



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

ผลของด่างเร่งปฏิกิริยาต่อกำลังอัดคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากเถ้าแกลบ
(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

ผลของด่างเร่งปฏิกิริยาต่อกำลังอัดคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากเต้าแกลบ

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

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายวิเชียร ชาติ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

พฤษภาคม 2560

ทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ตามที่ นายวิเชียร ชาลี พนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่งรองศาสตราจารย์ สังกัดภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย เรื่อง “ผลของค่าแรงปฏิภนาต่อกำลังอัดคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากเสาเกลบ” 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 ต่อกำลังอัดของคอนกรีตบดจากวัสดุประสานจากเถ้าแกลบ(RHA) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0, 0.25, 0.50 และ 0.75 โมลาร์ เป็นสารเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตบดจากเถ้าแกลบ ใช้เถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรงเป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 40, 50 และ 60 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน และใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวม โดยใช้อัตราส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อหินฝุ่นเท่ากับ 1:6 โดยน้ำหนัก เตรียมคอนกรีตบดจากเถ้าแกลบโดยใช้เครื่องอัดชนิดซินวา-แรม หลังจากนั้นบ่มคอนกรีตบดในอากาศที่อุณหภูมิห้องจนถึงอายุทดสอบ โดยทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบดจากเถ้าแกลบที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ตลอดจนทดสอบการดูดซึมน้ำในคอนกรีตบดที่อายุทดสอบ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงไม่เกิน 0.5 โมลาร์ มีผลให้คอนกรีตบดมีกำลังอัดสูงขึ้น อย่างไรก็ตามกำลังอัดของคอนกรีตบดจากเถ้าแกลบมีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นสูงขึ้นเป็น 0.75 โมลาร์ การใช้เถ้าแกลบในปริมาณที่มากขึ้น มีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตบดลดลงอย่างชัดเจน นอกจากนั้นร้อยละการดูดซึมน้ำในคอนกรีตบดจากเถ้าแกลบมีแนวโน้มสูงขึ้นตามกำลังอัดที่ลดลง

คำสำคัญ : คอนกรีตบด, เถ้าแกลบ, ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, 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 increase 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 เพื่อส่งเสริมการใช้งาน ถ้าเกิดโดยใช้ต่างเป็นตัวกระตุ้น เพื่อเป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีต หรือวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ให้สามารถใช้ในการก่อสร้างอย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น

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 ปฏิกริยาปอซโซลาน	9
2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์	10
2.4 คอนกรีตบล็อก	11
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	26
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	26
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	27
3.3 การเตรียมวัสดุ	29
3.4 ส่วนผสมคอนกรีตบล็อก	30
3.5 วิธีผลิตคอนกรีตบล็อก	33
3.6 การทดสอบตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	37

เนื้อหา	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล	42
4.1 สมบัติของวัสดุในการทดสอบ	42
4.2 กำลังอัดของคอนกรีตบดอัด	45
4.3 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบดอัด	51
4.4 ความหนาแน่นของคอนกรีตบดอัด	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 องค์ประกอบทางเคมีของเก้าอี้เหล็ก	5
2.2 ความหนาของเปลือกและผนังกันโพรง	17
2.3 ขนาดของคอนกรีตบดอัดรับน้ำหนัก	17
2.4 ความต้านทานแรงอัดและการดัดโค้ง	19
2.5 วัสดุประสมใช้ในการใช้คอนกรีตบดอัดชั้นคุณภาพต่างๆ	19
2.6 ความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบดอัดรับน้ำหนักประเภทที่ 1)	20
2.7 ความต้านทานแรงอัดและการดัดโค้ง	19
3.1 สัดส่วนผสมคอนกรีตบดอัดโดยน้ำหนัก	31
4.1 สมบัติทางกายภาพของเก้าอี้เหล็ก	43
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของเก้าอี้เหล็ก	44
4.3 คุณสมบัติของมวลรวม	44
4.4 กำลังอัดของคอนกรีตบดอัดจากเก้าอี้เหล็ก	45
4.5 ความหนาแน่นของคอนกรีตบดอัดที่บ่มในอากาศ	54

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	6
2.2	7
2.3	8
2.4	9
2.5	10
2.6	12
2.7	13
2.8	14
2.9	15
2.10	16
2.10	16
2.10	16
3.1	26
3.2	26
3.3	27
3.4	27
3.5	28
3.6	28
3.7	29
3.8	29
3.9	30
3.10	33
3.11	33
3.12	34
3.13	34
3.14	35
3.15	35
3.16	36
3.17	36

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
3.18 การตัดคอนกรีตบดล็อก	37
3.19 การทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตบดล็อก	37
3.20 การวัดขนาดตัวอย่างคอนกรีตบดล็อก	38
3.21 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบดล็อก	38
3.22 การอบคอนกรีตบดล็อกที่อุณหภูมิ 105 – 110 °ซ	39
3.23 การนำคอนกรีตบดล็อกไปแช่น้ำ	40
3.24 การแช่ผิวคอนกรีตบดล็อกให้แห้ง	40
3.25 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบดล็อกหลังจากแช่น้ำ	41
4.1 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของเถ้าแกลบ	42
4.2 ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลังอัดของคอนกรีตบดล็อกที่ผสมเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง	48
4.3 ผลของปริมาณเถ้าแกลบต่อกำลังอัดของคอนกรีตบดล็อกที่ผสมเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง	51
4.4 ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณเถ้าแกลบต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบดล็อก	52
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตบดล็อกที่อายุ 28 วัน กับการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบดล็อก	53
4.6 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบดล็อก	54
4.7 ผลของปริมาณเถ้าแกลบต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบดล็อก	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 ซึ่งหากมีการใช้ต่างเป็นสารเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานโดยการชะเอาซิลิกาและอลูมินาจากวัสดุปอซโซลานเพื่อเข้าทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน อาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานดีขึ้นและมีกำลังอัดสูงขึ้นได้ โดยอาจไม่ต้องปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของวัสดุปอซโซลาน การประยุกต์ใช้วัสดุปอซโซลานที่มีอนุภาคหยาบในวัสดุก่อสร้างที่ไม่ต้องการกำลังรับแรงสูง และการรับแรงเชิงกลเป็นลักษณะของแรงอัด น่าจะส่งเสริมการใช้งานของวัสดุปอซโซลานเหล่านี้ในงานก่อสร้างได้กว้างขวางมากขึ้น

เถ้าแกลบเป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรม ที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการให้พลังงานความร้อน เช่น โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า โรงงานทำอิฐบล็อกจากเถ้าแกลบ เป็นต้น โดยทั่วไปเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาแกลบจะมี สีขาวและสีดำ โดยเถ้าแกลบขาว เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมอญ ที่มีการเผาเป็นระบบเปิด (Opened Burning Process) ข้อดีของเถ้าแกลบขาวจากแหล่งผลิตจะมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ หยาบและมีความพรุนสูง ทำให้ศักยภาพการใช้งานทางด้านวิศวกรรมต่ำ ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติของเถ้าแกลบเพิ่มเติมโดยวิธีการบดให้ละเอียด ส่วนเถ้าแกลบดำเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นการเผาแบบระบบปิด (Closed Burning Process) มีสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าเถ้าแกลบขาว เนื่องจากมีการเผาที่สมบูรณ์กว่า องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบดำจะมีซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ประมาณร้อยละ 80 – 90 ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก ลักษณะทางกายภาพของเถ้าแกลบมีขนาดและรูปร่างของอนุภาคไม่แน่นอน เป็นเหลี่ยมมุม มีผิวขรุขระ และมีความพรุนสูง อนุภาคมีรูปร่างอยู่ภายใน ถือเป็นข้อดีของเถ้าแกลบในการนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต อย่างไรก็ตามเถ้าแกลบมีปริมาณของซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ค่อนข้างสูง ซึ่งมีประโยชน์ต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตได้ (อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ปริญญญา จินดาประเสริฐ, 2552)

การศึกษาที่ผ่านมา พบว่าเถ้าแกลบดำเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง มีปริมาณค่อนข้างสูงในแต่ละปี โดยไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ให้เกิดมูลค่าอย่างเต็มที่ และเถ้าแกลบยังก่อให้เกิดปัญหาการกำจัดทิ้งอีกด้วย ลักษณะทางกายภาพของเถ้าแกลบมีขนาดและรูปร่างของอนุภาคไม่แน่นอน เป็นเหลี่ยมมุม มีผิวขรุขระ และมีความพรุนสูง อนุภาคมีรูปร่างอยู่ภายในซึ่งเป็นข้อด้อยของเถ้าแกลบในการนำมาใช้เป็นวัสดุปอชโซลานในงานคอนกรีต (Feng, *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบดำพบว่า มีซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ประมาณร้อยละ 80 – 90 ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก (Feng, *et al.*, 2004) และเป็นข้อเด่นที่ส่งผลดีต่อการนำมาใช้เพื่อเป็นวัสดุประสานในงานก่อสร้างได้ การใช้เถ้าแกลบดำจากโรงงานโดยตรงในปริมาณสูงและใช้ต่างในการเร่งปฏิกิริยา น่าจะสามารถใช้เป็นวัสดุประสานในการผลิตคอนกรีตบดอัดได้ โดยในการผลิตคอนกรีตบดอัดมีการอัดขึ้นรูปที่ทำให้สามารถรับแรงได้มากขึ้นได้ ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ จึงมีจุดประสงค์เพื่อใช้ต่างที่มีความเข้มข้นต่างกันในการเร่งปฏิกิริยาปอชโซลานในคอนกรีตบดอัด โดยใช้เถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรง แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในปริมาณที่สูงถึงร้อยละ 70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการส่งเสริมการใช้งานวัสดุก่อสร้าง ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งหรือผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมให้กว้างขวางมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1) เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อกำลังอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ในคอนกรีตบดอัดจากเถ้าแกลบดำที่ได้จากโรงงานโดยตรงเป็นวัสดุประสาน และใช้ต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้น

1.2.2) เพื่อศึกษาผลของปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าแกลบดำที่ได้จากโรงงานโดยตรง ต่อกำลังอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ในคอนกรีตบดอัดจากเถ้าแกลบและใช้ต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวกระตุ้น

1.3 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้จะศึกษาการผลิตคอนกรีตบดอัดชนิดรับน้ำหนักจากวัสดุประสานจากเถ้าแกลบโดยใช้ต่างเป็นตัวกระตุ้น โดยทำการทดสอบกำลังอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ โดยใช้ต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้นต่างกัน 3 ค่า เป็นสารเร่งปฏิกิริยา (Activator) เตรียมส่วนผสมคอนกรีตบดอัดจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมกับเถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรงแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 70, 80 และ 90 โดยน้ำหนัก และใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมแทนที่โดยใช้อัตราส่วน วัสดุประสาน:หินฝุ่น 1:6 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้น ทำการอัดคอนกรีตบดอัดใน

เครื่องอัดคอนกรีตบดอัด โดยจะบดคอนกรีตบดอัดในอากาศ จนถึงอายุทดสอบ ในการศึกษาจะทดสอบ กำลังอัด ความหนาแน่น ที่อายุ 7, 14, และ 28 วัน ตลอดจนทดสอบการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงสัดส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบดอัดชนิดรับน้ำหนัก จากเถ้าแกลบที่ได้จาก โรงงานโดยตรง โดยใช้ค่าเป็นตัวกระตุ้น ได้แก่ ปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบ ความเข้มข้นของ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้ได้คอนกรีตบดอัดที่มีกำลังอัดสูง การดูดซึมน้ำต่ำ และความ หนาแน่นต่ำ และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตคอนกรีตบดอัดโดยใช้เถ้าชีวมวลอื่นๆ ให้สามารถใช้ งานได้จริงในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

1.4.2 เป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางอุตสาหกรรมไปสร้างมูลค่า โดยใช้ให้เกิด ประโยชน์ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ตลอดจนเป็นการลดพลังงาน ลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลด ปัญหาโลกร้อนได้อีกทางหนึ่งด้วย

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 ประโยชน์ของเถ้าแกลบยังมีอีกมากมายเช่น ถ่ายอัดแท่ง นำมาปลูกต้นไม้ทำให้รากพืชสามารถแผ่ขยายได้ และต้นไม้อเจริญเติบโตดี ใช้เป็นสารปรับสภาพดินให้มีความเป็นกรดลดลง หรือใช้แก้แค้นที่มีสภาพเป็นกรดได้ ใช้กับอุตสาหกรรมโลหะและอุตสาหกรรมซีเมนต์และคอนกรีตบล็อก เถ้าแกลบส่วนใหญ่จะเป็นธาตุถ่านคุดน้ำสูง จึงมีคุณสมบัติดูดซับความชื้น มีความพรุน (porosity) มาก น้ำหนักเบา มีพื้นที่ผิวมาก



2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ

เถ้าแกลบเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกข้าวที่ถูกเผาไหม้ มีสารประกอบซิลิกา (silica, SiO_2) เป็นสารประกอบหลักสูง อยู่ร้อยละ 95 พบว่าเถ้าแกลบที่เผาในประเทศไทยมี SiO_2 อยู่ร้อยละ 92.28 ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์ของโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ และค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition หรือ LOI) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งตามปกติมี LOI อยู่ประมาณร้อยละ 2-5 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเถ้าแกลบมีผลต่อค่า LOI เพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เถ้าแกลบมี LOI สูงขึ้น LOI (อุปลักษณ์ รัดนศักดิ์ และปริญญา จินดาประเสริฐ, 2552)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

สารประกอบ	เถ้าแกลบ	เถ้าแกลบเทาขาว	เถ้าแกลบดำโรงสี
SiO₂	86.9 – 97.3	88.33	89.95
K₂O	0.6 – 2.5	2.76	1.49
Na₂O	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
Fe₂O₃	0 – 0.6	3.37	1.89
P₂O₅	0.2 – 2.9	NA	NA
SO₃	0.1 – 1.1	0.12	0.02
Cl	0 – 0.4	NA	NA
Al₂O₃	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 การเผาแกลบในที่ที่มีอากาศไม่เพียงพอและที่อุณหภูมิต่ำจะได้แกลบที่มีสีดำและมี การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) สูง นอกจากนี้ต้องบดให้ละเอียดอย่างมากจึงจะสามารถนำมาใช้ผสมทำปูนซีเมนต์ได้ การเผาในที่ที่มีอากาศไม่เพียงพอหรือระยะเวลาในการเผาสั้น ถึงแม้มีอุณหภูมิสูงก็ตาม แกลบดำที่ได้ก็ยังคงมี LOI สูง

แกลบที่ผ่านการเผาที่สมบูรณ์มี LOI ต่ำและมีซิลิกาสูง แต่ทั้งนี้ยังไม่แน่ว่าจะมีความสามารถในการทำปฏิกิริยา เนื่องจากซิลิกาเป็นสารประกอบที่มีอยู่มากและสำคัญที่สุด ดังนั้นความสามารถในการทำปฏิกิริยาของเถ้าแกลบจะขึ้นอยู่กับสถานะของซิลิกา ซึ่งมีอยู่ 2 สถานะคือ ออสถฐาน (amorphous) และผลึก (crystalline) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการเผา ซิลิกาที่เป็นผลึกค่อนข้างอยู่ตัวและเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน แต่ซิลิกาที่เป็นอสถฐานซึ่งได้

จากการเผาที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไปจะมีความ ร่องไว้ในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ซิลิกาจะเปลี่ยนรูปไปเป็นผลึกของควอร์ต(quartz) คริสโตบาไลต์(christobalite) และ ทริคิไมต์(tridymite)

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

ถ้ำกลบดำได้จากการเผาถ่านเพื่อให้ความร้อนกับหม้อไอน้ำในโรงสีและเรียกถ่านนี้ว่า ถ่านโรงสี ดังแสดงในรูปที่ 2.1 อุณหภูมิของการเผาถ่านเป็นเชื้อเพลิงในโรงสีไม่คงที่ขึ้นอยู่กับวิธีการป้อน ถ่าน ช่วงเวลาการเผา และขนาดของเตาเผา อุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 800 องศาเซลเซียส และอาจสูงถึง 1200 องศาเซลเซียสได้ ช่วงเวลาของการเผาไม่นานนัก คุณสมบัติของถ่านที่ได้จากการเผาโดยวิธีนี้มีความแตกต่างกันได้มาก โดยขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการเผา ถ้าเผาช่วงเวลาสั้นถ่านที่ได้จะผ่านการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และมี LOI สูงถ่านที่ได้โดยวิธีนี้มี LOI ต่ำสามารถนำมาบดและผสมเป็นปูนซีเมนต์ปอซโซลานทำคอนกรีตที่มีกำลังรับแรงที่ดีได้ ก่อนจากนี้ถ้ำกลบดำยังได้มาจากการเผาถ่านเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในโรง ผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้เตาเผาแบบฟลูอิดไชด์เบด (fluidized bed burning) แต่สีที่ได้จะออกดำเทาเพราะเผาค่อนข้างสูงคือ 800-900 องศาเซลเซียส และเวลาเผาค่อนข้างสั้นเพียงไม่กี่วินาที



ก. ถ้ำกลบดำจากโรงสี

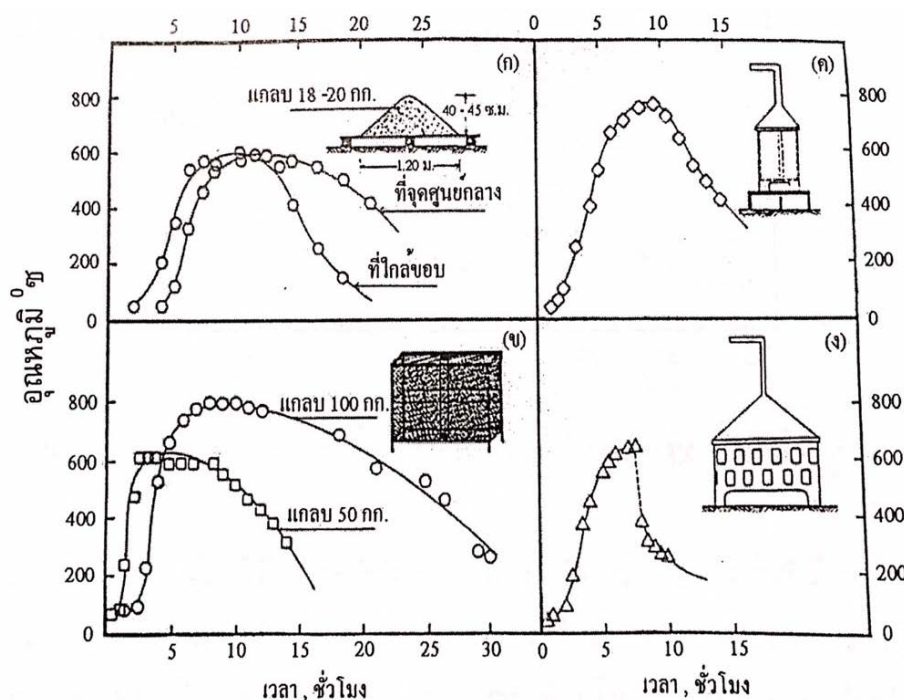
ข. ถ้ำกลบดำแยกเศษเปลือกและเศษดิน

รูปที่ 2.1 ถ้ำกลบดำ

2.1.2.2 ถ้ำกลบขาว (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

ถ้ำกลบเทาขาวส่วนใหญ่ได้มาจากการเผาใน ที่โล่งหรือในเตาขนาดเล็ก อุณหภูมิในการเผาขึ้นอยู่กับขนาดของกองถ่าน ถ้าเป็นกองใหญ่มาก อุณหภูมิอาจสูงถึง 1200 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเป็นกองเล็กอุณหภูมิจะสูงเพียง 550 องศาเซลเซียส ถ้าเผาโดยกองติดดิน การเผาไหม้จะไม่สมบูรณ์ เนื่องจากอากาศไม่สามารถเข้าไปช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีได้ เมื่อเผาเสร็จแล้วการเก็บถ้ำกลบก็ทำได้ยากและมักจะมีสิ่งเจือปน เช่น เศษดินและหินติดมาด้วย นอกจากนี้การเผาในที่

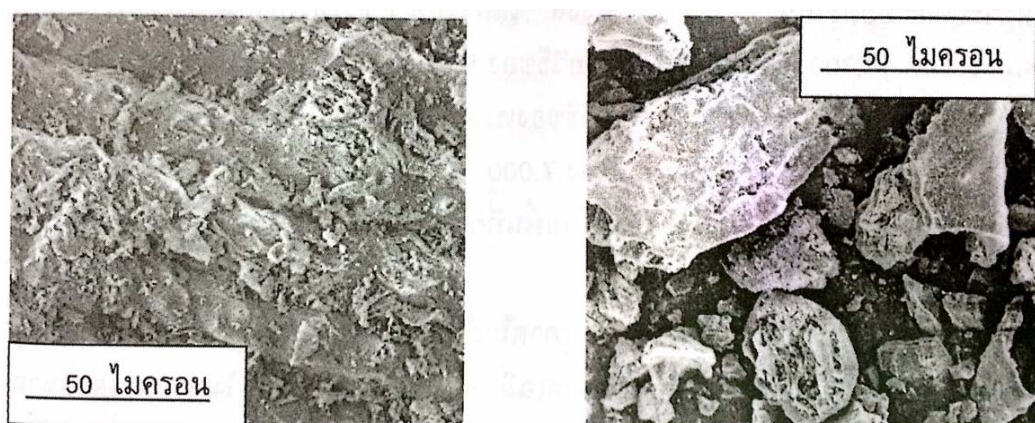
ลมจะทำให้เกิดปัญหาการฟุ้งกระจายได้ การเผาในที่โล่งควรเผาโดยยกพื้นบนตะแกรง และเพื่อให้ อุณหภูมิของการเผาไม่สูงเกินไปควรใช้แกลบเพียงครั้งละ 20 กิโลกรัม หรือหนึ่งกระสอบ ซึ่งจะให้ อุณหภูมิสูงสุดไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ถ้ำแกลบที่ได้จะมีสีเทาขาวและ สามารถใช้ทำเป็นวัสดุปอชโซลานได้ดี



รูปที่ 2.2 อุณหภูมิในการเผาแกลบแบบต่างๆ (ปริญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

2.1.3 การบดและลักษณะของแกลบเผาละเอียด (อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ปริญา จินดาประเสริฐ, 2552)

แกลบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ ที่ไม่สูงเกินไปจะยังคงรักษาความพรุนและโครงสร้างเซลล์ไว้ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของเซลล์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุนของแกลบเผา แกลบที่เผาแล้วมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ในการนำไปใช้เป็นวัสดุปอชโซลานจึงต้องบดแกลบให้ละเอียดให้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของผงปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นความละเอียดที่นำมาใช้งานได้ดี การบดละเอียดแกลบนิยมใช้การบด แห้งเพราะบดได้ง่ายและเร็ว แต่ทั้งนี้การบดเปียกสามารถให้แกลบที่มีอนุภาคที่ละเอียดมาก แต่วิธีการยุ่งยากกว่า



ก. ผิวเถ้าแกลบ

ข. เซลล์ที่เป็นรูพรุนของเถ้าแกลบบดละเอียด

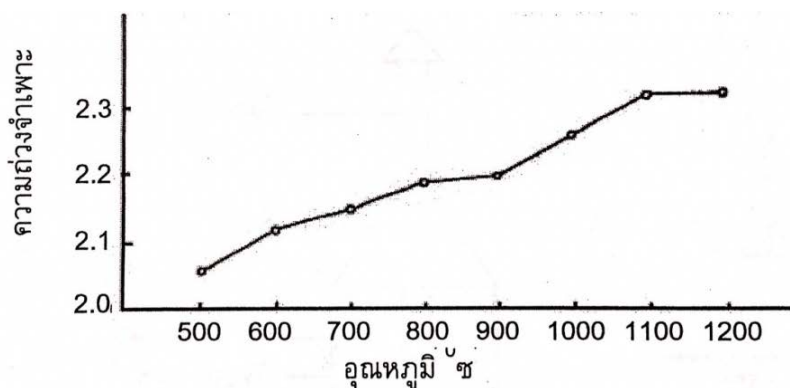
รูปที่ 2.3 ภาพถ่ายขยาย SEM ของเถ้าแกลบ (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

การวัดขนาดของอนุภาคของเถ้าแกลบนิยมใช้ พื้นที่ผิวจำเพาะ ความละเอียดของเถ้าแกลบ นอกจากขึ้นอยู่กับเวลาและวิธีการบดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับวิธีการเผาเถ้าแกลบ เช่น เถ้าที่อุณหภูมิ 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 เมื่อวัดโดยวิธี 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 เถ้าแกลบที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีสิ่งที่ไม่เผาไหม้ไม่หมดและคาร์บอนปนอยู่มาก และจะมีความถ่วงจำเพาะต่ำ ความถ่วงจำเพาะเถ้าแกลบที่เผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์มีค่าระหว่าง 1.9-2.3 และยิ่งขึ้นกับอุณหภูมิในการเผา ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เถ้าแกลบเผาที่อุณหภูมิ 5000 มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.06 และความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มเป็น

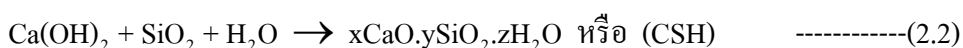
2.20 และ 2.30 ที่อุณหภูมิ การเผา 800 และ 1000 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของความถ่วงจำเพาะเนื่องมาจากปริมาณคาร์บอนลดน้อยลง



รูปที่ 2.4 ความถ่วงจำเพาะแล้วเกลบกับอุณหภูมิในการเผา (ปริญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

2.2 ปฏิกริยาปอซโซลาน (ปริญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547; Neville, 1995 ; ปริญา จินดาประเสริฐ, 2547)

ปฏิกริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นหลังจากการเกิดปฏิกริยาไฮเดรชัน กล่าวคือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ที่เกิดจากปฏิกริยาไฮเดรชันจะทำปฏิกริยารวมตัวกับซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) ที่มีอยู่ในเถ้าเกลบ จนทำให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ดังสมการที่ (2.2)



โดยที่ค่า x, y, z เป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับชนิดของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ซึ่งเป็นสารประกอบคุณสมบัติในการยึดประสาน ส่งผลให้เฟสที่ผสมเถ้าเกลบมีความสามารถในการยึดประสานดีขึ้น และความสามารถในการรับกำลังอัดสูงกว่าซีเมนต์เฟสล้วนเพราะเป็นการรวมของสารประกอบเกิดจากปฏิกริยาไฮเดรชันและปฏิกริยาปอซโซลาน

สำหรับวัสดุปอซโซลานของเถ้าเกลบ สามารถวัดได้โดย การทดสอบค่าดัชนีตามกำลังมาตรฐาน ASTM C311 โดยการใช้ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ของมอร์ต้าร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หรือที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วย เถ้าเกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ค่าดัชนีกำลังคือค่ากำลังที่ทดสอบได้เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังของมอร์ต้าร์ ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน หากค่าดัชนีกำลังมีค่าสูงแสดงถึงความเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดีของเถ้าเกลบ

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 เมื่อถูกความชื้นจะเอี่ยมได้ง่าย สารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมักอยู่ในรูปของแข็งเป็นเม็ด (pellets) ทางอุตสาหกรรมอาจอยู่ในรูปของเหลวละลายน้ำชนิดเข้มข้น เป็นแผ่นหรือเป็นแท่ง ทำปฏิกิริยากับกรดได้เกลือของสาร และทำปฏิกิริยากับกรดไขมันได้สบู่ นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้ง่ายเกิดโซเดียมคาร์บอเนต

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

โซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้ในอุตสาหกรรมผ้า พลาสติก สีย้อม ฟอกย้อม แร่ โลหะ ทำแม่พิมพ์ เป็นสารเคมีสำคัญ สำหรับผลิตสบู่ กระดาษ ใยสังเคราะห์ และใช้ในห้องปฏิบัติการหลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรง ควรจัดให้มีอุปกรณ์ป้องกัน เช่น หน้ากาก แวนนิรภัย ถุงมือ ชุดคลุมทั้งตัว รองเท้าบูต และจัดให้มีฝักบัวล้างตาหรือล้างตัวอยู่ใกล้เคียงบริเวณที่ทำงาน



รูปที่ 2.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์

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

2.4.1 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก

โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมกับทราย หินเล็กๆ และน้ำ แต่ในงานวิจัยครั้งนี้ จะผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากวัสดุประสานจากเถ้าแกลบโดยใช้ต่างเป็นตัวกระตุ้น คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ หินฝุ่น ผสมให้เข้ากันดีแล้วนำไปใส่เครื่องอัดในแบบเหล็กให้แน่น แล้วนำเอาออกจากแบบไปบ่มในน้ำ จึงจะมีความแข็งแรงตัวพอที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้างได้ คอนกรีตบล็อกชนิดนี้มีทั้งแบบรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก ซึ่งมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดรายละเอียดของแต่ละชนิดไว้ดังนี้

มอก. 57-2533 หมายถึง คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก

มอก. 58-2533 หมายถึง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

มอก. 59-2533 หมายถึง อิฐคอนกรีต

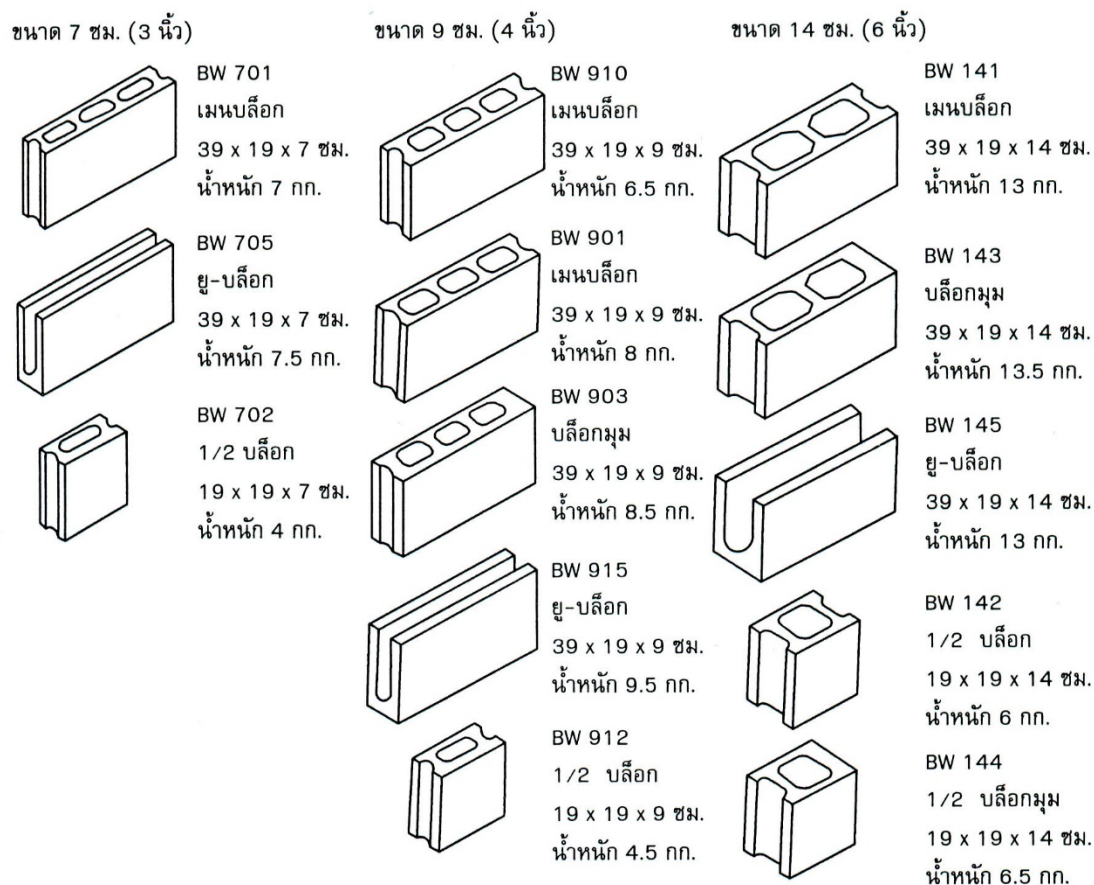
มอก. 60-2533 หมายถึง คอนกรีตบล็อกเชิงตันรับน้ำหนัก

ในงานวิจัยนี้ กล่าวถึงรายละเอียด มอก. 57-2533 ดังต่อไปนี้

2.4.2 ชนิดของคอนกรีตบล็อก

2.4.2.1 คอนกรีตบล็อกที่เรียกตามชื่อสินค้า

คอนกรีตบล็อกมีบริษัทผลิตจำหน่ายในส่วนกลาง มีชื่อสินค้าต่างๆ กัน เช่น ซีแพคบล็อก ดีแทคบล็อก ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.6

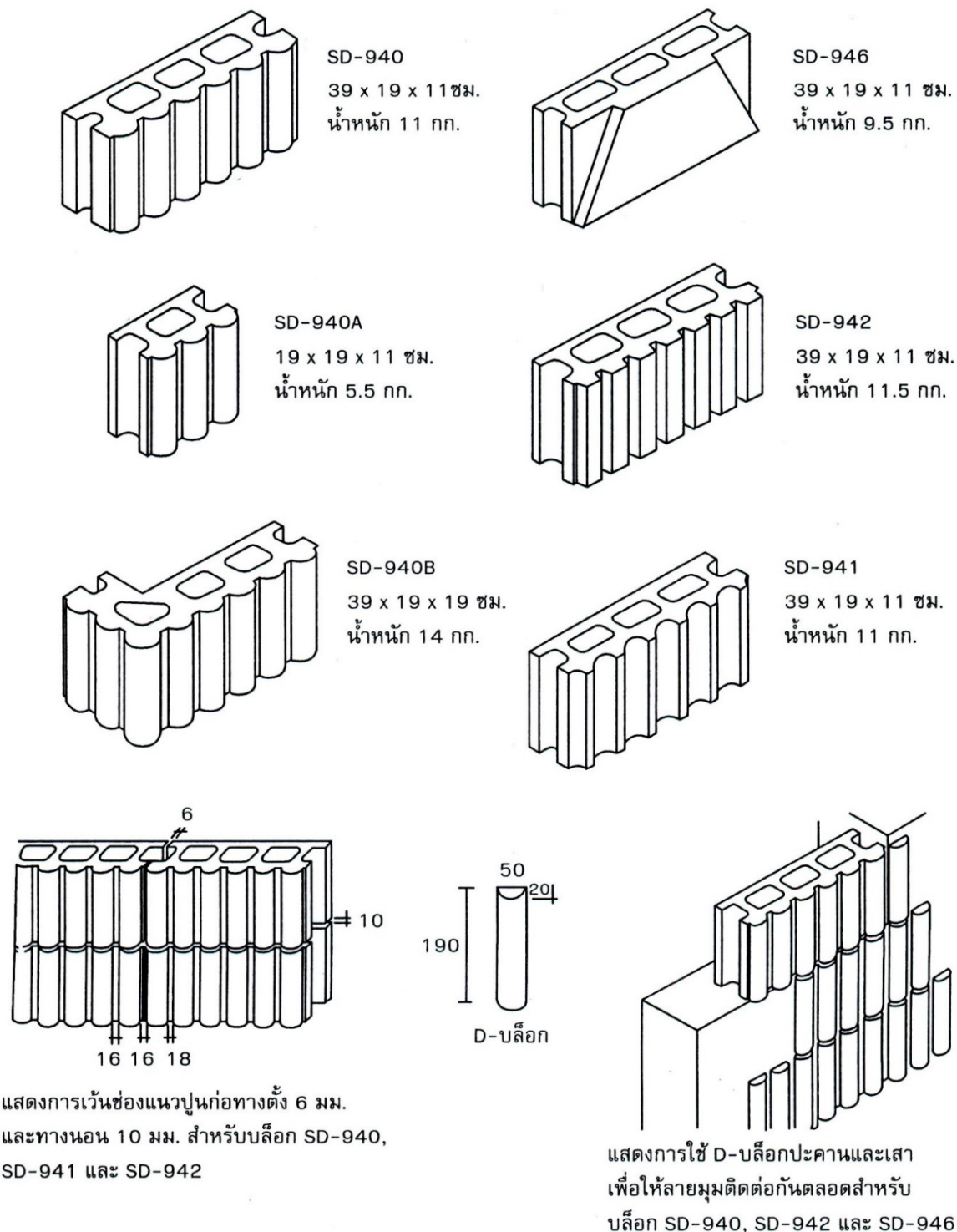


รูปที่ 2.6 คีเทคบล็อกชนิดต่างๆ (มอก. 57-2533)

ชาโดว์บล็อก เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ล่าสุด ซึ่งได้วิวัฒนาการมาจากคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ใช้ในวงการก่อสร้างทั่วไป สำหรับก่อกำแพงและตกแต่งเสร็จเรียบร้อยแล้วในตัว ทำให้ประหยัดค่าตกแต่งลงไปได้อีกมาก เหมาะกับการใช้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ชาโดว์บล็อกมีลักษณะเป็นคอนกรีต บล็อกที่มีผิวหน้าขึ้นเป็นลวดลาย จากลวดลายนี้สามารถที่จะประสานลายขึ้นใหม่ได้อีกอย่างครบถ้วนตามความประสงค์ของผู้ใช้ ลวดลายเหล่านี้เมื่อกระทบกับแสงแดด เงาที่ตกทอดอย่างสลับซับซ้อนจะก่อให้เกิดความสวยงามอย่างวิจิตรพิสดารยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ ชาโดว์บล็อกยังมีคุณสมบัติพิเศษในการรับน้ำหนักได้ถึง 5,000 กิโลกรัมต่อ 1 ก้อน ดังนั้นสามารถก่อเป็นกำแพงรับน้ำหนักได้โดยไม่ต้องมีเสา ทำให้ลวดลายของบล็อกประสานต่อเนื่องกันตลอดทั้งผนัง

ตัวอย่างของชาโดว์บล็อกในรูปที่ 2.7 เป็นเพียงบางส่วนเท่านั้น ผู้ใช้สามารถออกแบบให้เกิดลวดลายขึ้นใหม่ได้ และยังสามารถก่อสร้างกับคอนกรีตบล็อกชนิดผิวเรียบธรรมดาได้ เมื่อต้องการเน้นลวดลายเป็นบางส่วน



รูปที่ 2.7 ดีแทบล็อกชนิดชาโดว์บล็อก (มอก. 57-2533)

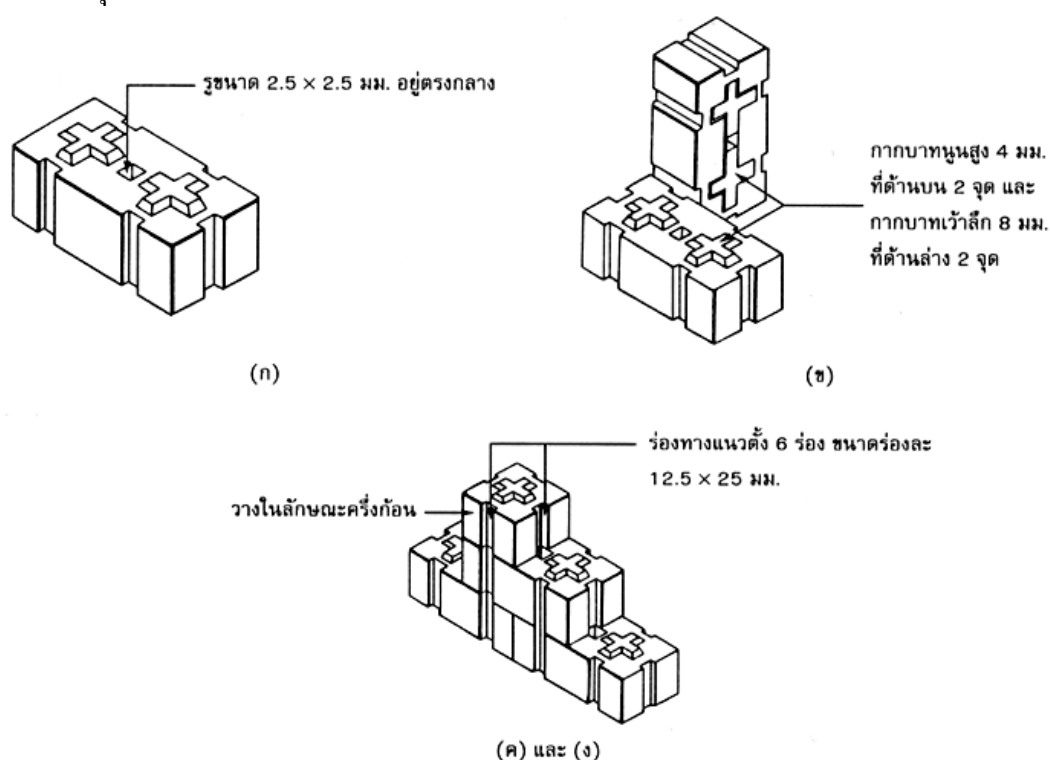
2.4.2.2 อินเตอร์ล็อกกิ้งบล็อก (Inter Locking Block) คือ บล็อกที่ได้รับการออกแบบพัฒนาให้มีลักษณะพิเศษตามหน้าที่การใช้งานอย่างแท้จริง ซึ่งมีการใช้งาน 4 ลักษณะดังนี้

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

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

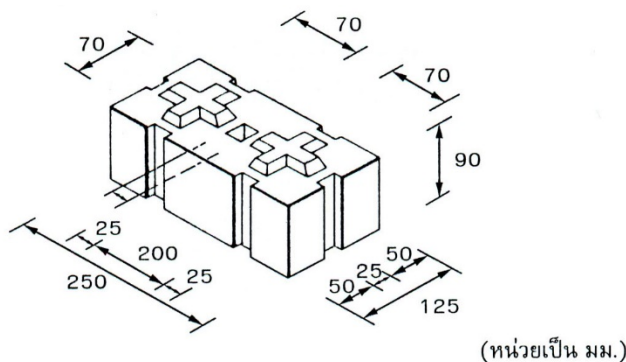
ค. จากรูปที่ 2.8 (ค) มีร่องทางแนวดิ่งได้ 6 ร่อง ขนาดร่องละ 12.5 x 25 มิลลิเมตรสำหรับวาง บล็อกต่อและหยอดน้ำปูนทรายเชื่อมตามแนวนอน ร่องแต่ละร่องสามารถถอดออกได้

ง. จากรูปที่ 2.8 (ง) สามารถทำครึ่งก้อนได้ เพื่อใช้ในการก่อแบบสลับแนวให้ได้แนวตรงทางแนวดิ่งตรงมุมหรือหัวท้ายผนัง



รูปที่ 2.8 แสดงการใช้อินเตอร์ล็อกกิ้งบล็อก (มอก. 57-2533)

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



รูปที่ 2.9 ลักษณะและขนาดของอินเตอร์ล็อกกิ่งบล็อก (มอก. 57-2533)

2.4.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับคอนกรีตบล็อก (มอก. 57-2533)

มาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดรายละเอียดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 57-2533 หมายถึง คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก ได้กำหนดรายละเอียดไว้ดังนี้

2.4.3.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ประเภชั้้นคุณภาพและสัญลักษณ์ ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน วัสดุ คุณลักษณะที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินและการทดสอบคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก

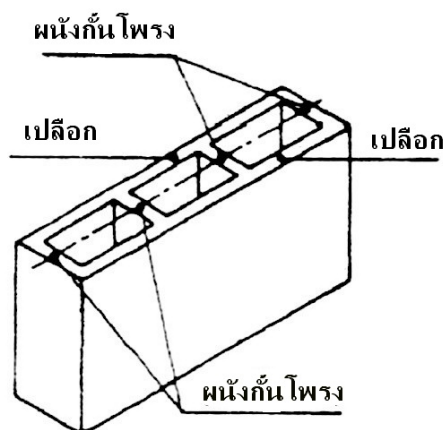
2.4.3.2 บทนิยาม

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

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

เปลือก (face-shell) หมายถึง ผนังของคอนกรีตบล็อก ซึ่งเชื่อมต่อด้วยผนังกั้นโพรง ดังแสดงในรูปที่ 2.10

ผนังกั้นโพรง (web) หมายถึง ผนังซึ่งเชื่อมต่อเปลือกทั้ง 2 ข้างของคอนกรีตบล็อก ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 คอนกรีตบดอัดรับน้ำหนัก (มอก. 57-2533)

2.4.3.3 ประเภทและชั้นคุณภาพ

- 1) คอนกรีตบดอัดรับน้ำหนัก แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ
 - 1.1) ประเภท 1 คอนกรีตบดอัดรับน้ำหนักที่ควบคุมความชื้น ใช้สัญลักษณ์ 1
 - 1.2) ประเภท 2 คอนกรีตบดอัดรับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น 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 : คอนกรีตบดอัดรับน้ำหนักที่ออกแบบพิเศษให้มีโลหะทนต่อการกัดกร่อนเพื่อยึดระหว่างเปลือกของก้อน อาจอนุญาตให้ทำได้ ในเมื่อการทดสอบแสดงว่าโลหะยึดนั้นมีสภาพโครงสร้างเทียบเท่ากับผนังกันโพรงคอนกรีตในทางความยึดตัวแข็งกำลังและการยึดกับผนังกันโพรง

ตารางที่ 2.2 ความหนาของเปลือกและผนังกันโพรง (มอก. 57-2533)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความหนาระบุ ของก้อน	ความหนาของ เปลือกต่ำสุด ¹⁾	ความหนาของผนังกันโพรง ²⁾	
		ผนังกันโพรงต่ำสุด ¹⁾	ความหนาผนังกันโพรงเทียบเท่า ต่ำสุด ต่อความยาว 1 เมตร
90	19	19	135
140	25	25	185
190	31	25	185

หมายเหตุ 1. เฉลี่ยจากการวัด 5 ก้อน โดยวัดจากส่วนที่บางที่สุดเมื่อวัดตามวิธีที่กำหนด ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อ ซึ่งทำด้วยคอนกรีตมาตรฐานเลขที่ มอก. 109

2. ผลรวมจากการวัดความหนาของผนังกันโพรงทั้งหมดในก้อน คูณด้วย 1000หารด้วยความยาวของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักเป็นมิลลิเมตร

2) ขนาดของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก ให้มีขนาดดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2.3 ขนาดของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57-2533)

มิติพิกัด หนา×สูง×ยาว พ	ขนาดที่ทำ หนา×สูง×ยาว มิลลิเมตร×มิลลิเมตร×มิลลิเมตร
$1 \times 2 \times 1\frac{1}{2}$	$90 \times 190 \times 140$
$1\frac{1}{2} \times 2 \times 1\frac{1}{2}$	$140 \times 190 \times 140$
$2 \times 2 \times 1\frac{1}{2}$	$190 \times 190 \times 140$
$1 \times 2 \times 2$	$90 \times 190 \times 190$
$1\frac{1}{2} \times 2 \times 2$	$140 \times 190 \times 190$

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

มิติพิกัด หนา×สูง×ยาว พ	ขนาดที่ทำ หนา×สูง×ยาว มิลลิเมตร×มิลลิเมตร×มิลลิเมตร
$2 \times 2 \times 2$	$190 \times 190 \times 190$
$1 \times 2 \times 3$	$90 \times 190 \times 290$
$1\frac{1}{2} \times 2 \times 3$	$140 \times 190 \times 290$
$2 \times 2 \times 3$	$190 \times 190 \times 290$
$1 \times 2 \times 4$	$90 \times 190 \times 390$
$1\frac{1}{2} \times 2 \times 4$	$140 \times 190 \times 390$
$2 \times 2 \times 4$	$190 \times 190 \times 390$

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

2.4.4 คุณสมบัติที่ต้องการ

ก. ลักษณะทั่วไป

- คอนกรีตหล่อรับน้ำหนักทุกก้อน ต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าว หรือส่วนเสียอื่นใดอันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตหล่อรับน้ำหนักอย่างถูกต้องหรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสียกำลังหรือความคงทนถาวร รอยแตกร้าวเล็กน้อยที่มักเกิดขึ้นในกรรมวิธีผลิตตามปกติหรือรอยปริเล็กน้อยเนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งอย่างธรรมดา จะต้องไม่เป็นสาเหตุอ้างในการไม่ยอมรับ

- คอนกรีตหล่อรับน้ำหนัก ซึ่งต้องการฉาบปูนหรือแต่งปูนต้องมีผิวหน้าหยาบพอควรแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่งได้อย่างดี

- คอนกรีตหล่อรับน้ำหนัก ซึ่งต้องการก่อแบบผิวเผย ด้านผิวเผยจะต้องไม่มีรอยป็น รอยร้าว หรือตำหนิอื่นๆ ถ้าในการสังกรวหนึ่มีก้อนซึ่งมีรอยป็นเล็กน้อยที่ยาวมากกว่า 25 มิลลิเมตรเป็นจำนวนไม่มากกว่าร้อยละ 5 จะต้องไม่ถือเป็นสาเหตุในการไม่ยอมรับ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

ข. ความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบดอัดรับน้ำหนัก ต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.4

-ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าแต่ละก้อนต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.4

-การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก. 109

ตารางที่ 2.4 ความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ (มอก. 57-2533)

ชั้นคุณภาพ ¹⁾	ความต้านทานแรงอัด ต่ำสุด (MPa)				การดูดกลืนน้ำ สูงสุด เฉลี่ยจากคอนกรีต บดอัด 5 ก้อน (Kg/m ³)					
	เฉลี่ยจากพื้นที่รวม		เฉลี่ยจากพื้นที่สุทธิต		น้ำหนักคอนกรีตเมื่ออบแห้ง(Kg/m ³)					
	เฉลี่ยจากคอนกรีตบดอัด 5 ก้อน	คอนกรีตบดอัดแต่ละก้อน	เฉลี่ยจากคอนกรีตบดอัด 5 ก้อน	คอนกรีตบดอัดแต่ละก้อน	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⁾ วัสดุอุปประสงค์ในการใช้คอนกรีตบดอัดชั้นคุณภาพต่างๆ ตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 วัสดุประสงค์ในการใช้คอนกรีตบดอัดชั้นคุณภาพต่างๆ (มอก. 57-2533)

ลักษณะของกำแพง	ป้องกันผิว	ไม่ป้องกันผิว
กำแพงฐานราก และ กำแพงชั้นฐาน	ชั้นคุณภาพ ก และ ชั้นคุณภาพ ข	ชั้นคุณภาพ ก ¹⁾
กำแพงภายนอก (เหนือระดับดิน)	ทุกชั้นคุณภาพ	ชั้นคุณภาพ ก ¹⁾
กำแพงภายใน	ทุกชั้นคุณภาพ	ทุกชั้นคุณภาพ

หมายเหตุ ¹⁾ ควรทาผิวด้านนอกของกำแพงด้วยน้ำยากันซึม

ค. ปริมาณความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบดอัดรับน้ำหนักประเภทควบคุมความชื้น) เมื่อส่งถึงที่ก่อสร้าง ต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.6

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

ร้อยละของการหดตัวทางยาว ¹⁾	ความชื้น สูงสุด ร้อยละของการดูดกลืนน้ำทั้งหมด (เฉลี่ยจากคอนกรีตบดอัด 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 วิธีทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบดอัด (ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม ASTM C 426)

²⁾ อาศัยสถิติตามประกาศของกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับสถานที่ใกล้แหล่งผลิตมากที่สุด

2.4.5 เครื่องหมายและฉลาก

ก. ที่คอนกรีตบดอัดรับน้ำหนักทุกก้อน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษรหรือเครื่องหมาย แจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- สัญลักษณ์แสดงประเภทและชั้นคุณภาพ ตัวอย่างเช่น คอนกรีตบดอัดรับน้ำหนักประเภท 1 ชั้นคุณภาพ ก ใช้สัญลักษณ์เป็น 1-ก

- ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

ข. ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

2.4.6. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

ก. รุ่น ในที่นี้ หมายถึง คอนกรีตบดอัดรับน้ำหนักประเภท ชั้นคุณภาพและขนาดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

ข. การชักตัวอย่างเพื่อการทดสอบ ให้กระทำ ณ สถานที่ผลิต และต้องใช้เวลาสำหรับการทดสอบจนครบทุกรายการอย่างน้อย 10 วัน

ค. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

- การชักตัวอย่าง ให้เป็นไปตาม มอก. 109 โดยชักตัวอย่างที่บกพร่องเนื่องจากการขนส่ง ออกเสียก่อน แล้วจึงชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันมาทำเป็นตัวอย่างทดสอบ

- เกณฑ์ตัดสิน ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 2.4.3.3 และข้อ 2.4.4 ทุกข้อ จึงจะถือว่า คอนกรีต บล็อกไม่รับน้ำหนักรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ 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 จึงจะถือว่า คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ยกเว้นรายการความต้านแรงอัด ตัวอย่างต้องมีความต้านแรงอัดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 ของเกณฑ์ที่กำหนด จึงจะยอมให้ทดสอบซ้ำในรายการความต้านแรงอัดได้

2.4.7 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก

2.4.7.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร เมื่อมวลหาได้โดยการชั่ง ซึ่งมีหน่วยเป็น กิโลกรัม ส่วนปริมาตรของคอนกรีตบล็อกนั้นหาได้โดยวิธีการแทนที่น้ำ เช่น อาจทำได้โดยการจมวัตถุนั้นลงในภาชนะที่มีน้ำ อยู่ ตราบใดที่วัตถุไม่ละลายหรือดูดซับน้ำ ปริมาตรของน้ำส่วนที่เพิ่มขึ้น หรือปริมาตรของน้ำที่ล้นออกมาในกรณีเดิมที่มีน้ำอยู่เต็มภาชนะพอดี จะเท่ากับปริมาตรของวัตถุนั้น วิธีการนี้เป็นการหาปริมาตรของวัตถุโดยการแทนที่น้ำ แล้วปริมาตรมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร เป็นต้น จากความสัมพันธ์ดังกล่าว จะได้ว่า

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

โดยที่ ρ = ความหนาแน่น (กก./ม³)

m = มวล หาได้โดยการชั่ง (กก.)

V = ปริมาตร (ม³)

สำหรับค่าความหนาแน่นของน้ำ ρ_w มีค่าเท่ากับ 1,000 กก./ม³

ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกเป็นการศึกษาคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์หรือทางด้านกายภาพน้ำหนักขึ้นอยู่กับวัสดุ

2.4.7.2 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก

การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกสามารถบอกถึงความคงทนของคอนกรีตบล็อก การทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกก่อสร้าง ปกติให้แช่คอนกรีตบล็อกในน้ำ 24 ชั่วโมง

การดูดซึมน้ำของอิฐ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในอิฐหลังจากนำไปแช่น้ำต่อน้ำหนักอิฐอบแห้ง นิยมบอกเป็นร้อยละ จึงคูณด้วย 100 ดังสมการที่ 2.4

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

โดยที่ W' = น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกหลังจากแช่น้ำ (กรัม)

W_s = น้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่อบแห้ง (กรัม)

การดูดซึมน้ำมากน้อยเท่าใดเป็นเครื่องแสดงคุณภาพของคอนกรีตบล็อก เช่น คอนกรีตบล็อกถ้าคอนกรีตบล็อกดูดซึมน้ำมากแสดงว่ามีความพรุนของเนื้อคอนกรีตบล็อกมาก สำหรับงานก่อกำแพงคอนกรีตบล็อกควรนำคอนกรีตบล็อกนั้น ๆ มาชุบน้ำให้ชุ่มและอึดตัว และทิ้งไว้ให้ผิวแห้ง ถ้าคอนกรีตบล็อกชุ่มน้ำมากเกินไป จะทำให้ปูนก่อไหลหลุดลงมาได้ การก่อผนังยาก ช่างก่อมักไม่ค่อยทำเพราะยากกว่าก่อคอนกรีตบล็อกแห้ง

2.4.7.3 กำลังอัด

คอนกรีตบล็อกต้องมีความแข็งแรงทนทาน สามารถต้านทานแรงอัดได้ดีพอสมควร หากไม่แน่ใจว่ามีความแข็งแรงทนทาน จำเป็นต้องนำไปทดสอบเพื่อตรวจสอบความแข็งแรงตามสถาบันของทางราชการที่เชื่อถือได้

การทดสอบรับแรงอัด กระทำได้โดยวางคอนกรีตบล็อกบนเครื่องทดสอบแล้วออกแรงกดจนกระทั่ง คอนกรีตบล็อกแตก แล้วอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดที่คอนกรีตบล็อกรับได้เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

หน่วยแรงอัดสูงสุด หมายถึงอัตราส่วนระหว่างแรงอัดสูงสุดต่อพื้นที่รับแรง มีหน่วยเป็น กก./ซม² ดังสมการที่ 2.5

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

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้ค่าที่มีความเข้มข้นต่างกันในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตหล่อจากถ้ำเกลบที่ได้โดยตรงจากโรงงาน โดยไม่ต้องผ่านการบดให้มีความละเอียด โดยใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในปริมาณที่สูงถึงร้อยละ 90 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์โดยไม่ต้องผ่านการบดให้ละเอียด เนื่องจากถ้ำเกลบมีสมบัติเด่นในเรื่องของมีปริมาณซิลิกาค่อนข้างสูง (เกือบร้อยละ 90) ซึ่งเป็นลักษณะของวัสดุปอซโซลานที่ดี การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การบดถ้ำเกลบเปลือกไม้ให้มีความละเอียดสูงสามารถใช้ผสมคอนกรีตให้เป็นคอนกรีตกำลังสูงได้ โดย *Sata และคณะ (2007)* ได้ศึกษาการทำคอนกรีตกำลังสูงจากถ้ำเกลบเปลือกไม้ ถ้ำถ่านหิน และถ้ำปาล์มน้ำมันที่บดละเอียด พบว่าการใช้ถ้ำเกลบเปลือกไม้ถ้ำถ่านหิน และถ้ำปาล์มน้ำมันที่บดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในช่วงร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สามารถให้กำลังอัดกับคอนกรีตที่อายุ 28 วัน สูงถึง 800 กก/ซม.² ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพของถ้ำชีวมวลโดยการบดให้ละเอียดมีผลชัดเจนต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกและให้กำลังอัดคอนกรีตที่สูงได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นว่าถ้ำชีวมวลที่นำมาใช้โดยตรงโดยไม่ผ่านการบด ไม่มีศักยภาพในการใช้ผสมคอนกรีตให้กำลังสูงได้

อย่างไรก็ตามการปรับปรุงสมบัติของวัสดุปอซโซลานโดยการบดให้ละเอียดก่อนนำมาใช้งานดังที่กล่าวมาข้างต้น เป็นการปรับปรุงทางกายภาพเพื่อให้วัสดุปอซโซลานมีความละเอียดมากขึ้น ก็จะมีพื้นที่ผิวในการเข้าทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาปอซโซลานมีความสมบูรณ์และให้กำลังอัดดี ส่วนการปรับปรุงทางเคมี โดยการใช้สารเร่งที่เป็นด่างในการชะเอาซิลิกาและอลูมินาจากวัสดุปอซโซลาน เพื่อเข้าทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในคอนกรีตพบว่า มีงานวิจัยน้อยมาก ส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาการใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ชะเอาซิลิกาและอลูมินาจากวัสดุปอซโซลานเพื่อเข้าทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ในวัสดุจีโอพอลิเมอร์ โดย *อุบลลักษณ์ และ คณะ (2549)* ได้ศึกษาการชะถ้ำถ่านหินลิคนินด์และกำลังอัดของวัสดุจีโอพอลิเมอร์จากถ้ำถ่านหิน พบว่า การชะละลายของถ้ำถ่านหินขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และระยะเวลาการชะ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นปานกลางคือ 10 โมลาร์ และเวลาในการชะ 10 นาที ให้กำลังอัดที่สูงสามารถทำวัสดุจีโอพอลิเมอร์ที่ให้กำลังอัดสูงถึง 65 เมกะปาสกาล ซึ่งเทียบได้กับมอร์ตาร์หรือคอนกรีตกำลังสูงที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และการใช้ค่าที่มีความเข้มข้นสูงมากเกินไป มีผลให้ความสามารถในการชะลดลง ทั้งนี้เนื่องจากค่าที่มีความเข้มข้นสูงจะมีความหนืดและขัดขวางการชะถ้ำถ่านหิน

ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้ต่างในการกระตุ้นคอนกรีตที่ผสมวัสดุปอชโซลานมีค่อนข้างน้อย โดย B.M. Bahadure and N.S.Naik (2013) ที่มีการใช้ต่าง NaOH ที่มีความเข้มข้น 1, 2, 3, และ 4 โมลาร์ กระตุ้นกำลังระยะต้นในคอนกรีตที่แทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10, 20, 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ผลการวิจัยพบว่า การใช้ต่างกระตุ้นจะเห็นผลชัดเจนในคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบในปริมาณที่มากขึ้น (แทนที่ 30%) โดยการใช้ต่างที่มีความเข้มข้นมากขึ้นส่งผลให้กำลังอัดระยะต้นสูงขึ้น ส่วนการใช้เถ้าแกลบแทนที่ในปริมาณที่น้อยลงกลับพบว่า การใช้ต่างที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้กำลังอัดคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง

ในการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ผ่านมา ส่วนใหญ่ได้ใช้วัสดุปอชโซลานที่มีในประเทศ เถ้าก้นเตา เถ้าแกลบเปลือกไม้ เถ้าแกลบ ดินเหนียว มาใช้เป็นส่วนผสม ซึ่งมีการบดวัสดุปอชโซลานให้มีความละเอียดในระดับหนึ่งถึงจะนำมาใช้งานได้ โดยสุรพันธ์ สุคันธปรีย์ และคณะ (2546) ได้ทำการวิจัยการศึกษาคอนกรีตบล็อกที่มีเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเผาแกลบและเปลือกไม้จากโรงไฟฟ้า มาใช้ในการศึกษา โดยนำเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ที่มาจากโรงงานโดยตรง และได้รับการบดให้วัสดุข้างบนตะแกรงเบอร์ 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 กำลังอัดยี่งต่ำและความละเอียดของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้สูงขึ้นยิ่งทำให้กำลังอัดของอิฐคอนกรีตสูงขึ้นตามไปด้วย ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาเถ้าแกลบ-เปลือกไม้โดยการบดอนุภาคให้มีความละเอียดขึ้นสามารถทำให้มีคุณสมบัติการเป็นวัสดุปอชโซลานที่ดี และนำมาใช้ผลิตอิฐคอนกรีตได้ดี

ชรินทร์ เสนาวงษ์ และ คณะ (2552) ได้ศึกษาการทำคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากเถ้าก้นเตา โดยใช้เถ้าก้นเตาที่ได้จากการเผาเถ้าถ่านหินแบบฟลูอิดไดซ์เบด มาใช้เป็นมวลรวมหยาบในส่วนผสมคอนกรีตบล็อก และทำการอัดคอนกรีตบล็อกโดยใช้เครื่องอัดชนิดซินวา-แรม (Cinva-ram) หลังจากนั้นบ่มคอนกรีตบล็อกในอากาศและทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน ตลอดจนทดสอบความหนาแน่น และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำในคอนกรีตบล็อกที่อายุทดสอบ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่า ร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณของเถ้าก้นเตาที่มากขึ้น และเมื่อใช้เถ้าก้นเตาในส่วนผสมคอนกรีตบล็อกมากขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกทุกส่วนผสม ที่ได้จากการศึกษามีค่าสูงกว่ามาตรฐานของคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก (มอก. 57-2533) ที่กำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 110 กก/ซม² และมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำน้อยกว่าค่า

มาตรฐาน โดยกำหนดไว้ไม่ให้เกินร้อยละ 30 ซึ่งถือว่าคอนกรีตบล็อกมีกำลังอัดที่ดีเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน โดยจัดเป็นคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ก ได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่เป็นการใช้ต่างในการชะเอาซิลิกาและอลูมินาจากวัสดุปอชโซลานเพื่อใช้ในวัสดุอิโพลีเมอร์ ส่วนการใช้ในการกระตุ้นคอนกรีตที่ผสมวัสดุปอชโซลานเพื่อให้อาจสามารถพัฒนากำลังอัดได้ดี พบว่า มีค่อนข้างน้อย และไม่พบข้อมูลการศึกษาที่ใช้กับวัสดุปอชโซลานที่เป็นเจ้าชีวมวลในประเทศ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงต้องการศึกษาการใช้ต่างในการกระตุ้นปฏิกิริยาปอชโซลานในคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก ที่ผสมเจ้าแกลบ โดยใช้เจ้าแกลบที่ได้โดยตรงจากโรงงาน เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาวัสดุประสานจากเจ้าชีวมวล ให้สามารถใช้งานได้อย่างเป็นรูปธรรมและมีประสิทธิภาพต่อไป

บทที่ 3

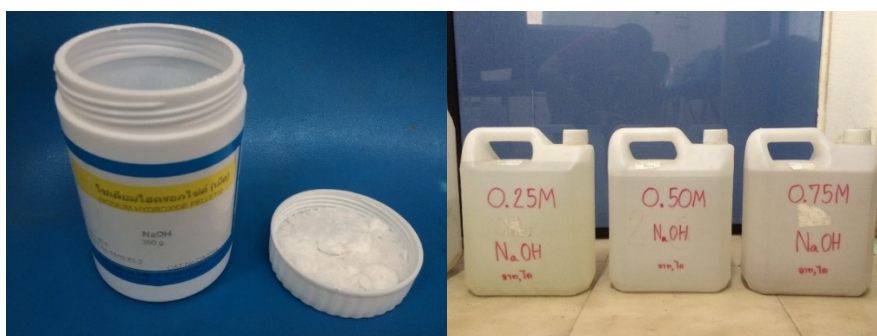
วิธีการศึกษา

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 เครื่องอัดคอนกรีตบล็อก ชนิดซินวา-แรม (Cinva-ram)

เป็นเครื่องอัดดินซีเมนต์บล็อกแบบไม่ต้องใช้ไฟฟ้า (ดังรูปที่ 3.3) เคลื่อนย้ายสะดวก แรงงานสามารถอัดบล็อกได้ด้วยตนเอง คุณสมบัติพิเศษ ใช้แรงคนโยกอัดบล็อกด้วยคาน ทดแรง อัดได้ครั้งละ 1 ก้อน ทำบล็อกประสานแบบเต็มก้อนและครึ่งก้อน ได้ในเครื่องเดียว อัตราการผลิตประมาณ 300 - 400 ก้อน ต่อวัน ตัวเครื่องผลิตจากเหล็กหนา แรงงานทนทานต่อการใช้งานหนัก ผลิตก่อนขนาด 10 x 12.50 x 25 ซม.³. โดยใช้ 32 ก้อน ต่อ 1 ตม.



รูปที่ 3.3 เครื่องอัดคอนกรีตบล็อกชนิดซินวา-แรม

3.2.2 เครื่องทดสอบกำลังอัด (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบกำลังอัด

3.2.3 เครื่องตัดคอนกรีตบล็อก (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 เครื่องตัดคอนกรีตบล็อก

3.2.4 ตู้อบคอนกรีตบล็อก (รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 ตู้อบคอนกรีตบล็อก

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 เพื่อบรรจุลงแกลลอน ปริมาตร 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 บรรจุลงแกลลอนที่ปริมาตร 4 ลิตร ต้องผสม (NaOH) ที่ 40 กรัม หลังจากผสมเสร็จ ทิ้งไว้ให้สารเย็นตัว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หากภาชนะปิดกันฝุ่น แล้วนำบรรจุใส่แกลลอน ดังแสดงใน รูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การเตรียมความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3.2 การเตรียม ถ้ำแกลบ

ถ้ำแกลบที่นำมาจากโรงโรงงานโดยตรงมาผ่านตะแกรงเบอร์ 20 เพื่อเป็นการแยกเศษวัสดุแปลกปลอมออกจากถ้ำแกลบ (รูปที่ 3.9)



รูปที่ 3.9 ถ้ำแกลบที่มาจากโรงงานโดยตรงและผ่านตะแกรงเบอร์ 20

3.4 ส่วนผสมคอนกรีตบล็อก

ศึกษาการผลิตคอนกรีตบล็อกจากวัสดุประสานจากถ้ำแกลบโดยใช้ด่างเป็นตัวกระตุ้น โดยทำการทดสอบกำลังอัด ความหนาแน่น และ ร้อยละการดูดซึมน้ำ โดยเตรียมถ้ำแกลบที่ได้จากการเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าในระบบปิด และใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมหยาบและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นด่างเร่งปฏิกิริยา ส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนผสมคอนกรีตบล็อกโดยน้ำหนัก

ลำดับที่	ส่วนผสม	เถ้ากลบ : ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	เถ้ากลบ (กรัม)	หินฝุ่น (กรัม)	ส่วนผสมของ NaOH (กรัม)	ความเข้มข้นของ NaOH (โมลาร์)	อัตราส่วนน้ำต่อ ซีเมนต์ 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 และใช้อัตราส่วนเถ้ากลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 50:50
0.25M-50:50	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้ากลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 50:50
0.50M-50:50	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้ากลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 50:50
0.75M-50:50	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.75 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้ากลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 50:50
0M-60 : 40	หมายถึง ไม่มีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นใดๆ ใช้น้ำเป็นส่วนผสม และใช้อัตราส่วนเถ้ากลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 60:40
0.25M-60 : 40	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้ากลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 60:40
0.50M-60 : 40	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้ากลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 60:40
0.75M-60 : 40	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.75 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้ากลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 60:40
0M-70 : 30	หมายถึง ไม่มีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นใดๆ ใช้น้ำเป็นส่วนผสม และใช้อัตราส่วนเถ้ากลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 70:30
0.25M-70 : 30	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.25 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้ากลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 70:30
0.50M-70 : 30	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้ากลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 70:30
0.75M-70 : 30	หมายถึง การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.75 โมลาร์ และใช้อัตราส่วนเถ้ากลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 70:30

3.5 วิธีผลิตคอนกรีตบล็อก

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



รูปที่ 3.10 การเตรียมวัสดุผสมคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 3.11 การผสมเถ้าแกลบและสารละลาย NaOH



รูปที่ 3.12 การผสมคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 3.13 การชั่งวัสดุคอนกรีตบล็อกเพื่อเข้าเครื่องอัด



รูปที่ 3.14 การใส่วัสดุคอนกรีตบดละเอียดเข้าเครื่องอัด



รูปที่ 3.15 การอัดคอนกรีตบดละเอียด



รูปที่ 3.16 ก่อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการอัด



รูปที่ 3.17 การบ่มคอนกรีตบล็อก

3.6 การทดสอบตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

3.6.1 การทดสอบหาค่าลึงอัด

การทดสอบหาค่าลึงอัดที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน อัดคอนกรีตบล็อกส่วนผสมละ 4 ก้อน โดยหลังจากนั้นใช้การบ่มในอากาศจนถึงเวลาที่ทดสอบ เมื่อครบกำหนดทดสอบแต่ละก้อนของคอนกรีตบล็อกให้ตัดเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด $50 \times 50 \times 50$ มม.³. (รูปที่ 3.18) ซึ่งจะได้ 3 ก้อนเล็ก โดยมีตัวอย่างก้อนเล็กส่วนผสมละ $3 \times 8 = 24$ ก้อน นำไปทดสอบค่าลึงอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก (รูปที่ 3.19)



รูปที่ 3.18 การตัดคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 3.19 การทดสอบค่าลึงอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

3.6.2 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อก

ในการสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกได้ตัดตัวอย่างคอนกรีตบล็อก ให้มีขนาด $50 \times 50 \times 50$ มม.³. ทำการวัดขนาดตัวอย่างอีกครั้ง (รูปที่ 3.20) ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง (รูปที่ 3.21) และคำนวณหาความหนาแน่น จากน้ำหนักหารด้วยปริมาตร ทดสอบตัวอย่างที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน



รูปที่ 3.20 การวัดขนาดตัวอย่างคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 3.21 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

3.6.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำในคอนกรีตบล็อก

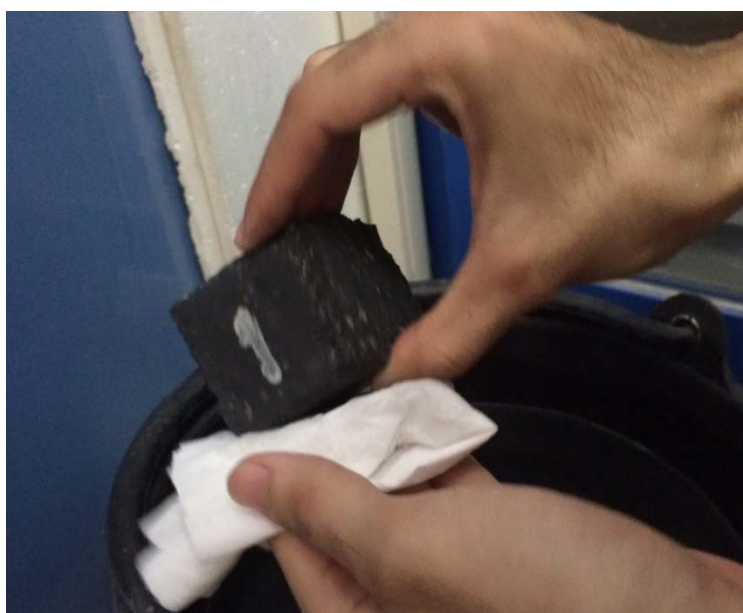
ในการทดสอบการดูดซึมน้ำในคอนกรีตบล็อก ได้ตัดตัวอย่างคอนกรีตบล็อก ให้มีขนาด $50 \times 50 \times 50$ มม.³ ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง หลังจากนั้น นำตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ $105 - 110$ °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (รูปที่ 3.22) แخذตัวอย่างคอนกรีตบล็อกให้จมอยู่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (รูปที่ 3.23) เอาตัวอย่างคอนกรีตบล็อกขึ้นแล้วใช้ผ้าเช็ดให้แห้งโดยรอบอย่างรวดเร็ว (รูปที่ 3.24) และชั่งน้ำหนัก ภายใน 5 นาที (รูปที่ 3.25) คำนวณหาร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก จากน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบล็อกหลังจากแช่น้ำ ลบด้วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่อบแห้ง หารด้วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่อบแห้ง ทั้งหมดคูณด้วย 100 จะได้ค่าการดูดซึมน้ำเป็นร้อยละ ทดสอบตัวอย่างละ 3 ก้อนที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 3.22 การอบคอนกรีตบล็อกที่อุณหภูมิ $105 - 110$ °ซ



รูปที่ 3.23 การนำคอนกรีตบล็อกไปแช่น้ำ



รูปที่ 3.24 การเช็ดผิวคอนกรีตบล็อกให้แห้ง



รูปที่ 3.25 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบดหลังจากแช่น้ำ

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา และคุณสมบัติคอนกรีตบดจากเถ้าแกลบโดยใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ กำลังอัด และความหนาแน่นที่อายุ 7, 14, และ 28 วัน และร้อยละการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตบดล้อยที่บ่มในอากาศ ตามมาตรฐาน ASTM C138

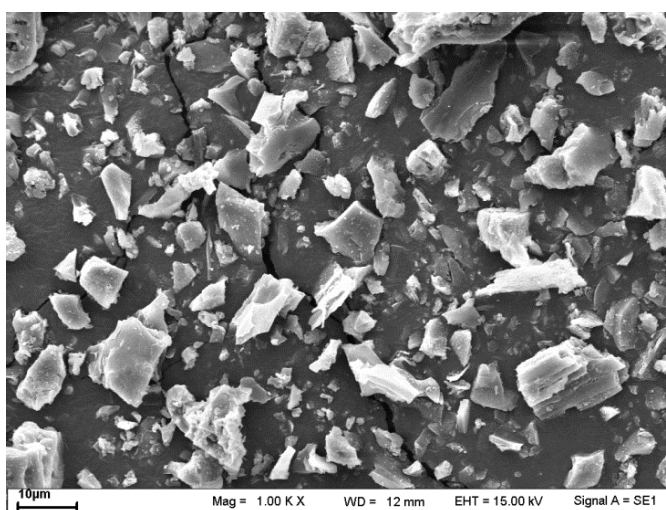
4.1 สมบัติของวัสดุในการทดสอบ

4.1.1 คุณสมบัติของเถ้าแกลบ

(ก) คุณสมบัติทางกายภาพ

- รูปร่างและลักษณะของเถ้าแกลบ

เถ้าแกลบมีสีดำ เมื่อพิจารณารูปร่างของเถ้าแกลบจากรูปภาพขยายกำลังสูงด้วยเครื่อง SEM แสดงดังรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ชัดว่าลักษณะของเถ้าแกลบมีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมมุมและมีผิวขรุขระไม่เรียบ



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของเถ้าแกลบ

-ขนาดของอนุภาค

เถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรง มีอนุภาคที่หยาบและมีความชื้นมาก การที่เถ้าแกลบมีรูปทรงสูงมากและรูปร่างที่ไม่แน่นอน ทำให้มอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบ ต้องการน้ำในส่วนผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงที่ทำให้กำลังอัดของมอร์ตาร์มีค่าลดลง การศึกษาครั้งนี้จึงได้ปรับปรุงสมบัติของเถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรง มีอนุภาคหยาบ โดยให้ค้ำตะแกรงเบอร์ 325 สูงถึงร้อยละ 42 ซึ่งไม่สามารถกำหนดใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน ตามมาตรฐาน ASTM C618 เถ้าแกลบที่ใช้ยังถือว่า มีอนุภาคที่หยาบ และไม่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีต จึงได้มีการผสมด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยา ซึ่งถือเป็นการปรับปรุงสมบัติทางเคมีของเถ้าแกลบ

พิจารณารูปร่างของอนุภาคของเถ้าแกลบด้วย SEM ตามรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าขนาดของเถ้าแกลบ กระจายกันหลายขนาด แต่โดยเฉลี่ยแล้ว ขนาดอนุภาคของเถ้าแกลบค้ำตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 42 เถ้าแกลบที่มีความละเอียดสูง จะมีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยามาก ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน ที่ทำให้กำลังอัดของมอร์ตาร์หรือคอนกรีตสูงขึ้นได้ ส่วนความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบเท่ากับ 2.09

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพของเถ้าแกลบ

สมบัติทางกายภาพของเถ้าแกลบ	
ความถ่วงจำเพาะ	2.09
ร้อยละค้ำบนตะแกรงเบอร์ 325 (%)	42

(ข) คุณสมบัติทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบจะ ประกอบด้วย ซิลิกา (silica, SiO_2) เป็นสารประกอบหลัก สูงอยู่ร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์ของโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition) ซึ่งตามปกติมี LOI อยู่ประมาณร้อยละ 2-5 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเถ้าแกลบมีผลต่อค่า LOI เพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เถ้าแกลบมี LOI สูงขึ้น LOI ที่อยู่ในเถ้าแกลบส่วนใหญ่จะเป็นธาตุถ่าน คูน้สูง 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 ₂ O ₃	5.20	0.5
Iron Oxide, Fe ₂ O 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 ซึ่งส่งผลให้เกิดการดูดน้ำมากขึ้นและมีผลเสียดทานกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก ที่ทำให้การรับแรงอัดต่ำลงได้ สมบัติทางกายภาพของหินฝุ่น แสดงดังตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมตามมาตรฐาน ASTM C127-88

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของมวลรวม

วัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	การดูดซึมน้ำ (%)
หินฝุ่น	2.67	9.58

4.2 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกได้ใช้ตัวอย่างทดสอบขนาด $50 \times 50 \times 50$ มม.³ โดยผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่บ่มในอากาศ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบ

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 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าแกลบดำจากโรงงานโดยตรง ที่อายุบ่มในอากาศ 7, 14 และ 28 วัน แสดงดังตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกในรูปของร้อยละกำลังอัดที่ 28 วันเทียบกับ 7 วัน พบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น มีผลให้ร้อยละกำลังอัดที่ 28 วันเทียบกับ 7 วัน มีแนวโน้มลดลง เช่น คอนกรีตบล็อกที่แทนที่เถ้าแกลบ 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 คอนกรีตบล็อกในกลุ่มที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่ง

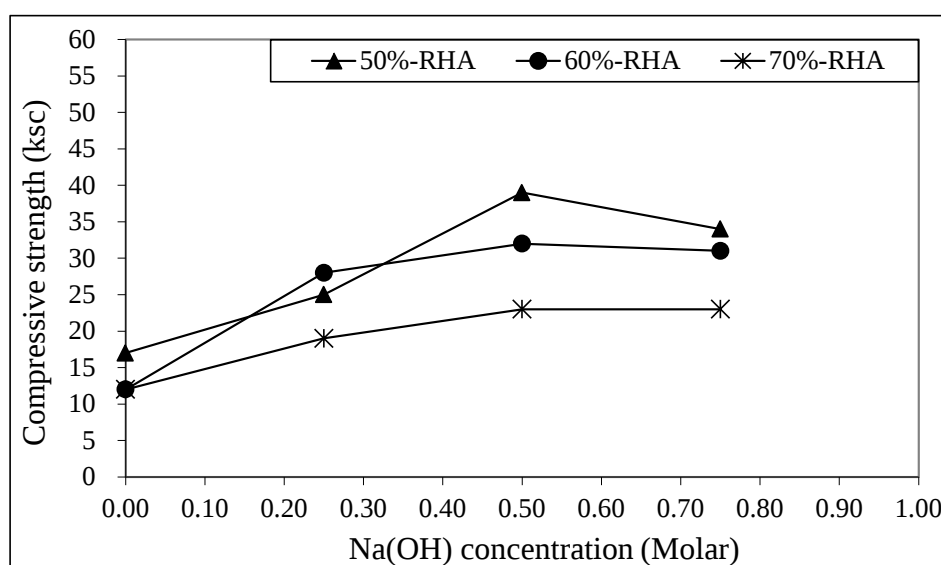
ปฏิกิริยา มีผลทำให้กำลังอัดระยะต้นสูงอยู่แล้ว จึงส่งผลให้ร้อยละของกำลังอัดที่อายุ 28 วันเทียบกับอายุ 7 วัน มีแนวโน้มต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานและมีผลทำให้กำลังอัดในระยะต้นสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา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

4.2.2 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

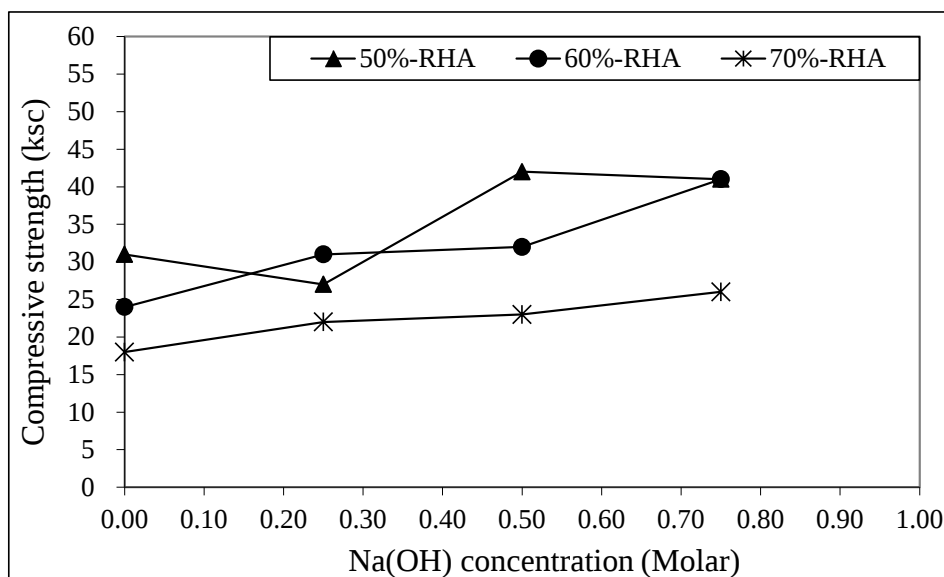
เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 7, 14, และ 28 วัน ดังรูปที่ 4.2(ก), 4.2(ข) และ 4.2(ค) ตามลำดับ โดยภาพรวม พบว่า ที่ช่วงอายุไม่เกิน 7 วัน คอนกรีตบล็อกทุกกลุ่มการแทนที่เถ้าแกลบ ให้กำลังอัดสูงขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไม่เกิน 0.50 โมลาร์ โดยมีกำลังอัดสูงสุดของทุกกลุ่มการแทนที่เถ้าแกลบ ที่ความเข้มข้น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.50 โมลาร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ เป็นค่าเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานให้ผลดีต่อการเพิ่มของกำลังอัดช่วงต้น เมื่อพิจารณาที่อายุมากขึ้นที่ 28 วัน ดังรูปที่ 4.2(ค) พบว่า การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ไม่เกินร้อยละ 60 และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 0.25 โมลาร์ ให้ผลดีต่อการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกอย่างชัดเจน โดยมีค่าสูงกว่าคอนกรีตบล็อกที่ไม่ได้ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ปริมาณเถ้าแกลบร้อยละ 70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน และใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงกว่า 0.25 โมลาร์ กลับส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกกลุ่มนี้ที่อายุ 28 วัน มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ไม่เหมาะสมให้เร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตบล็อก ที่ใช้ปริมาณเถ้าแกลบมาก ทั้งนี้อาจเป็นผลจากคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบปริมาณสูงถึงร้อยละ 70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีผลให้ปริมาณของปูนซีเมนต์ลดลง จึงทำให้กำลังอัดคอนกรีตบล็อกที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำมีค่าต่ำด้วย ประกอบกับเถ้าแกลบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีอนุภาคที่หยาบ ความพรุนสูง ซึ่งทำให้ความเป็นวัสดุปอซโซลานทางกายภาพไม่ดี ถึงแม้เถ้าแกลบจะมีปริมาณซิลิกาสูงและใช้ค่าเร่งปฏิกิริยาที่ตาม แต่ยังไม่สามารถให้กำลังอัดสูงขึ้นได้ ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวนี้นี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งในอายุ 14 และ 28 วัน

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

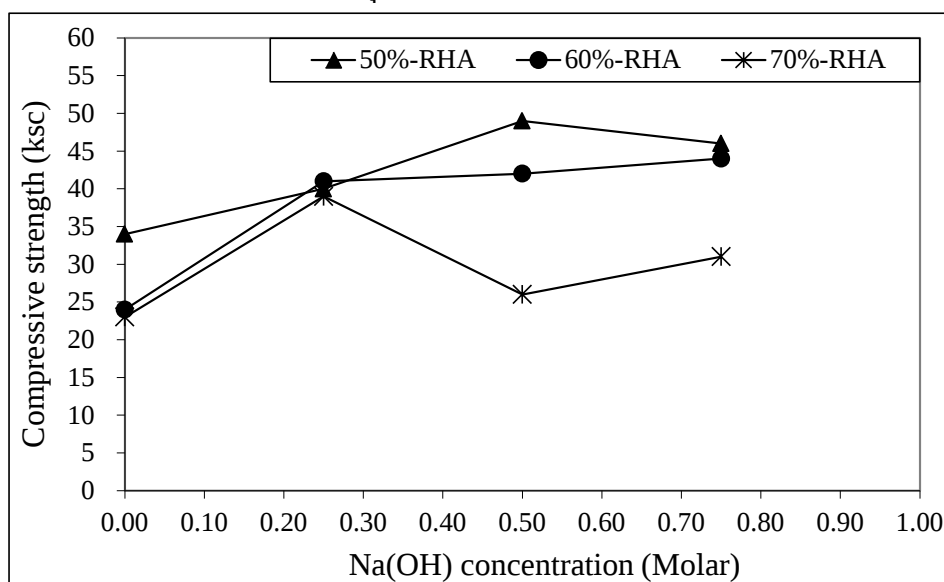
ลักษณะคล้ายกับการชะของด่างต่อวัสดุปอชโซลาน ในการผลิตจีโอพอลิเมอร์ แต่แตกต่างที่การเกิดปฏิกิริยา หลังจากนั้นที่ให้งำลังอัดเกิดจากปฏิกิริยาปอชโซลานแทนที่จะเป็นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรท์เซชัน เหมือนการเกิดจีโอพอลิเมอร์ อย่างไรก็ตามความเหมาะสมของด่างที่ใช้ชะที่ส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก นอกจากจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และยังขึ้นกับลักษณะของวัสดุปอชโซลานด้วย เนื่องจาก การศึกษาครั้งนี้ ใช้เถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรงที่มีอนุภาคหยาบมาก (ค่าังตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 42) จึงมีผลให้การชะเอซิก้า เพื่อเข้าทำปฏิกิริยาปอชโซลานยังไม่ได้เท่าที่ควร ซึ่งมีผลให้งำลังอัดของคอนกรีตบล็อกในทุกกลุ่มมีค่าค่อนข้างต่ำ และมีค่าต่ำลงชัดเจนในกลุ่มที่ใช้เถ้าแกลบปริมาณสูงขึ้น



ก) อายุบ่มคอนกรีตบล็อก 7 วัน



ข) อายุบ่มคอนกรีตบดล็อก 14 วัน



ค) อายุบ่มคอนกรีตบดล็อก 28 วัน

รูปที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลังอัดของคอนกรีตบดล็อกที่ผสมเถ้า
 แกลบจากโรงงานโดยตรง

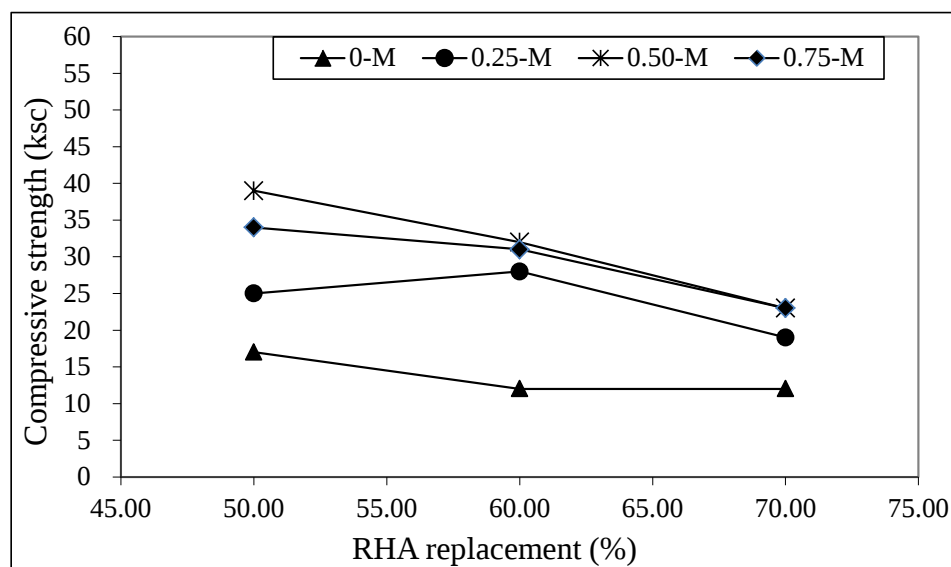
4.2.3 ผลของปริมาณเถ้าแกลบต่อกำลังอัดของคอนกรีตบดล็อก

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

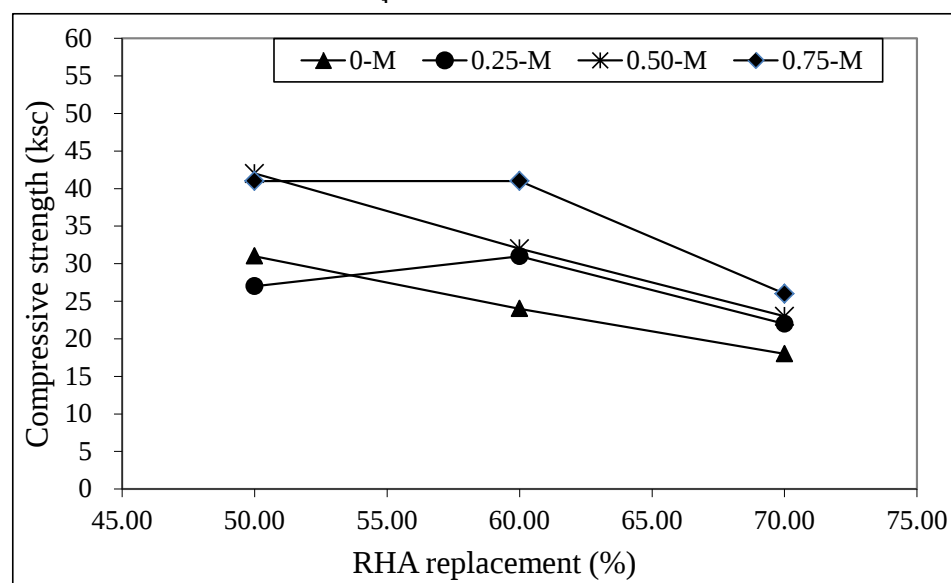
ลดลงของกำลังอัดดังกล่าวนี้ มีผลชัดเจนในกลุ่มที่ใช้แรงปฏิบัติการมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้แรงปฏิบัติการ เช่น คอนกรีตบล็อก ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.50 โมลาร์ เมื่อใช้เถาวัลย์แทนที่ปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 50 เป็นร้อยละ 70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีผลทำให้กำลังอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตบล็อก ลดลงเท่ากับ 23 กก./ซม.² (ลดลงจาก 49 กก./ซม.² เป็น 26 กก./ซม.²) ในขณะที่คอนกรีตบล็อก กลุ่มเดียวกันนี้ที่ไม่ได้ใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แรงปฏิบัติการมีกำลังอัดลดลงแค่ 11 กก./ซม.² (ลดลงจาก 34 กก./ซม.² เป็น 23 กก./ซม.²) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อแรงปฏิบัติการปอชโซลานในเถาวัลย์ให้ผลค่อนข้างชัดเจน เมื่อผสมเถาวัลย์ในคอนกรีตบล็อกเท่ากับ ร้อยละ 50 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้เถาวัลย์ร้อยละ 70 ทั้งนี้ อาจเป็นผลจากการใช้เถาวัลย์ในปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลให้สมบัติความเป็นปอชโซลานลดลงเพราะเถาวัลย์มีอนุภาคที่หยาบและมีความพรุนสูง (Zain, et al., 2011)

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการแรงปฏิบัติการปอชโซลาน ในทุกกลุ่มการแทนที่เถาวัลย์ให้ผลดีต่อการเพิ่มกำลังอัดมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสังเกตได้จากกำลังอัดของกลุ่มที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการแรงปฏิบัติการที่ค่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในทุกอายุการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก), (ข) และ (ค) ตามลำดับ

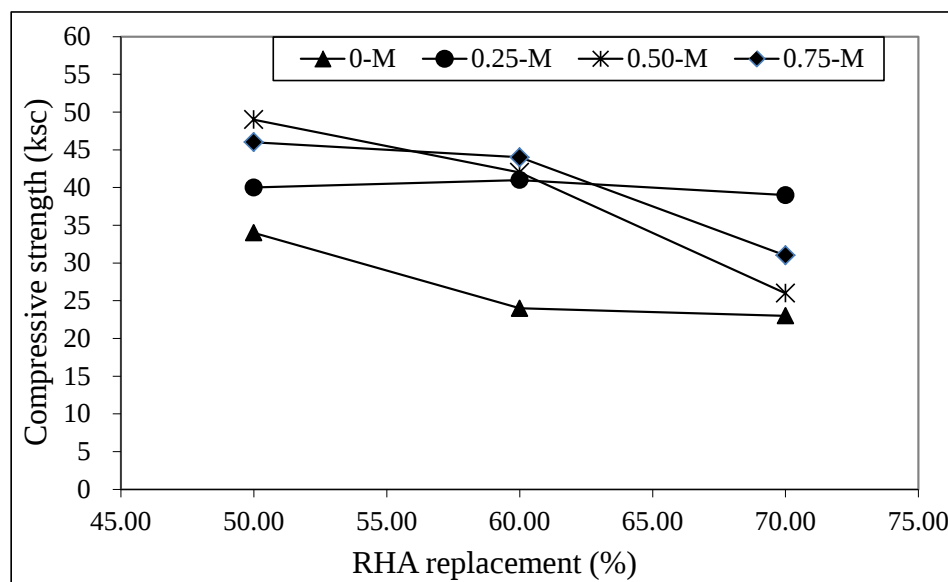
การศึกษานี้พบว่า ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.50 โมลาร์ มีความเหมาะสมที่ใช้แรงปฏิบัติการปอชโซลานในคอนกรีตบล็อกผสมเถาวัลย์ เนื่องจากให้การพัฒนาำลังอัดของคอนกรีตบล็อกในช่วงต้นสูงและช่วงปลายก็ยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตบล็อกส่วนผสมนี้ สามารถรับแรงได้เร็ว นอกจากนี้อัตราส่วนการแทนที่เถาวัลย์ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ยังเป็นปัจจัยหลักในการพัฒนาำลังอัดของคอนกรีตโดยพบว่า คอนกรีตบล็อกที่มีการแทนที่ของเถาวัลย์ในอัตราร้อยละ 50 ให้กำลังอัดสูงที่สุด ซึ่งเป็นเพราะการแทนที่ของเถาวัลย์ในอัตราร้อยละ 50 มีปริมาณปูนซีเมนต์สูงปฏิกิริยาไฮเดรชันจึงเกิดได้ดีกว่า



ก) อายุบ่มคอนกรีตบดล็อก 7 วัน



ข) อายุบ่มคอนกรีตบดล็อก 14 วัน

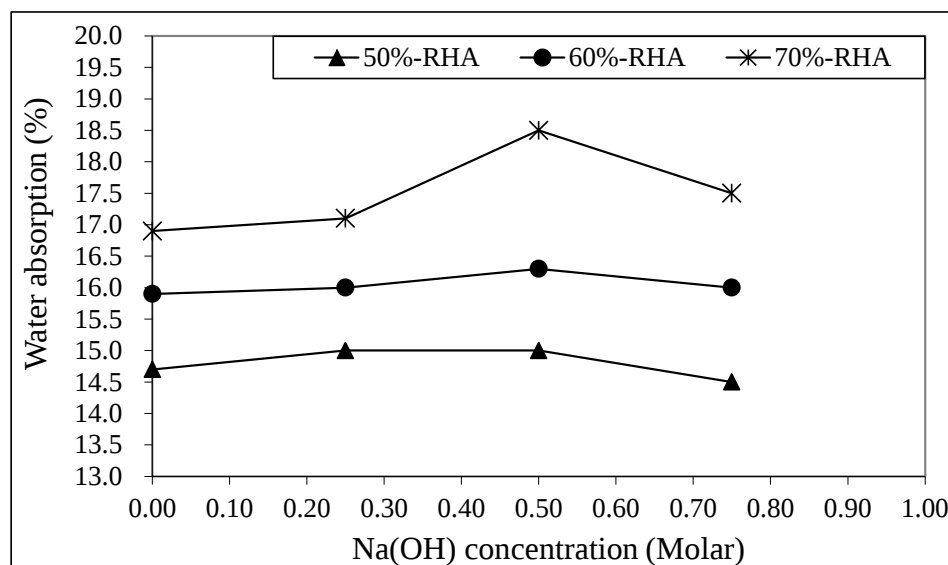


ค) อายุบ่มคอนกรีตบดล็อก 28 วัน

รูปที่ 4.3 ผลของปริมาณเถ้าแกลบต่อกำลังอัดของคอนกรีตบดล็อกที่ผสมเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง

4.3 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบดล็อก

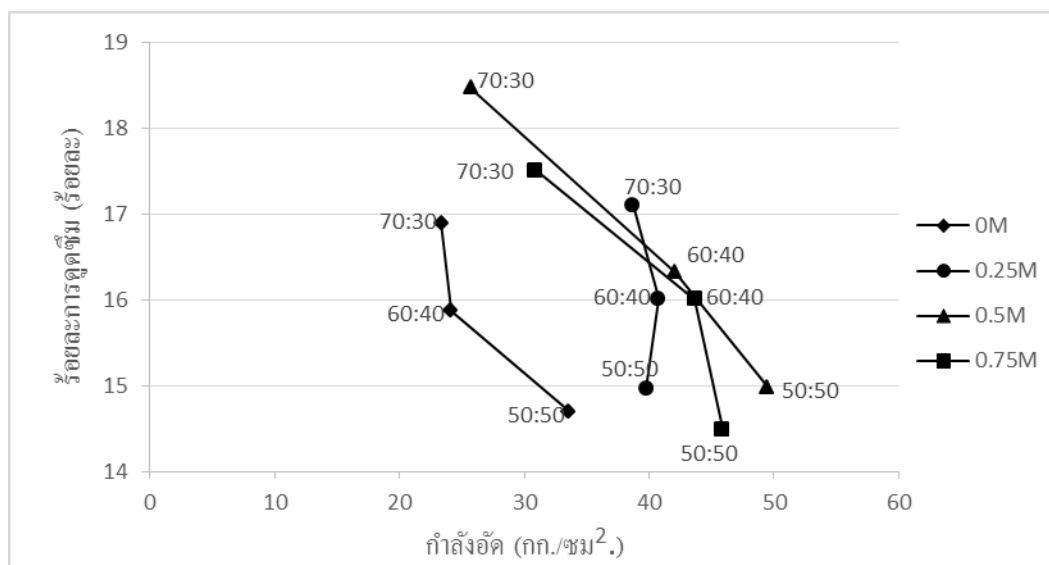
เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณเถ้าแกลบต่อร้อยละการดูดซึมน้ำ ดังรูปที่ 4.4 พบว่า ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่มีผลชัดเจนต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบดล็อก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้น ไม่ได้ส่งผลต่อความพรุนในคอนกรีตบดล็อกมากนัก ส่วนการใช้เถ้าแกลบในคอนกรีตบดล็อกในปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลให้ร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่ามากขึ้นอย่างชัดเจน และมีแนวโน้มเดียวกันในทุกความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทั้งนี้เป็นผลจากปริมาณเถ้าแกลบที่มากขึ้นส่งผลให้ความพรุนในคอนกรีตบดล็อกสูงขึ้นด้วย โดยคอนกรีตบดล็อกที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.50 โมลาร์ และผสมเถ้าแกลบร้อยละ 50, 60 และ 70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 15.0, 16.3 และ 18.5 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลจากเถ้าแกลบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีความพรุนสูง มีการดูดน้ำมาก เมื่อใช้ในส่วนผสมในปริมาณที่สูง จึงทำให้คอนกรีตบดล็อกมีการดูดน้ำมากตามไปด้วย



รูปที่ 4.4 ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณเถ้าเคลบต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตบล็อกที่อายุ 28 วัน กับร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกตามรูปที่ 4.5 พบว่า การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลงตามกำลังอัดที่เพิ่มขึ้น โดยมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน เช่น คอนกรีตบล็อกที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 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 มีการชะเอาซิลิกาออกมาจากเถ้าเคลบเพื่อเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานทำให้กำลังอัดนั้นมีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตบล็อกความทึบน้ำและลดร้อยละการดูดซึมน้ำเข้าไปในคอนกรีตบล็อกได้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดคอนกรีตบล็อกที่อายุ 28 วัน กับการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก

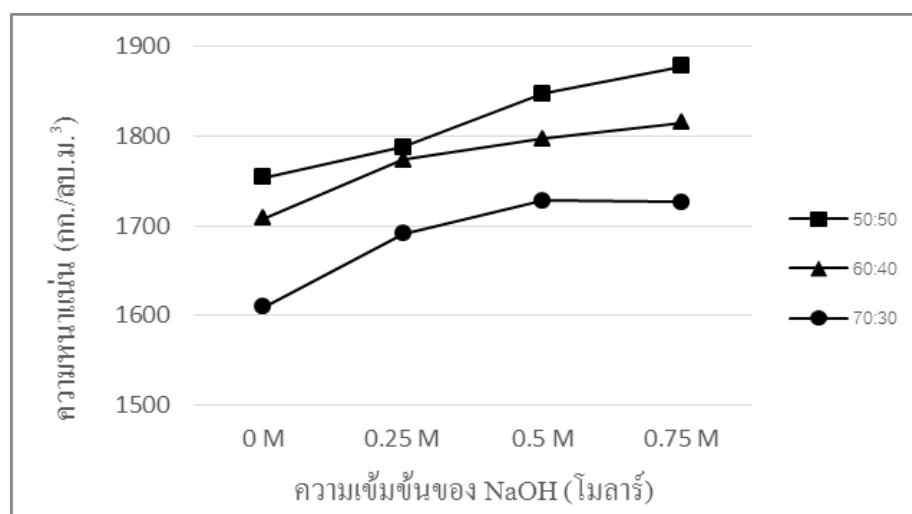
4.4 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อก

ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน แสดงดังตารางที่ 4.5 ซึ่งพบว่า ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และให้แนวโน้มในทิศทางเดียวกันในทุกๆอัตราการแทนที่เถ้ากลบ (รูปที่ 4.6) ผลดังกล่าวอาจเกิดจากกำลังอัดที่สูงขึ้น ในกลุ่มที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นทำให้คอนกรีตบล็อกแน่นขึ้นและมีความหนาแน่นสูงขึ้น

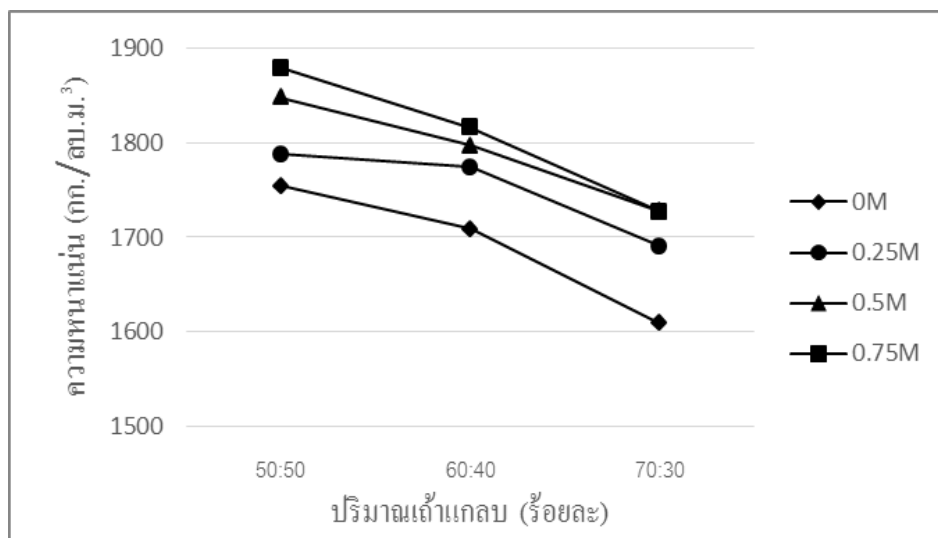
เมื่อพิจารณาผลของปริมาณเถ้ากลบต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกตามรูปที่ 4.7 พบว่า ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณเถ้ากลบที่มากขึ้น และให้แนวโน้มในทิศทางเดียวกันในทุกความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเกิดจาก เถ้ากลบมีความพรุนค่อนข้างมาก และมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกในกลุ่มที่ผสมเถ้ากลบปริมาณสูงขึ้นมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 4.5 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกที่บ่มในอากาศ

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 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณไข่แมลงต่อความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นไม่เกิน 0.50 โมลาร์ มีผลให้คอนกรีตบล็อกมีกำลังอัดสูงขึ้นและสูงกว่าคอนกรีตบล็อกที่ไม่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

5.1.2 เมื่อผสมเถ้าแกลบในปริมาณที่มากขึ้น มีผลทำให้คอนกรีตบล็อกมีกำลังอัดและความหนาแน่นลดลงและร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีค่าสูงขึ้น

5.1.3 การศึกษาครั้งนี้ พบว่า ส่วนผสมคอนกรีตบล็อกที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.50 โมลาร์ และใช้เถ้าแกลบแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 50 โดยน้ำหนักประสาน มีความเหมาะสมในการใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกมากที่สุด เนื่องจากให้กำลังอัดที่สูงสุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษาคอนกรีตบล็อก โดยการแปรเปลี่ยนสารเคมีผสมเพิ่มชนิดต่างๆ ตลอดจนการศึกษาคอนกรีตบล็อกจากวัสดุเหลือทิ้งชนิดอื่นๆ เช่น เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เถ้าปาล์มน้ำมัน และตะกรันเตาถลุงเหล็ก เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- ชรินทร์ เสนาวงษ์ อธิพล วิไลลักษณ์และ วิเชียร ชาลี. (2552). การทำคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากถ้ำกันแตระบบฟลูอิดไดซ์เบด. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14*, 13-15 พฤษภาคม 2552, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี หน้า 1587-1592
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2547). *ปูนซีเมนต์ ปอชโซลานและคอนกรีต*. ครั้งที่ 3, สมาคมคอนกรีตไทย
- ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2547). *ถ้ำลอยในงานคอนกรีต*, ครั้งที่ 1, สมาคมคอนกรีตไทย
- Reaksmey Soeurt, รัฐพล สมณา และ วิเชียร ชาลี. (2559). ผลของค่าแรงปฏิกิริยาต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์จากถ้ำถ่านหิน. *การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 11*, นครราชสีมา, 17-19 กุมภาพันธ์ 2559, MAT 025
- สุรพันธ์ สุกันธิ์, จตุพล ตั้งปกาศิต, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2546). การศึกษาคอนกรีตที่มีถ้ำเคลือบเปลือกไม้เป็นส่วนผสม. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา* 14(3), หน้า 1-7
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 57-2533 คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก*. พิมพ์ครั้งที่ 7, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก*. พิมพ์ครั้งที่ 7, สำนักงานมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.
- อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2552). *ถ้ำเคลือบในงานคอนกรีต*, ครั้งที่ 1, สมาคมคอนกรีตไทย
- อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์, วิเชียร ชาลี และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2549). การศึกษาการชะถ้ำถ่านหินลิกไนต์และกำลังอัดของวัสดุอิโพอลิเมอร์จากถ้ำถ่านหิน. *วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา มจร.*, 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). การผลิตคอนกรีตบดอัด ชนิดรับน้ำหนักจากจีโอพอลิเมอร์จากเถาถ่านหิน. *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.

ภาคผนวก ก

ผลผลิต (Output)

บทความประกอบการประชุมสัมมนาทางวิชาการระดับชาติ

- 1) ไคลีเกะ อุจิตะ ภาณุพงศ์ พิสัยพันธ์ รัฐพล สมณา และ วิเชียร ชาลี (2560). "ผลของค้างเร่ง
ปฏิกิริยาต่อกำลั่งอัดของคอนกรีตบดลื้อจากเฒ่าเกลบ". การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธา
แห่งชาติ ครั้งที่ 22. นครราชสีมา. หน้า 181-186

ผลของด่างเร่งปฏิกิริยาต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบ

Effect of Alkaline Activator on Compressive Strength of Concrete Masonry Blocks from Rice Husk Ash

ไคสีเกะ อุจิตะ¹ ภาณุพงศ์ พิสัยพันธ์² รัฐพล สมณา³ และ วิเชียร ชาลี^{4*}

^{1,2,4}ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ.ชลบุรี

³สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.นครราชสีมา

*Corresponding author; E-mail address: wichian@buu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกจากวัสดุประสานจากเถ้าแกลบ(RHA) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0, 0.25, 0.50 และ 0.75 โมลาร์ เป็นสารเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบ ใช้เถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรงเป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 40, 50 และ 60 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน และใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวม โดยใช้อัตราส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อหินฝุ่นเท่ากับ 1:6 โดยน้ำหนัก เตรียมคอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบโดยใช้เครื่องอัดชนิดซินวา-แรม หลังจากนั้นบ่มคอนกรีตบล็อกในอากาศที่อุณหภูมิห้องจนถึงอายุทดสอบ โดยทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ตลอดจนทดสอบการดูดซึมน้ำในคอนกรีตบล็อกที่อายุทดสอบ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงไม่เกิน 0.5 โมลาร์ มีผลให้คอนกรีตบล็อกมีกำลังอัดสูงขึ้น อย่างไรก็ตามกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบมีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นสูงขึ้นเป็น 0.75 โมลาร์ การใช้เถ้าแกลบในปริมาณที่มากขึ้น มีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกลดลงอย่างชัดเจน นอกจากนี้ร้อยละการดูดซึมน้ำในคอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบมีแนวโน้มสูงขึ้นตามกำลังอัดที่ลดลง

คำสำคัญ: คอนกรีตบล็อก, เถ้าแกลบ, ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, 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 increase 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

1. บทนำ

การใช้วัสดุประสานจากวัสดุปอซโซลานในงานก่อสร้างได้รับความนิยมสูงขึ้น เนื่องจากให้สมบัติเชิงกลและสมบัติด้านความคงทนที่ดีภายใต้ต้นทุนที่ต่ำ อย่างไรก็ตามวัสดุปอซโซลานที่มีอนุภาคหยาบ ความพรุนสูง เช่น เถ้าชีวมวลต่างๆ (เถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อย เถ้าปาล์มน้ำมัน) ยังไม่ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุประสานในการผลิตวัสดุก่อสร้าง เนื่องจากต้องผ่านการปรับปรุงโดยการบดอนุภาคให้ละเอียดก่อนจึงจะให้สมบัติเชิงกลที่สามารถใช้งานโครงสร้างได้ [1-3] วัสดุประสานที่ได้จากวัสดุปอซโซลานที่มีอนุภาคหยาบมีกำลังอัดที่ต่ำมาก จนไม่สามารถใช้เป็นคอนกรีตโครงสร้างได้ ซึ่งหากมีการใช้ต่างเป็นสารเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานโดยการชะเอาซิลิกาและอลูมินาจากวัสดุปอซโซลาน เพื่อเข้าทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จาก

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน อาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานดีขึ้นและมีกำลังอัดสูงขึ้นได้ โดยอาจไม่ต้องปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของวัสดุปอซโซลาน การประยุกต์ใช้วัสดุปอซโซลานที่มีอนุภาคหยาบในวัสดุก่อสร้างที่ไม่ต้องการกำลังรับแรงสูง และการรับแรงเชิงกลเป็นลักษณะของแรงอัด น่าจะส่งเสริมการใช้งานของวัสดุปอซโซลานเหล่านี้ในงานก่อสร้างได้กว้างขวางมากขึ้น การศึกษาที่ผ่านมา พบว่าเถ้าแกลบดำเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง มีปริมาณค่อนข้างสูงในแต่ละปี โดยไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ให้เกิดมูลค่าอย่างเต็มที่ และเถ้าแกลบยังก่อให้เกิดปัญหาการกำจัดทิ้งอีกด้วย ลักษณะทางกายภาพของเถ้าแกลบมีขนาดและรูปร่างของอนุภาคไม่แน่นอน เป็นเหลี่ยมมุม มีผิวขรุขระ และมีความพรุนสูง อนุภาคมีรูพรุนอยู่ภายใน ซึ่งเป็นข้อด้อยของเถ้าแกลบในการนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต [4] อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบดำพบว่า มีซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ประมาณร้อยละ 80 – 90 ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก [4] และเป็นข้อเด่นที่ส่งผลดีต่อการนำมาใช้เพื่อเป็นวัสดุประสานในงานก่อสร้างได้ การใช้เถ้าแกลบดำจากโรงงานโดยตรงในปริมาณสูง และใช้ต่างในการเร่งปฏิกิริยาน่าจะสามารถใช้เป็นวัสดุประสานในการผลิตคอนกรีตบดอัดได้ โดยในการผลิตคอนกรีตบดอัดมีการอัดขึ้นรูปที่ทำให้สามารถรับแรงได้มากขึ้นได้ ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้ จึงมีจุดประสงค์เพื่อใช้ต่างที่มีความเข้มข้นต่างกันในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตบดอัด โดยใช้เถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรง แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในปริมาณที่สูงถึงร้อยละ 70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการส่งเสริมการใช้งานวัสดุก่อสร้าง ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งหรือผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมให้กว้างขวางมากขึ้น

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุประสาน

วัสดุประสานที่ในการศึกษานี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C150 [5] สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (ใช้เป็นต่างเร่งปฏิกิริยา) และเถ้าแกลบดำจากโรงงานโดยตรงใช้ส่วนที่ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 20 (ค้ำตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 42) มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.07 สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบดำที่ใช้ในการศึกษานี้ มีปริมาณของ SiO_2 สูงถึงร้อยละ 90 ซึ่งส่งผลดีต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบ[4] มวลรวมที่ใช้ในการศึกษานี้ ใช้หินฝุ่นที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.64 การดูดซึมน้ำของหินฝุ่นที่ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127 [6] เท่ากับร้อยละ 8.25 และค่าโมดูลัสความละเอียดของหินฝุ่นเท่ากับ 3.01 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสานแสดงดังตารางที่ 1

2.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

2.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาก่อนการผลิตคอนกรีตบดอัดจากวัสดุประสานจากเถ้าแกลบ(RHA) โดยใช้ต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 0.25, 0.50 และ 0.75 โมลาร์ เป็นสารเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน เตรียมส่วนผสมคอนกรีตบดอัดจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ประเภทที่ 1 ผสมกับเถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรงแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 50, 60 และ 70 โดยน้ำหนัก และใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมโดยใช้อัตราส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อหินฝุ่น เท่ากับ 1:6 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมคอนกรีตบดอัดแสดงดังตารางที่ 2 ทำการอัดคอนกรีตบดอัดตามส่วนผสมในตารางที่ 2 ในเครื่องอัดคอนกรีตบดอัดชนิดซินวาแรมดั่งรูปที่ 1(ก) และบ่มคอนกรีตบดอัดในอากาศที่อุณหภูมิห้อง (25°C) จนถึงอายุทดสอบดังรูปที่ 1(ข)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%)	
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (CT1)	เถ้าแกลบ (RHA)
Silicon dioxide, SiO_2	20.10	90.0
Aluminum oxide, Al_2O_3	5.20	0.51
Iron oxide, Fe_2O_3	3.15	2.02
Calcium oxide, CaO	60.24	0.52
Magnesium oxide, MgO	1.13	0.22
Sulfur trioxide, SO_3	2.42	1.50
Other oxides	1.52	-
LOI.	2.03	4.71

ตารางที่ 2 ส่วนผสมคอนกรีตบดอัด

ส่วนผสม	อัตราส่วนผสมคอนกรีตบดอัดโดยน้ำหนัก (กรัม)				ความเข้มข้นของ NaOH (โมลาร์)
	CT1	RHA	R	NaOH	
0M-50:50	50	50	600	0	0
0.25M-50:50	50	50	600	10	0.25
0.50M-50:50	50	50	600	20	0.5
0.75M- 50:50	50	50	600	30	0.75
0M-60:40	40	60	600	0	0
0.25M-60:40	40	60	600	10	0.25
0.50M-60:40	40	60	600	20	0.5
0.75M-60:40	40	60	600	30	0.75
0M-70:30	30	70	600	0	0
0.25M-70:30	30	70	600	10	0.25
0.50M-70:30	30	70	600	20	0.5
0.75M-70:30	30	70	600	30	0.75

หมายเหตุ CT1 = ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

RHA = เถ้าแกลบ

R = หินฝุ่น

2.2.2 การทดสอบ

การทดสอบกำลังอัด

เมื่อครบกำหนดทดสอบทำการตัดตัวอย่างคอนกรีตบดอัดเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด $50 \times 50 \times 50$ มม³ ดังรูปที่ 1(ค) เพื่อใช้ทดสอบกำลังอัด (เฉลี่ยจาก 3 ก้อน) ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน

การทดสอบการดูดซึมน้ำ

ในการทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM C642-97 [7] ได้ตัดตัวอย่างคอนกรีตบล็อก ให้มีขนาด $50 \times 50 \times 50$ มม.³ นำตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ $100 - 110$ °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างและแฉตัวอย่างคอนกรีตบล็อกให้อยู่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วใช้ผ้าเช็ดให้แห้งโดยรอบอย่างรวดเร็ว และชั่งน้ำหนักภายใน 5 นาที คำนวณหาร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก จากน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบล็อกหลังจากแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ลบด้วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่อบแห้งหารด้วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่อบแห้งทั้งหมดคูณด้วย 100 โดยทดสอบหาร้อยละการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 1 (ก) อัดคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องอัดชนิดซินวาแรม
(ข) บ่มคอนกรีตบล็อกในอากาศที่อุณหภูมิห้อง
(ค) ตัวอย่างคอนกรีตบล็อกขนาด $50 \times 50 \times 50$ มม.

3. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

3.1 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้ากลบดำจากโรงงานโดยตรง ที่อายุบ่มในอากาศ 7, 14 และ 28 วัน แสดงดังตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกในรูปของร้อยละกำลังอัดที่ 28 วันเทียบกับ 7 วัน พบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น มีผลให้ร้อยละกำลังอัดที่ 28 วันเทียบกับ 7 วัน มีแนวโน้มลดลง เช่น คอนกรีตบล็อกที่แทนที่เถ้ากลบ ร้อยละ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นเท่ากับ 0, 0.25, 0.50 และ 0.75 โมลาร์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ร้อยละกำลังอัดที่ 28 วันเทียบกับ 7 วัน เท่ากับ ร้อยละ 202, 162, 126 และ 134 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลจาก คอนกรีตบล็อกในกลุ่มที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่งปฏิกิริยา มีผลทำให้กำลังอัดระยะต้นสูงอยู่แล้ว จึงส่งผลให้ร้อยละของกำลังอัดที่อายุ 28 วันเทียบกับอายุ 7 วัน มีแนวโน้มต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานและมีผลทำให้กำลังอัดในระยะต้นสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [8]

ตารางที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกจากเถ้ากลบ

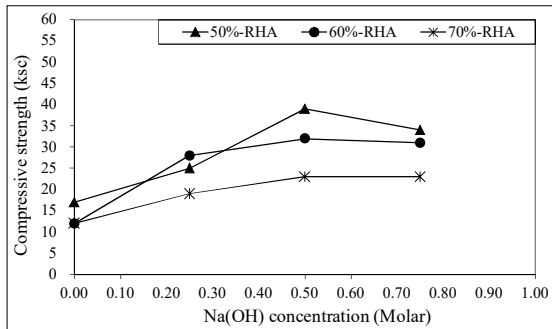
ส่วนผสม	กำลังอัด (กก/ซม ²)			ร้อยละกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เทียบกับอายุ 7 วัน
	7 วัน	14 วัน	28 วัน	
0M-50:50	17	31	34	202
0.25M-50:50	25	27	40	162
0.50M-50:50	39	42	49	126
0.75M-50:50	34	41	46	134
0M-60:40	12	24	24	205
0.25M-60:40	28	31	41	144
0.50M-60:40	32	32	42	133
0.75M-60:40	31	41	44	140
0M-70:30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

3.2 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

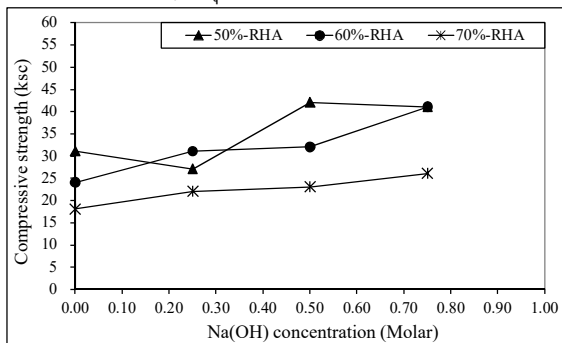
เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก ที่อายุ 7, 14, และ 28 วัน ดังรูปที่ 2(ก), 2(ข) และ 2(ค) ตามลำดับ โดยภาพรวม พบว่า ที่ช่วงอายุไม่เกิน 7 วัน คอนกรีตบล็อกทุกกลุ่มการแทนที่เถ้ากลบ ให้กำลังอัดสูงขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไม่เกิน 0.50 โมลาร์ โดยมีกำลังอัดสูงสุดของทุกกลุ่มการแทนที่เถ้ากลบ ที่ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.50 โมลาร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานให้ผลดีต่อการเพิ่มของกำลังอัดช่วงต้น

เมื่อพิจารณาที่อายุมากขึ้นที่ 28 วัน ดังรูปที่ 2(ค) พบว่า การใช้เถ้ากลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ไม่เกินร้อยละ 60 และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 0.25 โมลาร์ ให้ผลดีต่อการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกอย่างชัดเจน โดยมีค่าสูงกว่าคอนกรีตบล็อกที่ไม่ได้ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ปริมาณเถ้ากลบร้อยละ 70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน และใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงกว่า 0.25 โมลาร์ กลับส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกกลุ่มนี้ที่อายุ 28 วัน มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ไม่เหมาะสมให้เร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตบล็อก ที่ใช้ปริมาณเถ้ากลบมาก ทั้งนี้อาจเป็นผลจากคอนกรีตบล็อกผสมเถ้ากลบปริมาณสูงถึงร้อยละ 70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีผลให้ปริมาณของปูนซีเมนต์ลดลง จึงทำให้กำลังอัดคอนกรีตบล็อกที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำมีค่าต่ำด้วย ประกอบกับเถ้ากลบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีอนุภาคที่หยาบ ความพรุนสูง ซึ่งทำให้ความเป็นวัสดุปอซโซลานทางกายภาพไม่ดี ถึงแม้เถ้ากลบจะมีปริมาณซิลิกาสูงและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาก็ตาม แต่ยังไม่สามารถให้กำลังอัดสูงขึ้นได้ ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งในอายุ 14 และ 28 วัน

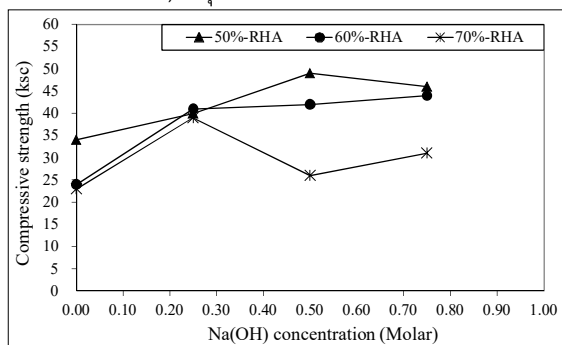
กลไกการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานของคอนกรีตบดที่ผสมเถ้าแกลบและใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน เกิดจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเข้าชะเอาซิลิกาจากเถ้าแกลบ [9] เพื่อเข้าทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน [10] ซึ่งกลไกการชะเอาซิลิกาจากเถ้าแกลบมีลักษณะคล้ายกับการชะของตัวต่อวัสดุปอซโซลาน ในการผลิตซีโอพอลิเมอร์ แต่แตกต่างที่การเกิดปฏิกิริยาหลังจากนั้นที่ก่อให้เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานแทนที่จะเป็นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน เหมือนการเกิดซีโอพอลิเมอร์ อย่างไรก็ตามความเหมาะสมของตัวเร่งที่ใช้ซึ่งส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตบด นอกจากจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และยังขึ้นกับลักษณะของวัสดุปอซโซลานด้วย เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ ใช้เถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรงที่มีอนุภาคหยาบมาก (ค่าตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 42) จึงมีผลให้การชะเอาซิลิกาเพื่อเข้าทำปฏิกิริยาปอซโซลานยังไม่ได้เท่าที่ควร ซึ่งมีผลให้กำลังอัดของคอนกรีตบดในทุกกลุ่มมีค่าค่อนข้างต่ำ และมีค่าต่ำลงชัดเจนในกลุ่มที่ใช้เถ้าแกลบปริมาณสูงขึ้น



ก) อายุบ่มคอนกรีตบด 7 วัน



ข) อายุบ่มคอนกรีตบด 14 วัน



ค) อายุบ่มคอนกรีตบด 28 วัน

รูปที่ 2 ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลังอัดของคอนกรีตบดที่ผสมเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง

3.3 ผลของปริมาณเถ้าแกลบต่อกำลังอัดของคอนกรีตบด

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณเถ้าแกลบต่อกำลังอัดของคอนกรีตบด ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ดังรูปที่ 3(ก), 3(ข) และ 3(ค) ตามลำดับ พบว่าการใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในปริมาณที่สูงขึ้น มีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตบดในทุกส่วนผสมมีแนวโน้มลดลง โดยการลดลงของกำลังอัดดังกล่าวนี้ มีผลชัดเจนในกลุ่มที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น คอนกรีตบด ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.50 โมลาร์ เมื่อใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 50 เป็นร้อยละ 70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีผลทำให้กำลังอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตบด ลดลงเท่ากับ 23 กก./ซม.² (ลดลงจาก 49 กก./ซม.² เป็น 26 กก./ซม.²) ในขณะที่คอนกรีตบด กลุ่มเดียวกันนี้ที่ไม่ได้ใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่งปฏิกิริยา มีกำลังอัดลดลงแค่ 11 กก./ซม.² (ลดลงจาก 34 กก./ซม.² เป็น 23 กก./ซม.²) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในเถ้าแกลบให้ผลค่อนข้างชัดเจน เมื่อผสมเถ้าแกลบในคอนกรีตบดเท่ากับ ร้อยละ 50 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้เถ้าแกลบร้อยละ 70 ทั้งนี้ อาจเป็นผลจากการใช้เถ้าแกลบในปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลให้สมบัติความเป็นปอซโซลานลดลงเพราะเถ้าแกลบมีอนุภาคที่หยาบและมีความพรุนสูง [11]

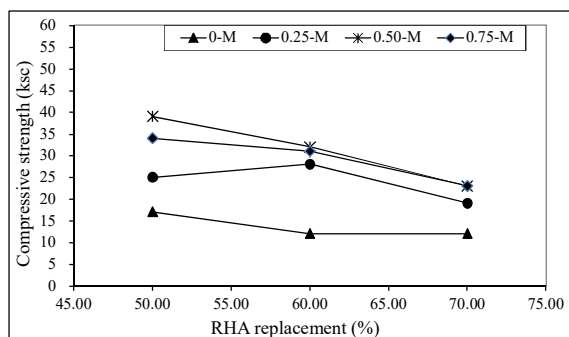
อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลาน ในทุกกลุ่มการแทนที่เถ้าแกลบให้ผลดีต่อการเพิ่มกำลังอัดมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งสังเกตได้จากกำลังอัดของกลุ่มที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในการเร่งปฏิกิริยาที่ค่าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในทุกอายุการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ก), (ข) และ (ค) ตามลำดับ

การศึกษานี้พบว่า ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.50 โมลาร์ มีความเหมาะสมที่ใช้เร่งปฏิกิริยาปอซโซลานในคอนกรีตบดผสมเถ้าแกลบ เนื่องจากการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตบดในช่วงต้นสูงและช่วงปลายก็ยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตบดส่วนผสมนี้ สามารถรับแรงได้เร็ว นอกจากนี้อัตราการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ยังเป็นปัจจัยหลักในการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตโดยพบว่า คอนกรีตบดที่มีการแทนที่ของเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 50 ให้กำลังอัดสูงที่สุด ซึ่งเป็นเพราะการแทนที่ของเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 50 มีปริมาณปูนซีเมนต์สูงปฏิกิริยาไฮเดรชันจึงเกิดได้ดีกว่า

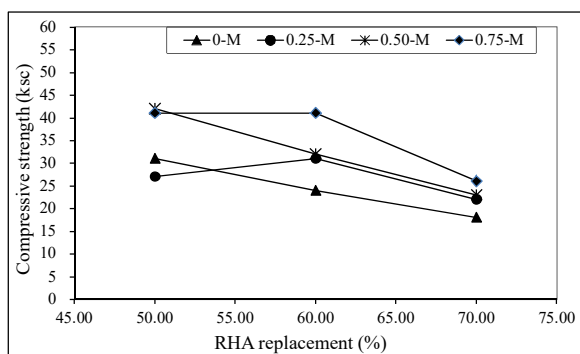
3.4 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบด

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณเถ้าแกลบต่อร้อยละการดูดซึมน้ำ ดังรูปที่ 4 พบว่า ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่มีผลชัดเจนต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้น ไม่ได้ส่งผลต่อความพรุนในคอนกรีตบดมากนัก ส่วนการใช้เถ้าแกลบในคอนกรีตบดในปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลให้ร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่ามากขึ้นอย่างชัดเจน และมีแนวโน้มเดียวกันในทุกความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

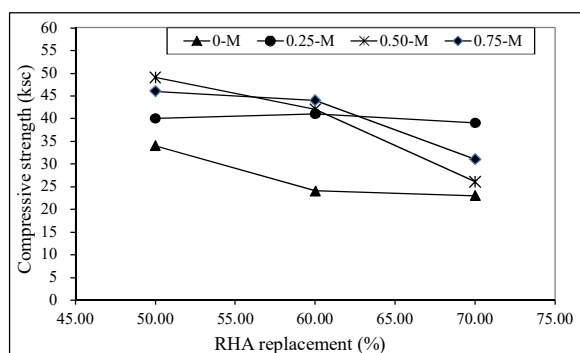
ไซท์ ทั้งนี้เป็นผลจากปริมาณเถ้าแกลบที่มากขึ้นส่งผลให้ความพรุนในคอนกรีตบล็อกสูงขึ้นด้วย โดยคอนกรีตบล็อกที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.50 โมลาร์ และผสมเถ้าแกลบร้อยละ 50, 60 และ 70 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับ 15.0, 16.3 และ 18.5 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลจากเถ้าแกลบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีความพรุนสูง มีการดูดน้ำมาก เมื่อใช้ในส่วนผสมในปริมาณที่สูง จึงทำให้คอนกรีตบล็อกมีการดูดน้ำมากตามไปด้วย



ก) อายุบ่มคอนกรีตบล็อก 7 วัน



ข) อายุบ่มคอนกรีตบล็อก 14 วัน

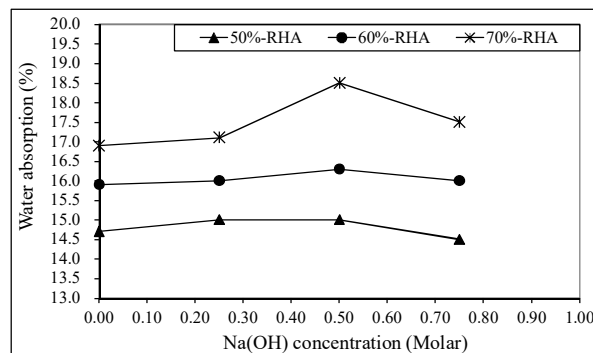


ค) อายุบ่มคอนกรีตบล็อก 28 วัน

รูปที่ 3 ผลของปริมาณเถ้าแกลบต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง

4. บทสรุป

- 1) การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นไปเกิน 0.50 โมลาร์ มีผลให้คอนกรีตบล็อกมีกำลังอัดสูงขึ้น และสูงกว่าคอนกรีตบล็อกที่ไม่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 4 ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณเถ้าแกลบต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก

- 2) เมื่อผสมเถ้าแกลบในปริมาณที่มากขึ้น มีผลทำให้คอนกรีตบล็อกมีกำลังอัดลดลงและร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีค่าสูงขึ้น
- 3) การศึกษาครั้งนี้ พบว่า ส่วนผสมคอนกรีตบล็อกที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.50 โมลาร์ และใช้เถ้าแกลบแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 50 โดยน้ำหนักประสาน มีความเหมาะสมในการใช้ผลิตคอนกรีตบล็อกมากที่สุด เนื่องจากให้กำลังอัดที่สูงที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ทูสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนจากรัฐบาล (งบประมาณเงินแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 103/2560

เอกสารอ้างอิง

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Sata, V., Tangpagasit, J., Jaturapitakkul, C. and Chindapasirt, 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.
- [4] 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.

- [5] ASTM C150 - 07, (2007). Standard Specification for Portland Cement. *Annual Book of ASTM Standards*, V. 04.02.
- [6] ASTM C127-88, (2001). Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. *Annual Book of ASTM Standards*; V. 04.01.
- [7] ASTM C642-97, (2001). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*; V. 04.01.
- [8] Soeurt, R., รัฐพล สมนา และ วิเชียร ชาลี (2559). ผลของต่างเร่งปฏิกิริยาต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์จากเถ้าถ่านหิน. *การประชุมวิชาการคือนกริตประจำปี ครั้งที่ 11*, นครราชสีมา, 17-19 กุมภาพันธ์ 2559, MAT 025.
- [9] 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.
- [10] Neville, A.M. (1995). *Properties of Concrete*. 4th ed., Prentice Hall, London, pp. 269-317.
- [11] 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.

ภาคผนวก ข
รายงานการเงิน

รายงานสรุปการเงิน

รหัสโครงการ 258326 สัญญาเลขที่ 103/2560

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ

พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อโครงการ...ผลของต่างแรงปฏิกิริยาต่อกำลังอัดคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากเก้าอี้กลับ

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย (ศ. /รศ. /ผศ. /ดร. /อ.) ...รศ.ดร.วิเชียร ชาลี...

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ (วัน/ เดือน/ ปี)...1 ตุลาคม 2559 ถึงวันที่ (วัน/ เดือน/ ปี) ...30 กันยายน 2560

ระยะเวลาดำเนินการ จำนวน ..1....ปี...- .เดือน

รายรับ

จำนวนเงินที่ได้รับ

งวดที่ 1 (50%) จำนวน ...205,500บาท เมื่อ ...พฤศจิกายน พ.ศ. 2559...

งวดที่ 2 (40%) จำนวน ...164,400.....บาท เมื่อ ...พฤษภาคม พ.ศ. 2560.....

งวดที่ 3 (10%) จำนวน ...-.....บาท เมื่อ ...-.....

รวม ...369,900.....บาท

รายจ่าย

หมวด	งบประมาณที่ตั้งไว้ (บาท)	งบประมาณที่ใช้ จริง (บาท)	จำนวนเงิน คงเหลือ/เกิน (บาท)
1. ค่าตอบแทน	30,000	30,000	0
2. ค่าจ้าง	120,000	120,000	0
3. ค่าวัสดุ	40,000	40,000	0
4. ค่าใช้สอย	179,900	179,900	0
5. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ค่าเงินทุนอุดหนุนการวิจัยของ มหาวิทยาลัยเป็นค่าสาธารณูปโภค 10%	41,100	41,100	0
รวม	411,000	411,000	0

(รศ.ดร.วิเชียร ชาลี)

หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

ภาคผนวก ค
ประวัตินักวิจัย

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย)

นายวิเชียร ชาลี

ชื่อ – นามสกุล (ภาษาอังกฤษ)

Mr. Wichian Chalee

ตำแหน่งปัจจุบัน

รองศาสตราจารย์

หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ.ชลบุรี ๒๐๑๓๑

โทรศัพท์ ๐๓๘-๑๐๒-๒๒๒๒ ต่อ ๓๓๕๖

โทรสาร ๐๓๘-๑๐๒-๒๒๒๒ ต่อ ๓๓๕๕

E-mail wichian@buu.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. ๒๕๔๑

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. ๒๕๔๖

ปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี พ.ศ. ๒๕๕๐

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

วัสดุก่อสร้าง, คอนกรีตผสมวัสดุปอชโซลานและเถ้าชีวมวล, ความคงทนของคอนกรีต

ผลงานวิชาการ

บทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิจัยระดับนานาชาติ

- T. Cheewaket, C. Jaturapitakkul and W. Chalee, “Concrete durability presented by acceptable chloride level and chloride diffusion coefficient in concrete—๑๐-year results in marine site”, Materials and Structures (๒๐๑๔) ๔๗:๑๕๐๑-๑๕๑๑
- P. Chindaprasirt and W. Chalee, “Effect of sodium hydroxide concentration on chloride penetration and steel corrosion of fly ash-based geopolymer concrete under marine site”, Construction and Building Materials ๖๓, ๒๐๑๔, pp. ๓๐๓-๓๑๐
- W. Chalee๑, T. Sasakul, P. Suwanmaneechot, and C. Jaturapitakkul, “Utilization of rice husk-bark ash to improve the corrosion resistance of concrete under ๕-year exposure in a marine environment”, Cement and concrete composites ๓๗, ๒๐๑๓, pp. ๔๗-๕๓
- T. Cheewaket, C. Jaturapitakkul and W. Chalee, “Initial corrosion presented by chloride threshold penetration of concrete up to ๑๐ year-results under marine site”, Construction and Building Materials ๓๗, ๒๐๑๒, pp. ๖๕๓-๖๕๘
- Rattapon Somna, Chai Jaturapitakkul, Pokpong Rattanachu, Wichian Chalee, “Effect of ground bagasse ash on mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete”, Materials and Design ๓๖, ๒๐๑๒, pp. ๕๕๗-๖๐๓
- Rattapon Somna, Chai Jaturapitakkul, Wichian Chalee, Pokpong Rattanachu, “Effect of W/B ratio and ground fly ash on properties of recycled aggregate”, ASCE's Journal of Materials in Civil Engineering, ๒๔, ๒๐๑๒, pp. ๑๖-๒๒
- T. Cheewaket, C. Jaturapitakkul and W. Chalee, ๒๐๑๐, “Long term performance of chloride binding capacity in fly ash concrete in a marine environment”, Construction and Building Materials ๒๔ (๒๐๑๐) ๑๓๕๒-๑๓๕๗
- W. Chalee, P. Ausapanit and C. Jaturapitakkul, ๒๐๑๐, “Utilization of fly ash concrete in marine environment for long term design life analysis”, Materials and Design (๒๐๑๐) ๓๑ : pp. ๑๒๔๒-๑๒๔๕
- C. Sanawong and W. Chalee, ๒๐๑๐, “Water permeability in fly ash based geopolymer concrete”, J. of Civil engineering and architecture ๔ (๒๐๑๐) ๑๕-๑๕

- W. Chalee and C. Jaturapitakkul*, ๒๐๐๕, “Effect of W/B ratios and fly ash finenesses on chloride diffusion coefficient of concrete in marine environment”, Materials and Structures (๒๐๐๕) ๔๒ : pp. ๕๐๕-๕๑๔
- W. Chalee, C. Jaturapitakkul*, and P. Chindaprasirt’ ๒๐๐๕ “Predicting the chloride penetration of fly ash concrete in seawater” Marine Structures, ๒๒, ๒๐๐๕, pp.๓๔๑-๓๕๓
- Prinya Chindaprasirt, Wichian Chalee, Chai Jaturapitakkul, and Ubolluk Rattanasak*, ๒๐๐๕, “Comparative study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers ,” Waste Management, Vol.๒๕, No. ๒, pp ๕๓๕-๕๔๓. (Impact factor = ๑.๓๓๘)
- Chalee, W., Teekavanit, M., Kiattikomol, K., Siripanichgorn, A., and Jaturapitakkul, C.*, ๒๐๐๗, “Effect of W/C ratio on covering depth of fly ash concrete in marine environment,” Construction and Building Materials, Vol.๒๑, No.๕, pp. ๕๖๕-๕๗๑ (Impact factor = ๒.๒๕๓)

บทความประกอบการประชุมสัมมนาทางวิชาการระดับนานาชาติ

- W. Chalee, P. Suwanmaneechot and C. Jaturapitakkul (๒๐๑๑). CORROSION PERFORMANCE OF CONCRETE CONTAINING RICE HUSK-BARK ASH UNDER ๕-YEAR EXPOSURE IN MARINE SITE. Modern Methods and Advances in Structural Engineering and Construction ISEC-๖, Zurich, June ๒๑-๒๖, ๒๑-๒๘.
- Koonthong, S., Chawkitcharoen, P., and Chalee, W. (๒๐๑๐). Compressive strength and thermal conductivity of concrete masonry block containing plastic label waste. The ๓rd Technology and Innovation for Sustainable Development International Conference, TISD ๒๐๑๐, Thailand, pp.๘๐๑-๘๐๔
- Yimsiri, S. and Chalee, W. (๒๐๑๐). Damage of reinforced concrete building due to adjacent deep excavation. ๓rd ASEAN Civil Engineering Conference, ๓ACEC, Manila, Philippine
- Suwanmaneechot, P., Jaturapitakkul, C., and Chalee, W. (๒๐๐๕). Chloride penetration of concrete containing rice husk-bark ash in marine exposure site. ๔th International Conference in Construction Materials: Performance, Innovstions and Structural Implications, Nagoya, Japan, pp. ๗๒๕-๗๓๐, ๗๒๕-๗๓๐.
- Chalee, W. and Jaturapitakkul, C. (๒๐๐๘). Long Term Performance of Fly Ash Concrete in Marine Environment. The ๘th ISOPE Pacific/Asia Offshore Mechanics Symposium, Bangkok, Thailand, ๑๑th-๑๔th November ๒๐๐๘, pp. ๑๗๘-๑๘๒

T. Klabprasit, C. Jaturapitakkul, W. Chalee, P. Chindaprasirt and S. Songpiriyakij (๒๐๐๘). Influence of Si/A ๑ ratio on Compressive Strength of Rice Husk-Bark Ashes and Fly Ash-based Geopolymer Paste. The ๓rd ACF international conference ACF/VCA, Rex Hotel, Ho Chi Minh City, Vietnam, November ๑๑-๑๓, ๒๐๐๘, pp ๑๕๑-๑๕๓

บทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิจัยระดับชาติ

- มณฑิร ทิฆวนิช, ประสิทธิ์ อุตสาหพานิช, วิเชียร ชาลี, เอนก ศิริพานิชกร, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และไกรวุฒิ เกียรติโกมล, ๒๕๔๙, “ผลกระทบของน้ำทะเลต่อการซึมผ่านของคลอไรด์ และการเกิดสนิมเหล็กใน คอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหิน” วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ ๑๗, ฉบับที่ ๒
- วิเชียร ชาลี, มณฑิร ทิฆวนิช, ประสิทธิ์ อุตสาหพานิช และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ๒๕๕๐, “ผลกระทบ๑ถ่าน หินที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมทะเลเป็นเวลา ๔ ปี” วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ ๓๐, ฉบับที่ ๑, หน้า ๑๕๓-๑๖๖.
- อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์, วิเชียร ชาลี, และ ปริญญ์ จินดาประเสริฐ, ๒๕๔๙, “การศึกษาการชะเถ้าถ่านหินลิกไนต์ และกำลังอัดของวัสดุจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าถ่านหิน”, วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ ๒๙, ฉบับที่ ๔, หน้า ๔๓๗-๔๔๖.
- ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ, ธวัชชัย สาสกุล, วิเชียร ชาลี และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ๒๕๕๑, “ผลกระทบของน้ำทะเล ต่อคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑ และประเภทที่ ๕ ผสมเถ้าถ่านหินจากระบบฟลูอิด ไลซ์เบด”, วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ปีที่ ๓๑, ฉบับที่ ๒, หน้า ๓๕๗-๓๗๐.
- วิเชียร ชาลี และ อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์, ๒๕๕๒, “การศึกษาสมบัติความคงทนของวัสดุจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าถ่าน หิน”, Burapha Sci., J.๑๔ (๑) หน้า ๔๗-๕๕
- ชรินทร์ เสนาวงษ์, เกียรติสุดา สมณา และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๓, “กำลังอัดและกำลังยึดเหนี่ยวของจีโอพอลิเมอร์ คอนกรีตจากเถ้าถ่านหิน”, Burapha Sci., J.๑๕ (๑) หน้า ๑๓-๒๒
- ชรินทร์ เสนาวงษ์ และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๔, “การแทรกซึมของคลอไรด์ในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าถ่าน หินภายใต้สภาวะแวดล้อมทะเล”, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ๒๑ (๒) : ๑๘๗-๑๙๕
- กิตติกร เจริญพร้อม และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๔, “ความลึกของการแทรกซึมคลอไรด์ในคอนกรีตที่แช่ใน สิ่งแวดล้อมทะเล”, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ๒๑ (๓) : ๒๕๗-๒๖๖

- วิเชียร ชาลี และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ๒๕๕๔, “ความสามารถในการกักเก็บคลอไรด์ในคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบเปลือกไม้ภายใต้สภาวะแวดล้อมทะเล”, วารสารวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ๓๔ (๓) : ๒๐๓-๒๑๓
- วิเชียร ชาลี และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ๒๕๕๔, “ปริมาณคลอไรด์วิกฤติของคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินภายใต้สิ่งแวดล้อมทะเล”, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ ๗ ฉบับที่ ๑ มกราคม – มิถุนายน ๒๕๕๔ หน้า ๒๑-๒๘
- วิเชียร ชาลี และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ๒๕๕๔, “การปรับปรุงความคงทนของคอนกรีตในสภาวะแวดล้อมทะเลโดยใช้เถ้าถ่านหิน”, Burapha Sci. J. ๑๖ (๒) : ๕๑-๖๒
- ปิยพงษ์ สุวรรณณิโชติและ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๕, “การแทรกซึมของคลอไรด์และการกัดกร่อนเหล็กในคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๕ ผสมเถ้าถ่านหินที่ได้จากการเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดและพูลเวอร์ไรซ์ ภายใต้สิ่งแวดล้อมทะเล”, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ๒๒ (๓), ๒๕๕๕: ๑-๑๓
- วิเชียร ชาลี และ กิรติกร เจริญพร้อม, ๒๕๕๕, “การต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟตของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าถ่านหิน”, วารสารวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ๓๕ (๒), หน้า ๑๕๓-๑๖๐
- ณัฐกร แนนทอง, วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๕, “การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ไม่ผ่านการบดในงานคอนกรีต”, Burapha Sci. J. ๑๗(๒) : ๓๘-๔๕
- วิเชียร ชาลี และ ชีรพงศ์ เชื้อพลบ, ๒๕๕๖, “การประเมินการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินภายใต้สภาวะแวดล้อมทะเลด้วยคลื่นอัลตราโซนิก”, วารสารวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี -๓๖(๒), หน้า ๑๕๓-๒๑๓
- วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๖, “ระดับคลอไรด์วิกฤติในคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบเปลือกไม้ที่แช่ในสภาวะแวดล้อมทะเล” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ๑๘(๒), หน้า ๑๓๒-๑๔๓
- กิรติกร เจริญพร้อม, วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๖ “ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำกับสัมประสิทธิ์การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตหลังแช่น้ำทะเล ๑๐ ปี”, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ๒๓ (๑),: ๑๐๓-๑๑๕
- กนกเนตร ชื่นนุกุล วริศรา โกระวิโยธิน และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๗ “ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออัตราการไหลของน้ำและกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตพูนจากเถ้าถ่านหิน” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ๒๔(๑)

บุญยวีร์ นิลรัตน์ วัฒนา พุทธิธาทา และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๘ “การประเมินการแทรกซึมของคลอไรด์ระยะยาวในคอนกรีตภายใต้สิ่งแวดล้อมทะเลจากผลทดสอบโดยวิธี Bulk diffusion test” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ๒๐(๑), หน้า ๓๕-๕๐

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๕ “การทำนายการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ภายใต้สภาวะแวดล้อมทะเล” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ๒๖(๑), หน้า ๑-๑๒

Panha Huy Soklam Mov และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๕ “การผลิตคอนกรีตบล็อก ชนิดรับน้ำหนักจากจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าถ่านหิน” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ๒๑(๒), หน้า ๓๑-๔๖

Reaksmeay Soeurt และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๕ “การปรับปรุงกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบโดยใช้ด่างเร่งปฏิกิริยา” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ๒๖(๓)

นำพล บุตรเชื้อไทย เทียง ชีวะเกตุ และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๖๐ “สัมประสิทธิ์การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ผสมมวลรวมจากเศษคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินภายใต้สิ่งแวดล้อมทะเลเป็นเวลา ๓ ปี” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ตีพิมพ์ ๒๕๖๐ ปีที่ ๒๗ ฉบับที่ ๓ หน้า ๔๔๑-๔๕๑

วิเชียร ชาลี และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๖๐ “ผลของอุณหภูมิปฏิกิริยาต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าถ่านหิน” วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ตีพิมพ์ ๒๕๖๐ ปีที่ ๔๐ ฉบับที่ ๓ หน้า ๓๕๕-๓๖๔

บทความประกอบการประชุมสัมมนาทางวิชาการระดับชาติ

เอนก ชมวงษ์, ไพบูล์ เงินรี, อนิรุทธ์ นิทัศน์, วิเชียร ชาลี “การประยุกต์ใช้อิฐมอดูตันเพื่อเป็นผนังรับน้ำหนัก”, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ ๑๒, ๑๕-๑๗ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๐, เพชรบุรี, หน้า MAT ๑๒๓-๑๒๕.

เอนก ชมวงษ์, เจ เนื่องจันทน์, ยศกร เพื่อกประดิษฐ์ และ วิเชียร ชาลี “การประยุกต์ใช้ไม้ไผ่แทนเหล็กในคานคอนกรีตเสริมแรง”, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ ๑๒, ๑๕-๑๗ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๐, เพชรบุรี, หน้า MAT ๒๐-๒๓.

ทศกัมพร หวานจันทร์ และ วิเชียร ชาลี “กำลังอัดและการแทรกซึมของคลอไรด์ในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าถ่านหินหลังแช่สิ่งแวดล้อมทะเลเป็นเวลา ๕ ปี”, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ ๑๒, ๑๕-๑๗ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๐, เพชรบุรี, หน้า MAT ๑๑๕-๑๒๒.

เทียง ชีวะเกตุ น้ำผึ้ง มะรังศรี ศาตญา นาคะปักษิณ และ วิเชียร ชาลี “ผลของความละเอียดของเถ้าแกลบค่าและความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าถ่านหินผสม

เจ้าแกลบดำ”, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๒๒, ๑๘-๒๐ กรกฎาคม ๒๕๖๐ นครราชสีมาหน้า ๑๘๓-๑๘๔.

ไคลีเกะ อุจิระ ภาณุพงศ์ พิสัยพันธ์ รัฐพล สมนา และ วิเชียร ชาลี “ผลของค่าแรงปฏิภณต่อกำลังอัดของคอนกรีตบดอัดจากเจ้าแกลบ”, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๒๒, ๑๘-๒๐ กรกฎาคม ๒๕๖๐ นครราชสีมาหน้า ๑๘๑-๑๘๖.

Reaksmey Soeurt รัฐพล สมนา และ วิเชียร ชาลี “ผลของค่าแรงปฏิภณต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์จากเจ้าถ่านหิน”, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ ๑๑, ๑๓-๑๕ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๕ นครราชสีมา หน้า ๑-๘.

Ponhsampatea Ly นิชา สุระกิจ และ วิเชียร ชาลี “จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตโฟมจากเจ้าถ่านหิน”, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ ๑๑, ๑๓-๑๕ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๕ นครราชสีมา หน้า ๑-๘.

เอกรัตน์ สักขานนท์ รัฐพล สมนา และ วิเชียร ชาลี “กำลังอัด การซึมของน้ำ และระยะคลอไรด์แทรกซึมของคอนกรีตที่ใช้เจ้าแกลบบดละเอียดในส่วนผสม”, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ ๑๑, ๑๓-๑๕ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๕ นครราชสีมา หน้า ๑-๘.

PONHSAMPATEA LY กิรติกร เจริญพร้อม เทียง ชีวะเกตุ และ วิเชียร ชาลี “ผลของเจ้าปาล์มน้ำมันต่อความสามารถในการกักเก็บคลอไรด์ในคอนกรีตภายใต้สภาวะแวดล้อมทะเล”, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๒๐, ๘-๑๐ กรกฎาคม ๒๕๕๘ พัทยา ชลบุรี หน้า ๑-๖.

REAKSMEY SOEURT PONHSAMPATEA LY และ วิเชียร ชาลี “กำลังอัดและการกักก่่อนเหล็กเสริมในคอนกรีตที่ผสมเจ้าถ่านหินที่แช่ในสิ่งแวดล้อมทะเลเป็นระยะเวลา ๑๕ ปี”, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๒๐, ๘-๑๐ กรกฎาคม ๒๕๕๘ พัทยา ชลบุรี หน้า ๑-๖.

ณัฐวุฒิ ธารเนตร ธรรมชาติ มูลสาร และ วิเชียร ชาลี “วัสดุประสานจากเจ้าถ่านหินและสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์”, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๒๐, ๘-๑๐ กรกฎาคม ๒๕๕๘ พัทยา ชลบุรี หน้า ๑-๖.

ปิยพงษ์ สุวรรณณิโชติ และ วิเชียร ชาลี “ระยะเวลากักก่่อนเริ่มต้นของเหล็กเสริมในคอนกรีตที่ผสมเจ้าแกลบเปลือกไม้ภายใต้สิ่งแวดล้อมทะเล”, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๕, ๑๔-๑๖ พฤษภาคม ๒๕๕๓ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น หน้า ๘๓๑-๘๓๖.

นำพล บุตรเชื้อไทย เทียง ชีวะเกตุ และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๖, “การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ทำจากมวลรวมจากเศษคอนกรีตที่ผสมเจ้าถ่านหินภายใต้สภาวะแวดล้อมทะเล”การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๘, ๘-๑๐ พฤษภาคม ๒๕๕๖ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ หน้า MAT๑๑๓-MAT๑๑๘.

วิชัย พรหมรักษ์, อภิชาติ ทุมสุค และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๖, “การป้องกันการกัดกร่อนของคอนกรีตเสริมเหล็กในสิ่งแวดล้อมทะเลโดยใช้กากเคลเซียมคาร์ไบด์”การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๘, ๘-๑๐ พฤษภาคม ๒๕๕๖ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ หน้า MAT๑๐๗-MAT๑๑๒

กิริติกร เจริญพร้อม เทียง ชีวะเกตุ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๖, “ผลของเถ้าปาล์มน้ำมันต่อสัมประสิทธิ์การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตภายใต้สภาวะแวดล้อมทะเล”การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๘, ๘-๑๐ พฤษภาคม ๒๕๕๖ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ หน้า MAT๒๓๔-MAT๒๓๘

กิริติกร เจริญพร้อม เทียง ชีวะเกตุ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๔, “การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันบดละเอียดที่แช่ในสิ่งแวดล้อมทะเล”การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ ๗, ๑๕-๒๑ ตุลาคม ๒๕๕๔ อำเภอเมือง จังหวัดระยอง หน้า MAT๕๔-MAT๑๐๐.

วิเชียร ชาลี, ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ,ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ ธวัชชัย สาสกุล ๒๕๕๓, “ผลของเถ้าถ่านหิน ๓ แหล่งต่อการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่แช่น้ำทะเล”,การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ ๖, ๒๐-๒๒ ตุลาคม ๒๕๕๓ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี หน้า ๔๐-๔๘.

ชรินทร์ เสนาวงษ์ อธิพิพล วิไลลักษณ์และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๒, “การทำคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากเถ้าก้นเตาระบบฟลูอิดไดซ์เบด”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ ๑๔, ๑๓-๑๕ พฤษภาคม ๒๕๕๒, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี หน้า ๑๕๘๗-๑๕๙๒

ชรินทร์ เสนาวงษ์ เกียรติสุดา สมณา ปริญญญา จินดาประเสริฐ และ วิเชียร ชาลี, “คุณสมบัติเชิงกลของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าถ่านหิน”, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ ๕, ๒๐-๒๒ ตุลาคม ๒๕๕๒

ศิชน คุณทอง เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ และ วิเชียร ชาลี, “ขนาดของเสียประเภทพลาสติกที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา”, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ วิศวกรรม และการจัดการสิ่งแวดล้อมครั้งที่ ๑, ๒๒-๒๓ กันยายน ๒๕๕๒, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า ๓๕-๔๔

ศิชน คุณทอง เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ และ วิเชียร ชาลี, “ปริมาณของเสียประเภทพลาสติกที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา”, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ ๓๕, ๑๕-๑๗ ตุลาคม ๒๕๕๒, เดอะไทด์รีสอร์ท ชลบุรี

P. Suwanmaneechot , C. Jaturapitakkul and W. Chalee , ๒๕๕๑, “Water permeability of fly ash concrete in marine environment”, การประชุมวิชาการคอนกรีตและจีโอพอลิเมอร์แห่งชาติครั้งที่ ๒, ๕-๖ กันยายน ๒๕๕๑, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น หน้า ๔๘-๕๕.

รัฐพล สมณา วิเชียร ชาลี และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ๒๕๕๑, “ผลกระทบของเถาถ่านหิน ๓ แหล่ง ต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต”, การประชุมวิชาการคอนกรีตและจีโอพอลิเมอร์แห่งชาติครั้งที่ ๒, ๕-๖ กันยายน ๒๕๕๑, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น หน้า ๑๐๗-๑๑๒.

วิเชียร ชาลี และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ๒๕๕๑, “ความสัมพันธ์ระหว่างการแทรกซึมของคลอไรด์โดยวิธีเร่งกับสัมประสิทธิ์การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีต”, การประชุมวิชาการคอนกรีตและจีโอพอลิเมอร์แห่งชาติครั้งที่ ๒, ๕-๖ กันยายน ๒๕๕๑, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น หน้า ๖๖-๗๒.

วิเชียร ชาลี และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ๒๕๕๐, “สัมประสิทธิ์การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ผสมเถาถ่านหินที่แช่ในสภาวะแวดล้อมทะเล”, การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติครั้งที่ ๑, ๒๔-๒๖ ตุลาคม ๒๕๕๐, โรงแรมทองบิซ การ์เด็น โฮเทล แอนด์ สปา, พัทยา ชลบุรี หน้า ๑๐๓-๑๐๕

รัชชัช ศาสกุล , ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ, วิเชียร ชาลี, ชัย จาตุรพิทักษ์กุลและ เอกชัย ภัทรวงษ์ไพบุรย์, ๒๕๕๐, “กำลังอัดและการซึมผ่านคลอไรด์ในคอนกรีตที่ใช้เถาถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๕ ในสภาพแวดล้อมทะเล”, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ ๑๒, ๒-๔ พฤษภาคม ๒๕๕๐, โรงแรมอมรินทร์ลากูน จ. พิษณุโลก หน้า ๔๑-๔๖

Wichian Chalee, Prasit Ausapanit and Chai Jaturapitakkul, “A model for predicting the required cover depth of fly ash concrete in marine environment, Annual Concrete Conference ๒, Udon Thani, ๒๐๐๖.

Chalee, W., Teekavanit, M., and Jaturapitakkul, C., “Compressive Strength and Chloride Penetration Profile of Fly Ash Concrete under ๔-Year Exposure in Sea Water”, International Conference on Pozzolan, Concrete and Geopolymer, May ๒๔-๒๕, ๒๐๐๖, Khon Kaen, Thailand, pp. ๑๘๐-๑๘๘.

Smith Songpiriyakij, Wichian Chalee, Chai Jaturapitakkul, “Model for Predicting Compressive Strength of Fly Ash Concrete from Fly Ash Fineness,” Proceeding of ๘th National Convention on Civil Engineering, Khon Kean, ๒๐๐๓.

ธีรวัฒน์ สีนศิริ, วิเชียร ชาลี, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ, ๒๕๔๖, "ผลกระทบของความสะดวกต่อการเข้าถึงต่อกำลังอัดและโครงสร้างโพรงในเพสต์", การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ ๑, ๑๔-๑๖ พฤษภาคม, กาญจนบุรี, หน้า ๒๒๕-๒๓๒.

วิเชียร ชาลี, มณเฑียร ทิฆมาณิช, ประสิทธิ์ อุตสาหพานิช, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ, ๒๕๔๘, "ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานและระยะหุ้มเหล็กต่อการกัดกร่อนในคอนกรีตผสมเถ้าลอยในสภาวะแวดล้อมทะเล", การประชุมวิชาการเทคโนโลยี และนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน, ๒๕-๒๖ มกราคม ๒๕๔๙, ขอนแก่น, หน้า ๕๒๗-๕๓๒.

อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์, ชาญชัย พลตรี, และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๔๘, "การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของวัสดุจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าถ่านหิน", การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ ๑๐, ๒-๔ พฤษภาคม ๒๕๔๘, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี้ จอมเทียน พัทยา ชลบุรี