



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

การผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักโดยใช้จีโอพอลิเมอร์จากเถ้าแกลบจากโรงงาน

โดยตรง

(Utilization of coarse original rice husk ash-based geopolymer in hollow load-bearing concrete masonry blocks)

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายวิเชียร ชาลี

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

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

รหัสโครงการ 352279

สัญญาเลขที่ 104/2560

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเรื่อง

การผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักโดยใช้จีโอพอลิเมอร์จากเถ้าแกลบจากโรงงาน

โดยตรง

(Utilization of coarse original rice husk ash-based geopolymer in hollow load-bearing concrete masonry blocks)

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายวิเชียร ชาติ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

พฤษภาคม 2561

ทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ตามที่ นายวิเชียร ชาลี พนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่งรองศาสตราจารย์ สังกัดภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย เรื่อง “การผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักโดยใช้โพลิเมอร์จากเต้าแกลบจากโรงงานโดยตรง” จากทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มีงบประมาณทั้งโครงการ 441,000 บาท ขณะนี้ผลการดำเนินการวิจัยเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว

รายละเอียดของโครงการวิจัย

ผู้เสนอ	:	นายวิเชียร ชาลี
หน่วยงาน	:	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ระยะเวลาดำเนินการ	:	12 เดือน
งบประมาณ	:	441,000 บาท

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง โดยทำการทดสอบกำลังอัด และการดูดซึมน้ำ โดยเตรียมจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากจากเถ้าแกลบที่ไม่ผ่านการบดและเถ้าถ่านหิน (เถ้าแกลบ:เถ้าถ่านหิน เท่ากับ 50:50 โดยน้ำหนัก) สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งกำหนดอัตราส่วนระหว่าง Si/Al คงที่ และใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 12, 14, 16 และ 18 โมลาร์ และใช้ปริมาณหินฝุ่นเป็นมวลรวมแทนที่ในอัตราส่วน (เถ้าแกลบ+เถ้าถ่านหิน):หินฝุ่น เท่ากับ 1:4, 1:6 และ 1:8 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้น ทำการอัดจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในเครื่องอัดคอนกรีตบล็อก โดยบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในอากาศที่อุณหภูมิห้อง (25°C) และบ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นบ่มในอากาศที่อุณหภูมิห้องจนถึงอายุทดสอบ ในการศึกษาจะทดสอบกำลังอัด ความหนาแน่น ที่อายุ 7, 14, และ 28 วัน ตลอดจนทดสอบการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน

ผลการศึกษาพบว่า การใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH และอุณหภูมิบ่มที่สูงขึ้น ส่งผลให้จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบผสมเถ้าถ่านหินมีกำลังอัดสูงขึ้นและการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง โดยเห็นผลชัดเจนในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่ใช้มวลรวมปริมาณต่ำมากกว่าปริมาณสูง การใช้มวลรวมผสมในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกลดลง ตลอดจนการใช้อุณหภูมิในการบ่ม 65°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก สูงกว่ากลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้อง 25°C อย่างชัดเจน โดยอุณหภูมิบ่มที่สูงขึ้นมีประสิทธิภาพต่อการเพิ่มกำลังอัดในกลุ่มที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่ำ มากกว่าความเข้มข้นของสารละลาย NaOH สูง

คำสำคัญ : คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก, เถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง, กำลังอัด, ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์, จีโอพอลิเมอร์

Abstract

This research aims to study the effects of aggregate content, sodium hydroxide (NaOH) concentration and curing temperature on compressive strength and water absorption of load-bearing geopolymer concrete block. Original coarse rice husk ash blended with Mae Moh fly ash at the percentage by weight of 50:50 was used as a binder. Sodium silicate (Na_2SiO_3) and sodium hydroxide (NaOH) solutions were also mixed with the binder to produce geopolymer concrete block. The molar ratio of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ in each mixture was maintained constantly and NaOH solution concentrations were varied at 12, 14, 16, and 18 molars. Dust limestone was also used as an aggregate in the mixture at various weight ratios between the binder to aggregate of 1:4 (S), 1:6 (M) and 1:8 (L). The geopolymer concrete blocks were produced by using the Cinva-Ram machine. The specimens were then arranged into two groups at the temperatures of 25°C (room temperature) and 65°C for the first 24-hour curing and then all the specimens were cured in room temperature until the testing ages. The geopolymer concrete block specimens were tested for compressive strength at 7, 14, and 28 days and its water absorption was tested at 28 days.

The results showed that higher NaOH solution concentration led to higher compressive strength and lower water absorption of rice husk ash blended with fly ash geopolymer concrete block. These effects were evidently found in geopolymer concrete blocks with low aggregate content than in those with high aggregate content. Increase of aggregate content in the mixture also decrease compressive strength of geopolymer concrete block. In addition, geopolymer concrete blocks, which were cured at 65°C for 24 hours apparently yielded higher compressive strength than those cured at 25°C (room temperature). Besides, high curing temperature has a greater effect to increase compressive strength of geopolymer concrete block with lower NaOH concentration than that with higher NaOH concentration.

Keywords: Load-bearing geopolymer concrete masonry block, Original rice husk ash, Compressive strength, Sodium hydroxide concentration, Geopolymer

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้ความสะดวกด้านเครื่องมือและห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ธุรการ และช่างเทคนิคประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ช่วยประสานงานและช่วยเหลือเป็นอย่างดี ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนจากรัฐบาล (งบประมาณเงินแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 104/2560

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นฐานข้อมูล เพื่อส่งเสริมการใช้งานวัสดุประสานจากจีโอพอลิเมอร์ ที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นสารตั้งต้น และไม่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ให้สามารถใช้งานในอุตสาหกรรมก่อสร้างได้อย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น

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	5
2.2 จีโอโพลิเมอร์	10
2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์	13
2.4 โซเดียมซลิเกต	14
2.5 คอนกรีตบดอัด	15
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	29
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	29
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ	29
3.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ	30
3.4 การทดสอบตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตบดอัด	32

สารบัญเนื้อหา

เนื้อหา	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล	34
4.1 สมบัติของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา	34
4.2 การพัฒนากำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือค	36
4.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์ คอนกรีตบดลือค	38
4.4 ผลของปริมาณมวลรวมต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคจาก ถ้ำแกลบและถ้ำถ่านหิน	41
4.5 ผลของอุณหภูมิต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคจากถ้ำแกลบ และถ้ำถ่านหิน	43
4.6 การดูดซึมน้ำของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือค	44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผล	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก ก ผลผลิต (Output)	50
ภาคผนวก ข รายงานการเงิน	62
ภาคผนวก ค ประวัตินักวิจัย	64

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ข้อกำหนดในการใช้เก้าอี้กลายเป็นวัสดุพอลิโพรพิลีน	10
2.2	การเปรียบเทียบการสังเคราะห์ซีโอไลต์และจีโอพอลิเมอร์	12
2.3	ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก	20
2.4	ความหนาของเปลือกและผนังกันโพรง	22
2.5	ขนาดของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก	22
2.6	ความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ	24
2.7	ความชื้น	24
3.1	ส่วนผสมจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเก้าอี้	31
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน	35
4.2	กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเก้าอี้ผสมเก้าอี้กันที่บ่มที่อุณหภูมิห้องและบ่มที่อุณหภูมิ 65°C	37

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพถ่ายขยายผิวของเส้นใยที่ได้จากการเผา	6
2.2 เส้นใยคาร์บอน	8
2.3 กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเส้นใย	9
2.4 การเกิดสารจีโอพอลิเมอร์	11
2.5 โครงสร้างของสารจีโอพอลิเมอร์หรือโพลีไซอะเลต	13
2.6 ดิแทคบล็อก	16
2.7 ดิแทคบล็อกจากชนิดซาโตว์บล็อก	17
2.8 การใช้อินเตอร์ล็อกกับบล็อก	18
2.9 ลักษณะและขนาดของอินเตอร์ล็อกกับบล็อก	19
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ	30
3.2 การเตรียมตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก	32
3.3 การตัดตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกสำหรับทดสอบกำลังอัด	33
4.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยคาร์บอนที่ใช้ในการศึกษา	35
4.2 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยคาร์บอนที่ใช้ในการศึกษา	36
4.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่อายุบ่ม 7 วัน	39
4.4 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่อายุบ่ม 28 วัน	40
4.5 ผลของปริมาณมวลรวมต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่อายุบ่ม 28 วัน	42
4.6 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อประสิทธิภาพของอุณหภูมิบ่มในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก ที่ใช้มวลรวมปริมาณน้อย (1:4) ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน	44
4.7 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อการดูดซึมน้ำของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเส้นใยคาร์บอนผสมเส้นใยคาร์บอน	45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถ้ำแกลบดำเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นการเผาแบบปิด ลักษณะทางกายภาพของถ้ำแกลบมีขนาดและรูปร่างของอนุภาคไม่แน่นอน เป็นเหลี่ยมมุม มีผิวขรุขระ และมีความพรุนสูง อนุภาคมีรูปร่างอยู่ภายใน ซึ่งเป็นข้อดีของถ้ำแกลบในการนำมาใช้เป็นวัสดุพอลิเมอร์ในงานคอนกรีต อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของถ้ำแกลบดำพบว่า มีซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ประมาณร้อยละ 80 – 90 (Tangchirapat, et al., 2008; อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ปริญา จินดาประเสริฐ, 2552) ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก และเป็นข้อเด่นที่ส่งผลดีต่อการนำมาใช้เพื่อเป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีต การที่ถ้ำแกลบมีอนุภาคหยาบ ฝุ่น และมีความพรุน ถือเป็นอุปสรรคสำคัญในการนำถ้ำแกลบมาใช้ในงานคอนกรีต เพราะถึงแม้จะมีองค์ประกอบทางเคมีที่ดี แต่การเกิดปฏิกิริยาที่ส่งผลให้วัสดุประสานมีการรับแรงได้ จะต้องมีส่วนประกอบทางกายภาพที่ดีด้วย เช่น ความละเอียดสูง การดูดน้ำต่ำ ความพรุนต่ำ เป็นต้น การศึกษาที่ผ่านมา (Feng, et al., 2004; บุรฉัตรฉัตรวิระ และ ณัฐ ภาณุ, 2555; Reaksmeey Soeurt และ วิเชียร ชาลิม, 2559) พบว่า การบดถ้ำแกลบให้มีความละเอียดสูง สามารถใช้เป็นวัสดุประสานที่ให้กำลังกับคอนกรีตได้ดี ไม่ว่าจะอยู่ในรูปของวัสดุพอลิเมอร์ หรือ วัสดุจีโอพอลิเมอร์ แต่การบดถ้ำแกลบให้มีความละเอียดสูง ก็ทำให้มีต้นทุนการผลิตที่สูงด้วย

แนวทางการศึกษาเพื่อนำถ้ำแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรงมาใช้ในการก่อสร้าง ควรเริ่มจากวัสดุก่อสร้างที่ไม่ต้องการความแข็งแรงสูง เพื่อใช้ในการก่อสร้างที่มีการรับแรงเชิงกลไม่ซับซ้อน ปัจจุบันมีการศึกษาวัสดุประสานเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง โดยไม่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสม ที่เรียกว่า วัสดุจีโอพอลิเมอร์ ซึ่งวัสดุดังกล่าวนี้ ได้ใช้สารพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยซิลิกาและอะลูมิเนียมเป็นหลัก มาผสมกับค่าอัลคาไลไฮดรอกไซด์ สารละลายโซเดียมซิลิเกต และเร่งปฏิกิริยาด้วยความร้อน สามารถก่อตัวและแข็งตัวให้กำลังรับแรงได้ สารพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กัน ได้แก่ ถ้ำลอย และดินขาวเผา ซึ่งเริ่มมีการศึกษาโดยใช้สารตั้งต้นอื่นๆ ที่มีในประเทศมากขึ้น เช่น ถ้ำชีวมวลที่เกิดจากการเผาจากผลผลิตทางการเกษตร เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ถ้ำแกลบ ถ้ำแกลบเปลือกไม้ ถ้ำขานอ้อย ถ้ำปาล์มน้ำมัน เป็นต้น

การส่งเสริมการใช้งานวัสดุประสานจากจีโอพอลิเมอร์ ในวัสดุก่อสร้างที่ทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน โดยเน้นที่วัสดุตั้งต้นที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำได้ง่าย ก็จะเป็นประโยชน์อย่างมาก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงต้องการประยุกต์ใช้วัสดุประสานจากจีโอพอลิเมอร์จากถ้ำแกลบที่ได้จาก

โรงงานโดยตรง โดยไม่ต้องผ่านการบดให้มีค่าใช้จ่ายมากขึ้น ในงานคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก โดยมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวงอุตสาหกรรม (มาตรฐาน มอก. 57-2533) ได้กำหนดให้คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักต้องมีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 14 MPa (140 กก/ซม.²) โดยแต่ละก้อนต้องมีกำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 11 MPa (110 กก/ซม.²)

อย่างไรก็ตามการทำวัสดุจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าแกลบยังจำเป็นต้องหาลูมิน่าจากแหล่งอื่น เนื่องจากเถ้าแกลบมีลูมิน่าต่ำมาก ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้เถ้าถ่านหินเป็นแหล่งให้สารประกอบลูมิน่ากับวัสดุจีโอพอลิเมอร์ โดยมุ่งประเด็นที่ ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณหินฝุ่น และ อุณหภูมิบ่ม ต่อกำลังอัดและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1) เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อกำลังอัด และการดูดซึมน้ำ ในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่ใช้จีโอพอลิเมอร์เพสต์จากเถ้าแกลบค่าที่ได้จากโรงงานโดยตรง เป็นวัสดุประสาน โดยใช้เถ้าถ่านหินผสมเพื่อให้สารประกอบลูมิน่าในจีโอพอลิเมอร์

1.2.2) เพื่อศึกษาผลของปริมาณของมวลรวมหยาบ ต่อกำลังอัด และการดูดซึมน้ำ ในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก ที่ใช้จีโอพอลิเมอร์เพสต์จากเถ้าแกลบค่าที่ได้จากโรงงานโดยตรง เป็นวัสดุประสาน โดยใช้เถ้าถ่านหินผสมเพื่อให้สารประกอบลูมิน่าในจีโอพอลิเมอร์

1.2.3) เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่บ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก ต่อกำลังอัด และการดูดซึมน้ำ ในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่ใช้จีโอพอลิเมอร์เพสต์จากเถ้าแกลบค่าที่ได้จากโรงงานโดยตรง เป็นวัสดุประสาน โดยใช้เถ้าถ่านหินผสมเพื่อให้สารประกอบลูมิน่าในจีโอพอลิเมอร์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้จะศึกษาการผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก จากจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง โดยทำการทดสอบกำลังอัด และการดูดซึมน้ำ โดยเตรียมจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากจากเถ้าแกลบที่ไม่ผ่านการบด โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งกำหนดอัตราส่วนระหว่าง Si/Al คงที่ และใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 12, 14, 16 และ 18 โมลาร์ และใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมแทนที่ในสัดส่วนที่ต่างกัน 3 ขนาด โดยใช้อัตราส่วน (เถ้าแกลบ+เถ้าถ่านหิน):หินฝุ่น เท่ากับ 1:4, 1:6 และ 1:8 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้น ทำการอัดจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในเครื่องอัดคอนกรีตบล็อก โดยจะบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในอากาศและบ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นใช้พลาสติกใสรอบไว้และบ่มที่อุณหภูมิห้องจนถึงอายุทดสอบ ในการศึกษาจะทดสอบกำลังอัด ความหนาแน่น ที่อายุ 7, 14, และ 28 วัน ตลอดจนทดสอบการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงสัดส่วนผสมในการผลิตจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก จากแก้ว แกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรง ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และปริมาณมวลรวมหยาบ ตลอดจนอนุมัติในการบ่มเริ่มต้น เพื่อให้ได้คอนกรีตบล็อกที่มีกำลังอัดสูง การดูดซึมน้ำต่ำ และความหนาแน่นต่ำ และสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตคอนกรีตบล็อกโดยไม่ใช้ปูนซีเมนต์ ให้สามารถใช้งานได้จริงในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

1.4.2 เป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางอุตสาหกรรมไปสร้างมูลค่า โดยใช้ให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ตลอดจนเป็นการลดพลังงาน ลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดปัญหาโลกร้อนได้อีกทางหนึ่งด้วย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมกับทราย หินฝุ่น หรือหิน 3/8 นิ้ว และน้ำ ผสมให้เข้ากันดีแล้วนำไปใส่เครื่องอัดในแบบเหล็กให้แน่น แล้วนำเอาออกจากแบบไปบ่มในที่ร่มประมาณ 7-14 วัน จึงจะมีความแข็งตัวพอที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้างได้ คอนกรีตบล็อกมีทั้งแบบรับน้ำหนัก (load-bearing concrete masonry blocks) และไม่รับน้ำหนัก (concrete masonry blocks) ซึ่งมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวงอุตสาหกรรม (มอก. 57-2533) ได้กำหนดให้คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักต้องสามารถรับน้ำหนักได้ไม่ต่ำกว่า 110 กก/ซม² ส่วนคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวงอุตสาหกรรม (มอก. 58-2533) ได้กำหนดให้รับน้ำหนักได้ไม่ต่ำกว่า 25 กก/ซม² การผลิตคอนกรีตบล็อกส่วนใหญ่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน แต่ใช้ในปริมาณที่ต่ำเนื่องจากต้องการกำลังอัดไม่สูงมาก ตลอดจนการอัดคอนกรีตบล็อกด้วยแรงกดในกระบวนการผลิต ก็มีผลให้คอนกรีตบล็อกสามารถรับแรงได้ดีขึ้นด้วย

แนวคิดของการผลิตคอนกรีตโดยไม่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสม เริ่มจากการใช้สารปอซโซลานที่ประกอบด้วยซิลิกาและอะลูมิเนียมเป็นหลัก เมื่อผสมกับด่างอัลคาไลไฮดรอกไซด์ สารละลายโซเดียมซิลิเกต และเร่งปฏิกิริยาคด้วยความร้อน สามารถก่อตัวและแข็งตัวให้มีกำลังรับแรงได้ สามารถใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานเช่นเดียวกับซีเมนต์เพสต์ สารปอซโซลานที่นิยมใช้กัน ได้แก่ เถ้าลอย และดินขาวเผา ซึ่งสารจีโอพอลิเมอร์จะใช้หลักการของการทำปฏิกิริยาของซิลิกา (Si) และอะลูมิเนียม (Al) ให้เป็นโมเลกุลลูกโซ่ในลักษณะของพอลิเมอร์ โดยการทำปฏิกิริยาลูกโซ่ที่เกิดจากซิลิกอนและอะลูมิเนียมจะใช้สารละลายที่เป็นด่างสูง โดยใช้ความร้อนเป็นตัวกระตุ้น จะได้สารซีเมนต์ที่สามารถรับกำลังได้ โดยโครงสร้างของจีโอพอลิเมอร์นี้จะแตกต่างจากโครงสร้างของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์อย่างสิ้นเชิง โครงสร้างของโมเลกุลลูกโซ่ของจีโอพอลิเมอร์จะแตกต่างกันไป ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ Si : Al ของสารตั้งต้น จีโอพอลิเมอร์จะต้องใช้ความร้อนในการเร่งการเกิดปฏิกิริยา จีโอพอลิเมอร์ไรเซชัน (Geopolymerization) โดยต้องใช้ความร้อนในช่วง 60-90 องศาเซลเซียส ปัจจุบันพบว่า การผสมวัสดุจีโอพอลิเมอร์ให้สามารถทำปฏิกิริยาสมบูรณ์ได้ในอุณหภูมิปกติ (Ambient Temperature) โดยไม่ต้องใช้ความร้อนในการช่วยเร่งปฏิกิริยาอีกต่อไป ผลผลิตจากวัสดุจีโอพอลิเมอร์ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การนำไปใช้ในงานก่อสร้างหรืองานคอนกรีตและมอร์ตาร์ ซึ่งในปัจจุบันเริ่มนำมาใช้งานในต่างประเทศแล้ว การใช้เถ้าแกลบซึ่งเป็นเถ้าชีวะมวลที่ได้จากการเผาแกลบใน

กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า และมีปริมาณของซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ในปริมาณที่สูงมาก (ประมาณร้อยละ 80 – 90) น่าจะทำให้ผลดีในการผลิตเป็นวัสดุโพลีเมอร์ เพื่อเป็นวัสดุประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก โดยถ้าแกลบที่นำมาใช้จะไม่มีการบดเพื่อปรับปรุงคุณภาพ เนื่องจากต้องการประหยัดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตและเพื่อความสะดวกในการนำแกลบมาใช้งาน ตลอดจนกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ต้องการไม่สูงมาก และในกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกมีการอัดเพื่อขึ้นรูปเป็นก้อนซึ่งมีผลให้การอัดตัวของวัสดุมีกำลังอัดสูงขึ้นอีกด้วย อย่างไรก็ตามการทำวัสดุโพลีเมอร์จากแกลบยังจำเป็นต้องหาลูมิน่าจากแหล่งอื่นเนื่องจากแกลบเองมีลูมิน่าต่ำมาก ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้แกลบหินเป็นแหล่งให้สารประกอบลูมิน่ากับวัสดุโพลีเมอร์ โดยทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีรายละเอียดดังนี้

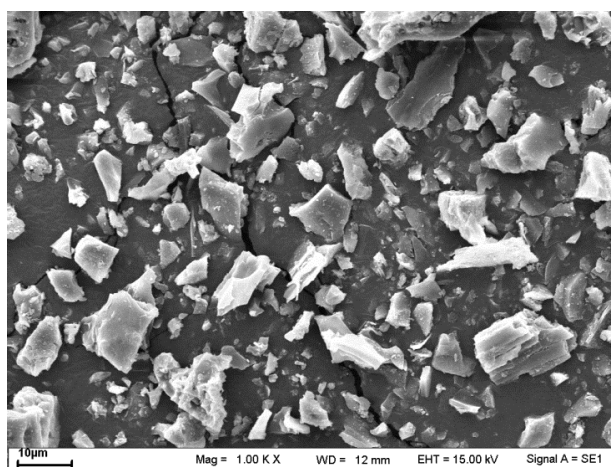
2.1 แกลบ (อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และปริญญา จินดาประเสริฐ, 2552)

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของแกลบ

แกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้ผสมดินเหนียวทำอิฐเผา แต่ก็ยังคงมีแกลบเหลือทิ้งอีกจำนวนมาก การนำแกลบไปเผาจะได้แกลบสีเทาขาวเหลือประมาณ 20% โดยน้ำหนัก จากการวิเคราะห์ทางเคมีของแกลบ สารประกอบหลักที่สำคัญคือ ซิลิกา ซึ่งมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 90 การเผาที่อุณหภูมิที่พอเหมาะจะทำให้ซิลิกาอยู่ในรูปอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งมีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา แกลบสามารถใช้เป็นสารปอซโซลานได้ แกลบที่ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมมีทั้งแกลบขาวและแกลบดำ ซึ่งให้คุณสมบัติที่แตกต่างกันดังนี้

แกลบขาวเป็นพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมอญ แกลบที่มีสีขาวนี้เป็นผลมาจากกระบวนการเผาเป็นระบบเปิด (Opened Burning Process) ข้อดีของแกลบจากแหล่งผลิตคือ มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ หยิบและมีความพรุนสูงทำให้ศักยภาพการใช้งานทางด้านวิศวกรรมต่ำ ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติของแกลบเพิ่มเติมโดยวิธีการที่ง่ายที่สุดคือ การบดให้ละเอียด แกลบขาวมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ในปริมาณมาก ส่วนแกลบดำเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นการเผาแบบระบบปิด (Closed Burning Process) โดยองค์ประกอบทางเคมีของแกลบดำจะมีซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ประมาณร้อยละ 80 – 90 ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก ลักษณะทางกายภาพของแกลบมีขนาดและรูปร่างของอนุภาค จะไม่แน่นอน เป็นเหลี่ยมมุม มีผิวขรุขระ และมีความพรุนสูง อนุภาคมีรูโพรงอยู่ภายใน ปริมาณของซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ที่สูงในแกลบ ประเทศไทยได้แกลบจากการสีข้าวประมาณ 5 ล้านตันใน 1 ปี ในแต่ละตันของข้าวเปลือกเมื่อสีแล้วจะมีแกลบอยู่ประมาณ 200 กก. และเมื่อนำแกลบไปเผาจะได้แกลบ (rice husk ash) ประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักของแกลบหรือประมาณ 40 กก. การเผาแกลบที่อุณหภูมิในช่วง 600 ถึง 800 องศาเซลเซียส จะทำให้ SiO_2 อยู่

ในรูปไม่เป็นผลึกซึ่งมีความไวต่อการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน ภาพขยายของอนุภาคเถ้าแกลบแสดง
 ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 ภาพถ่ายขยายผิวของเถ้าแกลบที่ได้จากการเผา

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของแกลบ (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547; อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และปริญญา จินดาประเสริฐ, 2552)

เถ้าแกลบที่เผาได้สมบูรณ์จะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 90 นอกจากนี้จะเป็นออกไซด์ของโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ ปริมาณการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on ignition, LOI) จะค่อนข้างต่ำ (ไม่เกินร้อยละ 5) ปริมาณ LOI ส่วนใหญ่จะเป็นคาร์บอน (Carbon) และสารเผาไหม้ไม่หมด ซึ่งถ้ามีปริมาณสูงแสดงว่าเถ้าแกลบผ่านการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และมีผลต่อการนำไปใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ โดยจะเพิ่มความต้องการน้ำทำให้กำลังรับแรงลดลงได้ ปริมาณคาร์บอนและส่วนที่ยังเหลือจากการเผาไหม้ถ้ามีปริมาณสูงจะทำให้ปริมาณซิลิกาตกลงด้วย

2.1.3 ลักษณะทางกายภาพของเถ้าแกลบ (อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และปริญญา จินดาประเสริฐ, 2552)

- ความถ่วงจำเพาะ(ถ.พ.)

ความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบขึ้นอยู่กับวิธีการเผา เถ้าแกลบที่ไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีคาร์บอนเหลืออยู่มากและจะมี ถ.พ.ต่ำ เถ้าแกลบที่เผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์มีค่าระหว่าง 1.9 - 2.3

- ความละเอียด (ปริญญา จินดาประเสริฐ และคณะ, 2554)

ความละเอียดของถ้ำเกลบจะขึ้นอยู่กับเวลาและวิธีในการบดแล้ว ยังขึ้นกับวิธีการเผา อุณหภูมิ และปริมาณอากาศที่อุณหภูมิสูงกว่านี้พื้นที่ผิวจะลดลงอย่างมาก การลดลงของพื้นที่ผิวเกิดจากการเป็นผลึกและการทำลายโครงสร้างเซลล์ที่มีรูพรุนในการเผาที่ 750 องศาเซลเซียส ในเตาปฏิกรณ์แบบทอร์เบค ความละเอียดของถ้ำเกลบที่ไม่ได้บดมีค่าเท่ากับ 100 ตารางเมตร/กรัม และเพิ่มเป็น 229 ตารางเมตร/กรัม เมื่อเผาโดยเพิ่มอากาศเข้าไป ถ้ำเกลบเทาขาวที่เผาที่อุณหภูมิพอเหมาะจะบดละเอียดได้ง่ายกว่าถ้ำเกลบดำโรงสี ถ้ำเกลบเทาขาวจะมีความละเอียด 14,300 ตารางเซนติเมตร/กรัม (เมื่อวัดโดยวิธีของ Blaine) ส่วนถ้ำเกลบดำโรงสีมีความละเอียด 9,500 ตารางเซนติเมตร/กรัม การวัดขนาดของอนุภาคถ้ำเกลบนิยมใช้พื้นที่ผิว การวัดพื้นที่ผิวโดยวิธีของเบลนจะให้ค่าความละเอียดของถ้ำเกลบที่เพิ่มขึ้นไม่เท่ากันกับการวัดพื้นที่ผิวโดยวิธี BET พื้นที่ผิวเกลบเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการบดเพิ่มเมื่อวัดโดยวิธีของเบลน ซึ่งเป็นการวัดพื้นที่ผิวโดยอ้อม พื้นที่ผิวเกลบเพิ่มขึ้นจาก 8,500 ตารางเซนติเมตร/กรัม เป็น 13,000 ตารางเซนติเมตร/กรัม วิธี BET เป็นการวัดพื้นที่ผิวโดยตรงด้วยการดูดซับที่ผิวถ้ำเกลบด้วยก๊าซ จึงวัดพื้นที่ผิวทั้งหมดรวมพื้นที่ผิวของโพรงในเนื้อถ้ำเกลบด้วย ในการบดถ้ำเกลบจะละเอียดขึ้นแต่พื้นที่ผิวถ้ำเกลบเมื่อวัดโดยวิธี BET ที่วัดได้จะเพิ่มขึ้นไม่มากนักและบางครั้งอาจลดลง เนื่องจากในการบดจะเกิดการแตกตัวและการรวมตัวของถ้ำเกลบที่ละเอียด

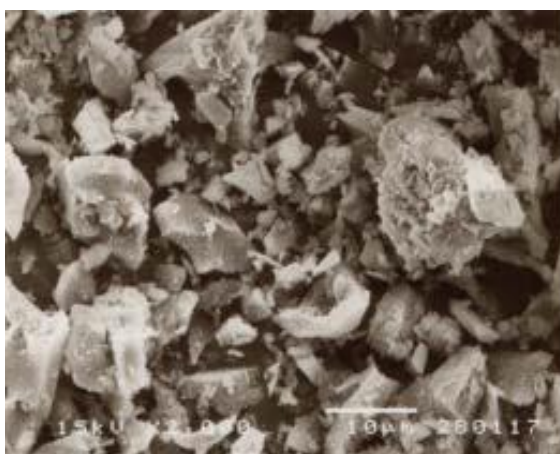
การที่พื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นมากได้จะต้องบดถ้ำเกลบให้ละเอียดจนมีขนาดเล็กมากใกล้เคียงกับขนาดของรูพรุน รูพรุนภายในถ้ำเกลบมีขนาดประมาณ 0.5-0.6 ไมครอน ถ้ำเกลบส่วนใหญ่ที่ใช้กันมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์และถ้ำลอยดังได้แสดงไว้ ความละเอียดของถ้ำเกลบที่ใช้กันเมื่อวัดโดยวิธี BET อยู่ระหว่าง 20-150 ตารางเมตร/กรัม ถ้ำเกลบที่ละเอียดมากถึง 260-480 ตารางเมตร/กรัม ให้ปูนซีเมนต์ผสมที่ให้กำลังรับแรงดีมาก แต่ทั้งนี้ต้องการน้ำสูงมากเช่นกัน

การระบุความละเอียดของถ้ำเกลบยังสามารถทำได้โดยการระบุขนาดเฉลี่ยของอนุภาค ถ้ำเกลบที่ใช้กันส่วนมากมีขนาดเฉลี่ยของอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 5-20 ไมครอน แต่ทั้งนี้ขนาดเฉลี่ยที่ใหญ่ประมาณ 25 ไมครอน และขนาดเฉลี่ยที่เล็กมากประมาณ 1 ไมครอนก็มีการใช้กันอยู่

2.1.4 ชนิดของถ้ำเกลบ

ถ้ำเกลบดำโรงสี (บูรฉัตร ฉัตรวีระ และทวิวัฒน์ คงทรัพย์, 2545)

คุณสมบัติของเถ้าแกลบดำโรงสีค่อนข้างไม่คงที่ เนื่องจากการควบคุมการเผาไหม้ไม่ดี ดังนั้นคุณสมบัติของสารซีเมนต์จากเถ้าแกลบดำโรงสีจึงไม่คงที่ โดยเถ้าแกลบที่ผ่านการเผาที่ค่อนข้างสมบูรณ์ และมีปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ไม่มาก จะให้สารซีเมนต์ที่มีกำลังอัดดี ภาพขยายอนุภาคของเถ้าแกลบดำโรงสี ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เถ้าแกลบดำโรงสี (บุรฉัตร ฉัตรวีระ และทวิวัฒน์ คงทรัพย์, 2545)

เถ้าแกลบขาว (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

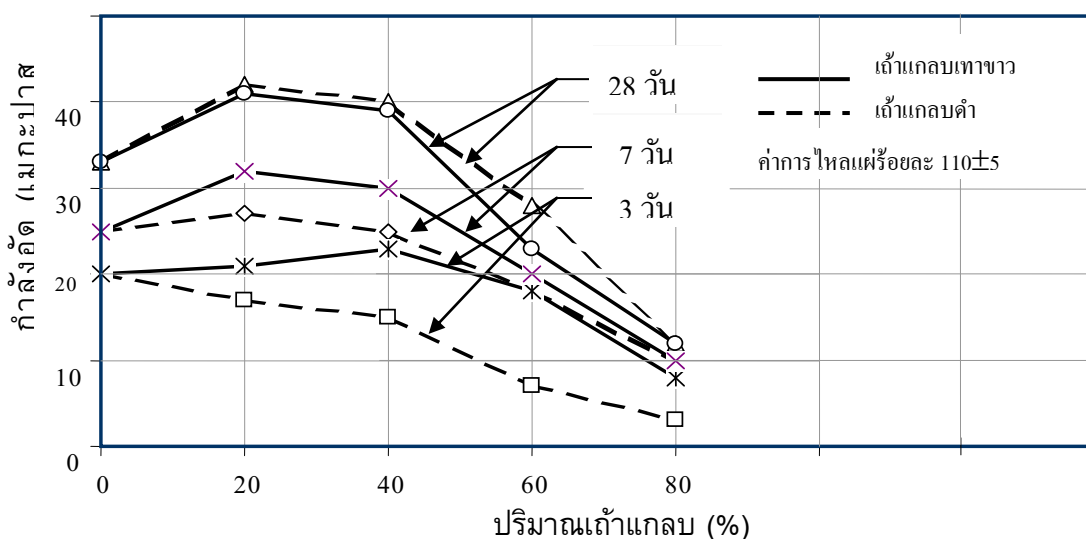
เถ้าแกลบขาวเป็นพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมอญเถ้าแกลบที่มีสีขาวนี้ เป็นผลมาจากกระบวนการเผาเป็นระบบเปิด (Opened Burning Process) ข้อดีของเถ้าแกลบจากแหล่งผลิต คือมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่หยาบและมีความพรุนสูงทำให้ศักยภาพการใช้งานทางด้านวิศวกรรมต่ำ ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงคุณสมบัติของเถ้าแกลบเพิ่มเติมโดยวิธีการที่ง่ายที่สุดคือการบดให้ละเอียด เถ้าแกลบขาวมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ในปริมาณมากในขณะที่การบดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมี และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ค่าความต้องการน้ำมีค่าคงที่เมื่อเวลาที่ใช้ในการบดมากกว่า 240 นาทีขึ้นไปนอกจากนี้ค่าดัชนีกำลังที่อายุ 7 และ 28 วัน ของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าแกลบที่ผ่านการบดเป็นเวลามากกว่า 300 นาที มีค่ามากกว่ามอร์ต้าร์ปกติซึ่งทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน

2.1.5 ผลของเถ้าแกลบต่อมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าแกลบเป็นวัสดุประสาน

การที่เถ้าแกลบมีรูพรุนสูงมากและรูปร่างที่ไม่แน่นอน ทำให้มอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบต้องการน้ำในส่วนผสมเพิ่มขึ้น การที่เถ้าแกลบต้องการน้ำในส่วนผสมเพิ่มขึ้นจะทำให้

กำลังอัดของมอร์ต้าร์มีค่าต่ำลง เพื่อแก้ไขปัญหาจึงนำเถ้าแกลบมาคั่วให้ละเอียดขึ้นซึ่งจะทำลายรูพรุนของเถ้าแกลบได้

การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่เหมาะสม จะส่งผลดีต่อกำลังอัด (ดังรูปที่ 2.3) ซึ่งแสดงถึงกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าแกลบที่มีความละเอียดสูง ส่วนผสมที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ถึง 40 โดยน้ำหนักให้กำลังอัดค่อนข้างสูง แต่การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์มากเกินไปทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าแกลบ การผสมเถ้าแกลบทำให้การหดตัวแห้งเพิ่มขึ้น แต่ทนทานการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริกดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าแกลบอย่างมาก เพราะปฏิกิริยาปอซโซลานจากเถ้าแกลบสามารถปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในซีเมนต์เพสต์ลง



รูปที่ 2.3 กำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบ (อุบลรัตน์ รัตนศักดิ์ และปริญญา จินดาประเสริฐ, 2552)

2.1.6 ข้อกำหนดของการใช้เถ้าแกลบในงานคอนกรีต

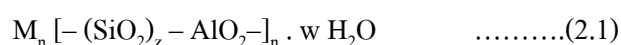
เนื่องจากเถ้าแกลบธรรมชาติที่ได้ผ่านการเผาในอุณหภูมิประมาณ 800 องศาแล้ว แต่ก็ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับขนาดของเถ้าแกลบ ที่จะเอามาใช้ โดยมีขนาดขยาบไม่สามารถเอามาใช้ในการผสมคอนกรีตโดยตรง ดังนั้นจึงต้องการบดให้ละเอียด ตาม ASTM C 618 กำหนดไว้ว่า ต้องค้ำบนตะแกรง 325 ไม่เกินร้อยละ 34 และมีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบไปด้วยออกไซด์ของซิลิกา อลูมินาและเหล็ก รวมกันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 โดยข้อกำหนดของ ASTM C 618 ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดในการใช้เถ้าแกลบเป็นวัสดุปอซโซลาน (ASTM C 618)

		CLASS		
<u>Chemical</u>		F	C	N
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	min%	70	50	70
SO ₃	max%	5	5	4
Moisture content	max%	3	3	3
Loss on Ignition	max%	6	6	10
<u>Optional Chemical</u>				
Avilable alkalis	max%	1.5	1.5	1.5
<u>Physical</u>				
Finess + 325 Mesh	max%	34	34	34
Strength Activity/Cem.	min%	75	75	75
Water Requirement	max%	105	105	115
Autoclave Expansion	max%	0.8	0.8	0.8
<u>Uniformity Requirement</u>				
Debsity Max. Var.	max%	5	5	5
Finess Points Var.	max%	5	5	5

2.2 จีโอโพลิเมอร์

สารจีโอพอลิเมอร์เป็นวัสดุเชื่อมประสาน ทำจากสารปอซโซลานที่ประกอบด้วยซิลิกาและอะลูมิเนียมเป็นหลัก เมื่อผสมกับด่างอัลคาไลไฮดรอกไซด์ สารละลายโซเดียมซิลิเกต และเร่งปฏิกิริยาด้วยความร้อน สามารถก่อตัวและแข็งตัวให้มีกำลังรับแรงได้ สามารถใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานเช่นเดียวกับซีเมนต์เพสต์สารปอซโซลานที่นิยมใช้กันได้แก่ เถ้าถ่านหิน และดินขาวเผา ซึ่งสารจีโอพอลิเมอร์จะใช้หลักการของการทำปฏิกิริยาของซิลิกา (Si) และอะลูมิเนียม (Al) ให้เป็นโมเลกุลลูกโซ่ดังในสมการที่ (2.1) โดยการทำปฏิกิริยาลูกโซ่ที่เกิดจากซิลิกอนและอะลูมิเนียมจะใช้สารละลายที่เป็นด่างสูง โดยใช้ความร้อนเป็นตัวกระตุ้น จะได้สารซีเมนต์ที่สามารถรับกำลังได้ (Rattanasak *et al.*, 2009 ; Chindaprasirt *et al.*, 2009)



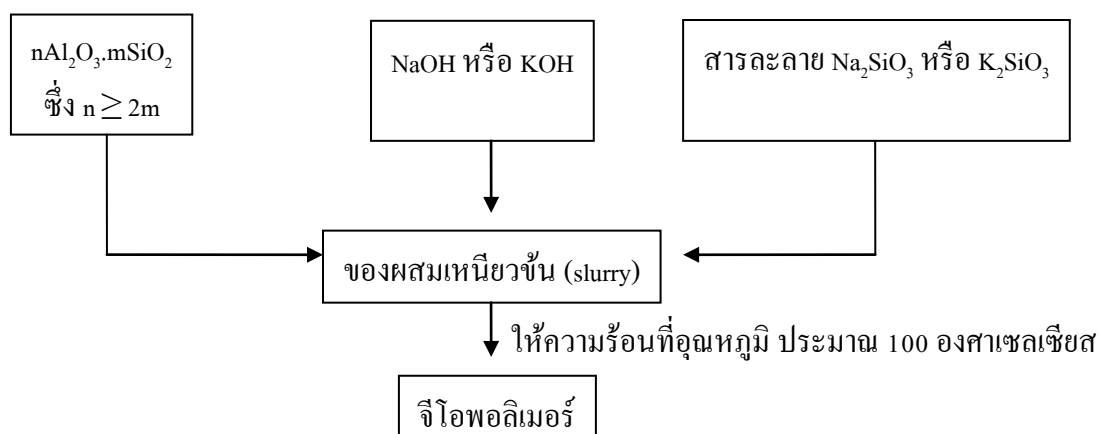
โดยที่ M คือ ธาตุอัลคาไล

- คือ การยึดเกาะพันธะ
- z คือ จำนวนโมเลกุลของ Si – O₂ เท่ากับ 1, 2 หรือ 3
- n คือ หน่วยซ้ำของโมเลกุลลูกโซ่
- w คือ จำนวนโมเลกุลของน้ำ

2.2.1 โครงสร้างที่เป็นไปได้ของจีโอพอลิเมอร์

สารจีโอพอลิเมอร์เกิดจากการก่อตัวโดยปฏิกิริยาที่ไม่รุนแรงทำให้อิทธิพลประกอบของซิลิกา (SiO₂) และอะลูมินา (Al₂O₃) รวมตัวกัน และสารประกอบอื่นที่เชื่อมต่อกันทำให้เกิดการอัดตัวทำให้เกิดความแข็งแรงคล้ายกับการก่อตัวและการแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์ การเกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CaO·2SiO₂·3H₂O) ปกติสารจีโอพอลิเมอร์มีโครงสร้างแบบบล็อก (Block) ที่เป็นหน่วยทรงเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedral) ของ AlO₄ และ SiO₄ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 สารประกอบที่ใช้ทำจีโอพอลิเมอร์ไม่จำเป็นต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงมากเหมือนกับปูนซีเมนต์จึงทำให้ลดการใช้พลังงานลงไปมาก และทำให้ลดต้นทุนในการผลิต

ปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์



รูปที่ 2.4 การเกิดสารจีโอพอลิเมอร์ (อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และคณะ, 2549)

ปฏิกิริยาทางเคมีของจีโอพอลิเมอร์จะใกล้เคียงกับการสังเคราะห์ซีโอไลต์ (Zeolite) แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างที่แตกต่างกัน แต่พบว่าการสังเคราะห์ซีโอไลต์จะใช้อุณหภูมิสูงกว่าจีโอพอลิเมอร์มาก และให้โครงสร้างที่เป็นผลึกอีกทั้งให้คุณสมบัติเชิงกลที่ต่ำ ดังตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบการสังเคราะห์ซีโอไลต์และจีโอพอลิเมอร์

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบการสังเคราะห์ซีโอไลต์และจีโอพอลิเมอร์

	การสังเคราะห์ซีโอไลต์	ปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์
สารตั้งต้น	สารละลายเชิงซ้อน Al + สารละลายเชิงซ้อน Si	วัสดุที่มี Al-Si เป็นส่วนประกอบ + สารละลายอัลคาไลน์ + ซิลิเกต
ปฏิกิริยาช่วงเริ่มต้น	การเกิดนิวเคลียส (nucleation) ใน สารละลาย	การชะของแข็งที่ Al-Si เป็น ส่วนประกอบออกมาสู่เฟสดี
ปฏิกิริยาช่วงปลาย	การโตขึ้นของผลึกในสารละลาย	การแพร่และควบแน่นของสาร เชิงซ้อน Al และ Si ที่ชะออกมาใน เฟสดี
อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยา	90 - 300 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิปกติ
ช่วงความเป็นกรด-เบส	6 - 11	14
ผลิตภัณฑ์ที่ได้	ซีโอไลต์ที่เป็นผลึก	ของผสมของเจลและวัสดุที่ Al-Si เป็นส่วนประกอบ
องค์ประกอบทางเคมี	มีสูตรปริมาณสารสัมพันธ์ที่ แน่นอน	มีสูตรปริมาณสารสัมพันธ์ที่ไม่ แน่นอน
โครงสร้าง	ผลึกที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว (unique crystal)	ของผสมของเฟลเจลแบบอสัณฐาน และกึ่งอสัณฐาน และวัสดุที่มี Al-Si เป็นส่วนประกอบ
ความแข็งแรงเชิงกล	ต่ำ	สูง

2.2.2 ปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์

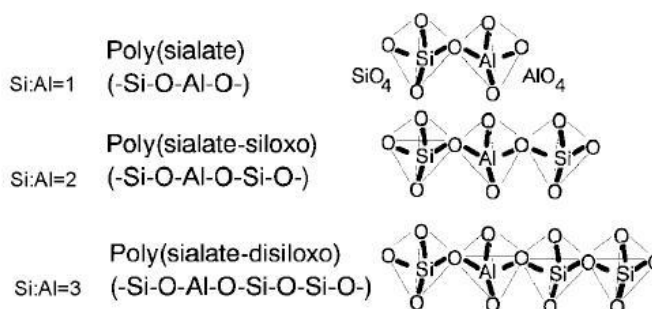
สารจีโอพอลิเมอร์เป็นสารจำพวกอลูมิเนียมซิลิเกต (aluminosilicate) ที่มีรูปร่างอสัณฐานแน่นอนเป็นส่วนประกอบของสารลักษณะอสัณฐาน (amorphous) และสารกึ่งผลึก (semi-crystalline) สารตั้งต้นในการทำจีโอพอลิเมอร์จึงเป็นสารประกอบที่มีอลูมินาและซิลิกาที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา เมื่อผสมสารละลายของอัลคาไลสามารถทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิปกติหรือสูงกว่า และก่อตัวและให้กำลังรับแรงได้ดีปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดความร้อนเช่นเดียวกับปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำ ปฏิกิริยาของจีโอพอลิเมอร์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชั้น (Davidovits, 1991)

2.2.2.1 การชะละลาย (dissolution)

แก้วนำหินเมื่อผสมกับสารละลายที่มีความเป็นด่างสูงเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์จะเกิดการชะละลายของสารประกอบต่างๆ โดยอลูมิเนียม (Al) และซิลิกอน (Si) จะถูกชะละลายออกมาเนื่องจากจากเป็นสารหลัก เมื่อเกิดการชะละลายมากขึ้นส่วนหนึ่งของแก้วนำหินจะถูกทำลายที่ผิวทำให้เกิดเป็นช่องที่ผิวและสารละลายจะสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น

2.2.2.2 การทำปฏิกิริยาอุกโซ่ (polymerization)

ผลผลิตของปฏิกิริยาเบื้องต้นเป็นหน่วยปิรามิดสามเหลี่ยมสี่ด้านของ Si^{4+} และ Al^{3+} ที่เกิดโคออร์ดิเนตแบบ 4 เข้มกับออกซิเจน หน่วยเหล่านี้จะกระจายตัวอยู่ในลักษณะของโพลิเมอร์ที่เชื่อมขวางกัน ในช่วงต้นจะได้หน่วยที่กึ่งเสถียร (meta-stable) ซึ่งจะมีปริมาณ Al สูง เมื่อเกิดปฏิกิริยามากขึ้นหน่วยดังกล่าวจะเปลี่ยนไปเป็นหน่วยที่มี Si มากขึ้น [8] โครงสร้างหลักจึงประกอบไปด้วยหน่วยปิรามิดสามเหลี่ยมด้านเท่าสี่ด้าน สอง สาม และสี่หน่วยได้แก่โพลิไซอะเลต (polysialate, PS) โพลิไซอะเลตไดซิลอกโซ (Polysialate disiloxo, PSDS) ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 2.5 ปริมาณของ SiO_4 เพิ่มขึ้นจากหนึ่งเป็นสามหน่วยเมื่อปฏิกิริยาเกิดมากขึ้นการเชื่อมโยงของโพลิเมอร์ที่เชื่อมขวางกันก็จะเกิดมากขึ้นและหนาแน่นขึ้นทำให้เกิดโครงสร้างที่แน่นและสามารถรับแรงได้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสารจีโอโพลิเมอร์หรือโพลิไซอะเลต (Davidovits, 1991)

2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) หรือ โซดาไฟ (Caustic soda) เป็นสารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่างแก่ ที่ละลายได้ในน้ำ ประกอบด้วยโลหะโซเดียม และเบสไฮดรอกไซด์ มีลักษณะเป็นของแข็ง (ในรูปแบบผง เกล็ด เป็นแท่งหรือ เม็ดกลม) ขาว ไม่มีกลิ่น ดูดความชื้นและคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 318 องศาเซลเซียส ผลิตได้จากกระบวนการแยกสารทางไฟฟ้า (Electrolysis) ของน้ำเกลือ และเป็นสารเคมีที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการ และใช้ในอุตสาหกรรมเคมี เช่น อุตสาหกรรมการผลิตเยื่อกระดาษ สบู่และผลิตภัณฑ์ซักฟอก เคมีภัณฑ์ทำความสะอาด โรงกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมโลหะ อาหาร เส้นใยเรยอน สิ่งทอ ใช้ในการฟอกย้อม

ล้างสีใหม่ และช่างเจียรระโนพลอยก็ใช้ในขั้นตอนล้างเม็ดพลอยที่เจียรระโนเสร็จแล้ว นอกจากนั้นยังใช้ปรับสภาพน้ำทิ้งที่มีฤทธิ์เป็นกรด ให้เป็นกลางก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอีกด้วย

โซเดียมไฮดรอกไซด์มีคุณสมบัติเป็นสารไอออนิก ประกอบด้วย Na^+ (sodium cation) และ OH^- (hydroxide anion) โดย OH^- จะทำให้มีคุณสมบัติเป็นเบสแก่ เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกลือ และน้ำ เอนทัลปีของการละลาย, ΔH° หรือความร้อนที่ได้จากการละลายมีค่าเท่ากับ -44.45 kJ/mol

ถึงแม้ว่าโซดาไฟเป็นสารไม่ติดไฟ แต่ถ้าสัมผัสกับสารบางชนิด เช่นกรดเข้มข้น หรือทำปฏิกิริยาอย่างรุนแรงกับน้ำ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีจนเกิดความร้อนพอเพียงและทำให้สารที่วางอยู่ใกล้ลุกติดไฟได้ การดับเพลิงจึงต้องดูสารที่เป็นคู่ปฏิกิริยาและใช้เครื่องดับเพลิงให้ถูกต้อง การเก็บ ดูแลรักษา และใช้งานควรอยู่ในภาชนะที่กันน้ำปิดสนิทมิดชิดในที่เย็น หลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรง ควรจัดให้มีอุปกรณ์ป้องกัน เช่น หน้ากาก แวนนิรภัย ถุงมือ ชุดคลุมทั้งตัว รองเท้าบูต และจัดให้มีฝักบัวล้างตาหรือล้างตัวอยู่ใกล้เคียงบริเวณที่ทำงาน

2.4 โซเดียมซิลิเกต

โซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate) หรือที่รู้จักกันในชื่อ "น้ำแก้ว หรือ น้ำกาวย" ในรูปที่ 2.5 เป็นสารประกอบไปด้วย โซเดียมออกไซด์, ซิลิกา และน้ำ ผสมกันอยู่ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน และสารเคมีตัวนี้เป็นน้ำยาบ่มคอนกรีตชนิดโซเดียม ซิลิเกต สามารถแทรกซึมบนพื้นผิวของคอนกรีตและปูนฉาบได้เป็นอย่างดี น้ำที่ถูกล้างกำหนดให้มาทำปฏิกิริยากับหินปูน ส่วนที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮโดรชั่นอีกครั้งหนึ่ง จึงทำให้ผิวหน้าของคอนกรีตแข็งขึ้น ลดรูพรุนที่เกิดจากน้ำในคอนกรีตที่ระเหยออกมาได้

2.4.1 กระบวนการผลิตโซเดียมซิลิเกต

เริ่มจากการนำเอาโซดาแอชกับซิลิกามาหลอมให้เป็นน้ำแก้วที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นตัวเป็นก้อนแก้วแล้วนำไปเข้า เครื่องบ่มอัดโนมัต เพื่อละลายอีกครั้งให้กลายเป็นน้ำแก้ว สัดส่วนของโซเดียม กับซิลิกาจะบ่งบอกถึงคุณสมบัติของ โซเดียมซิลิเกต ถ้าทำให้สัดส่วนใกล้เคียงกันมากเราจะได้เป็นผลึกของของแข็งที่เรียกว่าโซเดียมเมตาซิลิเกต

2.4.2 ประโยชน์ของโซเดียมซิลิเกต

โซเดียมซิลิเกตมีประโยชน์มากสำหรับอุตสาหกรรมผงซักฟอก อุตสาหกรรมก่อสร้าง และกำลังมีบทบาทในฐานะเป็นตัวเชื่อมและทำให้เกิดโครงสร้างของพวก จีโอโพลิเมอร์ที่ไม่จำเป็นต้องเผาสูงเหมือนการผลิตเซรามิก สำหรับในอุตสาหกรรมเซรามิกถือว่าเป็นสัดส่วนที่น้อยมากๆเมื่อเทียบกับการใช้งานในอุตสาหกรรมอื่นๆ เราเอาไว้ใช้สำหรับเป็นตัวช่วยกระจายลอยตัว เป็น

ตัวเชื่อมประสานสำหรับการก่ออิฐเตา เป็นเคลือบใสสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความมันแบบไม่มากนัก เป็นแค่ปิดผิวจางๆ

2.5 คอนกรีตบล็อก

2.5.1 ลักษณะทั่วไปของคอนกรีตบล็อก

โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมกับทราย หินเล็ก ๆ และน้ำ แต่ในงานวิจัยของเราครั้งนี้ ได้ผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากจีโอโพลิเมอร์ จากส่วนผสมของเถาถ่านหิน โขเคี่ยมชิลิเกต โขเคี่ยมไฮดรอกไซด์ และ หินฝุ่น มาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดรายละเอียดของคอนกรีตบล็อกแต่ละชนิดไว้ดังนี้

มอก. 57-2516 เป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับ คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก

มอก. 58-2516 เป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับ คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

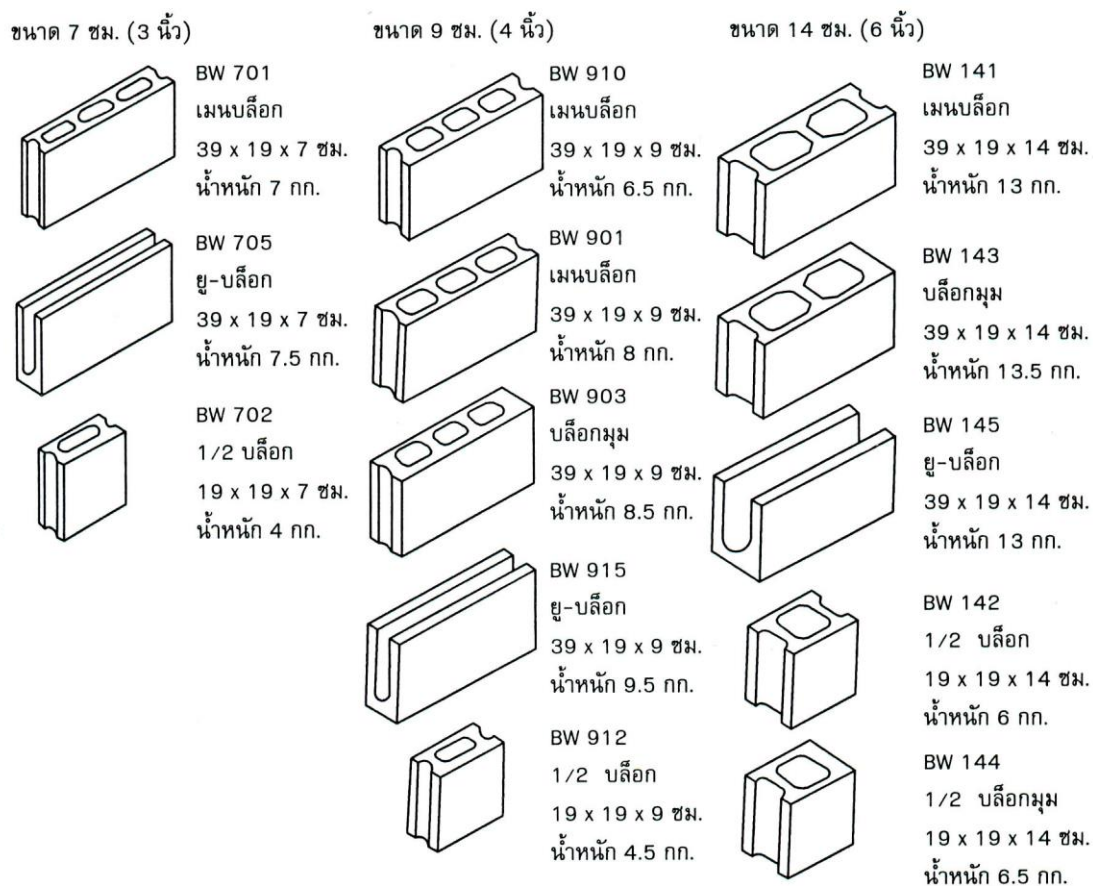
มอก. 59-2516 เป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับ อิฐคอนกรีต

มอก. 60-2516 เป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับ คอนกรีตบล็อกเชิงตันรับน้ำหนัก

2.5.2 ชนิดของคอนกรีตบล็อก

2.5.2.1 คอนกรีตบล็อกที่เรียกตามชื่อสินค้า

คอนกรีตบล็อกมีบริษัทผลิตจำหน่ายในส่วนกลาง มีชื่อสินค้าต่างๆ กัน เช่น ซีแพคบล็อก ดีแทคบล็อก ดังตัวอย่าง ในรูปที่ 2.6

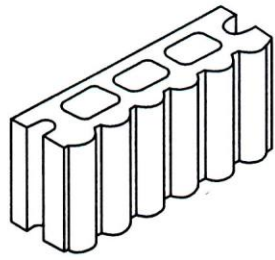


รูปที่ 2.6 คือเทคบล็อก

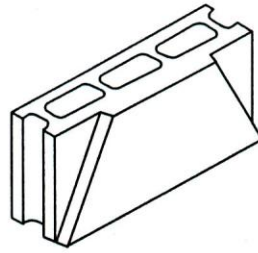
ชาโดว์บล็อก เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ล่าสุด ซึ่งได้วิวัฒนาการมาจากคอนกรีตบล็อกธรรมดาที่ใช้ในวงการก่อสร้างทั่วไป สำหรับก่อกำแพงและตกแต่งเสร็จเรียบร้อยไปในตัว ทำให้ประหยัดค่าตกแต่งลงไปได้อีกมาก เหมาะกับการใช้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ชาโดว์บล็อกมีลักษณะเป็นคอนกรีต บล็อกที่มีผิวหน้าปูนขึ้นเป็นลวดลาย จากลวดลายนี้สามารถที่จะประสานลายขึ้นใหม่ได้อีกอย่างครบถ้วนตามความประสงค์ของผู้ใช้ ลวดลายเหล่านี้เมื่อกระทบกับแสงแดด เงาที่ตกทอดอย่างสลับซับซ้อนจะก่อให้เกิดความสวยงามยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ ชาโดว์บล็อกยังมีคุณสมบัติพิเศษในการรับน้ำหนักได้ถึง 5,000 กิโลกรัมต่อ 1 ก้อน ดังนั้นจึงสามารถก่อเป็นกำแพงรับน้ำหนักได้โดยไม่ต้องมีเสา ทำให้ลวดลายของบล็อกประสานต่อเนื่องกันตลอดทั้งผนัง

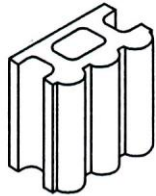
ตัวอย่างของชาโดว์บล็อกในรูปที่ 2.7 เป็นเพียงบางส่วนเท่านั้น ผู้ใช้สามารถออกแบบให้เกิดลวดลายขึ้นใหม่ได้ และยังสามารถก่อสลับกับคอนกรีตบล็อกชนิดผิวเรียบธรรมดาได้ เมื่อต้องการเน้นลวดลายเป็นบางส่วน



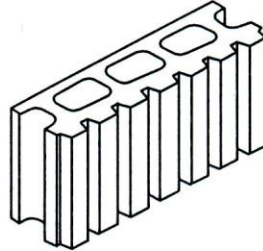
SD-940
39 x 19 x 11 ซม.
น้ำหนัก 11 กก.



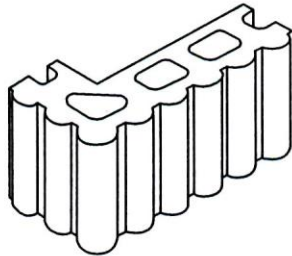
SD-946
39 x 19 x 11 ซม.
น้ำหนัก 9.5 กก.



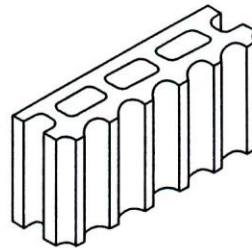
SD-940A
19 x 19 x 11 ซม.
น้ำหนัก 5.5 กก.



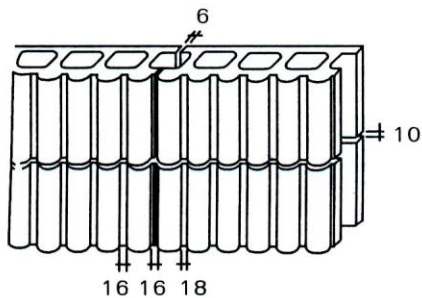
SD-942
39 x 19 x 11 ซม.
น้ำหนัก 11.5 กก.



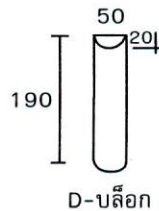
SD-940B
39 x 19 x 19 ซม.
น้ำหนัก 14 กก.



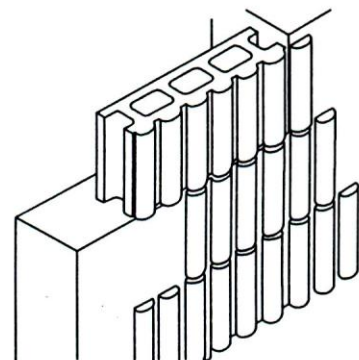
SD-941
39 x 19 x 11 ซม.
น้ำหนัก 11 กก.



แสดงการเว้นช่องแนวปูนก่อทางตั้ง 6 มม.
และทางนอน 10 มม. สำหรับบล็อก SD-940,
SD-941 และ SD-942



D-บล็อก



แสดงการใช้ D-บล็อกปะคานและเสา
เพื่อให้ลายมุมติดต่อกันตลอดสำหรับ
บล็อก SD-940, SD-942 และ SD-946

รูปที่ 2.7 คีแทคบล็อกชนิดขาโดว์บล็อก

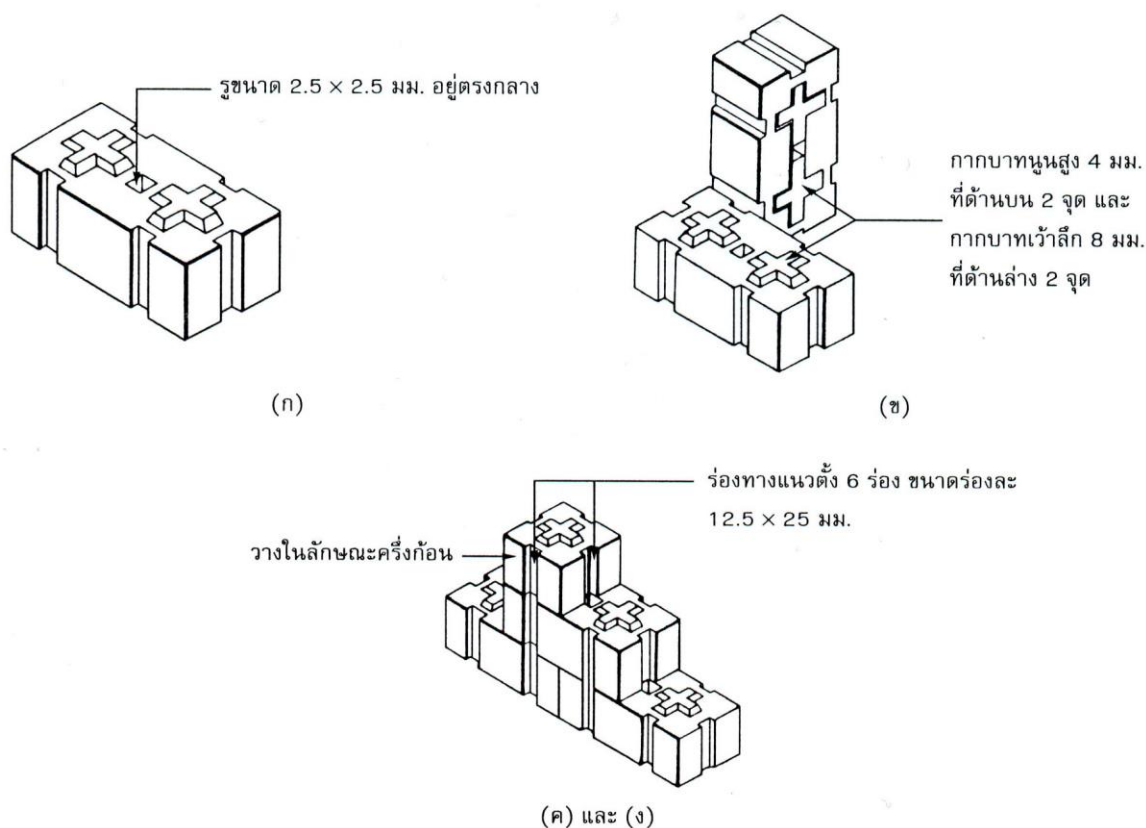
2.5.2.2 อินเตอร์ล็อกกึ่งบล็อก (Inter Locking Block) คือบล็อกที่ได้รับการออกแบบพัฒนาให้มีลักษณะพิเศษตามหน้าที่การใช้งานอย่างแท้จริง ซึ่งมีการใช้งาน 4 ลักษณะดังนี้

ก. จากรูปที่ 2.8 (ก) มีขนาด 2.5 x 2.5 มิลลิเมตรอยู่ตรงกลางสำหรับหยอดน้ำปูนทรายเชื่อมระหว่างก้อนบนและล่างทางแนวตั้ง และใช้เสริมเหล็กยึดโครงหลังคา

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

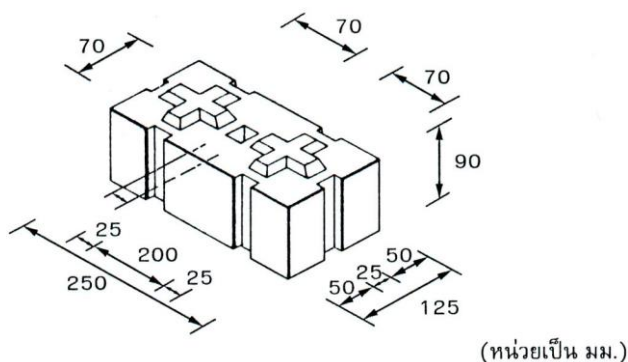
ค. จากรูปที่ 2.8(ค) มีร่องทางแนวตั้งได้ 6 ร่อง ขนาดร่องละ 12.5 x 25 มิลลิเมตรสำหรับวางบล็อกต่อและหยอดน้ำปูนทรายเชื่อมตามแนวอน ร่องแต่ละร่องสามารถถอดออกได้

ง. จากรูปที่ 2.8 (ง) สามารถทำครึ่งก้อนได้ เพื่อใช้ในการก่อแบบสลับแนวให้ได้แนวตรงทางแนวตั้งตรงมุมหรือหัวท้ายผนัง



รูปที่ 2.8 การใช้อินเตอร์ล็อกกิ้งบล็อก

ขนาดของอินเตอร์ล็อกกิ้งบล็อก ขนาดเต็มก้อน มีความกว้าง 125 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร และสูง 90 มิลลิเมตร และขนาดครึ่งก้อน มีความกว้าง 125 มิลลิเมตร ยาว 125 มิลลิเมตร และสูง 90 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะและขนาดของอินเทอร์ล็อกกึ่งบล็อก

2.5.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับคอนกรีตบล็อก

มาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กำหนดรายละเอียดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 หมายถึงคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ได้กำหนดรายละเอียดไว้ดังนี้

2.5.3.1 ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ประเภทและสัญลักษณ์ ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน วัสดุ คุณลักษณะที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

2.5.3.2 บทนิยาม

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

คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (Hollow non-load-bearing concrete masonry unit) หมายถึง คอนกรีตบล็อกใช้สำหรับผนังที่ออกแบบไม่รับน้ำหนักบรรทุกใด ๆ นอกจากน้ำหนักตัวเอง เปลือก (Face-shell) หมายถึง ผนังของคอนกรีตบล็อก ซึ่งเชื่อมต่อด้วยผนังกันโพรง

2.5.3.3 ประเภทและชั้นคุณภาพ

a) คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

ก. ประเภท 1 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ควบคุมความชื้น ใช้สัญลักษณ์ 1

- ข. ประเภท 2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น ใช้สัญลักษณ์ 2
- a-1) ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
- ก. ความหนาของเปลือกต้องไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร
- ข. ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก
- ให้มีขนาดดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2.3 ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

ขนาด หนา x สูง x ยาว (มม. ³)
70 x 190 x 140
90 x 190 x 140
140 x 190 x 140
190 x 190 x 140
70 x 190 x 190
90 x 190 x 190
140 x 190 x 190
190 x 190 x 190
70 x 190 x 290
90 x 190 x 290
140 x 190 x 290
190 x 190 x 290
70 x 190 x 390
90 x 190 x 390
140 x 190 x 390
190 x 190 x 39

หมายเหตุ ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่กำหนดนี้ เป็นขนาดที่ออกแบบ เพื่อให้เป็นไปตามระบบการประสานทางพิภคในการก่อสร้างอาคาร ซึ่งได้กำหนดหน่วยพิภคมาตรฐานให้เท่ากับ 100 มิลลิเมตร และกำหนดความหนาของปูนก่อในรอยต่อมาตรฐานเท่ากับ 10 มิลลิเมตร

a-2) กำลังรับแรงกดอัด

- กำลังรับแรงกดอัดเฉลี่ยของพื้นที่รวมของคอนกรีตบล็อกจะต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 MPa (25 ksc) โดยต้องใช้คอนกรีตบล็อกในการทดสอบไม่น้อยกว่า 5 ก้อน

- กำลังรับแรงกดอัดของคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อนจะต้องไม่ต่ำกว่า 2 MPa (20 ksc)

b) คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก

คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักซึ่งทำขึ้นตามมาตรฐานนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

ก. ประเภท 1 คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักที่ควบคุมความชื้น

ข. ประเภท 2 คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักที่ไม่ควบคุมความชื้น

คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักแต่ละประเภทแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ คือ

ก. ชั้นคุณภาพ ก ใช้สำหรับกำแพงภายนอกทั้งต่ำกว่าและเหนือกว่าระดับดิน โดยไม่มีการป้องกันผิวแต่อย่างใด เช่น ใช้ในกรณีซึ่งการรั่วซึมจากน้ำใต้ดินและฝน ไม่ทำความเสียหายต่องานนั้น

ข. ชั้นคุณภาพ ข ใช้สำหรับกำแพงภายนอกทั้งต่ำกว่าและเหนือกว่าระดับดิน แต่มีการป้องกันผิว

ค. ชั้นคุณภาพ ค ใช้ทั่วไปสำหรับกำแพงภายใน และ กำแพงภายนอกเหนือระดับดิน ที่มีการป้องกันความเสียหายเนื่องจากดินฟ้าอากาศ

b-1 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ก. ความหนาของเปลือกและผนังกันโพรงต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.4

หมายเหตุ : คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักที่ออกแบบพิเศษให้มีโลหะทนต่อการกัดกร่อนเพื่อยึดระหว่างเปลือกของก้อน อาจอนุญาตให้ทำได้ เมื่อการทดสอบแสดงว่าโลหะยึดนั้นมีสภาพโครงสร้างเทียบเท่ากับผนังกันโพรงคอนกรีตในทางความยึดตัวแข็งกำลังและการยึดกับผนังกันโพรง

ข. ขนาดของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก

ให้มีขนาดดังแสดงในตารางที่ 2.4 และ ตารางที่ 2.5 โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2.4 ความหนาของเปลือกและผนังกัน โพรง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

ความหนาระบุของ ก้อน	ความหนาของเปลือก ต่ำสุด ¹⁾	ความหนาของผนังกัน โพรง ²⁾	
		ผนังกัน โพรงต่ำสุด ¹⁾	ความหนาผนังกัน โพรง เทียบเท่าต่ำสุด ต่อ ความยาว 1 เมตร
90	19	19	135
140	25	25	185
190	31	25	185

หมายเหตุ เฉลี่ยจากการวัด 5 ก้อน โดยวัดจากส่วนที่บางที่สุดเมื่อวัดตามวิธีที่กำหนด ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อ ซึ่งทำด้วยคอนกรีตมาตรฐานเลขที่ มอก. 109 ผลรวมจากการวัดความหนาของผนังกัน โพรงทั้งหมดในก้อน คูณด้วย 1000 หารด้วยความยาวของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักเป็นมิลลิเมตร

ตารางที่ 2.5 ขนาดของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก

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

หมายเหตุ: ขนาดของคอนกรีตหล่อรับน้ำหนักที่กำหนดนี้เป็นขนาดที่ออกแบบเพื่อให้เป็นไปตามระบบการประสานงานทางพิคัด ในการก่อสร้างอาคาร ซึ่งได้กำหนดหน่วยพิคัด มูลฐาน พ ให้เท่ากับ 100 มิลลิเมตร และกำหนดความหนาของปูนก่อในรอยต่อมาตรฐาน เท่ากับ 10 มิลลิเมตร

2.5.4 คุณลักษณะที่ต้องการ

ก. ลักษณะทั่วไป

- คอนกรีตหล่อรับน้ำหนักทุกก้อน ต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าว หรือส่วนเสียนใด อันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตหล่อรับน้ำหนักอย่างถูกต้องหรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสียดำล้าง หรือความคงทนถาวร รอยแตกร้าวเล็กน้อยที่มักเกิดขึ้นในกรรมวิธีผลิตตามปกติหรือรอยปริเล็กน้อยเนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายหรือขนส่งอย่างธรรมดา จะต้องไม่เป็นสาเหตุอ้างในการไม่ยอมรับ

- คอนกรีตหล่อรับน้ำหนัก ซึ่งต้องการฉาบปูนหรือแต่งปูนต้องมีผิวหน้าหยาบพอควรแก่การจับยึดของปูนฉาบหรือปูนแต่งได้อย่างดี

- คอนกรีตหล่อรับน้ำหนัก ซึ่งต้องการก่อแบบผิวหยาบ ด้านผิวหยาบจะต้องไม่มีรอยป็น รอยร้าว หรือตำหนิอื่นๆ ถ้าในการสังกราวหนึ่งมีก้อนซึ่งมีรอยป็นเล็กน้อยที่ยาวมากกว่า 25 มิลลิเมตรเป็นจำนวนไม่มากกว่าร้อยละ 5 จะต้องไม่ถือเป็นสาเหตุในการไม่ยอมรับ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

ข. ความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตหล่อรับน้ำหนักเมื่อส่งถึงที่ก่อสร้าง ต้องเป็นไปตามตาราง ที่ 2.6

- ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าแต่ละก้อนต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.6

- การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ มอก. 109

ตารางที่ 2.6 ความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ

ชั้น คุณภาพ	ความต้านแรงอัด ต่ำสุด (MPa)				การดูดกลืนน้ำ สูงสุด เฉลี่ยจากคอนกรีตบดล็อก 5 ก้อน (kg/m ³)					
	เฉลี่ยจากพื้นที่รวม		เฉลี่ยจากพื้นที่สุทธิ		น้ำหนักคอนกรีตเมื่ออบแห้ง (kg/m ³)					
1)	เฉลี่ยจาก คอนกรีต บดล็อก 5 ก้อน	คอนกรีต บดล็อกแต่ ละก้อน	เฉลี่ยจาก คอนกรีต บดล็อก 5 ก้อน	คอนกรีต บดล็อกแต่ ละก้อน	1680 และ น้อยกว่า	1681 ถึง 1760	1761 ถึง 1840	1841 ถึง 1920	1921 ถึง 2000	มาก กว่า 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⁾ คู่มือตรวจสอบค่าในการใช้คอนกรีตบดล็อกชั้นคุณภาพต่างๆ ตามภาคผนวก ก.

ค. ปริมาณความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบดล็อกรับน้ำหนักประเภทควบคุมความชื้น) เมื่อส่งถึงที่ก่อสร้าง ต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ความชื้น (เฉพาะคอนกรีตบดล็อกไม่รับน้ำหนักประเภทควบคุมความชื้น)

ร้อยละของการหดตัวทางยาว ¹⁾	ความชื้น สูงสุด ร้อยละของการดูดกลืนน้ำทั้งหมด (เฉลี่ยจากคอนกรีตบดล็อก 5 ก้อน)		
	ความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ย ร้อยละ ²⁾		
	น้อยกว่า	50 ถึง	มากกว่า
	50	75	75
0.03 และน้อยกว่า	35	40	45
มากกว่า 0.03 ถึง 0.045	30	35	40
มากกว่า 0.045	25	30	35

- หมายเหตุ ¹⁾ ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก (ในกรณีที่ยังมิได้มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม ASTM C 426)
- ²⁾ อาศัยสถิติตามประกาศของกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับสถานที่ใกล้แหล่งผลิตมากที่สุด

2.5.5 เครื่องหมายและฉลาก

ก. ที่คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักทุกก้อน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษรหรือเครื่องหมาย แจ่มรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

- สัญลักษณ์แสดงประเภท

- ชื่อผู้ทำหรือ โรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้า ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

ข. ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

2.5.6. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

ก. รุ่น ในที่นี้ หมายถึง คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักประเภทและขนาดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

ข. การชักตัวอย่างเพื่อการทดสอบ ให้กระทำ ณ สถานที่ผลิต และต้องใช้เวลาสำหรับการทดสอบจนครบทุกรายการอย่างน้อย 10 วัน

ค. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

- การชักตัวอย่าง ให้เป็นไปตาม มอก. 109 โดยคัดตัวอย่างที่บกพร่องเนื่องจากการขนส่งออกเสียก่อน แล้วจึงชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันมาทำเป็นตัวอย่างทดสอบ

- เกณฑ์ตัดสิน ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 2.5.3.3 และข้อ 2.5.4 ทุกข้อ จึงจะถือว่าคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ในกรณีที่มีตัวอย่างใดไม่เป็นไปตามข้อ 2.5.3.3 ข้อ 2.5.4 (ก.) ข้อ 2.5.4 (ข.) ข้อ 2.5.4 (ค.) รายการใดรายการหนึ่ง ให้ชักตัวอย่างจากรุ่นเดียวกันจำนวน 2 เท่าของชุดตัวอย่าง มาทดสอบซ้ำในรายการนั้นผลการทดสอบซ้ำตัวอย่างทุกชุดต้องเป็นไปตามข้อ 2.5.3.3 ข้อ 2.5.4 (ก.) ข้อ 2.5.4 (ข.) หรือข้อ 2.5.4 (ค.) แล้วแต่กรณี จึงจะถือว่าคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ยกเว้นรายการความต้านแรงอัด ตัวอย่างต้องมีความต้านแรงอัดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 85 ของเกณฑ์ที่กำหนด จึงจะยอมให้ทดสอบซ้ำในรายการความต้านแรงอัดได้

2.5.7 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบดอัด

2.5.7.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร เมื่อมวลหาได้โดยการชั่ง ซึ่งมีหน่วยเป็น กิโลกรัม ส่วนปริมาตรของบดอัดคอนกรีตนั้นหาได้โดยวิธีการแทนที่น้ำเช่น อาจทำได้โดยการจมวัตถุลงในภาชนะที่มีน้ำอยู่ ตราบใดที่วัตถุไม่ละลายหรือดูดซับน้ำ ปริมาตรของน้ำส่วนที่เพิ่มขึ้น หรือปริมาตรของน้ำที่ล้นออกมาในกรณีเดิมที่มีน้ำอยู่เต็มภาชนะพอดี จะเท่ากับปริมาตรของวัตถุนั้น วิธีการนี้เป็นการหาปริมาตรของวัตถุโดยการแทนที่น้ำ แล้วปริมาตร มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร เป็นต้น

จากความสัมพันธ์ดังกล่าว จะได้ว่า

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{กก./ม}^3 \quad (2.2)$$

โดยที่ ρ = ความหนาแน่น (กก./ม³)

m = มวล หาได้โดยการชั่ง (กก.)

V = ปริมาตร (ม³)

สำหรับค่าความหนาแน่นของน้ำ ρ_w มีค่าเท่ากับ 1,000 กก./ม³

ความหนาแน่นของบดอัดคอนกรีตเป็นการศึกษาคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์หรือทางด้านกายภาพน้ำหนักขึ้นอยู่กับวัสดุ

2.5.7.2 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นหมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในบดอัดคอนกรีตต่อน้ำหนักของบดอัดคอนกรีตที่อบแห้งแล้ว คุณด้วย 100 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เขียนสูตรได้ว่า

$$\omega = \frac{W_w \times 100}{W_s} \quad (\%) \quad (2.3)$$

โดยที่ ω = ปริมาณความชื้นของบดอัดคอนกรีต (%)

W_w = น้ำหนักของน้ำที่มีอยู่บดอัดคอนกรีต (กรัม) หาได้โดยเอาน้ำหนักบดอัดคอนกรีตที่ชื้นลบด้วยน้ำหนักบดอัดคอนกรีตที่อบแห้ง

W_s = น้ำหนักบดอัดคอนกรีตที่อบแห้ง (กรัม)

2.5.7.3 การดูดซึมน้ำของบดอัดคอนกรีต

การดูดซึมน้ำของบดอัดคอนกรีตสามารถบอกถึงความคงทนของบดอัดคอนกรีต การทดสอบการดูดซึมน้ำของบดอัดคอนกรีตก่อสร้าง ปกติให้แช่บดอัดคอนกรีตในน้ำ 24 ชั่วโมง

การดูดซึมน้ำของอิฐ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในอิฐหลังจากนำไปแช่น้ำต่อน้ำหนักอิฐอบแห้ง นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ จึงคุณด้วย 100 เขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของบดอัดคอนกรีต} = \frac{W' - W_s}{W_s} \times 100(\%) \quad (2.6)$$

โดยที่ $W' =$ น้ำหนักของบล็อกคอนกรีตหลังจากแช่น้ำ (กรัม)

$W_s =$ น้ำหนักบล็อกคอนกรีตที่อบแห้ง (กรัม)

การดูดซึมน้ำมากน้อยเท่าใดเป็นเครื่องแสดงคุณภาพของบล็อกคอนกรีต เช่น บล็อกคอนกรีตถ้าบล็อกคอนกรีตดูดซึมน้ำมากแสดงว่ามีความพรุนของเนื้อบล็อกคอนกรีตมาก สำหรับงานก่อกำแพงบล็อกคอนกรีตควรนำบล็อกคอนกรีตนั้น ๆ มาชุบน้ำให้ชุ่มและอิมตัว และทิ้งไว้ให้ผิวแห้ง ถ้าบล็อกคอนกรีตชุ่มน้ำมากเกินไป จะทำให้ปูนก่อไหลหลุดลงมาได้ การก่อผนังยาก ช่างก่อมักไม่ค่อยทำเพราะยากกว่าก่อบล็อกคอนกรีตแห้ง

2.5.7.4 กำลังอัด

บล็อกคอนกรีตต้องมีความแข็งแรงทนทาน สามารถต้านทานแรงอัดได้ดีพอสมควร หากไม่แน่ใจว่ามีความแข็งแรงทนทาน จำเป็นต้องนำไปทดสอบเพื่อตรวจสอบความแข็งแรงตามสถาบันของทางราชการที่เชื่อถือได้

การทดสอบรับแรงอัด กระทำได้โดยวางบล็อกคอนกรีตบนเครื่องทดสอบแล้วออกแรงกดจนกระทั่งบล็อกคอนกรีตแตก แล้วอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดที่บล็อกคอนกรีตรับได้เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

หน่วยแรงอัดสูงสุด หมายถึงอัตราส่วนระหว่างแรงอัดสูงสุดต่อพื้นที่รับแรง มีหน่วยเป็น กก./ซม² เขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$\text{หน่วยแรงอัดสูงสุด} = \frac{\text{น้ำหนักกดสูงสุด (กก.)}}{\text{พื้นที่รับแรง (ซม}^2\text{)}} \quad (2.4)$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อที่จะลดการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และพัฒนาวัสดุประสานชนิดใหม่ โดยไม่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อทำคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้วัสดุจีโพลิเมอร์ให้สามารถใช้งานในอุตสาหกรรมก่อสร้างได้อย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น งานวิจัยที่เกี่ยวกับการผลิตคอนกรีตบล็อกโดยวัสดุประสานจากจีโพลิเมอร์มีค่อนข้างน้อย และยังไม่พบการใช้เถ้าแกลบเพื่อเป็นสารตั้งต้นของจีโพลิเมอร์สำหรับผลิตคอนกรีตบล็อก

สุรพันธ์ สุคันธปริย์ 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-เปลือกไม้สูงขึ้นยิ่งทำให้กำลังอัดของอิฐคอนกรีต

สูงขึ้นตามไปด้วย ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาเถ้าแกลบ- เปลือกไม้โดยการบดอนุภาค ให้มีความละเอียดขึ้น สามารถทำให้มีคุณสมบัติการเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดี และนำมาใช้ผลิตอิฐคอนกรีตได้ดี

ชรินทร์ เสนาวงษ์ และ คณะ (2552) ได้ศึกษาการทำคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากเถ้าก้นเตา โดยใช้เถ้าก้นเตาที่ได้จากการเผาเถ้าถ่านหินแบบฟลูอิดไดซ์เบด มาใช้เป็นมวลรวมหายาบใน ส่วนผสมคอนกรีตบล็อก และทำการอัดคอนกรีตบล็อกโดยใช้เครื่องอัดชนิดซินวา-แรม (Cinva-ram) หลังจากนั้นบ่มคอนกรีตบล็อกในอากาศและทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน ตลอดจนทดสอบความหนาแน่น และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำในคอนกรีตบล็อกที่อายุทดสอบ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่า ร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณของเถ้าก้นเตาที่มากขึ้น และเมื่อใช้เถ้าก้นเตาในส่วนผสมคอนกรีตบล็อกมากขึ้น ส่งผลให้กำลังอัด และความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกทุกส่วนผสม ที่ได้จากการศึกษามีค่าสูงกว่ามาตรฐานของคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก (มอก. 57-2533) ที่กำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 110 กก/ซม² และมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำน้อยกว่าค่ามาตรฐาน โดยกำหนดไว้ไม่ให้เกินร้อยละ 30 ซึ่งถือว่าคอนกรีตบล็อกมีกำลังอัดที่ดีเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน โดยจัดเป็นคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักประเภท ก ได้

จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า ได้มีการนำเอาวัสดุต่างๆ มาเป็นส่วนผสมเพื่อใช้เป็นวัสดุปอซโซลานและแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการทำคอนกรีตบล็อก จะทำให้ได้กำลังอัดที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาเป็นส่วนผสม ซึ่งวัสดุประสานหลักที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกยังคงเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดังนั้นการศึกษารุ่นนี้จึงพยายามศึกษาการทำคอนกรีตบล็อกโดยไม่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสม แต่จะใช้วัสดุจีโอพอลิเมอร์เป็นวัสดุประสานแทน การศึกษาที่เกี่ยวกับวัสดุจีโอพอลิเมอร์ที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตั้งต้น ที่สำคัญมีดังนี้

Yun Yong Kim et al. (2014) ได้ศึกษาสมบัติด้านความคงทนและกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าแกลบ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 7, 8, 9 และ 10 โมลาร์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการศึกษาพบว่า การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นและบ่มมอร์ตาร์นานขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์สูงขึ้นอย่างชัดเจน นอกจากนี้พบว่า การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการกักน้ำของกรดซัลฟูริกมีค่าไม่แตกต่างกันมาก โดยมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้น

S. Detphan and P. Chindaprasirt (2009) ได้ศึกษาการทำวัสดุจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าถ่านหินผสมกับเถ้าแกลบ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้อัตราส่วนระหว่างเถ้าแกลบต่อเถ้าถ่านหินเท่ากับ 0/100, 20/80, 40/60, และ 60/40 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่า กำลังอัดที่ได้จากจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าแกลบผสมกับเถ้าถ่านหินอยู่ในช่วง 12.5-56.0 MPa โดยขึ้นกับอัตราส่วนระหว่างเถ้าแกลบต่อเถ้าถ่านหิน และความละเอียดของเถ้าแกลบ การใช้

อัตราส่วนของ sodium silicate/NaOH เท่ากับ 4.0 และบ่มที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชม. ให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหินสูงสุด

บุรฉัตร นัทรวิระ (2555) ได้ศึกษา สมบัติของจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอยและเถ้าแกลบ: อิทธิพลของอัตราส่วนของเถ้าลอยต่อเถ้าแกลบ อัตราส่วน Na_2SiO_3 ต่อ NaOH ภายใต้การบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ ผลการศึกษาพบว่า จีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์มีค่าความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของ Na_2SiO_3 ต่อ NaOH ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ระยะเวลาการก่อตัวมีค่าลดลง นอกจากนั้นจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ซึ่งประกอบด้วยเถ้าลอยล้วนมีกำลังอัดสูงสุดทั้งกรณีการบ่มในเตาอบและพลังงานไมโครเวฟ และพบว่ากำลังอัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าแกลบในส่วนผสม

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า สารจีโอพอลิเมอร์เป็นวัสดุเชื่อมประสาน ทำจากสารปอซโซลานที่ประกอบด้วยซิลิกาและอะลูมินาเป็นหลัก เมื่อผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายโซเดียมซิลิเกต สามารถก่อตัวและแข็งตัวให้มีกำลังรับแรงได้ ซึ่งเถ้าแกลบมีปริมาณของซิลิกาค่อนข้างสูง จึงมีแนวโน้มที่จะสามารถใช้เป็นวัสดุประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อกได้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

- 3.1.1 โซเดียมซิลิเกต ($\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2$) สารละลายโซเดียมซิลิเกตที่อัตราส่วน SiO_2 ต่อ Na_2O เท่ากับ 3.4 ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.36 ที่อุณหภูมิ 30°C
- 3.1.2 แก้วเคลือบดำที่ไม่บด (ได้จากโรงงานโดยตรง)
- 3.1.3 แก้วถ่านหิน (ได้จากโรงงานโดยตรง)
- 3.1.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 3.1.5 หินฝุ่น

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

- 3.2.1 เครื่องอัดบล็อกคอนกรีต ชนิดซินวา-ราม (Cinva-ram)
เป็นเครื่องอัดดินซีเมนต์บล็อกแบบไม่ต้องใช้ไฟฟ้า (ดังรูปที่ 3.1ก) เคลื่อนย้ายสะดวก แข็งแรงทนทาน สามารถอัดบล็อกได้ด้วยตนเอง คุณสมบัติพิเศษ ใช้แรงคน โยกอัดบล็อกด้วยคานทอดแรงอัดได้ครั้งละ 1 ก้อน ทำบล็อกประสานแบบเต็มก้อนและครึ่งก้อน ได้ในเครื่องเดียว อัตราการผลิตประมาณ 300 -400 ก้อน ต่อวัน ตัวเครื่องผลิตจากเหล็กหนา แข็งแรงทนทานต่อการใช้งานหนัก ผลิตก้อนขนาด $10 \times 12.50 \times 25$ ซม.³. โดยใช้ 32 ก้อน ต่อ 1 ตรม.
- 3.2.2 เครื่องทดสอบกำลังอัด (รูปที่ 3.1ข)
- 3.2.3 เครื่องตัดบล็อกคอนกรีต (รูปที่ 3.1ค)
- 3.2.4 ตู้อบ (รูปที่ 3.1ง)
- 3.2.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก (รูปที่ 3.1จ)
- 3.2.6 อุปกรณ์อื่นๆ เช่น ภาชนะผสมสาร เกรียง แผ่นพลาสติกใส



ก) เครื่องอัดบดลึอกคอนกรีตชนิดซินวา-แรม (Cinva-ram)



ข) เครื่องทดสอบกำลังอัด



ค) เครื่องตัดบดลึอกคอนกรีต



ง) ตู้อบคอนกรีตบดลึอก



จ) เครื่องชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ

3.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตคอนกรีตบดลึอกชนิดรับน้ำหนัก จากจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง โดยทำการทดสอบกำลังอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ โดยเตรียมจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลึอกจากจากเถ้าแกลบที่ไม่ผ่านการบดและเถ้าถ่านหิน (เถ้าแกลบ:เถ้าถ่านหิน เท่ากับ 50:50

โดยน้ำหนัก) โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งกำหนดอัตราส่วนระหว่าง Si/Al คงที่ และใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 12, 14, 16 และ 18 โมลาร์ และใช้ปริมาณหินฝุ่นเป็นมวลรวมแทนที่ในอัตราส่วน (เถ้าแกลบ+เถ้าถ่านหิน):หินฝุ่น เท่ากับ 1:4, 1:6 และ 1:8 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมคอนกรีตบล็อกแสดงดังตารางที่ 3.1 ในการอัดคอนกรีตบล็อกได้ทำการผสมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหินทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นผสมสารละลายโซเดียมซิลิเกตและหินฝุ่นตามส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 3.1 คลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันก่อนเทลงในแบบหล่อของเครื่องอัดคอนกรีตบล็อกชนิดซินวาแรมในปริมาณที่เท่ากันทุกส่วนผสม ทำการอัดจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกโดยใช้เครื่องอัดชนิดซินวาแรม และบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในอากาศที่อุณหภูมิห้อง (25°C) และที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นบ่มต่อเนื่องในอากาศที่อุณหภูมิห้องจนถึงอายุทดสอบ การเตรียมตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกแสดงดังรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบ

ส่วนผสม	ส่วนผสมจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก						ความเข้มข้นของ NaOH (โมลาร์)	
	วัสดุประสาน (กรัม)		หินฝุ่น (กรัม)			NaOH (กรัม)		$\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_3$ (กรัม)
	เถ้าแกลบ	เถ้าถ่านหิน	วัสดุประสาน : หินฝุ่น					
			1:4	1:6	1:8			
1:4(12M)	772	772	6176	0	0	436	868	12
1:6(12M)	772	772	0	9264	0	436	868	12
1:8(12M)	772	772	0	0	12352	436	868	12
1:4(14M)	772	772	6176	0	0	436	868	14
1:6(14M)	772	772	0	9264	0	436	868	14
1:8(14M)	772	772	0	0	12352	436	868	14
1:4(16M)	772	772	6176	0	0	436	868	16
1:6(16M)	772	772	0	9264	0	436	868	16
1:8(16M)	772	772	0	0	12352	436	868	16
1:4(18M)	772	772	6176	0	0	436	868	18
1:6(18M)	772	772	0	9264	0	436	868	18
1:8(18M)	772	772	0	0	12352	436	868	18



รูปที่ 3.2 การเตรียมตัวอย่างอีพอกซีคอนกรีตบล็อก

3.4 การทดสอบตัวอย่างอีพอกซีคอนกรีตบล็อก

การศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการทดสอบสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำอีพอกซีคอนกรีตบล็อก กำลังอัดและการดูดซึมน้ำของอีพอกซีคอนกรีตบล็อกจากแก้วกลมและแก้วถ่านหินดังนี้

3.4.1 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีของวัสดุประสานและมวลรวม ดังนี้

- ทดสอบความถ่วงจำเพาะของแก้วกลมและแก้วถ่านหิน โดยใช้ขวดทดลองมาตรฐานเลอชาเตอลิเยร์ (Le Chatelier) ตามมาตรฐาน ASTM C 188 ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัสดุต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับวัสดุนั้น โดยปริมาตรของวัสดุที่ทำการทดสอบหาได้จากการแทนที่ในน้ำมันก๊าด ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำกับแก้วกลมและแก้วถ่านหินทำให้อ่างแก้วกลมและแก้วถ่านหินอาจแข็งตัวและมีปริมาตรเปลี่ยนแปลงได้

- ทดสอบความละเอียดของแก้วกลมและแก้วถ่านหินโดยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 (มีขนาดช่องเปิดเท่ากับ 45 ไมโครเมตร) ด้วยวิธีร่อนแบบเปียก ซึ่งทำโดยการชั่งน้ำหนักวัสดุก่อนนำไปร่อนผ่านตะแกรงโดยใช้น้ำ เมื่อนำไปอบให้แห้งจะได้ส่วนที่เหลือบนตะแกรง ซึ่งเป็นน้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325

- ส่งตัวอย่างวัสดุประสานถ่ายภาพขยายกำลังสูงของแก้วถ่านหิน วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแก้วกลมและแก้วถ่านหิน

- ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ ตามมาตรฐาน ASTM C 127 ซึ่งความถ่วงจำเพาะของมวลรวม คือ อัตราส่วนของน้ำหนักมวลรวมในอากาศเทียบกับน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากันที่อุณหภูมิเดียวกัน และทำการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ เพื่อทราบถึงปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปจนเต็มช่องว่างที่น้ำซึมผ่านได้ของมวลรวม แต่ไม่รวมน้ำที่เกาะอยู่ผิววนอกของมวลรวม

3.4.2 การทดสอบกำลังอัดและการดูดซึมน้ำ

เมื่อครบกำหนดทดสอบทำการตัดตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด $50 \times 50 \times 50$ มม.³ ดังรูปที่ 3.3 เพื่อใช้ทดสอบกำลังอัด (เฉลี่ยจาก 3 ก้อน) ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน นอกจากนั้นได้ทดสอบการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C642-97 โดยตัดตัวอย่างคอนกรีตบล็อกให้มีขนาด $50 \times 50 \times 50$ มม.³ นำตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ $100 - 110$ °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างและแช่ตัวอย่างคอนกรีตบล็อกให้จมอยู่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วใช้ผ้าเช็ดให้แห้งโดยรอบอย่างรวดเร็ว และชั่งน้ำหนัก ภายใน 5 นาที คำนวณหาร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก จากน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบล็อกหลังจากแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ลบด้วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่อบแห้งหารด้วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่อบแห้งทั้งหมดคูณด้วย 100 โดยทดสอบหาร้อยละการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 3.3 การตัดตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกสำหรับทดสอบกำลังอัด

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

4.1 สมบัติของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย เถ้าแกลบดำจากโรงงานโดยตรง ซึ่งมีน้ำหนักข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ในปริมาณร้อยละ 48 ความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบ เท่ากับ 2.07 ลักษณะของเถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรงมีสีดำ ผิวขรุขระ ดังรูปที่ 4.1 (ก) และเมื่อพิจารณารูปร่างของเถ้าแกลบจากรูปภาพขยายกำลังสูงด้วยเครื่อง SEM แสดงดังรูปที่ 4.1(ข) จะเห็นได้ชัดว่าลักษณะของเถ้าแกลบมีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมมุมและมีผิวขรุขระไม่เรียบ ส่วนเถ้าถ่านหินที่ได้จากโรงงานโดยตรงมีสีเทา ดังรูปที่ 4.2 (ก) และเมื่อขยายด้วยเครื่อง SEM ดังรูปที่ 4.2 (ข) พบว่า มีอนุภาคกลม ตัน ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพที่ดีของเถ้าถ่านหินที่จะเข้าทำปฏิกิริยาปอซโซลาน หรือ โพลีเมอร์ไรท์เซชั่นได้ดี

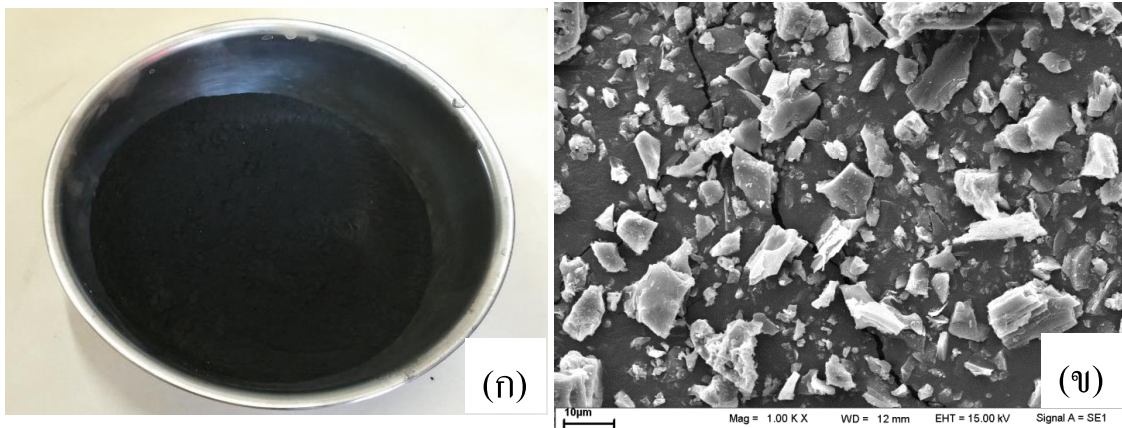
สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบดำที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีปริมาณของ SiO_2 สูงถึงร้อยละ 90 ส่วนเถ้าถ่านหินที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นเถ้าถ่านหินที่ได้โดยตรงจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.23 และความละเอียดข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 31.2 โดยน้ำหนัก ซึ่งไม่เกินร้อยละ 34 โดยน้ำหนัก และเป็นไปตามเกณฑ์ของมาตรฐาน ASTM C618 สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหิน มีผลรวมของสารประกอบหลัก SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 72.21 ซึ่งจัดเป็นเถ้าถ่านหินชนิด F ตามมาตรฐาน ASTM C 618 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบดำและเถ้าถ่านหินแสดงดังตารางที่ 4.1

ของเหลวที่ใช้ในการเตรียมวัสดุจีโอพอลิเมอร์ ประกอบด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 12, 14, 16, และ 18 โมลาร์

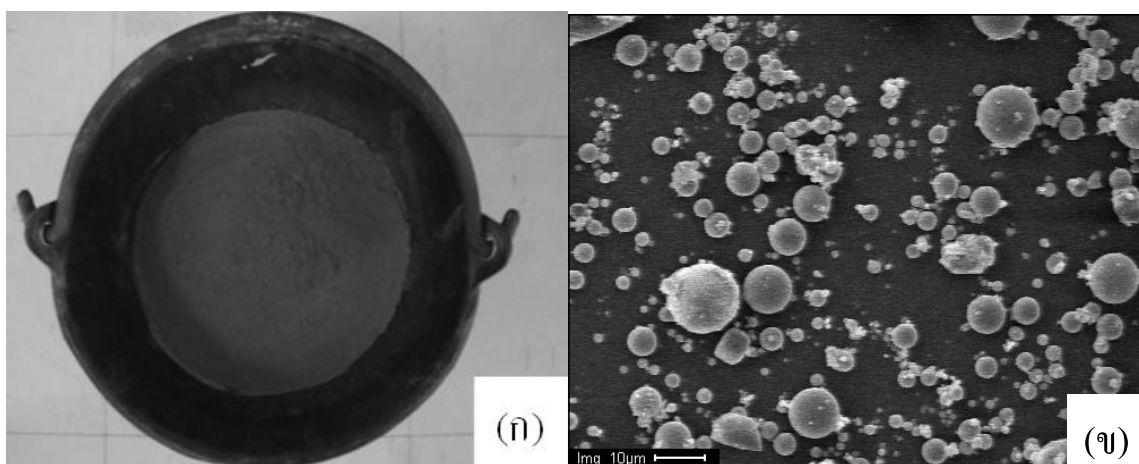
มวลรวมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้หินฝุ่นที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.63 การดูดซึมน้ำของหินฝุ่นที่ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127 เท่ากับร้อยละ 10.01 และค่าโมดูลัสความละเอียดของหินฝุ่นเท่ากับ 3.07

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%)	
	เถ้าแกลบดำ (RHA)	เถ้าถ่านหิน (FA)
Silicon dioxide, SiO ₂	90.0	35.20
Aluminum oxide, Al ₂ O ₃	0.51	19.20
Iron oxide, Fe ₂ O ₃	2.02	17.81
Calcium oxide, CaO	0.52	16.65
Magnesium oxide, MgO	0.22	-
Sulfur trioxide, SO ₃	1.50	0.63
Other oxides	-	2.44
LOI.	4.71	1.5



รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของเถ้าแกลบดำที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของเปลือกดินที่ใช้ในการศึกษา

4.2 การพัฒนากำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก

กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเปลือกผสมเปลือกดิน ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 12 14 16 และ 18 โมลาร์ ที่บ่มในอุณหภูมิห้อง และ บ่มในอุณหภูมิ 65 °ซ ดังตารางที่ 4.2 พบว่า จีโอพอลิเมอร์ของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ในช่วง 14-18 โมลาร์ และอัตราส่วนระหว่าง (เปลือก+เปลือกดิน) ต่อ หินปูน ไม่เกิน 1:6 โดยน้ำหนัก ให้กำลังอัดมากกว่า 140 กก/ซม² ซึ่งสามารถใช้งานเป็นคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวงอุตสาหกรรม (มอก. 57-2533) ได้ โดยทุกส่วนผสมมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม โดยการพัฒนากำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่พิจารณาในรูปของร้อยละของกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เทียบกับ 7 วัน ของกลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้องอยู่ในช่วงร้อยละ 193 ถึง 229 และไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนตามความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ส่วนกลุ่มที่บ่มที่อุณหภูมิ 65 °ซ มีร้อยละกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เทียบกับอายุ 7 วัน มีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่เพิ่มขึ้น เช่น จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่ใช้ปริมาณมวลรวมน้อย (1:4) และใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 12 14 16 และ 18 โมลาร์ ที่บ่มในอุณหภูมิ 65 °ซ มีร้อยละของกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เทียบกับ 7 วัน เท่ากับ 182 163 164 และ 153 ตามลำดับ ซึ่งผลดังกล่าวอาจเกิดจากจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตกลุ่มนี้มีกำลังอัดที่สูงในช่วงต้น โดยกำลังอัดที่อายุ 7 วัน ของจีโอพอลิเมอร์กลุ่มนี้ เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ซึ่งเท่ากับ 119, 132, 134 และ 135 กก/ซม² ตามลำดับ แต่ที่อายุ 28 วัน กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกกลุ่มนี้ กลับมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามความเข้มข้นของสารละลาย NaOH โดยมีกำลังอัดเท่ากับ 216, 215, 220 และ 207 กก/ซม² ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การบ่มร้อนให้จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในช่วง

อายุต้นๆส่งผลให้ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรท์เซชันในช่วงต้นเกิดเร็วขึ้น ซึ่งซิลิกาและอลูมินาที่ถูกชะออกมาโดยสารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ได้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรท์เซชันได้ดี (ณัฐพัชร ชาติไตรวัฒน์ และ วิเชียร ชาติ, 2560; Chindaprasirt, et al., 2013) และมีกำลังอัดที่อายุ 7 วัน สูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลาย NaOH นอกจากนี้ การบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในอุณหภูมิห้อง มีการพัฒนากำลังอัดในรูปของร้อยละของกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เทียบกับ 7 วัน สูงกว่ากลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิ 65°C และเป็นแนวโน้มเดียวกันทุกส่วนผสม ทั้งนี้เป็นผลจากกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกกลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิ 65°C มีค่าสูงที่อายุต้นอยู่แล้ว จึงทำให้ร้อยละของกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เทียบกับ 7 วัน มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้อง

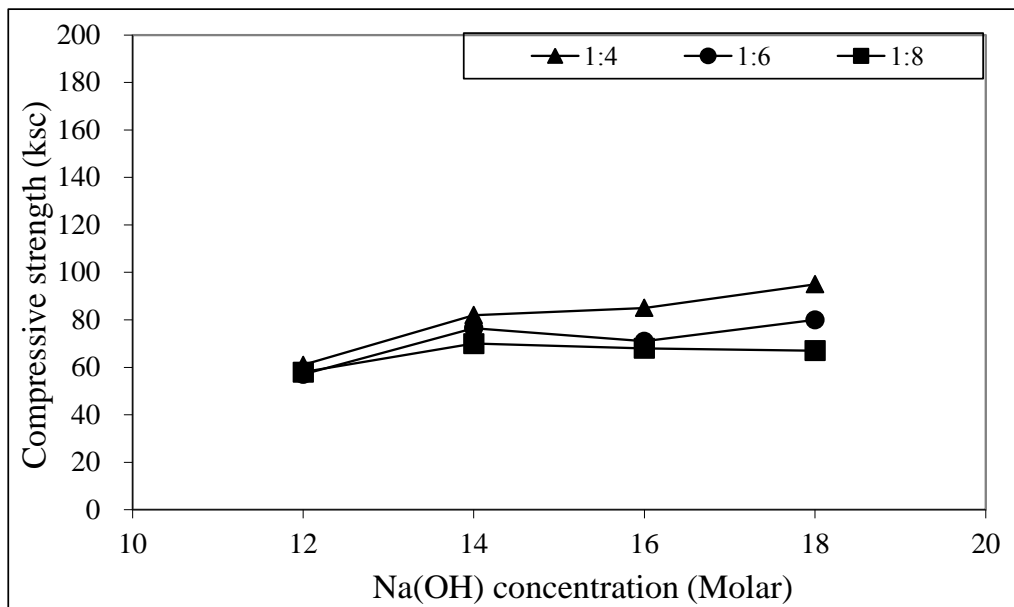
ตารางที่ 4.2 กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบผสมเถ้าถ่านหินที่บ่มที่อุณหภูมิห้องและบ่มที่อุณหภูมิ 65°C

ส่วนผสม	บ่มที่อุณหภูมิห้อง (25°C)				บ่มที่อุณหภูมิ 65°C			
	กำลังอัด (กก/ซม ²)			กำลังอัด 28 วัน เทียบ 7 วัน (ร้อยละ)	กำลังอัด (กก/ซม)			กำลังอัด 28 วัน เทียบ 7 วัน (ร้อยละ)
	7 วัน	14 วัน	28 วัน		7 วัน	14 วัน	28 วัน	
1:4(12M)	61	125	134	220	119	165	216	182
1:6(12M)	57	90	120	211	112	129	163	182
1:8(12M)	58	77	116	200	109	121	150	138
1:4(14M)	82	109	159	194	132	175	215	163
1:6(14M)	77	84	149	195	120	176	190	159
1:8(14M)	70	95	126	179	110	132	156	142
1:4(16M)	85	100	167	196	134	165	220	164
1:6(16M)	71	83	155	217	117	129	189	161
1:8(16M)	68	85	151	221	96	115	168	176
1:4(18M)	95	121	184	193	135	155	207	153
1:6(18M)	80	104	139	174	100	145	152	152
1:8(18M)	67	107	124	185	98	112	137	139

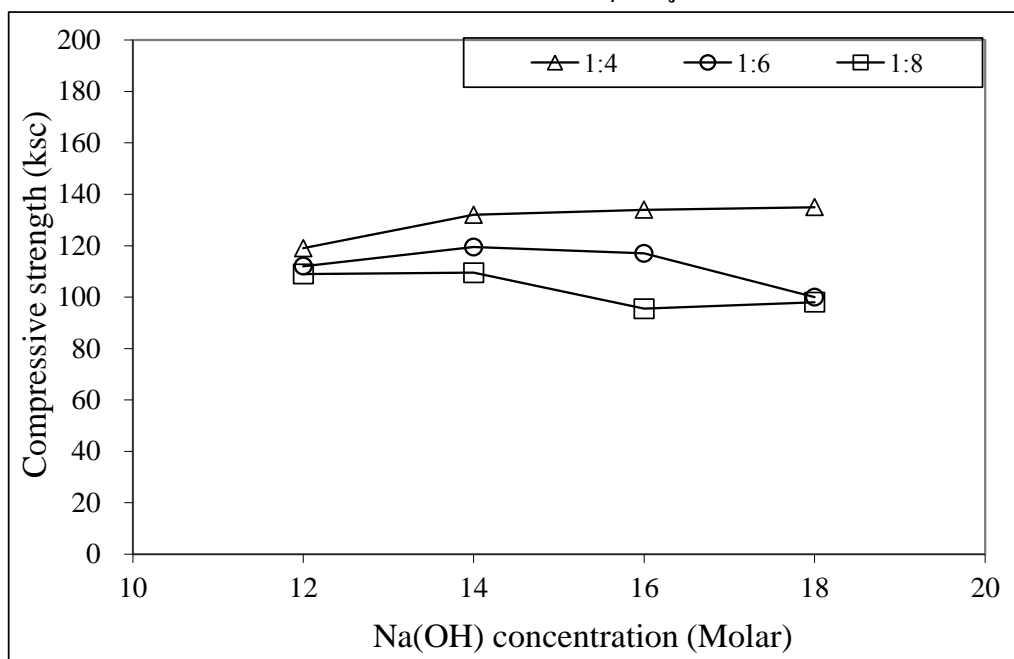
4.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่อายุ 7 วัน ที่บ่มในอุณหภูมิห้อง (25°C) และบ่มในอุณหภูมิ 65°C . ดังแสดงในรูปที่ 4.3(ก) และ 4.3(ข) ตามลำดับ พบว่า ที่อายุช่วงต้น กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มสูงขึ้น ตามความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่มากขึ้น โดยเห็นผลชัดเจนในกลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้องมากกว่ากลุ่มที่บ่ม ในอุณหภูมิ 65°C . เช่น จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่ใช้มวลรวมปริมาณน้อย (1:4) และใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 12 14 16 และ 18 โมลาร์ ที่บ่มในอุณหภูมิห้อง และบ่มที่อุณหภูมิ 65°C . มีกำลังอัดที่อายุ 7 วัน เท่ากับ 61 82 85 95 และ 119 132 134 135 กก/ซม² ตามลำดับ ส่วนกลุ่มที่ใช้มวลรวมปริมาณมาก (1:8) กลับพบว่า กำลังอัดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยที่ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH สูงขึ้นมากกว่า 16 โมลาร์ โดยเห็นผลชัดเจนเมื่อให้ความร้อนกับจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก โดยผลดังกล่าวอาจเกิดจากการใช้มวลรวมปริมาณมาก ปริมาณเพสต์ลดลง ผลของเพสต์ที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกจะลดลงด้วย โดยเฉพาะคอนกรีตบล็อกที่มีการอัดด้วยแรงให้แน่น ส่วนในคอนกรีตบล็อกที่ใช้เพสต์ปริมาณมาก (มวลรวมปริมาณ น้อย (1:4)) กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกจะขึ้นกับสมบัติของเพสต์มากขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่มากขึ้น เป็นผลจากสารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น สามารถชะเอาซิลิกาและอะลูมินาจากเถ้าถ่านหินได้มากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรท์เซชัน ได้สมบูรณ์ และส่งผลให้จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตมีกำลังอัดสูงขึ้นได้ (Chindapasirt and Chalee, 2014; Hanjitsuwan, et al., 2014)

เมื่อพิจารณาที่อายุบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตมากขึ้นเป็น 28 วัน ดังรูปที่ 4.4 พบว่า แนวโน้มส่วนใหญ่ให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกสูงขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH สูงไม่เกิด 16 โมลาร์ โดยเห็นผลชัดเจนในคอนกรีตบล็อกที่ใช้มวลรวมปริมาณปานกลาง (1:6) และปริมาณมาก (1:8) ซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกันทั้งกลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้อง (รูปที่ 4.4ก) และที่บ่มในอุณหภูมิ 65°C . (รูปที่ 4.4ข) โดยผลดังกล่าวอาจเกิดจากความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่สูงเกินไปมีผลให้มี NaOH ส่วนเกินที่ส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกลดลงได้ (ชรินทร์ เสนาวงษ์ และคณะ, 2553) โดยการศึกษาที่ผ่านมา (อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และคณะ, 2549) พบว่า การชะเอาซิลิกาและอะลูมินาจากเถ้าถ่านหินมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูง มากกว่า 15 โมลาร์

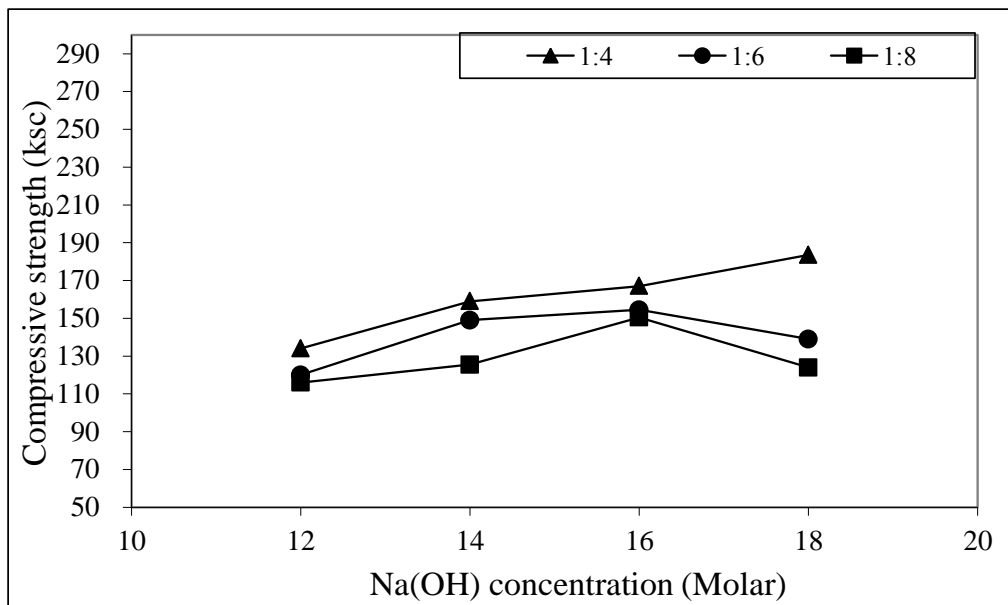


ก) ปุ่มที่อุณหภูมิห้อง

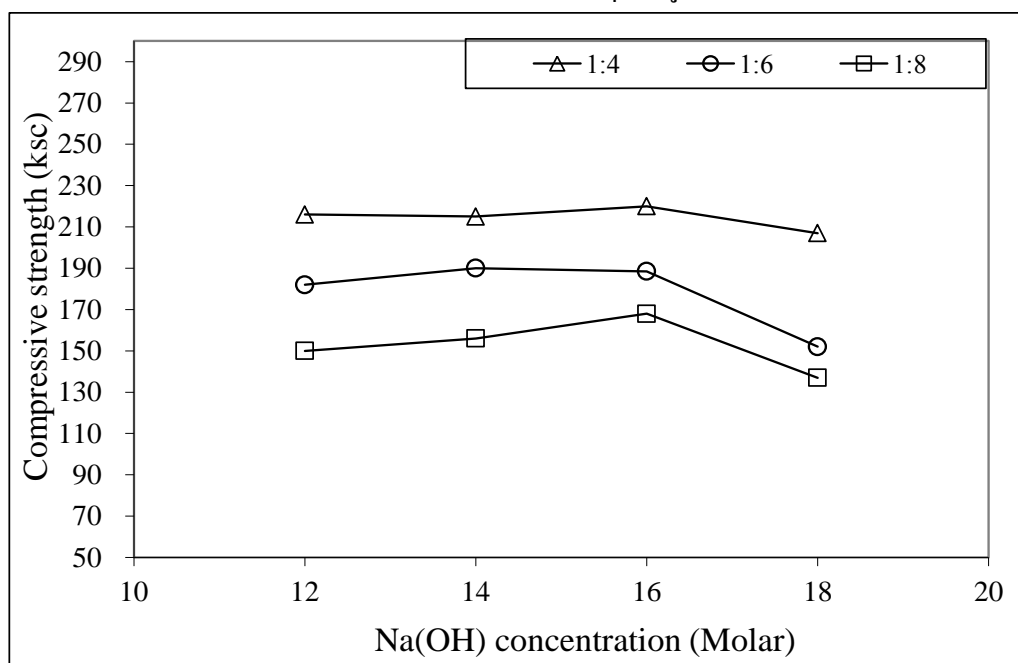


ข) ปุ่มที่อุณหภูมิ 65°C.

รูปที่ 4.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่อายุปุ่ม 7 วัน



ก) ป๋มที่อุณหภูมิจี๋อง

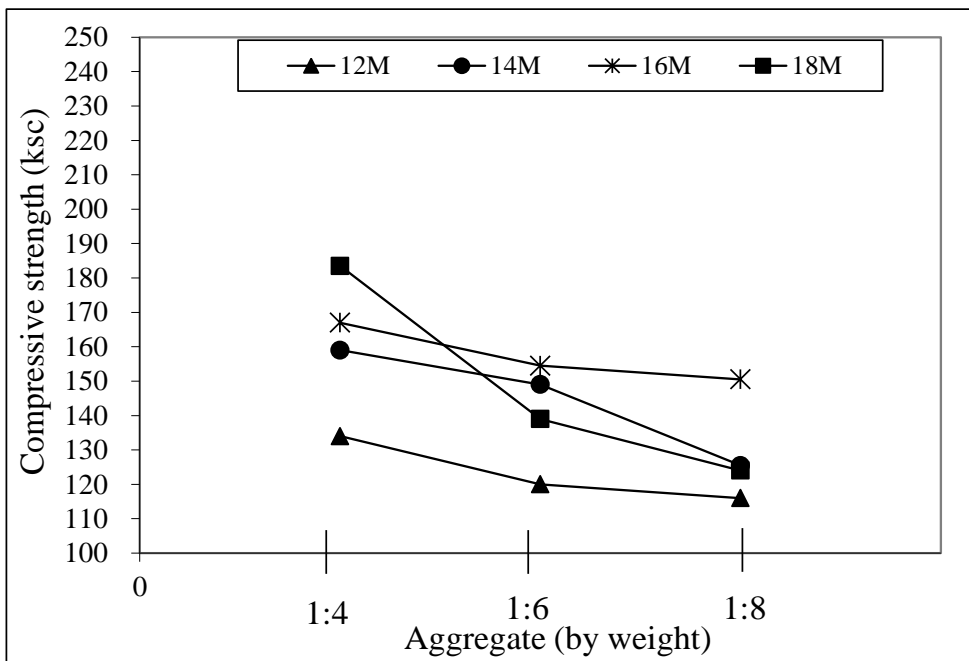


ข) ป๋มที่อุณหภูมิจี๋อง 65°C.

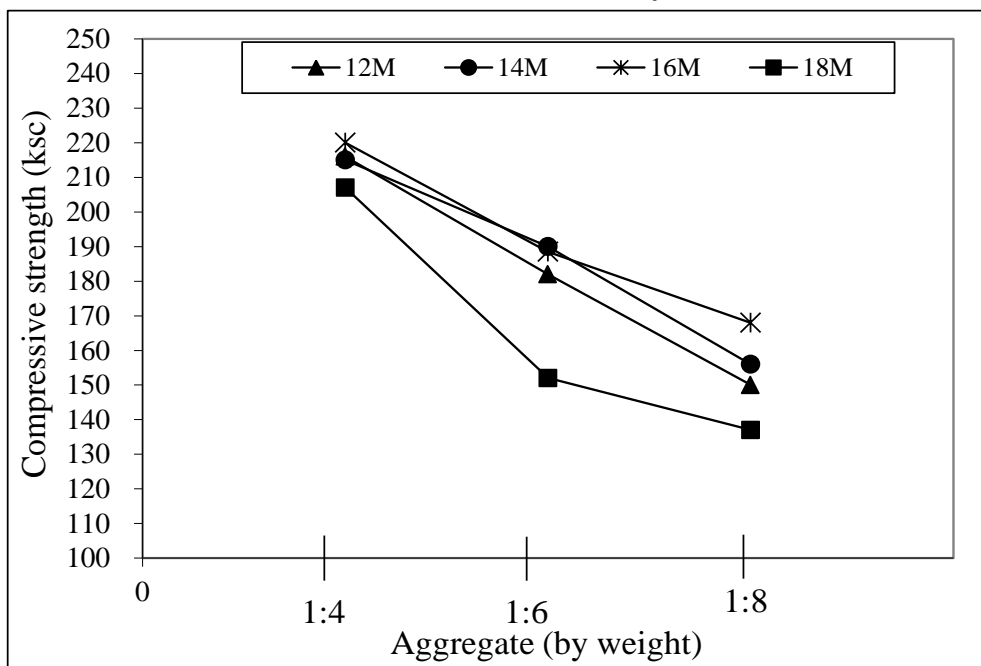
รูปที่ 4.4 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลี้คที่ อายุป๋ม 28 วัน

4.4 ผลของปริมาณมวลรวมต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลอกจากเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหิน

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณมวลรวมต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลอกจากเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหิน ที่บ่มในอุณหภูมิห้องและบ่มในอุณหภูมิ 65°C ที่ อายุ 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4.5(ก) และ 4.5(ข) ตามลำดับ พบว่า จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลอกจากทุกส่วนผสมมีกำลังอัดลดลงตามปริมาณของมวลรวมที่มากขึ้น เช่น จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลอกจากที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH เท่ากับ 12 โมลาร์ และใช้ปริมาณมวลรวมปริมาณน้อย (1:4), ปานกลาง (1:6) และ มาก (1:8) ให้กำลังอัดในกลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้องและบ่มในอุณหภูมิ 65°C ที่ อายุ 28 วัน เท่ากับ 134 120 116 และ 216 163 150 กก/ซม² ตามลำดับ และเป็นไปในทิศทางเดียวกันในทุกความเข้มข้นของสารละลาย NaOH กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลอกจากเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหิน ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ เป็นผลจากสมบัติของจีโอพอลิเมอร์เพสต์ที่ยึดเกาะระหว่างวัสดุประสานและมวลรวมส่งผลให้กำลังอัดที่สูงขึ้น และอีกส่วนเป็นผลจากการอัดแน่นเชิงกลที่เกิดจากการอัดจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลอกจากเพื่อขึ้นรูปเป็นก้อน ทำให้จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลอกจากสามารถรับแรงได้สูงขึ้น (Panha Huy และคณะ, 2559) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้พบว่า เมื่อใช้จีโอพอลิเมอร์เพสต์ปริมาณต่ำลง (มวลรวมมากขึ้น) ส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลอกจากต่ำลงอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า จีโอพอลิเมอร์เพสต์มีผลชัดเจนต่อการยึดประสานมวลรวมเข้าด้วยกัน และทำให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลอกจากสูงขึ้นตามปริมาณเพสต์ ซึ่งผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับกำลังอัดของคอนกรีตทั่วไปที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน ที่พบว่า กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้นตามปริมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มากขึ้น นอกจากนี้พบว่า การลดลงของกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลอกจาก เมื่อเพิ่มปริมาณมวลรวมจากปริมาณน้อย (1:4) ไปมาก (1:8) มีผลชัดเจนกับกลุ่มที่ใช้สารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นสูงมากกว่าความเข้มข้นต่ำ (สังเกตจากความชันของกราฟรูปที่ 5) ซึ่งผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลอกจากขึ้นกับความแข็งแรงของเพสต์อย่างชัดเจน โดยการลดปริมาณของเพสต์ที่มีความแข็งแรงสูง (ความเข้มข้นของ NaOH สูง) จึงมีผลทำให้กำลังอัดลดลงชัดเจนมากกว่ากลุ่มที่ใช้จีโอพอลิเมอร์เพสต์ที่มีความแข็งแรงต่ำ (ความเข้มข้นของ NaOH ต่ำ) โดยเห็นผลชัดเจนในกลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้อง



ก) ป๋มที่อุณหภูมิห้อง



ข) ป๋มที่อุณหภูมิ 65°C

รูปที่ 4.5 ผลของปริมาณมวลรวมต่อกำลังอัดของจีโอฟิลิเมอร์คอนกรีตบดอัดที่อายุป๋ม 28 วัน

4.5 ผลของอุณหภูมิต่อการอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหิน

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อการอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหิน ดังตารางที่ 4.3 พบว่า การบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่อุณหภูมิ 65 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนบ่มต่อเนื่องในอากาศจนถึงอายุทดสอบ ส่งผลให้กำลังอัดที่ทุกอายุการบ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยมีแนวโน้มเหมือนกันในทุกความเข้มข้นของสารละลาย NaOH และทุกกลุ่มของปริมาณมวลรวมหยาบที่ต่างกัน เช่น จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่ใช้มวลรวมปริมาณน้อย (1:4) และใช้สารละลาย NaOH เข้มข้น 12 14 16 และ 18 โมลาร์ ของกลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้อง ให้กำลังอัดที่อายุบ่มที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 134 159 167 และ 184 กก/ซม² ตามลำดับ และเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 65 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกกลุ่มดังกล่าวเพิ่มขึ้นเป็น 216 215 220 และ 207 กก/ซม² ตามลำดับ โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [16] ที่พบว่า การบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าถ่านหิน ที่ได้จากโรงงานโดยตรงในอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดสูงกว่ากลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้องอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลจากการเพิ่มอุณหภูมิในการบ่มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์ไรเซชันให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วและสมบูรณ์มากขึ้น (ณัฐพัชร์ ผาติไตรวัฒน์ และ วิเชียร ชาลี, 2560; Chindaprasirt, et al., 2013) เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของอุณหภูมิบ่ม (effective curing temperature) ต่อกำลังอัดจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบผสมเถ้าถ่านหินตามสมการที่ (4.1) (Panha Huy และคณะ, 2559)

$$E_T = \frac{[(C_{65} - C_R) \times 100]}{C_R} \quad (4.1)$$

เมื่อ E_T = ประสิทธิภาพของอุณหภูมิบ่ม (ร้อยละ)

C_{65} = กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์คอนกรีต

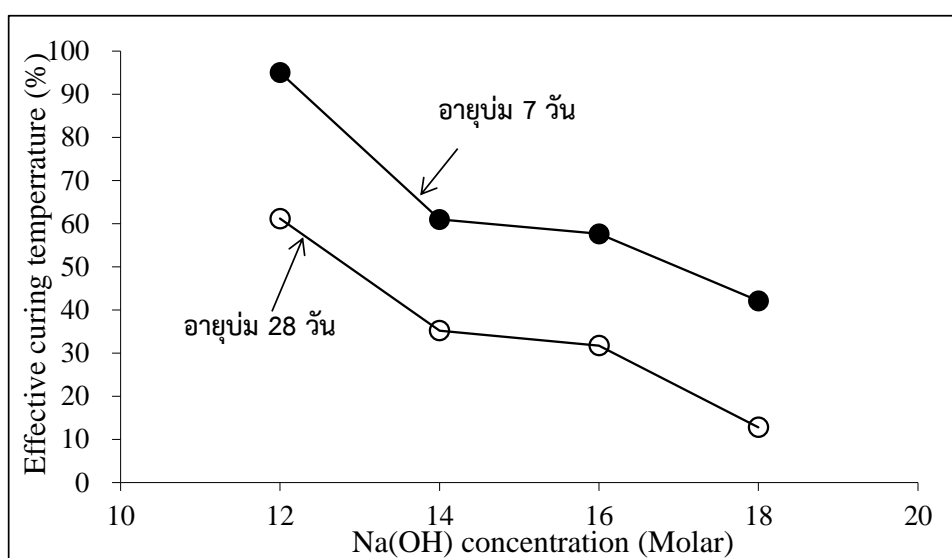
บล็อกจากเถ้าแกลบผสมเถ้าถ่านหินที่บ่มในอุณหภูมิ 65 °ซ (กก/ซม²)

C_R = กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์คอนกรีต

บล็อกจากเถ้าแกลบผสมเถ้าถ่านหินที่บ่มในอุณหภูมิห้อง (กก/ซม²)

พิจารณาผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อประสิทธิภาพของอุณหภูมิบ่มในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบผสมเถ้าถ่านหิน ที่ใช้มวลรวมปริมาณน้อย (1:4) ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน ที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 1 ดังรูปที่ 6 พบว่า การใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH สูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของอุณหภูมิบ่มที่ใช้บ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกลดลงอย่างชัดเจน โดยมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งที่อายุ 7 และ 28 วัน โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับผล

การศึกษาที่ผ่านมา (Panha Huy และคณะ, 2559) ที่ทำการทดสอบในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือค จากเถ้านหินเพียงอย่างเดียว อาจเป็นผลจากสารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นสูง สามารถชะเอา ซิลิกาและอะลูมินาจากเถ้าแกลบและเถ้านหินได้มาก การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรท์เซชันที่ส่งผลให้ จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคมีกำลังอัดสูงได้โดยไม่ต้องใช้ความร้อนกระตุ้นมาก (Chindaprasirt and Chalee, 2014; Hanjitsuwan, et al., 2014) นอกจากนั้นพบว่า การบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีต บดลือคที่อุณหภูมิสูงขึ้น มีผลต่อการเพิ่มกำลังอัดในช่วงอายุต้น (7 วัน) มากกว่าอายุ 28 วัน ซึ่งเป็นผล จากการให้ความร้อนเพื่อเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรท์เซชันในช่วงอายุต้นก่อนที่จะบ่มต่อเนื่องใน อากาศ

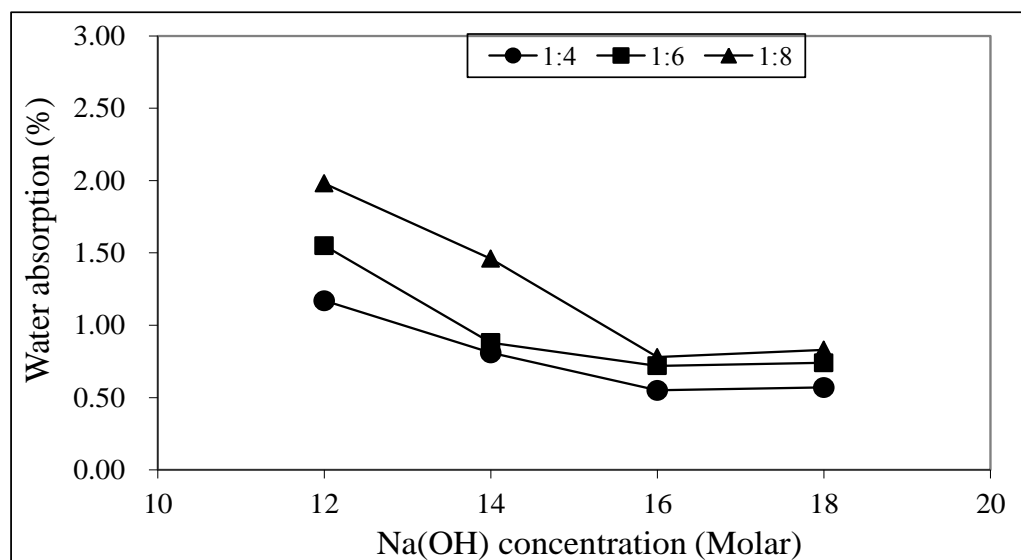


รูปที่ 4.6 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อประสิทธิภาพของอุณหภูมิบ่มในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือค ที่ใช้มวลรวมปริมาณน้อย (1:4) ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน

4.6 การดูดซึมน้ำของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือค

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซึมน้ำกับความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคจากเถ้าแกลบผสมเถ้านหิน ที่ใช้มวลรวมปริมาณต่าง ๆ กัน ดังรูปที่ 4.7 พบว่า ร้อยละการดูดซึมน้ำในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคมีค่าต่ำลง เมื่อใช้สารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น และใช้มวลรวมในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคในปริมาณที่ลดลง โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคที่สูงขึ้นด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคจากเถ้าแกลบผสมเถ้านหินที่มีกำลังอัดสูงขึ้น จีโอพอลิเมอร์เพสต์มีความแข็งแรงและยึดประสานระหว่างมวลรวมได้ดีขึ้น ส่งผลให้เนื้อจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคมีความทึบน้ำและลดการดูดซึมน้ำเข้าไปในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคได้อย่างชัดเจน

โดยผลดังกล่าวมีแนวโน้มเหมือนกับคอนกรีตของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไป ที่ความทึบน้ำในคอนกรีตขึ้นกับกำลังรับแรงอัดเป็นหลัก [Chalee, et al., 2010) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินในงานวิจัยที่ผ่านมา (กิตติกร เจริญพร้อม และวิเชียร ชาติ, 2556) พบว่า ความทึบน้ำในคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินคุณภาพดีไม่ได้ขึ้นกับกำลังอัดของคอนกรีตเป็นหลัก แต่ขึ้นกับลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าถ่านหินด้วย เช่น คอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินในปริมาณสูงขึ้น ส่งผลให้ กำลังอัดมีแนวโน้มลดลง แต่กลับพบว่าคอนกรีตมีความทึบน้ำมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของเถ้าถ่านหินที่มีลักษณะกลมตัน สามารถแทรกตัวและลดความพรุนในเนื้อคอนกรีตได้ ส่วนคอนกรีตหรือคอนกรีตบล็อกที่ใช้จีโอพอลิเมอร์เป็นวัสดุประสาน ความทึบน้ำจะขึ้นกับสมบัติของจีโอพอลิเมอร์พอสต์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรท์เซชันมากกว่าลักษณะทางกายภาพของวัสดุตั้งต้น



รูปที่ 4.7 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อการดูดซึมน้ำของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีต บล็อกจากเถ้าแกลบผสมเถ้าถ่านหิน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 การใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่สูงขึ้น ส่งผลให้จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดออกจากเถ้าแกลบผสมเถ้าถ่านหินมีกำลังอัดสูงขึ้น และการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง โดยเห็นผลชัดเจนในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคที่ใช้มวลรวมปริมาณต่ำสุดคือ (เถ้าแกลบ+ถ่านหิน) : หินฝุ่นเท่ากับ 1:4 โดยน้ำหนัก

5.1.2 การใช้มวลรวมผสมในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคลดลง โดยเห็นผลชัดเจนในกลุ่มที่ใช้สารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นสูงมากกว่าความเข้มข้นต่ำ

5.1.3 การใช้อุณหภูมิในการบ่ม 65 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคสูงกว่ากลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้องอย่างชัดเจน โดยอุณหภูมิบ่มที่สูงขึ้นมีประสิทธิภาพต่อการเพิ่มกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคจากเถ้าแกลบผสมเถ้าถ่านหินในกลุ่มที่ใช้ความเข้มข้นของ สารละลาย NaOH ต่ำ มากกว่าความเข้มข้นของสารละลาย NaOH สูง

5.1.4 การศึกษาครั้งนี้พบว่า จีโอพอลิเมอร์ของคอนกรีตบดลือคที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ในช่วง 14-18 โมลาร์ และอัตราส่วนระหว่าง (เถ้าแกลบ+เถ้าถ่านหิน) ต่อ หินฝุ่นไม่เกิน 1:6 โดยน้ำหนัก ให้กำลังอัดสูงกว่ากำลังอัดของคอนกรีตบดลือคชนิดรับน้ำหนัก ตามมาตรฐาน มอก. 57-2533 ที่กำหนดให้คอนกรีตบดลือคชนิดรับน้ำหนักต้องมีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 14 MPa (140 กก/ซม.²) โดยแต่ละก้อนต้องมีกำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 11 MPa (110 กก/ซม.²)

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาการทำคอนกรีตบดลือคจากวัสดุจีโอพอลิเมอร์ที่ใช้สารตั้งต้นเป็นวัสดุปอซโซลานอื่นๆที่มีมากในประเทศ เช่น เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้าชานอ้อย เถ้าแกลบเปลือกไม้ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- ASTM C188-17, Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org
- ASTM C127-15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org
- ASTM C618-17a, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org
- ASTM C642-97, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1997, www.astm.org
- Chalee, W., Ausapanit P., and Jaturapitakkul, C. (2010). Utilization of fly ash concrete in marine environment for long term design life analysis. *Materials and Design* 31(3), pp. 1242-1249.
- Chindapasirt, P., Chalee, W., Jaturapitakkul, C., Rattanasak, R. (2009). Comparative study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers. *Waste Manage* 29, pp. 539-543.
- Chindapasirt, P., Rattanasak, U., Taebuanhuad S. (2013). Resistance to acid and sulfate solutions of microwave-assisted high calcium fly ash geopolymer. *Materials and Structures* 46, pp. 375-381.
- Chindapasirt, P. and Chalee, W. (2014). Effect of sodium hydroxide concentration on chloride penetration and steel corrosion of fly ash-based geopolymer concrete under marine site. *Construction and Building Materials*, 63, pp. 303–310.
- Davidovits, J. (1991). *Geopolymer inorganic polymeric new materials*. *J Therm Anal* 37, pp. 1633-1659.
- Detphan, S. and Chindapasirt, P. (2009). Preparation of fly ash and rice husk ash geopolymer. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 16(6), pp. 720–726.
- Feng, Q., Yamamichi, H., Shoya, C. (2004). Study on the pozzolanic properties of rice husk ash by hydrochloric acid pretreatment. *Cement and Concrete Research* 34, pp. 521-526.

- Hanjitsuwan, S., Hunpratub, S., Thongbai, P., Maensiri, S., Sata, V., and Chindaprasirt, P. (2014). Effects of NaOH concentrations on physical and electrical properties of high calcium fly ash geopolymer paste. *Cement and Concrete Composites*, 45, pp. 9-14.
- Rattanasak, R., and Chindaprasirt, P. (2009). Influence of Na(OH) solution on the synthesis of fly ash geopolymer. *Miner Eng* 22, pp. 1073-1078.
- Tangchirapat, W., Buranasing, R., Jaturapitakkul, C., and Chindaprasirt, P. (2008). Influence of rice husk-bark ash on mechanical properties of concrete containing high amount of recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 22, pp. 1812-1819.
- Yun Yong Kim, Byung-Jae Lee, Velu Saraswathy, Seung-Jun Kwon. (2014). Strength and Durability Performance of Alkali-Activated Rice Husk Ash Geopolymer Mortar. *The Scientific World Journal*; Article ID 209584.
- กิตติกร เจริญพร้อม และ วิเชียร ชาลี. (2556). ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำกับสัมประสิทธิ์การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตหลังแช่น้ำทะเล ๑๐ ปี. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ* 23 (1) หน้า 107-119
- ชรินทร์ เสนาวงษ์ อธิพิล วิไลลักษณ์ และ วิเชียร ชาลี. (2552). การทำคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากเก้าอี้เตาระบบฟลูอิดไดซ์เบด. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 14*, 13-15 พฤษภาคม 2552, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี หน้า 1587-1592
- ชรินทร์ เสนาวงษ์, เกียรติสุดา สมณา และ วิเชียร ชาลี. (2553). กำลังอัดและกำลังยึดเหนี่ยวของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าถ่านหิน, *Burapha Sci.*, J.15 (1) หน้า 13-22
- ณัฐพัชร์ ผาติไตรวัฒน์ และ วิเชียร ชาลี. (2560). ผลของอุณหภูมิบ่มต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าถ่านหิน. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.* 40(3), หน้า 355-364
- บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ ณัฏฐ์ มากุล. (2555). สมบัติของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอยและเถ้าแกลบ: อิทธิพลของอัตราส่วนของเถ้าลอยต่อเถ้าแกลบ อัตราส่วน Na_2SiO_3 ต่อ NaOH ภายใต้การบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.* 35 (3), หน้า 299-310
- บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ ทวีศักดิ์ คงทรัพย์. (2545). ความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.* 25(4), 373-389.
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2547). *ปูนซีเมนต์ ปอซโซลานและคอนกรีต*. ครั้งที่ 3, สมาคมคอนกรีตไทย
- ปริญญา จินดาประเสริฐ อินทรชัย หอวิจิตร และ สมนึก ประภากรธนาธร. (2554). *ปูนซีเมนต์เถ้าแกลบ*. *วารสารวิชาการที่อยู่อาศัยการเคหะแห่งชาติ*, 81-92.

- Panha Huy, Soklam Mov และ วิเชียร ชาลี. (2559). การผลิตคอนกรีตบล็อก ชนิดรับน้ำหนัก จากจีโอพอลิเมอร์จากเถาถ่านหิน. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 21(2), หน้า 31-46
- Reaksmey Soeurt และ วิเชียร ชาลี. (2559). การปรับปรุงกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบโดยใช้ค้างเร่งปฏิกิริยา. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 26(3), หน้า 347-357
- อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2552). เถ้าแกลบในงานคอนกรีต, ครั้งที่ 1, สมาคมคอนกรีตไทย
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, (2547). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 57-2533 คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก. พิมพ์ครั้งที่ 7, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.
- สุรพันธ์ สุคันธปรีย์, จตุพล ตั้งปกาศิต, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2546). การศึกษาคอนกรีตที่มีเถ้าแกลบเปลือกไม้เป็นส่วนผสม. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา 14(3), หน้า 1-7
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2547). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก. พิมพ์ครั้งที่ 7, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.
- อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์, วิเชียร ชาลี และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2549). การศึกษาการชะเถาถ่านหินลิกไนต์และกำลังอัดของวัสดุจีโอพอลิเมอร์จากเถาถ่านหิน. วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา มจร., 29(4), หน้า 437-446.

ภาคผนวก ก

ผลผลิต (Output)

บทความทางวิชาการระดับชาติ

- 1) เทียง ชีวะเกตุ และ วิเชียร ชาลี. (2561). การผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักโดยใช้จีโอพอลิเมอร์จากถ่านแกลบจากโรงงานโดยตรง. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (Going on submission)

การประยุกต์ใช้จีโอพอลิเมอร์จากเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรงในคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก

UTILIZATION OF ORIGINAL COARSE RICE HUSK ASH-BASED GEOPOLYMER IN HOLLOW LOAD-BEARING CONCRETE MASONRY BLOCK

เที่ยง ชีวะเกตุ¹ และ วิเชียร ชาลี^{2*}
Tieng Cheewaket¹ and Wichian Chalee^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของปริมาณมวลรวม ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และอุณหภูมิบ่มต่อกำลังอัดและการดูดซึมน้ำ ในคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง เตรียมจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบที่ไม่ผ่านการบดและเถ้าถ่านหิน (เถ้าแกลบ:เถ้าถ่านหิน เท่ากับ 50:50 โดยน้ำหนัก) สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งกำหนดอัตราส่วนระหว่าง Si/Al คงที่ และใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 12, 14, 16 และ 18 โมลาร์ และใช้ปริมาณหินฝุ่นเป็นมวลรวมแทนที่ในอัตราส่วน (เถ้าแกลบ+เถ้าถ่านหิน):หินฝุ่น เท่ากับ 1:4, 1:6 และ 1:8 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้น ทำการอัดจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในเครื่องอัดคอนกรีตบล็อก โดยบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในอากาศที่อุณหภูมิห้อง (25°C) และบ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นบ่มในอากาศที่อุณหภูมิห้องจนถึงอายุทดสอบ ในการศึกษาจะทดสอบกำลังอัด ความหนาแน่น ที่อายุ 7, 14, และ 28 วัน ตลอดจนทดสอบการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน

ผลการศึกษาพบว่า การใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่สูงขึ้น ส่งผลให้จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบผสมเถ้าถ่านหินมีกำลังอัดสูงขึ้นและการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง โดยเห็นผลชัดเจนในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่ใช้มวลรวมปริมาณต่ำมากกว่าปริมาณสูง การใช้มวลรวมผสมในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกลดลง ตลอดจนการใช้อุณหภูมิในการบ่ม 65°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก สูงกว่ากลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้อง 25°C อย่างชัดเจน โดยอุณหภูมิบ่มที่สูงขึ้นมีประสิทธิภาพต่อการเพิ่มกำลังอัดในกลุ่มที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่ำ มากกว่าความเข้มข้นของสารละลาย NaOH สูง

คำสำคัญ : คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก, เถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง, กำลังอัด, ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์, จีโอพอลิเมอร์

Abstract

This research aims to study the effects of aggregate content, sodium hydroxide (NaOH) concentration and curing temperature on compressive strength and water absorption of load-bearing geopolymer concrete block. Original coarse rice husk ash blended with Mae Moh fly ash at the percentage by weight of 50:50 was used as a binder. Sodium silicate (Na_2SiO_3) and sodium hydroxide (NaOH) solutions were also mixed with the binder to produce geopolymer concrete block. The molar ratio of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ in each mixture was maintained constantly and NaOH solution concentrations were varied at 12, 14, 16, and 18 molars. Dust limestone was also used as an aggregate in the mixture at various weight ratios between the binder to aggregate of 1:4 (S), 1:6 (M) and 1:8 (L). The geopolymer concrete blocks were produced by using the Cinva-Ram machine. The specimens were then arranged into two groups at the temperatures of 25°C (room temperature) and 65°C for the first 24-hour curing and then all the specimens were cured in room temperature until the testing ages. The geopolymer concrete block specimens were tested for compressive strength at 7, 14, and 28 days and its water absorption was tested at 28 days.

The results showed that higher NaOH solution concentration led to higher compressive strength and lower water absorption of rice husk ash blended with fly ash geopolymer concrete block. These effects were evidently found in geopolymer concrete blocks with low aggregate content than in those with high aggregate content. Increase of aggregate content in the mixture also decrease compressive strength of geopolymer concrete block. In addition, geopolymer concrete blocks, which were cured at 65°C for 24 hours apparently yielded higher compressive strength than those cured at 25°C (room temperature). Besides, high curing temperature has a greater effect to increase compressive strength of geopolymer concrete block with lower NaOH concentration than that with higher NaOH concentration.

Keywords : Load-bearing geopolymer concrete masonry block, Original rice husk ash, Compressive strength, Sodium hydroxide concentration, Geopolymer

¹อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา (tieng@buu.ac.th)

²รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา (wichian@buu.ac.th)

* Corresponding Author, Tel. 08-9791-5171, E-mail: wichian@buu.ac.th

1. บทนำ

แก้วกลบดำเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้กลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นการเผาขยะปิดลักษณะทางกายภาพของแก้วกลบมีขนาดและรูปร่างของอนุภาคไม่แน่นอน เป็นเหลี่ยมมุม มีผิวขรุขระ และมีความพรุนสูง อนุภาคมีรูปร่างอยู่ภายใน ซึ่งเป็นข้อด้อยของแก้วกลบในการนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีตอย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของแก้วกลบดำพบว่า มีซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ประมาณร้อยละ 80 – 90 [1, 2] ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงมาก และเป็นข้อเด่นที่ส่งผลดีต่อการนำมาใช้เพื่อเป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีต การที่แก้วกลบมีอนุภาคหยาบ ดูดน้ำ และมีความพรุน ถือเป็นอุปสรรคสำคัญในการนำแก้วกลบมาใช้ในงานคอนกรีต เพราะถึงแม้จะมีองค์ประกอบทางเคมีที่ดี แต่การเกิดปฏิกิริยาที่ส่งผลให้วัสดุประสานมีการรับแรงได้ จะต้องมีส่วนบดที่ทางกายภาพที่ดีด้วย เช่น ความละเอียดสูง การดูดน้ำต่ำ ความพรุนต่ำ เป็นต้น การศึกษาที่ผ่านมา [3-5] พบว่า การบดแก้วกลบให้มีความละเอียดสูง สามารถใช้เป็นวัสดุประสานที่ให้กำลังกับคอนกรีตได้ดี ไม่ว่าจะอยู่ในรูปของวัสดุปอซโซลานหรือ วัสดุจีโอพอลิเมอร์ แต่การบดแก้วกลบให้มีความละเอียดสูง ก็ทำให้มีต้นทุนการผลิตที่สูงด้วย

แนวทางการศึกษาเพื่อนำแก้วกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรงมาใช้ในงานก่อสร้าง ควรเริ่มจากวัสดุก่อสร้างที่ไม่ต้องการความแข็งแรงสูง เพื่อใช้ในงานก่อสร้างที่มีการรับแรงเชิงกลไม่ซับซ้อน ปัจจุบันมีการศึกษาวัสดุประสานเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง โดยไม่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสม ที่เรียกว่า วัสดุจีโอพอลิเมอร์ ซึ่งวัสดุดังกล่าวนี้ ได้ใช้สารปอซโซลานที่ประกอบด้วยซิลิกาและอะลูมิเนียมเป็นหลัก มาผสมกับด่างอัลคาไลไฮดรอกไซด์ สารละลายโซเดียมซิลิเกต และเร่งปฏิกิริยาด้วยความร้อน สามารถก่อตัวและแข็งตัวให้มีกำลังรับแรงได้ สารปอซโซลานที่นิยมใช้กันได้แก่ แก้วลอย และดินขาวเผา ซึ่งเริ่มมีการศึกษาโดยใช้สารตั้งต้นอื่น ๆ ที่มีในประเทศมากขึ้น เช่น แก้วชีวมวลที่เกิดจากการเผาจากผลผลิตทางการเกษตร เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น แก้วกลบ แก้วกลบเปลือกไม้ แก้วขานอ้อย แก้วปาล์ม น้ำมัน เป็นต้น

การส่งเสริมการใช้งานวัสดุประสานจากจีโอพอลิเมอร์ ในวัสดุก่อสร้างที่ทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน โดยเน้นที่วัสดุ

ตั้งต้นที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่หาได้ง่าย ก็จะเป็นประโยชน์อย่างมาก ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้านี้ จึงต้องการประยุกต์ใช้วัสดุประสานจากจีโอพอลิเมอร์จากแก้วกลบที่ได้จากโรงงานโดยตรง โดยไม่ต้องผ่านการบดให้มีค่าใช้จ่ายมากขึ้น ในงานคอนกรีตบดลือคชนิดรับน้ำหนัก โดยมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวงอุตสาหกรรม (มาตรฐาน มอก. 57-2533) [6] ได้กำหนดให้คอนกรีตบดลือคชนิดรับน้ำหนักต้องมีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 14 MPa (140 กก/ซม.²) โดยแต่ละก้อนต้องมีกำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 11 MPa (110 กก/ซม.²)

อย่างไรก็ตามการทำวัสดุจีโอพอลิเมอร์จากแก้วกลบยังจำเป็นต้องหาอลูมินาจากแหล่งอื่น เนื่องจากแก้วกลบมีอลูมินาต่ำมาก ซึ่งในการศึกษาค้นคว้านี้ได้ใช้แก้วถ่านหินเป็นแหล่งให้สารประกอบอลูมินากับวัสดุจีโอพอลิเมอร์ โดยมุ่งประเด็นที่ ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณหินฝุ่น และ อุณหภูมิมีผล ต่อกำลังอัดและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบดลือค

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุประสานและมวลรวม

วัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้านี้ประกอบด้วย แก้วกลบดำที่ไม่บด (ได้จากโรงงานโดยตรง) มีน้ำหนักข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ในปริมาณร้อยละ 48, ความถ่วงจำเพาะของแก้วกลบ เท่ากับ 2.07 สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของแก้วกลบดำที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้านี้ มีปริมาณของ SiO_2 สูงถึงร้อยละ 90 ส่วนแก้วถ่านหินที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้านี้ เป็นแก้วถ่านหินที่ได้โดยตรงจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.23 และความละเอียดข้างบนตะแกรงเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 31.2 โดยน้ำหนัก ซึ่งไม่เกินร้อยละ 34 โดยน้ำหนัก และเป็นไปตามเกณฑ์ของมาตรฐาน ASTM C618 [7] สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของแก้วถ่านหิน มีผลรวมของสารประกอบหลัก SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 72.21 ซึ่งจัดเป็นแก้วถ่านหินชนิด F ตามมาตรฐาน ASTM C 618 องค์ประกอบทางเคมีของแก้วกลบดำและแก้วถ่านหินแสดงดังตารางที่ 1

ของเหลวที่ใช้ในการเตรียมวัสดุจีโอพอลิเมอร์ ประกอบด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และ

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 12, 14, 16, และ 18 โมลาร์

มวลรวมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้หินฝุ่นที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.63 การดูดซึมน้ำของหินฝุ่นที่ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127 [8] เท่ากับร้อยละ 10.01 และค่าโมดูลัสความละเอียดของหินฝุ่นเท่ากับ 3.07

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%)	
	เถ้าแกลบ (RHA)	เถ้าถ่านหิน (FA)
Silicon dioxide, SiO ₂	90.0	35.20
Aluminum oxide, Al ₂ O ₃	0.51	19.20
Iron oxide, Fe ₂ O ₃	2.02	17.81
Calcium oxide, CaO	0.52	16.65
Magnesium oxide, MgO	0.22	-
Sulfur trioxide, SO ₃	1.50	0.63
Other oxides	-	2.44
LOI.	4.71	1.5

2.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

2.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนัก จากจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง โดยทำการทดสอบกำลังอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ โดยเตรียมจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากจากเถ้าแกลบที่ไม่ผ่านการบดและเถ้าถ่านหิน (เถ้าแกลบ:เถ้าถ่านหิน เท่ากับ 50:50 โดยน้ำหนัก) โซเดียมซิลิเกต (Na₂SiO₃) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งกำหนดอัตราส่วนระหว่าง Si/Al คงที่ และใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 12, 14, 16 และ 18 โมลาร์ และใช้ปริมาณหินฝุ่นเป็นมวลรวมแทนที่ในอัตราส่วน (เถ้าแกลบ+เถ้าถ่านหิน):หินฝุ่น เท่ากับ 1:4, 1:6 และ 1:8 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมคอนกรีตบล็อกแสดงดังตารางที่ 2 ในการอัดคอนกรีตบล็อกได้ทำการผสมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหินทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นผสมสารละลายโซเดียมซิลิเกตและหินฝุ่นตามส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 2 คลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน ก่อนเทลงในแบบหล่อของเครื่องอัดคอนกรีตชนิดซินวาแรมในปริมาณที่เท่ากันทุกส่วนผสม ทำการอัดจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก

โดยใช้เครื่องอัดชนิดซินวาแรม และบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในอากาศที่อุณหภูมิห้อง (25 °ซ) และที่อุณหภูมิ 65 °ซ เป็นเวลา 24 ชม. จากนั้นบ่มต่อเนื่องในอากาศที่อุณหภูมิห้องจนถึงอายุทดสอบ การเตรียมตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกแสดงดังภาพที่ 1

2.2.2 การทดสอบ

เมื่อครบกำหนดทดสอบทำการตัดตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 มม³ ดังภาพที่ 2 เพื่อใช้ทดสอบกำลังอัด (เฉลี่ยจาก 3 ก้อน) ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน นอกจากนั้นได้ทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM C642-97 [9] โดยตัดตัวอย่างคอนกรีตบล็อกให้มีขนาด 50 x 50 x 50 มม.³ นำตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 – 110 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างและแห้งตัวอย่างคอนกรีตบล็อกให้จมอยู่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วใช้ผ้าเช็ดให้แห้งโดยรอบอย่างรวดเร็ว และชั่งน้ำหนัก ภายใน 5 นาที คำนวณหาร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก จากน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบล็อกหลังจากแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ลบด้วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่อบแห้งหารด้วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่อบแห้งทั้งหมดคูณด้วย 100 โดยทดสอบหาร้อยละการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน



ภาพที่ 1 การเตรียมตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก

ตารางที่ 2 ส่วนผสมจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก

ส่วนผสม	ส่วนผสมจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก						ความเข้มข้น ของ NaOH (โมลาร์)	
	วัสดุประสาน (กรัม)		หินปูน (กรัม)			NaOH (กรัม)		Na ₂ O:SiO ₃ (กรัม)
	เถ้าแกลบ	เถ้าถ่านหิน	วัสดุประสาน : หินปูน					
			1:4	1:6	1:8			
1:4(12M)	772	772	6176	0	0	436	868	12
1:6(12M)	772	772	0	9264	0	436	868	12
1:8(12M)	772	772	0	0	12352	436	868	12
1:4(14M)	772	772	6176	0	0	436	868	14
1:6(14M)	772	772	0	9264	0	436	868	14
1:8(14M)	772	772	0	0	12352	436	868	14
1:4(16M)	772	772	6176	0	0	436	868	16
1:6(16M)	772	772	0	9264	0	436	868	16
1:8(16M)	772	772	0	0	12352	436	868	16
1:4(18M)	772	772	6176	0	0	436	868	18
1:6(18M)	772	772	0	9264	0	436	868	18
1:8(18M)	772	772	0	0	12352	436	868	18

เป็นคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักตามมาตรฐานของ
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของกระทรวง



ภาพที่ 2 การตัดตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกสำหรับ
ทดสอบกำลังอัด

3. วิเคราะห์ผลการศึกษา

3.1 การพัฒนากำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก

กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบ
ผสมเถ้าถ่านหิน ที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮ
ดรอกไซด์ เท่ากับ 12 14 16 และ 18 โมลาร์ ที่บ่มใน
อุณหภูมิห้อง และ บ่มในอุณหภูมิ 65 °ซ ดังตารางที่ 3 พบว่า
จีโอพอลิเมอร์ของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ความเข้มข้นของ
สารละลาย NaOH ในช่วง 14-18 โมลาร์ และอัตราส่วน
ระหว่าง (เถ้าแกลบ+เถ้าถ่านหิน) ต่อ หินปูน ไม่เกิน 1:6 โดย
น้ำหนัก ให้กำลังอัดมากกว่า 140 กก/ซม² ซึ่งสามารถใช้งาน

อุตสาหกรรม (มอก. 57-2533) [6] ได้ โดยทุกส่วนผสมมี
กำลังอัดเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม โดยการพัฒนากำลังอัดของจีโอ
พอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่พิจารณาในรูปของร้อยละของ
กำลังอัดที่อายุ 28 วัน เทียบกับ 7 วัน ของกลุ่มที่บ่มใน
อุณหภูมิห้องอยู่ในช่วงร้อยละ 193 ถึง 229 และไม่มี
แนวโน้มที่ชัดเจนตามความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ส่วน
กลุ่มที่บ่มที่อุณหภูมิ 65 °ซ มีร้อยละกำลังอัดที่อายุ 28 วัน
เทียบกับอายุ 7 วัน มีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของ
สารละลาย NaOH ที่เพิ่มขึ้น เช่น เช่น จีโอพอลิเมอร์คอนกรีต
บล็อกที่ใช้ปริมาณมวลรวมน้อย (1:4) และใช้ความเข้มข้น
ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 12 14 16 และ
18 โมลาร์ ที่บ่มในอุณหภูมิ 65 °ซ มีร้อยละของกำลังอัดที่
อายุ 28 วัน เทียบกับ 7 วัน เท่ากับ 182 163 164 และ 153
ตามลำดับ ซึ่งผลดังกล่าวอาจเกิดจากจีโอพอลิเมอร์คอนกรีต
กลุ่มนี้มีการอัดที่สูงในช่วงต้น โดยกำลังอัดที่อายุ 7 วัน ของ
จีโอพอลิเมอร์กลุ่มนี้ เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลาย
NaOH ซึ่งเท่ากับ 119, 132, 134 และ 135 กก/ซม²

ตามลำดับ แต่ที่อายุ 28 วัน กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกกลุ่มนี้ กลับมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามความเข้มข้นของสารละลาย NaOH โดยมีกำลังอัดเท่ากับ 216, 215, 220 และ 207 กก/ซม² ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการบ่มร้อนให้จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในช่วงอายุต้นๆ ส่งผลให้ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรท์เซชันในช่วงต้นเกิดเร็วขึ้น ซึ่งซิลิกาและอลูมินาที่ถูกชะออกมาโดยสารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ได้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรท์เซชันได้ดี [10, 11] และมีกำลังอัดที่อายุ 7 วัน สูงขึ้นตามความเข้มข้น

ของสารละลาย NaOH นอกจากนั้น การบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในอุณหภูมิห้อง มีการพัฒนากำลังอัดในรูปของร้อยละของกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เทียบกับ 7 วัน สูงกว่ากลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิ 65°ซ และเป็นแนวโน้มเดียวกันทุกส่วนผสม ทั้งนี้เป็นผลจากกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกกลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิ 65°ซ มีค่าสูงที่อายุต้นอยู่แล้ว จึงทำให้ร้อยละของกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เทียบกับ 7 วัน มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 3 กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบผสมเถ้าถ่านหินที่บ่มที่อุณหภูมิห้องและบ่มที่อุณหภูมิ 65°ซ

ส่วนผสม	บ่มที่อุณหภูมิห้อง (25°ซ)				บ่มที่อุณหภูมิ 65°ซ			
	กำลังอัด (กก/ซม ²)			กำลังอัด 28 วัน เทียบ 7 วัน (ร้อยละ)	กำลังอัด (กก/ซม ²)			กำลังอัด 28 วัน เทียบ 7 วัน (ร้อยละ)
	7 วัน	14 วัน	28 วัน		7 วัน	14 วัน	28 วัน	
1:4(12M)	61	125	134	220	119	165	216	182
1:6(12M)	57	90	120	211	112	129	163	182
1:8(12M)	58	77	116	200	109	121	150	138
1:4(14M)	82	109	159	194	132	175	215	163
1:6(14M)	77	84	149	195	120	176	190	159
1:8(14M)	70	95	126	179	110	132	156	142
1:4(16M)	85	100	167	196	134	165	220	164
1:6(16M)	71	83	155	217	117	129	189	161
1:8(16M)	68	85	151	221	96	115	168	176
1:4(18M)	95	121	184	193	135	155	207	153
1:6(18M)	80	104	139	174	100	145	152	152
1:8(18M)	67	107	124	185	98	112	137	139

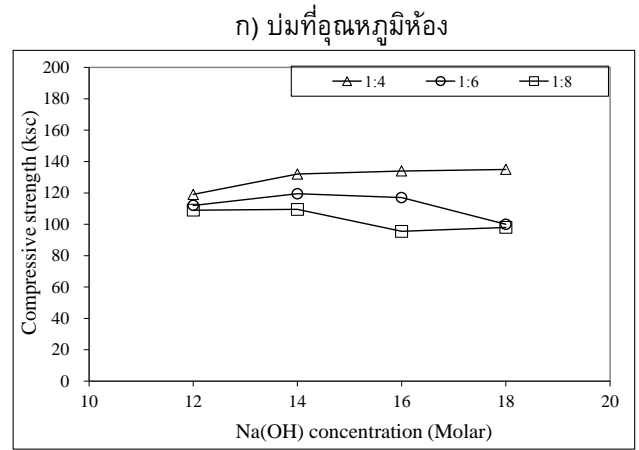
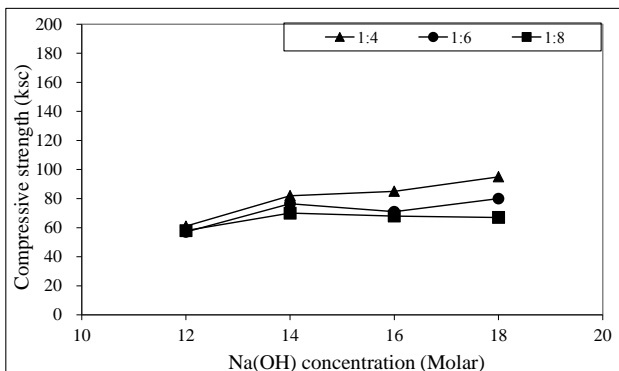
3.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่อายุ 7 วัน ที่บ่มในอุณหภูมิห้อง (25°ซ) และบ่มในอุณหภูมิ 65°ซ. ดังแสดงในภาพที่ 3(ก) และ 3(ข) ตามลำดับ พบว่า ที่อายุช่วงต้น กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มสูงขึ้น ตามความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่มากขึ้น โดยเห็นผลชัดเจนในกลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้อง

มากกว่ากลุ่มที่บ่ม ในอุณหภูมิ 65°ซ. เช่น จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่ใช้มวลรวมปริมาณน้อย (1:4) และใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 12 14 16 และ 18 โมลาร์ ที่บ่มในอุณหภูมิห้อง และบ่มที่อุณหภูมิ 65°ซ. มีกำลังอัดที่อายุ 7 วัน เท่ากับ 61 82 85 95 และ 119 132 134 135 กก/ซม² ตามลำดับ ส่วนกลุ่มที่ใช้มวลรวมปริมาณมาก (1:8) กลับพบว่า กำลังอัดมีแนวโน้มลดลง

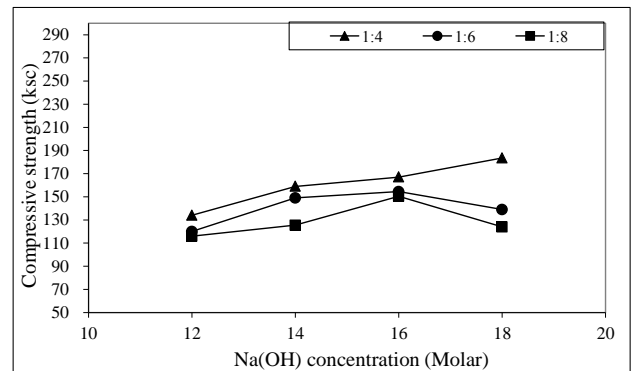
เล็กน้อยที่ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH สูงขึ้นมากกว่า 16 โมลาร์ โดยเห็นผลชัดเจนเมื่อให้ความร้อนกับจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก โดยผลดังกล่าวอาจเกิดจากการใช้มวลรวมปริมาณมาก ปริมาณเพสต์ลดลง ผลของเพสต์ที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกจะลดลงด้วย โดยเฉพาะคอนกรีตบล็อกที่มีการอัดด้วยแรงให้แน่น ส่วนในคอนกรีตบล็อกที่ใช้เพสต์ปริมาณมาก (มวลรวมปริมาณน้อย (1:4)) กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกจะขึ้นกับสมบัติของเพสต์มากขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่มากขึ้น เป็นผลจากสารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น สามารถชะเอาซิลิกาและอะลูมินาจากเถ้าถ่านหินได้มากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรท์เซชันได้สมบูรณ์ และส่งผลให้จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตมีกำลังอัดสูงขึ้นได้ [12, 13]

เมื่อพิจารณาที่อายุบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตมากขึ้นเป็น 28 วัน ดังภาพที่ 4 พบว่า แนวโน้มส่วนใหญ่ให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกสูงขึ้นเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH สูงไม่เกิด 16 โมลาร์ โดยเห็นผลชัดเจนในคอนกรีตบล็อกที่ใช้มวลรวมปริมาณปานกลาง (1:6) และปริมาณมาก (1:8) ซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกันทั้งกลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 4ก) และที่บ่มในอุณหภูมิ 65°C (ภาพที่ 4ข) โดยผลดังกล่าวอาจเกิดจากความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่สูงเกินไปมีผลให้มี NaOH ส่วนเกินที่ส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกลดลงได้ [14] โดยการศึกษาที่ผ่านมา [15] พบว่า การชะเอาซิลิกาและอะลูมินาจากเถ้าถ่านหินมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูง มากกว่า 15 โมลาร์

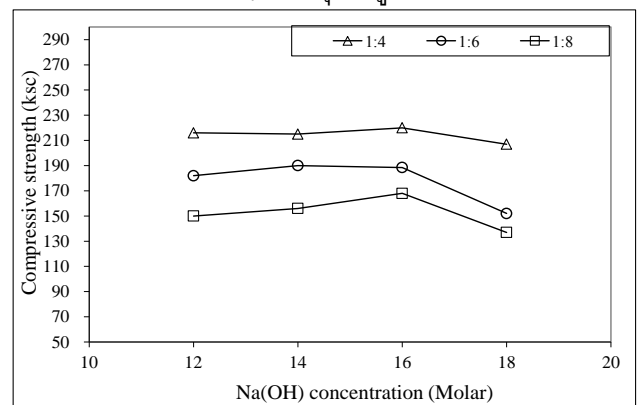


ก) บ่มที่อุณหภูมิห้อง

ข) บ่มที่อุณหภูมิ 65°C.
ภาพที่ 3 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลัง อัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่อายุบ่ม 7 วัน



ก) บ่มที่อุณหภูมิห้อง



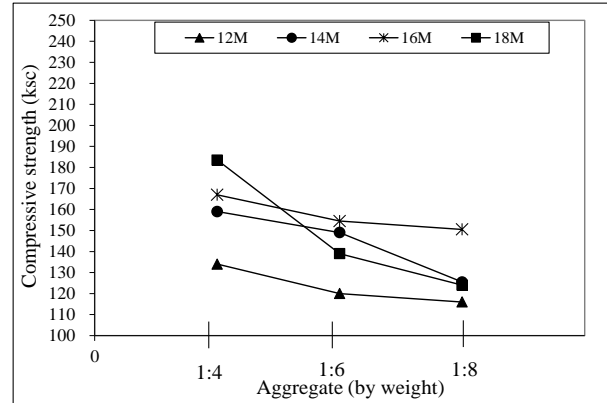
ข) บ่มที่อุณหภูมิ 65°C.

ภาพที่ 4 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลัง อัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่อายุบ่ม 28 วัน

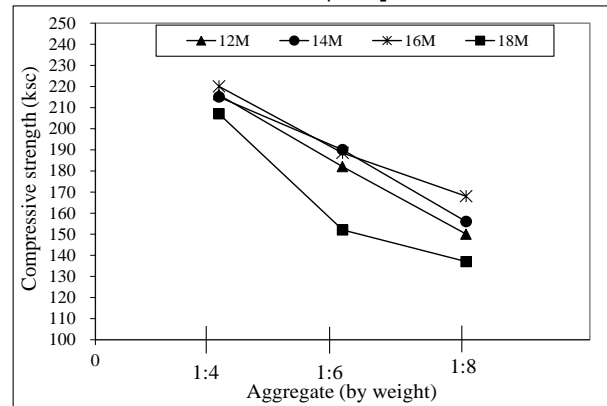
3.3 ผลของปริมาณมวลรวมต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคจากเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหิน

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณมวลรวมต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคจากเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหิน ที่บ่มในอุณหภูมิห้องและบ่มในอุณหภูมิ 65 °ซ ที่ อายุ 28 วัน ดังแสดงในภาพที่ 5(ก) และ 5(ข) ตามลำดับ พบว่า จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคทุกส่วนผสมมีกำลังอัดลดลงตามปริมาณของมวลรวมที่มากขึ้น เช่น จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH เท่ากับ 12 โมลาร์ และใช้ปริมาณมวลรวมปริมาณน้อย (1:4), ปานกลาง (1:6) และ มาก (1:8) ให้กำลังอัดในกลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้องและบ่มในอุณหภูมิ 65 °ซ ที่ อายุ 28 วัน เท่ากับ 134 120 116 และ 216 163 150 กก/ซม² ตามลำดับ และเป็นในทิศทางเดียวกันในทุกความเข้มข้นของสารละลาย NaOH กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคจากเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหิน ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ เป็นผลจากสมบัติของจีโอพอลิเมอร์เพสต์ที่ยึดเกาะระหว่างวัสดุประสานและมวลรวมส่งผลให้มีกำลังอัดที่สูงขึ้น และอีกส่วนเป็นผลจากการอัดแน่นเชิงกลที่เกิดจากการอัดจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคเพื่อขึ้นรูปเป็นก้อน ทำให้จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคสามารถรับแรงได้สูงขึ้น [16] ซึ่งการศึกษาครั้งนี้พบว่า เมื่อใช้จีโอพอลิเมอร์เพสต์ปริมาณต่ำลง (มวลรวมมากขึ้น) ส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคต่ำลงอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า จีโอพอลิเมอร์เพสต์มีผลชัดเจนต่อการยึดประสานมวลรวมเข้าด้วยกัน และทำให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคสูงขึ้นตามปริมาณเพสต์ ซึ่งผลดังกล่าวนี้สอดคล้องกับกำลังอัดของคอนกรีตทั่วไปที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน ที่พบว่า กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้นตามปริมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มากขึ้น นอกจากนี้พบว่าการลดลงของกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคเมื่อเพิ่มปริมาณมวลรวมจากปริมาณน้อย (1:4) ไปมาก (1:8) มีผลชัดเจนกับกลุ่มที่ใช้สารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นสูงมากกว่าความเข้มข้นต่ำ (สังเกตจากความชันของกราฟภาพที่ 5) ซึ่งผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคขึ้นกับความแข็งแรงของเพสต์อย่างชัดเจน โดยการลดปริมาณของเพสต์ที่มีความแข็งแรงสูง (ความเข้มข้นของ NaOH สูง) จึงมีผลทำให้กำลังอัด

ลดลงชัดเจนมากกว่ากลุ่มที่ใช้จีโอพอลิเมอร์เพสต์ที่มีความแข็งแรงต่ำ (ความเข้มข้นของ NaOH ต่ำ) โดยเห็นผลชัดเจนในกลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้อง



ก) บ่มที่อุณหภูมิห้อง



ข) บ่มที่อุณหภูมิ 65 °ซ.

ภาพที่ 5 ผลของปริมาณมวลรวมต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือค ที่อายุบ่ม 28 วัน

3.4 ผลของอุณหภูมิต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคจากเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหิน

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคจากเถ้าแกลบและเถ้าถ่านหิน ดังตารางที่ 3 พบว่า การบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคที่อุณหภูมิ 65 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนบ่มต่อเนื่องในอากาศจนถึงอายุทดสอบ ส่งผลให้กำลังอัดที่ทุกอายุการบ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยมีแนวโน้มเหมือนกันในทุกความเข้มข้นของสารละลาย NaOH และทุกกลุ่มของปริมาณมวลรวมหยาบที่ต่างกัน เช่น จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบดลือคที่ใช้มวลรวมปริมาณน้อย (1:4) และใช้สารละลาย NaOH เข้มข้น 12 14 16 และ 18 โมลาร์ ของกลุ่มที่บ่มใน

อุณหภูมิห้อง ให้กำลังอัดที่อายุบ่มที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 134 159 167 และ 184 กก/ซม² ตามลำดับ และเมื่อบ่มที่อุณหภูมิ 65 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกกลุ่มดังกล่าวเพิ่มขึ้นเป็น 216 215 220 และ 207 กก/ซม² ตามลำดับ โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [16] ที่พบว่า การบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถาถ่านหิน ที่ได้จากโรงงานโดยตรงในอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดสูงกว่ากลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้องอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลจากการเพิ่มอุณหภูมิในการบ่มเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์ไรเซชันให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วและสมบูรณ์มากขึ้น [10, 11] เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของอุณหภูมิบ่ม (effective curing temperature) ต่อกำลังอัดจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถาถ่านหินผสมเถาถ่านหินตามสมการที่ (1) [16]

$$E_T = \frac{[(C_{65} - C_R) \times 100]}{C_R}$$

(1)

เมื่อ E_T = ประสิทธิภาพของอุณหภูมิบ่ม (ร้อยละ)

C_{65} = กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์คอนกรีต

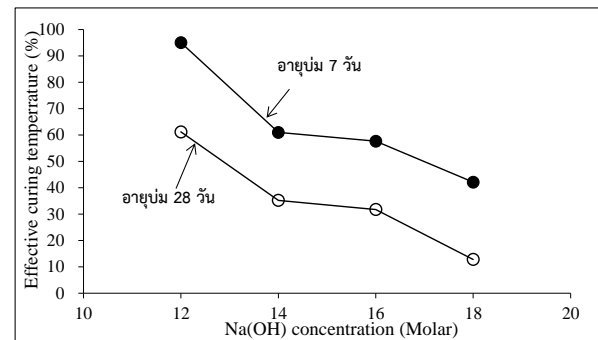
บล็อกจากเถาถ่านหินผสมเถาถ่านหินที่บ่มในอุณหภูมิ 65 °ซ (กก/ซม²)

C_R = กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์คอนกรีต

บล็อกจากเถาถ่านหินผสมเถาถ่านหินที่บ่มในอุณหภูมิห้อง (กก/ซม²)

พิจารณาผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อประสิทธิภาพของอุณหภูมิบ่มในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถาถ่านหินผสมเถาถ่านหิน ที่ใช้มวลรวมปริมาณน้อย (1:4) ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน ที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 1 ดังภาพที่ 6 พบว่า การใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH สูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของอุณหภูมิที่ใช้บ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกลดลงอย่างชัดเจน โดยมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งที่อายุ 7 และ 28 วัน โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาที่ผ่านมา [16] ที่ทำการทดสอบในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถาถ่านหินเพียงอย่างเดียว อาจเป็นผลจากสารละลาย

NaOH ที่มีความเข้มข้นสูง สามารถชะเอาซิลิกาและอะลูมินาจากเถาถ่านหินได้มาก การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรท์เซชันที่ส่งผลให้จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกมีกำลังอัดสูงได้โดยไม่ต้องใช้ความร้อนกระตุ้นมาก [12, 13] นอกจากนี้พบว่า การบ่มจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่อุณหภูมิสูงขึ้น มีผลต่อการเพิ่มกำลังอัดในช่วงอายุต้น (7 วัน) มากกว่าอายุ 28 วัน ซึ่งเป็นผลจากการให้ความร้อนเพื่อเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรท์เซชันในช่วงอายุต้นก่อนที่จะบ่มต่อเนื่องในอากาศ

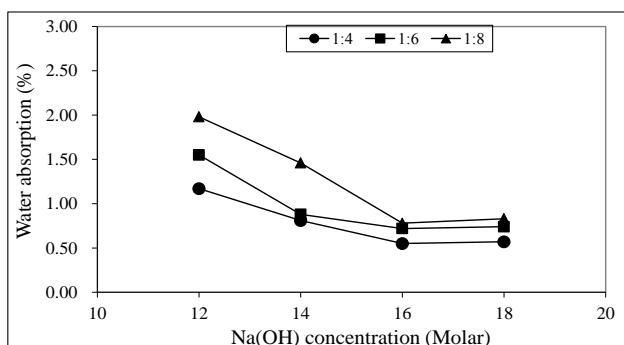


ภาพที่ 6 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อประสิทธิภาพของอุณหภูมิบ่มในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก ที่ใช้มวลรวมปริมาณน้อย (1:4) ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน

3.5 การดูดซึมน้ำของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อก

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซึมน้ำกับความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถาถ่านหินผสมเถาถ่านหิน ที่ใช้มวลรวมปริมาณต่างๆกัน ดังรูปที่ 6 พบว่า ร้อยละการดูดซึมน้ำในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกมีค่าต่ำลง เมื่อใช้สารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น และใช้มวลรวมในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในปริมาณที่ลดลง โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่สูงขึ้นด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถาถ่านหินผสมเถาถ่านหินที่มีกำลังอัดสูงขึ้น จีโอพอลิเมอร์เพสต์มีความแข็งแรงและยึดประสานระหว่างมวลรวมได้ดีขึ้น ส่งผลให้เนื้อจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกมีความทึบน้ำและลดการดูดซึมน้ำเข้าไปในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกได้อย่างชัดเจน โดยผลดังกล่าวมีแนวโน้มเหมือนกับคอนกรีตของปูนซีเมนต์ปอร์ต

แลนด์ทั่วไป ที่ความทึบน้ำในคอนกรีตขึ้นกับกำลังรับแรงอัดเป็นหลัก [17] อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินในงานวิจัยที่ผ่านมา [18] พบว่า ความทึบน้ำในคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินคุณภาพดีไม่ได้ขึ้นกับกำลังอัดของคอนกรีตเป็นหลัก แต่ขึ้นกับลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าถ่านหินด้วย เช่น คอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินในปริมาณสูงซึ่งส่งผลให้ กำลังอัดมีแนวโน้มลดลง แต่กลับพบว่าคอนกรีตมีความทึบน้ำมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของเถ้าถ่านหินที่มีลักษณะกลมตัน สามารถแทรกตัวและลดความพรุนในเนื้อคอนกรีตได้ ส่วนคอนกรีตหรือคอนกรีตบล็อกที่ใช้จีโอพอลิเมอร์เป็นวัสดุประสาน ความทึบน้ำจะขึ้นกับสมบัติของจีโอพอลิเมอร์เพสต์ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันมากกว่าลักษณะทางกายภาพของวัสดุตั้งต้น



ภาพที่ 7 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อการดูดซึมน้ำของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบผสมเถ้าถ่านหิน

4. สรุป

จากผลการศึกษสามารถสรุปได้ดังนี้

- 4.1 การใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่สูงซึ่งส่งผลให้จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบผสมเถ้าถ่านหินมีกำลังอัดสูงขึ้น และการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง โดยเห็นผลชัดเจนในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกที่ใช้มวลรวมปริมาณต่ำสุดคือ (เถ้าแกลบ+ถ่านหิน) : หินฝุ่น เท่ากับ 1:4 โดยน้ำหนัก
- 4.2 การใช้มวลรวมผสมในจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกลดลงโดยเห็นผลชัดเจนในกลุ่ม

ที่ใช้สารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นสูงมากกว่าความเข้มข้นต่ำ

- 4.3 การใช้อุณหภูมิในการบ่ม 65 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลให้กำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกสูงกว่ากลุ่มที่บ่มในอุณหภูมิห้องอย่างชัดเจน โดยอุณหภูมิบ่มที่สูงขึ้นมีประสิทธิภาพต่อการเพิ่มกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบผสมเถ้าถ่านหิน ในกลุ่มที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่ำ มากกว่าความเข้มข้นของสารละลาย NaOH สูง
- 4.4 การศึกษาครั้งนี้พบว่า จีโอพอลิเมอร์ของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ในช่วง 14-18 โมลาร์ และอัตราส่วนระหว่าง (เถ้าแกลบ+เถ้าถ่านหิน) ต่อ หินฝุ่น ไม่เกิน 1:6 โดยน้ำหนัก ให้กำลังอัดสูงกว่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักตามมาตรฐาน มอก. 57-2533 ที่กำหนดให้คอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักต้องมีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 14 MPa (140 กก/ซม.²) โดยแต่ละก้อนต้องมีกำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 11 MPa (110 กก/ซม.²)

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ท่านสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนจากรัฐบาล (งบประมาณเงินแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 104/2560

เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Tangchirapat, R. Buranasing, C. Jaturapitakkul, and P. Chindapasirt, "Influence of rice husk-bark ash on mechanical properties of concrete containing high amount of recycled aggregates," *Construction and Building Materials*, 22, 2008, pp. 1812-1819,
- [2] U. Rattanasak, P. Chindapasirt. "Rice Husk Ash In Concrete", 1th ed, Thailand Concrete Association, 2010, 136 pp, (In Thai).

- [3] U. Chatveera, P. Srinourn. "A study of properties of mortar portland cement type V mixed with ground rice husk ash and limestone powder", *KMUTT Research and Development Journal* 35(2), 2012, pp. 201-218, (In Thai).
- [4] R. Soeurt, W. Chalee, "Compressive strength improvement of concrete containing rice husk ash using an alkaline activator," *Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 26, no. 3, 2016, pp. 347-357 (in Thai).
- [5] Q. Feng, H. Yamamichi, C. Shoya, "Study on the pozzolanic properties of rice husk ash by hydrochloric acid pretreatment", *Cement and Concrete Research* 34, 2004, pp. 521-526.
- [6] TIS 57-2533 : Hollow load-bearing masonry units, *Thai Industrial Standard*, 2004, Ministry of Industry, Bangkok (in Thai).
- [7] ASTM. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, C618, *Annual Book of ASTM Standards* 04.02, 2003.
- [8] ASTM. Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate, C127, *Annual Book of ASTM Standards* 04.02, 2001.
- [9] ASTM. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, C642-97, *Annual Book of ASTM Standards* 04.01, 2001.
- [10] N. Phatitriwatt, W. Chalee, "Effect of temperature curing on compressive strength of fly ash-based geopolymer mortar," *KMUTT Research and Development Journal* 40(3), 2017, pp. 355-364, (In Thai).
- [11] P. Chindaprasirt, U. Rattanasak, S. Taebuanhuad, "Resistance to acid and sulfate solutions of microwave-assisted high calcium fly ash geopolymer", *Materials and Structures* 46, 2013, pp. 375-381.
- [12] P. Chindaprasirt, 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* 63, 2014, pp. 303-310.
- [13] S. Hanjitsuwan, S. Hunpratub, P. Thongbai, S. Maensiri, V. Sata, P. Chindaprasirt, "Effects of NaOH concentrations on physical and electrical properties of high calcium fly ash geopolymer paste", *Cement and Concrete Composites* 45, 2014, pp. 9-14.
- [14] C. Sanawong, S. Somna, W. Chalee, "Compressive and bond strengths of fly ash-based geopolymer concrete," *Burapha Sci Journal* 15(1), 2010, pp. 13-22, (In Thai).
- [15] U. Rattanasak, W. Chalee, "Study of leaching of lignite fly ash and strength of fly ash based-geopolymer," *KMUTT Research and Development Journal* 29(4), 2006, pp. 437-446, (In Thai).
- [16] P. Huy, S. Mov, W. Chalee, "Production of hollow load-bearing concrete masonry blocks from fly ash-based geopolymer," *Burapha Sci*, vol. 12, no. 2, 2016, pp. 31-46 (in Thai).
- [17] W. Chalee, P. Ausapanit, and C. Jaturapitakkul, "Utilization of fly ash concrete in marine environment for long term design life analysis," *Materials and Design* 31(3), 2010, pp. 1242-1249.
- [18] K. Charoenprom, W. Chalee, "Relation between water permeability and chloride diffusion coefficient of concrete under 10-year exposure in marine environment," *Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 23, no. 1, 2013, pp. 29-41 (in Thai).

ภาคผนวก ข
รายงานการเงิน

รายงานสรุปการเงิน

เลขที่โครงการระบบบริหารงานวิจัย (NRPM 13 หลัก) 2560A10802120 สัญญาเลขที่ 104/2560

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

ชื่อโครงการ...การผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักโดยใช้จีโอพอลิเมอร์จากเถ้าแกลบจากโรงงานโดยตรง

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 ...220,500บาท เมื่อ ...พฤศจิกายน พ.ศ. 2559...

งวดที่ 2 (40%) จำนวน ...176,400.....บาท เมื่อ ...พฤษภาคม พ.ศ. 2560.....

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

รวม ...441,000บาท

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	50,000	50,000	0
4. ค่าใช้สอย	180,900	180,900	0
5. ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	60,100	60,100	0
ค่าบริการด้านสื่อสารและโทรคมนาคม ค่าเงินทุนอุดหนุนการวิจัยของ มหาวิทยาลัยเป็นค่าสาธารณูปโภค 10%			
รวม	441,000	441,000	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 excvaton. 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, ๑๓th-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

- มณฑิธร ทิฆมาณิช, ประสิทธิ์ อุตสาหกรรม, วิเชียร ชาลี, เอนก ศิริพานิชกร, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และไกรวุฒิ เกียรติโกมล, ๒๕๔๘, “ผลกระทบของน้ำทะเลต่อการซึมผ่านของคลอไรด์ และการเกิดสนิมเหล็กในคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหิน” วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่ ๑๗, ฉบับที่ ๒
- วิเชียร ชาลี, มณฑิธร ทิฆมาณิช, ประสิทธิ์ อุตสาหกรรม และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ๒๕๕๐, “ผลกระทบเถ้าถ่านหินที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมทะเลเป็นเวลา ๔ ปี” วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ ๓๐, ฉบับที่ ๑, หน้า ๑๕๓-๑๖๖.
- อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์, วิเชียร ชาลี, และ ปริญา จินดาประเสริฐ, ๒๕๔๘, “การศึกษาการชะเถ้าถ่านหินลิกไนต์ และกำลังอัดของวัสดุซีโอพอลิเมอร์จากเถ้าถ่านหิน”, วารสารฉบับวิจัยและพัฒนา มจร., ปีที่ ๒๘, ฉบับที่ ๔, หน้า ๔๓๗-๔๔๖.
- ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ, ธวัชชัย สาสกุล, วิเชียร ชาลี และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ๒๕๕๑, “ผลกระทบของน้ำทะเลต่อคอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ ๑ และประเภทที่ ๕ ผสมเถ้าถ่านหินจากระบบฟลูอิดไดซ์เบด”, วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ปีที่ ๓๑, ฉบับที่ ๒, หน้า ๓๕๗-๓๗๐.
- วิเชียร ชาลี และ อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์, ๒๕๕๒, “การศึกษาสมบัติความคงทนของวัสดุซีโอพอลิเมอร์จากเถ้าถ่านหิน”, Burapha Sci., J.๑๔ (๑) หน้า ๔๗-๕๕
- ชรินทร์ เสนาวงษ์, เกียรติสุดา สมณา และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๓, “กำลังอัดและกำลังยึดเหนี่ยวของซีโอพอลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าถ่านหิน”, Burapha Sci., J.๑๕ (๑) หน้า ๑๓-๒๒
- ชรินทร์ เสนาวงษ์ และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๔, “การแทรกซึมของคลอไรด์ในซีโอพอลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าถ่านหินภายใต้สภาวะแวดล้อมทะเล”, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ๒๑ (๒) : ๑๘๗-๑๙๕
- กิตติกร เจริญพร้อม และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๔, “ความลึกของการแทรกซึมคลอไรด์ในคอนกรีตที่แช่ในสิ่งแวดล้อมทะเล”, 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 ผสมเถ้าถ่านหินที่ได้จากการเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดและพลูเวอร์ไรซ์ 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 ๑๕๗-๒๑๓
- วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๖, “ระดับคลอไรด์วิกฤติในคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบเปลือกไม้ที่แช่ในสภาวะแวดล้อมทะเล” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ๑๘(๒), หน้า ๑๓๒-๑๔๓
- กิรติกร เจริญพร้อม, วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๖ “ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำกับสัมประสิทธิ์การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตหลังแช่น้ำทะเล ๑๐ ปี”, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ๒๓ (๑),: ๑๐๗-๑๑๕
- กนกเนตร ชื่นนุกคุ้ม วริศรา โกระวิโยธิน และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๗ “ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออัตราการไหลของน้ำและกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตพูนจากเถ้าถ่านหิน” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ๒๔(๑)

ปณยวีร์ 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

Reaksmey 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

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

Reaksmey Soeurt และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๕ “ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหิน” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ๒๗(๔) หน้า ๗๓๗-๗๔๘

บทความประกอบการประชุมสัมมนาทางวิชาการระดับชาติ

เอนก ชมวงษ์, พัชรวิทย์ อ่วมดีเยี่ยม, วิมลรัตน์ บุตรดี, วิเชียร ชาลี “การประยุกต์ใช้ไม้ไผ่เคลือบผิวด้วยชันในกานคอนกรีตเสริมแรง”, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ ๑๓, 7-9 มีนาคม 2561, ชลบุรี, หน้า STR ๑- STR ๗.

เอนก ชมวงษ์, ไพบูล เงินรี, อนิรุทธ นิต์สัน, วิเชียร ชาลี “การประยุกต์ใช้อิฐมอดูตันเพื่อเป็นผนังรับน้ำหนัก”, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ ๑๒, ๑๕-๑๗ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๐, เพชรบุรี, หน้า MAT ๑๒๓-๑๒๕.

เอนก ชมวงษ์, เจ เนื่องจำนงค์,ยศกร เพื่อกประดิษฐ์ และ วิเชียร ชาลี “การประยุกต์ใช้ไม้ไผ่แทนเหล็กในคอนกรีตเสริมแรง”, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ ๑๒, ๑๕-๑๗ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๐, เพชรบุรี, หน้า MAT ๒๐-๒๗.

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

เที่ยง ชีวะเกตุ น้ำผึ้ง มะรังศรี ศาตญา นาคะปักษิณ และ วิเชียร ชาลี “ผลของความละเอียดของเถ้าแกลบดำและความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังอัดของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้านหินผสมเถ้าแกลบดำ”, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๒๒, ๑๙-๒๐ กรกฎาคม ๒๕๖๐ นครราชสีมาหน้า ๑๘๗-๑๘๘.

ไต้สีเกะ อุจิระ ภาณุพงศ์ พิสัยพันธ์ รัฐพล สมณา และ วิเชียร ชาลี “ผลของค่าแรงปฏิบัติการต่อกำลังอัดของคอนกรีตบดสื่อจากเถ้าแกลบ”, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๒๒, ๑๙-๒๐ กรกฎาคม ๒๕๖๐ นครราชสีมาหน้า ๑๘๑-๑๘๖.

Reaksmey Soeurt รัฐพล สมณา และ วิเชียร ชาลี “ผลของค่าแรงปฏิบัติการต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์จากเถ้านหิน”, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ ๑๑, ๑๗-๑๙ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๙ นครราชสีมา หน้า ๑-๘.

Ponhsampatea Ly นิชา สุระกิจ และ วิเชียร ชาลี “จีโอพอลิเมอร์คอนกรีตโพนจากเถ้านหิน”, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ ๑๑, ๑๗-๑๙ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๙ นครราชสีมา หน้า ๑-๘.

เอกรัตน์ สัชชานนท์ รัฐพล สมณา และ วิเชียร ชาลี “กำลังอัด การซึมของน้ำ และระยะคลอไรด์แทรกซึมของคอนกรีตที่ใช้เถ้าแกลบบดละเอียดในส่วนผสม”, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ ๑๑, ๑๗-๑๙ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๙ นครราชสีมา หน้า ๑-๘.

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

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

- ณัฐวุฒิ ธารเนตร ธรรมชาติ มูลสาร และ วิเชียร ชาลี “วัตถุประสงค์ประสานจากเถาถ่านหินและสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์”, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๒๐, ๘-๑๐ กรกฎาคม ๒๕๕๘ พัทยา ชลบุรี หน้า ๑-๖.
- ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ และ วิเชียร ชาลี “ระยะเวลาจำกัดก่อนเริ่มต้นของเหล็กเสริมในคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบเปลือกไม้ภายใต้สิ่งแวดล้อมทะเล”, การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๕, ๑๔-๑๖ พฤษภาคม ๒๕๕๗ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น หน้า ๘๓๑-๘๓๖.
- นำพล บุตรเชื้อไทย เทียง ชีวะเกตุ และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๖, “การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ทำจากมวลรวมจากเศษคอนกรีตที่ผสมเถาถ่านหินภายใต้สภาวะแวดล้อมทะเล”การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๘, ๘-๑๐ พฤษภาคม ๒๕๕๖ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ หน้า MAT๑๑๑-MAT๑๑๘.
- วิชัย พรหมรักษ์, อภิชาติ ทุมสุต และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๖, “การป้องกันการกัดกร่อนของคอนกรีตเสริมเหล็กในสิ่งแวดล้อมทะเลโดยใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์”การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๘, ๘-๑๐ พฤษภาคม ๒๕๕๖ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ หน้า MAT๑๐๗-MAT๑๑๒
- กิริติกร เจริญพร้อม เทียง ชีวะเกตุ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๖, “ผลของเถาป่าลุ่มน้ำมันต่อสัมประสิทธิ์การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตภายใต้สภาวะแวดล้อมทะเล”การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ ๑๘, ๘-๑๐ พฤษภาคม ๒๕๕๖ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ หน้า MAT๒๓๔-MAT๒๓๘
- กิริติกร เจริญพร้อม เทียง ชีวะเกตุ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ วิเชียร ชาลี , ๒๕๕๔, “การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ผสมเถาป่าลุ่มน้ำมันบดละเอียดที่แช่ในสิ่งแวดล้อมทะเล”การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ ๗, ๑๕-๒๑ ตุลาคม ๒๕๕๔ อำเภอเมือง จังหวัดระยอง หน้า MAT๕๔-MAT๑๐๐.
- วิเชียร ชาลี, ปิยพงษ์ สุวรรณมณีโชติ, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ ธวัชชัย ศาสกุล ๒๕๕๓, “ผลของเถาถ่านหิน ๓ แหล่งต่อการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่แช่น้ำทะเล”, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ ๖, ๒๐-๒๒ ตุลาคม ๒๕๕๓ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี หน้า ๔๐-๔๘.
- ชรินทร์ เสนาวงษ์ อธิพิพล วิไลลักษณ์และ วิเชียร ชาลี, ๒๕๕๒, “การทำคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักจากเถาถ่านหินระบบฟลูอิดไดซ์เบด”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ ๑๔, ๑๓-๑๕ พฤษภาคม ๒๕๕๒, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี หน้า ๑๕๘๗-๑๕๙๒

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

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

ศิชน คุณทอง เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ และ วิเชียร ชาลี, “ปริมาณของเสี้ยนประเภทพลาสติกที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบา”, การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ ๓๕, ๑๕-๑๗ ตุลาคม ๒๕๕๒, เดอะไฮตีสอร์ท 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 ๔๕-๕๕.

รัฐพล สมณา วิเชียร ชาลี และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ๒๕๕๑, “ผลกระทบของเถ้าถ่านหิน ๑ แห้ง ต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต”, 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, “สัมประสิทธิ์การแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินที่แช่ในสภาวะแวดล้อมทะเล”, การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติครั้งที่ ๓, ๒๔-๒๖ ตุลาคม ๒๕๕๐, โรงแรมลองบีช การ์ดเอ็น โฮเทล แอนด์ สปา, พัทยา ชลบุรี หน้า ๑๐๓-๑๐๕

รัชชัช สาสกุล , ปิยพงษ์ สุวรรณมณี โชติ, วิเชียร ชาลี, ชัย จาตุรพิทักษ์กุลและ เอกชัย ภัทรวงษ์ไพบุรย์, ๒๕๕๐, “กำลังอัดและการซึมผ่านคลอไรด์ในคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 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 สิ้นศิริ, วิเชียร ชาลี, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ, ๒๕๔๖, "ผลกระทบของความละเอียดเกล็ดลอยต่อกำลังอัดและโครงสร้างโพรงในเพสต์", การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ ๑, ๑๔-๑๖ พฤษภาคม, กาญจนบุรี, หน้า ๒๒๕-๒๓๒.

วิเชียร ชาลี, มณเฑียร ทัฬหวิช, ประสิทธิ์ อุตสาหกรรม, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ, ๒๕๔๘, "ผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานและระยะหุ้มเหล็กต่อการกัดกร่อนในคอนกรีตผสมเกล็ดลอยในสภาวะแวดล้อมทะเล", การประชุมวิชาการเทคโนโลยี และนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน, ๒๕-๒๖ มกราคม ๒๕๔๘, ขอนแก่น, หน้า ๕๒๗-๕๓๒.

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