

ผลของต่างแรงปฏิกิริยาต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้วัสดุประสานจากกาก
แคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหิน

EFFECT OF ALKALINE ACTIVATOR ON COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE
USING A CEMENTITIOUS MATERIAL CONTAINING CALCIUM CARBIDE RESIDUE AND
FLY ASH

นายจักรพันธ์ มุสิกอุดมสิน

นายกิตติศักดิ์ คະอะนันท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา

ปีการศึกษา 2560

EFFECT OF ALKALINE ACTIVATOR ON COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE
USING A CEMENTITIOUS MATERIAL CONTAINING CALCIUM CARBIDE RESIDUE AND
FLY ASH

JAKKAPAN MUSIKUDOMSIN

KITTISAK KA-ANAN

An Engineering Project Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for the Degree of Bachelor of Engineering

Department of Civil Engineering

Burapha University 2017

ปริญญานิพนธ์ ผลของต่างเร่งปฏิกิริยาต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้วัสดุประสานจาก

กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหิน

โดย

นายจักรพันธ์ มุสิกอุดมสิน

นายกิตติศักดิ์ คะอะนันท์

อาจารย์ที่ปรึกษาฯ. เทียง ชีวะเกตุ และ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร ชาลี

จำนวน 83 หน้า

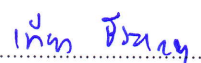
ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติปริญญานิพนธ์นี้

เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

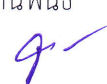
.....หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

(ดร.ชาญยุทธ กาฬกาญจน์)

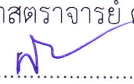
.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.เทียง ชีวะเกตุ)

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการปริญญานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร ชาลี)

.....กรรมการปริญญานิพนธ์

(ดร.สิทธิภัทร์ เอื้ออภิวรรค์)

.....กรรมการปริญญานิพนธ์

(ดร.เทียง ชีวะเกตุ)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากำลั่งอัดของคอนกรีตที่ผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์เถ้าถ่านหิน โดยใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยา โดยใช้เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแทนที่บางส่วนในกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 25, 35, 45, 55 และ 80 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.25, 0.50, 0.75 และกลุ่มที่ไม่ได้ผสมสารเร่งปฏิกิริยา หล่อคอนกรีตขนาด $100 \times 100 \times 100$ มม.³ ทำการทดสอบกำลั่งอัดของคอนกรีตหลังบ่มตัวอย่างในน้ำที่อายุ 14, 28 และ 60 วัน

ผลการศึกษาพบว่า คอนกรีตที่ผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 80 โดยน้ำหนักวัสดุประสานที่ไม่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่งปฏิกิริยามีกำลั่งอัดสูงที่สุด การใช้เถ้าถ่านหินปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้กำลั่งอัดสูงขึ้น และการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นในช่วง 0.75 โมลาร์ จะส่งผลดีให้กับคอนกรีตที่ผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในอัตราส่วนร้อยละ 25, 35, 45 และ 55 โดยจะทำให้การพัฒนากำลั่งอัดในช่วงต้นสูงขึ้นอย่างชัดเจน

คำสำคัญ : กากแคลเซียมคาร์ไบด์ กำลั่งอัด โซเดียมไฮดรอกไซด์ เถ้าถ่านหิน ผลของด่างเร่ง

Abstract

This research aimed study the compressive strength of concrete using a cementitious material containing calcium carbide residue and fly ash with alkaline activator. Mae Moh fly ash power plant blended with various calcium carbide residue at 25, 35, 45, 55 and 80% by weight of the binder. NaOH solution was applied as an alkaline activator with various concentrations of 0.25, 0.50, and 0.75 molar. Concrete cube specimens of 100x100x100 mm³ were cast for compressive strength test at the ages of 14, 28 and 60 days.

The results showed that concretes containing 80% of fly ash and calcium carbide residue without any NaOH solution yielded the highest compressive strength. Higher amount of fly ash tended to provided a higher compressive strength of concrete. NaOH solution concentrations within 0.75 molar also improved early compressive strength of concretes containing 25, 35, 45, and 55 percents fly ash and calcium carbide residue.

Keywords : alkaline activator/calcium carbide residue/compressive strength/fly ash/NaOH

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัย“เรื่องผลของต่างแรงปฏิกิริยาต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้วัสดุประสานจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และถ่านหิน”สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างสูงจาก ดร. เทียง ชีวะเกตุ อาจารย์ที่ปรึกษา และ รองศาสตราจารย์.ดร. วิเชียร ชาลี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำแนวคิด การแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการศึกษาและทำวิจัย ขอบคุณาภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การเอื้อเฟื้ออุปถัมภ์ในการศึกษา และการทดสอบในการทำงานวิจัยนี้ สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่รวมถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือแก่ทางคณะผู้จัดทำโครงการทางวิศวกรรมศาสตร์ด้วยดีเสมอมา

ประโยชน์จากงานวิจัยฉบับนี้คณะผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่านคณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยเล่มนี้จะสามารถสร้างประโยชน์และพัฒนาสานต่อในงานด้านคอนกรีตและผู้ที่สนใจจะศึกษาหรือนำไปเป็นตัวอย่างในการทำวิจัยในครั้งต่อไปไม่มากนัก

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูปภาพ	ช
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์	4
2.2 เถ้าถ่านหิน	7
2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์	14
2.4 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน	16
2.5 วัสดุปอซโซลาน	17
2.6 ปฏิกิริยาปอซโซลานของวัสดุปอซโซลาน	18
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 อุปกรณ์ และ วิธีการทดลอง	
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	24
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	26
3.3 วิธีการศึกษา	29

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดสอบ และ วิเคราะห์ผลการทดสอบ	
4.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	33
4.1.1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์	33
4.1.2. เถ้าถ่านหิน	34
4.1.3 มวลรวม	34
4.1.4 ต่างแรงปฏิกิริยา	34
4.2 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต	36
4.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังของคอนกรีต	38
4.4 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุบ่มของคอนกรีต	41
4.5 ผลของปริมาณเถ้าถ่านหินที่มีต่อกำลังอัด	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลงานวิจัย	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก	51

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 พื้นที่ทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์ของโรงงานผลิตก๊าซอะเซทิลีน	4
2.2 ลักษณะทั่วไปและสีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์	6
2.3 ภาพถ่ายกำลังสูงขยายอนุภาคของกากแคลเซียมคาร์ไบด์	7
2.4 แก้วถ่านหินที่ผ่านการเผาไหม้สมบูรณ์ มีรูปทรงกลมและผิวเรียบ (แก้วถ่านหินแม่เมาะ)	11
2.5 แก้วถ่านหินที่ผ่านการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งมีรูปร่างไม่แน่นอนและความพรุน	12
2.6 แก้วถ่านหินกลวงหรือซีโนสเฟีย	12
2.7 แก้วถ่านหินกลวงที่มีแก้วถ่านหินขนาดเล็กภายในหรือพอลิโรสเฟีย	13
2.8 โซดาไฟ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	14
3.1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์	24
3.2 แก้วถ่านหินแม่เมาะ	25
3.3 ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์	25
3.4 ทราายแม่น้ำสะอาด	25
3.5 หิน	26
3.6 ชุดตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8 และเบอร์ 325	26
3.7 เครื่องผสมคอนกรีต	26
3.8 ชุดทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต	27
3.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก	27
3.10 เครื่องทดสอบกำลังคอนกรีต	28
3.11 แบบหล่อคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 100x100x100 มม. ³	28
3.12 ตู้อบวัสดุ	29
4.1 ภาพถ่ายกำลังสูงขยายอนุภาคของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และแก้วถ่านหิน	35
4.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังของคอนกรีต	40
4.3 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุป่มของคอนกรีต	42
4.4 ผลของร้อยละการแทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์ด้วยแก้วถ่านหินเทียบกับกำลังอัด	45

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อกำหนดทางเคมีของปอซีโซลาน ตามมาตรฐาน ASTM C618 (1991)	9
2.2 ข้อกำหนดทางกายภาพ ตามมาตรฐาน ASTM C618 (1991)	9
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ	17
3.1 ส่วนผสมคอนกรีต กรณีไม่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่งปฏิกิริยา	30
3.2 ส่วนผสมคอนกรีต กรณีใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่งปฏิกิริยา	30
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน	35
4.2 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต	36

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการหาวัสดุทดแทนใหม่แทนที่วัสดุเดิมที่มีอยู่กำลังเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน อันเนื่องมาจากทรัพยากรที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่เพียงพอต่อการใช้งาน และข้อจำกัดทางด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในปัจจุบัน จึงจำเป็นต้องหาวัสดุทดแทนที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับวัสดุเดิม และก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมลดลง ในการก่อสร้างในปัจจุบันหรือแม้แต่ในอดีตที่ผ่านมา คอนกรีตถือว่าเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมมากเป็นอันดับหนึ่ง อันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและสามารถควบคุมคุณสมบัติได้ง่าย อีกทั้งยังมีราคาที่ไม่แพงจนเกินไป แต่ถึงอย่างนั้นกระบวนการผลิตซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ก็ยังส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอยู่ดีในกระบวนการผลิตซีเมนต์นั้นทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน ในด้านเทคโนโลยีคอนกรีต ที่ผ่านมามีได้คิดหาวัสดุที่สามารถนำมาทดแทนการใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางอุตสาหกรรมมาปรับปรุงและทดแทน ซึ่งทำให้เกิดคุณสมบัติบางอย่างที่ทำให้คอนกรีตดีขึ้น และยังช่วยกำจัดกากข้อเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวในอีกทางหนึ่ง แก้วถ่านหิน (fly ash) เป็นวัสดุปอซโซลานที่เป็นที่นิยมมากในปัจจุบันในเรื่องคุณสมบัติที่ทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การใช้แก้วถ่านหินที่มีคุณภาพดีแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในปริมาณที่เหมาะสม จะให้ผลดีทั้งคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางด้านความคงทน การใช้แก้วเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในส่วนผสมคอนกรีตทำให้สามารถใช้แก้วจากโรงงานอุตสาหกรรมได้เป็นจำนวนมาก เพราะในแต่ละปีมีการใช้ปูนซีเมนต์ในประเทศจำนวนมากคือประมาณ 30 ล้านตัน ซึ่งหากใช้แก้วจากโรงงานอุตสาหกรรมแทนที่ปูนซีเมนต์เพียงร้อยละ 10 จะสามารถใช้แก้วถึง 3 ล้านตัน หรือร้อยละ 60 ของปริมาณที่ผลิตได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงและสามารถลดปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากแก้วดังกล่าวออกไปได้อย่างมาก จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า กากแคลเซียมคาร์ไบด์ เป็นกากจากโรงงานอุตสาหกรรมอีกประเภทหนึ่งที่ประกอบไปด้วยต่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นหลัก และสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานกับวัสดุปอซโซลานได้ โดยกากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำในกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีน ซึ่งก๊าซอะเซทิลีนเป็นก๊าซที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมเชื่อมโลหะและอุตสาหกรรมการตัดโลหะ โดยปกติกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ปล่อยทิ้งจากโรงงานอยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ความต้องการใช้ก๊าซอะเซทิลีนของภาคอุตสาหกรรมจากอดีตจนถึงปัจจุบันมีแนวโน้มสูงขึ้นตาม

สภาวะการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ จึงส่งผลให้มีปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์เหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ปริมาณการทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์ของโรงงานแห่งหนึ่งทางภาคกลางของประเทศไทยมีปริมาณสูงถึง 1,000 ตันต่อเดือน หรือประมาณ 12,000 ตันต่อปี ซึ่งไม่สามารถนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ไปใช้ประโยชน์ได้นอกจากนำไปทิ้ง จึงก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่อพื้นที่บริเวณใกล้เคียง นอกจากนี้ความแตกต่างที่สูงมากของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ทำให้ดินในบริเวณพื้นที่ที่มีความเป็นด่างสูงจึงไม่สามารถใช้เป็นพื้นที่ทำการเกษตรได้ ปัจจุบันมีการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์มาใช้ให้เกิดประโยชน์น้อยมาก องค์ความรู้พื้นฐานในการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ไปใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่อยู่ในงานวิจัยเท่านั้น ดังนั้นหากสามารถนำส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินมาใช้แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในงานคอนกรีตได้ จะเป็นแรงผลักดันให้ผู้ใช้คอนกรีตและนักวิจัยมีความสนใจที่จะนำวัสดุประสานชนิดใหม่นี้ไปใช้ในงานคอนกรีตเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลงได้

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลความเป็นไปได้ในการผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าถ่านหิน ที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต ซึ่งจะได้ข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินในงานคอนกรีตอย่างเหมาะสมทางด้านกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เพื่อนำไปเป็นข้อมูลทางเลือกในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ดีโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ให้มากขึ้น ตลอดจนมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์และการใช้งานได้ในเชิงวิศวกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาผลของด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าถ่านหิน โดยใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยา โดยใช้เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแทนที่บางส่วนในกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 25, 35, 45 และ 55 โดยน้ำหนัก โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.25, 0.50, 0.75 และกลุ่มที่ไม่ได้ผสมสารเร่งปฏิกิริยา ทำการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตหลังบ่มตัวอย่างในน้ำที่อายุ 14, 28 และ 60 วัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถเป็นแนวทางในการนำวัสดุที่เหลือใช้อย่างเก่าถ่านหินและกากแคลเซียมคาร์ไบด์จากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้งาน ซึ่งจะช่วยลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ลดปัญหาภาวะโลกร้อนได้ และสามารถเป็นแนวทางในการนำวัสดุปอซโซลานอื่นๆ ที่เหลือใช้มาพัฒนาต่อได้ และนำผลของต่างแรงปฏิกิริยาปอซโซลานต่อวัสดุประสานที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์กับถ่านหินแม่เมาะมาเป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาวัสดุปอซโซลานให้สามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้างได้โดยมีกำลังอัดในช่วงต้นสูงขึ้น

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึง กากแคลเซียมคาร์ไบด์ แถ่ถ่านหิน วัสดุปอซโซลาน ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปฏิกิริยาไฮเดรชัน และงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และแถ่ถ่านหินเป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีต

2.1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์

กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำในกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทีลีนซึ่งก๊าซอะเซทีลีนเป็นก๊าซที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมเชื่อมโลหะและอุตสาหกรรมการตัดโลหะ โดยปกติกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ปล่อยทิ้งจากโรงงานอยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ในสถานะของโคลนเหลวสีเทาอมขาว มีความเป็นด่างสูง เมื่อปล่อยให้ตกตะกอนและแห้งตามธรรมชาติจะจับตัวเป็นก้อนหลวมๆ มีสีขาวเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นลดลง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 พื้นที่ทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์ของโรงงานผลิตก๊าซอะเซทีลีน

ขบวนการผลิตก๊าซอะเซทีลีนได้จากการนำแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) มารวมกับน้ำซึ่งปริมาณก๊าซอะเซทีลีนที่ได้ จะขึ้นอยู่กับชั้นคุณภาพของแคลเซียมคาร์ไบด์คือชั้นคุณภาพที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก. 316 จะได้ปริมาณก๊าซอะเซทีลีนไม่น้อยกว่า 290 ลูกบาศก์เดซิเมตรต่อแคลเซียมคาร์ไบด์ 1 กิโลกรัม ส่วนชั้นคุณภาพที่ 2, 3 และ 4 ควรได้ปริมาณก๊าซอะเซทีลีนไม่น้อยกว่า 270, 250 และ 220 ลูกบาศก์เดซิเมตรตามลำดับ

ในการเตรียมก๊าซอะเซทีลีนสามารถเตรียมได้โดยใช้หินปูน (CaCO_3) มาเผาให้เป็นปูนขาว (Lime) ในเตาเผา โดยใช้ถ่านโค้ก (Coke) เป็นเชื้อเพลิง ดังแสดงในสมการที่ 2.1



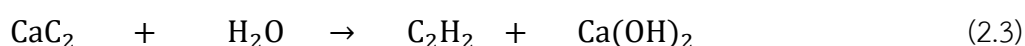
Limestone Lime Carbondioxide

นำปูนขาวที่ได้จากการเผาหินปูนมาผสมกับถ่านโค้ก แล้วเผาในเตาหลอมภายใต้อุณหภูมิ 1700 องศาเซลเซียส เผาจนกระทั่งปูนขาว และถ่านโค้กหลอมเป็นของเหลวเนื้อเดียวกัน ปล่อยให้ของเหลวที่อุณหภูมิติดลงของเหลวที่เกิดจากปูนขาวและถ่านโค้กหลอมเหลวรวมกันคือ แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) ซึ่งอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว แสดงดังสมการที่ 2.2



Lime Coke CalciumCarbide Carbonoxide

แคลเซียมคาร์ไบด์จะเปลี่ยนสถานะอยู่ในรูปของแข็งเป็นก้อนๆ หลังจากอุณหภูมิเริ่มเย็นลง จากนั้นนำเข้าสู่เครื่องบดให้เป็นก้อนเล็ก ๆ แล้วร่อนผ่านตะแกรงออกมาตามขนาด ก๊าซอะเซทีลีนจะได้จากการนำแคลเซียมคาร์ไบด์ที่มีสภาพเป็นของแข็งมาทำปฏิกิริยากับน้ำ ดังสมการที่ 2.3



Calcium Carbide Water Acetylene Calcium Hydroxide

หากแคลเซียมคาร์ไบด์จากสมการ (2.3) พบว่า ถ้าใช้ CaC_2 64 กรัม จะได้ Ca(OH)_2 74 กรัม และก๊าซอะเซทีลีนเท่ากับ 26 กรัม นั้นหมายความว่าหากใช้ CaC_2 ผลิตก๊าซอะเซทีลีน 1 ส่วนจะได้กากแคลเซียมคาร์ไบด์อยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1.16 ส่วน

2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของกากแคลเซียมคาร์ไบด์

กระบวนการผลิตก๊าซอะเซทีลีนภายในโรงงานพบว่ามีกากแคลเซียมคาร์ไบด์ให้ไหลไปตามคูหรือคลองที่ขุดไว้ ทำให้กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีความชื้นอยู่มาก มีสีเทาปนขาว ลักษณะเป็นก้อนเล็กและใหญ่จับตัวกันคล้ายดินเหนียว (ดังรูปที่ 2.2) กากแคลเซียมคาร์ไบด์สามารถละลายน้ำได้ เมื่อแห้งแล้วจะคงสภาพเป็นก้อนแข็งขึ้นหลังจากตากแดดให้แห้งแล้วบดจะได้กากแคลเซียมคาร์ไบด์

เป็นผงละเอียดมีสีเข้มขึ้นจากเดิมเล็กน้อยเนื่องจากปริมาณความชื้นภายในลดลงซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.2 จากภาพถ่ายขยายขนาดอนุภาคของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์จากโรงงานโดยตรงมีรูปร่างไม่แน่นอนเป็นเหลี่ยมมุม พื้นผิวขรุขระ ดังรูปที่ 2.2(ก) และหลังจากบดแล้วดังรูปที่ 2.2(ข) เห็นได้ชัดว่าอนุภาคของกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีขนาดเล็กลงเนื่องจากการบดและยังคงมีรูปร่างไม่แน่นอนเป็นเหลี่ยมมุมผิวขรุขระ



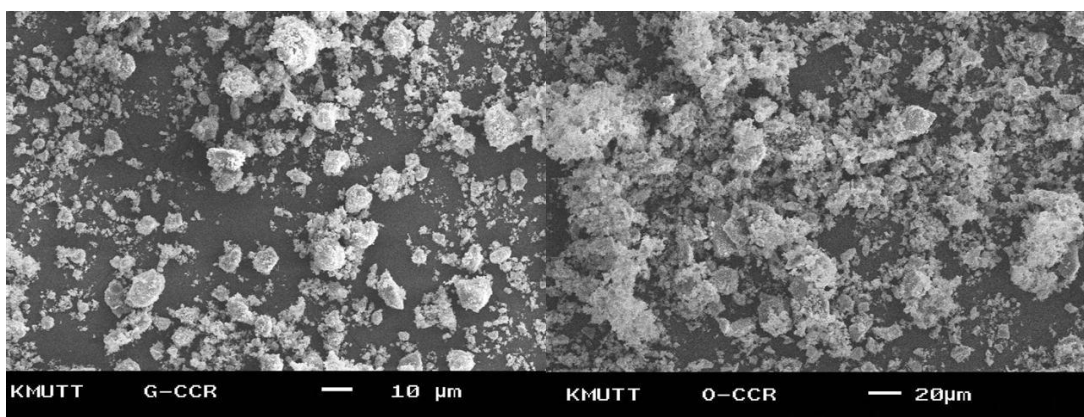
รูปที่ 2.2 ลักษณะทั่วไปและสีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์

2.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์

องค์ประกอบหลักทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ซึ่งใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ คือกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เท่ากับร้อยละ 51.94 ส่วนปูนซีเมนต์มีแคลเซียมออกไซด์ปริมาณร้อยละ 63.94 ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 3.36 และมีน้ำหนักสูญเสียเนื่องจากการเผา (LOI) คิดเป็นปริมาณร้อยละ 41.72 สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีค่าเท่ากับ 12.23 (บุญมาก รุ่งเรือง, 2541)

2.1.3 ความถ่วงจำเพาะของกากแคลเซียมคาร์ไบด์

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ได้จากโรงงานโดยตรง มีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.32 เมื่อบดแล้วพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าสูงขึ้นโดยกากแคลเซียมคาร์ไบด์หลังบดมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วงประมาณ 2.42-2.47 และมีปริมาณวัสดุที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 2.0-2.3 เห็นได้ชัดว่าการบดทำให้วัสดุมีความละเอียดเพิ่มขึ้นและยังทำให้ความพรุนภายในอนุภาคลดลง จึงส่งผลให้ค่าความถ่วงจำเพาะของกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีค่าสูงขึ้นซึ่งคล้ายกับลักษณะทั่วไปภายหลังการบดวัสดุปอซโซลานชนิดอื่น ๆ



