

## การศึกษากำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่ใช้วัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุประสาน

### A Study of compressive strength using pozzolanic materials

ธิดารัตน์ ขาญณรงค์<sup>1</sup>, พิบูลศักดิ์ อรุณมาศ<sup>1</sup> และ ยศพงษ์ แก้วช่วย<sup>1</sup>

จักรพันธ์ แสงสุวรรณ<sup>2</sup>, อนุรักษ์ เทพกรณ์<sup>2</sup>

นักศึกษาคณะวิศวกรรมโยธา<sup>1</sup> อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา<sup>2</sup> คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาส่วนผสมคอนกรีต จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสาน ซึ่งปูนซีเมนต์ เป็นสารเร่งกำลังในอัตราร้อยละ 0,5,10,15 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุ ประสาน เพื่อให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้น โดยการนำกาก แคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินในอัตราส่วน เท่ากับ 30 : 70 โดย น้ำหนักของวัสดุประสาน สำหรับส่วนผสมคอนกรีตมีปริมาณวัสดุ ประสานเท่ากับ 550 กก/ม<sup>3</sup> และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.25 จากนั้นได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลา 14 และ 28 วัน ตามมาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของ คอนกรีต (มยผ.1210-50) ซึ่งผลการทดสอบพบว่า กำลังรับแรงอัดสูงสุด เท่ากับ 678 และ 727 กก/ม<sup>3</sup> ที่ระยะเวลา 14 และ 28 วัน ตามลำดับ

คำสำคัญ : กากแคลเซียมคาร์ไบด์ / เถ้าถ่านหิน / กำลังรับแรงอัด

#### Abstract

This research aims to develop concrete mixtures. Calcium carbide and coarse ash Cement is accelerated at the rate of 0.5, 10, 15 and 20 percent by weight of cementitious materials to increase the compressive strength. Calcium carbide ash mixed with coal ash was 30: 70 by weight. For concrete mixtures, the content of cement was 550 and the water-to-cement ratio was 0.25. The compressive strength of concrete was tested at 14 and 28 days according to the compressive strength test of concrete. (1210-50) The results of the test. Maximum compressive strength was 678 and 727 at the age of 14 and 28 days, respectively.

Keyword : Calcium carbide residue / Coal ash / compressive strength

#### 1. บทนำ

##### 1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันคอนกรีตกำลังสูงมีการนำมาใช้ในงานก่อสร้างขนาดใหญ่ที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกสูง เช่น ฐานรากอาคารขนาดใหญ่ เขื่อน ต่อ มอ ทางด่วน เป็นต้น ซึ่งการเทคอนกรีตบางครั้งต้องเทอย่างต่อเนื่องใน ปริมาณมากซึ่งก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญคือ ความแตกต่างอุณหภูมิ ระหว่างผิวภายนอกของคอนกรีตกับบริเวณภายในเนื้อคอนกรีตเอง ทำให้ เกิดการหดตัวที่ไม่เท่ากันของเนื้อคอนกรีตและเกิดการแตกร้าวได้ ปัจจัย สำคัญอย่างหนึ่งที่น่าไปคู่ปัญหาเหล่านี้คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ใน ส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงที่อยู่ระหว่าง 400 ถึง 600 กก/ม<sup>3</sup> ซึ่งเป็น ปริมาณที่สูง ทำให้เกิดความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างมาก รวมถึง ส่งผลให้ราคาของคอนกรีตต่อหน่วยปริมาตรสูงตามไปด้วยวิธีต่างๆ เช่น การฝังท่อในคอนกรีตเพื่อระบายความร้อน การใช้น้ำแข็งในการผสม คอนกรีต การเลือกใช้ชนิดของมวลรวมในการผสมคอนกรีต และการใช้ วัสดุปอซโซลานในการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน เป็นต้น[1]

เถ้าถ่านหิน (Fly Ash or Pulverized Fuel Ash) ได้จากการเผา ถ่านหินซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้ามีผลพลอยได้ 3 ประเภทคือ เถ้าถ่านหิน เถ้าตะกอน และเถ้าถ่านหิน ในที่นี้จะกล่าวถึงเถ้า ถ่านหิน (Fly Ash) ซึ่งมีลักษณะเป็นผงละเอียด มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 1- 150 ไมโครเมตร ประกอบไปด้วยออกไซด์ของแร่ธาตุต่างๆ หลายชนิด โดยมีซิลิกาออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>) อลูมินาออกไซด์ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) และเฟอร์ริก ออกไซด์ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) เป็นองค์ประกอบหลัก มาตรฐาน ASTM C 618 (2008) จัดเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุปอซโซลานที่สามารถนำไปแทนที่ปูนซีเมนต์ใน สัดส่วนที่น้อยมากประมาณร้อยละ 10-30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน เนื่องจากผู้ใช้คอนกรีตเกรงว่าจะส่งผลทางด้านลบต่อกำลังอัดของ คอนกรีต จึงมีสัดส่วนในการทิ้งเถ้าถ่านหินมากกว่าที่จะนำไปใช้ ประโยชน์ ทำให้มีปริมาณเถ้าถ่านหินเหลือทิ้งเพิ่มขึ้นก่อให้เกิดปัญหา มลภาวะต่อพื้นที่บริเวณใกล้เคียง รูปที่ 1.1 แสดงปริมาณของเถ้าถ่านหิน ที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าใน โรงไฟฟ้าอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง [1]

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3  
Proceedings of the 3<sup>rd</sup> RMUTP Conference of Engineering and Technology

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ (Calcium Carbide Residue) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีนซึ่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเชื่อมประสาน หรืออุตสาหกรรมการตัดโลหะ กากแคลเซียมคาร์ไบด์อยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ในสถานะของเหลว มีความเป็นด่างสูง ลักษณะเป็นโคลนเหลวสีเทาอมขาวในปี 2550 ปริมาณการทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์จากโรงงานแห่งหนึ่งสูงถึง 1000 ตัน/เดือน หรือประมาณ 12000 ตัน/ปี (Makaratah และคณะ 2009) ซึ่งไม่สามารถนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ไปใช้ประโยชน์ได้นอกจากนำไปทิ้ง ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่อพื้นที่บริเวณใกล้เคียง รูปที่ 1 แสดงพื้นที่ทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์ [1]

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นพัฒนาวัสดุประสานที่ทำจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินมาใช้ทำคอนกรีตกำลังสูง เพื่อเป็นทางเลือกในการนำวัสดุประสานชนิดใหม่ไปใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีต รวมถึงเพื่อเป็นการกระตุ้นให้มีการนำวัสดุดังกล่าวมาใช้เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และลดปัญหาพื้นที่ทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินให้น้อยลง [1]



รูปที่ 1 แสดงพื้นที่บริเวณทิ้งเถ้าถ่านหิน



รูปที่ 2 แสดงพื้นที่บริเวณทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสาน และใช้ปูนซีเมนต์เป็นสารเร่งกำลังในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

2. เพื่อส่งเสริมการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินมาใช้ในงานคอนกรีตซึ่งจะช่วยลดปัญหาต่างๆที่เกิดจากปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เหลือทิ้งจำนวนมาก

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้นำกากแคลเซียมคาร์ไบด์จากโรงงานผลิตก๊าซอะเซทิลีนที่ได้มาจากโรงงาน โดยตรง เถ้าถ่านหินที่นำมาใช้คือเถ้าถ่านหินที่ได้จากโรงงานโดยตรง และมาปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 กำหนดปริมาณวัสดุประสานของคอนกรีต 550 กก/ม<sup>3</sup> โดยใช้สัดส่วน ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าถ่านหินเท่ากับ 30 : 70 โดยน้ำหนักเพื่อเป็นวัสดุประสาน ใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.25 และใช้ปูนซีเมนต์เป็นสารเร่งกำลังในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลา 14 และ 28 วัน

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี พ.ศ. 2539 ปีติศานต์ กร้ามาตร และคณะ (2539) ได้นำส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าถ่านหินมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนปูนซีเมนต์ โดยพบว่าอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าถ่านหิน ในอัตราร้อยละ 30 : 70 โดยน้ำหนัก ให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ระยะเวลา 90 วัน สูงถึง 209 กก/ซม<sup>2</sup>และยังแนะนำว่าส่วนผสมของวัสดุทั้งสองชนิดนี้มีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาให้เป็นประโยชน์ในการก่อสร้างโดยควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เช่น ความละเอียดของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และการเพิ่มปูนซีเมนต์บางส่วนในส่วนผสมดังกล่าว หลังจากนั้นได้มีการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์มาใช้ในงานคอนกรีต โดยงานวิจัย ชรินทร์ นมรัญช์ (2544) พบว่าการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่มีปริมาณน้ำหนักร้อยละ 325 ร้อยละ 14.85 ผสมกับเถ้าถ่านหินในอัตราส่วน 30 : 70 โดยน้ำหนัก ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นสารเร่งกำลังในอัตราร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ปริมาณวัสดุที่ประสานเท่ากับ 450 กก/ม<sup>3</sup> มีค่า W/B เท่ากับ 0.35 พบว่าคอนกรีตสามารถให้กำลังอัดที่ระยะเวลา 90 วัน เท่ากับ 307 กก/ ซม<sup>2</sup> และงานวิจัย ธนพล เหล่าสม นวธิกุล (2522) ศึกษาการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ ที่มีปริมาณน้ำหนักร้อยละ 325 ร้อยละ 2.3 ผสมกับเถ้าถ่านหินบดละเอียด 10 โดยใช้ปริมาณวัสดุที่ประสานเท่ากับ 450 กก/ม<sup>3</sup> มีค่า W/B เท่ากับ 0.45 สามารถให้กำลังอัดเท่ากับ 284 และ 335 กก/ ซม<sup>2</sup> ที่ระยะเวลา 28 และ 90 วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าความละเอียดของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่สูงขึ้นส่งผลให้กำลังอัดสูงของคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย [2]

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3  
Proceedings of the 3<sup>rd</sup> RMUTP Conference of Engineering and Technology

### 2.2 ทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้อง

#### 1. กากแคลเซียมคาร์ไบด์

กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำในกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีนซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมงานเชื่อม กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเคมีอยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวมีสภาพความเป็นด่างสูง มีสีขาวหรือสีขาวเทาเมื่อปล่อยให้ตกตะกอนและแห้งตามธรรมชาติจะจับตัวกันเป็นก้อนหลวมๆ กากแคลเซียมคาร์ไบด์จะมีสีขาวเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นมีปริมาณลดลง [2]

ปัจจุบันได้มีการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ไปใช้ประโยชน์น้อยมากทำให้เกิดปัญหาในการทิ้ง อีกทั้งยังมีความเป็นด่างสูง ทำให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ปริมาณของกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปีตามภาวะของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและปริมาณความต้องการใช้ก๊าซอะเซทิลีน ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ไปใช้ประโยชน์ในงานคอนกรีตกำลังสูงเนื่องจากมีคุณสมบัติที่สาารถทำปฏิกิริยากับวัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุประสานได้ ถือได้ว่าเป็นวิธีช่วยลดมลภาวะที่เกิดจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์อีกวิธีหนึ่ง และเป็นการนำสิ่งที่ไม่ใช้ประโยชน์มาใช้ให้เป็นประโยชน์ [2]

#### 2. เถ้าถ่านหิน

เถ้าถ่านหินได้จากการเผาถ่านหินซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า มีลักษณะเป็นผงละเอียดขนาดอนุภาคตั้งแต่ 1-150 ไมโครเมตร มีสีเทา เทาดำ หรือสีน้ำตาล ในกระบวนการเผาถ่านหินจะได้เถ้าถ่านหินลอยขึ้นไปด้านบนเนื่องจากอนุภาคของเถ้าถ่านหินมีน้ำหนักเบาจึงถูกพัดออกตามปล่องควันพร้อมไอร้อนจากการเผาไหม้และโดนดักจับด้วยเครื่องดักจับฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) จากนั้นลำเลียงเถ้าถ่านหินไปเก็บไว้ในไซโลเพื่อรวบรวมนำไปทิ้งหรือนำไปใช้ต่อไป [2]

### 3. วิธีการทดสอบ

ในบทนี้กล่าวถึงการเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดสอบซึ่งประกอบไปด้วย กากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าถ่านหิน และวัสดุอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ การศึกษาครั้งนี้ทำการทดสอบหาลำดับรับแรงอัด โดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นสารเร่งกำลังในอัตราร้อยละ 0,5,10,15 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

#### 3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

##### 1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

2. กากแคลเซียมคาร์ไบด์ได้จากกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีนของโรงงานจังหวัดสมุทรสาคร (กากแคลเซียมคาร์ไบด์ได้จากโรงงานโดยตรง)

3. เถ้าถ่านหิน ใช้เถ้าถ่านหินจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

4. ทราย

5. หิน

6. น้ำสะอาด (น้ำประปา)

### 3.2 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

1. การเตรียมตัวอย่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์ งานวิจัยนี้ได้ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์จากโรงงานผลิตก๊าซอะเซทิลีนที่ได้มาจากโรงงานโดยตรง

2. การเตรียมตัวอย่างเถ้าถ่านหิน นำเถ้าถ่านหินจากโรงงานโดยตรง มาปรับปรุงคุณภาพด้วยการผ่านบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200

3. การเตรียมและทดสอบตัวอย่างคอนกรีต ใช้อัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสาน เท่ากับ 30 : 70 โดยน้ำหนัก ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นสารเร่งกำลัง โดยแทนที่วัสดุประสานร้อยละ 0,5,10,15 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ทำการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยใช้ปริมาณวัสดุประสานเท่ากับ 550 กก/ม<sup>3</sup> มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.25 อัตราส่วนทรายต่อหินเท่ากับ 45 : 55 ทำการผสมคอนกรีตและหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาด 10 x 20 เซนติเมตร 6 ตัวอย่าง และทำการถอดแบบหลังจากหล่อตัวอย่างคอนกรีตแล้วประมาณ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างคอนกรีตไปบ่มในน้ำสะอาดระยะเวลา 14 และ 28 วัน (อย่างละ 3 ตัวอย่าง)

4. ทำการทดสอบหาลำดับรับแรงอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลา 14 และ 28 วัน ตามมาตรฐาน (มยผ.1210-50)

### 4. ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหิน

จากตารางที่ 1 คือ ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหิน ซึ่งพบว่า กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้การแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินบดเป็นวัสดุประสานและใช้ปูนซีเมนต์เป็นสารเร่งกำลังในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสานแสดงในตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบพบว่า สามารถให้กำลังอัดที่อายุ 14 และ 28 วัน เท่ากับ 226 และ 379 กก/ซม<sup>2</sup> หรือคิดเป็นร้อยละ 38 และ 54 ตามลำดับ

## บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3  
Proceedings of the 3<sup>rd</sup> RMUTP Conference of Engineering and Technology

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กาก  
แคลเซียมคาร์ไบด์ผสมแก้ถ่านหิน

Age (days)	14			28		
Sample	1	2	3	1	2	3
Diameter (cm)	9.98	10.01	9.98	10.01	9.95	10.0
Height (cm)	19.9	20.11	20.01	19.92	19.8	19.9
Weight (cm)	3.73	3.78	3.73	3.75	3.72	3.77
Density (kg/m <sup>3</sup> )	2389	2388	2384	2393	2414	2396
	2387			2401		
Load (T)	17.4	17.4	18.4	31.0	30.0	28.1
Comp, Strength (ksc)	223	221.7	235.5	394.2	386	356
	226			379		

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้กาก  
แคลเซียมคาร์ไบด์ผสมแก้ถ่านหินบดละเอียดเป็นวัสดุประสาน ใช้สาร  
ลดน้ำพิเศษเพื่อให้คอนกรีตมีอัตราส่วน W/B เท่ากับ 0.25 และใช้  
ปูนซีเมนต์เป็นสารเร่งกำลังในอัตราร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดย  
น้ำหนักวัสดุประสาน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

วัสดุประสานที่ทำจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมแก้ถ่านหิน  
สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุประสานเพื่อทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดที่  
สูงขึ้นได้โดยให้กำลังอัดที่ระยะเวลา 28 วัน สูงกว่า 350 กก/ซม<sup>2</sup> ซึ่ง  
คอนกรีตควบคุมใช้ปูนซีเมนต์เท่ากับ 550 กก/ม<sup>3</sup>

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงไปด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ ผ.ศ.จักร  
พันธ์ แสงสุวรรณ และ อาจารย์ อนุรักษ์ เทพกรณ์ ที่ให้ความรู้ให้  
คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำวิจัยตลอดมา ขอขอบคุณ โรงงานผลิต  
ก๊าซอะเซทิลีน จังหวัดสมุทรสาคร และ โรงงานไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัด  
ลำปาง ที่สนับสนุนวัสดุในการทำวิจัยเป็นอย่างดี และต้องขอบพระคุณ  
อย่างสูงต่อบิดา มารดา ญาติพี่น้อง และครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ส่งสอน  
ให้ผู้วิจัยมีวันนี้ ตลอดจนนักศึกษาปริญญาตรีทุกคนที่ให้การปรึกษาและ  
ให้คำแนะนำในช่วงระหว่างการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ทุกท่านที่  
ไม่ได้เอ่ยนามและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลงานวิจัยนี้จะช่วยเสริมสร้าง  
ความรู้และความเข้าใจ ตลอดจนส่งเสริมกานกากแคลเซียมคาร์ไบด์  
และแก้ถ่านหินมาใช้ในงานคอนกรีตต่อไป ซึ่งจะช่วยลดปัญหาต่างๆ ที่

เกิดขึ้นจากปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เหลือทิ้งจำนวนมาก รวมถึง  
แก้ถ่านหินที่เป็นผลพลอยได้เพื่อสร้างคุณค่าในงานคอนกรีตกำลังสูง  
ต่อไป

## 7. อ้างอิง

- [1] สุภิชาดิ มาตย์ภูธร, 2541, การศึกษาที่มาของคอนกรีตที่ใช้กาก  
แคลเซียมคาร์ไบด์ผสมแก้ถ่านหินเป็นวัสดุประสาน, วิทยานิพนธ์  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 31.
- [2] บัณฑิต เหล่าสมาธิกุล, 2551, การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่  
ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมแก้ถ่านหินหรือเถ้าแกลบเป็นวัสดุ  
ประสาน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา  
วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า  
41-50.
- [3] ปิติสานต์ กร้ามาต, 2539, การศึกษาส่วนผสมของกาก  
แคลเซียมคาร์ไบด์และแก้ถ่านหินเพื่อนำมาใช้ในงานคอนกรีต,  
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรม  
โยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 24-88.