บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในบทนี้จะบรรยายถึงการดำเนินการและผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอนประกอบด้วยการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเถ้าปาล์มน้ำมัน การหาอัตราส่วนของเถ้าปาล์มในมอร์ต้าและคอนกรีต การทดสอบคุณสมบัติของมอร์ต้าและคอนกรีตที่ได้จากอัตราส่วนผสมข้างต้น เพื่อหาอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำมาผลิตอิฐคอนกรีต รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนและราคาของอิฐคอนกรีตที่ได้ ซึ่งผลการวิจัยมีรายละเอียดตามลำดับดังนี้

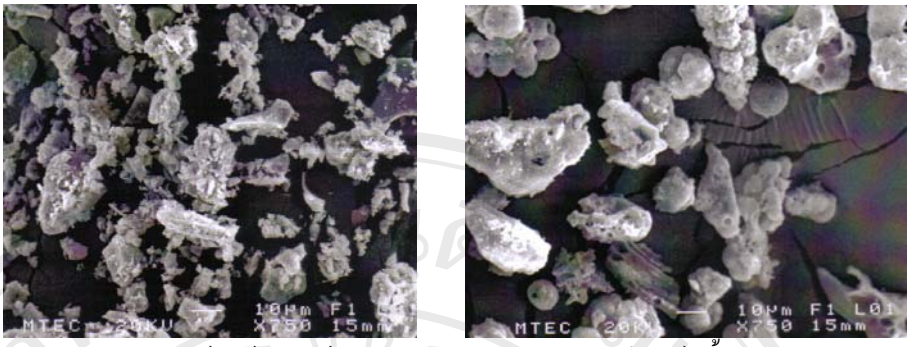
4.1 การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเถ้าปาล์ม

เถ้าปาล์มที่นำมาศึกษาได้มาจากโรงงานในเขตจังหวัดกระบี่ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันและโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มมากที่สุดในประเทศ โดยเลือกโรงงานที่มีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีปริมาณเถ้าปาล์มจำนวนมาก ได้แก่ โรงงานสยามโมเดิร์นปาล์มและโรงงานเอเชี่ยนน้ำมันปาล์ม และนำคุณสมบัติที่ได้มาเปรียบเทียบกับเถ้าปาล์มจากโรงงานอื่นๆที่มีการศึกษาวิจัยคุณสมบัติเบื้องต้นมาแล้ว

4.1.1 สีและรูปร่างของอนุภาคเถ้าปาล์ม

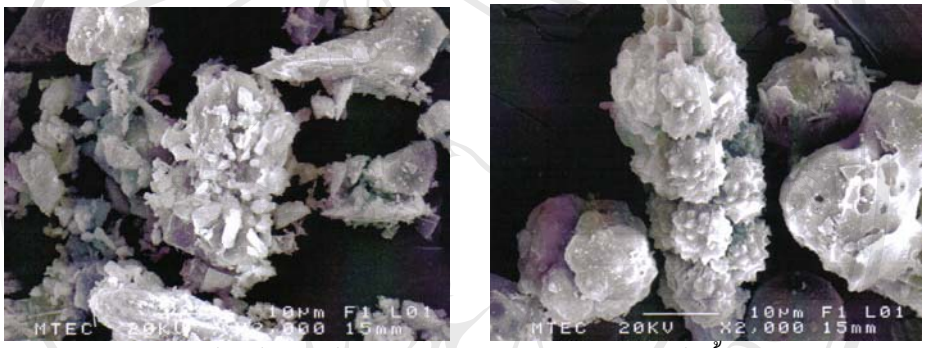
จากตัวอย่างเถ้าปาล์มที่เก็บมาเมื่อเปรียบเทียบกับสีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีสีเทาอ่อน ส่วนสีของเถ้าปาล์มจะเป็นสีเทาเข้มปนดำ และมีลักษณะเป็นฝุ่นผงละเอียด ฟุ้งกระจายได้ง่าย เมื่อพิจารณาภาพขยายอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าปาล์มที่กำลังขยาย 750 เท่า (ภาพ 4.1) และกำลังขยาย 2000 เท่า (ภาพ 4.2) โดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) จากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) พบว่าอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีรูปร่างไม่แน่นอน เป็นเหลี่ยมมุม มีผิวขรุขระ ส่วนอนุภาคของเถ้าปาล์มจะมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคของปูนซีเมนต์ มีลักษณะกลมมน ติดกันเป็นกลุ่มก้อน ขนาดไม่สม่ำเสมอกัน อนุภาคมีรูพรุนทำให้มีการดูดซึมน้ำมาก ดังนั้นเมื่อนำไปเป็นวัสดุปอซโซลานอาจจะส่งผลให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) มากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ข) เถ้าปาล์มน้ำมัน

ภาพ 4.1 ภาพขยายอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าปาล์มที่กำลังขยาย 750 เท่า



(ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ข)เถ้าปาล์มน้ำมัน

ภาพ 4.2 ภาพขยายอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าปาล์มที่กำลังขยาย 2000 เท่า

4.1.2 ความถ่วงจำเพาะและขนาดอนุภาค

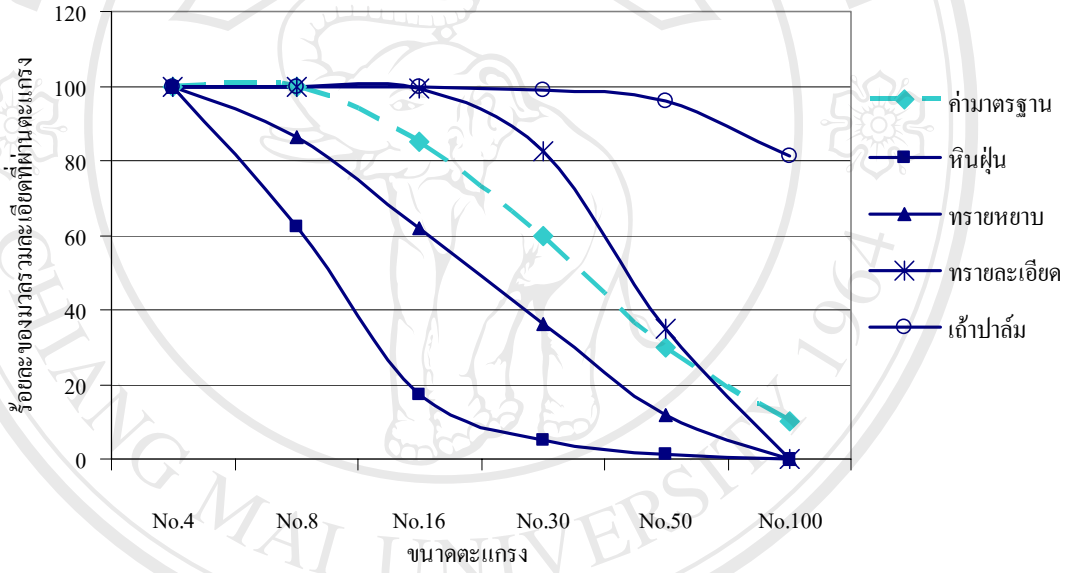
จากการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.166 เถ้าปาล์มมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.248 สำหรับขนาดอนุภาคเฉลี่ยของปูนซีเมนต์เท่ากับ 37.67 ไมครอน อนุภาคร้อยละ 50 โดยปริมาตรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 19.98 ไมครอน ส่วนเถ้าปาล์มมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับเท่ากับ 36.37 ไมครอน อนุภาคร้อยละ 50โดยปริมาตรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 31.81 ไมครอน ปูนซีเมนต์มีการกระจายตัวร้อยละ 80 อยู่ในช่วง 3.34-67.98 ไมครอน ส่วนเถ้าปาล์มมีการกระจายตัวร้อยละ 80 อยู่ในช่วง 12.24-67.12 ไมครอน

เมื่อเปรียบเทียบขนาดคละของมวลรวมกับมาตรฐาน ASTM C33 ซึ่งเป็นข้อกำหนดส่วนคละของมวลรวม พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานมวลรวมละเอียด ขนาดคละของหินฝุ่นทรายและเถ้าปาล์มจะแสดงตามตาราง 4.1 และการกระจายของขนาดอนุภาค (Grain Size Distribution) ดังแสดงในภาพ 4.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.1 ขนาดคละของวัสดุมวลรวมกับค่ามาตรฐานตาม ASTM C33

ขนาดตะแกรง	ร้อยละของมวลรวมที่ผ่านตะแกรง				
	ค่ามาตรฐาน	หินฝุ่น	ทรายหยาบ	ทรายละเอียด	เถ้าปาล์ม
No.4	95-100	100	100	100	100
No.8	80-100	62.4	86.4	100	100
No.16	50-85	17.2	62	99.2	99.8
No.30	25-60	5.2	36.4	82.4	99
No.50	10-30	1.2	11.6	34.8	95.8
No.100	2-10	0	0	0	81.4



ภาพ 4.3 การกระจายขนาดอนุภาคเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตาม ASTM C33

จากขนาดคละของเถ้าปาล์มที่มีความละเอียดสูงนี้ เมื่อแทนที่มวลรวมด้วยเถ้าปาล์มจำนวนมากเพื่อผลิตอิฐคอนกรีตจะทำให้มวลรวมมีขนาดคละละเอียดเพิ่มขึ้น ขนาดคละของมวลรวมจะเป็นขนาดคละขาดตอนทำให้เกิดการแยกตัว (Segregation) ได้ง่าย ส่งผลต่อความสามารถในการขึ้นรูปได้และการรับน้ำหนักของอิฐคอนกรีต ดังนั้นในการผสมคอนกรีตโดยใช้เถ้าปาล์มเป็นวัสดุมวลรวมควรเลือกมวลรวมที่มีขนาดไม่แตกต่างกันมากเพื่อลดการแยกตัวของคอนกรีต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.3 องค์ประกอบทางเคมี

เมื่อนำเถ้าปาล์มมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเพื่อใช้เปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ พบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 65.72 โดยมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2), อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และเฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) เท่ากับร้อยละ 20.11, 5.06 และ 3.02 ตามลำดับ เถ้าปาล์มมีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 73.99 มีอะลูมิเนียมออกไซด์ และเฟอริกออกไซด์ร้อยละ 2.71 และ 1.96 ตามลำดับตามตาราง 4.2

ตาราง 4.2 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1และเถ้าปาล์มน้ำมันจากโรงงานต่าง ๆ

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ตัวอย่างเถ้าปาล์มน้ำมัน			
		1	2	3	4
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)	20.11	73.99	70.19	65.3	48.65
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	5.06	2.71	1.34	2.50	2.52
เฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3)	3.02	1.96	2.06	1.90	3.62
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	65.72	7.43	8.73	6.40	14.02
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	2.42	3.73	4.99	3.00	6.13
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	-	7.43	0.13	0.30	0.05
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	1.01	4.61	6.58	5.70	17.55
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)	-	-	-	0.40	2.49
ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ (Loss on Ignition :LOI)	3.07	6.18	9.40	10.00	0.13

หมายเหตุ

1: เถ้าปาล์มจากบริษัทเอเชี่ยนน้ำมันปาล์ม จำกัด

2: เถ้าปาล์มจากบริษัทสยามโมเดิร์นปาล์ม จำกัด

3: เถ้าปาล์มจากบริษัทยูนิวานิชน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) (วีรชาติ ตั้งจิรภัทรและคณะ, 2546)

4: เถ้าปาล์มจากบริษัทนามหงส์น้ำมันปาล์ม จำกัด (Danupon Tonnayopas, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM C 618 ที่กำหนดองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุปอซโซลาน Class N พบว่าผลรวมของซิลิกอนไดออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ และเฟอริกออกไซด์ของเถ้าปาล์มมีค่าร้อยละ 78.66 มากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือร้อยละ 70 ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ น้อยกว่าร้อยละ 4 และค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ ของเถ้าปาล์มมีค่าร้อยละ 6.18 น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ร้อยละ 10 ตามตาราง 4.3 เถ้าปาล์มจึงสามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลาน Class N ซึ่งเป็นวัสดุปอซโซลานธรรมชาติได้

ตาราง 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มกับสารปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C 618

องค์ประกอบทางเคมี	วัสดุปอซโซลาน			เถ้าปาล์ม
	Class N	Class F	Class C	
$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$, min., %	70.0	70.0	50.0	78.66
Sulfur Trioxide (SO_3), max., %	4.0	5.0	5.0	-
Loss on Ignition, max., %	10.0	6.0	6.0	6.18

วัสดุปอซโซลาน Class N จะสามารถใช้ในการทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนได้ โดยปริมาณการแทนที่จะขึ้นอยู่กับความละเอียด การศึกษาคุณสมบัติของมอร์ต้าและคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มจะช่วยบ่งชี้ถึงความสามารถในการเป็นวัสดุปอซโซลานของเถ้าปาล์มได้

4.2 การทดลองหาส่วนผสมที่เหมาะสมโดยใช้เถ้าปาล์มมาเป็นส่วนผสมในมอร์ต้าและคอนกรีต

4.2.1 การทดลองนำเถ้าปาล์มมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์

จากการศึกษาองค์ประกอบของเถ้าปาล์มพบว่าสามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลานซึ่งสามารถใช้ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนได้ ดังนั้นจึงทำการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของมอร์ต้าที่ได้จากการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าปาล์มในมอร์ต้าในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 เพื่อเปรียบเทียบกับมอร์ต้ามาตรฐานที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายในมอร์ต้าเป็น 1: 2.75 โดยน้ำหนัก

ในการทดลองขั้นแรก เป็นการหาความต้องการน้ำของส่วนผสม (Water: Cement Ratio; W/C) โดยใช้ความสามารถในการเทได้เป็นเกณฑ์ นั่นคือค่าการทดสอบการยุบตัว (Slump Test) ประมาณ 10 เซนติเมตร ซึ่งได้ผลดังแสดงในตาราง 4.4 จะเห็นว่าส่วนผสมที่มีเถ้าปาล์มผสมอยู่มากจะมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มากด้วย ซึ่งอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มากจะส่งผลต่อค่าการรับแรงอัดของมอร์ต้าได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.4 อัตราส่วนผสมและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของมอร์ต้า

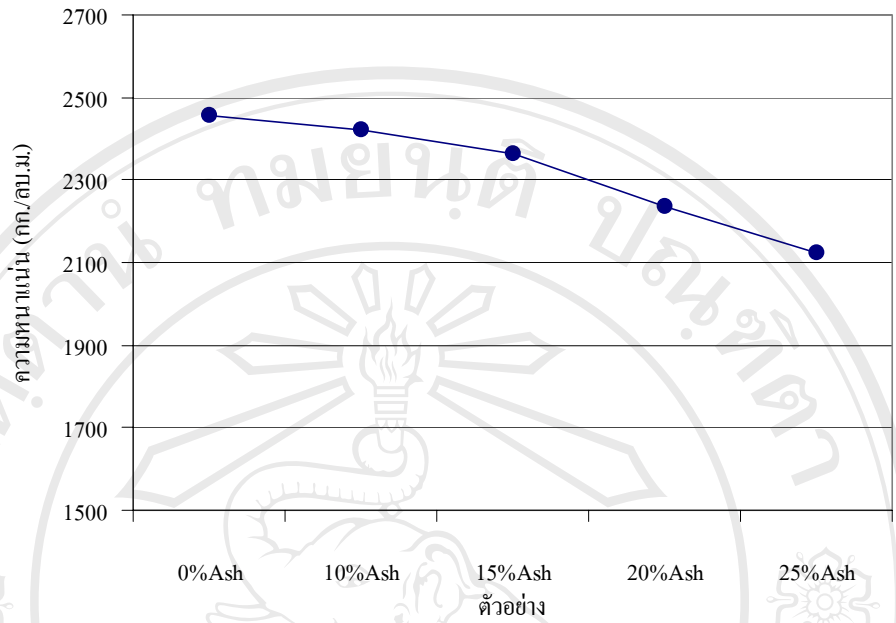
ตัวอย่าง	อัตราส่วนผสม			W/(C+A)
	ปูนซีเมนต์	เถ้าปาล์ม	ทราย	
0% Ash	1	0	2.75	0.55
10% Ash	0.90	0.10	2.75	0.60
15% Ash	0.85	0.15	2.75	0.62
20% Ash	0.80	0.20	2.75	0.65
25% Ash	0.75	0.25	2.75	0.65

เมื่อทำการทดลองหาค่าความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนต่างกันเปรียบเทียบกับมอร์ต้ามาตรฐาน ผลที่ได้แสดงตามตาราง 4.5

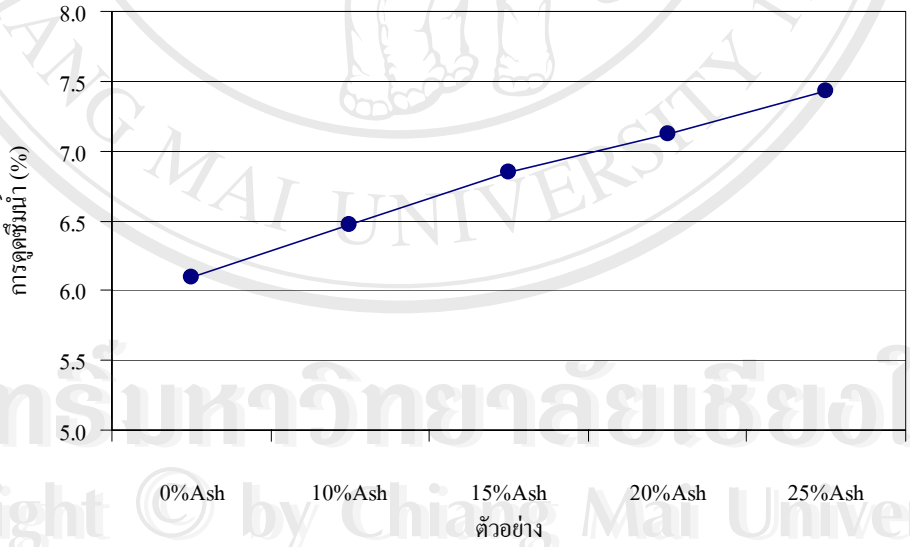
ตาราง 4.5 ค่าความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ร้อยละของความหนาแน่นเปรียบเทียบกับ 0% Ash	การดูดซึมน้ำ (%)	ร้อยละของการดูดซึมน้ำเปรียบเทียบกับ 0% Ash
0%Ash	2,457.12	100.00	6.10	100.00
10%Ash	2,422.40	98.59	6.47	106.07
15%Ash	2,362.20	96.14	6.85	112.30
20%Ash	2,236.80	91.03	7.12	116.72
25%Ash	2,121.60	86.34	7.43	121.80

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.4 ความหนาแน่นของมอร์ต้าที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มต่างกัน



ภาพ 4.5 ค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มต่างกัน

จากภาพ 4.4 และ 4.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณเถ้าปาล์มเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นของมอร์ต้าจะลดลง เมื่อผสมเถ้าปาล์มแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 25 ค่าความหนาแน่นของมอร์ต้าจะลดลงประมาณร้อยละ 15 เมื่อเทียบกับมอร์ต้ามาตรฐาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้าปาล์ม โดยเมื่อผสมเถ้าปาล์มแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 25 มอร์ต้าจะมีค่าการดูดซึมน้ำเป็นร้อยละ 7.43 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากมอร์ต้ามาตรฐานประมาณร้อยละ 20

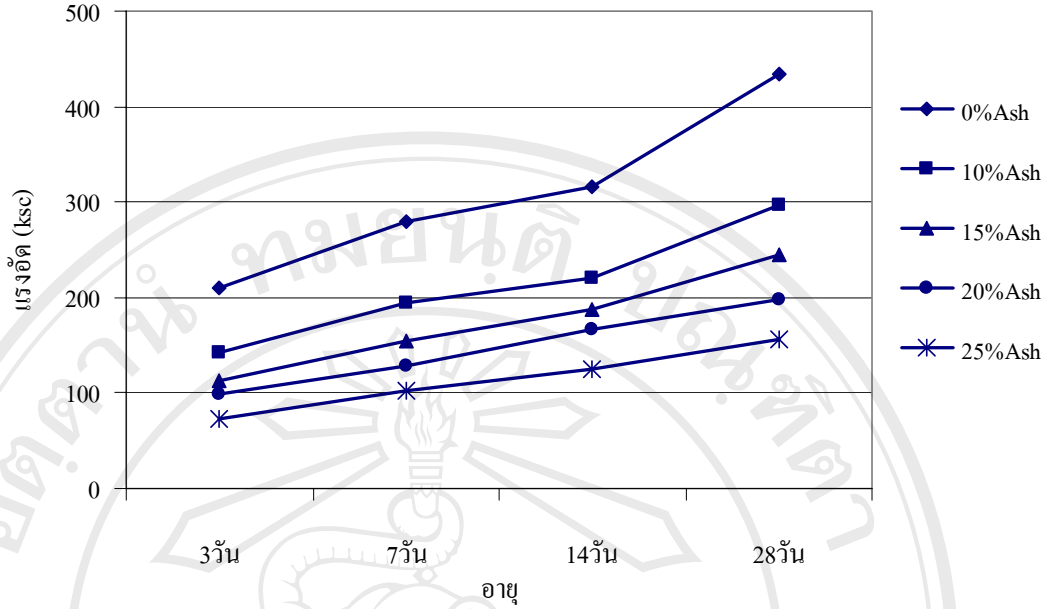
เมื่อทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้ามาตรฐานเปรียบเทียบกับมอร์ต้าที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ด้วยเครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์ (ภาพ 4.6) ผลที่ได้แสดงตามตาราง 4.6

ภาพ 4.6 เครื่องทดสอบวัสดุเอนกประสงค์และการทดสอบมอร์ต้า

ตาราง 4.6 กำลังอัดและร้อยละของกำลังอัดของมอร์ต้าผสมเถ้าปาล์มแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน

ตัวอย่าง	กำลังอัด (ksc)				ร้อยละของกำลังอัดเมื่อเทียบกับ 0% Ash			
	3วัน	7วัน	14วัน	28วัน	3วัน	7วัน	14วัน	28วัน
0%Ash	210.35	280.14	315.57	433.21	100.00	100.00	100.00	100.00
10%Ash	142.66	194.32	220.18	297.20	67.82	69.37	69.77	68.60
15%Ash	112.39	155.34	187.23	244.22	53.43	55.45	59.33	56.37
20%Ash	98.59	127.61	167.30	197.85	46.87	45.55	53.02	45.67
25%Ash	72.36	102.37	124.68	155.54	34.40	36.54	39.51	35.90

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและอายุของมอร์ต้าที่ผสมเถ้าปาล์มแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน

จากตาราง 4.6 และภาพ 4.7 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและร้อยละของกำลังอัดของมอร์ต้าที่ผสมเถ้าปาล์มเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณเถ้าปาล์มเพิ่มขึ้น ความสามารถในการรับแรงอัดของตัวอย่างจะลดลง โดยเมื่อใช้เถ้าปาล์มแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ความสามารถในการรับแรงอัดของมอร์ต้าที่อายุ 28 วัน จะมีค่าเท่ากับ 297.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ลดลงประมาณร้อยละ 33 เมื่อผสมเถ้าปาล์มแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ความสามารถในการรับแรงอัดของมอร์ต้าที่อายุ 28 วัน จะมีค่าเท่ากับ 155.54 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรลดลงประมาณร้อยละ 65 เมื่อเทียบกับมอร์ต้ามาตรฐาน กำลังอัดของมอร์ต้าจะเพิ่มขึ้นตามอายุ โดยมอร์ต้าที่ผสมเถ้าปาล์มแทนที่ปูนซีเมนต์จะมีการพัฒนากำลังอัดตามอายุอย่างช้าๆ เนื่องจากขนาดอนุภาคของเถ้าปาล์มมีขนาดใหญ่ ดังนั้นการนำเถ้าปาล์มมาใช้เพื่อเป็นวัสดุปอซโซลานต้องมีการปรับปรุงคุณภาพโดยการบดให้มีขนาดเล็กลงก่อนดังเช่นที่วีระชาติ ตั้งจิรภัทรและคณะ (2546) ได้แนะนำไว้

ข้อสรุปจากการทดลองใช้เถ้าปาล์มแทนที่ซีเมนต์

จากการทดลองนี้ จะเห็นได้ว่าในการใช้เถ้าปาล์มเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนนั้นควรปรับปรุงคุณภาพของเถ้าปาล์มโดยการบดละเอียดให้ผ่านตะแกรงเบอร์ 325 ก่อน เนื่องจากเมื่อใช้เถ้าปาล์มที่ได้จากโรงงานโดยตรงมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์เลยโดยไม่มีการบดให้ละเอียด จะทำให้มอร์ต้าพัฒนากำลังอัดช้าและมีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้น การบดเถ้าปาล์มจะทำให้กรรมวิธีในการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลิตอิฐคอนกรีตมีขั้นตอนที่ซับซ้อนขึ้นและการนำเถ้าปาล์มมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ยังมีปริมาณน้อย ซึ่งเมื่อพิจารณาจากจุดประสงค์ของการวิจัยที่ต้องการนำเถ้าปาล์มมาใช้ในปริมาณที่มากที่สุดจึงทำการศึกษาแนวทางในการนำเถ้าปาล์มมาใช้เพื่อทดแทนมวลรวมและใช้เป็นมวลรวมน้ำหนักเบาต่อไป

4.2.2 <u>การทดลองนำเถ้าปาล์มมาใช้เป็นวัสดุทดแทนมวลรวม</u>

เพื่อให้สามารถนำเถ้าปาล์มมาใช้ในปริมาณที่มากขึ้นและลดความซับซ้อนของกระบวนการผลิตโดยไม่ต้องนำเถ้าปาล์มมาปรับปรุงคุณภาพก่อน จึงศึกษาวิธีการนำเถ้าปาล์มมาใช้เพื่อแทนที่มวลรวมโดยจะศึกษาใน 2 กรณี คือ กรณีที่หนึ่งเป็นการใช้แทนที่ทราย และกรณีที่สองเป็นการใช้แทนที่หินฝุ่น โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดน้ำหนักและค่าการนำความร้อนของบล็อกลง

ก. <u>การใช้เถ้าปาล์มเพื่อแทนที่ทราย</u>

ในการทดลองใช้เถ้าปาล์มเพื่อแทนที่ทรายในคอนกรีตจะใช้คอนกรีตมาตรฐานในอัตราส่วน 1: 2: 4 เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ ดังตาราง 4.7 เป็นตารางที่แสดงผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อทำให้ส่วนผสมมีค่าการยุบตัว 10 เซนติเมตร

<u>ตาราง 4.7</u> อัตราส่วนผสมและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่ทรายบางส่วน

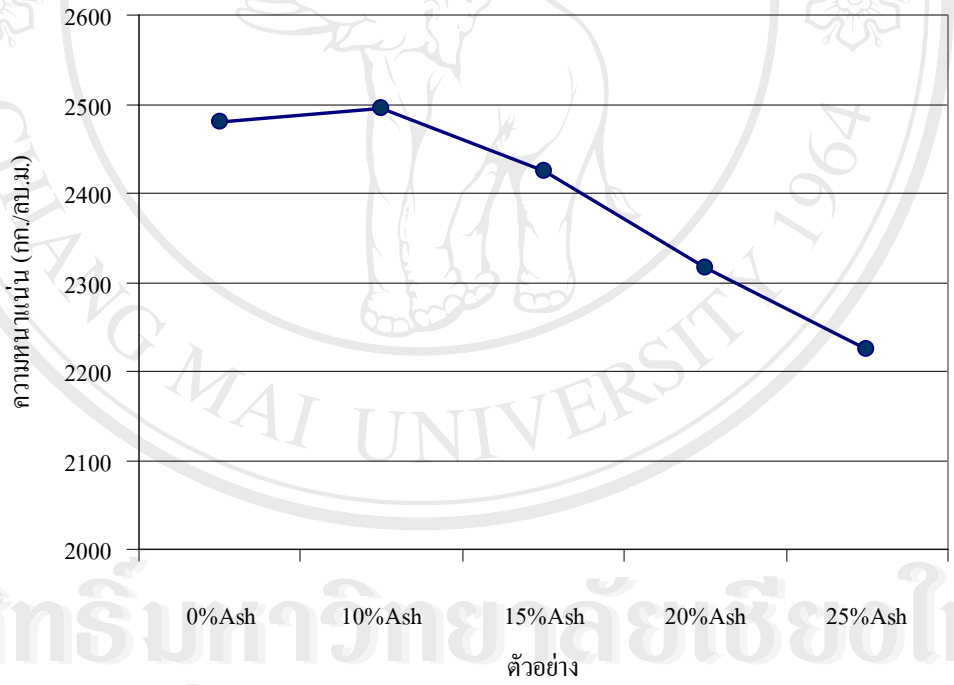
ตัวอย่าง	อัตราส่วนผสม				W/C
	ซีเมนต์	ทราย	หิน	เถ้าปาล์ม	
0%Ash	1	2	4	0	0.60
10%Ash	1	1.80	4	0.20	0.64
15%Ash	1	1.70	4	0.30	0.67
20%Ash	1	1.60	4	0.40	0.70
25%Ash	1	1.50	4	0.50	0.75

จากอัตราส่วนผสมข้างต้นเมื่อนำมาหาค่าความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมาตรฐานที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินฝุ่นเป็น 1: 2: 4 เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนักที่อายุ 28 วัน ผลที่ได้แสดงตามตาราง 4.8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

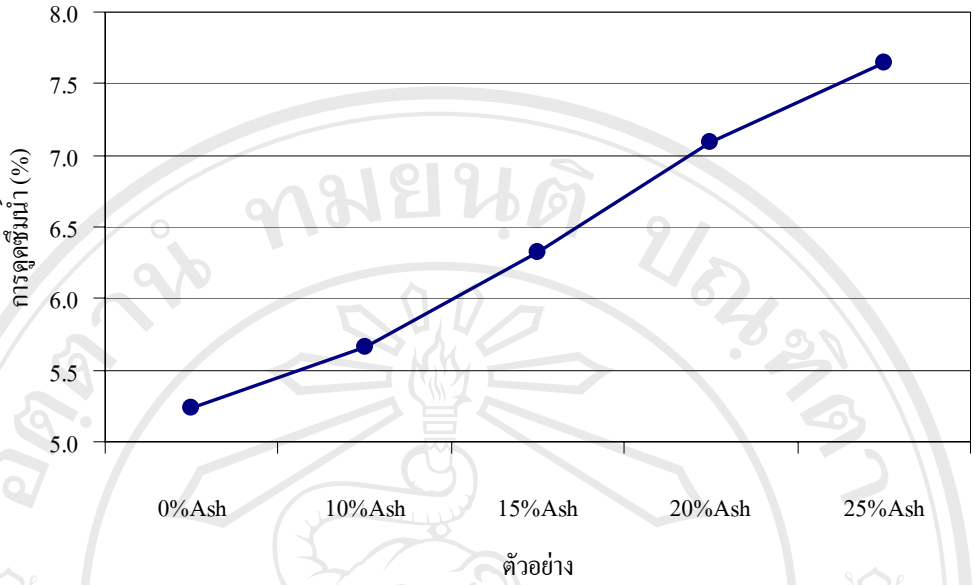
ตาราง 4.8 แสดงค่าความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนักที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ร้อยละของความหนาแน่น	การดูดซึมน้ำ (%)	ร้อยละของการดูดซึมน้ำ
0%Ash	2480.00	100.00	5.24	100.00
10%Ash	2496.00	100.65	5.66	108.02
15%Ash	2425.60	97.81	6.32	120.61
20%Ash	2316.80	93.42	7.09	135.31
25%Ash	2224.00	89.68	7.65	145.99



ภาพ 4.8 แสดงความหนาแน่นของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มแทนที่ทรายต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



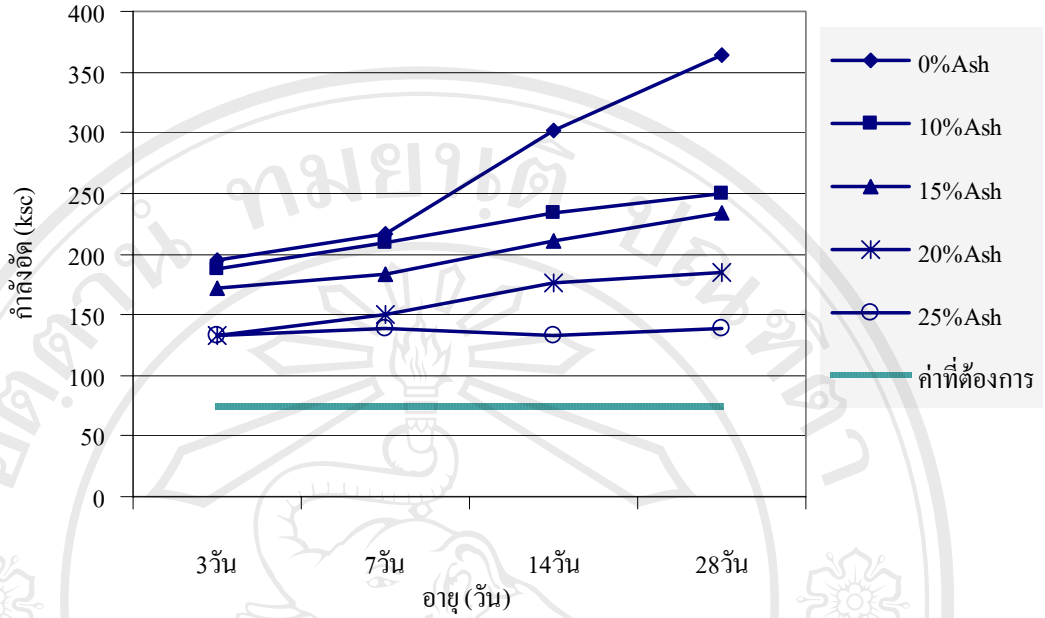
ภาพ 4.9 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มแทนที่ทรายต่างกัน

จากตาราง 4.8, ภาพ 4.8 และ 4.9 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณเถ้าปาล์มที่ใช้แทนที่ทรายในคอนกรีตเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของคอนกรีตจะลดลงแต่การดูดซึมน้ำจะมากขึ้น โดยเมื่อแทนที่ทรายด้วยเถ้าปาล์มร้อยละ 25 ค่าความหนาแน่นจะมีค่าเท่ากับ 2224 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ลดลงจากคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าปาล์มประมาณร้อยละ 10 และค่าการดูดซึมน้ำจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.65 หรือเพิ่มขึ้นจากคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าปาล์มร้อยละ 45 เมื่อทำการทดสอบหาค่าความสามารถในการรับแรงอัดของของคอนกรีตมาตรฐานที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินฝุ่นเป็น 1: 2: 4 เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนักที่อายุ 28 วัน ตามตาราง 4.9

ตาราง 4.9 แสดงกำลังอัดและร้อยละของกำลังอัดของของคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนักที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่าง	กำลังอัด (ksc)				ร้อยละของกำลังอัดเทียบกับ 0% Ash			
	3วัน	7วัน	14วัน	28วัน	3วัน	7วัน	14วัน	28วัน
0%Ash	195.34	216.94	302.15	364.12	100.00	100.00	100.00	100.00
10%Ash	188.03	209.94	233.47	249.14	96.26	96.77	77.27	68.42
15%Ash	172.15	184.06	211.27	233.75	88.13	84.84	69.92	64.20
20%Ash	133.50	150.70	175.93	185.10	68.34	69.47	58.23	50.83
25%Ash	133.41	138.23	133.03	139.17	68.30	63.72	44.03	38.22

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและอายุของคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน

จากตาราง 4.9 และภาพ 4.10 แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณเถ้าปาล์มที่ใช้แทนที่ทรายในคอนกรีตเพิ่มขึ้นความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตจะลดลง และการพัฒนากำลังอัดตามอายุจะต่ำเมื่อเทียบกับคอนกรีตมาตรฐาน โดยเมื่อใช้เถ้าปาล์มแทนที่ทราย 10-15% จะมีการพัฒนากำลังอัดในช่วงต้นดี ส่วนคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่ทราย 20-25% จะมีการพัฒนากำลังอัดตามอายุค่อนข้างน้อย คอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่ทราย 25% จะมีความสามารถในการรับแรงอัดที่อายุ 28 วันเท่ากับ 139.17 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือลดลงจากคอนกรีตมาตรฐานเหลือประมาณร้อยละ 65 แต่เมื่อพิจารณาจากค่ากำลังอัดที่ต้องการคือ 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ถือว่าทุกอัตราส่วนผสมมีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

ข. การใช้เถ้าปาล์มเพื่อแทนที่หินฝุ่น

ในการทดลองใช้เถ้าปาล์มเพื่อแทนที่หินฝุ่นในคอนกรีต ได้เลือกใช้สูตรของคอนกรีตบล็อกมาตรฐานในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ต่อหินต่อทราย เท่ากับ 1: 2: 4 เพื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มเข้าไปแทนที่หินฝุ่นในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ ดังตาราง 4.10 แสดงผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการทำให้ส่วนผสมมีค่าการยุบตัว 10 เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.10 อัตราส่วนผสมและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่ทรายบางส่วน

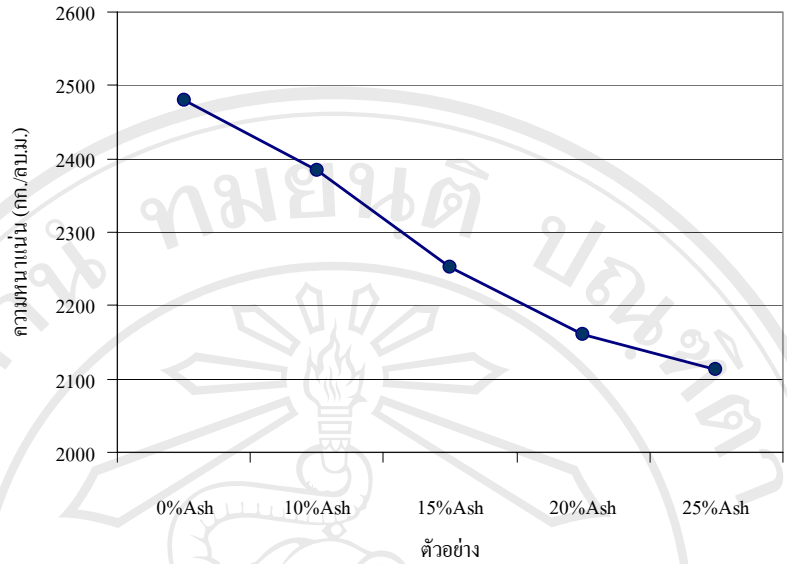
ตัวอย่าง	อัตราส่วนผสม				W/C
	ซีเมนต์	ทราย	หิน	เถ้าปาล์ม	
0% Ash	1	2	4	0	0.60
10% Ash	1	2	3.60	0.40	0.72
15% Ash	1	2	3.40	0.60	0.78
20% Ash	1	2	3.20	0.80	0.82
25% Ash	1	2	3.00	1.00	0.85

จากอัตราส่วนผสมข้างต้นเมื่อนำตัวอย่างมาหาค่าความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินฝุ่นเป็น 1: 2: 4 เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่หินฝุ่นในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนักที่อายุ 28 วัน ผลที่ได้แสดงตามตาราง 4.11

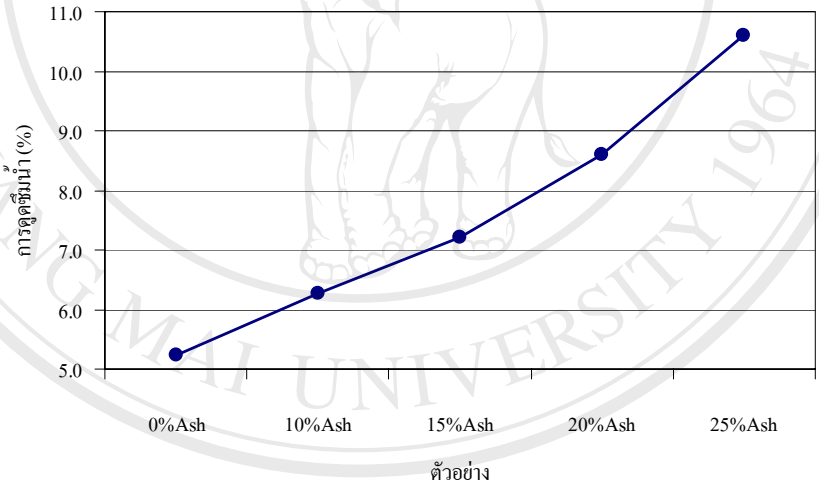
ตาราง 4.11 แสดงค่าความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มแทนที่หินฝุ่นในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนักที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ร้อยละของความหนาแน่น	การดูดซึมน้ำ (%)	ร้อยละของการดูดซึมน้ำ
0%Ash	2480.00	100.00	5.24	100.00
10%Ash	2384.00	96.13	6.26	119.47
15%Ash	2252.00	90.81	7.21	137.62
20%Ash	2160.00	87.10	8.59	163.96
25%Ash	2112.00	85.16	10.60	202.28

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.11 แสดงความหนาแน่นของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มแทนที่หินฝุ่นต่างกัน



ภาพ 4.12 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มแทนที่หินฝุ่นต่างกัน

จากตาราง 4.11 และภาพ 4.11, 4.12 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณเถ้าปาล์มที่ใช้แทนที่หินฝุ่นในคอนกรีตเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของคอนกรีตจะลดลง โดยเมื่อแทนที่หินฝุ่นด้วยเถ้าปาล์มร้อยละ 10 ความหนาแน่นของคอนกรีตจะลดลงประมาณร้อยละ 15 และจะลดลงตามลำดับ เมื่อแทนที่หินฝุ่นด้วยเถ้าปาล์มร้อยละ 25 ความหนาแน่นของคอนกรีตจะมีค่าเท่ากับ 2,112 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือลดลงจากความหนาแน่นของคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าปาล์มร้อยละ 35

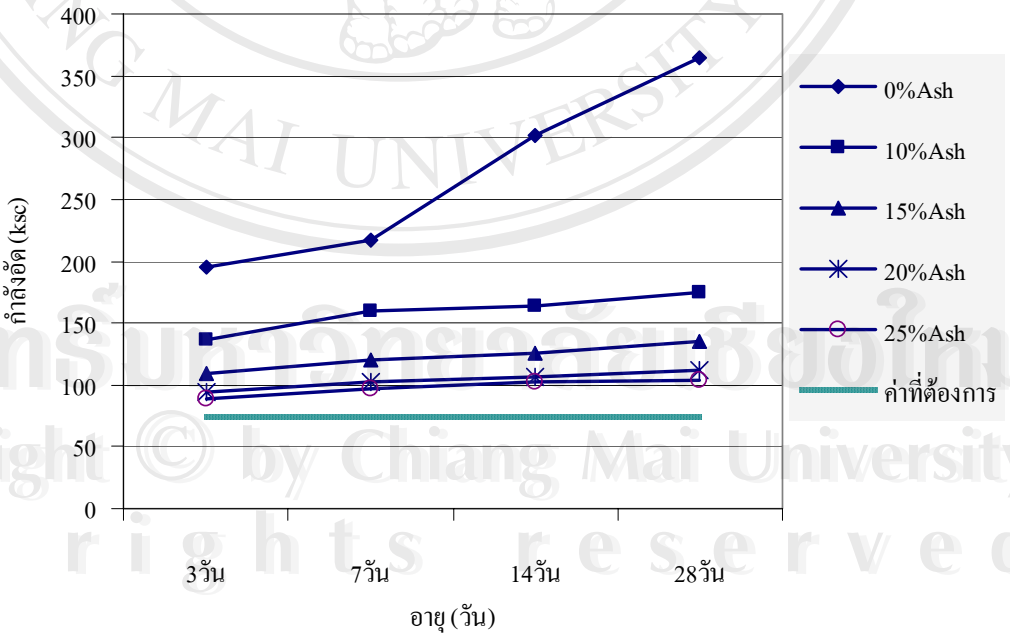
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อเทียบกับการนำเถ้าปาล์มมาแทนที่ทรายพบว่าการใช้เถ้าปาล์มแทนที่หินฝุ่นจะทำให้ค่าความหนาแน่นลดลงมาก ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมากจากการเปลี่ยนแปลงขนาดคละของส่วนผสม ซึ่งปริมาณหินฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ลดลงไป

เมื่อทำการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตมาตรฐานที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินฝุ่นเป็น 1: 2: 4 เปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่หินฝุ่นในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนักที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามตาราง 4.12

ตาราง 4.12 แสดงกำลังอัดและร้อยละของกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มแทนที่หินฝุ่นที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน

ตัวอย่าง	กำลังอัด (ksc)				ร้อยละของกำลังอัด เทียบกับ 0% Ash			
	3วัน	7วัน	14วัน	28วัน	3วัน	7วัน	14วัน	28วัน
0%Ash	195.34	216.94	302.15	364.12	100.00	100.00	100.00	100.00
10%Ash	136.89	159.68	163.20	174.36	70.08	73.61	54.01	47.89
15%Ash	108.78	119.93	125.85	135.24	55.69	55.28	41.65	37.14
20%Ash	94.53	102.76	106.88	112.37	48.39	47.37	35.37	30.86
25%Ash	89.03	97.05	102.25	103.57	45.58	44.74	33.84	28.44



ภาพ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและอายุของคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มแทนที่หินฝุ่นในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.12 และภาพ 4.13 แสดงให้เห็นว่า คอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มแทนที่หินฝุ่นจะมีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตมาตรฐานโดยค่าการรับแรงอัดจะแปรผันตามปริมาณเถ้า คือเมื่อปริมาณเถ้ามากค่าการรับแรงอัดจะลดลง คอนกรีตที่มีอัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าปาล์มร้อยละ 10, 15 และ 20 จะพัฒนากำลังอัดอย่างช้าๆตามอายุ ส่วนคอนกรีตที่มีปริมาณเถ้าปาล์มร้อยละ 25 จะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นในช่วง 7 วันและจะมีการพัฒนากำลังอัดอย่างช้าๆ โดยคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มแทนที่หินฝุ่นร้อยละ 25 จะรับแรงอัดได้ 103.57 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตมาตรฐานประมาณร้อยละ 70 แต่เมื่อพิจารณาจากค่ากำลังอัดที่ต้องการคือ 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ถือว่าทุกอัตราส่วนผสมมีค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

ข้อสรุปจากการทดลองใช้เถ้าปาล์มแทนที่มวลรวม

จากการศึกษาแนวทางการนำเถ้าปาล์มมาใช้เพื่อทดแทนมวลรวมในคอนกรีตพบว่าสามารถใช้ปริมาณเถ้าปาล์มเพื่อแทนที่หินฝุ่นหรือทรายได้ในอัตราร้อยละ 25 โดยคอนกรีตที่ได้จะมีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตมาตรฐานประมาณร้อยละ 10-35 โดยมีค่าความหนาแน่น 2115-2950 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าการดูดซึมน้ำประมาณร้อยละ 7.5-10.5 และความสามารถในการรับแรงอัดที่อายุ 28 วันประมาณ 105-140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตที่ได้จะมีแนวโน้มในการพัฒนากำลังอัดตามอายุค่อนข้างน้อย แต่ค่าการรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ผ่านตามเกณฑ์ที่ต้องการคือ 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นจะมีค่ามากกว่าอิฐมอญและคอนกรีตบล็อก และมากกว่าเกณฑ์ที่ต้องการคือ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตที่ได้ยังคงมีค่าสูง ดังนั้นจึงต้องหาอัตราส่วนผสมที่ทำให้บล็อกมีความหนาแน่นน้อยลง

4.2.3 การทดลองปรับส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ ทราย และเถ้าปาล์ม

จากการศึกษาข้างต้นเพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมทำให้อิฐคอนกรีตมีน้ำหนักเบาหรือมีค่าความหนาแน่นต่ำ จึงต้องหาแนวทางในการนำเถ้าปาล์มมาเป็นส่วนผสมหนึ่งในคอนกรีตเพื่อให้มีการใช้ปูนซีเมนต์และทรายน้อยที่สุด ใช้เถ้าปาล์มมากที่สุด คอนกรีตที่ได้มีค่าความหนาแน่นน้อย มีค่าการดูดซึมน้ำตามเกณฑ์มาตรฐานวัสดุก่อผนัง และสามารถรับน้ำหนักได้เทียบเท่ากับวัสดุก่อผนังทั่วไปจึงทำการวิจัยโดยกำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 30, 25, 20 และ 15 เถ้าปาล์มร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ ดังตาราง 4.13

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.13 อัตราส่วนผสมและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ของคอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มเป็นมวลรวม

คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 30				**คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 25**			
ตัวอย่าง	เถ้าปาล์ม	ทราย	W/C	ตัวอย่าง	เถ้าปาล์ม	ทราย	W/C
0%Ash	0	70	0.7	0%Ash	0	75	0.75
10%Ash	10	60	0.85	10%Ash	10	65	0.875
20%Ash	20	50	0.95	20%Ash	20	55	1.125
30%Ash	30	40	0.95	30%Ash	30	45	1.375
40%Ash	40	30	1	40%Ash	40	35	1.375
50%Ash	50	20	1.3	50%Ash	50	25	1.45
คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20				**คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 15**			
ตัวอย่าง	เถ้าปาล์ม	ทราย	W/C	ตัวอย่าง	เถ้าปาล์ม	ทราย	W/C
0%Ash	0	80	0.75	0%Ash	0	85	0.8
10%Ash	10	70	0.875	10%Ash	10	75	0.875
20%Ash	20	60	1.125	20%Ash	20	65	1.2
30%Ash	30	50	1.375	30%Ash	30	55	1.4
40%Ash	40	40	1.45	40%Ash	40	45	1.55
50%Ash	50	30	1.55	50%Ash	50	35	1.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อทำการทดสอบค่าความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสมตามตาราง 4.13 ที่อายุ 28 วัน ผลที่ได้แสดงตามตาราง 4.14

ตาราง 4.14 แสดงค่าความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

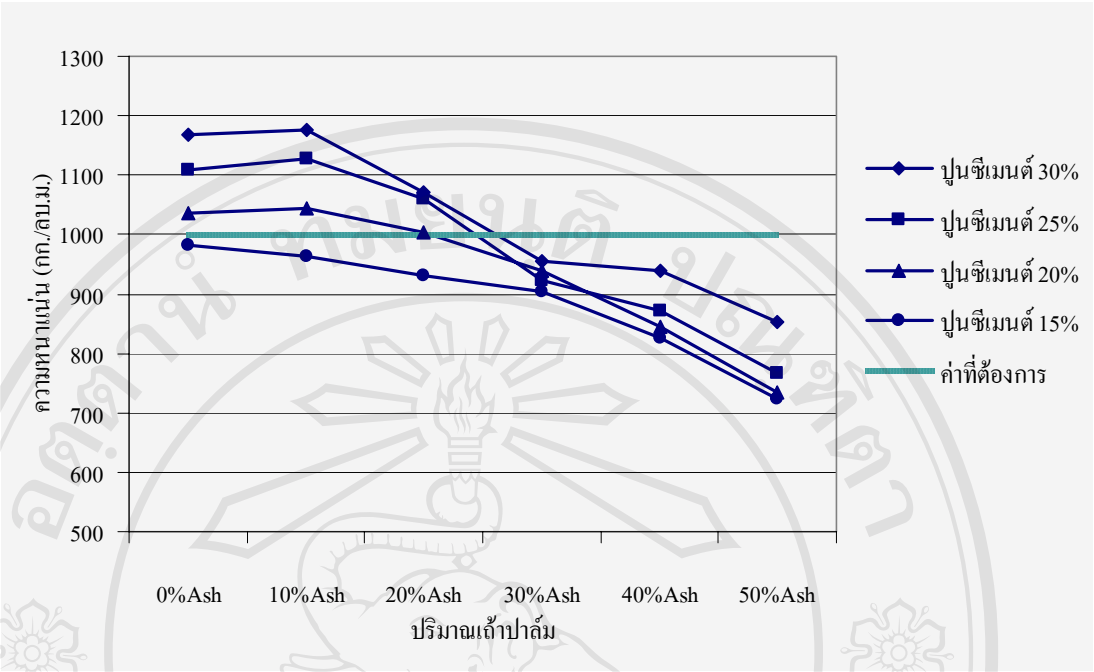
คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 30				
ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ร้อยละของความหนาแน่น	การดูดซึมน้ำ (%)	ร้อยละของการดูดซึมน้ำ
0%Ash	1168	100	6.67	100
10%Ash	1176	100.68	6.63	99.4
20%Ash	1070	91.61	10.07	151
30%Ash	954	81.68	11.19	167.9
40%Ash	938	80.31	14.07	211.1
50%Ash	854	73.12	17.19	257.81
คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 25				
ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ร้อยละของความหนาแน่น	การดูดซึมน้ำ (%)	ร้อยละของการดูดซึมน้ำ
0%Ash	1108	100	6.12	100
10%Ash	1128	101.81	7.45	121.78
20%Ash	1060	95.67	9.46	154.56
30%Ash	924	83.39	13.18	215.33
40%Ash	872	78.70	15.91	259.95
50%Ash	766	69.13	19.67	321.44

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

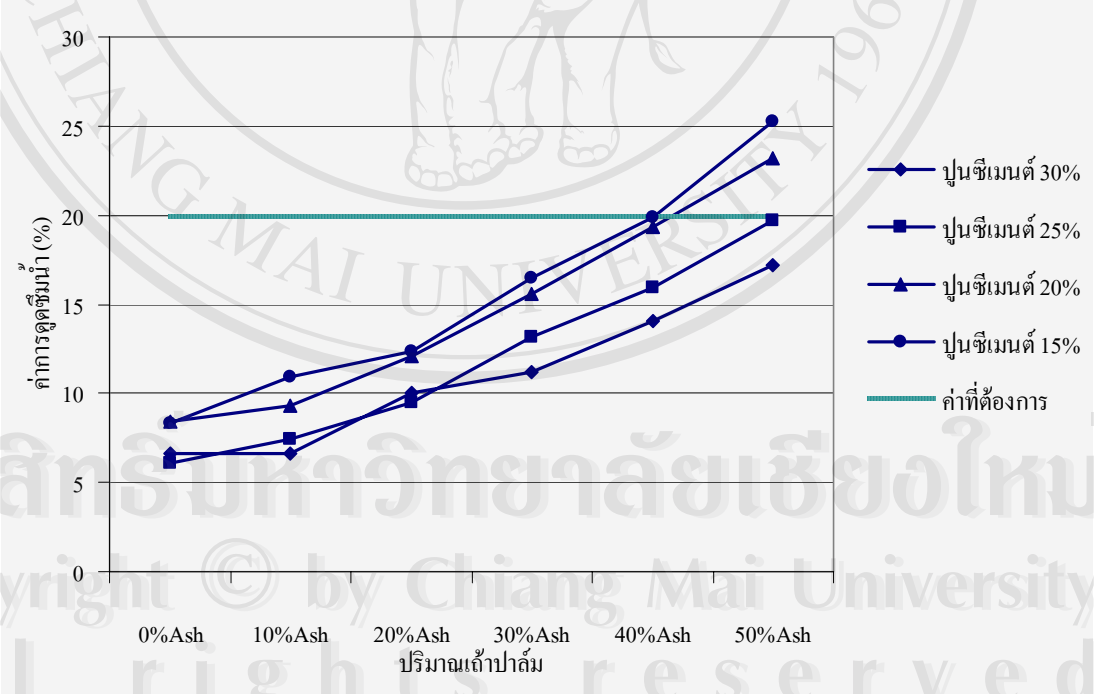
ตาราง 4.14 (ต่อ) แสดงค่าความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20				
ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ร้อยละของความหนาแน่น	การดูดซึมน้ำ (%)	ร้อยละของการดูดซึมน้ำ
0%Ash	1036	100	8.45	100
10%Ash	1044	100.77	9.27	109.73
20%Ash	1004	96.91	12.06	142.69
30%Ash	940	90.73	15.6	184.65
40%Ash	846	81.66	19.36	229.05
50%Ash	734	70.85	23.2	274.56
คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 15				
ตัวอย่าง	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ร้อยละของความหนาแน่น	การดูดซึมน้ำ (%)	ร้อยละของการดูดซึมน้ำ
0%Ash	982	100	8.33	100
10%Ash	963	98.07	10.89	130.73
20%Ash	932	94.91	12.32	147.89
30%Ash	904	92.06	16.45	197.48
40%Ash	825	84.01	19.87	238.54
50%Ash	723	73.63	25.27	303.36

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.14 เปรียบเทียบความหนาแน่นของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 30, 25, 20 และ 15 เถ้าปาล์มร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักที่อายุ 28 วัน



ภาพ 4.15 เปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 30, 25, 20 และ 15 เถ้าปาล์มร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักที่อายุ 28 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.14 และภาพ 4.14, 4.15 พบว่าเมื่อปริมาณเถ้าปาล์มเท่ากันคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์มากกว่าจะมีค่าความหนาแน่นมากกว่า เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากันคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มมากจะมีค่าความหนาแน่นต่ำ โดยเมื่อผสมเถ้าปาล์มร้อยละ 50 คอนกรีตจะมีค่าความหนาแน่นระหว่าง 720-850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกและคอนกรีตมวลเบา

เมื่อปริมาณเถ้าปาล์มเท่ากันคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์มากกว่าจะมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่า เมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากันคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มมากจะมีค่าการดูดซึมน้ำสูง โดยเมื่อผสมเถ้าปาล์มร้อยละ 50 คอนกรีตจะมีค่าการดูดซึมน้ำระหว่างร้อยละ 15-25

ตาราง 4.15 แสดงค่าความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ ร้อยละ 30, 25, 20 และ 15 เถ้าปาล์มร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักที่อายุ 28 วัน

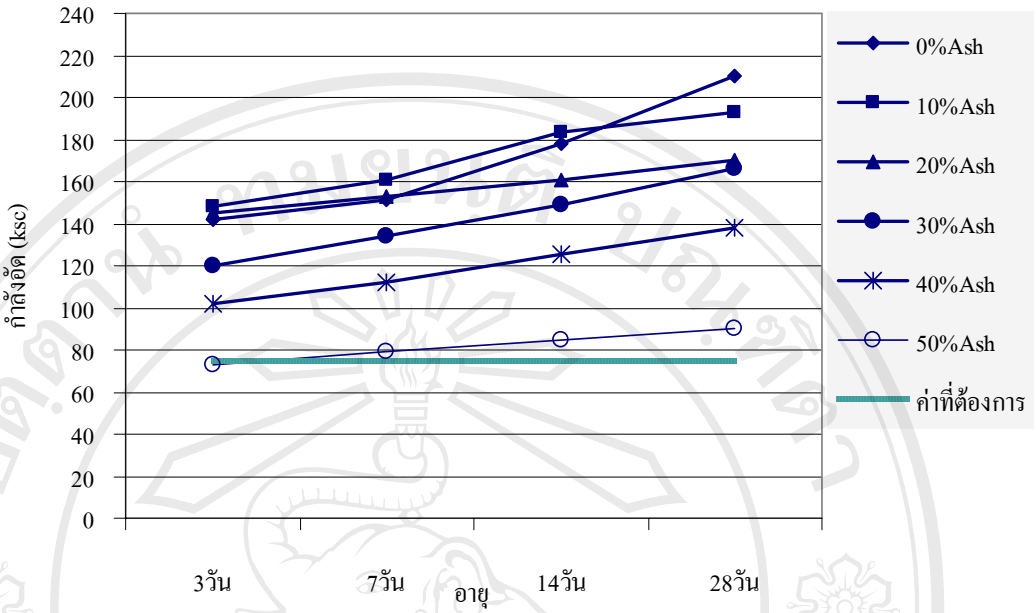
คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 30								
ตัวอย่าง	กำลังอัด (ksc)							
	3วัน	ร้อยละ	7วัน	ร้อยละ	14วัน	ร้อยละ	28วัน	ร้อยละ
Control	142.35	100	151.43	100	177.68	100	210.2	100
10%Ash	148.61	104.4	160.43	105.94	183.54	103.3	193.22	91.92
20%Ash	144.89	101.78	153.18	101.15	161.15	90.7	170.45	81.09
30%Ash	120.20	84.44	133.99	88.48	148.78	83.73	165.97	78.96
40%Ash	102.33	71.89	112.14	74.05	125.58	70.68	137.77	65.54
50%Ash	72.55	50.97	79.14	52.26	84.89	47.78	90.14	42.88
คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 25								
ตัวอย่าง	กำลังอัด (ksc)							
	3วัน	ร้อยละ	7วัน	ร้อยละ	14วัน	ร้อยละ	28วัน	ร้อยละ
Control	138.69	100	160.58	100	171.13	100	206.78	100
10%Ash	132.28	95.38	148.74	92.63	152.65	89.2	168.35	81.42
20%Ash	117.9	85.01	131.35	81.8	148.63	86.85	153.92	74.44
30%Ash	98.37	70.93	110.58	68.86	123.39	72.10	131.88	63.78
40%Ash	80.11	57.76	97.16	60.5	101.06	59.05	108.56	52.5
50%Ash	72.65	52.38	82.71	51.51	90.15	52.68	92.08	44.53

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

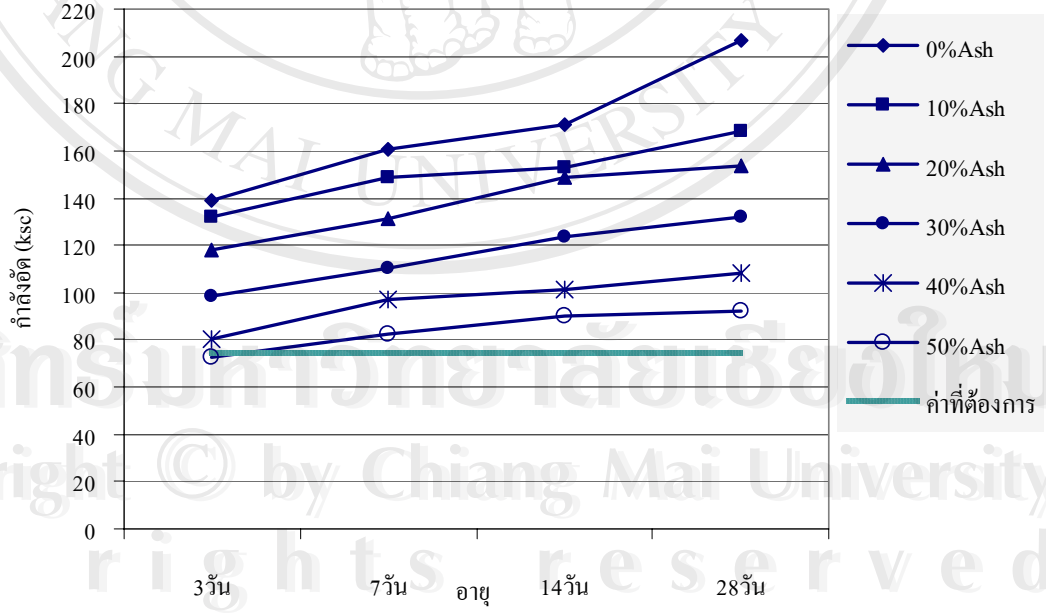
ตาราง 4.15 (ต่อ) แสดงค่าความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ ร้อยละ 30, 25, 20 และ 15 เถ้าปาล์มร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักที่อายุ 28 วัน

คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 20								
ตัวอย่าง	กำลังอัด (ksc)							
	3วัน	ร้อยละ	7วัน	ร้อยละ	14วัน	ร้อยละ	28วัน	ร้อยละ
Control	92.20	100.00	107.86	100.00	117.76	100.00	188.07	100.00
10%Ash	85.02	92.21	112.04	103.88	122.59	104.10	160.84	85.52
20%Ash	69.11	74.96	79.10	73.33	87.42	74.24	95.20	50.62
30%Ash	60.74	65.88	67.85	62.91	73.35	62.29	71.46	38.00
40%Ash	48.95	53.09	53.64	49.73	56.40	47.89	55.18	29.34
50%Ash	38.77	42.05	40.07	37.15	41.15	34.94	39.89	21.21
คอนกรีตที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 15								
ตัวอย่าง	กำลังอัด (ksc)							
	3วัน	ร้อยละ	7วัน	ร้อยละ	14วัน	ร้อยละ	28วัน	ร้อยละ
Control	75.98	100.00	85.38	100.00	94.33	100.00	110.54	100.00
10%Ash	65.61	86.35	75.34	88.24	78.38	83.09	82.35	74.50
20%Ash	58.55	77.06	62.45	73.14	65.66	69.61	66.95	60.57
30%Ash	46.84	61.65	55.01	64.43	58.93	62.47	60.14	54.41
40%Ash	42.32	55.70	50.52	59.17	53.35	56.56	53.63	48.52
50%Ash	32.24	42.43	35.36	41.42	38.87	41.21	39.11	35.38

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

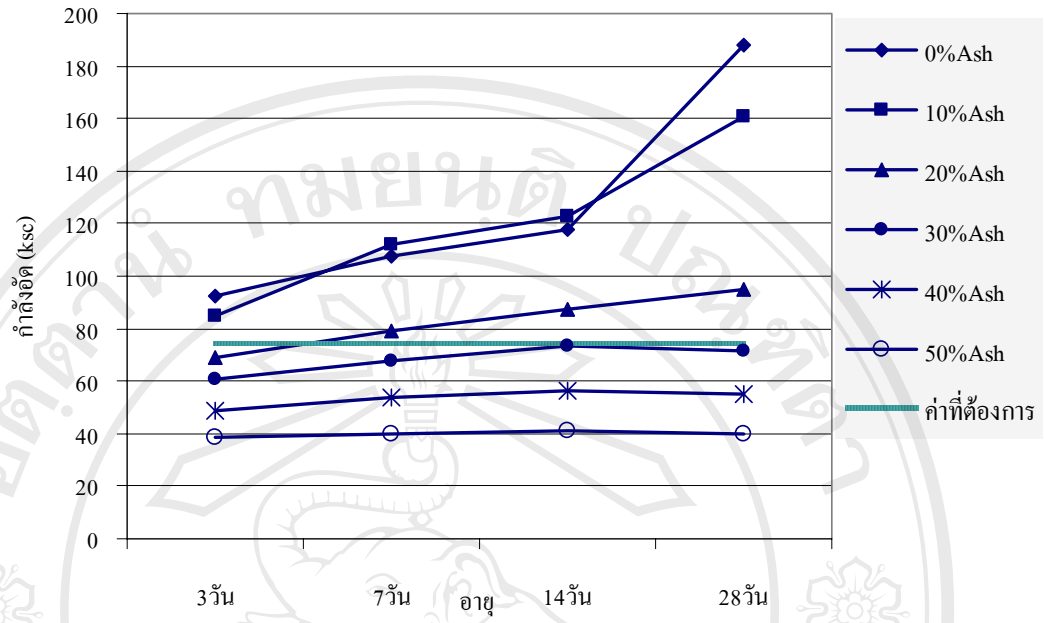


ภาพ 4.16 แสดงค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 และมีอัตราส่วนเถ้าปาล์มร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วันตามลำดับ

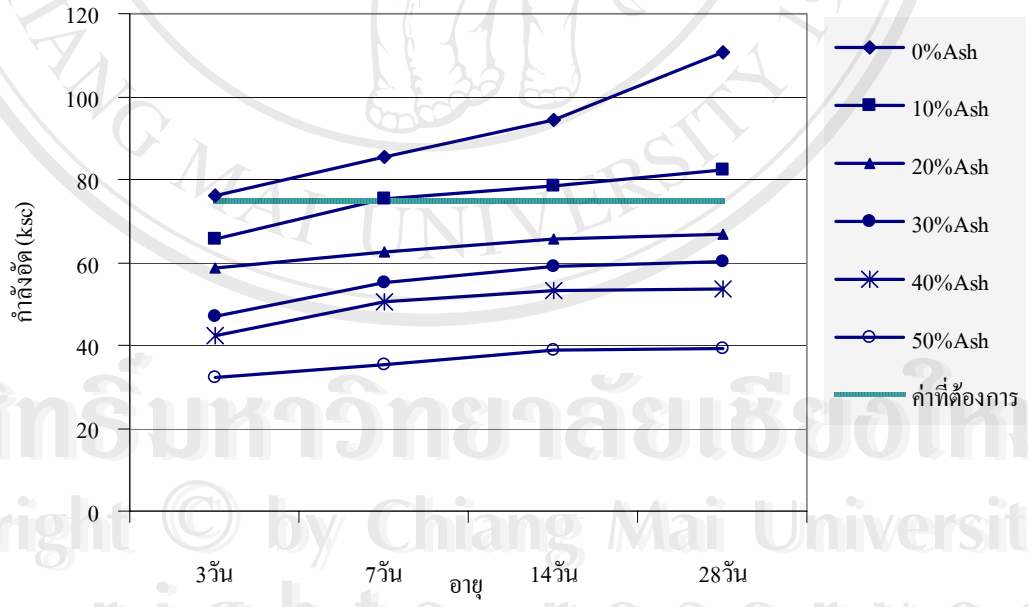


ภาพ 4.17 แสดงค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ร้อยละ 25 และมีอัตราส่วนเถ้าปาล์มร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วันตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.18 แสดงค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 และมีอัตราส่วนเถ้าปาล์มร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วันตามลำดับ



ภาพ 4.19 แสดงค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 และมีอัตราส่วนเถ้าปาล์มร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วันตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ข้อสรุปจากการทดลองปรับส่วนผสม

จากตาราง 4.16 และภาพ 4.16 - 4.19 แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตที่มีเถ้าปาล์มผสมมากจะทำให้ค่าการรับแรงอัดลดลง โดยเมื่อพิจารณาเลือกอัตราส่วนผสมที่ให้ค่าการรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คือรับน้ำหนักได้เทียบเท่าคอนกรีตบล็อก โดยเลือกอัตราส่วนผสมที่สามารถนำไปผลิตได้ง่ายจะพิจารณาใน 2 อัตราส่วน คือ ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อเถ้าปาล์มในอัตราส่วน 1: 3: 1 (20: 60: 20) และอัตราส่วน 1: 1: 2 (25: 25: 50) ซึ่งให้ค่าการรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 95.20 และ 92.08 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนผสมที่ได้นี้จะถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุต่อไป

4.3 การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆที่มีในท้องตลาด ประกอบด้วยการทดสอบหาค่าการนำความร้อนโดยหล่อวัสดุตัวอย่างเพื่อทดสอบค่าการนำความร้อน (*K*-Value) การสร้างกล่องทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกกล่องและการจำลองการใช้วัสดุในอาคารโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาค่าการใช้พลังงานในอาคาร (OTTV)

4.3.1 การทดสอบการนำความร้อน

จากการทดสอบคุณสมบัติในด้านความหนาแน่น การดูดซึมน้ำและความสามารถในการรับแรงอัด ได้คัดเลือกวัสดุตัวอย่างจำนวน 4 ตัวอย่าง ได้แก่ คอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่ทรายร้อยละ 25 คอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่หินฝุ่นร้อยละ 25 คอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อเถ้าปาล์มในอัตราส่วน 1: 1: 2 และอัตราส่วน 1: 3: 1 เพื่อทดสอบหาค่าการนำความร้อนเปรียบเทียบกับค่าการนำความร้อนของอิฐมอญ, คอนกรีตบล็อกและคอนกรีตมวลเบา ผลแสดงตามตาราง 4.16

ตาราง 4.16 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ

ตัวอย่าง	ค่าการนำความร้อน (K: W/mK)	ความต้านทานความร้อน (R: m^2K/W)
อิฐมอญ	0.473	0.150
คอนกรีตบล็อก	0.519	0.149
คอนกรีตมวลเบา	0.089-0.132	0.580
ตัวอย่าง A	0.505	0.198
ตัวอย่าง B	0.324	0.309
ตัวอย่าง C	0.194	0.515
ตัวอย่าง D	0.215	0.465

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หมายเหตุ

ตัวอย่าง A: คอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่ทรายร้อยละ 25

ตัวอย่าง B: คอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่หินฝุ่นร้อยละ 25

ตัวอย่าง C: คอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อเถ้าปาล์มในอัตราส่วน 1: 1: 2

ตัวอย่าง D: คอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อเถ้าปาล์มในอัตราส่วน 1: 3: 1

จากตารางจะเห็นได้ว่าคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อเถ้าปาล์มในอัตราส่วน 1: 1: 2 จะให้ค่าการนำความร้อนต่ำกว่าเมื่อเทียบกับส่วนผสมที่ใช้เถ้าปาล์มในอัตราส่วนอื่น ๆ คือมีค่าการนำความร้อน 0.194 W/mK ซึ่งเป็นค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกและอิฐมอญ จึงนำตัวอย่างดังกล่าวมาสร้างกล่องทดสอบเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในและความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง

4.3.2 การทดสอบการต้านทานความร้อนโดยกล่องทดสอบ

หล่อบล็อกตัวอย่างจากคอนกรีตที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อเถ้าปาล์มในอัตราส่วน 1: 1: 2 ที่มีค่าความหนาแน่น ความสามารถในการรับแรงอัดและค่าการนำความร้อนตามเกณฑ์ที่กำหนด นำมาก่อเป็นกล่องทดสอบขนาด 0.5 เมตร x0.5 เมตร x0.5 เมตร ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิภายในและภายนอกกล่องทดสอบ เปรียบเทียบกับกล่องทดสอบที่สร้างจากวัสดุอื่นๆ ได้แก่ อิฐ และคอนกรีตบล็อก ดังภาพ 4.20

ภาพ 4.20 กล่องตัวอย่างเพื่อทดสอบอุณหภูมิภายนอกและภายใน

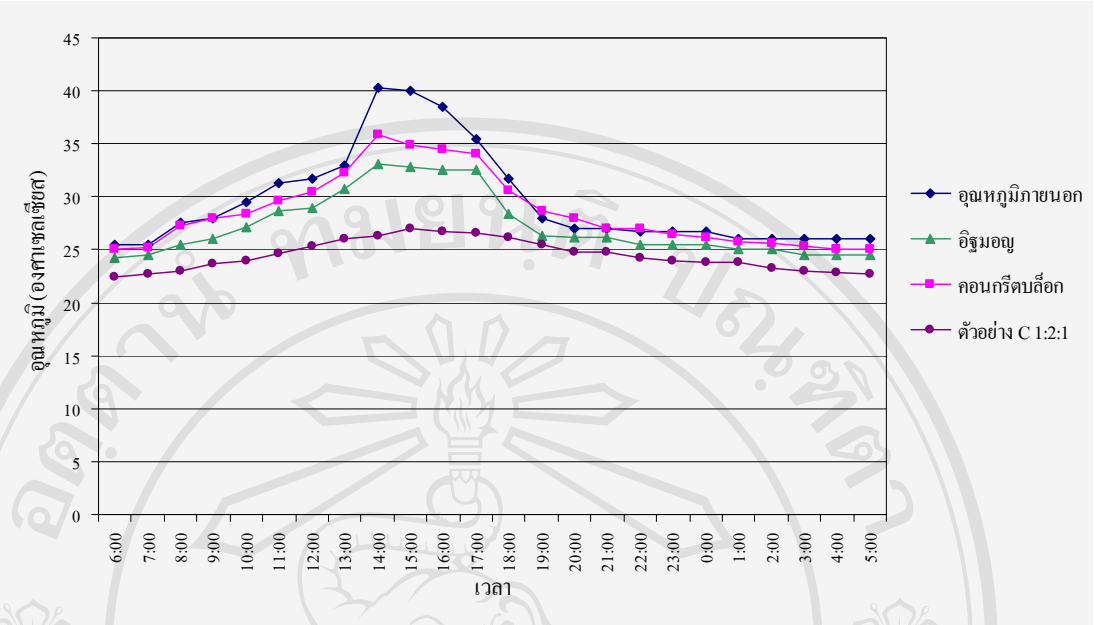
เมื่อติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิโดยกำหนดระยะเวลา 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน แล้วนำค่าอุณหภูมิที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบแสดงตามตาราง 4.17

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.17 แสดงอุณหภูมิของกล่องทดสอบที่สร้างจากวัสดุต่างชนิดกัน

เวลา	อุณหภูมิภายนอก (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิภายใน (องศาเซลเซียส)		
		อิฐมอญ	คอนกรีตบล็อก	ตัวอย่าง C 1:2:1
6:00	25.5	24.2	25	22.5
7:00	25.5	24.5	25.2	22.7
8:00	27.5	25.5	27.33	23
9:00	28	26	28	23.65
10:00	29.5	27.2	28.4	24
11:00	31.33	28.7	29.67	24.6
12:00	31.67	29	30.5	25.27
13:00	33	30.67	32.2	26
14:00	40.33	33.1	35.8	26.35
15:00	40	32.8	34.95	26.97
16:00	38.5	32.6	34.5	26.7
17:00	35.5	32.6	34	26.6
18:00	31.67	28.4	30.65	26.2
19:00	28	26.3	28.6	25.5
20:00	27	26.2	28	24.8
21:00	27	26.2	27	24.8
22:00	26.67	25.5	27	24.2
23:00	26.67	25.5	26.5	24
0:00	26.67	25.5	26.2	23.75
1:00	26	25	25.8	23.75
2:00	26	25	25.6	23.28
3:00	26	24.5	25.3	22.94
4:00	26	24.5	25	22.85
5:00	26	24.5	25	22.66

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.21 แสดงอุณหภูมิเปรียบเทียบของกล่องทดสอบจากวัสดุต่างชนิดกัน

จากภาพ 4.21 แสดงให้เห็นว่าบล็อกตัวอย่างจากคอนกรีตที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อเถ้าปาล์มในอัตราส่วน 1: 1: 2 มีค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในค่อนข้างน้อยและมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกกล่องประมาณ 5 องศาเซลเซียส

4.3.3 การประมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารสมมติ

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารและการใช้พลังงานในอาคารด้วยโปรแกรม OTTVEE Version 1.0a ที่จัดทำโดยสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยสมมติให้อาคารเป็นอาคารประเภทที่พักอาศัยขนาด 4 เมตร x 4 เมตร ตั้งอยู่ในจังหวัดภูเก็ต ความสูงจากพื้นถึงเพดาน 3 เมตร วางอาคารตามแนวทิศเหนือและใต้ กำหนดกรอบอาคารทิศเหนือเป็นกระจก ส่วนทิศตะวันออก ตะวันตกและทิศใต้เป็นผนังทึบ มีผู้ใช้อาคาร 2 คนและเปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 10.00 น. – 17.00 น. ค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงดังตาราง 4.18

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.18 เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคารและการใช้พลังงานในอาคารของผนังที่ใช้วัสดุต่างชนิดกัน

รายการ	ชนิดของผนังทึบ			
	อิฐมอญ	คอนกรีตบล็อก	คอนกรีตมวลเบา	อิฐคอนกรีตผสมเถ้าปาล์ม
OTTV (W/m^2)	60.44	82.36	62.11	56.86
ระบบปรับอากาศ (ตัน)	1.89	1.77	1.47	1.30
ราคากรอบอาคาร (บาท)	33,000.00	22,000.00	29,400.00	25,980.00
ราคาระบบปรับอากาศ (บาท)	60,566.65	56,664.18	47,006.56	41,490.88
ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)	13,289.52	12,780.56	10,945.96	10,013.89

หมายเหตุ อิฐมอญ, คอนกรีตบล็อกและคอนกรีตมวลเบา ใช้ค่าการนำความร้อนและราคา ตามค่าที่มีในโปรแกรม

จากตาราง 4.18 จะเห็นได้ว่า ค่า OTTV ของเถ้าปาล์มมีค่าต่ำกว่าผนังอิฐมอญ, คอนกรีตบล็อกและคอนกรีตมวลเบา แต่ราคากรอบอาคารแพงกว่าคอนกรีตบล็อก ค่าไฟฟ้าต่อปีของผนังอิฐคอนกรีตน้ำหนักเบาผสมเถ้าปาล์มจะมีค่าเท่ากับ 10,013.89 บาท มีค่าน้อยกว่าค่าไฟฟ้าของผนังคอนกรีตบล็อกประมาณ 2,500 บาทต่อปี

4.4 เปรียบเทียบราคาของอิฐคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน

เพื่อให้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการนำอิฐคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มน้ำมันทางเศรษฐศาสตร์ จึงได้ทำการวิเคราะห์ราคาวัสดุและค่าก่อสร้างผนังอาคาร ดังต่อไปนี้

4.4.1 ราคาต่อหน่วยของอิฐคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มน้ำมัน

การคำนวณราคาต่อไปนี้ ใช้ราคาวัสดุเมื่อเดือนสิงหาคม 2549 ที่จังหวัดภูเก็ตซึ่งเป็นจังหวัดที่อยู่ในบริเวณที่เป็นแหล่งผลิตน้ำมันปาล์ม

อิฐคอนกรีตอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อเถ้าเป็น 1: 1: 2

อัตราส่วนผสมของอิฐคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ประกอบด้วย

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เท่ากับ 15 ถุง ถุงละ 135 บาท รวมราคา 2,025 บาท
2. ทราย 750 กิโลกรัม ราคาลูกบาศก์เมตรละ 300 บาท รวมราคา 85.58 บาท
3. เถ้าปาล์ม 1,500 กิโลกรัม

รวมราคาวัสดุ 2,110.58 บาท

ค่าแรงและค่าดำเนินการ 30% คิดเป็นเงิน 633.17 บาท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รวมราคาทั้งหมด 2,743.75 บาท

ส่วนผสม 1 ลูกบาศก์เมตร ผลิตอิฐคอนกรีตได้ 145 ก้อน

ราคาอิฐคอนกรีตต่อก้อน 18.92 บาท

4.4.2 การเปรียบเทียบราคาผนัง

ตาราง 4.19 แสดงราคาโดยประมาณของผนังก่ออิฐชนิดต่าง ๆ ได้แก่อิฐมอญ คอนกรีตบล็อค อิฐมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มน้ำมัน

ตาราง 4.19 เปรียบเทียบประมาณการต้นทุนผนัง (บาท/ตร.ม.)

รายการ	ผนังอิฐมอญ	รวม
วัสดุก่อผนัง	140 ก้อน ก้อนละ 90 สต.	126
ปูนก่อ	ปูนก่อผสมทราย 1:2 (แนวก่อ 1.5 ซม. ปูน 105 บาท/ถุง/3 ตร.ม.)	45
ปูนฉาบ	ปูนฉาบผสมทราย 1:3 (ฉาบ 1.5 ซม. ปูน 105 บาท/ถุง/6 ตร.ม.)	50
ค่าแรงก่อ-ฉาบ	ช่างปูน+กรรมกรก่อ-ฉาบ 4 ตร.ม./วัน	125
รวม		346
รายการ	ผนังคอนกรีตบล็อก	รวม
วัสดุก่อผนัง	14 ก้อน ก้อนละ 5 บาท	70
ปูนก่อ	ปูนก่อผสมทราย 1:2 (แนวก่อ 1.5 ซม. ปูน 105 บาท/ถุง/15 ตร.ม.)	8
ปูนฉาบ	ปูนฉาบผสมทราย 1:3 (ฉาบ 1.5 ซม. ปูน 105 บาท/ถุง/10 ตร.ม.)	30
ค่าแรงก่อ-ฉาบ	ช่างปูน+กรรมกรก่อ-ฉาบ 4 ตร.ม./วัน	70
รวม		178
รายการ	ผนังคอนกรีตมวลเบา	รวม
วัสดุก่อผนัง	8.3 ก้อน ก้อนละ 35 บาท	290.5
ปูนก่อ	ปูนพิเศษสำหรับก่อ (หนา 4มม. ปูน 180 บาท/ถุง/20 ตร.ม.)	8
ปูนฉาบ	ปูนฉาบผสมทราย 1:3 (ฉาบ 1.5 ซม. ปูน 105 บาท/ถุง/6 ตร.ม.)	30
ค่าแรงก่อ-ฉาบ	ช่างปูน+กรรมกรก่อ-ฉาบ 4 ตร.ม./วัน	70
รวม		398.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.19 (ต่อ) ตารางเปรียบเทียบประมาณการต้นทุนผนัง (บาท/ตร.ม.) (ต่อ)

รายการ	ผนังอิฐคอนกรีตผสมเถ้าปาล์ม	รวม
วัสดุก่อผนัง	12 ก้อน ก้อนละ 18.92 บาท	227.04
ปูนก่อ	ปูนก่อผสมทราย 1:2 (แนวก่อ 1.5 ซม. ปูน 105 บาท/ถุง/15 ตร.ม.)	8
ปูนฉาบ	ไม่ต้องฉาบ	0
ค่าแรงก่อ-ฉาบ	ช่างปูน+กรรมกรก่อ-ฉาบ 4 ตร.ม./วัน	70
รวม		305.04

จากตาราง 4.19 แสดงให้เห็นว่าอิฐคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มน้ำมันมีราคา 305.04 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งมีราคาถูกกว่าอิฐมอญและคอนกรีตมวลเบา แต่มีราคาแพงกว่าคอนกรีตบล็อก แต่อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ค่าการรับกำลังอัด ค่าการนำความร้อน และค่าการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งอิฐคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มให้คุณสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีตบล็อก จึงน่าจะเป็นวัสดุทางเลือกชนิดหนึ่งได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved