การพัฒนาคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักโดยมีส่วนผสมเพิ่มของเถ้าลอย

นายศราวุธ ปฏิญญาศักดิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2560

การพัฒนาคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักโดยมีส่วนผสมเพิ่มของเถ้าลอย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

_____

(ศ. ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข)
ประธานกรรมการ

_____

(ผศ. ดร.ปรียาพร โกษา)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

_____

(ดร.อิทธิกร ภูมิพันธ์)
กรรมการ

_____

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ศราวุธ ปฏิญญาศักดิ์ : การพัฒนาคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักโดยมีส่วนผสมเพิ่มของเถ้าลอย (STRENGTH DEVELOPMENT OF HOLLOW NON-BEARING CONCRETE MASONRY UNITS USING FLY ASH AS AN ADDITIVE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียาพร โกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เถ้าลอยในการแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อลดต้นทุนวัสดุในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก รวมทั้งนำเสนออัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่อัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อหาอัตราส่วนเหมาะสม โดยที่กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ต้องมีค่ามากกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.58-2533 อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ : ทราย : หินฝุ่นในงานวิจัยนี้เท่ากับ 1 : 2 : 6 ทรายที่ใช้แทนที่หินฝุ่นบางส่วนช่วยลดต้นทุนและเพิ่มการยึดเกาะ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับผลิตคอนกรีตบล็อกในงานผนังไม่รับน้ำหนักคือ 0.2 : 0.8 ซึ่งจะให้ต้นทุนวัสดุในการผลิตต่อหน่วยเท่ากับ 2.22 บาทต่อก้อน ขณะที่ ต้นทุนวัสดุในอัตราส่วนผสมเดิมเท่ากับ 2.98 บาทต่อก้อน (ลดต้นทุนลงได้ 0.76 บาทต่อก้อน)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2560 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

SRAVUT PATINYASAK : STRENGTH DEVELOPMENT OF HOLLOW NON-BEARING CONCRETE MASONRY UNITS USING FLY ASH AS AN ADDITIVE. ADVISOR : ASST. PROF. PREEYAPHORN KOSA, Ph.D.

This research aims to investigate the feasibility of using fly ash to replace cement in order to reduce a cost of materials used in hollow non-bearing concrete block production. The industrial standard compressive strength of the hollow non-bearing concrete block must be higher than 25 ksc. The weight ratio of cement, sand and dust stone used in this research was 1 : 2 : 6. The sand replacement reduced cost and increased adhesion of the non-bearing concrete. The results showed that the compressive strength of concrete blocks decreased as the cement to fly ash ratio increased. A suitable cement to fly ash ratio for manufacturing the economic non-bearing concrete was 0.2 : 0.8 whose material cost was 2.22 baht/ unit. While the material unit cost by the existing formula was 2.98 baht (material cost was decreased by 0.76 baht.)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Construction and Infrastructure Management Student's Signature_____

Academic Year 2017 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียาพร โกษา อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข ประธานกรรมการสอบโครงงานวิจัย ดร.อิทธิกร ภูมิพันธ์ กรรมการสอบโครงงานวิจัย ซึ่งได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการให้คำปรึกษา ให้คำสอน ข้อชี้แนะ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำการศึกษาวิจัยในทุกขั้นตอนตลอดมา และได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อเครื่องมือทำการทดสอบ และ ร้านจิตลิญาวัสดุก่อสร้าง ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์และเครื่องไม้เครื่องมือในการทำวิจัย ครั้งนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา – มารดา ผู้ให้กำเนิดของผู้วิจัย ที่ได้ให้การอุปการะเลี้ยงดูส่งเสียให้ได้รับการศึกษาตลอดมา ได้อบรมสั่งสอนแนวคิดและการปฏิบัติตนทำให้ผู้วิจัยมีวันนี้ได้ รวมถึงหลาย ๆ กำลังใจจากญาติพี่น้อง และครอบครัวที่เป็นกำลังใจอย่างยิ่ง รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ทุกท่านที่มิได้เอ่ยนามทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งเป็นสถาบันการศึกษาที่เปิดสอนหลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสเข้ามาศึกษาจนสำเร็จได้ในวันนี้

ศราวุธ ปฏิญญาศักดิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูปภาพ ..... ซ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2

1.3 ขอบเขตการศึกษา 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 3

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 คอนกรีตบล็อก 4

2.1.1 คอนกรีตบล็อกสำหรับปูผนัง 4

2.1.2 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น 7

2.1.3 เกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น 7

2.2 เถ้าลอย (Fly ash) 9

2.2.1 คุณสมบัติพื้นฐาน และคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอย 9

2.2.2 รูปร่างของเถ้าลอย 11

2.2.3 ความละเอียด 12

2.2.4 การหาดัชนีกำลัง 13

2.2.5 โครงสร้างผลึกอสัณฐาน 13

2.2.6 โครงสร้างผลึก 13

2.3 วัสดุผสม (Aggregates) 15

2.3.1 วัสดุผสมละเอียด 15

2.3.2 วัสดุผสมหยาบ 15

2.3.3 ส่วนคละของวัสดุผสม 16

2.4 ปูนซีเมนต์ 16

2.5 น้ำ 18
2.6 ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ 19
2.7 อัตราการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต 20
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20
3 วิธีดำเนินโครงงานวิจัย 23
3.1 การจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อก 23
3.2 วิธีการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก 24
3.3 การทดสอบมาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก 27
3.4 การประเมินต้นทุนการผลิตและผลประโยชน์ที่ได้รับ 28
4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล 30
4.1 ผลการทดสอบกำลังอัด 30
4.2 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก 32
4.3 การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น 33
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 37
5.1 คุณสมบัติด้านกำลังการรับแรงอัด 37
5.2 คุณสมบัติทางด้านกายภาพ 37
5.3 อิทธิพลของอายุการบ่ม 37
5.4 ต้นทุนการผลิตเปรียบเทียบต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุในการผลิตคอนกรีตบล็อกต่อก้อน 37
5.5 ข้อเสนอแนะ 37
เอกสารอ้างอิง 39
ภาคผนวก ก ตารางแสดงค่ากำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก 41
ประวัติผู้เขียน 52

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ความต้านแรงอัด และการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 58-2533) 6

2.2 ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2533) 6

2.3 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2544) 8

2.4 ข้อกำหนดทางด้านเคมีตามมาตรฐาน (ASTM C-618, 2005) 10

2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยแม่เมาะระหว่างปี พ .ศ.2533–2541 11

2.6 ความถ่วงจำเพาะความละเอียดและขนาดเฉลี่ยของอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยอำเภอแม่เมาะจังหวัดลำปาง (มอก. 2135-2545) 12

2.7 อัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบ (ประณต กุลประสูตร, 2541) 16

2.8 กำลังของคอนกรีตที่ลดลงเนื่องจากซัลเฟตที่ปนอยู่ในน้ำ (ประณต กุลประสูตร, 2541) 19

3.1 ตารางแสดงสัดส่วนผสมการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก 25

4.1 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก 30

4.2 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด 31

4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำโดยเฉลี่ย 32

4.4 ต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.8 : 0.2 34

4.5 ต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.6 : 0.4 34

4.6 ต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.5 : 0.5 35

4.7 ต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.4 : 0.6 35

4.8 ต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.2 : 0.8 36

ก.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 3 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0 42

ก.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 3 วันอัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.8 : 0.2 42

ก.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 3 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.6 : 0.4 43

ก.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 3 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.5 : 0.5 43

ก.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 3 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.4 : 0.6 44
ก.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 3 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.2 : 0.8 44
ก.7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 7 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0 45
ก.8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 7 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.8 : 0.2 45
ก.9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 7 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.6 : 0.4 46
ก.10 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 7 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.5 : 0.5 46
ก.11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 7 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.4 : 0.6 47
ก.12 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 7 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.2 : 0.8 47
ก.13 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 28 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0 48
ก.14 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 28 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0 48
ก.15 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 28 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.6 : 0.4 49
ก.16 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 28 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.5 : 0.5 49
ก.17 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 28 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.4 : 0.6 50
ก.18 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 28 วัน อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.2 : 0.8 50
ก.19 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด 51
ก.20 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก 51

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	คอนกรีตบล็อก	2
2.1	คอนกรีตบล็อกปูผนังแบบกลวงมาตรฐาน แบบและขนาดต่างๆ	5
2.2	Scanning Electron Microscope (SEM) เถ้าลอยขยาย (1,000 เท่า)	12
2.3	แบบจำลองโครงสร้างของซิลิกาอสัณฐาน	13
2.4	ทรงสี่หน้าของ SiO_4 (SiO_4 tetrahedral) (Deer et al.,1971)	14
2.5	โครงสร้างผลึกของ α-ควอร์ชโครงสร้างผลึกของ α-ควอร์ช ฉายลงบน (0001) (Deer et al., 1971)	15
2.6	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ตราทีพีไอ	18
3.1	รูปแบบก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก และขนาดที่ผลิต	24
3.2	การผสมส่วนผสมด้วยโม่	25
3.3	การลำเลียงส่วนผสมขึ้นสายพาน	25
3.4	การอัดขึ้นรูปจากเครื่องอัดไฮโดรลิก	26
3.5	การแกะคอนกรีตบล็อกออกจากแบบ	26
3.6	การบ่มโดยการปล่อยแห้งตามธรรมชาติ	26
3.7	การทดสอบการดูดซึมน้ำ	27
3.8	การทดสอบกำลังรับแรงอัด	28
4.1	กราฟค่าเฉลี่ยผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด	31

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

งานผนังโดยทั่วไปนิยมใช้วัสดุจำพวกของอิฐมาใช้ในงานก่อสร้างซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบไปมากมายและมีหลากหลายประเภท ทั้งอิฐที่ใช้ดินเป็นวัตถุดิบหลัก เช่น อิฐมอญหรืออิฐก่อสร้างสามัญหรืออิฐมาตรฐาน และอิฐที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัตถุดิบ เช่น อิฐบล็อก หรือคอนกรีตบล็อก คอนกรีตมวลเบา หรืออิฐมวลเบา หรือใช้ทั้ง 2 อย่างเช่น อิฐประสาน หรืออิฐดินซีเมนต์ ซึ่งวัสดุในการก่อแต่ละชนิดจะมีกระบวนการในการผลิต การขึ้นรูป คุณสมบัติ และการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกใช้สินค้าจึงต้องศึกษาและเลือกใช้ให้เหมาะสม งานผนังจัดได้ว่าเป็นส่วนประกอบหลักที่มีความสำคัญต่องานอาคาร ซึ่งมีทั้งผนังภายนอกอาคาร ได้แก่ งานรั้วบ้าน และงานรั้วแบ่งแปลง เป็นต้น และผนังภายในอาคาร โดยจำแนกออกได้เป็น 2 รูปแบบตามการลักษณะการใช้งาน คือ งานผนังสำหรับรับน้ำหนัก) Load bearing block และงานผนังที่ไม่รับน้ำหนัก (Non-load bearing block) เป็นต้น

คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (Non-Load Bearing Concrete Masonry Units) ซึ่งหมายถึงคอนกรีตบล็อกใช้สำหรับผนังที่ออกแบบไม่รับน้ำหนักบรรทุกใด ๆ นอกจากน้ำหนักตัวเอง แสดงดังรูปที่ 1.1 เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในก่อสร้างผนังและกำแพงจำนวนมาก การผลิตคอนกรีตบล็อกในปัจจุบันใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้องใช้พลังงานสูง เริ่มตั้งแต่การระเบิดวัสดุต้นแหล่ง การย่อย การลำเลียง การเผาที่อุณหภูมิ 1400-1600 องศาเซลเซียส ตลอดจนการบดให้ละเอียด ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่มีผลทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect) เพื่อลดผลกระทบจากการเกิดมลภาวะของการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ อุตสาหกรรมคอนกรีตในประเทศไทยจึงได้มีการนำวัสดุปอซโซลานที่เป็นผลพลอยได้ (By product) จากอุตสาหกรรมต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เช่น เถ้าถ่านหินและเถ้าแกลบ โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดต้นทุน หรือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการให้ดีขึ้น แต่เนื่องจากวัสดุปอซโซลานไม่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานด้วยตัวมันเอง จึงนำมาแทนปูนซีเมนต์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เมื่อใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนจะทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกลดลง อย่างไรก็ตาม คอนกรีตบล็อกชนิดนี้เป็นคอนกรีตบล็อกที่มีกำลังรับแรงอัดต่ำ ประมาณ 25 กก./ตร.ซม. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก.58-2533) ซึ่งงานวิจัยนี้คาดว่าเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยบางส่วน คอนกรีตบล็อกนี้จะสามารถรับกำลังอัดได้มากกว่า 25 กก./ตร.ซม. และสามารถนำไปใช้งานได้ นอกจากนี้ การใช้

วัสดุทดแทนมวลรวมละเอียดทดแทนหินฝุ่นในการผลิตคอนกรีตก็เป็นแนวคิดในที่ช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน

รูปที่ 1.1 คอนกรีตบล็อก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้เถ้าลอยลิกไนต์ มาผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยการเพิ่มส่วนผสมของเถ้าลอยถ่านหินในการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน โดยจะหาสัดส่วนที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรม เลขที่ มอก.58-2533 และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ โดยการผลิตก่อนทำการศึกษาใช้ส่วนผสมปกติคือ ปูนซีเมนต์ ทรายและหินฝุ่นในอัตราส่วน 1:2:6 มีต้นทุนวัสดุหินฝุ่น+ทราย+ปูนซีเมนต์เท่ากับ 1.48+0.16+1.34 = 2.98 บาทต่อก้อน จำหน่ายในราคาก้อนละ 5 บาท มีกำไรเบื้องต้นก้อนละ 2.02 บาท โดยยังไม่รวมค่าใช้จ่ายค่าแรงงานผลิตก้อนละ 0.7 บาท ค่าขนส่ง ค่าเครื่องจักร ค่าน้ำมัน ค่าไฟฟ้า ซึ่งเมื่อรวมต้นทุนต่าง ๆแล้วทำให้เหลือกำไรต่อก้อนน้อย จึงได้คิดนำเอาเถ้าลอยถ่านหินมาเป็นส่วนผสมแทนปูนซีเมนต์บางส่วนเพราะปัจจุบันปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์มีราคาต้นทุนที่ 2 และ 0.6 บาทต่อกิโลกรัมตามลำดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ เถ้าลอย ที่เหมาะสม สำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์และประเมินต้นทุนการผลิตและผลประโยชน์เบื้องต้นของการคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ รวมถึงสถานที่ ใช้ที่ร้าน จิตลิญาคอนกรีตและวัสดุก่อสร้าง เลขที่ 171/1 หมู่ 17 ตำบลกระทุ่มราย อำเภอประทาย จังหวัดนครราชสีมา

1.3.2 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่

1.3.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตรา TPI

1.3.2.2 หินฝุ่น จากโรงโม่หิน จังหวัดเลย

1.3.2.3 เถ้าลอยถ่านหิน ใช้จากโรงงานผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จังหวัดลำปาง

1.3.2.4 ทราย ใช้จากบ่อทราย อำเภอชุมพวง จังหวัดนครราชสีมา

1.3.3 ขนาดผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ความกว้าง 70 มิลลิเมตร ความยาว 390 มิลลิเมตร ความสูง 190 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 58-2530 อ้างจาก ASTM C129-80 Standard Specification for Hollow Non-Load Bearing Concrete Masonry Unites

1.3.4 ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมของหินฝุ่นและทราย เท่ากับ 1:8 และศึกษาหาส่วนผสมที่เหมาะสมและต้นทุนต่ำ โดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยถ่านหิน และทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 58-2533

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ทราบส่วนผสม (ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย หินฝุ่น ทราย) ที่เหมาะสม สำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ตามมาตรฐาน เลขที่ มอก. 58-2533 และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ

1.4.2 ได้อัตราส่วนผสมใหม่ไปผลิตและขายเพื่อแข่งขันในตลาดได้สำเร็จ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุก่อสร้างนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยใช้ก่อเป็นผนังกั้นและกำแพงทั้งภายในและภายนอกของอาคาร หรือก่อเป็นพื้นทางเท้า ถนน เป็นต้น ด้วยสมบัติในการทนไฟและระบายความร้อนได้ดี น้ำหนักเบา แข็งแรงทนทาน ขนาด และคุณภาพได้ตามมาตรฐาน ทำให้คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุที่มีประโยชน์อย่างมากต่องานก่อนสร้าง คอนกรีตบล็อกที่ดีต้องมีสมบัติได้มาตรฐานที่กำหนด โดยสมาคมทดสอบวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (The American Society for Testing and Materials, ASTM) หรือตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ของประเทศไทย

คอนกรีตบล็อก หมายถึง แท่งคอนกรีตที่ทำจากซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสม ที่เหมาะสมชนิดต่าง ๆ เช่น กรวด ทราย หินย่อย และอาจมีสารอื่นๆที่เหมาะสมปนอยู่ด้วย อัดเข้าแบบมาตรฐานเป็นบล็อกต่าง ๆ คอนกรีตบล็อกสามารถแบ่งออกตามประโยชน์ในการใช้สอยเป็นคอนกรีตบล็อกสำหรับปูผนัง และคอนกรีตบล็อกสำหรับปูพื้น

2.1.1 คอนกรีตบล็อกสำหรับปูผนัง

คอนกรีตบล็อกสำหรับปูผนังสามารถจำแนกออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

2.1.1.1 คอนกรีตบล็อกปูผนังแบบกลวง (Hollow concrete block)

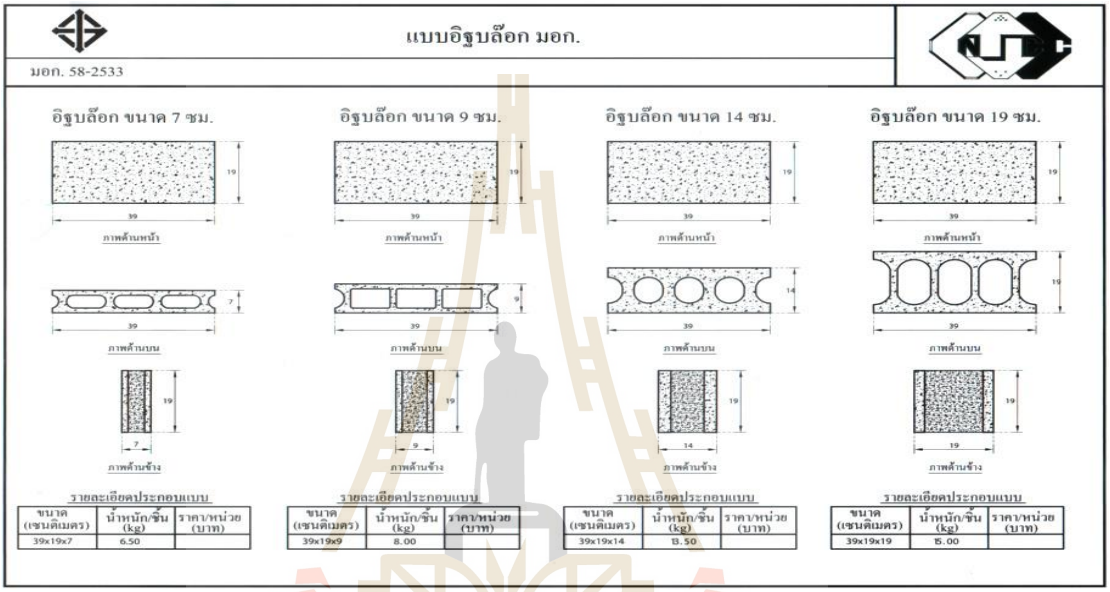
เป็นคอนกรีตบล็อกที่มีลักษณะกลวง แบ่งเป็น 2 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ได้แก่

ก. คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (Hollow Load-bearing concrete masonry unit)

คอนกรีตบล็อกชนิดที่สามารถรับน้ำหนักได้ ใช้สำหรับผนังที่ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุก และน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเอง ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทควบคุมความชื้น และประเภทไม่ควบคุมความชื้น ซึ่งในแต่ละประเภทแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ

- ชั้นคุณภาพ ก ใช้สำหรับกำแพงภายนอกทั้งต่ำกว่าและเหนือระดับดิน โดยไม่มีการป้องกันผิว ใช้ในกรณีกันการรั่วซึมจากน้ำใต้ดินหรือฝน
- ชั้นคุณภาพ ข ใช้สำหรับกำแพงภายนอกทั้งต่ำกว่าและเหนือกว่าระดับดิน แต่มีการป้องกันผิว

- ชั้นคุณภาพ ค ใช้ทั่วไปสำหรับกำแพงภายใน และกำแพงภายนอกเหนือระดับดิน ที่มีการป้องกันความเสียหาย เนื่องจากดินฟ้าอากาศ
- ความต้านแรงอัด และการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักต้องเป็นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก.58-2533) แสดงดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.1 คอนกรีตบล็อกปูผนังแบบกลวงมาตรฐาน แบบและขนาดต่าง ๆ

ที่มา : http://www.nttc.co.th/product.php?id=12#

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.1 ความต้านแรงอัด และการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 58-2533)

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงอัดต่ำสุด (เมกะปาสคาล)				การดูดกลืนน้ำสูงสุด เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
	เฉลี่ยจากพื้นที่รวม		เฉลี่ยจากพื้นที่สุทธิ		น้ำหนักคอนกรีตเมื่ออบแห้ง (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
	เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน	เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน						
ก	7	5.5	14	11	240	244	208	192	176	160
ข	7	5.5	-	-	288	272	256	240	244	208
ค	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-

ข. คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (Hollow non-Load-bearing concrete masonry unit)

คอนกรีตบล็อกชนิดที่ไม่สามารถรับน้ำหนักใด นอกจากน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเอง ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทควบคุมความชื้น และประเภทไม่ควบคุมความชื้น ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักต้องเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 5-2533) แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2533)

ความต้านแรงอัดต่ำสุด (kg/cm^2)	
เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน
25 kg/cm^2	20 kg/cm^2

2.1.1.2 คอนกรีตบล็อกปูผนังแบบตัน (Solid concrete block)

เป็นคอนกรีตบล็อกปูผนัง สำหรับก่อผนังหรือกำแพงที่ผลิตเฉพาะชนิดที่สามารถรับน้ำหนักได้เท่านั้น

2.1.2 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (Interlock concrete paving block)

คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีลักษณะเป็นก้อนคอนกรีตตันที่สามารถนำมาวางเรียงประสานกันได้ต่อเนื่อง มีสีธรรมชาติหรืออาจมีผงสีเจือปนอยู่ทั้งบล็อกหรือเฉพาะที่ชั้นผิวหน้า และมีรูปร่างแบบใดก็ได้ เหมาะสำหรับใช้ปูพื้น เช่น ถนน ทางเท้า ลานจอดรถ และลานกองเก็บวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบโครงสร้างชั้นพื้นและชั้นรองพื้นให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งาน

ชนิดและขนาดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ใช้เกณฑ์ในการแบ่งประเภท โดยพิจารณาถึงลักษณะรูปร่างของคอนกรีตบล็อกซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ผลิตรายละเอียดของบล็อกแต่ละชนิด

1. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นซีแพค 6 เซนติเมตร สำหรับปูทางเท้าและจอดรถ ถนนภายในอาคาร
2. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นซีแพค 10 เซนติเมตร สำหรับใช้งานที่ต้องการรับน้ำหนักสูง อาทิ ลานจอดรถในโรงงาน พื้นโกดังสินค้า ถนนสาธารณะ
3. ขอบคันหินซีแพค สำหรับก่อทำขอบคันทางเดินหรือขอบของถนนที่ปูด้วยบล็อกชนิดนี้ให้มีความเรียบร้อยสวยงาม
4. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรูปตัว “ไอ” เพื่อความสะดวกละรวดเร็วในการปูซ้อนเพื่อทำพื้นถนน

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

1. ปูง่ายสะดวกรวดเร็ว เสร็จแล้วใช้งานได้ทันที คอนกรีตบล็อกปูถนนออกแบบมาให้สามารถล็อกกันได้ในตัว
2. สะดวกและง่ายในการซ่อมบำรุง ด้วยเหตุที่มีรูปร่างลักษณะเป็นก้อนกันต่อเนื่อง คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจึงไม่มีการแตกหักเป็นรอยร้าว เช่น พื้นคอนกรีตทั่วไป แต่ในกรณีที่จำเป็นต้องเปลี่ยนหรือซ่อมก็สามารถถอดเปลี่ยนได้เฉพาะก้อน

2.1.3 เกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

1. มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรมให้เป็นไปตามตารางที่ 2.3 แต่ มาตรฐาน ASTM C936-82 ได้กำหนดมิติอย่างกว้างๆ โดยคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแต่ละก้อนต้องมีความกว้าง และความยาวไม่เกิน 140 และ 240 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความหนาต้องไม่มากกว่า 140 มิลลิเมตร

เกณฑ์ความคลาดเลื่อนของความกว้างและความยาวกำหนดโดย ASTM C936-82 มีค่า ±1.6 มิลลิเมตร ขณะที่ความคลาดเคลื่อนของความหนามีค่าเท่ากันหมดคือ ±3.2 มิลลิเมตร โดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C140-96

2. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นต้องมีเนื้อแน่น ไม่ร้าวและสีของชั้นผิวหน้าต้องสม่ำเสมอ การทดสอบทำโดยการตรวจพินิจ
3. ความได้ฉาก
   - คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่มีเกณฑ์กำหนดของความหนาไม่เกิน 80 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากได้ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร
   - คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่มีเกณฑ์กำหนดของความหนาเกิน 8 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2.3 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2544)

มิติ	**เกณฑ์ที่กำหนด (มิลลิเมตร)**	**เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)**
ความกว้าง และความยาว	ไม่เกิน 295	±2
ความหนา	60	±2
	80	±2
	100	±3
	120	±3
ความหนาของชั้นผิวหนา (เฉพาะชั้นผิวที่ทำเป็นสี)	ต่ำสุด 3	

4. ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแต่ละก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 35 เมกะปาสคาล และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 40 เมกะปาสคาล ขณะที่ ASTM C936-82 กำหนดให้แต่ละก้อนของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 50 เมกะปาสคาล โดยให้ค่าเฉลี่ยมากกว่า 55 เมกะปาสคาล ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C140-96 โดยคอนกรีตบล็อกที่นำมาทดสอบต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 7 วัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2 เถ้าลอย (Fly Ash)

เถ้าลอยหรือเถ้าถ่านหิน (fly ash หรือpulverized fuel ash) ได้จากการเผาถ่านหินในโรงงานโรงไฟฟ้าถ่านหินเถ้าลอยจะถูกดักจับไว้ด้วยตัวดักจับแล้วรวบรวมเก็บไว้ในไซโลมีสีเทาเทาดำหรือน้ำตาลเถ้าลอยมีคุณสมบัติเป็นปอซโซลาน (pozzolan) สังเคราะห์ประเภทหนึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นอัญรูปของ ซิลิกาและอลูมินาเมื่ออยู่ในสภาพแห้งและป่นเป็นฝุ่นไม่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะระหว่างอนุภาคแต่เมื่อสัมผัสเข้ากับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับสาร $Ca(OH)_2$และเกิดเป็นสารใหม่ที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน (cementitious substance) ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหินอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาและช่วงเวลาของการเผาดังนั้นคุณภาพและความสม่ำเสมอของเถ้าลอยจึงขึ้นอยู่กับแหล่งที่เผาถ่านหิน

2.2.1 คุณสมบัติพื้นฐาน และคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอย

ก่อนที่จะกล่าวถึงคุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอยควรทราบกฎเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ในการพิจารณาควบคุมคุณภาพของเถ้าลอยที่จะนำมาใช้ในการผสมคอนกรีตมีหน่วยงานวิจัยหลายหน่วยงานได้กล่าวถึงคุณสมบัติและข้อกำหนดที่ใช้เป็นมาตรฐานที่อ้างอิงถึงจะมี 2 แห่งด้วยกันคือ American Concrete Institute (ACI) และ American Society for Testing and Material (ASTM) ในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอยตาม ASTM C-618 และ ASTM C-593 เพื่อควบคุมคุณภาพและคัดเลือกเถ้าลอยมาใช้ในงาน

American Society for Testing and Material (1995) จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี โดยใช้เทคนิค X-ray fluorescence เถ้าลอยทั่วไปประกอบด้วยองค์ประกอบออกไซด์ของแร่ธาตุต่าง ๆ ได้แก่ ซิลิกออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เป็นต้น ส่วนประกอบทางเคมีเหล่านี้จะมีค่าต่างกันในเชิงปริมาณตามแหล่งหรือชนิดของถ่านหินขบวนการเผาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผามาตรฐาน ASTM C-618 แยกเถ้าลอยเป็น Class F และClass C ซึ่งมีปริมาณส่วนประกอบดังในตารางที่ 2.4

สำหรับข้อกำหนดทางเคมีตามมาตรฐาน ASTM C-618 ใช้ผลรวมของปริมาณออกไซด์ของซิลิกาอลูมินาและเหล็กในเถ้าลอยโดยที่ Class F และClass C ต้องมีผลรวมร้อยละของออกไซด์ดังกล่าวอย่างน้อย 70 และ 50 ตามลำดับ เพื่อให้มั่นใจว่าเถ้าลอยสามารถเกิดปฏิกิริยาอย่างเพียงพอนอกจากนี้ ยังมีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิคในระยะยาวด้วย สำหรับร้อยละของปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) กำหนดไม่ให้เกินร้อยละ 5 เพราะซัลเฟอร์มีผลเสียต่อการพัฒนาความสามารถในการรับกำลังอัดระยะเวลาก่อตัวได้และยังมีผลเสียต่อคอนกรีตที่แข็งตัวอีกด้วยนอกจากนี้ยังมีส่วนทำให้เกิดการกัดกร่อนจากซัลเฟต

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดทางด้านเคมีตามมาตรฐาน (ASTM C-618, 2005)

Chemical composition	Class of Fly Ash	
	F	C
ผลรวมของปริมาณซิลิกาออกไซด์อลูมินาออกไซด์และเหล็กออกไซด์ (SiO_2 + Al_2O_3และFe_2O_3), min %	70.0	50.0
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3), max %	5.0	5.0
ปริมาณความชื้น, max %	3.0	3.0
น้ำหนักที่สูญหายเนื่องจากาการเผา (Loss on ignition (LOI), max %	6.0	6.0
อัลคาไลน์ในรูปของโซเดียมไดออกไซด์ (Na_2O), max %	1.5	1.5

ความชื้นของเถ้าลอยไม่ควรเกินร้อยละ 3 มิฉะนั้นจะเป็นอุปสรรคต่อการปฏิบัติงานซึ่งสำหรับเถ้าลอย Class C จะสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration) ได้ง่ายนอกจากนี้ยังมีการกำหนด ค่าน้ำหนักที่สูญหายเนื่องจากการเผา (Loss on ignition(LOI)) ไว้ไม่เกินร้อยละ6 ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในเถ้าลอยหากมี LOI มากการควบคุมในด้าน Air Entrainment ของคอนกรีตสดจะทำได้ยากและยังต้องการน้ำเพิ่มในคอนกรีตโดยทั่วไปแล้วเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าจะมีค่า LOI ต่ำกว่าร้อยละ 6 ปริมาณอัลคาไลน์ในรูปของโซเดียมออกไซด์ (Na_2O Equivalent) มากที่สุดไม่เกินร้อยละ1.5 ซึ่งเป็นข้อกำหนดเสริมใน ASTM C-618 เพราะเถ้าลอยมีปริมาณ CaO สูงจะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาของ Alkali-Aggregate ขึ้นได้ถ้าต้องการนำเถ้าลอยที่มีปริมาณอัลคาไลน์มากกว่าร้อยละ1.5 ไปใช้กับมวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยาจะต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการว่าไม่ปรากฏการขยายตัวจนเกิดความเสียหายได้

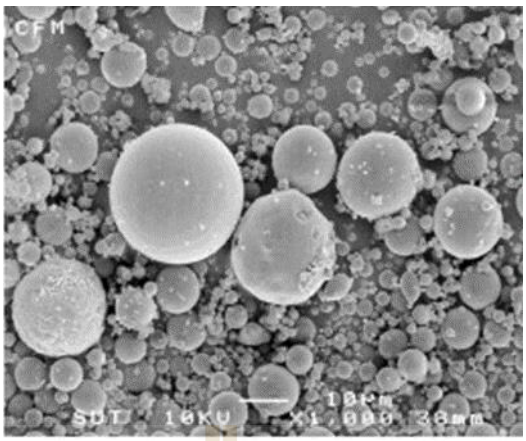
ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของเถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะ พ.ศ.2433 - 2541 คุณสมบัติโดยทั่วไปมีปริมาณออกไซด์ของ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 รวมกันมากกว่าร้อยละ 70 ปริมาณ CaO จะสูงกว่า ร้อยละ 10 ปริมาณ LOI ต่ำมากคือน้อยกว่าร้อยละ 1 นอกจากนี้ข้อที่น่าสังเกตคือปริมาณ Fe_2O_3 จะสูงกว่าเถ้าลอยแหล่งอื่นที่มีอยู่ในประเทศไทยส่วนมากจะมีค่าต่ำกว่าร้อยละ10 ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยแม่เมาะระหว่าง ปี พ.ศ. 2533–2541 (Prinya Chindaprasirt, De Silva, Sagoe-Crentsil, & Hanjitsuwan, 2012 ; Prinya Chindaprasirt, Jenjirapanya, & Rattanasak, 2014 ; Hanjitsuwan et al., 2014)

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยแม่เมาะระหว่างปี พ .ศ.2533–2541 (Prinya Chindaprasirt, De Silva, Sagoe-Crentsil, & Hanjitsuwan, 2012 ; Prinya Chindaprasirt, Jenjirapanya, & Rattanasak, 2014 ; Hanjitsuwan et al., 2014)

ปี พ.ศ.	องค์ประกอบทางเคมี								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	LOI
2533	37.8	20.5	14.2	17.4	3.3	0.9	2.1	3.9	0.8
2534	42.8	23.3	14.0	10.5	2.4	0.8	2.3	3.9	0.7
2535	40.3	24.0	15.0	11.2	2.8	1.0	2.6	3.1	0.5
2536	43.1	20.0	13.2	13.0	2.7	1.3	2.4	2.6	0.6
2537	52.8	18.0	8.5	13.3	1.4	0.9	2.0	2.8	0.3
2538	40.6	22.8	12.8	14.4	2.5	0.7	2.0	2.8	0.9
2539	40.6	23.6	23.0	13.0	2.5	1.2	3.0	2.4	0.7
2540	41.5	28.1	10.0	10.0	1.2	0.6	3.3	2.0	0.8
2541	37.3	22.1	11.4	11.4	2.7	1.1	2.7	2.5	0.1

2.2.2 รูปร่างของเถ้าลอย

อนุภาคเถ้าลอยโดยทั่วไปจะมีรูปร่างค่อนข้างกลมหรือเกือบกลมบางครั้งอาจพบลักษณะเป็นรูพรุนมีน้ำหนักเบาลอยน้ำได้หรืออาจมีรูปร่างไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผาถ่านหินซึ่งแตกต่างจากซีเมนต์ที่มีลักษณะเป็นแท่งหรือเหลี่ยมเมื่อถ่ายภาพอนุภาคของเถ้าลอยจากถ่านหินลิกไนต์อำเภอแม่เมาะจังหวัดลำปางโดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM) จะเห็นรูปร่างกลมดังรูปที่ 2.2 เมื่อเถ้าลอยทดแทนซีเมนต์ในคอนกรีตจะทำให้เนื้อคอนกรีตแน่นทึบและทำให้คอนกรีตลื่นไหลง่ายต่อการเทคอนกรีตบางชนิดต้องอาศัยคุณสมบัติเหล่านี้แต่ถ้ามีรูปร่างไม่แน่นอนหรือมีรูพรุนอาจมีผลต่อปริมาณน้ำที่ใช้มีผลให้กำลังอัดของส่วนผสมต่ำลงได้ (P. Chindaprasirt, Jaturapitakkul, Chalee, & Rattanasak, 2009)



รูปที่ 2.2 Scanning Electron Microscope (SEM) เถ้าลอยขยาย (1,000 เท่า) (Prinya Chindaprasirt, Chai Jaturapitakkul, Theerawat Sinsiri. 2005)

2.2.3 ความละเอียด (Fineness)

ขนาดหรือพื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าลอยจะบ่งบอกถึงความสามารถในการทำปฏิกิริยา pozzolanic ซึ่งจะใช้การทดสอบความละเอียดของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTM C-430 โดยกำหนดปริมาณของ เถ้าลอยที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 (ขนาด 45 ไมโครเมตร) โดยวิธีร่อนเปียก (Wet Sieving) เนื่องจาก เถ้าลอยที่มีอนุภาคหยาบจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยทำปฏิกิริยาได้ช้ากว่าอนุภาคที่ละเอียดกว่า นั่นคือ ส่วนที่ผ่านตะแกรงแล้วจะทำปฏิกิริยาได้มีประสิทธิภาพดีกว่านอกจากนี้ยังจะบอกขนาดของอนุภาคจากการวัดพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลน (Blaine specific surface-area technique) ตามมาตรฐาน ASTM C-204 หรือวิธี particle size-analysis หรือ วิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET) มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตรต่อกรัมการทดสอบเทอร์บิดิมิเตอร์ (turbidimeter test) ตาม ASTM C-115 และการใช้ไฮโดรมิเตอร์ โดยการทดสอบ ทั้งสี่วิธีนี้อาจให้ค่าความละเอียดที่แตกต่างกันได้มากทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการทดสอบโดยผลการทดสอบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและความพรุนของเถ้าลอยแต่ละอนุภาคเป็นอย่างมากแต่จากการทดสอบเถ้าลอยจากอำเภอแม่เมาะจังหวัดลำปางการบอกขนาดของอนุภาคโดยวิธีดังกล่าว ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ความถ่วงจำเพาะความละเอียดและขนาดเฉลี่ยของอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยอำเภอแม่เมาะจังหวัดลำปาง (มอก. 2135-2545)

Simple Type	Specific Gravity	Retained on Sieve 325 %	Air Permeability (cm3/mg)	Mean Particle Size (micron)
ซีเมนต์	3.14	4.7	3120	13.0
เถ้าลอย	2.29	37.4	2370	28.5

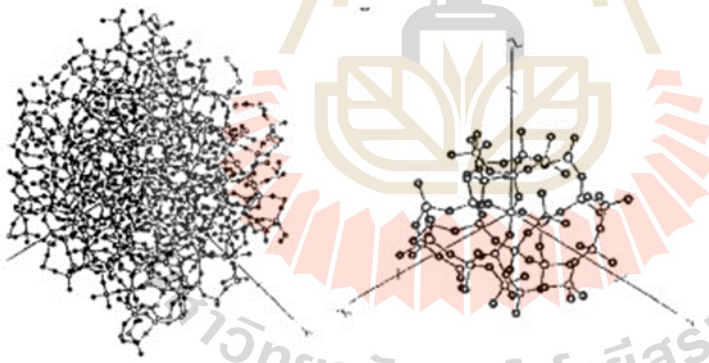
จะเห็นได้ว่าเถ้าลอยมีปริมาณที่ค้างบนตะแกรงสูงกว่าซีเมนต์ทำให้มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยกว่า ส่งผลให้เถ้าลอยมีคุณสมบัติเป็นสารหน่วงเมื่อผสมร่วมกับซีเมนต์

2.2.4 การหาดัชนีกำลัง (Strength Activity Index)

ค่าดัชนีกำลังจะเป็นอัตราส่วนร้อยละของกำลังอัดเฉลี่ย (Compressive Strength) ของมอร์ตาร์ที่ใช้เถ้าลอยทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักตามมาตรฐาน ASTM C-311 เทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐานที่ไม่ผสมปอซโซลานโดยกำหนดไว้ว่าไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 75 ของมอร์ตาร์มาตรฐานที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน เพื่อแสดงถึงอัตราการเกิดหรือความไวในการทำปฏิกิริยาของเถ้าลอย

2.2.5 โครงสร้างผลึกอสัณฐาน

โครงสร้างผลึกซิลิกาอสัณฐานจะมีการเรียงตัวกันของอะตอมหรืออนุภาคยังไม่เป็นระเบียบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆซิลิกาอสัณฐานจะเกิดการจัดเรียงตัวของอะตอมใหม่อย่างเป็นระเบียบและเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างเป็นผลึกซิลิกาซึ่งผลึกซิลิกาดังกล่าวมีโครงสร้างผลึกต่าง ๆคือควอร์ชไทรดิไมท์และคริสโทรบอไลท์โดยที่แต่ละโครงสร้างจะเสถียรในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน



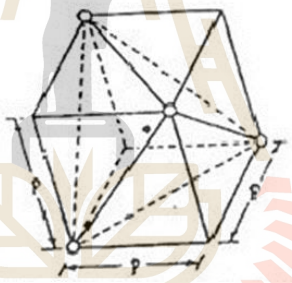
รูปที่ 2.3 แบบจำลองโครงสร้างของซิลิกาอสัณฐาน (Makino et al., 1999)
(ก) แบบจำลองกลุ่มอะตอมขนาดใหญ่ของซิลิกาอสัณฐาน ($Si_{400}O_{800}$ cluster)
(ข) แบบจำลองกลุ่มอะตอมขนาดเล็กของซิลิกาอสัณฐาน ($Si_{27}O_{72}$ cluster)
(oคืออะตอมของออกซิเจน, ● คืออะตอมของซิลิกอน)

2.2.6 โครงสร้างผลึก

โครงสร้างผลึกซิลิกามีอยู่ 3 โครงสร้างคือควอร์ชไทรดิไมท์และคริสโทรบอไลท์ โดยแต่ละโครงสร้างผลึกจะเสถียรในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกันการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจะเป็นไปอย่างช้าๆ จากโครงสร้างผลึกรูปหนึ่งไปยังอีกรูปหนึ่งดังนั้นโครงสร้างผลึกที่อุณหภูมิสูงจะยังคงมี

อยู่ ณ ที่อุณหภูมิห้องหรือต่ำกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนโครงสร้างและแต่ละโครงสร้างผลึกจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน 2 โครงสร้าง คือ α- จะเกิดที่อุณหภูมิต่ำและ β- จะเกิดที่อุณหภูมิสูง (Deer et al., 1971)

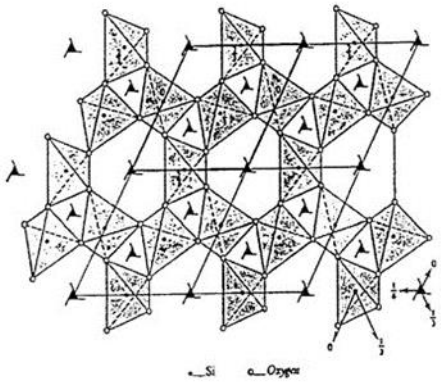
โครงสร้างผลึกซิลิกาแต่ละโครงสร้างประกอบด้วยโมเลกุล SiO_4ซึ่งมีอะตอมของออกซิเจนเกาะอยู่ที่มุมและอะตอมของซิลิกอนอยู่ตรงกลางประกอบกันอยู่เป็นหน่วยรูปทรงสี่หน้าของSiO_4 (SiO_4 tetrahedral) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ในแต่ละโครงสร้างผลึกซิลิกาอะตอมออกซิเจนจะเกาะกับอะตอมซิลิกอน 2 อะตอมที่อยู่ใกล้เคียงในการเปลี่ยนโครงสร้างระหว่าง α– กับ β– เช่น α–ควอร์ชไปเป็น β– ควอร์ช การเปลี่ยนโครงสร้างดังกล่าวจะเกิดจากการเคลื่อนที่ของอะตอมเพียงเล็กน้อยในทางตรงกันข้ามถ้าเป็นการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกระหว่างโครงสร้างที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกับที่อุณหภูมิสูงเช่นโครงสร้างผลึกแบบควอร์ชเปลี่ยนไปเป็นไทรดิเมอร์หรือคริสโทบอไลท์การเปลี่ยนโครงสร้างดังกล่าวจะเกิดเนื่องจากการสลายของพันธะและการเปลี่ยนตำแหน่งของอะตอม (Deer et al., 1971)



รูปที่ 2.4 ทรงสี่หน้าของ SiO_4 (SiO_4 tetrahedral) (Deer et al.,1971)

β- ควอร์ชมีความสมมาตรแบบเฮกซะกอนอล (hexagonal symmetry) มีกลุ่มปริภูมิ $P6_222$ หรือ $P6_466$และหน่วยเซลล์ (unit cell) หนึ่งหน่วยประกอบด้วยซิลิกา (SiO_2) 3โมเลกุลซึ่งประกอบกันเป็นหน่วยรูปทรงสี่หน้า ดังแสดงในภาพที่ 2.4

จะเห็นได้ว่าหน่วยรูปทรงสี่หน้าเกาะกลุ่มเป็นวงหกเหลี่ยมและสามเหลี่ยมดังแสดงในภาพที่ 2.5 ค่าความยาวของแต่ละด้านของหน่วยเซลล์คือ a 5.01 A และ c 5.47 A α-ควอร์ชมีสมมาตรแบบไทรกอนอล (trigonal symmetry) มีกลุ่มปริภูมิ $P3_121$ หรือ $P3_221$ ในหน่วยเซลล์หนึ่งเซลล์ประกอบด้วยซิลิกา (SiO_2) 3 โมเลกุลโครงสร้างผลึกของ α- ควอร์ชมีลักษณะคล้าย ๆ β- คือมีการเกาะตัวกันของรูปทรงสี่หน้าของSiO_4เป็นวงหกเหลี่ยมและสามเหลี่ยมแต่จะมีการบิดเบี้ยวของโครงสร้างผลึก ดังแสดงในภาพที่ 2.5 ค่าความยาวของแต่ละด้านของหน่วยเซลล์ คือ a 4.913 A และc 5.405 A (Deer et al., 1971)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างผลึกของ α-ควอร์ชโครงสร้างผลึกของ α-ควอร์ช ฉายลงบน (0001) (Deer et al., 1971)

2.3 วัสดุผสม (Aggregates)

วัสดุผสม หรือบางครั้งเรียกว่า มวลรวม วัสดุผสมโดยทั่วไปได้แก่ หินย่อย กรวด และทรายหยาบเมื่อผสมกับซีเมนต์แล้ว ทำให้คอนกรีตมีขนาด รูปร่างและความแข็งแรง ยังช่วยให้คอนกรีตมีราคาถูกลงวัสดุผสมที่ใช้ในงานคอนกรีตสามารถจำแนกอออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ

2.3.1 วัสดุผสมละเอียด (Fine aggregates)

เป็นวัสดุที่ส่วนใหญ่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 (4.76 มิลลิเมตร) ได้แต่ต้องไม่เล็กจนเป็นฝุ่น ที่นิยมใช้คือ ทรายธรรมชาติ และควรเป็นทรายน้ำจืดที่สะอาด มีเหลี่ยมคม และขนาดของเม็ดสม่ำเสมอ

2.3.2 วัสดุผสมหยาบ (Coarse aggregates)

เป็นวัสดุส่วนใหญ่ที่ค้างบนตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 อาจมีบางส่วนที่ละเอียดปนอยู่บ้างแต่ต้องไม่เกินปริมาณที่มาตรฐานกำหนด วัสดุผสมหยาบได้แก่ หินย่อย หรือกรวดหินที่เหมาะในการทำคอนกรีตต้องมีเหลี่ยมมุม แข็ง ผิวขรุขระ ยึดหดตัวต่ำ และทนทานต่อการสึกหรอได้ดี และมีสัดส่วนคละที่เหมาะสมขนาดของหิน โดยทั่วไปที่ใช้กันจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 4.76 ถึง 76.20 มิลลิเมตร หรือมีขนาด 3/16 ถึง 3 นิ้ว โดยสามารถแบ่งออกเป็นหินย่อยเบอร์ 1 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 4.76 ถึง 19.05 มิลลิเมตร หรือมีขนาด 3/16 หรือ ¾ นิ้ว หินย่อยเบอร์ 2 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 19.05 ถึง 38.10 มิลลิเมตร หรือมีขนาด ¾ ถึง 1 ½ นิ้ว และหินย่อยเบอร์ 3 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่างตั้งแต่ 38.1 ถึง 76.20 มิลลิเมตร หรือมีขนาด 1 ½ ถึง 3 นิ้ว วัสดุผสมต้องมีรูพรุนสามารถดูดซับน้ำและเป็นที่สำหรับการขยายตัวของน้ำเพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต

2.3.3 ส่วนคละของวัสดุผสม

ส่วนคละของวัสดุผสมมีผลต่อเนื้อและคุณภาพของคอนกรีต ปกติอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบกำหนดโดยปริมาตรของวัสดุผสมละเอียดมากกว่าปริมาตรช่องว่างในวัสดุผสมหยาบประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ช่องว่างวัสดุหยาบอาจมีมากถึง 45 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรวัสดุหยาบแห้ง ดังรั้นในทางปฏิบัติมีการกำหนดปริมาตรของวัสดุผสมละเอียดให้เท่ากับประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาตรของวัสดุผสมหยาบที่แห้ง แต่เพื่อให้ส่วนผสมของคอนกรีตง่ายต่อการเท มีการกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบไว้โดยอยู่ระหว่าง 1 : 1 ½ : ถึง 1 : 2 ½ ดังแสดงตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.7 อัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบ (ประณต กุลประสูตร, 2541)

ขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ		**อัตราส่วนของวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบ**	
		ค่าต่ำสุด	**ค่าสูงสุด**
3/8 นิ้ว	หินเกล็ด	0.55	0.70
3/4 นิ้ว	หิน 1	0.40	0.60
1 นิ้ว หรือมากกว่า	หิน 2	0.30	0.50

2.4 ปูนซีเมนต์ (Cement**)**

ปูนซีเมนต์ เป็นผลผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่าง ๆ จนรวมตัวผสมกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ แคลเซียม และอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้จะหมายถึงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) ที่เมื่อผสมกับน้ำตามส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์นั้น การทำปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า ไฮเดรชั่น (Hydration) ตำรับของชื่อปูนซีเมนต์ที่เรียกกันว่า “ปอร์ตแลนด์” นี้ ได้มาจากการตั้งชื่อของนายโจเซฟ แอสปดิน โดยที่ในปี ค.ศ.1824 เขาได้ท้าการจดทะเบียนวิธีการผลิตปูนซีเมนต์อย่างหนึ่ง ซึ่งได้จากการเผาส่วนผสมระหว่างหินปูนและดินเหนียว และเมื่อนำมาบดจะได้เนื้อปูนซีเมนต์มีสีเหลือง-เทาคล้ายกับหินในเกาะของเมืองปอร์ตแลนด์ ประเทศอังกฤษ เขาจึงตั้งชื่อว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ในตอนแรกนี้ยังมีคุณภาพต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากการเผาส่วนผสมดังกล่าวใช้ความร้อนต่ำ ซึ่งทำให้หินปูนกับดินเหนียวยังรวมตัวไม่ดี ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่สุดในการก่อสร้างทางวิศวกรรมปัจจุบัน โดยที่เมื่อผสมกับ หิน กรวด ทราย

และน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้เป็นคอนกรีต ซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะแข็งและทนทานคล้ายหิน ตัวอย่าง สิ่งก่อสร้างคอนกรีตได้แก่ ฐานราก ตอม่อ เขื่อน กำแพงกั้นดิน พื้นและถนน เมื่อเสริมด้วยเหล็กเสริมจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับพื้น หลังคา สะพาน อาคาร อุโมงค์ และอื่นๆ หรือเมื่อผสมรวมกับทรายและปูนขาวจะเป็นปูนฉาบสำหรับการก่ออิฐหรือหิน เป็นต้น

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน(ASTM) และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย (ม.อ.ก.15) แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็นประเภทใหญ่ๆ 5 ประเภทคือ

ประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป ที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศรุนแรง หรือในที่มีอันตราย จากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือที่ความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ถึงขั้นอันตราย ได้แก่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราทีพีไอ ตรานกอินทรีย์เพชร และตราช้าง เป็นต้น

ประเภทสอง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่นงานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงกันดินหนาๆ หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ตอม่อ สะพานเป็นต้น

ประเภทสาม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (High-early Strength Portland Cement) หรือที่เรียกว่าซูเปอร์ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ให้กำลังสูงในระยะแรก มีเนื้อ เป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ผลิตได้โดยการเปลี่ยนสัดส่วนและโดยการเติมสารอื่นโดยการบดให้ละเอียดยิ่งขึ้น หรือโดยการเผาให้ดีขึ้น มีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้เร็ว หรือรื้อแบบเร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้นและคานที่ต้องถอดแบบเร็ว เป็นต้น

ประเภทสี่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-heat Portland Cement) ปีนปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำ ซึ่งปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีตหลา เช่น เขื่อน เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นขณะแข็งตัว

ประเภทห้า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ต้านทานซัลเฟตได้สูง สำหรับใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำหรือดินที่มีด่าง (Alkaline) สูง มีระยะเวลาการแข็งตัวช้ากว่าประเภทหนึ่ง

รูปที่ 2.6 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ตราทีพีไอ

2.5 น้ำ

น้ำมีหน้าที่หลัก คือ ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อให้เกิดการจับตัวแน่นกับวัสดุผสมทำให้เกิดการเกาะตัวเป็นก้อนวัสดุที่แข็ง ช่วยเคลือบผิววัสดุผสมให้เปียกเพื่อการยึดจับกับซีเมนต์เพสต์ได้ดี และยังช่วยทำให้ส่วนผสมมีความลื่น มีความข้นเหลวพอดีสามารถทำงานได้อย่างสะดวก และหล่อเข้าแบบได้ตามต้องการ น้ำที่นำมาผสมในคอนกรีตต้องเป็นน้ำสะอาด ไม่มีน้ำมัน กรด ด่าง สารอินทรีย์ และต้องมีความขุ่นไม่เกิน **2,000** ส่วนในล้านส่วน ที่จะส่งผลต่อคุณภาพของคอนกรีตที่ผลิตได้ เช่น ระยะเวลาในการแข็งตัว ค่ากำลังรับแรงอัด หรือทำให้คอนกรีตมีสีผิวไม่สม่ำเสมอ น้ำตาล ไนเตรต กรดแทนนิค และสารอินทรีย์ในน้ำ ทำให้คอนกรีตแข็งตัวช้า เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นช้าลง และค่ากำลังรับแรงอัดลดลง อาจทำให้เกิดฟองอากาศปริมาณมากจนกระทบต่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ในขณะที่คาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต ทำให้คอนกรีตแข็งตัวเร็วเกินไป คอนกรีตที่ได้จะมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ น้ำที่มีซัลเฟตปนอยู่ปริมาณเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้คอนกรีตกำลังลดลงได้เช่นกัน (ประณต กุลประสูตร, **25**41) ปริมาณซัลเฟตที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแสดงดังตารางที่ 2.8 โดยทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลาบ่ม 28 วันลดลง แต่อาจส่งผลให้การก่อตัวและแข็งตัวของคอนกรีตเร็วขึ้น สารละลายเกลืออนินทรีย์บางชนิด อาจทำให้การก่อตัวและแข็งตัวช้าลง เช่น เกลือของสังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แมงกานีส และดีบุก เช่นเดียวกับฟอสเฟส อาร์เนต และบอเรต โดยน้ำที่มีระดับความเข้มข้นของ

สารเหล่านี้ได้ไม่เกิน 500 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งพบมากในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่ได้ผ่านระบบบำบัด หรือน้ำที่ซึมออกมาจากเหมืองแร่ (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2539)

ตารางที่ 2.8 กำลังของคอนกรีตที่ลดลงเนื่องจากซัลเฟตที่ปนอยู่ในน้ำ (ประณต กุลประสูตร, 2541)

ปริมาณซัลเฟตในน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	กำลังของคอนกรีตที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
0.5	4
1.0	10
มากกว่า 10	ไม่ควรใช้ผสมในคอนกรีตเนื่องจากทำให้กำลังลดลงอย่างมาก

น้ำสำหรับการบ่มต้องเป็นน้ำสะอาด เพื่อป้องกันผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีต และรอยเปื้อนที่ผิวอันเกิดจากการใช้น้ำสกปรกบ่มคอนกรีต ส่วนน้ำสำหรับการใช้ล้างวัสดุนั้นไม่จำเป็นต้องสะอาดมาก แต่ควรเป็นน้ำที่สะอาดพอควร ไม่มีฝุ่น เกลือ สารอินทรีย์ปนอยู่ เพราะอาจเคลือบผิววัสดุผสมและทำให้คอนกรีตที่ได้มีกำลังรับแรงอัดลดลงหรือแข็งตัวช้า

2.6 ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนซึ่งปล่อยออกมาตลอดเวลาของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำโดยองค์ประกอบทางเคมี ความละเอียด และปริมาณของวัสดุมีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ในช่วงต้นจะมีการคลายความร้อนอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในช่วง 7 วันแรก (Neville, 1995) ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration reaction) ทำให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัวเป็นคอนกรีตแข็ง ปฏิกิริยาจะขึ้นกับสารประกอบในซีเมนต์ดังกล่าวข้างต้น ซึ่งปฏิกิริยากันและเปลี่ยนเป็นวัสดุประสาน ผลิตผลของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นมีชื่อเรียกรวมๆ ว่า ซีเมนต์เจล หรือแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Cement gel หรือ C-S-H gel) ประมาณร้อยละ 50 ถึง 90 โดยปริมาตร และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)2) ประมาณร้อยละ 20 ถึง 25 โดยปริมาตร มีลักษณะเป็นผลึกที่หยาบมากและมีขนาดเล็ก ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำมาก ปฏิกิริยานี้จะเกิดได้มากขึ้นถ้าเพิ่มเวลาในการบ่มให้นาน

2.7 อัตราการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต

โดยทั่วไปคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างมักคำนึงถึงกำลังอัดของคอนกรีตเป็นหลัก แต่ความเป็นจริงแล้วคอนกรีตต้องมีความสามารถทนต่อสภาพอากาศการกัดกร่อนทางเคมี และ

สิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้นได้ คุณสมบัติส่วนหนึ่งของคอนกรีตประเมินได้จากการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตไม่ใช่วัสดุที่ทึบน้ำ แต่สามารถซึมผ่านได้ในอัตราที่ช้า เมื่อน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้หรือซึมผ่านได้ในอัตราที่ช้าลง สารละลายต่าง ๆ ก็สร้างความเสียหายให้คอนกรีต ได้น้อยลง ในทางตรงข้ามเมื่อคอนกรีตมีอัตราความซึมผ่านของน้ำค่อนข้างสูงแสดงว่าสารละลาย ต่าง ๆ สามารถแทรกซึมเข้าสู่เนื้อคอนกรีตได้ง่าย เช่น สารละลายซัลเฟต ซึมเข้าในเนื้อคอนกรีตทำให้ เกิดการขยายตัวทำให้เกิดการแตกร้าว ดังนั้นอัตราการซึมผ่านของคอนกรีตบอกได้ถึงอายุใช้งาน ของคอนกรีตเพราะอัตราการซึมผ่านของน้ำมีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สินีนาฏ พวงมณี (2546) ทำการทดลองโดยใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนระหว่างร้อยละ 0 ถึง 25 พบว่า สามารถนำใช้เถ้าลอยชนิดนี้มาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมได้สูงถึงร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก แม้ว่าจะทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักมีค่าลดลง แต่ยังอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 58-2530 นอกจากนี้ยังพบว่าก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่มีเถ้าลอยผสมอยู่ มีอัตราการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าลอยมีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำได้ และเมื่อนำน้ำสกัดที่สกัดได้จากเถ้าลอย และจากก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักผสมเถ้าลอยมาวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อหาปริมาณสารตะกั่ว พบว่า น้ำสกัดที่ได้จากคอนกรีตมีปริมาณสารตะกั่วต่ำกว่าข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (2540) และปริมาณสารตะกั่วที่ได้นี้ยังมีปริมาณต่ำกว่าตะกั่วในน้ำสกัดที่ได้จากเถ้าลอยอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางเลือกในการจัดการของเสีย ที่สามารถลดปัญหาในการใช้พื้นที่หลุมฝังกลบ และในขณะเดียวกันก็เป็นการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วรากร หมั่นสระเกษ (2554) ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยในการผลิตบล็อก เพื่อใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ พร้อมทั้งนำเสนอส่วนผสมที่เหมาะสม กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตก๊าซเซทีลีน และเถ้าลอยเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่า ส่วนผสมสำหรับการทำคอนกรีตบล็อกที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน เท่ากับ 0.75 และอัตราส่วนระหว่างกากแคลเซี่ยมคาร์ไบ และเถ้าลอย เท่ากับ 40:60 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต พบว่า คอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากส่วนผสมระหว่าง กากแคลเซียมคาร์ไบด์ กับเถ้าลอยมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ถึงร้อยละ 40

Davis และคณะ (1937) พบว่าเถ้าลอยที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำความละเอียดสูง จะมีคุณสมบัติปอซโซลานที่สูง และอาจใช้แทนปูนซีเมนต์ได้สูงถึงร้อยละ 30 และจากสภาพการบ่มมาตรฐาน จะมีกำลังอัดต่ำที่อายุน้อย แต่กำลังอัดจะสูงขึ้นเมื่ออายุของคอนกรีตมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีต ธรรมดา

Minnick (1954) พบว่าความละเอียดของเถ้าลอย (โดยวัดจากตะแกรงเบอร์ 325) มีความสัมพันธ์กับกำลังอัดของมอร์ต้าร์และคอนกรีต กล่าวคือเถ้าลอยที่มีความละเอียดมากกว่าจะให้กำลังอัดได้ดีกว่า

Timms and Grieb (1956) พบว่า เถ้าลอยที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำจะให้กำลังในคอนกรีตได้ดีกว่าเถ้าลอยที่มีคอร์บอนสูงในอัตตราส่วนผสมเดียวกัน

ปริญญา จินดาประเสริฐ และ อินทรชัย หอวิจิตร (2528) พบว่า กำลังอัดระยะต้นของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยมีค่าลดลงตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น เพราะปฏิกิริยาปอซโซลานยังไม่เกิด แต่เมื่อนานไปกำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยมีค่าลดลงตามปริมาณเถ้าลอยจะดีขึ้นเพราะเกิด ปฏิกิริยาปอซโซลานแล้ว และการใช้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมที่พอเหมาะ จะต้องผสมไม่ เกินร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

เมธี เวชารัตนา (2535) ได้ทำการศึกษาเถ้าลอย 2 ชนิด คือ Hadson และ Mercar ซึ่งทั้งสองชนิดมีขนาดต่างกันแต่ใช้ส่วนผสมเดียวกัน ใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ เป็นจำนวนร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก เท่ากัน พบว่าในช่วงแรกกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยจะต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา และ ส่วนผสมที่มี เถ้าลอยขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่สามารถรับน้ำหนักได้ดีกว่าคอนกรีตที่มีเถ้าลอยขนาดใหญ่กว่าเป็นส่วนผสม ในทุกอายุของคอนกรีต

Anek Siripanichgom (1993) ได้ทำการศึกษาการกัดกร่อนของคอนกรีตผสมเถ้าลอย จากแม่เมาะที่คัดขนาดโดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 พบว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยที่คัดขนาดแทนที่ปูนซีเมนต์ ให้กำลังมากกว่าเถ้าลอยที่ไม่คัดขนาด

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

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับการทำคอนกรีตบล็อกโดยใช้เถ้าลอยจากขยะมูลฝอย และการศึกษาการนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าลอยในการผลิตบล็อก เพื่อใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ แต่ยังไม่มีการศึกษาการนำเถ้าลอยถ่านหินมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์

บางส่วนในการทำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักมาก่อน ดั้งนั้น การศึกษาจึง มุ่งเน้นการใช้ปูนซีเมนต์ผสมกับเถ้าลอยมาเป็น วัสดุประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เพื่อลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก และยังช่วยในการกำจัดวัสดุที่เหลือใช้แล้ว เป็นปัญหาต่อสภาพแวดล้อมด้วย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการนำเถ้าลอยถ่านหินมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการใช้เป็นส่วนผสม ในการทำผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำหรับงานก่อสร้าง โดยลักษณะของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก.58-2533 จากนั้น ทดสอบมาตรฐานก้อนคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก และทดสอบการดูดกลืนน้ำ สุดท้ายทำการประเมินต้นทุนการผลิตและผลประโยชน์ที่ได้รับของการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยการศึกษาแบ่งวิธีการดำเนินงานออกเป็น 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 กล่าวถึงการจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตกล็อกไม่รับน้ำหนัก

ส่วนที่ 1 กล่าวถึงวิธีการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

ส่วนที่ 3 กล่าวถึงการการทดสอบมาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

ส่วนที่ 4 กล่าวถึงการประเมินต้นทุนการผลิตและผลประโยชน์ที่ได้รับ

3.1 การจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อก

เครื่องมือ อุปกรณ์ รวมถึงสถานที่ ใช้ที่ร้าน จิตลิญาคอนกรีตและวัสดุก่อสร้าง เลขที่ 171/1 หมู่ 17 ตำบลกระทุ่มราย อำเภอประทาย จังหวัดนครราชสีมา ในการผลิต และใช้ศูนย์เครื่องมือมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมาในการทดสอบกำลังอัดและการดูดกลืนน้ำ

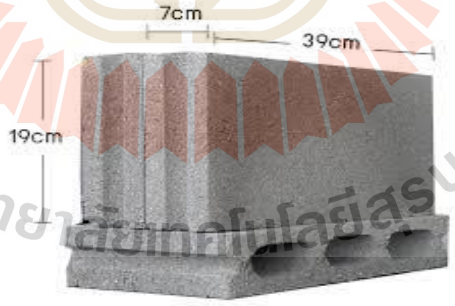
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตรา TPI
- หินฝุ่น จากโรงโม่หิน อำเภอภูผาม่าน จังหวัดเลย
- เถ้าลอยถ่านหิน ใช้จากโรงงานผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- ทราย ใช้จากบ่อทรายแม่น้ำมูล อำเภอชุมพวง จังหวัดนครราชสีมา
- น้ำใช้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ
- เครื่องชั่ง
- เครื่องผสมปูน
- ตู้อบ
- เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด
- อุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการทดสอบตามมาตรฐานต่าง ๆ ที่กำหนดไว้

ขนาดผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ความกว้าง 70 มิลลิเมตร ความยาว 390 มิลลิเมตร ความสูง 190 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 58-2530 อ้างจาก ASTM C129-80 Standard Specification for Hollow Non-Load Bearing Concrete Masonry Unites. ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นและทราย เท่ากับ 1:8 และศึกษาหาส่วนผสมที่เหมาะสมและต้นทุนต่ำ โดยการแทนที่ปูนด้วยเถ้าลอยถ่านหิน และแทนที่หินฝุ่นด้วยทราย และทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 58-2530 ส่วนการบ่มก้อนคอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักชนิดนี้ไม่มีกำหนดระยะเวลาการบ่มที่แน่นอน ผู้วิจัยจึงกำหนดระยะเวลาการบ่มให้เป็น 3 7 และ 28 วัน เมื่อครบกำหนดการบ่มตามระยะเวลา ณ อายุการบ่มคอนกรีตที่ระยะต่าง ๆ กันแล้ว จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปทดสอบกำลังรับแรงอัด และการดูดกลืนน้ำ ซึ่งกระทำหลังจากได้ส่งตัวอย่างถึงห้องทดสอบแล้วภายใน 12 ชั่วโมง โดยใช้ก้อนตัวอย่างเต็มก้อนอย่างละ 5 ก้อน

3.2 วิธีการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

กรรมวิธีการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ทำมาจากการผสมสัดส่วน ตามอัตราส่วนที่กำหนด ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสม แล้วนำมาอัดให้เป็นก้อนด้วยเครื่องอัด ซึ่งลักษณะของก้อนคอนกรีตจะมีรูโพรงขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 รูปแบบก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก และขนาดที่ผลิต

3.2.1 การเตรียมส่วนผสม เตรียมวัตถุดิบประเภทปูนซีเมนต์ เถ้าลอยถ่านหิน ทรายหยาบ หินฝุ่น และน้ำ ตามอัตราส่วนแล้วผสมให้เข้ากัน ตามตารางการทดลองที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนผสมการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

ลำดับที่	อัตราส่วนหินฝุ่น:ทราย:ปูนซีเมนต์:เถ้าลอยถ่านหิน	จำนวนก้อนตัวอย่าง
1	90:30:15:0 kg (4.00 : 1.33 : 0.67 : 0.00 kg /ก้อน)	5
2	90:30:12:3 kg (4.00 : 1.33 : 0.53 : 0.13 kg /ก้อน)	5
3	90:30: 9:6 kg (4.00 : 1.33 : 0.40 : 0.27 kg /ก้อน)	5
4	90:30:7.5:7.5 kg (4.00 : 1.33 : 0.33 : 0.33 kg /ก้อน)	5
5	90:30:6:9 kg (4.00 : 1.33 : 0.27 : 0.40 kg /ก้อน)	5
6	90:30:3:12 kg (4.00 : 1.33 : 0.13 : 0.53 kg /ก้อน)	5

การใช้ทรายเป็นส่วนผสมในอัตราที่แสดงคือ 30 kg เพราะทรายช่วยให้ปูนซีเมนต์ยึดเกาะกับหินฝุ่นได้ดี และเป็นปริมาณที่เหมาะสมเพราะในการผลิตโดยทั่วไปแล้วจะใช้ทรายในอัตราส่วนนี้

3.2.2 ผสมวัตถุดิบตามสัดส่วนที่กำหนดด้วยน้ำรวมกัน ด้วยเครื่องโม่ ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 การผสมส่วนผสมด้วยโม่

3.2.3 ลำเลียงส่วนผสมที่โม่แล้วขึ้นสายพาน เพื่อปล่อยลงมาเข้าเครื่องอัด ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 การลำเลียงส่วนผสมขึ้นสายพาน

3.2.4 การปล่อยส่วนผสมลงสู่เครื่องอัดไฮดรอลิกแล้วอัดขึ้นรูป ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 การอัดขึ้นรูปจากเครื่องอัดไฮดรอลิก

3.2.5 การแกะคอนกรีตบล็อกออกจากแบบ ดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 การแกะคอนกรีตบล็อกออกจากแบบ

3.2.6 การบ่มโดยการปล่อยแห้งตามธรรมชาติ ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 การบ่มโดยการปล่อยแห้งตามธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อได้ก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักในแต่ละชุดการทดสอบแล้ว จากนั้นนำก้อนคอนกรีตไปทดสอบกำลังรับแรงอัด เพื่อเลือกชุดทดสอบที่เหมาะสม โดยที่ใช้ปริมาณเถ้าลอยสูงสุดให้กำลังรับแรงอัดที่ผ่านค่ามาตรฐานซึ่งกำหนดไว้ที่ 25 กก./ตร.ซม. ทดสอบที่ระยะเวลาการบ่ม 3 7 และ 28 วัน จากนั้นก็ทำการบันทึกและวิเคราะห์ผล

3.3 การทดสอบมาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

โดยทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) และการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 109-2517 อ้างจาก ASTM C140-70 Standard Methods of Sampling and Testing Concrete Masonry Units

3.3.1 การดูดซึมน้ำ (Water Absorption) เป็นการหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละของวัสดุแห้ง หลังจากแช่ไว้ในน้ำตามระยะเวลาที่กำหนด โดยในการทดสอบจะใช้ก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักขนาดเต็มก้อน จำนวน 5 ก้อน แช่จมในน้ำที่อุณหภูมิ 16-27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดยกก้อนตัวอย่างขึ้นจากน้ำตั้งทิ้งไว้ให้น้ำระบายออก 1 นาที ทำการชั่งน้ำหนักทันที หลังจากชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างแล้วทำให้แห้งด้วยการนำไปอบในตู้อบระบายอากาศที่มีอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง แล้วทำการชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

วิธีการคำนวณ

การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) = (A-B)/B x 100

เมื่อ A คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่อเปียก (เป็น กก.)

B คือ น้ำหนักของก้อนตัวอย่างเมื่อแห้ง (เป็น กก.)

3.2.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) เป็นการหาแรงเค้นอัดที่ทำให้ชิ้นทดสอบเริ่มเสียหาย โดยทดสอบก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักเต็มก้อน จำนวน 5 ก้อน ซึ่งทำการทดสอบครั้งละ 1 ก้อน โดยใช้เหล็กหนาขนาดเท่าพื้นที่หน้าตัดของอิฐบล็อกวางทาบด้านบนและล่าง โดยให้ศูนย์เนื้อที่ของพื้นที่ผิวภาคตัดขวางทั้ง 2 หน้า อยู่ในแนวดิ่ง (ให้รูอยู่ในแนวดิ่ง) กับศูนย์แรงกดจากแท่นทดสอบ ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

วิธีการคำนวณ

1. หาพื้นที่ภาคตัดขวางรวม ซึ่งหาได้จากพื้นที่ผิวรวมของภาคตัดขวางในแนวตั้งฉาก กับทิศทางของน้ำหนักบรรทุกโดยรวมพื้นที่ภายในช่องว่างทั้งหมดรวมทั้งส่วนเว้าออก
2. หากำลังรับแรงอัด คำนวณได้จากแรงสูงสุด เป็นกิโลกรัม หารด้วยพื้นที่ผิวภาคตัดขวาง ของก้อนตัวอย่าง โดยมีพื้นที่เป็น ตร.ซม.

กำลังรับแรงอัด = แรง / พื้นที่ภาคตัดขวางรวม (กก./ตร.ซม.)
พื้นที่ภาคตัดขวางของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ศึกษาคือ 7 x 39 = 273 ตร.ซม

3.4 การประเมินต้นทุนการผลิตและผลประโยชน์ที่ได้รับ

การประเมินต้นทุนการผลิตและผลประโยชน์ที่ได้รับของการผลิตเป็นการผลิตคอนกรีตไม่รับน้ำหนักในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นการคาดการณ์ต้นทุนการผลิตและผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับเมื่อนำเถ้าลอยถ่านหิน มาใช้เป็นส่วนผสมหนึ่ง ในการทำคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักเท่านั้น ทั้งนี้จะไม่พิจารณาต้นทุนในด้านอื่น ๆ ที่จะเกิดมูลค่าในทางเศรษฐศาสตร์

โดยในงานวิจัยจะคำนึงถึงค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยจะพิจารณาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการผลิต ซึ่งจะอ้างอิงข้อมูลจากร้านจิตลิญา คอนกรีตและวัสดุก่อสร้าง โดยคุณศราวุธ ปฏิญญาศักดิ์ เจ้าของกิจการในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

การศึกษาวิจัยหาส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ใช้เถ้าลอยแทนปูนซีเมนต์ในบางส่วนนั้น ได้ทำการวิจัยโดยการทดสอบตัวอย่างในอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยและปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักที่แตกต่างกัน โดยเริ่มจากอัตราส่วนเดิมที่ทำการผลิตมาตามปกติก่อนจะทำการศึกษา คือ ใช้หินฝุ่น ทราย ปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วน 6:2:1 ซึ่งในการผลิตจะใช้โม่ผสมให้เข้ากัน โดยในการผสมแต่ละครั้งนั้นจะใช้ หินฝุ่น ทราย ปูนซีเมนต์และน้ำในอัตราส่วนน้ำหนัก 90 : 30 : 15 กก. ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวอย่างชื่อ Sample 1 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบส่วนผสมใหม่กับส่วนผสมเดิมที่ได้ทำการผลิตมาก่อน แล้วจึงทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในอัตราส่วน 80:20 60:40 50:50 40:60 และ 20:80 โดยใช้ชื่อตัวอย่าง Sample 2 ถึง Sample 6 ตามลำดับ แสดงดังตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง	หินฝุ่น kg	ทราย kg	ปูนซีเมนต์ kg	เถ้าลอย kg
Sample 1	90	30	15	0
Sample 2	90	30	12	3
Sample 3	90	30	9	6
Sample 4	90	30	7.5	7.5
Sample 5	90	30	6	9
Sample 6	90	30	3	12

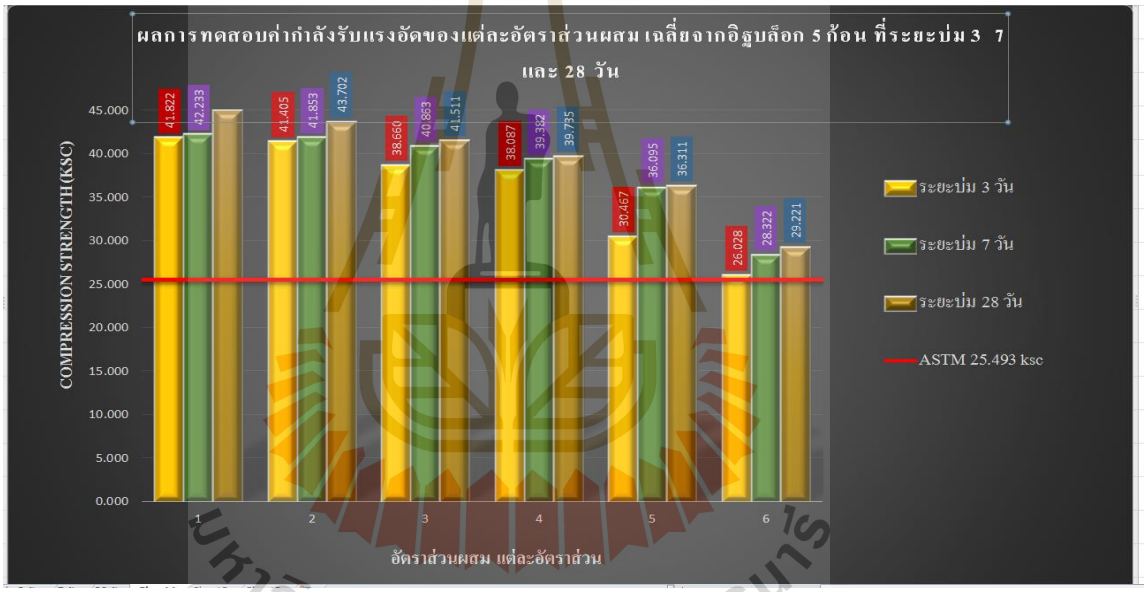
4.1 ผลการทดสอบกำลังอัด

จากการดำเนินงานทดสอบตัวอย่างก้อนอิฐบล็อก โดยทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน มอก.58-2533 ของคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ในแต่ละอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

	ระยะบ่ม 3 วัน กก./ตร.ซม.	ระยะบ่ม 7 วัน กก./ตร.ซม.	ระยะบ่ม 28 วัน กก./ตร.ซม.	มอก.58-2533 กก./ตร.ซม.
Sample 1	41.822	42.233	45.027	25.493
Sample 2	41.405	41.853	43.702	
Sample 3	38.660	40.863	41.511	
Sample 4	38.087	39.382	39.735	
Sample 5	30.467	36.095	36.311	
Sample 6	26.028	28.322	29.221	



รูปที่ 4.1 กราฟค่าเฉลี่ยผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

จากผลการทดสอบจะเป็นว่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลงตามปริมาณเถ้าลอยที่ผสมเพิ่มเข้าไปแทนที่ปูนซีเมนต์ โดยมีผลการทดลองดังนี้

ระยะการบ่ม 3 วัน จาก Sample 1 ถึง Sample 6 มีค่ากำลังรับแรงอัดแนวโน้มลดลงตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด 41.822 กก./ตร.ซม. ที่อัตราส่วน 80:20 และได้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำสุด 26.028 กก./ตร.ซม. ที่อัตราส่วน 20:80 ซึ่งในอัตราส่วน 20:80 ก็ได้กำลังรับแรงอัดมากกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 58-2533

ระยะการบ่ม 7 วัน จาก Sample 1 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด 42.233 กก./ตร.ซม. ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอย 80:20 โดยมีค่าต่ำสุดที่อัตราส่วน 20:80 ผลการทดสอบที่ได้จะเห็นว่า Sample 6 ซึ่งใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอย 20:80 โดยมีส่วนผสมหินฝุ่น ทราย ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย 90:30:3:12 กก./โม่ หรือประมาณ 4.00 : 1.33 : 0.13 : 0.53 kg /ก้อน ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่ใช้เถ้าลอยมากที่สุด มีผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดได้ 28.322 กก./ตร.ซม. ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน ซึ่งตามปกตินั้นในการผลิตคอนกรีตบล็อกเพื่อจำหน่ายจะผลิตเพื่อจำหน่ายในช่วงระยะเวลา 7 ถึง 10 วันเพื่อลดพื้นที่การจัดเก็บและลดปริมาณสินค้าค้างสต็อก

ส่วนระยะการบ่มที่ 28 วันที่ทำการทดสอบเพื่อต้องการทราบผลการเปลี่ยนแปลงเท่านั้น และแม้จะมีค่ากำลังรับแรงอัดลดลงแต่ก็ยังมีค่ามากกว่ามาตรฐาน มอก. 58-2533 ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 ถึง 28 วัน Sample 1 จะมีการพัฒนากำลังที่เพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นมากที่สุดที่ระยะ 28 วัน เนื่องจากการผลิตคอนกรีตบล็อกนั้นจะใช้การบ่มแบบปล่อยให้แห้งตามธรรมชาติซึ่งจะทำให้เกิดการพัฒนากำลังได้ต่ำ แต่ก็ทำให้ลดเวลาและลดต้นทุนเรื่องการบ่มได้มากกว่าแบบอื่น อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดในของทุกอัตราส่วนผสมและทุกอายุการบ่มมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน มอก. 58-2533

4.2 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก

จากการดำเนินงานทดสอบตัวอย่างก้อนอิฐบล็อก โดยทำการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก ตามมาตรฐาน มอก.58-2533 ของคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก ในแต่ละอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก ได้ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการดูดซึมน้ำของทุกตัวอย่างทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย คือต่ำกว่าร้อยละ 3 หรือต่ำกว่า 0.18 กิโลกรัม โดยน้ำหนัก ซึ่งถ้าเปรียบเทียบการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างการทดสอบชุดที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตจำหน่ายก่อนทำการศึกษาวิจัย จะเห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำโดยเฉลี่ย

	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่ทดสอบ					
	Sample 1	**Sample 2**	**Sample 3**	**Sample 4**	**Sample 5**	**Sample 6**
น้ำหนักสภาพอบแห้ง (W_d), (กก.)	6.15	6.14	6.12	6.24	6.28	6.35
น้ำหนักสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (W_w), (กก.)	6.33	6.31	6.27	6.40	6.44	6.50
เปอเซ็นต์การดูดซึมน้ำเฉลี่ย	2.92	2.76	2.45	2.56	2.54	2.36

4.3 การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

ในการศึกษาการทดลองนี้จะวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์เฉพาะราคาต้นทุนวัสดุในกรณีศึกษาที่มีผลการทดลองค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.58-2533 เท่านั้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.4 ถึงตารางที่ 4.8 โดยมีรายละเอียดดังนี้

สำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยชนิดไม่รับน้ำหนัก โดยสัดส่วนผสมที่ออกแบบการทดลองสามารถผลิตคอนกรีตบล็อกได้จำนวน 800 ก้อนต่อวัน

วัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอย

เถ้าลอยจากแหล่งแม่เมาะ ราคา 600 บาทต่อตัน (ข้อมูลจากร้านจิตลิญาคอนกรีต)

- หินฝุ่น ราคา 370 บาทต่อตัน (ข้อมูลจากร้านจิตลิญาวัสดุก่อสร้าง)
- ทรายหยาบ 120 บาทต่อตัน (ข้อมูลจากร้านจิตลิญาวัสดุก่อสร้าง)
- ปูนซีเมนต์ 2,000 บาทต่อตัน (ข้อมูลจากร้านจิตลิญาวัสดุก่อสร้าง)

ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ (โดยประมาณ)

- ค่าไฟฟ้า 50 บาท (ในการผลิตต่อวัน/800 ก้อน)
- ค่าแรงคนงานคิดราคาเหมาต่อก้อน 0.70 บาท

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตต่อก้อนที่อัตราส่วน 6 : 2 : 1: 0

- ค่าเถ้าลอย 0 กิโลกรัม x 0.6 บาท/กิโลกรัม = 0.0 บาท
- ค่าหินฝุ่น 4 กิโลกรัม x 0.37 บาท/กิโลกรัม = 1.48 บาท
- ค่าปูนซีเมนต์ 0.67 กิโลกรัม x 2 บาท/กิโลกรัม = 1.34 บาท
- ค่าทรายหยาบ 1.33 กิโลกรัม x 0.12บาท/กิโลกรัม = 0.16 บาท
- ค่าไฟฟ้า = 0.0625 บาท
- ค่าแรงคนงาน 0.7 บาท/ก้อน = 0.7 บาท

รวม = 3.74 บาท

ดังนั้นรวมราคาต่อก้อนทั้งหมด = 3.74 บาท

ราคาขาย 5 บาทต่อก้อน 5.00-3.74 มีกำไรเบื้องต้น = 1.26 บาท

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตต่อก้อนที่อัตราส่วน 6 : 2 : 0.2 : 0.8

- ค่าเถ้าลอย 0.53 กิโลกรัม x 0.6 บาท/กิโลกรัม = 0.32 บาท
- ค่าหินฝุ่น 4 กิโลกรัม x 0.37 บาท/กิโลกรัม = 1.48 บาท
- ค่าปูนซีเมนต์ 0.13 กิโลกรัม x 2 บาท/กิโลกรัม = 0.26 บาท
- ค่าทรายหยาบ 1.33 กิโลกรัม x 0.12บาท/กิโลกรัม = 0.16 บาท

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- ค่าไฟฟ้า = 0.0625 บาท
- ค่าแรงคนงาน 0.7 บาท/ก้อน = 0.7 บาท

รวม = 2.98 บาท

ดังนั้นรวมราคาต่อก้อนทั้งหมด = 2.98 บาท

ราคาขาย 5 บาทต่อก้อน 5.00-2.98 มีกำไรเบื้องต้น = 2.02 บาท

หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่ามีต้นทุนลดลง = 0.76 บาทต่อก้อน

ตารางที่ 4.4 ต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.8 : 0.2

วัสดุ	**คอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนผสม หินฝุ่น:ทราย:ปูนซีเมนต์:เถ้าลอย 6 : 2 : 0.8 : 0.2**		**คอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนผสม หินฝุ่น:ทราย:ปูนซีเมนต์:เถ้าลอย 6 : 2 : 1 : 0 (ส่วนผสมเดิม)**	
	ปริมาณที่ใช้/ก้อน กก.	**ราคา/ก้อน บาท**	**ปริมาณที่ใช้ /ก้อน กก.**	**ราคา/ก้อน บาท**
หินฝุ่น	4.00	1.48	4.00	1.48
ทราย	1.33	0.16	1.33	0.16
ปูนซีเมนต์	0.53	1.06	0.67	1.34
เถ้าลอย	0.13	0.08	0	0
รวมราคา		2.78		2.98
ผลต่างต้นทุน	**2.98-2.78 = 0.20 บาท/ก้อน**			

ตารางที่ 4.5 ต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.6 : 0.4

วัสดุ	**คอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนผสม หินฝุ่น:ทราย:ปูนซีเมนต์:เถ้าลอย 6 : 2 : 0.6 : 0.4**		**คอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนผสม หินฝุ่น:ทราย:ปูนซีเมนต์:เถ้าลอย 6 : 2 : 1 : 0 (ส่วนผสมเดิม)**	
	ปริมาณที่ใช้/ก้อน กก.	**ราคา/ก้อน บาท**	**ปริมาณที่ใช้ /ก้อน กก.**	**ราคา/ก้อน บาท**
หินฝุ่น	4.00	1.48	4.00	1.48
ทราย	1.33	0.16	1.33	0.16
ปูนซีเมนต์	0.40	0.80	0.67	1.34
เถ้าลอย	0.27	0.16	0	0
รวมราคา		**2.60**		**2.98**
ผลต่างต้นทุน	**2.98-2.60 = 0.38 บาท/ก้อน**			

ตารางที่ 4.6 ต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.5 : 0.5

วัสดุ	คอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนผสม หินฝุ่น:ทราย:ปูนซีเมนต์:เถ้าลอย 6 : 2 : 0.5 : 0.5		คอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนผสม หินฝุ่น:ทราย:ปูนซีเมนต์:เถ้าลอย 6 : 2 : 1 : 0 (ส่วนผสมเดิม)	
	ปริมาณที่ใช้/ก้อน กก.	ราคา/ก้อน บาท	ปริมาณที่ใช้ /ก้อน กก.	ราคา/ก้อน บาท
หินฝุ่น	4.00	1.48	4.00	1.48
ทราย	1.33	0.16	1.33	0.16
ปูนซีเมนต์	0.33	0.66	0.67	1.34
เถ้าลอย	0.33	0.20	0	0
รวมราคา		**2.50**		**2.98**
ผลต่างต้นทุน	**2.98-2.50 = 0.48 บาท/ก้อน**			

ตารางที่ 4.7 ต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.4 : 0.6

วัสดุ	คอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนผสม หินฝุ่น:ทราย:ปูนซีเมนต์:เถ้าลอย 6 : 2 : 0.4 : 0.6		คอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนผสม หินฝุ่น:ทราย:ปูนซีเมนต์:เถ้าลอย 6 : 2 : 1 : 0 (ส่วนผสมเดิม)	
	ปริมาณที่ใช้/ก้อน กก.	ราคา/ก้อน บาท	ปริมาณที่ใช้ /ก้อน กก.	ราคา/ก้อน บาท
หินฝุ่น	4.00	1.48	4.00	1.48
ทราย	1.33	0.16	1.33	0.16
ปูนซีเมนต์	0.27	0.54	0.67	1.34
เถ้าลอย	0.40	0.24	0	0
รวมราคา		**2.42**		**2.98**
ผลต่างต้นทุน	**2.98-2.42 = 0.56 บาท/ก้อน**			

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.8 ต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.2 : 0.8

วัสดุ	คอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนผสม หินฝุ่น:ทราย:ปูนซีเมนต์:เถ้าลอย 6 : 2 : 0.2 : 0.8		คอนกรีตบล็อกที่มีอัตราส่วนผสม หินฝุ่น:ทราย:ปูนซีเมนต์:เถ้าลอย 6 : 2 : 1 : 0 (ส่วนผสมเดิม)	
	ปริมาณที่ใช้/ก้อน กก.	ราคา/ก้อน บาท	ปริมาณที่ใช้ /ก้อน กก.	ราคา/ก้อน บาท
หินฝุ่น	4.00	1.48	4.00	1.48
ทราย	1.33	0.16	1.33	0.16
ปูนซีเมนต์	0.13	0.26	0.67	1.34
เถ้าลอย	0.53	0.32	0	0
รวมราคา		**2.22**		**2.98**
ผลต่างต้นทุน	**2.98-2.22 = 0.76 บาท/ก้อน**			

(ราคาวัสดุ ณ. เดือนตุลาคม 2560 หินฝุ่น 370 บาท/ตัน ทรายหยาบ 120 บาท/ตัน ปูนซีเมนต์ 2000 บาท/ตัน เถ้าลอย 600บาท/ตัน ที่มา:ร้านจิตลิญาคอนกรีตและวัสดุก่อสร้าง)

จากการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น ส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตคืออัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอย 20:80 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนผสมที่ได้ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด 26.028 28.322 และ 29.221 กก./ตร.ซม. ซึ่งมีค่าเกินกว่ามาตรฐาน มอก. 58-2533 และมีต้นทุนวัสดุต่ำกว่าส่วนผสมเดิมและส่วนผสมอื่น ๆ ที่ทำการทดลอง โดยสามารถสรุปราคาต้นทุนของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสม หินฝุ่น ทราย ปูนซีเมนต์และเถ้าลอย อัตราส่วน 6 : 2 : 0.2 : 0.8 มีต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุต่อก้อนเท่ากับ 2.22 บาท โดยคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักในส่วนผสมเดิมมีอัตราส่วน 6 : 2 : 1 : 0 มีต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุต่อก้อนเท่ากับ 2.98 บาท เมื่อนำราคาไปเปรียบเทียบกันราคาต้นทุนของคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยจะสามารถลดต้นทุนลงได้ 0.76 บาทต่อก้อน จึงเป็นทางเลือกให้กับธุรกิจการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับแรงให้สามารถผลิตได้ราคาต้นทุนต่ำกว่าเดิม และได้คุณภาพมาตรฐานสูงกว่า มอก.58-2533 เพื่อการแข่งขันในตลาดได้สำเร็จ

บทที่5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 คุณสมบัติด้านกำลังการรับแรงอัด

จากการศึกษาคุณสมบัติของ เถ้าลอยที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยการออกแบบส่วนผสมที่มีอัตราส่วนของ หินฝุ่น:ทรายหยาบ:ปูนซีเมนต์:เถ้าลอย โดยผู้วิจัยพิจารณาอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยที่นำไปแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ค่าลดลงตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ทุกอัตราส่วนผสมให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่ากำลังรับแรงอัดที่ต้องการตามมาตรฐาน มอก. 58-2533

5.2 คุณสมบัติทางด้านกายภาพ

การใส่เถ้าลอยช่วยให้พื้นผิวของคอนกรีตบล็อกมีความหนาแน่นมากขึ้น มีความสวยงาม ขอบหรือมุมไม่หลุดร่วงหรือกระเทาะเวลาขนย้ายได้ง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมเดิมที่ไม่ได้ใส่เถ้าลอย

5.3 อิทธิพลของอายุการบ่ม

อายุการบ่มที่ระยะ 3 วันถึง 7 วันเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมทั้ง ถึงแม้จะมีการพัฒนากำลังอัดได้น้อยเพราะเป็นการบ่มตามธรรมชาติ แต่ก็เป็นการลดต้นทุนเรื่องลดค่าใช้จ่ายในการบ่ม การจัดเก็บ เงินลงทุนในด้านวัสดุ และเป็นระยะปกติในการผลิตและจำหน่าย

5.4 ต้นทุนการผลิตเปรียบเทียบต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุในการผลิตคอนกรีตบล็อกต่อก้อน

จากผลการเปรียบเทียบต้นทุนเฉพาะค่าวัสดุในการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ใช้ปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวกับอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 80 สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 0.76 บาทต่อก้อน

5.5 ข้อเสนอแนะ

จากการที่ได้ทำการศึกษาทดลองผลิตคอนกรีตบล็อกโดยใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนต่าง ๆ มีข้อเสนอแนะในโครงการดังต่อไปนี้

1) อาจจะปรับเปลี่ยนส่วนผสมโดยลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงอีกซึ่งอาจทำให้ค่ากำลังการรับแรงอัดลดลงมาที่ระดับ 25.49 กก./ตร.ซม. ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนลงได้อีก แต่ก็ควรพึงระวังในเรื่อง การขนย้าย และความทนทานต่อสภาพแวดล้อม เพราะปริมาณปูนซีเมนต์มีผลต่อความแข็งแรงคงทนของคอนกรีตบล็อก
2) ควรนำตัวอย่างคอนกรีตบล็อกจากคู่แข่งทางการตลาดมาทดสอบการรับแรงอัดเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพและพัฒนาคุณภาพต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงอุตสาหกรรม. (2530). **มาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่มอก.58/2533.** ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ **1619**

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. (2539). **คอนกรีตเทคโนโลยี.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค.

ชาญยุทธ กองเกิด. (2558). **การพัฒนากำลังของดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานด้วยตะกรันเหล็กเถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ประณต กุลประสูติ. (2541). **เทคนิคงานปูน-คอนกรีต.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.

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

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

เมธี เวชารัตนา. (2535). Utilization of Fly Ash in Concrete. **เอกสารประกอบการบรรยายพิเศษ.** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วรากร หมั่นสระเกษ. (2554). **การพัฒนากำลังอัดของบล็อคคอนกรีตที่ผลิตจากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สินีนาฏ พวงมณี. (2546). **การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าลอยจากเตาเผามูลฝอยชุมชนจังหวัดภูเก็ตมาทำเป็นคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก.**

A.M. Neville. (1995). **Properties of concrete.** Harlow, Essex : Longman, 1995.

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.

Chindaprasirt P, De Silva P, Sagoe-Crentsil K,Hanjitsuwan S. (2012). **Effect of SiO_2 and Al_2O_3 on the setting and hardening of high calcium fly ash-based geopolymer systems**. Journal of Materials Science,47(12), 4876-4883.

Davis, R.E., Carlson, W.R., Kelly, W.J., Davis, E.H. (1937). **Properties of Cement and Containing Fly Ash.** Proceedings of the American Concrete Institute 33 : 577-612.

Deer, W. A. (1971). **Rock forming minerals**. London : Longmans, (1965-1971)

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).

P. Chindaprasirt, C. Jaturapitakkul, W. Chalee, U. Rattanasak, **Comparative Study on the characteristics of fly ash and bottom ash geopolymers,** Waste Management 29(2), 2009, pp. 539-543.

Prinya Chaindaprasirt, Chai Jaturapitakkul, Theerawat Sinsiri, **" Effect of Fly Ash Fineness on Compressive Strength and Pore Size of Blended Cement Paste",** Cement & Concrete Composites, Vol. 27 (4), 2005, pp. 425-428.

Timms, A.G. and Grieb, W.E. (1956). **Use of Fly Ash in Concrete.** ASTM Proceedings 56 :1139-l 157.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก
ตารางแสดงค่ากำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 3 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0

mix ratio 1	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc** average
Dust stone 6	6.09	6.31	273	30.67	**42.96**
Sand 2	6.28			44.48	
Cement 1	6.62			39.51	
Fly ash 0	6.20			41.16	
	6.35			47.47	

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 3 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.8 : 0.2

mix ratio 2	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc** average
Dust stone 6	6.19	6.18	273	35.82	**41.40**
Sand 2	6.20			36.00	
Cement 0.8	6.12			47.06	
Fly ash 0.2	6.24			46.73	
	6.16			50.72	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 3 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.6 : 0.4

mix ratio 3	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.30	6.24	273	25.96	**38.66**
Sand 2	6.24			47.17	
Cement 0.6	6.19			41.42	
Fly ash 0.4	6.34			51.43	
	6.16			44.18	

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 3 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.5 : 0.5

mix ratio 4	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.17	6.24	273	43.33	**38.08**
Sand 2	6.27			38.14	
Cement 0.5	6.30			39.85	
Fly ash 0.5	6.27			36.27	
	6.16			19.63	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 3 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.4 : 0.6

mix ratio 5	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก.58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.41	6.42	273	34.07	**30.46**
Sand 2	6.39			37.24	
Cement 0.4	6.65			31.19	
Fly ash 0.6	6.31			22.97	
	6.35			62.864	

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 3 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.2 : 0.8

mix ratio 6	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.09	6.16	273	32.90	**26.03**
Sand 2	6.08			25.85	
Cement 0.2	6.18			26.40	
Fly ash 0.8	6.16			25.82	
	6.30			34.51	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0

mix ratio 1	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.30	6.31	273	33.63	**42.22**
Sand 2	6.20			43.62	
Cement 1	6.20			40.64	
Fly ash 0	6.18			42.43	
	6.28			62.43	

ตารางที่ ก.8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.8 : 0.2

mix ratio 2	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**58-2533 average**
Dust stone 6	5.94	6.08	273	48.51	**41.85**
Sand 2	5.92			17.26	
Cement 0.8	6.24			27.23	
Fly ash 0.2	6.00			43.14	
	6.30			48.53	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.6 : 0.4

mix ratio 3	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.16	6.19	273	45.68	**40.86**
Sand 2	6.16			48.22	
Cement 0.6	6.14			24.39	
Fly ash 0.4	6.26			41.94	
	6.24			44.07	

ตารางที่ ก.10 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.5 : 0.5

mix ratio 4	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.30	6.38	273	37.43	**39.38**
Sand 2	6.46			39.33	
Cement 0.5	6.32			**52.85**	
Fly ash 0.5	6.68			41.38	
	6.38			47.51	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.4 : 0.6

mix ratio 5	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.22	5.97	273	37.22	**36.09**
Sand 2	6.30			35.15	
Cement 0.4	6.38			34.89	
Fly ash 0.6	6.10			59.13	
	6.32			56.74	

ตารางที่ ก.12 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.2 : 0.8

mix ratio 6	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.36	6.46	273	28.83	**28.33**
Sand 2	6.52			28.57	
Cement 0.2	6.46			29.13	
Fly ash 0.8	6.30			26.74	
	6.68			42.50	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.13 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0

mix ratio 1	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.20	6.17	273	59.28	**45.03**
Sand 2	5.98			49.45	
Cement 1	6.15			39.40	
Fly ash 0	6.20			31.98	
	6.30			45.00	

ตารางที่ ก.14 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0

mix ratio 2	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.10	6.11	273	49.26	**43.70**
Sand 2	6.14			41.27	
Cement 0.8	5.95			38.77	
Fly ash 0.2	6.24			44.93	
	6.11			44.26	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.15 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.6 : 0.4

mix ratio 3	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.34	6.21	273	44.93	**39.38**
Sand 2	6.23			42.02	
Cement 0.6	6.11			37.57	
Fly ash 0.4	6.32			36.82	
	6.05			35.55	

ตารางที่ ก.16 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 1 : 0.5 : 0.5

mix ratio 4	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.25	6.19	273	21.69	**39.73**
Sand 2	6.13			37.46	
Cement 0.5	6.22			40.44	
Fly ash 0.5	6.05			30.12	
	6.32			41.29	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.17 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.4 : 0.6

mix ratio 5	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.35	6.24	273	35.78	**36.33**
Sand 2	6.14			38.69	
Cement 0.4	6.33			35.82	
Fly ash 0.6	6.23			36.06	
	6.17			35.18	

ตารางที่ ก.18 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนผสม 6 : 2 : 0.2 : 0.8

mix ratio 6	**weight (kg)**	**weight average**	**area (cm^2)**	**ksc**	**มอก. 58-2533 25.49 ksc average**
Dust stone 6	6.27	6.26	273	28.64	**29.22**
Sand 2	6.14			27.49	
Cement 0.2	6.29			32.31	
Fly ash 0.8	6.34			29.34	
	6.28			28.31	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.19 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดตัวอย่างทดสอบ (กก/ตร.ซม.)			มอก. 58-2533
	ระยะบ่ม 3 วัน	ระยะบ่ม 7 วัน	ระยะบ่ม 28 วัน	(กก/ตร.ซม.)
Sample 1	41.822	42.233	45.027	25.493
Sample 2	41.405	41.853	43.702	25.493
Sample 3	38.660	40.863	41.511	25.493
Sample 4	38.087	39.382	39.735	25.493
Sample 5	30.467	36.095	36.311	25.493
Sample 6	26.028	28.322	29.221	25.493

ตารางที่ ก.20 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก

	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักคอนกรีตบล็อกที่ทดสอบ					
	Sample 1	**Sample 2**	**Sample 3**	**Sample 4**	**Sample 5**	**Sample 6**
น้ำหนักสภาพอบแห้ง (w_d),(กก.)	6.15	6.14	6.12	6.24	6.28	6.35
น้ำหนักสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (w_d), (กก.)	6.33	6.31	6.27	6.40	6.44	6.50
เปอเซ็นต์การดูดซึมน้ำเฉลี่ย	**2.92**	**2.76**	**2.45**	**2.56**	**2.54**	2.36

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายศราวุธ ปฏิญญาศักดิ์ เกิดวันที่ 15 มกราคม 2514 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย ระดับปริญญาตรีจากวิทยาลัยสวนดุสิต และมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เริ่มทำกิจการรับเหมางานโยธาในปี 2536 เปิดดำเนินกิจการร้านขายวัสดุก่อสร้างและคอนกรีตผสมเสร็จในปี 2545 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทในสาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปี 2558

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี