รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

ผลของด่างเร่งปฏิกิริยาต่อกำลังอัดคอนกรีตบล็อคชนิดรับน้ำหนักจากเถ้าแกลบ

(Effect of alkaline activator on compressive strength of hollow load-bearing concrete masonry blocks from rice husk ash)

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายวิเชียร ชาลี

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 258326

สัญญาเลขที่ 103/2560

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

ผลของด่างเร่งปฏิกิริยาต่อกำลังอัดคอนกรีตบล็อคชนิดรับน้ำหนักจากเถ้าแกลบ

(Effect of alkaline activator on compressive strength of hollow load-bearing concrete masonry blocks from rice husk ash)

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายวิเชียร ชาลี

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

พฤศจิกายน 2560

ทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ตามที่ นายวิเชียร ชาลี พนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่งรองศาสตราจารย์ สังกัดภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย เรื่อง “ผลของด่างเร่งปฏิกิริยาต่อกำลังอัดคอนกรีตบล็อคชนิดรับน้ำหนักจากเถ้าแกลบ” จากทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มีงบประมาณทั้งโครงการ 411,000 บาท ขณะนี้ผลการดำเนินการวิจัยเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว

รายละเอียดของโครงการวิจัย

ผู้เสนอ	:	นายวิเชียร ชาลี
หน่วยงาน	:	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ระยะเวลาดำเนินการ	:	12 เดือน
งบประมาณ	:	411,000 บาท

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อคจากวัสดุประสานจากเถ้าแกลบ(**RHA)** โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ **0,** 0.25**,** 0.50 และ 0.75 โมลาร์ เป็นสารเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตบล็อคจากเถ้าแกลบ ใช้เถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรงเป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 40**,** 50 และ 60 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน และใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวม โดยใช้อัตราส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อหินฝุ่นเท่ากับ 1:6 โดยน้ำหนัก เตรียมคอนกรีตบล็อคจากเถ้าแกลบโดยใช้เครื่องอัดชนิดซินวา-แรม หลังจากนั้นบ่มคอนกรีตบล็อคในอากาศที่อุณหภูมิห้องจนถึงอายุทดสอบ โดยทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อคจากเถ้าแกลบที่อายุ 7**,** 14 และ 28 วัน ตลอดจนทดสอบการดูดซึมน้ำในคอนกรีตบล็อคที่อายุทดสอบ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่า การใช้สารสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงไม่เกิน 0.5 โมลาร์ มีผลให้คอนกรีตบล็อคมีกำลังอัดสูงขึ้น อย่างไรก็ตามกำลังอัดของคอนกรีตบล็อคจากเถ้าแกลบมีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นสูงขึ้นเป็น **0.7**5 โมลาร์ การใช้เถ้าแกลบในปริมาณที่มากขึ้น มีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อคลดลงอย่างชัดเจน นอกจากนั้นร้อยละการดูดซึมน้ำในคอนกรีตบล็อคจากเถ้าแกลบมีแนวโน้มสูงขึ้นตามกำลังอัดที่ลดลง

คำสำคัญ : คอนกรีตบล็อค, เถ้าแกลบ, ความเข้มข้นของสารสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, กำลังอัด

Abstract

This research aimed to study the effects of NaOH concentrations on compressive strength of concrete masonry blocks from rice husk ash (RHA). NaOH concentrations of 0, 0.25, 0.50 and 0.75 molar were used as an alkaline activator in pozzolanic reaction of RHA concrete masonry blocks. Original RHA was used as a pozzolanic material to replace Portland cement type I at 50, 60 and 70% by weight of the binder. The ratio of 1:6 by weight of binder : dust limestone were used as an aggregate. The RHA concrete masonry blocks were prepared by using the Cinva-Ram machine. The samples were air cured at room temperature until the age test. The RHA concrete masonry block was tested for compressive strength at 7, 14, and 28 days. In addition, water absorption of concrete masonry blocks was tested at 28 days. The results revealed that compressive strength of RHA concrete masonry blocks tends to increases with the NaOH concentration up to 0.5 molar. However, the compressive strength of RHA concrete masonry blocks decreases when NaOH concentration up to 0.75 molar is used in the mixture. The increase of RHA replacement in concrete masonry block clearly decreased the compressive strength of concrete masonry block. In addition, the water absorption of RHA concrete masonry block was found to increase with the decrease of compressive strength.

Keywords: Concrete masonry blocks, Rice husk ash, Sodium hydroxide concentration, Compressive strength

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้ความสะดวกด้านเครื่องมือและห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ธุรการ และช่างเทคนิคประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ช่วยประสานงานและช่วยเหลือเป็นอย่างดี ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนจากรัฐบาล (งบประมาณเงินแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 103/2560

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นฐานข้อมูล เพื่อส่งเสริมการใช้งานเถ้าแกลบโดยใช้ด่างเป็นตัวกระตุ้น เพื่อเป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีต หรือวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ให้สามารถใช้ในงานก่อสร้างอย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น

สารบัญ

สารบัญเนื้อหา

เนื้อหา	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญเนื้อหา	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 เถ้าแกลบ	4
2.2 ปฏิกิริยาปอซโซลาน	9
2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์	10
2.4 คอนกรีตบล็อค	11
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	**26**
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	26
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	27
3.3 การเตรียมวัสดุ	29
3.4 ส่วนผสมคอนกรีตบล็อค	30
3.5 วิธีผลิตคอนกรีตบล็อค	33
3.6 การทดสอบตัวอย่างคอนกรีตบล็อค	37

สารบัญเนื้อหา

เนื้อหา	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล	**42**
4.1 สมบัติของวัสดุในการทดสอบ	42
4.2 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อค	45
4.3 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อค	51
4.4 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อค	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	**56**
5.1 สรุปผล	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	**57**
ภาคผนวก ก ผลผลิต (Output)	**59**
ภาคผนวก ข รายงานการเงิน	**67**
ภาคผนวก ค ประวัตินักวิจัย	**68**

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ 5
2.2 ความหนาของเปลือกและผนังกั้นโพรง 17
2.3 ขนาดของคอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก 17
2.4 ความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ 19
2.5 วัตถุประสงค์ในการใช้คอนกรีตบล็อคชั้นคุณภพต่างๆ 19
2.6 ความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบล็อครับน้ำหนักประเภทที่ 1) 20
2.7 ความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ 19
3.1 สัดส่วนผสมคอนกรีตบล็อคโดยน้ำหนัก 31
4.1 สมบัติทางกายภาพของเถ้าแกลบ 43
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ 44
4.3 คุณสมบัติของมวลรวม 44
4.4 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อคจากเถ้าแกลบ 45
4.5 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อคที่บ่มในอากาศ 54

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 เถ้าแกลบดำ 6
2.2 อุณหภูมิในการเผาแกลบแบบต่างๆ 7
2.3 ภาพถ่ายขยาย SEM ของเถ้าแกลบ 8
2.4 ความถ่วงจำเพาะเถ้าแกลบกับอุณหภูมิในการเผา 9
2.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10
2.6 ดีแทคบล็อคชนิดต่างๆ 12
2.7 ดีแทคบล็อคชนิดชาโดว์บล็อค 13
2.8 แสดงการใช้อินเตอร์ล็อคกิ้งบล็อค 14
2.9 ลักษณะและขนาดของอินเตอร์ล็อคกิ้งบล็อค 15
2.10 คอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก 16
2.10 คอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก 16
2.10 คอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก 16
3.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 26
3.2 หินฝุ่น 26
3.3 เครื่องอัดคอนกรีตบล็อคชนิดซินวา-แรม 27
3.4 เครื่องทดสอบกำลังอัด 27
3.5 เครื่องตัดคอนกรีตบล็อค 28
3.6 ตู้อบคอนกรีตบล็อค 28
3.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก 29
3.8 การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 29
3.9 เถ้าแกลบที่มาจากโรงงานโดยตรงและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 30
3.10 การเตรียมวัสดุผสมคอนกรีตบล็อค 33
3.11 การผสมเถ้าแกลบและสารละลาย NaOH 33
3.12 การผสมคอนกรีตบล็อค 34
3.13 การชั่งวัสดุคอนกรีตบล็อคเพื่อเข้าเครื่องอัด 34
3.14 การใส่วัสดุคอนกรีตบล็อคเข้าเครื่องอัด 35
3.15 การอัดคอนกรีตบล็อค 35
3.16 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อคที่ได้จากการอัด 36
3.17 การบ่มคอนกรีตบล็อค 36

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ **หน้า**

3.18 การตัดคอนกรีตบล็อค 37

3.19 การทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อค 37

3.20 การวัดขนาดตัวอย่างคอนกรีตบล็อค 38

3.21 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบล็อค 38

3.22 การอบคอนกรีตบล็อคที่อุณหภูมิ 105 – 110 °ซ 39

3.23 การนำคอนกรีตบล็อคไปแช่น้ำ 40

3.24 การเช็ดผิวคอนกรีตบล็อคให้แห้ง 40

3.25 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบล็อคหลังจากแช่น้ำ 41

4.1 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของเถ้าแกลบ 42

4.2 ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลัง อัดของคอนกรีตบล็อค ที่ผสมเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง 48

4.3 ผลของปริมาณเถ้าแกลบต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อคที่ผสมเถ้าแกลบจากโรงงาน โดยตรง 51

4.4 ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณเถ้าแกลบ ต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อค 52

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตบล็อคที่อายุ 28 วัน กับการดูดซึมน้ำ ของคอนกรีตบล็อค 53

4.6 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความหนาแน่น ของคอนกรีตบล็อค 54

4.7 ผลของปริมาณเถ้าแกลบต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อค 55

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้วัสดุประสานจากวัสดุปอซโซลานในงานก่อสร้างได้รับความนิยมสูงขึ้น เนื่องจากให้สมบัติเชิงกลและสมบัติด้านความคงทนที่ดีภายใต้ต้นทุนที่ต่ำ อย่างไรก็ตามวัสดุปอซโซลานที่มีอนุภาคหยาบ ความพรุนสูง เช่น เถ้าชีวมวลต่างๆ (เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อย เถ้าปาล์มน้ำมัน) ยังไม่ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุประสานในการผลิตวัสดุก่อสร้าง เนื่องจากต้องผ่านการปรับปรุงโดยการบดอนุภาคให้ละเอียดก่อน จึงจะให้สมบัติเชิงกลที่สามารถใช้ในงานโครงสร้างได้ (Sata, *et al*., 2007; Chalee *et al*., 2013 ; Sata, *et al*., 2012) วัสดุประสานที่ได้จากวัสดุปอซโซลานที่มีอนุภาคหยาบมีกำลังอัดที่ต่ำมาก จนไม่สามารถใช้เป็นคอนกรีตโครงสร้างได้ ซึ่งหากมีการใช้ด่างเป็นสารเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานโดยการชะเอาซิลิกาและอลูมินาจากวัสดุปอซโซลาน เพื่อเข้าทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน อาจส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานดีขึ้นและมีกำลังอัดสูงขึ้นได้ โดยอาจไม่ต้องปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของวัสดุปอซโซลาน การประยุกต์ใช้วัสดุปอซโซลานที่มีอนุภาคหยาบในวัสดุก่อสร้างที่ไม่ต้องการกำลังรับแรงสูง และการรับแรงเชิงกลเป็นลักษณะของแรงอัด น่าจะส่งเสริมการใช้งานของวัสดุปอซโซลานเหล่านี้ในงานก่อสร้างได้กว้างขวางมากขึ้น

เถ้าแกลบเป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม ที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการให้พลังงานความร้อน เช่น โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า โรงงานทำอิฐบล้อค โรงงานซิรามิค เป็นต้น โดยทั่วไปเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาแกลบจะมี สีขาวและสีดำ โดยเถ้าแกลบขาว เป็นพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมอญ ที่มีการเผาเป็นระบบเปิด (Opened Burning Process) ข้อด้อยของเถ้าแกลบขาวจากแหล่งผลิตจะมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ หยาบและมีความพรุนสูง ทำให้ศักยภาพการใช้งานทางด้านวิศวกรรมต่ำ ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติของเถ้าแกลบเพิ่มเติมโดยวิธีการบดให้ละเอียด ส่วนเถ้าแกลบดำเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นการเผาแบบระบบปิด (Closed Burning Process) มีสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าเถ้าแกลบขาว เนื่องจากมีการเผาที่สมบูรณ์กว่า องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบดำจะมีซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ประมาณร้อยละ 80 – 90 ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก ลักษณะทางกายภาพของเถ้าแกลบมีขนาดและรูปร่างของอนุภาคไม่แน่นอน เป็นเหลี่ยมมุม มีผิวขรุขระ และมีความพรุนสูง อนุภาคมีรูโพรงอยู่ภายใน ถือเป็นข้อด้อยของเถ้าแกลบในการนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต อย่างไรก็ตามเถ้าแกลบมีปริมาณของซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ค่อนข้างสูง ซึ่งมีประโยชน์ต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตได้ (อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2552)

การศึกษาที่ผ่านมา พบว่าเถ้าแกลบดำเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง มีปริมาณค่อนข้างสูงในแต่ละปี โดยไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ให้เกิดมูลค่าอย่างเต็มที่ และเถ้าแกลบยังก่อให้เกิดปัญหาการกำจัดทิ้งอีกด้วย ลักษณะทางกายภาพของเถ้าแกลบมีขนาดและรูปร่างของอนุภาคไม่แน่นอน เป็นเหลี่ยมมุม มีผิวขรุขระ และมีความพรุนสูง อนุภาคมีรูโพรงอยู่ภายในซึ่งเป็นข้อด้อยของเถ้าแกลบในการนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต (Feng, *et al*., 2004) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบดำพบว่า มีซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ประมาณร้อยละ 80 – 90 ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก (Feng, *et al*., 2004) และเป็นข้อเด่นที่ส่งผลดีต่อการนำมาใช้เพื่อเป็นวัสดุประสานในงานก่อสร้างได้ การใช้เถ้าแกลบดำจากโรงงานโดยตรงในปริมาณสูงและใช้ด่างในการเร่งปฏิกิริยา น่าจะสามารถใช้เป็นวัสดุประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อคได้ โดยในการผลิตคอนกรีตบล็อคมีการอัดขึ้นรูปที่ทำให้สามารถรับแรงได้มากขึ้นได้ ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ จึงมีจุดประสงค์เพื่อใช้ด่างที่มีความเข้มข้นต่างกันในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตบล็อค โดยใช้เถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรง แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในปริมาณที่สูงถึงร้อยละ 70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการส่งเสริมการใช้งานวัสดุก่อสร้าง ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งหรือผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมให้กว้างขวางมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1) เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อกำลังอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ในคอนกรีตบล็อคจากเถ้าแกลบดำที่ได้จากโรงงานโดยตรงเป็นวัสดุประสาน และใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้น

1.2.2) เพื่อศึกษาผลของปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าแกลบดำที่ได้จากโรงงานโดยตรง ต่อกำลังอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ในคอนกรีตบล็อคจากเถ้าแกลบและใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้น

1.3 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้จะศึกษาการผลิตคอนกรีตบล็อคชนิดรับน้ำหนักจากวัสดุประสานจากเถ้าแกลบโดยใช้ด่างเป็นตัวกระตุ้น โดยทำการทดสอบกำลังอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ โดยใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้นต่างกัน 3 ค่า เป็นสารเร่งปฏิกิริยา (Activator) เตรียมส่วนผสมคอนกรีตบล็อคจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมกับเถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรงแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 70, 80 และ 90 โดยน้ำหนัก และใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมแทนที่โดยใช้อัตราส่วน วัสดุประสาน:หินฝุ่น 1:6 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้น ทำการอัดคอนกรีตบล็อคใน

เครื่องอัดคอนกรีตบล็อค โดยจะบ่มคอนกรีตบล็อคในอากาศ จนถึงอายุทดสอบ ในการศึกษาจะทดสอบกำลังอัด ความหนาแน่น ที่อายุ 7, 14, และ 28 วัน ตลอดจนทดสอบการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงสัดส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อคชนิดรับน้ำหนัก จากเถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรง โดยใช้ด่างเป็นตัวกระตุ้น ได้แก่ ปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้ได้คอนกรีตบล็อคที่มีกำลังอัดสูง การดูดซึมน้ำต่ำ และความหนาแน่นต่ำ และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตคอนกรีตบล็อคโดยใช้เถ้าชีวมวลอื่นๆ ให้สามารถใช้งานได้จริงในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

1.4.2 เป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางอุตสาหกรรมไปสร้างมูลค่า โดยใช้ให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ตลอดจนเป็นการลดพลังงาน ลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดปัญหาโลกร้อนได้อีกทางหนึ่งด้วย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เถ้าแกลบ (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

เถ้าแกลบ เป็นส่วน ของเปลือกข้าวที่ถูกเผาไหม้ มีสารประกอบซิลิกา (silica, SiO_2) เป็นสารประกอบหลักอยู่ร้อยละ 95 ดังในสมการที่ (2.1) มีความพรุน (porosity) มาก น้ำหนักเบา มีพื้นที่ผิวมาก มีคุณสมบัติดูดซับความชื้น และสารเคมีได้ดี จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยา ประโยชน์ของขี้เถ้าแกลบยังมีอีกมายมายเช่น ถ่ายอัดแท่ง นำมาปลูกต้นไม้ทำให้รากพืชสามารถแผ่ขยายได้ และต้นไม้เจริญเติบโตดี ใช้เป็นสารปรับสภาพดินให้มีความเป็นกรดลดลง หรือใช้แก้น้ำที่มีสภาพเป็นกรดได้ ใช้กับอุตสาหกรรมโลหะและอุตสาหกรรมซีเมนต์และคอนกรีตบล็อค เถ้าแกลบส่วนใหญ่จะเป็นธาตุถ่านดูดน้ำสูง จึงมีคุณสมบัติดูดซับความชื้น มีความพรุน(porosity) มาก น้ำหนักเบา มีพื้นที่ผิวมาก

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O \rightarrow xCaO.ySiO_2.zH_2O \text{ หรือ } (CSH) \qquad \text{---------- (2.1)}$$

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ

เถ้าแกลบเป็นส่วนของเปลือกข้าวที่ถูกเผาไหม้ มีสารประกอบซิลิกา(silica, SiO_2)เป็นสารประกอบหลักสูง อยู่ร้อยละ 95 พบว่าเถ้าแกลบที่เผาในประเทศไทยมี SiO_2 อยู่ร้อยละ 92.28 ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์ของโซเดียม โปรแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ และค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition หรือ LOI) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งตามปกติมี LOI อยู่ประมาณร้อยละ 2-5 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแกลบมีผลต่อค่า LOI เพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เถ้าแกลบมี LOI สูงขึ้น LOI (อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และปริญญา จินดาประเสริฐ, 2552)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

สารประกอบ	เถ้าแกลบ	เถ้าแกลบเทาขาว	เถ้าแกลบดำโรงสี
SiO_2	86.9 – 97.3	88.33	89.95
K_2O	0.6 – 2.5	2.76	1.49
Na_2O	0 – 1.5	0.15	0.07
CaO	0.2 – 1.5	0.52	0.50
MgO	0.12 – 1.96	0.28	0.23
Fe_2O_3	0 – 0.6	3.37	1.89
P_2O_5	0.2 – 2.9	NA	NA
SO_3	0.1 – 1.1	0.12	0.02
Cl	0 – 0.4	NA	NA
Al_2O_3	NA	0.48	0.54
LOI	NA	3.71	4.70

2.1.2 การเผาและชนิดของแกลบ (อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2552)

แกลบเมื่อได้รับความร้อนจะสูญเสียความชื้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล เกิดการเผาไหม้และถ้ามีอากาศพอ จะกลายเป็นเถ้าสีขาว การเผาแกลบในที่มีอากาศไม่เพียงพอและที่อุณหภูมิต่ำจะได้แกลบที่มีสีดำและมี การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) สูง นอกจากนี้ต้องบดให้ละเอียดอย่างมากจึงจะสามารถนำมาใช้ผสมทำปูนซีเมนต์ได้ การเผาในที่มีอากาศไม่เพียงพอหรือระยะเวลาในการเผาสั้น ถึงแม้มีอุณหภูมิสูงก็ตาม แกลบดำที่ได้ก็ยังคงมี LOI สูง

แกลบที่ผ่านการเผาที่สมบูรณ์มี LOI ต่ำและมีซิลิกาสูง แต่ทั้งนี้ยังไม่แน่ว่าจะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยา เนื่องจากซิลิกาเป็นสารประกอบที่มีอยู่มากและสำคัญที่สุดดังนั้นความสามารถในการทำปฏิกิริยาของเถ้าแกลบจะขึ้นอยู่กับสถานะของซิลิกา ซึ่งมีอยู่ 2 สถานะคือ อสัณฐาน (amorphous) และผลึก (crystalline) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการเผา ซิลิกาที่เป็นผลึกค่อนข้างอยู่ตัวและเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน แต่ซิลิกาที่เป็นอสัณฐานซึ่งได้

จากการเผาที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไปจะมีความ ว่องไวในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ซิลิกาจะเปลี่ยนรูปไปเป็นผลึกของควอร์ต(quartz) คริสโตบาไลต(christobalite) และ ทริดิไมต์ (tridymite)

2.1.2.1 เถ้าแกลบดำ (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547; อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2552)

เถ้าแกลบดำได้จากการเผาแกลบเพื่อให้ความ ร้อนกับหม้อไอน้ำในโรงสีและเรียกแกลบนี้ว่า แกลบดำโรงสี ดังแสดงในรูปที่ 2.1 อุณหภูมิของการเผาแกลบเป็นเชื้อเพลิงในโรงสีไม่คงที่ขึ้นอยู่กับวิธีการป้อน แกลบ ช่วงเวลาการเผา และขนาดของเตาเผา อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 800 องศาเซลเซียส และอาจสูงถึง 1200 องศาเซลเซียสได้ ช่วงเวลาของการเผาไม่นานนัก คุณสมบัติของแกลบที่ได้จากการเผาโดยวิธีนี้มีความแตกต่างกันได้มาก โดยขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการเผา ถ้าเผาช่วงเวลาสั้นแกลบที่ได้จะผ่านการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และมี LOI สูงแกลบที่ได้โดยวิธีนี้มี LOI ต่ำสามารถนำมาบดและผสมเป็นปูนซีเมนต์ปอซโซลานทำคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงที่ดีได้ ก่อนจากนี้เถ้าแกลบดำยังได้มาจากการเผาแกลบเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในโรง ผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้เตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed burning) แต่สีที่ได้จะออกดำเทาเพราะเผาค่อนข้างสูงคือ 800-900 องศาเซลเซียส และเวลาเผาค่อนข้างสั้นเพียงไม่กี่วินาที

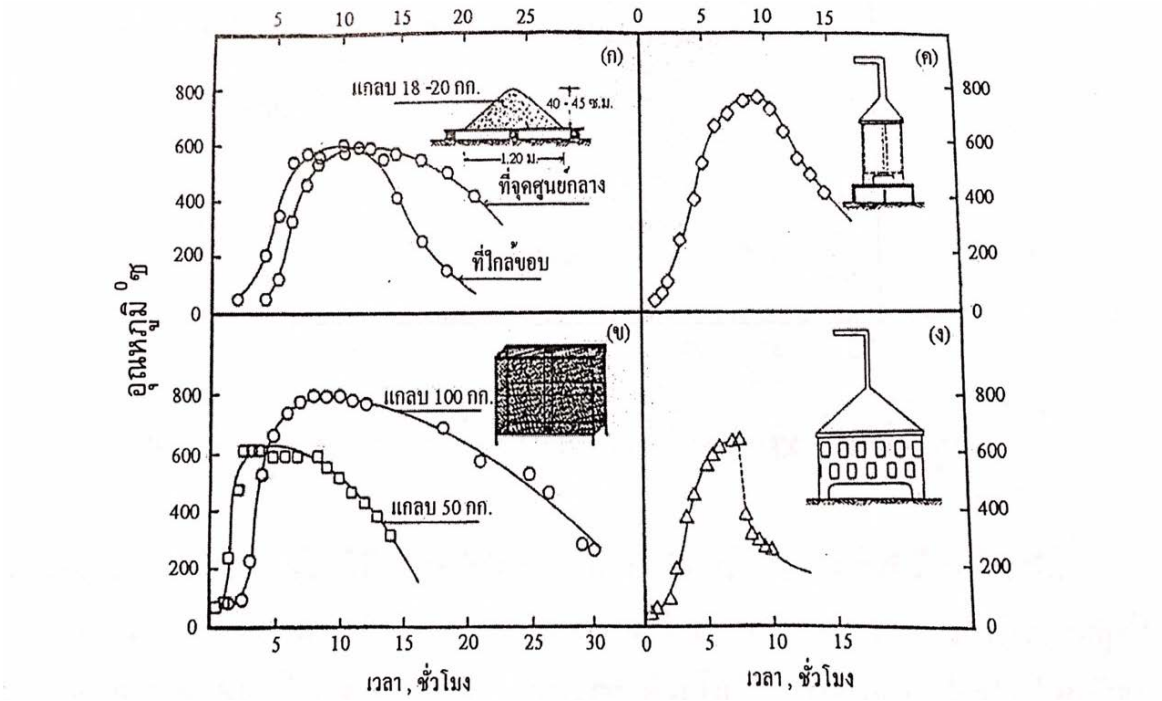
ก. เถ้าแกลบดำจากโรงสี ข. เถ้าแกลบดำแยกเศษเปลือกและเศษดิน

รูปที่ 2.1 เถ้าแกลบดำ

2.1.2.2 เถ้าแกลบขาว (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

เถ้าแกลบเทาขาวส่วนใหญ่ได้มาจากการเผาใน ที่โล่งหรือในเตาขนาดเล็ก อุณหภูมิในการเผาขึ้นอยู่กับขนาดของกองแกลบ ถ้าเป็นกองใหญ่มาก อุณหภูมิอาจสูงถึง 1200 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเป็นกองเล็กอุณหภูมิจะสูงเพียง 550 องศาเซลเซียส ถ้าเผาโดยกองติดดิน การเผาไหม้จะไม่สมบูรณ์ เนื่องจากอากาศไม่สามารถเข้าไปช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีได้ เมื่อเผาเสร็จแล้วกการเก็บเถ้าแกลบก็ทำได้ยากและมักจะมีสิ่งเจือปน เช่น เศษดินและหินติดมาด้วย นอกจากนี้การเผาในที่มี

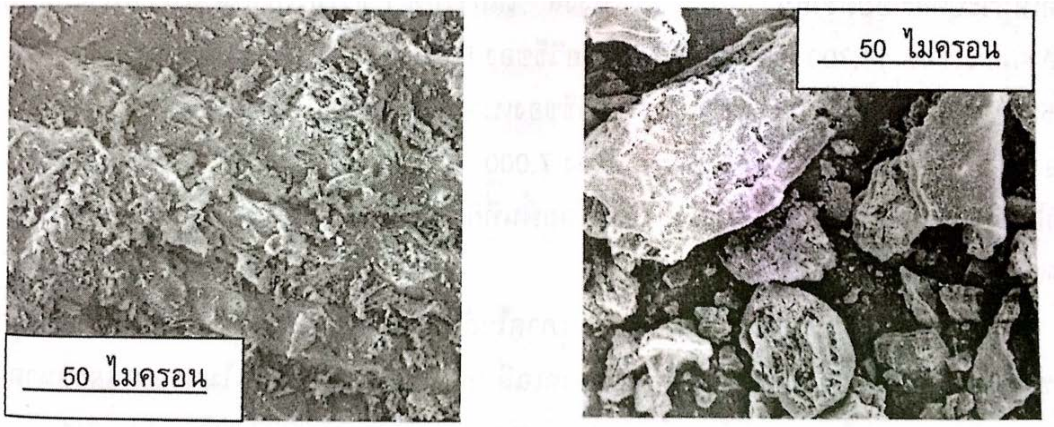
ลมจะทำให้เกิดปัญหาการฟุ้งกระจายได้ การเผาในที่โล่งควรเผาโดยยกพื้นบนตะแกรง และเพื่อให้อุณหภูมิของการเผาไม่สูงเกินไปควรใช้แกลบเพียงครั้งละ 20 กิโลกรัม หรือหนึ่งกระสอบ ซึ่งจะให้อุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เถ้าแกลบที่ได้จะมีสีเทาขาวและสามารถใช้ทำเป็นวัสดุปอซโซลานได้ดี



รูปที่ 2.2 อุณหภูมิในการเผาแกลบแบบต่างๆ (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

2.1.3 การบดและลักษณะของแกลบเผาบดละเอียด (อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2552)

แกลบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ ที่ไม่สูงเกินไปจะยังคงรักษาความพรุนและโครง สร้างเซลล์ไว้ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของเซลล์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุนของแกลบเผา แกลบที่เผาแล้วมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ในการนำไปใช้เป็นวัสดุปอซโซลานจึงต้องบดเถ้าแกลบให้ละเอียดให้มีขนาดใกล้ เคียงกับขนาดของผงปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นความละเอียดที่นำมาใช้งานได้ดี การบดละเอียดเถ้าแกลบนิยมใช้การบด แห้งเพราะบดได้ง่ายและเร็ว แต่ทั้งนี้การบดเปียกสามารถให้เถ้าแลบที่มีอนุภาคที่ละเอียดมาก แต่วิธีการยุ่งยากว่า



ก. ผิวเถ้าแกลบ ข. เซลล์ที่เป็นรูพรุนของเถ้าแกลบบดละเอียด

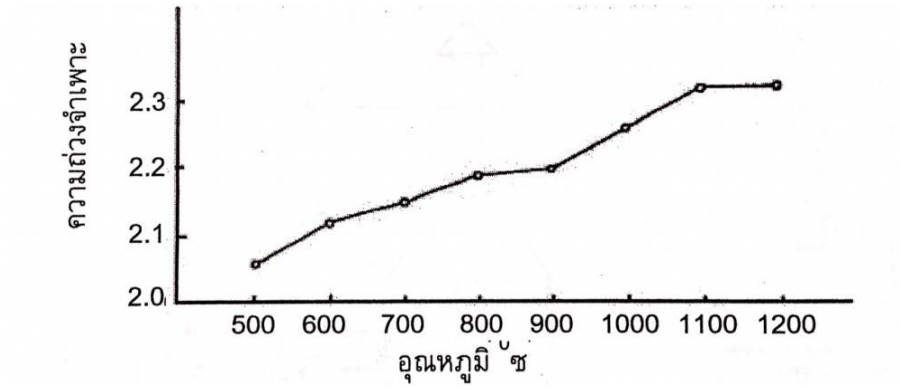
รูปที่ 2.3 ภาพถ่ายขยาย SEM ของเถ้าแกลบ (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

การวัดขนาดของอนุภาคของเถ้าแกลบนิยมใช้ พื้นที่ผิวจำเพาะ ความละเอียดของเถ้าแกลบนอกจากขึ้นอยู่กับเวลาและวิธีการบดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับวิธีการเผาแกลบ เช่น เผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ให้เถ้าแกลบที่มีพื้นที่ผิวสูงสุด ที่อุณหภูมิสูงกว่านี้พื้นที่ผิวจะลดลงอย่างมากจากการเป็นผลึกและการทำลาย โครงสร้างเซลล์ที่มีรูพรุน เถ้าแกลบเทาขาวที่เผาที่อุณหภูมิพอเหมาะบดละเอียดง่ายกว่าเถ้าแกลบดำโรงสี ในการบด 1 ชั่วโมงเท่ากัน พบว่าเถ้าแกลบเทาขาวมีความละเอียด 14,300 ตารางเซนติเมตร/กรัม ส่วนเถ้าแกลบดำมีความละเอียด 9,500 ตารางเซนติเมตร/กรัม การวัดพื้นที่ผิวนิยมใช้วิธีของเบลนหรือวิธี BET ซึ่งให้ค่าต่างกัน ความละเอียดของเถ้าแกลบวัดโดยวิธีของเบลนอยู่ระหว่าง 7,000-14,000 ตารางเซนติเมตร/กรัม และระหว่าง 20-150 ตารางเมตร/กรัม เมื่อวัดโยวิธี BET ดังนั้นการวัดความละเอียดโดยพื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าแกลบจึงต้องระบุวิธีการ วัดให้ชัดเจน เถ้าแกลบส่วนใหญ่ที่ใช้กันมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 5-20 ไมครอน แต่ทั้งนี้ขนาดเฉลี่ยใหญ่ประมาณ 25 ไมครอน และขนาดเฉลี่ยเล็กที่ประมาณ 1 ไมครอนก็มีการใช้กันอยู่

2.1.4 ความถ่วงจำเพาะ (อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2552)

ความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบขึ้นอยู่กับวิธี การเผา เถ้าแกลบที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีสิ่งที่เผาไหม้ไม่หมดและคาร์บอนปนอยู่มาก และจะมีความถ่วงจำเพาะต่ำ ความถ่วงจำเพาะเถ้าแกลบที่เผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์มีค่าระหว่าง 1.9-2.3 และยังขึ้นกับอุณหภูมิในการเผา ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เถ้าแกลบเผาที่อุณหภูมิ 5000 มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.06 และความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มเป็น

2.20 และ 2.30 ที่อุณหภูมิ การเผา 800 และ 1000 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของความถ่วงจำเพาะเนื่องมาจากปริมาณคาร์บอนลดน้อยลง



รูปที่ 2.4 ความถ่วงจำเพาะเถ้าแกลบกับอุณหภูมิในการเผา (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

2.2 ปฏิกิริยาปอซโซลาน (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547; Neville, 1995 ; ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2547)

ปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นหลังจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น กล่าวคือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะทำปฏิกิริยารวมตัวกับซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) ที่มีอยู่ในเถ้าแกลบ จนทำให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ดังสมการที่ (2.2)

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O \rightarrow xCaO.ySiO_2.zH_2O \text{ หรือ } (CSH) \qquad \text{----------(2.2)}$$

โดยที่ค่า x, y, z เป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับชนิดของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ซึ่งเป็นสารประกอบคุณสมบัติในการยึดประสาน ส่งผลให้เพสต์ที่ผสมเถ้าแกลบมีความสามารถในการยึดประสานดีขึ้น และความสามารถในการรับกำลังอัดสูงกว่าซีเมนต์เพสต์ล้วนเพราะเป็นการรวมของสารประกอบเกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและปฏิกิริยาปอซโซลาน

สำหรับวัสดุปอซโซลานของเถ้าแกลบ สามารถวัดได้โดย การทดสอบค่าดัชนีตามกำลังมาตรฐาน ASTM C311 โดยการใช้ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7, 14และ 28 วัน ของมอร์ต้าร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หรือที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ค่าดัชนีกำลังคือค่ากำลังที่ทดสอบได้เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังของมอร์ต้าร์ ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน หากค่าดัชนีกำลังมีค่าสูงแสดงถึงความเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดีของเถ้าแกลบ

2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟ เป็นของแข็งลักษณะผลึกสีขาว ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ไม่มีกลิ่น ไม่ระเหย ไม่ติดไฟ น้ำหนักโมเลกุล 40.01 เป็นด่างแก่ จุดหลอมเหลว 318 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 2.13 ละลายน้ำได้ดีและเกิดความร้อนสูง และมีควันหรือละอองสาร เมื่อถูกความชื้นจะเยิ้มได้ง่าย สารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการณ์มักอยู่ในรูปของแข็งเป็นเม็ด (pellets) ทางอุตสาหกรรมอาจอยู่ในรูปของเหลวละลายน้ำชนิดเข้มข้น เป็นแผ่นหรือเป็นแท่ง ทำปฏิกิริยากับกรดได้เกลือของสาร และทำปฏิกิริยากับกรดไขมันได้สบู่ นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้ง่ายเกิดโซเดียมคาร์บอเนต

สารนี้ได้จากการผ่านกระแสไฟฟ้าในน้ำเกลือโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งโซเดียมอิออนจะไปที่ขั้วบวก(Cathode) ซึ่งมีแผ่นแอสเบสตอสป้องกันคลอรีน แล้วทำปฏิกิริยากับน้ำปลดปล่อยก๊าซไฮโดรเจนได้โซเดียม-ไฮดรอกไซด์ ประกอบด้วย Na^+ (sodium cation) และ OH^- (hydroxide anion) โดย OH^- จะทำให้มีคุณสมบัติเป็นเบสแก่ เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกลือและน้ำ เอนทาลปีของการละลาย, ΔH° หรือความร้อนที่ได้จากการละลายมีค่าเท่ากับ –44.45 kJ / mol

โซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้ในอุตสาหกรรมผ้า พลาสติก สีย้อม ฟอกย้อม แร่ โลหะ ทำแม่พิมพ์ เป็นสารเคมีสำคัญ สำหรับผลิตสบู่ กระดาษ ใยสังเคราะห์ และใช้ในห้องปฏิบัติการ หลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรง ควรจัดให้มีอุปกรณ์ป้องกัน เช่น หน้ากาก แว่นนิรภัย ถุงมือ ชุดคลุมทั้งตัว รองเท้าบู๊ต และจัดให้มีฝักบัวล้างตาหรือล้างตัวอยู่ใกล้เคียงบริเวณที่ทำงาน

รูปที่ 2.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์

2.4 คอนกรีตบล็อค (มอก. 57-2533 ; มอก. 58-2533)

2.4.1 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อค

โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตบล็อคเป็นวัสดุก่อที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมกับทราย หินเล็กๆ และน้ำ แต่ในงานวิจัยครั้งนี้ จะผลิตคอนกรีตบล็อคชนิดรับน้ำหนักจากวัสดุประสานจากเถ้าแกลบโดยใช้ด่างเป็นตัวกระตุ้น คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ หินฝุ่น ผสมให้เข้ากันดีแล้วนำไปใส่เครื่องอัดในแบบเหล็กให้แน่น แล้วนำเอาออกจากแบบไปบ่มในน้ำ จึงจะมีความแข็งตัวพอที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้างได้ คอนกรีตบล็อคชนิดนี้มีทั้งแบบรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก ซึ่งมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดรายละเอียดของแต่ละชนิดไว้ดังนี้

มอก. 57-2533 หมายถึง คอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก

มอก. 58-2533 หมายถึง คอนกรีตบล็อคไม่รับน้ำหนัก

มอก. 59-2533 หมายถึง อิฐคอนกรีต

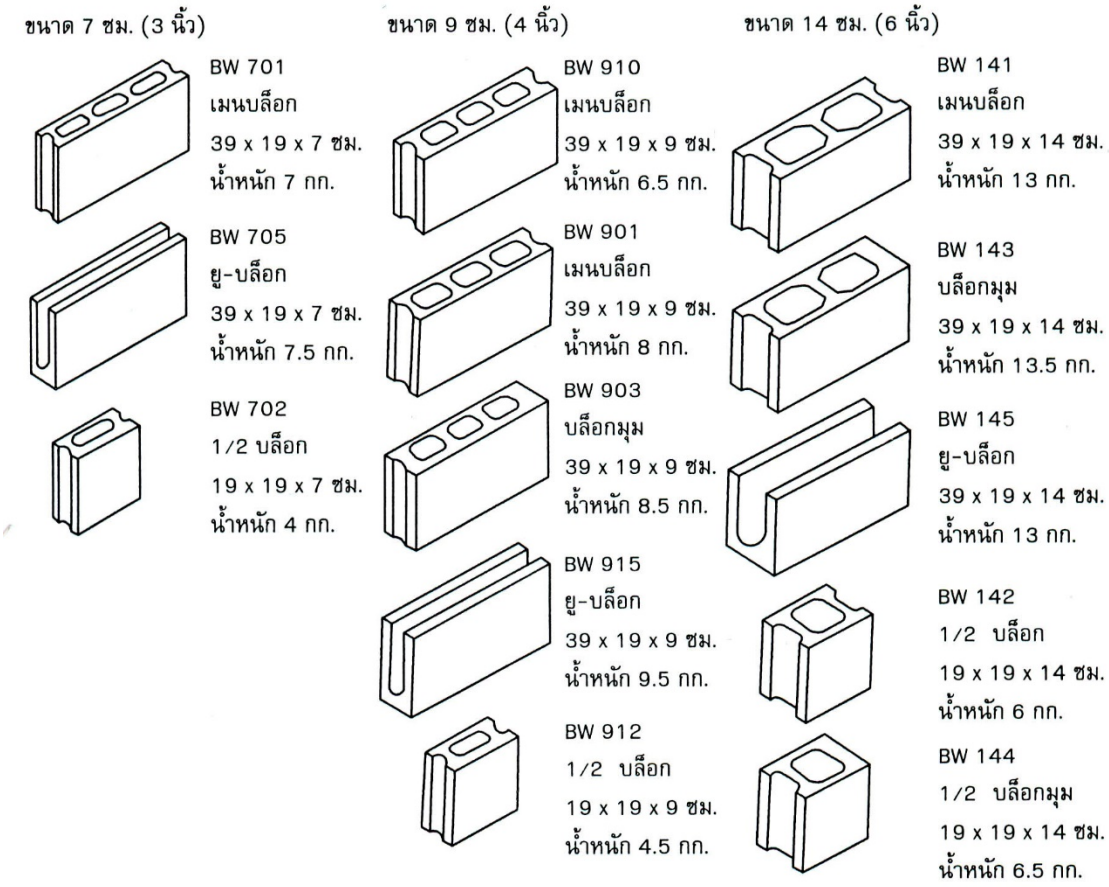
มอก. 60-2533 หมายถึง คอนกรีตบล็อคเชิงตันรับน้ำหนัก

ในงานวิจัยนี้ กล่าวถึงรายละเอียด มอก. 57-2533 ดังต่อไปนี้

2.4.2 ชนิดของคอนกรีตบล็อค

2.4.2.1 คอนกรีตบล็อคที่เรียกตามชื่อสินค้า

คอนกรีตบล็อคมีบริษัทผลิตจำหน่ายในส่วนกลาง มีชื่อสินค้าต่างๆ กัน เช่น ซีแพคบล็อค ดีแทคบล็อค ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.6

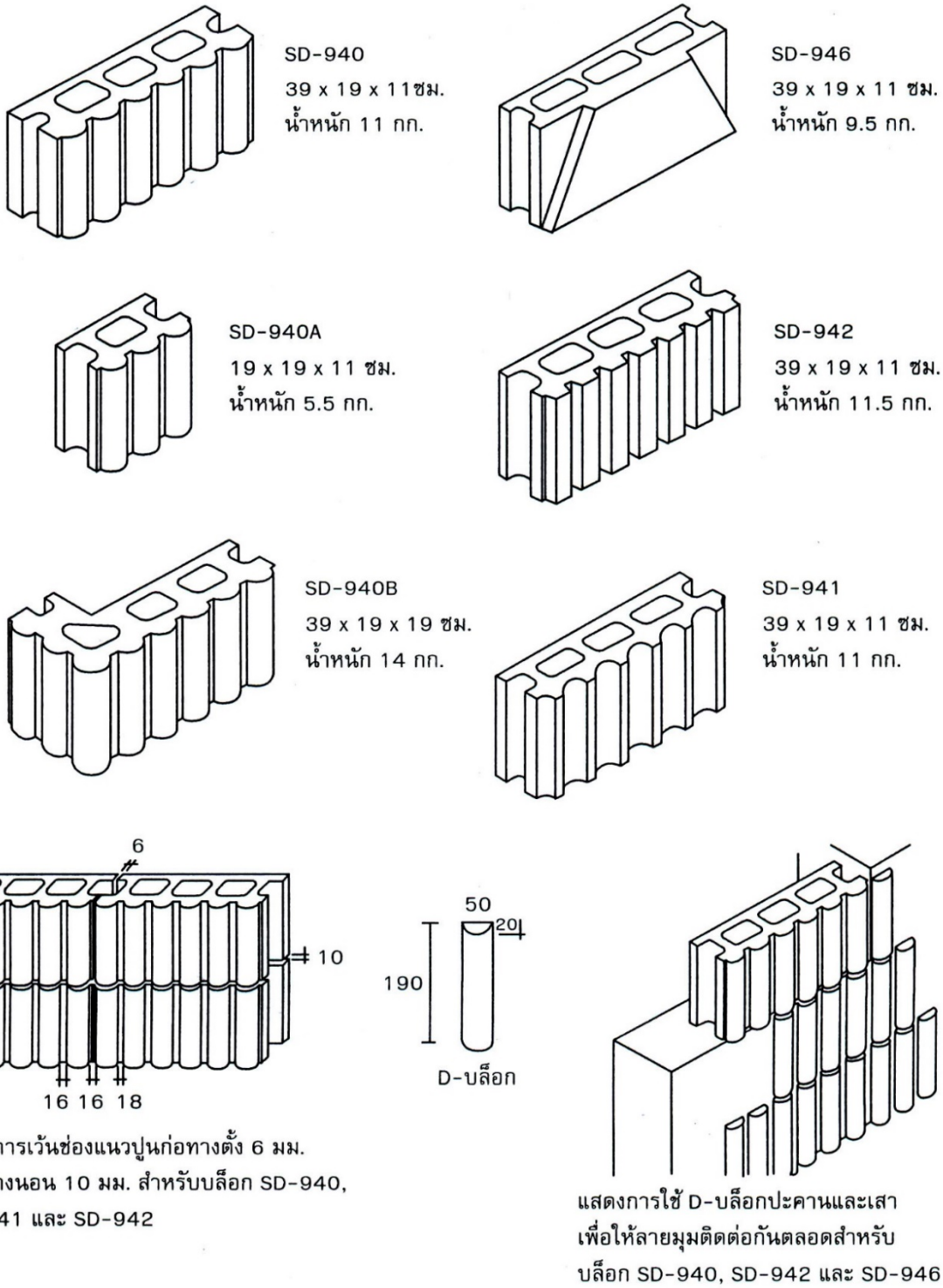


รูปที่ 2.6 ดีแทคบล็อคชนิดต่างๆ (มอก. 57-2533)

ชาโดว์บล็อค เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ล่าสุด ซึ่งได้วิวัฒนาการมาจากคอนกรีตบล็อคธรรมดาที่ใช้ในวงการก่อสร้างทั่วไป สำหรับก่อกำแพงและตกแต่งเสร็จเรียบร้อยไปในตัว ทำให้ประหยัดค่าตกแต่งลงไปได้อีกมาก เหมาะกับการใช้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ชาโดว์บล็อคมีลักษณะเป็นคอนกรีต บล็อคที่มีผิวหน้านูนขึ้นเป็นลวดลาย จากลวดลายนี้สามารถที่จะประสานลายขึ้นใหม่ได้อีกอย่างครบถ้วนตามความประสงค์ของผู้ใช้ ลวดลายเหล่านี้เมื่อกระทบกับแสงแดด เงาที่ตกทอดอย่างสลับซับซ้อนจะก่อให้เกิดความสวยงามอย่างวิจิตรพิสดารยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ ชาโดว์บล็อคยังมีคุณสมบัติพิเศษในการรับน้ำหนักได้ถึง 5,000 กิโลกรัมต่อ 1 ก้อน ดังนั้นสามารถก่อเป็นกำแพงรับน้ำหนักได้โดยไม่ต้องมีเสา ทำให้ลวดลายของบล็อคประสานต่อเนื่องกันตลอดทั้งผนัง

ตัวอย่างของชาโดว์บล็อคในรูปที่ 2.7 เป็นเพียงบางส่วนเท่านั้น ผู้ใช้สามารถออกแบบให้เกิดลวดลายขึ้นใหม่ได้ และยังสามารถก่อสลับกับคอนกรีตบล็อคชนิดผิวเรียบธรรมดาได้ เมื่อต้องการเน้นลวดลายเป็นบางส่วน



รูปที่ 2.7 ดีแทคบล็อคชนิดชาโดว์บล็อค (มอก. 57-2533)

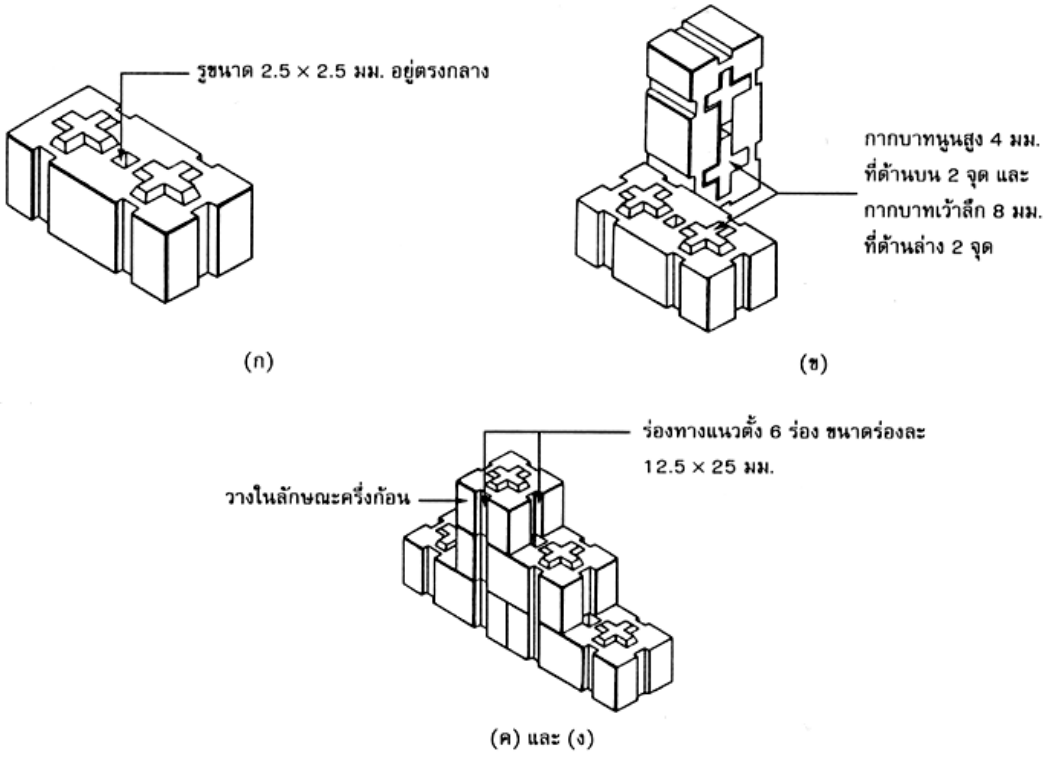
2.4.2.2 อินเตอร์ล็อคกิ้งบล็อค (Inter Locking Block) คือ บล็อคที่ได้รับการออกแบบพัฒนาให้มีลักษณะพิเศษตามหน้าที่การใช้งานอย่างแท้จริง ซึ่งมีการใช้งาน 4 ลักษณะดังนี้

ก. จากรูปที่ 2.8 (ก) มีรูขนาด 2.5 x 2.5 มิลลิเมตรอยู่ตรงกลางสำหรับหยอดน้ำปูนทรายเชื่อมระหว่างก้อนบนและล่างทางแนวดิ่ง และใช้เสริมเหล็กยึดโครงหลังคา

ข. จากรูปที่ 2.8 (ข) มีกากบาทนูนสูง 4 มิลลิเมตรที่ด้านบน 2 จุด และมีกากบาทเว้าลึก 8 มิลลิเมตรที่ด้านล่าง 2 จุด เมื่อวางมาซ้อนทับเป็นแนวตรงหรือแนวสลับจะครอบกันได้สนิท (locked block) ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนทางแนวนอนได้

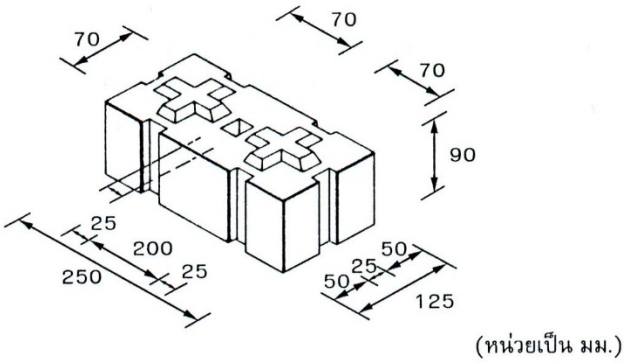
ค. จากรูปที่ 2.8 (ค) มีร่องทางแนวตั้งได้ 6 ร่อง ขนาดร่องละ 12.5 x 25 มิลลิเมตรสำหรับวาง บล็อคต่อและหยอดน้ำปูนทรายเชื่อมตามแนวนอน ร่องแต่ละร่องสามารถถอดออกได้

ง. จากรูปที่ 2.8 (ง) สามารถทำครึ่งก้อนได้ เพื่อใช้ในการก่อแบบสลับแนวให้ได้แนวตรงทางแนวดิ่งตรงมุมหรือหัวท้ายผนัง



รูปที่ 2.8 แสดงการใช้อินเตอร์ล็อคกิ้งบล็อค (มอก. 57-2533)

ขนาดของอินเตอร์ล็อคกิ้งบล็อค ขนาดเต็มก้อน มีความกว้าง 125 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร และสูง 90 มิลลิเมตร และขนาดครึ่งก้อน มีความกว้าง 125 มิลลิเมตร ยาว 125 มิลลิเมตร และสูง 90 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.9 ลักษณะและขนาดของอินเตอร์ล็อคกิ้งบล็อค (มอก. 57-2533)

2.4.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับคอนกรีตบล็อค (มอก. 57-2533)

มาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดรายละเอียดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 57-2533 หมายถึง คอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก ได้กำหนดรายละเอียดไว้ดังนี้

2.4.3.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ประเภทชั้นคุณภาพและสัญลักษณ์ ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน วัสดุ คุณลักษณะที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินและการทดสอบคอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก

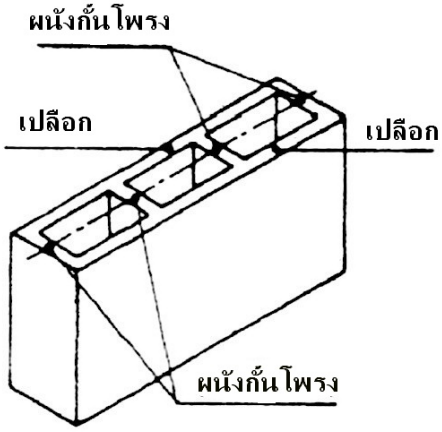
2.4.3.2 บทนิยาม

คอนกรีตบล็อค (Hollow concrete block or hollow concrete masonry unit) หมายถึง ก้อนคอนกรีตทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมที่เหมาะสมชนิดต่างๆ และจะมีสารอื่นผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ สำหรับก่อผนังหรือกำแพง มีรูหรือโพรงขนาดใหญ่ทะลุตลอดก้อน และมีพื้นที่หน้าตัดสุทธิที่ระนาบขนานกับผิวธารน้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ระนาบเดียวกัน

คอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก (Hollow load-bearing concrete masonry unit) หมายถึง คอนกรีตบล็อคที่ใช้สำหรับก่อสร้างผนังที่ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกและ น้ำหนักตัวเอง ประกอบด้วยเปลือก (face-shell) และผนังกั้นโพรง (web) ดังแสดงรูปที่ 2.10

เปลือก (face-shell) หมายถึง ผนังของคอนกรีตบล็อค ซึ่งเชื่อมต่อด้วยผนังกั้นโพรง ดังแสดงในรูปที่ 2.10

ผนังกั้นโพรง (web) หมายถึง ผนังซึ่งเชื่อมต่อเปลือกทั้ง 2 ข้างของคอนกรีตบล็อค ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่2.10 คอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก (มอก. 57-2533)

2.4.3.3 ประเภทและชั้นคุณภาพ

1) คอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1.1) ประเภท 1 คอนกรีตบล็อครับน้ำหนักที่ควบคุมความชื้น ใช้สัญลักษณ์ 1

1.2) ประเภท 2 คอนกรีตบล็อครับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น ใช้สัญลักษณ์ 2

2) คอนกรีตรับน้ำหนักแต่ละประเภท แบ่งออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ คือ

2.1) ชั้นคุณภาพ ก ใช้สำหรับกำแพงภายนอกทั้งต่ำกว่าและเหนือกว่าระดับดิน โดยไม่ต้องมีการป้องกันผิวแต่อย่างใด เช่น ใช้ในกรณีซึ่งการรั่วซึมจากน้ำใต้ดินและฝน ไม่ทำความเสียหายต่องานนั้น ใช้สัญลักษณ์ ก

2.2) ชั้นคุณภาพ ข ใช้สำหรับกำแพงภายนอกทั้งต่ำกว่าและเหนือกว่าระดับดิน โดยมีการป้องกันผิว ใช้สัญลักษณ์ ข

2.3) ชั้นคุณภาพ ค ใช้สำหรับกำแพงภายนอกเหนือกว่าระดับดิน โดยมีการป้องกันความเสียหายเนื่องจากลมฟ้าอากาศและ ใช้ทั่วไปสำหรับกำแพงภายใน ใช้สัญลักษณ์ ค

2.4.3.4 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

1) ความหนาของเปลือกและผนังกันโพรงต้องเป็นไปตาม ตารางที่ 2.2

หมายเหตุ : คอนกรีตบล็อครับน้ำหนักที่ออกแบบพิเศษให้มีโลหะทนต่อการกัดกร่อนเพื่อยึดระหว่างเปลือกของก้อน อาจอนุญาตให้ทำได้ ในเมื่อการทดสอบแสดงว่าโลหะยึดนั้นมีสภาพโครงสร้างเทียบเท่ากับผนังกันโพรงคอนกรีตในทางความยึดตัวแข็งกำลังและการยึดกับผนังกั้นโพรง

ตารางที่ 2.2 ความหนาของเปลือกและผนังกั้นโพรง (มอก. 57-2533)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความหนาระบุของก้อน	ความหนาของเปลือกต่ำสุด[1)]	ความหนาของผนังกั้นโพรง[2)]	
		ผนังกั้นโพรงต่ำสุด[1)]	ความหนาผนังกั้นโพรงเทียบเท่าต่ำสุด ต่อความยาว 1 เมตร
90	19	19	135
140	25	25	185
190	31	25	185

หมายเหตุ 1. เฉลี่ยจากการวัด 5 ก้อน โดยวัดจากส่วนที่บางที่สุดเมื่อวัดตามวิธีที่กำหนด ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อ ซึ่งทำด้วยคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก. 109

2. ผลรวมจากการวัดความหนาของผนังกั้นโพรงทั้งหมดในก้อน คูณด้วย 1000 หารด้วยความยาวของคอนกรีตบล็อครับน้ำหนักเป็นมิลลิเมตร

2) ขนาดของคอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก ให้มีขนาดดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2.3 ขนาดของคอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก (มอก. 57-2533)

มิติพิกัด หนา×สูง×ยาว พ	ขนาดที่ทำ หนา×สูง×ยาว มิลลิเมตร×มิลลิเมตร×มิลลิเมตร
1 × 2 × 1½	90 × 190 × 140
1½ × 2 × 1½	140 × 190 × 140
2 × 2 × 1½	190 × 190 × 140
1 × 2 × 2	90 × 190 × 190
1½ × 2 × 2	140 × 190 × 190

ตารางที่ 2.3 ขนาดของคอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก (มอก. 57-2533) (ต่อ)

มิติพิกัด หนา×สูง×ยาว พ	ขนาดที่ทำ หนา×สูง×ยาว มิลลิเมตร×มิลลิเมตร×มิลลิเมตร
2 × 2 × 2	190 × 190 × 190
1 × 2 × 3	90 × 190 × 290
1½ × 2 × 3	140 × 190 × 290
2 × 2 × 3	190 × 190 × 290
1 × 2 × 4	90 × 190 × 390
1½ × 2 × 4	140 × 190 × 390
2 × 2 × 4	190 × 190 × 390

หมายเหตุ : ขนาดของคอนกรีตบล็อครับน้ำหนักที่กำหนดนี้เป็นขนาดที่ออกแบบเพื่อให้เป็นไปตามระบบการประสานงานทางพิกัด ในการก่อสร้างอาคาร ซึ่งได้กำหนดหน่วยพิกัด มูลฐาน พ ให้เท่ากับ 100 มิลลิเมตร และกำหนดความหนาของปูนก่อในรอยต่อมาตรฐาน เท่ากับ 10 มิลลิเมตร

2.4.4 คุณลักษณะที่ต้องการ

ก. ลักษณะทั่วไป

- คอนกรีตบล็อครับน้ำหนักทุกก้อน ต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าว หรือส่วนเสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อครับน้ำหนักอย่างถูกต้องหรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสียกำลังหรือความคงทนถาวร รอยแตกร้าวเล็กน้อยที่มักเกิดขึ้นในกรรมวิธีผลิตตามปกติหรือรอยปริเล็กน้อยเนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งอย่างธรรมดา จะต้องไม่เป็นสาเหตุอ้างในการไม่ยอมรับ

- คอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก ซึ่งต้องการฉาบปูนหรือแต่งปูนต้องมีผิวหน้าหยาบพอควรแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่งได้อย่างดี

- คอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก ซึ่งต้องการก่อแบบผิวเผย ด้านผิวเผยจะต้องไม่มีรอยปิ่น รอยร้าว หรือตำหนิอื่นๆ ถ้าในการสั่งคราวหนึ่งมีก้อนซึ่งมีรอยบิ่นเล็กน้อยที่ยาวมากกว่า 25 มิลลิเมตร เป็นจำนวนไม่มากกว่าร้อยละ 5 จะต้องไม่ถือเป็นสาเหตุในการไม่ยอมรับ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

ข. ความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก ต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.4

-ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าแต่ละก้อนต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.4

-การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก. 109

ตารางที่ 2.4 ความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ (มอก. 57-2533)

	ความต้านแรงอัด ต่ำสุด (MPa)				การดูดกลืนน้ำ สูงสุด เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อค 5 ก้อน (Kg/m^3)					
ชั้นคุณภาพ[1)]	เฉลี่ยจากพื้นที่รวม		เฉลี่ยจากพื้นที่สุทธิ		น้ำหนักคอนกรีตเมื่ออบแห้ง(Kg/m^3)					
	เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อค 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อคแต่ละก้อน	เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อค 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อคแต่ละก้อน	1680 และน้อยกว่า	1681 ถึง 1760	1761 ถึง 1840	1841 ถึง 1920	1921 ถึง 2000	มากกว่า 2000
ก	7	5.5	14	11	240	224	208	192	176	160
ข	7	5.5	-	-	288	272	256	240	224	208
ค	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : [1)] ดูวัตถุประสงค์ในการใช้คอนกรีตบล็อคชั้นคุณภพต่างๆ ตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 วัตถุประสงค์ในการใช้คอนกรีตบล็อคชั้นคุณภพต่างๆ (มอก. 57-2533)

ลักษณะของกำแพง	ป้องกันผิว	ไม่ป้องกันผิว
กำแพงฐานราก และ กำแพงขั้นฐาน	ชั้นคุณภาพ ก และ ชั้นคุณภาพ ข	ชั้นคุณภาพ ก [1)]
กำแพงภายนอก (เหนือระดับดิน)	ทุกชั้นคุณภาพ	ชั้นคุณภาพ ก [1)]
กำแพงภายใน	ทุกชั้นคุณภาพ	ทุกชั้นคุณภาพ

หมายเหตุ [1)] ควรทาผิวด้านนอกของกำแพงด้วยน้ำยากันซึม

ค. ปริมาณความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบล็อครับน้ำหนักประเภทควบคุมความชื้น) เมื่อส่งถึงที่ก่อสร้าง ต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบล็อครับน้ำหนักประเภทที่ 1) (มอก. 57-2533)

ร้อยละของการหดตัวทางยาว[1)]	ความชื้น สูงสุด ร้อยละของการดูดกลืนน้ำทั้งหมด (เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อค 5 ก้อน)		
	ความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ย ร้อยละ[2)]		
	น้อยกว่า 50	50 ถึง 75	มากกว่า 75
0.03 และน้อยกว่า	35	40	45
มากกว่า 0.03 ถึง 0.045	30	35	40
มากกว่า 0.045	20	30	35

หมายเหตุ [1)] ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อค (ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม ASTM C 426)

[2)] อาศัยสถิติตามประกาศของกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับสถานีที่ใกล้แหล่งผลิตมากที่สุด

2.4.5 เครื่องหมายและฉลาก

ก. ที่คอนกรีตบล็อครับน้ำหนักทุกก้อน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษรหรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- สัญลักษณ์แสดงประเภทและชั้นคุณภาพ ตัวอย่างเช่น คอนกรีตบล็อครับน้ำหนักประเภท 1 ชั้นคุณภาพ ก ใช้สัญลักษณ์เป็น 1-ก

- ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

ข. ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

2.4.6. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

ก. รุ่น ในที่นี้ หมายถึง คอนกรีตบล็อครับน้ำหนักประเภท ชั้นคุณภาพและขนาดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

ข. การชักตัวอย่างเพื่อการทดสอบ ให้กระทำ ณ สถานที่ผลิต และต้องให้เวลาสำหรับการทดสอบจนครบทุกรายการอย่างน้อย 10 วัน

ค. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

- การชักตัวอย่าง ให้เป็นไปตาม มอก. 109 โดยคัดตัวอย่างที่บกพร่องเนื่องจากการขนส่งออกเสียก่อน แล้วจึงชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันมาทำเป็นตัวอย่างทดสอบ

- เกณฑ์ตันสิน ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 2.4.3.3 และข้อ 2.4.4 ทุกข้อ จึงจะถือว่าคอนกรีต บล็อคไม่รับน้ำหนักรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ในกรณีที่มีตัวอย่างใดไม่เป็นไปตามข้อ 2.4.3.3 ข้อ 2.4.4 (ก.) ข้อ 2.4.4 (ข.) ข้อ 2.4.4 (ค.) รายการใดรายการหนึ่ง ให้ชักตัวอย่างจากรุ่นเดียวกันจำนวน 2 เท่าของชุดตัวอย่าง มาทดสอบซ้ำในรายการนั้นผลการทดสอบซ้ำตัวอย่างทุกชุดต้องเป็นไปตามข้อ 2.4.3.3 ข้อ 2.4.4 (ก.) ข้อ 2.4.4 (ข) หรือข้อ 2.4.4 (ค.) แล้วแต่กรณี จึงจะถือว่าคอนกรีตบล็อคไม่รับน้ำหนักรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ยกเว้นรายการความต้านแรงอัด ตัวอย่างต้องมีความต้านแรงอัดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 ของเกณฑ์ที่กำหนด จึงจะยอมให้ทดสอบซ้ำในรายการความต้านแรงอัดได้

2.4.7 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อค

2.4.7.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร เมื่อมวลหาได้โดยการชั่ง ซึ่งมีหน่วยเป็น กิโลกรัม ส่วนปริมาตรของคอนกรีตบล็อคนั้นหาได้โดยวิธีการแทนที่น้ำ เช่น อาจทำได้โดยการจมวัตถุนั้นลงในภาชนะที่มีน้ำ อยู่ ตราบใดที่วัตถุไม่ละลายหรือดูดซับน้ำ ปริมาตรของน้ำส่วนที่เพิ่มขึ้น หรือปริมาตรของน้ำที่ล้นออกมาในกรณีเดิมที่มีน้ำอยู่เต็มภาชนะพอดีจะเท่ากับปริมาตรของวัตถุนั้น วิธีการนี้เป็นการหาปริมาตรของวัตถุโดยการแทนที่น้ำ แล้วปริมาตรมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร เป็นต้น จากความสัมพันธ์ดังกล่าว จะได้ว่า

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{กก./ม}^3) \qquad \text{----------(2.3)}$$

โดยที่ ρ = ความหนาแน่น (กก./ม^3)

m = มวล หาได้โดยการชั่ง (กก.)

V = ปริมาตร (ม^3)

สำหรับค่าความหนาแน่นของน้ำ ρ_W มีค่าเท่ากับ 1,000 กก./ม^3

ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อคเป็นการศึกษาคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์หรือทางด้านกายภาพน้ำหนักขึ้นอยู่กับวัสดุ

2.4.7.2 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อค

การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อคสามารถบอกถึงความคงทนของคอนกรีตบล็อค การทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อคก่อสร้าง ปกติให้แช่คอนกรีตบล็อคในน้ำ 24 ชั่วโมง

การดูดซึมน้ำของอิฐ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในอิฐหลังจากนำไปแช่น้ำต่อน้ำหนักอิฐอบแห้ง นิยมบอกเป็นร้อยละ จึงคูณด้วย 100 ดังสมการที่ 2.4

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อค} = \frac{W'-W_S}{W_S}\times 100(\%) \quad \text{---------(2.4)}$$

โดยที่ W' = น้ำหนักของคอนกรีตบล็อคหลังจากแช่น้ำ (กรัม)

W_S = น้ำหนักคอนกรีตบล็อคที่อบแห้ง (กรัม)

การดูดซึมน้ำมากน้อยเท่าใดเป็นเครื่องแสดงคุณภาพของคอนกรีตบล็อค เช่น คอนกรีตบล็อคถ้าคอนกรีตบล็อคดูดซึมน้ำมากแสดงว่ามีความพรุนของเนื้อคอนกรีตบล็อคมาก สำหรับงานก่อกำแพงคอนกรีตบล็อคควรนำคอนกรีตบล็อคนั้น ๆ มาชุบน้ำให้ชุ่มและอิ่มตัว และทิ้งไว้ให้ผิวแห้ง ถ้าคอนกรีตบล็อคชุ่มน้ำมากเกินไป จะทำให้ปูนก่อไหลหลุดลงมาได้ การก่อผนังยาก ช่างก่อมักไม่ค่อยทำเพราะยากกว่าก่อคอนกรีตบล็อคแห้ง

2.4.7.3 กำลังอัด

คอนกรีตบล็อคต้องมีความแข็งแรงทนทาน สามารถต้านทานแรงอัดได้ดีพอสมควร หากไม่แน่ใจว่ามีความแข็งแรงทนทาน จำเป็นต้องนำไปทดสอบเพื่อตรวจสอบความแข็งแรงตามสถาบันของทางราชการที่เชื่อถือได้

การทดสอบรับแรงอัด กระทำได้โดยวางคอนกรีตบล็อคบนเครื่องทดสอบแล้วออกแรงกดจนกระทั่ง คอนกรีตบล็อคแตก แล้วอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดที่คอนกรีตบล็อครับได้เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

หน่วยแรงอัดสูงสุด หมายถึงอัตราส่วนระหว่างแรงอัดสูงสุดต่อพื้นที่รับแรง มีหน่วยเป็น กก./ซม^2 ดังสมการที่ 2.5

$$\text{หน่วยแรงอัดสูงสุด} = \frac{\text{น้ำหนักกดสูงสุด (กก.)}}{\text{พื้นที่รับแรง(ซม.)}} \quad \text{--------(2.5)}$$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้ด่างที่มีความเข้มข้นต่างกันในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตบล็อคจากเถ้าแกลบที่ได้โดยตรงจากโรงงาน โดยไม่ต้องผ่านการบดให้มีความละเอียด โดยใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในปริมาณที่สูงถึงร้อยละ 90 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์โดยไม่ต้องผ่านการบดให้ละเอียด เนื่องจากเถ้าแกลบมีสมบัติเด่นในเรื่องของมีปริมาณซิลิกาค่อนข้างสูง (เกือบร้อยละ 90) ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุปอซโซลานที่ดี การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การบดเถ้าแกลบเปลือกไม้ให้มีความละเอียดสูงสามารถใช้ผสมคอนกรีตให้เป็นคอนกรีตกำลังสูงได้ โดย *Sata และคณะ (2007)* ได้ศึกษาการทำคอนกรีตกำลังสูงจากเถ้าแกลบเปลือกไม้ เถ้าถ่านหิน และเถ้าปาล์มน้ำมันที่บดละเอียด พบว่าการใช้เถ้าแกลบเปลือกไม้เถ้าถ่านหิน และเถ้าปาล์มน้ำมันที่บดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในช่วงร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สามารถให้กำลังอัดกับคอนกรีตที่อายุ 28 วัน สูงถึง 800 กก/ซม.^{2} ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพของเถ้าชีวมวลโดยการบดให้ละเอียดมีผลชัดเจนต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกและให้กำลังอัดคอนกรีตที่สูงได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นว่าเถ้าชีวมวลที่นำมาใช้โดยตรงโดยไม่ผ่านการบด ไม่มีศักยภาพในการใช้ผสมคอนกรีตที่ให้กำลังสูงได้

อย่างไรก็ตามการปรับปรุงสมบัติของวัสดุปอซโซลานโดยการบดให้ละเอียดก่อนนำมาใช้งานดังที่กล่าวมาข้างต้น เป็นการปรับปรุงทางกายภาพเพื่อให้วัสดุปอซโซลานมีความละเอียดมากขึ้น ก็จะมีพื้นที่ผิวในการเข้าทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาปอซโซลานมีความสมบูรณ์และให้กำลังอัดดี ส่วนการปรับปรุงทางเคมี โดยการใช้สารเร่งที่เป็นด่างในการชะเอาซิลิกาและอลูมินาจากวัสดุปอซโซลาน เพื่อเข้าทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในคอนกรีตพบว่า มีฐานงานวิจัยน้อยมาก ส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาการใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ชะเอาซิลิกาและอลูมินาจากวัสดุปอซโซลานเพื่อเข้าทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ในวัสดุจีโอพอลิเมอร์ โดย *อุบลลักษณ์ และ คณะ (2549)* ได้ศึกษาการชะเถ้าถ่านหินลิกไนต์และกำลังอัดของวัสดุจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าถ่านหิน พบว่า การชะละลายของเถ้าถ่านหินขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และระยะเวลาการชะ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นปานกลางคือ 10 โมลาร์ และเวลาในการชะ 10 นาที ให้กำลังอัดที่สูงสามารถทำวัสดุจีโอโพลิเมอร์ที่ให้ค่ากำลังอัดสูงถึง 65 เมกะปาสกาล ซึ่งเทียบได้กับมอร์ต้าร์หรือคอนกรีตกำลังสูงที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แลนด์ประเภทที่ 1 และการใช้ด่างที่มีความเข้มข้นสูงมากเกินไป มีผลให้ความสามารถในการชะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากด่างที่มีความเข้มข้นสูงจะมีความหนืดและขัดขวางการชะเถ้าถ่านหิน

ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้ด่างในการกระตุ้นคอนกรีตที่ผสมวัสดุปอซโซลานมีค่อนข้างน้อย โดย B.M. Bahadure and N.S.Naik (2013) ที่มีการใช้ด่าง NaOH ที่มีความเข้มข้น 1, 2, 3, และ 4 โมลาร์ กระตุ้นกำลังระยะต้นในคอนกรีตที่แทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10, 20, 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ผลการวิจัยพบว่า การใช้ด่างกระตุ้นจะเห็นผลชัดเจนในคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบในปริมาณที่มากขึ้น (แทนที่ 30%) โดยการใช้ด่างที่มีความเข้มข้นมากขึ้นส่งผลให้กำลังอัดระยะต้นสูงขึ้น ส่วนการใช้เถ้าแกลบแทนที่ในปริมาณที่น้อยลงกลับพบว่า การใช้ด่างที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้กำลังอัดคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง

ในการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตคอนกรีตบล็อคที่ผ่านมา ส่วนใหญ่ได้ใช้วัสดุปอซโซลานที่มีในประเทศ เถ้าก้นเตา เถ้าแกลบเปลือกไม้ เถ้าแกลบ ดินเหนียว มาใช้เป็นส่วนผสม ซึ่งมีการบดวัสดุปอซโซลานให้มีความละเอียดในระดับหนึ่งถึงจะนำมาใช้งานได้ โดยสุรพันธ์ สุคันธปรีย์ และคณะ (2546) ได้ทำการวิจัยการศึกษาคอนกรีตบล็อคที่มีเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเผาแกลบและเปลือกไม้จากโรงไฟฟ้า มาใช้ในการศึกษา โดยนำเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่มาจากโรงงานโดยตรง และได้รับการบดให้วัสดุค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 25 ถึง 30 มาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10, 20 และ 30 เพื่ออัดอิฐคอนกรีตคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้และทดสอบกำลังอัดของอิฐคอนกรีตที่อายุ 1, 3, 7, 14, 28 และ 60 วัน พบว่ากำลังอัดของอิฐคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ ขึ้นอยู่กับการแทนที่ปูนซีเมนต์และความละเอียดของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ กล่าวคือ เมื่อแทนที่เถ้าแกลบ-เปลือกไม้มากขึ้น กำลังอัดยิ่งต่ำและความละเอียดของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้สูงขึ้นยิ่งทำให้กำลังอัดของอิฐคอนกรีตสูงขึ้นตามไปด้วย ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาเถ้าแกลบ- เปลือกไม้โดยการบดอนุภาคให้มีความละเอียดขึ้นสามารถทำให้มีคุณสมบัติการเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดี และนำมาใช้ผลิตอิฐคอนกรีตได้ดี

ชรินทร์ เสนาวงษ์ และ คณะ (2552) ได้ศึกษาการทำคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากเถ้าก้นเตา โดยใช้เถ้าก้นเตาที่ได้จากการเผาเถ้าถ่านหินแบบฟลูอิดไดซ์เบด มาใช้เป็นมวลรวมหยาบในส่วนผสมคอนกรีตบล็อค และทำการอัดคอนกรีตบล็อกโดยใช้เครื่องอัดชนิดซินวา-แรม (Cinva-ram) หลังจากนั้นบ่มคอนกรีตบล็อคในอากาศและทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน ตลอดจนทดสอบความหนาแน่น และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำในคอนกรีตบล็อกที่อายุทดสอบ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่า ร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณของเถ้าก้นเตาที่มากขึ้น และเมื่อใช้เถ้าก้นเตาในส่วนผสมคอนกรีตบล็อกมากขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกทุกส่วนผสม ที่ได้จากการศึกษามีค่าสูงกว่ามาตรฐานของคอนกรีตบล็อคชนิดรับน้ำหนัก (มอก. 57-2533) ที่กำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 110 กก/ซม^2 และมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำน้อยกว่าค่า

มาตรฐาน โดยกำหนดไว้ไม่ให้เกินร้อยละ 30 ซึ่งถือว่าคอนกรีตบล็อกมีกำลังอัดที่ดีเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน โดยจัดเป็นคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ก ได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่เป็นการใช้ด่างในการชะเอาซิลิกาและอลูมินาจากวัสดุปอซโซลานเพื่อใช้ในวัสดุจีโอพอลิเมอร์ ส่วนการใช้ในการกระตุ้นคอนกรีตที่ผสมวัสดุปอซโซลานเพื่อให้สามารถพัฒนากำลังอัดได้ดี พบว่า มีค่อนข้างน้อย และไม่พบข้อมูลการศึกษาที่ใช้กับวัสดุปอซโซลานที่เป็นเถ้าชีวมวลในประเทศ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงต้องการศึกษาการใช้ด่างในการกระตุ้นปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตบล็อคชนิดรับน้ำหนัก ที่ผสมเถ้าแกลบ โดยใช้เถ้าแกลบที่ได้โดยตรงจากโรงงาน เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาวัสดุประสานจากเถ้าชีวมวล ให้สามารถใช้งานได้อย่างเป็นรูปธรรมและมีประสิทธิภาพต่อไป

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งมีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม มอก.15-2532

3.1.2 เถ้าแกลบ (RHA) ได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ในระบบปิด (Closed burning process)

3.1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 0.25, 0.50 และ 0.75 โมลาร์ (รูปที่ 3.1)

รูปที่ 3.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.1.4 หินฝุ่น ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 หินฝุ่น

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องอัดคอนกรีตบล็อค ชนิดซินวา-แรม (Cinva-ram)

เป็นเครื่องอัดดินซีเมนต์บล็อคแบบไม่ต้องใช้ไฟฟ้า (ดังรูปที่ 3.3) เคลื่อนย้ายสะดวก แข็งแรงทนทานสามารถอัดบล็อคได้ด้วยตนเอง คุณสมบัติพิเศษ ใช้แรงคนโยกอัดบล็อคด้วยคานทดแรง อัดได้ครั้งละ 1 ก้อน ทำบล็อคประสานแบบเต็มก้อนและครึ่งก้อน ได้ในเครื่องเดียว อัตราการผลิตประมาณ 300 - 400 ก้อน ต่อวัน ตัวเครื่องผลิตจากเหล็กหนา แข็งแรงทนทานต่อการใช้งานหนัก ผลิตก้อนขนาด 10 x 12.50 x 25 ซม^3. โดยใช้ 32 ก้อน ต่อ 1 ตรม.

รูปที่ 3.3 เครื่องอัดคอนกรีตบล็อคชนิดซินวา-แรม

3.2.2 เครื่องทดสอบกำลังอัด (รูปที่ 3.4)

รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบกำลังอัด

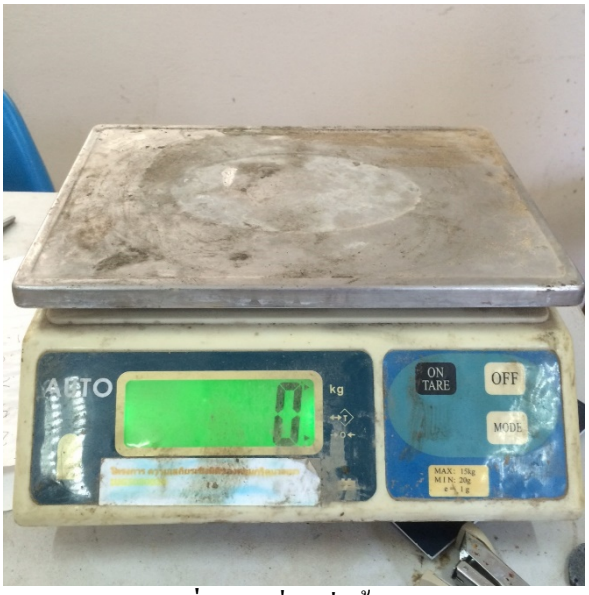
3.2.3 เครื่องตัดคอนกรีตบล็อค (รูปที่ 3.5)

รูปที่ 3.5 เครื่องตัดคอนกรีตบล็อค

3.2.4 ตู้อบคอนกรีตบล็อค (รูปที่ 3.6)

รูปที่ 3.6 ตู้อบคอนกรีตบล็อค

3.2.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก (รูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.7 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.3 การเตรียมวัสดุ

3.3.1 การเตรียมความเข้มข้นสารผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 0.25, 0.50, 0.75 โมลาร์

เตรียมภาชนะ สำหรับผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กับน้ำ เพื่อบรรจุลงแกลลอนปริมาตร 4 ลิตร ตวงน้ำใส่ภาชนะ 4 ลิตร ใส่สารผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่เตรียม โดยที่ 1 โมลาร์ เท่ากับ 4 มล. ใช้ความเข้มข้น 0.25 ที่น้ำ 1 ลิตร จะใช้ (NaOH) เท่ากับ 10 กรัม ดังนั้น บรรจุลงแกลลอนที่ปริมาณ 4 ลิตร ต้องผสม (NaOH) ที่ 40 กรัม หลังจากผสมเสร็จ ทิ้งไว้ให้สารเย็นตัว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หาภาชนะปิดกันฝุ่น แล้วนำบรรจุใส่แกลลอน ดังแสดงใน รูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3.2 การเตรียม เถ้าแกลบ

เถ้าแกลบที่นำมาจากโรงโรงงานโดยตรงมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20 เพื่อเป็นการแยกเศษวัสดุแปลกปลอมออกจากเถ้าแกลบ (รูปที่ 3.9)

รูปที่ 3.9 เถ้าแกลบที่มาจากโรงงานโดยตรงและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 20

3.4 ส่วนผสมคอนกรีตบล็อค

ศึกษาการผลิตคอนกรีตบล็อคจากจากวัสดุประสานจากเถ้าแกลบโดยใช้ด่างเป็นตัวกระตุ้น โดยทำการทดสอบกำลังอัด ความหนาแน่น และ ร้อยละการดูดซึมน้ำ โดยเตรียมเถ้าแกลบที่ได้จากการเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าในระบบปิด และใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมหยาบและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นด่างเร่งปฏิกิริยา ส่วนผสมของคอนกรีตบล็อคแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนผสมคอนกรีตบล็อคโดยน้ำหนัก

ลำดับที่	ส่วนผสม	เถ้าแกลบ : ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	เถ้าแกลบ (กรัม)	หินฝุ่น (กรัม)	ส่วนผสมของ NaOH (กรัม)	ความเข้มข้นของ NaOH (โมลาร์)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ W/C
1	0M-50:50	50:50	50	50	600	0	0.0	1.00
2	0.25M-50:50	50:50	50	50	600	10	0.25	1.00
3	0.50M-50:50	50:50	50	50	600	20	0.50	1.00
4	0.75M- 50:50	50:50	50	50	600	30	0.75	1.00
5	0M-60:40	60:40	40	60	600	0	0.0	1.15
6	0.25M-60:40	60:40	40	60	600	10	0.25	1.15
7	0.50M-60:40	60:40	40	60	600	20	0.50	1.15
8	0.75M-60:40	60:40	40	60	600	30	0.75	1.15
9	0M-70:30	70:30	30	70	600	0	0.0	1.30
10	0.25M-70:30	70:30	30	70	600	10	0.25	1.30
11	0.50M-70:30	70:30	30	70	600	20	0.50	1.30
12	0.75M-70:30	70:30	30	70	600	30	0.75	1.30

ความหมายของสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

0M-50:50	หมายถึง ไม่มีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นใดๆ ใช้น้ำเป็นส่วนผสม และใช้อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 50:50
0.25M-50:50	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 50:50
0.50M-50:50	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 50:50
0.75M-50:50	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.75 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 50:50
0M-60 : 40	หมายถึง ไม่มีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นใดๆ ใช้น้ำเป็นส่วนผสม และใช้อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 60:40
0.25M-60 : 40	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 60:40
0.50M-60 : 40	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 60:40
0.75M-60 : 40	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.75 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 60:40
0M-70 : 30	หมายถึง ไม่มีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นใดๆ ใช้น้ำเป็นส่วนผสม และใช้อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 70:30
0.25M-70 : 30	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 70:30
0.50M-70 : 30	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 70:30
0.75M-70 : 30	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.75 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 70:30

3.5 วิธีผลิตคอนกรีตบล็อค

เตรียมวัสดุผสมได้แก่ ปูนซีเมนต์, เถ้าแกลบ, หินฝุ่น และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (รูปที่ 3.10) ตามสัดส่วนในตารางที่ 3.1 พร้อมทั้งเตรียมเครื่องอัดไว้ให้พร้อม เถ้าแกลบ(RHA), สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยผสมเถ้าแกลบและสารละลาย NaOH ทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดการชะเอาซิลิกา และอลูมินาออกจากเถ้าแกลบก่อนนำมาผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และมวลรวมที่เตรียมไว้ผสมให้เข้ากัน (รูปที่ 3.11) ทดสอบความข้นเหลวของส่วนผสมว่าเหมาะสมหรือไม่ โดยใช้วิธีทำส่วนผสมในมือ (รูปที่ 3.12) ถ้าความเหลวเหมาะสม นำส่วนผสมที่คลุกเคล้ากันดีไปชั่ง (รูปที่ 3.13) แล้วใส่ลงในแบบอัดในเครื่องอัด (รูปที่ 3.14) เมื่ออัดส่วนผสมลงในแบบแล้วอัดให้แน่นโดยโยกคันอัดลงมาแล้วคลายออกโดยยกคันอัดขึ้น (รูปที่ 3.15) นำก้อนคอนกรีตบล็อคออกจากแบบ (รูปที่ 3.16) นำไปผึ่งในที่ร่มเพื่อบ่มให้แข็งตัวในแนวราบขนานกับพื้น ใช้เวลาบ่มที่ 7, 14, และ 28 วัน (รูปที่ 3.17)

รูปที่ 3.10 การเตรียมวัสดุผสมคอนกรีตบล็อค

รูปที่ 3.11 การผสมเถ้าแกลบและสารละลาย NaOH

รูปที่ 3.12 การผสมคอนกรีตบล็อค

รูปที่ 3.13 การชั่งวัสดุคอนกรีตบล็อคเพื่อเข้าเครื่องอัด

รูปที่ 3.14 การใส่วัสดุคอนกรีตบล็อคเข้าเครื่องอัด

รูปที่ 3.15 การอัดคอนกรีตบล็อค

รูปที่ 3.16 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อคที่ได้จากการอัด

รูปที่ 3.17 การบ่มคอนกรีตบล็อค

3.6 การทดสอบตัวอย่างคอนกรีตบล็อค

3.6.1 การทดสอบหากำลังอัด

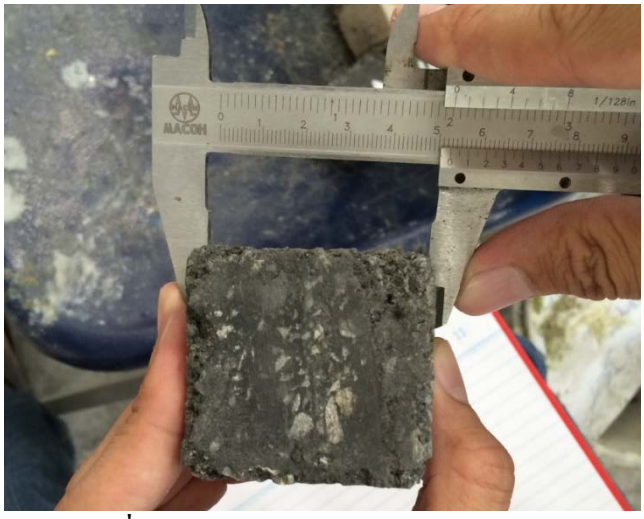
การทดสอบหากำลังอัดที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน อัดคอนกรีตบล็อคส่วนผสมละ 4 ก้อน โดยหลังจากนั้นใช้การบ่มในอากาศจนถึงเวลาที่ทดสอบ เมื่อครบกำหนดทดสอบแต่ละก้อนของคอนกรีตบล็อคให้ตัดเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 มม^3. (รูปที่ 3.18) ซึ่งจะได้ 3 ก้อนเล็ก โดยมีตัวอย่างก้อนเล็กส่วนผสมละ 3x8=24 ก้อน นำไปทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อค (รูปที่ 3.19)

รูปที่ 3.18 การตัดคอนกรีตบล็อค

รูปที่ 3.19 การทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อค

3.6.2 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อค

ในการสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อคได้ตัดตัวอย่างคอนกรีตบล็อค ให้มีขนาด 50x50x50 มม^3. ทำการวัดขนาดตัวอย่างอีกครั้ง (รูปที่ 3.20) ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง (รูปที่ 3.21) และคำนวณหาความหนาแน่น จากน้ำหนักหารด้วยปริมาตร ทดสอบตัวอย่างที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน



รูปที่ 3.20 การวัดขนาดตัวอย่างคอนกรีตบล็อค

รูปที่ 3.21 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบล็อค

3.6.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำในคอนกรีตบล็อค

ในการทดสอบการดูดซึมน้ำในคอนกรีตบล็อค ได้ตัดตัวอย่างคอนกรีตบล็อค ให้มีขนาด 50x50x50 มม^3 ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง หลังจากนั้น นำตัวอย่างคอนกรีตบล็อคเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 –110 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (รูปที่ 3.22) แช่ตัวอย่างคอนกรีตบล็อคให้จมอยู่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (รูปที่ 3.23) เอาตัวอย่างคอนกรีตบล็อคขึ้นแล้วใช้ผ้าเช็ดให้แห้งโดยรอบอย่างเร็ว (รูปที่ 3.24) และชั่งน้ำหนัก ภายใน 5 นาที (รูปที่ 3.25) คำนวณหาร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อค จากน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบล็อคหลังจากแช่น้ำ ลบด้วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อคที่อบแห้ง หารด้วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อคที่อบแห้ง ทั้งหมดคูณด้วย 100 จะได้ค่าการดูดซึมน้ำเป็นร้อยละ ทดสอบตัวอย่างละ 3 ก้อนที่อายุ 28 วัน

รูปที่ 3.22 การอบคอนกรีตบล็อคที่อุณหภูมิ 105 – 110 °ซ

รูปที่ 3.23 การนำคอนกรีตบล็อคไปแช่น้ำ

รูปที่ 3.24 การเช็ดผิวคอนกรีตบล็อคให้แห้ง

รูปที่ 3.25 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบล็อคหลังจากแช่น้ำ

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา และคุณสมบัติคอนกรีตบล็อคจากเถ้าแกลบโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ กำลังอัด และความหนาแน่นที่อายุ 7, 14, และ 28 วัน และร้อยละการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตบล็อคที่บ่มในอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM C138

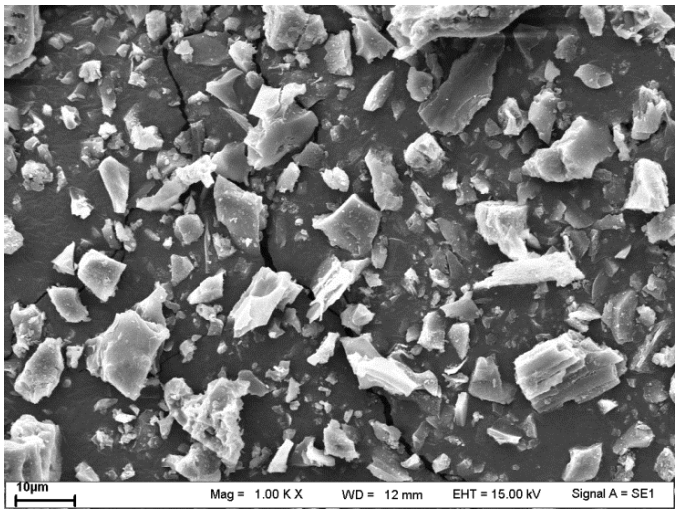
4.1 สมบัติของวัสดุในการทดสอบ

4.1.1 คุณสมบัติของเถ้าแกลบ

(ก) คุณสมบัติทางกายภาพ

- รูปร่างและลักษณะของเถ้าแกลบ

เถ้าแกลบมีสีดำ เมื่อพิจารณารูปร่างของเถ้าแกลบจากรูปภาพขยายกำลังสูงด้วยเครื่อง SEM แสดงดังรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ชัดว่าลักษณะของเถ้าแกลบมีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมมุมและมีผิวขรุขระไม่เรียบ



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของเถ้าแกลบ

-ขนาดของอนุภาค

เถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรง มีอนุภาคที่หยาบและมีความชื้นมาก การที่เถ้าแกลบมีรูพรุนสูงมากและรูปร่างที่ไม่แน่นอน ทำให้มอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบ ต้องการน้ำในส่วนผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงที่ทำให้กำลังอัดของมอร์ต้าร์มีค่าลดต่ำลง การศึกษาครั้งนี้จึงได้ปรับปรุงสมบัติของเถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรง มีอนุภาคหยาย โดยให้ค้างตะแกรงเบอร์ 325 สูงถึงร้อยละ 42 ซึ่งไม่สามารถกำหนดใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน ตามมาตรฐาน ASTM C618 เถ้าแกลบที่ใช้ยังถือว่ามีอนุภาคที่หยาบ และไม่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีต จึงได้มีการผสมด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยา ซึ่งถือเป็นการปรับปรุงสมบัติทางเคมีของเถ้าแกลบ

พิจารณารูปขยายอนุภาคของเถ้าแกลบด้วย SEM ตามรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าขนาดของเถ้าแกลบคละปนกันหลายขนาด แต่โดยเฉลี่ยแล้ว ขนาดอนุภาคของเถ้าแกลบค้างตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 42 เถ้าแกลบที่มีความละเอียดสูง จะมีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยามาก ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน ที่ทำให้กำลังอัดของมอร์ต้าร์หรือคอนกรีตสูงขึ้นได้ ส่วนความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบเท่ากับ 2.09

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของเถ้าแกลบ

สมบัติทางกายภาพของเถ้าแกลบ	
ความถ่วงจำเพาะ	2.09
ร้อยละค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 (%)	42

(ข) คุณสมบัติทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบจะ ประกอบด้วย ซิลิกา (silica, SiO_2) เป็นสารประกอบหลักสูง อยู่ร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์ของโซเดียม โปรแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition) ซึ่งตามปกติมี LOI อยู่ประมาณร้อยละ 2-5 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแกลบมีผลต่อค่า LOI เพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เถ้าแกลบมี LOI สูงขึ้น LOI ที่อยู่ในเถ้าแกลบส่วนใหญ่จะเป็นธาตุถ่าน ดูดน้ำสูง และถ้ามีจำนวนมากจะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%)	
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	เถ้าแกลบ (RHA)
Silicon Dioxide, SiO_2	20.10	90.0
Aluminum Oxide, Al_2O_3	5.20	0.5
Iron Oxide, Fe_2O_3	3.15	2.0
Calcium Oxide, CaO	60.24	0.5
Magnesium Oxide, MgO	1.13	0.2
Sulfur Trioxide, SO_3	2.42	1.5
Other oxides	1.52	-
Loss On Ignition, LOI	2.03	4.71

4.1.2 สมบัติของมวลรวม

หินฝุ่นที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.67 และการดูดซึมน้ำเท่ากับ 9.58 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าการดูดซึมน้ำของหินฝุ่นค่อนข้างสูง เนื่องจากลักษณะหินฝุ่นมีความพรุนสูง ซึ่งส่งผลให้เกิดการดูดน้ำมากขึ้นและมีผลเสียต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อค ที่ทำให้การรับแรงอัดต่ำลงได้ สมบัติทางกายภาพของหินฝุ่น แสดงดังตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมตามมาตรฐาน ASTM C127-88

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของมวลรวม

วัสดุ	**ความถ่วงจำเพาะ**	**การดูดซึมน้ำ (%)**
หินฝุ่น	2.67	9.58

4.2 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อค

การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตบล็อคได้ใช้ตัวอย่างทดสอบขนาด 50x50x50 มม.^{3} โดยผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อคที่บ่มในอากาศ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อคจากเถ้าแกลบ

ส่วนผสม	กำลังอัด (กก/ซม^2)			ร้อยละกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เทียบกับอายุ 7 วัน
	7 วัน	14 วัน	28 วัน	
0M-50:50	17	31	34	202
0.25M-50:50	25	27	40	162
0.50M-50:50	39	42	49	126
0.75M-50:50	34	41	46	134
0M-60:40	12	24	24	205
0.25M-60:40	28	31	41	144
0.50M-60:40	32	32	42	133
0.75M-60:40	31	41	44	140
0M-70:30	12	18	23	192
0.25M-70:30	19	22	39	204
0.50M-70:30	23	23	26	111
0.75M-70:30	23	26	31	132

4.2.1 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อค

กำลังอัดของคอนกรีตบล็อคที่ผสมเถ้าแกลบดำจากโรงงานโดยตรง ที่อายุบ่มในอากาศ 7, 14 และ 28 วัน แสดงดังตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อคในรูปของร้อยละกำลังอัดที่ 28 วันเทียบกับ 7 วัน พบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น มีผลให้ร้อยละกำลังอัดที่ 28 วันเทียบกับ 7 วัน มีแนวโน้มลดลง เช่น คอนกรีตบล็อคที่แทนที่เถ้าแกลบ ร้อยละ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นเท่ากับ 0, 0.25, 0.50 และ 0.75 โมลาร์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ ร้อยละกำลังอัดที่ 28 วันเทียบกับ 7 วัน เท่ากับ ร้อยละ 202, 162, 126 และ 134 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลจาก คอนกรีตบล็อคในกลุ่มที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่ง

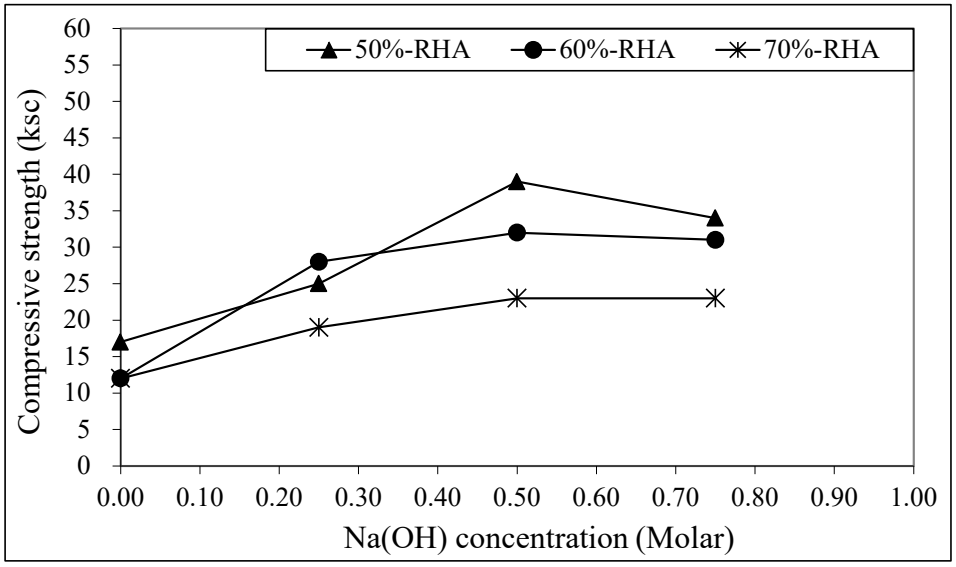
ปฏิกิริยา มีผลทำให้กำลังอัดระยะต้นสูงอยู่แล้ว จึงส่งผลให้ร้อยละของกำลังอัดที่อายุ 28 วันเทียบกับอายุ 7 วัน มีแนวโน้มต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานและมีผลทำให้กำลังอัดในระยะต้นสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Reaksmey Soeurt และ คณะ, 2559)

4.2.2 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อค

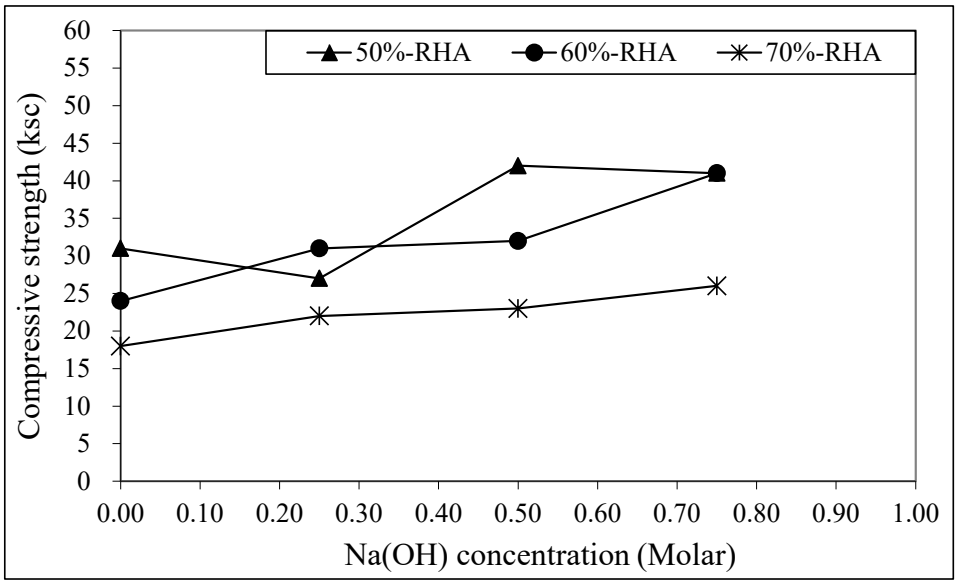
เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อคที่อายุ 7, 14, และ 28 วัน ดังรูปที่ 4.2(ก), 4.2(ข) และ 4.2(ค) ตามลำดับ โดยภาพรวม พบว่า ที่ช่วงอายุไม่เกิน 7 วัน คอนกรีตบล็อคทุกกลุ่มการแทนที่เถ้าแกลบ ให้กำลังอัดสูงขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไม่เกิน 0.50 โมลาร์ โดยมีกำลังอัดสูงสุดของทุกกลุ่มการแทนที่เถ้าแกลบ ที่ความเข้มข้น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.50 โมลาร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ เป็นด่างเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานให้ผลดีต่อการเพิ่มของกำลังอัดช่วงต้น เมื่อพิจารณาที่อายุมากขึ้นที่ 28 วัน ดังรูปที่ 4.2(ค) พบว่า การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ไม่เกินร้อยละ 60 และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 0.25 โมลาร์ ให้ผลดีต่อการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตบล็อคอย่างชัดเจน โดยมีค่าสูงกว่าคอนกรีตบล็อคที่ไม่ได้ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ปริมาณเถ้าแกลบร้อยละ 70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน และใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงกว่า 0.25 โมลาร์ กลับส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อคกลุ่มนี้ที่อายุ 28 วัน มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ไม่เหมาะสมให้เร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตบล็อค ที่ใช้ปริมาณเถ้าแกลบมาก ทั้งนี้อาจเป็นผลจากคอนกรีตบล็อคผสมเถ้าแกลบปริมาณสูงถึงร้อยละ 70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีผลให้ปริมาณของปูนซีเมนต์ลดลง จึงทำให้กำลังอัดคอนกรีตบล็อคที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำมีค่าต่ำด้วย ประกอบกับเถ้าแกลบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีอนุภาคที่หยาบ ความพรุนสูง ซึ่งทำให้ความเป็นวัสดุปอซโซลานทางกายภาพไม่ดี ถึงแม้เถ้าแกลบจะมีปริมาณซิลิกาสูงและใช้ด่างเร่งปฏิกิริยาก็ตาม แต่ยังไม่สามารถให้กำลังอัดสูงขึ้นได้ ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งในอายุ 14 และ 28 วัน

กลไกการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานของคอนกรีตบล็อคที่ผสมเถ้าแกลบและใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน เกิดจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเข้าชะเอาซิลิกาจากเถ้าแกลบ (Bahadure, et al., 2013) เพื่อเข้าทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Neville, 1995) ซึ่งกลไกการชะเอาซิลิกาจากเถ้าแกลบมี

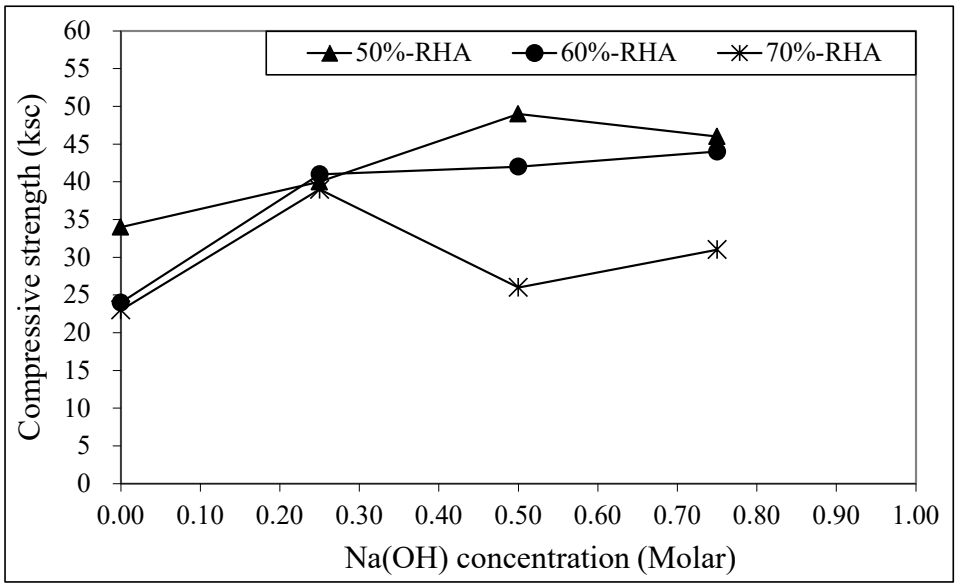
ลักษณะคล้ายกับการชะของด่างต่อวัสดุปอซโซลาน ในการผลิตจีโอพอลิเมอร์ แต่แตกต่างที่การเกิดปฏิกิริยา หลังจากนั้นที่ให้กำลังอัดเกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานแทนที่จะเป็นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรท์เซชัน เหมือนการเกิดจีโอพอลิเมอร์ อย่างไรก็ตามความเหมาะสมของด่างที่ใช้ชะที่ส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อค นอกจากจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และยังขึ้นกับลักษณะของวัสดุปอซโซลานด้วย เนื่องจาก การศึกษาครั้งนี้ ใช้เถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรงที่มีอนุภาคหยาบมาก (ค้างตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 42) จึงมีผลให้การชะเอาซิลิกา เพื่อเข้าทำปฏิกิริยาปอซโซลานยังไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งมีผลให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อคในทุกกลุ่มมีค่าค่อนข้างต่ำ และมีค่าต่ำลงชัดเจนในกลุ่มที่ใช้เถ้าแกลบปริมาณสูงขึ้น



ก) อายุบ่มคอนกรีตบล็อค 7 วัน



ข) อายุบ่มคอนกรีตบล็อค 14 วัน



ค) อายุบ่มคอนกรีตบล็อค 28 วัน

รูปที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลัง อัดของคอนกรีตบล็อคที่ผสมเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง

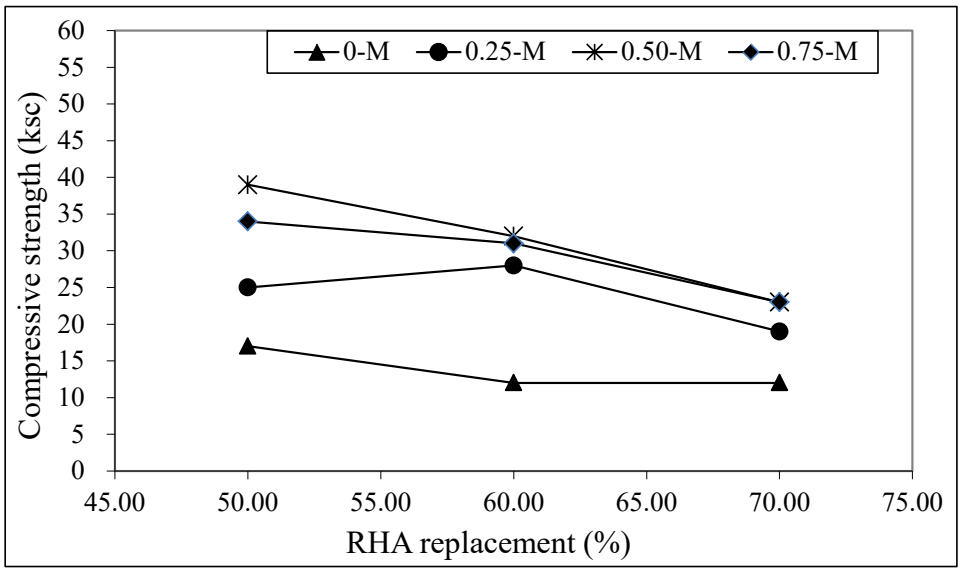
4.2.3 ผลของปริมาณเถ้าแกลบต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อค

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณเถ้าแกลบต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อค ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ดังรูปที่ 4.3(ก), 4.3(ข) และ 4.3(ค) ตามลำดับ พบว่า การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในปริมาณที่สูงขึ้น มีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อคในทุกส่วนผสมมีแนวโน้มลดลง โดยการ

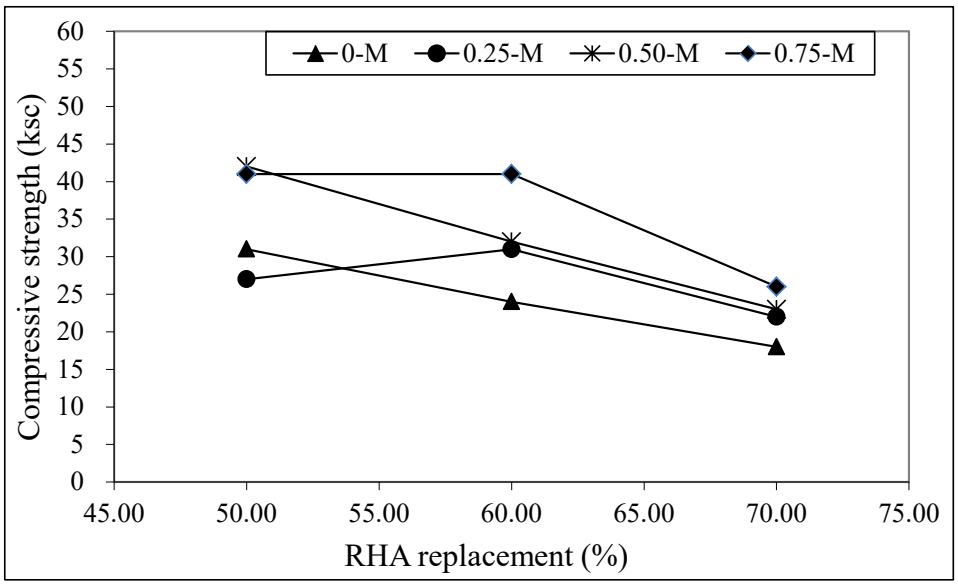
ลดลงของกำลังอัดดังกล่าวนี้ มีผลชัดเจนในกลุ่มที่ใช้ด่างเร่งปฏิกิริยามากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้ด่างเร่งปฏิกิริยา เช่น คอนกรีตบล็อค ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.50 โมลาร์ เมื่อใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 50 เป็นร้อยละ 70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีผลทำให้กำลังอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตบล็อค ลดลงเท่ากับ 23 กก./ซม.^{2}(ลดลงจาก 49 กก./ซม.^{2} เป็น 26 กก./ซม.^{2}) ในขณะที่คอนกรีตบล็อค กลุ่มเดียวกันนี้ที่ไม่ได้ใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่งปฏิกิริยามีกำลังอัดลดลงแค่ 11 กก./ซม.^{2} (ลดลงจาก 34 กก./ซม.^{2} เป็น 23 กก./ซม.^{2}) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในเถ้าแกลบให้ผลค่อนข้างชัดเจน เมื่อผสมเถ้าแกลบในคอนกรีตบล็อคเท่ากับ ร้อยละ 50 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้เถ้าแกลบร้อยละ 70 ทั้งนี้ อาจเป็นผลจากการใช้เถ้าแกลบในปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลให้สมบัติความเป็นปอซโซลานลดลงเพราะเถ้าแกลบมีอนุภาคที่หยาบและมีความพรุนสูง (Zain, et al., 2011)

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน ในทุกกลุ่มการแทนที่เถ้าแกลบให้ผลดีต่อการเพิ่มกำลังอัดมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสังเกตได้จากกำลังอัดของกลุ่มที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยาที่ค่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในทุกอายุการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก), (ข) และ(ค) ตามลำดับ

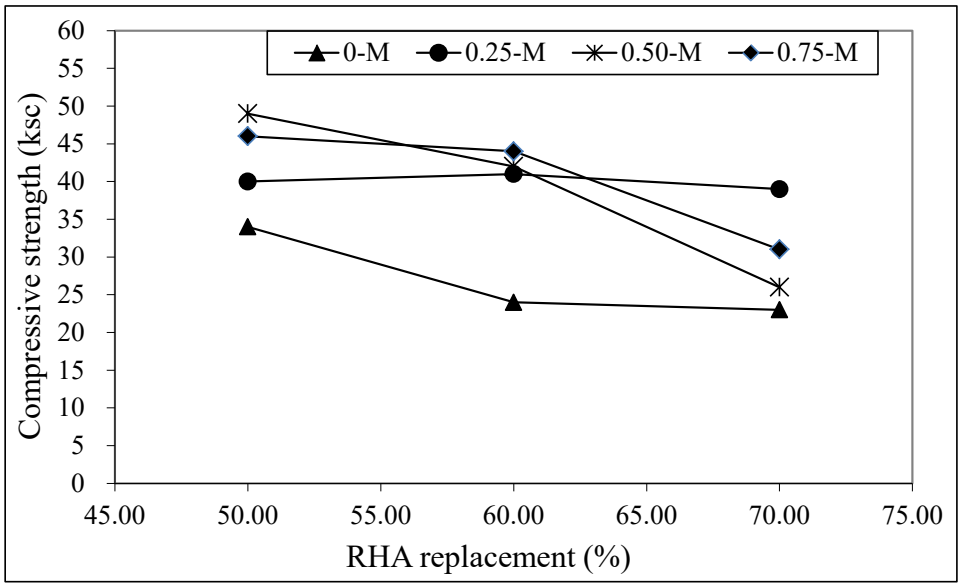
การศึกษาครั้งนี้ พบว่า ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.50 โมลาร์ มีความเหมาะสมที่ใช้เร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตบล็อคผสมเถ้าแกลบ เนื่องจากให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อคในช่วงต้นสูงและช่วงปลายก็ยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตบล็อคส่วนผสมนี้ สามารถรับแรงได้เร็ว นอกจากนี้อัตราส่วนการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ยังเป็นปัจจัยหลักในการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตโดยพบว่า คอนกรีตบล็อคที่มีการแทนที่ของเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 50 ให้กำลังอัดสูงที่สุด ซึ่งเป็นเพราะการแทนที่ของเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 50 มีปริมาณปูนซีเมนต์สูงปฏิกิริยาไฮเดรชันจึงเกิดได้ดีกว่า



ก) อายุบ่มคอนกรีตบล็อค 7 วัน



ข) อายุบ่มคอนกรีตบล็อค 14 วัน

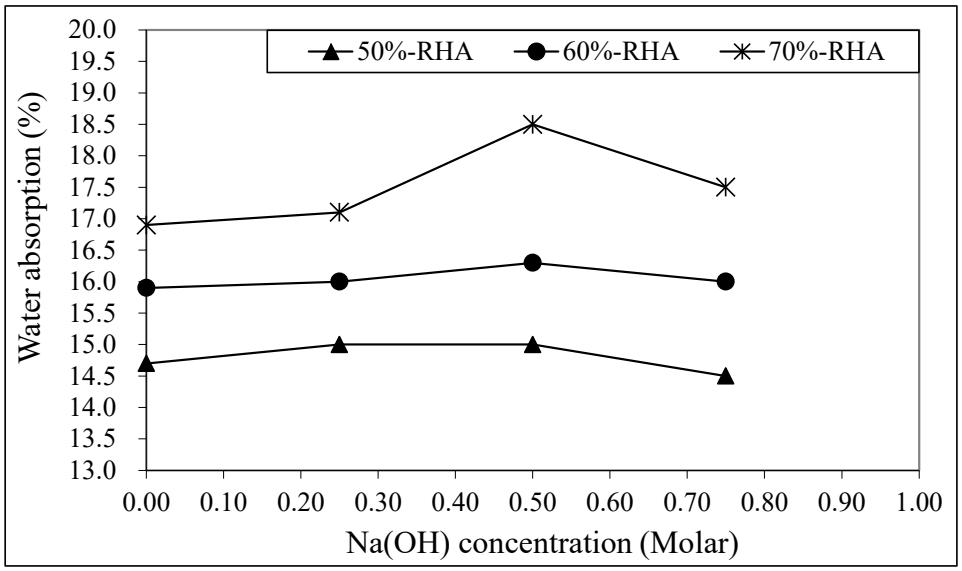


ค) อายุบ่มคอนกรีตบล็อค 28 วัน

รูปที่ 4.3 ผลของปริมาณเถ้าแกลบต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อคที่ผสมเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง

4.3 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อค

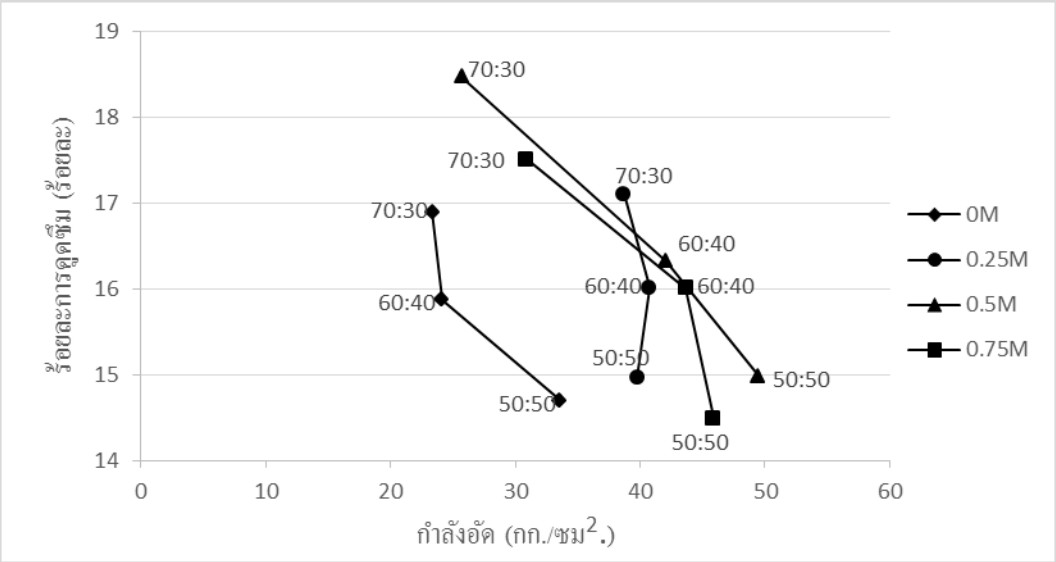
เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณเถ้าแกลบต่อร้อยละการดูดซึมน้ำ ดังรูปที่ 4.4 พบว่า ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่มีผลชัดเจนต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อค ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้น ไม่ได้ส่งผลต่อความพรุนในคอนกรีตบล็อคมากนัก ส่วนการใช้เถ้าแกลบในคอนกรีตบล็อคในปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลให้ร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่ามากขึ้นอย่างชัดเจน และมีแนวโน้มเดียวกันในทุกความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทั้งนี้เป็นผลจากปริมาณเถ้าแกลบที่มากขึ้นส่งผลให้ความพรุนในคอนกรีตบล็อคสูงขึ้นด้วย โดยคอนกรีตบล็อคที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.50 โมลาร์ และผสมเถ้าแกลบร้อยละ 50, 60 และ70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 15.0, 16.3 และ 18.5 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลจากเถ้าแกลบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีความพรุนสูง มีการดูดน้ำมาก เมื่อใช้ในส่วนผสมในปริมาณที่สูง จึงทำให้คอนกรีตบล็อคมีการดูดน้ำมากตามไปด้วย



รูปที่ 4.4 ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณเถ้าแกลบต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อค

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตบล็อคที่อายุ 28 วัน กับร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อคตามรูปที่ 4.5 พบว่า การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลงตามกำลังอัดที่เพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน เช่น คอนกรีตบล็อคที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.75 โมลาร์ ที่มีกำลังอัด 46, 44 และ 31 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ มีการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน เท่ากับร้อยละ 14.5, 16.0 และ 17.5 ตามลำดับ

การที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ส่งผลโดยตรงต่อกำลังอัดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีการชะเอาซิลิกาออกมาจากเถ้าแกลบเพื่อเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานทำให้กำลังอัดนั้นมีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตบล็อคความทึบน้ำและลดร้อยละการดูดซึมน้ำเข้าไปในคอนกรีตบล็อคได้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตบล็อคที่อายุ 28 วัน กับการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อค

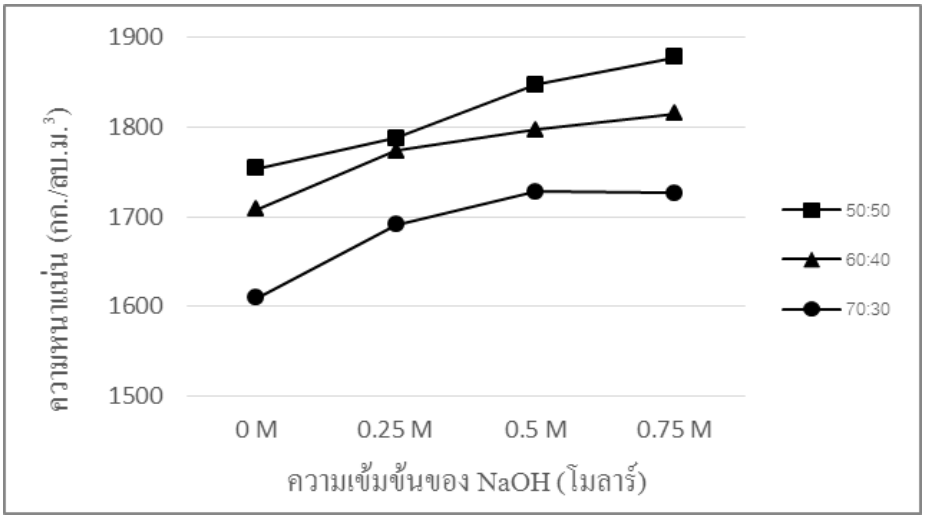
4.4 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อค

ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอกรีตบล็อคที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน แสดงดังตารางที่ 4.5 ซึ่งพบว่า ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อคมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และให้แนวโน้มในทิศทางเดียวกันในทุกๆอัตราการแทนที่เถ้าแกลบ (รูปที่ 4.6) ผลดังกล่าวอาจเกิดจากกำลังอัดที่สูงขึ้น ในกลุ่มที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นทำให้คอนกรีตบล็อคแน่นขึ้นและมีความหนาแน่นสูงขึ้น

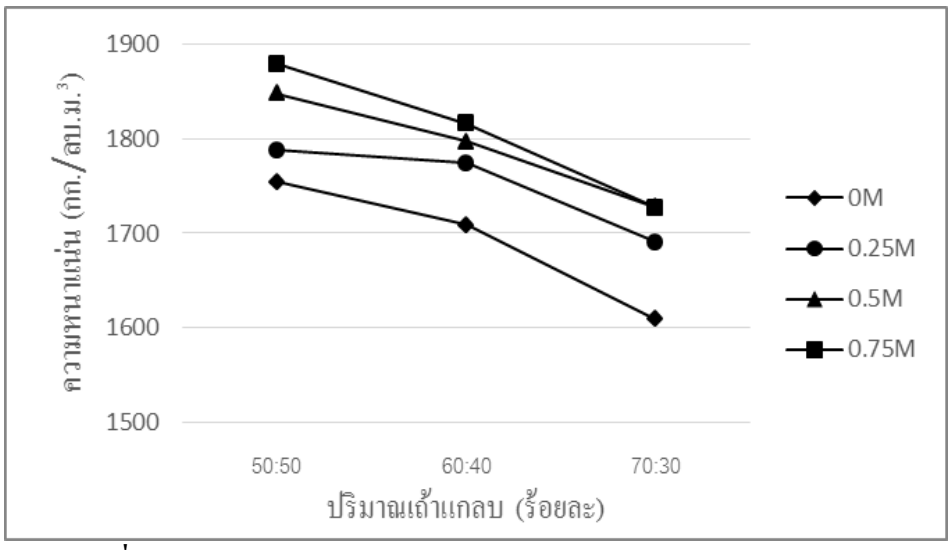
เมื่อพิจารณาผลของปริมาณเถ้าแกลบต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อคตามรูปที่ 4.7 พบว่า ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อคมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณเถ้าแกลบที่มากขึ้น และให้แนวโน้มในทิศทางเดียวกันในทุกความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเกิดจาก เถ้าแกลบมีความพรุนค่อนข้างมาก และมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อคในกลุ่มที่ผสมเถ้าแกลบปริมาณสูงขึ้นมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 4.5 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อคที่บ่มในอากาศ

ส่วนผสม	ความหนาแน่น (กก./ม.^{2})			เฉลี่ย
	7 วัน	14 วัน	28 วัน	
0M-50:50	1687	1804	1772	1754
0.25M-50:50	1821	1754	1788	1788
0.50M-50:50	1845	1823	1875	1848
0.75M-50:50	1808	1849	1977	1878
0M-60:40	1691	1764	1671	1709
0.25M-60:40	1752	1773	1796	1774
0.50M-60:40	1799	1770	1822	1797
0.75M-60:40	1816	1837	1794	1816
0M-70:30	1502	1683	1642	1609
0.25M-70:30	1705	1690	1678	1691
0.50M-70:30	1833	1656	1695	1728
0.75M-70:30	1678	1768	1735	1727



รูปที่ 4.6 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อค



รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณเถ้าแกลบต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อค

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นไม่เกิน 0.50 โมลาร์ มีผลให้คอนกรีตบล็อคมีกำลังอัดสูงขึ้นและสูงกว่าคอนกรีตบล็อคที่ไม่ใช้สารสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

5.1.2 เมื่อผสมเถ้าแกลบในปริมาณที่มากขึ้น มีผลทำให้คอนกรีตบล็อคมีกำลังอัดและความหนาแน่นลดลงและร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อคมีค่าสูงขึ้น

5.1.3 การศึกษาครั้งนี้ พบว่า ส่วนผสมคอนกรีตบล็อคที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.50 โมลาร์ และใช้เถ้าแกลบแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 50 โดยน้ำหนักประสาน มีความเหมาะสมในการใช้ผลิตคอนกรีตบล็อคมากที่สุด เนื่องจากให้กำลังอัดที่สูงสุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษาคอนกรีตบล็อค โดยการแปรเปลี่ยนสารเคมีผสมเพิ่มชนิดต่างๆ ตลอดจนการศึกษาคอนกรีตบล็อคจากวัสดุเหลือทิ้งชนิดอื่นๆ เช่น เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เถ้าปาล์มน้ำมัน และตะกรันเตาถลุงเหล็ก เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

ชรินทร์ เสนาวงษ์ อิทธิพล วิไลลักษณ์และ วิเชียร ชาลี. (2552). การทำคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากเถ้าก้นเตาระบบฟลูอิดไดซ์เบด. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14*, 13-15 พฤษภาคม 2552, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี หน้า 1587-1592

ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2547). *ปูนซีเมนต์ ปอซโซลานและคอนกรีต*. ครั้งที่ 3, สมาคมคอนกรีตไทย

ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2547). *เถ้าลอยในงานคอนกรีต*, ครั้งที่ 1, สมาคมคอนกรีตไทย

Reaksmey Soeurt, รัฐพล สมนา และ วิเชียร ชาลี. (2559). ผลของด่างเร่งปฏิกิริยาต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์จากเถ้าถ่านหิน. *การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 11*, นครราชสีมา, 17-19 กุมภาพันธ์ 2559, MAT 025

สุรพันธ์ สุคันธปรีย์, จตุพล ตั้งปกาศิต, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2546). การศึกษาคอนกรีตที่มีเถ้าแกลบ-เปลือกไม้เป็นส่วนผสม. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา* 14(3), หน้า 1-7

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 57-2533* คอนกรีตบล็อครับน้ำหนัก. พิมพ์ครั้งที่ 7, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533* คอนกรีตบล็อคไม่รับน้ำหนัก. พิมพ์ครั้งที่ 7, สำนักงานมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.

อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2552). *เถ้าแกลบในงานคอนกรีต*, ครั้งที่ 1, สมาคมคอนกรีตไทย

อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์, วิเชียร ชาลี และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2549). การศึกษาการชะเถ้าถ่านหินลิกไนต์และกำลังอัดของวัสดุจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าถ่านหิน. *วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา มจธ.*, 29(4), หน้า 437-446.

ASTM C311 / C311M, (2017). Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*, V. 04.02.

ASTM C426 – 16, (2016). Standard Test Method for Linear Drying Shrinkage of Concrete Masonry Units. *Annual Book of ASTM Standards*, V. 04.05.

ASTM C138 / C138M - 17a, (2017). Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*, V. 04.02.

ASTM C618 - 17, (2017). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*, V. 04.02.

ASTM C127 - 88, (2001). Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. *Annual Book of ASTM Standards*, V. 04.02.

Bahadure, B.M., and Naik, N.S. (2013). Effect of alkaline activator on workability and compressive strength of cement concrete with RHA. *International Journal of Computational Engineering Research*, 3, pp. 505-514.

Chalee, W., Sasakul, T., Suwanmaneechoand, P., and Jaturapitakkul, C. (2013). Utilization of rice husk-bark ash to improve the corrosion resistance of concrete under 5-year exposure in a marine environment. *Cement and Concrete Composites*, 37, pp. 47-53.

Feng, Q., Yamamichi, H., and Shoya, C. (2004). Study on the pozzolanic properties of rice husk ash by hydrochloric acid pretreatment. *Cement and Concrete Research*, 34, pp. 521-526.

Neville, A.M. (1995). *Properties of Concrete*. 4th ed., Prentice Hall, London, pp. 269-317.

Panha Huy, Soklam Mov และ วิเชียร ชาลี. (2559). การผลิตคอนกรีตบล็อค ชนิดรับน้ำาหนักจากจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าถ่านหิน. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 21(2), หน้า 31-46

Sata, V., Jaturapitakkuland, C. and Kiattikomo, K. (2007). Influence of pozzolan from various by-product materials on mechanical properties of high-strength concrete. *Construction and Building Materials*, 21, pp. 1589–1598.

Sata, V., Tangpagasit, J., Jaturapitakkul, C and Chindaprasirt, P. (2012). Effect of W/B ratios on pozzolanic reaction of biomass ashes in Portland cement matrix. *Cement and Concrete Composites*, 34, pp. 94 -100.

Zain, M.F.M., Islam, M.N., Mahmud, F., and Jamil, M. (2011). Production of rice husk ash for use in concrete as a supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials*, 25, pp. 798-805.