ก. กากแคลเซียมคาร์ไบด์ ก่อนบด

ข. กากแคลเซียมคาร์ไบด์ บดละเอียด

รูปที่ 2.3 ภาพถ่ายกำลังสูงขยายอนุภาคของกากแคลเซียมคาร์ไบด์

2.2 เถ้าถ่านหิน

เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย (fly ash ซึ่งนิยมใช้เรียกในประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ pulverized fuel ash มักนิยมใช้เรียกในประเทศอังกฤษหรือยุโรป) เกิดจากการเผาถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า เถ้าถ่านหินจะถูกพัดออกมาตามลมร้อนเพื่อออกไปสู่ปล่องควัน จากนั้นตัวดักจับ (electrostatic precipitator) จะรวบรวมเถ้าถ่านหินเพื่อเก็บไว้ในไซโลต่อไป เถ้าถ่านหินมีลักษณะโดยทั่วไปคือ เป็นฝุ่นผงคล้ายปูนซีเมนต์ มีสีเทาดำ หรือน้ำตาล จัดเป็นวัสดุปอซโซลานอย่างหนึ่ง (pozzolanic material) ซึ่งมีส่วนประกอบหลักทางเคมี คือ ออกไซด์ของซิลิกา อลูมินา และเหล็ก เมื่ออยู่ในสภาพแห้งมีลักษณะเป็นฝุ่นและไม่มีคุณสมบัติเชื่อมประสานระหว่างอนุภาค แต่เมื่อมีความชื้นภายใต้ อุณหภูมิปกติจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) และเกิดเป็นสารใหม่ที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน ยึดเกาะกันได้ดีคล้ายปูนซีเมนต์ ในกรณีที่เถ้าถ่านหินลอมเหลวและบางส่วนจับกันเป็นก้อนหรือเป็นเม็ดใหญ่ขึ้น ทำให้มีน้ำหนักมากและตกลงสู่ก้นเตา จึงเรียกว่า เถ้าก้นเตาหรือเถ้าหนัก (bottom ash)

การผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง กากที่เหลือจากการเผาถ่านหิน ประกอบด้วยเถ้าถ่านหินประมาณร้อยละ 80 และเถ้าก้นเตาอีกประมาณร้อยละ 20 และประมาณว่ามีเถ้าถ่านหินลิกไนต์ที่ได้จากการเผาถ่านหินเฉพาะที่แม่เมาะถึงปีละ 3 ล้านตันในปี พ.ศ. 2536 นอกจากนี้ยังมีเถ้าถ่านหินจากแหล่งภาคกลางและภาคตะวันออกอีกปีละประมาณ 2.8 แสนตันต่อปี และมีการนำเถ้าถ่านหินจากทุกแหล่งไปใช้ในงานคอนกรีตประมาณปีละ 1.5 ล้านตันในปี พ.ศ. 2546

2.2.1 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าถ่านหิน

จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินจากแหล่งต่างๆโดยใช้เทคนิค X-ray Fluorescence ประกอบด้วยองค์ประกอบออกไซด์ของแร่ธาตุต่างๆได้แก่ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เป็นต้น องค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้มีค่าต่างกันตามแหล่งหรือชนิดของถ่านหินที่มาของเถ้าถ่านหินกระบวนการเผาอุณหภูมิที่ใช้เผาด้วยเหตุนี้จึงมีการแยก ประเภทเถ้าถ่านหินดังมาตรฐาน ASTM C 618 เถ้าถ่านหินเป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านหินในการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อน มาตรฐาน ASTM C 618 แบ่งเถ้าถ่านหินออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. ชนิด F (Class F) เป็นเถ้าถ่านหินที่ได้จากการเผาถ่านหินแอนทราไซต์ และบิทูมินัส มีปริมาณรวมของซิลิกา (Silica) อลูมินา (Alumina) และ เฟอริกออกไซด์ (Ferric oxide) มากกว่าร้อยละ 70 และมีคุณสมบัติอื่นตามที่ระบุไว้ในมาตรฐาน ASTM C 618 วิธีการเก็บตัวอย่างและวิธีการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 311 โดยทั่วไปเถ้าถ่านหินชนิด F มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide, CaO) ต่ำดังนั้นจึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าเถ้าถ่านหินแคลเซียมต่ำ สำหรับซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) มาจากแร่ดินเหนียวและควอตซ์ ถ่านหินแอนทราไซต์และบิทูมินัสมีแร่ดินเหนียวสูงจึงให้เถ้าถ่านหินที่มี ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) สูง

2. ชนิด C (Class C) เป็นเถ้าถ่านหินที่ได้จากการเผาถ่านหินลิกไนต์ และซับบิทูมินัสเป็นส่วนใหญ่ มีปริมาณของ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ มากกว่าร้อยละ 50 ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide, CaO) สูงและมีคุณสมบัติอื่นตามที่ระบุในมาตรฐาน ASTM C 618 เถ้าถ่านหินชนิดนี้เรียกชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า เถ้าถ่านหินแคลเซียมสูง สำหรับอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) มาจากแร่ดินเหนียว โดยที่ลิกไนต์ประกอบไปด้วยดินเหนียวที่มีอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ต่ำทำให้เถ้าถ่านหินชนิด C นอกจากมีซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) ต่ำแล้วยังมีอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ต่ำด้วย

เถ้าถ่านหินทั้ง 2 ชนิดมีคุณสมบัติเป็นปอซโซลาน นอกจากนี้เถ้าถ่านหินชนิด C ยังมีความเป็นสารซีเมนต์ในตัวเองจากการมีปริมาณ CaO สูง เถ้าถ่านหินแม่เมาะในระยะแรกส่วนใหญ่เป็นเถ้าถ่านหินแคลเซียมสูงโดยมีปริมาณ CaO สูงถึงร้อยละ 40 และมีความเป็นสารซีเมนต์ในตัวเอง ในปัจจุบันเถ้าถ่านหินแม่เมาะมีปริมาณ CaO ต่ำลงโดยมีสารนี้อยู่ ประมาณร้อยละ 10

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดทางเคมีของปอซโซลาน ตามมาตรฐาน ASTM C618 (1991)

ข้อกำหนดทางเคมี	ชั้นคุณภาพ		
	N	F	C
ผลรวมของซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ไอร์ออนออกไซด์ (Fe_2O_3), ไม่น้อยกว่าร้อยละ	70.0	70.0	50.0
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3), ไม่เกินร้อยละ	4.0	5.0	5.0
ปริมาณความชื้น, ไม่เกินร้อยละ	3.0	3.0	3.0
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI), ไม่เกินร้อยละ	10.0	6.0	6.0

หมายเหตุ

1. สารปอซโซลานชั้นคุณภาพ N เป็นสารปอซโซลานธรรมชาติ
2. สามารถใช้แก้ลดชั้นคุณภาพ F ที่มีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาสู่ถึงร้อยละ 12 ได้ ถ้ามีผลของการใช้งานหรือผลของการทดสอบที่เชื่อถือได้

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดทางกายภาพ ตามมาตรฐาน ASTM C618 (1991)

ข้อกำหนดทางกายภาพ	ชั้นคุณภาพ		
	N	F	C
ความละเอียด :			
- ปริมาณที่ค้ำแรงเบอร์ 325 ^A ร่อนโดยใช้น้ำ, ไม่เกินร้อยละ	34	34	34
ดัชนีกำลัง เมื่อผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ :			
- ที่อายุ 7 วัน อย่างต่ำร้อยละของส่วนผสมควบคุม	75 ^B	75 ^B	75 ^B
- ที่อายุ 28 วัน อย่างต่ำร้อยละของส่วนผสมควบคุม	75 ^B	75 ^B	75 ^B
- ความต้องการน้ำ, สูงสุดร้อยละของส่วนผสมควบคุม	115	105	105
ความคงตัว (soundness)^C :			
- การขยายตัวหรือหดตัวออตเคลฟ, ไม่เกินร้อยละ	0.8	0.8	0.8

ข้อกำหนดด้านความสม่ำเสมอ ^D :			
- ความหนาแน่น, ต่างจากค่าเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ	5	5	5
- ร้อยละที่ค้ำแรงเบอร์ 325, ต่างจากค่าเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ	5	5	5

- หมายเหตุ
- A ระวังไม่ให้มีผงละเอียดที่เกาะตัวกันเป็นก้อนค้ำบนแรง
- B เป็นไปตามข้อกำหนดเมื่อดัชนีกำลังที่อายุ 7 วัน หรือ 28 วัน เป็นไปตามข้อกำหนด
- C ถ้ามีสารปอซโซลานผสมเกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของสารซีเมนต์ในคอนกรีต ขึ้นส่วนทดสอบของการขยายตัวของโตนีลควรมีสารปอซโซลานอยู่ร้อยละของสารซีเมนต์ตามนั้น
- D ความหนาแน่น (density) และความละเอียดของตัวอย่างแต่ละอันต้องไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของสิบตัวอย่างที่ทดสอบ

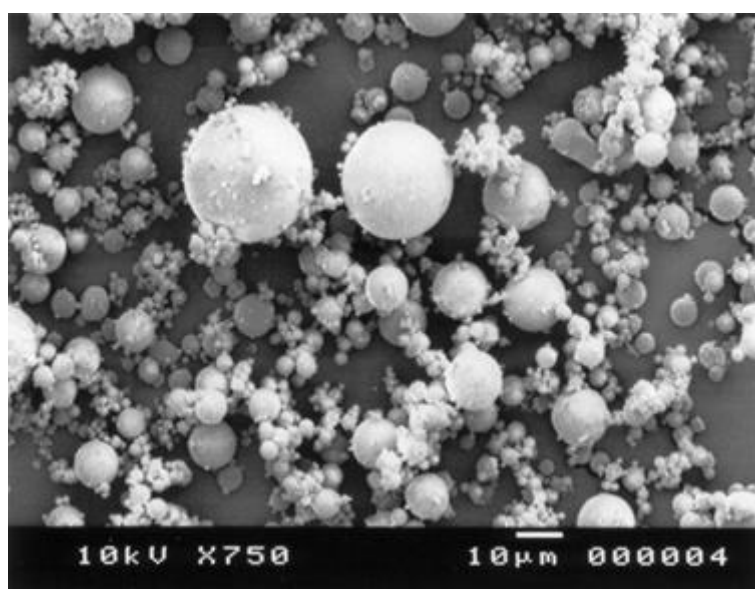
2.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

ถ่านหินที่บดละเอียดผ่านการเผาไหม้จะสันดาปและหลอมละลายเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงถ้าถ่านหินขนาดเล็กสามารถลอยตามอากาศร้อนไปได้ ถ้าถ่านหินขนาดเล็กจะผ่านการเผาไหม้ที่สมบูรณ์กว่าจึงมีทรงกลมและผิวเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ถ้าถ่านหินขนาดใหญ่มีรูปร่างที่ไม่แน่นอนผิวขรุขระ และมีรูเล็กๆ ที่ผิวและอาจมีปริมาณของคาร์บอน (carbon) สูง สำหรับถ่านหินที่มีรูพรุนมากๆ มักเกิดจากการเผาถ่านหินด้วยอุณหภูมิที่ไม่สูงพอที่จะทำให้ถ่านหินหลอมเหลวได้และถ่านหินที่ได้มักมีรูปร่างต่างๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 อนุภาคของถ่านหินมีขนาดตั้งแต่เล็กกว่า 1 ไมครอน จนถึง 200 ไมครอน โดยมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 15-30 ไมครอน ความละเอียดของถ่านหินจากโรงไฟฟ้าที่แม่เมาะซึ่งทดสอบโดยวิธีของเบลนมีความละเอียดอยู่ในช่วง 2,500 ถึง 3,500 ซม²/ก

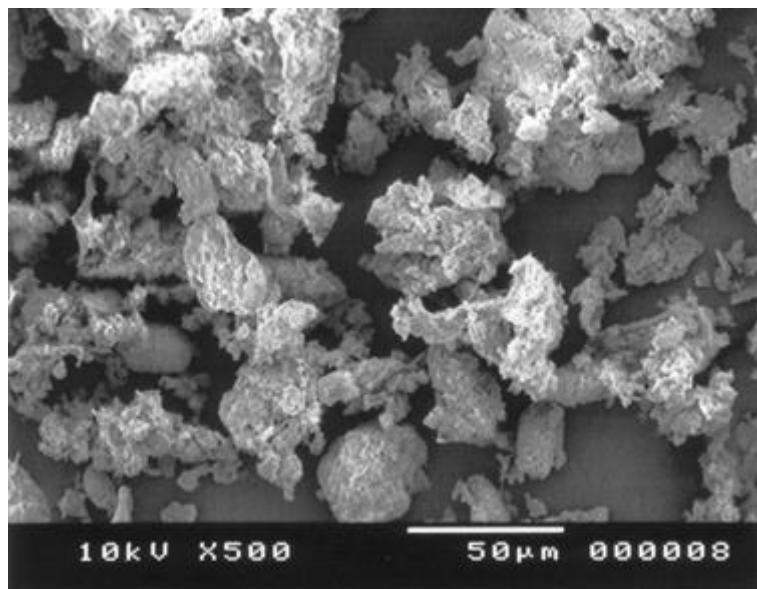
การวัดความละเอียดของถ่านหินมี 2 วิธีที่นิยมใช้กันคือวิธีการร่อนผ่านแรงเบอร์ 325 (ช่องเปิด 45 ไมโครเมตร) กับวิธีวัดพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักโดยวิธีของเบลน (Blaine fineness) ซึ่งใช้หลักการของการซึมอากาศผ่านตัวอย่างที่ทดสอบ ในหลายกรณีพบว่าความละเอียดของเบลนสามารถบ่งชี้ถึงความว่องไวในการทำปฏิกิริยาของถ่านหิน อย่างไรก็ตามวิธีการหาความละเอียดของถ่านหินโดยวิธีนี้จะใช้ได้ดีเมื่อใช้เปรียบเทียบถ่านหินจากแหล่งเดียวกัน ซึ่งมีรูปร่างเหมือนกัน แต่หากใช้กับถ่านหินที่มีปริมาณคาร์บอนสูงและมีความพรุนมาก อาจให้ค่าความละเอียดของเบลนสูงแต่ถ่านหินมีขนาดอนุภาคใหญ่ ในสหรัฐอเมริกาใช้วิธีร่อนผ่านแรงเป็นวิธีมาตรฐานวิธีเดียวในการกำหนดความละเอียดของถ่านหิน กล่าวคือถ่านหินต้องมีขนาดของอนุภาคที่ร่อนผ่านแรงเบอร์ 325 ไม่น้อยกว่าร้อยละ 66 โดยน้ำหนัก โดยทั่วไปถ่านหินที่ละเอียด

ขึ้นจะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาได้เร็วขึ้นและทำให้กำลังอัดคอนกรีตสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินที่หยาบกว่า

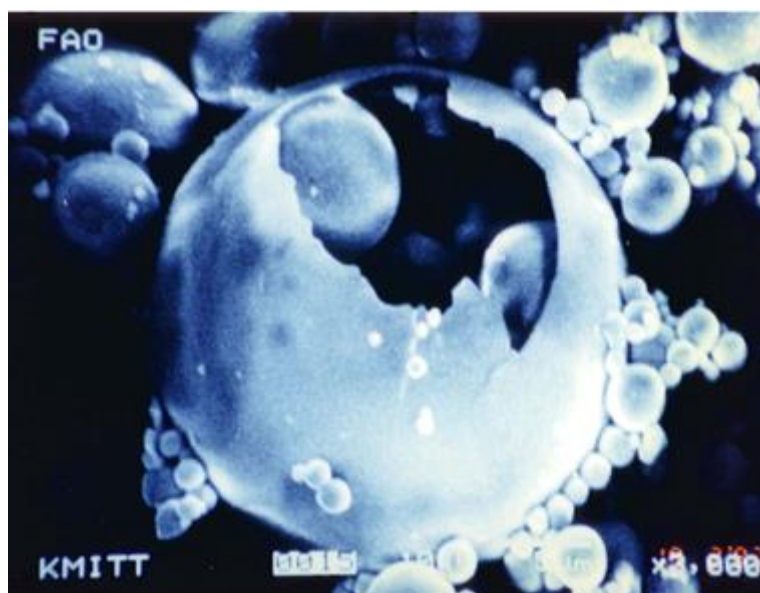
เถ้าถ่านหินอาจประกอบด้วยอนุภาคที่มีโพรงข้างในที่เรียกกันว่าเถ้าถ่านหินกลวง (cenosphere) ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งเกิดจากการที่ก๊าซจากการเผาไหม้ของถ่านหินถูกกักไว้ภายในเถ้าถ่านหิน และยังมีเถ้าถ่านหินกลวงที่มีอนุภาคเถ้าถ่านหินเล็กๆ อยู่ภายในเรียกว่า พลัสโรสเฟีย (plerosphere) เถ้าถ่านหินกลวงมีตั้งแต่ขนาดเล็กไม่กี่ไมครอนจนถึงขนาดหลายร้อยไมครอนดังแสดงในรูปที่ 2.7 ความกลวงทำให้ความถ่วงจำเพาะของเถ้าถ่านหินต่ำกว่าปกติ ความถ่วงจำเพาะของเถ้าถ่านหินแม่เมาะอยู่ที่ 2.0-2.2 แต่เมื่ออบดีให้ละเอียดขึ้นอาจมีความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นเป็น 2.5 ได้



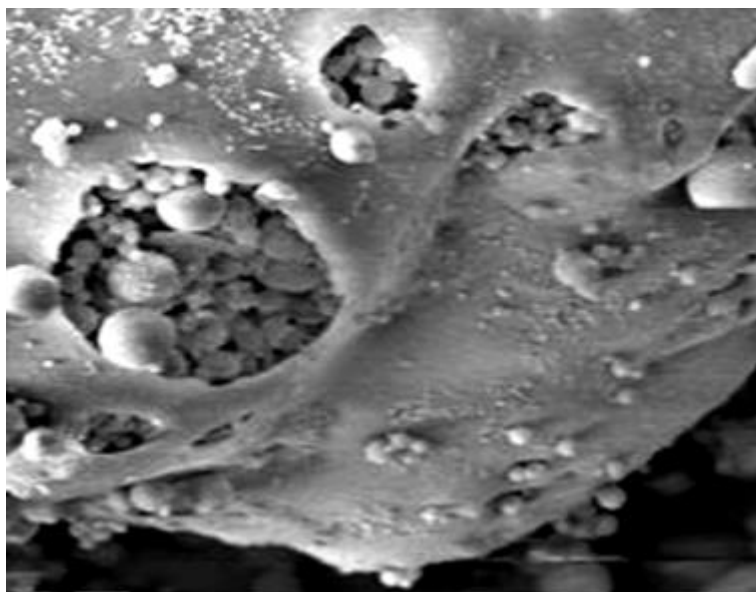
รูปที่ 2.4 เถ้าถ่านหินที่ผ่านการเผาไหม้สมบูรณ์ มีรูปทรงกลมและผิวเรียบ (เถ้าถ่านหินแม่เมาะ)



รูปที่ 2.5 เยื่อถ่านหินที่ผ่านการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งมีรูปร่างไม่แน่นอนและมีความพรุน



รูปที่ 2.6 เยื่อถ่านหินกลวงหรือซีโนสเฟีย



รูปที่ 2.7 แก้วถ่านหินกลวงที่มีแก้วถ่านหินขนาดเล็กภายในหรือฟลิโรสเฟีย

2.2.4. ขนาดและความละเอียด

อนุภาคแก้วถ่านหินมีขนาดตั้งแต่เล็กกว่า 1 ไมครอนจนถึง 200 ไมครอน โดยมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 15-30 ไมครอน แก้วถ่านหินแม่เมาะมีขนาดและความละเอียดใกล้เคียงกับ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ความละเอียดของแก้วถ่านหินนิยมนำมาวัดโดยใช้การวัดพื้นที่ผิว โดยแก้วถ่านหินส่วนใหญ่จะมีพื้นที่ผิวระหว่าง 2,500 - 5,000 ซม.²/ก. เมื่อวัดโดยวิธีของเบลน (Blaine) และเมื่อวัดโดยวิธีของ BET (Brunauer-Emmett-Teller) ซึ่งเป็นการวัดการดูดซับของก๊าซ ความละเอียดของแก้วถ่านหินเมื่อวัดโดยวิธี นี้จะได้ค่าที่แตกต่างกันมาก เนื่องจากวิธีนี้ วัดพื้นที่ผิวทั้งหมดที่ก๊าซสามารถแทรกเข้าถึงได้ ทั้งผิวที่ ขรุขระเป็นรูพรุน และที่เป็นโพรง ค่าที่วัดได้จะอยู่ระหว่าง 5,000 - 89,000 ซม.²/ก. โดยค่าเฉลี่ยจะ ประมาณ 35,000 ซม.²/ก. การวัดความละเอียดของแก้วถ่านหินยังนิยมใช้การวัดแบบง่ายโดยการร่อนเปียก (Wet sieve) ผ่านบน ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ตามมาตรฐาน ASTM C618 แนะนำให้ใช้บนตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 325 (ค่ากลางของอนุภาคเท่ากับ 45 ไมครอน) โดยระบุจำนวน แก้วถ่านหินที่ค้างบนตะแกรง มาตรฐานเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 34 แก้วถ่านหิน โดยทั่วไปมีปริมาณค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 อยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 8-30 (ปริญญา จินดาประเสริฐและคณะ, 2550)

2.2.5. ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของเถ้าถ่านหินสามารถวัดได้โดยการทดสอบเช่นเดียวกับปูนซีเมนต์ตามมาตรฐาน ASTM C188 เถ้าถ่านหินมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.90–2.90 (Rilem, 1991) ซึ่งต่ำกว่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ความถ่วงจำเพาะของเถ้าถ่านหินที่สูงส่วนใหญ่ มาจากถ่านหินที่มีธาตุเหล็กและแคลเซียมออกไซด์ผสมอยู่มาก ความถ่วงจำเพาะของเถ้าถ่านหินที่ได้จากการเผาครั้งเดียวกันยังขึ้นอยู่กับความละเอียดเถ้าถ่านหินส่วนละเอียดจะมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าเถ้าถ่านหินส่วนที่หยาบ ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าถ่านหินหยาบจะมีผิวขรุขระเป็นรูโพรงและยังมีเถ้าถ่านหินกลวงผสมอยู่มากกว่าเถ้าถ่านหินละเอียด (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และวีรชาติ ตั้งจิรภัทร, 2554)

2.2.6. ความต้องการน้ำ

มาตรฐาน ASTM C618 ระบุความต้องการน้ำของส่วนผสมที่มีเถ้าถ่านหินสูงสุดเท่ากับร้อยละ 105 ของส่วนผสมควบคุมโดยมาตรฐาน ASTM C311 ให้ใช้ส่วนผสมเดียวกันกับที่ใช้สำหรับการทดสอบดัชนีการพัฒนากำลังเถ้าถ่านหินมีรูปร่างกลมจะทำให้ส่วนผสมมีความสามารถทำงานได้หรือมีความชื้นไหลได้ดีขึ้น ทำให้มีความต้องการน้ำต่ำกว่าส่วนผสมควบคุมแสดงให้เห็นว่าเถ้าถ่านหินมีผิวขรุขระและไม่กลมจึงไม่เหมาะที่จะเอามาใช้งาน

2.3. โซเดียมไฮดรอกไซด์

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มีสถานะเป็นของแข็งลักษณะเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น เป็นสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนเนื่องจากคุณสมบัติเป็นเบสแก่ประกอบด้วยโลหะโซเดียมและเบสไฮดรอกไซด์มวลโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 40 มีความถ่วงจำเพาะ 2.13



รูปที่ 2.8 โซดาไฟ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

โซดาไฟก้อน เป็นสถานะปกติของโซดาไฟที่อยู่ในรูปของแข็ง มีลักษณะเป็นผลึก หรือผงสีขาวมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดีเมื่อละลายน้ำจะให้ฤทธิ์เป็นด่างแก่ใช้มากในภาคอุตสาหกรรม และ มีใช้บ้างในภาคครัวเรือน และการเกษตร

2.3.1 ลักษณะเฉพาะของโซดาไฟ

เป็นก้อนผลึกหรือผงสีขาว

ละลายน้ำได้ต่างแก่

มวลอะตอมเท่ากับ 40 กรัม/โมล

ความหนาแน่น 2.1 กรัม/ซม.³ ที่ 20 องศาเซลเซียส

จุดหลอมเหลวที่ 318 องศาเซลเซียส

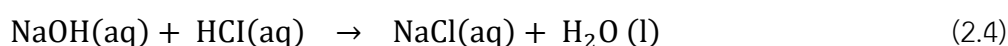
จุดเดือดที่ 1390 องศาเซลเซียส

ความสามารถในการละลายน้ำ 111 กรัม/10 มล.

