การพัฒนากำลังของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิล (RCA) เป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

นางสาวชนากานต์ พันธุ์รัตน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2559

การพัฒนาของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิล (RCA) เป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

_____

(รศ. ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)
ประธานกรรมการ

_____

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

_____

(ผศ. ดร.มงคล จิรวัชรเดช)
กรรมการ

_____

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ชนากานต์ พันธุ์รัตน์ : การพัฒนากำลังของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิล (RCA) เป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) (STRENGTH DEVELOPMENT OF POLYVINYL ALCOHOL (PVA) MODIFIED CONCRETE BY USING RECYCLED CONCRETE AGGREGATE (RCA) AS COARSE AGGREGATE)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. สุขสันติ์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้ศึกษากำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) การพัฒนากำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตถูกวิเคราะห์โดยการใช้ภาพถ่ายกำลังสูง (SEM) กำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบถูกเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้หินจากธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบ ผลการทดสอบพบว่า การผสมคอนกรีตด้วยวิธีธรรมดาที่ใช้มวลรวมหินจากธรรมชาติให้กำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล สำหรับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมชนิดเดียวกัน การผสมด้วยวิธี Two Stage Mixing Approach (TSMA) ให้กำลังอัดและกำลังดัดสูงกว่าการผสมด้วยวิธีธรรมดา กำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วย PVA มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม การใช้ PVA ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบมีค่าลดลง ขณะที่ กำลังดัดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PVA เพิ่มขึ้นจนถึงร้อยละ 1.0 หลังจากนั้นกำลังดัดมีค่าลดลงเมื่อใช้ PVA ในปริมาณเพิ่มมากขึ้น PVA มีคุณสมบัติเป็นสารที่มีลักษณะคล้ายฟิล์มช่วยผสานเมทริกซ์ของคอนกรีตจึงทำให้กำลังดัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม แผ่นฟิล์มหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนกับน้ำและทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2559 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

CHANAKAN PHANRAT : STRENGTH DEVELOPMENT OF POLYVINYL ALCOHOL (PVA) MODIFIED CONCRETE BY USING RECYCLED CONCRETE AGGREGATE (RCA) AS COARSE AGGREGATE.
ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

This research studied the compressive strength and flexural strength of polyvinyl alcohol (PVA) modified Recycled Concrete Aggregate (RCA)-concrete. The compressive strength and flexural strength developments were analyzed via Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis. The compressive strength and flexural strength test results of concrete using RCA as coarse aggregate were compared with concrete using natural aggregate. Test results show that the use of natural aggregate in conventional concrete mixed by Normal Mixing Approach (NMA) has the higher compressive strength and flexural strength than the use of recycled aggregate concrete, due to the Interfacial Transition Zone (ITZ) between the matrix of natural aggregate and cement are close each other than recycled concrete. For a particular aggregate, concrete mixed by the Two Stage Mixing Approach (TSMA) was found to have the higher compressive strength and flexural strength than the concrete mixed by NMA. Compressive strength and flexural strength of PVA modified RCA-concrete increase with time. Compressive strength of PVA modified RCA-concrete was observed to decrease as PVA content increase. While flexural strength of PVA modified RCA-concrete strength increase with increasing PVA content up to PVA = 1.0% then the flexural strength decreases with increasing PVA content. PVA creates a thin film reinforced the concrete and improves the flexural strength of concrete. However, these thin films retards the hydration process of the cement and water, resulting in the compressive strength reduction.

School of Civil Engineering Student's Signature_____

Academic Year 2016 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและกลุ่มบุคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการและการดำเนินงานวิจัย

ศาสตราจารย์ ดร. สุขสันติ์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจทานเนื้อหาของงานวิจัยจนสมบูรณ์แบบ

ดร. อภิชาติ สุดดีพงษ์ ที่ช่วยตรวจทานเนื้อหาข้อมูลของงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์แบบ

นายธีรศักดิ์ เยาวราช ผู้ช่วยอาจารย์ที่ปรึกษา ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลของงานวิจัยนี้และช่วยเหลือด้านวิชาการ การทดลองงานวิจัย แนะนำ และช่วยตรวจทานเนื้อหาข้อมูลโครงงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

คณาจารย์ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ หลักสูตรสาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำ

ขอขอบคุณผู้ประสานงานหลักสูตรบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภคทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือประสานงานในด้านวิชาการ และด้านกิจกรรมต่างๆ

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในหลักสูตรบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค และสาขาวิชาวิศกรรมโยธา ที่คอยให้ความร่วมมือช่วยเหลือ และคำปรึกษาในโครงงานวิจัยนี้

ท้ายสุดสำคัญยิ่งขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา อบรมสั่งสอนเลี้ยงดู และส่งสริมให้มีการพัฒนาตนเอง และการศึกษาเป็นอย่างดีจนสำเร็จการศึกษาถึงระดับนี้

ชนากานต์ พันธุ์รัตน์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูปภาพ ..... ช

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 บทนำ 4

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 4

2.2.2 วัสดุปอซโซลาน 7

2.2.3 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ Polyvinyl Alcohol (PVA) 8

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

3 วิธีดำเนินการวิจัย 18

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย 18

3.2 รายละเอียดวิธีการศึกษา 18

3.2.1 กำหนดวัตถุประสงค์ 18

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดลอง 18

3.2.3 มาตราฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีต 21

3.2.4 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีต 21

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต 23
3.2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต 24
4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผลข้อมูล 25
4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา 25
4.1.1 ความถ่วงจำเพาะของวัสดุประสาน 25
4.1.2 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของอนุภาคของวัสดุประสาน 25
4.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน 26
4.2 คุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ศึกษาในครั้งนี้ 27
4.2.1 ความถ่วงจำเพาะของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 27
4.2.2 การผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA) 27
4.3 การพัฒนากำลังดัดของคอนกรีต (Flexural Strength development) 27
4.4 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต (Compressive Strength development) 32
4.5 การวิเคราะห์ทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
(SEM and EDX analysis) 35
5 สรุปผลการศึกษา 40
5.1 การผสมคอนกรีตแบบวิธีธรรมดา (NMA) 40
5.2 การผสมคอนกรีตแบบวิธี Two Stage Mixing Approach (TSMA) 40
เอกสารอ้างอิง 42
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก การคำนวณหาหน่วยแรงดัดและหน่วยแรงอัดคอนกรีต 45
ประวัติผู้เขียน 48

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ส่วนผสมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ 11

3.1 อัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต 20

3.2 อัตราส่วนของการผสมคอนกรีตสำหรับใช้ในการหล่อตัวอย่าง 21

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 26

4.2 อัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต 27

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์	9
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดซีเมนต์เพสต์ ปอร์ตแลนด์ต่อปริมาณของพอลิเมอร์ของอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	12
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตต่ออัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35	13
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่ออัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35	13
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต่ออัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35	14
2.6	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 โดยที่ ภาพ (a) เติม PVA ที่ 0%, (b) เติม 1.4%, (c) เติม 2.8%, (d) เติม 4.0%.	15
2.7	สัญลักษณ์ภายในรูปและขั้นตอนการผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA)	16
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบดั้งเดิมและคอนกรีตที่ใช้การ ผสมแบบ Two Stage Mixing Approach	17
3.1	แบบหล่อที่ใช้การการทดลอง	19
3.2	แผนผังขั้นตอนการผสมคอนกรีตโดยวิธี two-stage mixing approach (TSMA) method	19
3.3	การทดสอบวิธีใช้แรงกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลาง	22
3.4	การทดสอบวิธีใช้แรงกดสองจุด	22
4.1	ภาพถ่ายขยายกำลังสูง (3,500 เท่า) ของอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	26
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดัดต่อระยะการแอ่นตัวของคอนกรีตที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 7 วัน	28
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดัดต่อระยะการแอ่นตัวของคอนกรีตที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 28 วัน	29

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดัดต่อระยะการแอ่นตัวของคอนกรีต
ที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 60 วัน 30
4.7 กราฟแสดงและเปรียบเทียบกำลังดัดของคอนกรีตต่อวัสดุที่ใช้ใน
การผสมและวิธีการผสมคอนกรีตที่แตกต่างกัน 31
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดต่อค่าความเครียดอัด
ที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 7 วัน 32
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดต่อค่าความเครียดอัด
ที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 28 วัน 33
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดต่อค่าความเครียดอัด
ที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 60 วัน 34
4.11 กราฟแสดงและเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตต่อ
วัสดุที่ใช้ในการผสมและวิธีการผสมคอนกรีตที่แตกต่างกัน 35
4.12 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของคอนกรีตแบบวิธีธรรมดา (NMA)
โดย ก) ใช้หินจากธรรมชาติและ ข) คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ
และ ค) วิธี Two Stage Mixing Approach (TSMA) 36
4.13 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของคอนกรีตแบบวิธี Two Stage Mixing Approach (TSMA)
เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดย ก) ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 อายุบ่มที่ 7 วัน
ข) ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 อายุบ่มที่ 60 วัน ค) ปริมาณ PVA ร้อยละ 1 อายุบ่มที่ 60 วัน
และ ง) ปริมาณ PVA ร้อยละ 2 อายุบ่มที่ 60 วัน 38

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

ในปัจจุบันนี้ประเทศไทยจำแนกถนนที่ใช้งานออกเป็น 2 ประเภท คือ ถนนคอนกรีตและถนนลาดยาง ปัจจุบันงานก่อสร้างถนนคอนกรีตในประเทศไทยมีการพัฒนา และก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในกระบวนการผลิตคอนกรีตสำหรับงานทำถนนจำเป็นต้องใช้หินที่ได้จากธรรมชาติมาเป็นมวลรวมหยาบ เมื่อมีการใช้หินเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ทรัพยากรหินตามธรรมชาติที่มีอยู่อย่างเช่น หินแกรนิต, หินบะซอลต์ ที่ใช้เป็นวัสดุหลักในการผลิตคอนกรีตก็จะถูกใช้ไปอย่างสิ้นเปลือง ทำให้ต้องขยายเนื้อที่ๆจะต้องใช้ในการขุด เจาะ ระเบิดหินดังกล่าวซึ่งส่วนมากเป็นบริเวณภูเขา ป่าไม้ ทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก ภาวะโลกร้อน หรืออาจจะต้องหาแหล่งที่มาของแหล่งหินที่หินได้คุณภาพผ่านมาตรฐานไกลขึ้นจากที่เดิม ซึ่งก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งเพิ่มขึ้น จึงมีการคิดค้นที่จะนำทรัพยากรที่ไม่ได้ใช้งานแล้ว อย่างเช่น คอนกรีตรีไซเคิล (Recycled Concrete Aggregate) นำไปผ่านกระบวนการแปรสภาพ แล้วนำกลับมาใช้ได้อีก เพื่อให้เกิดประโยชน์และประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อเป็นการตอบสนองการอนุรักษ์แหล่งสรรพยากรธรรมชาติมากที่สุด

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการพัฒนากำลังของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิล (Recycled Concrete Aggregate) จะได้จากการทุบตึก อาคาร หรือเศษปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ใช้แล้ว มาเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตแทนการใช้หินแกรนิต ซึ่งเป็นการลดการใช้หินจากธรรมชาติ ยังสามารถยืดระยะเวลาในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ยาวนาน และยังช่วยในการลดต้นทุนค่าใช้จ่าย ที่สามารถเกิดขึ้นจากการใช้คอนกรีตในงานทำถนนหรืองานก่อสร้างอื่นๆได้ แต่เนื่องจากคอนกรีตรีไซเคิล (RCA)นั้นมีข้อด้อยบางประการ โดยเฉพาะกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผลิตจากคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) น้อยกว่า เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการผลิตคอนกรีตที่ผลิตจากหินจากธรรมชาติ ตามคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางคอนกรีต จึงจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงเพื่อให้เทียบเท่าข้อกำหนดของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท ด้วยเหตุนั้นจึงต้องปรับปรุงและพัฒนาคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิล ให้ตรงตามคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของผิวทางคอนกรีต เพื่อที่จะสามารถนำไปมาตรฐานและสามารถนำไปใช้งานได้

ปัจจุบันมีการคิดค้นนำพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol, PVA) ซึ่งเป็นสารประกอบตั้งต้นในการผลิตกาวลาเท็กซ์ มาใช้ในการผสมกับคอนกรีต เพื่อพัฒนาคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตให้ดีขึ้น โดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เมื่อนำมาผสมกับปูนซีเมนต์

ทราย และมวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) จะช่วยทำให้คอนกรีตเกาะตัวกันเหนี่ยวแน่นขึ้น และยังช่วยเพิ่มการต้านทานการกัดกร่อนจาก กรด เบส ได้ดีขึ้น ข้อดีของพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ทำให้มีแนวโน้มที่จะถูกพัฒนานำมาใช้ในปริมาณมากขึ้น ในด้านของข้อเสียเมื่อนำพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) มาผสมกับคอนกรีต จะทำให้เกิดช่องว่างในคอนกรีตมากขึ้น เนื่องจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นเพิ่มความหนืดของน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีต ส่งผลให้เกิดฟองอากาศในคอนกรีตขณะผสมมากขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง โดยที่กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงตามปริมาณพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เพิ่มขึ้น ซึ่งในการทดลองจำเป็นต้องหาจุดที่ดีที่สุดในการเติมพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เพื่อทำให้คอนกรีตสามารถรับแรงดัดได้ดีขึ้นเนื่องจากการวิบัติของถนนส่วนใหญ่ในปัจจุบันนี้เกิดจากการทรุดตัว แอ่นตัว ดัดตัวของถนนคอนกรีตทำให้คอนกรีตร้าว และในขณะเดียวกันก็ ไม่ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงจนต่ำกว่าค่ามาตรฐานงานก่อสร้างถนนของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท

ดังนั้นการพัฒนาคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิล (RCA) เป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เป็นการนำข้อดีของวัสดุแต่ละชนิดมาใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีต อาทิเช่น งานถนนคอนกรีต งานคลองส่งน้ำ ซึ่งล้วนแต่เป็นโครงสร้างที่ไม่สามารถรับแรงดัดได้สูงเป็นต้น ซึ่งทำให้คอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิล (RCA) เป็นมวลรวมหยาบและดัดแปลงด้วย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) มีสมบัติบางประการที่ดีกว่าอย่างเช่นการรับแรงดัดมากกว่าการใช้หินแกรนิตอย่างเดียว การศึกษาในครั้งนี้จึงสามารถเป็นข้อมูลสำหรับนำไปพัฒนางานคอนกรีตให้มีประสิทธิภาพต่อไปได้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการพัฒนากำลังของคอนกรีตรีไซเคิล (Recycled Concrete Aggregate) เปรียบเทียบกับการใช้หินจากธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบ ในการผสมคอนกรีตแบบธรรมดา (Normal Mixing Approach, NMA)

1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการพัฒนากำลังดัดและกำลังอัดของคอนกรีตรีไซเคิล ที่เติมสารพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เข้าไป

1.2.3 เพื่อศึกษาและหาค่าของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol) ที่เหมาะสม ในการพัฒนากำลังรับแรงดัดของคอนกรีต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาการพัฒากำลังของคอนกรีตปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์(Polyvinyl Alcohol) โดยใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิล (Recycled Concrete Aggregate) แทนที่หินจากธรรมชาติทั้งหมด

1.3.2 หากำลังรับแรงดัดสูงสุดของคอนกรีตปรับปรุงด้วยพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol) โดยใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิล (Recycled Concrete Aggregate) จากการทดสอบหากำลังรับแรงดัดสูงสุด โดยหน่วยแรงดัดสูงสุดจะอยู่บริเวณท้องคาน

1.3.3 การทดสอบกำลังรับแรงของคอนกรีต ทำตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงการพัฒนากำลังของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเปรียบเทียบกับหิน จากธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบ ในการผสมคอนกรีตแบบธรรมดา (Normal Mixing Approach, NMA)

1.4.2 ทราบถึงการพัฒนากำลังดัดและกำลังอัดของคอนกรีตรีไซเคิล ที่เติมสารพอลิไวแอลกอฮอล์เข้าไป

1.4.3 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้ เป็นแนวทางในการเลือกใช้มวลรวมหยาบ จากคอนกรีตรีไซเคิล (Recycled Concrete Aggregate) และจุดที่ดีที่สุดในการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อนำไปใช้ในงานก่อสร้างและงานคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การศึกษากำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิล (RCA) เป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เป็นการนำทรัพยากรที่ไม่ได้ใช้งานแล้ว นำไปผ่านกระบวนการแปรสภาพ แล้วนำกลับมาใช้ได้อีก และเติมสารพอลีไวนิลแอลกอฮอล์เข้าไปเพื่อพัฒนาคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การรับแรงดัด และการต้านทานการกัดกร่อน ซึ่งเป็นข้อดีที่จะสามรถทำให้ถนนคอนกรีตมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น ยืดอายุการบำรุงรักษาถนนคอนกรีต และขณะเดียวกันก็ยังสามารถลดวัสดุของเสียที่จะเกิดเพิ่มขึ้นในอนาคตได้

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวัสดุผงที่ใช้ในการศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 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 ซึ่งตามมาตราฐาน มอก. 15 ของไทยได้แบ่งปูนซีเมนต์ออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

ก. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) ใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไปปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังในระยะเวลไม่รวดเร็วมากนัก 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 ใช้ในงานคอนกรีตที่สร้างอยู่ในที่มีเกลือหรือสาระละลายซัลเฟต และบริเวณที่มีดินเค็ม

2) องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วยออกไซด์หลักและออกไซด์รอง ตามรายละเอียดดังนี้

ก. ออกไซด์หลัก (Major oxides)

ออกไซด์หลัก ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกอนไดออกไซด์ (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

2.2.2 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 เมื่อต้องการนำไปใช้งาน จะต้องนำมาบดก่อน

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

2.2.3 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ Polyvinyl Alcohol (PVA)

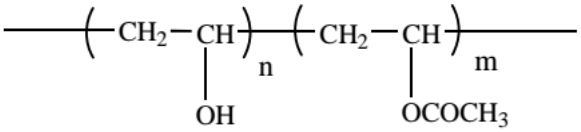
1) ลักษณะของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพ และติดไฟได้คล้ายกระดาษ นอกจากนี้ยังสามารถละลายในน้ำได้ การใช้งานของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ อาศัยคุณสมบัติการละลายในน้ำ เช่น ใช้เป็นตัวช่วยทำให้ระบบอิมัลชัน และแขวนลอยต่างๆ และใช้ทำแผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษซึ่งมีความใสเหนียว และทนต่อการขีดข่วน และ นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปทำปฏิกิริยาเคมีให้ไม่สามารถละลายแล้วจึงนำมาใช้งานพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ละลายในน้ำนี้สามารถดูดน้ำและความชื้นได้เป็น อย่างดี (ประมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก) จึงสามารถคงรูปได้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่มีกลิ่นและไม่มีรส มีการให้แสงผ่านได้น้อย มีสีขาวหรือครีมลักษณะเป็นผงเกล็ด พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

ส่วนใหญ่แล้วสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 5% จะมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.0-6.5 มีจุดหลอมเหลว 180-190 องศาเซลเซียสมีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 26,300-30,000 และระดับของการไฮโดรไลซิส 86.5-89%

2) องค์ประกอบทางโครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

โครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์(Partially Hydrolyzed) สามารถแสดงสูตรทางเคมีดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

3) การนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาประยุกต์ใช้

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลายในอุตสาหกรรม ใช้เป็นตัวช่วยยึดเกาะและเคลือบผิว ซึ่งจะถูกใช้เป็นฟิล์มเคลือบผิวโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการใช้งานที่ซึ่งต้องการคุณสมบัติในการป้องกันความชื้น ความหนืดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์นั้นทำให้สามารถประยุกต์ใช้เป็นตัวช่วยในการเคลือบรูปแบบอื่นๆซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้งานที่เกี่ยวกับของแข็ง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นจะกล่าวถึง คุณสมบัติของปูนซีเมนต์เพสต์ปอร์ตแลนด์ คุณสมบัติของคอนกรีต และคุณสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

อติญา ตันเจริญ (2557) ศึกษาอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์และการทดสอบสมบัติทางภาพ ทางกล ทางเคมี เพื่อเป็นการทดสอบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ได้จริง โดยในระยะแรกที่ปูนอายุน้อยอาจมีความแข็งแรงไม่มาก ไม่เกินมาตราฐาน มอก. แต่เมื่อปูนมีอายุมากขึ้นจะมีความแข็งแรงเกินกว่ามาตราฐานดังกล่าว และที่สำคัญเป็นการใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่น้อยลง โดยนำวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรมาแทนที่ เป็นการช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ได้ทางอ้อม ทำให้ลดภาวะโลกร้อนได้มากขึ้น

สาโรจน์ ดำรงศีล (2558) คำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตตามมาตราฐาน ACI โดยเลือกใช้ส่วนผสมของคอนกรีตควบคุมที่มีกำลังอัด 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทดสอบจากตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน กำหนดให้ค่าความยุบตัวของคอนกรีต (Slump) อยู่ในช่วง 7.5 + 2.5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคารทั่วไป กำลังดัด ที่ใช้

ตัวอย่างทดสอบแบบคานขนาด 7.5 x 7.5 x 35.0 เซนติเมตร ทดสอบกำลังดัดโดยให้น้ำหนักกดแบบ 3 จุด ที่อายุ 28 วัน และ 90 วัน การทดสอบเป็นไปตามมาตราฐาน ASTM C 78

ยงยุทธ วัฒนกุล (2554) ศึกษาคุณสมบัติทางด้านซีเมนต์ (ปริมาณน้ำที่เหมาะสม และการก่อตัวของเพสต์ การยุบตัว ความพรุนและกำลังอัดประลัยของคอนกรีต) การออกแบบโครงสร้างคอนกรีต นอกจากจะมุ่งเน้นถึงสมบัติทางกลแล้ว สิ่งสำคัญอีกอย่างที่ต้องคำนึงคือความคงทนของคอนกรีตต่อสภาพแวดล้อม โครงสร้างคอนกรีตทั่วไปที่ต้องสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่มีสารซัลเฟส ที่อยู่ในรูปของสารละลายซัลเฟตสามารถทำอันตรายต่อซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตได้ ซึ่งจะพบได้ในดินหรือน้ำได้ดิน น้ำเสียจากบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม หรือจากโรงงานผลิตสารเคมีบางประเภท และในน้ำทะเลที่มีซัลเฟตเป็นองค์ประกอบ ตัวอย่างของซัลเฟตที่พบมากในธรรมชาติและเป็นอันตรายต่อคอนกรีต เช่น โซเดียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และแคลเซียมซัลเฟต เป็นต้น ความเสียหายจากซัลเฟตที่เกิดขึ้นกับคอนกรีตนั้น จะเกิดการผุกร่อน พองตัว และแตกร้าวอย่างรุนแรง ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟตและความชื้น

ปิติศานต์ กร้ำมาตร (2553) ศึกษาความต้องการน้ำและการก่อตัวของตัวอย่างเพสต์ ค่าการไหลแผ่ ความพรุน ค่าการหดตัวแห้ง และกำลังอัดประลัยของตัวอย่างมอร์ต้าร์ และกำลังอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีต มีการนำวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์มาใช้ในอุตสาหกรรมคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น เป็นที่ทราบกันดีว่าในการผลิตปูนซีเมนต์ด้วยเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากถึง 0.5 ตันในทุก ๆ 1 ตันของน้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้น หากพิจารณาประโยชน์จากการใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์โดยเฉพาะกรณีวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมต่างๆ ย่อมส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนในการผลิตและพัฒนาคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตให้ดีขึ้น รวมทั้งสามารถแก้ปัญหาการกำจัดของเสียและช่วยประหยัดพลังงานโดยรวมของประเทศ อาทิเช่น พลังงานที่ใช้ในการเผาวัตถุดิบเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ พลังงานที่ใช้ลำเลียงผลพลอยได้ไปทิ้งในบ่อกลบฝัง พลังงานที่ใช้ในการระเบิดภูเขาหินปูน และพลังงานที่ใช้ในการย่อยหินเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ เป็นต้น

สุรสิทธิ์ เนาะบุญ และ ปิติศานต์ กร้ำมาตร (2553) ศึกษากำลังอัดประลัยและกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต โดยใช้ตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 สูง 30 ซม. โดยทำการหล่อ 3 ตัวอย่างต่อหนึ่งสัดส่วนผสม หลังจากถอดแบบที่อายุ 1 วัน จากนั้นนำไปทำการบ่มในน้ำจนถึงเวลาทดสอบที่ 3 14 28 56 และ 91 วัน ตามลำดับ ขั้นตอนการทดสอบกำลังอัดประลัยและแรงดึงใช้วิธีทดสอบแบบผ่าซีกตามมาตราฐาน ASTM C 39 และ ASTM C 496 ตามลำดับ และโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เป็นไปตามมาตราฐาน ASTM C 469 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ใน

การศึกษานี้ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15

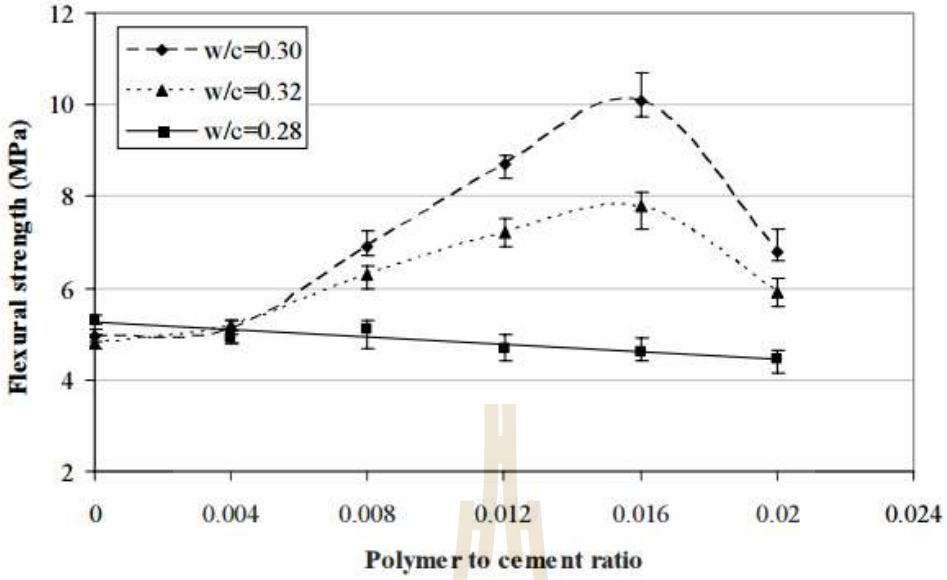
Viswanath (2007) ศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ เมื่อนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาผสม พอลิไวนิลแอลกอฮอล์นี้เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่มีสารพิษ และละลายน้ำได้ เมื่อผสมเข้าไปในคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติในการทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี กรด – เบส น้ำมัน และตัวทำละลายได้ดี ทำให้คอนกรีตมีความต้านทานแรงดัดและแรงดึงและมีความยืดหยุ่นสูง

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้

Ingredients	Types	Percentage by mass
Phenol formaldehyde resin	1:2.75	5,7.5,10,12.5,15
PVAL solution (1%)	Mol.wt = 14,000	0.5,1,1.5,2
Borax as saturated solution in water (5.1gin 100 ml of water)		5 ml
Portland cement	Fly ash based pozzolana	100
Accelerator, calcium chloride	Fused	0.1

การวิจัยนี้ทำให้สามารถรู้ถึงความสามารถของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่สามารถเพิ่มกำลังดัดของคอนกรีตได้ส่วนผสมของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ในการทดลองก่อนหน้านี้สามารถดูได้จาก ตารางที่ 2.1 พบว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ส่วนมากจะเติมเข้าไปในปริมาณร้อยละ 0.5 1 1.5 และ 2 ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ต่างๆ และพบว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่เหมาะสมมีค่าแตกต่างตามกันไปแต่ละอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ซึ่งจำเป็นต้องหาอัตราส่วนที่ดีและเหมาะสมที่สุดในการเติมเข้าไป แล้วทำให้คอนกรีตสามารถรับกำลังได้เพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นต้องกำหนดตัวแปรน้ำต่อซีเมนต (w/c) ให้คงที่เพื่อหาปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่เหมาะสม

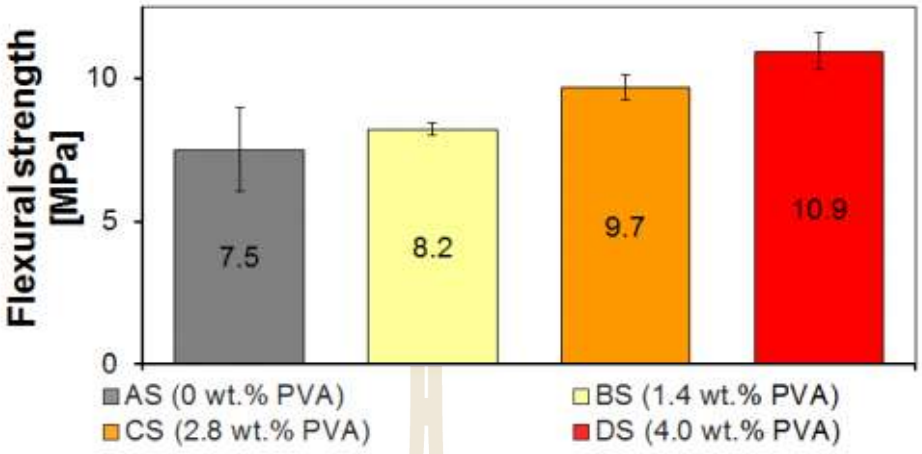
A. Allahverdi (2009) ศึกษากำลังรับแรงดัดของซีเมนต์เพสต์ ปอร์ตแลนด์ เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และสมบัติบางประการของซีเมนต์เพสต์ ปอร์ตแลนด์ โดยได้ผลดังนี้



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดซีเมนต์เพสต์ ปอร์ตแลนด์ต่อปริมาณของพอลิเมอร์ของอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

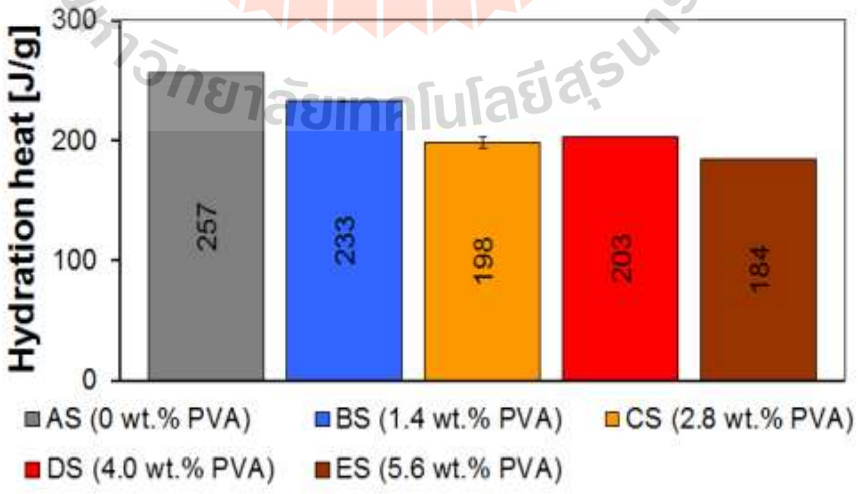
ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.28 พบว่าเมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ กำลังรับแรงดัดมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากปริมาณน้ำในอัตราส่วนน้อยเกินไป หรือปริมาณน้ำมีอัตราส่วนไม่เหมาะสม จึงส่งผลไปทำให้กำลังรับแรงดัดลดลงซึ่งสามารถดูจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดซีเมนต์เพสต์ต่อปริมาณของพอลิเมอร์ของอัตราส่วนที่แตกต่างกัน รูปที่ 2.2 ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.32 พบว่าเมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ กำลังรับแรงดัดจะเพิ่มขึ้นตามเรื่อย ๆ ไปถึงจุดที่ 0.016 คือจุดที่ดีที่สุดในการเติมพอลิเมอร์เข้าไป แล้วทำให้ซีเมนต์เพสต์ ปอร์ตแลนด์ มีกำลังรับแรงดัดมากที่สุด ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงดัดก็เช่นเดียวกันกับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.32 แต่กำลังรับแรงดัดที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 กลับทำให้กำลังรับแรงดัดที่ได้รับเพิ่มมากขึ้นกว่าที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.32 ดังนั้นแล้วจากกราฟดังกล่าว พบว่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ ที่เหมาะสม ที่ทำให้ซีเมนต์เพสต์ ปอร์ตแลนด์ มีกำลังรับแรงดัดที่มากที่สุด คือ อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.30

JAROSLAV (2015) ศึกษาคุณสมบัติของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ใช้ในการปรับปรุงซีเมนต์เพสต์ในงานคอนกรีต วัสดุพอลิเมอร์ได้ถูกนำมาใช้ปรับปรุงสำหรับงานคอนกรีต งานอาคาร ต่างๆ เนื่องจากวัสดุพอลิเมอร์มีสมบัติบางประการที่ดี เมื่อผสมเข้าไปกับคอนกรีตส่งผลทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงดัดที่เพิ่มมากขึ้น มีความยืดหยุ่นสูง



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตต่ออัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35

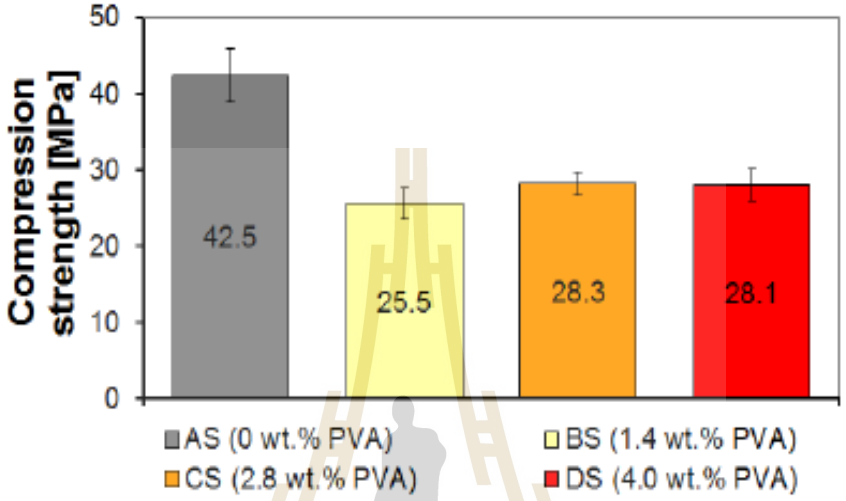
เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 0 จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตต่ออัตราส่วนของพอลิไวนิล รูปที่ 2.3 คอนกรีตสามารถรับกำลังแรงดัดได้ 7.5 MPa เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ร้อยละ 1.4 คอนกรีตรับกำลังแรงดัดได้เพิ่มขึ้นเป็น 8.2 MPa เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 2.8 คอนกรีตรับกำลังแรงดัดได้เพิ่มเป็น 9.7 MPa เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 4.0 คอนกรีตรับกำลังแรงดัดได้ 10.9 MPa ดังนั้นจากกราฟจึงสรุปได้ว่าเมื่อมีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงดัดที่เพิ่มตามไปด้วย



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่ออัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35

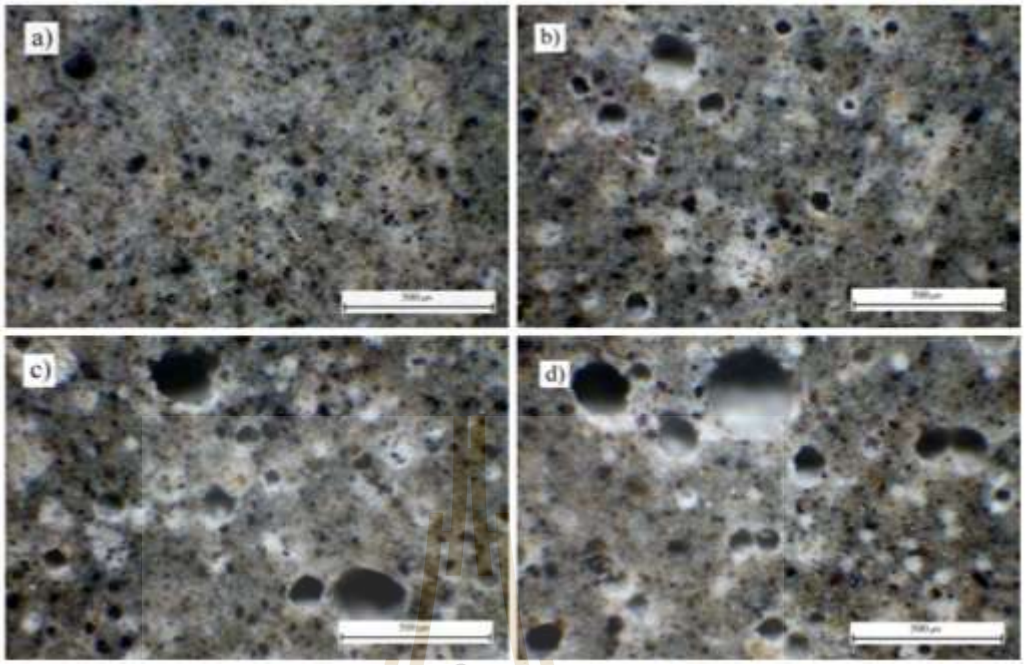
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่ออัตราส่วนของพอลิไวนิล รูปที่ 2.4 เมื่อมีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้าไปในอัตราส่วนใดๆก็ตาม จะส่งผลให้ปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ที่กระทำกับน้ำลดลง และส่งผลต่อเนื่องทำให้ให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงได้



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต่ออัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35

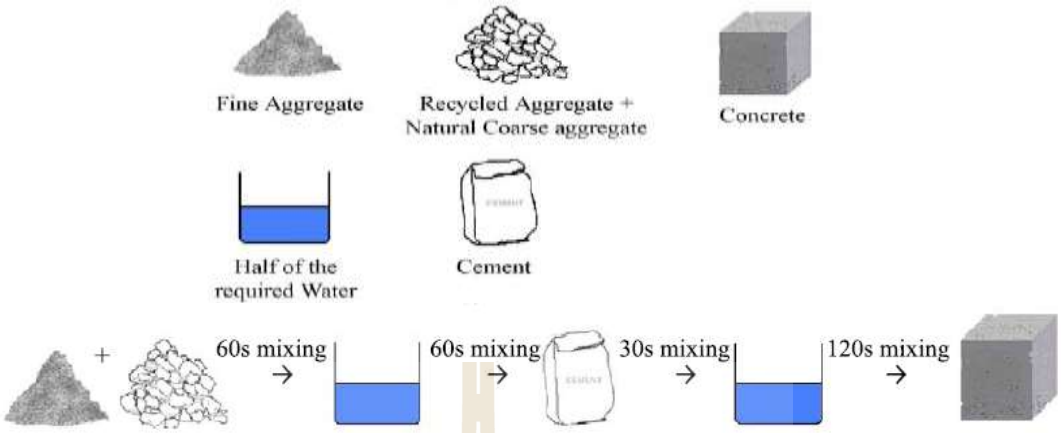
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต่ออัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 รูปที่ 2.5 พบว่าเมื่อไม่เติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้าไป คอนกรีตมีกำลังอัดสูงสุด เนื่องจากไม่มีสารมาหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของน้ำที่กระทำกับปูน จึงทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นทำงานได้อย่างเต็มที่



รูปที่ 2.6 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 โดยที่ ภาพ (a) เติม PVA ที่ 0%, (b) เติม 1.4%, (c) เติม 2.8%, (d) เติม 4.0%

โดยอิทธิพลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อซีเมนต์เพส สามารถเห็นได้จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 รูปที่ 2.6 พบว่าเมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มากขึ้น จะทำให้เกิดช่องว่างในคอนกรีตมากขึ้น เนื่องจากพอลิเมอร์นั้นเพิ่มความหนืดของน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีต ส่งผลให้เกิดฟองอากาศในคอนกรีตขณะผสม ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดต่ำลงได้

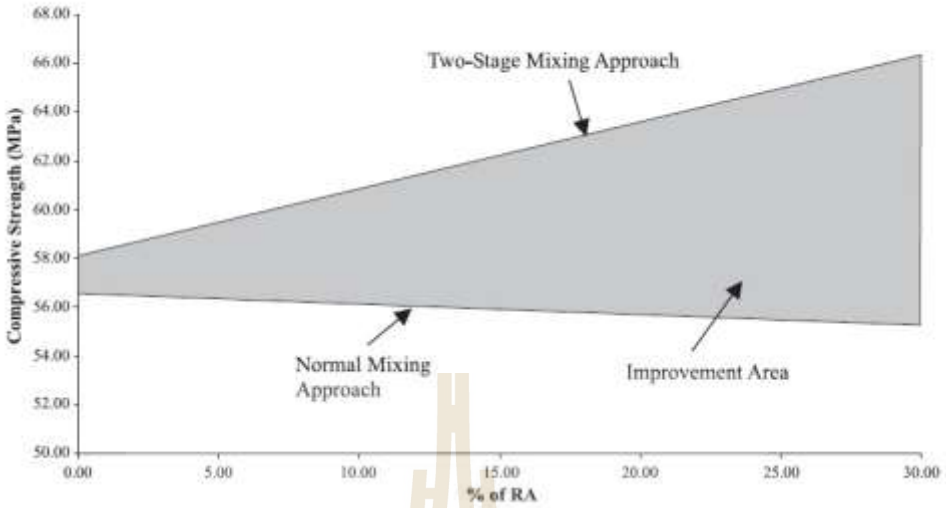
Tam et al. (2004) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการแบบใหม่ในการผสมคอนกรีตจาก RCA คือ ขั้นตอนวิธีการผสมแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA) ซึ่งจะแสดงในรูปที่ 2.7 เพื่อปรับปรุงกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นคอนกรีตรีไซเคิลเนื่องด้วยเหตุที่ธรรมชาติของคอนกรีตรีไซเคิลนั้นมีรูพรุนและรอยร้าวจากกระบวนการรีไซเคิล กระบวนการผสมแบบ TSMA นั้นจะเข้าไปช่วยปิดรูพรุนและรอยแตกบางส่วนส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่ดีขึ้นและทำให้มีความแข็งแรงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการผสมแบบดั้งเดิมซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.8 ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบ TSMA และคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบปกติ



รูปที่ 2.7 สัญลักษณ์ภายในรูปและขั้นตอนการผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA)

จากภาพสัญลักษณ์ภายในรูปและขั้นตอนการผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA) รูปที่ 2.8 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)

ซึ่งวิธีนี้สามารถปรับปรุงกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต RCA ให้เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดจากการผสมแบบดั้งเดิม เนื่องจากกระบวนการก่อนผสม ทำให้ ผงซีเมนต์เข้าไปอุดร้อยร้าวและโพรงต่างๆ รอบ RCA ส่งผลให้คอนกรีตแน่นขึ้น เป็นที่มาของการพัฒนากำลังรับแรงอัด โดยการพัฒนากำลังสามารดูจากรูปที่ 2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบดั้งเดิมและคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบ Two Stage Mixing Approach



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบดั้งเดิมและคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบ Two Stage Mixing Approach

แสดงให้เห็นถึงกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบดั้งเดิมนั้นมีกำลังอัดน้อยกว่าคอนกรีตที่ใช้การผสมแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ คอนกรีตรีไซเคิล และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตามมาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15
2. ทราย ใช้ทรายน้ำจืด
3. น้ำ ใช้น้ำประปา
4. คอนกรีตรีไซเคิลได้จากการบดคอนกรีตที่ได้จากการรื้อถอนโครงสร้างคอนกรีต ใช้แทนหินแกรนิตเพื่อเป็นมวลรวมหยาบร้อยละ 100
5. พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

3.2 รายละเอียดวิธีการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตรีไซเคิลที่นำมาใช้แทนหินแกรนิต และการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ข้าไป เพื่อเป็นส่วนผสมในการทำคอนกรีต

3.2.1 กำหนดวัตถุประสงค์

ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตรีไซเคิล เพื่อช่วยในการลดต้นทุนในงานก่อสร้าง ศึกษาการพัฒนากำลังรับแรงดัดของคอนกรีต เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้าไป และหาค่าของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ที่เหมาะสม ในการพัฒนากำลังรับแรงดัดของคอนกรีต เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับโครงสร้างไม่ซับซ้อนที่ส่วนใหญ่เกิดการวิบัติจากการรับแรงดัด เช่น ถนน คลองส่งน้ำ และทุ่นกันคลื่นทะเล เป็นต้น

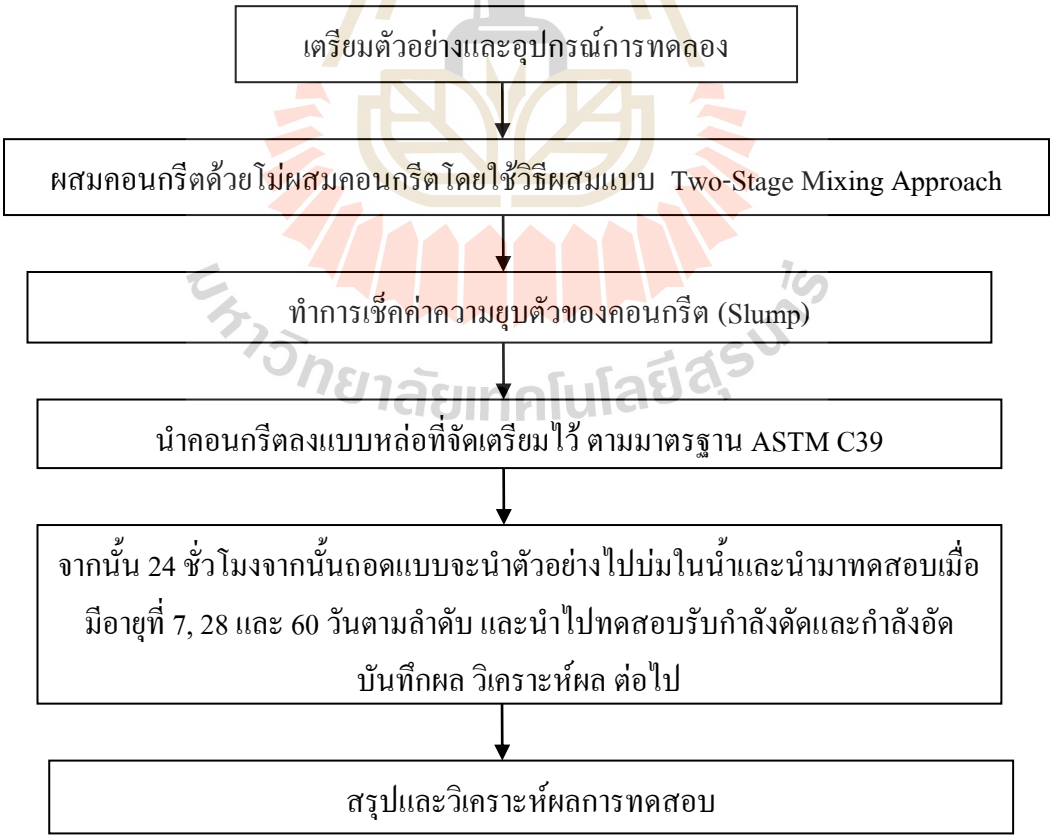
3.2.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดลอง

การทดสอบกำลังของคอนกรีต ใช้ชิ้นตัวอย่างคอนกรีตซึ่งเตรียมขึ้นโดยแบบหล่อแบบคานขนาด 10x10x50 ซม. ใช้ทดสอบกำลังรับแรงดัด และแบบหล่อทรงกระบอกขนาด 10x20 ซม. ใช้ทดสอบกำลังรับแรงอัด ดังรูป 3.1

รูปที่ 3.1 แบบหล่อที่ใช้การการทดลอง

3.2.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

การหล่อคอนกรีตนี้ จะยึดการหล่อตามมาตราฐาน ASTM C192 และ ASTM C39 เป็นการผสมคอนกรีตด้วยโม่ผสมคอนกรีตโดยจะผสมด้วยวิธี two-stage mixing approach (TSMA) method ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการปรับปรุงคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบโดย มีขั้นตอนในการดำเนินการทดลองตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการผสมคอนกรีตโดยวิธี two-stage mixing approach (TSMA) method

จากแผนผังขั้นตอนการผสมคอนกรีตโดยวิธี two-stage mixing approach (TSMA) method รูปที่ 3.2 แสดงถึงขั้นตอนการนำมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดผสมให้เข้ากันในระยะเวลา 60 วินาที จากนั้นเติมน้ำ 1:2 ของน้ำที่ใช้ในการผสม ผสมให้เข้ากันในระยะเวลา 60 วินาที จากนั้นเติมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมในโม่ระยะเวลา 30 วินาที เพิ่มน้ำที่เหลือลงไปในการผสมและผสมต่ออีก 120 วินาที จึงจบขั้นตอนการผสมแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA)

3.2.2.2 อัตราส่วนต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต

Description		**Curing Temperature**	**Compressive Strength and Flexural Strength**
w/Binder rations	PVA (%)		
0.5	0 0.5 1.0 1.5 2.0	Curing in water	7, 28, 60 days

จากตารางแสดงอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองดังนี้ อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้คือ 0.5 อัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้คือ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ระยะเวลาในการบ่มตัวอย่างคอนกรีต คือ 7 28 และ 60 วันแล้วนำตัวอย่างคอนกรีตไปทดสอบหากำลัง และตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเถ้าลอยที่เติมเข้าไปในการหล่อตัวอย่างคอนกรีต

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของการผสมคอนกรีตสำหรับใช้ในการหล่อตัวอย่าง โดยกำหนดส่วนผสมของคอนกรีตดังนี้ 1.2 : 2.5 : 3.4 กล่าวคือ ใช้ ปูนซีเมนต์ 1.2 ส่วน ทราย 2.5 ส่วน RCA 3.4 ส่วน อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คือ 0.5

Mix	Mix Proportion (kg/m^3)			
	Cement	PVA weight.	RCA[a]	Sand
PVA0	417.4	-	1187	890
PVA0.5	417.4	2.087	1185	873
PVA1	417.4	4.174	1191	874
PVA1.5	417.4	6.261	1182	867
PVA2	417.4	8.348	1178	864

3.2.3 มาตราฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีต

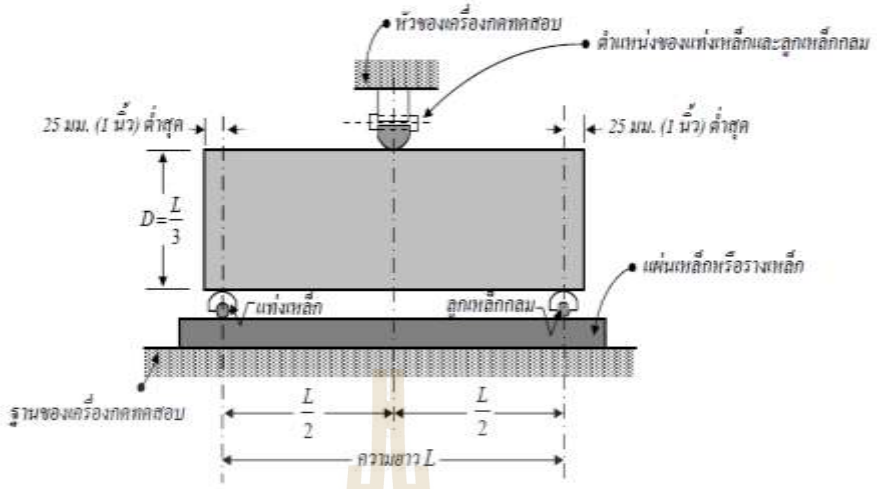
3.2.3.1 มาตรฐานการทดสอบนี้ ครอบคลุมถึงการทดสอบหากำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีตเพื่อหาค่าโมดูลัส การแตกร้าว (Modulus of Repture) ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีใช้แรงกดหนึ่งจุดกึ่งกลางคาน (Center Point Loading) และวิธีใช้แรงกดคาน 2 จุด โดยกำหนดตำแหน่งของจุดทั้งสองเป็นตำแหน่งที่แบ่งคานออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน

3.2.3.2 มาตรฐานนี้ใช้หน่วย SI (International system Units) เป็นหลัก และใช้ค่าการแปลงหน่วยของแรง 1 กิโลกรัมแรงเท่ากับ 9.806 นิวตัน

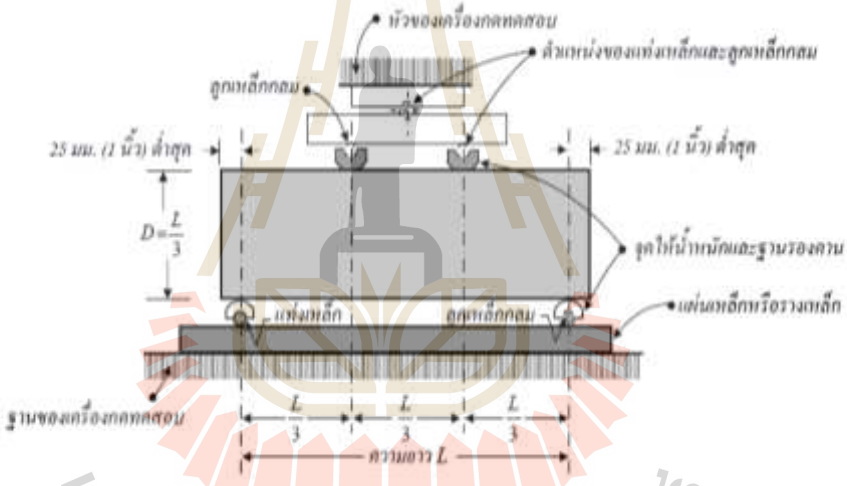
3.2.3.3 ค่าโมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of Repture) เป็นค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจากแรงดัดสูงสุดที่กระทำต่อตัวอย่างคอนกรีต ณ จุดวิบัติ

3.2.4 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีต

3.2.4.1 วางชิ้นทดสอบลงบนฐานรองรับคาน วางหัวกดให้ตำแหน่งของหัวกด คาน และฐานรองคานอยู่ตามกำหนด โดยการทดสอบวิธีใช้แรงกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางคานให้จัดตำแหน่งเครื่องมือตามกำหนดในรูปที่ 3.3 ส่วนการทดสอบวิธีใช้แรงกดคานสองจุดให้จัดตำแหน่งเครื่องมือตามกำหนดในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 การทดสอบวิธีใช้แรงกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลาง



รูปที่ 3.4 การทดสอบวิธีใช้แรงกดสองจุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2.4.2 ปรับอัตราการกดเครื่องทดสอบด้วยแรงประมาณร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 6 ของแรงประลัย (Ultimate Load) แล้วค่อยตรวจสอบผิวสัมผัสของตัวกดกับคานและฐานรองคานกับคานดูว่ามีช่องขนาดกว้างกว่า 0.15 มิลลิเมตร ในช่วง 25 มิลลิเมตรหรือไม่ ถ้ามีให้แต่งคอนกรีตที่บริเวณช่วงนั้น ๆ ด้วยการฝนให้เรียบ ช่องที่ขนาดกว้างน้อยกว่า 0.15 มิลลิเมตร ในช่วง 25มิลลิเมตร อาจอุดได้โดยการวางแผ่นหนัง (Leather Shim) ไว้ระหว่างผิวสัมผัส แผ่นหนังที่ใช้จะต้องมีขนาดเท่ากับ 6.4 มิลลิเมตร กว้าง 25 มิลลิเมตร ถึง 50 มิลลิเมตร

3.2.4.3 เพิ่มแรงกดอย่างต่อเนื่องโดยไม่ให้มีการกระตุก ในช่วงครึ่งแรกของแรงประลัย อาจเพิ่มแรงได้อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นให้เพิ่มแรงด้วยอัตราที่อยู่

ในช่วง 0.9 ถึง 1.2 เมกาปาสกาลต่อนาที (9 ถึง 12 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที) จนกระทั่งคานตัวอย่างวิบัติ

3.2.4.4 วัดด้านกว้างและลึกของคานที่บริเวณที่มีรอยแตกด้านละ 3 ครั้ง โดยให้มีความละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ยของขนาดหน้าตัดพร้อมทั้งวาดรายละเอียดการแตกร้าวของคานตัวอย่าง

3.2.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

กำลังต้านทานแรงหรือการรับแรง เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต ซึ่งมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น กำลังต้านทานแรงอัด เป็นต้น งานคอนกรีตทั่วไปนิยมทำการทดสอบหากำลังยึดเหนี่ยว และกำลังต้านทานแรงอัดเป็นต้น งานคอนกรีตทั่วไปนิยมทำการทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดเป็นหลัก เพื่อนำผลไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของงานและ ยังใช้เป็นตัวบ่งบอกให้ทราบถึงคุณสมบัติด้านอื่นได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะกำลังต้านทานแรงอื่น ๆ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังต้านทานแรงอัด

การทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตทำได้โดยการกดหรืออัดแท่งทดสอบรูปลูกบาศก์ตามมาตรฐานอังกฤษ หรือรูปทรงกระบอกตามมาตรฐานอเมริกัน ซึ่งบ่มชื้นตามระยะเวลาที่กำหนด จนกระทั่งแตก แล้วทำการคำนวณหาค่าความต้านทานแรงอัดประลัย มีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม หรือ ปอนด์/ตร.นิ้ว ก้อนตัวอย่างมาตรฐานที่ทำเพื่อทดสอบกำลังอัดที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายมี 2รูปทรงคือ

3.2.5.1 รูปทรงกระบอก เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา ขนาดที่ใช้คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.

3.2.5.2 รูปทรงลูกบาศก์ เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอังกฤษขนาดที่ใช้คือขนาด 15x15x15 ซม. กำลังอัดของ 2 รูปทรงนี้จะแตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้ส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกัน โดยกำลังอัดด้วยตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะมีค่าน้อยกว่ากำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบ

- แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกดก่อให้เกิด Confining Stress ซึ่งจะมีผลทำให้ค่ากำลังอัดของรูปทรงลูกบาศก์ที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง
- องค์ประกอบเรื่องความชะรูด กล่าวคือเนื่องจากรูปทรงกระบอกมีความสูงมากกว่าด้านกว้างทำให้ผลด้าน Confining Stress ลดลงอย่างมาก ตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของวิศวกรรม

3.2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต

3.2.5.1 คุณสมบัติของวัสดุผสมปูนซีเมนต์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก ทั้งนี้เพราะว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภท จะก่อให้เกิดกำลังของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้แม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกัน แต่มีความละเอียดแตกต่างกันแล้ว อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตก็จะแตกต่างไปด้วยคือ ถ้าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากก็จะให้กำลังสูง โดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

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

3.2.5.3 น้ำ น้ำมีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใส และปริมาณของสารเคมีหรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำที่เกลือคลอไรด์ผสมอยู่ จะทำให้อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตในระยะต้นสูง น้ำขุ่นหรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่ จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลงซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสารแขวนลอยนั้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผลข้อมูล

สำหรับการศึกษาและการวิเคราะห์ผลข้อมูล จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษากำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบปรับปรุงด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อเป็นการต่อยอดงานวิจัย และศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุของเสีย นำกลับมาใช้ใหม่ งานวิจัยดังกล่าวจึงได้ศึกษาและทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น เช่น กำลังรับแรงอัดและแรงดัด รวมไปถึงคุณสมบัติของวัสดุประสานที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ สารประกอบเคมี ซึ่งใช้ภาพถ่ายขยายกำลังสูงอธิบายผลข้อมูลของแต่ละตัวอย่าง เช่น ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค ควบคู่ไปกับการใช้องค์ประกอบทางเคมีของคอนกรีตแต่ละตัวอย่าง อธิบายผลข้อมูล

4.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษา

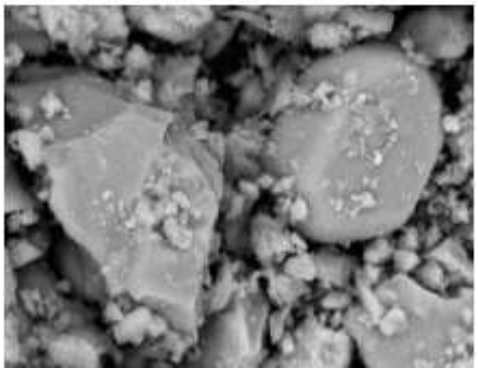
วัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยคุณสมบัติที่ได้ศึกษาในครั้งนี้ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของอนุภาค ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค และคุณสมบัติทางเคมี มีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ความถ่วงจำเพาะของวัสดุประสาน

ค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ จะมีค่าประมาณ 3.15 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ บ่งบอกถึงส่วนประกอบของเนื้อปูนซีเมนต์และความละเอียดของปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมาก จะมีความถ่วงจำเพาะสูง ค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ส่วนใหญ่ จะนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (Mixed Design)

4.1.2 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของอนุภาคของวัสดุประสาน

รูปที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายขยายกำลังสูงของอนุภาคของวัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยวิธี SEM (Scanning Electronic Microscope) ซึ่งกำลังขยาย 3,500 เท่า พบว่าลักษณะรูปร่างของอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททที่ 1 มีลักษณะเป็นเหลี่ยมคม ผิวขรุขระ ขนาดไม่แน่นอนแตกต่างกันไปกระจายอยู่ทั่ว



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายขยายกำลังสูง (3,500 เท่า) ของอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

4.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน

องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แสดงดังตารางที่ 4.2 สัญลักษณ์ของออกไซด์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งออกไซด์หลัก ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ ซิลิกา อลูมินา และเฟอร์ริกออกไซด์ ออกไซด์ทั้ง 4 นี้รวมกันได้ร้อยละ 90 ของปูนซีเมนต์ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์รอง ออกไซด์เหล่านี้ จะทำปฏิกิริยาและรวมตัวกันอยู่ในรูปของสารประกอบ

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมี	**สัญลักษณ์**	**ร้อยละโดยน้ำหนัก**
CaO	C	60-67
SIO_2	S	17-25
Al_2O_3	A	3-8
Fe_2O_3	F	0-5-6.0
Mgo	M	0.1-4.0
Na_2O	N	0.1-1.8
K_2O	K	0.1-1.8
SO_3	S	0.5-3.0
สารประกอบอื่นๆ	-	0.5-3.0
การสูญเสียน้ำหนักเนื้องจากการเผา (Loss on ignition)	LOI	0.1-3.0
การที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (insoluble residue)	-	0.2-0.75

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2 คุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ศึกษาในครั้งนี้

4.2.1 ความถ่วงจำเพาะของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ผลการศึกษาความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ใช้ในงานวิจัยนี้ มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.27 – 1.31

4.2.2 การผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA)

อัตราส่วนต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยดังแสดงในตารางที่ 4.3

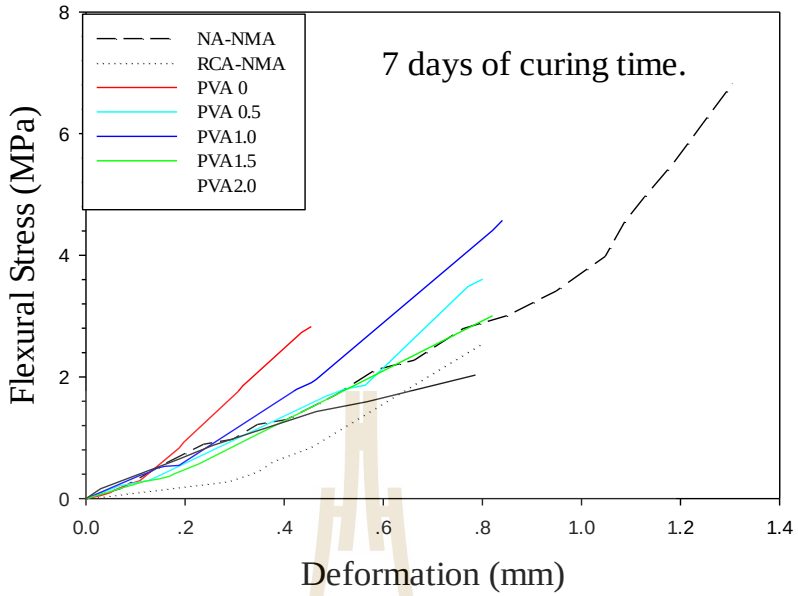
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต

Description		**Curing Temperature**	**Compressive Strength and Flexural Strength**
w/Binder rations	PVA (%)		
0.5	0 0.5 1.0 1.5 2.0	Curing in water	7, 28, 60 days

จากตารางที่ 4.3 แสดงถึงอัตราส่วนผสมและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต ซึ่งน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้คือ 0.5 อัตราส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้คือ 0 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 ระยะเวลาในการบ่มตัวอย่างคอนกรีต คือ 7 28 และ 60 วัน

4.3 การพัฒนากำลังดัดของคอนกรีต (Flexural Strength development)

รูปที่ 4.4 4.5 และ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดัดของคอนกรีตต่อค่าความเครียดดัดที่ระยะเวลาบ่มคอนกรีตที่ 7 28 และ 60 วัน ตามลำดับ ดังนี้



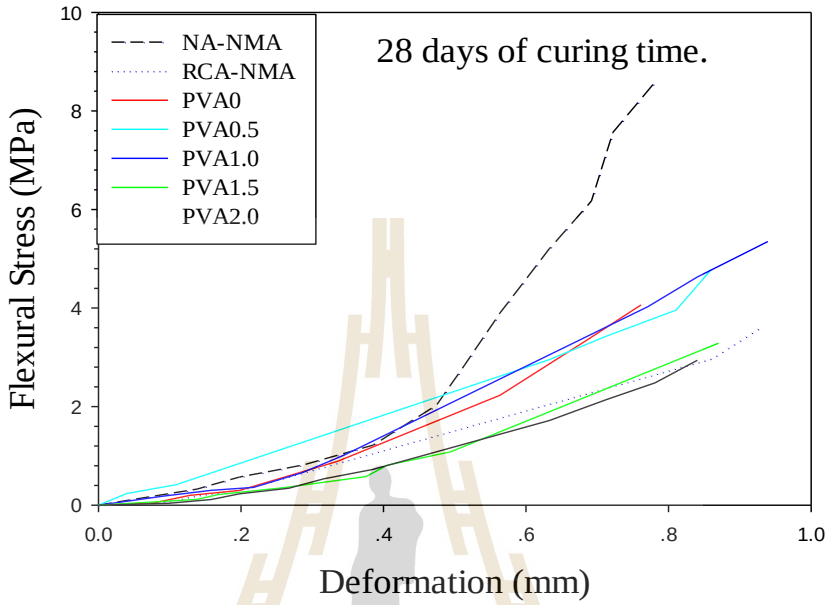
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดัดต่อระยะการแอ่นตัวของคอนกรีต ที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 7 วัน

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดัดต่อระยะการแอ่นตัวของคอนกรีต ที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 7 วัน แสดงดังรูปที่ 4.4 พบว่า การผสมคอนกรีตแบบธรรมดา (Normal Mixing Approach, NMA) โดยใช้หินธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบ กำลังรับแรงดัดสูงสุดคือ 7.10 MPa คอนกรีตมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดที่ 1.30 mm ซึ่งคอนกรีตสามารถรับกำลังดัดได้มากกว่าการใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ เมื่อใช้วิธีผสมเดียวกัน

ส่วนการผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 คอนกรีตมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดที่ 0.48 mm และกำลังรับแรงดัดคือ 2.82 MPa ซึ่งต่อมาที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 คอนกรีตมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดที่ 0.79 mm และกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตยังเพิ่มขึ้นคือ 3.50 MPa และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 โดยคอนกรีตมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดที่ 0.86 mm และกำลังรับแรงดัดสูงสุดคือ 4.57 MPa และหลังจากนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณ PVA ตั้งแต่ ร้อยละ 1.5 ถึง 2 ทำให้ค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตลดลง คือ 3.00 MPa และ 2.27 MPa ตามลำดับ และค่าการแอ่นตัวของคอนกรีตยังมีแนวโน้มลดลงตามไปด้วย

จากกราฟดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าการผสมคอนกรีตแบบธรรมดาโดยใช้หินธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบสามารถรับกำลังดัดของคอนกรีตได้มากกว่าการใช้คอนกรีตรีไซเคิล ส่วนการผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA) เมื่อเติม PVA ในปริมาณจากร้อยละ 0

จนถึง 1.0 สามารถพัฒนากำลังดัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติม PVA ร้อยละ 1.5 ถึง 2.0 ไม่ช่วยในการปรับปรุงกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต แต่ทำให้กำลังดัดของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง

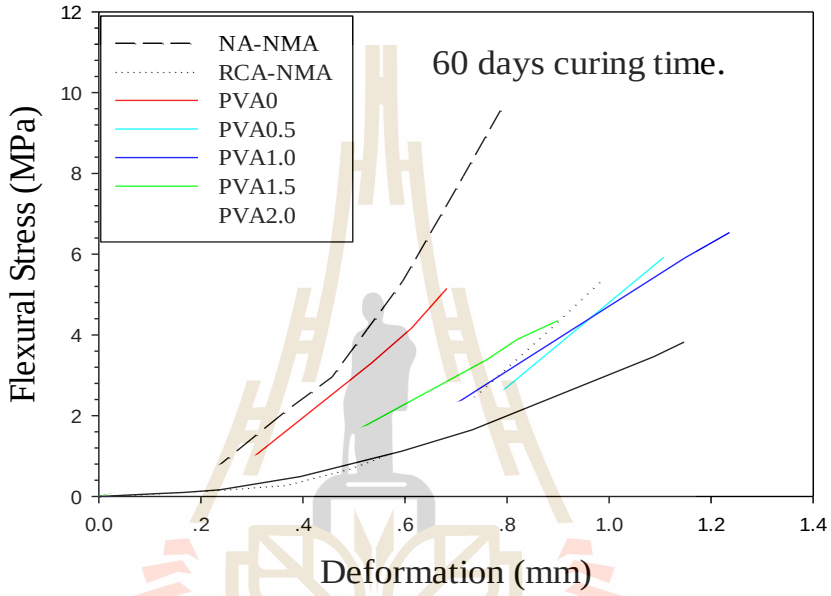


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดัดต่อระยะการแอ่นตัวของคอนกรีตที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 28 วัน

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดัดต่อระยะการแอ่นตัวของคอนกรีต ที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 28 วัน แสดงดังรูปที่ 4.5 พบว่า การผสมคอนกรีตแบบธรรมดา (Normal Mixing Approach, NMA) โดยใช้หินธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบ คอนกรีตมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดที่ 0.78 mm และกำลังรับแรงดัดคือ 8.92 MPa ซึ่งคอนกรีตสามารถรับกำลังดัดได้มากกว่าการใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ เมื่อใช้วิธีผสมเดียวกัน

ส่วนการผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 คอนกรีตมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดที่ 0.67 mm และกำลังรับแรงดัดคือ 4.06 MPa ซึ่งต่อมาที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 คอนกรีตมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดที่ 0.83 mm และกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตยังเพิ่มคือ 4.78 MPa และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 โดยคอนกรีตมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดที่ 0.98 mm และกำลังรับแรงดัดสูงสุดคือ 5.35 MPa และหลังจากนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณ PVA ตั้งแต่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 ถึง 2.0 ทำให้ค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตลดลง คือ 3.28 MPa และ 2.49 MPa ตามลำดับ

จากกราฟดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า การผสมคอนกรีตแบบธรรมดา (NMA) โดยใช้หินธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบสามารถรับกำลังดัดของคอนกรีตได้มากกว่าการใช้คอนกรีตรีไซเคิล ส่วนการผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA) เมื่อเติม PVA จากร้อยละ 0 เพิ่มขึ้น เป็น 0.5 จนถึง 1.0 สามารถพัฒนากำลังดัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติม PVA ร้อยละ 1.5 ถึง 2.0 ไม่ช่วยในการปรับปรุงกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต แต่ทำให้กำลังดัดของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง



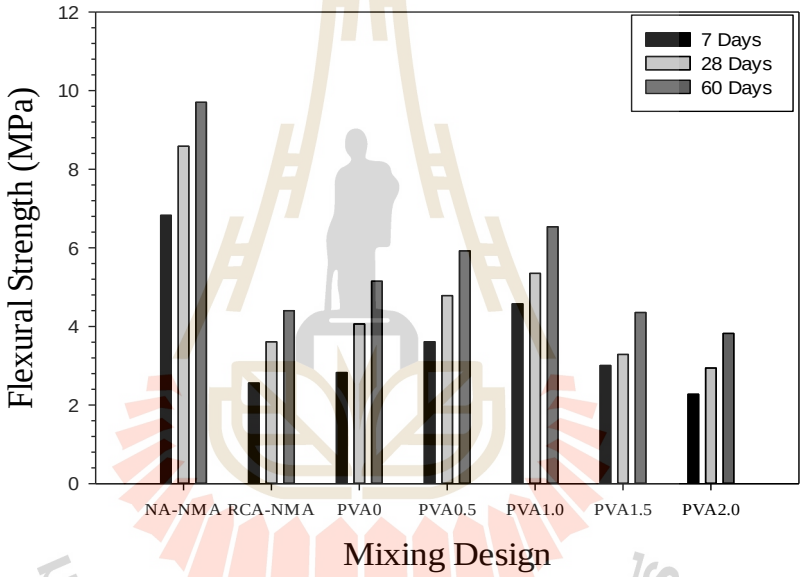
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดัดต่อระยะการแอ่นตัวของคอนกรีตที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 60 วัน

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดัดต่อค่าการแอ่นตัวของคอนกรีต ที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 60 วัน แสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่า การผสมคอนกรีตแบบธรรมดา (Normal Mixing Approach, NMA) โดยใช้หินธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบ คอนกรีตมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดที่ 0.78 mm และกำลังรับแรงดัดคือ 9.82 MPa ซึ่งคอนกรีตสามารถรับกำลังดัดได้มากกว่าการใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ เมื่อใช้วิธีผสมเดียวกัน

ส่วนการผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 คอนกรีตมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดที่ 0.69 mm และกำลังรับแรงดัดคือ 5.15 MPa ซึ่งต่อมาที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0.5 คอนกรีตมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดที่ 1.11 mm และกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตยังเพิ่มขึ้นคือ 5.92 MPa และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 โดยคอนกรีตมีระยะการแอ่นตัวสูงสุดที่ 1.27 mm และกำลังรับแรงดัดคือ 6.53 MPa และหลังจากนั้นการเพิ่มขึ้น

ของปริมาณ PVA ตั้งแต่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.5 ถึง 2.0 ทำให้ค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตลดลง คือ 4.35 MPa และ 3.28 MPa ตามลำดับ

จากกราฟดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าการผสมคอนกรีตแบบธรรมดา (NMA) โดยใช้หินธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบสามารถรับกำลังดัดของคอนกรีตได้มากกว่าการใช้คอนกรีตรีไซเคิลเมื่อใช้วิธีผสมเดียวกัน ส่วนการผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA) เมื่อเติม PVA จากปริมาณร้อยละ 0 เพิ่มขึ้น เป็น 0.5 จนถึง 1.0 สามารถพัฒนากำลังดัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติม PVA ร้อยละ 1.5 ถึง 2.0 ไม่ช่วยในการปรับปรุงกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต แต่ทำให้กำลังดัดของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง



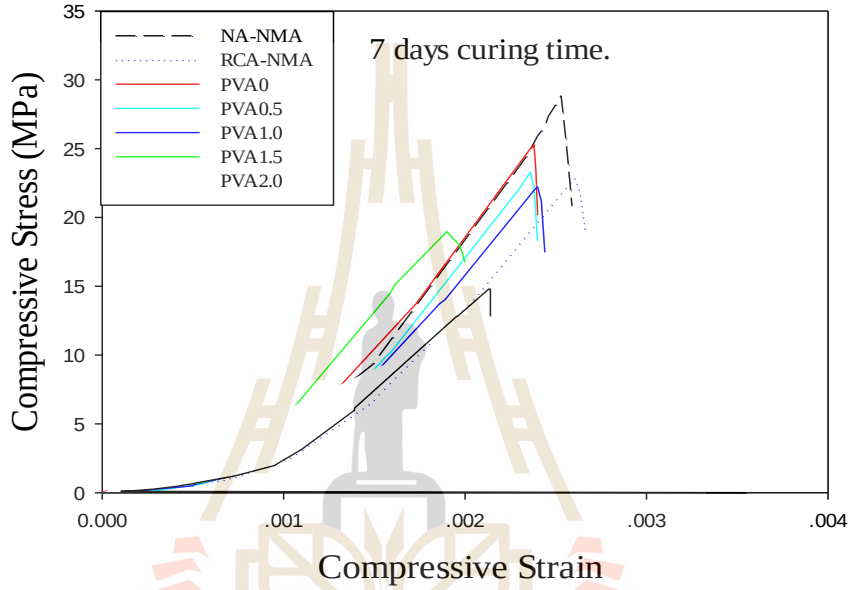
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงและเปรียบเทียบกำลังดัดของคอนกรีตต่อวัสดุที่ใช้ในการผสมและวิธีการผสมคอนกรีตที่แตกต่างกัน

กราฟแสดงและเปรียบเทียบกำลังดัดของคอนกรีตที่วัสดุใช้ในการผสมและวิธีการผสมคอนกรีตที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 7 28 และ 60 วัน ดังรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่ากำลังดัดของทุกส่วนผสมมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม การผสมคอนกรีตแบบวิธีธรรมดาโดยใช้หินธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบให้กำลังดัดสูงกว่าการใช้รีไซเคิลคอนกรีต และการใช้หินธรรมชาติในการผสมคอนกรีตด้วยวิธีธรรมดาให้กำลังดัดสูงกว่าการใช้รีไซเคิลคอนกรีต ที่ใช้วิธี Two Stage Mixing Approach (TSMA) ทั้งกรณีเติมและไม่เติม PVA ขณะที่รีไซเคิลคอนกรีตที่ผสมด้วยวิธีธรรมดาให้กำลังดัดต่ำกว่าการใช้วิธี TSMA ที่ไม่มีการเติม PVA ในทุกอายุบ่ม และกำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้รีไซเคิล

คอนกรีตที่ใช้วิธี TSMA มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ PVA และมีค่าสูงสุดที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1.0 หลังจากนั้นกำลังดัดมีค่าลดลง

4.4 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต (Compressive Strength development)

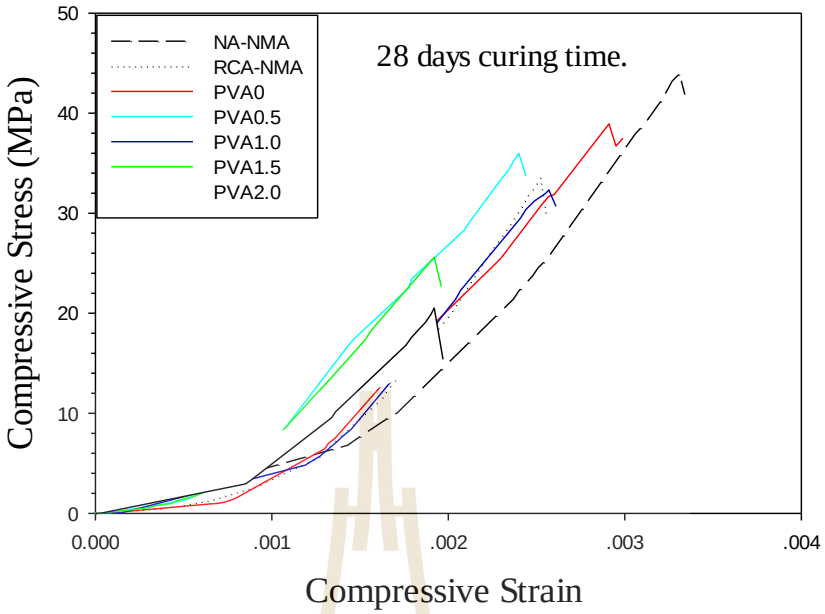
รูปที่ 4.8 ถึง 4.10 แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและความเครียดอัดของคอนกรีตที่ส่วนผสมต่างๆ ที่อายุบ่ม 7 28 และ 60 วัน ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดต่อค่าความเครียดอัด ที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 7 วัน

ที่อายุบ่ม 7 วัน (รูปที่ 4.8) การผสมคอนกรีตแบบธรรมดา (Normal Mixing Approach, NMA) โดยใช้หินธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบ มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0024 และกำลังรับแรงอัดคือ 29.00 MPa ซึ่งมีกำลังอัดมากกว่าการใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ ที่ผสมด้วยวิธีเดียวกัน

การผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุดเท่ากับ 26.0 MPa มีค่าความเครียดร้อยละ 0.0023 และกำลังอัดมีค่าลดลงตามปริมาณ PVA ที่เพิ่มขึ้น

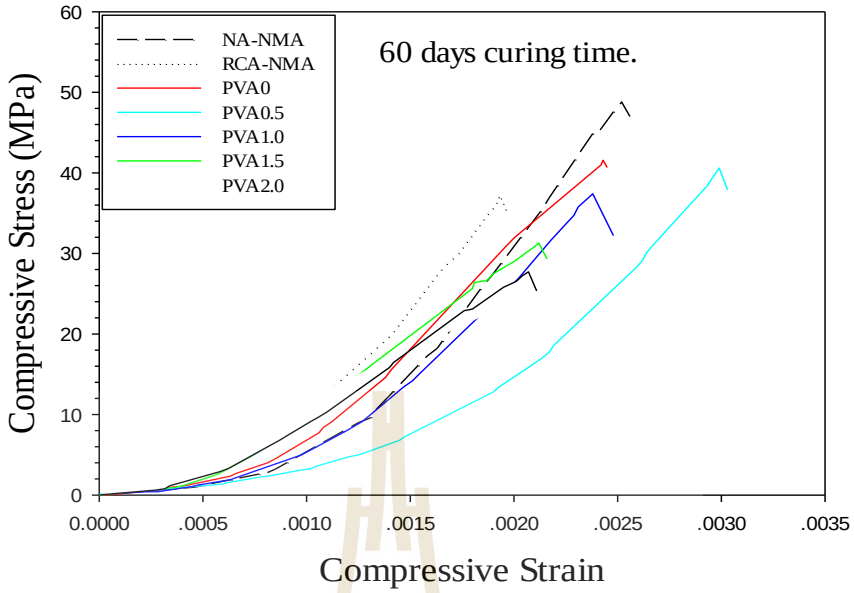


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดต่อค่าความเครียดอัด ที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 28 วัน

ที่อายุบ่ม 28 วัน (รูปที่ 4.9) การผสมคอนกรีตแบบธรรมดา (Normal Mixing Approach, NMA) โดยใช้หินธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบ มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0031 และกำลังรับแรงอัดคือ 45.00 MPa ซึ่งมีกำลังอัดมากกว่าการใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ ที่ผสมด้วยวิธีเดียวกัน

การผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุดเท่ากับ 39.00 MPa มีค่าความเครียดร้อยละ 0.0028 และกำลังอัดมีค่าลดลงตามปริมาณ PVA ที่เพิ่มขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

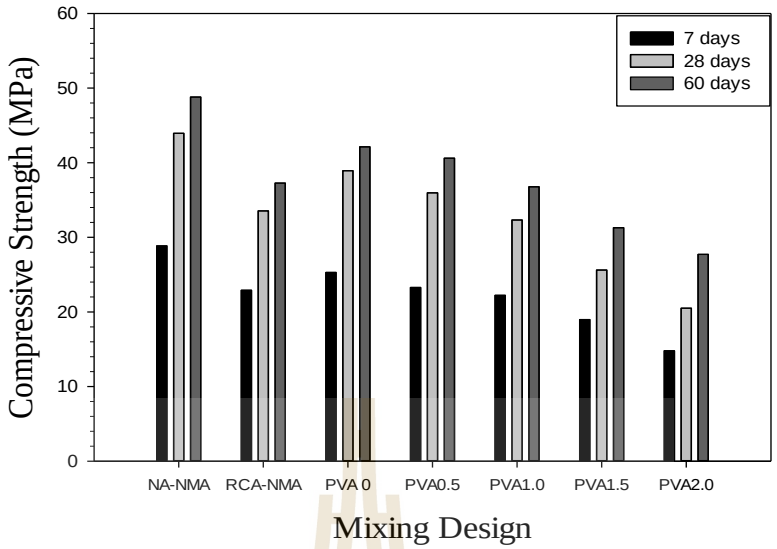


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดต่อค่าความเครียดอัด ที่ใช้วัสดุในการผสมและวิธีการผสมที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 60 วัน

ที่อายุบ่ม 60 วัน (รูปที่ 4.10) การผสมคอนกรีตแบบธรรมดา (Normal Mixing Approach, NMA) โดยใช้หินธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบ มีค่าความเครียดสูงสุดร้อยละ 0.0025 และกำลังรับแรงอัดคือ 50.00 MPa ซึ่งมีกำลังอัดมากกว่าการใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ ที่ผสมด้วยวิธีเดียวกัน

การผสมคอนกรีตแบบ Two Stage Mixing Approach (TSMA) ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุดเท่ากับ 41.00 MPa มีค่าความเครียดร้อยละ 0.0024 และกำลังอัดมีค่าลดลงตามปริมาณ PVA ที่เพิ่มขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงและเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตต่อวัสดุที่ใช้ในการผสมและวิธีการผสมคอนกรีตที่แตกต่างกัน

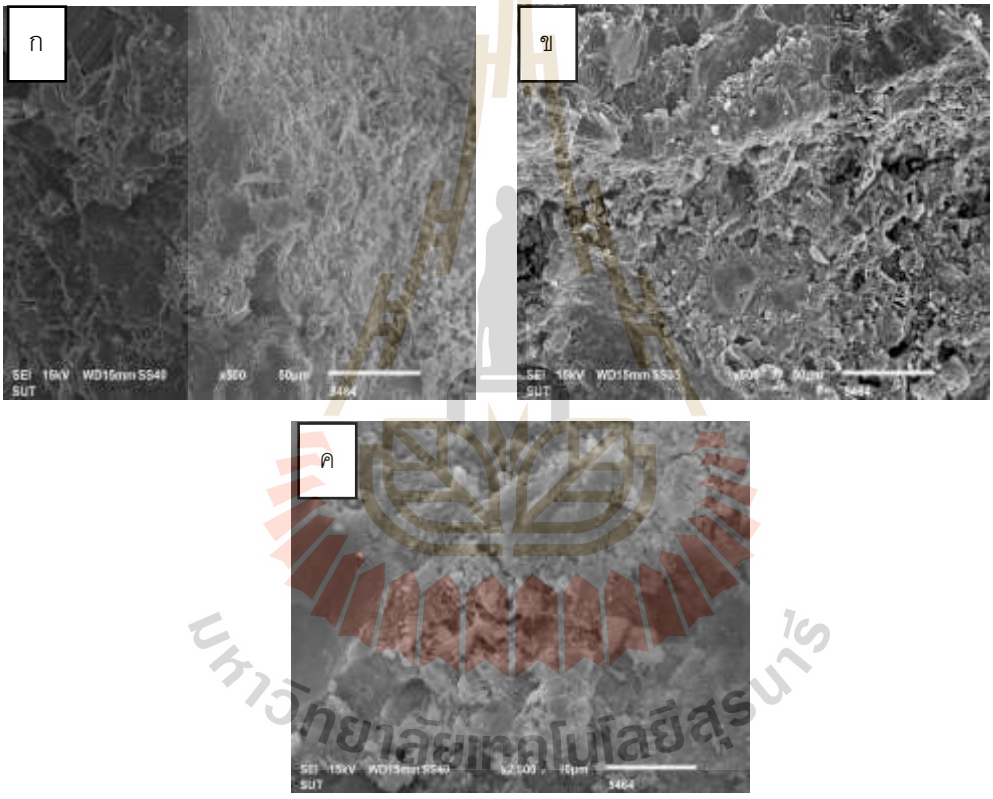
กราฟแสดงและเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตที่วัสดุใช้ในการผสมและวิธีการผสมคอนกรีตที่แตกต่างกัน ที่อายุบ่ม 7 28 และ 60 วัน ดังรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า กำลังอัดของทุกส่วนผสมมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม การผสมคอนกรีตแบบวิธีธรรมดาโดยใช้หินธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบให้กำลังอัดสูงกว่าการใช้รีไซเคิลคอนกรีต และการใช้หินธรรมชาติในการผสมคอนกรีตด้วยวิธีธรรมดาให้กำลังอัดสูงกว่าการใช้รีไซเคิลคอนกรีต ที่ใช้วิธี Two Stage Mixing Approach (TSMA) ทั้งกรณีเติมและไม่เติม PVA ขณะที่รีไซเคิลคอนกรีตที่ผสมด้วยวิธีธรรมดาให้กำลังอัดต่ำกว่าการใช้วิธี TSMA ที่ไม่มีการเติม PVA ในทุกอายุบ่ม และกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้รีไซเคิลคอนกรีตที่ผสมด้วยวิธี TSMA มีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณ PVA

4.5 การวิเคราะห์ทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM and EDX analysis)

4.5.1 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของคอนกรีตโดยใช้หินจากธรรมชาติและคอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ ที่ผสมแบบวิธีธรรมดา (NMA) และวิธี Two Stage Mixing Approach (TSMA)

รูปที่ 4.12 ก) แสดงภาพถ่ายขยายกำลังสูงของคอนกรีตที่ใช้หินจากธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบ ผสมด้วยวิธีธรรมดา (NMA) พบว่าผิวของหินธรรมชาติจะมีลักษณะเรียบ รอยต่อระหว่างเมทริกซ์ของปูนและหิน (Interfacial Transition Zone : ITZ) มีความหนาแน่นสูง ไม่เกิดรูพรุนและรอยแตกร้าว ด้วยเหตุนี้ หินธรรมชาติจึงมีกำลังอัดและกำลังดัดสูงกว่ารีไซเคิลคอนกรีต

และเมื่อพิจารณาอนุภาคของคอนกรีตที่ใช้รีไซเคิลคอนกรีตเป็นมวลรวมหยาบด้วยวิธีผสมแบบธรรมดาดัง รูปที่ 4.12 ข) มีช่องว่างระหว่างผิวของปูนและรีไซเคิลคอนกรีต มีรูพรุนและรอยร้าวจากกระบวนการรีไซเคิล ซึ่งรูพรุนและรอยร้าวนี้เกิดจากการเสื่อมสภาพของคอนกรีต กระบวนการรีไซเคิล ซึ่งรูพรุนและรอยร้าวนี้ สามารถปรับปรุงด้วยวิธี Two Stage Mixing Approach (TSMA) ซึ่งสามารถเห็นได้จาก รูปที่ 4.12 ค) การผสมคอนกรีตแบบ วิธี TSMA ซีเมนต์เจลจะเข้าไปช่วยปิดรูพรุนและรอยแตกร้าวบางส่วน ทำให้คอนกรีตมีช่องว่างหรือรอยแตกร้าวน้อยลง ทำให้คอนกรีตหนาแน่นขึ้นส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่ดีขึ้นและทำให้มีความแข็งแรงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการผสมแบบธรรมดา (NMA)



รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของคอนกรีตแบบวิธีธรรมดา (NMA) โดย ก) ใช้หินจากธรรมชาติ และ ข) คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ และ ค) วิธี Two Stage Mixing Approach (TSMA)

4.5.2 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของคอนกรีตแบบวิธี Two Stage Mixing Approach (TSMA) เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปริมาณแตกต่างกัน

ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 อายุบ่มที่ 7 วัน เมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งผลลัพธ์ของปฏิกิริยานี้คือสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานในคอนกรีต ซึ่งแสดงโดยปริมาณของ Ca Si และ Al ในรูปที่ 4.13 ก)

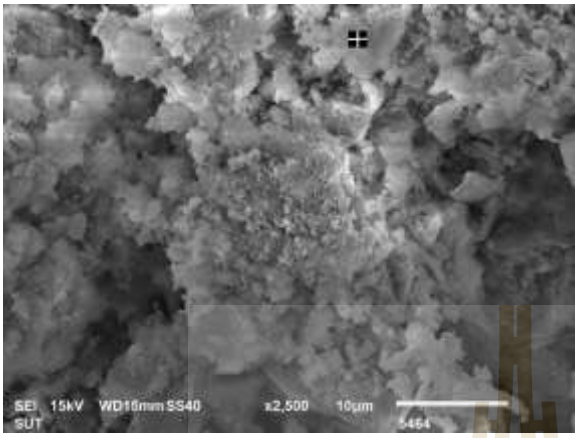
รูปที่ 4.13 ข) แสดงผลทดสอบที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 อายุบ่มที่ 60 วัน สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) มีมากขึ้น และเข้าไปเติมเต็มช่องว่างระหว่างเมทริกซ์ของคอนกรีต เมื่อเปรียบเทียบผล EDX กับ รูป 4.13 ก) แล้วจะพบว่าที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 ที่อายุบ่ม 60 วัน คอนกรีตจะมีการพัฒนากำลังสูงขึ้นเนื่องจากแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) เติบโตมากขึ้นเมื่ออายุบ่มมากขึ้น จึงเป็นสาเหตุของการพัฒนากำลังเพิ่มขึ้นจากอายุบ่ม 7 วัน

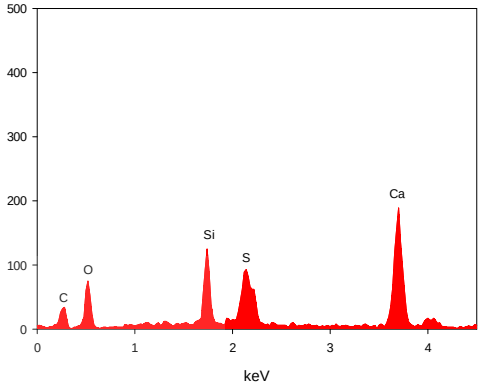
รูปที่ 4.13 ค) ปริมาณ PVA ร้อยละ 1 อายุบ่มที่ 60 วัน เมื่อมีการเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้าไป จะพบว่าในรูปเกิดมีฟิล์มมาเกาะที่ผิวของคอนกรีตค่อนข้างเห็นได้ชัดเจน แต่ยังมีขนาดเล็กและบาง ฟิล์มนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรงดัดในคอนกรีต ซึ่งเพิ่มความสามารถในการรับแรงดัดมากขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต จะรับกำลังได้น้อยกว่าที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 อายุบ่มที่ 60 วัน เนื่องจากฟิล์ม PVA นั้นได้ไปหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนกับน้ำ ส่งผลให้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) เติบโตได้อย่างไม่เต็มที่ แสดงโดยผล EDX ของรูปที่ 4.13 ค) สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) มีจำนวนลดลงเมื่อเทียบกับผล EDX จากรูปที่ 4.13 ข)

รูปที่ 4.13 ง) ปริมาณ PVA ร้อยละ 2 อายุบ่มที่ 60 จะพบว่าในรูปเกิดมีฟิล์มที่ผิวของคอนกรีตชัดเจนขึ้น มีขนาดใหญ่และหนาขึ้นกว่ารูปที่ 4.13 ค) ซึ่งฟิล์มที่ใหญ่และหนาขึ้นนี้จะไปหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนกับน้ำมากกว่าที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1 ส่งผลให้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ที่ได้จากผล EDX มีค่าลดต่ำลงกว่าปริมาณ PVA ร้อยละ 1 อายุบ่มที่ 60 วัน เป็นอย่างมาก

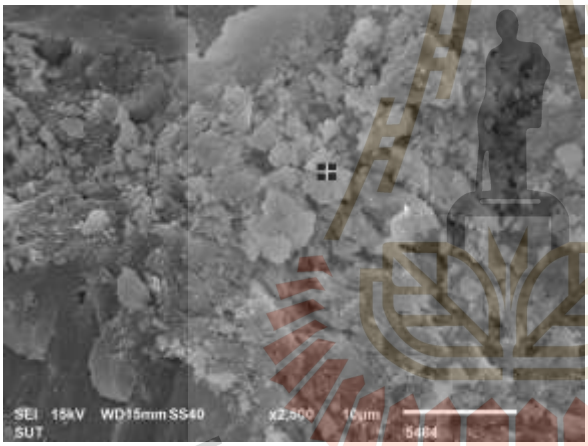
จึงสรุปได้ว่าปริมาณ PVA ร้อยละ 1 อายุบ่มที่ 60 วัน มีการพัฒนากำลังแรงดัดของคอนกรีตได้สูงสุดเนื่องจากฟิล์มนั้นกระจายตัวช่วยในการเสริมแรงต้านทานการดัดของคอนกรีต แต่ในระยะเวลาเดียวกัน ฟิล์มนั้นก็หน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนกันน้ำ ทำให้การพัฒนากำลังอัดลดลงจากเดิม และที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 อายุบ่มที่ 60 วัน มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดได้สูงสุดเนื่องจากปราศจากฟิล์มของ PVA มาหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนกันน้ำ ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น สามารถเติมโตได้อย่างเต็มที่

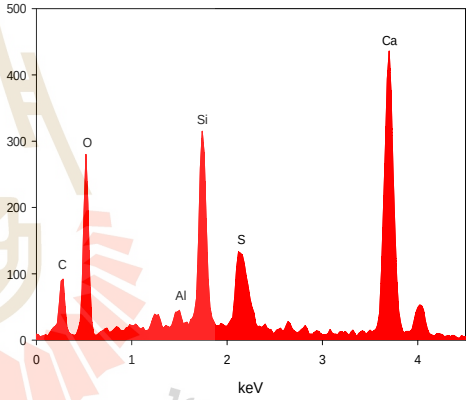
ก ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 อายุบ่มที่ 7 วัน



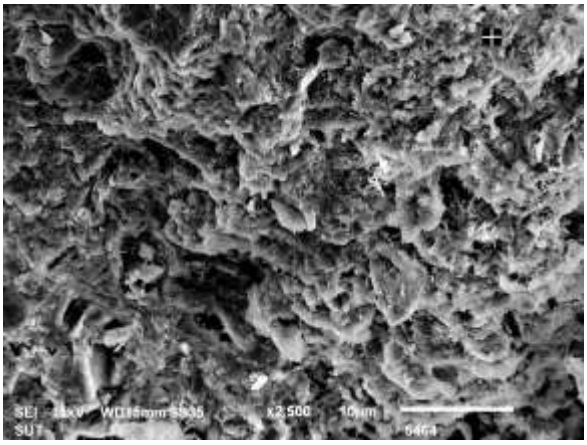


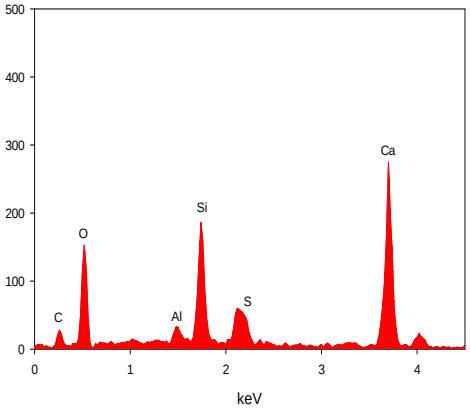
ข ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 อายุบ่มที่ 60 วัน



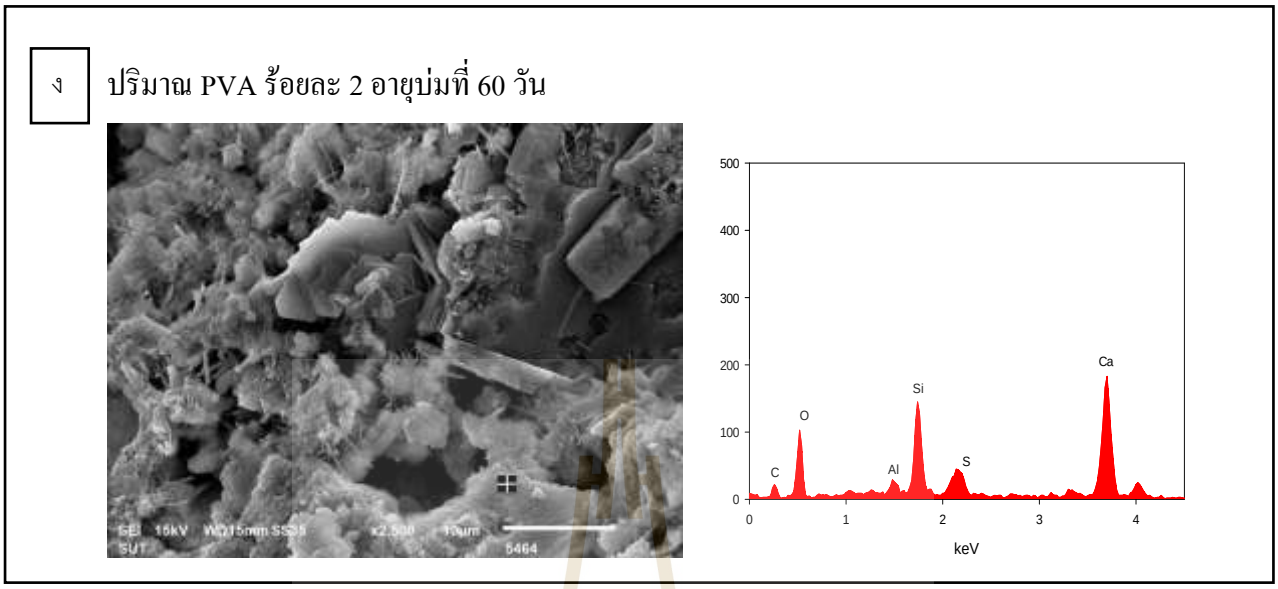


ค ปริมาณ PVA ร้อยละ 1 อายุบ่มที่ 60 วัน





มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของคอนกรีตแบบวิธี Two Stage Mixing Approach (TSMA) เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดย ก) ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 อายุบ่มที่ 7 วัน ข) ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 อายุบ่มที่ 60 วัน ค) ปริมาณ PVA ร้อยละ 1 อายุบ่มที่ 60 วัน และ ง) ปริมาณ PVA ร้อยละ 2 อายุบ่มที่ 60 วัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาตลอดการวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 การผสมคอนกรีตแบบวิธีธรรมดา (NMA)

การใช้คอนกรีตรีไซเคิลแทนการใช้หินจากธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบ พบว่าการใช้หินจากธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบบริเวณ (Interfacial Transition Zone : ITZ) การเกิดช่องว่างระหว่างเมทริกซ์น้อยและหินมีความหนาแน่นมากกว่าคอนกรีตรีไซเคิล ซึ่งคอนกรีตรีไซเคิลนั้นมีการเสื่อมสภาพและรอยร้าวจากกระบวนการรีไซเคิล จึงเป็นสาเหตุทำให้คอนกรีตที่ทำจากหินจากธรรมชาติ มีกำลังอัดและกำลังดัดสูงกว่าคอนกรีตรีไซเคิลนั้นเอง

5.2 การผสมคอนกรีตแบบวิธี Two Stage Mixing Approach (TSMA)

การผสมคอนกรีตแบบวิธี Two Stage Mixing Approach (TSMA) กระบวนการก่อนผสม (Pre-mix-processes) จะทำให้ซีเมนต์เจลจะเข้าไปช่วยปิดรอยแตกร้าวของคอนกรีตรีไซเคิล ทำให้รีไซเคิลคอนกรีตหนาแน่นขึ้นส่งผลให้คอนกรีตที่ทำจากรีไซเคิลคอนกรีตมีกำลังอัดที่ดีขึ้นและทำให้มีความแข็งแรงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการผสมแบบธรรมดา (NMA)

5.2.1 เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 0 อายุบ่มที่ 60 วัน มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตได้สูงสุด เนื่องจากยังไม่มีฟิล์มของ PVA เข้าไปหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์กับน้ำ สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) จึงพัฒนาได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างนี้ เกิดจากสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เพียงอย่างเดียว

5.2.2 เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 1 อายุบ่มที่ 60 วัน มีการพัฒนากำลังแรงดัดของคอนกรีตได้สูงสุด เนื่องจาก PVA นั้นเข้าไปช่วยในการเสริมแรงต้านทานการดัดของคอนกรีต แต่ในระยะเวลาเดียวกัน PVA นั้นก็หน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนกันน้ำ ทำให้การพัฒนากำลังอัดลดลงจากเดิม ดังนั้นกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างนี้ เกิดจากสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และการเสริมแรงต้านทานการดัดจากฟิล์ม PVA ทำงานร่วมกัน

5.2.3 เมื่อเติมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ปริมาณ PVA ร้อยละ 2 อายุบ่มที่ 60 วัน การพัฒนากำลังแรงดัดของคอนกรีตเริ่มลดต่ำลง เนื่องจาก PVA มีปริมาณที่มากเกินไป จนเป็น

การชะลอการทำงานของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนกันน้ำ จึงทำให้กำลังรับแรงดัดที่มาจากส่วนของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นลดลงเป็นอย่างมาก ส่งผลให้กำลังรับแรงดัดของชิ้นตัวอย่างนี้สูญเสียกำลังรับแรงดัดที่มาจากส่วนของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H)

จึงสรุปได้ว่าการผสมคอนกรีตแบบวิธีธรรมดา (NMA) โดยใช้หินธรรมชาติเป็นมวลรวมหยาบนั้น มีกำลังอัดและกำลังดัดสูงกว่าการผสมคอนกรีตแบบวิธี Two Stage Mixing Approach (TSMA) ที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิลเป็นมวลรวมหยาบ และเมื่อมีการเติม PVA พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการพัฒนากำลังแรงดัดของคอนกรีตได้สูงสุด คือปริมาณ PVA ร้อยละ 1 อายุบ่มที่ 60 วัน ถ้าเติมในปริมาณที่มากกว่านี้ จะไม่ช่วยในการพัฒนากำลังรับแรงดัดของคอนกรีต กลับทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มลดต่ำลง และในปริมาณ PVA ร้อยละ 0 อายุบ่มที่ 60 คอนกรีตมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดได้สูงสุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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., K. Kianpur, and M. Moghbeli. (2010). **Effect of Polyvinyl Alcohol on Flexural Strength and Some Important Physical Properties of Portland Cement Paste**. Iranian Journal of Materials Science & Engineering, 7(1): p. 1-6.

ASTM C293/C293M-16 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, https://doi.org/10.1520/C0293_C0293M-16 [วันที่ 24 มีนาคม 2560]

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]

Allahverdi, A., Kianpur, K., and 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., 7(1). 1-6.

Arulrajah, A., Disfani, M.M., Haghighi, H., Mohammadinia, A., and Horpibulsuk, S. (2015). **Modulus of Rupture Evaluation of Cement Stabilized Recycled Glass/Recycled Concrete Aggregate Blends**. Construction and Building Materials., 84, 146-155.

Contrafatto, L. (2013). **Mechanical Properties of Polyvinyl-Alcohol Modified Concrete**. Aimeta Conferences, Italy., DOI: 10.13140/2.1.1417.8565.

Dilbas, H., ŞimŞek, M., and Çakır, Ö. (2014). **An Investigation on Mechanical and Physical Properties 0f Recycled Aggregate Concrete (RAC) With and Without Silica Fume**." Construction and Building Materials.,61, 50-59

Jamsawang, P., Voottipruex, P., and Horpibulsuk, S. (2015). **Flexural Strength Characteristics of Compacted-Cement-Polypropylene Fiber-Sand.** Journal of Materials in Civil Engineering., 27(9), 04014243(1-9).

Kim, J-H., and Robertson, RE. (1998). **Effects of Polyvinyl Alcohol on Aggregate-Paste Bond Strength and the Interfacial Transition Zone**. Advanced Cement Based Materials., 8(2), 66-76.

Kim, Y-Y., Lee, K-M., Bang, J-W., and Kwon, S-J. (2014). **Effect of W/C Ratio on Durability And Porosity in Cement Mortar With Constant Cement Amount.** Advances in Materials Science and Engineering., DOI:10.1155/2014/273460.

Nguyen, D., Devlin, L., Koshy, P., and Sorrell, C. (2015). **Effect of Polyvinyl Alcohol on Rheology of Portland Cement Pastes**. Journal of The Australian Ceramic Society., 51(2), 23-28.

Phetchuay, C., Horpibulsuk, S., Arulrajah, A., Suksiripattanapong, C., Udomchai, A. (2016). "Strength development in soft marine clay stabilized by fly ash and calcium carbide residue based geopolymer." Applied Clay Science., 127-128, 134-142.

Tam, V.W., X. Gao, and C. Tam, *Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach.* Cement and concrete research., 2005. 35(6): p. 1195-1203.

Thong, CC., Teo, DCL., and Ng, CK. (2016). **Application of Polyvinyl Alcohol (PVA) in Cement-Based Composite Materials : A Review of Its Engineering Properties and Microstructure Behavior.** Construction and Building Materials., 107, 172-180.

Topič, J., et al., **Effect of Pva Modification on Properties of Cement Composites**. Acta Polytechnica, 2015. 55(1): p. 64-75.

Viswanath, P. and E.T. Thachil, **Properties of Polyvinyl Alcohol Cement Pastes**. Materials and Structures, 2008. 41(1): p. 123-130.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก
การคำนวณหาหน่วยแรงดัดและหน่วยแรงอัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การคำนวณหาหน่วยแรงดัด

- ตัวอย่างชุดข้อมูล

Deformatiom (mm)	Flexural Stress (MPa)
0	0
0.0865125	0.06953486
0.1606625	0.208603759
0.2348125	0.347672932
0.34605	0.834415037
0.4202	1.043018576
0.5190625	1.390691728
0.6302875	1.73836444

P = แรงที่กระทำ (N)

D = ระยะการแอ่นตัวของคานเมื่อมีแรงมากระทำ (mm)

d = ความสูงคาน (mm)

b = ความกว้างคาน (mm)

L = ความยาว Span (mm)

Flexural Stress = $3PL/2bd^2$

กำหนดให้ P(หน่วยแรงประลัย) = 132.4 N

L = 350 mm

b = 100 mm

d = 100 mm

= $3(132.4)(350) /(2*100)(100^2)$

Flexural Stress = 0.0695 MPa

การคำนวณหาหน่วยแรงอัดและค่าความเครียดอัด

- ตัวอย่างชุดข้อมูล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Deformatiom (mm)	Compressive Stress (MPa)	Compressive Strain
0	0	0
0.004944	0.307401858	0.00002472
0.012853	0.461102787	0.000064265
0.023729	0.614803717	0.000118645
0.029661	0.691653938	0.000148305
0.037571	0.537953008	0.000187855
0.043503	0.614803717	0.000217515
0.050424	0.999055796	0.00025212

1. Compressive Strain = Deformation (mm)/ความสูงคอนกรีต

   จากสูตร Compressive Strain = Deformation (mm)/ความสูงคอนกรีต

   = 0.004944/200 mm

   = 0.00002472

2. Compressive Stress = P/A

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

   = $2{,}414\ N/(\pi/4(100^2)$

   = 0.3074 MPa

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวชนากานต์ พันธุ์รัตน์ เกิดวันที่ 9 กรกฎาคม 2534 ที่จังหวัดปราจีนบุรี บิดาชื่อนายพงษ์พันธ์ พันธุ์รัตน์ มารดาชื่อนางประยง พันธุ์รัตน์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนมัธยมวัดใหม่กรงทอง อำเภอศรีมหาโพธิ จังหวัดปราจีนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สำนักวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปีการศึกษา 2557 ปัจจุบันทำงานอยู่บริษัท ซันเรย์ เพาเวอร์ และเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรโยธา มีความสนใจในสาขาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค จึงเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สำนักวิศวกรรมศาสตร์ สาขาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2558

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี