การพัฒนากำลังอัดของบล็อกคอนกรีตที่ผลิตจาก กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย

นายวรากร หมั่นสระเกษ

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2554

การพัฒนากำลังอัดของบล็อกคอนกรีตที่ผลิตจาก กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

(ผศ. ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)
ประธานกรรมการ

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

(อ. ดร.ฉัตรเพชร 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.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นได้ของการประยุกต์ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยในการผลิตบล็อกเพื่อใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ พร้อมทั้งนำเสนอส่วนผสมที่เหมาะสม กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตกาซเซทีลีน และเถ้าลอยเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า คอนกรีตบล็อกผลิตขึ้นจากอัตราส่วนระหว่างวัสดุเชื่อมประสานต่อหินฝุ่นเท่ากับ 1 ต่อ 8 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่นิยมใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.75 ให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกสูงที่สุด ปริมาณน้ำที่เหมาะสมจะเป็นตัวหล่อลื่นให้อนุภาคของหินฝุ่น เถ้าลอย และกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เคลื่อนตัวเข้าอุดโพรงส่วนผสมได้สะดวก ปริมาณน้ำที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการเยิ้มและไม่สามารถอัดให้แน่นได้ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่ 0.75 ไม่เพียงแต่ให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกสูงที่สุด แต่ยังให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกสูงที่สุดด้วย สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนนี้ก่อให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานระหว่างเถ้าลอยและหินฝุ่นที่สมบูรณ์ที่สุด อัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่ให้หน่วยน้ำหนักและกำลังอัดสูงที่สุดคือ 40:60 อัตราส่วนที่สูงกว่านี้ให้กำลังอัดที่ต่ำกว่าเนื่องจากปริมาณซิลกาและอลูมิน่าในส่วนผสมมีไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ดังนั้น ส่วนผสมสำหรับทำคอนกรีตบล็อกที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.75 และอัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยเท่ากับ 40:60 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ถึงร้อยละ 40

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2554 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 $Ca(OH)_2$ 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 Student's Signature_____

Academic Year 2011 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานการศึกษานี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำในการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ แนะนำแนวทางการทำงานเพิ่มเติม โดยให้ความเอาใจใส่ด้วยความเมตตากรุณา อีกทั้งยังถ่ายทอดความรู้แก่ศิษย์เป็นได้อย่างดี และยังปลูกฝังให้ผู้ศึกษามีความอดทน มีวินัย หมั่นค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม ผู้ศึกษาจึงขอขอบพระคุณท่าน ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข ไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ให้แก่ผู้ศึกษา ซึ่งเป็นความรู้และประสบการณ์อันมีค่าที่เป็นประโยชน์ในการทำงานของผู้ศึกษา เป็นอย่างยิ่ง ผู้ศึกษาขอระลึกถึงพระคุณบิดาและมารดา ที่ได้อบรมสั่งสอนให้รักการศึกษาและหมั่นหาความรู้เพิ่มเติม ผู้ศึกษาขอขอบคุณสำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดนครราชสีมาที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องห้องทดสอบพร้อมทั้งเครื่องมือทดสอบ และขอขอบคุณ นายชุติพงศ์ เอื้อฐิตาภรณ์ ที่สละเวลาอันมีค่ามาให้ความช่วยเหลือในการทำการศึกษาครั้งนี้ ท้ายที่สุดขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนและภรรยาที่น่ารัก ที่คอยช่วยเหลือในการทำการศึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด จนสามารถทำการศึกษาครั้งนี้ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

วรากร หมั่นสระเกษ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูปภาพ ..... ช

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ขอบเขตการวิจัย 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

2 ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 บทนำ 5

2.2 กากแคลเซียมคาร์ไบด์ 5

2.3 เถ้าลอย 7

2.4 วัสดุปอซโซลาน 8

2.5 หินฝุ่น 9

2.6 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและปฏิกิริยาปอซโซลาน 9

2.7 ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีต 10

2.8 ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ 10

2.9 อัตราการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต 11

2.10 มาตรฐานการรับน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก 11

2.11 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3 วิธีดำเนินการทำโครงงาน 15
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง 15
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 17
3.3 วิธีการทดลอง 20
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปราย 22
4.1 บทนำ 22
4.2 การทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของแท่งตัวอย่าง
คอนกรีตบล็อก 22
4.3 ผลทดสอบ 25
4.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อก 31
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 33
5.1 สรุปผล 33
5.2 ข้อเสนอแนะ 33
เอกสารอ้างอิง 35
ภาคผนวก ก ข้อมูลและการคำนวณกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก
โดยใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสาน 38
ภาคผนวก ข ข้อมูลและการคำนวณหน่วยน้ำหนักของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก
โดยใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสาน 48
ภาคผนวก ค รูปภาพจากการทดลองและการวิบัติของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก
โดยใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสาน 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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	การใช้คอนกรีตบล็อกในงานก่อสร้าง	1
1.2	คอนกรีตบล็อกรูปแบบต่างๆ	2
1.3	การทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์	3
2.1	กากแคลเซียมคาร์ไบด์	6
2.2	เถ้าลอย	7
2.3	หินฝุ่น	9
3.1	ตัวอย่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์ก่อนผสม	15
3.2	ตัวอย่างเถ้าลอยก่อนผสม	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	การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดแกนเดียว	24
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและอัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่อายุบ่ม 7 วัน	27
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและอัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่อายุบ่ม 14 วัน	27
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์เถ้าลอยที่อายุบ่ม 7 วัน	28
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์เถ้าลอยที่อายุบ่ม 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 อีกทั้งความเป็นด่างสูง ทำให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ปริมาณของกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปีตามภาวะของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและปริมาณความต้องการใช้ก๊าซอะเซทิลีน หากปล่อยทิ้งไว้ก็จะเกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและเสียค่าใช้จ่ายสูงในการกำจัด รูปที่ 1.3 แสดงการทิ้งของกากแคลเซียมคาร์ไบด์

รูปที่ 1.3 การทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์

การศึกษาเบื้องต้น (Horpibulsuk et al., 2011 และ Jaturapitukkul and Roongreung,2003) พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีส่วนประกอบของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$ ในปริมาณสูง เมื่อนำมาผสมกับเถ้าลอย (วัสดุที่เหลือจากการผลิตกระแสไฟฟ้า) ซึ่งมีส่วนประกอบของซิลิกาและอลูมินาในปริมาณสูง จะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานและได้ผลิตภัณฑ์เชื่อมประสาน (Cementatious products) ปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้นนี้เทียบเท่าได้กับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดจากปูนซีเมนต์ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยมาใช้เป็นวัสดุประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อก ซึ่งเป็นการนำวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีนและผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านหินมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ช่วยลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อก และท้ายสุดจะวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่ขายกันในท้องตลาดปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อก

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และ 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 และ1.00 ตัวอย่างคอนกรีตบล็อกถูกบ่มในอากาศเป็นเวลา 7 วัน และ 14 วัน ก่อนการหาหน่วยน้ำหนักและทดสอบกำลังรับแรงอัด ในแต่ละอัตราส่วนผสม ผู้วิจัยทำก้อนตัวอย่าง 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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้ จะกล่าวถึง คุณสมบัติทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอย ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและปฏิกิริยาปอซโซลาน มาตรฐานการรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าถ่านหิน

2.2 กากแคลเซียมคาร์ไบด์

กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างแคลเซียมคาร์ไบด์กับน้ำในกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีน ซึ่งเป็นก๊าซที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมงานเชื่อม กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยามีอยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลว มีสภาพความเป็นด่างสูง มีสีขาวหรือสีขาวเทา เมื่อปล่อยให้ตกตะกอนและแห้งตามธรรมชาติจะจับตัวกันเป็นก้อนหลวมๆ กากแคลเซียมคาร์ไบด์จะมีสีขาวเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นมีปริมาณลดลง

กระบวนการผลิตก๊าซอะเซทิลีนทำได้โดยนำหินปูน ($CaCO_3$) เข้าเตาหลอม จากกระบวนการนี้ได้ผลผลิตคือปูนขาว (CaO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ตามสมการที่ (2.1)

$$\underset{\text{(Lime Stone)}}{CaCO_3} \xrightarrow[\text{เผา}]{} \underset{\text{(Lime)}}{CaO} + \underset{\text{(Carbondioxide)}}{CO_2} \quad (2.1)$$

หลังจากนั้น เติมถ่านโค้กในขณะที่ปูนขาว (CaO) อยู่ในเตาหลอมได้แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) ตามสมการที่ (2.2)

$$\underset{\text{(Lime)}}{CaO} + \underset{\text{(Coke)}}{3C} \xrightarrow[\text{เผา}]{} \underset{\text{(Calcium Carbide)}}{CaC_2} + \underset{\text{(Carbonmonoxide)}}{CO} \quad (2.2)$$

นำแคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) ที่ได้จากสมการที่ 2.2 ไปทำปฏิกิริยากับน้ำได้ก๊าซอะเซทิลีน (C_2H_2) และกากแคลเซียมคาร์ไบด์ซึ่งอยู่ในรูปของ $Ca(OH)_2$ ตามสมการที่ (2.3)

$$CaC_2 + 2H_2O \longrightarrow C_2H_2 + CaOH_2 \quad (2.3)$$

(Calcium Carbide) (Water) (Acetylene) (Calcium Hydroxide)

กากแคลเซียมคาร์ไบด์อยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ มีสถานะเป็นของเหลว ซึ่งแสดงในสมการที่ (2.3) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเมื่อใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) 64 กรัม จะได้ก๊าซอะเซทิลีน (C_2H_2) เท่ากับ 26 กรัม และได้กากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($CaOH_2$) สูงถึง 74 กรัม (Jaturapitukkul and Roongreung, 2003) บีติศานต์ กร้ำมาตร 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) จากนั้นลำเลียงเถ้าลอยไปเก็บไว้ในไซโลเพื่อรวบรวมนำไปทิ้งหรือนำไปใช้ต่อไป

รูปที่ 2.2 เถ้าลอย

ในปัจจุบันได้มีการนำเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างต่างๆ ในหลายลักษณะ เช่น เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตกำลังสูง หรือคอนกรีตทั่วๆไป 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 Blainc Permeability อยู่ในช่วง

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

2.3.2 คุณสมบัติทางเคมี

โดยทั่วไปเถ้าลอยมักมีองค์ประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยฟอสฟอรัสออกไซด์ (Fe_2O_3) ASTM C 618 ได้แยกประเภทของเถ้าลอยไว้ 2 ชนิด คือ Class F และ Class C โดย Class F มี SiO_2+ Al_2O_3+ Fe_2O_3 มากกว่าร้อยละ 70 และ Class C มี SiO_2+ Al_2O_3+ Fe_2O_3 ระหว่างร้อยละ 50 ถึง 70 โดยน้ำหนัก

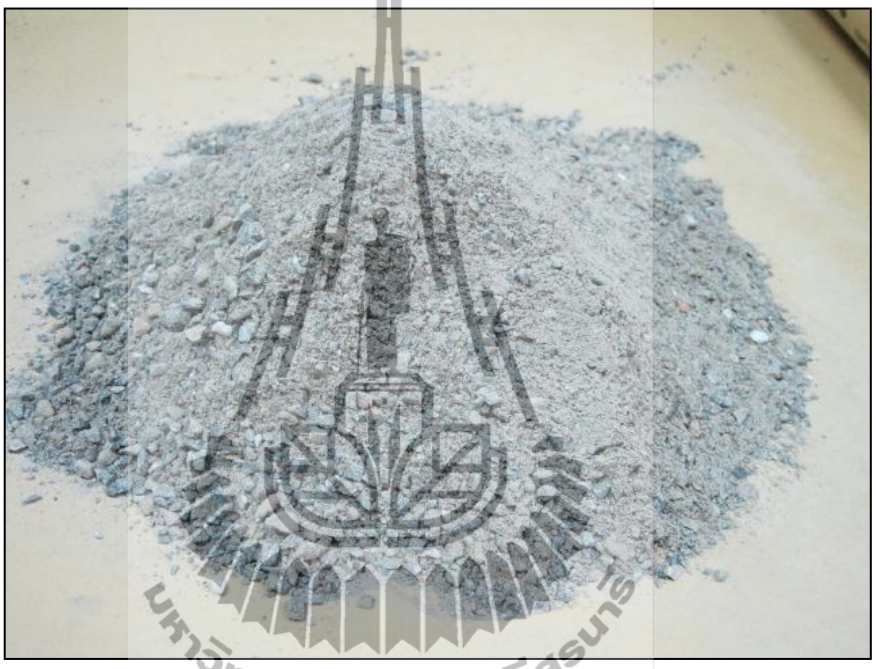
2.4 วัสดุปอซโซลาน

ตามมาตรฐาน ASTM C 618 (2008) เถ้าลอยเป็นวัสดุปอซโซลานสังเคราะห์ประเภทหนึ่งที่มีองค์ประกอบหลักคือ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) อะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) โดยปกติแล้วสามารถแบ่งเถ้าลอยตามองค์ประกอบทางเคมีเป็น 2 ประเภท คือ Class C และ Class F โดยพิจารณาจากผลรวมของ SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 กล่าวคือ เถ้าถ่านหิน Class F ต้องมีผลรวมของ SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 รวมกันมากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ส่วนใหญ่มักได้จากการเผาถ่านหินประเภทอินทราไซด์ หรือบิทูมินัส ส่วนเถ้าถ่านหิน Class C ต้องมีผลรวมของ SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 อยู่ระหว่างร้อยละ 50-70 โดยน้ำหนัก ส่วนใหญ่ได้จากการเผาถ่านหินประเภทลิกไนต์ หรือ ซับบิทูมินัส โดยปกติเถ้าถ่านหินจะไม่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานหรืออาจมีแต่น้อยมาก แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) แล้วได้ผลผลิตที่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน ซึ่งคุณสมบัติในการเชื่อมประสานนี้ขึ้นอยู่กับความละเอียดของเถ้าลอย เถ้าลอยที่มีอนุภาคเล็กจะมีคุณสมบัติในการยึดประสานได้ดีกว่าเถ้าลอยที่มีอนุภาคใหญ่ (สมิตร ส่งพิริยะกิจ, 2538)

ในประเทศไทยเถ้าลอยได้รับความนิยมนำมาใช้ในงานคอนกรีตผสมเสร็จอย่างแพร่หลาย อีกทั้งมีงานวิจัยอีกมากที่ศึกษาถึงการนำประโยชน์ของเถ้าลอยไปใช้ในงานคอนกรีต เช่น การนำเถ้าลอยไปแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อลดปริมาณความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น โดยเฉพาะเถ้าถ่านหินแม่เมาะ ซึ่งเป็นเถ้าลอยที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ และมีปริมาณมากพอต่อความต้องการใช้ในภาคอุตสาหกรรม แต่ยังมีการนำมาใช้ในงานคอนกรีตในสัดส่วนที่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่ผลิตได้ในแต่ละปี

2.5 หินฝุ่น

หินฝุ่นที่สามารถนำมาทำเป็นคอนกรีตบล็อกได้แก่ หินฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 3 มิลลิเมตร เพื่อให้ก้อนคอนกรีตบล็อกที่ได้ออกมานั้นไม่ค่อยมีรูพรุนมากเกินไปและมีความแข็งแรงสามารถรับแรงอัดได้มาก



รูปที่ 2.3 หินฝุ่น

2.6 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและปฏิกิริยาปอซโซลาน

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration Reaction) เกิดจากปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและมีผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาที่สำคัญคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_2.3H_2O$ หรือ C-S-H) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ($3CaO.Al_2O_3.6H_2O$ หรือ C-A-H) ดังแสดงในสมการที่ (2.4) ถึง (2.6)

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2 \quad (2.4)$$

$$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2 \quad (2.5)$$

$$3CaO.Al_2O_3 + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O \quad (2.6)$$

ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายหลังจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์กับน้ำ โดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่เกิดจากสมการที่ (2.4) และ(2.5) ทำปฏิกิริยากับวัสดุปอซโซลานที่มีองค์ประกอบหลักคือซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) และอลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ในงานวิจัยนี้ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และวัสดุปอซโซลานคือเถ้าถ่านหิน โดยมีการทำปฏิกิริยาเคมีดังสมการ (2.7) ถึง (2.8)

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O \longrightarrow xCaO.ySiO_2.zH_2O \qquad (2.7)$$

$$Ca(OH)_2 + Al_2O_3 + H_2O \longrightarrow xCaO.yAl_2O_3.zH_2O \qquad (2.8)$$

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.7 ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีต

โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มวัสดุปอซโซลานในวัสดุประสานจะส่งผลให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามปริมาตรของวัสดุปอซโซลานที่เข้ามาแทนที่ เป็นผลมาจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่ลดลง รวมถึงปริมาณของสารลดน้ำพิเศษ (Super plasticizer) ที่มีมากเกินความต้องการจึงส่งผลกระทบดังกล่าว (Books, etal, 2000)

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตค่อนข้างมีความสำคัญในงานคอนกรีต ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตจะบ่งบอกพฤติกรรมของคอนกรีต หลังจากการก่อตัวระยะปลายแล้ว คอนกรีตจึงเริ่มพัฒนาความสามารถในการรับน้ำหนัก เพราะฉะนั้น ระยะเวลาก่อตัวทั้งต้นและปลายจึงมีความสำคัญในในเรื่องของเวลาทำงานในคอนกรีตทั่วไป (Pinto, 1999)

2.8 ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนซึ่งปล่อยออกมาตลอดเวลาของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำโดยองค์ประกอบทางเคมี ความละเอียด และปริมาณของ

วัสดุมีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ในช่วงต้นจะมีการคลายความร้อนอย่างรวดเร็ว 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 คอนกรีตบล็อกที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมชนิดต่างๆ และจะมีสารอื่นๆ ผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ ใช้เป็นวัสดุสำหรับก่อผนังหรือกำแพงที่ออกแบบไม่รับน้ำหนักบรรทุกใดๆ นอกจากน้ำหนักตัวเอง โดยกำหนดความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าแต่ละก้อน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58/2533)

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

2.11 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Davis และคณะ (1937) พบว่าเถ้าลอยที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำความละเอียดสูง จะมีคุณสมบัติปอซโซลานที่สูง และอาจใช้แทนปูนซีเมนต์ได้สูงถึงร้อยละ 30 และจากสภาพการบ่ม

มาตรฐานจะมีกำลังอัดต่ำที่อายุน้อย แต่กำลังอัดจะสูงขึ้นเมื่ออายุของคอนกรีตมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา

Minnick (1954) พบว่าความละเอียดของเถ้าลอย (โดยวัดจากตะแกรงเบอร์ 325) มีความสัมพันธ์กับกำลังอัดของมอร์ต้าร์และคอนกรีต กล่าวคือเถ้าลอยที่มีมีความละเอียดมากว่าจะให้กำลังอัดได้ดีกว่า

Timms and Grieb (1956) พบว่า เถ้าลอยที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำจะให้กำลังในคอนกรีตได้ดีกว่าเถ้าลอยที่มีคอร์บอนสูงในอัตตราส่วนผสมเดียวกัน

Kokubu (1968) พบว่าสารประกอบของเถ้าลอยที่สำคัญมีควอทซ์ (Quartz) มูลไลท์ (Mullite) และกลาส (Glass) ซึ่งซิลิก้าจะอยู่ในรูปของควอทซ์และกลาส ส่วนอลูมิน่าจะอยู่ในรูปของมูลไลท์ออกไซด์และกลาส และยังพบอีกว่ากลาสเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน

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

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

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

สมหมาย สว่างกิจ และคณะ (2535) ได้ทำการศึกษาการกัดกร่อนของคอนกรีตผสมเถ้าลอย ซึ่งพบว่าปริมาณการทดแทนของเถ้าลอยที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 35 สามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ดี

Anek Siripanichgom (1993) ได้ทำการศึกษาการกัดกร่อนของคอนกรีตผสมเถ้าลอย จากแม่เมาะที่คัดขนาดโดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 พบว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยที่คัดขนาดแทนที่ปูนซีเมนต์ ให้กำลังมากกว่าเถ้าลอยที่ไม่คัดขนาด

พิชัย นิมิตยงสกุล และ บุรฉัตร ฉัตรวีระ (2536) พบว่าความต้องการน้ำของมอร์ต้าร์ธรรมดาที่ความข้นเหลวปกติเท่ากัน ที่เริ่มแรกกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย จะต่ำกว่ามอร์ต้าร์ธรรมดาจนถึง 90 วัน หลังจากนั้นค่าดังกล่าวจะสูงขึ้น และการแทนที่เถ้าลอยในปูนซีเมนต์สามารถทำได้ถึงร้อยละ 35 โดยปราศจากผลข้างเคียง ระยะเวลาก่อตัวของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยจะนานกว่ามอร์ต้าธรรมดา

ปิติศานต์ กร้ำมาตร และคณะ (2539) ได้นำส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าลอยมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนปูนซีเมนต์ โดยพบว่าอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าลอย ในอัตราร้อยละ 30:70 โดยน้ำหนัก ให้กำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 90 วัน สูงถึง 209 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตรและยังแนะนำว่าส่วนผสมของวัสดุทั้งสองชนิดนี้มีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาให้เป็นประโยชน์ในการก่อสร้าง โดยควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เช่น ความละเอียดของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และการเพิ่มปูนซีเมนต์บางส่วนในส่วนผสมดังกล่าว

ชรินทร์ นมรักษ์ (2544) พบว่าการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่มีปริมาณน้ำหนักค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 14.85 ผสมกับเถ้าลอยในอัตราส่วน 30:70 โดยน้ำหนัก ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นสารเร่งกำลังในอัตราร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีปริมาณวัสดุประสานเท่ากับ 450 กก/ม^3 มีค่า W/B เท่ากับ 0.35 พบว่าคอนกรีตสามารถให้กำลังอัดที่อายุ 90 วัน เท่ากับ 307 กก/ซม^2

Nilo และคณะ (2001) ได้นำส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าลอยและดินทดสอบทางคุณสมบัติทางกลเพื่อใช้ในงานวิศวกรรมฐานรากขนาดใหญ่และงานที่ไม่ต้องการเวลาใช้งานที่เร็ว พบว่าคุณสมบัติด้านกำลังอัดจะเพิ่มขึ้นสูงสุดหลังอายุ 28 วันไปแล้ว เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาปอซโซลานจึงที่ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น

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

ผสมกับเถ้าลอยเป็นส่วนผสมคล้ายกับกำลังอัดของคอนกรีตควบคุม โดยมีกำลังอัดสูงสุด เท่ากับ 678 และ 727 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน และ 90 วัน ตามลำดับ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าลอยเป็นส่วนผสมมีค่าสูงขึ้นตามค่ากำลังอัดที่เพิ่มขึ้น และมีทิศทางเหมือนกับคอนกรีตควบคุม และมีค่าความซึมผ่านของคอนกรีตลงเมื่อคอนกรีตมีอายุและกำลังของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าอัตราการซึมผ่านของคอนกรีตอยู่ในช่วงระหว่าง $0.85x10^{-13}$ ถึง $5.80x10^{-13}$ เมตร/วินาที ขณะที่คอนกรีตควบคุม มีค่า $0.91x10^{-13}$ และ $1.10x10^{-13}$ เมตร/วินาที ที่อายุ 28 วัน และ 90 วัน ตามลำดับ และมีค่าความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไปอีกด้วย

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าลอยมาใช้เป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีต แต่ยังไม่เคยมีการศึกษาการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าลอยมาเป็นวัสดุประสานในการทำคอนกรีตบล็อกมาก่อน ดั้งนั้นการศึกษาจึงมุ่งเน้นการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าลอยมาเป็นวัสดุประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อกโดยไม่ใช้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดจากปูนซีเมนต์ แต่อาศัยปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดจากกาก แคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าลอยเพียงอย่างเดียว เพื่อลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกและยังช่วยในการกำจัดวัสดุที่เหลือใช้แล้วเป็นปัญหาต่อสภาพแวดล้อมด้วย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทำโครงงาน

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อกที่มีลังรับแรงอัดได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.58/2533 โดยจะทำการทดลองหาอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยในอัตราส่วนต่างๆกัน ซึ่งต้องใช้วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการทดลอง วิธีคำนวณคุณสมบัติของตัวอย่างทดสอบ ดังนี้

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์จากบริษัท ผลิตแก๊สสาย 5 จำกัดอำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม

3.1.2 เถ้าลอยจากโรงงานไฟฟ้าแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

3.1.3 หินฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 3 มิลลิเมตร จากร้านวัสดุก่อสร้างทั่วไปในท้องที่ จังหวัดนครราชสีมา

3.1.4 น้ำสะอาด(น้ำประปาจากประปาเทศบาลนครนครราชสีมา)

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์ก่อนผสม

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างเถ้าลอยก่อนผสม

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

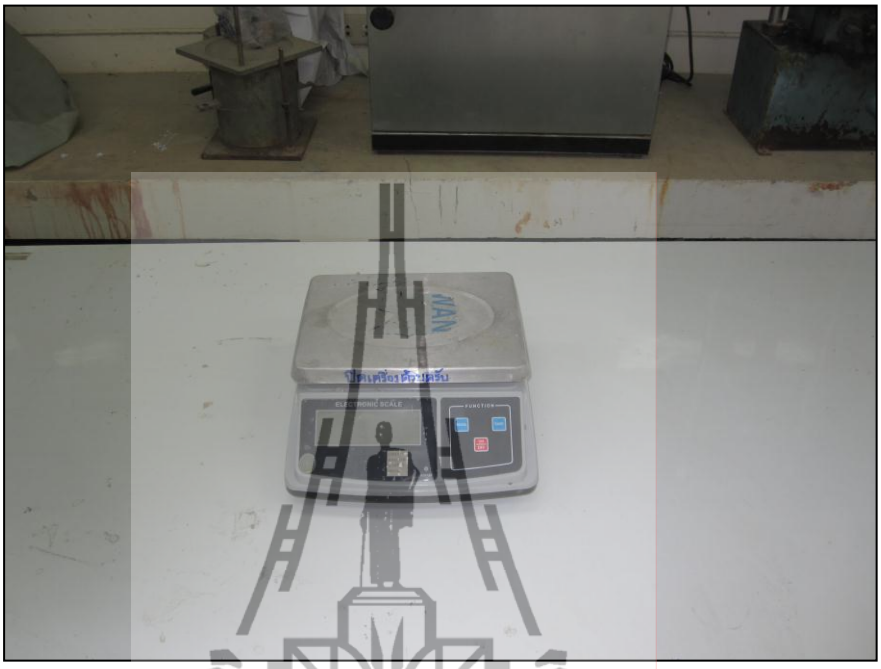
3.2.5 ตาชั่งที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 10 กิโลกรัม

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 โดยนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยไปทดสอบขนาดของวัสดุ แล้วจะต้องค้างตะแกรงหมายเลข 325 ไม่เกินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก และหินฝุ่นต้องมีขนาดไม่ใหญ่เกิน 3 มม. โดยนำส่วนที่มีขนาดโตเกิน 3 มม. ทิ้งไปไม่นำมาเป็นส่วนผสมในการทดลอง

3.3.2 ทำการหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมต่างๆกัน โดยมีอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่จะทำการศึกษาแปรผัน 20:80, 40:60 และ 60:40 ตามลำดับ เพื่อกำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสม อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50, 0.75 และ1.00 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 นำผลที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหากำลังรับแรงอัดและนำน้ำหนักที่ชั่งได้ไปคำนวณหาหน่วยน้ำหนักของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก โดยในการคำนวณหากำลังอัดประลัยของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อกสามารถหาได้จากสมการ (3.1)

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

โดยที่

σ คือ กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบ (ksc.)

P คือ แรงอัดสูงสุดที่จุดประลัย (kg.)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ ($cm.^2$)

และหน่วยน้ำหนักของแต่ละตัวอย่างทดสอบ สามารถหาได้จากสมการ (3.2)

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

โดยที่

γ = หน่วยน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ ($Kg/m.^3$)

M = มวลของตัวอย่างทดสอบ (Kg)

V = ปริมาตรของตัวอย่างทดสอบ ($m.^3$)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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

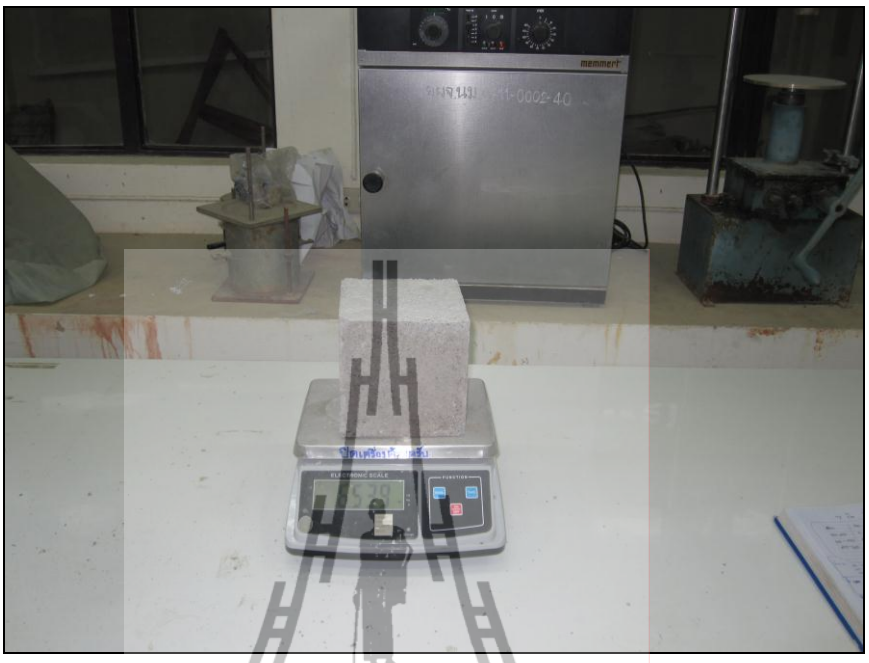
กากแคลเซียมคาร์ไบด์ได้จาก บริษัท ผลิตแก๊สสาย 5 จำกัด เถ้าลอยได้จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 200°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และนำมาบดด้วยเครื่อง Angeles abrasion machine ทั้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยถูกนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (ขนาดรูเปิด 425 ไมครอน) ความถ่วงจำเพาะของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยเท่ากับ 2.32 และ 2.39 ตามลำดับ เถ้าลอยมีส่วนประกอบของ SiO_2, Al_2O_3 and Fe_2O_3 ในปริมาณร้อยละ 81.48 และจัดเป็นเถ้าลอยชั้น F ตามการจำแนกของ ASTM C 618 กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีส่วนผสมของ $Ca(OH)_2$ ในปริมาณมากถึงร้อยละ 76.7 ดังนั้น จึงสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับเถ้าลอยและเกิดผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานได้

4.2.3 การทดสอบ

เนื่องจากการศึกษาที่ผ่านมายังไม่ปรากฏการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยมาใช้เป็นวัสดุประสานโดยมามีส่วนผสมของปูนซีเมนต์มาก่อน 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) และบ่มที่อุณหภูมิห้อง 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 แสดงส่วนผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ 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 อัตราส่วนผสมของแท่งตัวอย่างคอนกรีตในอัตราส่วนต่างๆ

ตัวอย่างชุดที่	อัตราส่วน	W/B	หินฝุ่น (กก.)	กากแคลเซียมคาร์ไบด์ (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

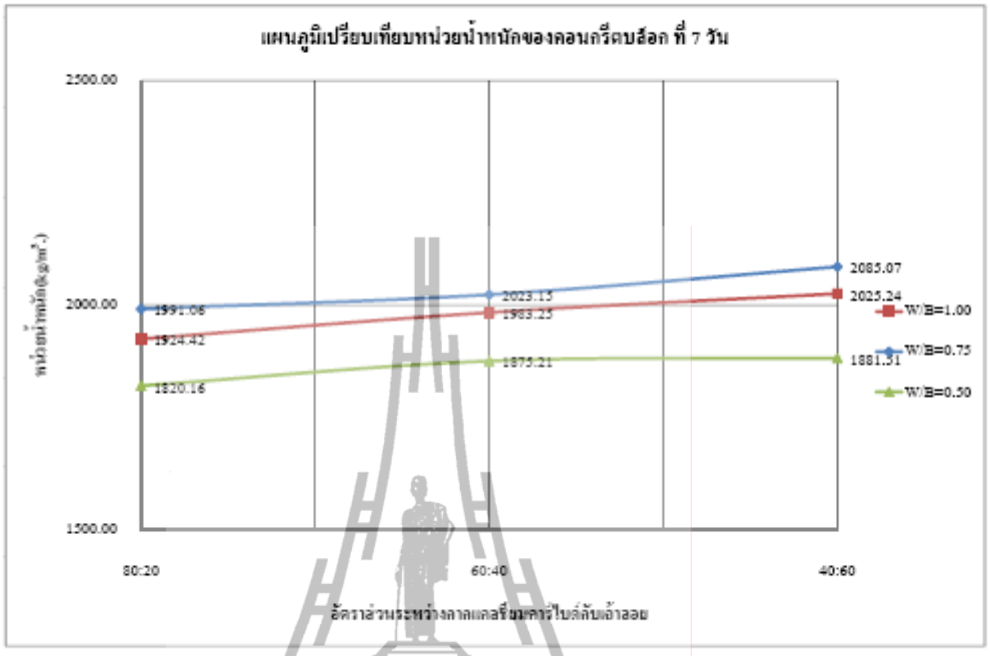
4.3 ผลทดสอบ

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 จะเห็นได้ว่าหน่วยน้ำหนักของก้อนตัวอย่างบล็อกคอนกรีตแปรผันตาม CCR/FA และ W/B หน่วยน้ำหนักมีค่าสูงที่สุด เมื่อ W/B เท่ากับ 0.75 สำหรับทุกค่า CCR/FA ส่วนผสมที่มีค่า W/B ต่ำกว่า 0.75 จะมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการบดอัด ทำให้อนุภาคของหินฝุ่น กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอย ไม่สามารถเข้าไปแทรกอยู่ในโพรงได้ และส่วนผสมที่มีค่า W/B สูงกว่า 0.75 นี้ จะมีปริมาณน้ำที่มากเกินไปจนเกิดการเยิ้ม ซึ่งเป็นพฤติกรรมเช่นเดียวกับดินซีเมนต์บด (Horpibulsuk et al., 2006, 2009, 2010 และ 2012) ค่า CCR/FA มีผลต่อความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตบล็อกไม่มากนัก เนื่องจากหน่วยน้ำหนักของ CCR และ FA มีค่าใกล้เคียงกัน และการกระจายขนาดของอนุภาคมีความคล้ายกัน (Horpibulsuk et al., 2012)

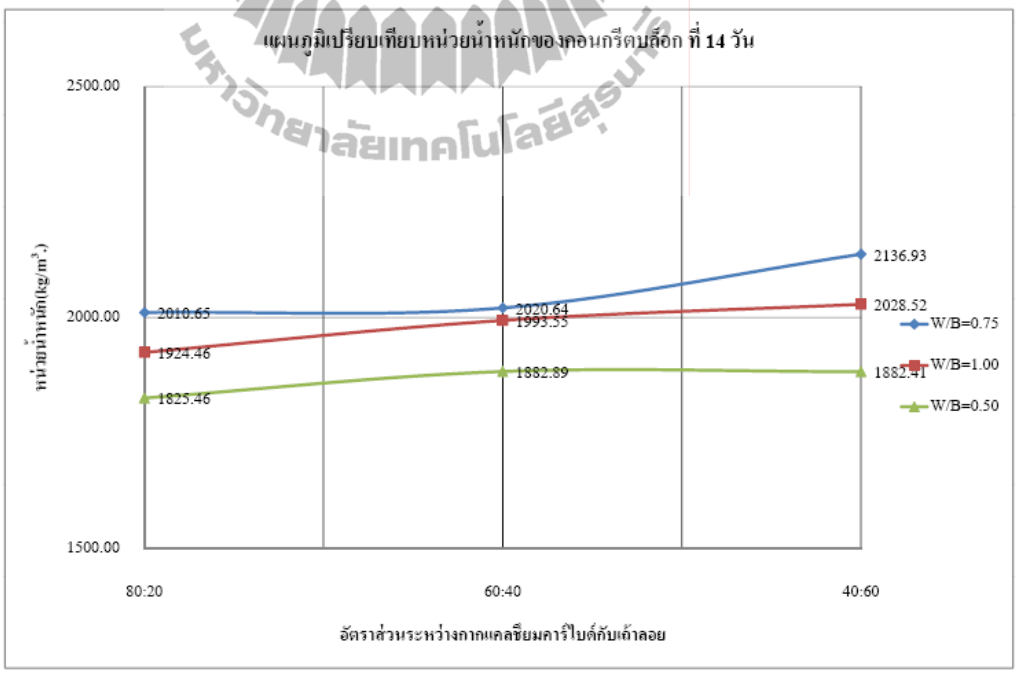
ตารางที่ 4.2 กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยและหน่วยน้ำหนักเฉลี่ยของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก ที่ 7 วัน และ 14 วัน

ตัวอย่างชุดที่	อัตราส่วน	กำลังรับแรงอัดเฉลี่ย (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	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

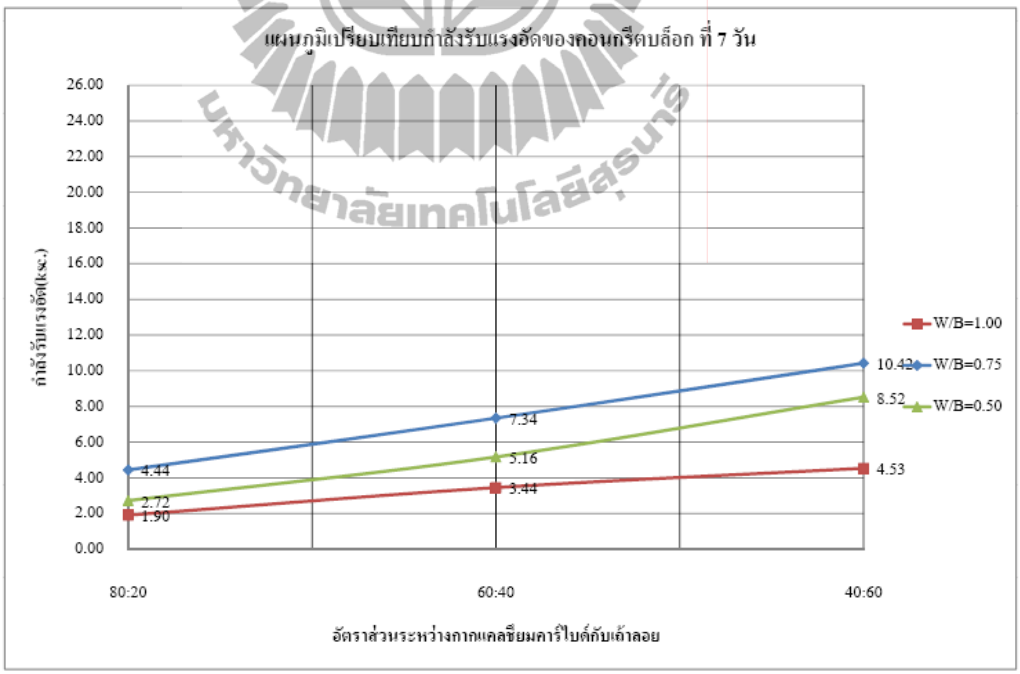


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและอัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่อายุบ่ม 7 วัน

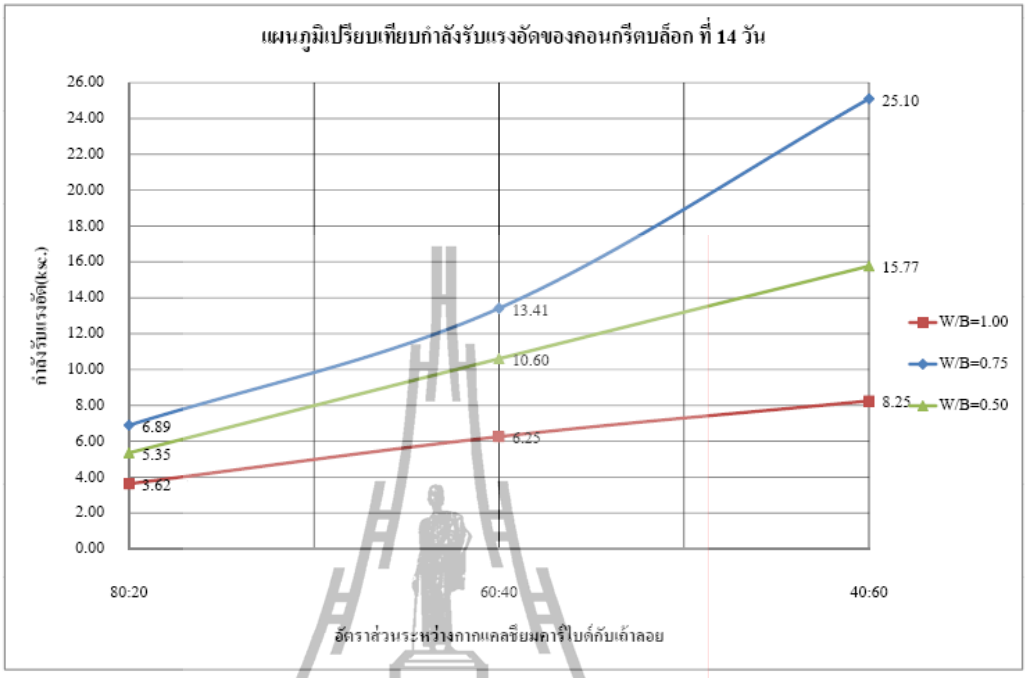


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและอัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่อายุบ่ม 14 วัน

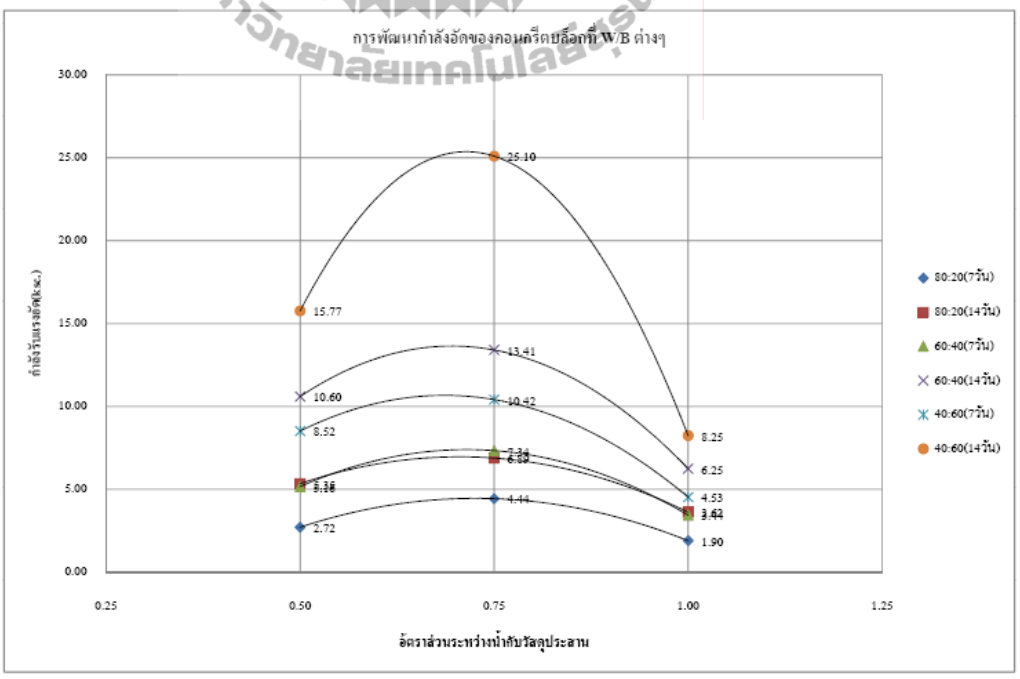
เมื่ออายุบ่มเพิ่มขึ้น (จาก 7 วัน เป็น 14 วัน) หน่วยน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่มากนัก การเพิ่มขึ้นของหน่วยน้ำหนักเกิดจากเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์เชื่อมประสาน รูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ CCR/FA และ W/B ต่างๆ ที่อายุบ่ม 7 และ 14 วัน ตามลำดับ การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกเกิดจากองค์ประกอบสองส่วน คือความแน่นของส่วนผสม และผลิตภัณฑ์เชื่อมประสาน (ปฏิกิริยาปอซโซลาน) จากรูปทั้งสองจะเห็นได้ว่าก้อนตัวอย่างที่มีค่า W/B เท่ากับ 0.75 ให้กำลังอัดสูงสุดที่สุด ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณนี้ที่อัตราส่วนนี้เหมาะสมต่อการบดอัดและต่อการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน 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 แต่การบดอัดหินคลุกทางด้านแห้งจะก่อให้เกิด matric suction ซึ่งมีช่วยเพิ่มกำลังอัดให้กับก้อนตัวอย่าง (Horpibulsuk et al., 2006) ดังนั้น กำลังอัดที่ W/B = 0.50 จึงมีค่ามากกว่ากำลังอัดที่ W/B = 1.00 (รูปที่ 4.8)



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่อายุบ่ม 7 วัน

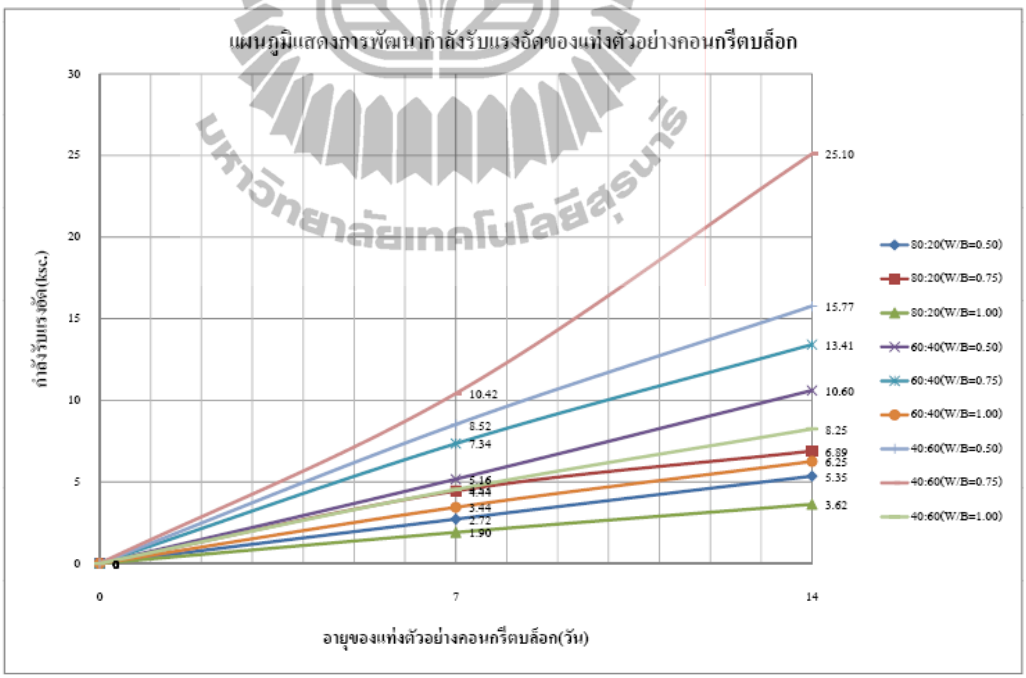


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยที่อายุบ่ม 14 วัน



รูปที่ 4.8 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่ W/B ต่างๆ

นอกจากปริมาณที่เหมาะสมแล้ว ค่า CCR/FA ก็เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่ควบคุมการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก จะเห็นได้ว่าค่า CCR/FA ที่เหมาะสมที่สุดคือ 40:60 การใส่ CCR ที่มากเกินไป (CCR/FA = 60:40 และ 80:20) ทำให้ $Ca(OH)_2$ ในส่วนผสมไม่สามารถทำปฏิกิริยากับ FA ได้หมด ทำให้มีปริมาณ $Ca(OH)_2$ เหลืออยู่ในส่วนผสม ซึ่ง $Ca(OH)_2$ เพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำปฏิริยาเคมีกับน้ำและเกิดเป็นผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานได้ แม้ว่าก้อนตัวอย่างที่ W/B = 0.75 และ CCR/FA = 40:60 จะให้กำลังอัดที่สูงสุดในการศึกษานี้ก็ตาม แต่กำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน (10.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)ยังคงมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.58/2533 ซึ่งระบุว่าคอนกรีตบล็อกในสภาวะใช้งานต้องมีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานต้องใช้เวลาที่ค่อนข้างนานจึงจะเกิดกำลังอัดสูงสุด ซึ่งเป็นข้อด้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ ที่อายุบ่ม 14 วัน กำลังอัดที่อัตราส่วนเหมาะสมนี้สามารถผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม คือมีกำลังอัดเท่ากับ 25.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.9 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกในช่วงอายุบ่ม 7 ถึง 14 วัน

รูปที่ 4.9 แสดงการพัฒนากำลังอัดกับเวลาของคอนกรีตบล็อกที่ส่วนผสมต่างๆ จะเห็นได้ว่ากำลังอัดยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอีกหลังจากอายุบ่มที่ 14 วัน การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต

บล็อกในช่วง 7 ถึง 14 วัน มีค่าใกล้เคียงกัน คืออัตราส่วนกำลังอัดที่อายุบ่ม 14 วัน ต่อกำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน มีค่าประมาณ 2 ซึ่งเป็นการพัฒนากำลังที่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการพัฒนากำลังอัดในช่วงเดียวกันของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เพื่อเป็นการเร่งปฏิกิริยาช่วงต้นให้มากขึ้น งานวิจัยในอนาคตอาจทำการศึกษาโดยเพิ่มปูนซีเมนต์ในส่วนผสมด้วย

4.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อก

งานวิจัยนี้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ กล่าวคือกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อกได้ นอกจากจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้แล้ว การประยุกต์ใช้วัสดุเหลือใช้นี้ยังสามารถใช้แทนปูนซีเมนต์ได้ ซึ่งช่วยลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อก ผลการทดลองปรากฏว่าส่วนผสมที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนระหว่างระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย (CCR/FA) เท่ากับ 40:60 และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) เท่ากับ 0.75 โดยน้ำหนัก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่อายุบ่ม 14 วัน จะได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.58/2533 ซึ่งกำหนดให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกเฉลี่ย 5 ก้อน ไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตบล็อกจากวัสดุเหลือใช้และจากปูนซีเมนต์ จะเห็นได้ว่าต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกจากวัสดุเหลือใช้มีราคาเพียง 2.18 บาท ต่อก้อน ซึ่งมีราคาต่ำกว่าการผลิตด้วยปูนซีเมนต์ถึง 1.46 บาท ต่อก้อน คิดเป็นร้อยละ 40

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกจากวัสดุเหลือใช้และจากปูนซีเมนต์

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ค่าวัสดุ	
				ราคาหน่วยละ (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
	ก. ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน				
1	ปูนซีเมนต์	0.81	กก.	2.40	1.95
2	หินฝุ่น	6.50	กก.	0.26	1.69
	รวมเป็นต้นทุนทั้งหมดต่อ 1 ก้อน				3.64
	ข. ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยเป็นวัสดุประสาน				
1	กากแคลเซียมคาร์ไบด์	0.33	กก.	-	-
2	เถ้าลอย	0.49	กก.	1.00	0.49
3	หินฝุ่น	6.50	กก.	0.26	1.69
	รวมเป็นต้นทุนทั้งหมดต่อ 1 ก้อน				2.18
	ค. ผลต่างของต้นทุนการผลิต (ก-ข)				1.46

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยเป็นวัสดุเชื่อมประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อก ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ในทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ส่วนผสมที่เตรียมในงานวิจัยนี้คือ อัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยเท่ากับ 20:80, 40:60 และ 60:40 และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50, 0.75 และ1.00 ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการทำคอนกรีตบล็อกคือ อัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าลอยที่เท่ากับ 40:60 และอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำและวัสดุเชื่อมประสานที่เท่ากับ 0.75 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุ ที่อายุบ่ม 14 วัน คอนกรีตบล็อกที่เตรียมด้วยส่วนผสมนี้มีกำลังอัดได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.58/2533 คือ มีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 20 กก./ตารางเซนติเมตร ต่อก้อน และไม่น้อยกว่า 25 กก./ตารางเซนติเมตร เมื่อเฉลี่ยจาก 5 ก้อน

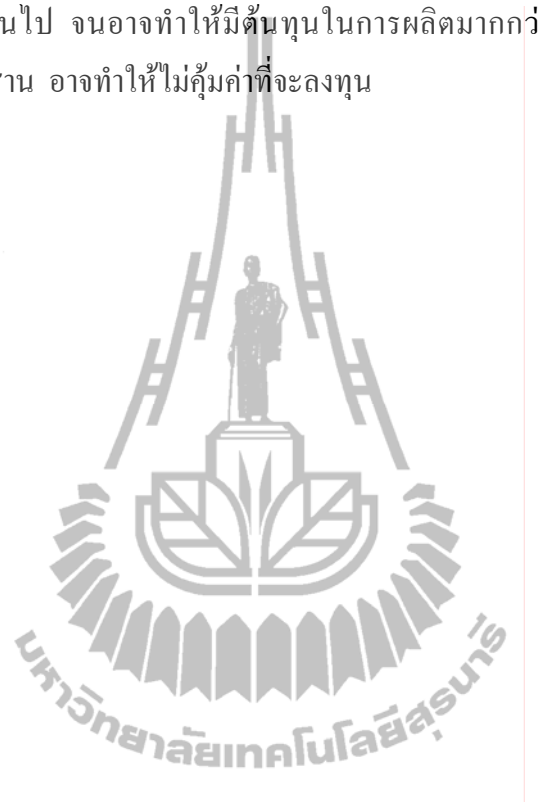
5.1.2 การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ โดยสามารถลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อก ต่อก้อนลงประมาณ 1.46 บาทต่อก้อน คิดเป็นประมาณร้อยละ 40 ซึ่งโดยปกติทั่วไปคอนกรีตบล็อกจะมีราคาขายประมาณ 4-7 บาท/ก้อน

5.2 ข้อเสนอแนะ

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

ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตอาจพิจารณาการใส่ปูนซีเมนต์เพิ่มเพื่อเพิ่มกำลังอัดในช่วงต้น (ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น)

5.2.2 กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยอาจเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ไม่มีราคา แต่ถ้าหากโรงานผลิตคอนกรีตบล็อกอยู่ห่างจากแหล่งวัสดุมากๆ อาจทำให้เสียค่าขนส่งมากจนเกินไป จนอาจทำให้มีต้นทุนในการผลิตมากกว่าการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน อาจทำให้ไม่คุ้มค่าที่จะลงทุน



เอกสารอ้างอิง

กระทรวงอุตสาหกรรม.(2530).**มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่มอก.58/2533**.ประกาศกระทรงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1295

กิตติพงษ์ อำนาจเหลือ(2552).**การศึกษาคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยเป็นวัสดุประสาน.**วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชรินทร์ นมรักษ์, วันชัย สะตะ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2544). ผลกระทบของวัสดุประสานต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหิน. **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8** (หน้า 178-183).

ธนพล เหล่าสมาธิกุล. (2551). **การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมเถ้าถ่านหินหรือเถ้าแกลบ-เปลือกไม้เป็นวัสดุประสาน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และอินทรชัย หอวิจิตร. (2528). **ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมขี้เถ้าลอยแม่เมาะ**. สำนักงานเทคโนโลยีเพื่อพัฒนาชนบท : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปิติศานต์ กร้ำมาตร. (2539). **การศึกษาส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินเพื่อนำมาใช้ในงานคอนกรีต**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พิชัย นิมิตยงสกุล และบุรฉัตร ฉัตรวีระ. (2536). ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคอนกรีตผสมขี้เถ้าลอยแม่เมาะ. **วารสาร กฟผ** 2 (4) : 39-56.

เมธี เวชารัตนา. (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 Generationg 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. **5th International Symposium on the Chemistry of Cement** (pp. 75-l 13).

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-l 158).

Neville, A.M. (1995). **Properties of Concrete,4th 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 Geoenvir. 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-l 157.

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลและการคำนวณกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก โดยใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสาน

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

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 14 วัน

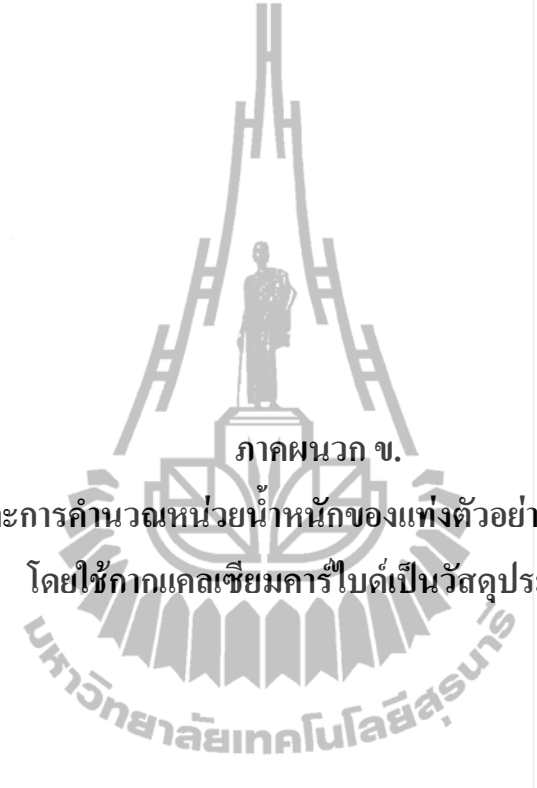
ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
1	15	15	15.1	225.00	1,325.18	5.89
2	15	15	15.2	225.00	1,529.05	6.80
3	15	15	15.1	225.00	1,427.12	6.34
4	15	15	15.2	225.00	1,427.12	6.34
5	15	15	15.1	225.00	1,325.18	5.89
					เฉลี่ย	6.25

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

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			พื้นที่หน้าตัด	แรงอัดสูงสุด	กำลังรับแรงอัดสูงสุด
	กว้าง	ยาว	สูง	(ตร.ซม.)	(กก.)	(กก./ตร.ซม.)
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 โดยใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสาน

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

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.7 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.75 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 80:20 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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

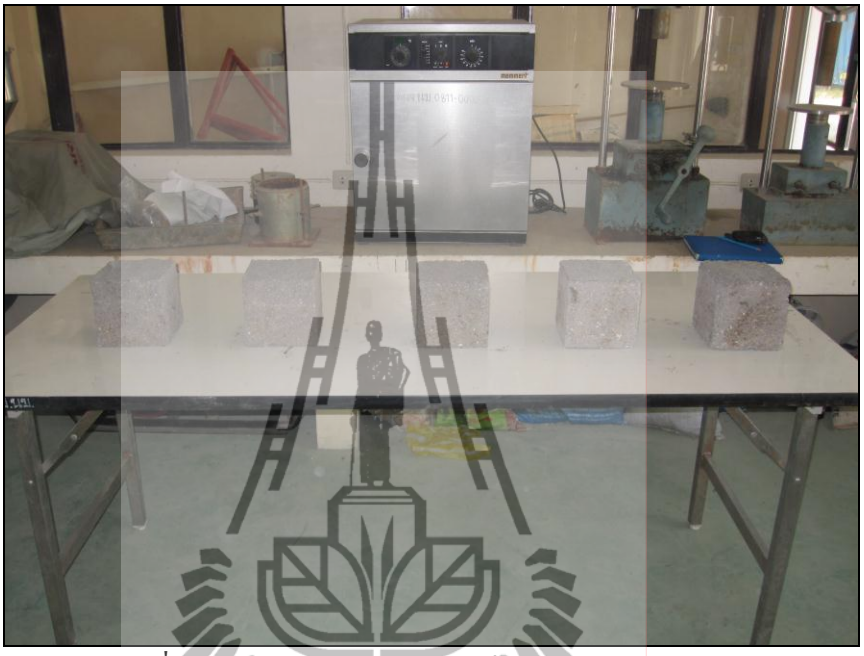
ตารางที่ ข.18 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกอัตราส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย 40:60 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 1.00 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร	น้ำหนัก	หน่วยน้ำหนัก
	กว้าง	ยาว	สูง	(ลบ.ม.)	(กก.)	(กก./ลบ.ม.)
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.

รูปภาพจากการทดลองและการวิบัติของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อกโดยใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสาน

รูปตัวอย่างคอนกรีตบล็อกในส่วนผสมต่างๆ

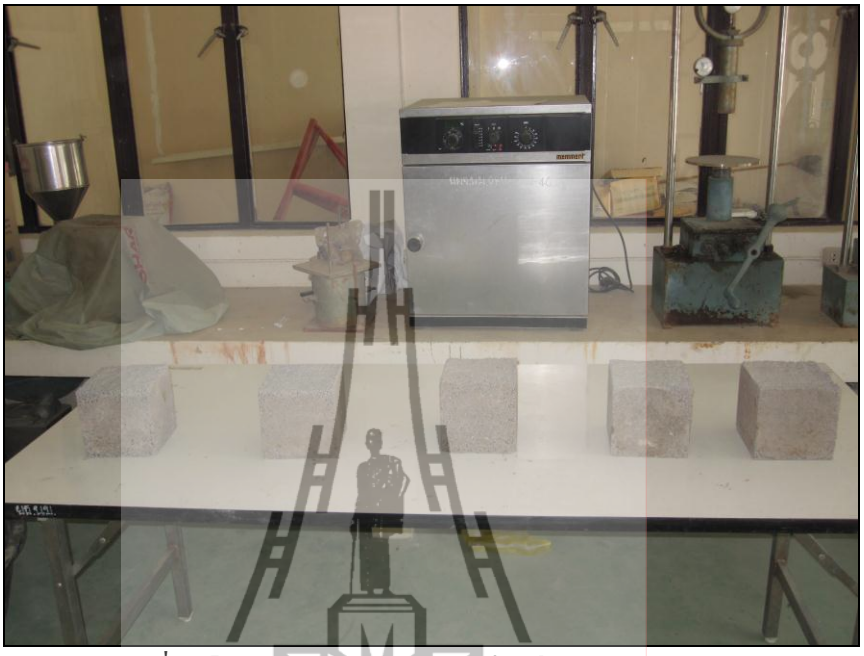


รูปที่ ค.1 แท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก 80:20 W/B= 0.50

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

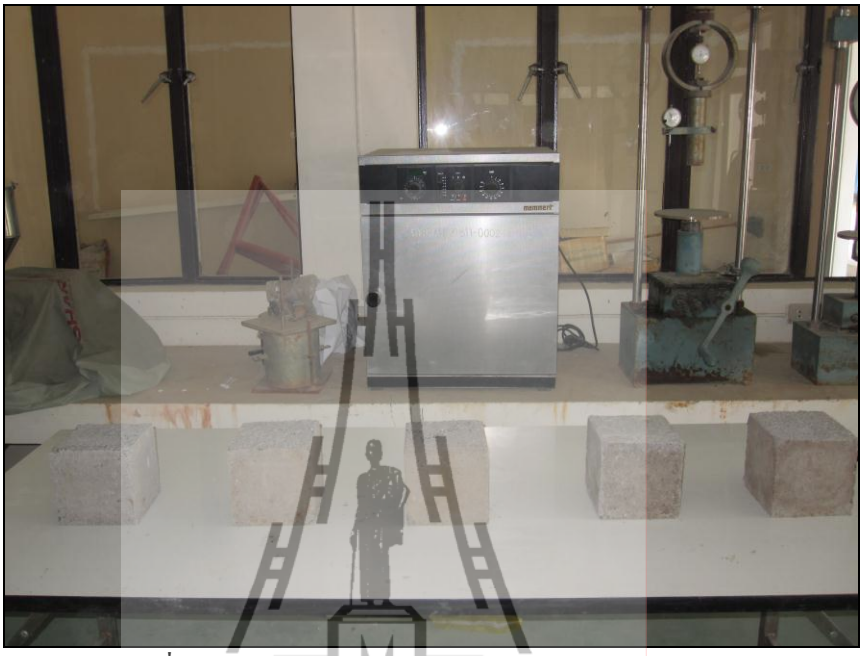
รูปที่ ค.3 แท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก 40:60 W/B= 0.50

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



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

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



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

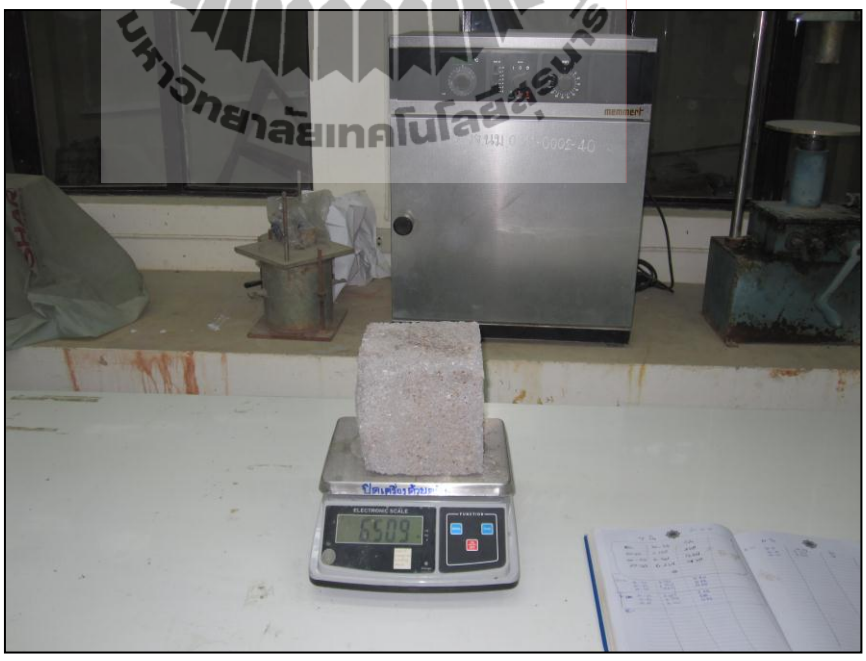
รูปที่ ค.8 แท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก 60:40 W/B=1.00

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

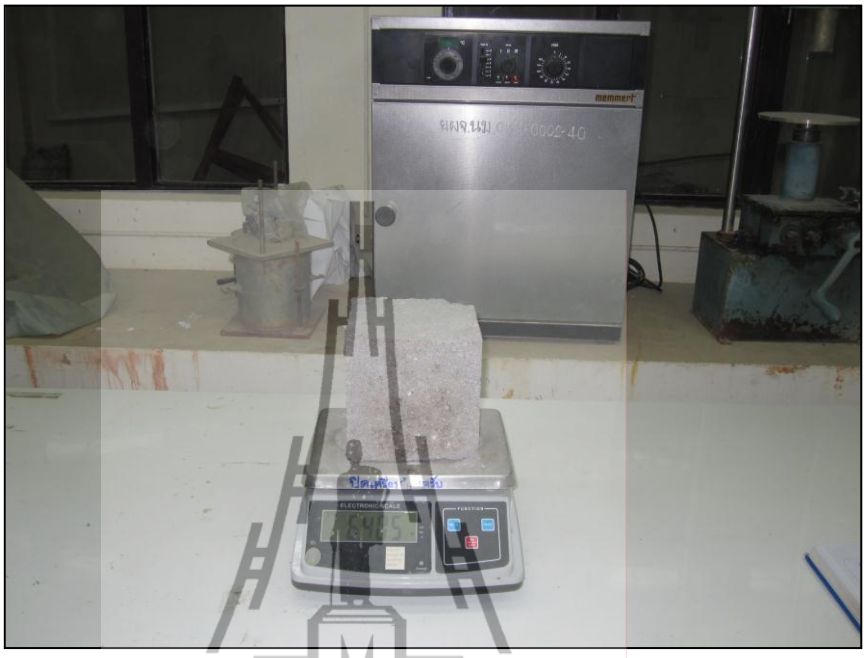
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปการชั่งน้ำหนักตัวอย่างเพื่อหาหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

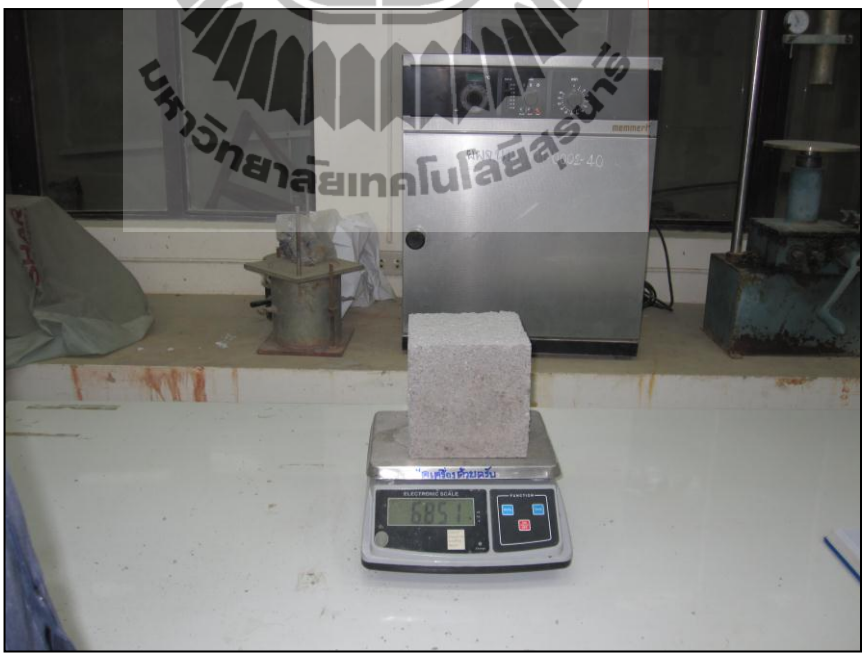
รูปที่ ค.10 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต 80:20 W/B 0.50



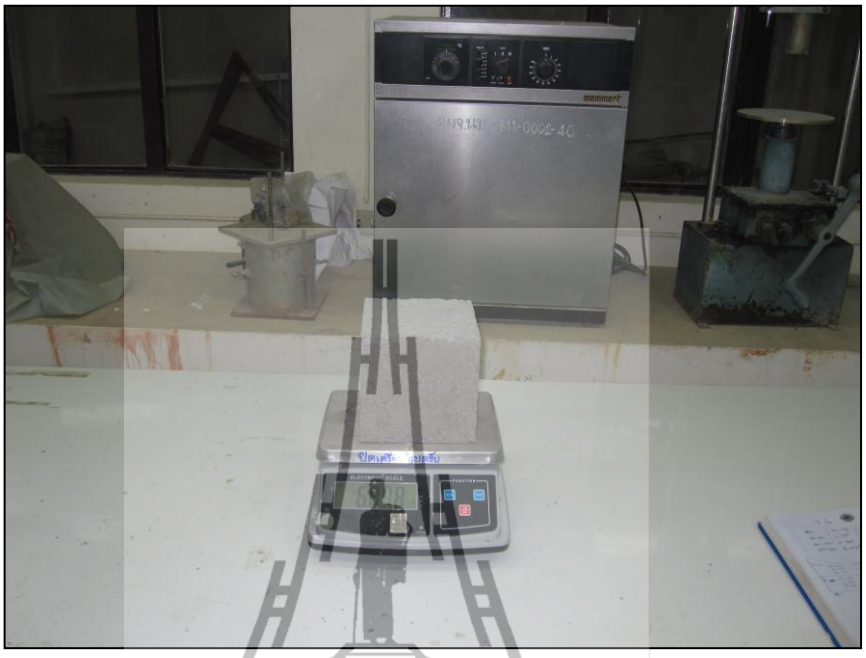
รูปที่ ค.11 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต 60:40 W/B 0.50



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

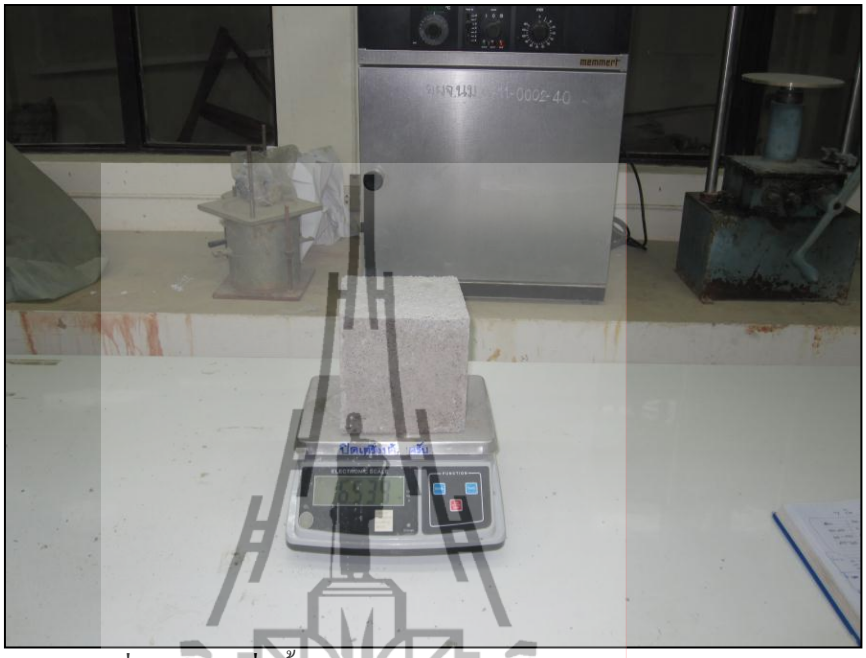


รูปที่ ค.13 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต 80:20 W/B 0.75

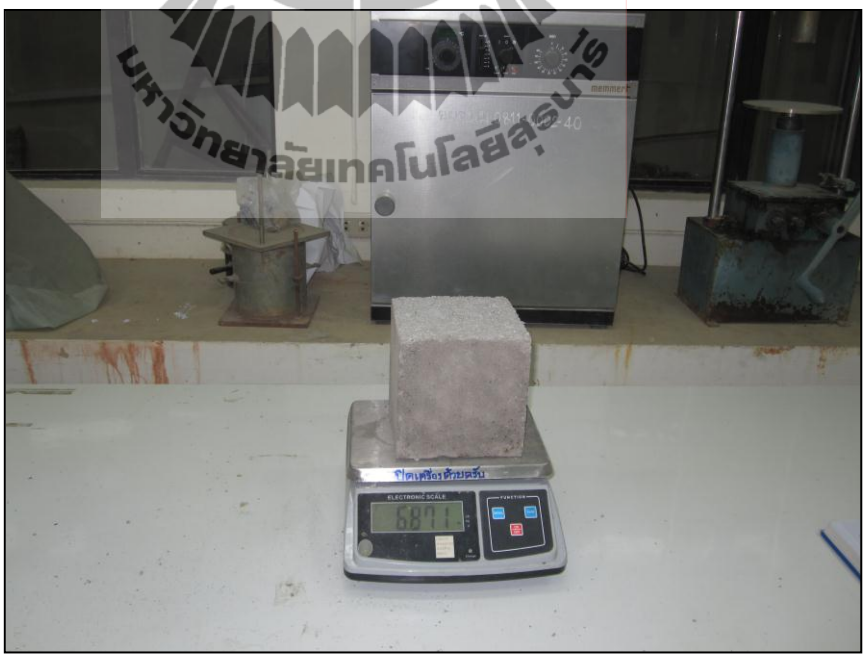


รูปที่ ค.14 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต 60:40 W/B 0.75

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



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



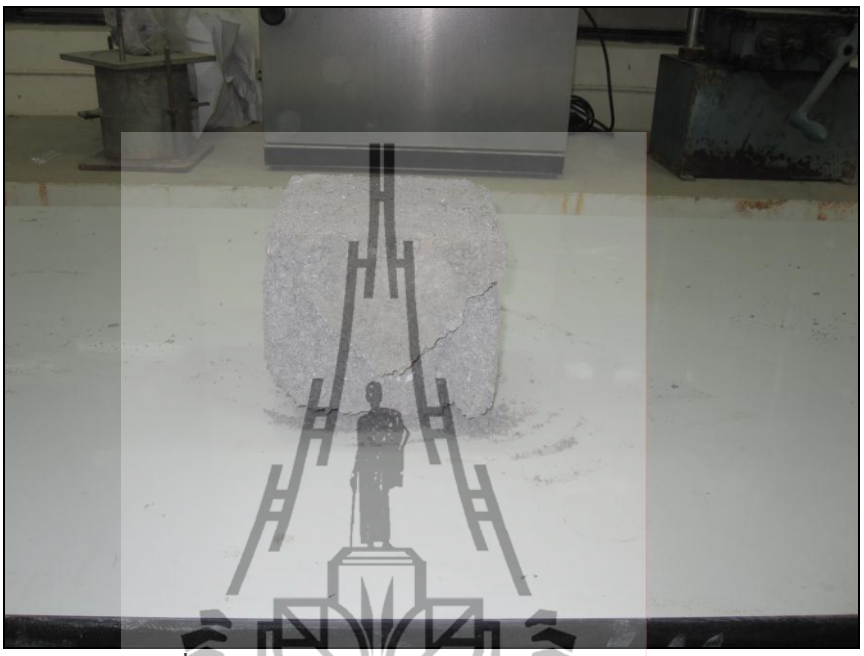
รูปที่ ค.17 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีต 60:40 W/B 1.00

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

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

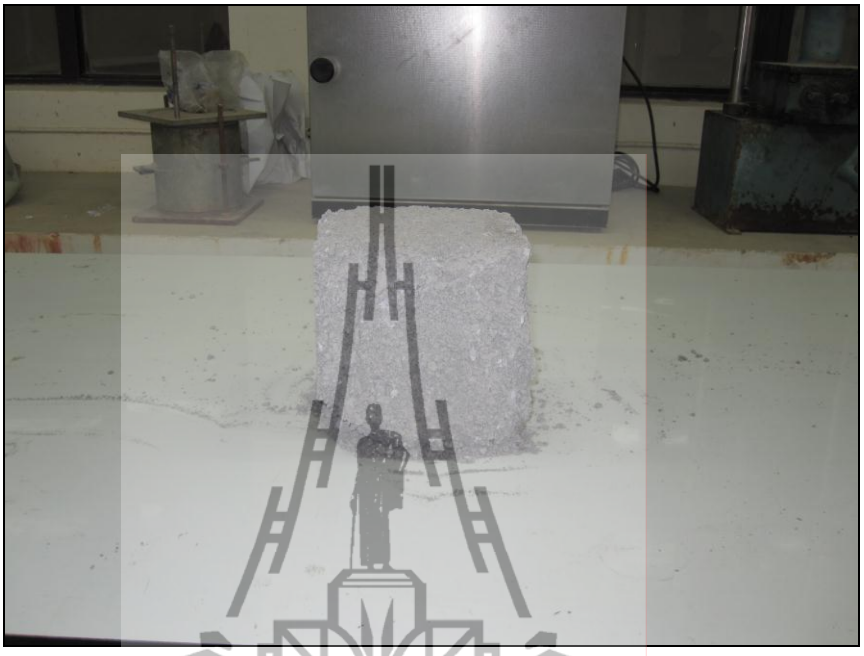
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปการวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก

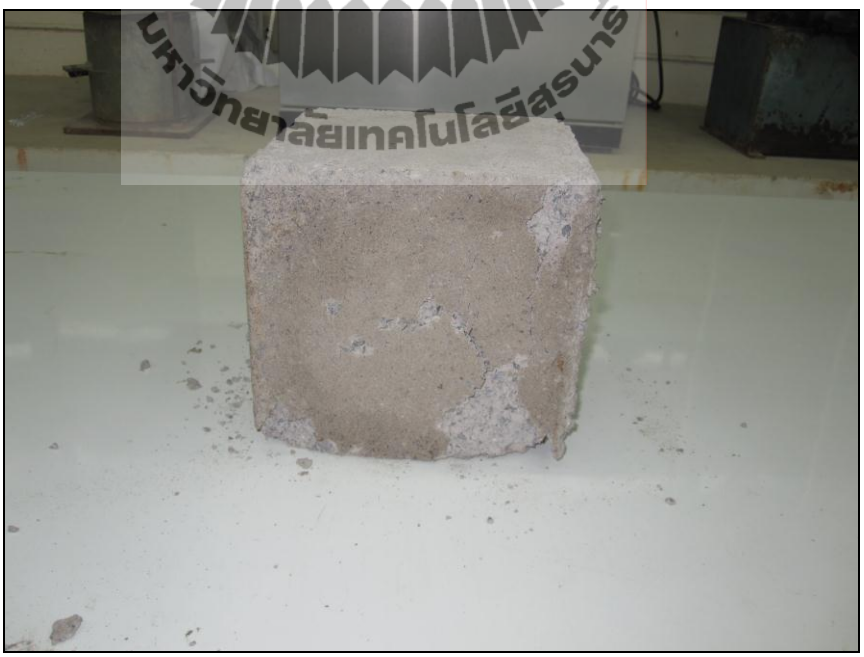


รูปที่ ค.19 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 80:20 W/B 0.50

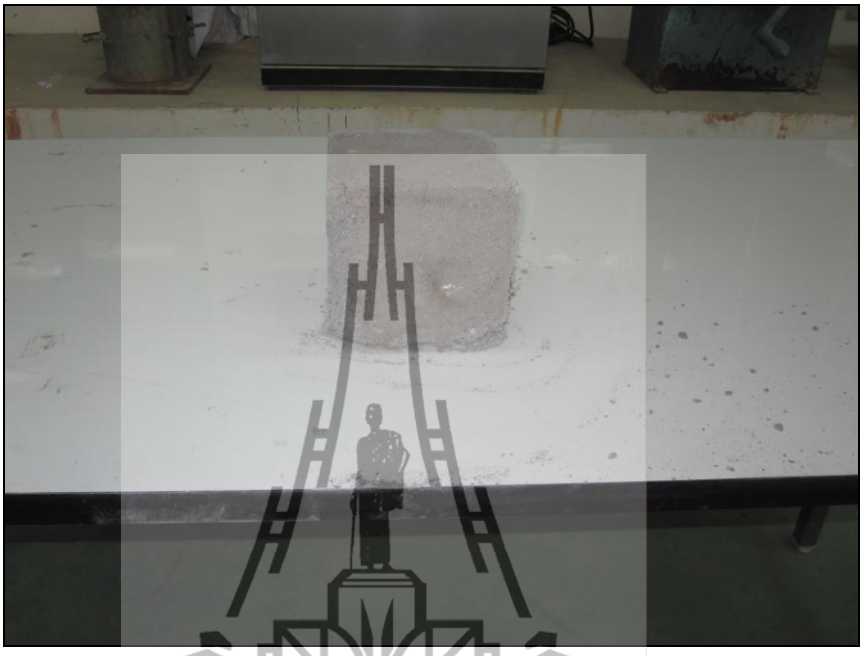
รูปที่ ค.20 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 60:40 W/B 0.50



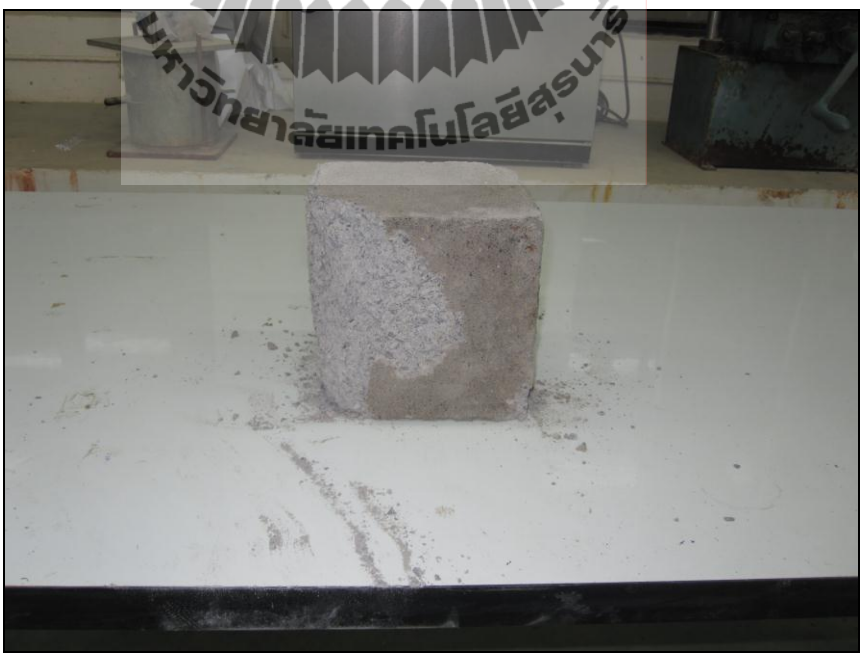
รูปที่ ค.21 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 40:60 W/B 0.50



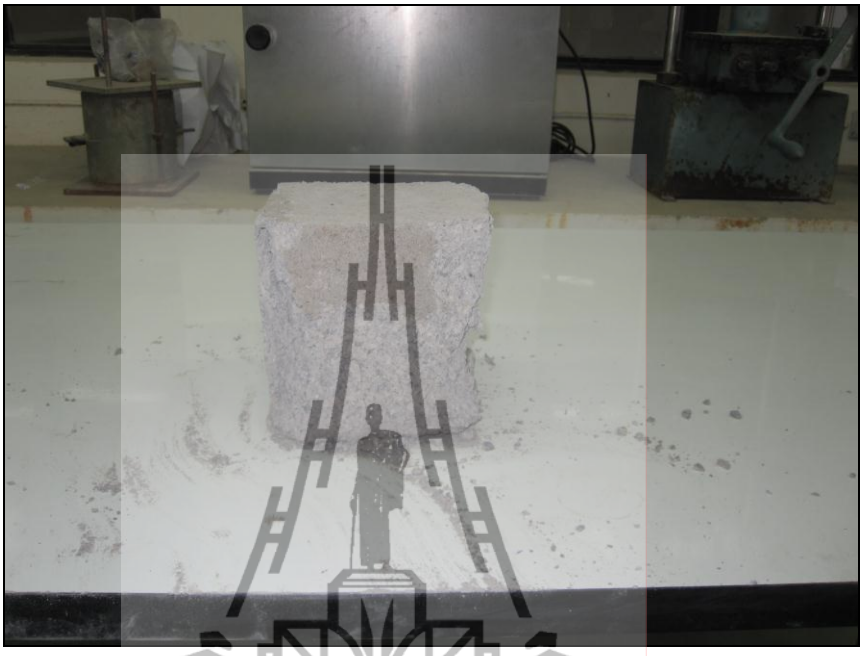
รูปที่ ค.22 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 80:20 W/B 0.75



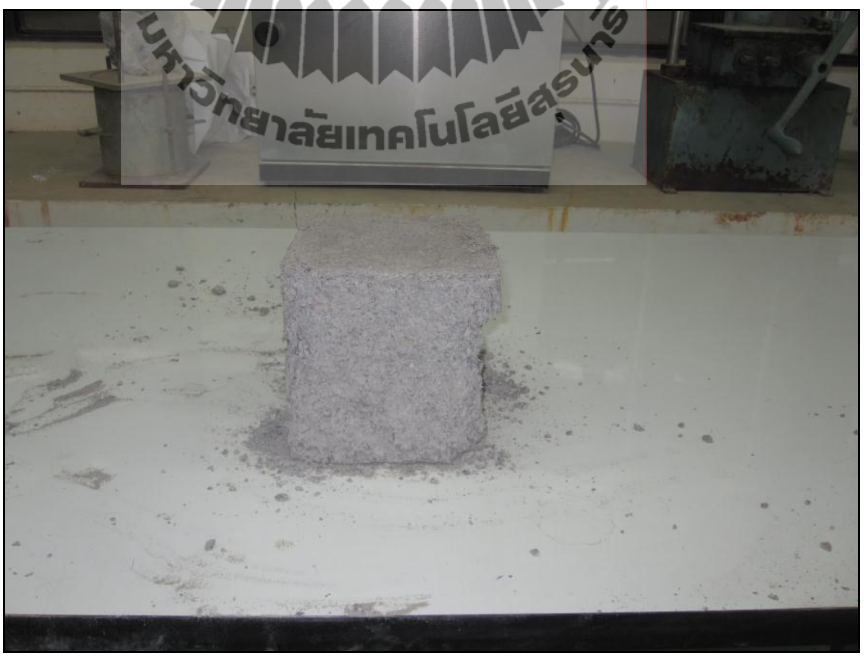
รูปที่ ค.23 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 60:40 W/B 0.75



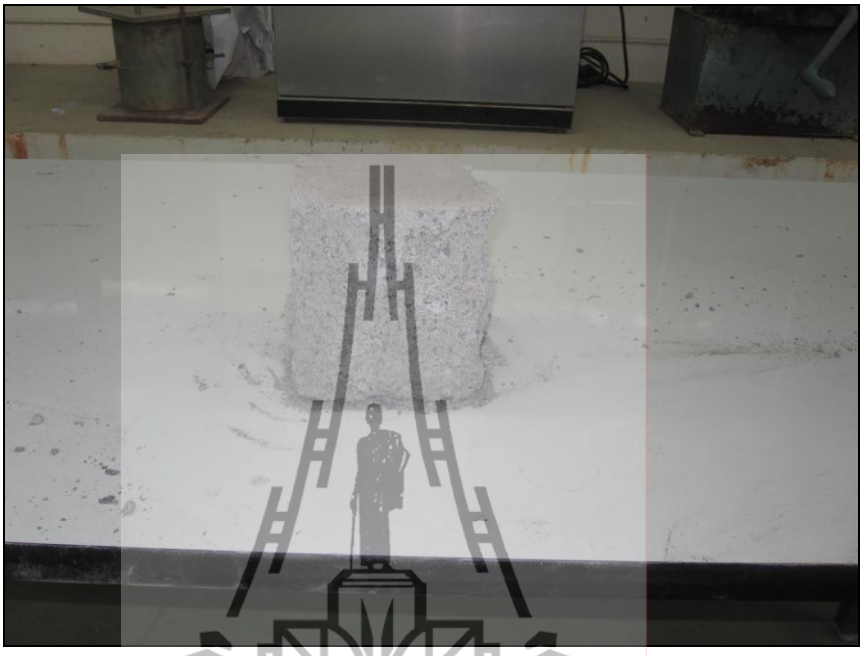
รูปที่ ค.24 การวิบัติของแท่งตัวอย่าง 40:60 W/B 0.75



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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายวรากร หมั่นสระเกษ เกิดเมื่อวันที่ 23 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2524 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา)จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีพุทธศักราช 2548 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานในบริษัทอิมเมจ คอนสตรัคชั่น ตำแหน่ง วิศวกรประจำโครงการ ต่อมาได้รับการบรรจุแต่งตั้งในตำแหน่งวิศวกร 6 สังกัดกองก่อสร้างสะพาน ศูนย์สะพาน การรถไฟแห่งประเทศไทย ปัจจุบันรับราชการตำแหน่ง วิศวกรโยธาปฏิบัติการ สำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ต่อมาเข้าศึกษาในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีพุทธศักราช 2553

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี