กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลีไวนิลแอลกอฮอล์และเถ้าลอย

นายพชร ศิริศักดิ์

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2559

กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลีไวนิลแอลกอฮอล์และเถ้าลอย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

_____

(รศ. ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)
ประธานกรรมการ

_____

(ศ. ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข)
ที่ปรึกษา (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

_____

(ผศ. ดร.มงคล จิรวัชรเดช)
กรรมการ

_____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

พชร ศิริศักดิ์ : กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลีไวนิลแอลกอฮอล์และเถ้าลอย (COMPRESSIVE STRENGTH OF MODIFIED CONCRETE BY USING RECYCLED CONCRETE AGGREGATE (RCA) AS COARSE AGGREGATE POLYVINYL ALCOHOL AND FLY ASH)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. สุขสันติ์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้ศึกษาการกำลังอัดและกำลังเฉือนดึงของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิล (RCA) เป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเถ้าลอย (FA) การพัฒนากำลังอัดและกำลังเฉือนดึงของคอนกรีตถูกวิเคราะห์โดยการใช้ภาพถ่ายกำลังสูง (SEM) ผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดและกำลังเฉือนดึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม การใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำให้กำลังอัดมีค่าลดลง ที่อายุบ่มและอัตราส่วน FA/c เท่ากัน กำลังเฉือนดึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ PVA จนถึงปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 หลังจากนั้นกำลังเฉือนดึงมีค่าลดลงเมื่อ PVA มีปริมาณเพิ่มขึ้น PVA มีคุณสมบัติเป็นสารที่มีลักษณะคล้ายฟิล์มทำให้เกิดการยึดเกาะและผสานเมทริกซ์ของคอนกรีต แต่ในขณะเดียวกันโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ก็หน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนกับน้ำจึงทำให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตนั้นน้อยลง การใช้เถ้าลอยสามารถปรับปรุงกำลังอัดในระยะยาว (อายุบ่ม 28 และ 60 วัน) ของคอนกรีตได้ อัตราส่วน FA/c ที่เหมาะสมซึ่งให้กำลังอัดสูงที่สุดคือ 20/80

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2559 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

PACHARA SIRISAK : COMPRESSIVE STRENGTH OF MODIFIED CONCRETE BY USING RECYCLED CONCRETE AGGREGATE (RCA) AS COARSE AGGREGATE POLYVINYL ALCOHOL AND FLY ASH
ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

This research studies the compressive strength and split tensile strength of polyvinyl alcohol-fly ash (PVA-FA) modified Recycled Concrete Aggregate (RCA)-concrete. The compressive and split tensile strength development is analyzed via Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis. The results show that compressive strength and split tensile strength of PVA-FA modified RCA-concrete increase with time. Compressive strength is observed to decrease as PVA content increases. For a particular curing time and fly ash/cement (FA/c) ratio, split tensile strength increases with increasing PVA content up to PVA = 1.5% then it decreases with increasing PVA content. PVA creates a thin film reinforced the concrete and improves the split tensile strength of concrete. However, these thin films retard the hydration process of the cement and water, resulting in the compressive strength reduction. It is also observed that FA can improve long-term (28 and 60 days of curing) compressive strength of concrete. FA reacts with available lime and alkali in concrete, producing additional cementitious compounds. The maximum compressive strength is observed at FA/c ratio of 20/80.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Civil Engineering
Academic Year 2016

Student's Signature _____
Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและกลุ่มบุคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการและการดำเนินงานวิจัย

ศาสตราจารย์ ดร. สุขสันติ์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจทานเนื้อหาของงานวิจัยจนสมบูรณ์แบบ

นายธีรศักดิ์ เยาวราช ผู้ช่วยอาจารย์ที่ปรึกษา ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลของงานวิจัยนี้และช่วยเหลือด้านวิชาการ การทดลองงานวิจัย แนะนำ และช่วยตรวจทานเนื้อหาข้อมูลโครงงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

คณาจารย์ของ หลักสูตรบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำ

ขอขอบคุณผู้ประสานงานหลักสูตรบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภคทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือประสานงานในด้านวิชาการ และด้านกิจกรรมต่างๆ

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในหลักสูตรบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภคและสาขาวิชาวิศกรรมโยธา ที่คอยให้ความร่วมมือช่วยเหลือ และคำปรึกษาในโครงงานวิจัยนี้

ท้ายสุดสำคัญยิ่งขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา อบรมสั่งสอนเลี้ยงดู และส่งสริมให้มีการพัฒนาตนเอง และการศึกษาเป็นอย่างดีจนสำเร็จการศึกษาถึงระดับนี้

พชร ศิริศักดิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูปภาพ ..... ซ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 4

2.1.2 วัสดุปอซโซลาน 7

2.1.3 เถ้าลอย (Fly Ash) 8

2.1.4 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ Polyvinyl Alcohol (PVA) 9

2.2 งานวิจัยทีเกี่ยวข้อง 10

3 วิธีดำเนินการวิจัย 18

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย 18

3.2 รายละเอียดวิธีการศึกษา 18

3.2.1 กำหนดวัตถุประสงค์ 18

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างก่อนทำการทดสอบ 18

3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง 19

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2.4 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตด้านแรงดึงผ่าซีก (Spilt Tensile Strength) 23
3.2.5 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต 23
3.2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต 24
4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล 25
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา 25
4.1.1 ความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา 25
4.1.2 ภาพถ่ายกำลังขยายสูงสุดของอนุภาคของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา 25
4.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา 26
4.2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีต พอลีไวนิลแอลกอฮอล์ และเถ้าลอย 27
4.3 กราฟแสดงผลกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ (RCA) ปรับปรุงด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเถ้าลอย (FA) และแรงดึงผ่าซีกของตัวอย่าง (Spilt Tensile Strength) 27
4.3.1 อายุบ่ม 7 วัน 27
4.3.2 อายุบ่ม 28 วัน 32
4.3.3 อายุบ่ม 60 วัน 37
4.3.4 กำลังรับแรงผ่าซีก (Spilt Tensile Strength) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ถึง 2.0 อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30 อายุบ่ม 7 วัน 42
4.3.5 กำลังรับแรงผ่าซีก (Spilt Tensile Strength) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ถึง 2.0 อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30 อายุบ่ม 28 วัน 43
4.3.6 กำลังรับแรงผ่าซีก (Spilt Tensile Strength) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ถึง 2.0 อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30 อายุบ่ม 60 วัน 44
4.4 การวิเคราะห์ทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM and EDX analysis) 45
4.4.1 อิทธิพลของเถ้าลอยที่อายุบ่มที่แตกต่างกัน 45
4.4.2 ผลของ PVA ต่อกำลังอัดที่อายุบ่ม 60 วัน 50
5 สรุปผลการศึกษา 53

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.1 กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ (RCA) ปรับปรุงด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเถ้าลอย (FA) 53
5.2 กำลังรับแรงดึงผ่าซีก (Spilt Tensile Strength) ของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ (RCA) ปรับปรุงด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเถ้าลอย(FA) 53
เอกสารอ้างอิง 54
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. การคำนวณหาความเค้นและความเครียดของคอนกรีต 56
ภาคผนวก ข. การคำนวณหาแรงเฉือนดึงของคอนกรีต 58
ประวัติผู้เขียน 60

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการวิจัยและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตก่อนทำการทดสอบ 21

3.2 ปริมาณส่วนผสมของการผสมคอนกรีตสำหรับใช้ในการหล่อตัวอย่าง 22

4.1 ความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา 25

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 และเถ้าลอย 26

4.3 อัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต 27

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	9
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต่อปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ของสารเคมีที่แตกต่างกัน	12
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดซีเมนต์เพสต์ ปอร์ตแลนด์ต่อปริมาณของพอลิเมอร์ของอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	13
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดของคอนกรีตต่ออัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35	14
2.5	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 โดยที่ ภาพ (a) เติม PVA ร้อยละ 0 (b) เติม PVA ร้อยละ 1.4 (c) เติม PVA ร้อยละ 2.8 (d) เติม PVA ร้อยละ 4.0	14
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตต่ออัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35	15
2.7	สัญลักษณ์ภายในรูปและขั้นตอนการผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA)	16
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบดั้งเดิมและคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบ Two Stage Mixing Approach	16
3.1	แบบหล่อทรงกระบอกที่ใช้การการทดลอง	19
3.2	แผนผังแสดงขั้นตอนการปฏิบัติการทดลอง	21
4.1	ภาพถ่ายกำลังขยายสูง 3,500 เท่าของ (ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ข) เถ้าลอย	26
4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c FA/c เท่ากับ 0/100 ที่อายุบ่ม 7 วัน	28
4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c FA/c เท่ากับ 10/90 ที่อายุบ่ม 7 วัน	29
4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c FA/c เท่ากับ 20/80 ที่อายุบ่ม 7 วัน	30
4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c FA/c เท่ากับ 30/70 ที่อายุบ่ม 7 วัน	32

4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดต่อปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30/70 ที่อายุบ่ม 7 วัน 32
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 ที่อายุบ่ม 28 วัน 33
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 10/90 ที่อายุบ่ม 28 วัน 34
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 20/80 ที่อายุบ่ม 28 วัน 35
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 30/70 ที่อายุบ่ม 28 วัน 36
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดต่อปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30/70 ที่อายุบ่ม 28 วัน 37
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 ที่อายุบ่ม 60 วัน 38
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 10/90 ที่อายุบ่ม 60 วัน 39
4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 20/80 ที่อายุบ่ม 60 วัน 40
4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วนFA/c เท่ากับ 30/70 ที่อายุบ่ม 60 วัน 41
4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดต่อปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30/70 ที่อายุบ่ม 60 วัน 42
4.17 กำลังเฉือนดึง (Spilt Tensile Strength) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ถึง 2.0 อัตราส่วน FA/c เท่ากับเท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30/70 อายุบ่ม 7 วัน 43
4.18 กำลังเฉือนดึง (Spilt Tensile Strength) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ถึง 2.0 อัตราส่วน FA/c เท่ากับเท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30/70 อายุบ่ม 28 วัน 44
4.19 กำลังเฉือนดึง (Spilt Tensile Strength) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ถึง 2.0 อัตราส่วน FA/c เท่ากับเท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30/70 อายุบ่ม 60 วัน 45

4.20 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVAร้อยละ 0 และ FA/c = 0/100 ที่อายุบ่ม 7 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 0/100 ที่อายุการบ่มที่ 7 วัน 46
4.21 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVAร้อยละ 0 และ FA/c = 0/100 ที่อายุบ่ม 60วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 0/100 ที่อายุการบ่มที่ 60 วัน 46
4.22 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVAร้อยละ 0 และ FA/c = 10/90 ที่อายุบ่ม 7 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 10/90 ที่อายุการบ่มที่ 7 วัน 47
4.23 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVAร้อยละ 0 และ FA/c = 10/90 ที่อายุบ่ม 60 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 10/90 ที่อายุการบ่มที่ 60 วัน 48
4.24 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVAร้อยละ 0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุบ่ม 7วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุการบ่มที่ 7 วัน 48
4.25 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVAร้อยละ 0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุบ่ม 60วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุการบ่มที่ 60 วัน 49
4.26 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVAร้อยละ 0 และ FA/c = 30/70 ที่อายุบ่ม 7วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 30/70 ที่อายุการบ่มที่ 7 วัน 49
4.27 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVAร้อยละ 0 และ FA/c = 30/70 ที่อายุบ่ม 60วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 30/70 ที่อายุการบ่มที่ 60 วัน 50
4.28 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA = ร้อยละ 0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุบ่ม 60 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA = ร้อยละ 0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุการบ่มที่ 60 วัน 51
4.29 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA = ร้อยละ 1.0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุบ่ม 60 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 1.0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุการบ่มที่ 60 วัน 51

4.30 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 2.0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุบ่ม 60 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA = ร้อยละ 2.0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุการบ่มที่ 60 วัน 52

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

มอก.	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
RCA	Recycled Concrete Aggregate
PVA	Polyvinyl Alcohol
ASTM	American Society for Testing
ACI	American Cocrete Institute
C_3S	Tricalcium Silicate
C_2S	Dicalcium Silicate
C_3A	Tricalcium Aluminate
C_4AF	Tetracalcium Alumino Ferrite
CaO	Calcium Oxide
SiO_2	Silicon Dioxide
Al_2O_3	Aluminium Oxide
Fe_2O_3	Ferric Oxide
MgO	Magnesium Oxide
Na_2o	Sodium Oxide
SO_3	Sulfur Trioxide
$Ca(OH)_2$	Calcium Hydroxide
CAH	Calcium Aluminate Hydrates
TSMA	Two stage mixing approach
UTM	Universal Testing Machine
SEM	Scanning Electron Microscope
EDX	Energy Dispersive X-ray Spectrometer

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันถนนภายในประเทศไทยมีด้วยกัน 2 ประเภท คือถนนลาดยาง และถนนคอนกรีต ซึ่ง ในงานถนนคอนกรีตทั่วไปนั้นใช้มวลรวมหยาบคือหินจากธรรมชาติที่ได้จากกระบวนการการระเบิดภูเขาและขนส่งหินนั้นเข้าโรงโม่หินเพื่อทำให้หินมีขนาดและความคละ ตามความต้องการที่จะใช้ในงานต่างๆ ซึ่งเหตุดังกล่าวเป็นการรบกวนทรัพยากรธรรมชาติ ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมรวมถึงส่งผลก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนดังนั้นการใช้ทรัพยากรหมุนเวียนและ การรีไซเคิลของวัสดุก่อสร้าง อย่างเช่น คอนกรีตรีไซเคิล (RCA) ที่ได้จากการทึบ รื้อถอนสิ่งก่อสร้างจึงมีความจำเป็นเพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดและในขณะเดียวกันก็ใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ในงานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตคอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) ที่ได้จากเศษปูนซีเมนต์ที่ไม่สามารถใช้งานได้แล้ว หรือเศษคอนกรีตที่ได้จากการรื้ออาคารที่หมดอายุการใช้งานแล้วมาเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตแทนการใช้หินจากธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบ หากพิจารณาถึงประโยชน์จากการนำวัสดุมวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิล มาใช้แล้วย่อมส่งผลต่อการลดปริมาณวัสดุจากธรรมชาติและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตในงานคอนกรีตที่ใช้ในชั้นผิวทาง แต่เนื่องจากข้อด้อยบางประการจากใช้คอนกรีตรีไซเคิล (RCA)นั้น เมื่อเปรียบเทียบกับหินจากธรรมชาติอย่างไรก็ตามคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางคอนกรีตโดยเฉพาะกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผลิตจากคอนกรีตรีไซเคิล (RCA)น้อยกว่า เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการผลิตคอนกรีตที่ผลิตจากหินจากธรรมชาติ ด้วยเหตุนั้นเพื่อให้เทียบเท่าข้อกำหนดของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท จึงต้องปรับปรุงพัฒนาคอนกรีตที่ใช้วัสดุมวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิล ให้มีคุณภาพตามมาตรฐานคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางคอนกรีต

จากการใช้วัสดุมวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) มาใช้ผลิตคอนกรีตนั้นมีข้อด้อยเกี่ยวกับกำลังดัดของคอนกรีต จึงนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)ซึ่งเป็นสารประกอบตั้งต้นในการผลิตกาวลาเท็กซ์ มาใช้ในการผสมกับคอนกรีต พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เมื่อนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ทราย และวัสดุมวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิลจะส่งผลทำให้คอนกรีตมีประสิทธิภาพในการเกาะตัวระหว่างเมทริกซ์ของปูนซีเมนต์มีประสิทธิภาพมากขึ้นส่งผลให้คอนกรีตต้านทานแรงดัดได้เพิ่มขึ้น และยังช่วยเพิ่มการต้านทานการกัดกร่อนจาก สารเคมีต่างๆได้ดีขึ้น ส่วนข้อเสียของการนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) มาผสมกับคอนกรีตรีไซเคิล (RCA)จะทำให้กำลังรับอัดของ

คอนกรีตลดลงตามปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่ผสมลงไปในการผสมคอนกรีต จึงได้มีการนำเถ้าลอย (Fly Ash) ที่มีข้อดีสามารถปรับปรุงกำลังอัดในระยะยาวมาผสมเพิ่มเข้าไปในคอนกรีตส่งผลให้เพิ่มกำลังอัดของคอนกรีต เนื่องจากการผสมเถ้าลอย (Fly Ash) ลงไปนั้นจะไปช่วยทำให้คอนกรีตเมื่อบ่มในระยะยาวนานขึ้น มีกำลังอัดเพิ่มขึ้น แต่ในการผสมเถ้าลอยนั้นจำเป็นต้องหาจุดเหมาะสมที่ดีที่สุดในการเติมเถ้าลอย (Fly Ash) เพื่อทำให้คอนกรีตรีไซเคิลนั้นมีความสามารถในการรับกำลังอัดในระยะเวลาที่ต้องการได้ดีที่สุด

ดังนั้นการพัฒนาคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ (RCA) ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเถ้าลอย (Fly Ash) เป็นการนำข้อดีของวัสดุแต่ละชนิดมาใช้เพื่อผลิตเป็นถนนคอนกรีต หรืองานคอนกรีตที่ไม่ใช้เป็นโครงสร้างรับแรง เช่น ถนน คลองส่งน้ำ คอนกรีตยึดหน้าดินป้องกันตลิ่งพัง ซึ่งล้วนแต่เป็นโครงสร้างที่ไม่สามารถรับแรงดัดได้สูงและเป็นโครงสร้างด้านสาธารณูปโภคที่จะช่วยพัฒนาท้องที่นั้นๆ การศึกษาในครั้งนี้จึงศึกษากำลังอัดและแรงเฉือนดึง (Split Tensile Strength) ของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ (RCA) ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเถ้าลอย (Fly Ash) เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการนำไปพัฒนาให้คอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ (RCA) ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุมวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) และเถ้าลอย (Fly Ash) ในการช่วยลดปริมาณการใช้วัสดุจากธรรมชาติในงานก่อสร้าง

1.2.2 เพื่อศึกษากำลังอัด และแรงดึงผ่าซีก (Split Tensile Strength) ของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิล (RCA) เป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเถ้าลอย (Fly Ash)

1.2.3 เพื่อศึกษาหาค่าของเถ้าลอย (Fly Ash) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่เหมาะสม ในการพัฒนากำลังอัดที่เหมาะสมของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิล (RCA)

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบปรับปรุง (RCA) ด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์(PVA) และเถ้าลอย (Fly Ash) ว่ามีกำลังอัดของคอนกรีตดังกล่าว และแรงดึงผ่าซีก (Split Tensile Strength) ของคอนกรีตของ

คอนกรีตที่ดีขึ้น ของตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาด 10x20 เซนติเมตร ที่ใช้ทดสอบที่ 7 28 และ 60 วันของอายุบ่มคอนกรีต

1.3.2 หากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ (RCA)ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์(PVA) และเถ้าลอย (Fly Ash) โดยหน่วยแรงอัดสูงสุด (Compressive strength) และแรงดึงผ่าซีกสูงสุด (Split Tensile Strength) ของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงความเป็นไปได้ในการใช้คอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ (RCA) ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเถ้าลอย (Fly Ash) มาใช้ก่อสร้างถนนคอนกรีต

1.4.2 ทราบถึงกำลังรับแรงอัด และแรงดึงผ่าซีก (Split Tensile Strength) คอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ (RCA) ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเถ้าลอย (Fly Ash)

1.4.3 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้ เป็นแนวทางในการเลือกใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ (RCA) ปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเถ้าลอย (Fly Ash) เพื่อนำไปใช้ในงานก่อสร้างและงานคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.4 เพื่อเป็นการส่งเสริมการช่วยลดปริมาณวัสดุในงานก่อสร้างได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวัสดุผงที่ใช้ในการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Portland Cement) หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้จากการเผาส่วนผสมซึ่งประกอบด้วยหินปูน (Calcareous) ดินเหนียวประเภท Argillaceous ออกไซด์ ของซิลิกา อลูมินา และเหล็ก แล้วนำมาบดเป็นผงละเอียด

1) ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มีหลายประเภท แต่ละประเภทมีสารประกอบสำคัญได้แก่ C_3S C_2S C_3A และ C_4AF ซึ่งจะมีอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน จึงทำให้ปูนซีเมนต์แต่ละประเภทมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ส่วนประกอบทางเคมีโดยประมาณของปูนซีเมนต์ชนิดต่างๆ ซึ่งตามมาตรฐาน มอก. 15 ของไทยได้แบ่งปูนซีเมนต์ออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

ก. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) ใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไปปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังในระยะเวลาไม่รวดเร็วมากนัก และให้ความร้อนปานกลาง

ข. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 2

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 2 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนไม่สูงมากนัก ความร้อนที่เกิดมีค่าน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แต่สูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 4 และให้กำลังใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์ใดที่เกิดความร้อนและทนทานต่อการกัดกร่อนของสารละลายซัลเฟตปานกลาง

ค. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (Rapid Hardening Potland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังสูงในระยะแรก ให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นสูงเพราะมี C_3S และความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มาก ใช้ในการทำคอนกรีตที่ต้องการใช้งานหรือถอดแบบเร็ว

ง. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 4

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 4 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ (Low Heat Portland Cement) ให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่ำมากเพราะมีปริมาณ C_3S ต่ำ แต่ปริมาณ C_2S ที่ค่อนข้างสูง ใช้ในงานคอนกรีตหลา เนื่องจากมีคุณสมบัติให้อุณหภูมิต่ำ

จ. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 5

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 5 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (Sulfate Resisting Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีปริมาณ C_3A ต่ำมาก ดังนั้นจึงมีการทำปฏิกิริยากับซัลเฟตได้น้อยลง ใช้ในงานคอนกรีตที่สร้างอยู่ในที่มีเกลือหรือสาระละลายซัลเฟตและบริเวณที่มีดินเค็ม

2) องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วยออกไซด์หลักและออกไซด์รอง ตามรายละเอียดดังนี้

ก. ออกไซด์หลัก (Major oxides)

ออกไซด์หลัก ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกินไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และเฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ออกไซด์กลุ่มนี้มีปริมาณรวมกันได้กว่าร้อยละ 90 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ข. ออกไซด์รอง (Minor oxiders)

ออกไซด์รอง ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์ของอัลคาไล ((Na_2O) ไททาเนียมออกไซด์ (K_2O)) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)

3) สารประกอบสำคัญของปูนซีเมนต์

ออกไซด์ของปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทางเคมี และรวมตัวกันอยู่ในรูปของสารประกอบที่มีรูปร่างต่าง ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบการเผา และการเย็นตัวลงของเม็ดปูน ปริมาณสารประกอบสำคัญในปูนซีเมนต์มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 90 จึงเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ สารประกอบที่สำคัญมีอยู่ด้วยกัน 4 ชนิด ดังนี้

ก. ไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3CaO.SiO_2$ หรือ C_3S)

ไตรแคลเซียมซิลิเกต เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นผลึกสีเทาแก่ คุณสมบัติของไตรแคลเซียมซิลิเกตนี้เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดการก่อตัว และแข็งตัวให้กำลังค่อนข้างดีโดยเฉพาะ 7 วันแรก โดยปริมาณไตรแคลเซียมซิลิเกตในปูนซีเมนต์จะมีประมาณร้อยละ 45 ถึง 55

ข. ไดแคลเซียมซิลิเกต ($2CaO.SiO_2$ หรือ C_2S)

ไดแคลเซียมซิลิเกตมีหลายรูปแบบ โดยที่อุณหภูมิปกติ C_2S จะอยู่ในรูปเบต้าไดแคลเซียมซิลิเกต (βC_2S) ไดแคลเซียมซิลิเกตมีลักษณะเป็นเม็ดกลม มีคุณสมบัติเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ จะเกิดการก่อตัวและพัฒนากำลังอัดอย่างค่อนข้างช้าและช้ากว่า C_3S มาก แต่ในระยะยาวจะให้กำลังอัดใกล้เคียงกับ C_3S โดยปริมาณไดแคลเซียมซิลิเกตในปูนซีเมนต์จะมีประมาณร้อยละ 15 ถึง 35

ค. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ($3CaO.Al_2O_2$ หรือ C_3A)

ไตรแคลเซียมอลูมิเนต มีลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมสีเท่าอ่อน ทำปฏิกิริยากับน้ำมีความรุนแรงมากและทำให้ก่อตัวทันที (Flash Set) การพัฒนากำลังเร็วภายใน 1 ถึง 2 วัน แต่กำลังค่อนข้างต่ำ ปริมาณเมื่อเทียบกับ C_3S และ C_2S โดยปริมาณไตรแคลเซียมอลูมิเนตในปูนซีเมนต์จะมีประมาณร้อยละ 7 ถึง 15

ง. เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ หรือ C_4AF)

เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์อยู่ในสภาพสารละลายแข็ง (Sold Solution) เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะทำให้เพสต์ก่อตัวอย่างรวดเร็วภายในไม่กี่นาที แต่กำลังค่อนข้างต่ำ และต่ำกว่า C_3A โดยปริมาณของเตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ในปูนซีเมนต์จะมีปริมาณร้อยละ 5 ถึง 10

4) ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำเรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration Reaction) ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของเพสต์ทั้งในสภาพพลาสติกและแข็งตัวแล้ว

ก. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมซิลิเกต

ไตรแคลเซียมซิลิเกตเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดแคลเซียมซิลิเกต ไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) และเกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide)

ข. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไดแคลเซียมซิลิเกต

ไดแคลเซียมซิลิเกตจะทำปฏิกิริยากับน้ำช้ากว่าไตรแคลเซียมซิลิเกต แต่จะได้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเหมือนกันคือ CSH และ CH

ค. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมอลูมิเนต

ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับไตรแคลเซียมอลูมิเนตจะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใดและให้เพสต์ก่อตัวอย่างรวดเร็ว

ง. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของเตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของเตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์มีลักษณะคล้ายกับปฏิกิริยาของ C_3A แต่เกิดช้ากว่า และมีความร้อนจากการทำปฏิกิริยาน้อยกว่า โดยการทำปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นช่วงต้น โดยจะทำปฏิกิริยากับยิปซั่ม

2.1.2 วัสดุปอซโซลาน

วัสดุปอซโซลาน (Pozzolanic Materials) คือ วัสดุที่มีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) หรือเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) รวมกันเป็นปริมาณไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุนั้น ๆ อาจจะมีคุณสมบัติในการชื่อมประสานหรือไม่ก็ได้ แต่ต้องสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ แล้วเกิดเป็นสารประกอบของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) หรือแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (CAH) และถึงแม้ว่า ปอซโซลานชนิดนั้นมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาทางเคมี แต่ในสัดส่วนผสมใด ๆ ก็ตาม บางครั้งปอซโซลานบางส่วนไม่สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีได้เนื่องจากองค์ประกอบในการทำปฏิกิริยามีไม่เพียงพอต่อขบวนการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิก

1) ชนิดของวัสดุปอซโซลาน

ปอซโซลาน มี 2 ชนิด คือ ชนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural Pozzolan) และปอซโซลานดัดแปลง (Modify pozzolan) มีรายละเอียดดังนี้

ก. ปอซโซลานที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

ปอซโซลานที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural Pozzolan) ได้แก่ หินดินดาน (Shales) เศษหินภูเขาไฟ (Tuff) หินภูมิไซท์ (Pumisite) หินโอเพิลเหลือง (Opaline) หินชั้น (Shate) หินปูน (Limestone) ปอซโซลานที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เมื่อต้องการนำไปใช้งานจะต้องนำมาบดก่อน

ข. ปอซโซลานดัดแปลง (Modify Pozzolan)

ปอซโซลานดัดแปลงเกิดจากขบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งเป็นผลพลอยได้ หรือเกิดจากการตั้งใจที่จะนำปอซโซลานที่เกิดขึ้นเองมาปรับปรุงคุณภาพโดยผ่านขบวนการผลิตที่ซับซ้อนขึ้นซึ่งโดยมากจะเป็นขบวนการเผาไหม้ ปัจจุบันปอซโซลานดัดแปลงที่พบได้แก่ เถ้าลอย (Fly ash) ได้จากการเผาเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า

2) ปฏิกิริยาปอซโซลานของวัสดุปอซโซลาน

วัสดุปอซโซลานอาจมีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานหรือไม่ก็ได้ แต่ต้องทำปฏิกิริยาทางเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) แล้วเกิดเป็นสารประกอบของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) หรือแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต (CAH) กล่าวคือ เมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งแคลเซียมไฮ

ดรอกไซด์นี้เองที่ทำปฏิกิริยากับซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ในวัสดุปอซโซลาน เกิดเป็นสารประกอบที่เรียกว่า แคลเซียมซิลิเกต (CSH) และแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต (CAH) ตามลำดับ ซึ่งสารประกอบที่ได้ทั้งสองนี้มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสาน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction)

2.1.3 เถ้าลอย (Fly Ash)

เถ้าลอย (Fly ash) จัดเป็นสารผสมเพิ่มในปูนซีเมนต์จำพวกสารปอซโซลานสังเคราะห์หรือปอซโซลานดัดแปลงประเภทหนึ่ง เป็นผลพลอยได้ (By-product) จากการเผาถ่านหินเพื่อเป็นพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า ถ่านหินที่บดจะถูกเผาเพื่อเอาพลังงานความร้อนเถ้าถ่านหินที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่จะตกลงก้นเตา จึงเรียกว่าเถ้าก้นเตา (Bottom Ash) ส่วนเถ้าถ่านหินที่ขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร จนถึงประมาณ 200 ไมโครเมตร จะลอยไปกับอากาศร้อนจึงเรียกว่าเถ้าลอย เถ้าลอยจะถูกดักจับฝุ่น เพื่อไม่ให้ออกไปกับอากาศร้อนเนื่องจากจะเป็นมลภาวะต่อพื้นที่โดยรอบบริเวณโรงไฟฟ้าเถ้าลอยในประเทศไทยสามารถพบได้ทั้ง Class C และ Class F ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มา และลักษณะการเผาถ่านหิน อย่างไรก็ดีต่างก็มีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้ในงานคอนกรีต เถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ

1) องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของถ่านหิน แต่โดยทั่วไปองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจะคล้ายกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือประกอบด้วย ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบหลัก และมี แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์ของอัลคาไล (Na_2O, K_2O) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เป็นองค์ประกอบรอง นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยความชื้น (H_2O) และการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา SiO_2 Al_2O_3 Fe_2O_3 และ CaO เป็นองค์ประกอบหลักมีปริมาณถึงร้อยละ 80 ถึง 90 จึงเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของเถ้าถ่านหิน

2) ปฏิกิริยาทางเคมีของเถ้าลอย

ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมจะเริ่มจากปฏิกิริยา ไฮเดรชั่น (Hydration) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์และน้ำทำให้ได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_23H_2O$ หรือ CSH) และเกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH_2)$ หรือ CH) หลังจากนั้นวัสดุปอซโซลานในที่นี้คือเถ้าลอย ซึ่งมีองค์ประกอบของซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) และอลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CH) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) ผลผลิตของปฏิกิริยานี้จะได้

สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (CAH) เช่นเดียวกับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

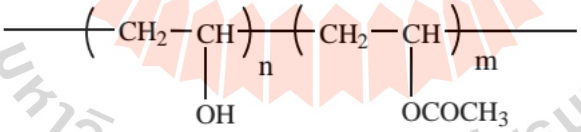
2.1.4 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ Polyvinyl Alcohol (PVA)

1) ลักษณะของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพ และติดไฟได้คล้ายกระดาษ นอกจากนี้ยังสามารถละลายในน้ำได้ การใช้งานของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ อาศัยคุณสมบัติการละลายในน้ำ เช่น ใช้เป็นตัวช่วยทำให้ระบบอิมัลชัน และแขวนลอยต่างๆ และใช้ทำแผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษซึ่งมีความใสเหนียว และทนต่อการขีดข่วน และ นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปทำปฏิกิริยาเคมีให้ไม่สามารถละลายแล้วจึงนำมาใช้งานพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ละลายในน้ำนี้สามารถดูดน้ำและความชื้นได้เป็น อย่างดี (ประมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก) จึงสามารถคงรูปได้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่มีกลิ่นและไม่มีรส มีการให้แสงผ่านได้น้อย มีสีขาวหรือครีมลักษณะเป็นผงเกล็ด พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติส่วนใหญ่แล้วสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 5 จะมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.0-6.5 มีจุดหลอมเหลว 180-190 องศาเซลเซียสมีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 26,300-30,000 และระดับของการไฮโดรไลซิสร้อยละ 86.5-89

2) องค์ประกอบทางโครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

โครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Partially Hydrolyzed) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

3) การนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาประยุกต์ใช้

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายในอุตสาหกรรม ใช้เป็นตัวช่วยยึดเกาะและเคลือบผิว ซึ่งจะถูกใช้เป็นฟิล์มเคลือบผิวโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้งานที่ซึ่งต้องการคุณสมบัติในการป้องกันความชื้น ความหนืดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นทำให้สามารถประยุกต์ใช้เป็นตัวช่วยในการเคลือบรูปแบบอื่นๆซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้งานที่เกี่ยวกับของแข็ง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นจะกล่าวถึง คุณสมบัติของปูนซีเมนต์เพสต์ปอร์ตแลนด์ คุณสมบัติของคอนกรีต คุณสมบัติของเถ้าลอย และคุณสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

อติญา ตันเจริญ (2557) ศึกษาการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 บางส่วนด้วยเถ้าชานอ้อย เพื่อผลิตเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอร์ตโซลาน เนื่องจากปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี และกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์นั้นมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจานวนมาก ดังนั้นจึงนาปอซโซลาน เช่น เถ้าชานอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมมาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน โดยนามาแทนที่ในอัตราส่วนร้อยละ 0 10 และ 20 น้ำหนัก บ่มไว้ที่อายุ 7 28 และ 90 วัน ตามลาดับ แล้วเตรียมเป็นซีเมนต์เพสต์และมอร์ตาร์ จากนั้นนาไปทดสอบสมบัติด้านต่างๆ โดยซีเมนต์เพสต์ใช้ทดสอบความข้นเหลวปกติ ระยะเวลาการก่อตัวและการขยายตัวของปูนซีเมนต์ สาหรับซีเมนต์มอร์ตาร์ใช้ทดสอบการไหลแผ่ ความแข็งแรงรับกำลังอัด วิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคและองค์ประกอบทางเคมี พบว่าสมบัติด้านต่างๆของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานที่ผลิตได้ผ่านเกณฑ์ตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานกาหนด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนากาลังรับแรงอัดที่อายุ 90 วันมีค่าใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในท้องตลาด

สาโรจน์ ดำรงศีล (2558) ศึกษาผลกระทบของการใช้เถ้าแกลบและเถ้าลอยต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตโดยมีตัวแปรในการศึกษาคือปริมาณเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 และ 50โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน เปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน เถ้าแกลบผสม เถ้าลอยด้วยวิธีการบดรวมในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนักผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกันกับเถ้าลอยจะลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้ามีกำลังอัดที่อายุ 7 วันต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม แต่ที่อายุ 28 วันกำลังอัดลกำลังดัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร่วมกับเถ้าลอยในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก อาจใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการทำคอนกรีตได้ถึงร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานโดยยังคงมีคุณสมบัติเชิงกลเท่ากับคอนกรีตควบคุมที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วน

ยงยุทธ วัฒนกุล (2554) ศึกษาคุณสมบัติทางด้านซีเมนต์และความต้านทานซัลเฟตของคอนกรีตผสมเถ้าลอยซึ่งเป็นวัสดุปอซโซลานร่วมกับผงหินปูนในส่วนผสมของคอนกรีตโดยคุณสมบัติด้านที่ศึกษาได้แก่ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเพสต์ เวลาการก่อตัวของเพสต์ ค่าการยุบตัวของคอนกรีต ความพรุนของคอนกรีต กำลังอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตและความต้านทานซัลเฟตโดยการวัดการขยายตัวและหาการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีตเมื่อสัมผัสกับ

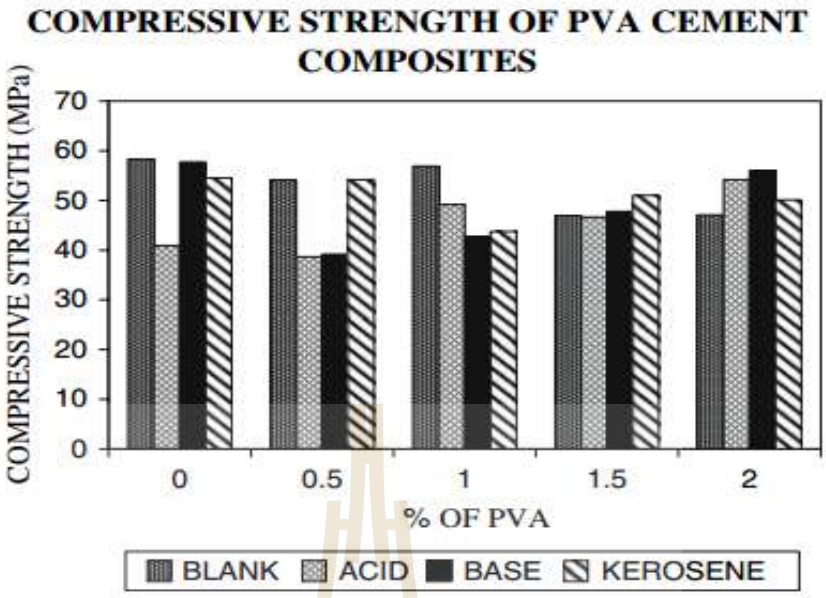
สารละลายโซเดียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟตและสารละลายซัลเฟตที่ผสมกันระหว่างโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้เถ้าลอยและผงหินปูนในงานคอนกรีตอย่างเหมาะสม ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีต

ปิติศานต์ กร้ำมาตร (2553) ศึกษาความต้องการน้ำและการก่อตัวของตัวอย่างเพสต์ ค่าการไหลแผ่ ความพรุน ค่าการหดตัวแห้ง และกำลังอัดประลัยของตัวอย่างมอร์ต้าร์ และกำลังอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีต ของวัสดุประสานโดยใช้เถ้าลอยและผงหินปูนเป็นส่วนผสมโดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นตัวอย่างในการทดลองซึ่งเถ้าลอยมีประสิทธิภาพทำให้กำลังอัดในระยะยาวมีค่าสูงขึ้น

สุรสิทธิ์ เนาะบุญ และปิติศานต์ กร้ำมาตร (2556) ศึกษาผลกระทบของความละเอียดของผงหินปูนต่อคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและผงหินปูนโดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และผงหินปูน คุณสมบัติที่ทำการศึกษาได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพประกอบด้วยความถ่วงจำเพาะและความละเอียดโดยวิธีเบลน และคุณสมบัติทางกลประกอบด้วยกำลังอัดประลัย กำลังดึงแบบผ่าซีก และโมดูลัสยืดหยุ่นซึ่งเถ้าลอยมีประสิทธิภาพทำให้กำลังอัดประลัยและกำลังดึงแบบผ่าซีกในระยะยาวมีค่าสูงขึ้น

Viswanath (2551) ศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ เมื่อนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาผสม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์นี้เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่มีสารพิษ และละลายน้ำได้ เมื่อผสมเข้าไปในคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติในการทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี กรด – เบส น้ำมัน และตัวทำละลายได้ดี ทำให้คอนกรีตมีความต้านทานแรงดัดและแรงดึงและมีความยืดหยุ่นสูง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต่อปริมานของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ของสารเคมีที่แตกต่างกัน

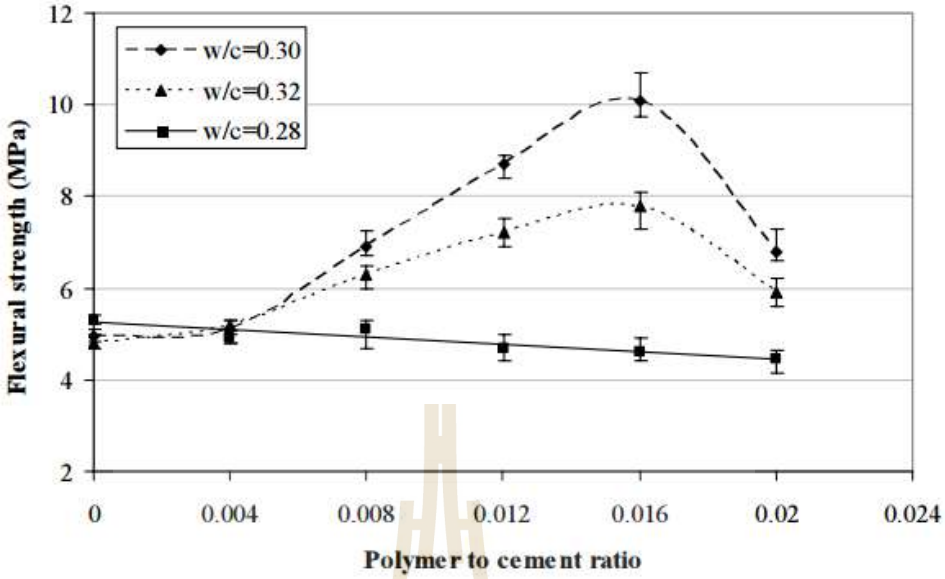
จากรูปที่ 2.2 เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 0 พบว่าการต้านทานการกัดกร่อนของกรดมีประสิทธิภาพต่ำสุด และคอนกรีตรับกำลังแรงอัดได้มากที่สุด แต่ เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ร้อยละ 0.5 พบว่าการต้านทานการกัดกร่อนของกรดน้อยลงเมื่อเทียบกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 0 และคอนกรีตรับกำลังแรงอัดได้น้อยลง

เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 1 พบว่าการต้านทานการกัดกร่อนของเบสน้อยแต่การต้านทานการกัดกร่อนกรดเพิ่มมากขึ้น และคอนกรีตรับกำลังแรงอัดได้น้อยลง

เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 1.5 พบว่าการต้านทานการกัดกร่อนของกรดน้อยแต่การต้านทานการกัดกร่อนของเบสเพิ่มขึ้น และคอนกรีตรับกำลังแรงอัดได้น้อย

เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 2 พบว่าการต้านทานการกัดกร่อนของสารละลายที่ไร้สารตัวอย่างน้อยแต่การต้านทานการกัดกร่อนของกรดและเบสเพิ่มขึ้น และคอนกรีตรับกำลังแรงอัดได้น้อย

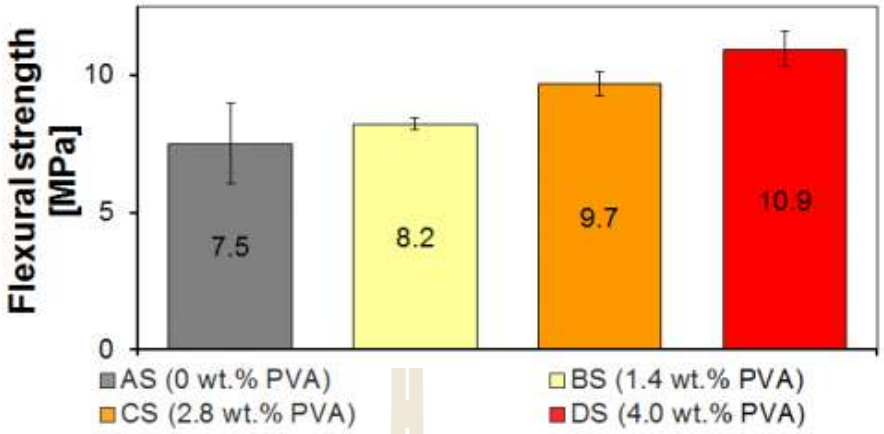
Allahverdi (2009) ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของอัตราส่วนของซีเมนต์เพสต์ที่ใช้น้ำเป็นส่วนผสมกับซีเมนต์เพสต์ที่ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยศึกษาผลกระทบด้วยกำลังดัดโดยจากผลการศึกษาจะพบว่าเมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ไม่เหมาะสมนั้น ส่งผลทำให้กำลังดัดมีค่าลดลง แต่เมื่อปริมาณน้ำมีอัตราส่วนเหมาะสม จึงส่งผลไปถึงกำลังดัดเมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงดัดจะเพิ่มขึ้นดังจะแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดซีเมนต์เพสต์ ปอร์ตแลนด์ต่อ
ปริมาณของพอลิเมอร์ของอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

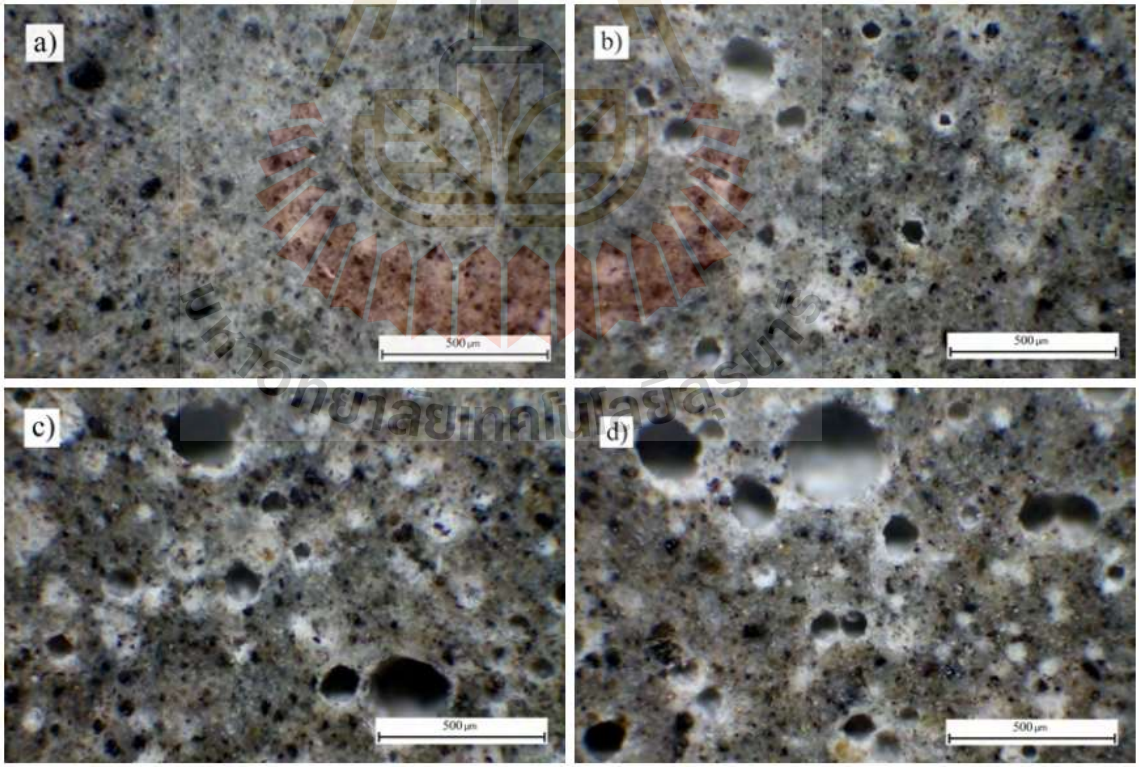
รูปที่ 2.3 ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.28 พบว่าเมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงดัดมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำในอัตราส่วนน้อยไม่เหมาะสม จึงส่งผลถึงกำลังดัด ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.32 พบว่าเมื่อเพิ่มลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น กำลังดัดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อถึงอัตราส่วน 0.016 คืออัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จึงทำให้ซีเมนต์เพสต์ มีกำลังดัดมากที่สุด ในอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 พบว่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม ที่ทำให้ซีเมนต์เพสต์ มีกำลังดัดที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.30

Jaroslav (2015) ศึกษาคุณสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ใช้ในการปรับปรุงซีเมนต์เพสต์ในงานคอนกรีต พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ได้ถูกนำมาใช้ปรับปรุงสำหรับงานคอนกรีต งานอาคาร ต่างๆ เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เมื่อทำการผสมในซีเมนต์เพสต์ส่งผลทำให้ซีเมนต์เพสต์มีกำลังดัดเพิ่มมากขึ้น มีความยืดหยุ่นสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 แต่จะส่งผลให้มีช่องว่างในซีเมนต์เพสต์มากขึ้นตามอัตราส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เนื่องจากมีช่องว่างในอากาศเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.6



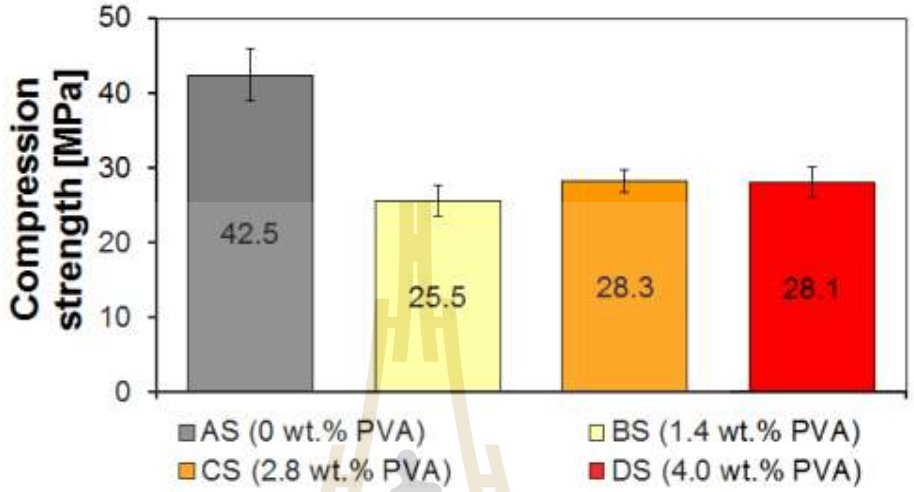
รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดของคอนกรีตต่ออัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35

รูปที่ 2.4 เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้กำลังดัดของซีเมนต์เพสต์มีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์



รูปที่ 2.5 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 โดยที่ ภาพ (a) เติม PVA ร้อยละ 0 (b) เติม PVA ร้อยละ 1.4 (c) เติม PVA ร้อยละ 2.8 (d) เติม PVA ร้อยละ 4.0

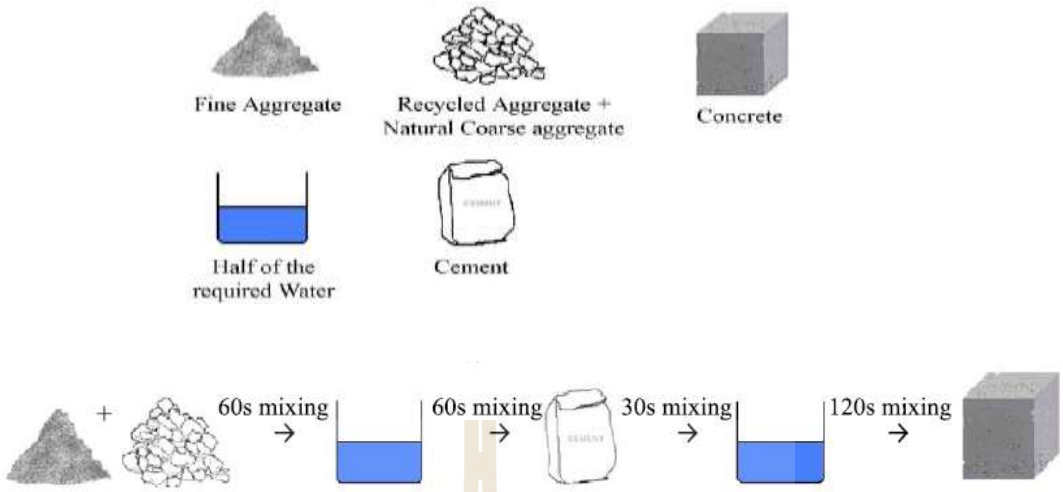
รูปที่ 2.5 พบว่าเมื่อเดิมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มากขึ้น จะทำให้เกิดช่องว่างในคอนกรีตมากขึ้น เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ส่งผลต่อความหนืดของน้ำที่ใช้ในการผสมซีเมนต์เพสต์ ส่งผลให้เกิดฟองอากาศในคอนกรีตขณะผสม ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดต่ำลงได้



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตต่ออัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35

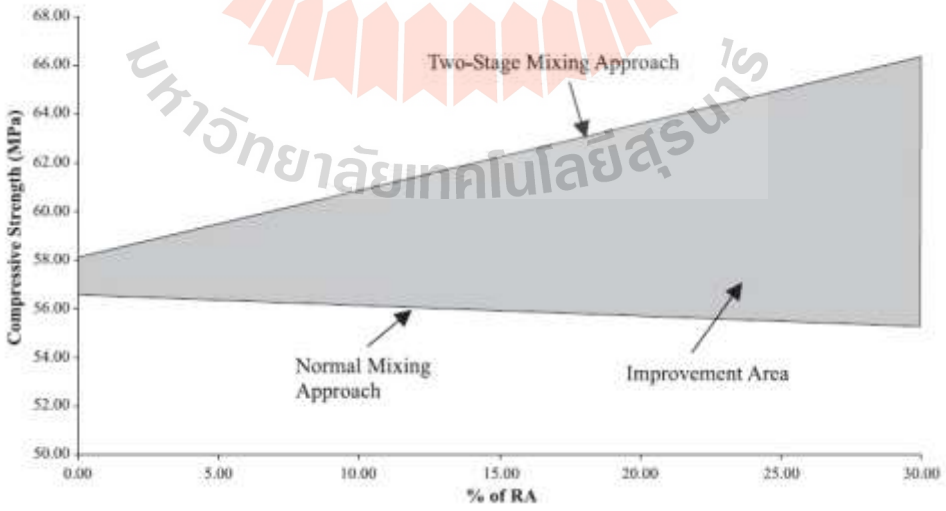
รูปที่ 2.6 การเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้กำลังอัดของซีเมนต์เพสต์มีค่าลดลงเมื่อทำการผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลงไปในซีเมนต์เพสต์

Tam et al. (2004) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการใหม่ในการผสมคอนกรีตคือ ขั้นตอนวิธีการผสมแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA) ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 2.7 เพื่อปรับปรุงกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นคอนกรีตรีไซเคิลเนื่องด้วยเหตุที่ธรรมชาติของคอนกรีตรีไซเคิลนั้นมีรูพรุนกระบวนการผสมแบบ TSMA นั้นจะเข้าไปช่วยปิดรูพรุนและรอยแตกบางส่วน ส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่ดีขึ้นและทำให้มีความแข็งแรงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการผสมแบบดั้งเดิมซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.8 ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบ TSMA และคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบปกติ



รูปที่ 2.7 สัญลักษณ์ภายในรูปและขั้นตอนการผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA)

รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการผสมแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA) ที่นำมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดผสมให้เข้ากันในระยะเวลา 60 วินาที จากนั้นเติมน้ำ 1:2 ของน้ำที่ใช้ในการผสม ผสมให้เข้ากันในระยะเวลา 60 วินาที จากนั้นเติมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมในระยะเวลา 30 วินาที เพิ่มน้ำที่เหลือลงไปในการผสมและผสมต่ออีก 120 วินาที จึงจบขั้นตอนการผสมแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA)



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบดั้งเดิมและคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบ Two Stage Mixing Approach

รูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบดั้งเดิมนั้นมีกำลังอัดน้อยกว่าคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA)นั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการผสมแบบใหม่นี้สามารถปรับปรุงกำลังอัดของคอนกรีต RCA ได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ คอนกรีตรีไซเคิล และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15
2. ทราย ใช้ทรายน้ำจืด
3. น้ำ ใช้น้ำประปา
4. คอนกรีตรีไซเคิล ที่ได้จากการบดคอนกรีตที่ได้จากการรื้อถอนโครงสร้างคอนกรีต ใช้แทนหินแกรนิตในปริมาณร้อยละ 100
5. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นสารประกอบตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตกาวลาเท็กซ์
6. เถ้าลอย

3.2 รายละเอียดวิธีการศึกษา

สำหรับรายละเอียดวิธีการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตรีไซเคิลที่นำมาใช้แทนหินแกรนิต เถ้าลอยผสมกับปูนซีเมนต์และการเติม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อเป็นส่วนผสมในการทำคอนกรีต

3.2.1 กำหนดวัตถุประสงค์

ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุมวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิล เพื่อช่วยในการลดปริมาณวัสดุในงานก่อสร้าง เปรียบเทียบความคุ้มค่าในการใช้วัสดุเหลือใช้ (RCA) มาทดแทนหินจากธรรมชาติในการทำถนนคอนกรีต และศึกษาการพัฒนากำลังรับแรงอัดและกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากวัสดุรีไซเคิลผสมเถ้าลอยและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างก่อนทำการทดสอบ

3.2.2.1 การเตรียมตัวอย่างทำโดยแบบหล่อทำจากเหล็กทรงกระบอกโดยแบบหล่อตัวอย่างขนาด 10x20 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C39

รูปที่ 3.1 แบบหล่อที่ใช้การการทดลอง

3.2.2.2 ปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์ (PVA) ที่ใช้ในการผสม เท่ากับร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ และค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่า 0.5

3.2.2.3 อัตราส่วนเถ้าลอยต่อปูนซีเมนต์ (FA/c) เท่ากับ 0:100 10:90 20:80 และ 30:70

3.2.2.4 คอนกรีตรีไซเคิลที่ใช้เป็นมวลรวมหยาบนั้น ต้องทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำโดยการแช่น้ำ ที่ 24 ชั่วโมง

3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.3.1 ผสมคอนกรีตด้วยโม่ผสมคอนกรีตโดยใช้วิธีผสมแบบ Two-Stage Mixing Approach (TSMA) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการปรับปรุงคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบโดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

ก. ใส่คอนกรีตรีไซเคิล ที่ทำการแช่น้ำ 24 ชั่วโมงและทราย ลงในโม่ผสมคอนกรีต

ข. ปั่นโม่ผสมคอนกรีตให้ทรายและคอนกรีตรีไซเคิลเข้ากันใช้เวลา 30 วินาที

ค. ใส่น้ำลงไปในโม่ครึ่งหนึ่งของการผสมทั้งหมด แล้วปั่นโม่เป็นเวลาอีก 30 วินาที (น้ำที่ผสมจะมีส่วนผสมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ตามอัตราส่วนดังนี้ ร้อยละ 0 0.5 1 1.5 และ 2)

ง. ใส่ปูนซีเมนต์(ปูนซีเมนต์มีส่วนผสมเถ้าลอยในปริมาณต่างๆตามอัตราส่วนการแทนที่ เถ้าลอยต่อปูนซีเมนต์ (FA/c) ดังนี้ 0:100 10:90

20:80 30:70) ลงในโม่ แล้วปั่นโม่เป็นเวลา 1 นาทีจากนั้นก็ใส่น้ำอีกครั้งที่เหลือจากการผสม แล้วปั่นโม่เป็นเวลาอีก 2 นาที

3.2.3.2 ทำการเช็คค่าความยุบตัวของคอนกรีต (Slump)

3.2.3.3 นำคอนกรีตลงแบบหล่อที่จัดเตรียมไว้ ตามมาตรฐาน ASTM C39 จากนั้น 24 ชั่วโมงจากนั้นถอดแบบจะนำตัวอย่างไปบ่มในน้ำและนำมาทดสอบเมื่อมีอายุที่ 7 28 และ 60 วันตามลำดับ และนำไปทดสอบรับกำลังดึงแบบผ่าซีกและกำลังอัด บันทึกผล วิเคราะห์ผล ต่อไป

แผนผังแสดงขั้นตอนการปฏิบัติการทดลอง

รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการปฏิบัติการทดลอง

จากแผนผังขั้นตอนการปฏิบัติการทดลอง รูปที่ 3.2 แสดงถึงขั้นตอนการนำมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดผสมให้เข้ากันในระยะเวลา 60 วินาที จากนั้นเติมน้ำ 1:2 ของน้ำที่ใช้ในการผสม Two Stage Mixing Approach (TSMA) และขั้นตอนในการปฏิบัติการทดลองในงานวิจัยในด้านการนำคอนกรีตลงแบบหล่อ ระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต การทดสอบกำลังดึงแบบผ่าซีกและกำลังอัด และนำค่าที่ได้จากการทดลองมาสรุปและวิเคราะห์ผลต่อไป

