

## ผลกระทบของกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์โดยใช้วัสดุปอซโซลาน

### Effect of Compressive Strength of Cement Mortar by Pozzolane Material

เมธาวิณ พานาคา<sup>1</sup>, สีวะนันท์ เดือนศิริรัตน์<sup>1</sup>, สาริต เชียงเพ็ญ<sup>1</sup>

จักรพันธ์ แสงสุวรรณ<sup>1</sup>, อนุวัทย์ เทพกรณ์<sup>1</sup>, กฤษณ์ เจ็ควรรณะ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนพินุลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กทม. 10800 E-mail: chak\_sn@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์แทนที่ซีเมนต์บางส่วนด้วยวัสดุปอซโซลานประกอบไปด้วย เถ้าลอย (Fly Ash), ดินขาว (Meta Kaolinite), ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume), ผงแก้ว (Glass powder), เถ้าชานอ้อย (Bagasse ash) และผงหินปูน (Limestone Powder) เลือกละดับส่วนระหว่างซีเมนต์กับวัสดุปอซโซลานแตกต่างกันเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบจากความสามารถในการรับกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่เสื่อมสภาพที่อายุ 14 วัน และ 28 วัน ทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C-109 โดยจำลองสภาพแวดล้อมในสภาพเร่งปฏิกิริยาของซีเมนต์มอร์ตาร์ให้เสื่อมสภาพเนื่องจากปฏิกิริยา ASR

ผลการทดสอบพบว่า การรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน แทนที่ซีเมนต์ด้วยดินขาวร้อยละ 20 ให้กำลังเฉลี่ยสูงสุด 745 ksc มากกว่าแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10 ให้กำลังเฉลี่ย 633 ksc มากกว่าแทนที่ซีเมนต์ด้วยผงหินปูนร้อยละ 10 มีกำลังมากกว่าแทนที่ซีเมนต์ด้วยผงแก้วร้อยละ 10 มีกำลังเฉลี่ย 558 ksc มากกว่าแทนที่ซีเมนต์ด้วยซิลิกาฟุ้งร้อยละ 20 มีกำลังเฉลี่ย 537 ksc มากกว่ามอร์ตาร์ควบคุมมีกำลังเฉลี่ย 535 ksc และมากกว่าแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 20 มีกำลังเฉลี่ย 438 ksc ที่อายุ 28 วันตามลำดับ

คำสำคัญ: วัสดุปอซโซลาน, เถ้าลอย, ซิลิกาฟุ้ง, เถ้าชานอ้อย, ผงหินปูน

#### Abstract

The objective of this research is to study the effect of compressive strength of cement mortar to replace partial cement with pozzolanic materials consisting of Fly Ash, Meta Kaolinite, Silica Fume, Glass powder, bagasse ash and limestone powder. Selected the ratio between cement and pozzolan materials find a suitable proportion by comparing the ability of compressive strength of the deteriorated mortar cement at the age of 14 days and 28 days, the compressive strength test of cement mortar according to ASTM C-109 standard by

simulating the environment in accelerated conditions reaction of cement mortar to deteriorate due to ASR. The results showed that the compressive strength of mortar at the age of 28 days instead of cement with 20 percent kaolin, the maximum power of 745 ksc, instead of cement with bagasse ash 10 percent, average compressive strength of 633 ksc rather than cement with limestone powder 10 percent With more power, replacing cement with 10 percent glass powder, with an average compressive strength of 558 ksc, rather than replacing cement with silica fume, 20 percent with an average compressive strength of 537 ksc, rather than a controlled mortar with an average compressive strength of 535 ksc and more than replacing cement as well 20 percent fly ash has an average compressive strength of 438 ksc at the age of 28 days, respectively.

**Keywords:** Pozzolanic materials, Fly Ash, Silica Fume, Bagasse ash, Limestone Powder

#### 1. บทนำ

##### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

คอนกรีตเป็นวัสดุหลักที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรม การก่อสร้างในประเทศไทย โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนับว่าเป็นโครงสร้างที่แพร่หลาย และเป็นที่ยอมรับมากที่สุด คอนกรีตนอกจากการนำมาใช้เป็นวัสดุโครงสร้างอาคารแล้ว ยังสามารถใช้ในการผลิตท่อ น้ำคั้นหินสำเร็จรูป รั้วคอนกรีต บล็อกก่อผนัง บล็อกปูพื้น ผิวถนน และใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินชั้นทางได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม คอนกรีตปกติจะมีค่าหน่วยน้ำหนักที่สูง (ประมาณ 2,240–2,400 กก./ลบ.ม.) ซึ่งเมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างจะทำให้โครงสร้างมีน้ำหนักมาก และทำให้ชิ้นส่วนองค์อาคาร ต่าง ๆ มีขนาดใหญ่

##### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมด้วยวัสดุปอซโซลานแต่ละชนิด

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4  
Proceedings of the 4<sup>th</sup> RMUTP Conference on Engineering and Technology

2. เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม สำหรับวัสดุปอซโซลานที่นำมาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
3. เพื่อหาวัสดุปอร์ตแลนด์ที่มีคุณสมบัติลดพฤติกรรมการขยายตัวและการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่เกิดปัญหา ASR ที่สามารถรับแรงอัดได้ดี ไม่ด้อยกว่าซีเมนต์ปกติ
4. เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษานำไปเผยแพร่ เพื่อเป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทย

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

การศึกษานี้จะใช้อัตราส่วนของผสมคอนกรีต (Mix design) อัตราส่วนของน้ำที่เท่ากัน และสัดส่วนระหว่างซีเมนต์กับวัสดุปอซโซลานที่ใช้แทนที่ในซีเมนต์ โดยวัสดุปอซโซลานที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในสัดส่วนต่างๆในการศึกษานี้ มีดังนี้ เถ้าลอย (Fly Ash) , ดินขาว (Meta Kaolinite) , ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume) , ผงแก้ว (Glass powder) , เถ้าชานอ้อย (Bagasse ash) และผงหินปูน (Limestone Powder)

เมื่อนำมาผสมคอนกรีตแล้ว จึงนำไปเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ปกติกับคอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ที่มีวัสดุปอซโซลานแทนที่อยู่ ว่ากำลังอัดที่ได้จากการทดสอบนั้น การใช้ซีเมนต์แบบใดที่สามารถรับกำลังอัดได้ดีกว่ากัน และนำผลการทดสอบที่ได้ นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อสรุปผลการศึกษาเป็นลำดับต่อไป

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

กลุ่มเป้าหมายที่จะได้ประโยชน์โดยตรงได้แก่นักวิจัยและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างทั้งภาครัฐและเอกชน โดยประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือ

1. ต้องรู้ความรู้ในเรื่องคอนกรีตมวลเบาทั้งในด้านการผลิตและการใช้งาน รวมถึงข้อดีของการใช้คอนกรีตมวลเบา
2. ได้ฐานข้อมูลการวิจัยสำหรับการพัฒนาวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีตมวลเบา
3. ภาคอุตสาหกรรมได้ทราบถึงคุณสมบัติและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาสำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานเฉพาะอย่างของตนเองได้
4. สร้างความเชื่อมั่นในการประยุกต์ใช้คอนกรีตมวลเบาในอุตสาหกรรมก่อสร้างไทยและนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางมากขึ้น
5. มีผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการสำหรับนักวิจัยและผู้สนใจทั่วไปในการวิจัยด้านคอนกรีตมวลเบา

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 วัสดุปอซโซลานที่นำมาใช้ในโครงการวิจัย

หินกร่อยแวก (Greywacke) ที่เกิดปัญหาในประเทศไทย

หินกร่อยแวก (Greywacke) โดยทั่วไปหินนี้ส่วนใหญ่จะแข็ง มีสีเทาดำ มีพวกเฟลด์สปาร์และเศษหินปะปน แยกได้โดยเว่นขยาย หินนี้เกิดได้ทุกสภาพแวดล้อม แต่ส่วนใหญ่จะพบในบริเวณน้ำลึก มีลักษณะของกระแสดความพุ่งสูง นั่นคือกระแสนแรง โครงสร้างปฐมภูมิที่พบจะแสดงการเรียงตัวของเม็ดตะกอนและรอยครูดจากวัตถุ หรือกัดเซาะจากกระแสน้ำ

**เถ้าลอย (Fly Ash)** เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอยได้จากการเผาถ่านหินในโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยเถ้าลอยจะถูกคัดจับเก็บไว้ด้วยตัวดักจับ แล้วรวบรวมเก็บไว้ในไซโล เถ้าลอยมีลิต้า เท่าค่าหรือน้ำตาล มีส่วนประกอบหลักเป็นอัญรูปของซิลิกาและอลูมินา สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ได้มาจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ของซีเมนต์กับน้ำได้สารประกอบที่มีความสามารถในการเชื่อมประสานองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยประกอบด้วย องค์ประกอบออกไซด์ของแร่ธาตุต่างๆ ได้แก่ ซิลิกาออกไซด์ อลูมินาออกไซด์ เหล็กออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ ซัลเฟอร์ออกไซด์ เป็นต้น

**ดินขาว (Meta Kaolinite)** ดินขาวจัดเป็นวัสดุปอซโซลานที่ได้จากการนำเอาดินขาวดิบจากธรรมชาติมาปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน โดยวิธีการเผาในช่วงเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งโดยทั่วไปไม่มีผลึกเป็นลักษณะอัญรูป ไม่มีรูปร่างที่แน่นอน มีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือชมพู ขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุหลักของดินขาวประกอบด้วยซิลิกาออกไซด์และอลูมินาออกไซด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักและรองลงมาเป็นเฟอร์ริกออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เป็นต้น โดยองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้จะมีปริมาณที่แตกต่างกัน

**ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume)** ซิลิกาฟุ้ง หรือ ไมโครซิลิกา เป็นชื่อเรียกวัสดุผสมเพิ่มชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นผลพลอยได้ ของการผลิตซิลิกอนเมทัลและเฟอร์โรซิลิกอนอัลลอยด์ เป็นกระบวนการรีดขึ้นจากควอตซ์ (quartz) ที่บริสุทธิ์ไปเป็นซิลิกอน โดยวิธี electric arc ที่อุณหภูมิสูงถึง 2,000 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดไอ (fume) ของ SiO<sub>2</sub> ซึ่งต่อมาจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและกลั่นตัวที่อุณหภูมิต่ำได้เป็นอนุภาคของซิลิกาขนาดเล็กมากที่ไม่เป็นผลึกซิลิกาฟุ้งจะถูกดักจับในตัวดักจับเพื่อบรรจุใส่ถุงไว้

**เถ้าชานอ้อย (bagasse ash)** เป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งใช้ชานอ้อยและใบอ้อย เผาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะนำไปใช้สำหรับอุตสาหกรรมภายในโรงงานและส่วนที่เหลือสามารถขายให้แก่การไฟฟ้าที่ฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

**ผงหินปูน (limestone powder)** เป็นหินในกลุ่มหินตะกอน มีชื่อวิทยาศาสตร์ที่รู้จักกันในหมู่นักธรณีว่า แร่แคลไซต์ (Calcite)(CaCO<sub>3</sub>) เป็นหินตะกอนคาร์บอเนต เกิดจากการทับถมของตะกอนคาร์บอเนตในท้องทะเล ทั้งจากสารอนินทรีย์ และซากสิ่งมีชีวิต เช่น ปะการัง และกระดูกของสัตว์ทะเล เป็นต้น

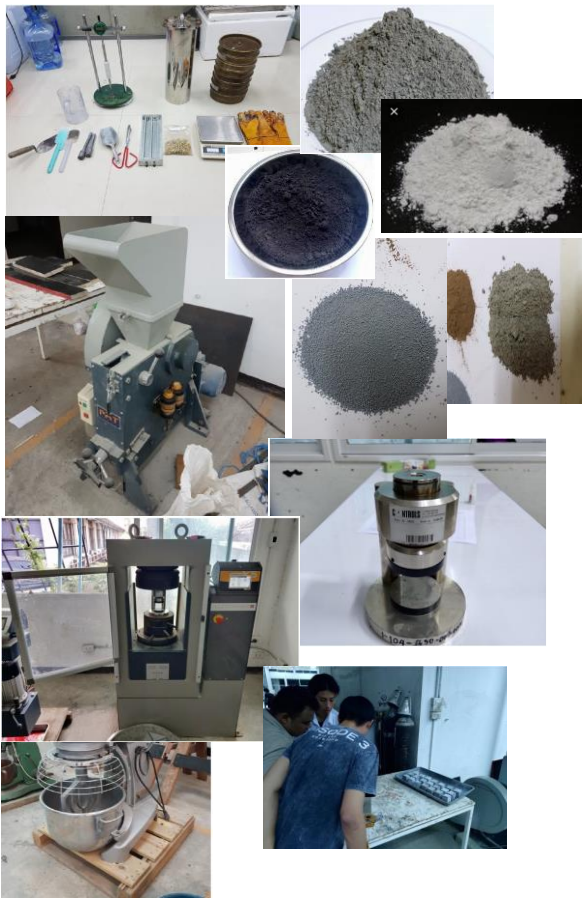
## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4  
 Proceedings of the 4<sup>th</sup> RMUTP Conference on Engineering and Technology

**ผงแก้ว (Glass powder)** เป็นบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้ใน ชีวิตประจำวัน ทำให้มีปริมาณการใช้มากและส่งผลให้เกิดขยะจำนวนมาก ในแต่ละปีมีขวดแก้วที่ใช้แล้วไม่ต่ำกว่า 28 พันล้านใบที่ถูกทิ้งให้เป็นขยะ แก้วเป็นขยะที่ไม่ย่อยสลายแต่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ ในประเทศไทยยังไม่มียางานการนำแก้วกลับมาใช้ใหม่ในด้านอื่นนอกจากนำกลับมาหลอมใหม่ (recycle) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (reuse) แก้วเป็นวัสดุโปร่งใส มีความเป็นมันแววสุกใส แก้วเป็นสารประกอบของซิลิกา และโลหะออกไซด์มีความเปราะในตัวเองตามมาตรฐาน ASTM C 162

### 3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทำตัวอย่างทดสอบ

ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าความ ถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 และมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.15 มวลรวม ละเอียด (หินแกรนิต) วัสดุปอซโซลาน ได้แก่ เถ้าลอย (Fly Ash) , ดิน ขาว (Meta Kaolinite) , ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume) , ผงแก้ว (Glass powder) , เถ้าชาน อ้อย (Bagasse ash) และผงหินปูน (Limestone Powder) สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 1 M และน้ำกลั่น

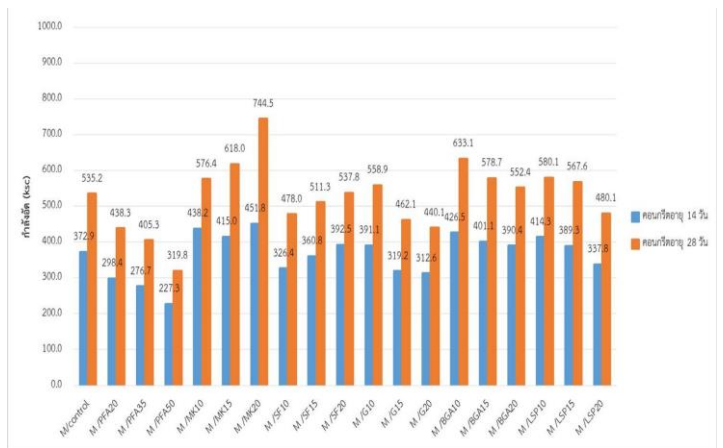


รูปที่ 1 อุปกรณ์เครื่องมือ และวัสดุที่ใช้ทำตัวอย่างทดสอบ

### 4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการรับกำลังอัดของปอซโซลานซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ อายุ 14 และ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C-109 โดยจำลอง สภาพแวดล้อมในสภาพเร่งปฏิกิริยาของซีเมนต์มอร์ตาร์ให้เสื่อมสภาพ เนื่องจากปฏิกิริยา ASR

ผลการทดสอบพบว่า การรับกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน แทนที่ซีเมนต์ด้วยดินขาวร้อยละ 20 ให้กำลังเฉลี่ยสูงสุด 744.5 ksc มากกว่า แทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10 ให้กำลังอัดเฉลี่ย 633 ksc มากกว่า แทนที่ซีเมนต์ด้วยผงหินปูนร้อยละ 10 มีกำลังมากกว่า แทนที่ ซีเมนต์ด้วยผงแก้วร้อยละ 10 มีกำลังอัดเฉลี่ย 558 ksc มากกว่า แทนที่ ซีเมนต์ด้วยซิลิกาฟุ้งร้อยละ 20 มีกำลังอัดเฉลี่ย 537 ksc มากกว่า มอร์ตาร์ ควบคุมมีกำลังอัดเฉลี่ย 535 ksc และมากกว่า แทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย ร้อยละ 20 มีกำลังอัดเฉลี่ย 438 ksc ที่อายุ 28 วันตามลำดับ



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของกำลังอัดมอร์ตาร์ควบคุมกับปอซโซลานมอร์ตาร์

### 5. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปกติ และที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับวัสดุปอซโซลานต่างๆ ที่กล่าว ไว้ ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างคอนกรีตที่ใช้ ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปกติ และคอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับ วัสดุปอซโซลาน ได้ดังนี้

1. ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมด้วยเถ้าลอย (Fly Ash) ด้วย อัตราส่วนร้อยละ 20, 35 และ 50 ของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สรุปผลการ ทดสอบกำลังอัดคอนกรีตได้ดังนี้ กำลังอัดที่ได้จากส่วนผสมดังกล่าวใน ทุกๆอัตราส่วนผสม ที่สามารถรับกำลังอัดได้ น้อยกว่า คอนกรีตที่ใช้ ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปกติ และมีแนวโน้มที่จะรับกำลังอัดได้ น้อยลง เมื่อ เพิ่มอัตราส่วนผสม

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 4  
Proceedings of the 4<sup>th</sup> RMUTP Conference on Engineering and Technology

2. ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมด้วยดินขาว (Meta Kaolinite) ด้วยอัตราส่วนร้อยละ 10, 15 และ 20 ของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สรุปผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตได้ดังนี้ กำลังอัดที่ได้จากส่วนผสมดังกล่าวในทุกๆอัตราส่วนผสม ที่สามารถรับกำลังอัดได้ มากกว่า คอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปกติ และมีแนวโน้มที่จะรับกำลังอัดได้ มากขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสม

3. ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมด้วยซิลิกาฟูม (Silica Fume) ด้วยอัตราส่วนร้อยละ 10, 15 และ 20 ของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สรุปผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตได้ดังนี้ กำลังอัดที่ได้จากส่วนผสมดังกล่าว มีเพียงอัตราส่วนร้อยละ 20 เท่านั้น ที่สามารถรับกำลังอัดได้ มากกว่า คอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปกติ และมีแนวโน้มที่จะรับกำลังอัดได้มากขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสม

4. ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมด้วยผงแก้ว (Glass powder) ด้วยอัตราส่วนร้อยละ 10, 15 และ 20 ของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สรุปผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตได้ดังนี้ กำลังอัดที่ได้จากส่วนผสมดังกล่าว มีเพียงอัตราส่วนร้อยละ 10 เท่านั้น ที่สามารถรับกำลังอัดได้ มากกว่า คอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปกติ และมีแนวโน้มที่จะรับกำลังอัดได้น้อยลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสม

5. ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมด้วยชานอ้อย (Bagasse ash) ด้วยอัตราส่วนร้อยละ 10, 15 และ 20 ของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สรุปผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตได้ดังนี้ กำลังอัดที่ได้จากส่วนผสมดังกล่าว ในทุกๆอัตราส่วนผสม ที่สามารถรับกำลังอัดได้ มากกว่า คอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปกติ และมีแนวโน้มที่จะรับกำลังอัดได้ น้อยลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสม

6. ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมด้วยผงหินปูน (Limestone Powder) ด้วยอัตราส่วนร้อยละ 10, 15 และ 20 ของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สรุปผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตได้ดังนี้ กำลังอัดที่ได้จากส่วนผสมดังกล่าว มีเพียงอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 15 เท่านั้น ที่สามารถรับกำลังอัดได้ มากกว่า คอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปกติ และมีแนวโน้มที่จะรับกำลังอัดได้ น้อยลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสม

## 6. ข้อเสนอแนะ

1. วัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตนั้นส่วนมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งสิ้น ดังนั้นจึงควรศึกษาผลของปัจจัยเหล่านี้ให้ละเอียด

2. ราคาของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ จำเป็นอย่างมากที่จะต้องศึกษาและเปรียบเทียบราคา วัสดุบางตัวราคาแพง กำลังมาก แต่อาจมีวัสดุที่กำลังพอ ๆ กันแต่มีราคาถูกกว่ามาก เราก็สามารถนำมาทดแทนกันได้ทั้งประหยัดและได้กำลังที่เยอะอีกด้วย

## 7. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์โดยได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จักรพันธ์ แสงสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ซึ่งได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้โครงการฉบับนี้มีความถูกต้องครบถ้วนและสมบูรณ์ และให้ความอนุเคราะห์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, หินเกรย์เวก (Grey Wacke), เถ้าลอย (Fly Ash), ดินขาว (Meta Kaolinite), ซิลิกาฟูม (Silica Fume), ผงแก้ว (Glass powder), เข้าชานอ้อย (Bagasse ash) และผงหินปูน (Limestone Powder) รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการวิจัย และคอยอำนวยความสะดวกในการทำโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการคอนกรีต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ภาควิชาวิศวกรรมโยธา หนังสือ ตำรา บทความต่างๆ ที่คณะผู้จัดทำใช้ในการสืบข้อมูลต่างๆ

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร (2543). **คอนกรีตเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 8. มกราคม พ.ศ.2543
- [2] ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2547). **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต**. พิมพ์ครั้งที่ 1. ตุลาคม พ.ศ.2547
- [3] วินิต ห่อวีเชียร (2557). **คอนกรีตเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 10. กุมภาพันธ์ 2557
- [4] เอกสาร “คำแนะนำในการผลิตคอนกรีตที่ดี” ของบริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด
- [5] Mindess, S., Young, J.F. : **Concrete**, Prentice-Hall Inc, New jersey, 1981
- [6] Murdock, L.J., Brook, K.M., and Dewar, J.D. : **Concrete Materials and Practice**, 6th. Ed., Edward Arnold, Great Britain, 1991.
- [7] U.S. Bureau of Reclamation : **Concrete Manual**, 7th. Ed., Denver, 1963.
- [8] จักรพันธ์ แสงสุวรรณ **ศุภชัย ไทยพุ่ม**.2559.อิทธิพลของปฏิกิริยาแอลคาไลซิลิกาต่อคุณสมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์และคอนกรีต
- [9] สุวิมล สัจจาณิษฐ์, วัชรกร วงศ์คำจันทร์, กฤษณ์ วันอินทร์, มนสิขสาริกัญญ์ และโรจนกร กันตพรมย์.2553.การใช้เจลเรืองแสงตรวจสอบปรากฏการณ์ ASR ของโครงสร้างเดิม.การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 6
- [10] ชานูณรงค์ สังข์กล่อม, ทยุติ สุธีรวุฒิ และนิธิ เป็นพันธุ์.2555. ประสิทธิภาพของผงแก้วและผงอิฐต่อการขยายตัวของแท่งมอร์ตาร์เนื่องจากปัญหา ASR