



รายงานการวิจัยสมบูรณ์

การเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าไม้ยางพาราด้วย
วิธีการทางเคมี

Acceleration of the Pozzolanic activity of cement mix
with Para rubber wood fly ash by chemical activation

โดย

อาปีติน ตะแซสาเมาะ

นางสาวยูวารีเยาะ กาแบ

นางสาวอาตีกะ นีอาลี

ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณบำรุงการศึกษาประจำปี 2555

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

รายงานการวิจัยสมบูรณ์

การเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าไม้ยางพาราด้วย วิธีการทางเคมี

Acceleration of the Pozzolanic activity of cement mix
with Para rubber wood fly ash by chemical activation

โดย

อาปีติน ตะแซสาเมาะ

นางสาวยุวารีเยาะ กาแบ

นางสาวอาตีกะ นีอาลี

ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณบำรุงการศึกษาประจำปี 2555

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานของปูนซีเมนต์ของอิฐที่มีส่วนผสมของเถ้าเฌียงพารา ด้วยการปรับปรุงเถ้าเฌียงพาราด้วยสารเคมี โดยเลือกสารเคมีสารเคมีกลุ่มซัลเฟต ได้แก่ Na_2SO_4 และ CaSO_4 และเคมีกลุ่มอัลคาไลด์ ได้แก่ NaOH และ Ca(OH)_2 ศึกษาที่ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol จากผลการวิจัยพบว่า การปรับปรุงเถ้าเฌียงพาราด้วยสารเคมีกลุ่มอัลคาไลด์ โดยเฉพาะ NaOH ที่ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol มีค่ากำลังอัดสูงกว่ามาตรฐาน มอก.1505-2541 และที่ความเข้มข้นของ NaOH 10 และ 12 mol ช่วยเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานทำให้มีค่ากำลังอัดสูงกว่าอิฐที่ไม่ได้การปรับปรุงเถ้าเฌียงพารา

คำสำคัญ : ปฏิกิริยาปอซโซลาน เถ้าเฌียงพารา

Abstract

This research aims to accelerate the pozzolan reaction of bricks with para-rubber wood fly ash as mixture. The improvement of para-rubber wood fly ash by sulfate groups (Na_2SO_4 or CaSO_4) and alkali halides group (NaOH and $\text{Ca}(\text{OH})_2$) with concentrations of 8, 10 and 12 mol were used. Results showed that the improved para-rubber wood fly ash with alkaline group, NaOH , were higher compressive strength than standard. Furthermore, the compressive strength of bricks with improved by 10 and 12 mol concentration of NaOH were higher than brick that is not improved .

Keywords: pozzolan reaction, para-rubber wood fly ash,

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
สารบัญ	(3)
สารบัญภาพ	(4)
สารบัญตาราง	(5)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา	18
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	18
3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง	18
3.3 การวิเคราะห์	20
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	21
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	27
5.1 สรุปผล	27
5.2 ข้อเสนอแนะ	27
เอกสารอ้างอิง	28
ภาคผนวก	29

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 อิฐที่มีขนาด $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$	12
4.1 อิฐที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขอย่างพาราด้วยสารเคมีกลุ่มอัลคาไลด์และกลุ่มซิลเฟต	21
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความชื้นของสารเคมี	22
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำกับความชื้นของสารเคมี	24
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความชื้นของสารเคมี	25

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	3
2.2 สารประกอบและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งถึงห้า	4
3.1 สมบัติของอิฐที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงด้วยสารเคมี	20

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

วัสดุปอชโซลานเป็นวัสดุที่มีซิลิกาและอลูมินาเป็นองค์ประกอบหลักโดยทั่วไปแล้ววัสดุปอชโซลานจะไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน แต่ถ้าวัสดุปอชโซลานมีความละเอียดมากและมีน้ำหรือความชื้นที่เพียงพอ ก็จะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสานประเภทของสารปอชโซลานที่นำมาผสมกับปูนซีเมนต์มีมากมาย เช่น ผงถ่านหิน ถั่วกลบ ถั่วลอม แต่ที่นิยมนำมาใช้กันมากคือถั่วลอม (Fly ash) ที่เป็นผลิตภัณฑ์ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหินในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า ที่มีองค์ประกอบหลักทางเคมี ได้แก่ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) เฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_2) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO_2) ผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำจะเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดคุณสมบัติในการช่วยเพิ่มการเชื่อมประสานทำให้อิฐมีความแข็งแรงมากขึ้นและมีคุณสมบัติด้านรับแรงอัดได้สูงขึ้น

ปฏิกิริยาปอชโซลานเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำที่เรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยปฏิกิริยาปอชโซลานจะเกิดขึ้นหลังจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน เนื่องจากปฏิกิริยาปอชโซลานจำเป็นต้องอาศัยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CaO_3) จากปฏิกิริยาไฮเดรชันกับปฏิกิริยาซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) หรืออลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ของวัสดุปอชโซลาน สำหรับกำลังอัดของถั่วที่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาปอชโซลานจะมีค่ามากขึ้น ตามอัตราละลายน้ำต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้นแม้ที่กำลังอัดของอิฐที่มีอัตราส่วนต่อวัสดุสูงจะมีค่าน้อยกว่าก็ตาม ปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัย การนำสารปอชโซลานมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของอิฐมากขึ้น นอกจากจะลดต้นทุนผลผลิตแล้วยังช่วยให้อิฐมีคุณภาพดียิ่งขึ้น ทั้งในด้านกำลังอัด ความคงทนต่อสภาพแวดล้อม ความสามารถทำงานได้และลดการแตกร้าว นอกจากนี้ยังมีสารปอชโซลานประเภทอื่นๆ เช่น ซิลิกาฟุ้ง (Microsilica) ถั่วกลบ (Rice Husk Ash) ถั่วขานอ้อย (Bagasse Ash) เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอิฐแต่การนำไปแทนที่จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและองค์ประกอบของสารเคมีภายในของสารปอชโซลานั้นๆ

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการเร่งปฏิกิริยาปอชโซลานของถั่วไม้อย่างพาราด้วยวิธีการทางเคมี โดยเลือกใช้ถั่วไม้อย่างพารา ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้ามาแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อเป็นการลดการใช้ปูนซีเมนต์ในการสร้างอิฐและในการทำวิจัยครั้งนี้ก็ยังมีผลผสมสารเคมีกลุ่มซัลเฟตหรือกลุ่มอัลคาไลด์เพื่อเร่งปฏิกิริยาปอชโซลานทำให้อิฐมีกำลังอัดและความคงทนแข็งแรง

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในอิฐที่มีเถ้าเฌียงพาราเป็นส่วนผสม
2. เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอิฐให้ดีขึ้น ทั้งในด้านกำลังอัดและความทนทาน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตอิฐจากเศษวัสดุเหลือใช้ ทำให้ลดต้นทุนการผลิต
2. สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของเถ้าเฌียงพาราด้วยสารเคมีทำให้อิฐที่ผลิตออกมาีคุณภาพ ทั้งในด้านกำลังอัดและความทนทาน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

1) องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วยออกไซด์หลัก (major oxides) และออกไซด์รอง (minor oxide) ได้แก่ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ออกไซด์หลักได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO), ซิลิกา (SiO_2), อลูมินา (Al_2O_3), และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) รวมกันได้กว่าร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์รอง (minor oxide) ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์ของอัลคาไล (Na_2O และ K_2O) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และยังมีส่วนประกอบของออกไซด์อื่นผสมอยู่บ้าง เช่น ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) และฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P_2O_5) นอกจากนี้ยังมีสิ่งแปลกปลอมและส่วนประกอบอื่นซึ่งจะจัดรวมอยู่ในการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition) และกากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (insoluble residue) ออกไซด์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันและรวมตัวกันอยู่ในรูปของสารประกอบที่มีรูปต่างๆ ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบการเผาและการเย็นลงของปูนเม็ด

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมี	องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์	
	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย
CaO	60-67	64.4
SiO_2	17-25	20.0
Al_2O_3	3-8	5.8
Fe_2O_3	0.5-6.0	3.2
MgO	0.1-4.0	0.5
Na_2O	0.1-1.3	0.5
K_2O	0.1-1.3	0.5
SO_3	0.5-3	2.6

สารประกอบอื่น	1-3	1.0
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา	0.1-3.0	1.0
กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง	0.2-0.8	0.5

2) ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบของปูนซีเมนต์สามารถปรับให้เหมาะกับการใช้งานประเภทต่างๆ มาตรฐาน ASTM C150 แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภท ข้อกำหนดเกณฑ์คุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาตรฐานทั้ง 5 ประเภทมีอยู่ในมาตรฐาน มอก. 1505-2541 สารประกอบและคุณสมบัติบางประการได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

2.1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง หรือปูนซีเมนต์ประเภทธรรมดา (ordinary Portland cement) ใช้กันมากที่สุด สำหรับงานคอนกรีตทั่วไป ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังและเกิดความร้อนปานกลาง

2.2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสอง หรือปูนซีเมนต์ดัดแปลง (modified cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำกว่าและให้กำลังใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง เหมาะสำหรับคอนกรีตที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารละลายซัลเฟตได้ปานกลาง

2.3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสาม หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (rapid hardening Portland cement) ให้กำลังสูงในระยะแรกและให้ความร้อนจากปฏิกิริยาสูง โดยมีปริมาณ C_3S สูงและความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง เหมาะสำหรับงานที่ต้องการใช้งานเร็วหรืองานที่ต้องการถอดแบบเร็ว

ตารางที่ 2.2 สารประกอบและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งถึงห้า

สารประกอบและคุณสมบัติ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท				
	1	2	3	4	5

C_3S	49	46	56	25	30
C_2S	25	29	15	50	46
C_3A	12	6	12	5	5
C_4AF	8	12	8	12	13
ความละเอียด (เบลน, $\text{ชม}^2/\text{กรัม}$)	3000	3000	4500	3000	3000
กำลังอัด (3 วัน, $\text{กก}/\text{ชม}^2$)	180	150	310	80	120
ความร้อนปฏิกิริยา (28 วัน, จูล/ กรัม)	400	330	430	270	310

2.4) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่สี่ หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ (low heat Portland cement) ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาค่อนข้างต่ำเพราะมีปริมาณของ C_3S ต่ำร้อยละ 25-30 แต่มี C_2S สูงถึงร้อยละ 50-60 เหมาะสำหรับใช้งานคอนกรีตหนา

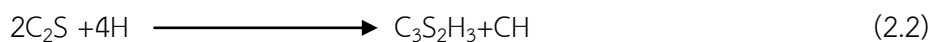
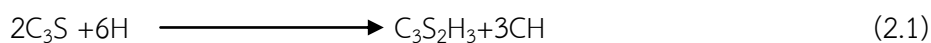
2.5) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ห้า หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (sulfate resisting portland cement) ต้านทานซัลเฟตได้สูง มีปริมาณของ C_3A ต่ำมาก ไม่เกินร้อยละ 5 เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่อยู่ในที่มีเกลือหรือสารละลายซัลเฟต เช่น โครงสร้างในทะเล

3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland-pozzolan cement) ได้จากการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับสารปอซโซลาน ทำให้คุณสมบัติหลายด้านโดยเฉพาะด้านความทนทานของคอนกรีตดีขึ้น สารปอซโซลานคือสารซิลิเกตหรือซิลิกาและอลูมินาที่ละเอียดโดยตัวของมันเองจะไม่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide) และน้ำ จะได้สารที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน สารปอซโซลานที่มีในประเทศไทยและสามารถนำมาใช้ ได้แก่ เถ้าถ่านหิน ดินเหนียวเผา และเถ้าแกลบบดละเอียด การใช้สารปอซโซลานดังกล่าวเป็นการช่วยรักษาสีสิ่งแวดล้อมและได้ปูนซีเมนต์ผสม (blended cement) ที่ราคาถูกลง

มาตรฐาน ASTM C595 แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานเป็น 3 ชนิด P, IP, I(PM) โดยการบดรวม (intergrinding) ปูนเม็ดกับสารปอซโซลาน หรือการผสม (blending) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับสารปอซโซลาน ปูนซีเมนต์ชนิด IP เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานธรรมดาใช้ในงานทั่วไป มีสารปอซโซลานร้อยละ 15-40 ปูนซีเมนต์ชนิด I(PM) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานดัดแปลง (pozzolan-modified Portland cement) ใช้ในงานทั่วไป มีสารปอซโซลานต่ำกว่าร้อยละ 15 และชนิด P เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานใช้ในงานที่ไม่ต้องการกำลังที่อายุต้น

4) ปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

C_2S และ C_3S ทำปฏิกิริยากับน้ำได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (calcium silicate hydrate, CSH) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide, CH) ดังสมการ



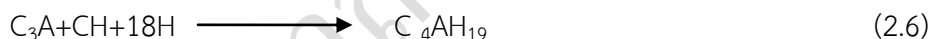
C_3A จะทำปฏิกิริยากับไอออนของซัลเฟตได้แคลเซียมซัลโฟลูมิเนตไฮเดรต (calcium sulfoaluminatehydrate, $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$) หรือเอทริงไกต์ (ettringite) ดังสมการ



C_3A จะทำปฏิกิริยาเอทริงไกต์ได้แคลเซียมโมนอซัลโฟลูมิเนต (calcium mono sulfoaluminate, $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$) หรือเอทริงไกต์ดังสมการ



เมื่อซัลเฟต C_3A ทำปฏิกิริยาได้แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (calcium aluminate hydrate, CAH) ดังสมการ



C_4AF ทำปฏิกิริยาคลาย C_3A แต่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นช้ากว่าและความร้อนจากปฏิกิริยาน้อยกว่า C_4AF และยิบซัมทำให้เกิดแคลเซียมซัลโฟลูมิเนตและซัลโฟเพอร์ไรต์ ($C_6(A,F)_2S_3H_{32}$) ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเหมือนเข็มคล้ายเอทริงไกต์และเปลี่ยนเป็นแคลเซียมอลูมิโนเพอร์ไรต์ที่มีซัลเฟตต่ำได้เช่นกัน แต่การแปลงกลับเป็นเอทริงไกต์ไม่เกิดขึ้น

เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ ไอออนของแคลเซียม (Ca^{++}) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว สารละลายมีความต่างสูงค่า pH สูงกว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้เกิดความร้อน ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับของ C_3S และบางครั้งจะสามารถเห็นปฏิกิริยาของ C_3A ด้วย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและลดลงเนื่องจากการเกิดขึ้นของเอทริงไกต์หุ้มเม็ดปูนและจากการที่สารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น ซีเมนต์เพสต์มีสภาพพลาสติกอยู่ช่วงเวลาหนึ่งเมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงพอ CH จะตกผลึกและปฏิกิริยาของ C_3S และ C_2S จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิด CSH เพิ่มขึ้นตามด้วยปฏิกิริยาของ C_3A และ C_4AF เอทริงไกต์เปลี่ยนเป็นโมนอซัลโฟลูมิเนตและเกิดสารประกอบของ CAH แคลเซียมซิลิเกตจะยังคงทำปฏิกิริยาต่อไปทำให้เกิด CSH เพิ่มขึ้น ขยายเข้าไปในโพรงและเมื่อมีปริมาณมากขึ้นจะเชื่อมโยงถึงกันและเกิดการยึดเกาะกันขึ้น

5) ปฏิกริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอย

การใส่เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนทำให้ปริมาณ C_3S , C_2S , C_3A และ C_4AF ในคอนกรีตลดลง การทำปฏิกริยาของสารซีเมนต์จะช้าลง การคายความร้อนจากปฏิกริยาของสารซีเมนต์จะช้าลง การคายความร้อนจากปฏิกริยาจะลดตัวออก ทั้งนี้เถ้าลอยเป็นอนุภาคเล็กและมีทรงกลม ทำให้สามารถกระจายตัวได้ดีในเพสต์ อนุภาคที่เล็กสามารถเป็นตัวแทรก เข้าไปในช่องว่างทำให้เพสต์แน่นขึ้น และยังทำให้เกิดแหล่งสำหรับการตกผลึกของผลผลิตไฮเดรชันเพิ่มขึ้น

เถ้าลอยประกอบไปด้วย SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นหลัก และถ้าเถ้าลอยชนิด C ก็จะมี CaO มากด้วย ปฏิกริยาหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอยและน้ำจึงเกิดระหว่าง SiO_2 และ Al_2O_3 กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำดังสมการ



6) การเร่งปฏิกริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอย

การเร่งปฏิกริยาของเถ้าลอยสามารถทำได้โดยวิธีทางกายภาพ (Physical activation) ทางเคมี (Chemical activation) และโดยการใช้ความร้อน

6.1) ทางกายภาพ การทำปฏิกริยาของเถ้าลอยจะเพิ่มมากขึ้นและเร็วขึ้น เมื่อพื้นผิวของเถ้าลอยสูงขึ้น ซึ่งสามารถทำได้โดยการบดเถ้าให้ละเอียด และคัดขนาดเอาส่วนที่ละเอียดไปใช้งาน

6.2) ทางเคมี วิธีทางเคมีสามารถทำได้ 2 วิธี คือการปรับปรุงผิวเถ้าลอย (Surface Treatment) และการใช้สารเคมีผสม

ก) การปรับปรุงผิว วิธีนี้ใช้กรดหรือด่างกัดผิวของเถ้าลอยทำให้ผิวเถ้าลอยอยู่ในสภาพที่พร้อมทำปฏิกริยา วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมเท่าใดนัก เพราะต้องปรับปรุงผิวของเถ้าลอยก่อนการผสมจริงและเร่งปฏิกริยาไม่ได้มากนัก

ข) การผสมสารเคมี วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมมากเนื่องจากทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพสูงแบ่งสารเคมีที่ใช้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มซัลเฟตได้แก่ Na_2SO_4 และ $CaSO_4$ และกลุ่มอัลคาไลได้แก่ $NaOH$ และ $Ca(OH)_2$ การใช้สารซัลเฟตทำให้เกิดเอททริงไกต์ ขนาดของโพรงและความพรุนลดลงเป็นผลทำให้กำลังรับแรงดันของคอนกรีตผสมเถ้าลอยเพิ่มขึ้นได้ การใส่อัลคาไลโดยเฉพาะ $Ca(OH)_2$ ทำให้เถ้าลอยทำปฏิกริยาได้มากขึ้นและกำลังรับแรงเพิ่มขึ้นได้จากการที่สารละลายมีความเป็นด่างมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการใช้สารอื่นๆ เช่น $CaCl_2$ และสารไตรเอธานอลามีน (Triethanolamine)

6.3) การใช้ความร้อน การให้ความร้อนคอนกรีตผสมเถ้าลอยทำให้เถ้าลอยทำปฏิกิริยาได้มากขึ้นและกำลังรับแรงของคอนกรีตสูงขึ้น นอกจากนี้การใช้ความร้อนร่วมกับสารเคมี $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และ CaSO_4 สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ดี (ปริญญา, 2547)

2.1.2 ปอซโซลาน

ปอซโซลาน (Pozzolan) เป็นวัสดุที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมในปูนซีเมนต์หรือคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดต้นทุนของคอนกรีตหรือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่น เพิ่มความทนทานของคอนกรีตต่อสภาพการกัดกร่อน ช่วยปรับคุณสมบัติของคอนกรีตสดเพื่อให้ทำงานได้ง่ายขึ้น เป็นต้น วัสดุปอซโซลานที่ใช้กันและมีอยู่ในประเทศไทยมีอยู่จำนวนมาก ได้แก่ เถ้าถ่านหินและเถ้าแกลบ เป็นต้น

2.1.3 วัสดุปอซโซลาน

ในการปรับคุณสมบัติบางอย่างของคอนกรีตสามารถใช้วัสดุบางชนิดผสมเพิ่มเติมในปูนซีเมนต์หรือคอนกรีต ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ วัสดุเฉื่อย (inert materials) วัสดุซีเมนต์ (cementing materials) และวัสดุปอซโซลาน (pozzolanic materials) สำหรับคอนกรีตที่ขาดมวลรวมที่ค่อนข้างละเอียดเกิดการแยกตัวได้ง่ายและไม่เหมาะสมในการลำเลียงโดยการสูบล้างหรือการเทโดยใช้ท่อ การเพิ่มการเกาะตัวของคอนกรีตสามารถทำได้โดยการใช้วัสดุเฉื่อยจำพวก หินปูนบดละเอียด หินละเอียด และหินฝุ่น เป็นต้น การใช้วัสดุละเอียดผสมเพิ่มในคอนกรีตยังช่วยลดการแตกร้าวและการแตกร้าวของคอนกรีตทำได้ง่ายขึ้น ปูนซีเมนต์ที่นิยมใช้ในการก่ออิฐและฉาบได้มาจากการบดปูนเม็ดกับวัสดุเฉื่อย การใช้วัสดุละเอียดเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์จะลดกำลังของคอนกรีตเพราะปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ในงานโครงสร้างของอาคารที่ต้องรับแรงสูงวัสดุซีเมนต์และวัสดุปอซโซลาน นอกจากใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีต เช่นเดียวกับการใช้วัสดุเฉื่อยแล้วยังทำให้คอนกรีตมีกำลังและความทนทานดีขึ้นด้วย วัสดุซีเมนต์ได้แก่ปูนซีเมนต์ธรรมดาและตะกรันเตาถลุงเหล็ก เป็นต้น เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นปูนซีเมนต์ในตัวเองและสามารถใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ ดังนั้นเมื่อทำปฏิกิริยาเคมีจะให้สารประกอบของ CSH และ CAH เหมือนกับปฏิกิริยาของ C_3S และ C_2S แต่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะช้ากว่าและกำลังในช่วงแรกจะต่ำกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ วัสดุปอซโซลานเมื่อใช้ผสมคอนกรีตจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แม้ว่าปฏิกิริยาปอซโซลานจะคล้ายกับปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่า ดังนั้นจึงสามารถใช้วัสดุปอซโซลานเพื่อลดความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานคอนกรีตขนาดใหญ่หรือคอนกรีตหนา

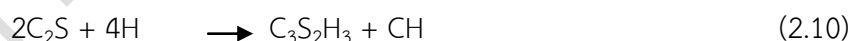
วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) เป็นสารผสมเพิ่มแบบแร่ธาตุ (Mineral Admixture) ซึ่งมีองค์ประกอบของธาตุที่สำคัญเหมือนปูนซีเมนต์ เช่น ซิลิกา (SiO_2) และ อลูมินา (Al_2O_3) ในปัจจุบัน

วัสดุปอซโซลานที่นำมาผสมกับผงซีเมนต์มีมากมาย เช่น ดินเหนียว ดินดานผงถ่านหิน เถ้าแกลบ เถ้าลอย แต่ที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดคือ เถ้าลอย (Fly Ash) ที่ได้จากเตาเผาของโรงผลิตกระแสไฟฟ้า เพราะมีปริมาณมากและเมื่อนำมาผสมกับซีเมนต์เพสต์แล้วมีคุณสมบัติด้านรับแรงอัดได้สูงขึ้น โดยสัดส่วนของปอซโซลานที่ใช้ควรอยู่ระหว่าง 15 – 50 % ของน้ำหนักของปูนซีเมนต์ทั้งหมด โดยประโยชน์ที่นำวัสดุปอซโซลานมาผสมมีดังนี้

- 1) ทำให้คอนกรีตมีการขยายตัวน้อย มีความทึบน้ำสูง
- 2) ให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยากับน้ำต่ำเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาจึงเหมาะสำหรับงานคอนกรีตหยา
- 3) มีอัตราการพัฒนาแรงอัดช้าเนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ แต่ให้แรงอัดในระยะหลังเท่ากันหรืออาจมากกว่าเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา โดยบ่มขึ้นให้นานกว่าปกติ
- 4) ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารประกอบผงซัลเฟตได้ดีอีกด้วย (ปริญญา, 2549)

2.1.4 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน

การนำปูนซีเมนต์มาผสมกับน้ำ (เพสต์) พบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไปเพสต์ทำการก่อตัวและแข็งตัวจนสามารถรับกำลังอัดได้แต่หากพิจารณาปฏิกิริยาทางเคมีของเพสต์นั้นพบว่าปฏิกิริยาที่ได้จากเพสต์คือปฏิกิริยาไฮเดรชันซึ่งเกิดจากสารประกอบคือไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) และเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C_4AF) ผสมกับน้ำโดยส่วนใหญ่แล้วไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) เป็นสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ซึ่งแคลเซียมซิลิเกตทั้งสองมีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมือนกันแตกต่างกันเพียงที่จำนวนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์เท่านั้นและเป็นส่วนที่ทำให้กำลังอัดกับเพสต์หรือคอนกรีตโดยปฏิกิริยาไฮเดรชันสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.9) และ (2.10) ซึ่งได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-SH) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)



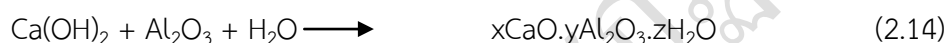
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) ทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างรวดเร็วและได้แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (C-A-H) ดังสมการที่ 2.11 ปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดการก่อตัวอย่างรวดเร็วจึงจำเป็นต้องผสมยิบซัมเพื่อหน่วงปฏิกิริยาเพราะ C_3A จะทำปฏิกิริยากับไอออนของซัลเฟตได้แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตไฮเดรตหรือเรียกกันทั่วไปว่าเอทริงไกต์ (Ettringite) ดังสมการที่ 2.12



ปฏิกิริยาของ C_4AF คล้ายกับปฏิกิริยาของ C_3A แต่เกิดขึ้นช้ากว่าและมีความร้อนของปฏิกิริยาน้อยกว่าสารประกอบเหล็กออกไซด์ (F) จะทำปฏิกิริยาคลายกับอลูมิเนียมออกไซด์ (A) โดย C_3A และ C_4AF จะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตแยลงแต่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตเพราะลดอุณหภูมิในการเผาเพื่อทำให้ราคาปูนซีเมนต์ถูกลง

2.1.5 ปฏิกิริยาปอซโซลาน

ปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดจากส่วนผสมระหว่างวัสดุปอซโซลานรวมกับต่างอันเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์และน้ำที่เรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชันโดยปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นหลังจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานจำเป็นต้องอาศัยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) จากปฏิกิริยาไฮเดรชันทำปฏิกิริยากับซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) หรืออลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ของวัสดุปอซโซลานก่อให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และแคลเซียมอลูมินไฮเดรต (C-A-H) ซึ่งสามารถเขียนแสดงดังสมการที่ (2.13) และ (2.14)



การศึกษากำลั้งอัดของอิฐเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าถ่านหินโดยเถ้าถ่านหินบดที่มีความละเอียดแตกต่างกัน 3 ขนาดและทำการบดทรายแม่น้ำเป็นวัสดุเฉื่อยให้มีความละเอียดแตกต่างกัน 3 ขนาดเช่นกันที่มีความละเอียดใกล้เคียงกับเถ้าถ่านหินแต่ละขนาดเถ้าถ่านหินและทรายบดทุกขนาดถูกนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสานซึ่งหลักการการหาค่าปฏิกิริยาปอซโซลานสามารถพิจารณาได้จากผลต่างกำลั้งอัดของอิฐผสมเถ้าถ่านหินและมอร์ตาร์ผสมทรายบดละเอียดที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยปริมาณการแทนที่และอายุการทดสอบที่เท่ากันผลการศึกษาสรุพบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่เล็กที่สุดและการแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่สูงสุด (การแทนที่ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน) ของอิฐผสมเถ้าถ่านหินนั้นกำลั้งอัดเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานของอิฐผสมเถ้าถ่านหินจะมีค่าสูงสุดหรืออาจกล่าวได้ว่าเถ้าถ่านหินที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กกว่าและใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่สูงกว่ากำลั้งอัดเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานจะสูงกว่าเถ้าถ่านหินที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใหญ่กว่าและแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่ต่ำกว่านั่นเอง

2.1.6 การอัดตัวของอนุภาค

การอัดตัวของอนุภาคคือกำลั้งอัดที่เกิดจากการที่ขนาดอนุภาคเล็กของวัสดุเกิดการจัดเรียงตัวที่เหมาะสมของวัสดุที่มีขนาดเล็กมากๆโดยเข้าไปแทรกอยู่ในช่องว่างหรือในช่องอากาศระหว่างอนุภาคที่ใหญ่กว่าที่มีอยู่ในอิฐหรือคอนกรีตส่งผลให้กำลั้งอัดเพิ่มขึ้นโดยไม่ต้องอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีเหมือนกับในกรณีของปฏิกิริยาไฮเดรชันหรือปฏิกิริยาปอซโซลานจากการวิจัยเกี่ยวกับการอัดตัวของอนุภาคของวัสดุปอซโซลานที่ผ่านมาเน้นการศึกษาปฏิกิริยาปอซโซลานและการอัดตัวของอนุภาคของ

ซิลิกาฟุ่มในคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้ Carbon Black ซึ่งเป็นวัสดุเฉื่อยที่มีขนาดและรูปร่างเหมือนกับซิลิกาฟุ่มผลจากการทดลองพบว่ากำลังอัดที่เพิ่มขึ้นของซิลิกาฟุ่มในคอนกรีตนั้นกำลังอัดส่วนใหญ่เกิดจากการอัดตัวของอนุภาคมากกว่าการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานทั้งอายุช่วงต้น (3 วัน) และอายุช่วงปลาย (56 วัน) จากงานวิจัยเป็นแนวทางให้กับการศึกษาวัสดุปอซโซลานหลายชนิดเกี่ยวกับการหาค่ากำลังอัดจากการอัดตัวของอนุภาคของวัสดุปอซโซลานมากขึ้นจากการศึกษากำลังอัดทั้งสองของเถ้าถ่านหินและเถ้าแกลบเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 12.5, 25 และ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสานในส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35, 0.50 และ 0.65 โดยหินปูนบดถูกนำมาพิจารณาเพื่อหาค่าการอัดตัวของเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหินผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตที่ให้กำลังอัดที่สูง (65 MPa) และการแทนที่ร้อยละ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสานที่อายุ 28 และ 91 วันนั้นกำลังอัดเนื่องจากการอัดตัวของอนุภาคมีค่าสูงกว่ากำลังอัดเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานและการศึกษาเกี่ยวกับการอัดตัวของอนุภาคและปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าถ่านหินที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน 3 ขนาดโดยนำทรายแม่น้ำมาบดให้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยใกล้เคียงกับเถ้าถ่านหินทั้ง 3 ขนาดจากนั้นมาผ่านกระบวนการเพื่อทำเป็นวัสดุที่ไม่ละลายในกรดและต่างตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials เพื่อให้มั่นใจว่าทรายบดจะไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์และน้ำวัสดุที่ไม่ละลายในกรดและต่างถูกนำมาพิจารณาหาค่าการอัดตัวของอนุภาคของเถ้าถ่านหินผลการทดสอบพบว่าอิฐผสมเถ้าถ่านหินที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2.7 และ 160 ไมโครเมตรนั้นที่อายุช่วงต้น (28 วัน) กำลังอัดเนื่องจากการอัดตัวของอนุภาคมีค่าสูงกว่ากำลังอัดเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานอย่างไรก็ตามที่อายุช่วงปลาย (90 วัน) กำลังอัดเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานจึงมีค่าสูงกว่า (ไกรวุฒิ, 2550)

2.1.7 เถ้าลอย

1) คุณสมบัติและที่มาของเถ้าลอย

เถ้าลอยเป็นวัตถุลอยได้จากการเผาถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงสำหรับต้มน้ำในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า โรงงานกระดาษและโรงงานที่ต้องการไอน้ำในการผลิตอื่นๆ ในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่ มักได้เถ้าลอยจากโรงงานผลิตไฟฟ้าและโรงงานกระดาษเถ้าลอยที่นำมาใช้ผสมในงานคอนกรีต จำเป็นต้องมีคุณสมบัติที่ได้ตามข้อกำหนดสำหรับการใช้งานโดยทั่วไปคุณสมบัติเถ้าลอยจากแต่ละโรงงานจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปตามปัจจัยดังนี้ โดยทั่วไปเราควรใช้เถ้าลอยจากถ่านลิกไนท์ จนถึง แอนทราไซต์ ซึ่งคุณภาพเถ้าลอยที่ได้จากถ่านที่มีคุณภาพสูงเถ้าลอยก็จะมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นตามคุณภาพของถ่านหิน

2) การใช้งานของเถ้าลอย

ภายในประเทศไทยมีโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินและถ่านหินผสมเชื้อเพลิงชีวมวลอยู่หลายแห่ง และการนำเถ้าลอยแต่ละแหล่งมาใช้ในงานคอนกรีตเพื่อจุดประสงค์ การปรับปรุงและเพิ่มคุณภาพ

คอนกรีตหรือเพื่อการลดต้นทุน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเถ้าลอยแหล่งนั้นๆในยุคของการใช้งานแรกๆการใช้เถ้าลอยเราจะคัดเลือกตามคุณสมบัติที่เข้าเกณฑ์มาตรฐาน STMC618 สำหรับในปัจจุบันสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐาน มอก. 2135-2545 เป็นมาตรฐานของประเทศไทยดังนั้นการใช้งานเถ้าลอยจะต้องอ้างอิงตามมาตรฐาน และข้อกำหนดอย่างเคร่งครัด ในปัจจุบันเถ้าลอยจากแหล่ง "โรงไฟฟ้าแม่เมาะ"

อย่างไรก็ดี ยังมีเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ มักพบว่ามีคุณสมบัติที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานและราคาถูกแต่ไม่มีการนำมาใช้งาน หรือ เคยมีการนำมาใช้งานแล้วเกิดผลเสียหายตามมาอันเนื่องมาจากการใช้งานโดยการทดแทนตามสัดส่วนที่แทนที่เถ้าลอยจากแม่เมาะซึ่งคุณสมบัติเถ้าลอยแหล่งอื่นๆ นอกเหนือจาก โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จะไม่เหมือนกันดังนั้นการใช้งานในการทดแทนปูนซีเมนต์เพื่อลดต้นทุนหรือเพื่อการเพิ่มคุณสมบัติคอนกรีต ควรได้รับการออกแบบตามคุณสมบัติของเถ้าลอยในแต่ละแหล่งที่เราต้องการนำมาใช้งานให้ถูกต้องกับคุณสมบัติของเถ้าลอยแหล่งนั้นๆและเมื่อเรามีความเข้าใจการใช้งานอย่างถูกต้อง เถ้าลอยจากแหล่งเหล่านี้จะช่วยให้เราผลิตคอนกรีตที่มีต้นทุนต่ำคุณภาพสูง ไม่ก่อเกิดความเสียหายต่อการผลิต อีกทั้งยังช่วยลดมลภาวะ และลดการใช้เชื้อเพลิงสำหรับการขนเถ้าลอยจากแหล่งระยะทางไกลๆ อีกด้วยสำหรับข้อมูลการใช้งานและวิธีการนำมาใช้งานของเถ้าลอยแหล่งต่างๆ

3) คุณสมบัติของเถ้าทางกายภาพ

ถ่านหินที่บดละเอียดผ่านการเผาไหม้จะสันดาปและหลอมละลายเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงเถ้าถ่านหินขนาดเล็กสามารถลอยตามอากาศร้อนไปได้ เถ้าถ่านหินขนาดเล็กจะผ่านการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าจึงมีทรงกลมและผิวเรียบ เถ้าถ่านหินขนาดใหญ่จะมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ผิวขรุขระ และรูเล็กๆ ที่ผิวและอาจมีปริมาณของคาร์บอนสูง อนุภาคเถ้าถ่านหินมีขนาดตั้งแต่เล็กกว่า $1\ \mu\text{m}$ จนถึง $200\ \mu\text{m}$ โดยมีขนาดเฉลี่ยประมาณ $15\text{-}30\ \mu\text{m}$ ความละเอียดของเถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้า

การวัดความละเอียดของเถ้าถ่านหินมี 2 วิธีที่นิยมใช้กันคือวิธีการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 กับวิธีวัดพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักโดยวิธีของเบลน ในสหรัฐอเมริกาโดยจะใช้วิธีร่อนผ่านตะแกรงเป็นวิธีเดียวในการกำหนดความละเอียดของเถ้าถ่าน ก้าวคือเถ้าถ่านต้องมีขนาดของอนุภาคที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 เถ้าถ่านหินที่ละเอียดขึ้นจะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นและทำให้กำลังอัดคอนกรีตสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินที่หยาบกว่าเถ้าถ่านหินยังประกอบไปด้วยอนุภาคที่มีโพรงข้างในที่เรียกกันว่า เถ้าถ่านหินกลวงซึ่งเกิดจากการที่ก๊าซจากการเผาไหม้ของถ่านหินถูกกักไว้ภายในเถ้าถ่านหิน และยังมีเถ้าถ่านหินกลวงที่มีอนุภาคเถ้าถ่านหินเล็กๆ อยู่ภายในเรียกว่า ฟริโรสเฟีย เถ้าถ่านหินกลวงมีตั้งแต่ขนาดเล็กไม่กี่ไมครอนจนถึงหลายร้อยไมครอน (เถ้าลอย, 2554)

2.1.8 อีฐ

อิฐ (Brick) เป็นวัสดุที่นำมาใช้งานทางด้านงานก่อสร้างเป็นเวลานานแล้ว ลักษณะที่ใช้งานแตกต่างจากคอนกรีตในเรื่องของความแข็งแรง คืออิฐที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความแข็งแรงมาก เพราะใช้งานก่อกำแพงหรืองานเพื่อความสวยงาม สำหรับอิฐบล็อกหรือคอนกรีตบล็อก เป็นวัสดุที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมกับทราย หินเล็กๆและน้ำผสมเข้ากัน นำไปใส่เครื่องอัดในแบบเหล็กให้แน่น แล้วนำออกจากแบบไปเรียงบ่มในร่ม 7-14 วันจนแข็งแรงพอจึงนำไปใช้งานก่อสร้างได้ คอนกรีตบล็อกมีทั้งแบบรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก



ภาพที่ 2.1 อิฐที่มีขนาด $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$

1) ความทนทานของอิฐ

ความทนทานของอิฐเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากประการหนึ่งซึ่งหมายถึงความสามารถของอิฐที่ทนต่อสภาพการกัดกร่อนไม่ว่าจะเป็นทางเคมี ทางกลหรือกายภาพ หรืออาจกล่าวได้ว่า เป็นความสามารถในการทนต่อการเปลี่ยนแปลงจากสภาพแวดล้อมรอบข้าง เช่น ทนต่อการทำลายจากสารเคมี ทนต่อแรงกระแทกหรือการกระทำอื่นๆ ตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างนั้นความทนทานของอิฐ อิฐที่ทนทานจะต้องคงสภาพได้นานตลอดอายุการใช้งานสิ่งก่อสร้างคอนกรีตจำนวนมากที่ถูกออกแบบและก่อสร้างโดยไม่คำนึงถึงความทนทานจึงส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างมากในปัจจุบันทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายจำนวนมากในการซ่อมแซมรวมทั้งอายุการใช้งานของสิ่งก่อสร้างนั้นลดลงด้วย

ต้นเหตุที่ให้คอนกรีตขาดความทนทานและเกิดความเสียหาย สามารถสรุปได้ 3 ประการใหญ่ๆ คือ

1.1) สาเหตุด้านกายภาพ (Physical)

1.2) สาเหตุด้านเคมี (Chemical)

1.3) สาเหตุด้านกล (Mechanical)

2) ลักษณะของอิฐที่ดี

2.1) มีรูปร่างเรียบเรียบร้อย ไม่แอ่นบิดหรือไม่มีขอบขรุขระมาก ทุกเหลี่ยมได้ฉาก

2.2) สุกสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น

2.3) มีความเหนียวไม่แตกหักง่าย

2.4) มีขนาดโตเท่ากันทุกก้อน (โดยเฉลี่ย)

2.5) เมื่ออิฐหักออก จะเห็นเนื้อภายในคล้ายหินและแน่นมาก ไม่มีรูพรุนหรือรอย

แตกร้าว

2.6) มีสีสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น

2.7) ไม่ดูดน้ำเกิน 10 % ของน้ำหนักอิฐ เมื่อแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง

2.8) เคาะฟังเสียงดู มีเสียงแกร่งคล้ายโลหะ(อิฐ , 2554)

2.1.9 กำลังอัด

1) กำลังของมอร์ต้า

กำลังของมอร์ต้ามีบทบาทอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยกำลังของมอร์ต้านี้ขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อของมอร์ต้า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และ Degree of Hydration แต่ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังและความพรุน จะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กำลังของมอร์ต้าขึ้นอยู่กับอย่างมากกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

การเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติของมวลรวม เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดคละ, ปริมาณ, กำลัง ลักษณะผิวขนาดใหญ่สุด การดูดซึม และแร่ธาตุต่างๆจะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตไม่มากนักการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังดิ่งน้อยกว่ากำลังอัดโดยอัตราส่วนของกำลังดิ่งต่อกำลังอัดของคอนกรีต จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น

1.1) กำลังและโมดูลัสยืดหยุ่นของมวลรวม

สำหรับกำลังของมอร์ต้าที่กำหนดให้ความสามารถต้านแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของหินและแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้า แต่โดยทั่วไปกำลังของมวลรวมจะสูงเป็นหลายเท่าของกำลังของมอร์ต้า ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวจะเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีต

สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่กำหนดให้ กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลงเมื่อใช้หินขนาดใหญ่ขึ้น เพราะหินขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดน้ำใต้หินมากขึ้นทำให้แรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้าลดลงขนาดของมวลรวม จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีต ที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำหรือปานกลางมากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูงการเพิ่มปริมาณของมวลรวมในส่วนผสมจะเป็นการเพิ่มกำลังอัดรวมทั้งถ้าใช้หินที่มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงจะทำให้กำลังของคอนกรีตดีขึ้น

1.2) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับผิวของมวลรวม

แรงยึดเหนี่ยวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่าง ลักษณะผิวของมวลรวม และลักษณะทางเคมี คือปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่างๆ ในเนื้อมวลรวม

นอกจากนี้ทิศทางการหล่อและทิศทางการให้น้ำหนักจะมีผลต่อกำลังเช่นกัน โดยจะมีผลต่อกำลังดึงมากกว่ากำลังอัดด้วยเหตุผลที่ว่าจะเกิดช่องว่างทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมหยาบกับมอร์ต้าต่ำ

1.3) คุณสมบัติของวัสดุผสม

ปูนซีเมนต์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมากทั้งนี้ เพราะว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภท จะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้แม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกันแต่มีความละเอียดแตกต่างกันแล้ว อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตก็จะแตกต่างกันไปด้วยคือ ถ้าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากก็จะให้กำลังสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน มวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ อย่างไรก็ตามมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อย ซึ่งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือผิวหยาบจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตดีกว่าพวกกรวดที่มีผิวเกลี้ยง ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่ จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก สำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถเท่าใดเท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ จึงมักให้กำลังดีกว่า ส่วนขนาดคละของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในแง่ที่ว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีส่วนขนาดคละไม่เหมาะสม คือมีส่วนละเอียดมากเกินไปนั้น จะต้องการปริมาณน้ำมากกว่ามวลรวมที่มีส่วนคละที่ดี เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเท่าใดเท่ากัน อีกทั้งยังก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตเป็นจำนวนมากกว่า ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลงได้ นอกจากนี้ความสะอาดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน

น้ำมีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใส และปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ในน้ำที่มีเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตในระยะต้นสูง น้ำขุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่ จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารแขวนลอยนั้น

1.4) การทำคอนกรีต

การชั่งตวงส่วนผสม หากใช้การตวงโดยปริมาตรจะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากอัตราส่วนผสมคอนกรีตผิดไปจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้

อัตราส่วนผสม จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์การผสมคอนกรีตจะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้ส่วนผสมรวมได้เต็มที่ ดังนั้นการผสมคอนกรีตหากกระทำอย่างไม่ทั่วถึง จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่ไ้การเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อและการอัดแน่นจะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียง หรือเท จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้การทำให้คอนกรีตแน่นตัวหากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรูพรุนขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลงได้ หรือหากใช้วิธีทำให้คอนกรีตแน่นตัวที่ไม่เหมาะสม ก็สามารรถทำให้เกิดการแยกตัวขึ้นในเนื้อคอนกรีตได้ ส่งผลให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ

วัสดุคอนกรีตเป็นวัสดุผสมที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม (เช่น หิน หินทราย หรือกรวด) และน้ำ (กำลังอัดของคอนกรีต ,2554)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุรฉัตร ฉัตรวีระ (2543)ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของอิฐผสมเถ้าแกลบ โดยอิฐที่มีเถ้าแกลบบดละเอียดเป็นส่วนผสมในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จะมีความหนาแน่นมอดูลัสแตกร้าว และกำลังรับแรงสูงสุดผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีทั้งเถ้าแกลบและดินปนทรายพบว่ามีซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นส่วนประกอบหลักทางเคมีและผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าแกลบและดินปนทรายด้วยเครื่อง X-ray diffraction พบว่า เถ้าแกลบจะมีโครงสร้างผลึกจำพวกควอร์ตและคริสโตพาไลต์ส่วนดินปนทรายจะมีโครงสร้างผลึกจำพวกควอร์ตมอนต์มอริลโลไนต์และอิลไลต์

ณัฐพงศ์ ดำรงวิริยะนุภาพ (2544) ศึกษาปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยแม่เมาะที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ การวิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น สองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการทดลองเพื่อหาส่วนผสมของวัสดุมวลรวมที่เหมาะสมและหาปริมาณร้อยละของน้ำที่ต้องใช้ในการทำอิฐดินซีเมนต์ ซึ่งการหาส่วนผสมของวัสดุมวลรวมที่เหมาะสมจะพิจารณาจากขนาดและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุมวลรวม การทดลองในส่วนที่สองเป็นการทดสอบกำลังรับแรงอัดในสภาพแห้งและชุ่มน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อนของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะ ผลการวิจัยพบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุมวลรวมสำหรับผลิตอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะคือ ดินมวลรวม(ลูกรัง)ส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ค้างบนตะแกรงมั่งลวด ร้อยละ 7.5 ส่วนผ่านตะแกรงมั่งลวด ทั้งหมดร้อยละ 42.5 และทรายร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐจะเพิ่มขนาดตามปริมาณของปูนซีเมนต์

บุรฉัตร ฉัตรวีระ (2544) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติทางกลของซีเมนต์ผสมเถ้าฟางข้าวซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าฟางข้าว เตาเผาเพอร์โรซีเมนต์ โดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าฟางข้าว คุณสมบัติทางกลซีเมนต์เพสต์ ได้แก่ความชื้นเหลวปกติ ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้าย กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก การขยายตัวในน้ำและการหดตัวแบบแห้งโดยทำการควบคุมปริมาณน้ำต่อวัสดุผง (ปูนซีเมนต์และเถ้าฟางข้าว โดยน้ำหนักเท่ากับ $0.4 (w/c+RSA)=0.4$) ตัวแปรหลักที่ใช้คือ อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าฟางข้าวในปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักที่ร้อยละ 0, 20, 40, 60 และ 80 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าการพัฒนา กำลังอัดแรงของซีเมนต์เพสต์ในช่วง 28 วันจะเพิ่มขึ้นเมื่อร้อยละแทนที่เถ้าฟางข้าวในปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจนถึงร้อยละ 40 ส่วนการดูดซึมน้ำ ความชื้นเหลวปกติ ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้าย การขยายตัวในน้ำและการหดตัวแบบแห้ง จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเพิ่มร้อยละการแทนที่ของเถ้าฟางข้าวในขณะที่ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและค่าร้อยละของกำลังอัดเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ธรรมดาจะมีค่าลดลง

พานทอง อินทรชัย (2548) ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนของอิฐดินเหนียวผสมเถ้าลอยและยิปซัมจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยศึกษาคุณสมบัติเชิงกลคือ ความต้านทานความเค้นอัดและความต้านทานโมเมนต์ม้วน คุณสมบัติเชิงความร้อนคือ การนำความร้อน และคุณสมบัติทางกายภาพคือ ความหนาแน่น ความพรุน และการดูดซึมน้ำ อิฐที่ใช้ในการทดสอบผ่านกระบวนการรีดด้วยเครื่องจักรให้ได้ขนาด $160 \times 65 \times 40 \text{ mm}^3$ แล้วนำมาเผาที่อุณหภูมิ $1,000^\circ \text{C}$ โดยได้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยเป็น 0, 20 และ 40% โดยน้ำหนัก และยิปซัม 0, 10 และ 20% โดยน้ำหนัก ส่วนที่เหลือเป็นดินเหนียวจากการศึกษาพบว่า ส่วนผสมของเถ้าลอยในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นจาก 0% จะทำให้ค่าความต้านทานความเค้นอัดและค่าความต้านทานโมเมนต์ม้วนลดลง แต่จะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยที่ส่วนผสมของเถ้าลอยอยู่ในช่วงมากกว่า 20% การผสมเถ้าลอยมากขึ้นจะทำให้ค่าการนำความร้อนลดลงในขณะที่ความแข็งแรงลดลง สำหรับค่าความหนาแน่น ความพรุน และการดูดซึมน้ำ ผ่านมาตรฐาน

วัชรระ เพิ่มชาติ (2548) ได้ทำการทดลองถึงการทำวิจัยที่ร่วมกันทำกับ บริษัท Professional Block จำกัด ซึ่งเป็นผู้ผลิตและจำหน่ายอิฐมวลเบาชนิดไม่อบไอน้ำซึ่งการศึกษานี้เป็นการพัฒนาการผลิตอิฐมวลเบาให้มีคุณภาพดีขึ้น ในขณะเดียวกันจะช่วยลดต้นทุนการผลิตด้วย โดยการนำเถ้าลอยถ่านหินและเถ้าลอยแกลบมาเป็นส่วนผสมในการผลิต การดำเนินงานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) ศึกษาคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปของอิฐมวลเบาเดิมของบริษัทฯ เมื่อผสมเถ้าลอยที่อัตราส่วนต่างๆ คุณสมบัติของอิฐที่ศึกษา ได้แก่ ค่าความแข็งแรงและค่าการนำความร้อน 2) สร้างห้องทดสอบขนาด $2.3 \times 2.3 \text{ m}^3$ สูง 2.4 m โดยใช้อิฐมอญและอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าลอย ทำการวัดอุณหภูมิภายในห้องเพื่อเปรียบเทียบกัน

พัชรารวรรณ เกื้ออะเจริญ (2549) ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับการทำอิฐคอนกรีตน้ำหนักเบาผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน โดยเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มซึ่งการศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อหาแนวทางในการนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาเป็นส่วนผสมของอิฐคอนกรีตสำหรับก่อผนังในงานสถาปัตยกรรมโดยการทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมจากการทดลองพบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตอิฐคอนกรีตที่มีเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสมอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อเถ้าปาล์มน้ำมันเป็น 1: 1: 2 โดยน้ำหนักซึ่งง่ายต่อการจดจำอิฐคอนกรีตที่ได้มีค่าความหนาแน่นประมาณ 766 kg/cm^3 ใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกสามารถรับแรงอัดได้ประมาณ 90 kg/cm^2 มากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำของคอนกรีตบล็อกแบบไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานมอก. 58-2530 มีค่าการดูดซึมน้ำประมาณร้อยละ 20 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานค่าการนำความร้อน 0.194 W/mK ซึ่งสามารถป้องกันความร้อนได้ใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบา

ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และจตุพร ตั้งศิริสกุล (2550) ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับวัสดุทางธรรมชาติทำให้มีผลต่อคุณสมบัติของก้อนอิฐ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของวัสดุทางการเกษตรโดยใช้ดินเหนียว 2 ชนิดจากแหล่งที่แตกต่างกันมาผลิตก้อนอิฐดินดิบ และใช้วัสดุทางการเกษตรดังกล่าวแทนที่ดินเหนียวในส่วนผสมของก้อนอิฐดินดิบในอัตราส่วนร้อยละ 1, 2, 3, 6 และ 9 โดยน้ำหนัก เพื่อเปรียบเทียบกับก้อนอิฐดินดิบควบคุมซึ่งไม่มีส่วนผสมของวัสดุอื่น โดยก้อนอิฐที่ขึ้นรูปเสร็จแล้วถูกนำมาทำให้แห้งด้วย 2 วิธีการ คือ การตากแดดเป็นเวลา 7 วัน และการอบหลังจากตากแดดแล้วเป็นเวลา 24h จากผลการทดสอบพบว่า แกลบ และขุยมะพร้าว สามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดและลดการหดตัวของก้อนอิฐดินดิบ แต่ในส่วนผสมที่มีแกลบแทนที่เกินกว่าร้อยละ 3 นั้น ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง ดินเหนียวชนิดที่ 2 มีปริมาณทรายมากกว่าซึ่งส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่า และการหดตัวต่ำกว่าก้อนอิฐที่ทำจากดินเหนียวชนิดที่ 1 และในด้านการนำความร้อนของก้อนอิฐพบว่าการแทนที่ดินเหนียวด้วยแกลบในส่วนผสมของก้อนอิฐดินดิบ ทำให้ค่าการนำความร้อนของก้อนอิฐต่ำลงเมื่อเทียบกับก้อนอิฐ

ปิติ พานิชายุนท์ และคณะ (2551) ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับการทำอิฐคอนกรีตมวลเบาจากฟางข้าว วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาคอนกรีตมวลเบาจากฟางข้าวที่เหลือใช้ในชุมชนจังหวัดพัทลุง ในการศึกษาพิจารณาที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกันหลายส่วนผสม และทำการผลิตส่วนผสมละ 5 ก้อนการทดสอบตัวอย่างจะทำการทดสอบน้ำหนัก ความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและค่าแรงอัด จากผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มฟางข้าวเป็นส่วนผสมสามารถ ลดน้ำหนักและความหนาแน่นของตัวอย่างได้ ซึ่งอัตราส่วนโดยปริมาตรของ ดิน : ทราย : ซีเมนต์ : ฟาง ที่ให้สมบัติของบล็อกดีที่สุดคือ 10:5:8:8โดยปริมาตร มีความหนาแน่น 1591 kg/cm^3 ค่าแรงกด 37.56 kg/cm^2 และมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ 19.84%ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีฟางข้าว พบว่า น้ำหนักและความหนาแน่นลดลงอย่างเห็นได้ชัดคือ 29.38% และ 47.40%ตามลำดับ

อापิติน ดะแซสเหมาะสมและคณะ(2554)ได้ทดลองในเรื่องของสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพารา โดยเถ้าไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมวัสดุเหลือใช้นี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้เถ้าไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมในอิฐโดยมีส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์เถ้าไม้ยางพาราและทรายในอัตราส่วน 50 : 45 : 5 60 : 35 : 5 และ 70 : 25 : 5 โดยประมาณ อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน 0.80 1.07 และ 1.76 โดยปริมาณ จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพและกำลังอัดของอิฐตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอก. 1505 - 2541 พบว่าปริมาณการเติมเถ้าไม้ยางพารามีผลต่อความหนาแน่นและร้อยละการดูดซึมน้ำนั้นคือเมื่อ อัตราส่วนการเติมเถ้าไม้ยางพารามีค่าเพิ่มขึ้นความหนาแน่นจะมีค่าลดลงแต่ร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นและจากผลการทดสอบกำลังอัดพบว่ากำลังจะมีค่าลดลงเมื่อร้อยละการเติมเถ้าไม้ยางพารามีค่าเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากความพรุนและร้อยละของซิลิกอนไดออกไซด์(SiO_2)และอะลูมิเนียมออกไซด์(Al_2O_3)ของเถ้าไม้ยางพาราที่น้อยทำให้เกิดการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานซึ่งปฏิกิริยาที่สร้างความแข็งแรงแก่อิฐจากงานวิจัยสรุปได้ว่าอิฐจากการวิจัยเหมาะสำหรับการใช้งานที่ไม่รับน้ำหนักเช่นอิฐสำหรับงานประดับอิฐสำหรับปูทางเดิน

อापิติน ดะแซสาเมาะและคณะ(2554)ได้ทดลองในเรื่องของสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพารา โดยเถ้าไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมวัสดุเหลือใช้นี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้เถ้าไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมในอิฐโดยมีส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์เถ้าไม้ยางพาราและทรายในอัตราส่วน 50 : 45 : 5 60 : 35 : 5 และ 70 : 25 : 5 โดยประมาณ อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน 0.80 1.07 และ 1.76 โดยปริมาณ จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพและกำลังอัดของอิฐตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอก. 1505 - 2541 พบว่าปริมาณการเติมเถ้าไม้ยางพารามีผลต่อความหนาแน่นและร้อยละการดูดซึมน้ำนั้นคือเมื่ออัตราส่วนการเติมเถ้าไม้ยางพารามีค่าเพิ่มขึ้นความหนาแน่นจะมีค่าลดลงแต่ร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นและจากผลการทดสอบกำลังอัดพบว่ากำลังจะมีค่าลดลงเมื่อร้อยละการเติมเถ้าไม้ยางพารามีค่าเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากความพรุนและร้อยละของซิลิกอนไดออกไซด์(SiO_2)และอะลูมิเนียมออกไซด์(Al_2O_3)ของเถ้าไม้ยางพาราที่น้อยทำให้เกิดการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานซึ่งปฏิกิริยาที่สร้างความแข็งแรงแก่อิฐจากงานวิจัยสรุปได้ว่าอิฐจากการวิจัยเหมาะสำหรับการใช้งานที่ไม่รับน้ำหนักเช่นอิฐสำหรับงานประดับอิฐสำหรับปูทางเดิน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาและเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าเฌียงพาราด้วยวิธีการทางเคมีโดยมีส่วผสมของเถ้าเฌียงพารา ปูนซีเมนต์ ทราย ในอัตราส่วน 50:45:5 โดยน้ำหนัและเพือช่วยเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในอิฐที่มีส่วผสมของเถ้าเฌียงพารา ในการทำวิจัยครั้งนี้ มีการเติมสารเคมีกลุ่มซัลเฟตซึ่งได้แก่ CaSO_4 และ Na_2SO_4 หรือกลุ่มอัลคาไลซึ่งได้แก่ NaOH และ Ca(OH)_2 โดยมีวัสดุและอุปกรณ์ดังนี้

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์

- 1) เถ้าเฌียงพาราขนาด อนุภาค $75\ \mu\text{m}$
- 2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- 3) ทรายน้ำจืด
- 4) น้ำประปา
- 5) Na_2SO_4 ความบริสุทธิ์ 99 % ยี่ห้อ AJAX
- 6) CaSO_4 ความบริสุทธิ์ 98% ยี่ห้อ AJAX
- 7) NaOH ความบริสุทธิ์ 97 % ยี่ห้อ AJAX
- 8) Ca(OH)_2 ความบริสุทธิ์ 96% ยี่ห้อ AJAX
- 9) ตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 40 และเบอร์ 4
- 10) แบบบรรจุอิฐขนาด $10 \times 10 \times 10\ \text{cm}^3$
- 11) พลาสติกใส
- 12) เกรียง
- 13) กะละมัง
- 14) ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 ml
- 15) ปิกเกอร์ขนาด 1000 ml
- 16) ซ้อนตักสารเคมี
- 17) แท่งแก้วคน
- 18) น้ำกลั่น
- 19) น้ำมันเครื่อง
- 20) เครื่องชั่ง 1 g
- 21) เวอร์เนียร์แบบดิจิตอล ความละเอียด 0.01 cm
- 22) ตู้อบ (Oven)

3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมอิฐ

1. คัดขนาดของเถาไม้ยางพาราด้วยการร่อนเถาไม้ยางพาราผ่านตะแกรงเบอร์ 40 และร่อนทรายผ่านตะแกรงเบอร์ 4
2. เตรียมสารเคมีกลุ่มซัลเฟต (CaSO_4 และ Na_2SO_4) และกลุ่มอัลคาไลต์ (NaOH และ Ca(OH)_2) ที่ความเข้มข้น 8, 10 และ 12 mol
3. ทำอิฐที่มีส่วนผสมของเถาไม้ยางพารา ปูนซีเมนต์ ทราย ในอัตราส่วน 50: 45: 5 และเติมน้ำในสัดส่วนการเติมน้ำต่อซีเมนต์โดยกำหนดอัตราส่วนระหว่างสารเคมีต่อเถาไม้ยางพาราในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก
4. ผสมเถาไม้ยางพารากับสารเคมีที่เตรียมไว้คลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกันพอหมาดๆ จากนั้นก็เติมน้ำปูนซีเมนต์ ทราย น้ำลงไปแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน
5. นำส่วนผสมที่คลุกเคล้ากันไปบรรจุในบล็อกอิฐขนาด $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ เป็นเวลา 24 h
6. เมื่อครบ 24 h นำอิฐไปบ่มขึ้นเป็นเวลา 28 วัน

3.2.2 ทดสอบความหนาแน่น

การทดสอบความหนาแน่น ทำการทดลองดังนี้

1. นำอิฐขนาด $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ อบเพื่อไล่ความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ $105 \pm 5^\circ \text{C}$ เป็นเวลา 24h
2. เมื่อครบกำหนดนำอิฐทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งมวลและวัดมิติคำนวณหาปริมาตรของอิฐ
3. คำนวณหาความหนาแน่นตามสมการที่

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.1)$$

กำหนดให้

ρ คือ ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m^3)

m คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังการอบ (kg)

v คือ ปริมาตรของอิฐหลังการอบ (m^3)

3.2.3 ทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ

การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำทำการทดลองดังนี้

1. นำอิฐขนาด $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ อบเพื่อไล่ความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ $105 \pm 5^\circ \text{C}$ เป็นเวลา 24h
2. ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นวัดมวล (m_1) หรือน้ำหนักการอบขณะแห้ง
3. แช่อิฐในน้ำสะอาดให้น้ำท่วมเป็นเวลา 24 h โดยให้อิฐจมจากผิวน้ำ 3 c
4. เมื่อครบ 24 h ชั่งมวลของอิฐ (m_2) ให้เสร็จภายใน 3 min น้ำหนักที่ชั่งได้นี้ถือเป็นน้ำหนักการอบขณะเปียก

5. คำนวณอัตราการดูดซึมน้ำตามสมการ

$$S = \frac{m_2 - m_1}{m_2} \times 10 \quad (3.2)$$

กำหนดให้

S คือ อัตราการดูดกลืนน้ำ(%)

m_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังการอบขณะแห้ง (kg)

m_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังการอบขณะเปียก(kg)

3.2.3 ทดสอบสมบัติทางกล

การทดสอบกำลังอัด ทำการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 ณ แผนกวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคยะลา โดยมีวิธีการทดสอบ คือ นำอิฐขนาด $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ กดด้วยเครื่องกดในแนวตั้งฉากกับด้านยาวของอิฐจนได้ค่าแรงอัดสูงสุด เมื่ออิฐแตกเสียหาย

3.3 การวิเคราะห์

การวิเคราะห์ข้อมูลทำโดยนำค่าที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพ คือความหนาแน่น อัตราการดูดซึมน้ำ และการทดสอบกำลังอัด ไปคำนวณตามสูตรที่ได้กำหนดไว้ โดยนำค่าที่ได้ทั้ง 3 ค่า ไปหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นทำการเปรียบเทียบการปรับปรุงอิฐเก่าไม่ย่างพาราด้วยสารเคมีกลุ่มซัลเฟตหรือกลุ่มอัลคาไลด์กับอิฐที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงด้วยสารเคมี ซึ่งจะมีคุณสมบัติตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติของอิฐที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงด้วยสารเคมี

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้จากการทดสอบ
ความหนาแน่น	1204.20 kg/m ³
อัตราการดูดซึมน้ำ	20.99 %
กำลังอัด	30.81 kg/cm ²

ที่มา : (อาบิئين, 2550)

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

การศึกษาการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าไม้ยางพาราด้วยวิธีการทางเคมีในอิฐ โดยอิฐมีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพารา ปูนซีเมนต์ ทราย ในอัตราส่วน 50:45:5 โดยน้ำหนัก และสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/B) เท่ากับ 0.6 อิฐที่ผ่านการปรับปรุงเถ้าไม้ยางพาราด้วยสารเคมีกลุ่มซัลเฟต (Na_2SO_4 หรือ CaSO_4) และกลุ่มอัลคาไลด์ (NaOH หรือ Ca(OH)_2) ได้ผลการทดลองดังนี้

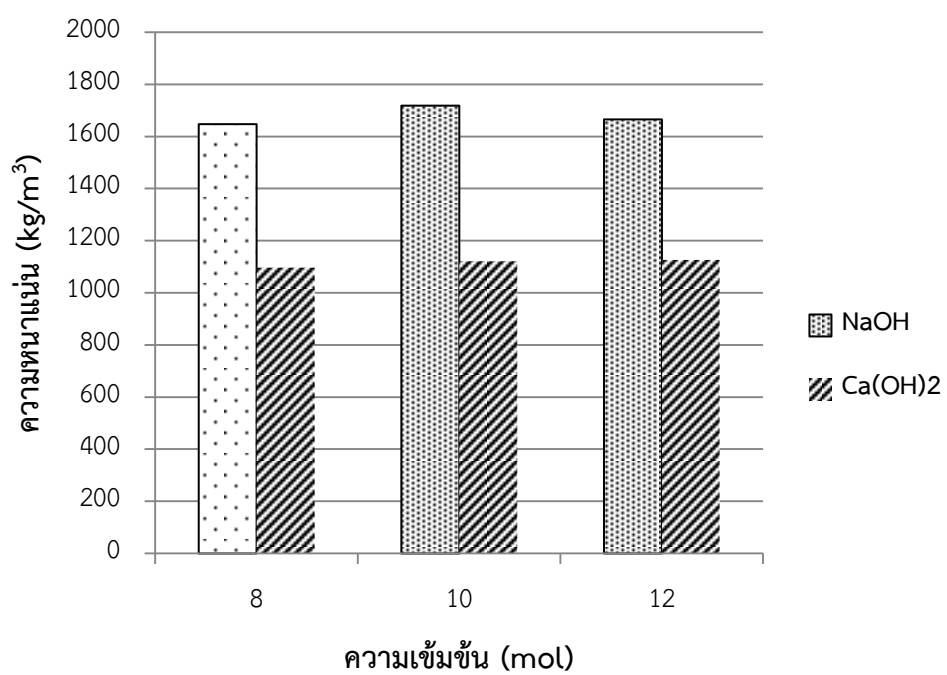
4.1 ลักษณะทางกายภาพ



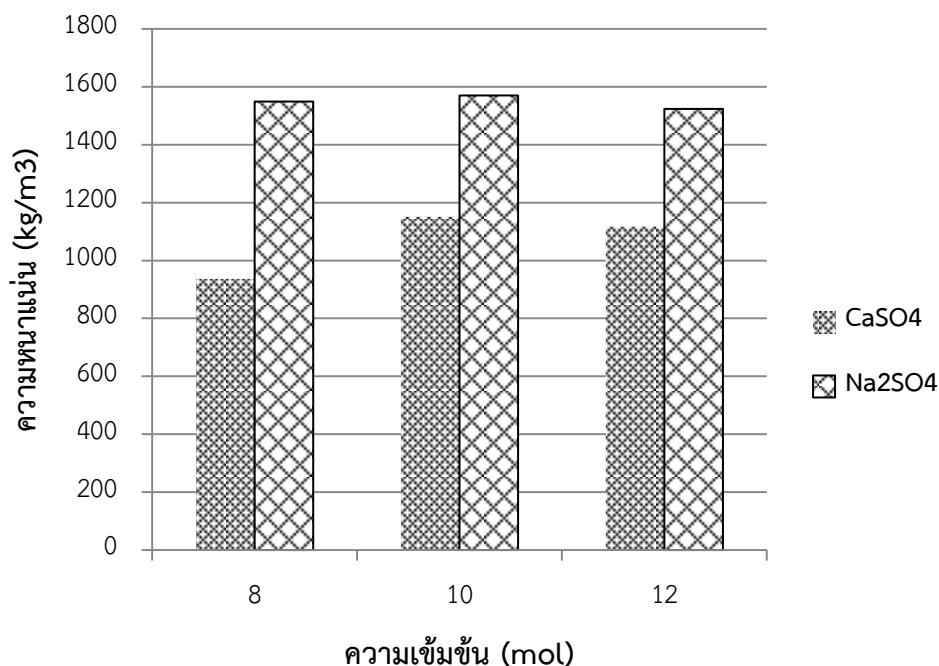
ภาพที่ 4.1 อิฐที่ผ่านการปรับปรุงเถ้าไม้ยางพาราด้วยสารเคมีกลุ่มอัลคาไลด์และกลุ่มซัลเฟต

จากภาพที่ 4.1 พบว่าอิฐที่ผ่านการปรับปรุงเถ้าไม้ยางพาราด้วยสารเคมีกลุ่มซัลเฟตคือ CaSO_4 อิฐจะขึ้นรูปและมีลักษณะเป็นสีเทา ส่วนของ Na_2SO_4 อิฐจะมีลักษณะเป็นสีดำ และกลุ่มอัลคาไลด์คือ NaOH อิฐจะขึ้นรูปและมีลักษณะเป็นสีเทา ส่วนของ Ca(OH)_2 อิฐมีลักษณะเป็นสีเทาเหมือนกัน

4.2 ความหนาแน่น



(ก) สารเคมีกลุ่มอัลคาไลน์

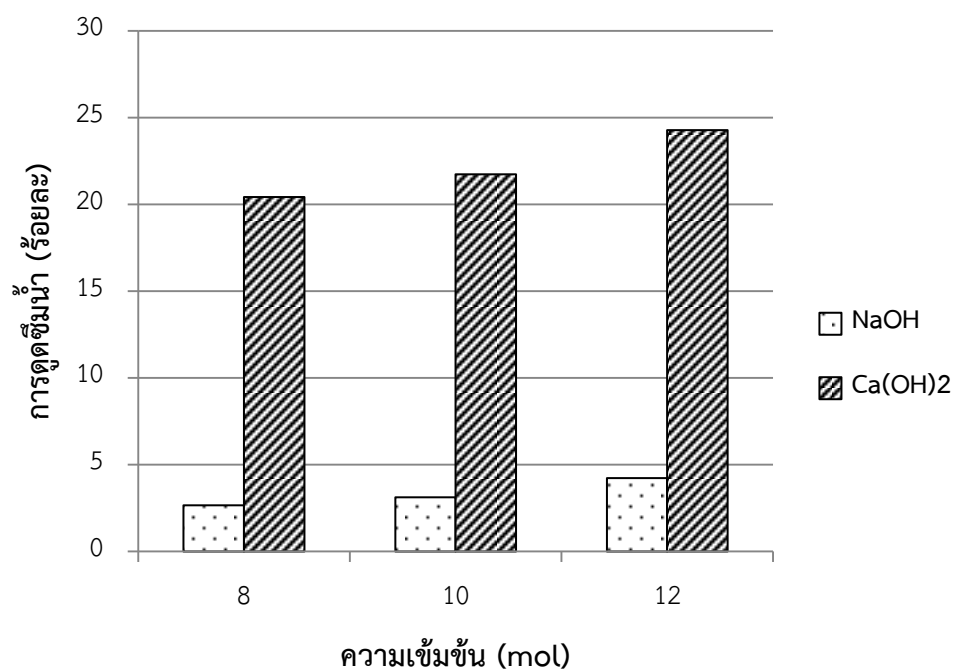


(ข) สารเคมีกลุ่มซัลเฟต

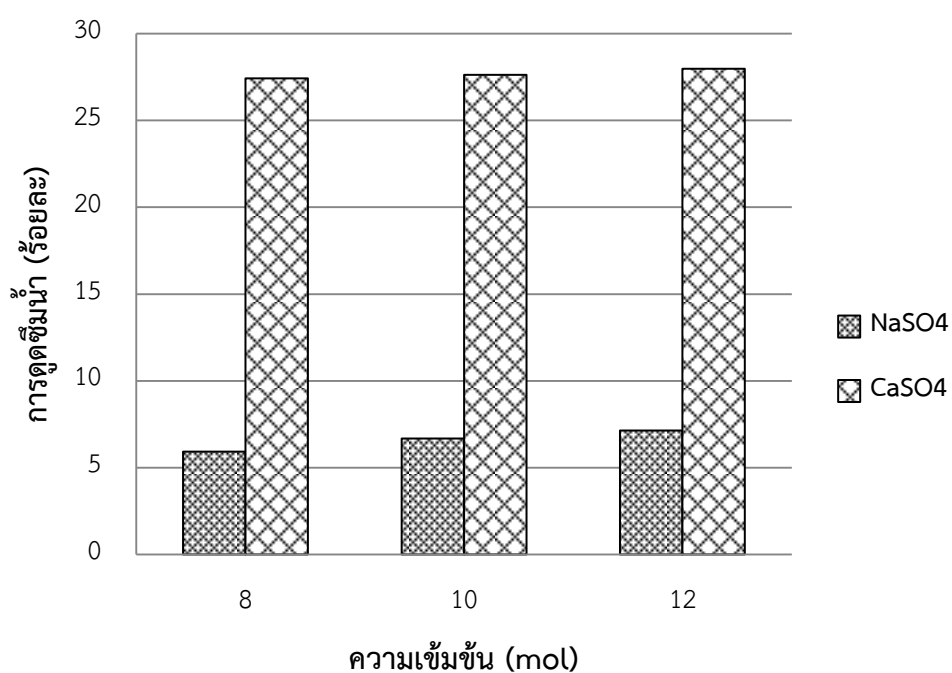
ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความเข้มข้นของสารเคมี

จากภาพที่ 4.2 พบว่าความหนาแน่นของอิฐที่มีส่วนผสมสารเคมีกลุ่มซัลเฟตและกลุ่มอัลคาไลด์ที่มีความเข้มข้น 8, 10 และ 12 mol โดยมีส่วนผสมของเถ้าเถ้าฟารา ปูนซีเมนต์ ทราย ในอัตราส่วน 50:45:5 โดยน้ำหนัก มีค่าความหนาแน่นมากที่สุดอยู่ที่ความเข้มข้นของการเติมสารเคมี 10 mol เมื่อเทียบความหนาแน่นของกลุ่มซัลเฟต พบว่าความหนาแน่น Na_2SO_4 จะมีค่ามากกว่า CaSO_4 ประมาณ $300\text{--}600 \text{ kg/m}^3$ ส่วนความหนาแน่นของกลุ่มอัลคาไลด์ พบว่า NaOH จะมีค่ามากกว่า Ca(OH)_2 ประมาณ $500\text{--}600 \text{ kg/m}^3$ เมื่อเทียบความหนาแน่นของทั้ง 2 กลุ่มนี้ จะเห็นได้ว่าสารเคมีกลุ่มอัลคาไลด์จะมีความหนาแน่นสูงกว่ากลุ่มซัลเฟต ซึ่งค่าความหนาแน่นที่มากที่สุดจะอยู่ที่ 1690 kg/m^3

4.3 การดูดซึมน้ำ



(ก) กลุ่มอัลคาไลน์

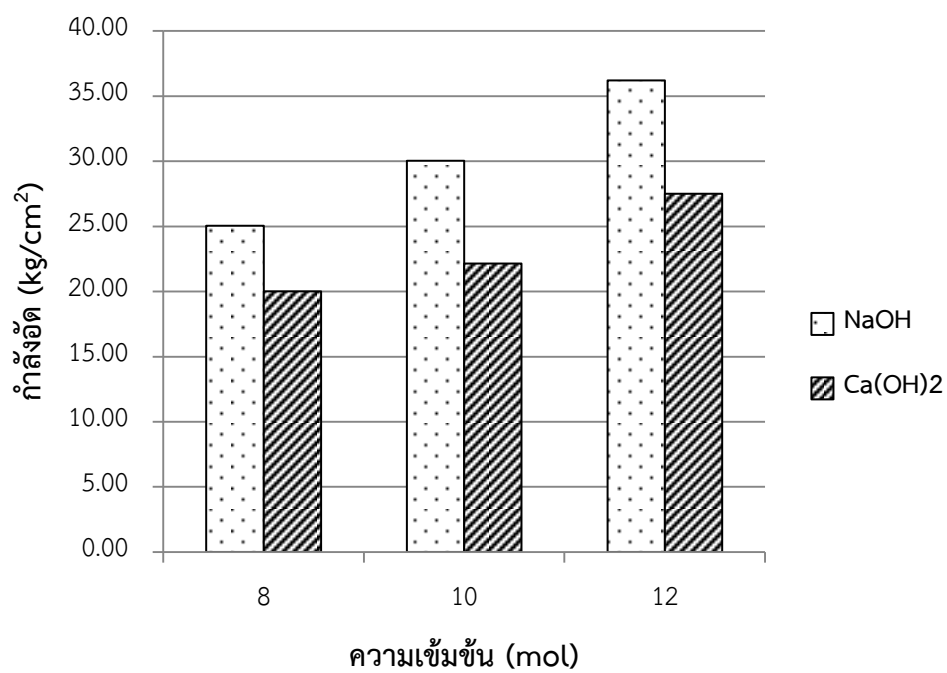


(ข) สารเคมีกลุ่มซัลเฟต

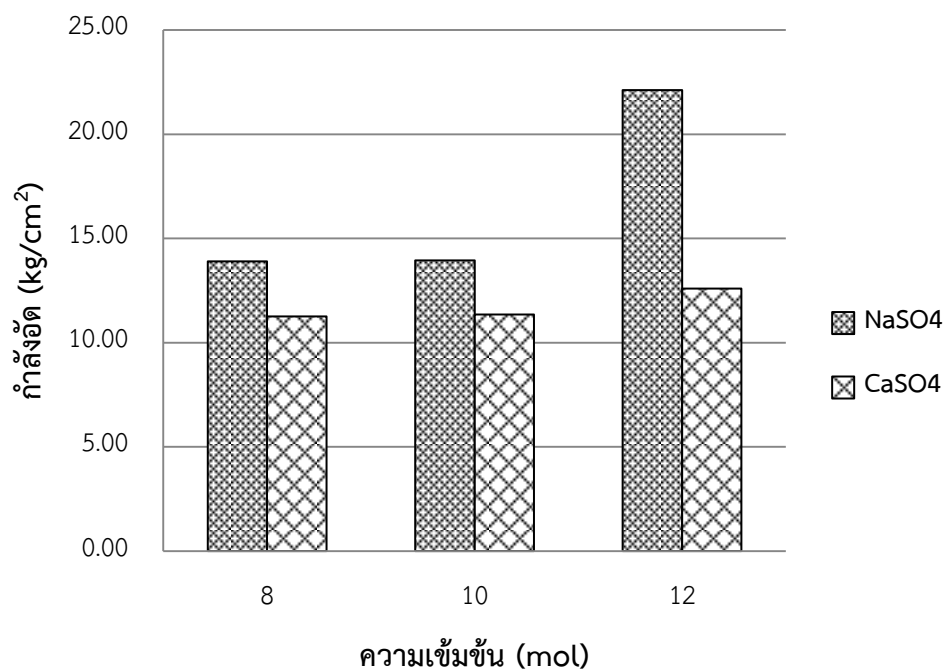
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำกับความเข้มข้นของสารเคมี

จากภาพที่ 4.3 อัตราการดูดซึมน้ำของอิฐซึ่งเผาไม่ย่างพาราได้ผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมี กลุ่มซัลเฟตหรือกลุ่มอัลคาไลด์ที่มีความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol โดยมีส่วนผสมของเผาไม่ย่างพารา ปูนซีเมนต์ หทราย ในอัตราส่วน 50:45:5 โดยน้ำหนัก จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้น อัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าดังนี้ กลุ่มซัลเฟต ได้แก่ CaSO_4 ที่ความเข้มข้น 8 10 12mol มีค่า 5.93 6.68 และ 7.13 kg/m^3 และ Na_2SO_4 ที่ความเข้มข้น 8 10 12mol มีค่า 27.42 27.62 และ 27.97 kg/m^3 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มอัลคาไลด์ ได้แก่ NaOH ที่ความเข้มข้น 8 10 12 mol มีค่า 2.688 3.122 4.228 kg/m^3 และ Ca(OH)_2 ที่ความเข้มข้น 8 10 12 mol มีค่า 20.42 21.74 และ 24.28 ตามลำดับ

4.4 กำลังอัด



(ก) กลุ่มอัลคาไลน์



(ข) สารเคมีกลุ่มซัลเฟต

ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความชื้นของสารเคมี

จากภาพที่ 4.4 พบว่ากำลังอัดของอิฐซึ่งเผาไม่อย่างพารามีการปรับปรุงด้วยสารเคมีกลุ่มซัลเฟตหรือกลุ่มอัลคาไลด์ที่มีความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol เมื่อปริมาณความเข้มข้นเพิ่มขึ้น กำลังอัดจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาเทียบค่ากำลังอัดของแต่ละกลุ่มพบว่ากำลังอัดของกลุ่มซัลเฟต ได้แก่ Na_2SO_4 จะมีค่าสูงกว่า CaSO_4 ประมาณ 2-10 kg/m^2 สำหรับกลุ่มอัลคาไลด์ NaOH มีค่าสูงกว่า Ca(OH)_2 ประมาณ 5-9 kg/m^2 เมื่อเทียบกำลังอัดของทั้ง 2 กลุ่มพบว่ากลุ่มอัลคาไลด์จะมีค่ากำลังอัดสูงกว่ากลุ่มซัลเฟต เนื่องจากการปรับปรุงผิวเผินด้วยสารเคมี กลุ่มอัลคาไลด์เมื่อทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์และน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานทำให้เกิดปฏิกิริยาความร้อนเกิดขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับปฏิกิริยาของ C_3S ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและลดลงเนื่องจากการเกิดขึ้นของเอทริงไคต์หุ้มเม็ดปูนและจากการที่สารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น จะตกผลึกและปฏิกิริยาของ C_3S และ C_2S จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิด CSH เพิ่มขึ้นเข้าไปในโพรงและเมื่อมีปริมาณมากขึ้นจะเชื่อมโยงถึงกันและเกิดการยึดเกาะกันขึ้นจึงทำให้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น

เมื่อเทียบกับค่ากำลังอัดของอิฐซึ่งเผาไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารเคมี (ตารางที่ 3.1) พบว่า การปรับปรุงด้วยสารเคมีกลุ่มอัลคาไลด์ ซึ่งได้แก่ NaOH ที่ความเข้มข้น 10 และ 12 mol มีค่ากำลังอัดสูงกว่าอิฐที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยผสมสารเคมี และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานทั้งหมดมอก1505-2541 พบว่า การปรับปรุงด้วยสารเคมีด้วย NaOH ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol มีค่ากำลังอัดสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คือ ไม่ต่ำกว่า 25 kg/cm^2 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ สำนักงาน ,2541) ทั้งนี้เนื่องจาก NaOH มีคุณสมบัติที่แตกต่างเมื่อทำปฏิกิริยากับเผาไม่อย่างพาราจึงทำให้เกิดการปรับปรุงผิวเผินเมื่อไปทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์และน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานที่เป็นตัวเชื่อมประสานเกิดขึ้น จึงส่งผลทำให้อิฐมีความแข็งแรงและมีคุณสมบัติด้านรับแรงอัดได้สูงขึ้น

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าเฌียงพาราด้วยวิธีการทางเคมีสามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัยการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าเฌียงพาราด้วยวิธีการทางเคมี โดยมีส่วนผสมของเถ้าเฌียงพารา ปูนซีเมนต์ ทราย ในอัตราส่วน 50:45:5 โดยน้ำหนัก และสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/B) เท่ากับ 0.6 อิฐที่ผสมสารเคมีกลุ่มซัลเฟตได้แก่ (Na_2SO_4 หรือ CaSO_4) และกลุ่มอัลคาไลด์ (NaOH หรือ Ca(OH)_2) ที่ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol ศึกษาสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่น และ อัตราการดูดซึมน้ำ) และค่ากำลังอัด พบว่า ความหนาแน่น อัตราการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังอัด มีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารเคมีมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังอัดในกลุ่มอัลคาไลน์ การปรับปรุงด้วย NaOH มีค่าสูงกว่า Ca(OH)_2 ในขณะที่กลุ่มซัลเฟต การปรับปรุงด้วย NaSO_4 มีค่าสูงกว่า CaSO_4 และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานทั้งหมด มอก. 1505-2541 พบว่า การปรับปรุงด้วยสารเคมีด้วย NaOH ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol มีค่ากำลังอัดสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คือ ไม่ต่ำกว่า 25 kg/cm^2

5.2 ข้อเสนอแนะ

การเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าเฌียงพาราด้วยวิธีการทางเคมี ซึ่งได้ทดสอบสมบัติทางกายภาพและกำลังอัด โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 เสนอแนะการดำเนินการวิจัย

- 1) ควรเทน้ำมันบริเวณขอบแบบบรรจุอิฐทุกครั้งก่อนที่จะใส่อิฐลงในแบบบรรจุเพื่อความสะดวกในการถอดอิฐในแบบบรรจุ
- 2) ในขั้นตอนการบรรจุส่วนผสมของอิฐลงในแบบควรกระทุ้งอิฐในแต่ละก้อนแต่ละครั้งให้เท่ากัน
- 3) ไม่ควรเคลื่อนย้ายอิฐที่ทำเสร็จใหม่ๆ เพราะจะทำให้อิฐบิดเบี้ยว

5.2.2 เสนอการศึกษาค้นคว้าต่อไป

ควรศึกษาการบ่มแบบความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิในการบ่มจะช่วยเร่งปฏิกิริยาเพิ่มความแข็งแรงของอิฐ

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

เอกสารอ้างอิง

- ประชุม คำพัฒ. (2549). งานวิจัยเรื่องการใช้ถั่วลอยเป็นวัสดุผสมเพิ่มในอิฐดินดิบ. ปทุมธานี : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- ไกรวุฒิ ตันติสุขารมย์. (2550). กำลังอัดเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานและการอัดตัวของอนุภาค. วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- กำลังอัดของคอนกรีต. (ออนไลน์) . เข้าถึงได้จาก <http://www.cpac.co.th> เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 กันยายน 2554.
- ณัฐพงศ์ ดำรงวิริยะนุภาพ. (2544). งานวิจัยเรื่องการทำปริมาณที่เหมาะสมของถั่วลอยสำหรับอิฐดินซีเมนต์. เชียงใหม่ : คณะวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ถั่วลอย. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก <http://www.mter.or.th> เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 มิถุนายน พ.ศ.2554.
- บุรฉัตร ฉัตรวีระ. (2543).งานวิจัยเรื่องคุณสมบัติของอิฐผสมถั่วแกลบ.กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- บุรฉัตร ฉัตรวีระ. (2544). คุณสมบัติทางกลซีเมนต์เพสต์ผสมถั่วพารา.วารสารวิจัยและพัฒนา มจร, 24 (1), 85-99.
- ปิติ พานิชายู นนท์ฉัตร ผลนาค สุวิทย์ เพชรห้วยลึก ธวัชณ์ชัย เทพนวล นพพันธ์ นานคงแนบ และอนุจิตร จันทศรี. (2551). งานวิจัยเรื่องการพัฒนาคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากฟางข้าว. พัสดุ: ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- ปริญญญา จินดาประเสริฐ.(2547). ถั่วลอยในงานของกรีต. กรุงเทพมหานคร:สมาคมคอนกรีตไทย
- ปริญญญา จินดาประเสริฐ. (2549). ปูนซีเมนต์ ปอซโซลานและคอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 3. ขอนแก่น: ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- พัชรารวรรณ เกื้อะเจริญ. (2549). งานวิจัยเรื่องการพัฒนาอิฐคอนกรีตน้ำหนักเบาผสมถั่วปาล์ม น้ำมัน. เชียงใหม่ :คณะสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พานทอง อินทรชัย. (2548). งานวิจัยเรื่องคุณสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนของอิฐดินเหนียวผสมถั่วลอยและยิปซัมจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ. เชียงใหม่:คณะวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์และจตุพร ตั้งศิริกุล. (2550). งานวิจัยเรื่องผลของวัสดุทางธรรมชาติที่มีต่อคุณสมบัติของก้อนอิฐดินดิบสำหรับการก่อสร้างบ้านดิน. กรุงเทพมหานคร :คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

- มาตรฐานผลิตภัณฑ์สำนักงาน. (2541). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1505-2541** ชิ้นส่วน
คอนกรีตมวลเบา แบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- วรรณะ ต. แสงจันทร์. (2552). การพัฒนาอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว. **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ**,
57(179) , 46-52.
- วัชรระ เพิ่มชาติ. (2548). **งานวิจัยเรื่องการใช้ประโยชน์จากซีเมนต์ลอยของวัสดุเศษและถ่านหิน
สำหรับทำอิฐมวลเบา**. กรุงเทพมหานคร : วิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรมการวิจัย.
- อาปีติน ดะแซสาเมาะ จินดา มะมิง โนรีสะ ราแดง และ ยาเซ็ง อาแว. (2554). สมบัติทาง
กายภาพและสมบัติทางกลของอิฐที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพารา. **วารสารมหาวิทยาลัย
ราชภัฏยะลา**, 6(1), 25-35.
- อิฐ. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก <http://www.chanavivat.com>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 20มิถุนายน พ.ศ.
2554.