 7 14 28 และ 56 วัน ซึ่งจะนำตัวอย่างคอนกรีตขึ้นจากบ่อพิมพ์คอนกรีตก่อนการทดสอบ 1 วัน สำหรับผลการทดสอบกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 ส่วนข้อมูลการแสดงผลการทดสอบกำลังอัดทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ง.

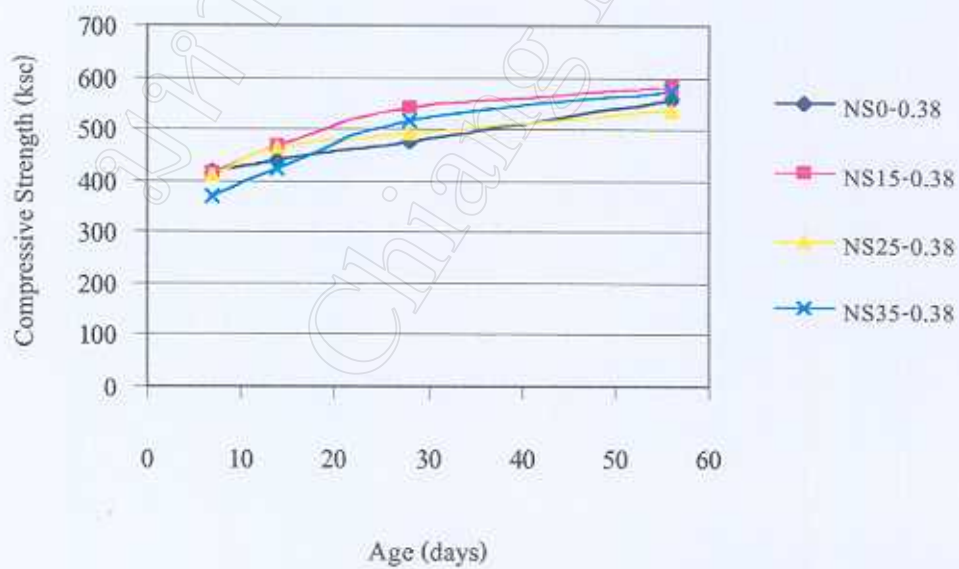
พิจารณາตารางที่ 4.6 สำหรับอัตราส่วน w/b เดียวกันที่ 0.38 0.43 0.48 คอนกรีตที่ผสมแฉะลอยเหมาะสมในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 15 25 และ 35 จะให้กำลังอัดที่อายุ 7 วัน น้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมแฉะลอย ส่วนที่ 0.33 คอนกรีตที่ผสมแฉะลอยเหมาะสมในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 15 และ 25 จะให้กำลังอัดที่อายุ 7 วัน มากกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมแฉะลอย โดยกำลังอัดของคอนกรีตที่มีการแทนที่ด้วยแฉะลอยในปริมาณที่มากกว่าจะให้กำลังอัดต่ำกว่า โดยเฉพาะในช่วง 7 และ 14 วัน แต่เมื่อคอนกรีตมีอายุเพิ่มขึ้นจนถึงที่อายุ 28 และ 56 วัน พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมแฉะลอยร้อยละ 15 25 และ 35 ของทุกอัตราส่วน w/b มีกำลังอัดเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงหรือสูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมแฉะลอย ซึ่งที่อายุมากกว่า 14 วัน พบว่าทุกอัตราส่วน w/b จะได้กำลังอัดของคอนกรีตที่มีการแทนที่ด้วยแฉะลอยร้อยละ 15 สูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมแฉะลอย ส่วนการแทนที่ร้อยละ 25 และ 35 ที่อายุต่างๆ ยังคงให้กำลังอัดเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมแฉะลอย ที่อัตราส่วน w/b เท่ากับ 0.33 น้อยกว่า แต่ที่อัตราส่วน w/b เท่ากับ 0.38 0.43 และ 0.48 มากกว่า แต่อย่างไรก็ตาม กำลังอัดที่ได้ถือว่าเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมแฉะลอยเมื่ออายุวันเพิ่มขึ้น รูปที่ 4.1 4.2 4.3 และ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบผลของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมและไม่ผสมแฉะลอยกับอายุวันต่างๆ ของอัตราส่วน w/b เท่ากับ 0.33 0.38 0.43 และ 0.48 ตามลำดับ ซึ่งจากรูปจะเห็นผลการเปลี่ยนแปลงของกำลังอัดชัดเจนยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.6 กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตผสมเถ้าลอย

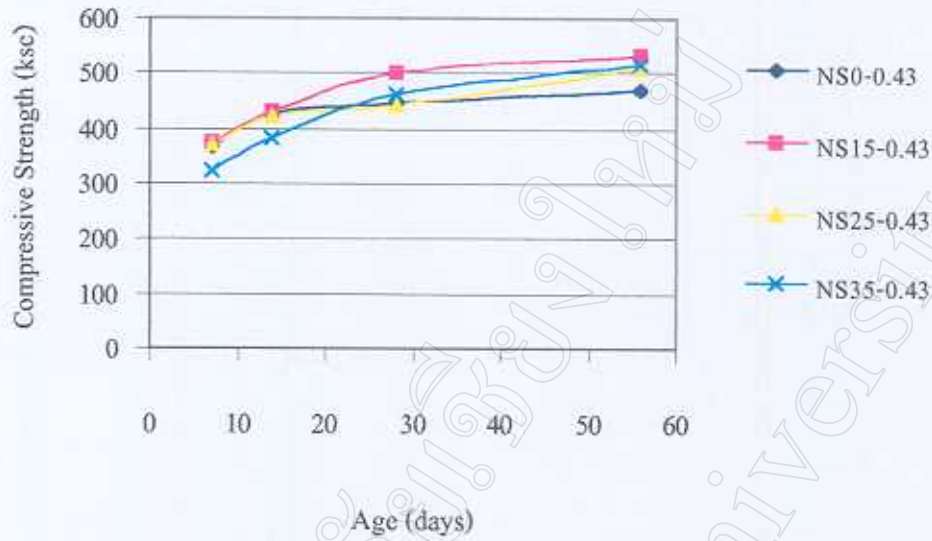
อัตราส่วน w/b	ร้อยละเถ้าลอย	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม. ²)			
		7วัน	14วัน	28วัน	56วัน
0.33	0	452	502	582	605
0.33	15	472	544	594	650
0.33	25	476	486	525	548
0.33	35	397	452	515	598
0.38	0	420	441	476	559
0.38	15	414	466	541	582
0.38	25	410	462	494	536
0.38	35	372	423	516	572
0.43	0	369	428	446	470
0.43	15	375	432	502	533
0.43	25	370	424	444	510
0.43	35	325	382	461	518
0.48	0	341	375	396	449
0.48	15	333	369	423	491
0.48	25	309	359	426	480
0.48	35	289	322	391	474



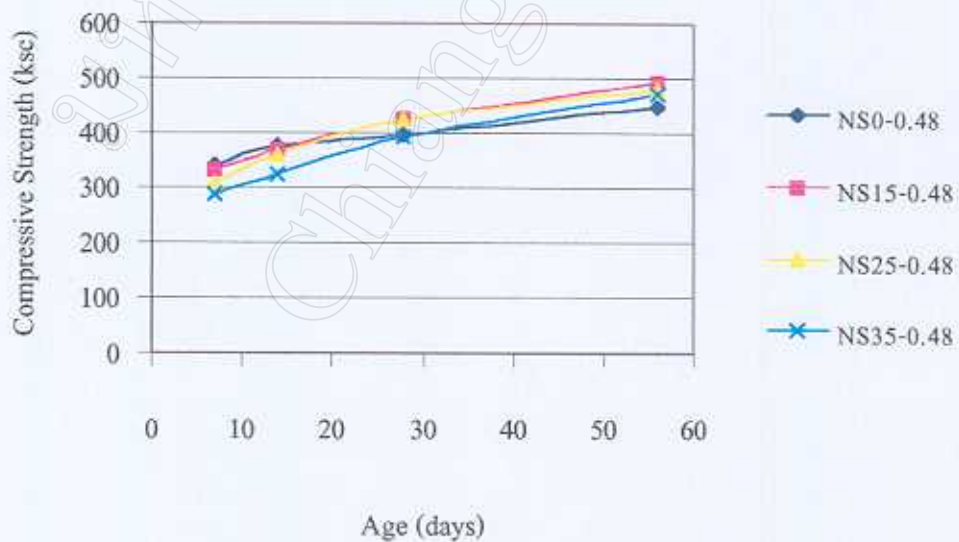
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุคอนกรีตสำหรับ $w/b = 0.33$



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุคอนกรีตสำหรับ $w/b = 0.38$



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุคอนกรีตสำหรับ $w/b = 0.43$



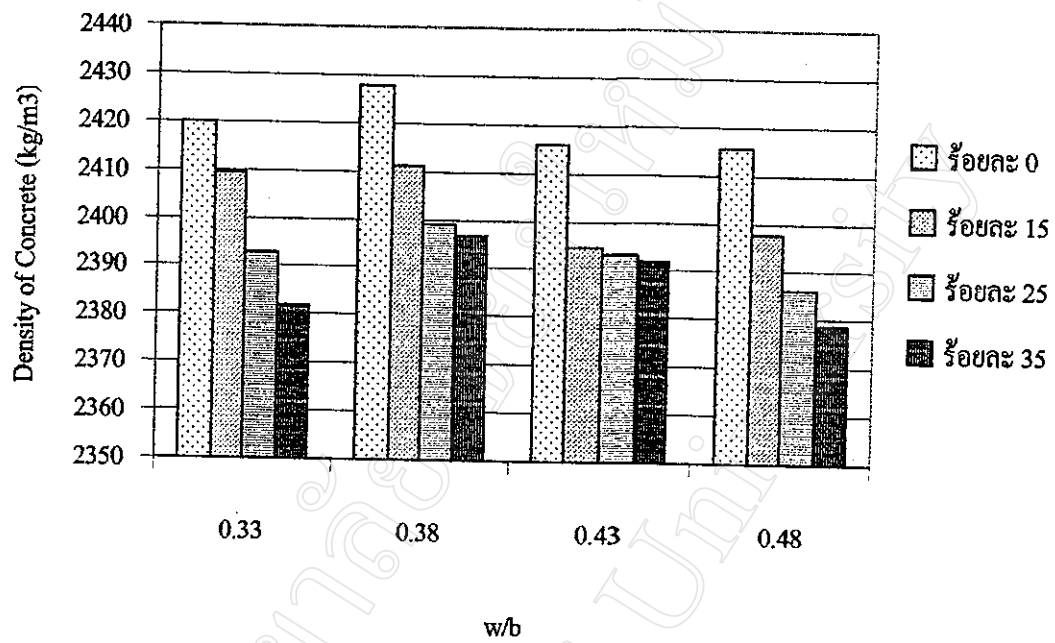
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุคอนกรีตสำหรับ $w/b = 0.48$

4.4 ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีต

การทดสอบหาความหนาแน่นคอนกรีตทำได้โดยนำก้อนตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก หาปริมาตรของก้อนตัวอย่างโดยการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของก้อนตัวอย่าง จากนั้นนำมาคำนวณหา น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.7 พิจารณาอัตราส่วน w/b เดียวกันและแทนที่ด้วยเถ้าลอยในปริมาณที่เท่ากัน พบว่าเมื่ออายุเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของคอนกรีตมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและค่อนข้างจะคงที่ แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า w/b หรือปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าลอยกลับพบว่าความหนาแน่นของคอนกรีตมีการเปลี่ยนแปลง พิจารณาตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.6 พบว่า เมื่ออัตราส่วน w/b เพิ่มขึ้นและร้อยละการแทนที่ด้วยเถ้าลอยไม่เปลี่ยนแปลง ความหนาแน่นของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วน w/b มากกว่า 0.38 แต่สำหรับที่อัตราส่วน w/b น้อยกว่า 0.38 คือที่ 0.33 จะมีค่าน้อยกว่าที่ 0.38 และพบว่าเมื่อร้อยละการแทนที่ด้วยเถ้าลอยเพิ่มขึ้นและอัตราส่วน w/b ไม่เปลี่ยนแปลง ความหนาแน่นของคอนกรีตก็มีแนวโน้มลดลงด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตผสมเถ้าลอย

w/b	ความหนาแน่นเฉลี่ย (กก./ม. ³)			
	ร้อยละ 0	ร้อยละ 15	ร้อยละ 25	ร้อยละ 35
0.33	2420	2409	2393	2382
0.38	2428	2411	2399	2397
0.43	2416	2395	2393	2392
0.48	2416	2398	2386	2379



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตผสมเถ้าลอย