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการวิจัยและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตก่อนทำการทดสอบ

Description			**Curing Temperature**	**Compressive and Spilt Tensile Strength**
W/Binder ratios	PVA (%)	Repleacement of FA : Cement (FA/c)		
0.5	0	0 : 100	Curing in water	7, 28, 60 Days
	0.5	10 : 90		
	1	20 : 80		
	1.5	30 : 70		
	2			

จากตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนต่างๆที่ใช้ในการวิจัย อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้คือ 0.5 ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0:100 10:90 20:80 30:70 ระยะเวลาในการบ่มตัวอย่างคอนกรีต คือ 7 28 และ 60 วัน

ตารางที่ 3.2 ปริมาณส่วนผสมของการผสมคอนกรีตสำหรับใช้ในการหล่อตัวอย่าง

Mix	Mix Proportion (kg/m^3)				
	Cement	Fly Ash	PVA weight.	RCA[a]	Sand
PVA0FA0	417.4	0	-	1187	890
PVA0.5FA0	417.4	0	2.087	1185	873
PVA1FA0	417.4	0	4.174	1191	874
PVA1.5FA0	417.4	0	6.261	1182	867
PVA2FA0	417.4	0	8.348	1178	864
PVA0FA10	417.4	41.7	-	1185	873
PVA0.5FA10	417.4	41.7	2.087	1192	877
PVA1FA10	417.4	41.7	4.174	1187	870
PVA1.5FA10	417.4	41.7	6.261	1173	860
PVA2FA10	417.4	41.7	8.348	1175	852
PVA0FA20	417.4	83.5	-	1174	860
PVA0.5FA20	417.4	83.5	2.087	1186	871
PVA1FA20	417.4	83.5	4.174	1189	873
PVA1.5FA20	417.4	83.5	6.261	1177	862
PVA2FA20	417.4	83.5	8.348	1184	869
PVA0FA30	417.4	125.22	-	1173	855
PVA0.5FA30	417.4	125.22	2.087	1193	878
PVA1FA30	417.4	125.22	4.174	1187	866
PVA1.5FA30	417.4	125.22	6.261	1169	854
PVA2FA30	417.4	125.22	8.348	1177	859

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเถ้าลอย รวมไปถึงคอนกรีตรีไซเคิล(RCA) และทราย ที่เติมเข้าไปในการหล่อตัวอย่างคอนกรีตในอัตราส่วนน้ำหนักที่ใช้ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร และอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมตัวอย่าง คือ ปูน : ทราย : รีไซเคิลคอนกรีต เท่ากับ 1.2 : 2.5 : 3.4

การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตด้านกำลังอัด

3.2.3.4 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ประยุกต์ใช้มาตรฐานอเมริกัน ASTM C39 ด้วยเครื่อง UTM (Universal Testing Machine) Compression Machine 200 ton ข้อมูลที่บันทึกในการทดสอบได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางตัวอย่างคอนกรีต กำลังอัดที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างคอนกรีตวิบัติ

3.2.4 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตด้านแรงดึงผ่าซีก (Spilt Tensile Strength)

3.2.4.1 กำลังรับแรงดึงผ่าซีกของคอนกรีต ประยุกต์ใช้มาตรฐานอเมริกัน ASTM C496 ด้วยเครื่อง Compression Machine 200 ton ข้อมูลที่บันทึกในการทดสอบได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางตัวอย่างคอนกรีต กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างคอนกรีตวิบัติ

3.2.5 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

กำลังต้านทานแรงหรือการรับแรง เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต ซึ่งมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น กำลังต้านทานแรงอัด เป็นต้น งานคอนกรีตทั่วไปนิยมทำการทดสอบหากำลังยึดเหนี่ยว และกำลังต้านทานแรงอัดเป็นต้น งานคอนกรีตทั่วไปนิยมทำการทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดเป็นหลัก เพื่อนำผลไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของงานและยังใช้เป็นตัวบ่งบอกให้ทราบถึงคุณสมบัติด้านอื่นได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะกำลังต้านทานแรงอื่น ๆ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังต้านทานแรงอัด การทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตทำได้โดยการกดหรืออัดแท่งทดสอบรูปลูกบาศก์ตามมาตรฐานอังกฤษ หรือรูปทรงกระบอกตามมาตรฐานอเมริกัน ซึ่งบ่มชื้นตามระยะเวลาที่กำหนด จนกระทั่งแตก แล้วทำการคำนวณหาค่าความต้านทานแรงอัดประลัย มีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม หรือ ปอนด์/ตร.นิ้ว ก้อนตัวอย่างมาตรฐานที่ทำเพื่อทดสอบกำลังอัดที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายมี 2 รูปทรงคือ

1. รูปทรงกระบอก เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา ขนาดที่ใช้คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.
2. รูปทรงลูกบาศก์ เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอังกฤษขนาดที่ใช้คือขนาด 15x15x15 ซม. กำลังอัดของ 2 รูปทรงนี้จะแตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้ส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกัน โดยกำลังอัดด้วยตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะมีค่าน้อยกว่ากำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบ
   - แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกดก่อให้เกิด Confining Stress ซึ่งจะมีผลทำให้ค่ากำลังอัดของรูปทรงลูกบาศก์ที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง
   - องค์ประกอบเรื่องความชะรูด กล่าวคือเนื่องจากรูปทรงกระบอกมีความสูงมากกว่าด้านกว้างทำให้ผลด้าน Confining Stress ลดลงอย่างมาก ตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของวิศวกรรม

3.2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

3.2.6.1 คุณสมบัติของวัสดุผสมปูนซีเมนต์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก ทั้งนี้เพราะว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภท จะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้แม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกัน แต่มีความละเอียดแตกต่างกันแล้ว อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตก็จะแตกต่างไปด้วยคือ ถ้าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากก็จะให้กำลังสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

3.2.6.2 มวลรวม มวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์ อย่างไรก็ดีมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อย ซึ่งมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมหรือผิวหยาบจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตดีกว่าพวกกรวกที่มีผิวเกลี้ยง ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก สำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถเทได้เท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ จึงมักให้กำลังดีกว่า ส่วนขนาดคละของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในแง่ที่ว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีส่วนขนาดคละไม่เหมาะสม คือมีส่วนละเอียดมากเกินไปนั้น จะต้องการปริมาณน้ำมากกว่ามวลรวมที่มีส่วนคละที่ดี เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้เท่ากัน อีกทั้งยังก่อให้เกิดฟองอากาศแทรกตัวอยู่ในเนื้อคอนกรีตเป็นจำนวนมากกว่าส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลงได้ นอกจากนี้ความสะอาดของมวลรวมก็จะมีผลต่อกำลังของคอนกรีต เช่นกัน

3.2.6.3 น้ำ น้ำมีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใส และปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำที่เกลือคลอไรด์ผสมอยู่ จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตในระยะต้นสูง น้ำขุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่ จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารแขวนลอยนั้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาและวิเคราะห์ผลข้อมูล จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีต รีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อเป็นการต่อยอดงานวิจัย และศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุของเสีย นำกลับมาใช้ใหม่ งานวิจัยดังกล่าวจึงได้ศึกษาและทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น เช่น กำลังอัดและดัด รวมไปถึงคุณสมบัติของวัสดุประสานที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ สารประกอบเคมี ซึ่งใช้ภาพถ่ายขยายกำลังสูงอธิบายผลข้อมูลของแต่ละตัวอย่าง เช่น ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค ควบคู่กับการใช้องค์ประกอบทางเคมีของคอนกรีตแต่ละตัวอย่างและ อธิบายผลข้อมูล

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีครั้งนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 แทนที่เถ้าลอยในปูนซีเมนต์ (FA/c) ในอัตราส่วนดังนี้ 10/90 20/80 และ 30/70 และปริมาณ PVA ร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

4.1.1 ความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

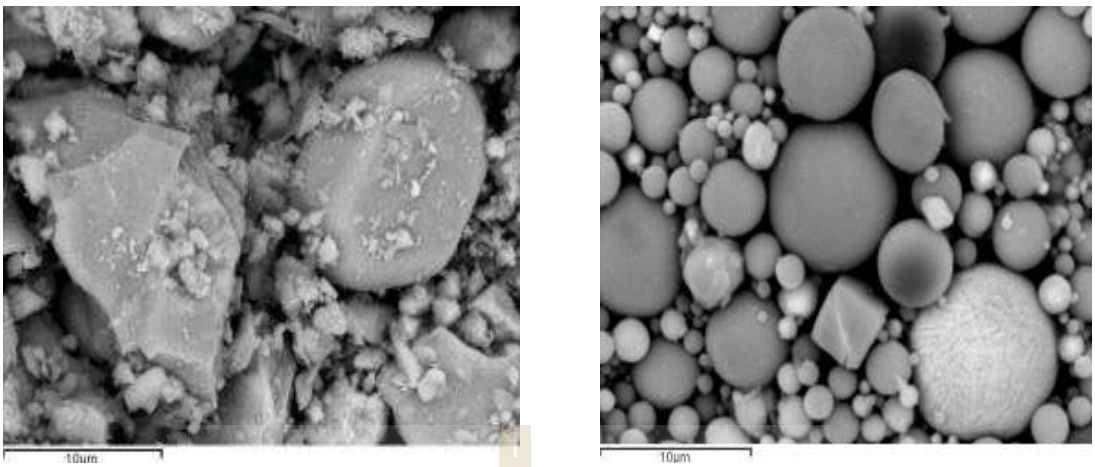
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 เถ้าลอย มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.39 และโพลีไวนิลแอลกอฮอล์มีมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.27-1.31

ตารางที่4.1 ความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

รายการ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	เถ้าลอย (Fly ash)	โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)
ความถ่วงจำเพาะ	3.15	2.39	1.27-1.31

4.1.2 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของอนุภาคของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

รูปที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายขยายกำลังสูงของอนุภาคของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา โดยวิธี SEM (Scanning Electronic Microscope) ซึ่งขยาย 3,500 เท่า พบว่าลักษณะของอนุภาคซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (รูปที่ 4.1 (ก)) มีลักษณะเป็นเหลี่ยมคม ผิวขรุขระ ขนาดไม่แน่ไม่นอนแตกต่างกันไปกระจายตัวอยู่ทั่ว ส่วนอนุภาคของเถ้าลอย (รูปที่ 4.1 (ข)) พบว่ามีลักษณะที่แตกต่างจากอนุภาคของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 โดยจะมีลักษณะที่กลมและมีผิวเรียบ



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายกำลังขยายสูง 3,500 เท่าของ (ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 (YONGYUT, 2011) (ข) เถ้าลอย (Fly ash) (YONGYUT, 2011)

4.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 4.2 แสดงถึงองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุใช้ในการศึกษาคือ

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 พบว่าปริมาณของ SiO_2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 20.9 SO_3 มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.7 Fe_2O_3 มีค่าเท่ากับร้อยละ 3.32 Al_2O_3 มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.7 CaO มีค่าเท่ากับร้อยละ 65.4 MgO มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.54 และ LOI มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.9
2) เถ้าลอย พบว่ามีปริมาณของ SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 มีค่าเท่ากับร้อยละร้อยละ 77.27 So_3 มีค่าเท่ากับร้อยละ 4.29 CaO มีค่าเท่ากับร้อยละ 11.3 MgO มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.69 Na_2O มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.81 K_2O มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.03 และ LOI มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.61 อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 618 จำแนกเป็นเถ้าลอย Class F

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 และเถ้าลอย

วัสดุ	ร้อยละ								
	SiO_2	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**SO_3**	**CaO**	**MgO**	**Na_2O**	**K_2O**	**LOI**
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1	20.9	2.7	3.32	4.7	65.4	2.54	NA	NA	0.9
เถ้าลอย	39.18	22.64	15.45	4.29	11.3	1.69	1.81	2.03	1.61

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีต โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และเถ้าลอย

ตารางที่ 4.3 แสดงถึงอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต ซึ่งน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้คือ 0.5 ปริมาณ PVA ที่ใช้คือร้อยละ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 10/90 20/80 และ 30/70 และระยะเวลาในการบ่มตัวอย่างคอนกรีต 7 28 และ 60 วัน

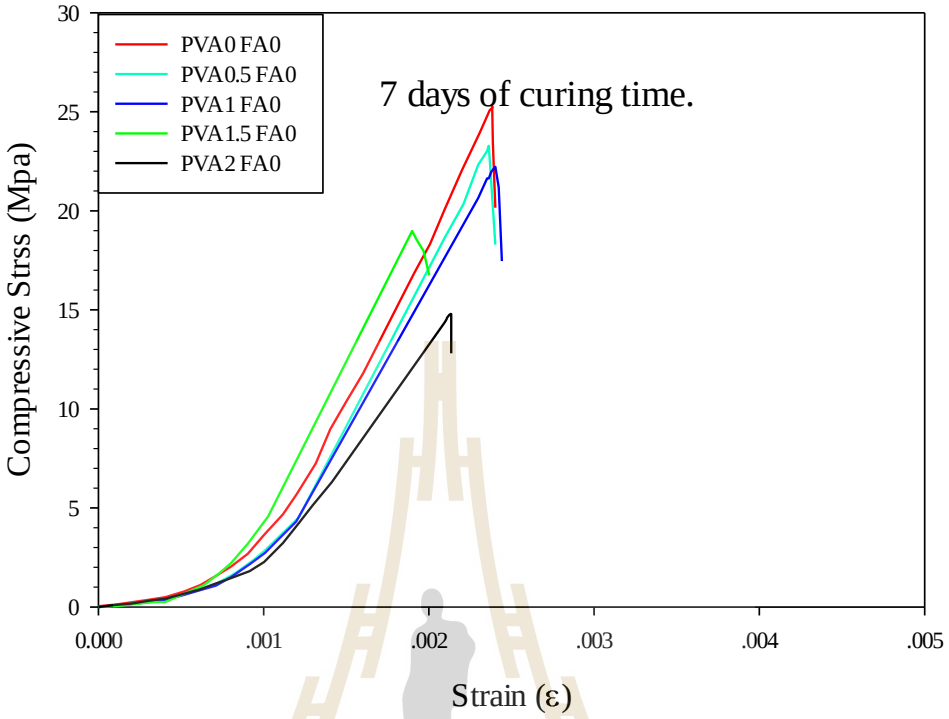
ตารางที่ 4.3 อัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต

Description			Curing Temperature	Compressive and Spilt Tensile Strength
W/Binder ratios	PVA (%)	Repleacement of FA : Cement (FA/c)		
0.5	0	0 : 100	Curing in water	7, 28, 60 Days
	0.5	10 : 90		
	1	20 : 80		
	1.5	30 : 70		
	2			

4.3 กราฟแสดงผลกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ (RCA) ปรับปรุงด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเถ้าลอย (FA) และแรงดึงผ่าซีกของตัวอย่าง (Spilt Tensile Strength)

4.3.1 อายุบ่ม 7 วัน

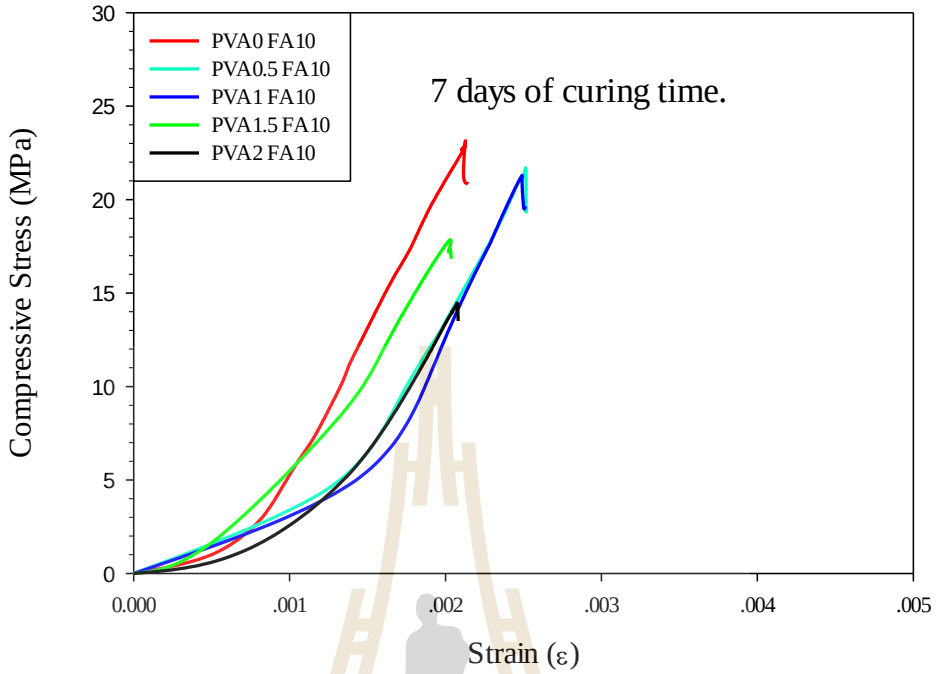
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 ที่อายุบ่ม 7 วัน

จากรูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c 0/100 ที่อายุบ่ม 7 วัน แสดงให้เห็นว่าที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0238 และมีกำลังอัดสูงสุดที่ 25.283 MPa ซึ่งเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มสูงขึ้น กำลังรับแรงอัดที่ได้มีค่าลดลงเท่ากับ 23.279 22.221 18.976 และ 14.790 MPa สำหรับปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 1 1.5 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเครียดในแต่ละปริมาณ PVA มีค่าดังนี้

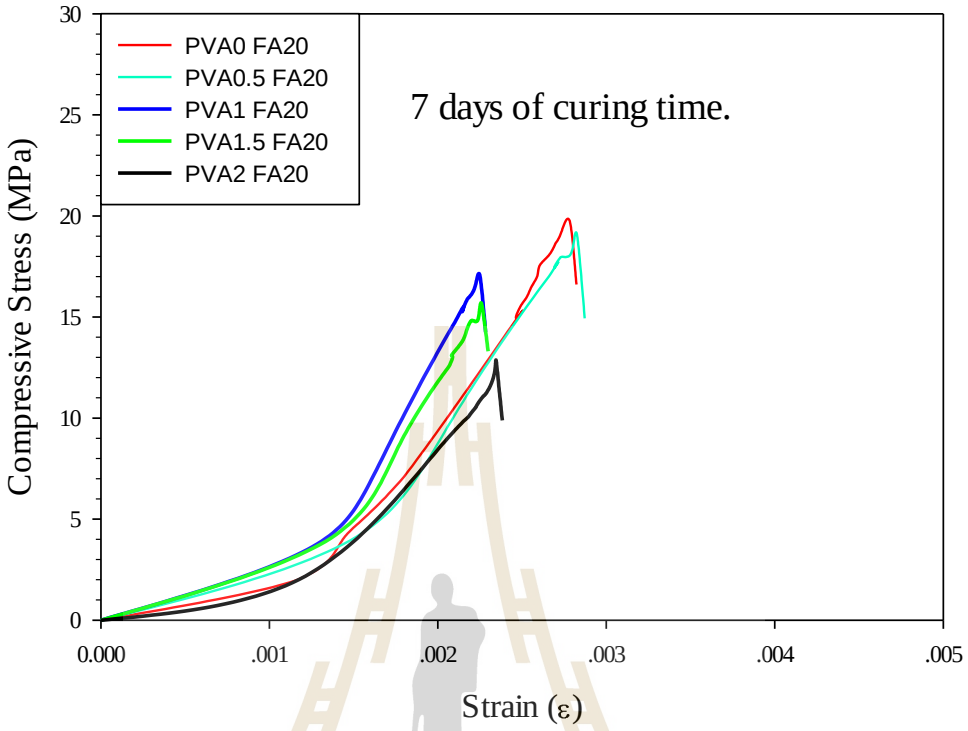
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00236
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่0.00240
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00189
และที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 2.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00213



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 10/90 และอายุบ่มที่ 7 วัน

จากรูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 10/90 และอายุบ่มที่ 7 วัน แสดงให้เห็นว่าที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0212 และมีกำลังอัดสูงสุดที่ 23.007 MPa ซึ่งเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มสูงขึ้น กำลังรับแรงอัดที่ได้มีค่าลดลงเท่ากับ 21.533 21.297 17.537 และ 14.424 MPa สำหรับปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 1 1.5 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเครียดแต่ละปริมาณ PVA มีค่าดังนี้

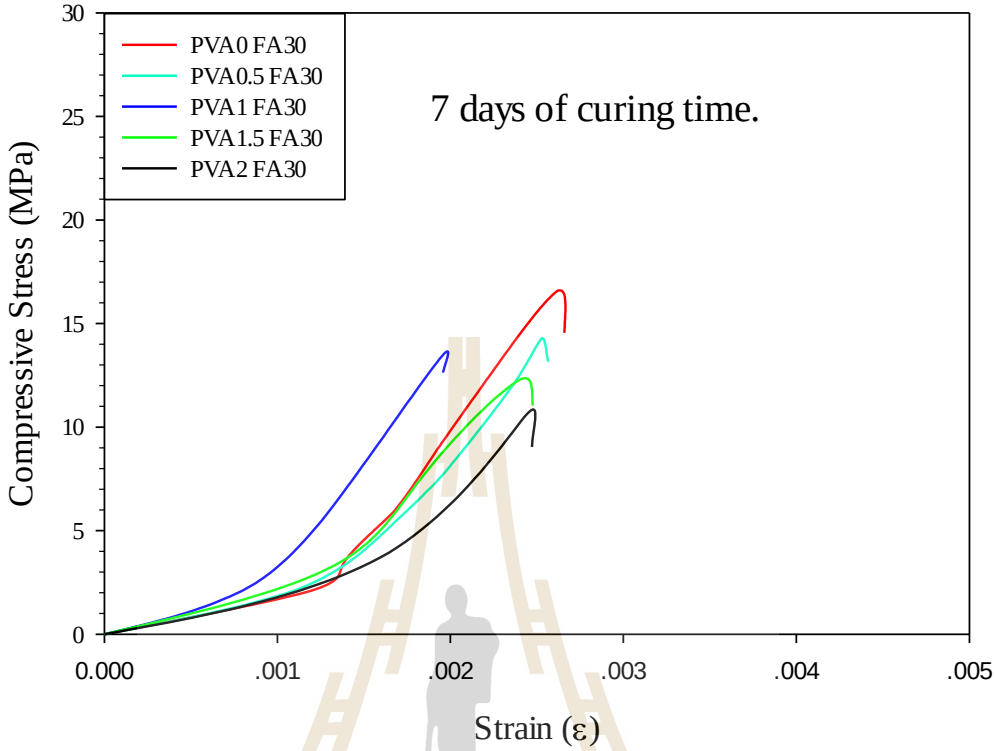
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00251
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00249
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00199
และที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 2.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00207



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA ร้อยละแตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 20/80 และอายุบ่มที่ 7 วัน

จากรูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 20/80 และอายุบ่มที่ 7 วัน แสดงให้เห็นว่า ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0278 และมีกำลังอัดสูงสุดที่ 19.744 MPa ซึ่งเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มสูงขึ้น กำลังรับแรงอัดที่ได้กลับมีค่าลดลงเป็น 19.005 17.070 15.679 และ 12.729 MPa สำหรับปริมาณ PVA เท่ากับ 0.5 1 1.5 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเครียดแต่ละปริมาณ PVA มีค่าดังนี้

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00282
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00249
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00225
และที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 2.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00234



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 30/70 และอายุบ่มที่ 7 วัน

จากรูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 30/70 และอายุบ่มที่ 7 วัน แสดงให้เห็นว่าจะแสดงให้เห็นว่าปริมาณ PVA ร้อยละ 0 มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0262 และมีกำลังอัดสูงสุดที่ 16.581 MPa ซึ่งเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มสูงขึ้น กำลังรับแรงอัดที่ได้กลับมีค่าลดลงเป็น 14.290 13.131 12.248 และ 10.621 MPa สำหรับปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 1 1.5 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเครียดแต่ละปริมาณ PVA มีค่าดังนี้

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0. 00253

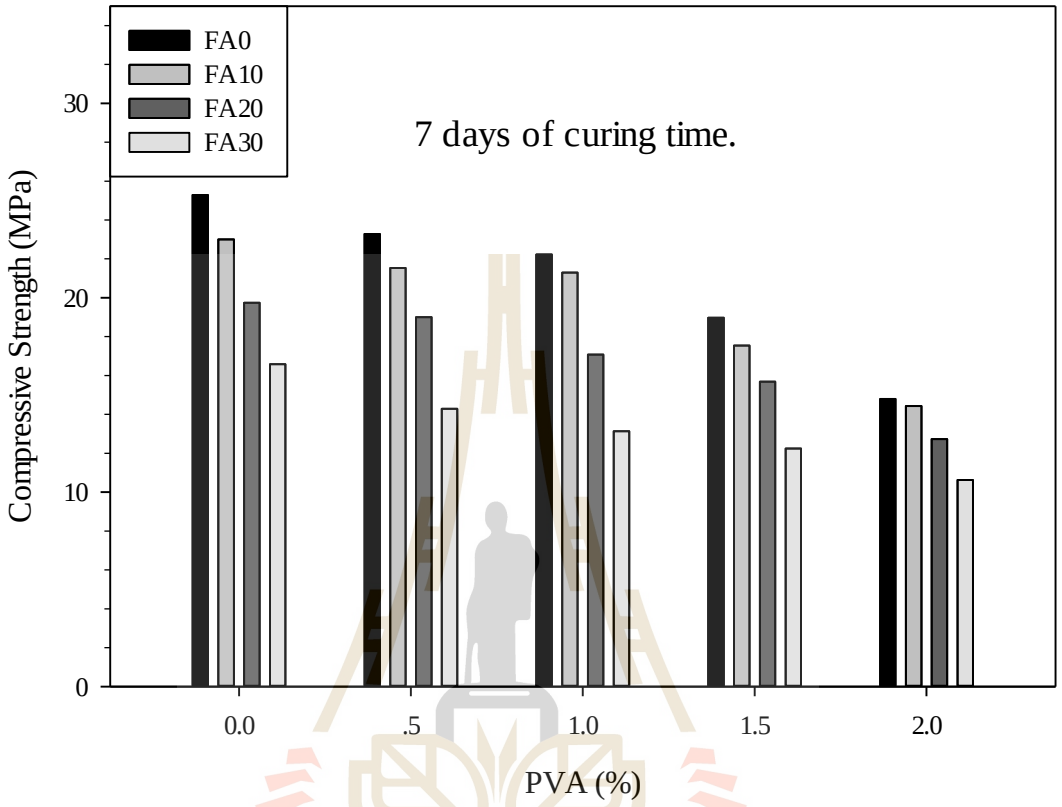
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00192

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.0239

และที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 2.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00244

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปริมาณ PVA ดังรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าว่าเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลง และเมื่อใช้อัตราส่วน FA/c

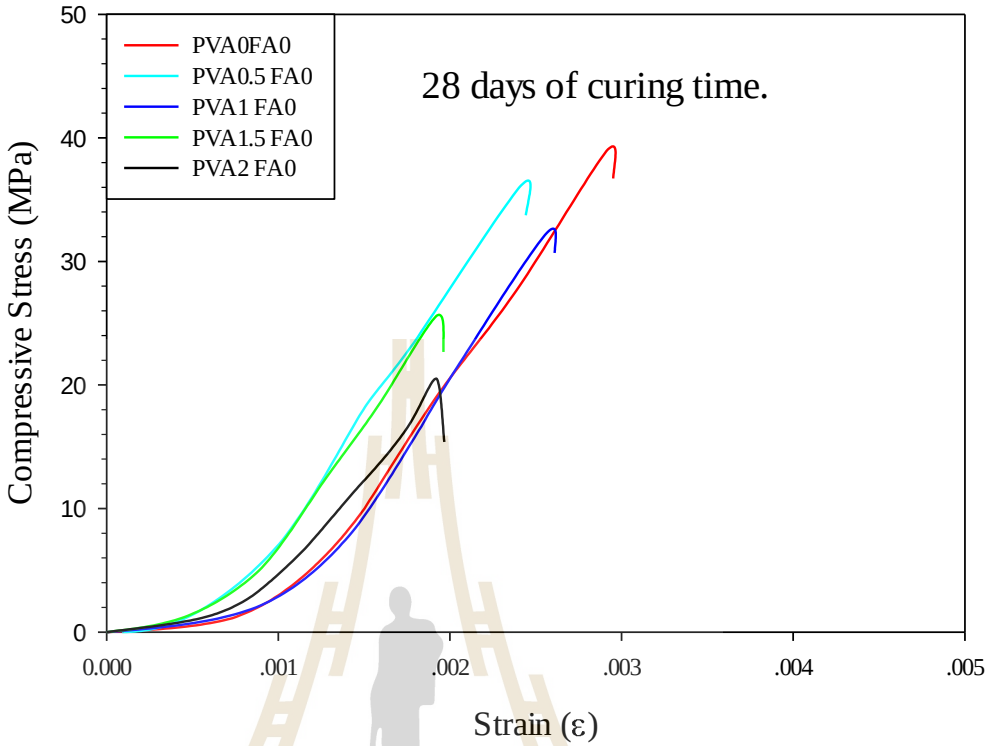
เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่ากำลังอัดมีค่าลดลง เช่นเดียวกัน โดยค่ากำลังอัดสูงสุดคือ 25.283 MPa ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 และอัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดต่อปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30/70 ที่อายุบ่ม 7 วัน

4.3.2 อายุบ่ม 28 วัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 ที่อายุบ่ม 28 วัน

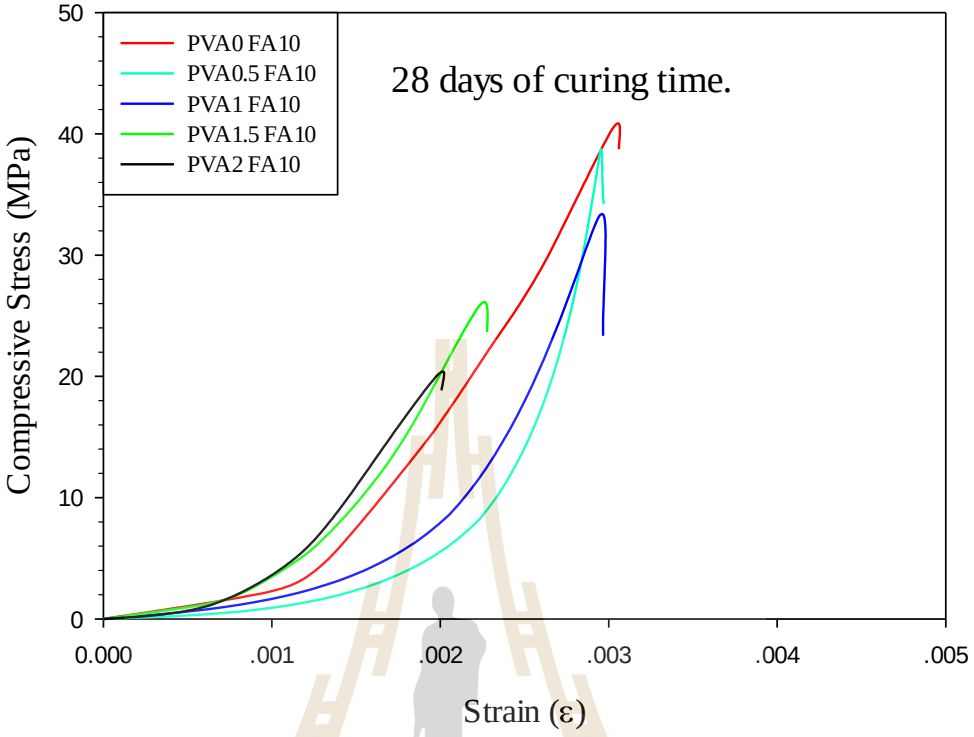
จากรูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 และอายุบ่มที่ 28 วัน แสดงให้เห็นว่า ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0291 และมีกำลังอัดสูงสุดที่ 38.929 MPa. ซึ่งเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มสูงขึ้น กำลังอัดมีค่าลดลงเท่ากับ 35.966, 32.328, 25.606 และ 20.505 MPa สำหรับปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเครียดแต่ละปริมาณ PVA มีค่าดังนี้

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00240

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00256

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00192

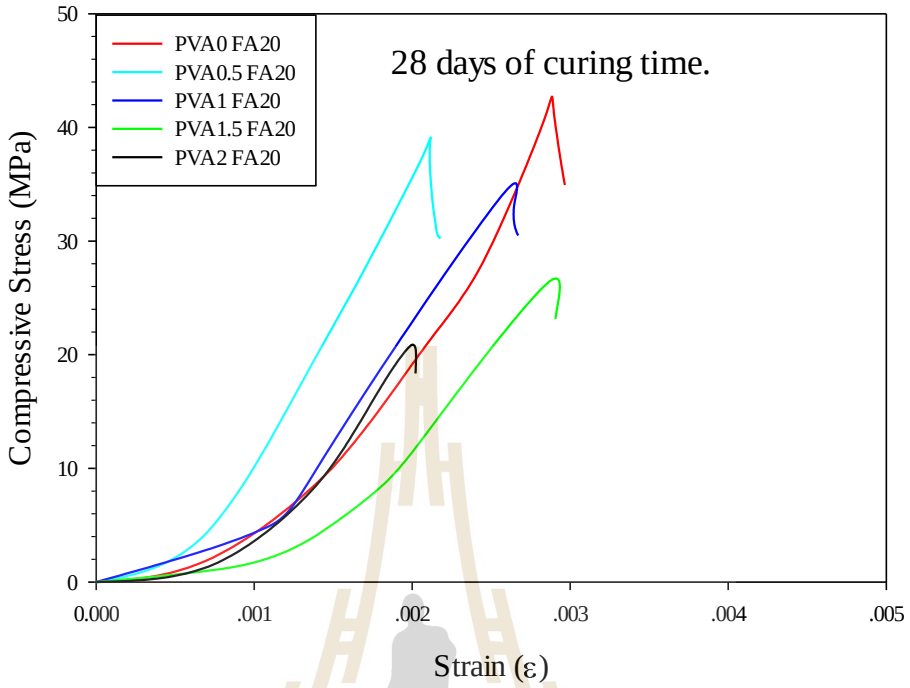
และที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 2.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00192



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 10/90 ที่อายุบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 10/90 และอายุบ่มที่ 28 วัน แสดงให้เห็นว่า ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0302 และมีกำลังอัดสูงสุดที่ 40.382 MPa ซึ่งเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มสูงขึ้น กำลังอัดมีค่าลดลงเท่ากับ 36.81 32.906 25.871 และ 19.862 MPa สำหรับปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเครียดในแต่ละปริมาณ PVA มีค่าดังนี้

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00374
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00391
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00223
และที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 2.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00196



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 20/80 ที่อายุบ่ม 28 วัน

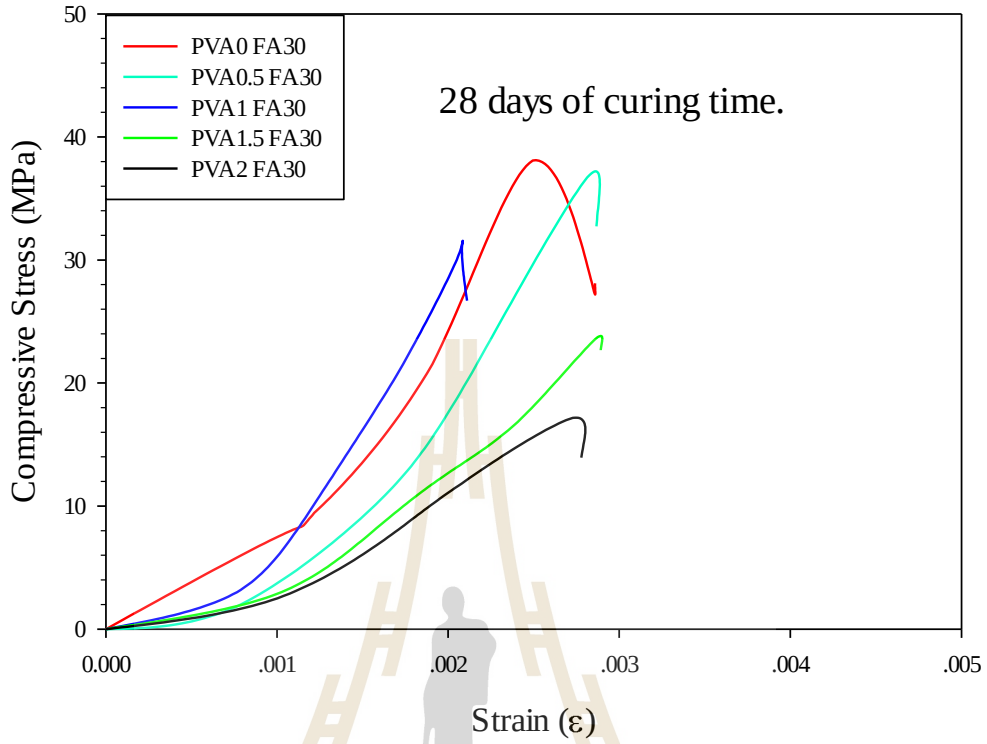
จากรูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 20/80 และอายุบ่มที่ 28 วัน แสดงให้เห็นว่า ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0307 และมีกำลังอัดสูงสุดที่ 41.960 MPa ซึ่งเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มสูงขึ้น กำลังอัดมีค่าลดลงเท่ากับ 38.039 33.211 26.442 และ 20.823 MPa สำหรับปริมาณ PVA ร้อยละ เท่ากับ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเครียดในแต่ละปริมาณ PVA มีค่าดังนี้

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00211

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00254

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00286

และที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 2.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00199



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 30/70 ที่อายุบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 30/70 และอายุบ่มที่ 28 วัน แสดงให้เห็นว่า ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0349 และมีกำลังอัดสูงสุดที่ 38.085 MPa ซึ่งเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มสูงขึ้น กำลังอัดมีค่าลดลงเท่ากับ 21.533 21.297 17.537 และ 14.424 MPa สำหรับปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเครียดแต่ละปริมาณ PVA มีค่าดังนี้

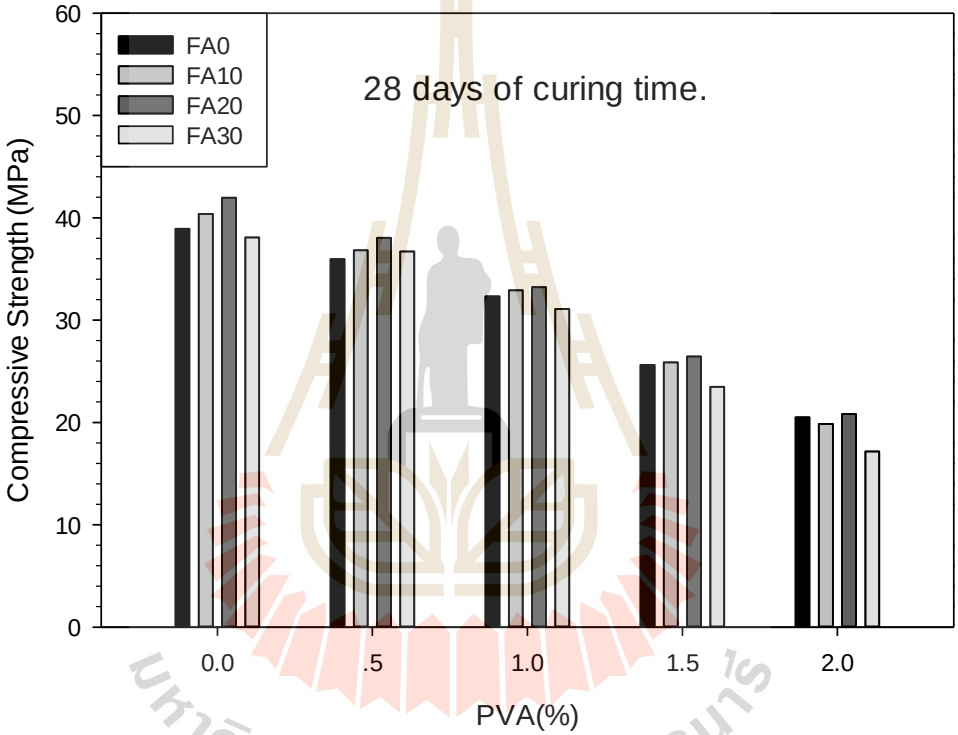
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00281

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00208

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00285

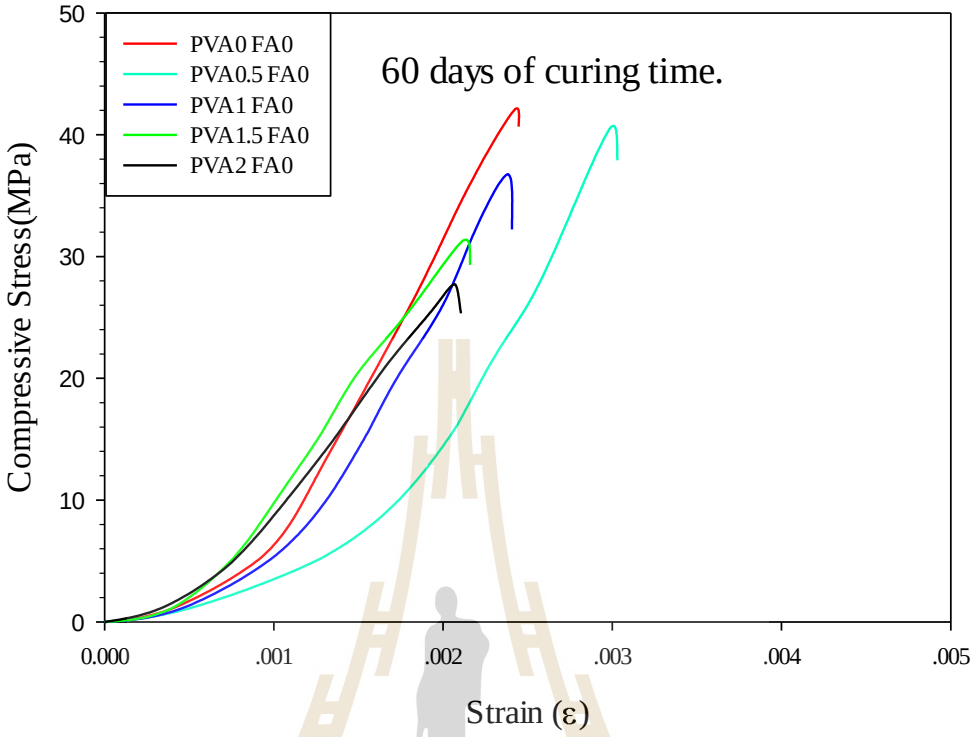
และที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 2.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00272

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปริมาณ PVA ดังรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มขึ้นกำลังอัดมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าการเติมโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไม่ส่งผลในการเพิ่มความสามารถในด้านกำลังอัดของคอนกรีต และเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้าลอย จนถึงอัตราส่วน FA/c เท่ากับ 20/80 จะส่งผลทำให้ค่ากำลังอัดเพิ่มมาก แต่ที่อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 30/70 กำลังอัดมีค่าลดลง จะเห็นว่าการใช้ปริมาณเถ้าลอยที่อายุบ่ม 28 วัน ที่อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 20/80 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 41.960 MPa ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดต่อปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30/70 ที่อายุบ่ม 28 วัน

4.3.3 อายุบ่ม 60 วัน



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/cเท่ากับ 0/100 ที่อายุบ่ม 60 วัน

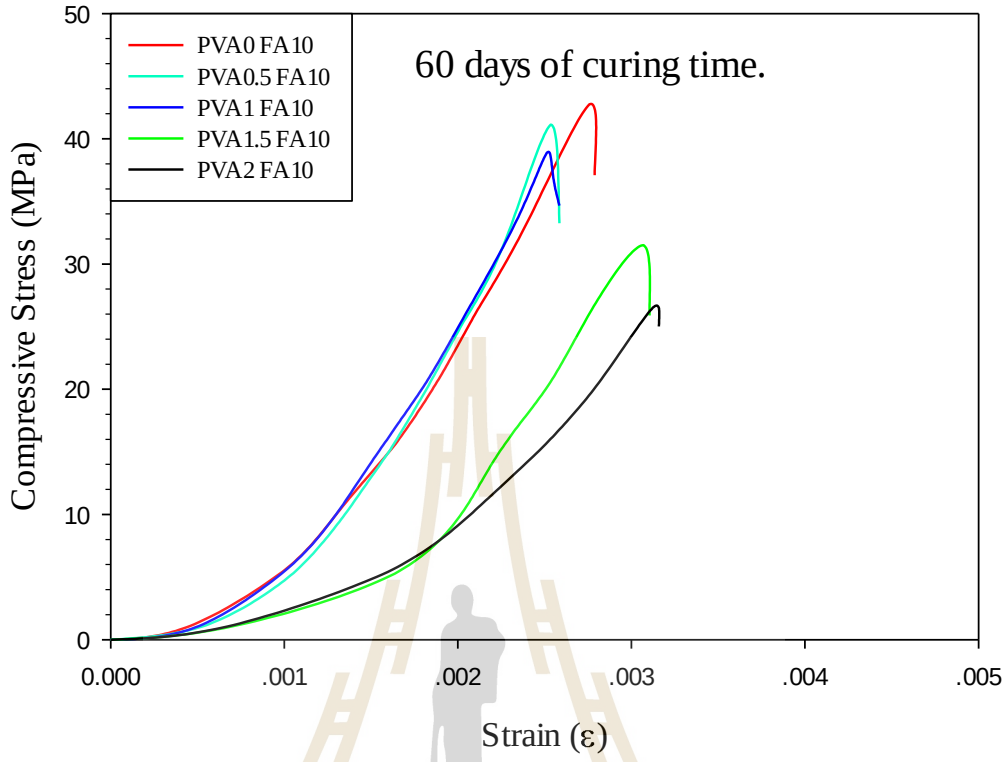
จากรูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 และอายุบ่มที่ 60 วัน แสดงให้เห็นว่า ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0242 และมีกำลังอัดสูงสุดที่ 42.119 MPa ซึ่งเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มสูงขึ้น กำลังอัดมีค่าลดลงเท่ากับ 40.608 36.769 31.290 และ 27.719 MPa สำหรับปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเครียดแต่ละปริมาณ PVA มีค่าดังนี้

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00299

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00238

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00211

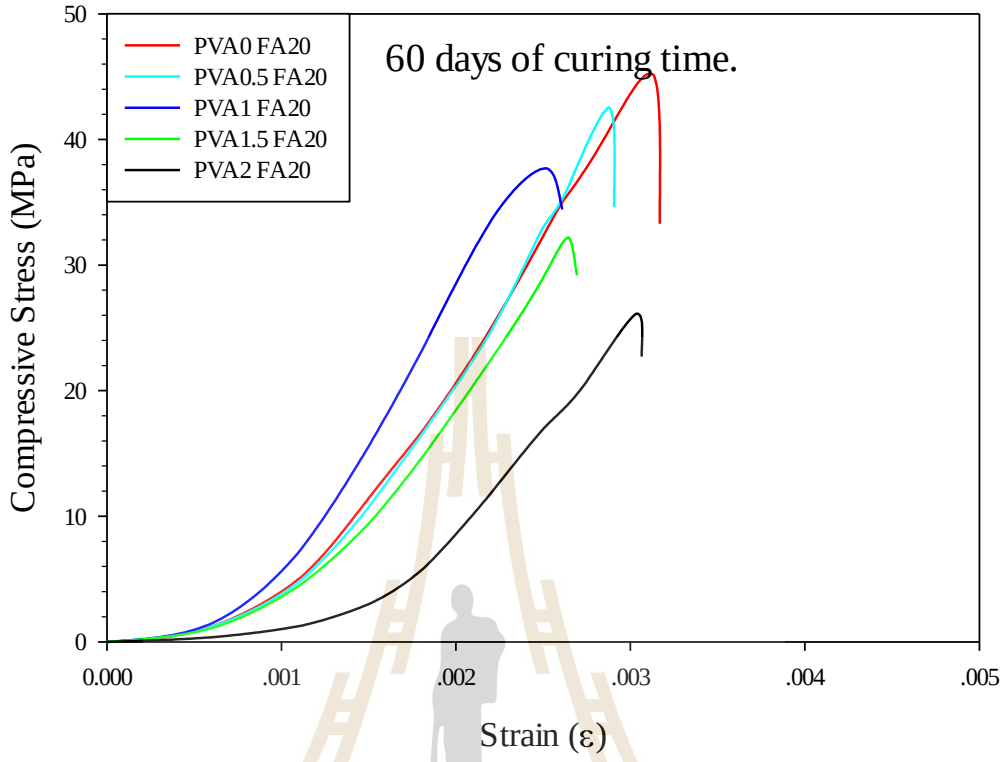
และที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 2.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00207



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/cเท่ากับ 10/90 ที่อายุบ่ม 60 วัน

จากรูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 10/90 และอายุบ่มที่ 60 วัน แสดงให้เห็นว่า ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0275 และมีกำลังอัดสูงสุดที่ 42.760 MPa ซึ่งเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มสูงขึ้น กำลังรับอัดมีค่าลดลงเท่ากับ 41.129 38.850 31.510 และ 26.519 MPa สำหรับปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเครียดแต่ละปริมาณ PVA มีค่าดังนี้

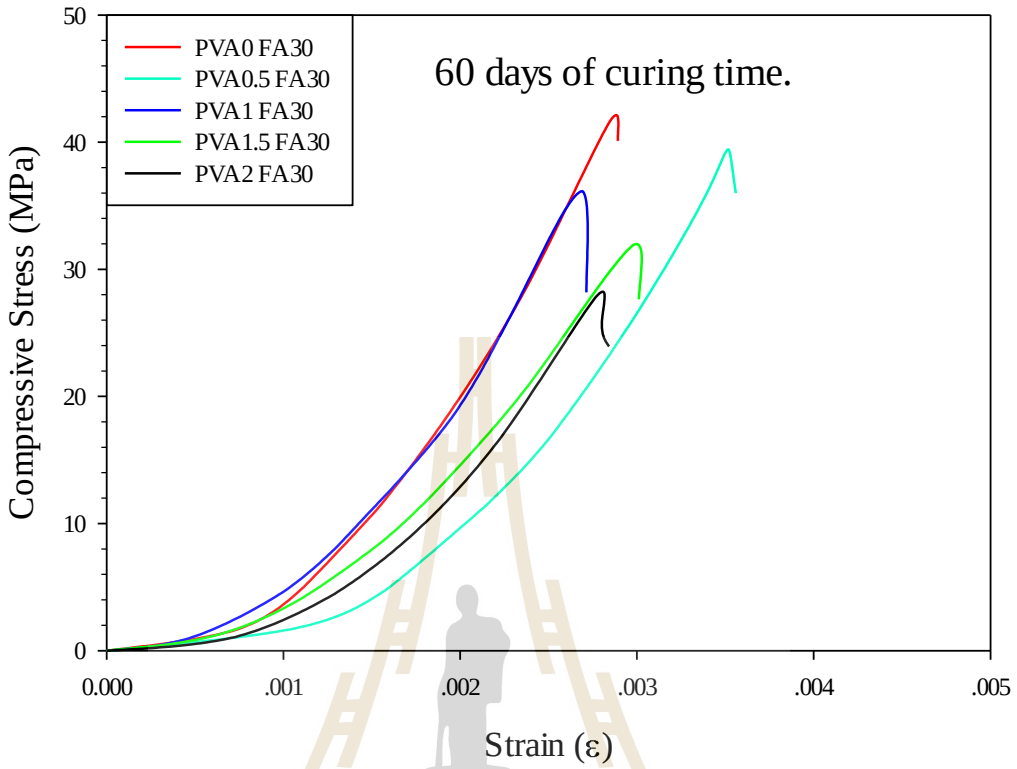
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00253
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00251
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00306
และที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 2.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00312



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/cเท่ากับ 20/80 ที่อายุบ่ม 60 วัน

จากรูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 20/80 และอายุบ่มที่ 60 วัน แสดงให้เห็นว่า ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0313 และมีกำลังอัดสูงสุดที่ 45.110 MPa ซึ่งเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มสูงขึ้น กำลังรับอัดมีค่าลดลงเท่ากับ 42.549 39.370 32.2 และ 26.1 MPa สำหรับปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเครียดแต่ละปริมาณ PVA มีค่าดังนี้

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00287
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00248
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00264
และที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 2.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00303



รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/cเท่ากับ 30/70 ที่อายุบ่ม 60 วัน

จากรูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดต่อค่าความเครียด ซึ่งมีปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 30 และอายุบ่มที่ 60 วัน แสดงให้เห็นว่า ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0284 และมีกำลังอัดสูงสุดที่ 41.529 MPa ซึ่งเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มสูงขึ้น กำลังอัดมีค่าลดลงเท่ากับ 39.420 36.131 31.929 และ 27.75 MPa สำหรับปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเครียดแต่ละปริมาณ PVA มีค่าดังนี้

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00351

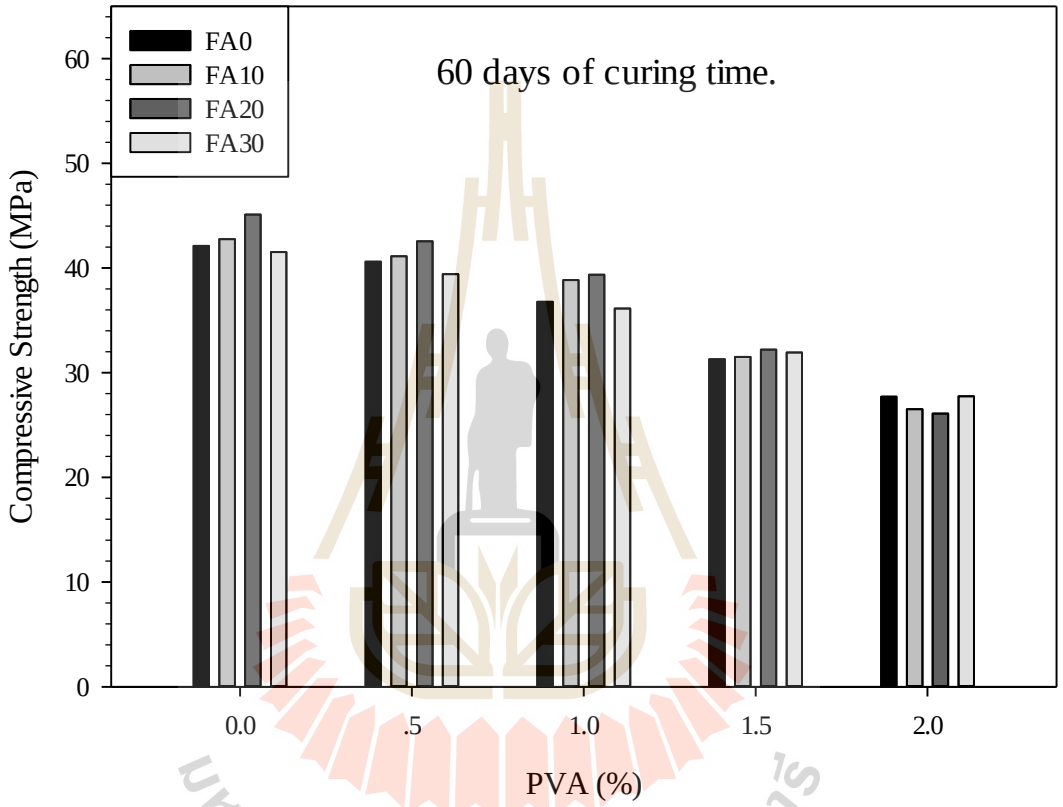
ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00269

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00298

และที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 2.0 มีค่าความเครียดสูงสุดที่ 0.00276

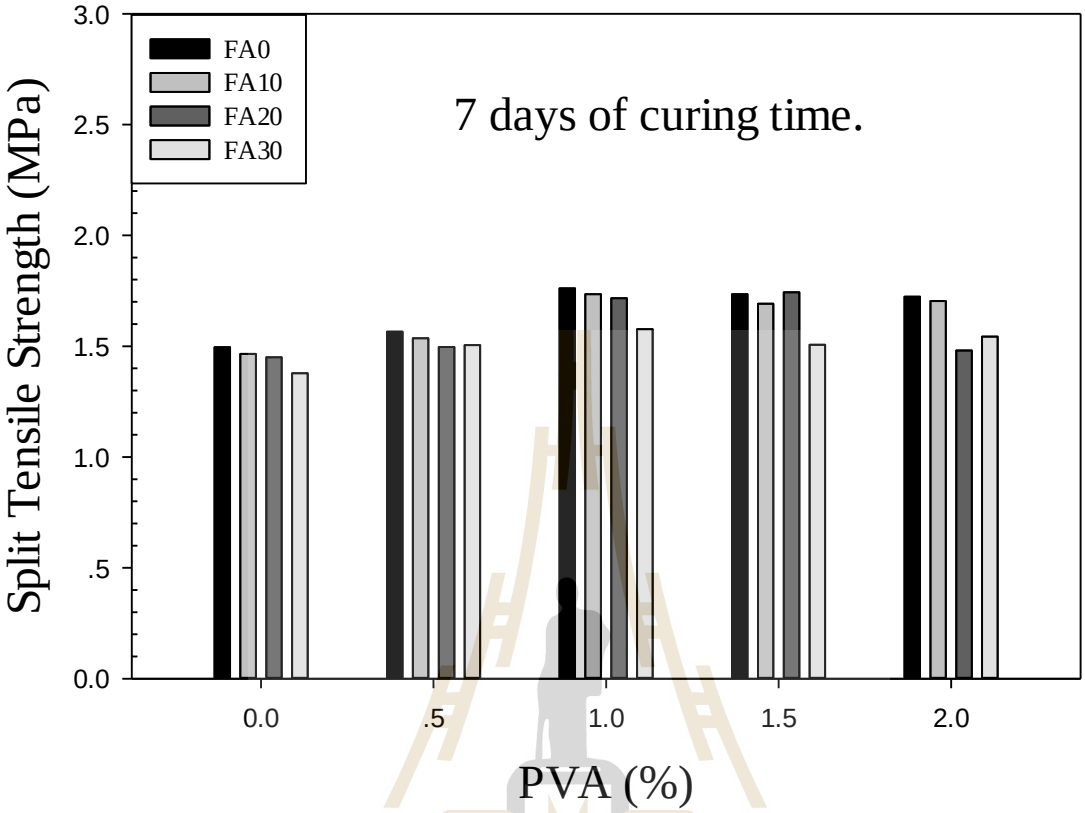
ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปริมาณ PVA ดังรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มขึ้นกำลังอัดมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าการเติมโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไม่ส่งผลในการเพิ่มความสามารถในด้านกำลังอัดของคอนกรีต และเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้าลอย จนถึง

อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 20/80 จะส่งผลทำให้ค่ากำลังอัดเพิ่มมาก แต่ที่อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 30/70 กำลังอัดมีค่าลดลง ยกเว้นที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 2.0 กำลังอัดมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้าลอย จนถึงอัตราส่วน FA/c เท่ากับ 20/80 หลังจากนั้นที่อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 30/70 กำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดต่อปริมาณ PVA แตกต่างกัน อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30/70 และอายุบ่มที่ 60 วัน

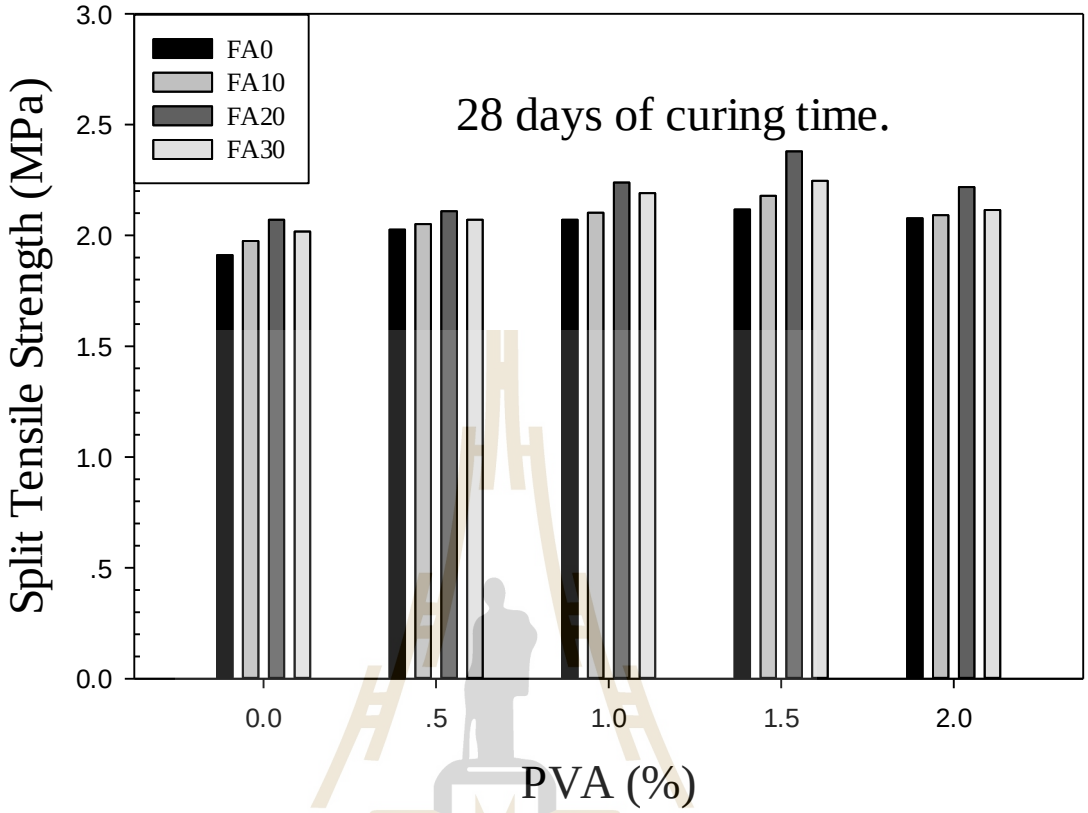
4.3.4 กำลังรับแรงดึงผ่าซีก (Spilt Tensile Strength) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ถึง 2.0 อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30 อายุบ่ม 7 วัน



รูปที่ 4.17 กำลังเฉือนดึง (Spilt Tensile Strength) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ถึง 2.0 อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30/70 อายุบ่ม 7 วัน

จากรูปที่ 4.17 เมื่อปริมาณ PVA เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้กำลังรับแรงดึงผ่าซีก(Spilt Tensile Strength) ของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าปริมาณ PVA ที่เพิ่มขึ้นส่งผลในการเพิ่มกำลังแรงดึงผ่าซีก(Spilt Tensile Strength) ของคอนกรีต ขณะที่เมื่ออัตราส่วน FA/c เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่ากำลังรับแรงดึงผ่าซีกง (Spilt Tensile Strength) ของคอนกรีตมีค่าลดลง โดยค่ากำลังรับแรงดึงผ่าซีก(Spilt Tensile Strength) สูงสุดอยู่ที่ 1.740 MPa ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 และอัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100

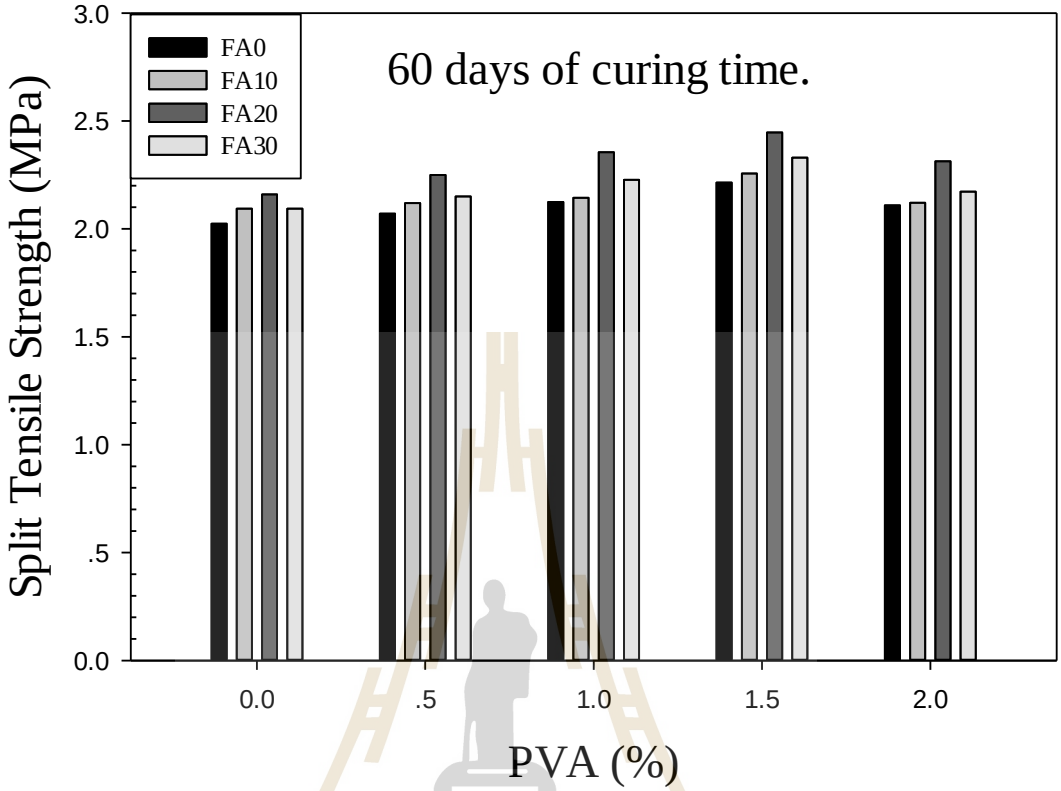
4.3.5 กำลังรับแรงดึงผ่าซีก (Spilt Tensile Strength) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ถึง 2.0 อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30 อายุบ่ม 28 วัน



รูปที่ 4.18 กำลังเฉือนดึง (Spilt Tensile Strength) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ถึง 2.0 อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30/70 อายุบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 4.18 เมื่อปริมาณ PVA เพิ่มขึ้นจนถึงร้อยละ 1.5 กำลังรับแรงดึงผ่าซีก(Spilt Tensile Strength) ของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นเมื่อปริมาณ PVA มีค่าเพิ่มขึ้นกำลังรับแรงดึงผ่าซีกมีค่าลดลง ขณะที่การเพิ่มอัตราส่วน FA/c จนถึง 20/80 ส่งผลให้กำลังรับแรงดึงผ่าซีก(Spilt Tensile Strength) ของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นเมื่ออัตราส่วน FA/c เพิ่มขึ้นกำลังเฉือนดึงมีค่าลดลง ตัวอย่างคอนกรีตมีค่ากำลังรับแรงดึงผ่าซีก(Spilt Tensile Strength) มากที่สุดที่ FA/c เท่ากับ 20/80 โดยค่ากำลังเฉือนดึง (Spilt Tensile Strength) สูงสุดเท่ากับ 2.29 MPa ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5

4.3.6 กำลังรับแรงดึงผ่าซีก (Spilt Tensile Strength) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ถึง 2.0 อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30/70 อายุบ่ม 60 วัน

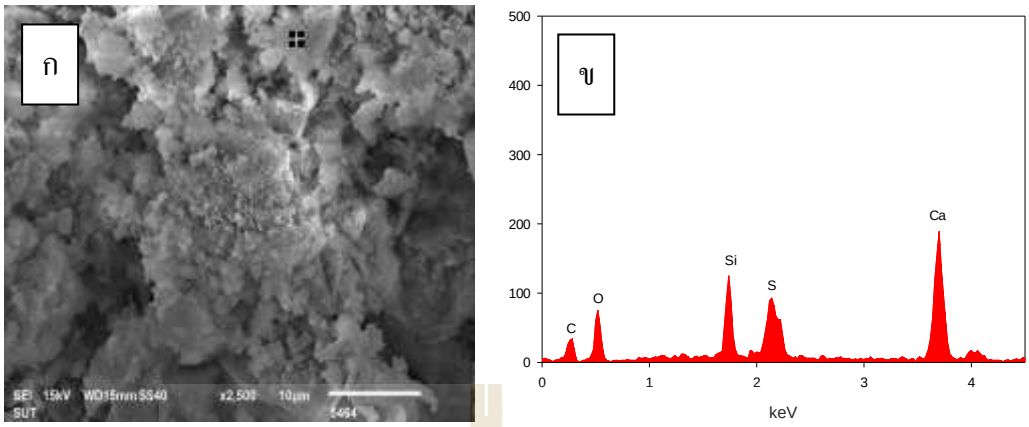


รูปที่ 4.19 กำลังเฉือนดึง (Spilt Tensile Strength) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ถึง 2.0 อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 0/100 10/90 20/80 และ 30/70 อายุบ่ม 60 วัน

จากรูปที่ 4.19 กำลังรับแรงดึงผ่าซีก (Spilt Tensile Strength) ของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ PVA จนถึงร้อยละ 1.5 หลังจากนั้นกำลังรับแรงดึงผ่าซีกมีค่าลดลง ขณะที่เมื่ออัตราส่วน FA/c เพิ่มขึ้นจนถึง 20/80 กำลังรับแรงดึงผ่าซีกมีค่าเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นกำลังรับแรงดึงผ่าซีกมีค่าลดลง ที่อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 20/80 ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 ตัวอย่างคอนกรีตมีค่ารับแรงดึงผ่าซีก(Spilt Tensile Strength) สูงที่สุดเท่ากับ 2.37 MPa

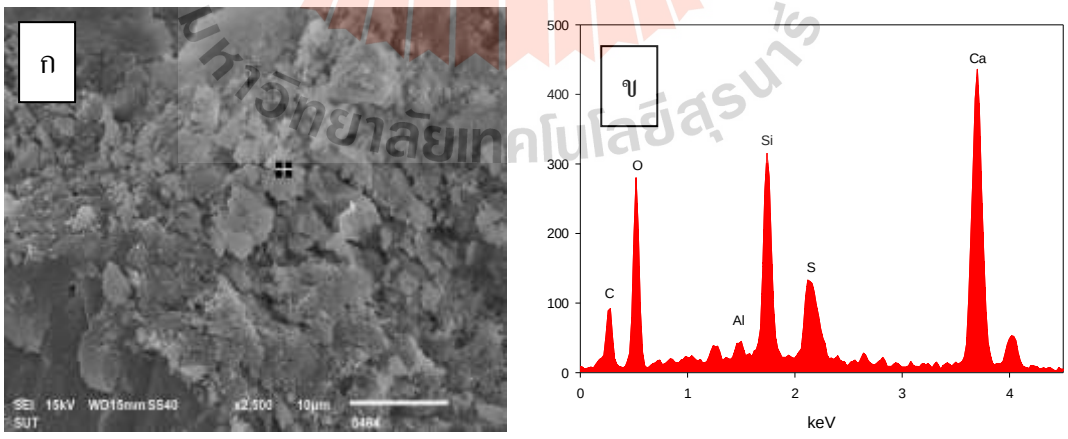
4.4 การวิเคราะห์ทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM and EDX analysis)

4.4.1 อิทธิพลของเถ้าลอยที่อายุบ่มที่แตกต่างกัน



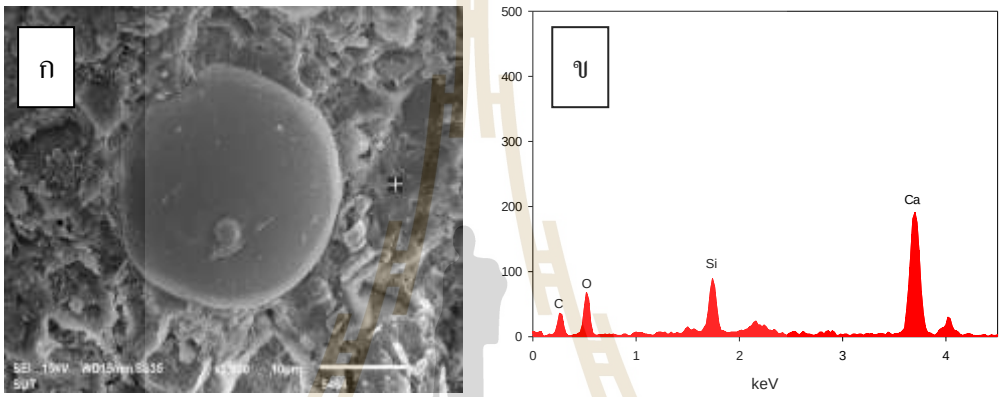
รูปที่ 4.20 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 0/100 ที่อายุบ่ม 7 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 0/100 ที่อายุการบ่มที่ 7 วัน

รูปที่ 4.20 (ก) แสดงภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 0/100 ที่อายุบ่ม 7 วัน จะเห็นว่าเมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งผลลัพธ์ของปฏิกิริยานี้คือสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานในคอนกรีต ซึ่งแสดงโดยปริมาณ Ca และ Si ในรูปที่ 4.20 (ข) ซึ่งสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อคอนกรีตมีอายุบ่มมากขึ้น



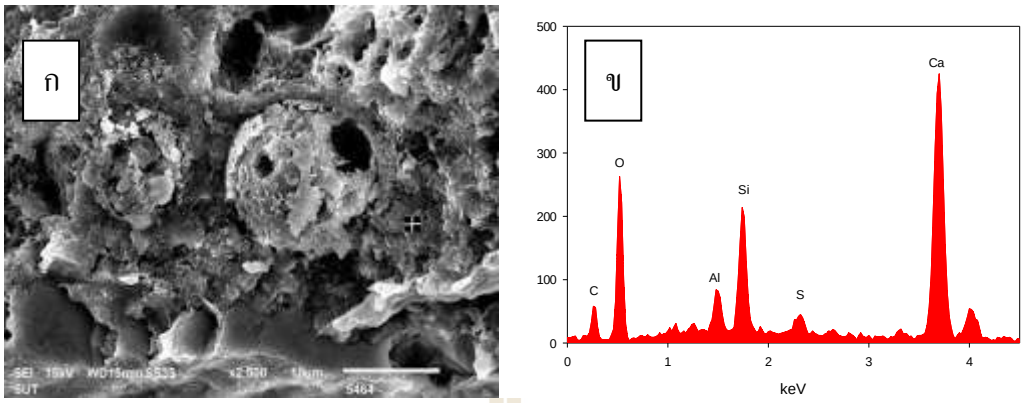
รูปที่ 4.21 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 0/100 ที่อายุบ่ม 60 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 0/100 ที่อายุการบ่มที่ 60 วัน

จากรูปที่ 4.21 (ก) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 อายุบ่มที่ 60 วัน สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) มีมากขึ้น และเข้าไปเติมเต็มช่องว่างระหว่างเมทริกซ์ของคอนกรีตส่งผลให้คอนกรีตหนาแน่นขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบผล EDX จากรูป 4.21 (ข) จากกราฟจะพบว่าที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ที่อายุบ่ม 60 วัน คอนกรีตจะมีการพัฒนากำลังสูงขึ้นเนื่องจากแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) เติบโตมากขึ้นเมื่ออายุบ่มมากขึ้น ทำให้มีปริมาณของ Ca และ Si มากขึ้น เมื่อเทียบกับผล EDX จากรูปที่ 4.20 (ข) จึงเป็นสาเหตุของการพัฒนากำลังเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอายุบ่ม 7 วัน



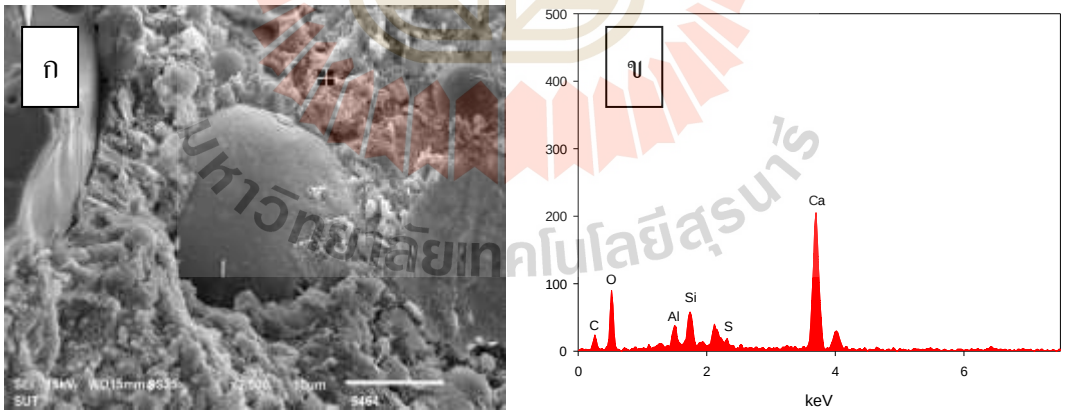
รูปที่ 4.22 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 10/90 ที่อายุบ่ม 7 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 10/90 ที่อายุการบ่มที่ 7 วัน

จากรูปที่ 4.22 (ก) จะเห็นได้ว่าเถ้าลอยยังมีลักษณะค่อนข้างสมบูรณ์ ซึ่งสารที่ถูกชะล้างบางส่วนไปได้เกิดเป็น C-S-H และ C-A-H เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานิค ซึ่งจากรูปที่ 4.22 (ข) จากกราฟจะเห็นได้ว่าปริมาณของ Ca และ Si มีปริมาณน้อย และยังไม่แสดงปริมาณของ Al เนื่องจากอายุบ่มเพียง 7 วัน



รูปที่ 4.23 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 10/90 ที่อายุบ่ม 60 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 10/90 ที่อายุการบ่มที่ 60 วัน

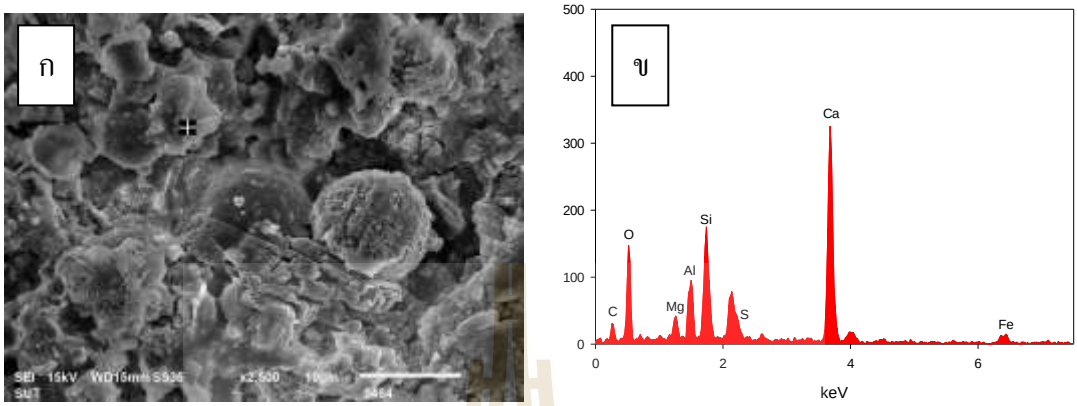
จากรูปที่ 4.23 (ก) จะเห็นได้ว่าที่อายุบ่ม 60 วัน เถ้าลอยมีลักษณะที่เสียหายอย่างมาก ซึ่งเกิดขึ้นจากการชะล้างสารประกอบ SiO_2 และ Al_2O_3 จากเถ้าลอยเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานิค สารที่ถูกชะล้างไปนี้ได้เกิดเป็น C-S-H และ C-A-H ซึ่งจากรูปที่ 4.23 (ข) จากกราฟจะเห็นได้ว่าปริมาณของ Ca Si และ Al มีค่าที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับ รูปที่ 4.22 (ข) ที่มีอายุบ่มน้อยกว่า



รูปที่ 4.24 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุบ่ม 7 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุการบ่มที่ 7 วัน

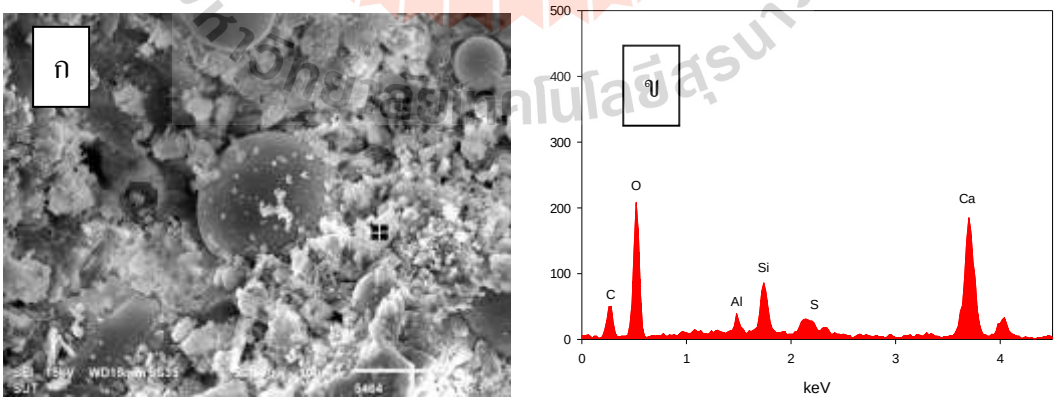
จากรูปที่ 4.24 (ก) จะเห็นได้ว่าเถ้าลอยมีลักษณะถูกชะล้างบางส่วน สารประกอบ SiO_2 และ Al_2O_3 จากเถ้าลอยถูกนำไปทำปฏิกิริยาได้บางส่วน ทำให้มีอนุภาคของเถ้าลอยยังมี

ลักษณะที่กลม ซึ่งสารที่ถูกชะล้างบ้างส่วนไปได้เกิดเป็น C-S-H และ C-A-H จากรูปที่ 4.24 (ข) จากกราฟจะเห็นได้ว่าปริมาณของ Ca Si และ Al ยังมีปริมาณน้อยเนื่องจากอายุบ่มน้อย



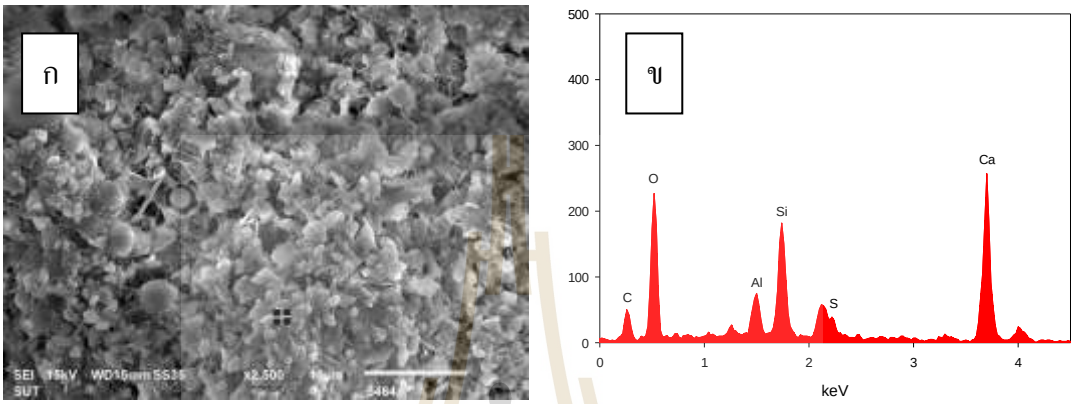
รูปที่ 4.25 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุบ่ม 60 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุการบ่มที่ 60 วัน

จากรูปที่ 4.25 (ก) จะเห็นได้ว่าเถ้าลอยมีลักษณะที่เสียหายอย่างมากแต่อนุภาคของเถ้าลอยยังมีลักษณะที่กลมไม่กลวง สารประกอบ SiO_2 และ Al_2O_3 จากเถ้าลอยที่ถูกชะล้างไปได้เกิดเป็น C-S-H และ C-A-H จากรูปที่ 4.25 (ข) จากกราฟจะเห็นได้ว่าปริมาณของ Ca Si และ Al มีค่าสูง และยังมี Fe เล็กน้อยเนื่องเถ้าลอยถูกชะล้างได้อย่างสมบูรณ์



รูปที่ 4.26 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 30/70 ที่อายุบ่ม 7 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 30/70 ที่อายุการบ่มที่ 7 วัน

จากรูปที่ 4.26 (ก) จะเห็นได้ว่าเถ้าลอยมีลักษณะยังไม่ถูกชะล้าง เนื่องจากอายุบ่มยังน้อยและเถ้าลอยมีปริมาณที่มากเกินไปในการทำปฏิกิริยา ทำให้มีอนุภาคของเถ้าลอยมีลักษณะที่กลม จากรูปที่ 4.26 (ข) จากกราฟจะเห็นได้ว่าปริมาณของ Ca Al และ Si มีปริมาณน้อย เนื่องเถ้าลอยมีปริมาณมาก และอายุบ่มน้อย

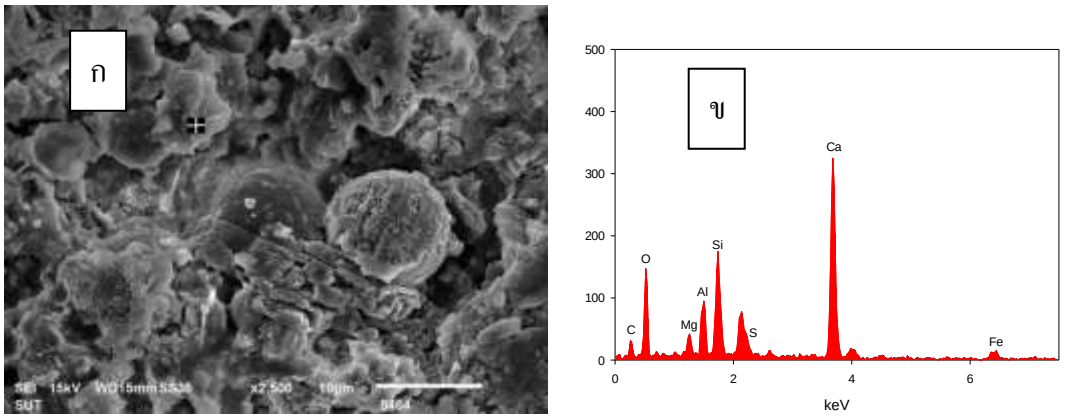


รูปที่ 4.27 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 30/70 ที่อายุบ่ม 60 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 30/70 ที่อายุการบ่มที่ 60 วัน

จากรูปที่ 4.27 (ก) จะเห็นได้ว่าเถ้าลอยมีลักษณะถูกชะล้างแต่ยังเหลือโครงสร้างของเถ้าลอย และเถ้าลอยมีปริมาณที่มากเกินไปในการทำปฏิกิริยา ทำให้ยังคงมีอนุภาคของเถ้าลอยบางส่วนมีลักษณะที่กลมและไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้ (Unreacted) เหลือจากการทำปฏิกิริยา จากรูปที่ 4.27 (ข) จะเห็นได้ว่ามีปริมาณของ Ca Al และ Si มีปริมาณน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.25 (ข) ซึ่งเกิดจากการแทนที่เถ้าลอยในปริมาณมากเกินความต้องการ

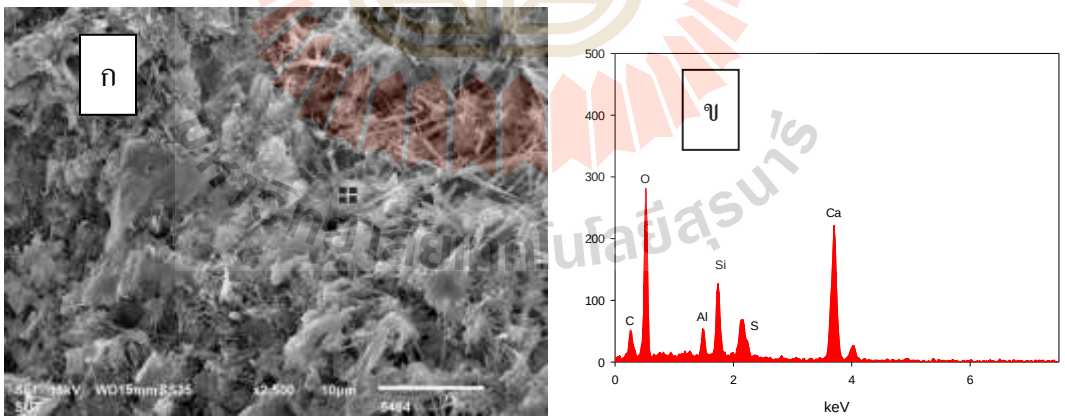
4.4.2 ผลของ PVA ต่อกำลังอัดที่อายุบ่ม 60 วัน

ในส่วนนี้ แสดงตัวอย่างที่ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ 60 วัน ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 1.0 และ 2.0 และอัตราส่วน FA/c เท่ากับ 20/80 เพื่อเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ผลกระทบของ PVA ต่อกำลังรับแรงอัด ดังนี้



รูปที่ 4.28 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุบ่ม 60 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุการบ่มที่ 60 วัน

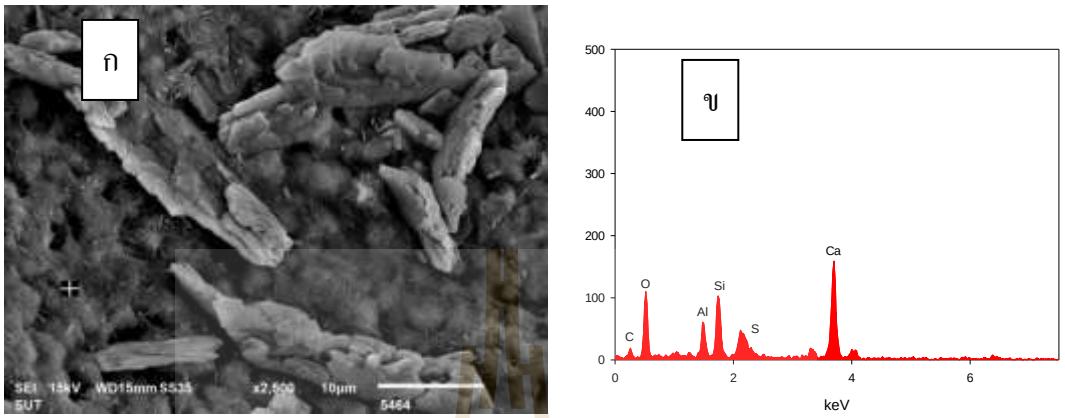
จากรูปที่ 4.28 (ก) จะเห็นได้ว่าเถ้าลอยมีลักษณะถูกชะล้างได้อย่างเหมาะสม ซึ่งเกิดขึ้นจากสารประกอบ SiO_2 และ Al_2O_3 จากเถ้าลอยและเถ้าลอยมีปริมาณที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา ทำให้มีอนุภาคของเถ้าลอยมีลักษณะที่กลมไม่กลวง ซึ่งสารที่ถูกชะล้างไปได้เกิดเป็น C-S-H และ C-A-H ได้ดี จากรูปที่ 4.28 (ข) จะเห็นได้ว่าปริมาณของ Ca Si และ Al มีค่าสูง เนื่องเถ้าลอยถูกชะล้างและทำปฏิกิริยาปอซโซลานิคได้อย่างสมบูรณ์



รูปที่ 4.29 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 1.0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุบ่ม 60 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 1.0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุการบ่มที่ 60 วัน

จากรูปที่ 4.29 (ก) จะเห็นได้ว่ามีลักษณะฟิล์มแผ่นบางๆ กระจายตัวปกคลุมเมทริกซ์ของคอนกรีตและเถ้าลอยอยู่เต็มพื้นที่ ซึ่งเกิดขึ้นจากการเติม PVA ร้อยละ 1.0 ทำให้สารประกอบ

SiO_2 Al_2O_3 จากเถ้าลอยถูกชะล้างมาได้ลดลงทำให้ปริมาณของ Ca Si และ Al มีค่าลดลง และ Fe ที่หายไปดังรูป 4.29 (ข)



รูปที่ 4.30 (ก) ภาพถ่าย SEM ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 2.0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุบ่ม 60 วัน (ข) EDX ของตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ PVA ร้อยละ 2.0 และ FA/c = 20/80 ที่อายุการบ่มที่ 60 วัน

จากรูปที่ 4.30 (ก) จะเห็นได้ว่าจะมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มที่หนาขึ้นกว่าเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.29 (ก) เนื่องจากการเติม PVA ในปริมาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งฟิล์มนี้มีผลไปหน่วงปฏิกิริยาปอซโซลานิกอย่างมาก ทำให้สารประกอบ SiO_2 และ Al_2O_3 จากเถ้าลอยถูกชะล้างได้น้อยกว่าการเติม PVA ร้อยละ 1.0 ทำให้การเกิด C-S-H และ C-A-H ลดลง ซึ่งสามารถสังเกตจากรูป 4.30 (ข) เห็นได้ว่าปริมาณของ Ca Si และ Al มีค่าที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับรูป 4.29 (ข) ส่งผลให้กำลังอัดมีค่าน้อยลง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาตลอดการวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ (RCA) ปรับปรุงด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเถ้าลอย (FA)

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าคอนกรีตที่ไม่ได้เติม PVA มีกำลังอัดสูงที่สุด จากนั้นการเติม PVA ในปริมาณเพิ่มมากขึ้นกำลังอัดมีค่าลดลง เนื่องจากแผ่นฟิล์ม PVA ส่งผลในการชะลอการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์และยังชะลอปฏิกิริยาปอซโซลานิคที่เกิดตามมาเมื่อคอนกรีตมีอายุบ่มเพิ่มมากขึ้น ในส่วนของการเติมเถ้าลอยที่อายุบ่ม 7 วันนั้น ไม่ได้เพิ่มความสามารถของกำลังอัด แต่ที่ที่อายุบ่ม 28 และ 60 วัน กำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าลอยถูกชะล้างมาสร้างสารประกอบ C-A-H และ C-S-H ในปฏิกิริยาปอซโซลานิคสามารถเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตเมื่ออายุบ่มเพิ่มมากขึ้น กำลังอัดยังมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วน FA/c จนมีค่าสูงสุดที่ FA/c เท่ากับ 20/80 หลังจากนั้นกำลังอัดมีค่าลดลงเนื่องจากการแทนที่เถ้าลอยในปูนซีเมนต์ที่มากเกินความจำเป็น

5.2 กำลังรับแรงดึงผ่าซีก (Spilt Tensile Strength) ของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ (RCA) ปรับปรุงด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และเถ้าลอย (FA)

จากการศึกษาพบว่า กำลังรับแรงดึงผ่าซีกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ PVA มีปริมาณเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดที่ PVA ร้อยละ 1.5 หลังจากนั้นกำลังเฉือนดึงมีค่าลดลง การเพิ่มขึ้นของแรงเฉือนดึงเนื่องจากโพลีไวนิแอลกอฮอล์มีคุณสมบัติเป็นสารที่มีลักษณะคล้ายฟิล์มทำให้เกิดการยึดเกาะ ผสานเมทริกซ์ของคอนกรีต ทำให้สามารถรับแรงดึงผ่าซีกได้มากขึ้น และเมื่อมีการเพิ่มจำนวนปริมาณของเถ้าลอย ที่อายุบ่ม 7 วันไม่สามารถเพิ่มแรงดึงผ่าซีกของคอนกรีต อย่างไรก็ตามเมื่ออายุบ่มเพิ่มมากขึ้นการแทนที่เถ้าลอยในปูนซีเมนต์สามารถเพิ่มกำลังรับแรงดึงผ่าซีกร่วมของคอนกรีต โดยที่อัตราส่วน FA/c เท่ากับ 20/80 ให้กำลังรับแรงดึงผ่าซีกสูงที่สุดที่อายุบ่ม 28 และ 60 วัน การแทนที่เถ้าลอยที่มากเกินความจำเป็นส่งผลให้กำลังรับแรงดึงผ่าซีกมีค่าลดลง

เอกสารอ้างอิง

ปิติศานต์ กร้ำมาตร. (2553). **คุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและ ผงหินปูน.** คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ยงยุทธ วัฒนกุล. (2554). **คุณสมบัติด้านซีเมนต์และความต้านทานซัลเฟตของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและ ผง หินปูน**: มหาวิทยาลัย เทคโนโลยี ราช มงคล ธัญบุรี. คณะ วิศวกรรมศาสตร์. ภาค วิชา วิศวกรรม โยธา.

สาโรจน์ ดำรงศีล. (2515). **ผลกระทบของการใช้เถ้าแกลบผสมเถ้าลอยต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต**. วารสารวิชาการ และ วิจัย ม ทร พระนคร. 9 (1):125-33.

สุรสิทธิ์ เนาะบุญ และปิติศานต์ กร้ำมาตร. (2556). **ผลกระทบของความละเอียดของผงหินปูนต่อกำลังอัด ประลัยกำลังดึงแบบผ่าซีก แลโมดูลัส ยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและผงหินปูน**. วารสารวิศวกรรมศาสตร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

อติญา ตัญเจริญ. (2558). **ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานจากปอซโซลานชนิดวัสดุเหลือทิ้งทางอุตสาหกรรมเกษตร.** Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference: Science, Genetic Engineering, Architecture and Engineering, Agro-Industry, Natural Resources and Environment สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53, 2558.

Allahverdi A, Kianpur K, Moghbeli M. (2010). **Effect of polyvinyl alcohol on flexural strength and some important physical properties of Portland cement paste**. Iranian Journal of Materials Science & Engineering. 2010;7 (1):1-6.

ASTM C192/C192M-16a **Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, https://doi.org/ 10.1520/C0192_C0192M-16A [วันที่ 24 มีนาคม 2560]

ASTM C39/C39M-17a **Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International**, West Conshohocken, PA, 2017, https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-17A [วันที่ 24 มีนาคม 2560]

ASTM C496/C496M-11 **Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004, https://doi.org/ 10.1520/C0496_C0496M-11 [วันที่ 24 มีนาคม 2560]

Tam VW, Gao X, Tam C. (2005). **Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach**. Cement and concrete research. 2005;35(6):1195-203.

TopiČ J, Prošek Z, Indrová K, Plachý T, NeŽ erka V, Kopecký L, et al. (2015). **Effect of Pva Modification on Properties of Cement Composites.** Acta Polytechnica. 2015;55(1):64-75.

Viswanath P, Thachil ET. (2008). **Properties of polyvinyl alcohol cement pastes**. Materials and Structures. 2008;41(1):123-30.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก
การคำนวณหาความเค้นและความเครียดของคอนกรีต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การคำนวณหาค่าความเครียดอัดและค่าความเค้น

- ตัวอย่างชุดข้อมูล

Deformation (mm)	Compressive Strength (Mpa)	Compressive Strain
0	0	0
0.04944	0.307401858	0.0002472
0.12853	0.461102787	0.00064265
0.23729	0.614803717	0.00118645
0.29661	0.691653938	0.00148305
0.37571	0.537953008	0.00187855
0.43503	0.614803717	0.00217515
0.50424	0.999055796	0.0025212
0.5339	1.152756725	0.0026695
0.58333	1.229607433	0.00291665
0.64265	1.383308362	0.00321325
0.6822	1.613859512	0.003411
0.75141	1.84441115	0.00375705
0.8305	2.151813008	0.0041525
0.91949	2.382364158	0.00459745

Compressive Strength = $P/(\pi/4d^2)$

Compressive Strain = Deformation (mm)/ความสูงคอนกรีต

จากสูตร Compressive Strain = Deformation (mm)/ความสูงคอนกรีต

= 0.04944/200 mm

= 0.0002472

จากสูตร Compressive Strength = $P/(\pi/4d^2)$

= 2,414 N/(π/4(100^2)

= 0.3074 MPa

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข
การคำนวณหาแรงเฉือนดึงของคอนกรีต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การคำนวณหาค่าแรงเฉือน

- ตัวอย่างชุดข้อมูล

p/c (wt%)	FA0	FA10	FA20	FA30
0	2.0239	2.0936	2.1592	2.0939
0.5	2.0701	2.1191	2.25	2.1503
1	2.1248	2.1442	2.3551	2.2277
1.5	2.214	2.2561	2.4465	2.3303
2	2.1089	2.121	2.3131	2.1723

การหาค่าแรงเฉือนของคอนกรีต

จากสูตร = $2P/(\pi Ld^2)$

กำหนดให้ p = 63,460 N

L = 200 mm

D = 100 mm

= $2(63,460)/(\pi 0.2(0.1d^2))$

= 2.20 MPa

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายพชร ศิริศักดิ์ เกิดวันที่ 2 กรกฎาคม 2535 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนมัธยมมารีวิทยา อำเภอศรีเมือง จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สำนักวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปีการศึกษา 2557 ปัจจุบันทำงานอยู่ หจก.ศิริศักดิ์การโยธา จำกัด ในตำแหน่ง วิศวกรโยธา มีความสนใจในสาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค จึงเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2558

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี