



## วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. UBU Engineering Journal

### บทความวิจัย

## ผลของอัตราส่วนเถ้าหนักลิคไนต์และยางพาราต่อคุณสมบัติคอนกรีต

## Effect of lignite bottom ash and natural rubber on properties of blended cement concrete

ปิยะฉัตร ศุภวิทยาเจริญกุล<sup>1\*</sup> สิทธิรักษ์ แจ่มใส<sup>1</sup> ภาคิน ลอยเจริญ<sup>1</sup> ภัทราวุธ ศรีคุ้มเก่า<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาโยธาและสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

Piyachat Suphawithayajaroenkun<sup>1\*</sup> Sittiruk Jamsai<sup>1</sup> Phakin Loyjaroen<sup>1</sup> Pattarawut srikoomkao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Construction and Architecture, Faculty of Industrial Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47200

\* Corresponding author.

E-mail: Piyachat\_ann@hotmail.com; Telephone: 085-6350890

วันที่รับบทความ 31 พฤษภาคม 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 24 กันยายน 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 6 ตุลาคม 2563;

วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 3 23 ธันวาคม 2563; วันที่ตอบรับบทความ 30 ธันวาคม 2563

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้เถ้าหนักลิคไนต์และน้ำยางพาราต่อคุณสมบัติของคอนกรีต โดยอัตราส่วนผสมคอนกรีต โดยปริมาตรเท่ากับ 1 : 2 : 4 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) เถ้าหนักลิคไนต์แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ โดยน้ำหนัก 20 และ 15 10 0 ผสมน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ 6.0 ปูนซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ร้อยละ 7. โดยน้ำหนัก ในการเตรียมน้ำยางพาราใส่สารแอมโมเนีย 5 คุณสมบัติเชิงกลประกอบ 4 โดยน้ำหนักน้ำยางพารา และใส่สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุร้อยละ 3 ในสัดส่วนร้อยละ 15 เหลวเข้มข้นร้อยละ 15 ไปด้วย ความสามารถในการเทได้ กำลังรับแรงอัด และกำลังดัด ผลวิจัยพบว่า การเติมน้ำยางพาราทำให้ความสามารถในการเทได้และกำลังรับแรงอัดลดลง ในขณะที่กำลังดัดเพิ่มขึ้น และการแทนที่ด้วยเถ้าหนักลิคไนต์ที่ร้อยละ 10 ปรับปรุงกำลังรับแรงอัดในระยะยาว ส่วนผสม 10LBA10 เป็นส่วนผสมที่สามารถรับกำลังดัดได้มากกว่าคอนกรีตควบคุม และที่ระยะเวลา 60 วันสามารถรับกำลังอัดได้ใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุมโดยคิดเป็นร้อยละ 97.99

### คำสำคัญ

เถ้าหนักลิคไนต์ ยางพารา กำลังอัด กำลังดัด

### Abstract

The aim of this research is to investigate the effect of Lignite bottom ash blended with natural rubber on mechanical properties of concrete. Mix design ratio of cement:sand:aggregate is used at 1:2:4 by volume. Lignite bottom ash was used to replace Portland cement of 0,10,15 and 20 percentage by weight. Water to cement ratio is 0.6. The natural-rubber ratio has been fixed at 7.5% by weight. To provide natural-rubber, the ammonia concentrate solution 15% concentration was added in to the natural-rubber at 3% by weight and in addition with 4 percent of nonionic surfactant is also used in the mixture. Mechanical properties i.e. workability, compressive strength and flexural strength were then tested. The results showed that the natural rubber is added, workability, compressive strength is decreased while flexural strength increased. A mixture of 10 percent of Lignite bottom ash could enhance the compressive strength in the long-term. The flexural in LBA10 was higher than concrete control 60 days, compressive strength of LBA10 was 99.97 percent of concrete control.

**Keywords**

lignite bottom ash; natural rubber; compressive strength; flexural strength

**1. คำนำ**

คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในงานก่อสร้าง เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการของโครงสร้าง รับกำลังอัดและความทนทานสูง ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุหลักที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ อาศัยน้ำมันเชื้อเพลิงและความร้อนสูงในกระบวนการผลิต มีการคาดการณ์ว่าเม็ดเงินจำนวน 1 ตัน ต้องใช้น้ำมันเตาถึง 125 ลิตร และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) สู่บรรยากาศในปริมาณ 1 ตัน [1] ในปี พ.ศ. 2552 ประเทศไทยใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณสูงถึง 34 ล้านตัน [2]

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีการส่งออกยางพาราเป็นอันดับ 2 รองจากชาวมีพื้นที่ปลูกยางพารา 12.5 ล้านไร่โดยประมาณ ผลผลิต 3,032,420 ตัน มูลค่าการส่งออก 131,617,514 ล้านบาท [3] จากความต้องการใช้ยางพาราเพิ่มสูงขึ้นจากปีละประมาณ 250,000 ตัน โดยเพิ่มสูงขึ้นปีละประมาณ 500,000 ตัน ในปี 2549 [4]

ดังนั้นจากปี 2549 เป็นต้นมารัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมการปลูกยางพาราสู่ภูมิภาคอื่น ๆ เช่น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งมีความเหมาะสมใกล้เคียงสามารถปลูกยางพาราได้ ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในงานอย่างมากขึ้น มีการผลิตยางสังเคราะห์ที่ใช้แทนผลิตภัณฑ์จากยางพาราธรรมชาติ ทำให้ราคายางพาราธรรมชาติตกต่ำ เดิมยางพาราธรรมชาติจะถูกใช้เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ได้แก่ ยางรถยนต์ รถจักรยานยนต์ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการแพทย์ ยางรองแท่นเครื่อง สายพานยาง ยางรัดของ สายยางทั่วไป สายน้ำเกลือ เป็นต้น[5] การพัฒนาคุณภาพยางพาราสู่ผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่เป็นการเพิ่มการใช้ยางพาราธรรมชาติเป็นการแก้ปัญหาราคายางที่ตกต่ำ

โรงไฟฟ้าแม่เมาะ เป็นโรงไฟฟ้าถ่านหินที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย มีกำลังการผลิตรวมทั้งสิ้น 2,400 MW ผลิตไฟฟ้าได้ปีละประมาณ 18,000 ล้านหน่วย (GWh) เชื้อเพลิงที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะประมาณ 16 ล้านตันต่อปี หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเผาถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จะมีส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1

เถ้าลอย (Fly Ash) มีลักษณะเป็นของแข็ง เม็ดกลมละเอียดลอยขึ้นมาพร้อมกับอากาศและถูกจับด้วยเครื่องดักจับไฟฟ้า ซึ่งมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาการนำเถ้าลอยไปใช้ในงานคอนกรีต[6] โดยส่วนใหญ่เถ้าลอยจะถูกจำหน่ายไปใช้ในงาน เช่นการนำไปใช้เป็นหนึ่งส่วนผสมของคอนกรีตสำเร็จ ส่วนที่ 2 คือเถ้าหนัก (Bottom Ash) ซึ่งอยู่บริเวณส่วนล่างของเตาเผา คิดเป็นปริมาณร้อยละ 15-20 ของปริมาณเถ้าทั้งหมด เถ้าหนักเป็นเถ้าที่ไม่นิยมนำไปใช้งานมากนัก โดยในปี 2558-2559 เถ้าหนักมีปริมาณถึง 1,322,378 และ 1,357,225 ตันต่อปี[7-8] โรงไฟฟ้ากำจัดเถ้าหนักโดยการทำบ่อฝังกลบ หากในอนาคตยังไม่มีการนำเถ้าหนักไปใช้ให้เกิดประโยชน์เถ้าหนักที่เหลือจากการผลิตอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบได้

จากที่กล่าวมาวัสดุทั้งน้ำยางพารา และเถ้าถ่านหินลิกไนต์เป็นวัสดุที่ต้องการการนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงหรือทดแทนเพื่อเพิ่มมูลค่า และกำจัดมลพิษทั้งสิ้น งานวิจัยพบว่าน้ำยางพารา[9] และเถ้าหนัก[10] วัสดุทั้ง 2 มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำมาใช้ในงานคอนกรีต และที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการนำวัสดุชนิดใดชนิดหนึ่งแทนที่หรือผสมเพิ่มชนิดเดียว แต่งานวิจัยนี้มีแนวคิดนำวัสดุมากกว่า 1 ชนิดผสมในคอนกรีต และศึกษาและติดตามคุณสมบัติที่เกิดขึ้นภายในคอนกรีต ซึ่งได้แก่ ทดสอบหาความสามารถในการเทได้ กำลังรับแรงอัดและกำลังดัด วิเคราะห์จุดเด่นหรือจุดด้อยที่เกิดขึ้น พร้อมกับการนำคอนกรีตผสมที่ได้ไปใช้ให้ถูกต้องตรงตามประเภทของงานคอนกรีตนั้น ๆ

**2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย****2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย**

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1) 1PC) ตามมาตรฐาน ASTM C150
2. น้ำยางพาราธรรมชาติ อ.วาริชภูมิ จ.สกลนคร ผสมสารลดแรงตึงผิว Lutensol XL80 ชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactants) สัดส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 4
3. เถ้าหนักลิกไนต์ที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง

มวลรวมละเอียดเป็นไปตามมาตรฐาน .4ASTM C1 เป็น 33  
ทรายหยาบมีความกว้างจำเพาะ และมีค่าโมดูลัสความ 62.2  
80.2 ละเอียด

มวลรวมหยาบ เป็นไปตามมาตรฐาน .5น ASTM C1 เป็น 33  
หินปูนไม่ ขนาดโตสุดไม่เกิน มิลลิเมตร มีความกว้างจำเพาะ 12  
60.2

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตผสมยางพาราและเถ้าหนักลิไกไนต์

| ส่วนผสม | อัตราส่วนการแทนที่<br>เถ้าหนักโดยน้ำหนัก | ส่วนผสมคอนกรีต (กิโลกรัม.) |                  |            |        |        |           |
|---------|------------------------------------------|----------------------------|------------------|------------|--------|--------|-----------|
|         |                                          | ปูนซีเมนต์                 | เถ้าหนักลิไกไนต์ | น้ำยางพารา | ทราย   | น้ำ    | หินปูนไม่ |
| CON     | 0                                        | 205.71                     | 0                | 0          | 411.42 | 123.43 | 1440      |
| PRCON   | 0                                        | 205.71                     | 0                | 15.43      | 411.42 | 123.43 | 1440      |
| LBA10   | 10                                       | 185.14                     | 20.57            | 15.43      | 411.42 | 123.43 | 1440      |
| LBA15   | 15                                       | 174.85                     | 30.86            | 15.43      | 411.42 | 123.43 | 1440      |
| LBA20   | 20                                       | 164.57                     | 41.14            | 15.43      | 411.42 | 123.43 | 1440      |

\*CON คอนกรีตควบคุม

\*PRCON คอนกรีตผสมเฉพาะยางพารา

\*LBA10 คอนกรีตผสมยางพาราและเถ้าหนักลิไกไนต์ ร้อยละ 10

\*LBA15 คอนกรีตผสมยางพาราและเถ้าหนักลิไกไนต์ ร้อยละ 15

\*LBA20 คอนกรีตผสมยางพาราและเถ้าหนักลิไกไนต์ ร้อยละ 20

## 2.2 อัตราส่วนผสมคอนกรีต

อัตราส่วนผสมคอนกรีตแสดงในตารางที่ 1 ผสมคอนกรีต  
ในอัตราส่วน 1:2:4 ใช้เถ้าถ่านหินร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200  
แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ  
0, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์  
เท่ากับ 0.6 และน้ำยางพาราในปริมาณร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนัก  
ของปูนซีเมนต์ มีส่วนผสมของแอมโมเนียเข้มข้นร้อยละ 15 ใน  
สัดส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักยางพาราและเพิ่มสารลดแรงตึง  
ผิว Lutensol XL80 ชนิดไม่มีประจุสัดส่วนร้อยละ 4 โดย  
น้ำหนักน้ำยางพารา การบ่มตัวอย่างคอนกรีตทดสอบกำลังรับ  
แรงอัดทำได้โดยปล่อยทิ้งไว้ในอากาศเพื่อให้คอนกรีตผสม  
ยางพาราและเถ้าหนักเซตตัวที่ 24 ชั่วโมง และบ่มโดยแช่น้ำจ  
นครบระยะเวลาทดสอบที่ 14 28 และ 60 วัน จึงทำการทดสอบ  
กำลังรับแรงอัด ส่วนการทดสอบแรงคดทำได้โดยบ่มโดยปล่อย  
ทิ้งไว้ในอากาศเพื่อให้คอนกรีตผสมยางพาราและเถ้าหนักถ่าน

หินเซตตัว 24 ชั่วโมง จากนั้นบ่มต่อด้วยการแช่น้ำจนครบเวลา  
ทดสอบที่ 7 28 และ 60 วัน จึงทำการทดสอบกำลังคด

## วิธีการทดสอบ 3.2

1. ทดสอบความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสดตาม  
มาตรฐาน ASTM C143[11]
2. ทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน  
ASTM C39[12]
3. ทดสอบกำลังคดของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM  
C78[13]

## 3. ผลการทดลอง

### 3.1 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าหนักจากถ่านหินลิไกไนต์

กระบวนการเผาเถ้าถ่านหินลิไกไนต์เพื่อการผลิต  
กระแสไฟฟ้า ถ่านหินลิไกไนต์จากเหมืองจะผ่านกระบวนการ  
ย่อยให้มีขนาดเล็กลง และเข้าสู่การเผาได้ออกมาเป็นพลังงาน  
และเถ้าถ่านหิน จากตารางที่ 2 การทดสอบองค์ประกอบทาง  
เคมีด้วยวิธี X-ray fluorescence spectrometry (XRF) ของ

เถ้าหนักลิกไนต์พบว่าเถ้าหนักลิกไนต์มีผลรวมของ  $\text{SiO}_2$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  เท่ากับร้อยละ เป็นวัสดุพอโซโซลาน ชั้น 12.57 คุณภาพC ตามมาตรฐาน ASTM C618[14]

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ และเถ้าหนักลิกไนต์

| องค์ประกอบเคมี                                     | ปูนซีเมนต์ (%) | เถ้าหนักลิกไนต์ (LBA) (%) |
|----------------------------------------------------|----------------|---------------------------|
| $\text{SiO}_2$                                     | 21.21          | 34.12                     |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$                            | 5.43           | 17.78                     |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$                            | 3.16           | 5.22                      |
| $\text{CaO}$                                       | 65.98          | 12.45                     |
| $\text{MgO}$                                       | 1.29           | 1.11                      |
| $\text{K}_2\text{O}$                               | 0.18           | 0.61                      |
| $\text{Na}_2\text{O}$                              | 0.12           | 0.05                      |
| $\text{SO}_3$                                      | 2.35           | 0.37                      |
| $\text{TiO}_2$                                     | 0.27           | 1.09                      |
| LOI                                                | 0.96           | 15.99                     |
| ค่าการดูดซึมน้ำ (%)                                | 100            | 105                       |
| ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (เซนติเมตร <sup>2</sup> /กรัม) | 3359           | 6712                      |

### 3.2 ผลของอัตราส่วนผสมเถ้าหนักต่อความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตผสมยางพารา

จากรูปที่ 1 ระบุระยะยุบตัวของคอนกรีตผสมยางพารา 3 ควบคุมPRCON มีค่าเท่ากับ 2.73 ซม. และ LBA10 LBA15 LBA20 มีค่าเท่ากับ 2.73 2.50 2.10 และ 0.4 ซม.ตามลำดับ พบว่าความสามารถในการเทได้จะมีค่าลดต่ำลงตามอัตราส่วนผสมของเถ้าหนักที่สูงขึ้น เมื่อพิจารณาควบคู่ตารางที่ 2 ความต้องการน้ำของเถ้าหนักมีค่าร้อยละ เมื่อ 105 เปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ซึ่งมีค่าร้อยละ ซึ่งเถ้า 100หนักในปริมาณเท่ากับปูนซีเมนต์จะมีความต้องการน้ำมากกว่าปูนซีเมนต์คิดเป็นร้อยละ และอัตราส่วนการแทนที่ 5 ปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสม ทำให้ในคอนกรีตผสมยางพาราและเถ้าหนักแต่ละตัวอย่างมีปริมาณปูนซีเมนต์ที่ลด

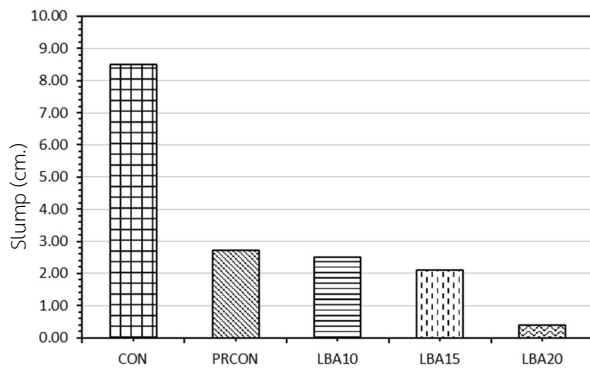
น้อยลงขณะที่เถ้าหนักเพิ่มสูงขึ้น เถ้าหนักจะดึงปริมาณน้ำภายในส่วนผสมคอนกรีตมาเคลือบอนุภาคของตัวเถ้าหนักให้เพียงพออยู่ในลักษณะอนุภาคอิมัลชันซึ่งทำให้ปริมาณน้ำในเนื้อคอนกรีตลดลง และนอกจากนั้นเมื่อพิจารณาพื้นที่ผิวจำเพาะของปูนซีเมนต์มีค่า  $3359\text{cm}^2/\text{g}$  เปรียบเทียบกับเถ้าหนัก  $6712\text{cm}^2/\text{g}$  พื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าหนักคิดเป็น เท่าของ 2 ปูนซีเมนต์ ซึ่งทั้งสองปัจจัยมีผลโดยตรงต่อความต้องการน้ำของอนุภาคเถ้าหนักเอง ดังนั้นปริมาณอัตราส่วนการทดแทนเถ้าหนักในคอนกรีตผสมยางพารามีผลทำให้ความสามารถในการเทได้ลดน้อยลง



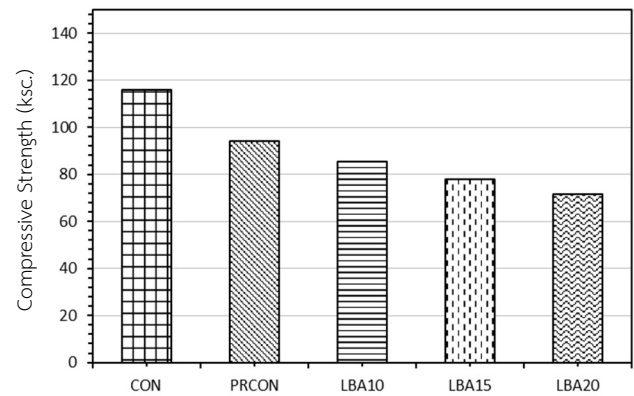
รูปที่ 1 ลักษณะการจับตัวของคอนกรีตผสมยางพาราและเถ้าหนักลิกไนต์



รูปที่ 2 ลักษณะการจับตัวของคอนกรีตผสมยางพาราไม่เติมเถ้าหนักลิกไนต์



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ค่าการยุบตัวของคอนกรีตทดสอบ

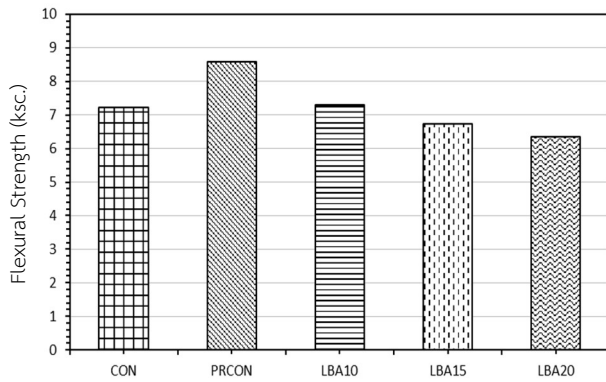


รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์กำลังอัดคอนกรีตทดสอบที่ วัน 28

จากรูปที่ 1 คอนกรีตผสมยางพาราและเถ้าหนัก ขณะที่ทำการเติมน้ำยางพาราลงในเนื้อคอนกรีต พบว่าในน้ำยางพารามีส่วนผสมของแอมโมเนียที่สามารถระเหยได้อย่างรวดเร็ว[15] เมื่อสัมผัสกับความร้อน ขณะผสมคอนกรีตซึ่งเกิดจากการคายความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน[16] จากการผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ทำให้แอมโมเนียเกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว และเมื่อผสมเถ้าหนักในอัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำยางพาราและเถ้าหนักเกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วตามการระเหยของแอมโมเนีย ลักษณะการจับตัวของคอนกรีตผสมยางพาราโดยส่วนใหญ่ น้ำยางพาราจะจับตัวกันเฉพาะส่วนของมวลรวมละเอียดกับเถ้าหนักถ่านหิน เนื่องจากอนุภาคมวลรวมละเอียดและเถ้าหนักลิกไนต์มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง น้อยมากที่คอนกรีตผสมยางพาราจะน้ำยางจะจับตัวกับมวลรวมหยาบ ดังนั้นในภาพรวมของลักษณะการจับตัวของคอนกรีตผสมยางพาราจะเป็นส่วนผสมมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนกระจายกันเล็ก ๆ ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ในอัตราส่วนผสมที่มีเถ้าหนักลิกไนต์ที่สูงขึ้นลักษณะการจับตัวของคอนกรีตผสมยางพารามีการกระจายตัวของเนื้อคอนกรีตจะมีลักษณะจับตัวกันเฉพาะกลุ่มก้อนเล็ก ๆ ก็เพิ่มปริมาณสูงขึ้นตามอัตราส่วนแทนที่เถ้าหนักต่อปูนซีเมนต์

### 3.3 ผลของอัตราส่วนผสมเถ้าหนักต่อกำลังรับแรงอัดในคอนกรีตผสมยางพาราที่ระยะเวลาทดสอบ วัน 28

จากข้อมูลในตารางที่ แสดงอัตราส่วนผสมเถ้า 3หนักต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมยางพารา บ่มในอากาศ วัน 1 และบ่มด้วยน้ำจนครบกำหนดทดสอบที่อายุ วัน พบว่า 28 CON PRCON มีค่าเท่ากับ 10.94 และ 75.115 กก./ $\text{cm}^2$  ส่วน LBA10 LBA15 และ LBA20 มีกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 27.85, 67.21 และ 61.94 ของกำลังเทียบกับคอนกรีตควบคุม จะเห็นได้ว่าคอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ เนื่องจากเถ้าหนักเป็นวัสดุทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน เป็นปฏิกิริยาอันดับสองต่อจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ต้องอาศัยระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในระยะยาว ดังนั้นกำลังอัดที่การทดสอบ วัน กำลังรับแรงอัดจึงยังต่ำกว่าคอนกรีต 28 ควบคุม นอกจากนั้นการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยอัตราส่วนเถ้าหนักเป็นการลดปริมาณปูนซีเมนต์ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลงตามลำดับ[10] อีกปัจจัยหนึ่งคือเมื่อผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตแล้ว เนื้อยางไปเคลือบที่ผิวมวลรวมส่งผลให้สภาพผิวหน้าไม่แข็งแรงเหมือนมวลรวมเดิม[17] การเติมน้ำยางพาราจึงเป็นการรบกวนการรวมตัวกันของมวลรวมหยาบกับซีเมนต์เฟสค์ ทำให้คอนกรีตที่ได้ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน หรือเป็นเนื้อเดียวกันแต่หลวมๆ จากที่กล่าวข้างต้นเป็นปัจจัยที่มีทิศทางเดียวกันที่ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมยางพารามีกำลังรับแรงอัดลดลง



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์กำลังดัดคอนกรีตทดสอบที่ วัน 7

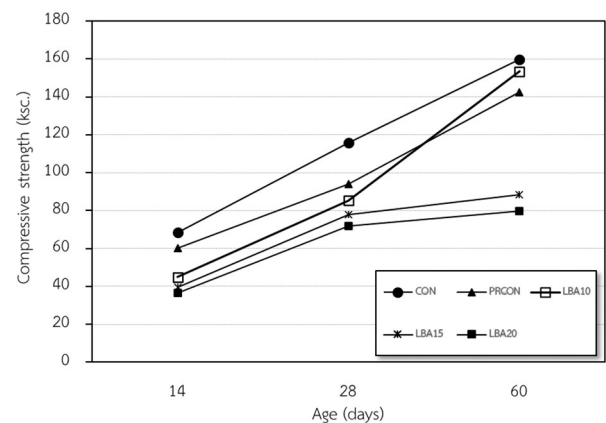
### 3.4 ผลของอัตราส่วนผสมเถ้าหนักต่อกำลังรับดัดในคอนกรีตผสมยางพาราที่ระยะเวลาทดสอบ วัน 7

จากรูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์กำลังดัดคอนกรีตทดสอบ 5 ผสมยางพาราบ่มด้วยอากาศจนครบกำหนดทดสอบที่วัน พบว่า 7 ระยะเวลา CON มีค่าเท่ากับ  $\text{ชม}^2/\text{กก}$  21.7 ส่วน PRCON LBA10 LBA15 และ LBA20 มีกำลังรับแรงดัดเท่ากับ 30.7 58.8  $\text{ชม}^2/\text{กก}$  35.6 และ 74.6 ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 0.1190 25.101 48.93 และ ของกำลังดัดเทียบกับ 07.88 คอนกรีตควบคุม จากผลการทดสอบแบ่งออกเป็น ปัจจัย 2 ปัจจัยที่หนึ่งได้แก่ น้ำยางพาราที่ผสมในคอนกรีต เมื่อเปรียบเทียบ CON กับ PRCON พบว่าการผสมน้ำยางพาราลงในคอนกรีตทำให้คอนกรีตที่รับกำลังดัดได้สูงขึ้น[18] ปัจจัยที่สอง เมื่อเปรียบเทียบ PRCON กับ LBA10 LBA15 และ LBA20 พบว่าการแทนที่ด้วยเถ้าหนักนั้นลดกำลังดัดลงจาก PRCON แต่เมื่อเทียบกับ CON พบว่า LBA10 ยังคงมีกำลังดัดที่มากกว่า และเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ด้วยเถ้าหนักขึ้นเป็น LBA15 และ LBA20 กำลังดัดลดลงต่ำกว่า CON ดังนั้นการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าหนักที่ใช้กำลังดัดเป็นเกณฑ์ LBA10 เป็นส่วนผสมที่อยู่ในช่วงเหมาะสม

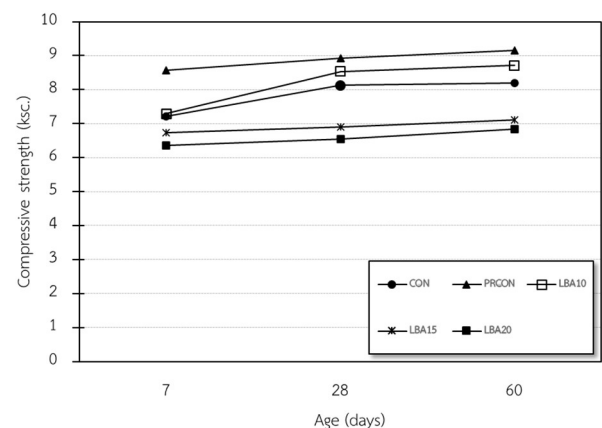
### 5.3 การเปรียบเทียบผลของกำลังรับแรงอัดและแรงดัดที่ช่วงระยะเวลาต่างๆ

จากรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดที่อายุ 6 ทดสอบต่างๆของส่วนผสมคอนกรีตผสม พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแต่ละส่วนผสมจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการทดสอบ โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง CON กับ PRCON พบว่า CON สูงกว่า PRCON ทุกอายุการทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบ

ระหว่าง PRCON กับ LBA10 LBA15 และ LBA20 มีเฉพาะ LBA10 ที่พบว่ามียกกำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้นกว่า PRCON มีกำลังรับแรงอัดคิดเป็นร้อยละ ของ 97.99 CON ที่หลังอายุทดสอบวัน 60 ส่วน LBA15 และ LBA20 มีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำกว่า PRCON ทุกอายุการทดสอบ ดังนั้นการแทนที่ด้วยเถ้าหนักร้อยละ จะทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นที่อายุการทดสอบระยะยาว ทำให้ทราบว่า คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพาราจะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง แต่คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพาราและเถ้าหนัก LBA10 จะทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากที่ระยะเวลาทดสอบ วัน เถ้า 60หนักซึ่งเป็นวัสดุปอซโซลานเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานและเกิดผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาเคมีเกิดกำลังอัดขึ้นแก่คอนกรีต



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัดที่อายุทดสอบต่างๆ ของส่วนผสมคอนกรีต



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์กำลังดัดที่อายุทดสอบต่าง ๆ ของส่วนผสมคอนกรีต

จากรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์กำลังดัดที่อายุทดสอบ 7 ต่างๆ ของส่วนผสมคอนกรีตผสม พบว่ากำลังดัดของส่วนผสม

PRCON LBA10 สูงกว่า CON แต่ LBA15 LBA20 ต่ำกว่า CON ในทุกอายุการทดสอบ เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบ PRCON LBA10 ที่มีกำลังตัดสูงกว่า CON นั้นเนื่องจากภายในเนื้อคอนกรีตจะเกิดการแทรกตัวของเส้นใย และแผ่นฟิล์มที่เกิดจากการเติมน้ำยางพารา และปริมาณการแทนที่เถ้าหนักยังอยู่ในปริมาณที่ปูนซีเมนต์ยังสามารถรับแรงตัดได้เกินกว่าคอนกรีตควบคุม แต่เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์มากกว่าร้อยละ คือส่วน 10 สม LBA15 และ LBA20 กำลังตัดที่ได้ต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมดังนั้นการในด้านกำลังตัดการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าหนักเล็กน้อยเกินกว่าร้อยละ จะเป็นการ 10 ลดกำลังตัดของคอนกรีตผสม

#### 4. สรุป

1. ความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตผสมยางพาราและเถ้าหนักแปรผกผันกับอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ของเถ้าหนัก เนื่องจากปัจจัยเสริมกัน ประการ ได้แก่ ปัจจัยที่หนึ่ง 2 คือ น้ำยางพาราที่มีส่วนผสมของแอมโมเนีย แอมโมเนียจะระเหยเมื่อสัมผัสกับความร้อนที่เกิดจากการคายความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์และน้ำ เป็นการเร่งการระเหยเนื่องจากกระบวนการผสมคอนกรีต คอนกรีตผสมยางพาราจึงแข็งตัวเร็วกว่าปกติ ทำให้ความสามารถในการเทได้ต่ำกว่าคอนกรีตผสมปกติ ปัจจัยที่สองคือเถ้าหนักมีอัตราการดูดซึมน้ำและพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าปูนซีเมนต์ทำให้อนุภาคของเถ้าหนักดูดกลืนน้ำในส่วนผสมไว้ที่ตัวอนุภาคเองคอนกรีตมวลรวมจึงมีลักษณะแห้งความสามารถในการเทได้จึงต่ำลง

2. กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมยางพาราและเถ้าหนัก ปัจจัยที่หนึ่งคือน้ำยางพารา การเติมน้ำยางพาราจะลดกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุมในทุกระยะเวลาการทดสอบ ปัจจัยที่สอง คือปริมาณการเติมเถ้าหนักในคอนกรีตผสม การเติมเถ้าหนักในปริมาณร้อยละ จะเพิ่ม 10 กำลังรับแรงอัดแก่คอนกรีตผสมหลังระยะเวลาการทดสอบหลังวันขึ้นไป แต่หากเติมเถ้า 28หนักลงในปริมาณมากกว่าร้อยละ จะเป็นการลดกำลังรับแรงอัดแก่คอนกรีตผสมในทุกช่วง 10 ระยะเวลาการทดสอบเนื่องจากปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์มากเกินไปทำให้คอนกรีตผสมเกิดปฏิกิริยาได้น้อยลง

กำลังตัดของคอนกรีตผสมยางพาราและเถ้า .3หนัก ปัจจัยที่หนึ่งคือการเติมน้ำยางพารา การเติมน้ำยางพาราจะ

เพิ่มกำลังตัดให้แก่คอนกรีตผสม โดยมีกำลังตัดสูงกว่าคอนกรีตควบคุมในทุกช่วงอายุการทดสอบ ปัจจัยที่สองคือปริมาณการเติมเถ้าหนักในคอนกรีตผสม การเติมเถ้าหนักลงไปในคอนกรีตผสมยางพาราจะลดกำลังตัดเมื่อเทียบกับคอนกรีตผสมเฉพาะยางพาราอย่างเดียว และที่น่าสนใจคือการแทนที่เถ้าหนักร้อยละ กำลังตัดที่ได้ถึงจะต่ำกว่าคอนกรีตผสมยางพาราอย่าง 10 เดียว แต่กำลังตัดยังมากกว่าคอนกรีตควบคุมปกติ

จากงานวิจัยนี้เมื่อเปรียบเทียบ .4CON PRCON LBA10 LBA15 และ LBA20 พบว่า LBA10 โดยอาศัยคุณสมบัติกำลังรับแรงอัด และกำลังตัด พบว่า LBA10 กำลังรับแรงอัดต่ำที่อายุทดสอบต่ำกว่า วัน แต่มีการพัฒนาแรงอัดเกือบ 28 เทียบเท่าแรงอัดของคอนกรีตปกติที่ วัน และเมื่อพิจารณา 60 แรงตัดพบว่าแรงตัดมากกว่าคอนกรีตควบคุมทุกอายุการทดสอบ ดังนั้น LBA10 จึงมีคุณสมบัติรับกำลังอัดได้ดีในระยะยาว และรับกำลังตัดได้ดีตั้งแต่ระยะต้น

จาก .5งานวิจัยคุณสมบัติของคอนกรีตผสมยางพาราและเถ้าหนักข้างต้นนี้ ส่วนผสมที่สามารถนำไปใช้งานได้ดีที่สุดคือ LBA10 ซึ่งมีแนวโน้มประยุกต์ใช้กับงานรับแรงอัดในระยะยาว การนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านโยธายังควรมีการรวบรวมข้อมูลการทดสอบเพื่อยืนยันการนำไปใช้งานเพิ่มเติม นอกจากนี้คอนกรีตผสมยางพาราและเถ้าหนักไม่เหมาะแก่การนำมาใช้งานกับคอนกรีตโครงสร้าง เช่น เสา คาน ที่ต้องการรับกำลังรับแรงอัดตั้งแต่เริ่มต้น และเมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าการยุบตัว จะพบว่าค่าการยุบตัวอยู่ในระดับความสามารถในการทำงานได้ต่ำ จึงเป็นอีกปัญหาในการเทเข้าแบบหล่อ เสา คาน ฐานราก ซึ่งเป็นงานคอนกรีตโครงสร้าง ทำให้คอนกรีตไม่เต็มแบบหล่อ ลดความสามารถในการรับกำลังอัด เกิดการร่อนของคอนกรีต คอนกรีตไม่ห่อหุ้มเหล็กเสริมคอนกรีต ทำให้เหล็กเกิดสนิมสูญเสียความแข็งแรงของโครงสร้างลง

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร จากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. และ ขอขอบคุณสาขาโยธา 2562 และสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ไกรวุฒิ เกียรติโกมล. แก่ถ่านหินในงานคอนกรีต, เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการนำถ่านหินในประเทศไทยมาใช้ในงานคอนกรีต. เมษายน 29 2546: หน้า 18-1.
- [2] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. สถิติอุตสาหกรรม : ซีเมนต์ ปี 2009: เข้าถึงได้จาก: [http://www.oie.go.th/industry\\_stat/269410.html](http://www.oie.go.th/industry_stat/269410.html)
- [3] สำนักงานสนับสนุนการวิจัย(สกว.). เรื่อง ประกาศรับข้อเสนโครงการวิจัยยางพาราใหม่. เข้าถึงได้จาก: <http://www.trf.or.th>
- [4] สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.). ประกาศรับโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา. โครงการวิจัยแห่งชาติ: ฝ่ายยางพารา. 2548; หน้า 7.
- [5] เอกชัย พลฤกษ์อำไพ. คู่มือยางพารา. เพ็ชรแพ้น พัลลิตซ์ซึ่ง กรุงเทพฯ. 2547; หน้า 352
- [6] ศุภโรจ พูลวณิชยสกุล และคณะ. คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมมวลรวมถ่านล่อยลิกไนต์. วิศวกรรมสาร. 2542;2:หน้า .68-63
- [7] Electricity generation authority of Thailand (EGAT). *Mae Moh Power Plant: Annual Report on Operations of Ash and Gypsum Conveyor Systems Division*. Electricity Generation Department. 2016.
- [8] Electricity generation authority of Thailand (EGAT). *Criteria and conditions for selling bottom ash Mae Moh Power Plant*. Byproduct Sales and Contract Management Division, 2016.
- [9] สิทธิชัย ศิริพันธ์ และคณะ. โครงการการใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย; 2548.
- [10] บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ ณรงค์ดี มากุล, ผลของถ่านหินจากถ่านหินลิกไนต์ที่มีต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์, วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา. 2544;12(4).
- [11] American Society for Testing and Materials. ASTM C 143- 00 : *Standard Test Method for Slump of Hydraulic- Cement Concrete*. Annual book of ASTM standard 2001, Vol. 04. 02, Philadephia: pp.89-91.
- [12] American Society for Testing and Materials. ASTM C 39/ C 39M- 01: *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Annual Book of ASTM Standard, 2001, Vol.04.02, Philadephia: pp.18-22.
- [13] American Society for Testing and Materials. ASTM C 78- 00 : *Standard Test Method for Flexural Strength of COncrete (Using Simple Beam with Third- Point Loading)* . Annual Book of ASTM Standard. 2001, Vol.04.02, Philadephia, pp.32-34.
- [14] American Society for Testing and Materials. ASTM C168 : *Standard Specifkcation for Coal Fly Ash and Raw of Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. Annual Book of ASTM Standart, 200, Philadephia, USA.
- [15] ปริญา จินดาประเสริฐ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. ปูนซีเมนต์ปอซโซลาน และคอนกรีต. สมาคมคอนกรีตไทย(ส.ค.ท.), สมาคมคอนกรีตไทย. 2547; 1, หน้า .44
- [16] ปริญา จินดาประเสริฐ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. ปูนซีเมนต์ปอซโซลาน และคอนกรีต. สมาคมคอนกรีตไทย(ส.ค.ท.), สมาคมคอนกรีตไทย. 2547; 1, หน้า .44
- [17] ประชุม คำพุ่ม. การใช้น้ำยางชั้นแบบแอมโมเนียปานกลางผสมในมอร์ตาร์มวลเบา. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. 4(2):หน้า 56-49.
- [18] ประชุม คำพุ่ม. การศึกษาการใช้น้ำยางพาราธรรมชาติผสมเพิ่มในคอนกรีตบล็อก. วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา. 2550;18(1).