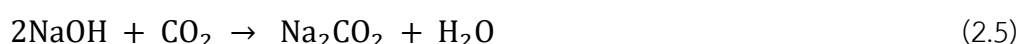
โซดาไฟเหลว เป็นผลิตภัณฑ์ของโซดาไฟที่อยู่ในรูปของเหลวที่ละลาย อยู่ในตัวทำละลาย (น้ำ) มีฤทธิ์เป็นด่างไม่มีกลิ่นแต่ สามารถเกิดไอรระเหยได้เมื่อสัมผัสจะ ลื่นเหมือนสบู่ พบจำหน่ายมาก ใน ปัจจุบัน ได้แก่ โซดาไฟร้อยละ 32 และ 50 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้มากในภาคอุตสาหกรรม

2.3.2 ปฏิกริยาของโซเดียมไฮดรอกไซด์

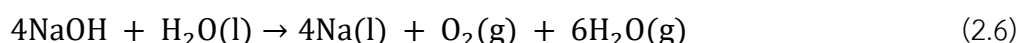
ทำปฏิกิริยากับกรดได้ผลิตภัณฑ์เป็น เกลือและน้ำดังสมการ 2.4



ทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของกรด ดังสมการที่ 2.5



การแยกสลายด้วยไฟฟ้าในสภาวะการหลอมเหลวโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ผลิตภัณฑ์ เป็นโลหะโซเดียม ก๊าซออกซิเจน และน้ำ ดังสมการที่ 2.6



2.3.3 การผลิตโซเดียมไฮดรอกไซด์

การผลิตจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์(NaCl) ดังสมการที่ 2.7



การผลิตจากปูนขาว ด้วยการละลายโซดา (NaCO₃) ในน้ำปูนขาว (Ca(OH)₂) ที่อุณหภูมิ 80°

ทำไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคาร์บอเนตดังสมการที่ 2.8



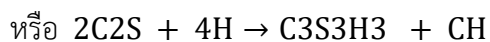
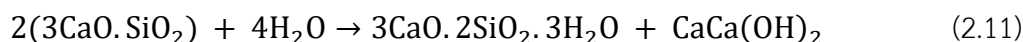
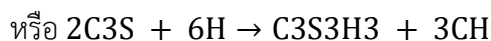
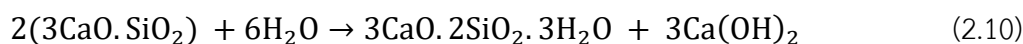
การผลิตจากสารประกอบเฟอร์ไรท์นำสารประกอบเฟอร์ไรท์คือ $\text{NaO} \cdot \text{FeO}_3$ กับผงโซดาอูมหมุมิ 1100 ถึง 1200 องศาเซลเซียส เข้าสู่กระบวนการชะด้วยน้ำได้โซเดียมไฮดรอกไซด์และตะกอน สารประกอบเฟอร์ไรท์ด้วยสมการที่ 2.9



2.4 ปฏิกริยาไฮเดรชัน

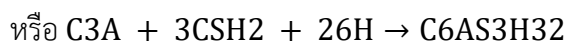
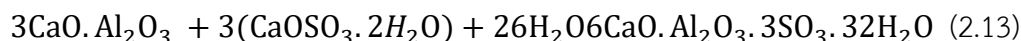
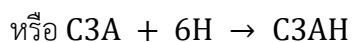
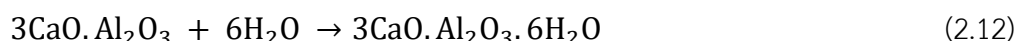
2.4.1 ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C2S)

เป็นสารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยาได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (calcium silicate hydrate, $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, CSH) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CH) ดังสมการต่อไปนี้



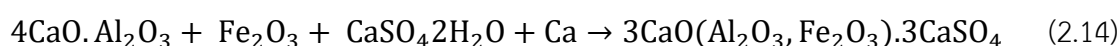
2.4.2 ไตรแคลเซียมอะลูมินาต (C3A)

ทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างรวดเร็วและได้แคลอะลูมินาตไฮเดรต (calcium aluminate hydrate, CAH) ดังสมการที่ 2.12 ปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดการก่อตัวอย่างรวดเร็วจึงจำเป็นต้องผสมยิบซัมเพื่อหน่วงปฏิกิริยาเพราะ C3A จะทำปฏิกิริยาของออลอนกับซัลเฟตได้แคลเซียมซัลโฟอะลูมินาตไฮเดรต (calcium sulfoaluminate hydrate, $6\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SO}_3 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$, C₆AS₃H₃₂) หรือเรียกกันทั่วไปว่าเอทริงไกต์ (ettringite) ดังสมการที่ 2.14



2.4.3 ปฏิกริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอะลูมินาตเฟอร์ไรต์ (C4AF)

ปฏิกิริยาระหว่างเตตระแคลเซียมอะลูมินาตเฟอร์ไรต์ (C4AF) และยิบซัมจะทำให้เกิด แคลเซียมซัลโฟอะลูมินาต (Calcium Sulfoaluminate) และแคลเซียมซัลโฟเฟอร์ไรต์ (Calcium Sulfoferrite) ดังสมการที่ 2.14



2.5 วัสดุปอซโซลาน

วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan material) ตามคำจำกัดความของมาตรฐาน ASTM C 618 หมายถึงวัสดุที่ประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกา (Siliceous) หรือ ซิลิกาและอลูมินา (Siliceous and Aluminous) เป็นองค์ประกอบหลัก วัสดุปอซโซลานโดยทั่วไปมีคุณสมบัติของวัสดุประสานน้อยมาก หรือไม่มีเลย แต่เมื่อวัสดุปอซโซลานมีความละเอียดสูงและมีความชื้นที่เพียงพอสามารถทำปฏิกิริยากับด่างหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสานได้ดี คล้ายกับปูนซีเมนต์ เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ว่าปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolan Reaction) วัสดุปอซโซลานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ วัสดุปอซโซลานธรรมชาติ (Natural Pozzolans) ซึ่งใช้มาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยเกิดขึ้นเองจากกระบวนการตามธรรมชาติ เช่น ถ้ำภูเขาไฟและหินภูเขาไฟ เป็นต้น ส่วนประเภทที่สอง คือ วัสดุที่เป็นผลพลอยได้ (By-Product Materials) ซึ่งเป็นวัสดุปอซโซลานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในทุกวันนี้ โดยได้จากกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมและการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น ถ่านหิน, ซิลิกาฟุ้ง และ ถ่านกลบ เป็นต้น ซึ่งพบว่าการใช้วัสดุปอซโซลานเหล่านี้ผสมกับปูนซีเมนต์ในคอนกรีตสามารถเพิ่มศักยภาพของคอนกรีตให้สูงขึ้นได้

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ

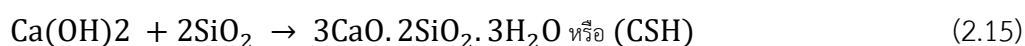
Chemical Compositions (%)	Cement Type I	CR	GFN	GFM
Silicon Dioxide (SiO_2)	20.9	4.3	47.8	44.6
Aluminium Oxide (Al_2O_3)	4.8	0.4	17.7	23.5
Ferric Oxide (Fe_2O_3)	3.4	0.9	6.2	10.4
Calcium Oxide (CaO)	65.4	56.5	21.9	13.8
Magnesium Oxide (MgO)	1.3	1.7	1.3	3.3
Sodium Oxide (Na_2O)	0.3	0.0	0.0	0.1
Potassium Oxide (K_2O)	0.4	0.0	0.0	2.6
Sulfur Trioxide (SO_3)	2.7	0.1	4.1	1.2
Loss On Ignition (LOI)	1.0	36.1	5.2	0.8
Bogue Potential Compound Composition				
Tricalcium Silicates (C_3S)	62.9	-	-	-
Dicalcium Silicates (C_2S)	12.5	-	-	-
Tricalcium Aluminate (C_3A)	6.8	-	-	-
Tetracalcium Aluminoferrite (C_4AF)	10.4	-	-	-

หมายเหตุ	CR คือ กากแคลเซียมคาร์ไบด์บดละเอียด
	GFN คือ เถ้าถ่านหินแบบ Fluidized bed combustion บดละเอียด
	GFM คือ เถ้าถ่านหินแม่เมาะบดละเอียด

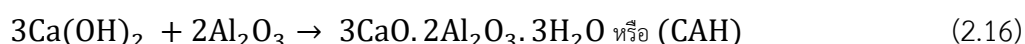
2.6 ปฏิกิริยาปอซโซลานของวัสดุปอซโซลาน

วัสดุปอซโซลานอาจมีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานหรือไม่ก็ได้แต่ต้องทำปฏิกิริยาทางเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) แล้วเกิดเป็นสารประกอบของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และ/หรือ แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (CAH) กล่าวคือ เมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์นี้เองที่ทำปฏิกิริยากับซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ในวัสดุปอซโซลาน เกิดเป็นสารประกอบที่เรียกว่า แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (CAH) ตามลำดับ ซึ่งสารประกอบที่ได้ทั้งสองนี้มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสาน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ปฏิกิริยาปอซโซลาน (pozzolanic reaction) สรุปเป็นสมการทางเคมีได้ดังสมการที่ 2.15 ถึง 2.16

ในกรณีที่วัสดุปอซโซลานมีส่วนประกอบหลักทางเคมีเป็นซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ปฏิกิริยาปอซโซลานสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



ในกรณีที่วัสดุปอซโซลานมีส่วนประกอบหลักทางเคมีเป็นอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ปฏิกิริยาปอซโซลานสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้ใช้ต่างที่มีความเข้มข้นต่างกันในการเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานิกของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าถ่านหินแม่เมาะเพื่อเป็นแนวทางการพัฒนากำลังของคอนกรีต ซึ่งโดยทั่วไปคอนกรีตใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อใช้เป็นวัสดุประสาน มีกลไกการให้กำลังที่สามารถรับแรงได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอซโซลาน โดยปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารประกอบ 2 ชนิด คือ Calcium Silicate Hydrate หรือ C-S-H และ Free Limes หรือ Calcium Hydroxide ซึ่ง Calcium Silicate Hydrate ที่ได้มีคุณสมบัติทำให้คอนกรีตแข็งตัวและให้กำลังกับคอนกรีต โดยกากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำในกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีนซึ่งก๊าซอะเซทิลีนเป็นก๊าซที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมเชื่อมโลหะและอุตสาหกรรมการตัดโลหะ โดยปกติกาก

แคลเซียมคาร์ไบด์ที่ปล่อยทิ้งจากโรงงานอยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ซึ่งในปัจจุบันก๊าซอะเซทิลีนมีความต้องการมากในอุตสาหกรรมทำให้มีปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นจำนวนมากที่ต้องหาพื้นที่สำหรับทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ทำให้พื้นที่ดังกล่าวไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

(ณัฐพงศ์ มกระรัช และคณะ, 2553) การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินบดละเอียดเป็นวัสดุประสานสามารถลดปริมาณสารลดน้ำพิเศษในส่วนผสมคอนกรีตได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เถ้าถ่านหินไม่บดคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสานมีระยะเวลาในการก่อตัวที่นานกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน การเลือกใช้วัสดุประสานจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินโดยใช้ค่า W/B เท่ากับ 0.65-0.45 นำไปใช้ในงานคอนกรีตขนาดใหญ่อาจมีความเหมาะสม เนื่องจากไม่ต้องกังวลกับระยะเวลาในการก่อตัวที่นานของคอนกรีต นอกจากนี้งานคอนกรีตขนาดใหญ่ไม่ต้องการค่ากำลังอัดที่สูงๆ ในช่วงอายุต้นๆ อย่างไรก็ตามถ้าระยะเวลาในการก่อตัวที่นานของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินเป็นปัญหาต่อการนำไปใช้งาน ควรเลือกส่วนผสมคอนกรีต 0.25OFM และ 0.25GFM (ใช้ค่า W/B เท่ากับ 0.25) เนื่องจากมีระยะเวลาในการก่อตัวที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตธรรมดา และยังมีความร้อนของคอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานประมาณ 6 และ 4 เท่า ตามลำดับ ซึ่งถือว่าต่ำมาก

คอนกรีต 0.25GFM ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด เท่ากับ 375 และ 511 กก/ซม² ที่อายุ 28 และ 90 วัน ตามลำดับ โดยที่ส่วนผสมของคอนกรีตไม่มีปูนซีเมนต์ การใช้เถ้าถ่านหินบดละเอียดสามารถทำปฏิกิริยากับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ได้ดีกว่าเถ้าถ่านหินไม่บดจึงส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินบดละเอียดมีค่าสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินไม่บด คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินทั้งที่บดและไม่บดเหมือนกับคอนกรีตธรรมดาที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานคือ กำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการทดสอบ การใช้ค่า W/B ที่ต่ำส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าสูงขึ้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่ากำลังอัด และค่ากำลังดึงแบบผ่าซีกมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่ากำลังอัดที่สูงขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้คอนกรีตที่ใช้ค่า W/B เท่ากับ 0.53, 0.45 และ 0.25 มีค่าการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน มีข้อสังเกตว่าการใช้ค่า W/B เท่ากับ 0.53 และ 0.45 ให้ค่าการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา แม้ว่ากำลังอัดของคอนกรีตดังกล่าวมีค่าที่ต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน

แม้ว่าวัสดุประสานชนิดใหม่ที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินมีศักยภาพที่จะนำไปใช้ในงานคอนกรีตทั่วไป แต่องค์ความรู้และงานวิจัยยังอยู่ในขอบเขตที่จำกัดมาก ต้องอาศัยเวลาในการให้ความรู้และให้ผู้สนใจได้ทำความรู้จักให้มากกว่านี้จนมั่นใจที่จะนำวัสดุ

ประสานชนิดใหม่ไปใช้ได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย บทความนี้หวังว่าจะเป็นแรงผลักดันให้นักวิจัย และผู้ใช้คอนกรีตนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ไปใช้ในวงการอุตสาหกรรมการก่อสร้างมากขึ้น และการนำวัสดุที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมทั้ง 2 ชนิดไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เป็นการลดทั้งพลังงานและลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมของโลกได้อีกทางหนึ่งด้วย

(ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2553) ถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าเป็นวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) ได้ วัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุที่นิยมใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อผลิตคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดต้นทุนของคอนกรีตหรือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่น เพิ่มความทนทานของคอนกรีตต่อสภาพการกัดกร่อน ช่วยปรับคุณสมบัติของคอนกรีตสดเพื่อให้ทำงานได้ง่ายขึ้น เป็นต้น โดยทั่วไปการใช้วัสดุปอซโซลานสามารถลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตลงได้ เนื่องจากวัสดุปอซโซลานมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลดลง และส่วนใหญ่เป็นวัสดุพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ประเทศไทยมีวัสดุปอซโซลานหลายชนิด บางชนิดมีการวิจัยพัฒนาและส่งเสริมจนสามารถนำมาใช้ในงานคอนกรีต เช่น เถ้าถ่านหิน และมีเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมอีกหลายชนิดที่เป็นวัสดุปอซโซลานที่มีศักยภาพสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีตได้ เช่น เถ้าแกลบ เถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เถ้าปาล์ม น้ำมัน เถ้าขานอ้อย เป็นต้น

เหตุผลหลักที่นิยมใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมในงานคอนกรีตมากกว่าจะนำไปใช้ในงานประเภทอื่นเนื่องจาก

1. การใช้เถ้าเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในส่วนผสมคอนกรีตทำให้สามารถใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมได้เป็นจำนวนมาก เพราะในแต่ละปีมีการใช้ปูนซีเมนต์ในประเทศจำนวนมากคือประมาณ 30 ล้านตัน ซึ่งหากใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมแทนที่ปูนซีเมนต์เพียงร้อยละ 10 จะสามารถใช้เถ้าถึง 3 ล้านตันหรือร้อยละ 60 ของปริมาณที่ผลิตได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงและสามารถลดปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากเถ้าดังกล่าวออกไปได้อย่างมาก

2. เทคโนโลยีเกี่ยวกับการผลิตคอนกรีตเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อนมากและสามารถเรียนรู้ได้ง่าย โดยใช้บุคลากรที่ดำเนินงานในด้านที่เกี่ยวกับคอนกรีตอยู่แล้วมาอบรมเพิ่มเติมก็สามารถเข้าใจและนำเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมไปใช้ได้โดยถูกต้องและเหมาะสม

3. ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่มีประสิทธิภาพสูงมากในการยึดวัสดุอันตรายต่างๆ ที่อาจมีในเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมให้อยู่ในเนื้อคอนกรีตและไม่แพร่กระจายหรือแพร่กระจายออกมาจากคอนกรีตได้น้อยมาก ดังนั้นจึงมีความปลอดภัยสูงมากกว่าการปล่อยให้น้ำเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมไปทิ้งในพื้นที่เปิดโล่งหรือทิ้งโดยวิธีฝังกลบ

4. จากข้อมูลการศึกษาและงานวิจัยทั้งจากภายในและต่างประเทศล้วนให้ผลตรงกันว่า การใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมข้างต้นที่มีองค์ประกอบเคมีที่เหมาะสม มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ไม่มาก

จนเกินไป และเป็นเจ้าที่มีความละเอียดสูง พบว่าสามารถทำให้คอนกรีตมีคุณภาพและคุณสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้า ทั้งด้านกำลังและด้านความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนสูง

จากเหตุผลเบื้องต้นทั้ง 4 ข้อ เห็นได้ว่าการใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมในงานคอนกรีตเป็นวิธีการใช้ประโยชน์จากเถ้าได้ดีและเหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามอาจมีการใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดในงานประเภทอื่น เช่น นำไปทำปุ๋ย นำไปลดความเป็นกรดของดินเปรี้ยว (เถ้าส่วนใหญ่ก็มีสภาพเป็นด่าง) แต่การใช้ประโยชน์ยังมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับจำนวน 5 ล้านตันต่อปี ดังนั้นจึงขอฝากทุกๆ ท่านช่วยกันพิจารณาส่งเสริมและหาช่องทางจนสามารถนำเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมไปใช้ในงานคอนกรีตได้อย่างปลอดภัยและเหมาะสม

(ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และดร.วีรชาติ ตั้งจิรัชทร, 2553) การใช้เถ้าถ่านหินในงานคอนกรีตมีข้อดีหลายประการทั้งด้านการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตและการประหยัด ด้านการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น เพิ่มความสามารถในการเทได้ของคอนกรีต ลดผลกระทบจากการแยกตัวลดความร้อนที่เกิดขึ้น ลดอัตราการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต เพิ่มความทนทานของคอนกรีต และที่สำคัญเพิ่มกำลังอัดประลัยในระยะยาวของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตมีอายุมากขึ้น อย่างไรก็ตามการนำเถ้าถ่านหินมาใช้ในงานคอนกรีตต้องคำนึงถึงคุณภาพของเถ้าถ่านหินที่นำมาใช้ด้วย เพราะเถ้าถ่านหินแต่ละแหล่งอาจมีคุณภาพที่แตกต่างกันออกไปตามกระบวนการผลิต ได้แก่ ระบบการเผา อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา รวมไปถึงวิธีดักจับเถ้าถ่านหิน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของเถ้าถ่านหิน ดังนั้นการนำเถ้าถ่านหินมาใช้ในงานคอนกรีตควรมีการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของเถ้าถ่านหินก่อนนำมาใช้งานทุกครั้ง

การนำเถ้าถ่านหินมาใช้ประโยชน์ยังสามารถช่วยประหยัดการใช้พลังงานโดยรวมของประเทศ เนื่องจากการแทนที่เถ้าถ่านหินในปูนซีเมนต์บางส่วน ทำให้ลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลง ส่งผลให้การผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ลงด้วย การผลิตปูนซีเมนต์ต้องเผาวัตถุดิบที่อุณหภูมิสูงถึงประมาณ 1,400 ถึง 1,500 องศาเซลเซียส พลังงานที่ใช้ในการเผาอาจเป็นน้ำมันเตาหรือถ่านหินก็ได้ ประมาณว่าการเผาเม็ดปูน 1 ตันต้องใช้ถ่านหินประมาณ 220 กิโลกรัม หรือใช้น้ำมัน 125 ลิตร และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศโลกประมาณ 1 ตัน ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาเรือนกระจกต่อสภาวะแวดล้อมของโลก ดังนั้นการลดการผลิตปูนซีเมนต์ลงจึงทำให้ลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้ แต่ยังคงมีปริมาณวัสดุประสานที่จะนำไปใช้เท่าเดิม (นั่นคือบางส่วนของปูนซีเมนต์จะมีเถ้าถ่านหินปนอยู่) โดยผลที่ได้จากการลดการผลิตปูนซีเมนต์คือ ทำให้สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้ทุกๆ ตันที่ผลิตปูนซีเมนต์ จากการคำนวณอย่างคร่าวๆ (พ.ศ. 2546) พบว่าถ่านหินมีราคาประมาณ 480 ถึง 500 บาทต่อตัน (ขึ้นอยู่กับ BTU, British Thermal Unit หรือ คุณภาพของถ่านหิน) การเผาเม็ดปูนเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 1 ตัน ต้องใช้ถ่านหินประมาณ 220 กิโลกรัม หรือ 0.22 ตัน คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการเผาเม็ดปูนประมาณ 106 บาท หากใช้เถ้าถ่านหินจากแม่เมาะและแหล่งอื่นๆ แทนที่

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ก็สามารถประหยัดเงินที่ใช้ผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไป 106 บาทต่อตัน จากปริมาณทั้งหมดของเถ้าถ่านหินประมาณ 3.3 ล้านตันในแต่ละปี ในปี พ.ศ. 2546 มีการใช้เถ้าถ่านหินทั้งสิ้นประมาณ 1.5 ล้านตัน โดยเป็นเถ้าถ่านหินจากแม่เมาะ 1.4 ล้านตัน และจากแหล่งอื่นๆ อีกประมาณ 0.1 ล้านตัน ทำให้ประหยัดเงินไปเท่ากับ $106 \times 1.5 = 159$ ล้านบาทต่อปี

(ณัฐกร แนนทอง และวิเชียร ชาลี, 2555) การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ได้จากโรงงานโดยตรงผสมกับเถ้าถ่านหินและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เพื่อเป็นวัสดุประสานในคอนกรีต โดยใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์จากโรงงานโดยตรง ที่มีขนาดอนุภาคผ่านตะแกรงเบอร์ 8 และใช้ส่วนผสมแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าถ่านหินต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วน 60:30:10, 60:20:20, 60:10:30, 50:40:10, 50:30:20, 50:20:30, 40:50:10, 40:40:20, 40:30:30 และ 0:0:100 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ ประสานเท่ากับ 0.45 และควบคุมค่ายุบตัวของคอนกรีตสดให้อยู่ในช่วง 50 ถึง 100 มม. โดยใช้สารลดน้ำพิเศษ หล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม.

เพื่อทดสอบกำลังอัด คอนกรีตหลังบ่มในน้ำเป็นเวลา 7, 14, 28, และ 90 วัน ตลอดจนหาความหนาแน่นของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่า การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมคอนกรีตในปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดของ คอนกรีตที่อายุ 28 วันลดลง โดยคอนกรีตที่ผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 60 โดยน้ำหนักวัสดุประสานมี กำลังอัดต่ำสุด (ในแต่ละปริมาณปูนซีเมนต์) อย่างไรก็ตาม การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมในคอนกรีตมากขึ้นมีผลให้การพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตในช่วง 28 ถึง 90 วันสูงขึ้น และสูงกว่าคอนกรีตของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 การศึกษาครั้งนี้พบว่า คอนกรีตอัตราส่วน 40:30:30 มีกำลังอัดสูงสุดที่ อายุ 28 วัน เท่ากับ 224 กก./ชม.2 (ร้อยละ 51 ของคอนกรีตควบคุม) และพัฒนา กำลังอัดต่อเป็น 262 กก./ชม.2 ที่อายุ 90 วัน (ร้อยละ 52 ของคอนกรีตควบคุม) นอกจากนั้นคอนกรีตที่กากผสมแคลเซียมคาร์ไบด์ทุกส่วนผสมมีความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

(รัฐพล สมณา และวิเชียร ชาลี, 2559) การใช้สารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 โมลาร์ ในทุกกลุ่มการแทนที่ของเถ้าถ่านหินที่ใช้สารละลายให้กำลังอัดของมอร์ต้าร์สูงกว่ากลุ่มควบคุม และสูงสุดในกลุ่มที่ใช้สารละลาย NaOH และกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 0.50 โมลาร์

การใช้สารละลาย NaOH เข้มข้น 0.5 โมลาร์ ในกลุ่มที่ใช้เถ้าถ่านหินผสมในมอร์ต้าร์ร้อยละ 50 โดยวัสดุประสานให้ผลต่อการเพิ่มกำลังอัดของมอร์ต้าร์สูงที่สุดโดยทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นจากมอร์ต้าร์ควบคุมได้ถึงร้อยละ 46

การใช้เถ้าถ่านหินผสมในมอร์ต้าร์ในปริมาณที่สูงขึ้นมีผลต่อการลดกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ใช้สารละลาย NaOH เร่งปฏิกิริยาน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้สารละลาย NaOH

การศึกษาค้นคว้าพบว่าการใช้สารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ส่งผลให้ปฏิกิริยาปอซโซลานสมบูรณ์และให้กำลังอัดดีขึ้นโดยสังเกตจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าถ่านหินในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จากร้อยละ 40 เป็นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสานกลับส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นได้

จากงานวิจัยที่กล่าวมานี้ชี้ให้เห็นว่าการนำปฏิกิริยาระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าถ่านหินมาใช้ศึกษาคุณสมบัติการใช้เป็นวัสดุประสานนั้นมีความเป็นไปได้ซึ่งในปัจจุบันมีการนำวัสดุทั้ง 2 ประเภท มาพัฒนากันอย่างหลากหลาย แต่ในงานคอนกรีตค้นพบว่าการพัฒนาที่ยังคงมีน้อย โดยเฉพาะผลของความละเอียดของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต เพื่อจะ ได้เลือกใช้ความละเอียดที่เหมาะสม มีค่าใช้จ่ายในการบดตำแต่ให้คุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมและดี พอในการใช้ในงานคอนกรีตแต่ละประเภท ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าถ่านหินมาเป็นวัสดุประสานแทนปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีตโดยวิเคราะห์จากผลกระทบของต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้นต่างกัน 4 ค่า เป็นสาร เร่งปฏิกิริยา(Activator) โดยเตรียมส่วนผสมคอนกรีตจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ผสมกับเถ้าถ่านหินโดยใช้เถ้าถ่านหินแทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์ ร้อยละ 25, 35, 45, และ 55 โดยน้ำหนักเพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินไปใช้ในวงการอุตสาหกรรมการก่อสร้างและยังเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางอุตสาหกรรมไปใช้ให้เกิดประโยชน์อีกทั้งยังเป็นการลดพลังงานลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและช่วยลดปัญหาโลกร้อนของโลกได้อีกทางหนึ่งด้วย

บทที่3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในบทนี้กล่าวถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย วิธีการเตรียมตัวอย่างรวมทั้งการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่ผสมจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินโดยใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยา

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์

3.1.2 เถ้าถ่านหินแม่เมาะ

ใช้เถ้าถ่านหินจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า
อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ตามรูปที่

3.1.3 ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.1.4 ทรายแม่น้ำสะอาด

ใช้ทรายแม่น้ำสะอาด ตามรูปที่

3.1.5 หิน

ใช้หินย่อยสะอาด ขนาดใหญ่สุด 19 มิลลิเมตร
ตามรูป

3.1.6 น้ำ

ใช้น้ำประปาในการทดลอง



รูปที่ 3.1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์



รูปที่ 3.2 เถ้าถ่านหินแม่เมาะ



รูปที่ 3.3 ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 3.4 ทราายน้้ำสะอาด



รูปที่ 3.5 หิน

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.6 ชุดตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8 และเบอร์ 325



รูปที่ 3.7 เครื่องผสมคอนกรีต



รูปที่ 3.8 ชุดทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต



รูปที่ 3.9 เครื่องชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบกำลังคอนกรีต



รูปที่ 3.11 แบบหล่อคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 100x100x100 มม.³



รูปที่ 3.12 ตู้อบวัสดุ

3.3 วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาของงานวิจัยนี้แบ่งเป็นขั้นตอนการทดสอบต่างๆดังนี้

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์

นำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ไปตากแดดให้แห้งแล้วนำมาบดให้มีขนาดอนุภาคค้ำตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 22-25 โดยน้ำหนัก

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างเถ้าถ่านหิน

ใช้เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

3.3.3 การเตรียมตัวอย่างทราย

มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ทรายแม่น้ำร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 จากนั้นนำส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และหาความชื้นเพื่อนำมาปรับแก้ส่วนผสม

3.3.4 การเตรียมตัวอย่างหิน

ใช้หินขนาดใหญ่สุด 19 มิลลิเมตรและหาความชื้นเพื่อนำมาปรับแก้ส่วนผสม

3.3.5 ส่วนผสมคอนกรีต

การศึกษานี้มุ่งศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และใช้เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแทนที่บางส่วนในกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในอัตราส่วนร้อยละ 25, 35, 45, 55 และ 80 โดยน้ำหนัก โดยมีกลุ่มที่ไม่ได้ผสมสารเร่งปฏิกิริยา ดังตารางที่ 3.1 และกลุ่มที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.25, 0.50 และ 0.75 ดังตารางที่ 3.2 และหล่อตัวอย่างคอนกรีตขนาด $100 \times 100 \times 100$ มม.³ สำหรับทดสอบกำลังอัดที่อายุ 14, 28 และ 60 วัน

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมคอนกรีต กรณีไม่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่งปฏิกิริยา

Mix	Mix proportions (kg/m ³)					
	CCR	Fly ash	Fine Agg.	Coarse Agg.	water	w/b
CF25	315	105	700	920	210	0.5
CF35	273	147	695	920	210	0.5
CF45	231	189	690	920	210	0.5
CF55	189	231	685	920	210	0.5
CF80	84	336	685	920	210	0.5

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมคอนกรีต กรณีใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่งปฏิกิริยา

Mix	Mix proportions (kg/m ³)				
	CCR	Fly ash	Fine Agg.	Coarse Agg.	NaOH
CF25 - 0.25 M	315	105	700	920	2.1
CF25 - 0.50 M	315	105	700	920	4.2
CF25 - 0.75 M	315	105	700	920	6.3
CF35 - 0.25 M	273	147	695	920	2.1
CF35 - 0.50 M	273	147	695	920	4.2
CF35 - 0.75 M	273	147	695	920	6.3
CF45 - 0.25 M	231	189	690	920	2.1
CF45 - 0.50 M	231	189	690	920	4.2
CF45 - 0.75 M	231	189	690	920	6.3
CF55 - 0.25 M	189	231	685	920	2.1
CF55 - 0.50 M	189	231	685	920	4.2
CF75 - 0.75 M	189	231	685	920	6.3
CF80 - 0.25 M	84	336	685	920	2.1

CF80 - 0.50 M	84	336	685	920	4.2
CF80 - 0.75 M	84	336	685	920	6.3

หมายเหตุ

- C หมายถึง คอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสาน
- F หมายถึง เถ้าถ่านหินแม่เมาะ
- CF25 หมายถึง คอนกรีตที่แทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์ด้วยเถ้าถ่านหินแม่เมาะ ร้อยละ 25
- CF25 - 0.25M หมายถึง คอนกรีตที่แทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์ด้วยเถ้าถ่านหินแม่เมาะ ร้อยละ 25 โดยใช้สารละลายสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.25 โมลาร์

3.3.6 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

การหล่อตัวอย่างคอนกรีตในการทดสอบกำลังอัด ใช้ตัวอย่างคอนกรีตขนาด $100 \times 100 \times 100$ มม.³ โดยใช้เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแทนที่บางส่วนในกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 25, 35, 45, 55 และ 80 โดยน้ำหนัก มีขั้นตอนดังนี้

ผสมคอนกรีตตามส่วนผสมที่กำหนด โดยทำการผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเถ้าถ่านหิน และทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดการชะเอาซิลิกาและอลูมินาจากเถ้าถ่านหิน

1. ทำการผสมเถ้าถ่านหินกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์จากนั้นทำการผสมน้ำ, ทราย และหินจนกระทั่งเนื้อคอนกรีตเข้ากัน
2. ทำการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C143
3. บรรจุตัวอย่างคอนกรีตในแบบหล่อมาตรฐานทรงลูกบาศก์ขนาด $100 \times 100 \times 100$ มม.³
4. ใส่คอนกรีตลงในแบบหล่อจำนวน 3 ชั้น กระทุ้งชั้นละ 35 ครั้ง
5. แกะแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตหลังจากหล่อเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและนำไปบ่มในน้ำจนถึงอายุการทดสอบ

3.3.7 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตหลังบ่มในน้ำเป็นเวลา 14, 28 และ 60 วัน ใช้ตัวอย่างคอนกรีตขนาด $100 \times 100 \times 100$ มม.³ โดยนำตัวอย่างขึ้นจากบ่อบ่มแล้วทิ้งให้แห้งในอากาศประมาณ 2 ชั่วโมง ทำการวัดพื้นที่หน้าตัดและชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบกำลัง

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ ประกอบด้วยคุณสมบัติทางกายภาพของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ แก๊สอินทรีย์ สารเคมีเพิ่ม และมวลรวม และวิเคราะห์กำลังอัดของคอนกรีต

4.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชนิด ได้แก่ ลักษณะรูปร่างทั่วไปของอนุภาค สีของอนุภาค ความละเอียดของอนุภาค และการกระจายตัวของอนุภาคซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต ความหนาแน่น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาลักษณะทางกายภาพของวัสดุประสานเพื่อทำการวิเคราะห์และกำหนดแนวทางในการเลือกใช้วัสดุประสานต่อไป

4.1.1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่มาจากโรงงานโดยตรงมีความชื้นอยู่มาก ลักษณะเหมือนดินเหนียวสีเทาเข้มสามารถปั้นเป็นก้อนได้ เมื่อนำไปตากแดดให้แห้งได้เป็นสีเทาอ่อน ความละเอียดของกากแคลเซียมคาร์ไบด์สามารถพิจารณาได้จากปริมาณของอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 (ขนาดช่องเปิด 45 ไมครอน) ที่ทดสอบด้วยวิธี Wet Sieve Analysis ตามมาตรฐาน ASTM C 430 ซึ่งพบว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์มีปริมาณอนุภาคค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 22 ความละเอียดของกากแคลเซียมคาร์ไบด์แสดงให้เห็นถึงขนาดของอนุภาคที่เล็กลง ทำให้มีพื้นที่ผิวทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดีขึ้น จากการถ่ายภาพขยายขนาดของอนุภาคของวัสดุด้วยกล้อง SEM ดังรูป 4.1(ก) พบว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์จากโรงงานโดยตรงมีรูปร่างไม่แน่นอน เป็นเหลี่ยมมุมพื้นผิวขรุขระ ความถ่วงจำเพาะของกากแคลเซียมคาร์ไบด์เท่ากับ 2.32 ซึ่งใกล้เคียงกับความถ่วงจำเพาะของแก๊สอินทรีย์ สำหรับสมบัติทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ดังตาราง 4.1 พบว่ามี CaO สูงถึงร้อยละ 52.71 และมี LOI มีค่าสูงประมาณ 950 องศาเซลเซียสและแคลเซียมคาร์ไบด์ มีองค์ประกอบ Ca(OH)_2 เป็นส่วนใหญ่ทำให้สามารถสลายตัวเป็น CaO และไอน้ำระเหยออกไป

4.1.2. เถ้าถ่านหิน

การศึกษานี้ใช้เถ้าถ่านหินที่ได้โดยตรงจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.23 มีอนุภาคค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 32 และอยู่ในเกณฑ์ ASTM C 618 ที่กำหนดไว้ไม่เกิน ร้อยละ 34 โดยน้ำหนัก จากภาพขยายอนุภาคของเถ้าถ่านหิน (รูปที่ 4.1(ข)) พบว่า เถ้าถ่านหินมี ลักษณะกลมและมีขนาดคละกัน ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของเถ้าถ่านหินจากแม่เมาะที่ทำให้สามารถ เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี ตลอดจนขนาดคละที่คละกันสามารถอุดช่องว่างในคอนกรีตมีความตึบน้ำมากขึ้นด้วย สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหินแม่เมาะ มีผลรวมของสารประกอบหลัก SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 72.51 และมีค่า LOI ร้อยละ 0.07 ซึ่งจัดเป็นเถ้าถ่านหิน Class F ตามมาตรฐาน ASTM C 618 โดยองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน แสดงดังตารางที่ 4.1

4.1.3 มวลรวม

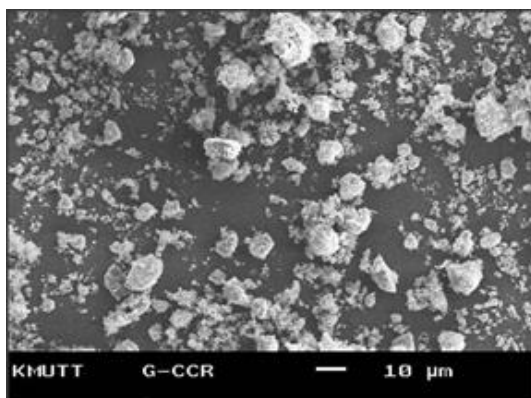
ในการศึกษานี้ใช้ทรายแม่น้ำเป็นมวลรวมละเอียด โดยมีค่ามอดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.72 และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.63 ส่วนมวลรวมหยาบใช้หินขนาดใหญ่สุดเท่ากับ 19 มม. และมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.75 ร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดเท่ากับ 0.5 และ 1 ตามลำดับ

4.1.4 ต่างเร่งปฏิกิริยา

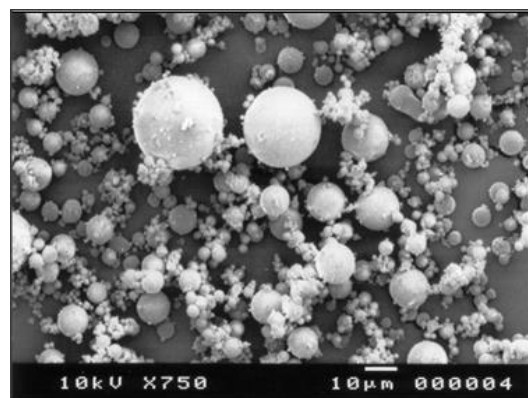
ต่างเร่งปฏิกิริยาใช้เป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.25, 0.50 และ 0.75 โมลาร์ ค่า pH เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรด-เบส ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของต่างที่คำนวณ จาก $\text{pH} = 14 - (-\log(\text{OH}^-))$ และมีความหนาแน่นเท่ากับ 2.1ก./ซม³.

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	กากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CR)	เถ้าถ่านหิน (F)
Silicon Dioxide, SiO_2	3.51	36.02
Aluminum Oxide, Al_2O_3	2.42	20.58
Iron Oxide, Fe_2O_3	0.31	15.91
Calcium Oxide, CaO	52.71	18.75
Magnesium Oxide, MgO	0.52	-
Sodium Oxide, Na_2O	0	0.69
Potassium Oxide, K_2O	0	1.69
Sulfur Trioxide, SO_3	0.22	2.24
Loss On Ignition, LOI	40.1	0.07



(ก) กากแคลเซียมคาร์ไบด์



(ข) เถ้าถ่านหิน

รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายกำลังสูงขยายอนุภาคของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหิน

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

Sample	Average Compressive Strength (ksc)		
	14วัน	28วัน	60วัน
CF25	12	13	25
CF35	13	14	33
CF45	19	19	44
CF55	28	36	75
CF80	42	79	95
CF25 - 0.25 M	15	18	26
CF25 - 0.50 M	19	27	31
CF25 - 0.75 M	17	21	29
CF35 - 0.25 M	21	27	37
CF35 - 0.50 M	27	31	39
CF35 - 0.75 M	31	39	46
CF45 - 0.25 M	22	33	49
CF45 - 0.50 M	28	38	51
CF45 - 0.75 M	32	45	49
CF55 - 0.25 M	28	45	59
CF55 - 0.50 M	38	62	72
CF55 - 0.75 M	42	59	76
CF80 - 0.25 M	45	48	90
CF80 - 0.50 M	54	56	81
CF80 - 0.75 M	54	67	70

4.2 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินมีค่าอยู่ในช่วง 13 ถึง 79 กก/ซม² ที่อายุ 28 วัน และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 25 ถึง 95 กก/ซม² ที่อายุ 60 วัน โดยคอนกรีตดังกล่าวไม่มีปูนซีเมนต์ในส่วนผสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า W/B และความละเอียดของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหิน กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินไม่พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม โดยคอนกรีต CF25, CF35, CF45, CF55, CF80 มีกำลังอัดเท่ากับ 12, 13, 19, 28 และ 42 กก/ซม² ที่อายุ 14 วัน และเพิ่มเป็น 13, 14, 19, 36 และ 79 กก/ซม² ที่อายุ 28 วัน และเมื่อมีอายุ 60 วัน 25, 33, 44, 75 และ 95 กก/ซม² ตามลำดับ ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสานมีการพัฒนากำลังอัดอย่างรวดเร็วในช่วงหลังอายุ 28 วันขึ้นไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ (ชรินทร์ นมรักษ์, 2545 และ ศราวุธ เริงฤทธิ์, 2544) ที่พบว่าการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าถ่านหินมีการพัฒนากำลังอัดอย่างรวดเร็วในช่วง 60 วัน

สำหรับการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินแตกต่างกัน พบว่าคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 80 จะมีกำลังอัดมากที่สุด ตามมาด้วย ร้อยละ 55, 45, 35, 25 ตามลำดับ เช่น คอนกรีต CF25, CF35, CF45, CF55, CF80 มีกำลังอัดเท่ากับ 13, 14, 19, 36 และ 79 ตามลำดับที่อายุ 28 วัน ผลการทดสอบนี้ชี้ให้เห็นว่าการแทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์ด้วยเถ้าถ่านหินปริมาณที่มากขึ้นจะช่วยให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ (ณัฐกร แนนทอง, 2551) ซึ่งกล่าวไว้ว่าการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมคอนกรีตในปริมาณสูงขึ้น ทำให้กำลังอัดคอนกรีตในระยะต้นลดลง แต่มีผลให้ร้อยละกำลังอัดที่อายุ 90 วัน

เมื่อพิจารณาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินและใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการเร่งปฏิกิริยา และพิจารณาที่อายุการบ่มช่วงต้น พบว่า กลุ่มใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะมีกำลังอัดสูงกว่า เช่น CF55 และ CF55-0.25 ที่อายุ 28 วัน มีกำลังอัดเท่ากับ 36 และ 45 กก/ซม² ตามลำดับ และที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.50 โมลาร์ส่วนใหญ่ จะมีกำลังอัดสูงกว่า แต่ CF80 ที่กำลังอายุ 60 วัน การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการเร่งปฏิกิริยานั้น ทำให้กำลังอัดลดลง เช่น CF80, CF80 - 0.25 M, CF80 - 0.50 M, CF80 - 0.75 M มีกำลังอัดเท่ากับ

95, 90, 81 และ 70 กก/ชม² ที่อายุ 60 วัน การลดลงของกำลังอัดคอนกรีต เมื่อใช้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) อาจเหลือจากการชะเอา ซิลิกาและอลูมินาจากเถาถ่านหิน ซึ่งลักษณะโดยทั่วไปของโซเดียมไฮดรอกไซด์ NaOH เมื่อเจอ ความชื้น จะทำให้มีความชื้นมากขึ้น และส่งผลให้แรงยึดเกาะภายในซีเมนต์เพสต์ต่ำลง ส่งผลให้กำลัง ของคอนกรีตลดลง (Sodium Hydroxide-NaOH, 2011)

4.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังของคอนกรีต

จากรูปที่ 4.2 ก แสดงผลความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อกำลังอัด ของคอนกรีต ที่อายุบ่ม 14 วัน พบว่าของเถาถ่านหินร้อยละ 80 สามารถให้กำลังอัดมากกว่าในการ แทนที่ของเถาถ่านหินร้อยละ 25, 35, 45 และ 55 และที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ไม่เกิน 0.75 โมลาร์ และที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เท่ากับ 0.5 โมลาร์ ในทุกกลุ่มการแทนที่ของเถาถ่านหินมีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นโดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มากขึ้นในทุกการแทนที่ของเถาถ่านหินจะเห็นได้ชัดว่ากำลังอัดของ คอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

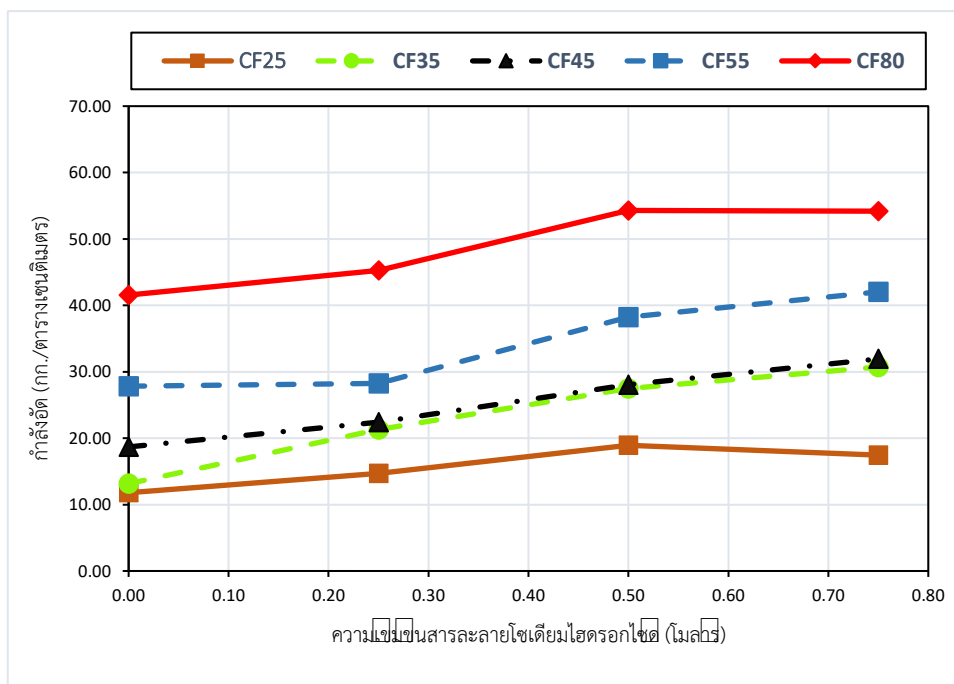
จากรูปที่ 4.2 ข แสดงผลความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อกำลังอัด ของคอนกรีต ที่อายุบ่ม 28 วัน พบว่าในทุกความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ตั้งแต่ 0,0.25,0.5,และ 0.75 โมลาร์ กลุ่มของการแทนที่ร้อยละ 80 สามารถให้กำลังอัดมากกว่าในการแทนที่ ของเถาถ่านหินร้อยละ 25, 35, 45 และ 55 และที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.50 โมลาร์ ของกลุ่มการแทนที่ของเถาถ่านหินร้อยละ 55 มีกำลังสูงกว่ากลุ่มของการแทนที่ร้อยละ 80 และส่วนใหญ่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ไม่เกิน 0.75 โมลาร์ และที่ความ เข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เท่ากับ 0.5 โมลาร์ในทุกกลุ่มการแทนที่ของเถาถ่านหิน มีค่า กำลังอัดเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มากขึ้น ในทุกการแทนที่ ของเถาถ่านหิน จะเห็นได้ชัดว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เหมือนกับที่อายุบ่ม 14 วัน

จากรูปที่ 4.2 ค แสดงผลความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อกำลังอัด ของคอนกรีต ที่อายุบ่ม 60 วัน พบว่าในทุกความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ตั้งแต่ 0,0.25,0.5,และ 0.75 โมลาร์ กลุ่มของการแทนที่ร้อยละ 80 สามารถให้กำลังอัดมากกว่าในการแทนที่ ของเถาถ่านหินร้อยละ 25, 35, 45 และ 55 และที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ไม่ เกิน 0.50 โมลาร์ จากนั้นลดลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เท่ากับ 0.75 โมลาร์

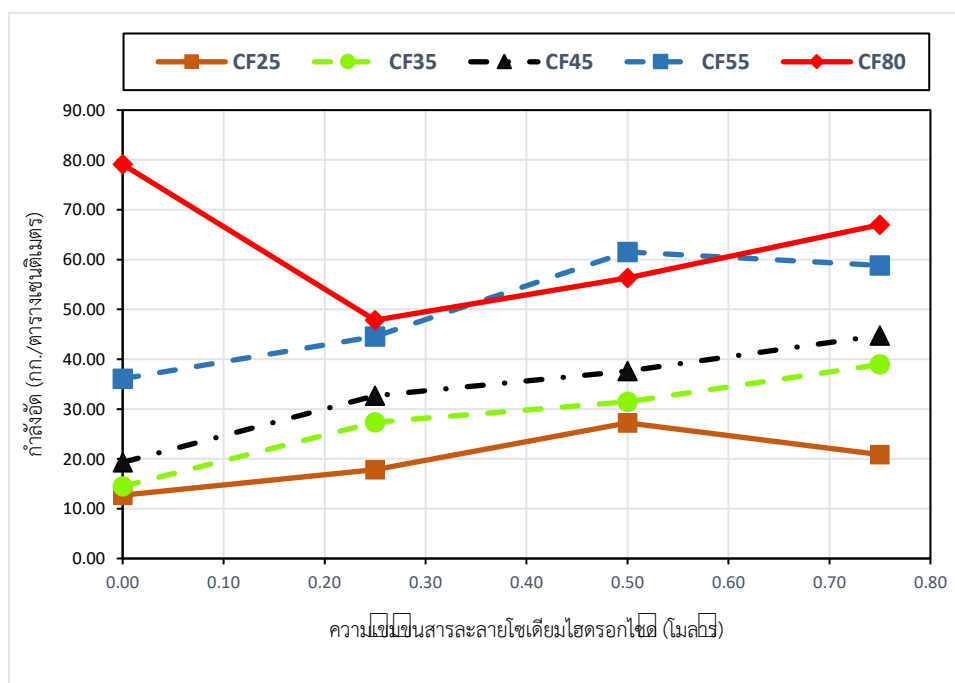
และที่กลุ่มการแทนที่ของเถาเถานหินร้อยละ 55 ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เท่ากับ 0.75 โมลาร์ ให้กำลังอัดมากกว่ากลุ่มอื่นๆ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มากขึ้นในทุกการแทนที่ของเถาเถานหิน จะเห็นได้ชัดว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เหมือนกับที่อายุบ่ม 14 และ 28 วัน ยกเว้นกลุ่มของการแทนที่ร้อยละ 80 มีแนวโน้มลดลง เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาภาพรวมของผลแสดงผลความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อกำลังอัดของคอนกรีต จึงสามารถสรุปได้ว่า คอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่ด้วยเถาเถานหิน ร้อยละ 25 35 45 และ 55 ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เร่งปฏิกิริยา จะมีแนวโน้มการพัฒนากำลังอัดในช่วงแรกเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ใส่สารเร่งปฏิกิริยา โดยส่วนใหญ่เมื่อใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.75 โมลาร์จะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่ดีที่สุด ยกเว้นยกเว้นกลุ่มของการแทนที่ร้อยละ 25 ที่เมื่อใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.50 โมลาร์จะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่ดีที่สุด โดยจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ (รัฐพล สมณา และวิเชียร ชาลี, 2559) ที่สรุปไว้ว่าการใช้สารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 โมลาร์ ในทุกกลุ่มการแทนที่ของเถาเถานหินที่ใช้สารละลาย ให้กำลังอัดของมอร์ตาร์สูงกว่ากลุ่มควบคุมและสูงสุดในกลุ่มที่ใช้สารละลาย NaOH และกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 0.50 โมลาร์

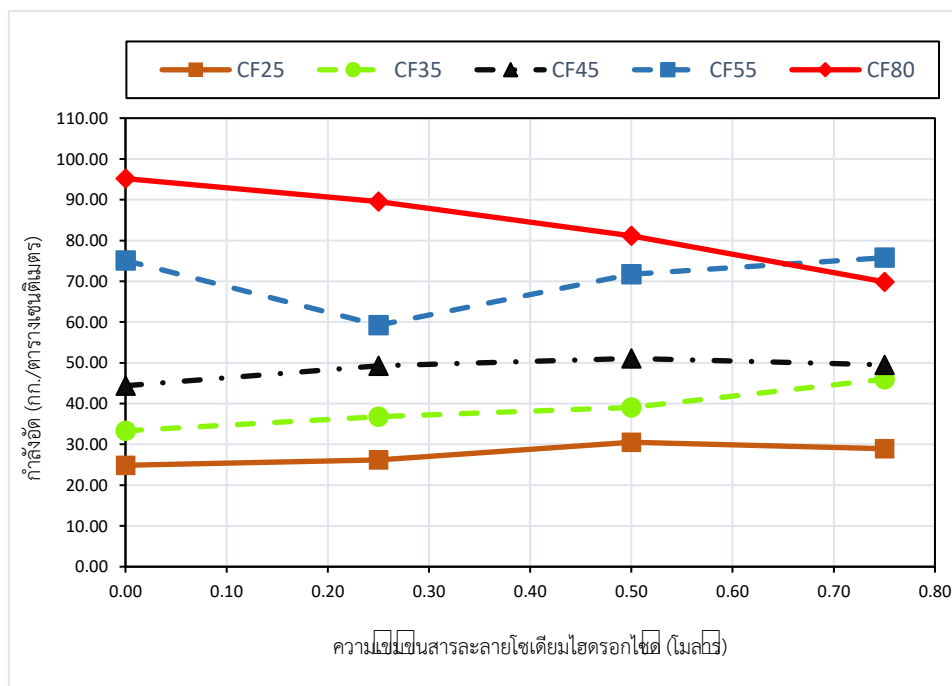
ส่วนกลุ่มการแทนที่ร้อยละ 80 ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เร่งปฏิกิริยา โดยช่วง 14 วัน การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเช่นเดียวกับกลุ่มของการแทนที่ร้อยละ 25, 35, 45 และ 55 แต่หลังจาก 14 วัน การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เร่งปฏิกิริยาจะมีแนวโน้มช้ากว่าและมีกำลังอัดต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ใส่สารเร่งปฏิกิริยาจึงสรุปได้ว่า สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะเอาซิลิกาและอลูมินาจากเถาเถานหินที่แทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์ในปริมาณมาก ทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ลดลงในขณะที่ความต้องการแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อใช้ในปฏิกิริยาปอซโซลานิกกลับยิ่งสูงเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ปฏิกิริยาปอซโซลานิกเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง



ก.อายุบ่ม 14 วัน



ข.อายุบ่ม 28 วัน



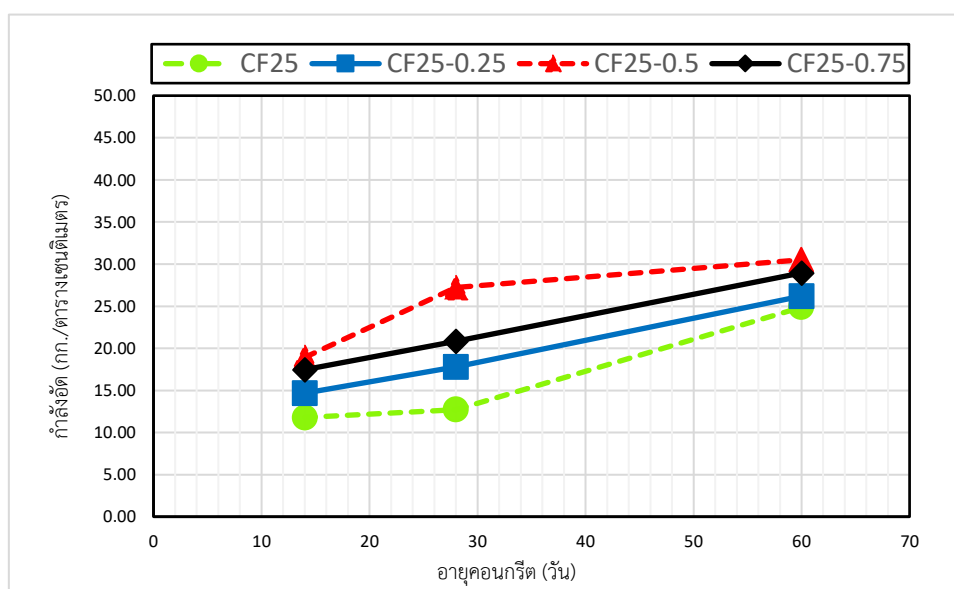
ค.อายุบ่ม 60 วัน

รูปที่ 4.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังของคอนกรีต

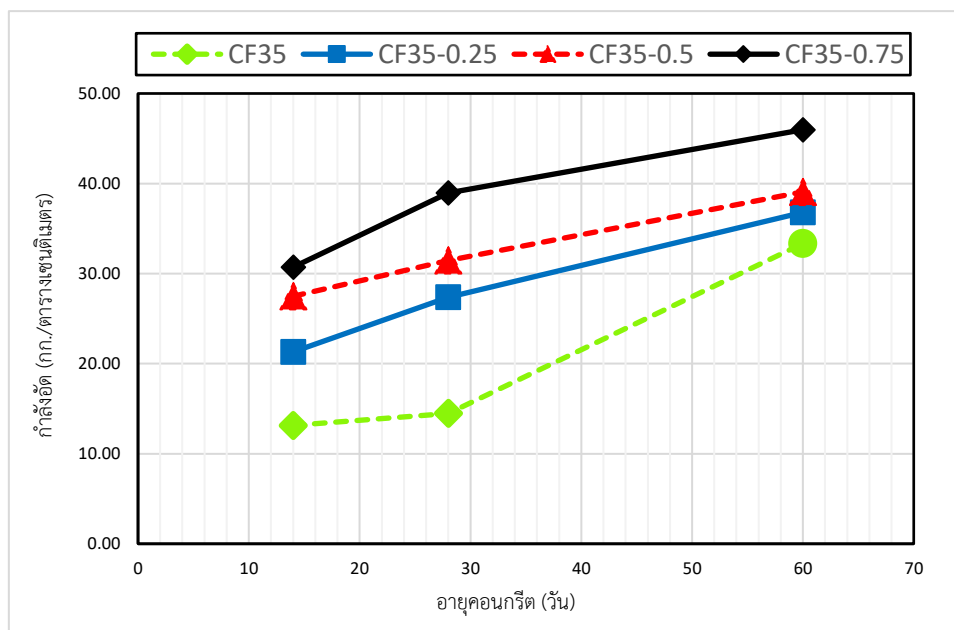
4.4 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุบ่มของคอนกรีต

ผลการทดสอบจากกราฟแสดงผลกำลังอัดคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมแก้ถ่านหินกับอายุบ่มในน้ำ โดยแทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์ด้วยถ่านหินร้อยละ 25, 35, 45, 55 และ 80 พบว่า เมื่ออายุของคอนกรีตที่บ่มในน้ำเพิ่มขึ้นกำลังอัดจะทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้น เช่น คอนกรีต CF55 ที่อายุ 14 วัน, 28 วัน และ 60 วัน มีกำลังอัดเท่ากับ 28, 36, และ 75 กก./ซม² ตามลำดับ และจากกราฟจะเห็นว่าแนวโน้มของกำลังอัดที่ 14-28 วัน CF25, CF35, CF45 และ CF55 ที่ไม่ได้ใส่สารละลายเร่งปฏิกิริยากำลังคอนกรีตจะพัฒนาช้ากว่า กลุ่มที่มีสารละลายเร่งปฏิกิริยา 0.25 โมลาร์, 0.5 โมลาร์ และ 0.75 โมลาร์ ตามลำดับ พอหลังจาก 28 วันคอนกรีตที่ไม่ได้ใส่สารเร่งปฏิกิริยาจะมีการพัฒนาได้เร็วขึ้น ส่วนกลุ่มที่ใส่สารเร่งปฏิกิริยา กำลังอัดจะพัฒนาได้ช้าลงกว่าช่วง ก่อน 28 วัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ (รัฐพล สมณา และ วิเชียร ชาลี, 2559) ที่กล่าวไว้ว่าการพัฒนากำลังอัดในช่วง 28 วันแรกมีแนวโน้มสูงกว่าช่วง 28 วันถึง 60 วัน

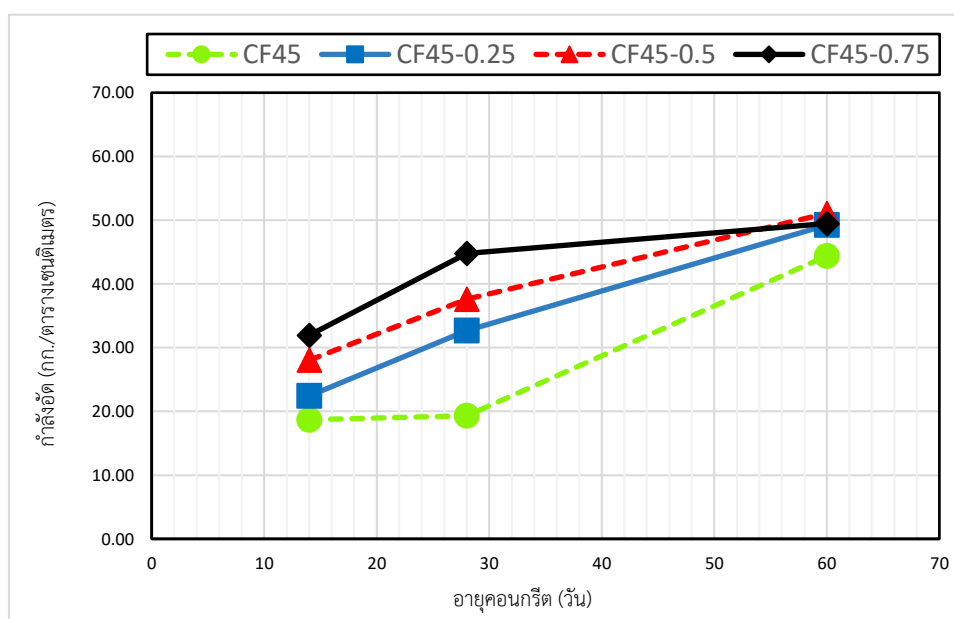
และกราฟแสดงผลกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 80 กับอายุบ่มในน้ำ พบว่า ที่อายุ 14 วัน กำลังของคอนกรีตมีแนวโน้มคล้ายกับ 4 ตัวอย่างแรก แต่เมื่อคอนกรีตบ่มน้ำจนได้อายุ 28 วัน กำลังของคอนกรีตกลุ่มที่ไม่ใส่สารเร่งปฏิกิริยามีแนวโน้มสูงขึ้นมากที่สุดต่างจากกราฟของตัวอย่าง 4 ตัวอย่างข้างต้นซึ่งมีการพัฒนากำลังอัดช้ากว่า สรุปได้ว่าเกิดจาก สารละลายที่ชะล้างซิลิกาและอลูมินา ออกมามากเกินไปและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยาไม่หมดทำให้กำลังตกลง สังเกตได้ชัดเจนจากกำลังที่ 60 วัน ที่กำลังอัดของคอนกรีตที่ใส่สารเร่งปฏิกิริยา 0.75 โมลาร์ มีการพัฒนากำลังในช่วง 28-60 วันช้าที่สุด ตามมาด้วย 0.5, 0.25 และกลุ่มที่ไม่ใส่สารเร่งปฏิกิริยา



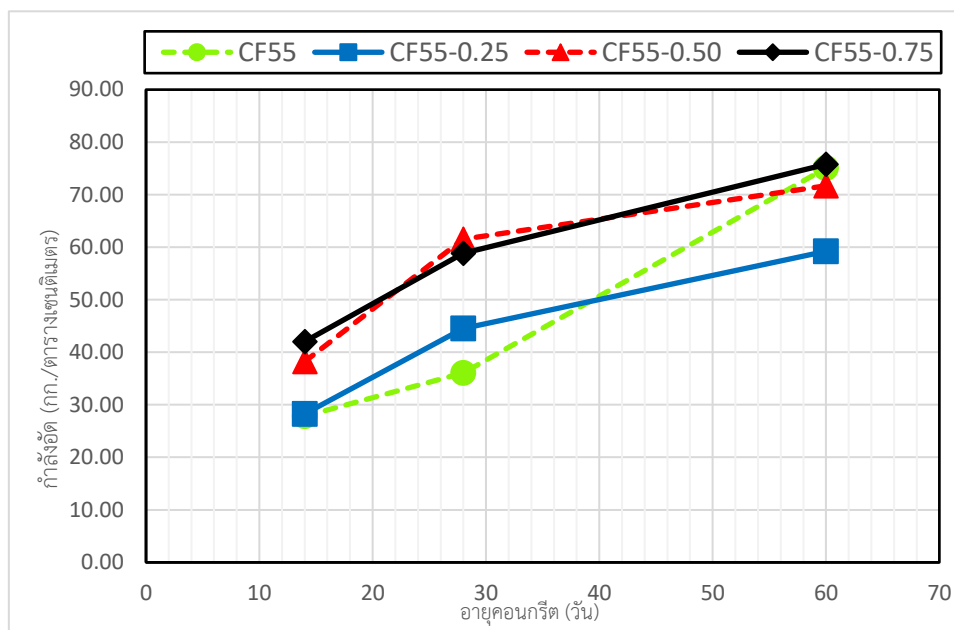
ก. คอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 25



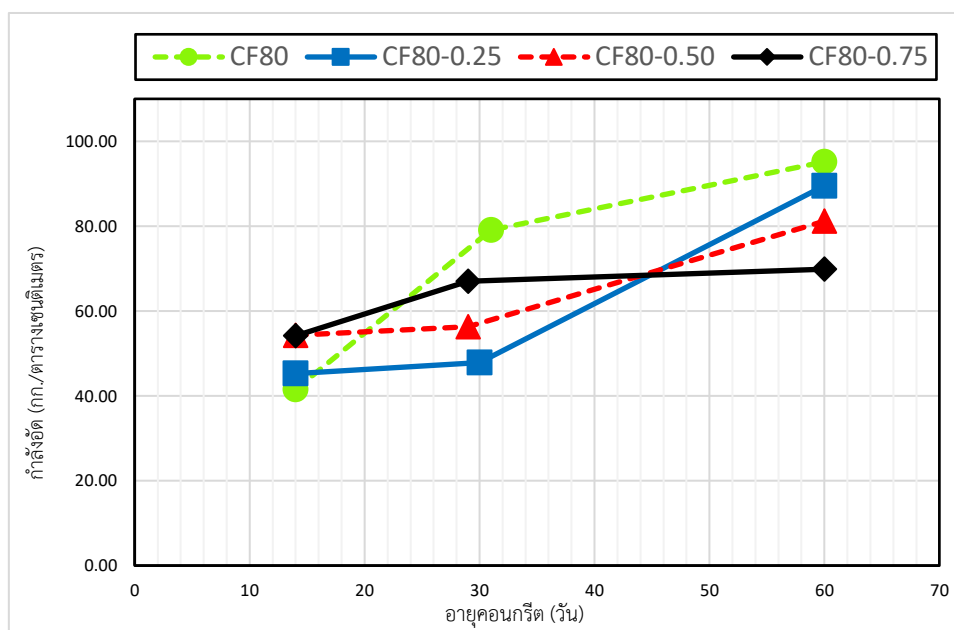
ข. คอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 35



ค. คอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 45



ง. คอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 55

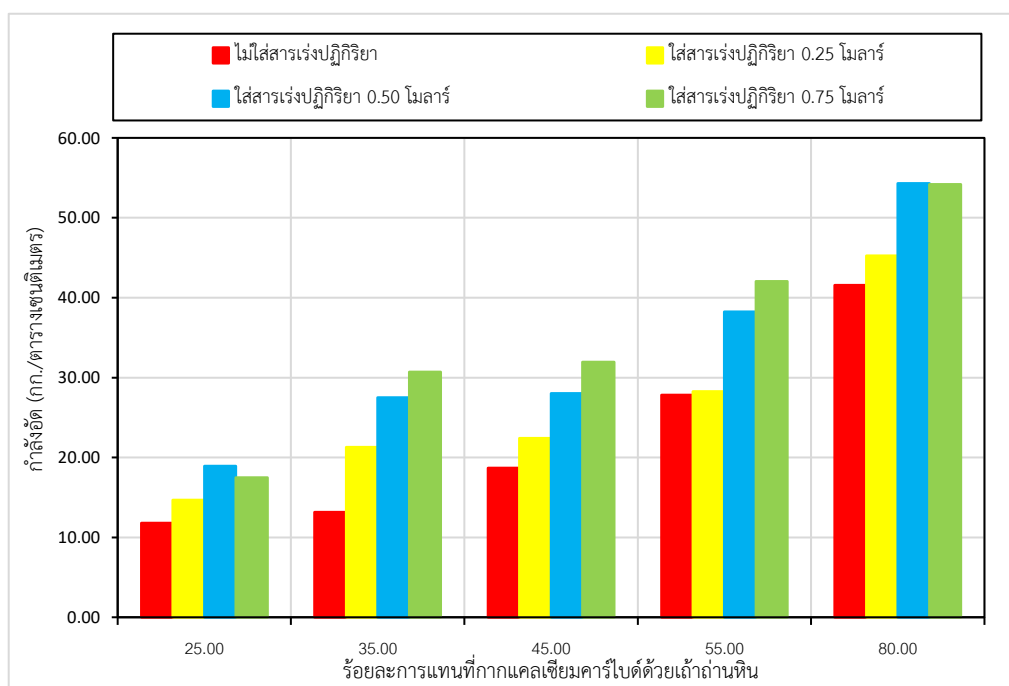


จ. คอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่เถ้าถ่านหินร้อยละ 80

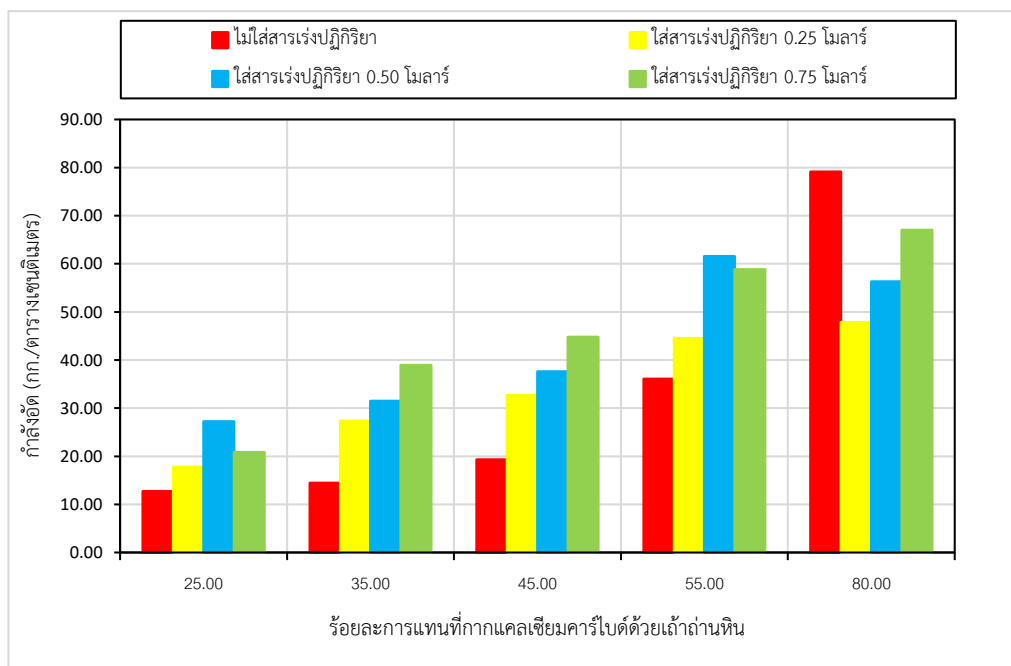
รูปที่ 4.3 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุบ่มของคอนกรีต

4.5 ผลของปริมาณเถ้าถ่านหินที่มีต่อกำลั้งอัด

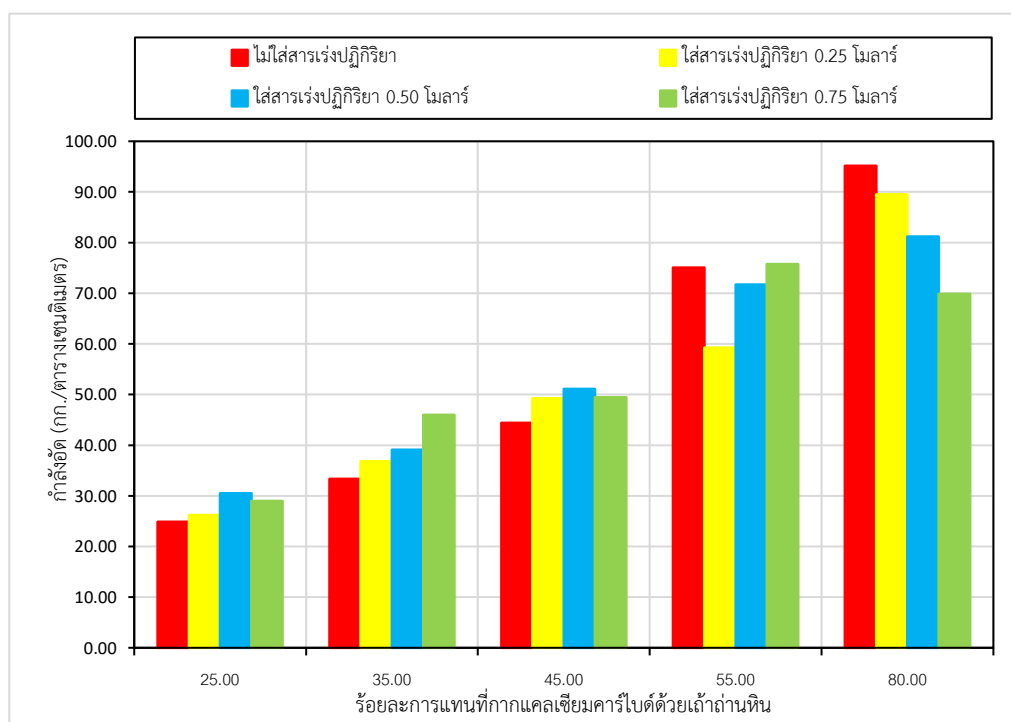
ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และอัตราส่วนกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินแม่เมาะที่มีต่อกำลั้งอัด ที่อายุบ่ม 14, 28 และ 60 ดังรูปที่ 4.5 ก, 4.5 ข , 4.5 ค ตามลำดับ พบว่า การแทนที่เถ้าถ่านหินในปริมาณที่มากขึ้น มีผลต่อการลดกำลั้งอัดของคอนกรีต โดยเห็นผลชัดเจนในคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมต่างเร่งปฏิกิริยาเช่น คอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหิน 25,35,45,55 และ 80 ที่ไม่ได้ใช้สารละลาย NaOH เร่งปฏิกิริยาปอซโซลานให้กำลั้งอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 13, 14, 19, 36 และ 79 กก./ซม². ตามลำดับ ผลดังกล่าวอาจเกิดจากปริมาณเถ้าถ่านหินที่สูงขึ้น ทำให้ลดปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ลงซึ่งมีผลทำให้กำลั้งอัดที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำลดลงด้วยการแทนที่ของเถ้าถ่านหินในกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในปริมาณที่สูงขึ้น จึงมีผลทำให้ผลของปฏิกิริยาปอซโซลานที่ส่งผลต่อการเพิ่มกำลั้งอัดของคอนกรีตน้อยกว่าผลของปฏิกิริยาไฮเดรชัน การใช้เถ้าถ่านหินผสมในคอนกรีตในปริมาณที่สูงขึ้น มีผลต่อการลดกำลั้งอัดคอนกรีตที่ใช้ต่างเร่งปฏิกิริยาน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ต่างเร่ง โดยจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ (ปิติกานต์ กร้ามาตร และคณะ, 2550) ได้นำส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าถ่านหินมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนปูนซีเมนต์ พบว่าอัตราส่วนของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 30 ต่อเถ้าถ่านหินร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ให้กำลั้งอัดของมอร์ต้าที่อายุ 90 วันสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 209 กก/ซม²



ก. อายุ 14 วัน



ข. อายุ 28 วัน



ค. อายุ 60 วัน

รูปที่ 4.4 ผลของร้อยละการแทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์ด้วยถ้ำถ่านหินเทียบกับกำลังอัด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากผลการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- 5.1.1) คอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหิน เมื่อมีอัตราส่วนของเถ้าถ่านหินมากกำลังอัดของคอนกรีตจะเพิ่มสูงขึ้น
- 5.1.2) เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่งปฏิกิริยา จะช่วยให้คอนกรีตพัฒนากำลังอัดในช่วง 28 วันแรก มีแนวโน้มสูงขึ้น และจะมีแนวโน้มลดลงหลังจาก 28 วัน
- 5.1.3) เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่งปฏิกิริยากับคอนกรีต CF25, CF35, CF45, และ CF55 ที่ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่า 0.75 โมลาร์ จะส่งผลให้แนวโน้มกำลังอัดของคอนกรีตดีที่สุด
- 5.1.4) กลุ่มการแทนที่ร้อยละ 80 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เร่งปฏิกิริยาจะมีแนวโน้มช้ากว่าและมีกำลังอัดต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ใส่สารเร่งปฏิกิริยา
- 5.1.5) การศึกษาครั้งนี้ คอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 80 ที่ไม่ใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่งปฏิกิริยา (CF80) มีกำลังอัดสูงที่สุด ที่อายุ 28 วันมีกำลังอัดเท่ากับ 75 กก./ซม.² และไม่สามารถพัฒนาให้ใช้เป็นคอนกรีตโครงสร้างได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1) ควรศึกษาการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่งปฏิกิริยากับคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่บดละเอียดแทนที่ด้วยเถ้าถ่านหิน เพื่อให้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ทำปฏิกิริยาได้ดียิ่งขึ้น จะช่วยให้กำลังของคอนกรีตสูงขึ้นอย่างมาก
- 5.2.2) ควรศึกษาการแทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์ด้วยเถ้าชนิดอื่นๆ เพื่อวัสดุและปริมาณการแทนที่เหมาะสมพอที่จะใช้เป็นคอนกรีตโครงสร้างได้
- 5.2.3) ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารผสมเพิ่ม เพื่อใช้เป็นสารเร่งในการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมวัสดุป่อโซลันเนื่องจากคอนกรีตดังกล่าวมีการก่อตัวช้า และกำลังอัดในช่วงต้นค่อนข้างต่ำ
- 5.2.4) ศึกษาเพิ่มเติมกับการเอาไปใช้งานจริงและสอดคล้องกับแนวปฏิบัติของการทำงาน เช่น การทำอิฐบล็อก เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- กนกเนตร ชื่นนาคุ่ม วริศรา โกระวิโยธิน และ วิเชียร ชาลี, ผลของความเข้มข้นสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ออัตราการไหลของน้ำและกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตพูนจากเถ้าถ่านหิน, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, หน้า 56-65, พ.ศ.2557.
- ชรินทร์ นมรักษ์, วันชัย สะตะ และ ชัยจาตุรพิทักษ์กุล. ผลกระทบของปริมาณวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 8, 23-25 ตุลาคม 2545. โรงแรมโซฟิเทลราชาออคิต, จ.ขอนแก่น, หน้า MAT-178 ถึง MAT-183, พ.ศ.2545.
- ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ วีรชาติ ตั้งจิรภัทร, การใช้ประโยชน์จากเถ้าและวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัสดุในงานคอนกรีต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, พ.ศ.2554.
- ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ วีรชาติ ตั้ง จิรภัทร การใช้วัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มจร., 123 หน้า, พ.ศ.2553
- ณัฐกร แนนทอง และ วิเชียร ชาลี, การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ไม่ผ่านการบดในงานคอนกรีต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยบูรพา, พ.ศ.2559.
- บุญมาก รุ่งเรือง, การศึกษาส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้ากลบเพื่อใช้เป็นวัสดุประสาน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 21-36, พ.ศ.2541.
- ปริญญา จินดาประเสริฐ, เถ้าลอยในงานคอนกรีต, ครั้งที่ 1, สมาคมคอนกรีตไทย
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2553. ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และ คอนกรีต, พิมพ์ครั้งที่ 6, สมาคมคอนกรีตไทย, พ.ศ.2547.
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และ อาภา สธนเสาวภาคย์, การพัฒนาคุณภาพของเถ้าหนักโดยผสมร่วมกับเถ้ากลบ, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, พ.ศ.2550.
- ปิติศานต์ กร้ามาตร, สุภิชาติ มาตย์ภูธร, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ วิมล เกาพิสดาร, การศึกษากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าถ่านหิน, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. 7(2), 65-75, พ.ศ.2539.

รัฐพล สมนา และ วิเชียร ชาลี, ผลของต่างเร่งปฏิกิริยาต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์จากเถ้าถ่านหิน, การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 11, หน้า 73-80, พ.ศ.2559.

ศราวุธ เรืองฤทธิ์, ผลกระทบของแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าแกลบเป็นวัสดุประสาน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 152 หน้า, พ.ศ.2544.

สุทธินันท์ แอเดียว ญัฐพงศ์ มกระธัช และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, คุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุประสานโดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นสารเร่งกำลัง, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15, 12 – 14 พฤษภาคม 2553 ณ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, บทความ MAT011, พ.ศ.2553.

ACI 232.2R-96, Use of Fly Ash in Concrete. ACI Manual of Concrete Practice
ASTM C 143. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete”, In
2001 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, Philadelphia, ASTM, pp. 89-91.
ASTM C 618-00, 2001, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined
Natural Pozzolan for Use in Concrete, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02,
310-313.

Bahadure B.M., Naik N.S., 2013. Effect of Alkaline Activator on Workability and
Compressive Strength of Cement Concrete with RHA, International Journal of
Computational Engineering Research 3 (5) : pp. 505-514

BS. Testing concrete. Method for determination of compressive strength of concrete
cubes, BS 1881-116. British Standards Institution 1983.

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 63, 2014, pp. 303–310

ภาคผนวก ก.

ตารางข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก1 วันหล่อคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์

No Sample	14 วัน		28 วัน		60 วัน	
CF25	13/1/2018	27/1/2018	13/1/2018	10/2/2018	13/1/2018	14/3/2018
CF35	13/1/2018	27/1/2018	13/1/2018	10/2/2018	13/1/2018	14/3/2018
CF45	13/1/2018	27/1/2018	13/1/2018	10/2/2018	13/1/2018	14/3/2018
CF55	14/1/2018	28/1/2018	14/1/2018	11/2/2018	14/1/2018	15/3/2018
CF80	7/2/2018	21/2/2018	7/2/2018	7/3/2018	7/2/2018	8/4/2018
CF25-0.25M	19/1/2018	2/2/2018	19/1/2018	16/2/2018	19/1/2018	20/3/2018
CF25-0.50M	19/1/2018	2/2/2018	19/1/2018	16/2/2018	19/1/2018	20/3/2018
CF25-0.75M	20/1/2018	27/1/2018	20/1/2018	17/2/2018	20/1/2018	21/3/2018
CF35-0.25M	21/1/2018	3/2/2018	21/1/2018	18/2/2018	21/1/2018	22/3/2018
CF35-0.50M	24/1/2018	27/1/2018	24/1/2018	18/2/2018	24/1/2018	22/3/2018
CF35-0.75M	25/1/2018	27/1/2018	25/1/2018	22/2/2018	25/1/2018	26/3/2018
CF45-0.25M	26/1/2018	27/1/2018	26/1/2018	23/2/2018	26/1/2018	27/3/2018
CF45-0.50M	26/1/2018	27/1/2018	26/1/2018	23/2/2018	26/1/2018	27/3/2018
CF45-0.75M	27/1/2018	27/1/2018	27/1/2018	24/2/2018	24/1/2018	28/3/2018
CF55-0.25M	27/1/2018	27/1/2018	27/1/2018	24/2/2018	27/1/2018	28/3/2018
CF55-0.50M	28/1/2018	27/1/2018	28/1/2018	25/2/2018	28/1/2018	28/3/2018
CF55-0.75M	28/1/2018	27/1/2018	28/1/2018	25/2/2018	28/1/2018	29/3/2018
CF80-0.25M	8/2/2018	22/2/2018	8/2/2018	8/3/2018	8/2/2018	9/4/2018
CF80-0.50M	9/2/2018	23/2/2018	9/2/2018	9/3/2018	9/2/2018	10/4/2018
CF80-0.75M	9/2/2018	23/2/2018	9/2/2018	9/3/2018	9/3/2018	10/4/2018

ตารางที่ ก2 เวลาผสมคอนกรีต ความชื้นหิน,ทราย และค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหิน
แม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์

No Sample	เวลา	W.หิน (%)	W.ทราย (%)	slump(cm)
CF25	14.00น	1.12	10.71	5.00
CF35	16.00น	1.89	6.93	5.00
CF45	18.00น	1.12	9.64	5.00
CF55	15.30น	1.12	9.26	5.00
CF80	14.00น	6.78	1	4.00
CF25 - 0.25 M	14.00น.	5.26	0.75	4.00
CF25 - 0.50 M	16.00น.	6.06	0.75	3.00
CF25 - 0.75 M	14.00น.	8.19	0.75	3.00
CF35 - 0.25 M	14.00น.	6.67	0.75	2.00
CF35 - 0.50 M	14.00น.	10.2	1.4	2.00
CF35 - 0.75 M	16.00น.	9.57	1	1.50
CF45 - 0.25 M	14.00น.	4.54	0.95	2.00
CF45 - 0.50 M	16.00น.	4.08	0.95	1.50
CF45 - 0.75 M	15.00น.	4.05	3.59	2.00
CF55 - 0.25 M	17.00น.	4.5	4.5	2.00
CF55 - 0.50 M	14.00น.	9.09	0.91	2.00
CF55 - 0.75 M	16.00น.	6.67	1.85	3.50
CF80 - 0.25 M	13.00น.	5.26	0.75	4.00
CF80 - 0.50 M	16.00น.	8.19	1	3.00
CF80 - 0.75 M	18.00น.	4.08	0.95	1.50

ภาคผนวก ข.

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ข1 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 25 ที่อายุการทดสอบ 14 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	10.60			10.0	10.0	100.00	11.57	11.79
		11.50		10.0	10.0	100.00		
			12.60	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	14.50			10.0	10.0	100.00	14.40	14.68
		15.20		10.0	10.0	100.00		
			13.50	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	17.80			10.0	10.0	100.00	18.57	18.93
		18.08		10.0	10.0	100.00		
			19.10	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	16.70			10.0	10.0	100.00	17.13	17.47
		17.80		10.0	10.0	100.00		
			16.90	10.0	10.0	100.00		

ตารางที่ ข2 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 35
ที่อายุการทดสอบ 14 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	12.70			10.0	10.0	100.00	12.90	13.15
		12.50		10.0	10.0	100.00		
			13.50	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	21.30			10.0	10.0	100.00	20.90	21.30
		20.50		10.0	10.0	100.00		
			20.90	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	27.10			10.0	10.0	100.00	26.97	27.49
		27.10		10.0	10.0	100.00		
			26.70	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	32.00			10.0	10.0	100.00	30.13	30.72
		28.00		10.0	10.0	100.00		
			30.40	10.0	10.0	100.00		

ตารางที่ ข3 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 45
ที่อายุการทดสอบ 14 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	18.50			10.0	10.0	100.00	18.33	18.69
		19.20		10.0	10.0	100.00		
			17.30	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	21.00			10.0	10.0	100.00	22.00	22.43
		22.40		10.0	5.0	100.00		
			22.60	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	28.50			10.0	10.0	100.00	27.50	28.03
		26.10		10.0	10.0	100.00		
			27.90	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	31.90			10.0	10.0	100.00	31.33	31.94
		31.80		10.0	10.0	100.00		
			30.30	10.0	10.0	100.00		

ตารางที่ ข4 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 55
ที่อายุการทดสอบ 14 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	27.50			10.0	10.0	100.00	27.30	27.83
		29.50		10.0	10.0	100.00		
			24.90	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	27.10			10.0	10.0	100.00	27.73	28.27
		28.90		10.0	5.0	100.00		
			27.20	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	40.40			10.0	10.0	100.00	37.50	38.23
		32.70		10.0	10.0	100.00		
			39.40	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	41.90			10.0	10.0	100.00	41.23	42.03
		42.50		10.0	10.0	100.00		
			39.30	10.0	10.0	100.00		

ตารางที่ ข5 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 80
ที่อายุการทดสอบ 14 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	38.50			10.0	10.0	100.00	40.77	41.56
		39.60		10.0	10.0	100.00		
			44.20	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	45.10			10.0	10.0	100.00	44.40	45.26
		43.90		10.0	5.0	100.00		
			44.20	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	55.20			10.0	10.0	100.00	53.27	54.30
		51.10		10.0	10.0	100.00		
			53.50	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	59.90			10.0	10.0	100.00	53.13	54.16
		49.60		10.0	10.0	100.00		
			49.90	10.0	10.0	100.00		

ตารางที่ ข1 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 25 ที่อายุการทดสอบ 28 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	12.20			10.0	10.0	100.00	12.47	12.71
		11.60		10.0	10.0	100.00		
			13.60	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	16.10			10.0	10.0	100.00	17.47	17.80
		17.40		10.0	10.0	100.00		
			18.90	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	24.90			10.0	10.0	100.00	26.70	27.22
		30.70		10.0	10.0	100.00		
			24.50	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	18.30			10.0	10.0	100.00	20.43	20.83
		19.40		10.0	10.0	100.00		
			23.60	10.0	10.0	100.00		

ตารางที่ ข2 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 35
ที่อายุการทดสอบ 28 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	15.00			10.0	10.0	100.00	14.20	14.48
		12.40		10.0	10.0	100.00		
			15.20	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	27.60			10.0	10.0	100.00	26.83	27.35
		26.10		10.0	10.0	100.00		
			26.80	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	30.90			10.0	10.0	100.00	30.87	31.46
		29.90		10.0	10.0	100.00		
			31.82	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	39.10			10.0	10.0	100.00	38.20	38.94
		35.20		10.0	10.0	100.00		
			40.30	10.0	10.0	100.00		

ตารางที่ ข3 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 45
ที่อายุการทดสอบ 28 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	16.60			10.0	10.0	100.00	18.93	19.30
		19.40		10.0	10.0	100.00		
			20.80	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	31.40			10.0	10.0	100.00	32.07	32.69
		32.10		10.0	5.0	100.00		
			32.70	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	39.90			10.0	10.0	100.00	36.90	37.61
		33.90		10.0	10.0	100.00		
			36.90	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	44.20			10.0	10.0	100.00	43.93	44.78
		46.00		10.0	10.0	100.00		
			41.60	10.0	10.0	100.00		

ตารางที่ ข4 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 55
ที่อายุการทดสอบ 28 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	38.30			10.0	10.0	100.00	35.40	36.09
		35.90		10.0	10.0	100.00		
			32.00	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	45.10			10.0	10.0	100.00	43.70	44.55
		42.10		10.0	5.0	100.00		
			43.90	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	62.30			10.0	10.0	100.00	60.37	61.54
		58.60		10.0	10.0	100.00		
			60.20	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	55.90			10.0	10.0	100.00	57.73	58.85
		57.30		10.0	10.0	100.00		
			60.00	10.0	10.0	100.00		

ตารางที่ ข5 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 80 ที่อายุการทดสอบ 28 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	74.80			10.0	10.0	100.00	77.60	79.10
		79.50		10.0	10.0	100.00		
			78.50	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	46.30			10.0	10.0	100.00	46.93	47.84
		47.30		10.0	5.0	100.00		
			47.20	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	54.60			10.0	10.0	100.00	55.23	56.30
		54.50		10.0	10.0	100.00		
			56.60	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	66.90			10.0	10.0	100.00	65.73	67.01
		66.60		10.0	10.0	100.00		
			63.70	10.0	10.0	100.00		

ตารางที่ ข1 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 25 ที่อายุการทดสอบ 60 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	25.70			10.0	10.0	100.00	24.40	24.87
		25.20		10.0	10.0	100.00		
			22.30	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	26.00			10.0	10.0	100.00	25.70	26.20
		25.00		10.0	10.0	100.00		
			26.10	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	31.40			10.0	10.0	100.00	29.93	30.51
		29.30		10.0	10.0	100.00		
			29.10	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	30.00			10.0	10.0	100.00	28.40	28.95
		28.60		10.0	10.0	100.00		
			26.60	10.0	10.0	100.00		

ตารางที่ ข2 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 35 ที่อายุการทดสอบ 60 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	33.50			10.0	10.0	100.00	32.70	33.33
		33.90		10.0	10.0	100.00		
			30.70	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	38.20			10.0	10.0	100.00	36.10	36.80
		34.90		10.0	10.0	100.00		
			35.20	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	38.10			10.0	10.0	100.00	38.33	39.08
		39.20		10.0	10.0	100.00		
			37.70	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	48.30			10.0	10.0	100.00	45.10	45.97
		42.90		10.0	10.0	100.00		
			44.10	10.0	10.0	100.00		

ตารางที่ ข3 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 45 ที่อายุการทดสอบ 60 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	46.90			10.0	10.0	100.00	43.53	44.38
		42.50		10.0	10.0	100.00		
			41.20	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	48.30			10.0	10.0	100.00	48.30	49.24
		46.40		10.0	5.0	100.00		
			50.20	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	46.80			10.0	10.0	100.00	50.10	51.07
		50.40		10.0	10.0	100.00		
			43.10	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	44.60			10.0	10.0	100.00	48.53	49.24
		37.70		10.0	10.0	100.00		
			63.30	10.0	10.0	100.00		

ตารางที่ ข4 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 55
ที่อายุการทดสอบ 60 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	71.40			10.0	10.0	100.00	73.63	75.06
		76.50		10.0	10.0	100.00		
			73.00	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	59.70			10.0	10.0	100.00	58.10	59.23
		51.90		10.0	5.0	100.00		
			62.30	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	76.20			10.0	10.0	100.00	70.33	71.70
		67.20		10.0	10.0	100.00		
			67.60	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	74.70			10.0	10.0	100.00	74.33	75.77
		71.60		10.0	10.0	100.00		
			76.70	10.0	10.0	100.00		

ตารางที่ ข5 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมจากเถ้าถ่านหินแม่เมาะและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 80 ที่อายุการทดสอบ 60 วัน

No Sample	1 (KN)	2 (KN)	3 (KN)	Section(cm)		Area(cm ²)	Average (KN)	Strength (ksc)
Control	96.20			10.0	10.0	100.00	93.37	95.17
		98.00		10.0	10.0	100.00		
			85.90	10.0	10.0	100.00		
0.25 M	83.90			10.0	10.0	100.00	87.83	89.53
		87.80		10.0	5.0	100.00		
			91.80	10.0	10.0	100.00		
0.50 M	77.50			10.0	10.0	100.00	79.63	81.18
		79.20		10.0	10.0	100.00		
			82.20	10.0	10.0	100.00		
0.75 M	75.30			10.0	10.0	100.00	68.53	69.86
		65.30		10.0	10.0	100.00		
			65.00	10.0	10.0	100.00		

ภาคผนวก ค.

รูปการทดลอง



รูปที่ ค1 เตรียมแบบหล่อคอนกรีต



รูปที่ ค2 ถ้าวานหินแม่เมาะ



รูปที่ ค3 การผสมเถ้าถ่านหินกับสารเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ ค4 กากแคลเซียมคาร์ไบด์



รูปที่ ค5 โซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ ค6 การผสมคอนกรีต



รูปที่ ค7 การทดสอบค่าการยุบตัว



รูปที่ ค8 การเข้าแบบหล่อคอนกรีต



รูปที่ ค9 ตัวอย่างคอนกรีต



รูปที่ ค10 การทดสอบกำลังอัดและการแตกของคอนกรีต

ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-นามสกุล นายจักรพันธ์ มุสิกอุดมสิน
 วันเดือนปีเกิด 22 เมษายน 2539
 สถานที่เกิด โรงพยาบาลด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี
 ที่อยู่ปัจจุบัน 162/1 ม.11 ตำบลท่าตะเกียบ อำเภوتاตะเกียบ จังหวัดฉะเชิงเทรา 24160
 ประวัติการศึกษา -ระดับประถมศึกษา
 โรงเรียน จุฬาทิพย์ ฉะเชิงเทรา
 -ระดับมัธยมศึกษาศึกษาตอนต้น
 โรงเรียน พนมสารคาม“พนมอดุลวิทยา” ฉะเชิงเทรา
 -ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
 โรงเรียน พนมสารคาม“พนมอดุลวิทยา” ฉะเชิงเทรา
 ปัจจุบันศึกษาอยู่ ชั้นปีที่ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อ-นามสกุล นายกิตติศักดิ์ คะอะนันท์
 วันเดือนปีเกิด 16 กุมภาพันธ์ 2539
 สถานที่เกิด โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว
 ที่อยู่ปัจจุบัน 15 ม.4 ตำบลเกาะขนุน อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา 24120
 ประวัติการศึกษา -ระดับประถมศึกษา
 โรงเรียนวัดท่าเกวียน (สัณยาศ) ฉะเชิงเทรา
 -ระดับมัธยมศึกษาศึกษาตอนต้น
 โรงเรียนพนมสารคาม“พนมอดุลวิทยา” ฉะเชิงเทรา
 -ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
 โรงเรียน พนมสารคาม“พนมอดุลวิทยา” ฉะเชิงเทรา
 ปัจจุบันศึกษาอยู่ ชั้นปีที่ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา

ผลของต่างเร่งปฏิกิริยาต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้วัสดุประสานจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหิน

EFFECT OF ALKALINE ACTIVATOR ON COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE USING A CEMENTITIOUS MATERIAL CONTAINING CALCIUM CARBIDE RESIDUE AND FLY ASH

นายจักรพันธ์ มุสิกอุตมสิน

นายกิตติศักดิ์ คะอะนันท์

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เพียง ชิวเกตุ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้ศึกษา กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์เถ้าถ่านหิน โดยใช้ด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยา โดยใช้เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแทนที่บางส่วนในกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 25, 35, 45, 55 และ 80 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.25, 0.50, 0.75 และกลุ่มที่ไม่ได้ผสมสารเร่งปฏิกิริยาหล่อคอนกรีตขนาด 100x100x100 มม.3 ทำการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตหลังบ่มตัวอย่างในน้ำที่อายุ 14, 28 และ 60 วัน

ผลการศึกษาพบว่า คอนกรีตที่ผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 80 โดยน้ำหนักวัสดุประสานที่ไม่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เร่งปฏิกิริยามีกำลังอัดสูงที่สุด การใช้เถ้าถ่านหินปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้กำลังอัดสูงขึ้น และการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นในช่วง 0.75 โมลาร์ จะส่งผลดีให้กับคอนกรีตที่ผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในอัตราส่วนร้อยละ 25, 35, 45 และ 55 โดยจะทำให้การพัฒนา กำลังอัดในช่วงต้นสูงขึ้นอย่างชัดเจน

คำสำคัญ : กากแคลเซียมคาร์ไบด์ กำลังอัด โซเดียมไฮดรอกไซด์ เถ้าถ่านหิน ผลของต่างเร่ง

ABSTRACT: This research aimed the compressive strength of concrete using a cementitious material containing calcium carbide residue and fly ash using alkaline activator. The original fly ash from Mae Moh power plant was used as a partial replacement of calcium carbide residue at 25, 35, 45, 55 and 80% by weight of the binder. The NaOH concentrations of 0.00, 0.25, 0.50, and 0.75 were used as an alkaline activator. Concrete cube specimens of 100x100x100 mm³ were cast for compressive strength test at the ages of 14, 28 and 60 days.

The results revealed that the compressive strength of concrete containing fly ash replacement of calcium carbide residue at 80% using NaOH concentrations of 0.00. However, using fly ash are increasing cause increases the compressive strength and using NaOH concentrations of 0.75 molar result good effect on the concrete using a cementitious material containing calcium carbide residue and fly ash replacement of calcium carbide residue at 25, 35, 45 and 55% by obviously result early in the increase of the compressive strength development of calcium carbide residue concrete.

Keywords: alkaline activator/calcium carbide residue/compressive strength/fly ash/NaOH

1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการหาวัสดุทดแทนใหม่ แทนที่วัสดุเดิมที่มีอยู่ กำลังเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน อันเนื่องมาจากทรัพยากรที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่เพียงพอต่อการใช้งาน และข้อจำกัดทางด้านวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในปัจจุบัน จึงจำเป็นต้องหาวัตถุดิบทดแทนที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับวัสดุเดิม และก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมลดลง ในการก่อสร้างในปัจจุบันหรือแม้ในอดีตที่ผ่านมา คอนกรีตถือว่าเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมมากเป็นอันดับหนึ่ง อันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและสามารถควบคุมคุณสมบัติได้ง่าย อีกทั้งยังมีราคาที่ไม่แพงจนเกินไป แต่ถึงอย่างนั้นกระบวนการผลิตซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ก็ยังส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอยู่ดีในการกระบวนการผลิตซีเมนต์นั้นทำให้เกิดก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมากซึ่งส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน ในด้านเทคโนโลยีคอนกรีต ที่ผ่านมามีคิดหาวัสดุที่สามารถนำมาทดแทนการใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางอุตสาหกรรมมาปรับปรุงและทดแทน ซึ่งทำให้เกิดคุณสมบัติบางอย่างที่ทำให้คอนกรีตดีขึ้น และยังช่วยกำจัดกากข้อเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวในอีกทางหนึ่ง เถ้าถ่านหิน (fly ash) เป็นวัสดุปอซโซลานที่เป็นที่นิยมมากในปัจจุบันในเรื่องคุณสมบัติที่ทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การใช้เถ้าถ่านหินที่มีคุณภาพดีแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในปริมาณที่เหมาะสม จะให้ผลดีทั้งคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางด้านความคงทน การใช้เถ้าเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในส่วนผสมคอนกรีตทำให้สามารถใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมได้เป็นจำนวนมาก เพราะในแต่ละปีมีการใช้ปูนซีเมนต์ในประเทศจำนวนมากคือประมาณ 30 ล้านตัน ซึ่งหากใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมแทนที่ปูนซีเมนต์เพียงร้อยละ 10 จะสามารถใช้เถ้าถึง 3 ล้านตันหรือร้อยละ 60 ของปริมาณที่ผลิตได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงและสามารถลดปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากเถ้าดังกล่าวออกไปได้อย่างมาก จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า กากแคลเซียมคาร์ไบด์ เป็นกากจากโรงงานอุตสาหกรรมอีกประเภทหนึ่งที่ประกอบไปด้วยต่าง แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นหลัก และสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกกับวัสดุปอซโซลานได้ โดยกาก

แคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำในกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีน ซึ่งก๊าซอะเซทิลีนเป็นก๊าซที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมเชื่อมโลหะและอุตสาหกรรมการตัดโลหะ โดยปกติกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ปล่อยทิ้งจากโรงงานอยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ความต้องการใช้ก๊าซอะเซทิลีนของภาคอุตสาหกรรมจากอดีตจนถึงปัจจุบันมีแนวโน้มสูงขึ้นตามสภาวะการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ จึงส่งผลให้มีปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์เหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ปริมาณการทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์ของโรงงานแห่งหนึ่งทางภาคกลางของประเทศไทยมีปริมาณสูงถึง 1,000 ตันต่อเดือน หรือประมาณ 12,000 ตันต่อปี ซึ่งไม่สามารถนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ไปใช้ประโยชน์ได้นอกจากนำไปทิ้ง จึงก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่อพื้นที่บริเวณใกล้เคียง นอกจากนี้ความแตกต่างที่สูงมากของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ทำให้ดินในบริเวณพื้นที่ทิ้งมีความเป็นด่างสูงจึงไม่สามารถใช้เป็นพื้นที่ทำการเกษตรได้ ปัจจุบันมีการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์มาใช้ให้เกิดประโยชน์น้อยมาก องค์ความรู้พื้นฐานในการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ไปใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่อยู่ในงานวิจัยเท่านั้น ดังนั้นหากสามารถนำส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินมาใช้แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในงานคอนกรีตได้ จะเป็นแรงผลักดันให้ผู้บริโภคและนักวิจัยมีความสนใจที่จะนำวัสดุประสานชนิดใหม่ไปใช้ในงานคอนกรีตเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลงได้

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลความเป็นไปได้ในการผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ กับเถ้าถ่านหิน ที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต ซึ่งจะได้ข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินในงานคอนกรีตอย่างเหมาะสมทางด้านกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เพื่อนำไปเป็นข้อมูลทางเลือกในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ดีโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ให้มากขึ้น ตลอดจนมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์และการใช้งานได้ในเชิงวิศวกรรมต่อไป

2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีการทดสอบ

2.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

2.1.1 ชุดตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8 และเบอร์ 325

2.1.2 เครื่องผสมคอนกรีต

2.1.3 ชุดทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต

2.1.4 เครื่องทดสอบกำลังคอนกรีต

2.1.5 แบบหล่อคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 100x100x100 มม.³

2.1.6 ตู้อบวัสดุ

2.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มุ่งศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และใช้เถาถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแทนที่บางส่วนในกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 25, 35, 45, 55 และ 80 โดยน้ำหนัก โดยมีกลุ่มที่ไม่ได้ผสมสารเร่งปฏิกิริยา ดังตารางที่ 1 และกลุ่มที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.25, 0.50 และ 0.75 ดังตาราง 2 และหล่อตัวอย่างคอนกรีตขนาด 100x100x100 มม.³ สำหรับทดสอบกำลังอัดที่อายุ 14, 28 และ 60 วัน

2.3 การเตรียมตัวอย่างวัสดุ

2.3.1 การเตรียมตัวอย่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์

นำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ไปตากแดดให้แห้งแล้วนำมาบดให้มีขนาดอนุภาคข้างตะแกรง มาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 22-25 โดยน้ำหนัก

2.3.2 การเตรียมตัวอย่างเถาถ่านหิน

ใช้เถาถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

2.2.3 การเตรียมตัวอย่างทราย

มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้านี้ได้ใช้ทรายแม่น้ำร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 จากนั้นนำส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และหาความชื้นเพื่อนำมาปรับแก้ส่วนผสม

2.2.4 การเตรียมตัวอย่างหิน

ใช้หินขนาดใหญ่สุด 19 มิลลิเมตรและหาความชื้นเพื่อนำมาปรับแก้ส่วนผสม

2.4 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

การหล่อตัวอย่างคอนกรีตในการทดสอบกำลังอัด ใช้ตัวอย่างคอนกรีตขนาด 100 x 100 x 100 มม.³ โดยใช้เถาถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแทนที่บางส่วนในกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ในอัตราส่วนร้อยละ 30, 40, 50 และ 60 โดยน้ำหนัก มีขั้นตอนดังนี้

ผสมคอนกรีตตามส่วนผสมที่กำหนด โดยทำการผสม

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับเถาถ่านหิน และทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดการชะเอาซิลิกาและอลูมินาจากเถาถ่านหิน

1. ทำการผสมเถาถ่านหินกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ จากนั้นทำการผสม น้ำ, ทราย และหินจนกระทั่งเนื้อคอนกรีตเข้ากัน
2. ทำการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต ตามมาตรฐาน

ASTM C143

3. บรรจุตัวอย่างคอนกรีตในแบบหล่อมาตรฐานทรงลูกบาศก์ขนาด 100 x 100 x 100 มม.³

4. ใส่คอนกรีตลงในแบบหล่อจำนวน 3 ชั้น กระทุ้งชั้นละ 35 ครั้ง

5. แกะแบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตหลังจากหล่อเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและนำไปบ่มในน้ำจนถึงอายุการทดสอบ

2.5 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตหลังบ่มในน้ำเป็นเวลา 14, 28 และ 60 วัน ใช้ตัวอย่างคอนกรีตขนาด 100 x 100 x 100 มม.³ โดยนำตัวอย่างขึ้นจากบ่อบ่มแล้วทิ้งให้แห้งในอากาศประมาณ 2 ชั่วโมง ทำการวัดพื้นที่หน้าตัดและชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบกำลัง

3. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

3.1 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถาถ่านหินมีค่าอยู่ในช่วง 13 ถึง 79 กก/ซม² ที่อายุ 28 วัน และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 25 ถึง 95 กก/ซม² ที่อายุ 60 วัน โดยคอนกรีตดังกล่าวไม่มีปูนซีเมนต์ในส่วนผสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า W/B และความละเอียดของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถาถ่านหิน กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถาถ่านหินไม่พบมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม โดยคอนกรีต CF25, CF35, CF45, CF55 และ CF80 มีกำลังอัดเท่ากับ 12, 13, 19, 28 และ 42 กก/ซม² ที่อายุ 14 วัน และเพิ่มเป็น 13, 14, 19, 36 และ 79 กก/ซม² ที่อายุ 28 วัน และเมื่อมีอายุ 60 วัน 25, 33, 44, 75 และ 95 กก/ซม² ตามลำดับ ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถาถ่านหินเป็นวัสดุประสานมีการ

พัฒนากำลั้งอัดอย่างรวดเร็วในช่วงหลังอายุ 28 วันขึ้นไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชรินทร์ นมรักษ์ (2545) และ ศราวุธ เรืองฤทธิ์ (2544) ที่พบวากำลั้งอัดของคอนกรีตที่ใช้กาก แคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าถ่านหินมีการพัฒนากำลั้งอัด อย่างรวดเร็วในช่วง 60 วัน

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบกำลั้งอัดคอนกรีต

Sample	Average Compressive Strength (ksc)		
	14วัน	28วัน	60วัน
CF25	12	13	25
CF35	13	14	33
CF45	19	19	44
CF55	28	36	75
CF80	42	79	95
CF25 - 0.25 M	15	18	26
CF25 - 0.50 M	19	27	31
CF25 - 0.75 M	17	21	29
CF35 - 0.25 M	21	27	37
CF35 - 0.50 M	27	31	39
CF35 - 0.75 M	31	39	46
CF45 - 0.25 M	22	33	49
CF45 - 0.50 M	28	38	51
CF45 - 0.75 M	32	45	49
CF55 - 0.25 M	28	45	59
CF55 - 0.50 M	38	62	72
CF55 - 0.75 M	42	59	76
CF80 - 0.25 M	45	48	90
CF80 - 0.50 M	54	56	81
CF80 - 0.75 M	54	67	70

3.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลั้งของคอนกรีต

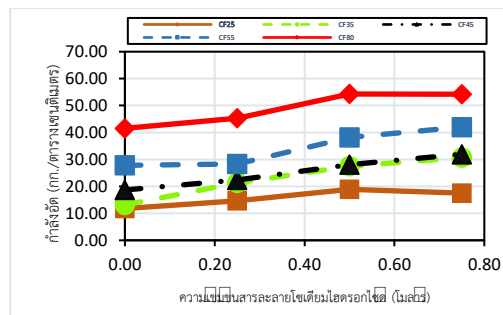
จากรูปที่ 1 แสดงผลความเข้มข้นสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อกำลั้งอัดของคอนกรีต ที่อายุ บ่ม 14 วัน พบว่าของเถ้าถ่านหินร้อยละ 80 สามารถให้กำลั้งอัดมากกว่าในการแทนที่ของเถ้าถ่านหินร้อยละ 25, 35, 45 และ 55 และที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ไม่เกิน 0.75 โมลาร์ และที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เท่ากับ 0.5 โมลาร์ในทุกกลุ่มการแทนที่ของเถ้าถ่านหินมีค่ากำลั้งอัดเพิ่มขึ้นโดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มากขึ้นในทุกการ แทนที่ของเถ้าถ่านหินจะเห็นได้ชัดวากำลั้งอัดของคอนกรีตมี แนวโน้มเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 2 แสดงผลความเข้มข้นสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อกำลั้งอัดของคอนกรีต ที่อายุ บ่ม 28 วัน พบว่าในทุกความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ตั้งแต่ 0,0.25,0.5,และ 0.75 โมลาร์ กลุ่มของการ แทนที่ร้อยละ 80 สามารถให้กำลั้งอัดมากกว่าในการแทนที่ ของเถ้าถ่านหินร้อยละ 25, 35, 45 และ 55 และที่ความ เข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.50 โมลาร์ ของ กลุ่มการแทนที่ของเถ้าถ่านหินร้อยละ 55 มีค่ากำลั้งสูงกว่ากลุ่ม การแทนที่ร้อยละ 80 และส่วนใหญ่ความเข้มข้นของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ไม่เกิน 0.75 โมลาร์ และที่ความ เข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เท่ากับ 0.5 โมลาร์ ในทุกกลุ่มการแทนที่ของเถ้าถ่านหิน มีค่ากำลั้งอัดเพิ่มขึ้น โดย เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มาก ขึ้นในทุกการแทนที่ของเถ้าถ่านหิน จะเห็นได้ชัดวากำลั้งอัด ของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เหมือนกับที่อายุบ่ม 14 วัน

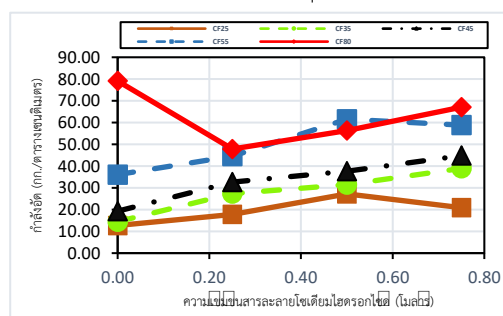
จากรูปที่ 3 แสดงผลความเข้มข้นสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อกำลั้งอัดของคอนกรีต ที่อายุ บ่ม 60 วัน พบว่าในทุกความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ตั้งแต่ 0,0.25,0.5,และ 0.75 โมลาร์ กลุ่มของการ แทนที่ร้อยละ 80 สามารถให้กำลั้งอัดมากกว่าในการแทนที่ ของเถ้าถ่านหินร้อยละ 25, 35, 45 และ 55 และที่ความ เข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ไม่เกิน 0.50 โมลาร์ จากนั้นลดลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เท่ากับ 0.75 โมลาร์ และที่กลุ่มการแทนที่ของเถ้า ถ่านหินร้อยละ 55 ที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์

(NaOH) เท่ากับ 0.75 โมลาร์ ให้กำลังอัดมากกว่ากลุ่มอื่นๆ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มากขึ้นในทุกการแทนที่ของเถ้านหิน จะเห็นได้ชัดว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เหมือนกับที่อายุบ่ม 14 และ 28 วัน ยกเว้นกลุ่มของการแทนที่ร้อยละ 80 มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพิ่มขึ้น

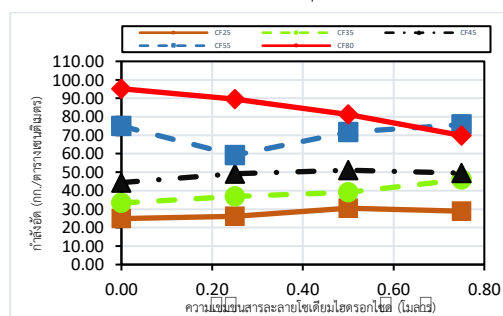
เมื่อพิจารณาภาพรวมของผลแสดงผลความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อกำลังอัดของคอนกรีต จึงสามารถสรุปได้ว่า คอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่ด้วยเถ้านหิน ร้อยละ 25 35 45 และ 55 ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แรงปฏิกิริยา จะมีแนวโน้มการพัฒนากำลังอัดในช่วงแรกเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ใส่สารเร่งปฏิกิริยา โดยส่วนใหญ่เมื่อใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.75 โมลาร์จะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่ดีที่สุด ยกเว้นยกเว้นกลุ่มของการแทนที่ร้อยละ 25 ที่เมื่อใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.50 โมลาร์จะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่ดีที่สุด โดยจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ รัฐพล สมนา และวิเชียร ชาลี (2559) ที่สรุปไว้ว่าการใช้สารละลาย NaOH ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 โมลาร์ ในทุกกลุ่มการแทนที่ของเถ้านหินที่ใช้สารละลาย ให้กำลังอัดของมอร์ตาร์สูงกว่ากลุ่มควบคุมและสูงสุดในกลุ่มที่ใช้สารละลาย NaOH และกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 0.50 โมลาร์ ส่วนกลุ่มการแทนที่ร้อยละ 80 ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แรงปฏิกิริยา โดยช่วง 14 วัน การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเช่นเดียวกับกลุ่มของการแทนที่ร้อยละ 25, 35, 45 และ 55 แต่หลังจาก 14 วัน การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แรงปฏิกิริยาจะมีแนวโน้มช้ากว่าและมีกำลังอัดต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ใส่สารเร่งปฏิกิริยาจึงสรุปได้ว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะเอชิลิก้าและอุณหภูมิจากเถ้านหินที่แทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์ในปริมาณมาก ทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ลดลงในขณะที่ความต้องการแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อใช้ในปฏิกิริยาปอซโซลานิกกลับยิ่งสูงเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้ปฏิกิริยาปอซโซลานิกเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง



รูปที่ 1 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 14 วัน



รูปที่ 2 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 3 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ต่อกำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 60 วัน

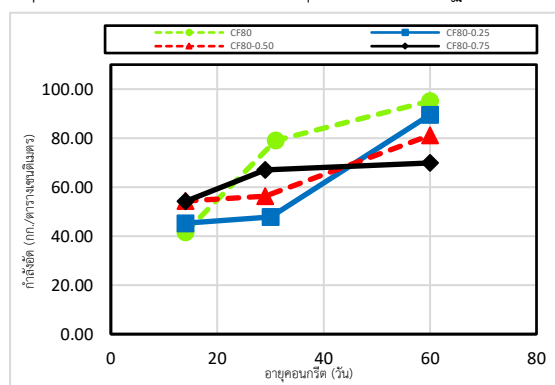
3.3 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุบ่มของคอนกรีต

ผลการทดสอบจากกราฟแสดงผลกำลังอัดคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้านหินกับอายุบ่มในน้ำ โดยแทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์ด้วยเถ้านหินร้อยละ 25, 35, 45, 55 และ 80 พบว่า เมื่ออายุของคอนกรีตที่บ่มในน้ำเพิ่มขึ้นกำลังอัดจะทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้น เช่น คอนกรีต CF55 ที่อายุ 14 วัน, 28 วัน และ 60 วัน มีกำลังอัดเท่ากับ 28, 36, และ 75 กก./ซม² ตามลำดับ และจากกราฟจะเห็นว่าแนวโน้มของกำลังอัดที่ 14-28 วัน CF25, CF35, CF45 และ CF55 ที่ไม่ได้ใส่สารละลายเร่งปฏิกิริยากำลังคอนกรีตจะ

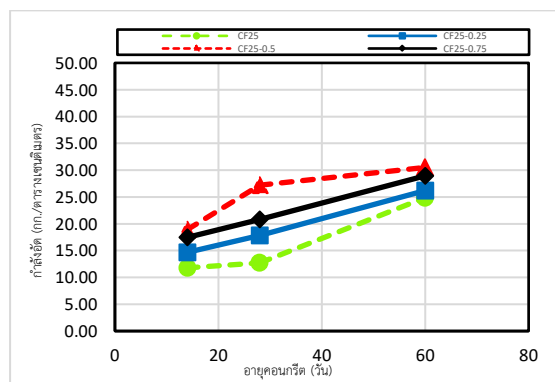
พัฒนาช้ากว่า กลุ่มที่มีสารละลายเร่งปฏิกิริยา 0.25 โมลาร์, 0.5 โมลาร์ และ 0.75 โมลาร์ ตามลำดับ พอหลังจาก 28 วัน คอนกรีตที่ไม่ได้ใส่สารเร่งปฏิกิริยาจะมีการพัฒนาได้เร็วขึ้น ส่วนกลุ่มที่ใส่สารเร่งปฏิกิริยา กำลังอัดจะพัฒนาได้ช้าลงกว่า ช่วง ก่อน 28 วัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ รัฐพล สมนา และ วิเชียร ขาสี ที่กล่าวไว้ว่าการพัฒนากำลังอัดในช่วง 28 วันแรกมีแนวโน้มสูงกว่าช่วง 28 วันถึง 60 วัน

และกราฟแสดงผลกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กาก

แคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 80 กับอายุ บ่มในน้ำ พบว่า ที่อายุ 14 วัน กำลังของคอนกรีตมีแนวโน้ม คล้ายกับ 4 ตัวอย่างแรก แต่เมื่อคอนกรีตบ่มน้ำจนได้อายุ 28 วัน กำลังของคอนกรีตกลุ่มที่ไม่ใส่สารเร่งปฏิกิริยามีแนวโน้ม สูงขึ้นมากที่สุดต่างจากกราฟของตัวอย่าง 4 ตัวอย่างข้างต้น ซึ่งมีการพัฒนากำลังอัดช้ากว่า สรุปได้ว่าเกิดจาก สารละลาย ที่ชะล้างซิลิกาและอลูมินา ออกมามากเกินไปและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยาไม่หมดทำให้กำลังตกลง สังเกตได้ ชัดเจนจากกำลังที่ 60 วัน ที่กำลังอัดของคอนกรีตที่ใส่สารเร่ง ปฏิกิริยา 0.75 โมลาร์ มีการพัฒนากำลังในช่วง 28-60วันช้า ที่สุด ตามมาด้วย 0.5, 0.25 และ กลุ่มที่ไม่ใส่สารเร่งปฏิกิริยา



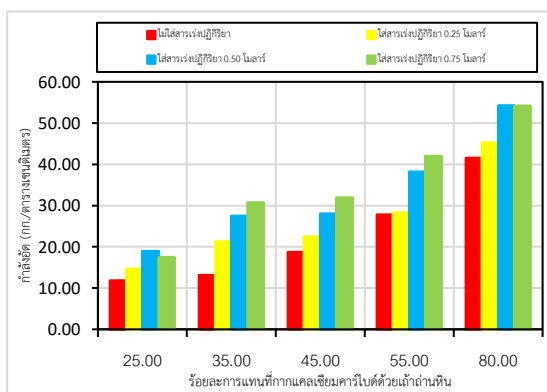
รูปที่ 4 คอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่เถ้าถ่านหิน ร้อยละ 25



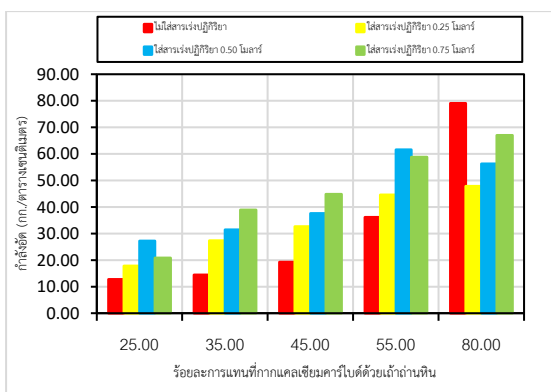
รูปที่ 5 คอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่เถ้าถ่านหิน ร้อยละ 80

3.4 ผลของปริมาณเถ้าถ่านหินที่มีต่อกำลังอัด

ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และอัตราส่วนกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่แทนที่ด้วยเถ้าถ่านหินแม่เมาะที่มีต่อกำลังอัด ที่อายุบ่ม 14, 28 และ 60 ดังรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ พบว่า การแทนที่เถ้าถ่านหินในปริมาณที่มากขึ้น มีผลต่อการลดกำลังอัดของคอนกรีต โดยเห็นผลชัดเจนในคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น คอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหิน 25,35,45,55 และ 80 ที่ไม่ได้ใส่สารละลาย NaOH เร่งปฏิกิริยาปอซโซลานให้กำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 13, 14, 19, 36 และ 79 กก./ชม.² ตามลำดับ ผลดังกล่าวอาจเกิดจากปริมาณเถ้าถ่านหินที่สูงขึ้น ทำให้ลดปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ลงซึ่งมีผลทำให้กำลังอัดที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮดรชันระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำลดลงด้วยการแทนที่ของเถ้าถ่านหินในกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ในปริมาณที่สูงขึ้น จึงมีผลทำให้ผลของปฏิกิริยาปอซโซลานที่ส่งผลต่อการเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต น้อยกว่าผลของปฏิกิริยาไฮดรชัน การใช้เถ้าถ่านหินผสมในคอนกรีตในปริมาณที่สูงขึ้น มีผลต่อการลดกำลังอัดคอนกรีตที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ตัวเร่ง โดยจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิติศานต์ กร้ามาตร และคณะ ได้นำส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าถ่านหินมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนปูนซีเมนต์ พบว่าอัตราส่วนของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 30 ต่อเถ้าถ่านหินร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 90 วันสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 209 กก/ชม.²



รูปที่ 6 ผลของร้อยละการแทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์ด้วยเถ้าถ่านหินเทียบกับกำลังอัดที่อายุ 14 วัน



รูปที่ 7 ผลของร้อยละการแทนที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์ด้วย
เถ้านหินเทียบกับกำลังอัดที่อายุ 28 วัน

5 สรุปผลงานวิจัย

จากผลการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 คอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์แทนที่ด้วยเถ้านหิน เมื่อมีอัตราส่วนของเถ้านหินมากกำลังอัดของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น

5.2 เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แรงปฏิกิริยา จะช่วยให้คอนกรีตพัฒนากำลังอัดในช่วง 28 วันแรก มีแนวโน้มสูงขึ้น และจะมีแนวโน้มลดลงหลังจาก 28 วัน

5.3 เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แรงปฏิกิริยากับ คอนกรีต CF25, CF35, CF45, และ CF55 ที่ความเข้มข้น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่า 0.75 โมลาร์ จะส่งผลให้ แนวโน้มกำลังอัดของคอนกรีตดีที่สุด

5.4 กลุ่มการแทนที่ร้อยละ 80 การพัฒนากำลังอัดของ คอนกรีตที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แรง ปฏิกิริยาจะมีแนวโน้มช้ากว่าและมีกำลังอัดต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ใส่ สารแรงปฏิกิริยา

5.5 การศึกษาครั้งนี้ คอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ แทนที่ด้วยเถ้านหินร้อยละ 80 ที่ไม่ใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แรงปฏิกิริยา (CF80) มีกำลังอัดสูงที่สุด ที่อายุ 28 วันมีกำลังอัดเท่ากับ 75 กก./ซม.2 และไม่สามารถพัฒนาให้ ใช้เป็นคอนกรีตโครงสร้างได้

6 เอกสารอ้างอิง

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ วีรชาติ ตั้งจิรภัทร, 2554. การใช้ประโยชน์จากเถ้านและวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

เพื่อเป็นวัสดุในงานคอนกรีต.ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะ วิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปิตินันต์ กร้ามาตร, สุทธิชาติ มาตย์ภูธร, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ วิลล เจาพิสดาร. (2539).การศึกษากำลังอัดของมอร์ตาร์ ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้านหิน.วิศวกรรม สารฉบับวิจัยและพัฒนา. 7(2), 65-75.

ณัฐกร แบนทอง และ วิเชียร ชาลี, 2559. การใช้กาก แคลเซียมคาร์ไบด์ที่ไม่ผ่านการบดในงานคอนกรีต. ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยบูรพา

บุญมาก รุ่งเรือง, 2541. การศึกษาส่วนผสมของกาก แคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าแกลบเพื่อใช้เป็นวัสดุประสาน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 21-36

ศราวุธ เรืองฤทธิ์, 2544. ผลกระทบของแคลเซียมคาร์ไบด์และ เถ้าแกลบเป็นวัสดุประสาน. วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาคณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 152 หน้า.