

การพัฒนากำลังอัดของบล็อกคอนกรีตที่ผลิตจาก  
กากแกลบเชื่อมคาร์ไบด์และถั่วลย

นายวรกร หน้ันสระเกษ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค  
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2554

การพัฒนากำลังอัดของบล็อกคอนกรีตที่ผลิตจาก  
กากแกลบเชื่อมคาร์ไบด์และถั่วลย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงการ

(ผศ. ดร. อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)  
ประธานกรรมการ

(ศ. ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข)  
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ)

(อ. ดร. ภัทรเพชร ยศพล)  
กรรมการ

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

วรากร หมั่นสระเกษ : การพัฒนากำลังอัดของบล็อกคอนกรีตที่ผลิตจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย (STRENGTH DEVELOPMENT IN CONCRETE BLOCK MANUFACTURED FROM CALCIUM CARBIDE RESIDUE AND FLY ASH)  
 อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นได้ของการประยุกต์ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยในการผลิตบล็อกเพื่อใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ พร้อมทั้งนำเสนอส่วนผสมที่เหมาะสม กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตกาซเซทีลิน และเถ้าลอยเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า คอนกรีตบล็อกผลิตขึ้นจากอัตราส่วนระหว่างวัสดุเชื่อมประสานต่อหินปูนเท่ากับ 1 ต่อ 8 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่นิยมใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.75 ให้น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกสูงที่สุด ปริมาณน้ำที่เหมาะสมจะเป็นตัวหล่อลื่นให้อนุภาคของหินปูน เถ้าลอย และกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เคลื่อนตัวเข้าอุดโพรงส่วนผสมได้สะดวก ปริมาณน้ำที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการยืมและไม่สามารถอัดให้แน่นได้ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.75 ไม่เพียงแต่ให้น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกสูงที่สุด แต่ยังให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกสูงที่สุดด้วย สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนนี้ก่อให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานระหว่างเถ้าลอยและหินปูนที่สมบูรณ์ที่สุด อัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่ให้น้ำหนักและกำลังอัดสูงที่สุดคือ 40:60 อัตราส่วนที่สูงกว่านี้ให้กำลังอัดที่ต่ำกว่าเนื่องจากปริมาณซิลิกาและอลูมินาในส่วนผสมมีไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ดังนั้น ส่วนผสมสำหรับทำคอนกรีตบล็อกที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.75 และอัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยเท่ากับ 40:60 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ถึงร้อยละ 40

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่อนักศึกษา \_\_\_\_\_

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา \_\_\_\_\_

VARAGORN MUNSRAKEST : STRENGTH DEVELOPMENT IN  
CONCRETE BLOCK MANUFACTURED FROM CALCIUM CARBIDE  
RESIDUE AND FLY ASH. ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK,  
Ph.D., P.E.

This research aims to study the possibility of using calcium carbide residue, CCR and fly ash (FA) to manufacture concrete blocks instead of using Portland cement and to suggest the optimal mix proportion. Calcium carbide residue (CCR) and fly ash (FA) are both waste materials from acetylene gas factories and power plants, respectively. The concrete block were made up at the binder to stone dust ratio of 1:8 by weight, which is commonly used for Portland cement. The water to binder, W/B ratio of 0.75 provides the highest unit weight of the concrete block. This optimum water content lubricates the stone dust, CCR and FA particles to slip over each other and move into a densely packed state. The greater water makes the mixture bleeding and cannot be compacted effectively. Besides, this ratio provides the highest strength. It is thus implied that this ratio yields the complete pozzolanic reaction between CCR and FA. The CCR to FA ratio of 40:60 provides the highest both unit weight and strength. The higher ratio provides lower values because the silica and alumina in the FA is not sufficient to react with  $\text{Ca(OH)}_2$  in the CCR for the pozzolanic reaction. To conclude, the optimal mix proportion is the W/B of 0.75 and CCR:FA of 40:60. The cost analysis showed that the cost of concrete block manufactured from CCR and FA was 40% lower than that from Portland cement.

School of Civil Engineering  
Academic Year 2011

Student's Signature \_\_\_\_\_  
Advisor's Signature \_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการศึกษานี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำในการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ แนะนำแนวทางการทำงานเพิ่มเติม โดยให้ความสนใจใส่ด้วยความเมตตากรุณา อีกทั้งยังถ่ายทอดความรู้แก่ศิษย์เป็นอย่างดี และยังปลุกฝังให้ผู้ศึกษามีความอดทน มีวินัย หมั่นค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม ผู้ศึกษาจึงขอขอบพระคุณท่าน ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข ไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้ศึกษา ซึ่งเป็นความรู้และประสบการณ์อันมีค่าที่เป็นประโยชน์ในการทำงานของผู้ศึกษา เป็นอย่างยิ่ง ผู้ศึกษาขอระลึกถึงพระคุณบิดาและมารดา ที่ได้อบรมสั่งสอนให้รักการศึกษา และหมั่นหาความรู้เพิ่มเติม ผู้ศึกษาขอขอบคุณสำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัด นครราชสีมาที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องห้องทดสอบพร้อมทั้งเครื่องมือทดสอบ และขอขอบคุณ นายชุตีพงศ์ เอื้อจิตตารณ ที่สละเวลาอันมีค่ามาให้ความช่วยเหลือในการทำการศึกษาค้นคว้านี้ ทำயที่สุดขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนและภรรยาที่น่ารัก ที่คอยช่วยเหลือในการทำการศึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด จนสามารถทำการศึกษาค้นคว้านี้ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

วรากร หมั่นสระเกษ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ช
<b>บทที่</b>	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ปรัชศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 กากแคลเซียมคาร์ไบด์.....	5
2.3 เถ้าลอย.....	7
2.4 วัสดุปอซโซลาน.....	8
2.5 หินฝุ่น.....	9
2.6 ปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอซโซลาน.....	9
2.7 ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีต.....	10
2.8 ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์.....	10
2.9 อัตราการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต.....	11
2.10 มาตรฐานการรับน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก.....	11
2.11 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11

3	วิธีดำเนินการทำโครงการ.....	15
3.1	วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	15
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	17
3.3	วิธีการทดลอง.....	20
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปราย.....	22
4.1	บทนำ.....	22
4.2	การทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของแท่งตัวอย่าง คอนกรีตบดล็อก.....	22
4.3	ผลทดสอบ.....	25
4.4	การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบดล็อก.....	31
5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	33
5.1	สรุปผล.....	33
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	33
	เอกสารอ้างอิง.....	35
ภาคผนวก ก	ข้อมูลและการคำนวณกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบดล็อก โดยใช้กากแคลเซียมคาร์ไบต์เป็นวัสดุประสาน.....	38
ภาคผนวก ข	ข้อมูลและการคำนวณหน่วยน้ำหนักของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบดล็อก โดยใช้กากแคลเซียมคาร์ไบต์เป็นวัสดุประสาน.....	48
ภาคผนวก ค	รูปภาพจากการทดลองและการวัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบดล็อก โดยใช้กากแคลเซียมคาร์ไบต์เป็นวัสดุประสาน.....	58
	ประวัติผู้เขียน.....	74

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58/2533).....	11
4.1 อัตราส่วนผสมของแท่งตัวอย่างคอนกรีตในอัตราส่วนต่างๆ.....	25
4.2 กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยและหน่วยน้ำหนักเฉลี่ยของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก ที่ 7 วัน และ 14 วัน.....	26
4.3 การเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกจากวัสดุเหลือใช้และจากปูนซีเมนต์.....	32



## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 การใช้คอนกรีตบล็อกในงานก่อสร้าง.....	1
1.2 คอนกรีตบล็อกรูปแบบต่างๆ.....	2
1.3 การทึงกากเคลือบซีเมนต์คาร์ไบด์.....	3
2.1 กากเคลือบซีเมนต์คาร์ไบด์.....	6
2.2 ใ้ลลย.....	7
2.3 หินฝุ่น.....	9
3.1 ตัวอย่างกากเคลือบซีเมนต์คาร์ไบด์ก่อนผสม.....	15
3.2 ตัวอย่างใ้ลลยก่อนผสม.....	16
3.3 ตัวอย่างหินฝุ่นก่อนผสม.....	16
3.4 เครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Machines).....	17
3.5 แบบหล่อตัวอย่างเครื่องมือและอุปกรณ์ผสมคอนกรีต.....	18
3.6 ชุดทดสอบขนาดของตัวอย่าง (Seive).....	18
3.7 ตาชั่งที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 10 กิโลกรัม (ชั่งได้ 30 กิโลกรัม).....	19
3.8 เครื่องมือวัดขนาดแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก (Venire).....	19
4.1 การเตรียมส่วนผสมในแบบหล่อ.....	23
4.2 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบล็อก.....	24
4.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องทดสอบ แรงอัดแกนเดียว.....	24
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและอัตราส่วนระหว่างกากเคลือบซีเมนต์คาร์ไบด์ และใ้ลลยที่อายุบ่ม 7 วัน.....	27
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและอัตราส่วนระหว่างกากเคลือบซีเมนต์คาร์ไบด์ และใ้ลลยที่อายุบ่ม 14 วัน.....	27
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนระหว่างกากเคลือบซีเมนต์คาร์ไบด์ ใ้ลลยที่อายุบ่ม 7 วัน.....	28
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนระหว่างกากเคลือบซีเมนต์คาร์ไบด์ ใ้ลลยที่อายุบ่ม 14 วัน.....	29

4.8 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ W/B ต่างๆ.....	29
4.9 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกในช่วงอายุบ่ม 7 ถึง 14 วัน.....	30

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การก่อสร้างโครงสร้างทางวิศวกรรมและโครงสร้างพื้นฐานมีการใช้คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุก่อสร้างผนังและกำแพงจำนวนมาก



รูปที่ 1.1 การใช้คอนกรีตบล็อกในงานก่อสร้าง

การผลิตคอนกรีตบล็อกในปัจจุบันใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน การใช้วัสดุเหลือใช้ที่มีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อมประสาน (cementing agent) สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตและลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ได้



รูปที่ 1.2 คอนกรีตบล็อกรูปแบบต่างๆ

กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุเหลือใช้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีน ซึ่งปัจจุบันมีการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ไปใช้ประโยชน์น้อยมาก ทำให้เกิดปัญหาในการทิ้ง อีกทั้งยังเป็นค่าสูง ทำให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ปริมาณของกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปีตามภาวะของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและปริมาณความต้องการใช้ก๊าซอะเซทิลีน หากปล่อยทิ้งไว้ก็จะเกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและเสียค่าใช้จ่ายสูงในการกำจัด รูปที่ 1.3 แสดงการทิ้งของกากแคลเซียมคาร์ไบด์



รูปที่ 1.3 การทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์

การศึกษาเบื้องต้น (Horpibulsuk et al., 2011 และ Jaturapitukkul and Roongreung, 2003) พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีส่วนประกอบของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) ในปริมาณสูง เมื่อนำมาผสมกับเถ้าลอย (วัสดุที่เหลือจากการผลิตกระแสไฟฟ้า) ซึ่งมี ส่วนประกอบของซิลิกาและอลูมินาในปริมาณสูง จะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานและได้ผลิตภัณฑ์ เชื่อมประสาน (Cementitious products) ปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้นนี้เทียบเท่าได้กับปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดจากปูนซีเมนต์ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำ กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยมาใช้เป็นวัสดุประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อก ซึ่งเป็นการนำ วัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีนและผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านหินมาใช้ให้เกิด ประโยชน์ ช่วยลดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อก และ ทำยาคจะวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่ขายกันในท้องตลาดปัจจุบัน

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่เหมาะสม สำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อก
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และ เถ้าลอย กับคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

ตัวอย่างทดสอบเป็นแท่งคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 0.15x0.15x0.15 ลูกบาศก์เมตร ตัวอย่างทดสอบเป็นส่วนผสมระหว่างหินฝุ่น กากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอย และน้ำ (โดยปราศจากปูนซีเมนต์) อัตราส่วนวัสดุเชื่อมประสาน (กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย) ต่อหินฝุ่นที่ใช้ในการศึกษานี้เท่ากับ 1:8 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ใช้กันโดยทั่วไปในการผลิตคอนกรีตบล็อก อัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยแปรผัน 20:80, 40:60 และ 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50, 0.75 และ 1.00 ตัวอย่างคอนกรีตบล็อกถูกบ่มในอากาศเป็นเวลา 7 วัน และ 14 วัน ก่อนการหาหน่วยน้ำหนักและทดสอบกำลังรับแรงอัด ในแต่ละอัตราส่วนผสม ผู้วิจัยทำก่อนตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของการทดสอบ ผลทดสอบทั้งหมดจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด และเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นกับต้นทุนการผลิตของคอนกรีตบล็อกที่ทำจากปูนซีเมนต์

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบส่วนผสม (กากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าลอย ปริมาณน้ำ) ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อก ที่ได้มาตรฐานตาม มอก.58/2533
- 1.4.2 ลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อก
- 1.4.3 ลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อม

## บทที่ 2

### ปฏิกิริยารวมกรรมที่เกี่ยวข้อง

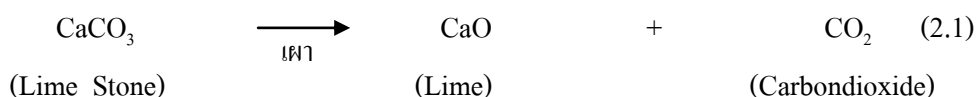
#### 2.1 บทนำ

ในบทนี้ จะกล่าวถึง คุณสมบัติทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ คุณสมบัติทางเคมีของ ถ้ำลอย ปฏิกริยาไฮเดรชันและปฏิกริยาปอซโซลาน มาตรฐานการรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และถ้ำถ่านหิน

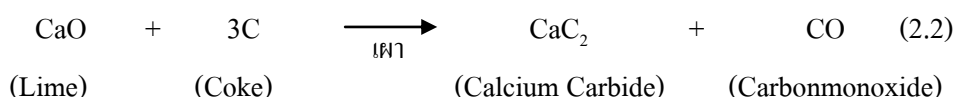
#### 2.2 กากแคลเซียมคาร์ไบด์

กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกริยาเคมีระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์ กับน้ำในกระบวนการผลิตถ้ำอะเซทิลีน ซึ่งเป็นถ้ำที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมงานเชื่อม กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เหลือจากการทำปฏิกริยามีอยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลว มีสภาพความเป็นด่างสูง มีสีขาวหรือสีขาวเทา เมื่อปล่อยให้ตกตะกอนและแห้งตามธรรมชาติจะจับตัวกันเป็นก้อนหลวมๆ กากแคลเซียมคาร์ไบด์จะมีสีขาวเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นมีปริมาณลดลง

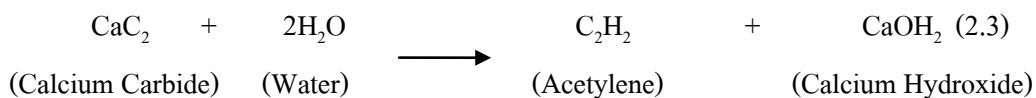
กระบวนการผลิตถ้ำอะเซทิลีนทำได้โดยนำหินปูน ( $\text{CaCO}_3$ ) เข้าเตาหลอม จากกระบวนการนี้ได้ผลผลิตคือปูนขาว ( $\text{CaO}$ ) และถ้ำคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ตามสมการที่ (2.1)



หลังจากนั้น เติมน้ำในถ้ำในขณะที่ยังมีปูนขาว ( $\text{CaO}$ ) อยู่ในเตาหลอมได้แคลเซียมคาร์ไบด์ ( $\text{CaC}_2$ ) ตามสมการที่ (2.2)



นำแคลเซียมคาร์ไบด์ ( $\text{CaC}_2$ ) ที่ได้จากสมการที่ 2.2 ไปทำปฏิกริยากับน้ำได้ถ้ำอะเซทิลีน ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) และกากแคลเซียมคาร์ไบด์ซึ่งอยู่ในรูปของ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ตามสมการที่ (2.3)



กากแคลเซียมคาร์ไบด์อยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีสถานะเป็นของเหลว ซึ่งแสดงในสมการที่ (2.3) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเมื่อใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ ( $\text{CaC}_2$ ) 64 กรัม จะได้ก๊าซอะเซทิลีน ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) เท่ากับ 26 กรัม และได้กากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{CaOH}_2$ ) สูงถึง 74 กรัม (Jaturapitukkul and Roongreung, 2003) ปีติศานต์ กร้ามาตร และคณะ (2539) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของ กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีแคลเซียมออกไซด์สูงถึงร้อยละ 62.09 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ที่มีค่าอยู่ร้อยละ 63.94 แต่กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีค่า LOI ที่สูงมากถึงร้อยละ 32 มีค่า pH เท่ากับ 11.75 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ชรินทร์ นมรักษ์ (2544) ; Ramasamy และคณะ (2002) ที่พบว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ได้จากโรงงานผลิตก๊าซอะเซทิลีนมี pH เท่ากับ 12.2



รูปที่ 2.1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์



## 2.3 เถ้าลอย

เถ้าลอย ได้จากการเผาถ่านหินซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า มีลักษณะเป็นผงละเอียดขนาดอนุภาคตั้งแต่ 1-150 ไมโครเมตร มีสีเทา เทาดำ หรือสีน้ำตาล ในกระบวนการเผาถ่านหินจะได้เถ้าลอยลอยขึ้นไปด้านบน เนื่องจากอนุภาคของเถ้าลอยมีน้ำหนักเบาจึงถูกพัดออกมาตามปล่องควันพร้อมไอร้อนจากการเผาไหม้ และโดนดักจับด้วยเครื่องดักจับฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) จากนั้นถ้าเลี้ยงเถ้าลอยไปเก็บไว้ในไซโลเพื่อรวบรวมนำไปทิ้งหรือนำไปใช้ต่อไป



รูปที่ 2.2 เถ้าลอย

ในปัจจุบันได้มีการนำเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างต่างๆ ในหลายลักษณะ เช่นเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตกำลังสูง หรือคอนกรีตทั่วไป ทำคอนกรีตบล็อก ก่อสร้างทางดิน โดยทั่วไปเถ้าลอยจะมีลักษณะทางกายภาพ และทางเคมี ดังต่อไปนี้

### 2.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

โดยทั่วไปเถ้าลอยจะมีสีเทาอ่อนจนถึงสีเทาเข้ม หรือบางครั้งมีสีน้ำตาล ตามแต่ชนิดของถ่านหิน วิธีการเผาและอุณหภูมิในการเผา มีรูปร่างกลมเป็นส่วนใหญ่ และมีรูปร่างหลายเหลี่ยมเป็นส่วนน้อย มีความละเอียดตั้งแต่ 0.001 มิลลิเมตร จนถึง 1 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับกระบวนการเผา โดย ASTM C 618 ยอมให้น้ำหนักถ่านหินค้างตะแกรงเบอร์ 325 ได้ไม่เกินร้อยละ 34 โดยน้ำหนัก ความละเอียดในรูปของพื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งวัดโดยวิธี Air Blaine Permeability อยู่ในช่วง

2,500 ถึง 4,000 ตารางเซนติเมตร/กรัม ในขณะที่ความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่า ไม่ต่ำกว่า 2,800 ตารางเซนติเมตร/กรัม

### 2.3.2 คุณสมบัติทางเคมี

โดยทั่วไปแล้วลอมกมีองค์ประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) และอะลูมินาออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยฟอสฟอรัสออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ASTM C 618 ได้แยกประเภทของลอมไว้ 2 ชนิด คือ Class F และ Class C โดย Class F มี  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  มากกว่าร้อยละ 70 และ Class C มี  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  ระหว่างร้อยละ 50 ถึง 70 โดยน้ำหนัก

## 2.4 วัสดุปอซโซลาน

ตามมาตรฐาน ASTM C 618 (2008) ลอมเป็นวัสดุปอซโซลานสังเคราะห์ประเภทหนึ่งที่มีองค์ประกอบหลักคือ ซิลิกาออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) อะลูมินาออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) และเฟอร์ริกออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) โดยปกติแล้วสามารถแบ่งลอมตามองค์ประกอบทางเคมีเป็น 2 ประเภท คือ Class C และ Class F โดยพิจารณาจากผลรวมของ  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  กล่าวคือ ถ้าเกิน Class F ต้องมีผลรวมของ  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  รวมกันมากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ส่วนใหญ่ได้จากการเผาถ่านหินประเภทอินทราไซด์ หรือบิทูมินัส ส่วนถ่านหิน Class C ต้องมีผลรวมของ  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  อยู่ระหว่างร้อยละ 50-70 โดยน้ำหนัก ส่วนใหญ่ได้จากการเผาถ่านหินประเภทลิกไนต์ หรือ ซับบิทูมินัส โดยปกติถ่านหินจะไม่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานหรืออาจมีแต่น้อยมาก แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) แล้วได้ผลผลิตที่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน ซึ่งคุณสมบัติในการเชื่อมประสานนี้ขึ้นอยู่กับความละเอียดของลอม ลอมที่มีอนุภาคเล็กจะมีคุณสมบัติในการยึดประสานได้ดีกว่าลอมที่มีอนุภาคใหญ่ (สมิทร ส่งพิริยะกิจ, 2538)

ในประเทศไทยลอมได้รับความนิยมนำมาใช้ในงานคอนกรีตผสมเสร็จอย่างแพร่หลาย อีกทั้งมีงานวิจัยอีกมากที่ศึกษาถึงการนำประโยชน์ของลอมไปใช้ในงานคอนกรีต เช่น การนำลอมไปแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อลดปริมาณความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยเฉพาะถ่านหินแม่เมาะ ซึ่งเป็นลอมที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ และมีปริมาณมากพอต่อความต้องการใช้ในภาคอุตสาหกรรม แต่ยังมีกรนำมาใช้ในงานคอนกรีตในสัดส่วนที่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่ผลิตได้ในแต่ละปี

## 2.5 หินฝุ่น

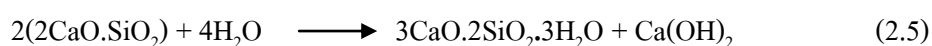
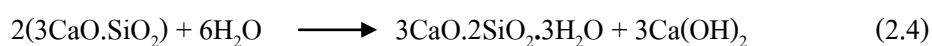
หินฝุ่นที่สามารถนำมาทำเป็นคอนกรีตบล็อกได้แก่ หินฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 3 มิลลิเมตร เพื่อให้ก้อนคอนกรีตบล็อกที่ได้ออกมานั้นไม่ค่อยมีรูพรุนมากเกินไปและมีความแข็งแรงสามารถรับแรงอัดได้มาก



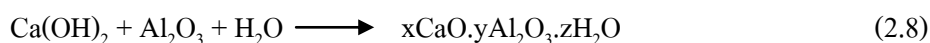
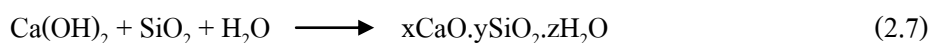
รูปที่ 2.3 หินฝุ่น

## 2.6 ปฏิกริยาไฮเดรชันและปฏิกริยาปอซโซลาน

ปฏิกริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) เกิดจากปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและมีผลิตภัณฑ์จากปฏิกริยาที่สำคัญคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ( $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  หรือ C-S-H) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) และแคลเซียมอลูมินาไฮเดรต ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  หรือ C-A-H) ดังแสดงในสมการที่ (2.4) ถึง (2.6)



ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายหลังจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) ที่เกิดจากสมการที่ (2.4) และ (2.5) ทำปฏิกิริยากับวัสดุปอซโซลานที่มีองค์ประกอบหลักคือซิลิกาออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) และอลูมินาออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ในงานวิจัยนี้ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และวัสดุปอซโซลานคือเถ้าถ่านหิน โดยมีการทำปฏิกิริยาเคมีดังสมการ (2.7) ถึง (2.8)



ค่า  $x, y$  และ  $z$  ในสมการที่ (2.7) และ (2.8) เป็นค่าที่แปรไปตามชนิดของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และแคลเซียมอลูมินไฮเดรต (C-A-H) ซึ่งทั้ง C-S-H และ C-A-H ที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานนี้ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้น และลดช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ลงทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นขึ้นโดยปฏิกิริยาปอซโซลานนี้จะเริ่มเกิดขึ้นช้าๆ เป็นเวลานาน โดยจะเริ่มเกิดเมื่ออายุประมาณ 7 วัน (Fray และคณะ, 1989) และทำปฏิกิริยาต่อไปเรื่อยๆ แม้ว่าคอนกรีตมีอายุมากกว่า 3 ปีครั้งก็ตาม (Hansen, 1990) นอกจากนี้ปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นเมื่อวัสดุปอซโซลานมีความละเอียดสูงขึ้น

## 2.7 ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีต

โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มวัสดุปอซโซลานในวัสดุประสานจะส่งผลให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามปริมาณของวัสดุปอซโซลานที่เข้ามาแทนที่ เป็นผลมาจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่ลดลง รวมถึงปริมาณของสารลดน้ำพิเศษ (Super plasticizer) ที่มีมากเกินไปเกินความต้องการจึงส่งผลกระทบต่อค่า (Books, etal, 2000)

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตค่อนข้างมีความสำคัญในงานคอนกรีต ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตจะบ่งบอกพฤติกรรมของคอนกรีต หลังจากการก่อตัวระยะปลายแล้ว คอนกรีตจึงเริ่มพัฒนาความสามารถในการรับน้ำหนัก เพราะฉะนั้น ระยะเวลาก่อตัวทั้งต้นและปลายจึงมีความสำคัญในเรื่องของเวลาทำงานในคอนกรีตทั่วไป (Pinto, 1999)

## 2.8 ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์

ปฏิกิริยาไฮเดรชันเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนซึ่งปล่อยออกมาตลอดเวลาของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ โดยองค์ประกอบทางเคมี ความละเอียด และปริมาณของ

วัสดุมีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ในช่วงต้น จะมีการคลายความร้อนอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในช่วง 7 วันแรก (Neville, 1995)

## 2.9 อัตราการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต

โดยทั่วไปคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างมักคำนึงถึงกำลังอัดของคอนกรีตเป็นหลัก แต่ความเป็นจริงแล้วคอนกรีตต้องมีความสามารถทนต่อสภาพอากาศการกัดกร่อนทางเคมี และสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้นได้ คุณสมบัติส่วนหนึ่งของคอนกรีตประเมินได้จากการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตไม่ใช่วัสดุที่ทึบน้ำ แต่สามารถซึมผ่านได้ในอัตราที่ช้า เมื่อน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้หรือซึมผ่านได้ในอัตราที่ช้าลง สารละลายต่างๆก็สร้างความเสียหายให้คอนกรีตได้น้อยลง ในทางตรงข้ามเมื่อคอนกรีตมีอัตราความซึมผ่านของน้ำค่อนข้างสูงแสดงว่าสารละลายต่างๆสามารถแทรกซึมเข้าสู่เนื้อคอนกรีตได้ง่าย เช่นสารละลายซัลเฟตซึมเข้าในเนื้อคอนกรีตทำให้เกิดการขยายตัวทำให้เกิดการแตกร้าว ดังนั้นอัตราการซึมผ่านของคอนกรีตบอกได้ถึงอายุใช้งานของคอนกรีตเพราะอัตราการซึมผ่านของน้ำมีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

## 2.10 มาตรฐานการรับน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.58/2533 ให้ความหมายของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (Hallow non-load-bearing concrete masonry unit) ว่าหมายถึง คอนกรีตบล็อกที่ทำจากปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมชนิดต่างๆ และจะมีสารอื่นๆ ผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ ใช้เป็นวัสดุสำหรับก่อผนังหรือกำแพงที่ออกแบบไม่รับน้ำหนักบรรทุกใดๆ นอกจากน้ำหนักตัวเอง โดยกำหนดความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าแต่ละก้อน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58/2533)

ความต้านทานแรงอัดค่าสุด(ksc.) (เฉลี่ยจากพื้นที่รวม)	
เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน
25	20

## 2.11 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Davis และคณะ (1937) พบว่าถ้าลอมที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำความละเอียดสูง จะมีคุณสมบัติปอซโซลานที่สูง และอาจใช้แทนปูนซีเมนต์ได้สูงถึงร้อยละ 30 และจากสภาพการบ่ม

มาตรฐานจะมีกำลังอัดต่ำที่อายุน้อย แต่กำลังอัดจะสูงขึ้นเมื่ออายุของคอนกรีตมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา

Minnick (1954) พบว่าความละเอียดของเถ้าลอย (โดยวัดจากตะแกรงเบอร์ 325) มีความสัมพันธ์กับกำลังอัดของมอร์ตาร์และคอนกรีต กล่าวคือเถ้าลอยที่มีมีความละเอียดมากกว่าจะให้กำลังอัดได้ดีกว่า

Timms and Grieb (1956) พบว่า เถ้าลอยที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำจะให้กำลังในคอนกรีตได้ดีกว่าเถ้าลอยที่มีคาร์บอนสูงในอัตราส่วนผสมเดียวกัน

Kokubu (1968) พบว่าสารประกอบของเถ้าลอยที่สำคัญมีควอตซ์ (Quartz) มุลไลท์ (Mullite) และกลาส (Glass) ซึ่งซิลิกาจะอยู่ในรูปของควอตซ์และกลาส ส่วนอลูมินาจะอยู่ในรูปของมุลไลท์ออกไซด์และกลาส และยังพบอีกว่ากลาสเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน

ปริญญา จินดาประเสริฐ และ อินทรชัย หอวิจิตร (2528) พบว่า กำลังอัดระยะต้นของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยมีค่าลดลงตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น เพราะปฏิกิริยาปอซโซลานยังไม่เกิด แต่เมื่อนานไปกำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยมีค่าลดลงตามปริมาณเถ้าลอยจะดีขึ้น เพราะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานแล้ว และการใช้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมที่พอเหมาะ จะต้องผสมไม่เกินร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

Al-Sayed และคณะ (1992) ศึกษาจากแคลเซียมคาร์ไบด์ในส่วนผสมของแอสฟัลต์เพื่อใช้ในการถนน โดยทำการทดสอบ Marshall Test พบว่าคุณสมบัติมีค่าใกล้เคียงกับวัสดุเหลือทิ้งทั่วไป รวมทั้งยังมีความสามารถต้านทานความร้อนได้ดีมากกว่าวัสดุที่ทำจากหินฝุ่นที่ใช้กันทั่วไป

เมธี เวชรัตน์ (2535) ได้ทำการศึกษาเถ้าลอย 2 ชนิด คือ Hadson และ Mercar ซึ่งทั้งสองชนิดมีขนาดต่างกันแต่ใช้ส่วนผสมเดียวกัน ใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ เป็นจำนวนร้อยละ 35 โดยน้ำหนักเท่ากัน พบว่าในช่วงแรกกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยจะต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา และ ส่วนผสมที่มีเถ้าลอยขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่สามารถรับน้ำหนักได้ดีกว่าคอนกรีตที่มีเถ้าลอยขนาดใหญ่กว่าเป็นส่วนผสมในทุกอายุของคอนกรีต

สมหมาย สว่างกิจ และคณะ (2535) ได้ทำการศึกษาการกัดกร่อนของคอนกรีตผสมเถ้าลอย ซึ่งพบว่าปริมาณการทดแทนของเถ้าลอยที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 35 สามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ดี

Anek Siripanichgom (1993) ได้ทำการศึกษาการกัดกร่อนของคอนกรีตผสมเถ้าลอย จากแม่เมาะที่คัดขนาดโดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 พบว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยที่คัดขนาดแทนที่ปูนซีเมนต์ ให้กำลังมากกว่าเถ้าลอยที่ไม่คัดขนาด

พิชัย นิมิตรยงสกุล และ บุรฉัตร ฉัตรวีระ (2536) พบว่าความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ธรรมดาที่ความชื้นเหลวปกติเท่ากัน ที่เริ่มแรกกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย จะต่ำกว่ามอร์ตาร์ธรรมดาจนถึง 90 วัน หลังจากนั้นค่าดังกล่าวจะสูงขึ้น และการแทนที่เถ้าลอยในปูนซีเมนต์สามารถทำได้ถึงร้อยละ 35 โดยปราศจากผลข้างเคียง ระยะเวลาก่อตัวของมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยจะนานกว่ามอร์ตาร์ธรรมดา

ปิติสานต์ กร้ามาตร และคณะ (2539) ได้นำส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าลอยมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนปูนซีเมนต์ โดยพบว่าอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าลอย ในอัตราร้อยละ 30:70 โดยน้ำหนัก ให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 90 วัน สูงถึง 209 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตรและยังแนะนำว่าส่วนผสมของวัสดุทั้งสองชนิดนี้มีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาให้เป็นประโยชน์ในการก่อสร้างโดยควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เช่น ความละเอียดของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และการเพิ่มปูนซีเมนต์บางส่วนในส่วนผสมดังกล่าว

ชรินทร์ นมรัญษ์ (2544) พบว่าการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่มีปริมาณน้ำหนักร้อยละ 325 ร้อยละ 325 ร้อยละ 14.85 ผสมกับเถ้าลอยในอัตราส่วน 30:70 โดยน้ำหนัก ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นสารเร่งกำลังในอัตราร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีปริมาณวัสดุประสานเท่ากับ 450 กก/ม<sup>3</sup> มีค่า W/B เท่ากับ 0.35 พบว่าคอนกรีตสามารถให้กำลังอัดที่อายุ 90 วัน เท่ากับ 307 กก/ซม<sup>2</sup>

Nilo และคณะ (2001) ได้นำส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าลอยและดินทดสอบทางคุณสมบัติทางกลเพื่อใช้ในงานวิศวกรรมฐานรากขนาดใหญ่และงานที่ไม่ต้องการเวลาใช้งานที่เร็ว พบว่าคุณสมบัติด้านกำลังอัดจะเพิ่มขึ้นสูงสุดหลังอายุ 28 วันไปแล้ว เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาปอซโซลานจึงที่ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น

ธนพล เหล่าสมาธิกุล (2552) ได้ศึกษาการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่มีปริมาณน้ำหนักร้อยละ 325 ร้อยละ 2.3 ผสมกับเถ้าถ่านหินบดละเอียดโดยใช้ปริมาณวัสดุประสานเท่ากับ 450 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรกับค่า W/B เท่ากับ 0.45 สามารถให้กำลังอัดเท่ากับ 284 และ 335 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ที่อายุ 28 และ 90 วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าความละเอียดของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่สูงขึ้นส่งผลทำให้กำลังอัดสูงของคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

กิตติพงษ์ อานาจเหนือ (2552) ได้ศึกษาการผลิตคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าลอยในอัตราส่วน 30:70 โดยน้ำหนักเพื่อใช้เป็นวัสดุประสาน และใช้ปูนซีเมนต์เป็นสารเร่งกำลังในอัตราร้อยละ 0,5,10,15 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และ W/B 0.25 พบว่า ระยะเวลาในการก่อตัวของคอนกรีตมีค่าใกล้เคียงกับค่าควบคุมและก่อตัวเร็วขึ้นในอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์

ผสมกับถั่วลอชเป็นส่วนผสมคล้ายกับกำลังอัดของคอนกรีตควบคุม โดยมีกำลังอัดสูงสุด เท่ากับ 678 และ 727 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน และ 90 วัน ตามลำดับ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับถั่วลอชเป็นส่วนผสมมีค่าสูงขึ้นตามกำลังอัดที่เพิ่มขึ้น และมีทิศทางเหมือนกับคอนกรีตควบคุม และมีค่าความซึมผ่านของคอนกรีตลงเมื่อคอนกรีตมีอายุและกำลังของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าอัตราการซึมผ่านของคอนกรีตอยู่ในช่วงระหว่าง  $0.85 \times 10^{-13}$  ถึง  $5.80 \times 10^{-13}$  เมตร/วินาที ขณะที่คอนกรีตควบคุม มีค่า  $0.91 \times 10^{-13}$  และ  $1.10 \times 10^{-13}$  เมตร/วินาที ที่อายุ 28 วัน และ 90 วัน ตามลำดับ และมีค่าความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไปอีกด้วย

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับถั่วลอชมาใช้เป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีต แต่ยังไม่เคยมีการศึกษาการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับถั่วลอชมาเป็นวัสดุประสานในการทำคอนกรีตบล็อกมาก่อน ดังนั้น การศึกษาจึงมุ่งเน้นการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับถั่วลอชมาเป็นวัสดุประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อกโดยไม่ใช้ปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดจากปูนซีเมนต์ แต่อาศัยปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดจากกาก แคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับถั่วลอชเพียงอย่างเดียว เพื่อลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อก และยังช่วยในการกำจัดวัสดุที่เหลือใช้แล้วเป็นปัญหาต่อสภาพแวดล้อมด้วย



### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการทำโครงการ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อกที่มีถังรับแรงอัดได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.58/2533 โดยจะทำการทดลองหาอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยในอัตราส่วนต่างๆกัน ซึ่งต้องใช้วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการทดลอง วิธีคำนวณคุณสมบัติของตัวอย่างทดสอบ ดังนี้

#### 3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 กากเคลเซียมคาร์ไบด์จากบริษัท ผลิตแก๊สสาย 5 จำกัดอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม
- 3.1.2 เถ้าลอยจากโรงงานไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- 3.1.3 หินฟูนที่มีขนาดไม่เกิน 3 มิลลิเมตร จากร้านวัสดุก่อสร้างทั่วไปในท้องที่ จังหวัดนครราชสีมา
- 3.1.4 น้ำสะอาด(น้ำประปาจากประปาเทศบาลนครนครราชสีมา)



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์ก่อนผสม



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างเก่าลอยก่อนผสม



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างหินฝุ่นก่อนผสม

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 เครื่องทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีต (Compression Machines)
- 3.2.2 แบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์มาตรฐานขนาด 0.15x0.15x0.15 ลูกบาศก์เมตร
- 3.2.3 ชุดทดสอบขนาดของตัวอย่าง (Seive)
- 3.2.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ผสมคอนกรีต ประกอบด้วย
  - อ่างผสมคอนกรีต
  - ที่ตักส่วนผสมคอนกรีต
  - เครื่องมือกระทุ้ง
  - ค้อนยาง
- 3.2.5 ตาชั่งที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 10 กิโลกรัม
- 3.2.6 เครื่องมือวัดขนาดแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก(Venire)



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Machines)



รูปที่ 3.5 แบบหล่อตัวอย่างเครื่องมือและอุปกรณ์ผสมคอนกรีต



รูปที่ 3.6 ชุดทดสอบขนาดของตัวอย่าง (Seive)



รูปที่ 3.7 ตาชั่งที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 10 กิโลกรัม (ชั่งได้ 30 กิโลกรัม)



รูปที่ 3.8 เครื่องมือวัดขนาดแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก (Venire)

### 3.3 วิธีการทดลอง

- 3.3.1 เตรียมวัสดุที่จะนำมาใช้ในการทดลองในอัตราส่วนผสมต่างๆโดยน้ำหนัก และอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องใช้ในการทดลอง โดยน้ำหนักแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยไปทดสอบขนาดของวัสดุ แล้วจะต้องค้ำตะแกรงหมายเลข 325 ไม่เกินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก และหินฝุ่นต้องมีขนาดไม่ใหญ่เกิน 3 มม. โดยนำส่วนที่มีขนาดโตเกิน 3 มม. ทิ้งไปไม่นำมาเป็นส่วนผสมในการทดลอง
- 3.3.2 ทำการหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมต่างๆกัน โดยมีอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่จะทำการศึกษาระดับ 20:80, 40:60 และ 60:40 ตามลำดับ เพื่อกำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50, 0.75 และ 1.00 ตามลำดับ โดยทำการหล่อตัวอย่างทดสอบเป็นแท่งคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 0.15x0.15x0.15 ลูกบาศก์เมตร ในอัตราส่วนผสมชุดละ 5 ตัวอย่าง ซึ่งจะทำการหล่อตัวอย่างทดสอบเป็น 2 กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างละ 45 ตัวอย่าง รวมเป็น 90 ตัวอย่าง เพื่อแยกทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 7 วัน และ 14 วัน
- 3.3.3 ทำการบ่มแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อกในอากาศจนครบ 7 วันแล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาหน่วยน้ำหนักของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อกพร้อมทั้งทดสอบกำลังอัดที่ 7 วันในชุดแรกจำนวน 45 ตัวอย่าง แล้วทำการบ่มแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อกที่เหลือต่อจนครบ 14 วันแล้วจึงชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาหน่วยน้ำหนักของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อกพร้อมทั้งทดสอบกำลังอัดที่ 14 วันจนครบทั้ง 90 ตัวอย่าง
- 3.3.4 นำผลที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหา กำลังรับแรงอัดและนำน้ำหนักที่ชั่งได้ไปคำนวณหาหน่วยน้ำหนักของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก โดยในการคำนวณหา กำลังอัดเฉลี่ยของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อกสามารถหาได้จากสมการ (3.1)

$$\sigma = P/A \quad (3.1)$$

โดยที่

$\sigma$  คือ กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบ (ksc.)

P คือ แรงอัดสูงสุดที่จุดประลัย (kg.)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ (cm.<sup>2</sup>)

และหน่วยน้ำหนักของแต่ละตัวอย่างทดสอบ สามารถหาได้จากสมการ (3.2)

$$\gamma = M/V \quad (3.2)$$

โดยที่

$\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$M$  = มวลของตัวอย่างทดสอบ ( $\text{Kg}$ )

$V$  = ปริมาตรของตัวอย่างทดสอบ ( $\text{m}^3$ )

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปราย

#### 4.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองและทดสอบในห้องปฏิบัติการมาคำนวณหาหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก ตามสมการที่ 3.1 และสมการที่ 3.2 เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าลอยและอัตราส่วนระหว่างน้ำกับวัสดุประสานที่เหมาะสมที่สุด

#### 4.2 การทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

##### 4.2.1 หินฝุ่น

หินฝุ่นที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นหินฝุ่นจากจังหวัดสระบุรี หินฝุ่นนี้นำมาร่อนผ่านตะแกรงรูเปิด 3 มิลลิเมตร เพื่อคัดเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่ออก เพื่อลดอิทธิพลของขนาดเม็ดดินต่อกำลังอัด

##### 4.2.2 กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ได้จาก บริษัท ผลิตภัณฑ์สสาย 5 จำกัด เถ้าลอยได้จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ  $200^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำมาบดด้วยเครื่อง Angeles abrasion machine ทั้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยถูกนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (ขนาดรูเปิด 425 ไมครอน) ความถ่วงจำเพาะของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยเท่ากับ 2.32 และ 2.39 ตามลำดับ เถ้าลอยมีส่วนประกอบของ  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ในปริมาณร้อยละ 81.48 และจัดเป็นเถ้าลอยชั้น F ตามการจำแนกของ ASTM C 618 กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีส่วนผสมของ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ในปริมาณมากถึงร้อยละ 76.7 ดังนั้น จึงสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับเถ้าลอยและเกิดผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานได้

##### 4.2.3 การทดสอบ

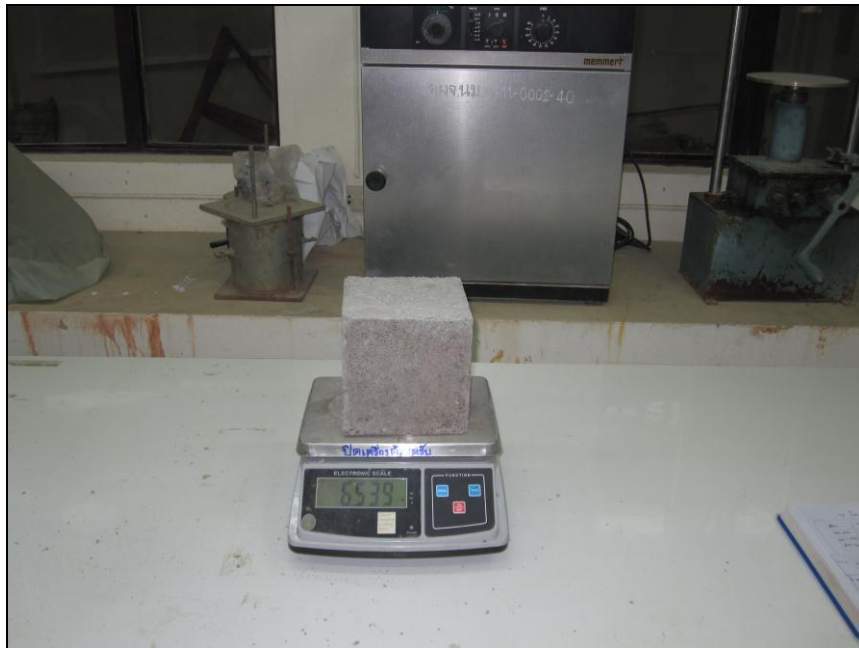
เนื่องจากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่ปรากฏการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยมาใช้เป็นวัสดุประสานโดยมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์มาก่อน จึงยังไม่มีข้อมูลที่บ่งบอกถึงส่วนผสมของวัสดุประสาน น้ำ และหินฝุ่นที่เหมาะสม งานวิจัยนี้กำหนดให้อัตราส่วนระหว่างวัสดุเชื่อมประสาน (กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย) และหินฝุ่นในปริมาณ 1:8 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน (W/B) 3 ค่า เท่ากับ 0.50, 0.75 และ 1.00 และอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 3 ค่า เท่ากับ 80:20, 60:40 และ 40:60 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมที่ได้



จะนำมาเทในแบบหล่อและบดอัดด้วยค้อนบดอัดจำนวน 3 ชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง (รูปที่ 4.1) และบ่มที่ อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 และ 14 วัน ในส่วนผสมและอายุบ่ม ผู้วิจัยจะเตรียมตัวอย่างจำนวน 5 ตัวอย่าง (เพื่อกำจัดความแปรปรวนของผลทดสอบ) รวมจำนวนตัวอย่าง 90 ตัวอย่าง (45 ตัวอย่าง สำหรับอายุบ่ม 7 วัน และ 45 ตัวอย่าง สำหรับอายุบ่ม 14 วัน) ตารางที่ 4.1 แสดงส่วนผสมสำหรับ คอนกรีตบล็อกที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ เมื่อได้อายุบ่มที่กำหนด ผู้วิจัยจะนำตัวอย่างมาชั่ง (รูปที่ 4.2) เพื่อคำนวณหาหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก และทำการทดสอบแรงอัดแกนเดียว (รูปที่ 4.3)



รูปที่ 4.1 การเตรียมส่วนผสมในแบบหล่อ



รูปที่ 4.2 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 4.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดแกนเดียว

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนผสมของแห้งตัวอย่างคอนกรีตในอัตราส่วนต่างๆ

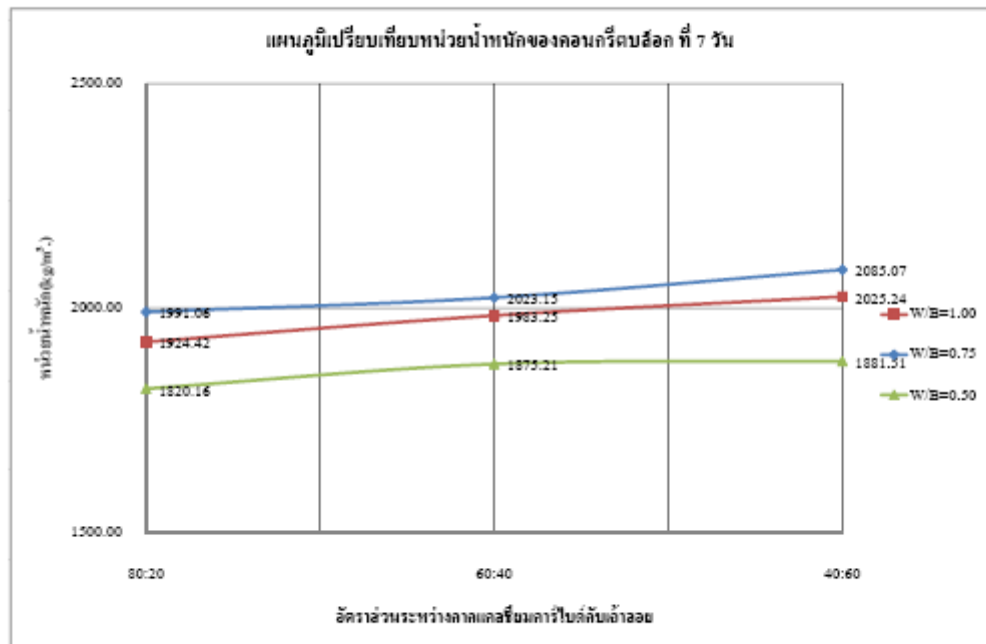
ตัวอย่าง ชุดที่	อัตราส่วน	W/B	หินฟูน (กก.)	กาก แคลเซียมคาร์ไบด์ (กก.)	เถ้าลอย (กก.)	น้ำ (กก.)
1	80:20	0.50	32	3.20	0.80	2.00
2	60:40	0.50	32	2.40	1.60	2.00
3	40:60	0.50	32	1.60	2.40	2.00
4	80:20	0.75	32	3.20	0.80	3.00
5	60:40	0.75	32	2.40	1.60	3.00
6	40:60	0.75	32	1.60	2.40	3.00
7	80:20	1.00	32	3.20	0.80	4.00
8	60:40	1.00	32	2.40	1.60	4.00
9	40:60	1.00	32	1.60	2.40	4.00

### 4.3 ผลทดสอบ

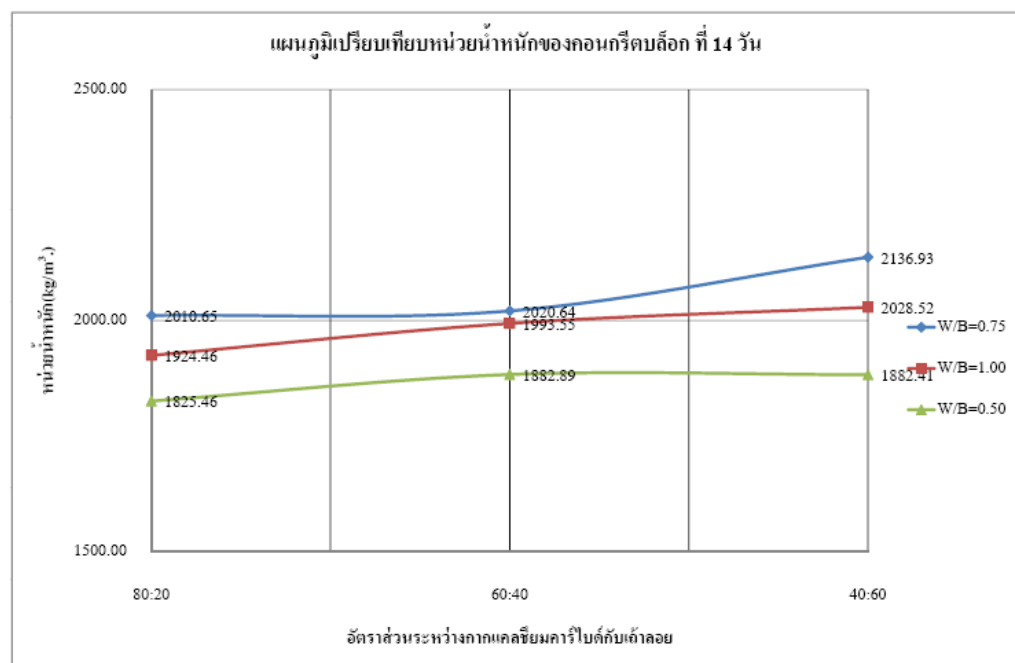
ตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 ถึง 4.9 แสดงผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่างๆ ที่อายุบ่ม 7 และ 14 วัน รูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย (CCR/FA) เท่ากับ 80:20, 60:40 และ 40:60 ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน (W/B) เท่ากับ 0.50, 0.75 และ 1.00 สำหรับอายุบ่ม 7 และ 14 วัน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าหน่วยน้ำหนักของก้อนตัวอย่างบล็อคอนกรีตแปรผันตาม CCR/FA และ W/B หน่วยน้ำหนักมีค่าสูงที่สุด เมื่อ W/B เท่ากับ 0.75 สำหรับทุกค่า CCR/FA ส่วนผสมที่มีค่า W/B ต่ำกว่า 0.75 จะมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการบดอัดทำให้อนุภาคของหินฟูน กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย ไม่สามารถเข้าไปแทรกอยู่ในโพรงได้ และส่วนผสมที่มีค่า W/B สูงกว่า 0.75 นี้ จะมีปริมาณน้ำที่มากเกินไปจนเกิดการเอิ่ม ซึ่งเป็นพฤติกรรมเช่นเดียวกับดินซีเมนต์บด (Horpibulsuk et al., 2006, 2009, 2010 และ 2012) ค่า CCR/FA มีผลต่อความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตบล็อกไม่มากนัก เนื่องจากหน่วยน้ำหนักของ CCR และ FA มีค่าใกล้เคียงกัน และการกระจายขนาดของอนุภาคมีความคล้ายกัน (Horpibulsuk et al., 2012)

ตารางที่ 4.2 กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยและหน่วยน้ำหนักเฉลี่ยของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก ที่ 7 วัน และ 14 วัน

ตัวอย่าง ชุดที่	อัตราส่วน	กำลังรับแรงอัด เฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	หน่วยน้ำหนักเฉลี่ย (กก./ลบ.ม.)	หมายเหตุ
1	80:20	2.72	1820.16	กำลังเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง ที่ 7 วัน
2	60:40	5.16	1875.21	
3	40:60	8.52	1881.51	
4	80:20	4.44	1991.06	
5	60:40	7.34	2023.15	
6	40:60	10.42	2085.07	
7	80:20	1.90	1924.42	
8	60:40	3.44	1983.25	
9	40:60	4.53	2025.24	
1	80:20	5.35	1825.46	กำลังเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง ที่ 14 วัน
2	60:40	10.60	1882.89	
3	40:60	15.77	1887.41	
4	80:20	6.89	2010.65	
5	60:40	13.41	2020.64	
6	40:60	25.10	2136.93	
7	80:20	3.62	1924.46	
8	60:40	6.25	1993.55	
9	40:60	8.25	2028.52	

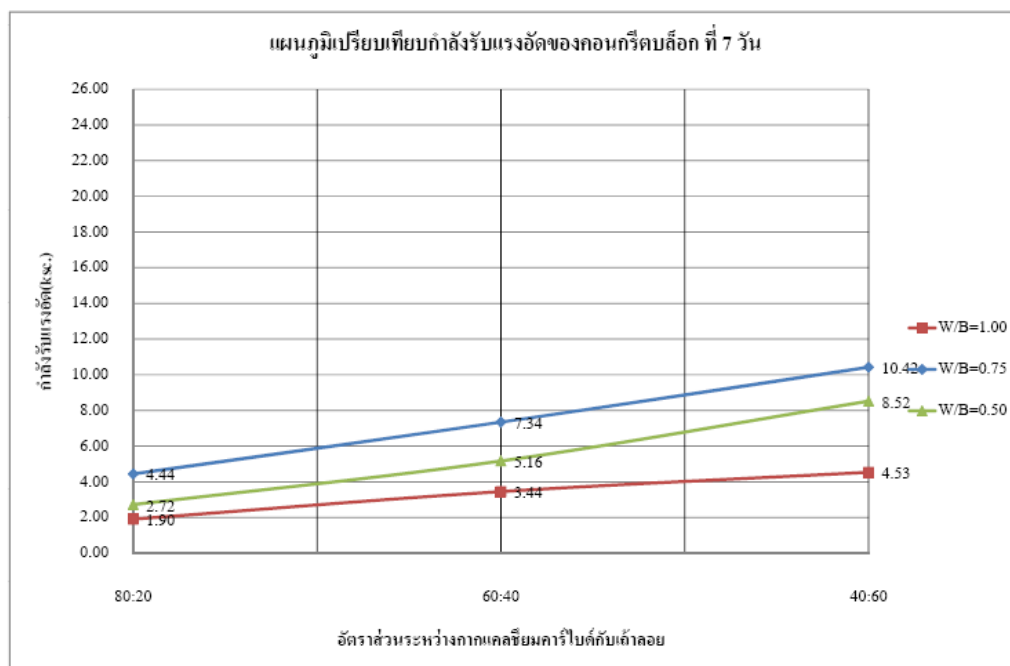


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและอัตราส่วนระหว่างภาคแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่อายุบ่ม 7 วัน

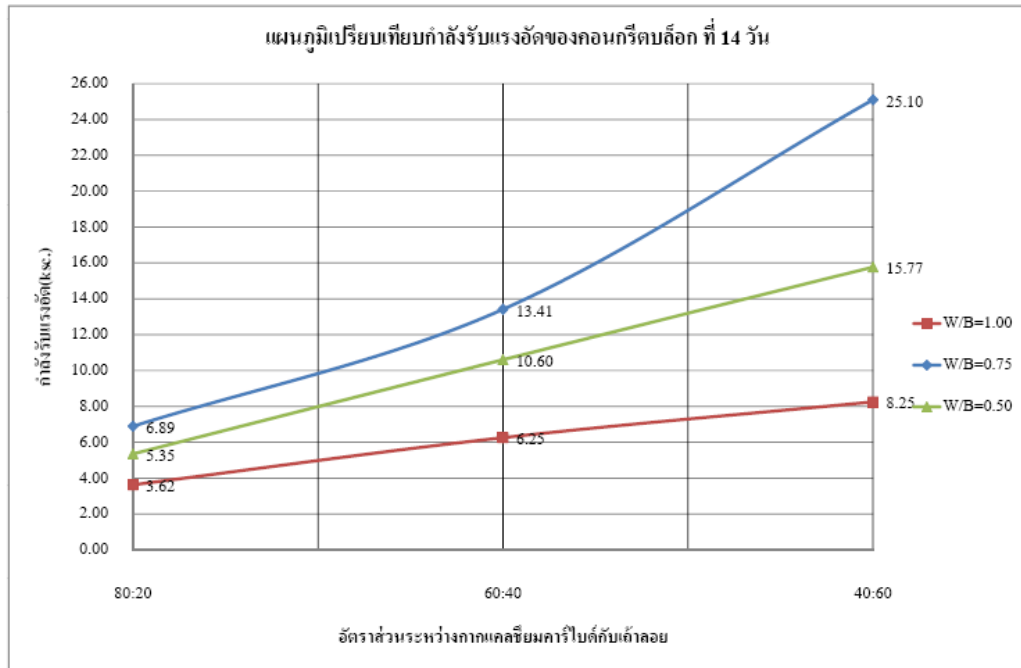


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและอัตราส่วนระหว่างภาคแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่อายุบ่ม 14 วัน

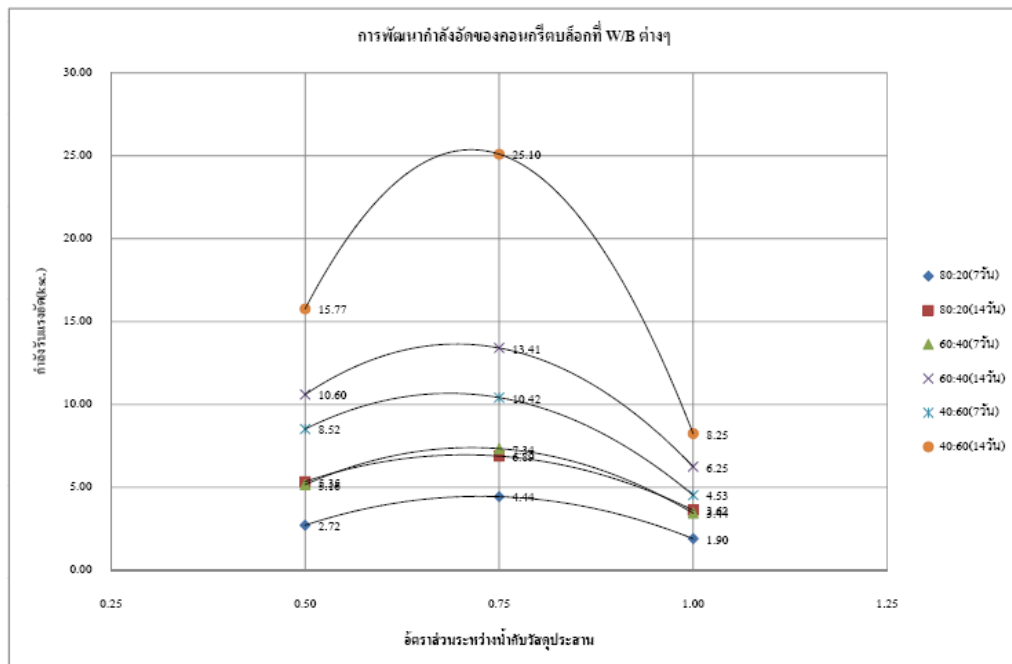
เมื่ออายุบ่มเพิ่มขึ้น (จาก 7 วัน เป็น 14 วัน) หน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่มากนัก การเพิ่มขึ้นของหน่วยน้ำหนักเกิดจากเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์เชื่อมประสาน รูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ CCR/FA และ W/B ต่างๆ ที่อายุบ่ม 7 และ 14 วัน ตามลำดับ การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกเกิดจากองค์ประกอบสองส่วนคือความแน่นของส่วนผสม และผลิตภัณฑ์เชื่อมประสาน (ปฏิกิริยาปอซโซลาน) จากรูปทั้งสองจะเห็นได้ว่าก้อนตัวอย่างที่มีค่า W/B เท่ากับ 0.75 ให้กำลังอัดสูงสุดที่สุด ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่า ปริมาณนี้ที่อัตราส่วนนี้เหมาะสมต่อการบดอัดและต่อการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน ซึ่งเป็นพฤติกรรมเช่นเดียวกับดินซีเมนต์บดอัด (Horpibulsuk et al., 2006, 2009, 2010 และ 2012) ค่า W/B ที่สูงกว่า 0.75 ทำให้ปริมาณวัสดุเชื่อมประสานลดลง ส่งผลให้กำลังอัดลดลง (Horpibulsuk et al., 2003 และ 2011) แม้ว่าปฏิกิริยาทางเคมีของส่วนผสมที่มีค่า W/B น้อยกว่า 0.75 อาจไม่สมบูรณ์เท่าที่ W/B เท่ากับ 0.75 และ 1.00 แต่การบดอัดหินคลุกทางด้านหนึ่งจะก่อให้เกิด matric suction ซึ่งมีช่วยเพิ่มกำลังอัดให้กับก้อนตัวอย่าง (Horpibulsuk et al., 2006) ดังนั้น กำลังอัดที่ W/B = 0.50 จึงมีค่ามากกว่ากำลังอัดที่ W/B = 1.00 (รูปที่ 4.8)



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนระหว่างกากเคลือบคาร์ไบด์และถั่วลอยที่อายุบ่ม 7 วัน

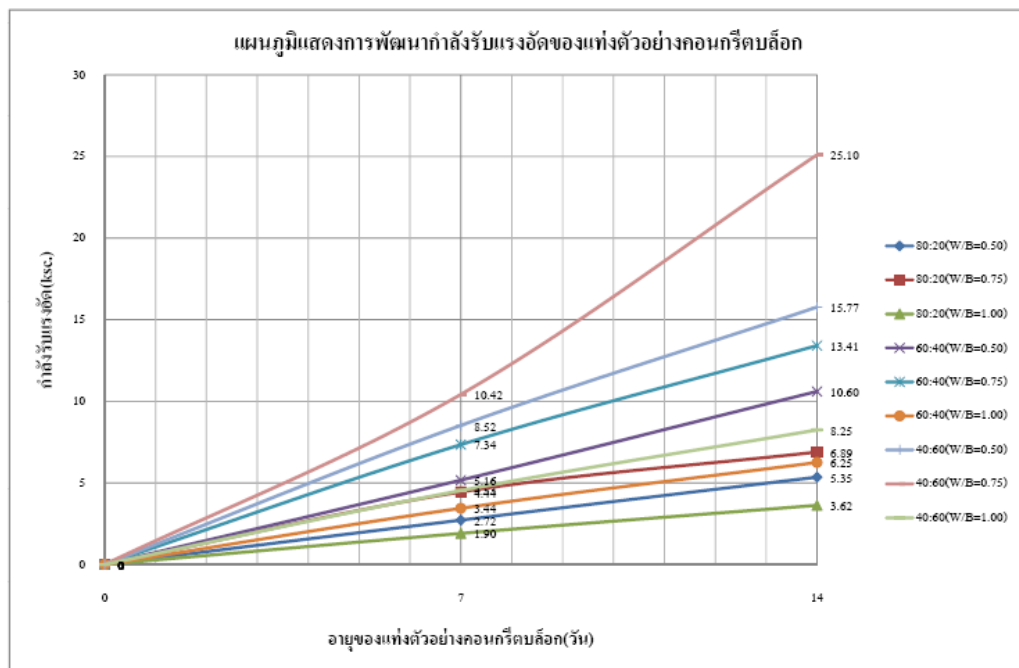


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนระหว่างกากเคลือบคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่อายุบ่ม 14 วัน



รูปที่ 4.8 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบดล็อกที่ W/B ต่างๆ

นอกจากปริมาณที่เหมาะสมแล้ว ค่า CCR/FA ก็เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่ควบคุมการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีตบล็อก จะเห็นได้ว่าค่า CCR/FA ที่เหมาะสมที่สุดคือ 40:60 การใส่ CCR ที่มากเกินไป (CCR/FA = 60:40 และ 80:20) ทำให้  $\text{Ca(OH)}_2$  ในส่วนผสมไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ FA ได้หมด ทำให้มีปริมาณ  $\text{Ca(OH)}_2$  เหลืออยู่ในส่วนผสม ซึ่ง  $\text{Ca(OH)}_2$  เพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำและเกิดเป็นผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานได้ แม้ว่าก่อนตัวอย่างที่ W/B = 0.75 และ CCR/FA = 40:60 จะให้กำลังอัดที่สูงสุดในการศึกษานี้ก็ตาม แต่กำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน (10.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ยังคงมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.58/2533 ซึ่งระบุว่าคอนกรีตบล็อกในสถานะใช้งานต้องมีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานต้องใช้เวลาที่ค่อนข้างนานจึงจะเกิดกำลังอัดสูงสุด ซึ่งเป็นข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ที่อายุบ่ม 14 วัน กำลังอัดที่อัตราส่วนเหมาะสมนี้สามารถผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม คือมีกำลังอัดเท่ากับ 25.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.9 การพัฒนา กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกในช่วงอายุบ่ม 7 ถึง 14 วัน

รูปที่ 4.9 แสดงการพัฒนา กำลังรับแรงอัดกับเวลาของคอนกรีตบล็อกที่ส่วนผสมต่างๆ จะเห็นว่ากำลังอัดยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอีกหลังจากอายุบ่มที่ 14 วัน การพัฒนา กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต



บดล็อกในช่วง 7 ถึง 14 วัน มีค่าใกล้เคียงกัน คืออัตราส่วนกำลังอัดที่อายุบ่ม 14 วัน ต่อกำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน มีค่าประมาณ 2 ซึ่งเป็นการพัฒนากำลังที่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดในช่วงเดียวกันของปฏิกิริยาไฮเดรชัน เพื่อเป็นการเร่งปฏิกิริยาช่วงต้นให้มากขึ้น งานวิจัยในอนาคตอาจทำการศึกษาโดยเพิ่มปูนซีเมนต์ในส่วนผสมด้วย

#### 4.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบดล็อก

งานวิจัยนี้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ กล่าวคือกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานในการผลิตคอนกรีตบดล็อกได้ นอกจากนี้จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้แล้ว การประยุกต์ใช้วัสดุเหลือใช้นี้ยังสามารถใช้แทนปูนซีเมนต์ได้ ซึ่งช่วยลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบดล็อก ผลการทดลองปรากฏว่าส่วนผสมที่เหมาะสมคืออัตราส่วนระหว่างระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย (CCR/FA) เท่ากับ 40:60 และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) เท่ากับ 0.75 โดยน้ำหนัก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบดล็อกที่อายุบ่ม 14 วัน จะได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.58/2533 ซึ่งกำหนดให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบดล็อกเฉลี่ย 5 ก้อนไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตบดล็อกจากวัสดุเหลือใช้และจากปูนซีเมนต์ จะเห็นได้ว่าต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบดล็อกจากวัสดุเหลือใช้มีราคาเพียง 2.18 บาท ต่อก้อน ซึ่งมีราคาต่ำกว่าการผลิตด้วยปูนซีเมนต์ถึง 1.46 บาท ต่อก้อน คิดเป็นร้อยละ 40

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบดล็อกจากวัสดุเหลือใช้และจากปูนซีเมนต์

ลำดับ ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ	
				ราคาหน่วย ละ (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
	<b>ก. ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน</b>				
1	ปูนซีเมนต์	0.81	กก.	2.40	1.95
2	หินฝุ่น	6.50	กก.	0.26	1.69
	<b>รวมเป็นต้นทุนทั้งหมดต่อ 1 ก้อน</b>				3.64
	<b>ข. ใช้กากเคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย เป็นวัสดุประสาน</b>				
1	กากเคลเซียมคาร์ไบด์	0.33	กก.	-	-
2	เถ้าลอย	0.49	กก.	1.00	0.49
3	หินฝุ่น	6.50	กก.	0.26	1.69
	<b>รวมเป็นต้นทุนทั้งหมดต่อ 1 ก้อน</b>				2.18
	<b>ค. ผลต่างของต้นทุนการผลิต (ก-ข)</b>				1.46

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยเป็นวัสดุเชื่อมประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อก ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ในทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ส่วนผสมที่เตรียมในงานวิจัยนี้คือ อัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยเท่ากับ 20:80, 40:60 และ 60:40 และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50, 0.75 และ 1.00 ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

- 5.1.1 ส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการทำคอนกรีตบล็อกคือ อัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าลอยที่เท่ากับ 40:60 และอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำและวัสดุเชื่อมประสานที่เท่ากับ 0.75 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุ ที่อายุบ่ม 14 วัน คอนกรีตบล็อกที่เตรียมด้วยส่วนผสมนี้มีกำลังอัดได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.58/2533 คือ มีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 20 กก./ตารางเซนติเมตร ต่อก่อน และไม่น้อยกว่า 25 กก./ตารางเซนติเมตร เมื่อเฉลี่ยจาก 5 ก้อน
- 5.1.2 การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ โดยสามารถลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อก ต่อก่อนลงประมาณ 1.46 บาทต่อก้อน คิดเป็นประมาณร้อยละ 40 ซึ่งโดยปกติทั่วไปคอนกรีตบล็อกจะมีราคาขายประมาณ 4-7 บาท/ก้อน

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ผลการทดลองทำให้ทราบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยมีการพัฒนากำลังอัดในช่วงต้น (อายุบ่มน้อยกว่า 7 วัน) ช้ากว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยได้แก่เกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมที่อายุบ่มเกินกว่า 14 วัน ซึ่งโดยปกติคอนกรีตบล็อกที่ผลิตด้วยปูนซีเมนต์สามารถใช้ได้ในวันรุ่งขึ้นต่อจากวันผลิต ดังนั้น การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนซีเมนต์ อาจทำให้เวลาในการผลิตนานขึ้น ซึ่งมีผลต่อสถานที่เก็บวัสดุเพื่อบ่ม

ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตอาจพิจารณาการใส่ปูนซีเมนต์เพิ่มเพื่อเพิ่มกำลังอัดในช่วงต้น (ปฏิกิริยาไฮเดรชัน)

- 5.2.2 กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยอาจเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ไม่มีราคา แต่ถ้าหากโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกอยู่ห่างจากแหล่งวัสดุมากๆ อาจทำให้เสียค่าขนส่งมากจนเกินไป จนอาจทำให้มีต้นทุนในการผลิตมากกว่าการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน อาจทำให้ไม่คุ้มค่าที่จะลงทุน

## เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงอุตสาหกรรม.(2530).มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่มอก.58/2533.ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1295
- กิตติพงษ์ อำนวยเหลือ(2552).การศึกษาคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้กากแกลเลียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยเป็นวัสดุประสาน.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ชรินทร์ นมรักษ์, วันชัย สะตะ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2544). ผลกระทบของวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กากแกลเลียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหิน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8 (หน้า 178-183).
- ชนพล เหล่าสมาธิกุล. (2551). การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้กากแกลเลียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินหรือเถ้าแกลบ-เปลือกไม้เป็นวัสดุประสาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ปริญญา จินดาประเสริฐ และอินทรชัย หอวิจิตร. (2528). ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้าลอยแม่เมาะ. สำนักงานเทคโนโลยีเพื่อพัฒนาชนบท : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปิติสานต์ กร้ามาตร. (2539). การศึกษาส่วนผสมของกากแกลเลียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินเพื่อนำมาใช้ในงานคอนกรีต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พิชัย นิमितยงสกุล และบุรฉัตร ฉัตรวีระ. (2536). ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีตผสมซีเถ้าลอยแม่เมาะ. วารสาร กฟผ 2 (4) : 39-56.
- เมธี เวชรัตน์นา. (2535). Utilization of Fly Ash in Concrete. เอกสารประกอบการบรรยายพิเศษ. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สมิตร ส่งพิริยะกิจ. (2538). ผลกระทบของความละเอียดจากการบดเถ้าถ่านหินและการแยกเถ้าถ่านหินแม่เมาะต่อคุณสมบัติของมอร์ต้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Al-Sayed, M.H., Madany, I.M., Al-Khaja, W., and Drawish, A. (1992). Properties of asphaltic paving mixes containing hydration lime waste. **Waste Management & Research** 10 (2) : 183-194.

- American Society for Testing and Materials. (2008). ASTM C 618-00 : Standard Test Method for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. **In 2008 Annual Book of ASTM Standard** 04.02 : 310-313.
- Anek Siripanichgom. (1993). Development of Mae Moh Fly Ash Concrete at KMITT **Proceedings of the Utilization of Mae Moh Fly Ash**. Department of Research and Development, Electricity Generation Authority of Thailand.
- Brooks, J.J., Johari, MAM, and Mazloom, M. (2000). Effect of admixtures on the setting time of high-strength concrete. **Cement concrete Composites** 22 : 293-301.
- Davis, R.E., Carlson, W.R., Kelly, W.J., Davis, E.H. (1937). Properties of Cement and Concrete Containing Fly Ash. **Proceedings of the American Concrete Institute** 33 : 577-612.
- Fray, A.L.A., Bijen, J.M., and De Haan, Y.M. (1989). The reaction of Fly Ash in Concrete, A Critical Examination. **Cement and Concrete Research** 19 : 235-246.
- Hansen, T.C. (1990). Long-Term Strength of Fly Ash Concrete. **Cement and Concrete Research** 20 (2) : 193-196.
- Horpibulsuk, S., Phetchuay, C., and Chinkulkijniwat, A. (2012), "Soil stabilization by calcium carbide residue and fly ash", *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Vol.24, No.2.
- Horpibulsuk, S., Rachan, R., Suddeepong, A., and Chinkulkijniwat, A. (2011), "Strength development in cement admixed Bangkok clay: laboratory and field investigations", *Soils and Foundations*, Vol.51, No.2, pp.239-251.
- Horpibulsuk, S., Rachan, R., Chinkulkijniwat, A., Raksachon, Y., and Suddeepong, A. (2010), "Analysis of strength development in cement-stabilized silty clay based on microstructural considerations", *Construction and Building Materials*, Vol.24, pp.2011-2021.
- Horpibulsuk, S., Rachan, R., and Raksachon, Y. (2009), "Role of fly ash on strength and microstructure development in blended cement stabilized silty clay", *Soils and Foundations*, Vol.49, No.1, pp.85-98.
- Horpibulsuk, S., Katkan, W., Sirilerdwattana, W., and Rachan, R. (2006), "Strength development in cement stabilized low plasticity and coarse grained soils : Laboratory and field study", *Soils and Foundations*, Vol.46, No.3, pp.351-366.

- Horpibulsuk, S., Miura, N., and Nagaraj, T.S. (2003), "Assessment of strength development in cement-admixed high water content clays with Abrams' law as a basis", *Geotechnique*, Vol.53, No.4, pp.439-444.
- Jaturapitukkul C., and Roongreung B. (2003). Cement Material from calcium carbide residue-rice husk ash. **ASCE Journal of Material in Civil Engineering** 15 (5) : 470-475.
- Kokubu, M. (1968). Principal Paper on Fly Ash and Fly Ash Cement. **5<sup>th</sup> International Symposium on the Chemistry of Cement** (pp. 75-113).
- Minnick, L.J. (1954). Investigation Relation to the Use of Fly Ash as a Pozzolanic Material as Admixture in Portland Cement Concrete. **ASTM Proceedings** (pp. 1129-1158).
- Neville, A.M. (1995). **Properties of Concrete**, 4<sup>th</sup> ed (pp. 86). Addison Wesley Longman , England,
- Nilo, C.C., Pedro, DMP, and Karia S.H. (2001). Behavior of Compacted Soil-Fly Ash-Carbide Lime Mixture. **J. Geotech, and Geoenviron. Engrg** 127 (9) : 774-782.
- Pinto, R.C.A., Hover, KC. (1999). Application of maturity approach to setting times. **ACI Mater** 96 (6) : 686-691.
- Ramasamy, P., Periathamby, A. and Ibrahim, S. (2002). Carbide sludge management in acetylene producing plants by using vacuum filtration. **Waste Management & Research** 20 (6) : 536-540.
- Timms, A.G. and Grieb, W.E. (1956). Use of Fly Ash in Concrete. **ASTM Proceedings** 56 : 1139-1157.

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลและการคำนวณกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบดล็อก  
โดยใช้กากเคลือบซีเมนต์คาร์ไบด์เป็นวัสดุประสาน



ตารางที่ ก.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.2	225.00	611.62	2.72
2	15	15	15.1	225.00	509.68	2.27
3	15	15	15.1	225.00	611.62	2.72
4	15	15	15.2	225.00	713.56	3.17
5	15	15	15.1	225.00	611.62	2.72
เฉลี่ย						2.72

ตารางที่ ก.2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	225.00	1,223.24	5.44
2	15	15	15.2	225.00	1,325.18	5.89
3	15	15	15.1	225.00	1,121.30	4.98
4	15	15	15.2	225.00	1,223.24	5.44
5	15	15	15.2	225.00	1,121.30	4.98
เฉลี่ย						5.35

ตารางที่ ก.3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	225.00	1,121.30	4.98
2	15	15	15.1	225.00	1,223.24	5.44
3	15	15	15.2	225.00	1,019.37	4.53
4	15	15	15.2	225.00	1,121.30	4.98
5	15	15	15.1	225.00	1,325.18	5.89
เฉลี่ย						5.16

ตารางที่ ก.4 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	225.00	2,446.48	10.87
2	15	15	15.1	225.00	2,344.55	10.42
3	15	15	15.2	225.00	2,548.42	11.33
4	15	15	15.1	225.00	2,242.61	9.97
5	15	15	15.1	225.00	2,344.55	10.42
เฉลี่ย						10.60

ตารางที่ ก.5 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.2	225.00	2,140.67	9.51
2	15	15	15.1	225.00	1,732.93	7.70
3	15	15	15.2	225.00	1,936.80	8.61
4	15	15	15.1	225.00	1,834.86	8.15
5	15	15	15.2	225.00	1,936.80	8.61
เฉลี่ย						8.52

ตารางที่ ก.6 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	225.00	3,567.79	15.86
2	15	15	15.2	225.00	3,465.85	15.40
3	15	15	15.1	225.00	3,669.72	16.31
4	15	15	15.2	225.00	3,465.85	15.40
5	15	15	15.1	225.00	3,567.79	15.86
เฉลี่ย						15.77

ตารางที่ ก.7 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบต์และ  
 ใ้ลลย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	225.00	1,019.37	4.53
2	15	15	15.2	225.00	1,121.30	4.98
3	15	15	15.1	225.00	917.43	4.08
4	15	15	15.1	225.00	1,019.37	4.53
5	15	15	15.1	225.00	917.43	4.08
เฉลี่ย						4.44

ตารางที่ ก.8 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบต์และ  
 ใ้ลลย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	225.00	1,529.05	6.80
2	15	15	15.1	225.00	1,630.99	7.25
3	15	15	15.1	225.00	1,427.12	6.34
4	15	15	15.1	225.00	1,529.05	6.80
5	15	15	15.1	225.00	1,630.99	7.25
เฉลี่ย						6.89

ตารางที่ ก.9 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	225.00	1,630.99	7.25
2	15	15	15.1	225.00	1,529.05	6.80
3	15	15	15.2	225.00	1,732.93	7.70
4	15	15	15.1	225.00	1,732.93	7.70
5	15	15	15.2	225.00	1,630.99	7.25
เฉลี่ย						7.34

ตารางที่ ก.10 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	225.00	3,058.10	13.59
2	15	15	15.2	225.00	2,956.17	13.14
3	15	15	15.1	225.00	2,752.29	12.23
4	15	15	15.2	225.00	3,058.10	13.59
5	15	15	15.2	225.00	3,261.98	14.50
เฉลี่ย						13.41

ตารางที่ ก.11 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	225.00	2,548.42	11.33
2	15	15	15.2	225.00	2,242.61	9.97
3	15	15	15.2	225.00	2,344.55	10.42
4	15	15	15.1	225.00	2,242.61	9.97
5	15	15	15.2	225.00	2,344.55	10.42
เฉลี่ย						10.42

ตารางที่ ก.12 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	225.00	5,402.65	24.01
2	15	15	15.2	225.00	5,810.40	25.82
3	15	15	15.1	225.00	5,504.59	24.46
4	15	15	15.2	225.00	5,912.33	26.28
5	15	15	15.1	225.00	5,606.52	24.92
เฉลี่ย						25.10

ตารางที่ ก.13 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	225.00	509.68	2.27
2	15	15	15.2	225.00	407.75	1.81
3	15	15	15.1	225.00	509.68	2.27
4	15	15	15.2	225.00	305.81	1.36
5	15	15	15.1	225.00	407.75	1.81
เฉลี่ย						1.90

ตารางที่ ก.14 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.2	225.00	815.49	3.62
2	15	15	15.1	225.00	917.43	4.08
3	15	15	15.2	225.00	815.49	3.62
4	15	15	15.1	225.00	815.49	3.62
5	15	15	15.2	225.00	713.56	3.17
เฉลี่ย						3.62

ตารางที่ ก.15 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบดบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลือบซีเมนต์คาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	225.00	815.49	3.62
2	15	15	15.2	225.00	713.56	3.17
3	15	15	15.2	225.00	815.49	3.62
4	15	15	15.2	225.00	815.49	3.62
5	15	15	15.1	225.00	713.56	3.17
เฉลี่ย						3.44

ตารางที่ ก.16 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบดบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลือบซีเมนต์คาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	225.00	1,325.18	5.89
2	15	15	15.2	225.00	1,529.05	6.80
3	15	15	15.1	225.00	1,427.12	6.34
4	15	15	15.2	225.00	1,427.12	6.34
5	15	15	15.1	225.00	1,325.18	5.89
เฉลี่ย						6.25



ตารางที่ ก.17 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.2	225.00	1,019.37	4.53
2	15	15	15.2	225.00	1,121.30	4.98
3	15	15	15.2	225.00	1,019.37	4.53
4	15	15	15.1	225.00	917.43	4.08
5	15	15	15.2	225.00	1,019.37	4.53
เฉลี่ย						4.53

ตารางที่ ก.18 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด (ตร.ซม.)	แรงอัดสูงสุด (กก.)	กำลังรับแรงอัดสูงสุด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	225.00	1,834.86	8.15
2	15	15	15.1	225.00	1,936.80	8.61
3	15	15	15.2	225.00	1,834.86	8.15
4	15	15	15.2	225.00	1,936.80	8.61
5	15	15	15.2	225.00	1,732.93	7.70
เฉลี่ย						8.25

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลและการคำนวณหน่วยน้ำหนักของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก  
โดยใช้กากเคลือบซีเมนต์คาร์ไบด์เป็นวัสดุประสาน

ตารางที่ ข.1 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแกลเลียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.2	0.003420	6.195	1,811.40
2	15	15	15.1	0.003398	6.123	1,802.21
3	15	15	15.1	0.003398	6.216	1,829.58
4	15	15	15.2	0.003420	6.262	1,831.58
5	15	15	15.1	0.003398	6.206	1,826.05
					เฉลี่ย	1820.16

ตารางที่ ข.2 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแกลเลียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	0.003398	6.261	1,842.83
2	15	15	15.2	0.003420	6.294	1,840.35
3	15	15	15.1	0.003398	6.176	1,817.81
4	15	15	15.2	0.003420	6.213	1,816.67
5	15	15	15.2	0.003420	6.189	1,809.65
					เฉลี่ย	1825.46

ตารางที่ ข.3 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแกลบเชื่อมคาร์ไบด์และ  
 ใ้ลลย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	0.003398	6.381	1,878.15
2	15	15	15.1	0.003398	6.509	1,885.21
3	15	15	15.2	0.003420	6.345	1,855.26
4	15	15	15.2	0.003420	6.379	1,870.18
5	15	15	15.1	0.003398	6.325	1,887.27
					เฉลี่ย	1875.21

ตารางที่ ข.4 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแกลบเชื่อมคาร์ไบด์และ  
 ใ้ลลย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	0.003398	6.405	1,885.21
2	15	15	15.1	0.003398	6.386	1,879.62
3	15	15	15.2	0.003420	6.453	1,886.84
4	15	15	15.1	0.003398	6.389	1,880.50
5	15	15	15.1	0.003398	6.395	1,882.27
					เฉลี่ย	1882.89

ตารางที่ ข.5 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.2	0.003420	6.434	1,881.29
2	15	15	15.1	0.003398	6.397	1,882.86
3	15	15	15.2	0.003420	6.425	1,878.65
4	15	15	15.1	0.003398	6.401	1,884.03
5	15	15	15.2	0.003420	6.432	1,880.70
					เฉลี่ย	1881.51

ตารางที่ ข.6 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	0.003398	6.405	1,885.21
2	15	15	15.2	0.003420	6.436	1,881.87
3	15	15	15.1	0.003398	6.472	1,904.93
4	15	15	15.2	0.003420	6.423	1,878.07
5	15	15	15.1	0.003398	6.411	1,886.98
					เฉลี่ย	1887.41

ตารางที่ ข.7 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแกลบเชื่อมคาร์ไบด์และ  
 ใ้ลลย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	0.003398	6.783	1,996.47
2	15	15	15.2	0.003420	6.816	1,992.98
3	15	15	15.1	0.003398	6.745	1,985.28
4	15	15	15.1	0.003398	6.769	1,992.35
5	15	15	15.1	0.003398	6.755	1,988.23
					เฉลี่ย	1991.06

ตารางที่ ข.8 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแกลบเชื่อมคาร์ไบด์และ  
 ใ้ลลย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	0.003398	6.851	2,016.48
2	15	15	15.1	0.003398	6.862	2,019.72
3	15	15	15.1	0.003398	6.796	2,000.29
4	15	15	15.1	0.003398	6.802	2,002.06
5	15	15	15.1	0.003398	6.845	2,014.72
					เฉลี่ย	2010.65

ตารางที่ ข.9 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแกละซีเมนต์คาร์ไบด์และ  
 ใ้ลลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	0.003398	6.892	2,028.55
2	15	15	15.1	0.003398	6.874	2,023.25
3	15	15	15.2	0.003420	6.895	2,016.08
4	15	15	15.1	0.003398	6.905	2,032.38
5	15	15	15.2	0.003420	6.893	2,015.50
					เฉลี่ย	2023.15

ตารางที่ ข.10 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแกละซีเมนต์คาร์ไบด์และ  
 ใ้ลลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	0.003398	6.878	2,024.43
2	15	15	15.2	0.003420	6.872	2,009.36
3	15	15	15.1	0.003398	6.865	2,020.60
4	15	15	15.2	0.003420	6.915	2,021.93
5	15	15	15.2	0.003420	6.932	2,026.90
					เฉลี่ย	2020.64

ตารางที่ ข.11 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแกลเลียมคาร์ไบด์และ  
 ใ้ลลย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	0.003398	7.196	2,118.03
2	15	15	15.2	0.003420	7.023	2,053.51
3	15	15	15.2	0.003420	7.122	2,082.46
4	15	15	15.1	0.003398	7.109	2,092.42
5	15	15	15.2	0.003420	7.110	2,078.95
					เฉลี่ย	2085.07

ตารางที่ ข.12 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแกลเลียมคาร์ไบด์และ  
 ใ้ลลย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	0.003398	7.260	2,136.87
2	15	15	15.2	0.003420	7.285	2,130.12
3	15	15	15.1	0.003398	7.273	2,140.69
4	15	15	15.2	0.003420	7.296	2,133.33
5	15	15	15.1	0.003398	7.283	2,143.64
					เฉลี่ย	2136.93



ตารางที่ ข.13 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแกลบซีเมนต์คาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	0.003398	6.598	1,942.02
2	15	15	15.2	0.003420	6.546	1,914.04
3	15	15	15.1	0.003398	6.589	1,939.37
4	15	15	15.2	0.003420	6.512	1,904.09
5	15	15	15.1	0.003398	6.532	1,922.59
					เฉลี่ย	1924.42

ตารางที่ ข.14 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแกลบซีเมนต์คาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.2	0.003420	6.539	1,911.99
2	15	15	15.1	0.003398	6.621	1,948.79
3	15	15	15.2	0.003420	6.576	1,922.81
4	15	15	15.1	0.003398	6.562	1,931.42
5	15	15	15.2	0.003420	6.523	1,907.31
					เฉลี่ย	1924.46

ตารางที่ ข.15 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแกลบซีเมนต์คาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	0.003398	6.779	1,995.29
2	15	15	15.2	0.003420	6.732	1,968.42
3	15	15	15.2	0.003420	6.786	1,984.21
4	15	15	15.2	0.003420	6.782	1,983.04
5	15	15	15.1	0.003398	6.745	1,985.28
					เฉลี่ย	1983.25

ตารางที่ ข.16 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแกลบซีเมนต์คาร์ไบด์และ  
เถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	0.003398	6.871	2,022.37
2	15	15	15.2	0.003420	6.876	2,010.53
3	15	15	15.1	0.003398	6.743	1,984.69
4	15	15	15.2	0.003420	6.749	1,973.39
5	15	15	15.1	0.003398	6.716	1,976.75
					เฉลี่ย	1993.55

ตารางที่ ข.17 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์และ  
 ใ้ลลย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.2	0.003420	6.926	2,024.85
2	15	15	15.2	0.003420	6.947	2,031.58
3	15	15	15.2	0.003420	6.912	2,021.05
4	15	15	15.1	0.003398	6.893	2,028.84
5	15	15	15.2	0.003420	6.908	2,019.88
					เฉลี่ย	2025.24

ตารางที่ ข.18 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากเคลเซียมคาร์ไบด์และ  
 ใ้ลลย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	15	15	15.1	0.003398	6.912	2,034.44
2	15	15	15.1	0.003398	6.946	2,044.44
3	15	15	15.2	0.003420	6.910	2,020.47
4	15	15	15.2	0.003420	6.935	2,027.78
5	15	15	15.2	0.003420	6.893	2,015.50
					เฉลี่ย	2028.52

ภาคผนวก ค.

รูปภาพจากการทดลองและการวัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก  
โดยใช้กากเคลือบซีเมนต์คาร์ไบด์เป็นวัสดุประสาน

รูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกในส่วนผสมต่างๆ



รูปที่ ค.1 แท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก 80:20 W/B= 0.50



รูปที่ ค.2 แท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก 60:40 W/B= 0.50



รูปที่ ค.3 แท่งตัวอย่างคอนกรีตปลีอก 40:60 W/B= 0.50



รูปที่ ค.4 แท่งตัวอย่างคอนกรีตปลีอก 80:20 W/B= 0.75



รูปที่ ค.5 แท่งตัวอย่างคอนกรีตปลีอก 60:40 W/B= 0.75



รูปที่ ค.6 แท่งตัวอย่างคอนกรีตปลีอก 40:60 W/B=0.75



รูปที่ ค.7 แท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก 80:20 W/B=1.00



รูปที่ ค.8 แท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก 60:40 W/B=1.00





รูปที่ ค.9 แท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก 40:60 W/B=1.00

รูปการชั่งน้ำหนักตัวอย่างเพื่อหาหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก



รูปที่ ค.10 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต 80:20 W/B 0.50



รูปที่ ค.11 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต 60:40 W/B 0.50



รูปที่ ค.12 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต 40:60 W/B 0.50



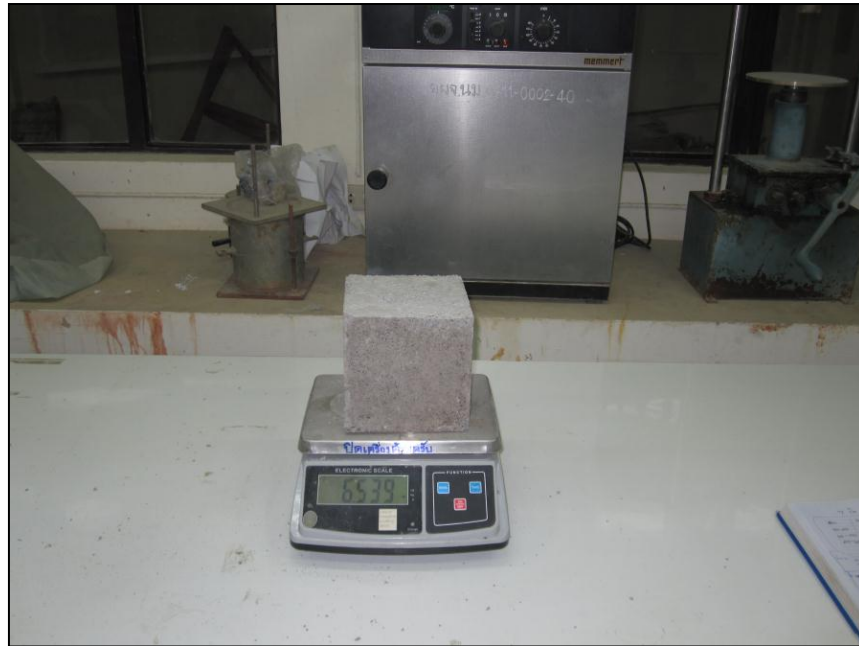
รูปที่ ค.13 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต 80:20 W/B 0.75



รูปที่ ค.14 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต 60:40 W/B 0.75



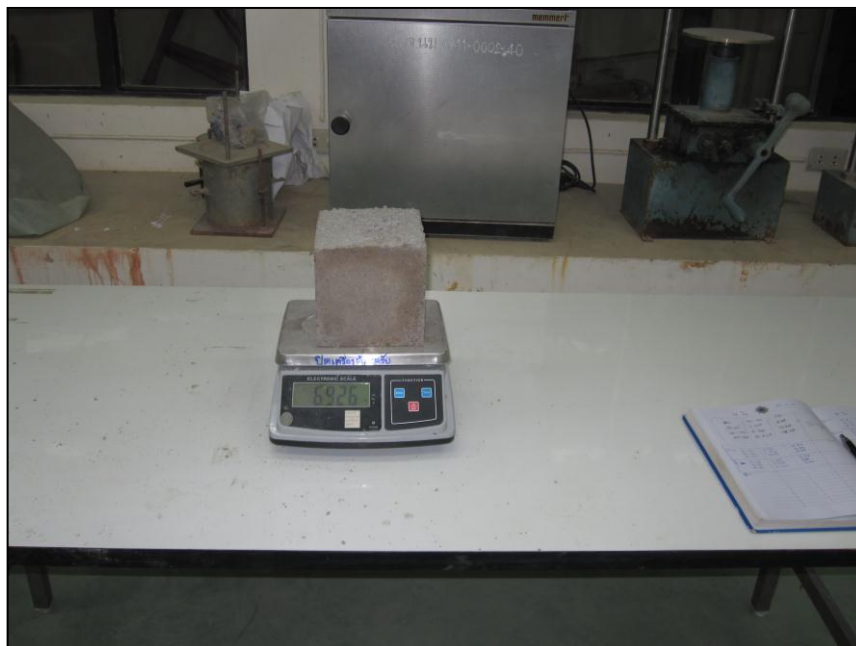
รูปที่ ค.15 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต 40:60 W/B 0.75



รูปที่ ค.16 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต 80:20 W/B 1.00



รูปที่ ค.17 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต 60:40 W/B 1.00



รูปที่ ค.18 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต 40:60 W/B 1.00

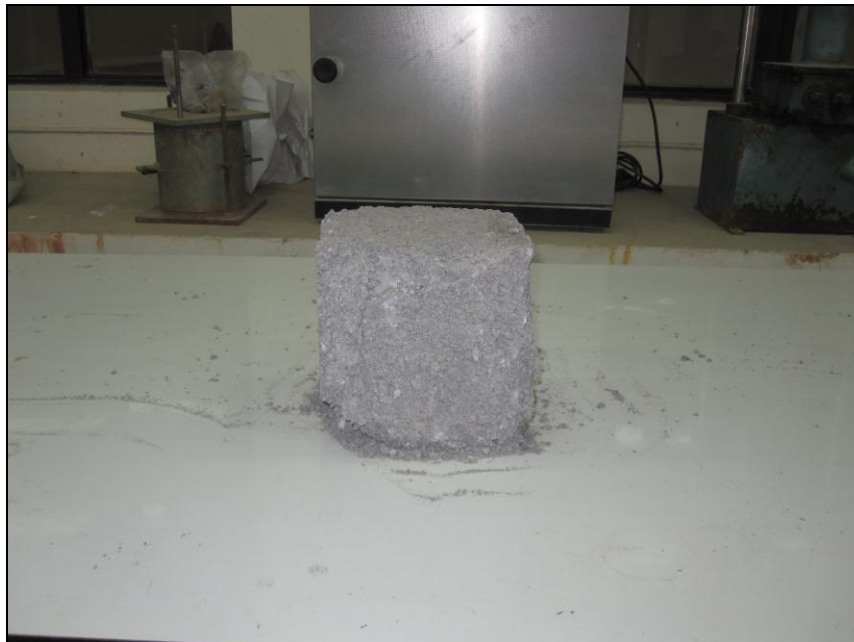
รูปการวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก



รูปที่ ค.19 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 80:20 W/B 0.50



รูปที่ ค.20 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 60:40 W/B 0.50

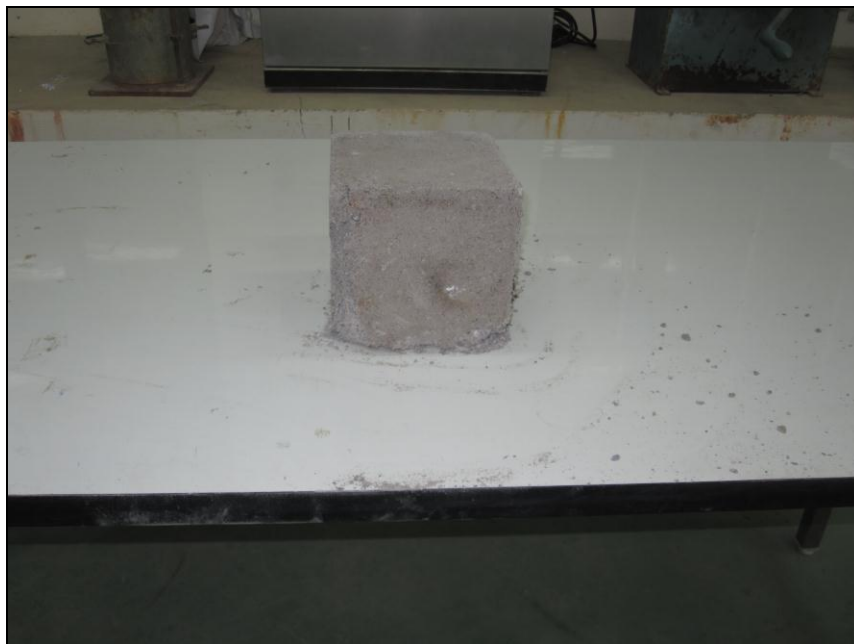


รูปที่ ค.21 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 40:60 W/B 0.50



รูปที่ ค.22 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 80:20 W/B 0.75





รูปที่ ค.23 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 60:40 W/B 0.75



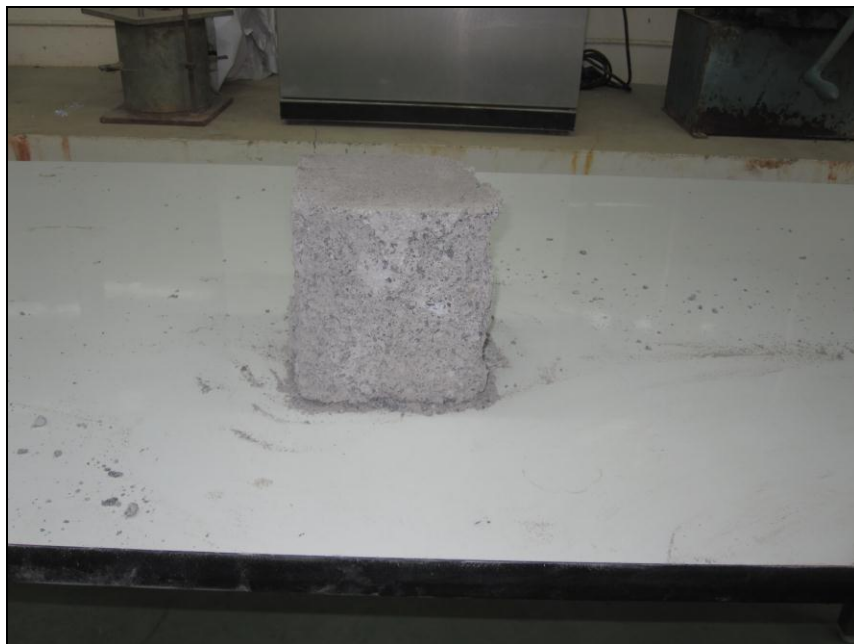
รูปที่ ค.24 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 40:60 W/B 0.75



รูปที่ ค.25 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 80:20 W/B 1.00



รูปที่ ค.26 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 60:40 W/B 1.00



รูปที่ ค.27 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 40:60 W/B 1.00

## ประวัติผู้เขียน

นายวรารกร หมั่นสระเกษ เกิดเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2524 ที่จังหวัด นครราชสีมา สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา)จาก มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีพุทธศักราช 2548 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานในบริษัท อิมเมจ คอนสตรัคชั่น ตำแหน่ง วิศวกรประจำโครงการ ต่อมาได้รับการบรรจุแต่งตั้งในตำแหน่ง วิศวกร 6 สังกัดกองก่อสร้างสะพาน ศูนย์สะพาน การรถไฟแห่งประเทศไทย ปัจจุบันรับราชการ ตำแหน่ง วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดนครราชสีมา จังหวัด นครราชสีมา ต่อมาเข้าศึกษาในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การ บริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีพุทธศักราช 2553