V98531

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ประสิทธิภาพการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำ ที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาล

กรกฎ เพ็ชร์หัสณะโยธิน

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
วัน เดือน ปี 17 SEP 2013
เลขทะเบียน 249948
เลขเรียกหนังสือ วน
666.893
ก152ป
2555

MANUFACTURING EFFICIENCY OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE CONTAINING SUGAR SEDIMENT

KORAKOJ PETHASSANAYOTHIN

A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements

for Doctor of Philosophy in Technology Management

Academic Year 2012

Copyright of Bansomdejchaopraya Rajabhat University

ชื่อเรื่องดุษฎีนิพนธ์ ประสิทธิภาพการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาล

ชื่อนักศึกษา นางสาวกรกฎ เพ็ชร์หัสณะโยธิน

คณะกรรมการที่ปรึกษาดุษฎีนิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ทีฆทรัพย์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สุธน เสถียรยานนท์)

.....กรรมการ

(ดร.โยธิน อึ่งกูล)

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาอนุมัติให้ดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยี

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อารีวรรณ เอี่ยมสะอาด)

.....อธิการบดี

(รองศาสตราจารย์ ดร.พลสิทธิ์ หนูชูชัย)

คณะกรรมการสอบดุษฎีนิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย แหวนเพชร)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา จันทวงษ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ์)

.....กรรมการ

(ดร.ฉันทนา พันธุ์เหล็ก)

.....กรรมการ

(ดร.กนกอร หัสโรค์)

.....กรรมการ ผู้แทนจากคณะกรรมการบริหารโครงการปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญมี กวินเสกสรรค์)

ชื่อเรื่อง	ประสิทธิภาพการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ – อบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาล
ชื่อผู้วิจัย	กรกฎ เพ็ชร์หัสณะโยธิน
สาขาวิชา	การจัดการเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ทีฆทรัพย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์สุธน เสถียรยานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.โยธิน อึ่งกูล
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรี 2) สมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.1505-2541) 3) สัดส่วนที่เหมาะสมในการนำกากตะกอนน้ำตาลจากแต่ละแหล่งมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ และ 4) ต้นทุนการผลิตของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์

ผลการวิจัยพบว่า

1) กากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่ง มีองค์ประกอบทางเคมีที่สอดคล้องกับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรีมีอัตราส่วนปริมาณ CaO ต่อ SiO_2 สูงกว่าแหล่งสุพรรณบุรี

2) สมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่งที่อัตราส่วนแทนที่ทรายต่างๆ พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลมีกำลังรับแรงอัด 5.06-5.76 N/mm^2 กำลังรับแรงดัด 15.5551-18.357 kg/cm^2 อัตราการดูดกลืนน้ำ 0.380-0.390 g/cm^3 และ ความหนาแน่นเชิงปริมาตร 0.556-0.601 g/cm^3 ตามลำดับ โดยในอัตราส่วนแทนที่ทรายเท่ากัน คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอน

น้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีจะกำลังรับแรงอัดสูงกว่าสุพรรณบุรี แต่กำลังรับแรงดัดและอัตราการดูดกลืนน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ยต่ำกว่าค่าตามมาตรฐาน

3) สัดส่วนที่เหมาะสมในการนำกากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่งมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ พบว่าอัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 25 ของกากตะกอนน้ำตาลทั้ง 2 แหล่งเป็นสัดส่วนที่เหมาะสม เนื่องจากสามารถแทนที่ทรายได้มากที่สุดและมีสมบัติเบื้องต้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.1505-2541) จัดอยู่ในชั้นคุณภาพ G4

4) ต้นทุนการผลิตคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 มีค่าเท่ากับ 1855.51, 1766.09 และ 1750.69 บาทต่อลบ.ม. ตามลำดับ ส่งผลให้คอนกรีตมวลเบาที่ส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีมีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์ ดังนั้นการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตคอนกรีต มวลเบาที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมและราคาต่ำว่าคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

คำสำคัญ : กากตะกอนน้ำตาล, คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ, ประสิทธิภาพ, สมบัติทางกายภาพ

Title	**Manufacturing Efficiency of Autoclaved Aerated Concrete Containing Sugar Sediment**
Author	**Korakoj Pethassanayothin**
Program	**Technology Management**
Major Advisor	**Associate Professor Dr.Sombat Teekasap**
Co-Advisor	**Associate Professor Suthon Sathienyanon**
Co-Advisor	**Dr.Yothin Ungkoon**
Academic Year	**2012**

ABSTRACT

The research's purpose was to study 1) the chemical composition of sugar sediment from two sugar refineries in Singburi and Suphanburi provinces, 2) the fundamental properties of autoclaved aerated concrete containing sugar sediment compared with Thailand Industrial Standard (TIS 1501-2541), 3) the appropriate percentages of sugar sediment from each sugar refinery for mixing in autoclaved aerated concrete, and 4) the production cost of autoclaved aerated concrete containing sugar sediment compared with commercial autoclaved aerated concrete.

The findings revealed as follows :

1) Sugar sediment from Suphanburi and Singburi provinces had chemical composition similar to the raw materials used in autoclaved aerated concrete production. Sugar sediment from Singburi province contained higher ratio of CaO to SiO_2 than that from Suphanburi province.

2) Tests for fundamental properties of autoclaved aerated concrete containing different percentages of sugar sediment from both sources to replace silica showed the compressive strength value of 5.06-5.76 N/mm^2, the flexural strength value of 15.5551-18.357 kg/cm^2, water absorption value of 0.380-0.390 g/cm^3, and dry density of 0.556-0.601 g/cm^3. The flexural strength value and water absorption value of the products were similar when using the same percentages of sugar

กิตติกรรมประกาศ

ดุษฎีนิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ดร.โยธิน อึ่งกูล รองศาสตราจารย์สุธน เสถียรยานนท์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ทีฆทรัพย์ และอาจารย์คณะกรรมการทุกท่านที่เสียสละเวลามารับฟังงานวิจัย ให้คำแนะนำ คำชี้แนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัย รวมถึงการได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานซุปเปอร์บล๊อก จำกัด(มหาชน) และสาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่ กรุณาเอื้อเฟื้อเครื่องมือ วัตถุดิบ และสถานที่ในการทำวิจัย และที่ขาดไม่ได้คือคุณแม่ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ของผู้วิจัยที่เป็นกำลังใจให้จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

กรกฎ เพ็ชร์หัสณะโยธิน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

คำถามการวิจัย 2

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

สมมติฐานของการวิจัย 3

ขอบเขตของการวิจัย 4

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 5

นิยามศัพท์เฉพาะ 5

กรอบแนวคิดในการวิจัย 6

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

คอนกรีตมวลเบา 7

อุตสาหกรรมน้ำตาล 23

การวิเคราะห์โดยใช้วิธี X – ray 30

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 31

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 37

การดำเนินงานวิจัย 39

วัสดุที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาฟองอากาศ-อบไอน้ำเพื่อการทดสอบ. 45

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 48

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 53

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีด้วยเทคนิค X-Ray Methods..... 53

ผลการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีเพื่อทดสอบสมบัติเบื้องต้น..... 55

ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี..... 56

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี..... 57

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ -อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี..... 59

ผลการทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ -อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี..... 62

ผลการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี..... 64

ผลการศึกษาขนาดของฟองอากาศและการจัดเรียงโครงสร้างของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope..... 67

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล (ต่อ) .....

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีเพื่อใช้เป็นข้อมูลในกระบวนการผลิตและการจำหน่ายเชิงพาณิชย์..... 70

ผลการศึกษาต้นทุนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ –อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์..... 71

บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 86

สรุปผลการวิจัย..... 86

อภิปรายผลการวิจัย..... 90

ข้อเสนอแนะ..... 90

บรรณานุกรม..... 91

ภาคผนวก..... 94

ภาคผนวก ก มาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ..... 95

ภาคผนวก ข การเผยแพร่บทความวิจัยเพื่อขอสำเร็จการศึกษา..... 109

ภาคผนวก ค ประกาศนียบัตรอบรมภาษาอังกฤษ..... 119

ประวัติผู้วิจัย..... 123

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระยะเวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นร้อยละ 80 ของสารประกอบหลักทั้ง 4 ชนิด	10
2	ชั้นคุณภาพของคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.1505-2541	19
3	ปริมาณส่วนประกอบหลักที่ได้จากการหีบอ้อย 1 ตัน	29
4	องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาล	29
5	สัดส่วนของกากตะกอนน้ำตาลที่ใช้ในการวิจัย	46
6	รายละเอียดจำนวนตัวอย่างและการทดสอบต่อกากตะกอนน้ำตาล 1 แหล่ง	47
7	คุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำ	55
8	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ – อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีในอัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ25 โดยน้ำหนัก	57
9	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ – อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีในอัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ25 โดยน้ำหนัก	60
10	ผลการทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีในอัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ25 โดยน้ำหนัก	63
11	ผลการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ – อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีในอัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ25 โดยน้ำหนัก	65
12	ต้นทุนการผลิตทรายบดละเอียดขนาด 90 ไมครอน	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
13	ปริมาณวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำ เชิงพาณิชย์ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือโดยน้ำหนัก129,000 ตันต่อปี	72
14	ราคาวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ – อบไอน้ำ เชิงพาณิชย์ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือโดยน้ำหนัก 129,000 ตันต่อปี	73
15	ต้นทุนกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานผลิตน้ำตาลทรายจังหวัดสุพรรณบุรี	74
16	ปริมาณวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ – อบไอน้ำ ผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือโดยน้ำหนัก 120,400 ตันต่อปี	75
17	ราคาวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ –อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือโดยน้ำหนัก 120,400 ตันต่อปี	76
18	ต้นทุนกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานผลิตน้ำตาลทรายจังหวัดสิงห์บุรี	77
19	ปริมาณวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ –อบไอน้ำ ผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือโดยน้ำหนัก 120,400 ตันต่อปี	78
20	ราคาวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ – อบไอน้ำ ผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือโดยน้ำหนัก 120,400 ตันต่อปี	79
21	ราคาต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบาชนิดต่างๆที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี	80
22	ต้นทุนการขนส่งสินค้าที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี.	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
23	ราคาต้นทุนรวมต่อลูกบาศก์เมตรในการผลิตคอนกรีตมวลเบาชนิดต่างๆ.....	82
24	ผลกำไรจากการขายคอนกรีตมวลเบาชนิดต่างๆ จำนวน 215,000 ลูกบาศก์เมตร ต่อปี.....	84

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบแนวคิดในการวิจัย	6
2	คอนกรีตมวลเบาและลักษณะการใช้งาน	8
3	แม่พิมพ์คอนกรีตมวลเบา	14
4	การบ่มเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาของฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบา	14
5	การตัดตามขนาดคอนกรีตมวลเบา	15
6	การอบอิฐมวลเบาด้วยไอน้ำ	15
7	ลักษณะแรงต้านต่อการแตกด้านข้าง	20
8	การทดสอบแรงดัด	21
9	ความพรุน	23
10	กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ	26
11	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	38
12	วัตถุดิบกากตะกอนน้ำตาล	47
13	บล็อกพิมพ์คอนกรีตมวลเบา	48
14	เครื่องที่ใช้ในการตัดขนาดของอิฐมวลเบาที่ใช้ในการทดสอบต่างๆ	49
15	เครื่องทดสอบแรงอัด	49
16	เครื่องทดสอบแรงดัด	50
17	เครื่องอบไอน้ำแรงดันสูง	50
18	การวัดโดยเวอร์เนียร์	51
19	การชั่งน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา	51
20	เตาอบความร้อนใช้ในการอบคอนกรีตมวลเบา	52
21	ผล XRD ของกากตะกอนน้ำตาลจากกระบวนการผลิตน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรี	54
22	ผล XRD ของกากตะกอนน้ำตาลจากกระบวนการผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรี	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ – อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลตามสัดส่วนต่างๆ	56
24	กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งต่างๆ ที่อัตราส่วนแทนที่ทรายแตกต่างกัน	58
25	กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งต่างๆ ที่อัตราส่วนแทนที่ทรายแตกต่างกัน	61
26	อัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งต่างๆ ที่อัตราส่วนแทนที่ทรายแตกต่างกัน	64
27	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ –อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งต่างๆ ที่อัตราส่วนแทนที่ทรายแตกต่างกัน	66
28	SEM ของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลร้อยละ 0	68
29	SEM ของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลร้อยละ 10	68
30	SEM ของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลร้อยละ 15	69
31	SEM ของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลร้อยละ 20	69
32	SEM ของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลร้อยละ 25	70

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยได้มีการขยายตัวทางอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ผลกระทบที่ตามมาคือปัญหามลพิษต่างๆไม่ว่าจะเป็น ปัญหามลพิษทางน้ำ ปัญหามลพิษทางอากาศ ปัญหาขยะมูลฝอยและสิ่งที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งปัญหาเหล่านี้ล้วนก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมา ในปัจจุบันได้มีการนำขยะมูลฝอยและสิ่งที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การนำมาหมุนเวียนใช้ใหม่ การนำกากของเสียไปเป็นอาหารสัตว์ การนำกากของเสียมาปรับปรุงพื้นที่ การนำขยะมูลฝอยไปใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงาน และทางการเกษตร หรือแม้แต่นำขยะมูลฝอยมาแปรสภาพให้เป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น คอนกรีต และคอนกรีตมวลเบา เป็นต้น (สุมิตร ส่งพิริยะกิจ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2549, น. 586-589; Hauser, et. al., 1999, p.297-302)

คอนกรีตมวลเบาหรืออิฐมวลเบา (Lightweight Concrete) เป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่ง กำลังเป็นที่นิยมในการก่อสร้างอย่างกว้างขวาง เช่น การก่อสร้างผนังอาคารบ้านเรือน โรงแรม โรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงธุรกิจบ้านจัดสรร เป็นต้น โดยตัววัสดุเองมีส่วนผสมมาจากทราย ซีเมนต์ปูนขาว น้ำ ยิปซัม และผงอะลูมิเนียมผสมรวมกัน ทำให้คอนกรีตมวลเบามีสมบัติพิเศษ คือ ฟองอากาศเล็ก ๆ เป็นรูพรุนไม่ต่อเนื่อง (Disconnecting Voids) อยู่ในเนื้อวัสดุประมาณร้อยละ 75 ทำให้คอนกรีตมวลเบามีน้ำหนักเบา ซึ่งผลของความเบาจะช่วยให้ขนถ่ายสะดวก ประหยัดโครงสร้าง สามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งฟองอากาศเหล่านั้นยังเป็นฉนวนกันเสียงรบกวนและเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี การนำความร้อนต่ำส่งผลช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานและลดต้นทุนในการก่อสร้าง ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของคอนกรีตมวลเบา คอนกรีตมวลเบาเป็นที่รู้จักและมีอัตราการเติบโตในตลาดค่อนข้างสูง มีแนวโน้มในการนำมาใช้ทดแทนอิฐมอญหรือคอนกรีตบล็อกเพิ่มมากขึ้น และจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการนำเอาวัสดุต่างๆที่มีอยู่ในธรรมชาติ และจากการสังเคราะห์ขึ้น เพื่อใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาเพื่อลดต้นทุนอีกด้วย (ดนุพล ตันนโยภาส , สมพร เหรียญมโนรมย์ และกัมปนาท บุญกัน, 2544, น. 21-25)

โรงงานน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่ก่อให้เกิดขยะมูลฝอยและสิ่งที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิต เช่น ชานอ้อย (Bagasses) กากตะกอนน้ำตาล (Sugar Sediment)และ กากน้ำตาล (Molasses) โดยในการผลิตที่ใช้อ้อย 1 ตัน จะได้กากน้ำตาลประมาณ 45-60 กิโลกรัม (โรงงานน้ำตาลมิตรผล สุพรรณบุรี, 2555, ออนไลน์) ซึ่งมีเป็นปริมาณมากและต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการกำจัดทิ้ง จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่มีการนำกากตะกอนน้ำตาลมาเป็นส่วนผสมเพื่อแทนที่ทราย (ซิลิคอนไดออกไซด์ ; SiO_2) ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ เพื่อช่วยในการนำเอาของเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีแนวโน้มที่จะใช้กากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรีสามารถใช้แทนที่ทรายได้ถึงร้อยละ 50 (โยธิน อึ่งกูล, 2554, น.56-60) แต่เนื่องจากการผลิตน้ำตาลทรายแต่ละแหล่ง มีกำลังการผลิตและวัตถุดิบนำเข้ามาจากพื้นที่แตกต่างกัน เช่น การผลิตน้ำตาลของโรงงานมิตรผล จังหวัดสุพรรณบุรีมีกำลังการผลิตน้ำตาลทราย 45,500 ตันอ้อยต่อวัน ส่วนการผลิตน้ำตาลของโรงงานมิตรผล จังหวัดสิงห์บุรีมีกำลังการผลิตน้ำตาลทราย 15,000 ตันอ้อยต่อวัน อาจจะทำให้คุณภาพของกากตะกอนที่เหลือจากกระบวนการผลิตมีคุณภาพและปริมาณที่แตกต่างกันไป (โรงงานน้ำตาลมิตรผล, 2555, ออนไลน์)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในกากตะกอนน้ำตาล และสัดส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีที่ใช้เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ รวมถึงศึกษาสมบัติต่างๆของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาล เช่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด อัตราการดูดกลืนน้ำและความหนาแน่นเชิงปริมาตร เป็นต้น (สุริยงค์ ประชาเขียว, 2551)

คำถามการวิจัย

การใช้กากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานผลิตน้ำตาลพื้นที่ต่างกัน จะมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกันหรือไม่ และเมื่อนำไปใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ กากตะกอนน้ำตาลแต่ละแหล่ง แต่ละสัดส่วนจะให้สมบัติเบื้องต้นต่างๆ เช่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด อัตราการดูดกลืนน้ำ และความหนาแน่นเชิงปริมาตร เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมหรือไม่ รวมถึงราคาต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์น่าจะมีราคาต้นทุนในการผลิตที่ลดลงหรือไม่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรี

2. เพื่อศึกษาสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของ กากตะกอนน้ำตาลเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.1505-2541)

3. เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำกากตะกอนน้ำตาลจากแต่ละแหล่งมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

4. เพื่อศึกษาต้นทุนการผลิตของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์.

สมมติฐานของการวิจัย

1. กากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานผลิตน้ำตาลคนละแหล่งน่าจะมีสัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีที่ไม่เท่ากัน

2. กากตะกอนน้ำตาลแต่ละสัดส่วนจากแต่ละแหล่งที่ใช้ในการผสมในการขึ้นรูปคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำน่าจะส่งผลต่อสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำไม่เหมือนกัน

3. คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลอย่างน้อยหนึ่งสัดส่วนจากหนึ่งแหล่ง น่าจะให้สมบัติเบื้องต้นต่างๆ เช่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด อัตราการดูดกลืนน้ำ และความหนาแน่นเชิงปริมาตร เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

4. ต้นทุนการผลิตของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลเทียบกับน่าจะมีแนวโน้มที่ลดลง

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction (XRD)

2. ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด อัตราการดูดกลืนน้ำ และความหนาแน่นเชิงปริมาตร เป็นต้น ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 1501-2541)

3. ศึกษาลักษณะโครงสร้างผิว การจัดเรียงตัว และขนาดของฟองอากาศของคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์แบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำและคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรี โดยใช้เทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM)

4. ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยใช้กากตะกอนน้ำตาลในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 15, 20, 25 โดยน้ำหนัก

5. ศึกษาต้นทุนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีเทียบกับคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์

ขอบเขตพื้นที่

ขอบเขตของพื้นที่ ได้แก่ กากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรี และ กากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรี

ขอบเขตตัวแปร

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ แหล่งที่มาและสัดส่วนของกากตะกอนน้ำตาล

ตัวแปรตาม ได้แก่ สมบัติทางกายภาพและต้นทุนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาล

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถเพิ่มมูลค่าของกากตะกอนน้ำตาล
2. สามารถพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลมาใช้ในกระบวนการผลิตเชิงพาณิชย์
3. สามารถลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำในเชิงพาณิชย์
4. เป็นแนวทางในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์

นิยามศัพท์เฉพาะ

คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (Autoclaved Aerated Concrete (AAC)) หมายถึง วัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุก่อ สำหรับการก่อสร้างผนังอาคารทั่วไป ผลิตจากส่วนผสมของซีเมนต์ ทราย ปูนขาว ยิปซัม ผงอะลูมิเนียม และน้ำ

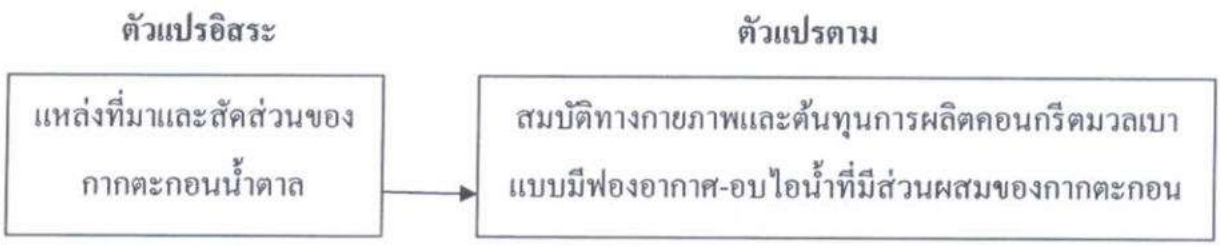
คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาล (Autoclaved Aerated Concrete Containing Sugar Sediment (AACSS)) หมายถึง วัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุก่อ สำหรับการก่อสร้างผนังอาคารทั่วไป ผลิตจากส่วนผสมของซีเมนต์ ทราย ปูนขาว กากตะกอนน้ำตาล ยิปซัม ผงอลูมิเนียม และน้ำ

กากตะกอนน้ำตาล (Sugar Sediment) หมายถึง กากตะกอนที่เหลือจากขั้นตอนการทำน้ำเชื่อมให้ใสในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาว

ประสิทธิภาพ (Efficiency) หมายถึง การใช้ทรัพยากรในการดำเนินการใดๆ ก็ตามโดยมีสิ่งมุ่งหวังถึงผลสำเร็จ และผลสำเร็จนั้นได้มาโดยการใช้ทรัพยากรน้อยที่สุด และการดำเนินการเป็นไปอย่างประหยัด ไม่ว่าจะเป็นระยะเวลา ทรัพยากร แรงงาน รวมทั้งสิ่งต่างๆ ที่ต้องใช้ในการดำเนินการนั้นๆ ให้เป็นผลสำเร็จ และถูกต้อง

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาเรื่องกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลมิตรผลที่จังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่ส่งผลต่อคุณภาพและราคาของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาล โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลทั้ง 2 แหล่ง หลังจากนั้นได้นำกากตะกอนน้ำตาลสัดส่วนต่างๆ จากโรงงานผลิตน้ำตาลทั้ง 2 แหล่ง มาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำและทดสอบสมบัติเบื้องต้น เช่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด อัตราการดูดกลืนน้ำ และความหนาแน่นเชิงปริมาตร รวมถึงศึกษาลักษณะโครงสร้างผิว การจัดเรียงตัว และขนาดของฟองอากาศของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ และคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาล หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์สัดส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานผลิตน้ำตาลทั้ง 2 แหล่ง วิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในกระบวนการผลิตและการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ ซึ่งงานวิจัยนี้มีรายละเอียดของกรอบแนวคิดในการวิจัยดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. คอนกรีตมวลเบา
2. อุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล
3. การวิเคราะห์โดยใช้วิธี X- Ray
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คอนกรีตมวลเบา

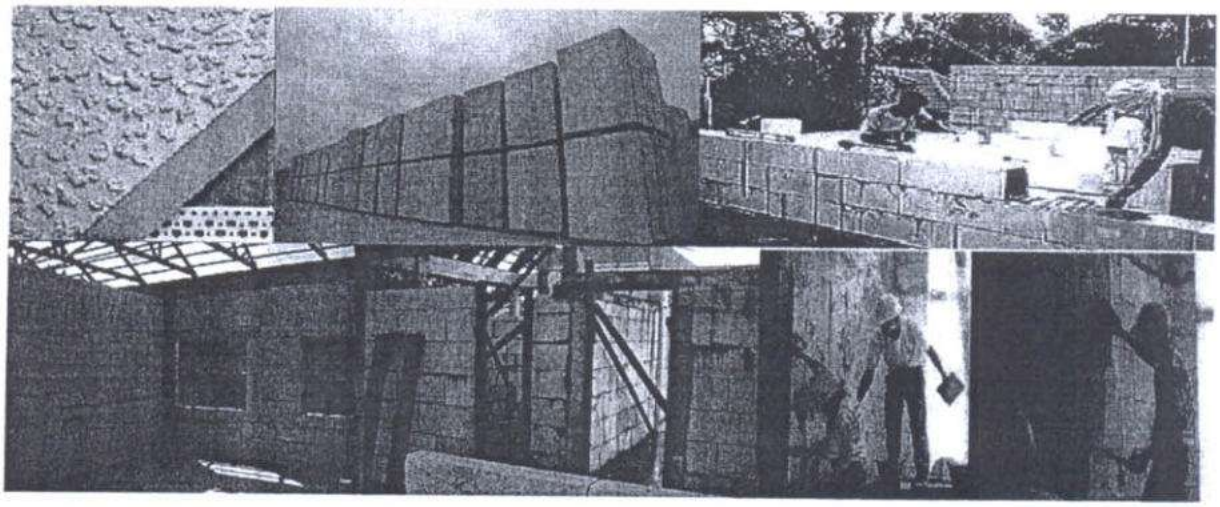
คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อที่มีการนำมาใช้ และเป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากมีสมบัติในการป้องกันความร้อนได้มากกว่าวัสดุก่อชนิดอื่นที่มีมา โดยตัววัสดุเองมีส่วนผสมมาจาก ทราย ซีเมนต์ ปูนขาว น้ำ ยิปซัม และผงอะลูมิเนียมผสมรวมกัน แต่ส่วนที่สำคัญที่สุดก็คือฟองอากาศเล็กๆ เป็นรูพรุนไม่ต่อเนื่อง (Disconnecting Voids) ที่อยู่ในเนื้อวัสดุมากประมาณ 75% ทำให้น้ำหนักเบา ซึ่งผลของความเบาจะช่วยให้ประหยัดโครงสร้าง อีกทั้งฟองอากาศเหล่านั้นยังเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี เป็นสมบัติเฉพาะของคอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบามีกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Non - Autoclaved System) ซึ่งจะแบ่งย่อยออกได้อีกเป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุเบากว่ามาทดแทน เช่น ขี้เลื่อย ชานอ้อย หรือเม็ดโฟมทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้น แต่จะมีอายุการใช้งานที่สั้นเสื่อมสภาพได้เร็ว และหากเกิดไฟไหม้สารเหล่านี้อาจเป็นพิษต่อผู้อยู่อาศัย

ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมี (Circular Lightweight Concrete) เพื่อให้เนื้อคอนกรีตฟู และทิ้งให้แข็งตัดคอนกรีตประเภทนี้จะมีการหดตัวมากกว่า ทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่าย ไม่ค่อยแข็งแรง คอนกรีตที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงนี้ส่วนใหญ่เนื้อผลิตภัณฑ์มักจะมีสีเป็นสีปูนซีเมนต์ ต่างจากคอนกรีตที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงซึ่งจะมีเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นผลึกสีขาว ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 คอนกรีตมวลเบาและลักษณะการใช้งาน

2. ระบบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved System) ซึ่งแบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้เป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 Lime Base ใช้ปูนขาว มาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต

ประเภทที่ 2 Cement Base ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หมายถึง ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) ชนิดหนึ่งซึ่งได้จากการบดปูนเม็ด (Clinker) กับแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) เมื่อผสมกับน้ำสารประกอบที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำ เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ทำให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัวได้ (ไทยคอนอินจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์, 2555, ออนไลน์)

ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (ศตวรรษ ทวงชน, 2547) เกิดขึ้นเมื่อนำปูนซีเมนต์มาผสมกับน้ำ ในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันซีเมนต์ ซีเมนต์จะค่อยๆแข็งตัวและมีความมั่นคงจนกลายเป็นซีเมนต์เพลสที่แข็งตัวเต็มที่ การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณซิลิเกตและอะลูมิเนตในสภาวะเริ่มแรกของปฏิกิริยาไฮเดรชัน สารประกอบแคลเซียมซิลิเกต 2 ตัว คือ ไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3CaO.SiO_2$ หรือ C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต ($2CaO.SiO_2$ หรือ C_2S) จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันก่อนอย่างรวดเร็วแล้วค่อยๆลดลงในเวลาต่อมา ผลจากการเกิดปฏิกิริยาไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) จะเปลี่ยนเจลของแคลเซียมซิลิเกต ($C_3S_2H_3$) และน้ำปูน ($Ca(OH)_2$) แยกออกมาสำหรับไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) จะเกิดปฏิกิริยาคล้ายกันแต่จะได้น้ำปูนน้อยกว่าปัจจุบันจะเขียน $C_3S_2H_3$ ในรูป C-S-H เรียกว่า โทเบอร์โมไลท์ (Tobermorite) เจลแคลเซียมซิลิเกตทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วจะทำให้เกิดน้ำปูน ($Ca(OH)_2$) และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($C_3S_2H_3$) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัว

ประสานน้ำปูนที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้ จะทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่ได้มีคุณสมบัติเป็นด่าง (pH ประมาณ 12.5) จึงช่วยป้องกันการกัดกร่อนจากเหล็กเสริมซึ่งอยู่ในเนื้อคอนกรีตเสริมเหล็ก สมการการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันมีดังสมการที่ 1 และ 2

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

หรือ $$2(C_3S) + 6H_2O \longrightarrow (C_3S_2H_3) + 3(Ca(OH)_2) \quad (1)$$

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

หรือ $$2(C_3S) + 4H_2O \longrightarrow (C_3S_2H_3) + Ca(OH) \quad (2)$$

สำหรับไตรแคลเซียมอลูมิเนต($3CaO.Al_2O_3$) หรือ C_3A แม้จะมีจำนวนน้อยแต่ก็เป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดการก่อตัวเฉียบพลัน ดังนั้นจึงต้องเติมยิปซัมลงไปแก้ไข ผลึกที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A จะมีลักษณะเป็นเหลี่ยม และมีเจลแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($C_3S_2H_3$) ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันห่อหุ้มไว้ สมการการเกิดปฏิกิริยามีดังสมการที่ (3)

$$3CaO.SiO_2 + H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O$$

หรือ $$C_3A + 6H_2O \longrightarrow 3C_3A.H_6 \quad (3)$$

และเมื่อใส่ยิปซัมในขั้นตอนการบดเม็ดปูน จะได้สมการที่ (4)

$$C_3A + CaSO_2 + 2H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.CaSO_4.31H_2O \quad (4)$$

เมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันขึ้น ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้

- อายุของซีเมนต์เพสต์ ปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมากที่สุดในช่วงแรก ยกเว้นช่วงระยะเวลาเริ่มต้นผสม หลังจากนั้นจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจนถึงช่วงสิ้นสุดของปฏิกิริยาไฮเดรชัน

- องค์ประกอบของปูนซีเมนต์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบหลักแต่ละตัวจะแตกต่างกันดังตารางที่ 1

- ความละเอียดของปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์มีความละเอียดสูงจะมีพื้นที่สัมผัสกับน้ำได้มาก มีผลทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของปฏิกิริยา

- อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ในช่วงเริ่มต้นอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จะไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยาจะลดลง ถ้าส่วนผสมมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์น้อยกว่าปกติจะมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง

- อุณหภูมิ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีข้อแม้ว่าการเพิ่มของอุณหภูมินี้จะต้องไม่ทำให้เกิดการแห้งตัวของซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ 1 ระยะเวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นร้อยละ 80 ของสารประกอบหลักทั้ง 4 ชนิด

สารประกอบหลัก	ระยะเวลา (วัน)
ไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3CaO.SiO_2$) หรือ C_3S	10
ไดแคลเซียมซิลิเกต ($2CaO.SiO_2$) หรือ C_2S	100
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ($3CaO.Al_2O_3$) หรือ C_3A	60
เททระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์ ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$) หรือ C_4AF	50

ปูนซีเมนต์ (Cement) เป็นวัสดุเชื่อมประสานที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆซึ่งได้แก่หินปูนหรือดินขาว และดินเหนียวหรือดินดาน ที่อุณหภูมิ 1400-1500 องศาเซลเซียส ในสัดส่วนที่ถูกต้อง อาจมีการเติมแร่เหล็กหรือยิปซัมตามความจำเป็น เพื่อปรับปรุงให้มีคุณสมบัติตามต้องการ คอนกรีตที่ผสมใหม่และยังเหลวอยู่นั้น ส่วนที่เป็นของแข็งของปูนซีเมนต์จะลอยตัวอยู่ในน้ำชั่วคราวเม็ดปูนแต่ละเม็ดจะถูกแยกไว้ด้วยชั้นบางๆ ของน้ำก่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สามารถสร้างแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดปูนซีเมนต์เล็ก ๆ การเกาะตัวกันที่ต่อเนื่องก่อให้เกิดการยึดตัวรวมกันเป็นก้อนได้ คอนกรีตที่ดีนั้นได้จากการที่อนุภาคของมวลรวม ทั้งอนุภาคเล็กและใหญ่ ทุกอนุภาคถูกเคลือบและหุ้มด้วยซีเมนต์เพสต์ ซึ่งเป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ล้วนๆกับน้ำส่วนมอร์ต้าร์เป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์กับมวลรวมละเอียดปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นและใช้กันมากที่สุดคือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ศตวรรษ ทวงชน, 2547)

องค์ประกอบของปูนซีเมนต์สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทดังนี้

1. องค์ประกอบของปูนซีเมนต์ในรูปออกไซด์ ซึ่งเป็นวัตถุที่นำมาใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์มีดังต่อไปนี้

- แคลเซียมออกไซด์ (CaO) มีประมาณร้อยละ 60-67 ได้มาจากหินปูน (Limestone) และหินชอล์ค (Chalk)
- ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) มีประมาณร้อยละ 17-25 ได้มาจากดินดานหรือดินเหนียว (Clay) และหินเชล (Shale)
- อะลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3) มีประมาณร้อยละ 3-8 ได้มาจากดินเหนียวหรือดินดำและหินเชล
- เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) มีประมาณร้อยละ 0.5-6 ได้มาจากดินเหนียว ดินดำ และหินเชลหรือศิลาแลง (Laterrite) นอกจากนนี้ยังต้องใช้ยิปซัม (Gypsums หรือ $CaSO_4.2H_2O$) ปริมาณร้อยละ 4-6 ผสมในเม็ดปูนเพื่อป้องกันการก่อตัวเฉียบพลันและช่วงหน่วงระยะเวลาการแข็งตัว

- สามารถแทรกเข้าไปอุดช่องว่างของหินในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตแน่น

- ช่วยบรรเทาการยืดหดและแตกร้าวในปูนฉาบ ถ้าปูนฉาบใส่ซีเมนต์มากเกินไปเพื่อลดการแตกร้าว ต้องเพิ่มทรายเข้าไปเพื่อให้มีทางขยายตัว

- ช่วยเพิ่มปริมาณของส่วนผสม ทำให้ราคาของคอนกรีตหรือปูนฉาบ ปูนก่อถูกลงเพราะทรายเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายทั่วไป และราคาถูก

แหล่งที่มาของทรายในประเทศไทยเป็นทรายที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วๆไปมีทั้งทรายบกที่ขุดบนพื้นและทรายแม่น้ำ เม็ดทรายบดละเอียดกว่าทรายแม่น้ำแต่สกปรกกว่า ทรายหยาบส่วนมากใช้ผสมคอนกรีตและปูนก่อ มาจากจังหวัดอ่างทอง ราชบุรี และตำบลบ้านแป้ง จังหวัดสิงห์บุรี แต่ทรายที่อ่างทองคุณภาพไม่ค่อยดีนักในการใช้ผสมคอนกรีต ส่วนทรายราชบุรีนับว่าใช้ได้ดี ซึ่งขุดมาจากแม่น้ำราชบุรี ทรายบ้านแป้งเป็นทรายที่ดีแต่ขนาดอนุภาคที่ละเอียดไปบ้าง ส่วนทรายละเอียดที่ใช้ในการฉาบปูนนั้นมาจากตำบลบางพูน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา แหล่งทรายที่กล่าวมาแล้วหมายถึงแหล่งทรายที่ขุดและส่งมาจำหน่ายในกรุงเทพ ส่วนที่อื่นๆในประเทศนั้นมีอีกมากมาย

อะลูมิเนียม (Aluminium) ในเปลือกโลกอะลูมิเนียมเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับสามและเป็นโลหะที่มีมากที่สุดอะลูมิเนียมมีอยู่ทั่วๆไปเป็นแร่อะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) เช่น ในดินเหนียว แต่การที่จะสกัดเอาอะลูมิเนียมจากดินเหนียวนั้นต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก โลหะอะลูมิเนียมเตรียมได้จากการแยกสลายด้วยไฟฟ้าของอะลูมิเนียมออกไซด์โดยการละลายอะลูมิเนียมออกไซด์ที่บริสุทธิ์ในไครโอไลด์ซึ่งหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 800-1000 องศาเซลเซียส และนำสารละลายนี้ไปแยกสลายด้วยไฟฟ้าในภาชนะเหล็กโดยมีแกไฟต์เป็นประจุลบและคาร์บอนเป็นประจุบวกจะได้โลหะอะลูมิเนียมที่ขั้วลบและแก๊สออกซิเจนที่ขั้วบวกอะลูมิเนียมออกไซด์หรืออะลูมินา ที่นำมาแยกสลายด้วยไฟฟ้านั้นได้มาจากแร่บอกไซด์ แต่ในแร่มักจะมีสิ่งที่ไม่บริสุทธิ์ เช่น ซิลิกาเจือปนอยู่บ้างต้องนำมาทำให้บริสุทธิ์โดยนำแร่มาบดให้ละเอียดและสกัดอะลูมินาซึ่งสมบัติเป็นกรดและด่างออกโดยละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อนภายใต้ความดันสูงโลหะอะลูมิเนียมเป็นตัวให้อิเล็กตรอนอย่างแรก คือ ไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับปูนขาวทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนได้ แต่เนื่องจากโดยปกติที่ผิวของโลหะอะลูมิเนียมจะเกิดออกไซด์บางๆเคลือบอยู่จึงป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่อไป

Aluminum Power Method เป็นวิธีที่ใส่สารเคมีให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในเนื้อคอนกรีต ทำให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในเนื้อคอนกรีต ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นไปดังสมการที่ (5)

$$2Al + 3Ca(OH)_2 + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O + 3H_2 \qquad (5)$$

น้ำ (Water) ปริมาณและคุณภาพของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต ในที่นี้จะพิจารณาถึงเรื่องคุณภาพของน้ำซึ่งมีความสำคัญมาก เพราะสิ่งเจือปนต่างๆ ในน้ำอาจมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น กำลังอัดทำให้สีของคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตคอนกรีตโดยทำหน้าที่ 3 ประการ คือ

- ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน
- ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มสูงขึ้น
- ใช้ล้างมวลรวม

เราต้องการน้ำที่มีคุณภาพดีและปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีต กฎทั่วไปของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต คือ น้ำที่ดื่มได้นับเป็นน้ำที่ใช้ในงานคอนกรีตได้เสมอ (ศตวรรษ ทวงชน, 2547)

กระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา

กระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา (บริษัท ซุปเปอร์บล็อก จำกัด (มหาชน), 2555, ออนไลน์) ในปัจจุบันใช้เทคโนโลยีในการผลิตสมัยใหม่ สามารถผลิตได้เป็นจำนวนมากและมีการทำให้เกิดฟองอากาศหรือรูพรุน ภายในเนื้อคอนกรีตมวลเบา การผลิตคอนกรีตมวลเบาของไทยโดยทั่วไปมีวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตดังนี้คือ

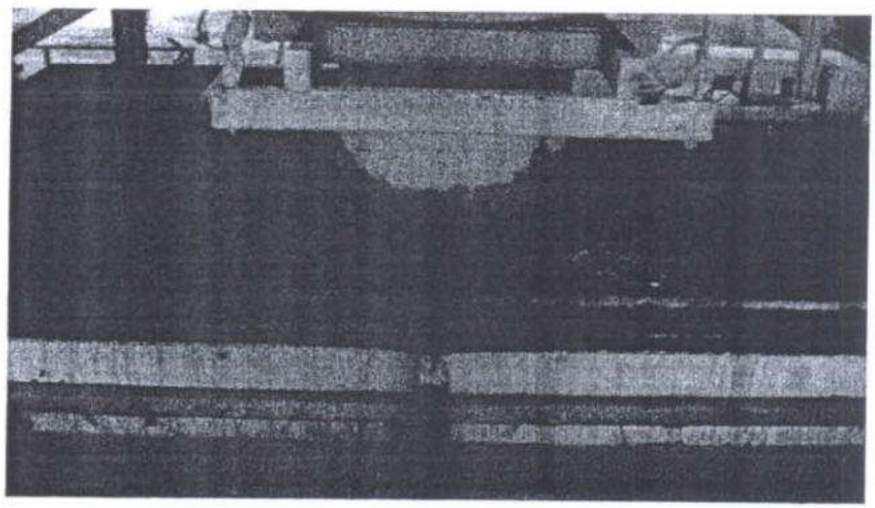
ซีเมนต์	สัดส่วนร้อยละ	30	โดยมวล
ทราย	สัดส่วนร้อยละ	50	โดยมวล
ยิปซัม	สัดส่วนร้อยละ	9	โดยมวล
ปูนขาว	สัดส่วนร้อยละ	9	โดยมวล
ผงอะลูมิเนียม	สัดส่วนร้อยละ	2	โดยมวล

โดยขั้นตอนการผลิตคอนกรีตมวลเบามีขั้นตอนการผลิตดังนี้

1. นำวัตถุดิบหลักคือทรายมาบดด้วยเครื่องบด CRUSHING TRINNING MACHINES (M102) บดผสมกับน้ำ

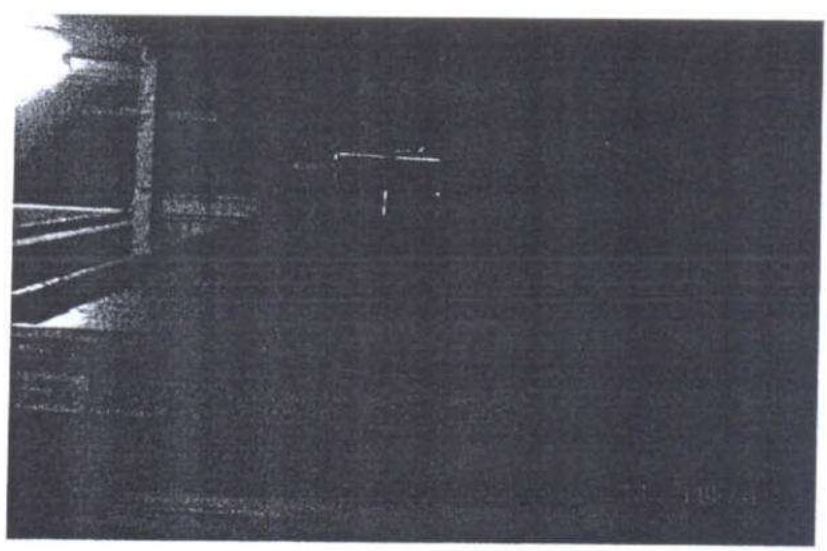
2. นำวัตถุดิบที่ใช้ในกรรมวิธีทำคอนกรีตมวลรวมเบา (ปูนขาว ผงอะลูมิเนียม ทราย ซีเมนต์ ยิปซัม) ผสมเข้ากันตามอัตราส่วน โดยส่วนผสมหลักคือ ทรายและซีเมนต์ ตามลำดับ ด้วยเครื่องผสม MIXING MACHINES (M101) การผสม (Mixing) โดยนำทรายและซีเมนต์มาผสมกันก่อนในขณะเดียวกันใส่ยิปซัมกับปูนขาวตามลำดับ จากนั้นจึงผสมกับอะลูมิเนียมในขั้นตอนสุดท้าย

3. เทเข้าแม่พิมพ์ ที่ทำการเตรียมไว้ ดังแสดงในภาพที่ 3



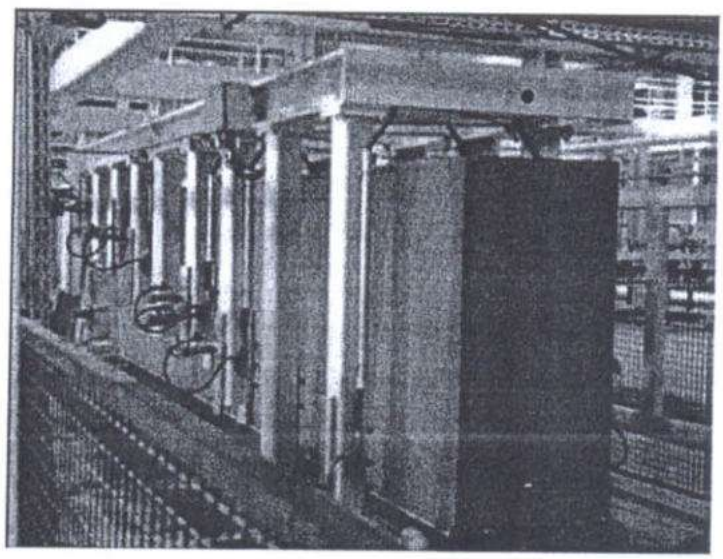
ภาพที่ 3 แม่พิมพ์คอนกรีตมวลเบา

4. นำเข้าห้องบ่ม เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา และการเกิดเป็นฟองอากาศภายในคอนกรีตมวลเบา ดังแสดงในภาพที่ 4



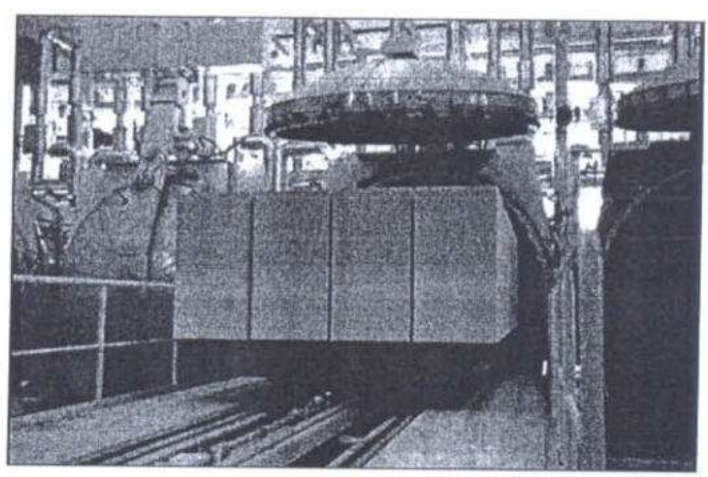
ภาพที่ 4 การบ่มเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาของฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบา

5. นำเข้าเครื่องตัด เพื่อตัดขนาดตามความต้องการของลูกค้า โดยใช้ลวดในการตัด CUTTING MACHINES ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การตัดตามขนาดคอนกรีตมวลเบา

6. นำผ่านเข้าเครื่องอบไอน้ำความดันสูง ภายใต้แรงดันประมาณ 8-12 บาร์ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การอบอิฐมวลเบาด้วยไอน้ำ

7. ตรวจสอบคุณภาพ (QC)

8. บรรจุ packing รอส่งลูกค้า

คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา

1. คุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบาหนา 10 เซนติเมตร เมื่อรวมน้ำหนักวัสดุกับน้ำหนักปูนฉาบจะมีน้ำหนักประมาณ 120 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ในขณะที่อิฐมอญก่อ 2 ชั้น (เว้นช่องตรงกลาง) จะมีน้ำหนักประมาณ 180 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งน้ำหนักของการก่ออิฐมอญจะมากกว่าทำให้ต้องเตรียมโครงสร้างให้ใหญ่เป็นเหตุทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น

2. ความคงทน ในที่นี้หมายถึงความสามารถของวัสดุหรือส่วนประกอบในการคงทนต่อสภาพแวดล้อมโดยไม่เกิดความสูญเสียรูปร่างหรือสึกกร่อนในงานโครงสร้างอาคาร สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงก็คือ การกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมี ความเค้นทางกายภาพ และการถูกกระแทกเนื่องจากแรงภายนอกทั้งหลาย คอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไปไม่สามารถที่จะทนต่อสิ่งต่างๆที่กล่าวมาได้ ทั้งนี้เพราะความที่มีรูพรุนมากในตัวเอง ดังนั้นคอนกรีตมวลเบาจึงไม่เหมาะสมที่จะใช้สำหรับก่อสร้างในดินที่มีสารพวกซัลเฟตปนอยู่ แต่อย่างไรก็ตามในทุกกรณีคอนกรีตมวลเบาควรจะได้รับการฉาบผิวเพื่อป้องกันการกัดกร่อน ความเค้นทางกายภาพที่มีผลต่อคอนกรีตมวลเบา ได้แก่ ความเค้นที่เกิดขึ้นจากน้ำแข็งที่อยู่ภายในรูพรุนเกิดการหดตัวเมื่อแห้ง และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง การแตกหักของคอนกรีตเนื่องจากแรงภายนอกอาจจะมีผลมาจากการขัดสีการกระแทก และการรับน้ำหนักมากเกินไป เช่น คอนกรีตฟองอากาศอาจจะเกิดแตกหักได้ง่ายเมื่อได้รับการขัดสี ความอ่อนแอของวัสดุชนิดนี้อาจนำไปสู่ความเสียหายของอาคารทั้งหลังก็เป็นไปได้ ดังนั้นในการใช้คอนกรีตมวลเบาแต่ละชนิดควรให้ความระมัดระวังอย่างยิ่งโดยเฉพาะในระหว่างการก่อสร้าง

3. การเป็นสนิมของเหล็ก เป็นอุปสรรคสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้คอนกรีตมวลเบาไม่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในงานคอนกรีตเสริมเหล็กเท่าที่ควรกล่าวคือ ความเป็นรูพรุนของเนื้อคอนกรีตซึ่งอาจจะเป็นช่องทางให้ความชื้นเข้าไปถึงเหล็กเสริมได้ง่าย อย่างไรก็ตามเรื่องนี้สามารถป้องกันได้โดยการใช้คอนกรีตมวลเบาประเภทอัดแน่นอย่างดีสำหรับงานโครงสร้าง คอนกรีตชนิดนี้โดยเฉพาะที่ผสมโดยมวลรวมน้ำหนักเบาที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาทางเคมีสามารถเป็นตัวต้านทานต่อการเกิดสนิมของเหล็ก และการเสื่อมโทรมของตัวมันเองมีอิทธิพลอย่างมากต่อสมรรถนะและความทนทานของคอนกรีตเสริมเหล็กมากกว่าชนิดของมวลรวมน้ำหนักเบาที่ใช้ประสบการณ์ที่ใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำมาจากมวลรวมน้ำหนักเบาชนิดต่างๆ การเกิดสนิมนั้นเนื่องมาจากความชื้นและแก๊สออกซิเจนอิสระทำปฏิกิริยากับเหล็กและในบรรยากาศที่มีสารประกอบซัลเฟอร์และคลอไรด์การผุกร่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเพื่อป้องกันให้เพียงพอ คอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมต้องหนาอย่างน้อย 50 มิลลิเมตร แต่ในกรณีที่สภาพแวดล้อมเลวร้ายจริงๆ เช่น ในบรรยากาศที่มีความชื้นมากๆ หรือในดินที่มีสารเคมีที่เป็นปฏิปักษ์คอนกรีตหุ้มเหล็กควรมีความหนา 75 มิลลิเมตรขึ้นไปไม่ว่ามวลรวมที่ใช้จะเป็นชนิดใดก็ตามสำหรับคอนกรีตฟองอากาศเสริมเหล็ก เหล็กเสริมจะต้องได้รับ

การป้องกันอย่างดีโดยการเคลือบผิวก่อนการเทคอนกรีต การเคลือบผิวนี้ทำโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมกับยางลาเท็กซ์ธรรมชาติหรือสารบิทูเมนแข็ง วัสดุทั้งสองอย่างนี้เมื่อจับแน่นกับเหล็กแล้วสามารถกันน้ำซึมผ่านได้อย่างดี

4. การซึมของน้ำฝน หน้าที่สำคัญอย่างหนึ่งของผนังอาคารด้านนอก คือ การป้องกันน้ำฝน ในกรณีที่ทำผนังสองชั้นแบบไม่มีช่องว่างข้างใน ปัญหาเรื่องการซึมของน้ำฝนอาจจะไม่เกิดขึ้นอีกเลยแต่ในกรณีของผนังบางชั้นเดียวนั้นมักจะเกิดปัญหาเรื่องน้ำฝนซึมผ่านมาก ในการซึมผ่านของน้ำฝนนั้น บางครั้งน้ำฝนจะซึมผ่านเข้าทางเนื้อคอนกรีตโดยตรง แต่ส่วนใหญ่แล้วน้ำฝนมักจะซึมผ่านเข้าทางช่องรอยแตกของรอยต่อมากกว่า คอนกรีตยิ่งกันน้ำได้ดีเท่าไรความชื้นก็จะซึมผ่านเข้าทางรอยแตกของช่องรอยต่อมากขึ้นเท่านั้น คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบามีช่องว่างรูพรุนที่ผิว ดังนั้นการใช้วัสดุชนิดนี้ทำผนังที่มีความหนาเพียงพอและทำอย่างถูกต้องจะสามารถให้การต้านทานอย่างดีต่อการซึมผ่านของน้ำฝน ด้วยเหตุผลข้างต้นคอนกรีตฟองอากาศที่ไม่มีการฉาบผิวจึงมีการซึมผ่านของน้ำฝนเพียงเล็กน้อย ถ้าหากผนังไม่บางมากเกินไปแล้วไม่ต้องห่วงเรื่องการซึมผ่านน้ำฝน

5. การหดตัวเมื่อแห้งแล้วการคืบตัว ผลิตภัณฑ์จากปูนซีเมนต์ทุกชนิดมักจะแสดงการยืดหดตัวเมื่อมันได้รับการเปลี่ยนแปลงของความชื้น เมื่อคอนกรีตแห้งใหม่ๆ มักจะเกิดการหดตัว ซึ่งเรียกกันว่า "การหดตัวเมื่อแห้งครั้งแรก" หลังจากนั้นการเปียกและการแห้งจะมีผลให้คอนกรีตเกิดการขยายตัวและหดตัวสลับกันไป ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็น "การยืดหดตัวตามความชื้นซึ่งกลับไปกลับมาได้" ผลของการหดตัวของคอนกรีตจะทำให้เกิดแรงดึงขึ้นในเนื้อคอนกรีต ถ้าคอนกรีตนี้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างที่มีของเขตของการเคลื่อนที่จำกัดมันก็จะเกิดการแตกร้าวขึ้น คอนกรีตที่ทำด้วยมวลรวมน้ำหนักเบาโดยทั่วไปมีการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าคอนกรีตธรรมดา สำหรับคอนกรีตที่ทำด้วยมวลรวมหยาบชนิดเดียวกันคอนกรีตที่ไม่มีมวลละเอียดจะหดตัวน้อยกว่าคอนกรีตมวลรวมละเอียด คอนกรีตฟองอากาศหล่อสำเร็จจะมีค่าการหดตัวเมื่อแห้งใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา แต่คอนกรีตฟองอากาศหล่อในที่อาจจะมีค่ามากกว่า 5-10 เท่า ในบางครั้งค่าของการหดตัวเมื่อแห้งสำหรับคอนกรีตชนิดต่าง ๆ คิดว่าการแตกร้าวอาจจะเกิดขึ้นได้หรือการทำข้อต่อไว้ ณ จุดที่เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแรงดึงขึ้นในเนื้อคอนกรีต คอนกรีตไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากความชื้นเท่านั้น แต่มันยังมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรเมื่อมันได้รับความเค้นติดต่อกันเป็นเวลานาน พฤติกรรมเช่นนี้เรียกว่า การคืบตัว (Creep) การคืบตัวของคอนกรีตจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดการรับน้ำหนักส่วนผสมของคอนกรีต และขนาดของชิ้นส่วนสำหรับคอนกรีตที่มีกำลังอัดเท่ากัน คอนกรีตมวลเบาส่วนใหญ่จะมีการคืบตัวและการหดตัวตามความชื้นมากกว่าคอนกรีตธรรมดา การคืบตัวเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาเพราะจะนำไปสู่การสูญเสียแรงอัด

6. การป้องกันไฟ เมื่อเกิดไฟไหม้โครงสร้างที่ทำด้วยเหล็กกล้าหรืออะลูมิเนียมอันลอยจะยืนหยัดอยู่ได้ไม่นานเพราะเมื่ออุณหภูมิของเหล็กกล้าสูงขึ้นถึง 555 องศาเซลเซียส และอะลูมิเนียมอันลอย 200-250 องศาเซลเซียส กำลังของโลหะเหล่านี้จะตกลงทันทีภายในสองถึงสามวินาทีที่เกิดเพลิงไหม้ ดังนั้นเพื่อที่จะหน่วงกำลังของโครงสร้างเหล็กกล้าไว้การห่อหุ้มเหล็กกล้าด้วยคอนกรีตจึงเป็นสิ่งที่มีประโยชน์มาก ตามหลักปฏิบัติทั่วไปกำหนดให้คอนกรีตหุ้มมีความหนาไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร จึงจะต้านทานความร้อนได้เพียงพอ อย่างไรก็ตามการพองตัวของเนื้อคอนกรีตอาจจะเกิดขึ้นได้ ถึงกระนั้นก็ตามการทำเช่นนี้ก็ยังช่วยหน่วงไฟไว้ได้มากทั้งนี้เนื่องจากการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี คอนกรีตมวลเบาจึงเป็นวัสดุอย่างดีเลิศสำหรับการป้องกันโครงสร้างเหล็กกล้าในเวลาเพลิงไหม้ คอนกรีตสำหรับห่อหุ้มสมัยใหม่นี้ทำเป็นรูปบล็อก หรือทำเป็นแผ่น ตัวอย่างเช่น คอนกรีตฟองน้ำ คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา คอนกรีตบล็อก วัสดุน้ำหนักเบาที่ใช้กันมากมีตะกรันเตาเผา ดินพองตัว เถ้าเชื้อเพลิงผง และพัมมิส วัสดุเหล่านี้ถือเป็นมวลรวมน้ำหนักเบาชั้นหนึ่งในแง่ของการต้านไฟ

7. การกันเสียง โดยปกติคอนกรีตมวลเบาจะกันเสียงได้ดีกว่าอิฐมอญ 20% แต่ในกรณีที่ใช้อิฐมอญก่อ 2 ชั้นช่องว่างตรงกลางจะทำหน้าที่เป็นฉนวนได้ดีกว่าเกือบ 2 เท่าตัว แต่คอนกรีตมวลเบาจะลดการสะท้อนของเสียงได้ดีกว่า เนื่องจากโครงสร้างของคอนกรีตมวลเบามีฟองอากาศจำนวนมากอยู่ภายในทำให้ดูดซับเสียงได้ดี จึงเหมาะกับห้องหรืออาคารที่ต้องการความเงียบ เช่น ห้องประชุมหรือโรงภาพยนตร์

8. ประหยัดพลังงานนอกจากสามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญแล้วยังทำให้ใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเล็กลงด้วย ทำให้ประหยัดค่าไฟไปได้มาก เนื่องจากสามารถกันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมอญ 4-8 เท่า จึงช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในได้เป็นอย่างดี

9. ใช้งานง่ายและรวดเร็วเนื่องจากการผลิตที่เป็นมาตรฐาน ทำให้สินค้าออกมามีขนาดเท่ากันทุกก้อน ไม่เหมือนกับอิฐมอญที่ยังมีความไม่เป็นมาตรฐานอยู่ในงานก่อสร้าง โดยคอนกรีตมวลเบาจะใช้เวลาในการก่อและเกิดการเสียหายน้อยกว่า โดยเฉลี่ยแล้วใน 1 วันจะก่อผนังโดยใช้คอนกรีตมวลเบาได้ประมาณ 25 ตารางเมตร ในขณะที่ก่ออิฐมอญได้เพียง 12 ตารางเมตรเท่านั้น

10. มิติเที่ยงตรง ขนาดมิติเที่ยงตรง แน่นอน ได้ชิ้นงานเรียบสวยงาม มีหลายขนาดให้เลือก

11. อายุการใช้งานยาวนานเท่ากับโครงสร้างคอนกรีต (50ปี) (กฤษฎา โรจน์ประสิทธิ์พร, สุภัทรชัย สุดกล้า และอราวินท์ บริรักษ์, 2546)

ชั้นคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบาแบ่งตามความต้านทานแรงอัดหรือกำลังรับแรงอัดออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ และแบ่งตามความหนาแน่นเชิงปริมาตรออกเป็น 7 ชนิด โดยชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมีความสัมพันธ์ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ชั้นคุณภาพของคอนกรีตมวลเบาตาม มอก.1505-2541

ชั้นคุณภาพ	ความต้านทานแรงอัด (N/mm^2)		ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ย kg/dm^3
	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด		
G2	2.5	2.0	0.4	0.31-0.40
			0.5	0.41-0.50
G4	5.0	4.0	0.6	0.51-0.60
			0.7	0.61-0.70
			0.8	0.71-0.80
G6	7.5	6.0	0.7	0.61-0.70
			0.8	0.71-0.80
G8	10.0	8.0	0.8	0.71-0.80
			0.9	0.81-0.90
			1.0	0.91-1.00

ซึ่งปัจจุบันมีผู้ผลิตคอนกรีตมวลเบามีสองรายใหญ่ คือ บริษัทซุปเปอร์บล็อกจำกัด (มหาชน) และบริษัทคิวคอน จำกัด (มหาชน) ที่ผลิตได้ตามมาตรฐานของอุตสาหกรรม มอก. 1505-2541 บริษัทซุปเปอร์บล็อก จำกัด (มหาชน) ใช้เทคโนโลยีนำเข้าจากประเทศเยอรมันมาผลิตในประเทศไทย ซึ่งผลิตคอนกรีตมวลเบาตั้งแต่ชั้นคุณภาพ G4 และ G6 และบริษัทคิวคอน จำกัด (มหาชน) มีผลิตอิฐมวลเบาชั้นคุณภาพ G2 และ G4 ตามลำดับ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2541)

การทดสอบสมบัติพื้นฐานเบื้องต้นของคอนกรีตมวลเบา

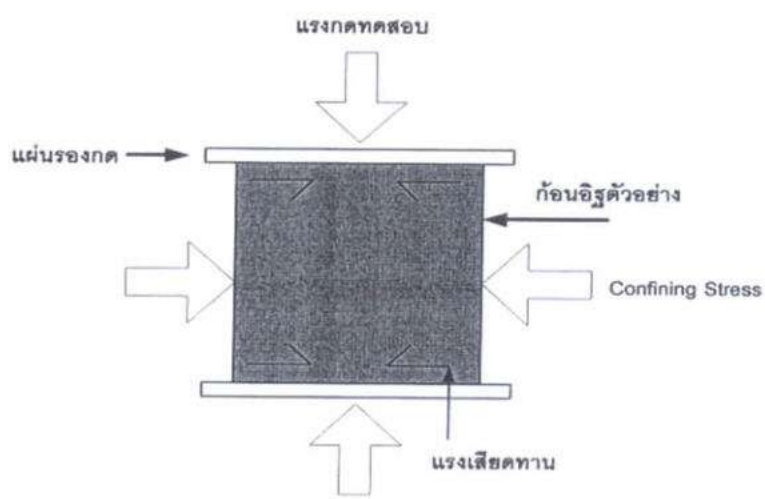
1. ทฤษฎีแรงอัด (Compressive Strength)

เพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบา ให้เป็นไปตามมาตรฐานคอนกรีต โดยทำการตัดก้อนตัวอย่างขนาด 7.5 x 7.5 x 7.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการทดสอบเมื่อก้อนตัวอย่างผ่านการอบที่อุณหภูมิ 75 ±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

1. เปิดเครื่องทดสอบค่าการรับแรงอัดก่อนทำการกดก้อนตัวอย่างทดสอบประมาณ 10 นาที เพื่อให้น้ำมันไฮดรอลิกไหลเวียนได้ดี ทำให้เครื่องเดินเรียบ กำลังอัดสม่ำเสมอ

2. ให้ทำการกดก้อนตัวอย่างในแนวที่ตั้งฉากกับด้านยาวของก้อนตัวอย่าง

3. จดบันทึกค่าที่รับแรงอัดสูงสุดเมื่อก้อนตัวอย่างที่กดเกิดการแตกเสียหายโดยค่าที่ได้ให้จดเป็นหน่วยตัน เพื่อใช้ในการคำนวณค่ารับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบา โดยขณะที่กดก้อนตัวอย่าง ก้อนตัวอย่างจะแตกออกด้านข้าง ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกด แรงเสียดทานดังกล่าว จะก่อให้เกิดแรงต้านทานต่อการแตกด้านข้างของก้อนตัวอย่างที่เรียกว่า Confining Stress ดังแสดงในภาพที่ 7 โดยค่า Confining Stress นี้จะมีค่ามากถ้าผิวสัมผัสของก้อนตัวอย่างกับเครื่องกดมีค่ามาก ดังนั้นผลการทดสอบกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ จึงมีค่า Confining Stress



ภาพที่ 7 ลักษณะแรงต้านต่อการแตกด้านข้าง (Confining Stress)

การคำนวณผลการทดสอบดังสมการ 6 เพื่อหาพื้นที่รับแรงอัดสูงสุดของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาทดสอบตามมาตรฐาน

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (6)$$

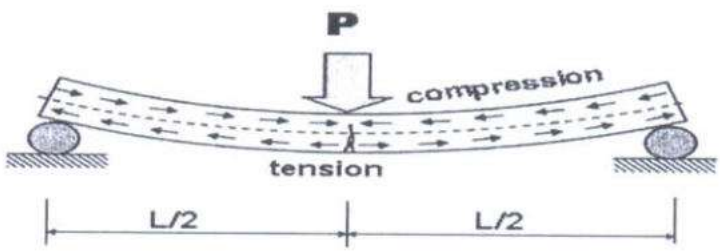
เมื่อ f_c = กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

P = น้ำหนักสูงสุด (Maximum Load) (กิโลกรัม)

A = พื้นที่รับแรงอัด (Area) (ตารางเซนติเมตร)

2. ทฤษฎีการทดสอบแรงดัดของคอนกรีต (Flexural Strength)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบหากำลังรับแรงดัดของคอนกรีต โดยทดสอบกับคานคอนกรีตที่วางบน Simple Support (Simple Beam) Center-Point Loading ผลของค่ากำลังต้านทานแรงดัดจะอยู่ในรูปของโมดูลลัสการแตกร้าว (Modulus of Rupture) โดยเป็นค่าหน่วยแรงดึงสูงสุด ณ จุดที่แตกร้าวในคานที่ทำการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การทดสอบแรงดัด

คำนวณค่ากำลังรับแรงดัด (Modulus of Rupture)

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (7)$$

เมื่อ R = โมดูลัสการแตกร้าว (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

P = น้ำหนักสูงสุด (Maximum Load) (กิโลกรัม)

L = ความยาวคาน (Span Length) (เซนติเมตร)

b = ความกว้างเฉลี่ยของคาน (เซนติเมตร)

d = ความลึกเฉลี่ยของคาน (เซนติเมตร)

3. อัตราการดูดกลืนน้ำ (Water Absorption)

เพื่อทดสอบการกลืนน้ำซึมน้ำของอิฐมวลเบา การหาการดูดซึมของน้ำคิดจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักของอิฐแห้งและน้ำหนักของอิฐที่ดูดซึมน้ำเป็นกรัม ดังสูตร การคำนวณอัตราการดูดกลืนน้ำโดยหาจากสมการดังนี้

น้ำหนักน้ำที่ดูดกลืน (กรัม) = น้ำหนักหลังแช่น้ำ 24 ชม. (กรัม) - น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (กรัม)

$$\text{อัตราการดูดกลืนน้ำโดยปริมาตร} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \qquad (8)$$

เมื่อ W_1 = ปริมาตรหลังอบ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

W_2 = น้ำหนักน้ำที่ดูดกลืน (กรัม)

4. ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (Dry Density)

การทดสอบเพื่อหาความหนาแน่นของอิฐมวลเบาตามมาตรฐานการทดสอบ ดังสมการต่อไปนี้

$$P = \frac{M}{V} \qquad (9)$$

เมื่อ P = ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง

M = มวลของชิ้นตัวอย่างทดสอบ (กรัม)

V = ปริมาตรของชิ้นตัวอย่างทดสอบ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

5. ความพรุน (Porosity)

ความพรุน หมายถึง อัตราส่วนปริมาตรจำนวนช่องว่างต่อปริมาตรภายนอกของตัวอย่างคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยที่

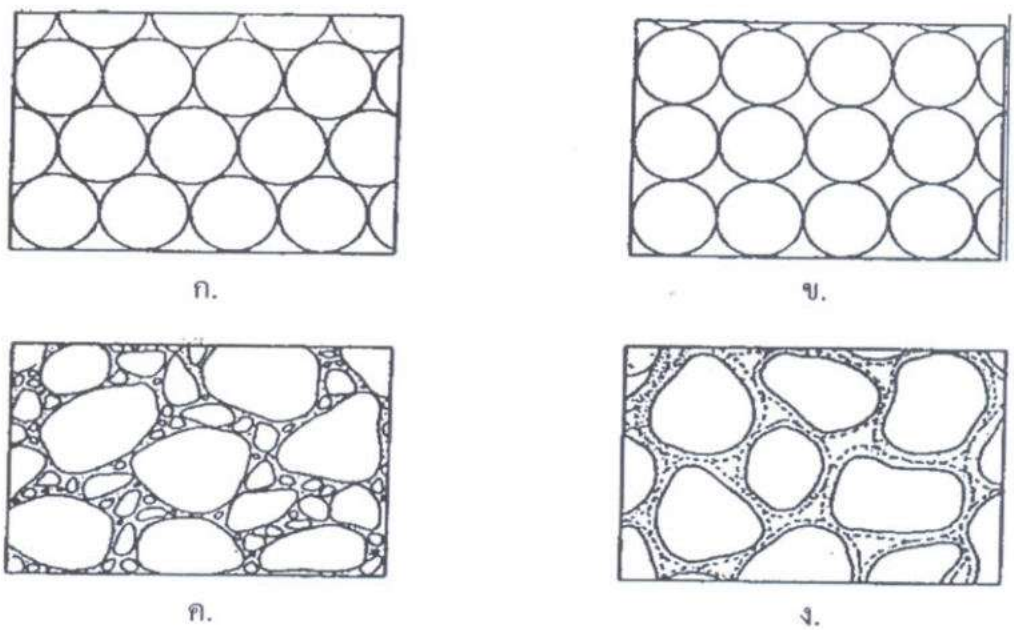
$$P = \frac{V_v}{V_t} \qquad (10)$$

โดยที่ P = ค่าความพรุน (ร้อยละ)

V_v = ปริมาตรช่องว่าง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

V_t = ปริมาตรของตัวอย่างทั้งหมด (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

เม็ดตะกอนกลมที่มีการปรับเรียงตัวแบบ การจับตัวแน่น (Close packing) มีค่าความพรุนร้อยละ 27 ดังแสดงในภาพที่ 9ก ส่วนเม็ดตะกอนกลมที่มีการปรับเรียงตัวหลวมแบบ การจับตัวหลวม (Open packing) มีค่าความพรุนร้อยละ 47 ดังแสดงในภาพที่ 9ข ความเชื่อมแน่นของวัตถุเชื่อมประสานทำให้ค่าความพรุนลดน้อยลง การละลายของแร่บางชนิดออกจากหินกับรอยแตกของหิน ก็มีผลทำให้ความพรุนของหินมีค่ามากขึ้น (ASTM International, 2003)



ภาพที่ 9 ความพรุน

ก. ทรงกลมมีความพรุนร้อยละ 27
ข. ทรงกลมจัดเรียงตัวหลวมมีความพรุนร้อยละ 47
ค. คัดขนาดไม่ดีความพรุนต่ำ
ง. คัดขนาดดีความพรุนสูง

อุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล

น้ำตาลเป็นผลผลิตจากอุตสาหกรรมการเกษตรที่เป็นมรดกสืบสานความเป็นมาตั้งแต่อดีตและมีบทบาทสำคัญในทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย เพราะสามารถสร้างรายได้เข้าประเทศได้มาก มีมูลค่ารวมมากกว่า 50,000 ล้านบาทต่อปี มีชาวไร่อ้อยมากกว่า 100,000 ครอบครัว พื้นที่ปลูกอ้อยกระจายในจังหวัดต่างๆ ประมาณ 9.1 ล้านไร่ ผลผลิตอ้อยต่อปีประมาณ 100 ล้านตัน ปัจจุบันมีโรงงานน้ำตาลในประเทศไทยทั้งสิ้น 47 โรงงาน โดยกำลังการผลิตมากที่สุดในภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดสิงห์บุรี ลพบุรี สระบุรี อุทัยธานี สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ราชบุรี ประจวบคีรีขันธ์ (สำนักงานนโยบายอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555, ออนไลน์)

โรงงานน้ำตาลมิตรผล จังหวัดสิงห์บุรี มีกำลังการผลิต 14,000 ตันอ้อยต่อวัน และกำลังผลิตน้ำตาลทรายขาว 600 ตันต่อวัน ส่วนโรงงานน้ำตาลมิตรผล อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นกลุ่มบริษัทน้ำตาลในประเทศไทยที่มีกำลังการผลิต 32,000 ตันอ้อยต่อวัน และกำลังผลิตน้ำตาลทรายขาว 1,400 ตันต่อวัน ผลิตภัณฑ์ที่โรงงานน้ำตาลมิตรผลผลิตประกอบด้วย

1. น้ำตาลทรายดิบ (Raw Sugar)

เป็นน้ำตาลทรายที่ได้จากกระบวนการผลิตขั้นต้น โดยผ่านกระบวนการเคี่ยวและตกผลึก น้ำตาลทรายดิบจะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้ม มีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่ และความบริสุทธิ์ต่ำ โดยทั่วไปจะมีค่าสีสูงกว่า 1,500 ICUMSA (ซึ่งเป็นหน่วยมาตรฐานที่ใช้วัดค่าสีของผลิตภัณฑ์น้ำตาล ถ้ามีค่าสีต่ำ หมายถึงน้ำตาลจะสีขาวใส และถ้ามีค่าสีสูง นั่นก็คือน้ำตาลจะมีสีที่เข้ม) การขนส่งจะกระทำเป็น BULK โดยไม่ใส่ในกระสอบ น้ำตาลชนิดนี้ไม่สามารถนำไปบริโภคได้โดยตรง แต่สามารถส่งออกเพื่อจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ หรือเก็บไว้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ต่อไปได้

2. น้ำตาลทรายขาว (White Sugar)

เป็นน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการสกัดเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำตาลทรายดิบ โดยใช้ปูนขาวเป็นสารหลัก และใช้ความร้อนตลอดจนการกรอง เพื่อทำให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น (ค่าสีไม่เกิน 200 ICUMSA) น้ำตาลประเภทนี้โดยทั่วไปเป็นน้ำตาลทรายที่ประชาชนนิยมบริโภค รวมถึงใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารที่ต้องการความบริสุทธิ์ปานกลาง

3. น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (Refined Sugar)

เป็นน้ำตาลที่มีกระบวนการผลิตที่คล้ายกับการผลิตน้ำตาลทรายขาว แต่มีความบริสุทธิ์มากกว่า คือมีลักษณะเป็นเม็ดสีขาวใส (ค่าสีไม่เกิน 40 ICUMSA) เป็นน้ำตาลที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำตาลที่มีความบริสุทธิ์มาก เช่น อุตสาหกรรมยา เครื่องดื่มประเภทน้ำอัดลม และเครื่องดื่มบำรุงกำลัง (โรงงานน้ำตาลมิตรผล สุพรรณบุรี, 2555, ออนไลน์; กระบวนการผลิตน้ำตาลมิตรผล, 2555, ออนไลน์)

วัตถุดิบหลักในการผลิตน้ำตาล

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลคืออ้อย (สำนักงานนโยบายอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555, ออนไลน์) ซึ่งแหล่งผลิตอ้อยในประเทศไทย มีดังต่อไปนี้

1. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้แก่ จังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครราชสีมา บุรีรัมย์ มหาสารคาม สุรินทร์ อุดรธานี มุกดาหาร หนองบัวลำภู และอำนาจเจริญ

2. ภาคเหนือ ได้แก่ จังหวัดกำแพงเพชร นครสวรรค์ พิษณุโลก เพชรบูรณ์ ลำปาง อุตรดิตถ์ และ อุทัยธานี

3. ภาคกลางได้แก่ จังหวัด กาญจนบุรี สุพรรณบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ลพบุรี สระบุรี และ สิงห์บุรี

4. ภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัด ชลบุรี และสระแก้ว

การจัดหาอ้อยเพื่อป้อนเข้าสู่โรงงานน้ำตาล นับเป็นปัญหาหนึ่งที่โรงงานน้ำตาลหลายๆ แห่งประสบอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากโรงงานน้ำตาลส่วนใหญ่ไม่มีไร่อ้อยเป็นของตนเอง หรือหากมี ก็มีในปริมาณที่ไม่เพียงพอกับกำลังการผลิตของแต่ละโรงงาน ดังนั้นการหาผลผลิตอ้อยเพื่อป้อนเข้าโรงงานจึงนับเป็นหัวใจสำคัญในการลดต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) ของแต่ละโรงงาน ซึ่งโรงงานส่วนใหญ่จะมีการทำสัญญาซื้อล่วงหน้าจากชาวไร่อ้อย เพื่อทำให้สามารถสร้างวัตถุดิบได้ในระยะยาว

กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

1. การผลิตน้ำตาลทรายดิบ

กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบสามารถแบ่งได้ 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้ ดังแสดงในภาพที่ 10

1.1 ขั้นตอนการหีบสกัดน้ำอ้อย

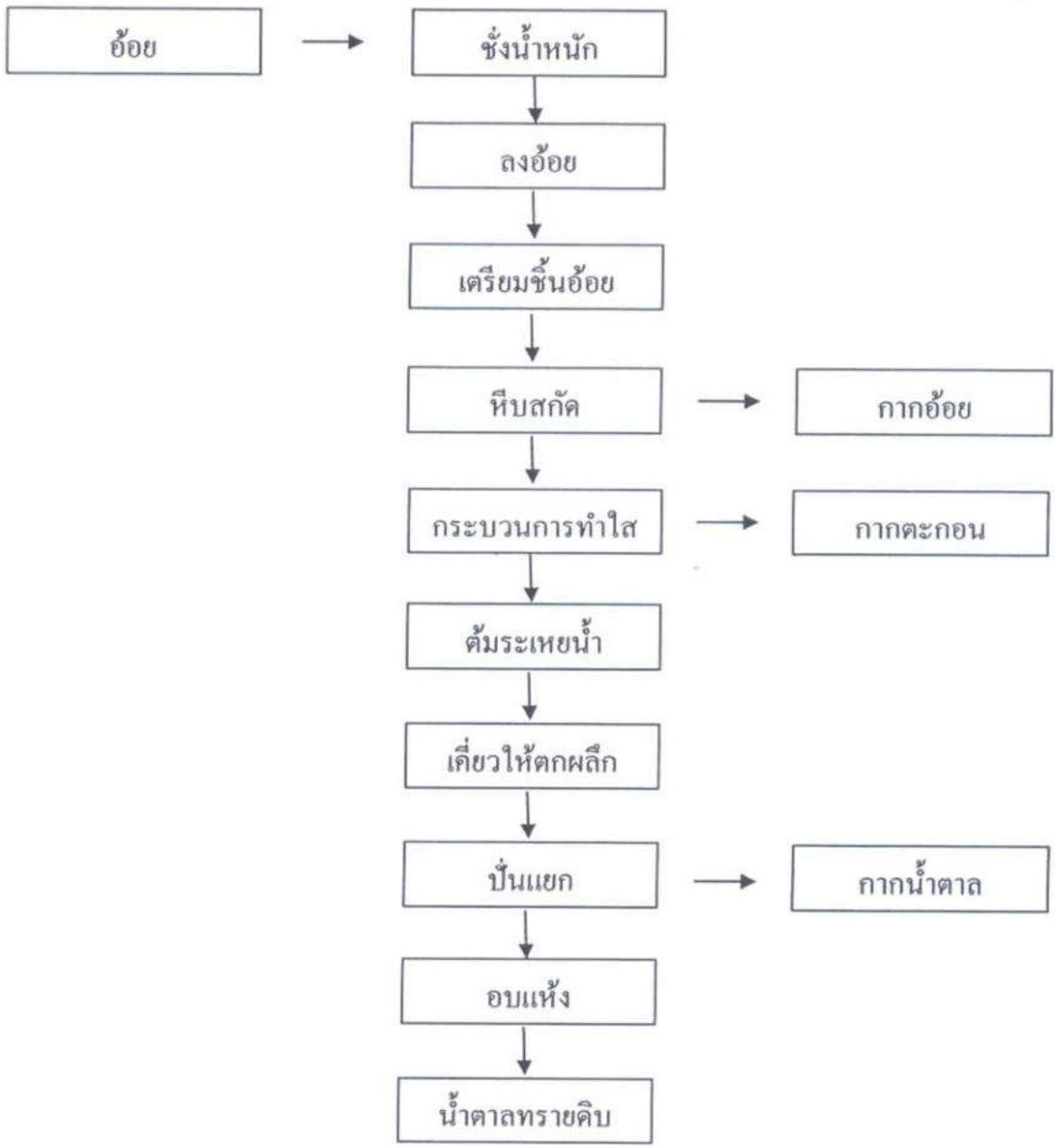
อ้อยจากชาวไร่อ้อยจะถูกนำส่งโรงงานโดยรถบรรทุก และจะนำส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตโดยการส่งผ่านสะพานลำเลียงอ้อย อ้อยจะถูกลำเลียงผ่านมีดสับอ้อย เครื่องย่อยอ้อย และเข้าสู่ลูกหีบเพื่อสกัดน้ำอ้อย สิ่งที่ได้ในขั้นตอนนี้คือ น้ำอ้อยและชานอ้อย น้ำอ้อยจะถูกส่งไปยังขั้นตอนการทำใสน้ำอ้อย และ ชานอ้อยจะใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ ซึ่งไอน้ำที่ผลิตได้ จะถูกใช้เพื่อระบบขับลูกหีบ ใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า และใช้สำหรับต้มเคี่ยวน้ำตาล

1.2 ขั้นตอนการทำใสน้ำอ้อย

น้ำอ้อยจะถูกส่งเข้าหม้ออุ่น และผสมกับน้ำปูนขาว เพื่อทำให้น้ำอ้อยใส โดยผ่านการต้มและถังพักใส สิ่งที่ได้ในขั้นตอนนี้คือ น้ำอ้อยใส และกากตะกอน น้ำอ้อยใสจะถูกส่งไปยังขั้นตอนการทำน้ำเชื่อมและกากตะกอนจะถูกรวบรวมเพื่อมอบให้ชาวไร่เพื่อใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการปลูกอ้อยต่อไป

1.3 ขั้นตอนการทำน้ำเชื่อม

น้ำอ้อยใสจะถูกส่งเข้าหม้อต้มระเหยน้ำอ้อย ที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศจำนวน 5 ชุดต่อเนื่องกัน เพื่อรักษาคุณภาพน้ำอ้อย สิ่งที่ได้ในขั้นตอนนี้คือ น้ำเชื่อม



ภาพที่ 10 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ

1.4 ขั้นตอนการตกผลึกน้ำตาล

น้ำเชื่อมจะถูกป้อนเข้าหม้อสุญญากาศเพื่อเคี่ยวจนเกิดผลึกน้ำตาลในน้ำเชื่อม ที่เรียกว่า แมสควิท (Massecuite) ขั้นตอนการตกผลึกน้ำตาลนี้ จะต้องควบคุมคุณภาพเมล็ดน้ำตาลให้สม่ำเสมอกัน โดยการเลี้ยงเม็ดด้วยน้ำเชื่อมในหม้อเคี่ยวน้ำตาลที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ สิ่งที่ได้ในขั้นตอนนี้คือ ผลึกน้ำตาลผสมกับน้ำเลี้ยงผลึก (แมสควิท) ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนการปั่นน้ำตาล

1.5 ขั้นตอนการปั่นน้ำตาล

แมสควิทจะถูกส่งเข้าหม้อปั่นน้ำตาล เพื่อแยกผลึกน้ำตาลออกจากน้ำเลี้ยงผลึก ภายในหม้อปั่นน้ำตาลจะมีตะแกรงรูขนาดเล็ก โดยส่วนที่เป็นเม็ดน้ำตาลจอยู่ภายในหม้อปั่น และส่วนที่เป็นน้ำเลี้ยงผลึก จะถูกแยกสลัดออกไป สิ่งที่ได้ในขั้นตอนนี้คือ เม็ดน้ำตาลและน้ำเลี้ยงผลึก หรือที่เรียกว่าโมลาส เม็ดน้ำตาลจะถูกส่งผ่านหม้ออบ เพื่อลดความชื้นและลดอุณหภูมิ ซึ่งจะได้เป็นน้ำตาลทรายดิบ เพื่อส่งขายต่างประเทศ หรือน้ำตาลทรายดิบคุณภาพสูงที่ใช้สำหรับการผลิตน้ำตาลทรายขาว บริสุทธ์ต่อไป

โมลาสที่ได้ในขั้นตอนแรกเรียกว่า โมลาส A ซึ่งยังมีความหวานมากพอที่จะนำไปตกผลึกน้ำตาลได้อีก 2 ครั้ง หลักการตกผลึกครั้งที่ 2 จะได้น้ำตาล B และโมลาส B และครั้งที่ 3 จะได้น้ำตาล C และโมลาส C โมลาส C จะมีความหวานน้อยและไม่คุ้มค่ากับการตกผลึกน้ำตาลอีก จึงเรียกว่าเป็นโมลาสขั้นสุดท้าย (Final Molasses) ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอื่นๆ อาทิ เช่น อุตสาหกรรมสุรา ซอส ผงชูรส เป็นต้น

2. การผลิตน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์

กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ระบบเรซินมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 ขั้นตอนการละลายน้ำตาล

น้ำตาลทรายดิบคุณภาพสูง จะถูกส่งเข้ากระบวนการผลิตโดยผ่านสายพานลำเลียงน้ำตาลเพื่อส่งไปละลายน้ำร้อน สิ่งที่ได้ในขั้นตอนนี้คือ น้ำเชื่อม

2.2 ขั้นตอนการทำใสน้ำเชื่อม

น้ำเชื่อมจะถูกทำให้ใสด้วยน้ำปูนขาว และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสารทั้ง 2 จะทำปฏิกิริยากันก่อให้เกิดเป็นตะกอนและแคลเซียมคาร์บอเนต แล้วดึงสิ่งสกปรกในน้ำเชื่อมแยกตัวออกมา จากนั้นจะกรองด้วยเครื่องกรองเพื่อให้ได้น้ำเชื่อมใส น้ำเชื่อมใสจะถูกส่งผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุเรซิน ซึ่งเรซินจะทำหน้าที่จับสารละลายที่ทำให้เกิดสีในน้ำเชื่อมไว้ เหลือเพียงน้ำเชื่อมที่ใสบริสุทธิ์ น้ำเชื่อมที่ใสบริสุทธิ์จะถูกส่งเข้าหม้อต้มระเหยน้ำ เพื่อให้ได้น้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นมากขึ้น เพื่อส่งเข้าสู่ขั้นตอนการตกผลึกน้ำตาลต่อไป

2.3 ขั้นตอนการตกผลึกน้ำตาล

น้ำเชื่อมใสบริสุทธิ์จะถูกป้อนเข้าหม้อสุญญากาศเพื่อเคี่ยวจนเกิดผลึกน้ำตาลในน้ำเชื่อม ที่เรียกว่าแมสควิท ขั้นตอนการตกผลึกน้ำตาลนี้ จะต้องควบคุมคุณภาพเมล็ดน้ำตาลให้สม่ำเสมอกัน โดยการเลี้ยงเม็ดด้วยน้ำเชื่อมในหม้อเคี่ยวน้ำตาลที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศสิ่งที่ได้ในขั้นตอนนี้คือ ผลึกน้ำตาลผสมกับน้ำเลี้ยงผลึก (แมสควิท) ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนการปั่นน้ำตาล

2.4 ขั้นตอนการปั่นน้ำตาล

แมสควิทจะถูกส่งเข้าหม้อปั่นน้ำตาล เพื่อแยกผลึกน้ำตาลออกจากน้ำเลี้ยงผลึก ภายในหม้อปั่นน้ำตาลจะมีตะแกรงรูขนาดเล็ก โดยส่วนที่เป็นเม็ดน้ำตาลจะอยู่ภายในหม้อปั่น และส่วนที่เป็นน้ำเลี้ยงผลึก จะถูกแยกสลัดออกไป สิ่งที่ได้ในขั้นตอนนี้คือ เม็ดน้ำตาลและน้ำเลี้ยงผลึก หรือที่เรียกว่า โมลาส เม็ดน้ำตาลจะถูกส่งผ่านหม้ออบ เพื่อลดความชื้นและลดอุณหภูมิ แล้วส่งไปบรรจุเป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ซุปเปอร์ขนาดบรรจุต่างๆ เพื่อส่งให้กับลูกค้า โมลาสที่ได้ในขั้นตอนแรกเรียกว่า โมลาสซุปเปอร์ ซึ่งยังมีความหวานมากพอที่จะนำไปตกผลึกน้ำตาลได้อีก 2 ครั้ง หลักการตกผลึกครั้งที่ 2 จะได้น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ และโมลาส RI และครั้งที่ 3 จะได้น้ำตาลทรายขาว และโมลาส RII โมลาส RII ยังมีความหวานมากพอที่จะนำไปตกผลึกน้ำตาลได้อีก แต่ไม่สามารถตกผลึกเป็นน้ำตาลทรายขาว หรือน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ได้ เพราะค่าสีน้ำตาลไม่สูง โมลาส RII จึงมักใช้ในการผสมกับน้ำเชื่อมที่มาจากน้ำอ้อย เพื่อส่งเข้ากระบวนการตกผลึกน้ำตาลทรายดิบต่อไป

การผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทราย

1. ชานอ้อย (Bagasses)

ชานอ้อยคืออ้อยที่ได้จากขบวนการหีบอ้อยจากชุดลูกหีบชุดสุดท้าย ปัจจุบันชานอ้อยส่วนหนึ่งถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าและไอน้ำเพื่อใช้ในการผลิตน้ำตาล นอกจากนี้ชานอ้อยสามารถใช้เป็น วัตถุดิบในการผลิตแผ่นไม้เทียมอาทิเช่น แผ่นไม้ปาร์ติเกิล (Particle Board) ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ และใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อีกด้วย

2. กากตะกอน (Filter Cake)

เป็นกากที่ได้จากกระบวนการกรองตะกอนในระบบสุญญากาศ กากตะกอนที่ได้สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยเพื่อการเกษตรทั่วไป

3. กากน้ำตาล (Molasses)

กากน้ำตาลนับเป็นผลิตผลพลอยได้ที่มีมูลค่าสูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยได้จากกระบวนการการเคี่ยวน้ำตาล โดยมีลักษณะเหนียวข้น มีสีน้ำตาลปนดำ ถึงแม้กากน้ำตาลจะมีส่วนผสมของน้ำตาลอยู่ แต่มีระดับต่ำเกินกว่าที่จะนำมาสกัดเป็นน้ำตาลได้อีก กากน้ำตาลสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบในหลายๆ อุตสาหกรรม อาทิเช่น การผลิตสุรา การผลิตแอลกอฮอล์ การผลิตผงชูรสและการผลิตเอทานอล (กระบวนการผลิตน้ำตาลมิตรผล, 2555, ออนไลน์)

ตารางที่ 3 ปริมาณส่วนประกอบหลักที่ได้จากการหีบอ้อย 1 ตัน

ลำดับที่	ชนิดของส่วนประกอบหลัก	ปริมาณ (กิโลกรัม)
1	น้ำตาล	105-110
2	น้ำ	500-510
3	ชานอ้อยหรือกากอ้อย (ความชื้นร้อยละ 50-52)	270-290
4	กากตะกอนหม้อกรอง(ความชื้นร้อยละ 70-72)	28-40
5	กากน้ำตาล	50-60

เมื่อมีการนำกากตะกอนจากโรงงานผลิตน้ำตาลไปวิเคราะห์โดยเทคนิค XRF พบว่ากากตะกอนน้ำตาลมีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาล

สารประกอบ	ชนิดของส่วนประกอบ (ร้อยละโดยมวล)			
	ปูนซีเมนต์	ปูนขาว	ทราย	ตะกอนน้ำตาล
SiO_2	21.02	-	85	69.2
Al_2O_3	5.21	0.5	6.1	7.08
Fe_2O_3	3.17	0.5	1.2	0.92
CaO	65.46	85	0.36	12.95
MgO	3.14	1	0.85	0.12
Na_2O	0.14	0.2	1	0.90
K_2O	0.83	0.42	1	1.2

ที่มา : โยธิน อึ้งกูล, 2554, น.56-60

การวิเคราะห์โดยใช้วิธี X – ray (X - ray Methods)

X – ray Fluorescence Spectroscopy เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุโดยมีหลักการให้ X – ray จากแหล่งผลิตเกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนใน K-shell หรือ L-shell หรือ M-shell ในสารตัวอย่าง อิเล็กตรอนเหล่านี้จะหลุดออกไป แล้วอิเล็กตรอนจาก shell นอกๆ จะเข้ามาแทนที่ ทำให้ X – ray Fluorescence เกิดขึ้น ซึ่งมีลักษณะเฉพาะสามารถบ่งชี้ได้ด้วยระดับพลังงาน (keV) หรือความยาวคลื่น (λ) ว่ามาจากธาตุใด

หลักการทั่วไปที่นำเอา X – ray Method มาใช้ในการวิเคราะห์ธาตุและโครงสร้างของสาร (เบื้องต้น) โดยศึกษาจาก X – ray Diffraction pattern ของตัวอย่างที่เป็น single crystals และที่เป็น powder samples

สมบัติของ X – ray ได้ถูกนำมาใช้ ที่สำคัญมี 4 แบบ คือ

1. ใช้งานทางด้าน Radiography ซึ่งเป็นเทคนิคเกี่ยวกับการดูดกลืน X – ray ในทางอุตสาหกรรม ได้นำมาใช้เป็นวิธีเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เช่น โลหะเพื่อดูจุดบกพร่องของการหล่อโลหะ เช่น ดูรอยแยก ช่องว่างในโลหะ เป็นต้น โดยไม่มีการทำลายสารตัวอย่าง (non-destructive testing) วิธีที่ทำง่ายๆ คือผ่านลำแสง X – ray เข้าไปในวัสดุที่จะทดสอบแล้วบันทึกรังสีที่ผ่านออกมาบนแผ่นฟิล์มหรือจอฟลูออเรสเซนส์เหมือนกับทางการแพทย์ที่ตรวจการหักของกระดูก

2. งานทางด้านผลึกวิทยา (X – ray crystallography) เป็นกลุ่มของเทคนิคที่ใช้สมบัติของ X – ray เกี่ยวกับความยาวคลื่น ตำแหน่งและความเข้มของ X – ray ที่เลี้ยวเบนไป (Diffracted) ด้วยผลึกแข็ง ทำให้ทราบข้อมูลในโครงผลึก องค์ประกอบของผลึก ขนาดของอนุภาค หลักฐานของการสลายตัว ภาวะพหุสัณฐาน (Polymorphism) การจัดตัวของอะตอมในผลึก เป็นต้น

3. การนำ X – ray มาใช้งานวิเคราะห์ทาง X – ray Fluorescence โดยสามารถวิเคราะห์ธาตุได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ และเป็นแบบไม่ต้องทำลายสารตัวอย่าง (non-destructive) X – ray beam ที่มีพลังงานสูงผ่านเข้าไปในสารตัวอย่างจะทำให้เกิด X-ray (K-X-ray, L-X-ray) ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัวสามารถใช้วิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพได้ และความเข้มของ X-ray ที่เกิดขึ้นใช้หาปริมาณของสารได้

4. X-ray สามารถนำไปใช้เป็นรังสีบำบัด (Radiotherapy) ได้เพราะ X-ray สามารถทำลายเซลล์ได้ หรือฆ่าสิ่งที่มีชีวิตได้จึงนำมาใช้รักษาโรคมะเร็ง (แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ, 2552, น.81)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัชระ เพิ่มชาติ และคณะ (2548) ทำการศึกษาเถ้าแกลบและถ่านหินจากโรงไฟฟ้าบริษัท ไบโอ-แมส เพาเวอร์บริษัทกรุงเทพผลิตผลอุตสาหกรรมการเกษตร จำกัด ที่ไม่อบไอน้ำ การดำเนินงานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน

1. ศึกษาสมบัติที่เปลี่ยนไปของอิฐมวลเบาเดิมของบริษัทฯ เมื่อผสมเถ้าลอยที่อัตราส่วนต่างๆ สมบัติของอิฐที่ศึกษา ได้แก่ ค่าความแข็งแรงและค่าการนำความร้อน

2. สร้างห้องทดสอบขนาด 2.3 × 2.3 m^2 สูง 2.4 m โดยใช้อิฐมอญและอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าลอย ทำการวัดอุณหภูมิภายในห้องเพื่อเปรียบเทียบกัน

ผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วนผสมเถ้าลอยของทั้งถ่านหินและแกลบที่ร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความแข็งแรงสูงที่สุด โดยอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าลอยถ่านหินขนาด ϕ < 150 μm จะให้ค่าความแข็งแรงที่ 81 kg/cm^2 ในขณะที่อิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าลอยถ่านหินขนาด ϕ 150-300 μm และเถ้าแกลบ จะให้ค่าความแข็งแรงที่ 50 และ 31 kg/cm^2 ตามลำดับ ห้องที่สร้างจากอิฐมวลเบามีค่าต่ำกว่าห้องที่สร้างจากอิฐมอญเฉลี่ย 1.0 - 1.5 °C

จรูญ จันทร์สมบูรณ์และคณะ (2547, น. 15-18) ได้ทำการศึกษาอิฐมวลเบาจากเถ้าลอยถ่านหิน แม่เมาะจังหวัดลำปางโดยทำการทดลอง 4 ขั้นตอน

1. ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางด้านเคมีของเถ้าลอยถ่านหิน ด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction พบว่ามี SiO_2, Al_2O_3, CaO และ Fe_2O_3 เป็นองค์ประกอบหลัก

2. ทดสอบหาส่วนผสมที่ได้แรงอัดสูงสุด พบว่าได้ความหนาแน่นที่ 1.27-1.55 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีกำลังรับแรงอัดที่ 148 - 355 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3. ทดลองหาส่วนผสมที่เหมาะสมของสารทำให้เกิดฟองจากขั้นตอนการทดสอบที่ 2 พบว่าความหนาแน่นลดลงเหลือ 0.51- 0.70 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รับแรงอัดที่ 23 - 60 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

4. ทดลองเพิ่มกำลังแรงอัด โดยมีการเติมทรายเพิ่มในส่วนผสมร้อยละ 5 - 35 มีความหนาแน่น 0.54 - 0.70 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รับแรงอัดได้สูงสุด 32 - 52 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สรุปว่าผลการทดสอบพบว่า อิฐมวลเบามีความหนาแน่นที่ 0.54 - 0.70 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร รับแรงอัดได้สูงสุด 32 - 52 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานการก่อสร้างได้

โยธินและคณะ (2549,น.17-19) ได้ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างและสมบัติทางความร้อนของผนังคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำ(AAC)และไม่อบไอน้ำ (Non-AAC) โดยทำการศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุโครงสร้างที่ผลิตและใช้ในการก่อสร้างภายในประเทศไทยวิเคราะห์โครงสร้างภายในเนื้อวัสดุโดยใช้เครื่องถ่ายภาพขยายและเครื่องตรวจจับละเอียด (SEM) วิเคราะห์สมบัติทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์แบบแพร่กระจาย (XRD) ทำการทดสอบสมบัติทางความร้อนและทางกายภาพ จากการศึกษาพบว่า AAC มีสมบัติดังกล่าวดีกว่า Non-AAC นอกจากนี้แล้วผลจากการทดสอบทำให้ทราบว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำสามารถป้องกันความชื้นภายในผนังได้ดีว่าผนังคอนกรีตมวลเบาแบบไม่อบไอน้ำ

สุมิตร ส่งพิริยะกิจ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ (2549, น. 586-589)ได้ทำการศึกษาการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม 2 ประเภท ได้แก่ เถ้าลอยกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และตะกรันเหล็ก โดยมีการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่น้อย เถ้าลอย กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และปูนซีเมนต์ โดยจะถูกผสม และใช้เป็นวัสดุประสานในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 50, 70 และ 100 ของปริมาตรช่องว่างของมวลรวมโดยมีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ ต่อเถ้าลอยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ 2 อัตราส่วนคือ 10-70-20 และ 5-60-35 จากนั้นนำมาทดสอบหาความหนาแน่น กำลังอัด การดูดกลืนน้ำ การนำความร้อน และการสลายของสารโลหะหนัก การทดสอบพบว่าความหนาแน่นของวัสดุเมื่อมีอายุ 28 วัน จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง1192.52 ถึง 1757.70 kg/m^3 หรือมีน้ำหนักต่อการก่อกำแพง 1 ตารางเมตรเท่ากับ 50.37 ถึง 74.25 kg. ส่วนกำลังอัดของบล็อกจะมีค่ามากกว่า 25 kg/cm^2 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ของ มอก 58-2530 ในทุกอัตราส่วนผสมเมื่อตัวอย่างมีอายุมากกว่า 28 วัน การดูดกลืนน้ำของบล็อกมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 13.86 ถึง 20.62 ในทุกอัตราส่วนผสมนอกจากนี้ตัวอย่างบล็อกคอนกรีตที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำมาก คือมีค่าอยู่ระหว่าง 0.133 ถึง 0.190 W/m^2. k และยังไม่พบสารสลายที่มากไปกว่าเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6-2540

คนุพล ตันนโย และคณะ.(2544, น. 21-25) ทำการ ศึกษาการผลิตอิฐมวลเบาโดยใช้หินเพอร์ไลต์เป็นมวลรวมผสม ซึ่งหินดังกล่าวมีสมบัติพิเศษ คือ น้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ ดูดซับและทนความร้อนสูง จากการศึกษาพบว่า ในเนื้อหินมีซิลิกอนไดออกไซด์กว่าร้อยละ 60 สำหรับการใช้หินเพอร์ไลต์มาผลิตอิฐมวลเบาได้เลือกนำมาผสมอัตราส่วน 1:1:4 ซึ่งเป็นค่าจากผลการทดสอบของมอร์ต้า 4 อัตราส่วน จำนวน 140 ตัวอย่าง ที่อายุการบ่ม 7 วัน พบว่าอัตราส่วนผสมดังกล่าวมีสมบัติดีกว่าอัตราผสมอื่น อาทิ มีกำลังอัดสูง การเปลี่ยนรูปและใช้ปริมาณเพอร์ไลต์น้อยกว่า สำหรับสมบัติอิฐมวลเบาที่ผลิตได้ โดยเฉลี่ยจะมีน้ำหนัก 180 กรัม รับกำลังอัด 61.54 กก.ตร.

ซม. ค่าโมดูลัสแตกร้าว 16.14 กก.ตร.ซม. ค่าการหดตัวร้อยละ 50 และการดูดซับน้ำร้อยละ 29.52 และมีน้ำหนักเบากว่าร้อยละ 30-50

Hauser et. al. (1999 ,p.297-302) การใช้เถ้าลอยถ่านหินเหลือใช้จากกระบวนการอุตสาหกรรมเป็นวัสดุในอิฐในเบาแบบอบไอน้ำ โดยทำการศึกษาปูนขาวที่เหลือจากอุตสาหกรรมและกำมันถันเป็นวัสดุในผลิตภัณฑ์ในอิฐมวลเบาแบบอบไอน้ำ โดยใช้ในส่วนผสม ทรายร้อยละ 60 ปูนขาวร้อยละ 11 กำมะถันร้อยละ 4 ซีเมนต์ร้อยละ 25 อะลูมิเนียมร้อยละ 0.06 ทำการควบคุมอัตราส่วน ทราย ปูนขาว ขณะที่ซีเมนต์และกำมะถันเป็นตัวควบคุมเป็นเป็นตัวอย่างอ้างอิง และปูนขาว (CaO) ที่เหลือจากการเผากับอะลูมิเนียม (Al-bearing ash)ที่เหลือจากการเผาในอัตราส่วนแทนทราย 0.1 ถึง 0.8 พบว่าอิฐมวลเบาที่ผสมปูนขาวที่เหลือจากการเผามีค่ารับแรงอัดสูงขึ้นที่อัตราส่วนร้อยละ 0.7-0.8 และอิฐมวลเบาผสมอะลูมิเนียมที่เหลือจากการเผาทำให้ค่ารับแรงอัดลดลงไม่เหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้งาน

Kus and Carlsson (2003, p.1423-1432) ทำการศึกษาอิฐมวลเบาแบบอบไอน้ำโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ โดยทำการศึกษาการจัดเรียงตัวของอิฐมวลเบาด้วยเครื่อง SEM และสมบัติทางด้านเคมีของอิฐมวลเบาจากเครื่อง XRD รวมถึงพลังงานสเปกตรัมด้วยเครื่อง EDS ซึ่งศึกษาฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางด้านเคมี XRD จะใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของเคมีของแคลเซียมและคาร์บอนที่มีผลต่อความแข็งแกร่งในอิฐมวลเบาและวิเคราะห์แก้วในอิฐมวลเบาแบบอบไอน้ำ โดยทำการทดสอบอิฐความหนาแน่น 423 kg/m^3 สำหรับ 6 18 และ 36 เดือน พบว่ามีการจัดเรียงตัวแบบโครงสร้างตาข่ายในอิฐมวลเบาและพบว่า CO_2 มีผลต่อช่องอากาศ การจัดรียงตัวแบบแท่งเข็มของอิฐมวลเบา และพบว่าอิฐมวลเบามีแก้วเป็นองค์ประกอบหลัก องค์ประกอบทางด้านเคมีประกอบด้วย แคลเซียม (Ca) ซิลิกอน (Si) ออกซิเจน (O) อะลูมิเนียม (Al) ซัลเฟอร์ (S) เหล็ก (Fe) เป็นหลัก

Mostafa (2004, p.1349-1357) การศึกษาผลกระทบของตะกรันที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของอิฐมวลเบาแบบอบไอน้ำ โดยใช้ตะกรันแทนสัดส่วนของทรายและปูนขาวในอัตราส่วนของทราย: ปูนขาว:ซีเมนต์:ตะกรันที่ 65:25:10:0, 55:25:10:10, 35:25:10:30, 15:25:10:50, 65:10:5:20, 55:10:5:30 และ 35:10:5:50 ตามลำดับ ที่ความดัน 8 บาร์ เป็นเวลา 2, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลพบว่าสัดส่วนของตะกรันร้อยละ 50 ปูนขาวร้อยละ 10 และตะกรันร้อยละ 30 ปูนขาวร้อยละ 25 ที่ความดัน 8 บาร์ เป็นเวลา 2 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ มีค่าต้านทานแรงอัดเหมาะสมที่สุด และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างทางจุลภาคด้วยเครื่อง XRD และ SEM พบว่าการผสมระหว่างปูนขาวกับตะกรันทำให้เกิด Tobermorite ขึ้น ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึกคล้ายแท่งเข็ม

สุริยงค์ ประชาเขียว (2551) ได้ทำการศึกษาอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมเถ้าแกลบและเถ้าลอยถ่านหิน ในอัตราส่วนร้อยละ 5,10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แทนทรายในกระบวนการผลิต จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของอิฐมวลเบาแบบอบไอน้ำ พบว่าขนาดความกว้างของฟองอากาศของอิฐมวลเบาแบบอบไอน้ำเชิงพาณิชย์ ขนาดใกล้เคียงกับอิฐมวลเบาผสมเถ้าแกลบแบบอบไอน้ำ เนื่องจากเถ้าแกลบมีค่า SiO_2 มีค่าใกล้เคียงกับวัตถุดิบทรายในกระบวนการผลิต และเมื่อผ่านกระบวนการอบไอน้ำจะทำให้เกิดผนึกแท่งเข็มกระจายตัวทั่วเนื้อวัสดุแบบผนึก Tobermorite เป็นผลให้ค่ารับแรงอัดเพิ่มขึ้น เปรียบเทียบเถ้าลอยถ่านหินพบว่าขนาดความกว้างของอิฐมวลเบาถ่านหินแบบอบไอน้ำมีขนาดฟองอากาศใหญ่กว่าอิฐมวลเบาแบบอบไอน้ำเชิงพาณิชย์ โดยผลการทดสอบสมบัติเบื้องต้นพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมของเถ้าลอย คือ เถ้าแกลบร้อยละ 5 มีค่าความหนาแน่น 0.6453 kg/m^3 รับแรงอัดได้ 5.36 N/mm^2 แรงดัดที่ 23.80 kg/cm^2 อัตราการดูดกลืนน้ำ 0.39 g/cm^3 และสัดส่วนรองลงมาคือเถ้าลอย 20 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่น 0.6478 kg/m^3 รับแรงอัดได้ 5.17 N/mm^2 แรงดัดที่ 26.21 kg/cm^2 และอัตราการดูดกลืนน้ำ 0.40 g/cm^3

กิตติพล เกียรติวรยศ และคณะ (2547) ได้ศึกษาการพัฒนาคอนกรีตบล็อกจากอุตสาหกรรม 3 ประเภทได้แก่เถ้าถ่านหิน กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และตะกรันเหล็ก เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ให้มีปริมาณน้อยที่สุดวัสดุประสานจะถูกนำมาแทนที่ร้อยละ 70 ของปริมาณช่องว่างระหว่างรวมและให้ตะกรันเหล็ก เหล็กทำหน้าที่เป็นวัสดุมวลรวมหยาบในส่วนผสมโดยวัสดุประสานมีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าถ่านหินต่อแคลเซียมคาร์ไบด์ 3 อัตราส่วนคือ 0-70-30, 5-67.5-27.5 และ 10-65-25 จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน กระทรวงอุตสาหกรรมหมายเลข 58-2530 จากการทดสอบพบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือ 10-65-25 มีค่าหน่วยแรงอัดประลัยเท่ากับ 4.16, 16 และ 89 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ระยะเวลาการบ่ม 1, 3 และ 28 วัน ตามลำดับ นอกจากนี้ตัวอย่างดังกล่าวมีค่าโมดูลัสการแตกหักเท่ากับ 12.01 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าการดูดกลืนน้ำเท่ากับร้อยละ 4.01 และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.108 วัตต์ต่อเมตรต่อองศาเซลเซียส ที่ระยะการบ่ม 28 วัน

ปิยะพงษ์ โมรา และคณะ (2550) ได้ศึกษาหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการใช้อิฐบล็อกและคอนกรีตมวลเบา โดยใช้เถ้าแกลบเปลือกไม้และเถ้าถ่านหินมาแทนที่ปูนซีเมนต์ และแทนที่มวลรวมในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดโดยหล่อตัวอย่างขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ใช้เวลาในการบ่มที่อายุ 3, 7 และ 28 วันตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมของอิฐบล็อก คือ การนำเถ้าแกลบเปลือกไม้และเถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ 60% แทนที่มวลรวม 40% ให้กำลังอัดที่อายุ 28 วันเท่ากับ 38.354 กก./ตร.ซม และส่วนผสมที่เหมาะสมของ

คอนกรีตมวลเบา คือปูนซีเมนต์ 1 ส่วนเถ้าแกลบเปลือกไม้และเถ้าถ่านหินแทนที่มวลรวม 100% ยิปซัม 3% ปูนขาว 5% น้ำยากักกระจายฟอง 7 มล./กก. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 1.00 ให้กำลังอัดที่ 28 วันเท่ากับ 80.336 กก./ตร.ซม. ค่าความต้านทานแรงดัดเท่ากับ 19.394 กก./ตร.ซม มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 862 กก./ลบ.ม. และอัตราการดูดซึมน้ำเท่ากับ 37.456%

นรพงศ์ ศรีสวัสดิ์ และคณะ (2547) ได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องคอนกรีตมวลเบาผสมซังข้าวโพดเผา โดยนำซังข้าวโพดมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาดเบอร์ 4 นำไปแทนที่หินฝุ่นด้วยอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20, 25 และ 30 โดยน้ำหนัก กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ด้วยอัตราส่วนร้อยละ 0.679, 0.779 และ 0.879 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและทดลองกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตขนาด 7x19x39 เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่าผลการทดสอบที่แทนที่ด้วยซังข้าวโพดเผาร้อยละ 25 และ 30 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยอัตราส่วนร้อยละ 25 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.879 ให้กำลังดีที่สุด 4.475 x 10^6 นิวตันต่อตารางเมตรได้ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.60 อัตราการดูดซึมน้ำเท่ากับ 14.87 % และน้ำหนัก 5,256 กรัม โดยค่าที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก 58-2530

ปิติ พานิชยุนนท์ และคณะ (2551) ได้ศึกษาการพัฒนาคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากฟางข้าวที่เหลือใช้ในชุมชนจังหวัดพัทลุง ในการศึกษานี้พิจารณาที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกันหลายส่วนผสมและทำการผลิตส่วนผสม 5 ก้อน การทดสอบตัวอย่างจะทำการทดสอบน้ำหนัก ความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์ของการดูดซับน้ำและค่าแรงอัด จากผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มฟางข้าวเป็นส่วนผสมสามารถลดน้ำหนักและความหนาแน่นของตัวอย่างได้ ซึ่งอัตราส่วนโดยปริมาตรของ ดิน : ทราย : ซีเมนต์ : ฟาง ที่ให้สมบัติของคอนกรีตดีที่สุดคือ 10:5:8:8 มีความหนาแน่น 1591 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าแรงกด 37.56 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ 19.84 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีฟางข้าว พบว่าน้ำหนักและความหนาแน่นลดลงอย่างเห็นได้ชัดคือ 29.38 เปอร์เซ็นต์ และ 47.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คมกริช น่วมจิตร และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของอิฐบล็อกธรรมดาทั่วไป และอิฐบล็อกเมื่อปูนซีเมนต์ถูกแทนที่ด้วยกากตะกอนน้ำตาล ซึ่งการศึกษาได้ทำการศึกษาจากการนำกากตะกอน (Mud) เป็นของเหลือใช้ที่ได้จากกระบวนการล้างหม้อกรองน้ำเชื่อมแรงดันสูง (Rotary Pressure Filter) หรือหม้อ RPF ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการผลิตน้ำตาลรีไฟน์และน้ำตาลทรายขาวจากการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลมิตรผลโดยการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 กรณีดังนี้ 1. ตัวอย่างการทดสอบที่ 1 กากตะกอนน้ำตาลที่ผ่านกระบวนการเผา 2. ตัวอย่างการทดสอบที่ 2 กากตะกอนน้ำตาลที่ไม่ผ่านกระบวนการเผาโดยเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนน้ำตาลทั้ง 2 ตัวอย่างต่อทรายต่อหินโดยหน่วยน้ำหนัก ซึ่งมี

อัตราส่วนดังนี้ (0.80 : 0.20) : 2 : 4, (0.60 : 0.40) : 2 : 4, (0.40 : 0.60) : 2 : 4, (0.20 : 0.80) : 2 : 4 ทำการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 58-2533 และ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 779/2548 บล็อกก่อไม่รับน้ำหนัก ที่อายุ 28 วัน จากผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ (0.80: 0.20): 2: 4 มีค่าการดูดซึมน้ำที่ 1440 นาทีเท่ากับ 5.634 % และ 6.948 % มากกว่าอิฐบล็อกธรรมดาทั่วไปที่มีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 4.858 % ซึ่งตามมาตรฐานมอก.583-2533 ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 25 สำหรับการรับกำลังอัดตามมาตรฐาน มอก. 583-2533 ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 25 กก./ซม^2. และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 779/2548 ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 20.39 กก./ซม^2 . อิฐบล็อกเมื่อปูนซีเมนต์ถูกแทนด้วยกากตะกอนน้ำตาลทั้ง 2 ตัวอย่าง สามารถรับกำลังอัดเท่ากับ 37.646 กก./ซม^2.และ 35.416 กก./ซม^2.ตามลำดับ ซึ่งมีค่าการรับกำลังอัดสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด

โยธิน อึ่งกูล (2554, น. 56-60) ได้ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้าง และสมบัติทางกลของคอนกรีตเบาอบไอน้ำแบบผสมตะกอนน้ำตาล (AAC - SS) ซึ่งได้แก่ ความต้านทานแรงอัด ความหนาแน่น และอัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาโดยมีกากตะกอนน้ำตาลซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้มาเป็นส่วนผสมเพื่อแทนที่ทรายที่ผ่านการบดละเอียด ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำ ผลการศึกษาทดสอบพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมมีส่วนช่วยให้ความต้านทานแรงอัดเพิ่มมากขึ้น แต่มีค่าความหนาแน่นลดลง ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำผสมตะกอนน้ำตาลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดเปรียบเทียบผลการทดสอบกับค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก 1505-2554 และสัดส่วนผสมแทนที่ทรายร้อยละ 20 ผ่านเกณฑ์ โดยจัดอยู่ในชั้นคุณภาพ 4 ชนิด 0.7

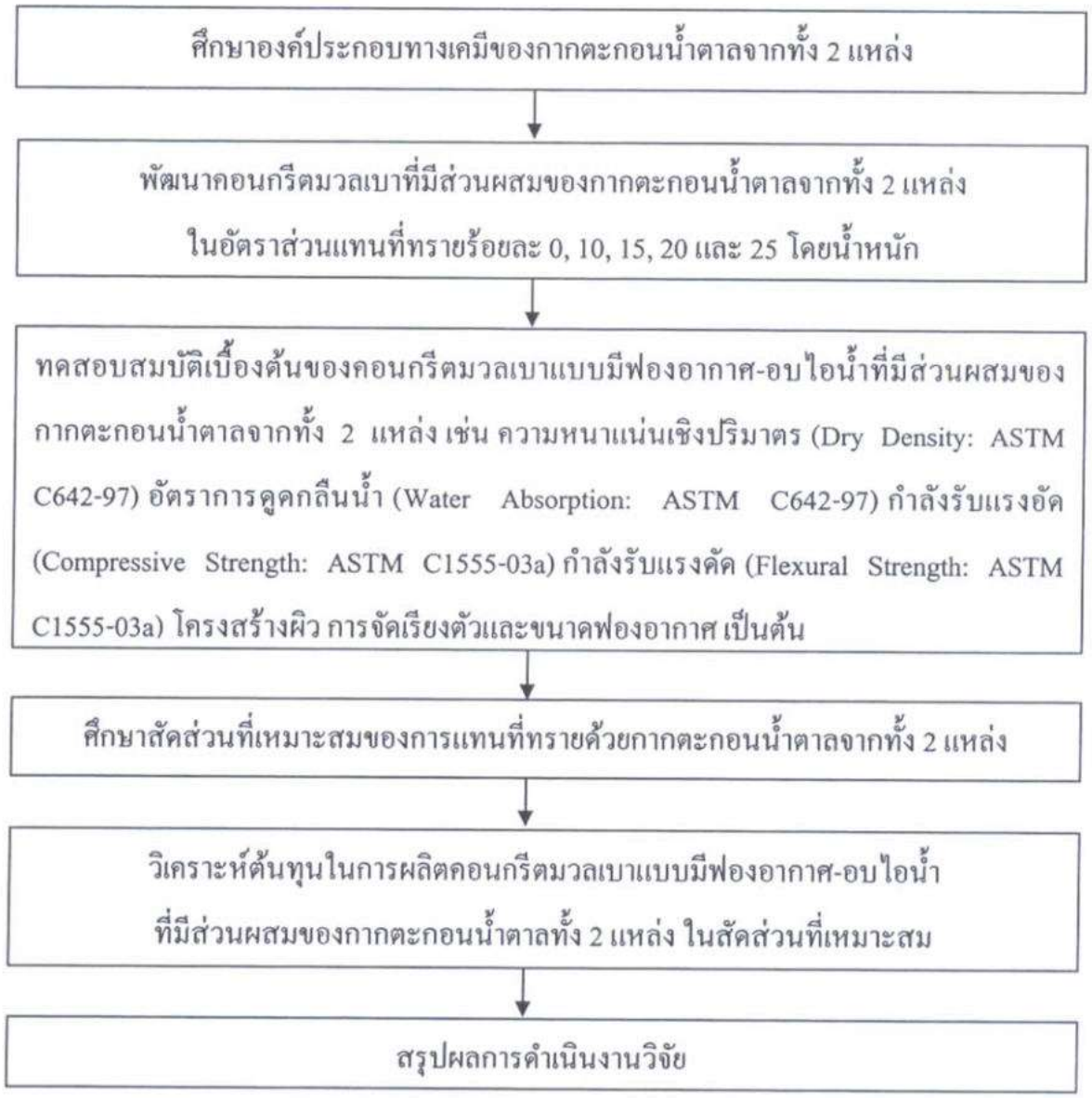
จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่ามีงานวิจัยต่าง ๆ มากมายที่เลือกวัสดุเหลือทิ้งหรือเหลือใช้มาเป็นส่วนผสมหรือใช้แทนวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบา เช่น การใช้เถ้าแกลบ เปลือกไม้ เถ้าถ่านหินมาแทนที่ปูนซีเมนต์ หรือการใช้ตะกอนน้ำตาลแทนที่ทราย เพื่อปรับปรุงสมบัติพื้นฐานและลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบา แต่การเลือกวัสดุเหลือทิ้งมาเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบานั้นวัสดุเหลือทิ้งชนิดเดียวกัน อาจจะมาจากพื้นที่แตกต่างกัน วัสดุเหลือทิ้งอาจจะมีสมบัติเหมือนหรือแตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและสัดส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีที่ใช้เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ รวมถึงศึกษาสมบัติต่างๆของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่ง เช่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด อัตราการดูดกลืนน้ำ และความหนาแน่นเชิงปริมาตร เป็นต้น เปรียบเทียบคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์และมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.1505-2554)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาเรื่องประสิทธิภาพการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยมีวัตถุประสงค์งานวิจัยเพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรี สมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลเปรียบเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.1505-2541) สัดส่วนที่เหมาะสมในการนำกากตะกอนน้ำตาลจากแต่ละแหล่งมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ และต้นทุนการผลิตของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

การดำเนินงานวิจัยขั้นต้นจะทำการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ หลังจากนั้นจึงเริ่มดำเนินงานวิจัยโดยจะทำศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่ง คือ สุพรรณบุรีและสิงห์บุรี จากนั้นนำกากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่งที่สัดส่วนต่างๆ มาเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ และทำการทดสอบสมบัติเบื้องต้นต่าง ๆ ตามมาตรฐาน ได้แก่ กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength: ASTM C1555-03a) กำลังรับแรงดัด (Flexural Strength : ASTM C1555-03a) อัตราการดูดกลืนน้ำ (Water Absorption: ASTM C642-97) ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (Dry Density: ASTM C642-97) โครงสร้างของผิวการจัดเรียงตัว และขนาดของฟองอากาศ เพื่อหาความเหมาะสมในการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริง รวมถึงหาค่าต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำจากกากตะกอนน้ำตาล ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัย

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีด้วยเทคนิค X-Ray Methods

นำกากตะกอนน้ำตาลซึ่งเป็นสารตัวอย่างมาบดในเครื่องบด (disc หรือ ball mill) ประมาณ 3-5 นาที หรือจนได้สารตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่า 200 เมช (นำไปใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมสำหรับอัด) แล้วนำไปอัดด้วยเครื่องอัดขนาด 20-30 ตัน เวลา 10-20 วินาที จะได้สารตัวอย่างเป็นเม็ดหรือเป็นแผ่น เมื่อวางใน sample holder สามารถนำไปวิเคราะห์ได้เลย

การผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีเพื่อทดสอบสมบัติเบื้องต้น

ในการวิจัยได้นำกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลมิตรผล จำกัด (มหาชน) จังหวัดสุพรรณบุรี และโรงงานน้ำตาลมิตรผล จำกัด (มหาชน)จังหวัดสิงห์บุรี มาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยนำกากตะกอนน้ำตาลมาใช้แทนที่ทรายในกระบวนการผลิตร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก มีวิธีการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาดังต่อไปนี้

1. เตรียมตัวอย่างกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลมิตรผล จังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดสิงห์บุรี ในอัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก

2. นำกากตะกอนน้ำตาลสัดส่วนต่าง ๆ มาใช้แทนทรายในกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยส่วนผสมและอัตราส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 5

3. ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน นำมาใส่ในแบบพิมพ์ที่เตรียมไว้

4. ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาของฟองอากาศและการยึดตัวประมาณ 7-8 ชั่วโมง

5. นำคอนกรีตมวลเบาออกจากแบบพิมพ์ และนำเข้าเครื่องอบไอน้ำความดันสูงเป็นเวลาประมาณ 18 ชั่วโมง

6. นำมาตัดให้ได้ขนาดการทดสอบต่าง ๆ คือ ขนาด 1 x 1 x 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับการทดสอบโครงสร้างและการจัดเรียงตัวของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ขนาด 7.5 x 7.5 x 7.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับการทดสอบค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง

กำลังรับแรงอัด อัตราการดูดกลืนน้ำ และขนาด 4 x 4 x 16 ลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดัด

7. ทำการทดสอบสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาล ได้แก่ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด อัตราการดูดกลืนน้ำ ความหนาแน่นเชิงปริมาตร และโครงสร้างและการจัดเรียงตัวของคอนกรีตมวลเบา

การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี

1. การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี

เพื่อหาความแข็งของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำตามมาตรฐาน มอก. 1510-2541 คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำและการแบ่งชั้นคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา มีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

- เตรียมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ขนาด 7.5 x 7.5 x 7.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ชนิดละ 3 ตัวอย่าง
- นำตัวอย่างทั้งหมดอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- นำตัวอย่างทั้งหมดทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 5 นาที
- ทำการทดสอบกำลังแรงอัด โดยเครื่องทดสอบแรงอัดคอนกรีตมวลเบาขนาด 10 ตัน โดยวางคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำให้อยู่ตรงกลางและเปิดสวิตช์เครื่องรอจนกระทั่งอิฐเกิดการแตก อ่านค่าที่ได้และบันทึกผล
- คำนวณค่ากำลังรับแรงอัดจากสมการที่ 6 (บทที่ 2)

2. การทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี

การทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี มีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

- เตรียมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ขนาด 4 x 4 x 16 ลูกบาศก์เซนติเมตร ชนิดละ 3 ตัวอย่าง

- นำตัวอย่างทั้งหมดอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

- นำตัวอย่างทั้งหมดทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 5 นาที

- ทำการทดสอบกำลังรับแรงดัด โดยเครื่องทดสอบแรงดัดสามารถรับแรงดัดได้สูงสุด 500 กิโลกรัม โดยวางคอนกรีตมวลเบาให้อยู่ตรงกลางและเปิดสวิตซ์เครื่องรอจนกระทั่งอิฐเกิดการแตกตรงกลาง อ่านค่าที่ได้และบันทึกผล

- นำผลที่ได้คำนวณค่ากำลังรับแรงอัดจากสมการ 7 (บทที่ 2)

3. การทดสอบการอัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี

การทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี มีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

- เตรียมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วน

แทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ขนาด 7.5 x 7.5 x 7.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ชนิดละ 3 ตัวอย่าง

- นำตัวอย่างทั้งหมดอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- ปล่อยตัวอย่างทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องประมาณ 4 นาที ทำการวัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง
- นำตัวอย่างทั้งหมดไปแช่ในน้ำสะอาดให้ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาจมลงไปด้านล่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- หลังแช่น้ำครบ 24 ชั่วโมง ใช้ผ้าชุ่มน้ำเช็ดที่ก้อนตัวอย่างที่ละก้อน แล้วนำไปชั่งน้ำหนักให้เสร็จภายในเวลาประมาณ 3 นาที
- จากนั้นนำมาคำนวณอัตราการดูดกลืนน้ำต่อปริมาตรชิ้นทดสอบ จากสมการ 8 (บทที่ 2)

4. การหาค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี

การหาค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี มีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

- เตรียมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ขนาด 7.5 x 7.5 x 7.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ชนิดละ 3 ตัวอย่าง
- ทำการชั่งน้ำหนักก่อนอบและวัดขนาดของคอนกรีตมวลเบาตัวอย่างทดสอบ
- นำตัวอย่างทั้งหมดอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- ทำการวัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักของตัวอย่างหลังอบในเตาอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- คำนวณหาความหนาแน่นเชิงปริมาตรของคอนกรีตมวลเบาตัวอย่างจากสมการ 9 (บทที่ 2)

5. ศึกษาขนาดของฟองอากาศและการจัดเรียงโครงสร้างของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

การศึกษาขนาดของฟองอากาศและการจัดเรียงโครงสร้างของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ (คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ เชิงพาณิชย์ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทซุปเปอร์บล็อกจำกัด (มหาชน)) และคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาล เพื่อหาขนาดของฟองอากาศและการจัดเรียงโครงสร้างรวมถึงการกระจายตัวของฟองอากาศในเนื้อวัสดุ ที่มีผลต่อการดูดกลืนน้ำและความแข็งแกร่ง มีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

- เตรียมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ขนาด 1 x 1 x 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ชนิดละ 3 ตัวอย่าง และทำการเป่าฝุ่นที่ติดกับเนื้อวัสดุหลังตัด

- นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเคลือบผิววัสดุก่อนเข้าเครื่อง SEM

- ใช้เครื่อง SEM กำลังขยายภาพขนาด 3,500 เท่า ตามลำดับ ขั้นตอนการทดสอบ Scanning Electron Microscope (SEM)

- วิเคราะห์การจัดเรียงโครงสร้างผนึกและขนาดของฟองอากาศของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วนต่างๆ

วิเคราะห์สัดส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีเพื่อใช้เป็นข้อมูลในกระบวนการผลิตและการจำหน่ายเชิงพาณิชย์

นำผลการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลสัดส่วนต่างๆมาวิเคราะห์หาสัดส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี โดยสัดส่วนที่เหมาะสมจะคัดเลือกจาก

คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลที่มีสมบัติผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม 1505-2541 และมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ

การศึกษาต้นทุนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์

จากสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี นำสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดมาคิดราคาต้นทุนและระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period) เพื่อเปรียบเทียบกับราคาคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ – อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลและการจำหน่ายเชิงพาณิชย์

โดยระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าเงินลงทุน ผลที่ได้รับจากการประเมินการลงทุนโดยวิธีนี้จะทำให้ทราบว่าจะได้รับเงินทุนช้าหรือเร็วเท่าใด ถ้าคืนทุนได้เร็วเท่าใดก็จะดีมากขึ้น เพราะโอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตมีน้อยลง สามารถคำนวณได้จาก (สุริยงค์ ประชาเขียว (2551, น.62))

$$PBP = \frac{C}{B_t} \qquad (11)$$

โดยที่ PBP = ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

C = เงินลงทุนรายปีของระบบ (บาท)

B_t = ผลตอบแทนสุทธิรายปี (บาท)

วัสดุที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเพื่อการทดสอบ

วัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

- ปูนซีเมนต์ (Cement) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 และมีสมบัติตามมาตรฐาน มอก.15 ล. 1 2547 หรือ ตามมาตรฐาน ASTM C 150

- ปูนขาว (Lime)

- ยิปซัม

- ทรายละเอียด (Fine Aggregate) ใช้ทรายที่มีขนาดประมาณ 0.3-0.6 มิลลิเมตรโดยมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.47 และมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.80

- น้ำผสมคอนกรีต (Water) ใช้น้ำสะอาดมีความขุ่นไม่เกิน 2000 ppm. ปราศจากกรดด่าง น้ำมัน และอินทรีย์สารอื่น ๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต

- ผงอะลูมิเนียม

- สารเคมีผสมเพิ่ม Superplasticizer (ผลิตจากNaphthalene Sulfonate) ตามมาตรฐาน ASTM C 494 Type F และ BS 5075: PART 3: 1985

วัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาล

วัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาล คือ วัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา และกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากขั้นตอนการทำใสน้ำเชื่อมในการผลิตน้ำตาลทรายขาว (ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด (มหาชน))

สัดส่วนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาล

การพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลเพื่อใช้แทนที่ทรายในกระบวนการผลิต โดยอัตราส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลแทนที่ทราย อัตราส่วนเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ส่วนทรายจะมีอัตราส่วนลดลง ซึ่งอัตราส่วนผสมของ

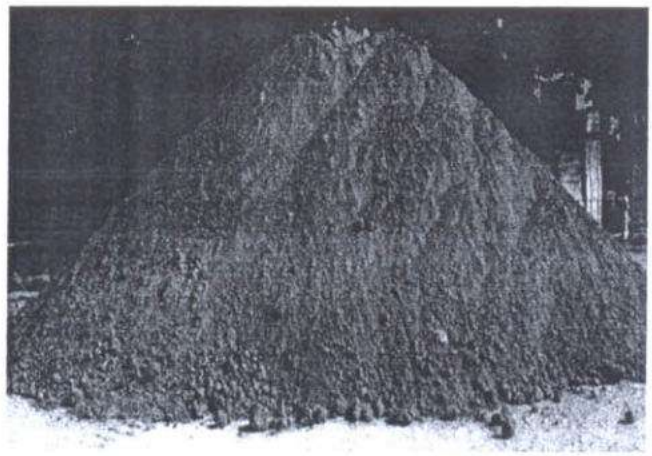
วัตถุดิบต่างๆ ประกอบไปด้วย ทราย ปูนขาว ยิปซัม ผงอะลูมิเนียม จะมีค่าคงที่ตลอดตามอัตราส่วนการผลิตคอนกรีตมวลเบา ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สัดส่วนของกากตะกอนน้ำตาลที่ใช้ในการวิจัย

อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก (ร้อยละโดยมวลของคอนกรีต)					
กากตะกอนน้ำตาลใช้แทนที่ทราย	ปูนซีเมนต์	ทราย	ปูนขาว	ยิปซัม	ผงอะลูมิเนียม
0	16	67	15	1.93	0.07
10	16	57	15	1.93	0.07
15	16	52	15	1.93	0.07
20	16	47	15	1.93	0.07
25	16	42	15	1.93	0.07

สัญลักษณ์ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีกากตะกอนน้ำตาลเป็นส่วนผสม (Autoclaved aerated concrete with sugar sediment mixture) ที่ใช้ในงานวิจัย คือ ตัวอักษรสามตัวแรก หมายถึง คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ตัวเลขสองตัวสุดท้าย หมายถึง ร้อยละการแทนที่ทรายด้วยกากตะกอนน้ำตาล เช่น AAC 10 หมายถึง คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีกากตะกอนน้ำตาลเป็นส่วนผสมร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของคอนกรีต เป็นต้น กากตะกอนน้ำตาลดังแสดงในภาพที่ 12

หมายเหตุ ในงานวิจัยใช้สัดส่วนของกากตะกอนน้ำตาลแทนที่ทรายร้อยละ 0 ถึง 25 ตามตารางที่ 5 เนื่องจากการใช้กากตะกอนน้ำตาลแทนที่ทรายถึงร้อยละ 30 สมบัติพื้นฐานต่างๆ ของคอนกรีตลดลง โดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (โยธิน อึ่งกูล, 2554 น.56-60)



ภาพที่ 12 วัตถุดิบกากตะกอนน้ำตาล

ตารางที่ 6 รายละเอียดจำนวนตัวอย่างและการทดสอบต่อกากตะกอนน้ำตาล 1 แหล่ง

ชนิดของคอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาล	จำนวนชิ้นตัวอย่าง				
	ภาพถ่าย SEM	ความหนาแน่นเชิงปริมาตร	อัตราการดูดกลืนน้ำ	กำลังรับแรงอัด	กำลังรับแรงดัด
AAC	3	3	3	3	3
AAC10	3	3	3	3	3
AAC15	3	3	3	3	3
AAC20	3	3	3	3	3
AAC25	3	3	3	3	3
รวม	15	15	15	15	15

รวมจำนวนตัวอย่างทั้งหมดทุกการทดสอบเท่ากับ 75 ตัวอย่าง ต่อ กากตะกอนน้ำตาล 1 แหล่ง

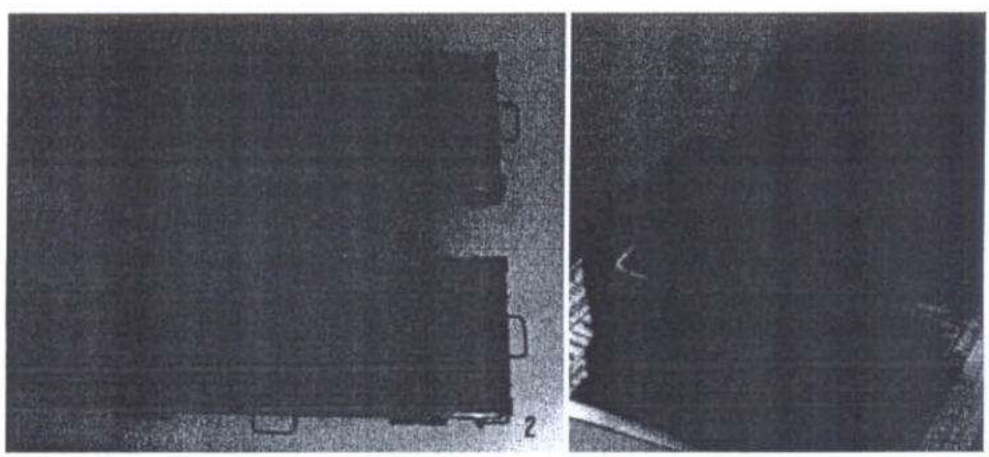
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและการวิเคราะห์คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีกากตะกอนน้ำตาลเป็นส่วนผสมในงานวิจัยนี้ มีดังต่อไปนี้

1. บล็อกพิมพ์ที่ใช้ในการทดลองหล่อคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

- บล็อกพิมพ์ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตรสูง 8 เซนติเมตร สามารถเปิดออกได้ทั้ง 4 ด้าน ดังแสดงในภาพที่ 13ก ก่อนจะใช้บล็อกพิมพ์ จะต้องทาน้ำมันที่บล็อกก่อนเพื่อความสะดวกในการถอดออกจากบล็อกพิมพ์ เป็นบล็อกสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำตัวอย่างที่ใช้ทดสอบกำลังรับแรงดัด

- บล็อกพิมพ์ขนาดกว้าง 13 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตรสูง 12 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 13ข เพื่อใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัด การทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำ และการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตร



ก. ข.

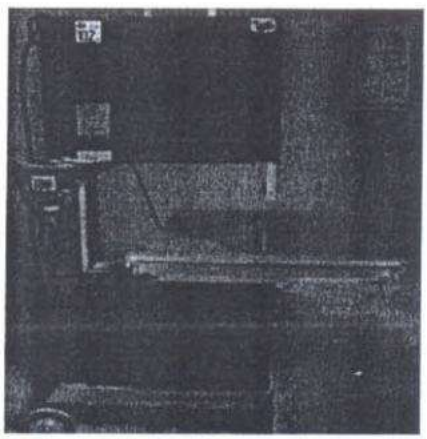
ภาพที่ 13 บล็อกพิมพ์คอนกรีตมวลเบา

ก. บล็อกพิมพ์ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตรสูง 8 เซนติเมตร

ข. บล็อกพิมพ์ขนาดกว้าง 13 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตรสูง 12 เซนติเมตร

2. เครื่องตัดขนาดอิฐมวลเบา

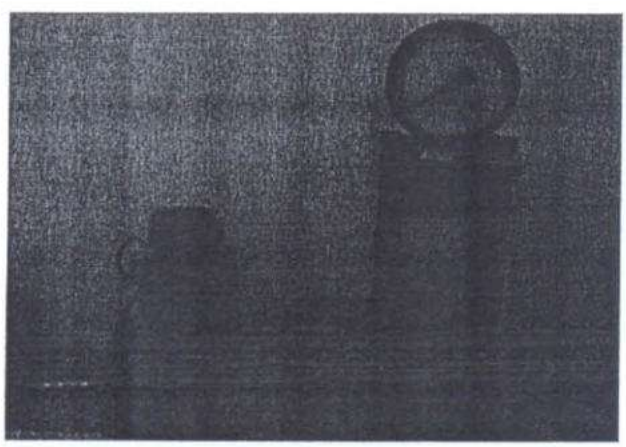
เครื่องสำหรับตัดขนาดความกว้างของบล็อกทดลองให้มีขนาดต่างๆ เพื่อใช้ในการทดสอบสมบัติเบื้องต้น ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 เครื่องที่ใช้ในการตัดขนาดของอิฐมวลเบาที่ใช้ในการทดสอบต่างๆ

3. เครื่องทดสอบแรงอัด

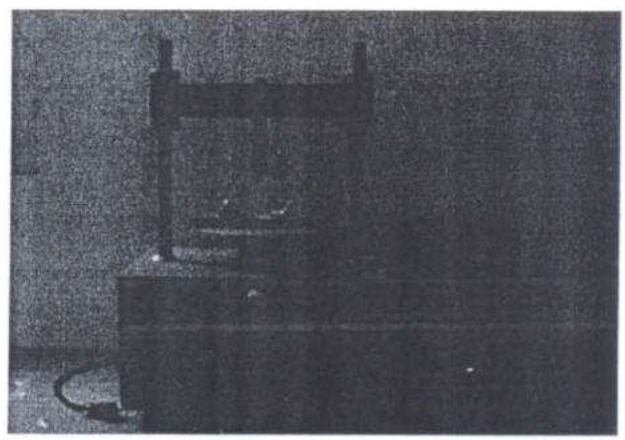
เครื่องทดสอบแรงอัด ดังแสดงในภาพที่ 15 เครื่องสามารถรับแรงอัดได้สูงสุดที่ 10 ตันโดยจะอัดบล็อกตัวอย่างที่มีขนาดเป็นทรงลูกบาศก์ ขนาดเท่ากันที่ 7.5 x 7.5 x 7.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพที่ 15 เครื่องทดสอบแรงอัด

4. เครื่องทดสอบแรงดัด

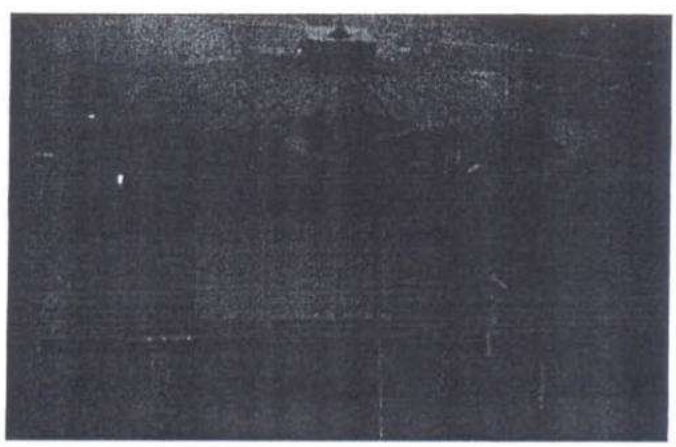
เครื่องทดสอบแรงดัด ดังแสดงในภาพที่ 16 เครื่องสามารถรับแรงดัดได้สูงสุดที่ 500 กิโลกรัม



ภาพที่ 16 เครื่องทดสอบแรงดัด

5. เครื่องอบไอน้ำแรงดันสูง

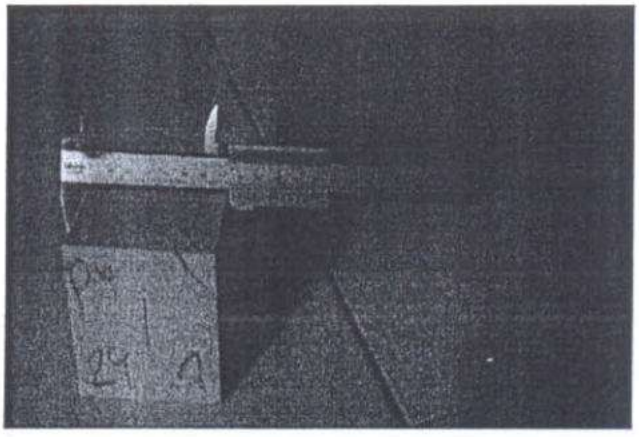
เครื่องอบไอน้ำแรงดันสูง ดังแสดงในภาพที่ 17 ใช้ในการอบคอนกรีตมวลเบาตัวอย่างโดยทำการอบที่ความดันสูง อุณหภูมิที่ใช้อบประมาณ 180 องศาเซลเซียส เวลาในการอบประมาณ 17-18 ชั่วโมง



ภาพที่ 17 เครื่องอบไอน้ำแรงดันสูง

6. เวอร์เนียร์

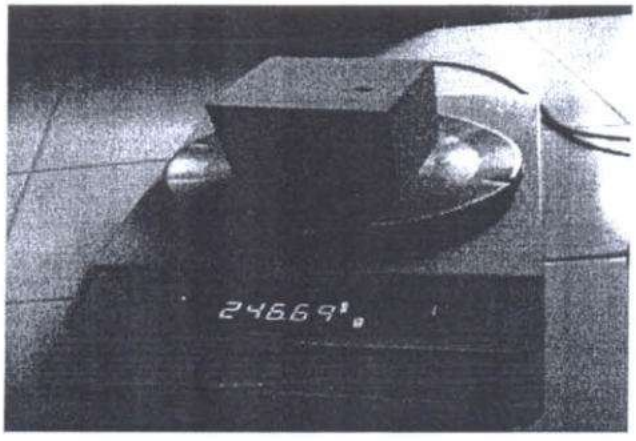
เวอร์เนียร์ เป็นอุปกรณ์วัดขนาดของก้อนคอนกรีตมวลเบา ดังแสดงในภาพที่ 18 เพื่อใช้ในการคำนวณพื้นที่ โดยมีความละเอียดที่ 0.1 มิลลิเมตร



ภาพที่ 18 การวัดโดยเวอร์เนียร์

7. เครื่องชั่งน้ำหนัก

เครื่องชั่งน้ำหนัก สำหรับชั่งน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา ดังแสดงในภาพที่ 19 ชั่งน้ำหนักก่อนอบ หลังอบและหลังจากแช่น้ำ 24 ชั่งโมง

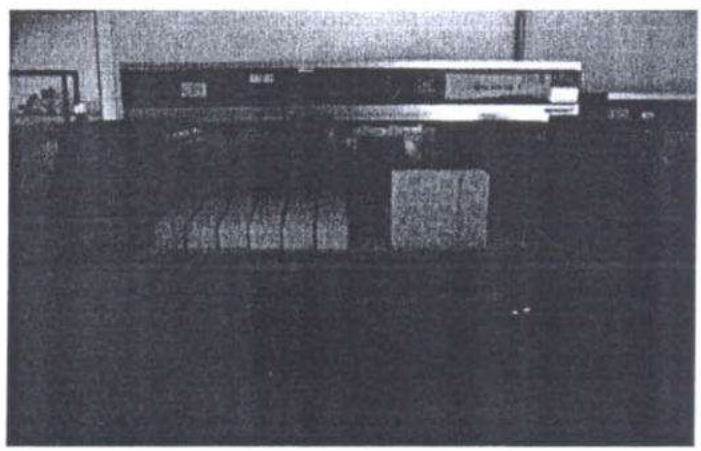


ภาพที่ 19 การชั่งน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
249948

8. เตาอบความร้อน

เตาอบความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 20 โดยทำการอบความร้อนที่ 75 และ 105 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการไล่ความชื้นและการยึดหดตัวของคอนกรีตมวลเบาตัวอย่าง เพื่อใช้ในการทดสอบตัวอย่างตามมาตรฐานการทดสอบคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ



ภาพที่ 20 เตาอบความร้อนใช้ในการอบคอนกรีตมวลเบา

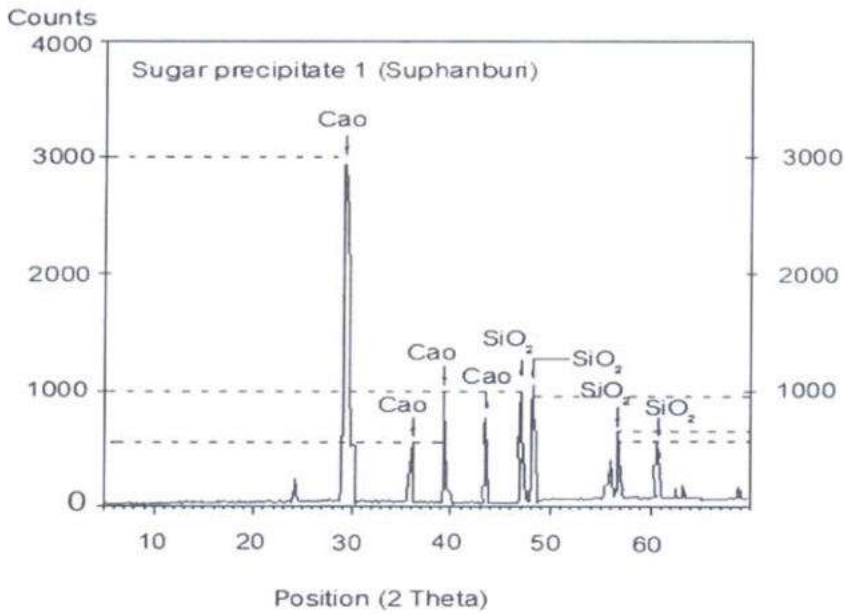
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

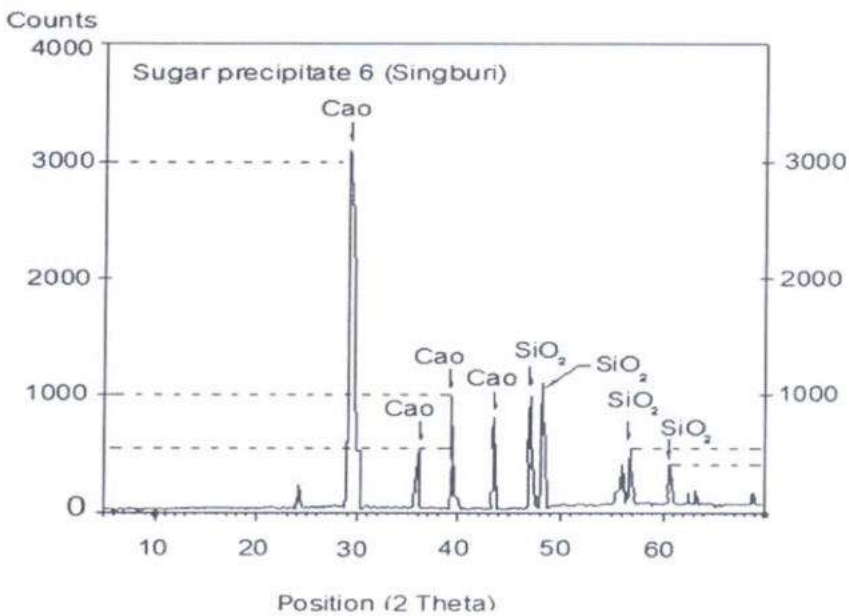
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรี ผลการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลสัดส่วนต่าง ๆ จากทั้ง 2 แหล่ง เช่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด อัตราการดูดกลืนน้ำ และความหนาแน่นเชิงปริมาตร ผลการศึกษาโครงสร้างผิวและการจัดเรียงตัวของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่ง และผลการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาล เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงรายละเอียดดังหัวข้อต่างๆต่อไปนี้

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีด้วยเทคนิค X-Ray Methods

จากการนำกากตะกอนน้ำตาลจากกระบวนการผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีซึ่งเป็นสารตัวอย่างมาบดในเครื่องบดแล้วนำไปอัดจนได้สารตัวอย่างเป็นเม็ดและนำไปวิเคราะห์โดยวิธี X-ray Diffractrometer หรือ XRD ให้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาพที่ 21 และภาพที่ 22



ภาพที่ 21 ผล XRD ของกากตะกอนน้ำตาลจากกระบวนการผลิตน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรี



ภาพที่ 22 ผล XRD ของกากตะกอนน้ำตาลจากกระบวนการผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรี

จากภาพที่ 21 และภาพที่ 22 จะเห็นได้ว่า พีค (Peak) ที่แสดงปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ของกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรีมี Intensity ต่ำกว่ากากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรี นั่นแสดงว่ากากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรีมีองค์ประกอบของแคลไซต์ (Calcite; ผลึกของปูนขาว) น้อยกว่ากากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรี และจาก Peak ที่แสดงปริมาณของซิลิกา (ซิลิคอนไดออกไซด์ ;SiO_2) จะเห็นได้ว่ากากตะกอนน้ำตาลของสิงห์บุรีมีปริมาณ

SiO_2 ต่ำกว่ากากตะกอนน้ำตาลของสุพรรณบุรี ซึ่งการที่กากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรีปริมาณ CaO สูงและปริมาณ SiO_2 ต่ำทำให้อัตราส่วนปริมาณ CaO ต่อ SiO_2 สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของซิลิเกต (Silicate) สูงขึ้นนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตาม กากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่งจะมีองค์ประกอบหลักเหมือนกันคือ แคลไซต์ (Calcite) นั่นเอง ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) จะมีปะปนบ้างเหมือนอนุพันธ์ของ Silicate ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยวิธี XRF ดังแสดงในตารางที่ 7 ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ปูนขาว แร่แอนไฮดราย ทรายบดละเอียดขนาด 63 – 90 ไมครอนมากกว่าร้อยละ 85 และกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี

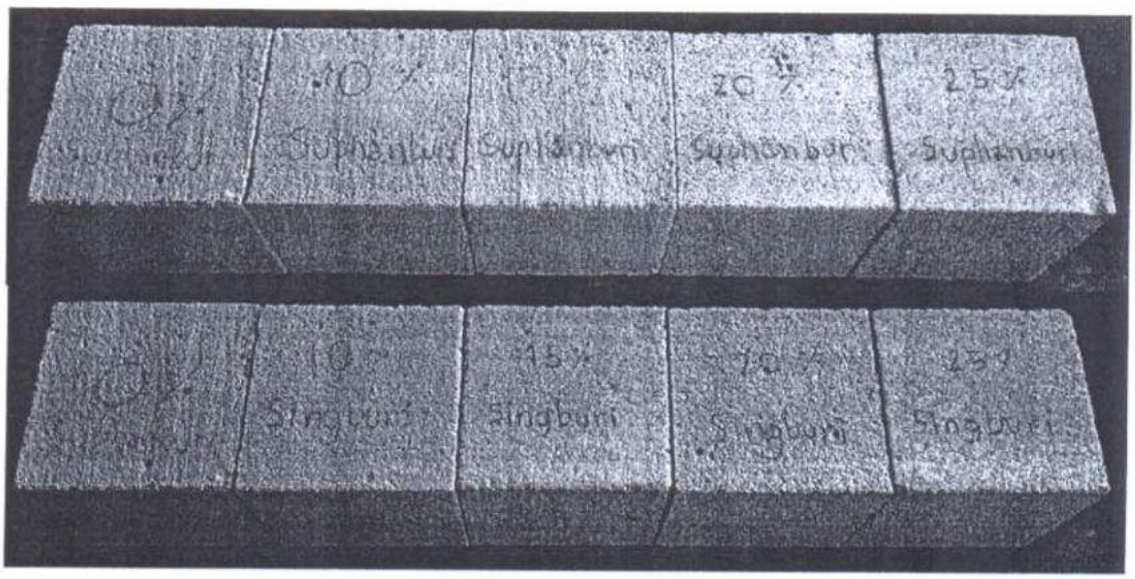
ตารางที่ 7 สมบัติทางเคมีของวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ – อบไอน้ำ

ชนิด (ร้อยละ)	ซีเมนต์	ปูนขาว	ทรายบด	กากตะกอนน้ำตาล	
				สุพรรณบุรี	สิงห์บุรี
SiO_2	21.02	-	85	69.2	67.3
Al_2O_3	5.21	0.5	6.1	7.08	7.12
Fe_2O_3	3.17	0.5	1.2	0.92	0.91
CaO	65.46	80	0.36	12.95	14.85
MgO	3.14	1	0.85	0.12	0.11
Na_2O	0.14	0.2	1	0.9	0.85
K_2O	0.83	0.42	1	1.2	1.2

ผลการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีเพื่อทดสอบสมบัติเบื้องต้น

การวิจัยนี้ได้นำกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลมิตรผล จังหวัดสุพรรณบุรี และโรงงานน้ำตาลมิตรผล จังหวัดสิงห์บุรี มาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ โดยนำกากตะกอนน้ำตาลมาใช้แทนที่ทรายในกระบวนการผลิตร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ

25 โดยน้ำหนัก โดยผสมตามอัตราส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 5 ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน นำมาใส่ในแบบพิมพ์ที่เตรียมไว้และตั้งทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาของฟองอากาศและการยึดตัว หลังจากนั้นนำคอนกรีตมวลเบาออกจากแบบพิมพ์ และนำเข้าเครื่องอบไอน้ำความดันสูงและนำมาตัดให้ได้ขนาดการทดสอบ เพื่อทำการทดสอบสมบัติเบื้องต้น ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลตามสัดส่วนต่างๆดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลตามสัดส่วนต่างๆ

ผลการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์

คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี

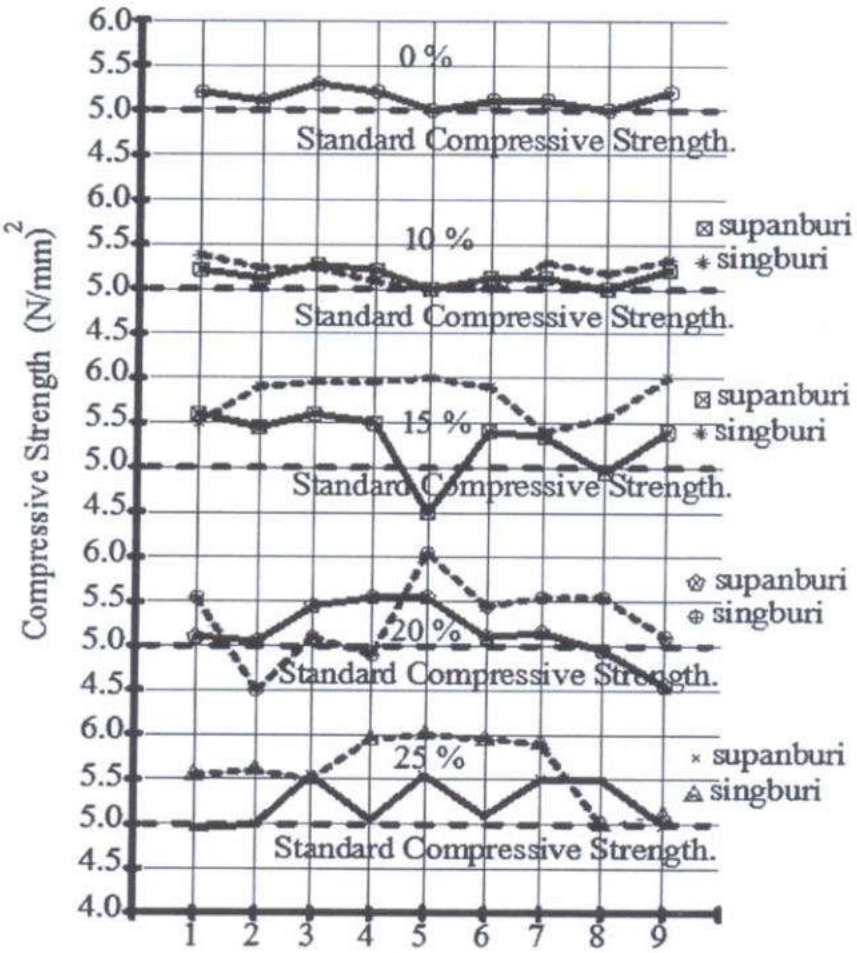
การทดสอบทำการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก เช่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด อัตราการดูดกลืนน้ำ และความหนาแน่นเชิงปริมาตร เป็นต้น เทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำตามมาตรฐาน มอก. 1510-2541 ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังต่อไปนี้

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ในอัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก โดยตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองในแต่ละสัดส่วนมี 3 ชุดการทดสอบ ชุดละ 3 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ให้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 8 และภาพที่ 24

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ในอัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก

Compressive Strength (N/mm^2)	ตัวอย่างที่									เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0%	5.10	5.00	5.10	4.90	5.20	5.10	5.00	5.00	5.10	5.06
สุพรรณบุรี10%	5.20	5.10	5.30	5.20	5.00	5.10	5.10	5.00	5.20	5.13
สิงห์บุรี10 %	5.30	5.20	5.20	5.10	5.00	5.00	5.30	5.20	5.30	5.18
สุพรรณบุรี15%	5.70	5.40	5.70	5.50	4.50	5.30	5.20	4.90	5.30	5.28
สิงห์บุรี15%	5.50	5.80	5.90	5.90	6.00	5.80	5.30	5.60	6.00	5.76
สุพรรณบุรี20%	5.60	4.50	5.20	4.80	6.10	5.40	5.60	5.60	5.20	5.33
สิงห์บุรี20%	5.20	5.10	5.40	5.60	5.60	5.20	5.30	4.90	4.60	5.21
สุพรรณบุรี25%	4.90	5.00	5.60	5.10	5.60	5.20	5.50	5.50	5.00	5.27
สิงห์บุรี25%	5.60	5.70	5.50	5.90	6.00	5.90	5.80	5.00	5.20	5.62



ภาพที่ 24 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งต่างๆ ที่อัตราส่วนแทนที่ทรายแตกต่างกัน

จากข้อมูลตารางที่ 8 และภาพที่ 24 พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ ส่วนใหญ่แล้วจะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีในอัตราส่วนแทนที่ทรายเท่ากัน ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนน้ำตาลที่มีแคลเซียมออกไซด์เจือปนอยู่ โดยเฉพาะกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรี มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์สูงกว่ากากตะกอนน้ำตาลจากสุพรรณบุรี เนื่องจากปริมาณแคลเซียมมากขึ้นแต่ค่าซิลิกอนลดลง ส่งผลให้สัดส่วนของแคลเซียมต่อซิลิกอน (Ca/Si ratio) มีค่าสูงขึ้นนั่นเอง ทำให้การเกิดผลึก tobermorite ที่มีความสมบูรณ์มากกว่า ทำให้โครงสร้างผลึกมีความละเอียดสูง การถักทอเป็นเส้นใยค่อนข้างหนาแน่น และมีโครงสร้างผลึกที่

ละเอียดที่สุดจึงให้ผลต่อการรับกำลังอัดได้ดีที่สุด โดยคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรีมีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยสูงสุดที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ15 มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยได้ 5.76 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร รองลงมาคืออัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 25 มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่ 5.62 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร และกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0 มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยได้ 5.06 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรีมีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยสูงสุดที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 20 มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยได้ 5.33 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร รองลงมาคืออัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 15 มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่ 5.28 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร และกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0 มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยได้ 5.06 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร และเมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดมาเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ชั้นคุณภาพ G4 พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากทั้งแหล่งสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยสูงกว่ากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมต่ำสุดและกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมเฉลี่ย โดยกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมต่ำสุด คือ 4 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร และกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยตามมาตรฐานอุตสาหกรรม คือ 5 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร (มอก.1505-2541) ดังนั้นคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากทั้งแหล่งสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี จึงผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมทุกอัตราส่วนการแทนที่ทราย

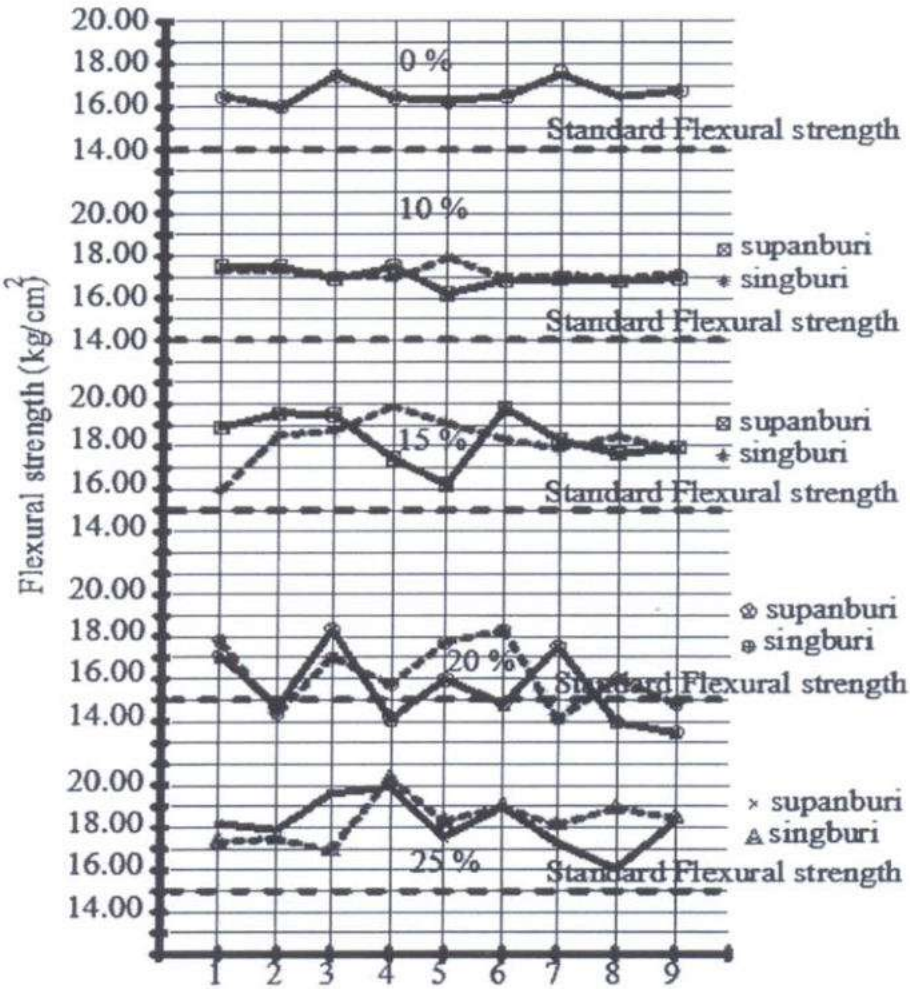
ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี

การทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ในอัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก โดยตัวอย่างที่ใช้ในการ

ทดลองในแต่ละสัดส่วนมี 3 ชุดการทดสอบ ชุดละ 3 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ให้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 9 และภาพที่ 25

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ในอัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก

Flexural strength (kg/cm^2)	ตัวอย่างที่									เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0%	16.55	16.00	17.30	16.55	16.25	16.50	17.50	16.50	16.80	16.661
สุพรรณบุรี10%	17.50	17.45	16.95	17.45	16.19	16.85	16.85	16.80	16.95	16.999
สิงห์บุรี10%	17.35	17.30	17.15	16.95	17.85	16.95	17.15	16.95	17.20	17.206
สุพรรณบุรี15%	18.90	19.53	19.53	17.45	16.19	19.78	18.25	17.63	17.95	18.357
สิงห์บุรี15%	16.12	18.55	18.74	19.84	19.05	18.29	17.92	18.45	17.80	18.307
สุพรรณบุรี20%	17.81	14.28	16.96	15.75	17.74	18.33	14.09	15.98	14.80	16.193
สิงห์บุรี20%	17.11	14.73	18.33	14.09	15.98	14.8	17.55	13.94	13.43	15.551
สุพรรณบุรี25%	18.18	17.84	19.62	19.86	17.58	18.89	17.35	16.05	18.24	18.179
สิงห์บุรี25%	17.36	17.49	16.90	20.30	18.32	18.92	18.08	18.88	18.41	18.296



ภาพที่ 25 กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งต่างๆ ที่อัตราส่วนแทนที่ทรายแตกต่างกัน

จากข้อมูลตารางที่ 9 และภาพที่ 25 พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จะให้กำลังรับแรงดัดใกล้เคียงกัน และให้ผลที่สูงกว่าการแทนที่ด้วยทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0 เพราะการจัดเรียงตัวของผลึก Tobermorite จะเรียงในลักษณะซ้อนเป็นชั้นๆ จึงแสดงผลที่แตกต่างของกำลังรับแรงดัดไม่ชัดเจนระหว่างกากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่ง โดยคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรีมีกำลังรับแรงดัดดัดเฉลี่ยสูงสุดที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ15 มีกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยได้ 18.307 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร รองลงมาคืออัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 25 มีกำลัง

รับแรงดัดเฉลี่ยที่ 18.296 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 20 มีกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยได้ 15.551 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรีมีกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยสูงสุดที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 15 มีกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยได้ 18.357 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร รองลงมาคืออัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 25 มีกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยที่ 18.179 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 20 มีกำลังรับแรงดัดเฉลี่ยได้ 16.193 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดมาเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงดัดตามมาตรฐาน พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากทั้งแหล่งสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0 10 15 20 และ 25 ตามลำดับ มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้คือ กำลังรับแรงดัดจะต้องเป็นร้อยละ 30 - 40 ของกำลังรับแรงอัด (RILEM Technical Committees -MAC and 51-ALC, 1993, p 15 - 16)

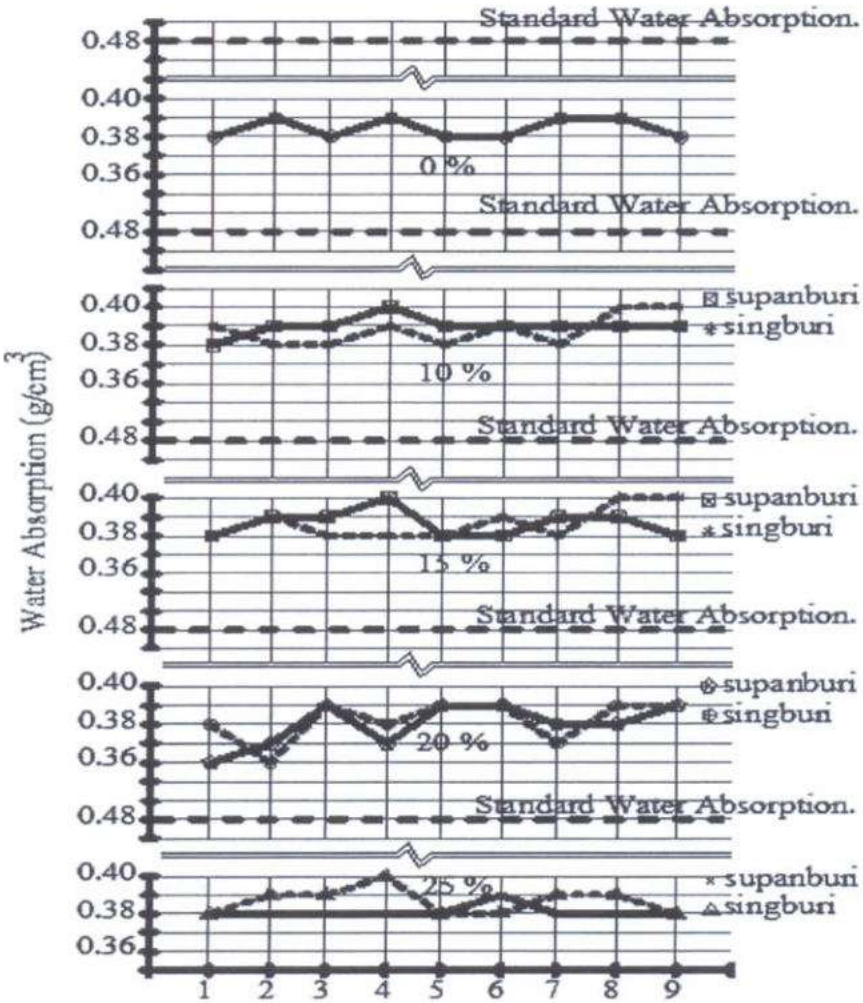
ผลการทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี

การทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ในอัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก โดยตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองในแต่ละสัดส่วนมี 3 ชุดการทดสอบ ชุดละ 3 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ให้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 10 และภาพที่ 26

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ- อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ในอัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก

Water absorption (g/cm^3)	ตัวอย่างที่									เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0%	0.38	0.39	0.38	0.39	0.38	0.38	0.39	0.39	0.38	0.384
สุพรรณบุรี10%	0.38	0.39	0.39	0.40	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.390
สิงห์บุรี10 %	0.39	0.38	0.38	0.39	0.38	0.39	0.38	0.40	0.40	0.388
สุพรรณบุรี15%	0.38	0.39	0.39	0.40	0.38	0.38	0.39	0.39	0.38	0.387
สิงห์บุรี15 %	0.38	0.39	0.38	0.38	0.38	0.39	0.38	0.40	0.40	0.387
สุพรรณบุรี20%	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.39	0.38	0.38	0.38	0.381
สิงห์บุรี20 %	0.36	0.37	0.39	0.37	0.39	0.39	0.38	0.38	0.39	0.380
สุพรรณบุรี25%	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.39	0.38	0.38	0.38	0.381
สิงห์บุรี25%	0.38	0.39	0.39	0.40	0.38	0.38	0.39	0.39	0.38	0.387

จากข้อมูลตารางที่ 10 และภาพที่ 26 พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จะให้อัตราการดูดกลืนน้ำใกล้เคียงกันทุกอัตราส่วน เนื่องจากขนาดของกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีมีขนาดใกล้เคียงกันและให้อัตราการดูดกลืนน้ำต่ำกว่าค่ามาตรฐานคือต่ำกว่า 0.48 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากขนาดของกากตะกอนน้ำตาลที่เล็กกว่าขนาดของทรายบด หลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยแรงดัน 12 บาร์ อุณหภูมิ 180-190 °C จะเกิดการเปลี่ยนวัตถุมูลฐานเป็นผลึกคริสตัลของแคลเซียมซิลิเกต (Calcium Silicate) ช่องว่างระหว่างผลึกจึงมีน้อย ทำให้การดูดซึมน้ำน้อยใกล้เคียงกับอัตราการแทนที่ทรายร้อยละ 0



ภาพที่ 26 อัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งต่างๆ ที่อัตราส่วนแทนที่ทรายแตกต่างกัน

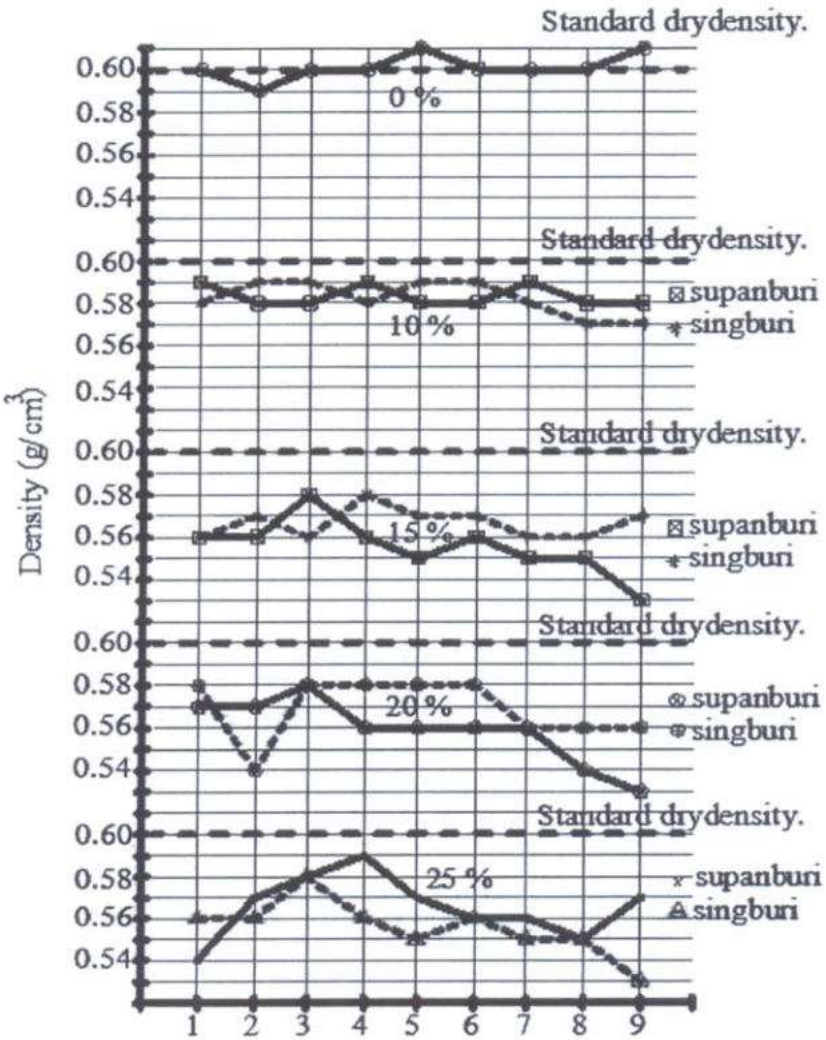
ผลการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี

การทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ในอัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก โดยตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองในแต่ละสัดส่วนมี 3 ชุดการทดสอบ ชุดละ 3 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ให้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 11 และภาพที่ 27

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ในอัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก

Dry Density (g/cm^3)	ตัวอย่างที่									เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0%	0.6	0.59	0.6	0.6	0.61	0.6	0.6	0.6	0.61	0.601
สุพรรณบุรี10%	0.59	0.58	0.58	0.59	0.58	0.58	0.59	0.58	0.58	0.583
สิงห์บุรี10%	0.58	0.59	0.59	0.58	0.59	0.59	0.58	0.57	0.57	0.582
สุพรรณบุรี15%	0.56	0.56	0.58	0.56	0.55	0.56	0.55	0.55	0.53	0.556
สิงห์บุรี15%	0.56	0.57	0.56	0.58	0.57	0.57	0.56	0.56	0.57	0.567
สุพรรณบุรี20%	0.58	0.54	0.58	0.58	0.58	0.58	0.56	0.56	0.56	0.569
สิงห์บุรี20%	0.57	0.57	0.58	0.56	0.56	0.56	0.56	0.54	0.53	0.559
สุพรรณบุรี25%	0.54	0.57	0.58	0.59	0.57	0.56	0.56	0.55	0.57	0.566
สิงห์บุรี25%	0.56	0.56	0.58	0.56	0.55	0.56	0.55	0.55	0.53	0.556

จากข้อมูลตารางที่ 11 และภาพที่ 27 พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มีความหนาแน่นต่ำกว่า อัตราส่วนแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0 เนื่องจากตะกอนน้ำตาลทั้งสองแหล่งมีน้ำหนักเบากว่าทราย เมื่อมีการแทนที่ทรายมากขึ้น ความหนาแน่นจึงลดลง ในลักษณะแปรผกผันกับปริมาณกากตะกอนน้ำตาลที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งความหนาแน่นที่ลดลงนี้ส่งผลถึงกำลังรับแรงอัดให้ต่ำลงเล็กน้อย ดังจะเห็นได้จากการแทนที่ทรายร้อยละ 20 ของตะกอนสิงห์บุรี จะมีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 5.211 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ต่ำกว่าการแทนที่ทรายร้อยละ 25 ของตะกอนสิงห์บุรี มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 5.622 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร แต่มีความหนาแน่นสูงกว่า ซึ่งข้อมูลดังกว่าเป็นความคลาดเคลื่อนของข้อมูลขั้นตอนในการผลิตที่มีการกระจายตัวของฟองอากาศที่กระจายตัวไม่เท่ากัน

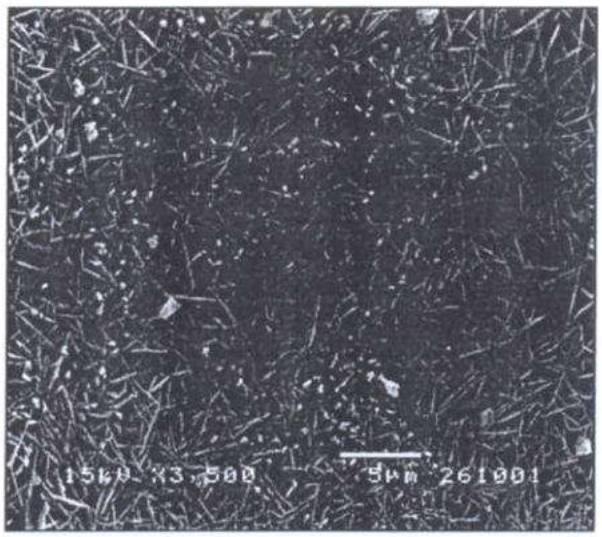


ภาพที่ 27 ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ผสมกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งต่างๆ ที่อัตราส่วนแทนที่ทรายแตกต่างกัน

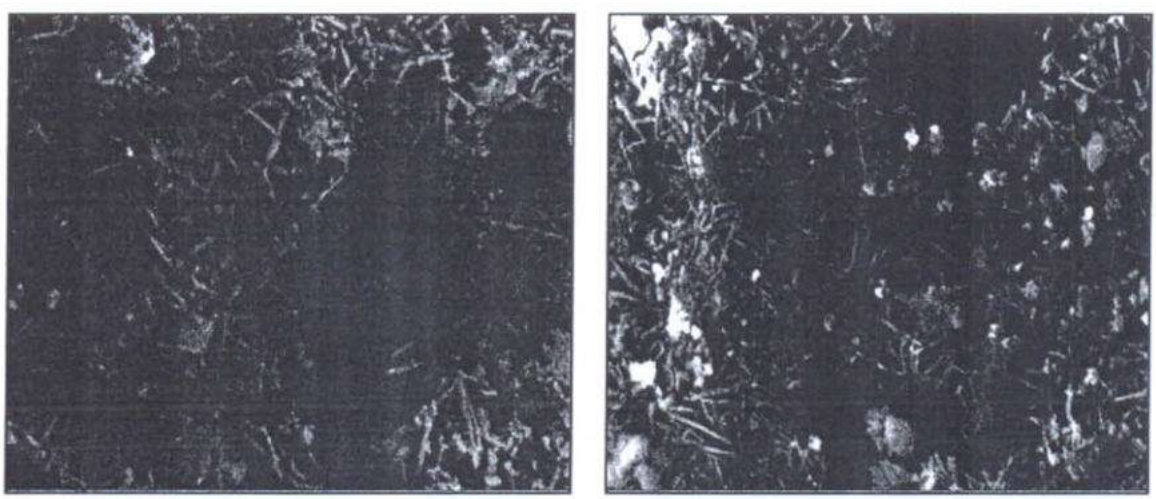
เมื่อนำผลการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรตามมาตรฐาน พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากทั้งแหล่งสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ยต่ำกว่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรตามมาตรฐาน คือมีความหนาแน่นเชิงปริมาตรต่ำกว่า 0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งส่งผลให้คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากทั้งแหล่งสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ มีน้ำหนักที่เบาขึ้น ทำให้สามารถขนส่งได้สะดวกขึ้นและจำนวนเพิ่มขึ้นนั่นเอง

ผลการศึกษาขนาดของฟองอากาศและการจัดเรียงโครงสร้างของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำที่มีลักษณะเป็นฟองอากาศแบบปิดที่กำลังขยาย 3500 เท่า พบว่า โครงสร้างผลึกจัดเรียงตัวอย่างเป็นระบบแบบร่างแหตาข่ายของผลึก Tobermorite ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลแบบเททระฮีดรอน (Tetrahedron) 4 เหลี่ยม 3 มิติยึดต่อกันด้วยพันธะเดทีฟหรือพันธะโคออดิเนตโคเวเลนซ์ (Dative bond or Coordinate Covalent bond) มีปริมาตรและสัณฐานที่เสถียร เกิดการเปลี่ยนวัตถุดิบมูลฐานเป็นผลึกคริสตัลของแคลเซียมซิลิเกต (Interlocking Network of Crystals) แสดงดังภาพที่ 28 ถึง 32 จากภาพจะเห็นได้ว่าการแทนที่ทรายด้วยกากตะกอนน้ำตาลปริมาณน้อยจะมีผลึกสีขาวของ SiO_2 เหลือจากการก่อโครงผลึกกับอะลูมิเนียมปะปนอยู่กับผลึกของคริสตัลของแคลเซียมซิลิเกต และในการแทนที่ทรายด้วยกากตะกอนน้ำตาลที่มากขึ้น ทำให้โครงสร้างผลึกคริสตัลของแคลเซียมซิลิเกตมีความละเอียดมากขึ้น ทำให้ผลึกมีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งผลึกคริสตัลของแคลเซียมซิลิเกตนี้จะมีผลต่อค่า compressive และ flexural strength เพราะลักษณะโครงสร้างแบบแท่งเข็มจะทำให้เกิดความแข็งแรงขึ้นทั้ง 2 มิติ ในขณะที่โครงสร้างแบบอสัณฐาน (amorphous) จะไม่มีความแข็งแรงในทิศทางใดๆเพราะมีรูปทรงที่ไม่แน่นอน ดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบเปรียบเทียบค่า compressive และ flexural strength จากลักษณะรูปทรงของผลึกที่มีการจัดเรียงตัวของผลึกก็มีผลต่อสมบัติของคอนกรีตด้วยเช่นกัน นั่นคือ การจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบของ AAC จะจัดเรียงตัวในลักษณะ tetrahedron close pack การจัดเรียงตัวนี้จะทำให้เกิดรูพรุนในลักษณะของ micro pore ในระหว่างอนุภาค ซึ่งจะมีพฤติกรรมในการกักเก็บความร้อนได้น้อย และสามารถส่งผ่านความร้อนไปได้ช้าเพราะลักษณะ micro pore ที่ปรากฏจะทำให้ความร้อนเดินทางไปได้ช้า



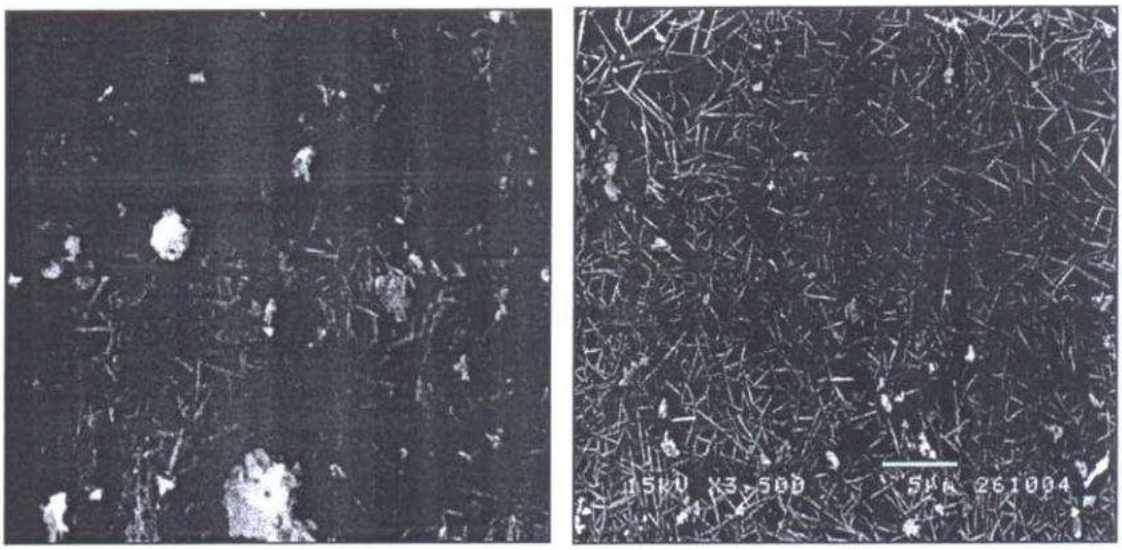
ภาพที่ 28 SEM ของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลร้อยละ 0



(ก) (ข)

ภาพที่ 29 SEM ของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลร้อยละ 10

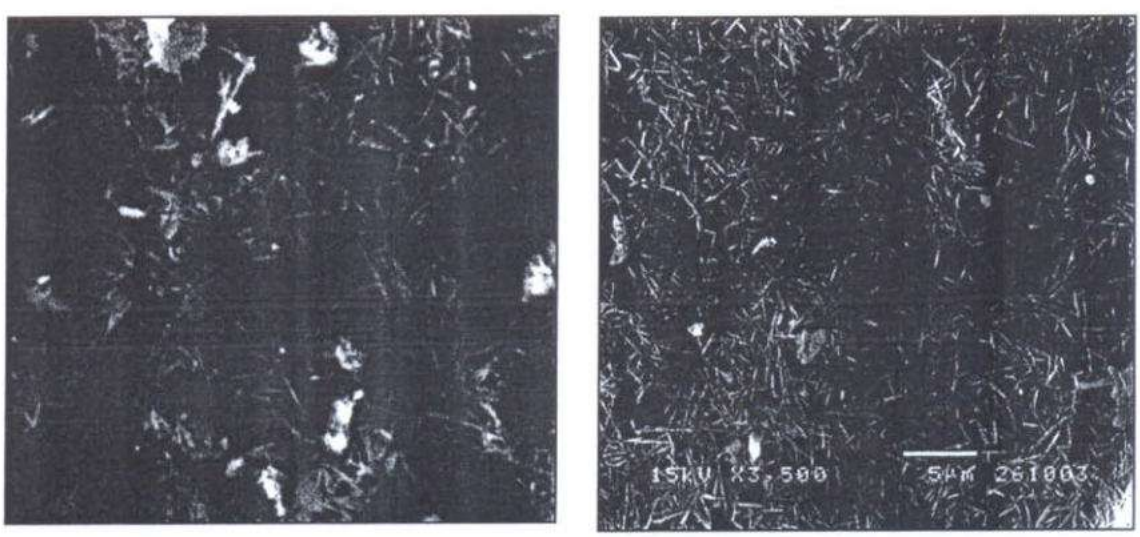
(ก) กากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรี (ข) กากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรี



(ก) (ข)

ภาพที่ 30 SEM ของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลร้อยละ 15

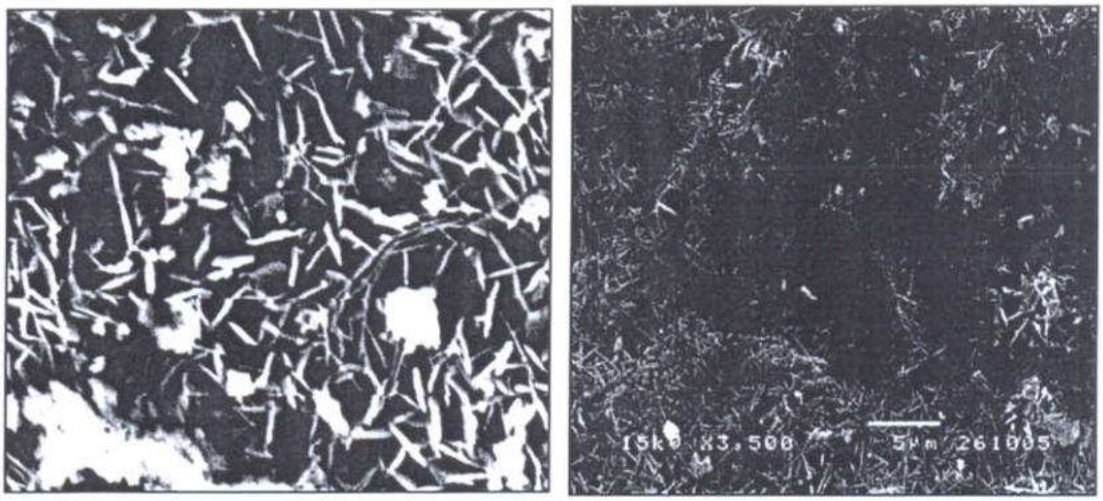
(ก) กากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรี (ข) กากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรี



(ก) (ข)

ภาพที่ 31 SEM ของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลร้อยละ 20

(ก) กากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรี (ข) กากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรี



(ก) (ข)

ภาพที่ 32 SEM ของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลร้อยละ 25
(ก) กากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรี (ข) กากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรี

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีเพื่อใช้เป็นข้อมูลในกระบวนการผลิตและการจำหน่ายเชิงพาณิชย์

จากผลการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ในทุกอัตราส่วนแทนที่ทรายมีสมบัติเบื้องต้น เช่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด อัตราการดูดกลืนน้ำ และความหนาแน่นเชิงปริมาตร ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำตามมาตรฐาน มอก. 1510-2541 จัดอยู่ในชั้นคุณภาพ G4 ดังนั้นจึงสามารถนำคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ไปผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ทุกอัตราส่วนแทนที่ทราย แต่เนื่องจากที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 25 ของกากตะกอนน้ำตาลทั้ง 2 แหล่ง สามารถแทนที่ทรายได้มากที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีในอัตราส่วนร้อยละ 25 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์

ผลการศึกษาต้นทุนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์

จากผลการวิเคราะห์สัดส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีเพื่อใช้เป็นข้อมูลในกระบวนการผลิตและการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ที่อัตราส่วนแทนที่ทราย ร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนัก มีสมบัติเบื้องต้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (มอก. 1510-2541) สามารถนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ได้ทุกอัตราส่วนแทนที่ทราย แต่อัตราส่วนที่แทนที่ทรายได้มากที่สุดคืออัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 25 ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 และคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 เปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์

การศึกษาราคาต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ของบริษัทซุปเปอร์บล็อค จำกัด มหาชน โดยมีกำลังการผลิตคอนกรีตมวลเบาโดยปริมาตร 250,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์มีค่าความหนาแน่นแห้ง 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถประมาณการกำลังการผลิตเป็นโดยน้ำหนักได้ 150,000 ตันต่อปี และเมื่อคิดที่กำลังการผลิตร้อยละ 86 จะได้จำนวนปริมาตรรวมและน้ำหนักรวมเท่ากับ 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 129,000 ตันต่อปี ตามลำดับ (หนังสือพิมพ์กรุงเทพธุรกิจ: ข่าวการตั้งโรงงานผลิตอิฐมวลเบาของบริษัทกระเบื้องตราเพชร และ บริษัทคิวคอน จำกัด (มหาชน)) ซึ่งวัตถุดิบหลักและราคาต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ ได้แก่ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ประเภท 1 ยิปซัม ผงอะลูมิเนียม และทราย แสดงดังตารางที่ 13 และตารางที่ 14 ซึ่งทรายที่ใช้ในกระบวนการผลิตจำต้องบดให้มีความละเอียด 90 ไมครอน ซึ่งทำให้ต้องสิ้นเปลืองพลังงานและค่าใช้จ่ายในการบดทราย ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ต้นทุนการผลิตทรายบดละเอียดขนาด 90 ไมครอน

รายการ	ราคา (บาทต่อตัน)
1. ทรายหยาบ	130
2. ค่าลูกเหล็ก	66.86
3. ค่าไฟฟ้า	46.80
4. ยางไรเนอร์	138.50
ราคารวม	382.16

จากตารางที่ 12 พบว่า การผลิตทรายบดละเอียด 1 ตัน จะมีต้นทุนหลายด้าน เช่น ค่าทรายหยาบ 130 บาทต่อตัน ค่าลูกเหล็ก 66.86 บาทต่อตัน ค่าไฟฟ้า 46.80 บาทต่อตัน และค่ายางไรเนอร์ที่ติดตั้งอยู่ในเครื่องบดทรายที่มีต้นทุนเฉลี่ย 138.50 บาทต่อตัน ซึ่งทำให้ราคาค่าทรายบดละเอียดสูงขึ้นเป็น 382.16 บาทต่อตัน

ตารางที่ 13 ปริมาณวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือโดยน้ำหนัก 129,000 ตันต่อปี

วัตถุดิบ	อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก (ร้อยละโดยมวล)	ปริมาณวัตถุดิบ (ตันต่อปี)
1.ทรายบดละเอียด	67	86,430
2.ปูนซีเมนต์	16	20,640
3.ปูนขาว	15	19,350
4.ยิปซัม	1.93	2,489.70
5.ผงอะลูมิเนียม	0.07	90.30
รวมวัตถุดิบ	100	129,000

จากตารางที่ 3 พบว่าในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ ที่มีกำลังการผลิตโดยปริมาตร 250,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี มีค่าความหนาแน่นแห้ง 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถประมาณการกำลังการผลิตเป็นโดยน้ำหนักได้ 150,000 ตันต่อปี และเมื่อคิดที่กำลังการผลิตร้อยละ 86 จะได้จำนวนปริมาตรรวมและน้ำหนักรวมเท่ากับ 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 129,000 ตันต่อปี จะต้องใช้วัตถุดิบหลักรวม เช่น ทรายบดละเอียด 86,430 ตันต่อปี ปูนซีเมนต์ 20,640 ตันต่อปี ปูนขาว 19,350 ตันต่อปี ยิปซัม 2,489.70 ตันต่อปี และผงอะลูมิเนียม 90.30 ตันต่อปี

ตารางที่ 14 ราคาวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือโดยน้ำหนัก 129,000 ตันต่อปี

วัตถุดิบ	ราคา (บาทต่อตัน)	ปริมาณวัตถุดิบ (ตันต่อปี)	รวมมูลค่าวัตถุดิบ (บาทต่อปี)	ราคาวัตถุดิบ (ร้อยละ)
1.ทรายบดละเอียด	382.16	86,430	33,030,089	19.59
2.ปูนซีเมนต์	2,000	20,640	41,280,000	24.48
3.ปูนขาว	3,600	19,350	69,660,000	41.31
4.ยิปซัม	1,200	2,489.70	2,987,640	1.77
5.ผงอะลูมิเนียม	240,000	90.30	21,672,000	12.85
รวมวัตถุดิบ	247,382	129,000	168,629,729	100

จากตารางที่ 14 พบว่าในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือโดยน้ำหนัก 129,000 ตันต่อปี จะต้องจ่ายค่าวัตถุดิบหลัก เช่น ทรายบดละเอียด 33,030,089 บาทต่อปี ปูนซีเมนต์ 41,280,000 บาทต่อปี ปูนขาว 69,660,000 บาทต่อปี ยิปซัม 2,987,640 บาทต่อปี และผงอะลูมิเนียม 20,227,200 บาทต่อปี ซึ่งรวมเป็นค่าวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ทั้งหมด 168,629,729 บาทต่อปี

2. การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25

การศึกษาราคาต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 250,000 บาศก์เมตรต่อปี คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลมีค่าความหนาแน่นแห้ง 560 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถประมาณการกำลังการผลิตโดยน้ำหนักได้ 140,000 ตันต่อปี และเมื่อคิดที่กำลังการผลิตร้อยละ 86 จะได้จำนวนปริมาตรรวมและน้ำหนักรวมเท่ากับ 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 120,400 ตันต่อปี ตามลำดับ (หนังสือพิมพ์กรุงเทพธุรกิจ: ข่าวการตั้งโรงงานผลิตอิฐมวลเบาของบริษัทกระเบื้องตราเพชร และ บริษัทดิวคอนจำกัด (มหาชน)) ซึ่งวัตถุดิบหลักและราคาต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรี ได้แก่ ปูนขาว กากตะกอนน้ำตาล ปูนซีเมนต์ประเภท 1 ยิปซัม ผงอะลูมิเนียม และทราย แสดงดังตารางที่ 15 และ ตารางที่ 16

ตารางที่ 15 ต้นทุนกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานผลิตน้ำตาลทรายจังหวัดสุพรรณบุรี

รายการ	ราคา (บาทต่อตัน)
1. กากตะกอนน้ำตาล	110
2. ราคาขนส่ง	190
ราคารวม	300

จากตารางที่ 15 พบว่ากากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานผลิตน้ำตาลทรายจังหวัดสุพรรณบุรี มีต้นทุนกากตะกอนน้ำตาล 300 บาทต่อตัน โดยแบ่งเป็นค่ากากตะกอนน้ำตาล 110 บาทต่อตัน และราคาขนส่งอีก 190 บาทต่อตัน

ตารางที่ 16 ปริมาณวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือโดยน้ำหนัก 120,400 ตันต่อปี

วัตถุดิบ	อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก (ร้อยละโดยมวล)	ปริมาณวัตถุดิบ (ตันต่อปี)
1.ทรายบดละเอียด	42	50,568
2.กากตะกอนน้ำตาล	25	30,100
3.ปูนซีเมนต์ ประเภท 1	16	19,264
4.ปูนขาว	15	18,060
5.ยิปซัม	1.93	2,323.72
6.ผงอะลูมิเนียม	0.07	84.28
รวมวัตถุดิบ	100	120,400

จากตารางที่ 16 พบว่าในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 จำนวนน้ำหนักรวม 120,400 ตันต่อปี จะต้องใช้วัตถุดิบหลักรวม เช่น ทรายบดละเอียด 50,568 ตันต่อปี กากตะกอนน้ำตาล 30,100 ตันต่อปี ปูนซีเมนต์ 19,264 ตันต่อปี ปูนขาว 18,060 ตันต่อปี ยิปซัม 2,323.72 ตันต่อปี และผงอะลูมิเนียม 84.28 ตันต่อปี

ตารางที่ 17 ราคาวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือโดยน้ำหนัก 120,400 ตันต่อปี

วัตถุดิบ	ราคา (บาทต่อตัน)	ปริมาณวัตถุดิบ (ตันต่อปี)	รวมมูลค่าวัตถุดิบ (บาทต่อปี)	ราคาวัตถุดิบ (ร้อยละ)
1.ทรายบดละเอียด	382.16	50,568	19,325,040	12.47
2.กากตะกอนน้ำตาล	300	30,100	9,030,000	5.83
3.ปูนซีเมนต์	2,000	19,264	38,528,000	24.87
4.ปูนขาว	3,600	18,060	65,016,000	41.97
5.ยิปซัม	1,200	2,323.72	2,788,464	1.80
6.ผงอะลูมิเนียม	240,000	84.28	20,227,200	13.06
รวมวัตถุดิบ	247,382	120,400.00	154,914,704	100.00

จากตารางที่ 17 พบว่าในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 จำนวนน้ำหนักรวม 120,400 ตันต่อปี จะต้องจ่ายค่าวัตถุดิบหลัก เช่น ทรายบดละเอียด 19,325,040 บาทต่อปี กากตะกอนน้ำตาล 9,030,000 บาทต่อปี ปูนซีเมนต์ 38,528,000 บาทต่อปี ปูนขาว 65,016,000 บาทต่อปี ยิปซัม 2,788,464 บาทต่อปี และ ผงอะลูมิเนียม 20,227,200 บาทต่อปี ซึ่งรวมเป็นค่าวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 ทั้งหมด 154,914,704 บาทต่อปี

3. การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25

การศึกษาราคาต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์ที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 250,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลมีค่าความหนาแน่นแห้ง 560 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถประมาณการกำลังการผลิตเป็นโดยน้ำหนักได้ 140,000 ตันต่อปี และเมื่อคิดที่กำลังการผลิตร้อยละ 86 จะได้จำนวนปริมาตรรวมและน้ำหนักรวมเท่ากับ 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 120,400 ตันต่อปี ตามลำดับ (หนังสือพิมพ์กรุงเทพธุรกิจ: ข่าวการตั้งโรงงานผลิตอิฐมวลเบาของบริษัทกระเบื้องตราเพชร และ บริษัทคิวคอนจำกัด (มหาชน)) ซึ่งวัตถุดิบหลักและราคาต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรี ได้แก่ ปูนขาว กากตะกอนน้ำตาล ปูนซีเมนต์ประเภท 1 ยิปซัม ผงอะลูมิเนียม และทราย แสดงดังตารางที่ 18 และ ตารางที่ 19

ตารางที่ 18 ต้นทุนกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานผลิตน้ำตาลทรายจังหวัดสิงห์บุรี

รายการ	ราคา (บาทต่อตัน)
1. กากตะกอนน้ำตาล	110
2. ราคาขนส่ง	90
ราคารวม	200

จากตารางที่ 18 พบว่ากากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานผลิตน้ำตาลทรายจังหวัดสิงห์บุรี มีต้นทุนกากตะกอนน้ำตาล 200 บาทต่อตัน โดยแบ่งเป็นค่ากากตะกอนน้ำตาล 110 บาทต่อตัน และราคาขนส่งอีก 90 บาทต่อตัน

ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกากตะกอนจากสุพรรณบุรีดังแสดงในตารางที่ 15 พบว่าราคากากตะกอนจากสิงห์บุรีมีต้นทุนที่ต่ำกว่ากากตะกอนจากสุพรรณบุรี 100 บาทต่อตัน เนื่องจากระยะทางการขนส่งที่ใกล้กว่านั่นเอง

ตารางที่ 19 ปริมาณวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือโดยน้ำหนัก 120,400 ตันต่อปี

วัตถุดิบ	อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก (ร้อยละโดยมวล)	ปริมาณวัตถุดิบ (ตันต่อปี)
1.ทรายบดละเอียด	42	50,568
2.กากตะกอนน้ำตาล	25	30,100
3.ปูนซีเมนต์ ประเภท 1	16	19,264
4.ปูนขาว	15	18,060
5.ยิปซัม	1.93	2,323.72
6.ผงอะลูมิเนียม	0.07	84.28
รวมวัตถุดิบ	100	120,400

จากตารางที่ 19 พบว่าในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 จำนวนน้ำหนักรวม 120,400 ตันต่อปี จะต้องใช้วัตถุดิบหลักรวม เช่น ทรายบดละเอียด 50,568 ตันต่อปี กากตะกอนน้ำตาล 30,100 ตันต่อปี ปูนซีเมนต์ 19,264 ตันต่อปี ปูนขาว 18,060 ตันต่อปี ยิปซัม 2,323.72 ตันต่อปี และผงอะลูมิเนียม 84.28 ตันต่อปี

ตารางที่ 20 ราคาวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปีหรือโดยน้ำหนัก 120,400 ตันต่อปี

วัตถุดิบ	ราคา (บาทต่อตัน)	ปริมาณวัตถุดิบ (ตันต่อปี)	รวมมูลค่าวัตถุดิบ (บาทต่อปี)	ราคาวัตถุดิบ (ร้อยละ)
1.ทรายบดละเอียด	382.16	50,568	19,325,040	12.72
2.กากตะกอนน้ำตาล	200	30,100	6,020,000	3.96
3.ปูนซีเมนต์	2,000	19,264	38,528,000	25.36
4.ปูนขาว	3,600	18,060	65,016,000	42.80
5.ยิปซัม	1,200	2,323.72	2,788,464	1.84
6.ผงอะลูมิเนียม	240,000	84.28	20,227,200	13.32
รวมวัตถุดิบ	0	120,400	151,904,704	100

จากตารางที่ 20 พบว่าในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 จำนวนน้ำหนักรวม 120,400 ตันต่อปี จะต้องจ่ายค่าวัตถุดิบหลัก เช่น ทรายบดละเอียด 19,325,040 บาทต่อปี กากตะกอนน้ำตาล 6,020,000 บาทต่อปี ปูนซีเมนต์ 38,528,000 บาทต่อปี ปูนขาว 65,016,000 บาทต่อปี ยิปซัม 2,788,464 บาทต่อปี และผงอะลูมิเนียม 20,227,200 บาทต่อปี ซึ่งรวมเป็นค่าวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 ทั้งหมด 151,904,704 บาทต่อปี

ตารางที่ 21 ราคาต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบาชนิดต่างๆที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

วัตถุดิบ	คอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์ (บาทต่อปี)	คอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 (บาทต่อปี)	คอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 (บาทต่อปี)
1.ทรายบดละเอียด	33,030,089	19,325,040	19,325,040
2.กากตะกอนน้ำตาล	0	9,030,000	6,020,000
3.ปูนซีเมนต์	41,280,000	38,528,000	38,528,000
4.ปูนขาว	69,660,000	65,016,000	65,016,000
5.ยิปซัม	2,987,640	2,788,464	2,788,464
6.ผงอะลูมิเนียม	21,672,000	20,227,200	20,227,200
รวมวัตถุดิบ	168,629,729	154,914,704	151,904,704

จากการวิเคราะห์ตารางที่ 12 ถึง ตารางที่ 21 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบาชนิดต่างๆ ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี พบว่า คอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์มีต้นทุนวัตถุดิบ 168,629,729 บาทต่อปี คอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 มีต้นทุนวัตถุดิบ 154,914,704 บาทต่อปี และคอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 มีต้นทุนวัตถุดิบ 151,904,704 บาทต่อปี ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้กากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่งร้อยละ 25 แทนที่ทรายในกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา จะช่วยลดปริมาณทรายที่ใช้ในกระบวนการผลิต เนื่องจากทรายมีค่าใช่จ่ายในด้านพลังงานและวัสดุสิ้นเปลืองในการบด และทำให้ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบามีราคาลดลงอย่างชัดเจน โดยคอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 จะมีราคาต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 ถึง 13,715,024.80 บาทต่อปี เพราะเนื่องจากมีราคาต้นทุนกากตะกอนน้ำตาลที่ต่ำกว่านั่นเอง และมีราคาต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์ถึง 16,725,025 บาทต่อปี

เมื่อคิดราคาต้นทุนโดยน้ำหนักและโดยปริมาตรพบว่าคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์มีต้นทุนวัตถุดิบ 1,307 บาทต่อตัน หรือ 784.32 บาทต่อลูกบาศก์เมตร คอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 มีต้นทุนวัตถุดิบ 1,287 บาทต่อตัน หรือ 720.53 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และ คอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 มีต้นทุนวัตถุดิบ 1,262 บาทต่อตัน หรือ 707 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ส่งผลให้คอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีร้อยละ 25 มีต้นทุนวัตถุดิบต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์ 77.79 บาทต่อลูกบาศก์เมตร 63.79 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 22 ต้นทุนการขนส่งสินค้าที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

รายการ	คอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์ (บาทต่อปี)	คอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 (บาทต่อปี)	คอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 (บาทต่อปี)
1.น้ำหนักรวม (ลบ.ม)	215,000	215,000	215,000
2.น้ำหนักรวม (ตัน)	129,000	120,400	120,400
3.น้ำหนักรวมรวมค่าความชื้นของวัสดุร้อยละ 25 (ตัน)	161,250	150,500	150,500
4.ราคาค่าขนส่งสินค้าถึงกทม. (บาทต่อตัน)	385	385	385
5.รวมราคาค่าขนส่ง (บาท)	62,081,250	57,942,500	57,942,500
6.ราคาค่าขนส่ง (บาทต่อตัน)	288.75	269.50	269.50

จากตารางที่ 22 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งคอนกรีตมวลเบาชนิดต่างๆ ที่กำลังการผลิตโดยปริมาตร 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี พบว่า คอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์มีต้นทุนการขนส่ง 62,081,250 บาทต่อปี หรือ 288.75 บาทต่อลูกบาศก์เมตร คอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่งที่อัตราแทนที่ทรายร้อยละ 25 มีต้นทุนการขนส่งเท่ากันคือ 57,942,500 บาทต่อปี หรือ 269.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้กากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่งร้อยละ 25 แทนที่ทรายในกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา จะช่วยลดค่าขนส่งลง 4,138,750 บาทต่อปี หรือ 19.25 บาทต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลทั้ง 2 แหล่งมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์ ส่งผลให้น้ำหนักรวมของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลมีน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์นั่นเอง

ตารางที่ 23 ราคาต้นทุนรวมต่อลูกบาศก์เมตรในการผลิตคอนกรีตมวลเบาชนิดต่างๆ

รายการ (บาทต่อลบ.ม)	คอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์	คอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25	คอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25
1.ค่าวัตถุดิบ	784.32	720.53	706.53
2.ค่าพลังงานไฟฟ้า	100	100	100
3.ค่าเชื้อเพลิงอบไอน้ำ	110	110	110
4.ค่าซ่อมบำรุง	100	100	100
5.ค่าวัสดุสิ้นเปลือง	80	80	80
6.ค่าแรงงาน	130	130	130
7.ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	120	120	120
8.ค่าขนส่งสินค้า	288.75	269.50	269.50
9.ค่าบริหาร	71.22	71.22	71.22
10.ค่าการตลาด	71.22	71.22	71.22
รวมต้นทุนการขาย	1855.51	1766.09	1750.69

จากตารางที่ 23 พบว่าต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาประกอบด้วยค่าวัตถุดิบ ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าเชื้อเพลิงอบไอน้ำ ค่าซ่อมบำรุง ค่าวัสดุสิ้นเปลือง ค่าแรงงาน ค่าใช้จ่ายอื่นๆ รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 1424.32 บาทต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์ ส่วนคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลร้อยละ 25 จากแหล่งสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีมีต้นทุนรวมเป็นเงินทั้งสิ้น 1360.53 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และ 1346.53 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และเมื่อคิดเป็นต้นทุนในการขายจะต้องรวมราคาค่าขนส่ง ค่าบริหารและค่าการตลาดเข้าไปด้วย ซึ่งค่าบริหารและค่าการตลาดจะคิดเป็นร้อยละ 5 ของต้นทุนการผลิต ซึ่งเมื่อรวมต้นทุนทั้งหมดแล้วพบว่าคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์มีต้นทุนในการขายเท่ากับ 1855.51 บาทต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 398,933,951.68 บาทต่อปี คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 มีต้นทุนในการขายเท่ากับ 1766.09 บาทต่อลูกบาศก์เมตร หรือ379,708,674,40 บาทต่อปี คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 มีต้นทุนในการขายเท่ากับ 1750.69 บาทต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 376,397,674.40 บาทต่อปี

คอนกรีตมวลเบาในท้องตลาดมีราคาขายโดยประมาณที่ 2,222 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (ราคาคอนกรีตมวลเบา,2555,ออนไลน์) ประมาณการขายได้ปีละ 215,000 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นจะได้ยอดขายรวมปีละ 477,730,000 บาทต่อปี แต่คอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์มีต้นทุนในการขายเท่ากับ 398,933,951.68 บาทต่อปี คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 มีต้นทุนในการขายเท่ากับ 379, 708, 674,40 บาทต่อปี คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีมีต้นทุนในการขายเท่ากับ 376,397,674.40 บาทต่อปี ส่งผลให้การขายคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์มีกำไร 78,796,048.32 บาทต่อปี คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 มีกำไร 98,021,325.60 บาทต่อปี คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีมีกำไร 101,332,325.60 บาทต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ผลกำไรจากการขายคอนกรีตมวลเบาชนิดต่างๆ จำนวน 215,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

รายการ	คอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์	คอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25	คอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25
1.ราคาขาย (บาทต่อลบ.ม)	2,222	2,222	2,222
2.ยอดขายรวม (บาทต่อปี)	477,730,000	477,730,000	477,730,000
3.ต้นทุนการขาย (บาทต่อปี)	398,933,951.68	379,708,674.40	376,397,674.40
4.กำไร (บาทต่อปี)	78,796,048.32	98,021,325.60	101,332,325.60

จากตารางที่ 24 พบว่าการผลิตคอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์จะมีค่าใช้จ่ายต้นทุนที่ถูกกว่า ส่งผลให้คอนกรีตมวลเบามีราคาที่ถูกลง ทำให้มีกำไรเพิ่มมากขึ้น และเมื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period) ในการลงทุนผลิตคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์และผลิตคอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์จากสมการ

$$\text{PBP (ระยะเวลาคืนทุน (ปี))} = \frac{C\ (\text{เงินลงทุนรายปีของระบบ (บาท)})}{B_t\ (\text{ผลตอบแทนสุทธิรายปี (บาท)})}$$

พบว่า

- การผลิตคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์ มีเงินลงทุนรายปีของระบบ 398,933,951.68 บาท และมีผลตอบแทนสุทธิรายปี 78,796,048.32 บาท เมื่อนำมาแทนค่าในสมการจะได้สามารถหาระยะเวลาคืนทุนได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{398,933,951.68}{78,796,048.32}$$

$$= 5.0628675 \text{ ปี}$$

หรือคิดเป็น 5 ปี 23 วันโดยประมาณ

- การผลิตคอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 มีเงินลงทุนรายปีของระบบ 379,708,674.40 บาท และมีผลตอบแทนสุทธิรายปี 98,021,325.60บาท เมื่อนำมาแทนค่าในสมการจะได้สามารถหาระยะเวลาคืนทุนได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{379,708,674.40}{98,021,325.60}$$

$$= 3.8737354 \text{ ปี}$$

หรือคิดเป็น 3 ปี 1 เดือน 17 วันโดยประมาณ

- การผลิตคอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 มีเงินลงทุนรายปีของระบบ 376,397,674.40 บาท และมีผลตอบแทนสุทธิรายปี 101,332,325.60 บาท เมื่อนำมาแทนค่าในสมการจะได้สามารถหาระยะเวลาคืนทุนได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{376,397,674.40}{101,332,325.60}$$

$$= 3.7144877 \text{ ปี}$$

หรือคิดเป็น 3 ปี 1 เดือน 15 วันโดยประมาณ

จากการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนพบว่า การผลิตคอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด คือ 3 ปี 1 เดือน 15 วันโดยประมาณ รองลงมาคือการผลิตคอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 มีระยะเวลาคืนทุน 3 ปี 1 เดือน 17 วันโดยประมาณ และการผลิตคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์มีระยะเวลาคืนทุนช้าที่สุดคือ 5 ปี 23 วันโดยประมาณ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการผลิตคอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่งมีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่าการผลิตคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์ เนื่องมาจากการผลิตคอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลมีค่าใช้จ่ายต้นทุนที่ถูกกว่า ส่งผลให้คอนกรีตมวลเบามีราคาที่ถูกลง ทำให้มีกำไรเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนเร็วขึ้นนั่นเอง

นับว่าการผลิตคอนกรีตมวลเบาผสมกากตะกอนน้ำตาลเป็นแนวทางเลือกหนึ่งในการลดต้นทุนในการก่อสร้างและยังเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์การวิจัย

ในการผลิตคอนกรีตมวลเบามีการใช้ทรายเป็นส่วนประกอบหลักประมาณร้อยละ 60 - 70 ของส่วนประกอบทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา และในปัจจุบันพบว่าทรายมีแนวโน้มราคาเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำตาล เช่น กากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรี และกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรี มาใช้เป็นวัตถุดิบแทนที่ทราย

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาล ศึกษาสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาล ลักษณะโครงสร้างผิว การจัดเรียงตัวของฟองอากาศของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลเทียบกับคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ยังศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการใช้กากตะกอนน้ำตาลแทนที่ทราย รวมถึงศึกษาต้นทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีในสัดส่วนที่เหมาะสมเทียบกับคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีด้วยเทคนิค X-Ray Methods

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนน้ำตาลที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตน้ำตาลในจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีด้วยเทคนิค X-Ray Methods พบว่ากากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่ง มีองค์ประกอบทางเคมีที่สอดคล้องกับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยที่กากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรีมีอัตราส่วนปริมาณ CaO ต่อ SiO_2 สูงกว่ากากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรี ซึ่งจะส่งผลให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตในปริมาณที่มากกว่ากากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรี

การผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีเพื่อทดสอบสมบัติเบื้องต้น

จากผลการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ เพื่อทดสอบสมบัติเบื้องต้น พบว่าสามารถผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีได้ 75 ตัวอย่าง และคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรี 75 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 150 ตัวอย่าง และสามารถนำตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตขึ้นมาทั้งหมดไปทดสอบสมบัติเบื้องต้นได้

การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์

คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี

1. การทดสอบกำลังรับแรงอัด พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ ส่วนใหญ่แล้วจะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีในอัตราส่วนแทนที่ทรายเท่ากัน โดยคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรีมีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.18 ถึง 5.76 นิวตันต่อตารางเมตร ส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสุพรรณบุรีมีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.13 ถึง 5.33 นิวตันต่อตารางเมตร และเมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดมาเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ชั้นคุณภาพ G4 พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากทั้งแหล่งสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม คือ 5 นิวตันต่อตารางเมตร (มอก.1505-2541) ทุกอัตราส่วนการแทนที่ทราย

2. การทดสอบกำลังรับแรงดัด พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ จะให้กำลังรับแรงดัดใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 16.999 – 18.357 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และให้ผลที่สูงกว่าการแทนที่ด้วยทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0 และเมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดมาเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงดัดตามมาตรฐาน พบว่าคอนกรีตมวลเบา

แบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่งที่ทุกอัตราส่วนแทนที่ทราย มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ คือกำลังรับแรงดัดจะต้องเป็นร้อยละ 30-40 ของกำลังรับแรงอัด

3. การทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำ พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ จะให้ค่าอัตราการดูดกลืนน้ำใกล้เคียงกันทุกอัตราส่วนอยู่ในช่วง 0.380 -0.390 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และให้อัตราการดูดกลืนน้ำต่ำกว่าค่ามาตรฐาน คือต่ำกว่า 0.48 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากเกิดผลึกของแคลเซียมซิลิเกต ทำให้ช่องว่างที่เกิดขึ้นน้อย การแทรกซึมน้ำจึงเข้าได้ยาก

4. การทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตร พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ มีความหนาแน่นต่ำกว่าอัตราส่วนแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0 โดยมีความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.556-0.583 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรตามมาตรฐาน คือต่ำกว่า 0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากตะกอนน้ำตาลมีน้ำหนักเบากว่าทราย ส่งผลให้คอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่ง มีน้ำหนักที่เบาขึ้น ทำให้สามารถขนส่งได้เพิ่มขึ้น

5. การศึกษาขนาดของฟองอากาศและการจัดเรียงโครงสร้าง พบว่าขนาดของฟองอากาศและการจัดเรียงโครงสร้างที่กำลังขยาย 3500 เท่า มีโครงสร้างผลึกจัดเรียงตัวอย่างเป็นระบบแบบร่างแหตาข่ายของผลึก Tobermorite (ผลึกแคลเซียมซิลิเกต) และเมื่อมีการแทนที่ทรายด้วยกากตะกอนน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0, 10, 15, 20 ถึง ร้อยละ 25 จะทำให้โครงสร้างผลึกมีความละเอียดเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัด มีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบจะทำให้เกิดรูพรุนแบบ micro pore ซึ่งจะมีพฤติกรรมในการกักเก็บความร้อนได้น้อย และส่งผ่านความร้อนไปได้ช้านั่นเอง

การวิเคราะห์สัดส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีเพื่อใช้เป็นข้อมูลในกระบวนการผลิตและการจำหน่ายเชิงพาณิชย์

จากการวิเคราะห์สัดส่วนที่เหมาะสมของกากตะกอนน้ำตาลจากทั้ง 2 แหล่ง ที่ใช้แทนที่ทรายในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ พบว่า คอนกรีตมวลเบาในทุกอัตราส่วนแทนที่ทรายมีสมบัติเบื้องต้น เช่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด อัตราการดูดกลืนน้ำ และความหนาแน่นเชิงปริมาตร ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม จัดอยู่ในชั้นคุณภาพ G4 แต่เนื่องจากที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 25 ของกากตะกอนน้ำตาลทั้ง 2 แหล่ง สามารถแทนที่ทรายได้มากที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ในอัตราส่วนร้อยละ 25 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์

การศึกษาต้นทุนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลในจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำเชิงพาณิชย์

จากการศึกษาต้นทุนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่ชนิดต่างๆ พบว่าคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์มีราคาสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 และมีราคาสูงกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 โดยมีต้นทุนในการขายเท่ากับ 1855.51 , 1766.09 และ 1750.69 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่โดยปกติแล้วคอนกรีตมวลเบาในท้องตลาดมีราคาขายที่ 2,222 บาทต่อลูกบาศก์เมตร นั่นแสดงว่าการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 จะให้ผลกำไรที่มากกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 และมากกว่าคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์ จึงส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนในการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรีร้อยละ 25 มีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีร้อยละ 25 และเร็วกว่าคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยเรื่องคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาล จะเห็นได้งานวิจัยนี้มีรายละเอียดบางส่วนสอดคล้องกับผลงานวิจัยที่ผ่านมาหลายเรื่อง คือ เป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งหรือเหลือใช้มาก่อให้เกิดประโยชน์ รวมถึงสร้างมูลค่าให้เศษวัสดุนั้นด้วย แต่งานวิจัยนี้นอกจากจะนำวัสดุเหลือทิ้งหรือเหลือใช้มาก่อให้เกิดประโยชน์แล้ว ยังแสดงให้เห็นว่าวัสดุเหลือทิ้งหรือเหลือใช้ชนิดเดียวกัน แต่มาจากพื้นที่แตกต่างกันก็สามารถนำมาเป็นวัสดุทดแทนได้เช่นเดียวกัน โดยคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและจังหวัดสิงห์บุรี ในงานวิจัยนี้ที่ทุกอัตราส่วนแทนที่ทรายมีสมบัติพื้นฐาน เช่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด อัตราการดูดกลืนน้ำ และความหนาแน่นเชิงปริมาตร ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.1505-2541) ชั้นคุณภาพ G4 สามารถนำไปผลิตและจัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรีร้อยละ 25 มีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาเชิงพาณิชย์ นับได้ว่างานวิจัยนี้เป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีต้นทุนในการผลิตลดลง เนื่องจากการลดค่าใช้จ่ายพลังงานในการบดทรายให้ละเอียดในกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา ซึ่งกากตะกอนน้ำตาลที่ใช้มีขนาดเล็กและละเอียด สามารถนำมาใช้แทนทรายได้โดยไม่ต้องบด ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานและวัสดุสิ้นเปลือง และยังสามารถเลือกใช้กากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีหรือสิงห์บุรีมาแทนที่ทรายได้ ซึ่งส่งผลให้งานวิจัยนี้เป็นทางเลือกหนึ่งในการลดต้นทุนการก่อสร้าง และมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการก่อสร้างได้เป็นอย่างดี

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อการปฏิบัติ

ควรมีการนำคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำที่มีส่วนผสมของกากตะกอนน้ำตาลในสัดส่วนที่เหมาะสมไปผลิตและจัดจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในครั้งต่อไป

ควรมีการศึกษาหาวัสดุทดแทนชนิดอื่นๆมาใช้ในการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ เพื่อพัฒนาให้คอนกรีตแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ มีสมบัติพื้นฐานที่ดีขึ้นและราคาต่ำลง

บรรณานุกรม

กระบวนการผลิตน้ำตาลมิตรผล. (2555). ค้นเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2555 จาก www.capital.sec.or.th

กิตติพล เกียรติวรยศ,วันชัย โง้วประเสริฐ และเกรียงศักดิ์ ห้วงน้ำ. (2547). **การพัฒนาคุณภาพคอนกรีตมวลเบาจากกากอุตสาหกรรม.** ปริญญานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

กฤษฎา โรจน์ประสิทธิ์พร, สุภัทรชัย สุดกล้า และอราวินท์ บริรักษ์. (2546). **คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมไมโครไฟเบอร์.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

คมกริช น่วมจิตร, เชาวลิต เนตรสกุล และธนากร ประทุมเกตุ. (2551). **การศึกษาและพัฒนาอิฐบล็อกจากกากตะกอนน้ำตาล.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี.

จรูญ จันทร์สมบูรณ์. (2547). การนำเถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ในอุตสาหกรรมการวัสดุก่อสร้าง. **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ,** 52(166), 15-18.

คนุพล ตันนโยภาส , สมพร เหรียญมโนรมย์ และกัมปนาท บุญกัน. (24-26 ตุลาคม 2544). สมบัติของอิฐมวลเบาผสมหินเพอร์ไลต์. **การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่ โลหะการและปิโตรเลียม ครั้งที่ 6** (หน้า 21-25).กรุงเทพฯ: วิศวกรรมเหมืองแร่ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นรพงศ์ ศรีสวัสดิ์, พุฒธิพล ฮวบศรีพันธุ์ และรัณภัฏ มั่งคั่ง. (2547). **คอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมซังข้าวโพด.** ปริญญานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บริษัทซูปเปอร์บล็อค จำกัด (มหาชน).(2548). **เอกสารเผยแพร่ผนังคอนกรีตมวลเบา** ค้นเมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2555 จาก http://www.superblock.co.th

ปิติ พานิชยุนนท์, ฉัตร ผลนาค, สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, ธวัฒน์ชัย เทพนวล, นพนันท์ นานคงแนบ และอนุจิตร จันทศรี. (2551). **การพัฒนาคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากฟางข้าว.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปิยะพงษ์, โมรา สุธาสินี, พัชาพรเพิ่ม และอิทธิ ยศมณี. (2550). **การศึกษาความเป็นไปได้การใช้เถ้าแกลบเปลือกไม้และเถ้าถ่านหินในการผลิตอิฐบล็อกและคอนกรีตมวลเบา.** ปริญญานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ประสิทธิภาพ. (2555). ค้นเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2555 จาก http://th.wikipedia.org/

ราคาคอนกรีตมวลเบา. (2555). ค้นเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2555 จาก http://baanthaidd.blogspot.com

วัชระ เพิ่มชาติ, กฤษณะ เจริญคลัง, มานูญ บุญมา. (8 มกราคม 2548). **การใช้ประโยชน์จากขี้เถ้าลอยของวัสดุเกษตรและถ่านหินสำหรับทำอิฐมวลเบา.** ค้นเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน 2555 จาก http://sciinaction.blogspot.com/2007/01/blog-post_8786.html

ศตวรรษ ทวงชน. (2547). **การศึกษาผลกระทบระยะยาวของการนำกากปูนขาวจากอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษมาใช้ในงานปูนก่อและปูนฉาบ.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุมิตร ส่งพิริยะกิจ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. (ผู้บรรยาย). (25-27 มกราคม 2549). การผลิตอิฐมวลเบาจากวัสดุรีไซเคิล. **การประชุมวิชาการเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน** (หน้า 586-589) . ขอนแก่น: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุริยงค์ ประชาเขียว. (2551). **การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเศรษฐศาสตร์ในการผลิตอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบและเถ้าลอยถ่านหิน.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

สำนักงานนโยบายอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม. (2552). ค้นเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2555 จาก http://www.ocsb.go.th/

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2541). **แผ่นคอนกรีตมวลเบาเสริมเหล็ก แบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำ มอก.1510-2541,** กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.

แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ. (2552). **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ.** (ครั้งที่ 1). กรุงเทพ : ชวนพิมพ์ 50.

โยธิน อึ่งกูล,พิชัย นามประกาย, นริส ประทินทอง, รังสิต ศรจิตติ, และวันวิสาข์ เจติภัทรนาท (ผู้บรรยาย). (20 -22 เมษายน 2549). การศึกษาลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติทางความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบอบไอน้ำและไม่อบไอน้ำ. **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธา แห่งชาติครั้งที่ 11** (หน้า 17-22). กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .

โยธิน อึ่งกูล. (2554,กันยายน). อิทธิพลของส่วนผสมตะกอนน้ำตาลต่อคุณสมบัติทางกลของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ. **วิศวสารลาดกระบัง**, 28(3), 56-60.

โรงงานน้ำตาลมิตรผล จังหวัดสุพรรณบุรี. (2555). ค้นเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2555 จาก www.tma.or.th

ไทยคอนอินจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์ จำกัด. (13 ตุลาคม 2549). **ข่าวสารเกี่ยวกับวัสดุก่อสร้าง อิฐมวลเบา**. ค้นเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2555 จาก http://www.thaicons.com

ASTM International. (2003). **Standard practice for Autoclaved Aerated Concrete** , Masonry C 1555-03a. United: Annual book of ASTM Standards.

Hauser, A., Eggenberger, U. and Mumenthaler T., (1999). Fly ash from Cellulose industry as secondary raw material in autoclaved aerated concrete, **Cement and Concrete Research**, 29, 297-302.

Kus, H. and Carlsson, T., (2003). Micro structural investigation of naturally and artificially weathered autoclaved aerated concrete. **Cement and Concrete Research** , 33, 1423-1432.

Mostafa, N.Y., (2004). Influence of air-cooled slag on physicochemical properties of autoclaved aerated concrete. Egypt: **Cement and Concrete Research**, 35(7), 1349-1357.

Rilem Technical Commitees 78-MAC and 51-ALC. (1993). Autoclaved Aerated Concrete Properties, Testing, Design. London : E&FN Spon.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม
ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม
ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดรายละเอียดของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ซึ่งเป็นวัสดุก่อผนังมวลเบาโดยมีฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในเนื้อคอนกรีตและอบด้วยไอน้ำ โดยกำหนดชั้นคุณภาพและชนิด ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนวัสดุและการทำ คุณลักษณะที่ต้องการ การบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก การเก็บคอนกรีตมวลเบา การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบ

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ครอบคลุมเฉพาะผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีตและอบในเตาอบไอน้ำและไม่เสริมเหล็ก

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานอุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "คอนกรีตมวลเบา" หมายถึง คอนกรีตที่มีมวลเบากว่าคอนกรีตทั่วไปที่มีขนาดเดียวกัน โดยมีฟองอากาศเล็กๆแทรกกระจายในเนื้อคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอ ทำให้แข็งด้วยการอบไอน้ำ และไม้เสริมเหล็ก เหมาะสำหรับใช้ก่อผนังด้วยวิธีก่อบาง ดูรูปที่ 1

2.2 วิธีก่อบาง หมายถึง วิธีก่อที่มีลักษณะปูนก่อบางมีความหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร และจำเป็นต้องใช้ปูนก่อที่ทำขึ้นด้วยส่วนผสมพิเศษที่สมารถให้แรงยึดหน่วงมากเพียงพอเหมาะสมกับความหนา

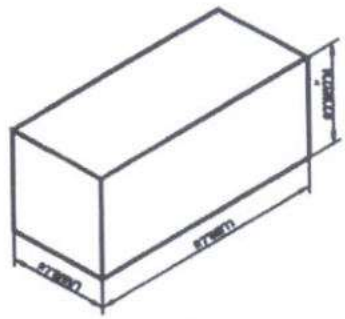
2.3 ร่องปูนก่อ หมายถึง ร่องที่ด้านข้างของคอนกรีตมวลเบาที่จะประกอบกันให้เป็นช่องใช้สำหรับใส่ปูนก่อขณะทำงานก่อผนัง

2.4 ร่อง หมายถึง ส่วนของคอนกรีตมวลเบาที่อยู่ต่ำกว่าพื้นผิวด้านข้าง สำหรับให้ลิ้นยื่นเข้ามาเพื่อการประสาน

2.5 ลิ้น หมายถึง ส่วนของคอนกรีตมวลเบาที่ยื่นเลยพื้นผิวส่วนอื่น สำหรับแทรกไปในร่องเพื่อการประสาน

2.6 ความหนาของคอนกรีตมวลเบา หมายถึง ความหนาของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ก่อผนัง

2.7 ร่องมือจับ หมายถึง ร่องที่ด้านข้างของคอนกรีตมวลเบาที่อยู่ตาจากขอบบน ใช้สำหรับจับยกเพื่อทำงาน



รูปที่ 1 ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

(ข้อ 2.1)

3. ชั้นคุณภาพและชนิด

3.1 คอนกรีตมวลเบาแบ่งตามความต้านแรงอัดออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ และแบ่งตามความหนาแน่นเชิงปริมาตร ออกเป็น 7 ชนิด โดยชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบามีความสัมพันธ์กันตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1ชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบา (ข้อ 3.1)

ชั้นคุณภาพ	ความต้านทานแรงอัด(N/mm^2)		ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ย kg/dm^3
	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด		
G2	2.5	2.0	0.4	0.31-0.40
			0.5	0.41-0.50
G4	5.0	4.0	0.6	0.51-0.60
			0.7	0.61-0.70
			0.8	0.71-0.80
G6	7.5	6.0	0.7	0.61-0.70
			0.8	0.71-0.80
G8	10.0	8.0	0.8	0.71-0.80
			0.9	0.81-0.90
			1.0	0.91-1.00

มอก. 1505-2541

4. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

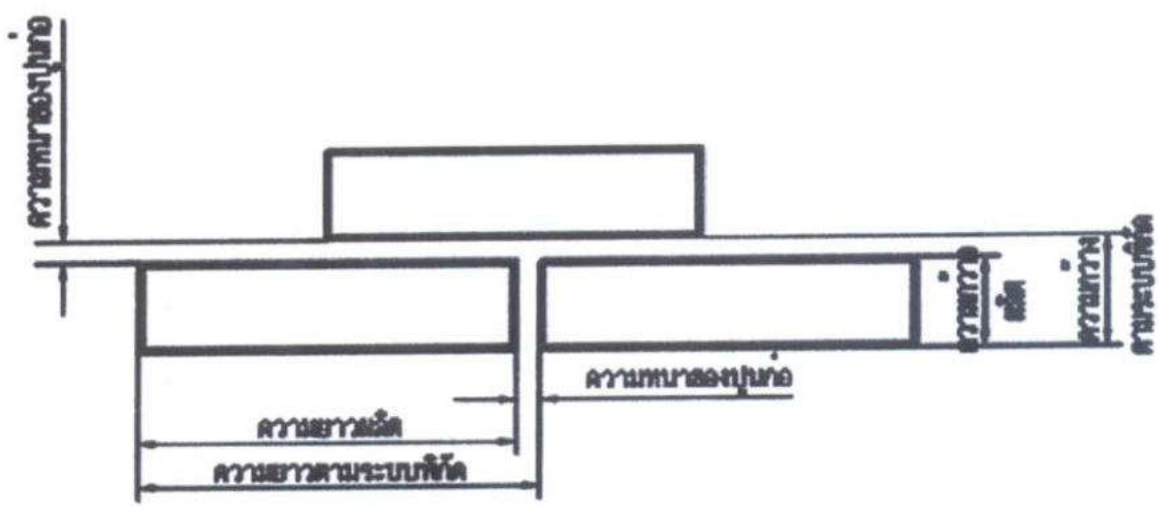
4.1 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ขนาดของคอนกรีตมวลเบาที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานนี้ ออกแบบเพื่อให้เป็นไปตามระบบการประสานทางพิกัดในงานก่อสร้างอาคารซึ่งได้กำหนดหน่วยพิกัดมูลฐาน (พ) ให้เท่ากับ 100 มิลลิเมตร ขนาดของคอนกรีตมวลเบาเป็นไปตามตารางที่ 2 โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ±2 มิลลิเมตร ในกรณีมีร่องและลิ้นให้เพิ่มได้อีกมิติละ 9 มิลลิเมตร การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 11.1

ตารางที่ 2 ขนาดคอนกรีตมวลเบา(ข้อ 4.1)

ความกว้าง	ความยาว	ความหนา
200	600	75
300	90	
400	100	
125		
150		
175		
200		
250		

หมายเหตุ ความกว้างและความยาวตามตารางที่ 2 เป็นค่าที่รวมความหนาของปูนก่อ 3 มิลลิเมตรไว้แล้ว(ดูรูปที่ 2)



รูปที่ 2 ความหนาของปูนก่อตามระบบประสานทางพิกัด

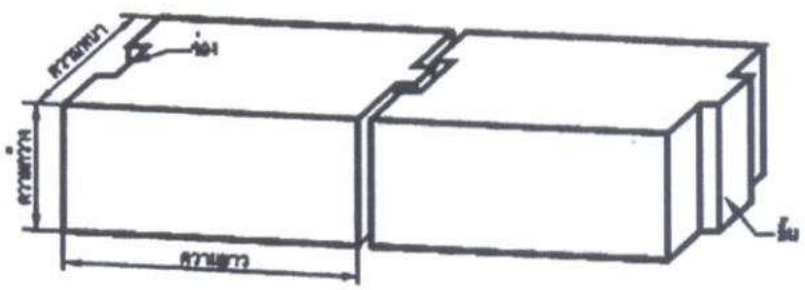
4.2 ความได้ฉาก

คอนกรีตมวลเบาที่ระยะ 300 มิลลิเมตร วัดจากมุมฉากจะคลาดเคลื่อนจากแนวฉากได้ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 11.1

4.3 ร่องและลิ้น (ถ้ามี) ดูรูปที่ 3 คอนกรีตมวลเบาอาจทำเป็นร่องและลิ้นในตัวได้ และให้เป็น ดังนี้

4.3.1 ขนาดของร่องและลิ้น ไม่ควรเล็กกว่าเศษหนึ่งส่วนเจ็ด และไม่ควรเกินเศษสองส่วนห้า ของความหนาของคอนกรีตมวลเบา โดยในแต่ละด้านอาจมีร่องและลิ้นได้หลายแนว

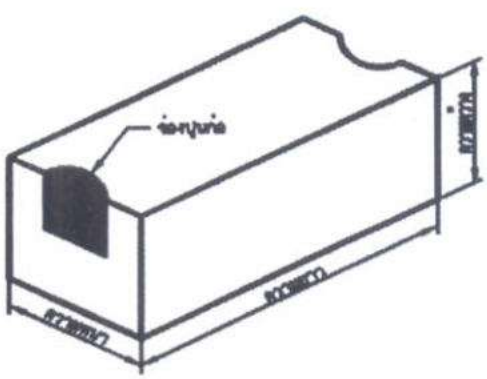
4.3.2 ความกว้าง และความลึกของลิ้นในทุกๆด้าน ควรเล็กกว่าความกว้างและความลึกของร่อง ระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 3 ตัวอย่างร่องและลิ้นของคอนกรีตมวลเบา
(ข้อ 4.3)

4.4 ร่องปูนก่อ (ถ้ามี) ดูรูปที่ 4

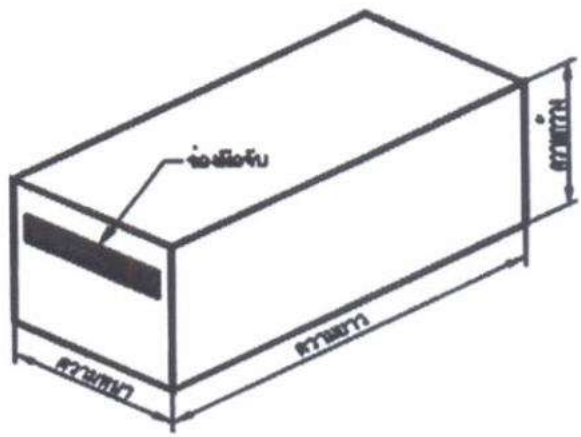
ร่องปูนก่อที่ด้านข้างของคอนกรีตมวลเบาและมีขนาดเริ่มจากผิวบนลงมามีระยะ ¼ ถึง ½ ของความกว้างของคอนกรีตมวลเบา



รูปที่ 4 ตัวอย่างร่องปูนก่อสำหรับคอนกรีตมวลเบา(ข้อ 4.4)

4.5 ร่องมือจับ (ถ้ามี) ดูรูปที่ 5

กรณีที่คอนกรีตมวลเบามีขนาดใหญ่เพื่อความสะดวกในการทำงานอาจมีร่องสำหรับมือจับด้วย



รูปที่ 5 ตัวอย่างร่องมือจับสำหรับคอนกรีตมวลเบา
(ข้อ 4.5)

5. วัสดุและการทำ

5.1 วัสดุ

5.1.1 ปูนซีเมนต์ต้องเป็นปูนซีเมนต์ประเภท 1 ตาม มอก. 15 เล่ม 1

5.1.2 ปูนขาวต้องเป็นไปตาม มอก. 319

5.1.3 มวลผสมต้องเป็นวัสดุซิลิกาหรือทรายควอตซ์หรือตะกรันจากเตาถลุงแบบพ่นลม หรือเถ้าถ่านหิน หรือวัสดุอื่นใดที่ไม่มีสาร เช่น โคลน ฝุ่น สารอินทรีย์ ในจำนวนที่อาจเป็นผลเสีย นำมาบดละเอียดโดยให้มีขนาดไม่ใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร

5.1.4 สารก่อฟองและสารผสมเพิ่ม (ถ้ามี) ต้องเป็นวัสดุทำให้เกิดฟองอากาศเสถียรภาพ และคุมเวลาแข็งตัว โดยต้องไม่ก่อให้เกิดผลเสียใดๆ ต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา

5.2 การทำ

คอนกรีตมวลเบาต้องทำโดยส่วนผสมตามที่ระบุในข้อ 5.1.1 ถึงข้อ 5.1.3 เข้าด้วยกันอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นเติมน้ำจำนวนที่เหมาะสม สารก่อฟอง และสารผสมเพิ่ม (ถ้ามี) ให้มีฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอและเทลงในแบบนำไปบ่มจนแข็งพอที่จะแกะแบบเพื่อทำการตัดตามขนาดที่ต้องการ จากนั้นนำไปอบด้วยไอน้ำเพื่อให้ได้ค่าความต้านแรงอัดตามที่กำหนดที่ความดันไม่ต่ำกว่า 1.0 เมกะพาสคัลและอุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ ให้ตัดคอนกรีตมวลเบาในแนวที่ทำให้ด้านยาวขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของฟองอากาศ

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

6.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องไม่แตกร้าว ไม่บิดเบี้ยว ไม่แอ่นตัว และไม่มีตำหนิใดๆ ที่เป็นผลเสียหายต่อการใช้งาน

6.2 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

เมื่อทดสอบตามข้อ 11.2 แล้ว คอนกรีตมวลเบาต้องมีความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ยตามตารางที่ 1 โดยคอนกรีตมวลเบาแต่ละก้อนจะมีค่าแตกต่างจากที่กำหนดได้ไม่เกิน ± 0.05 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

6.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว

เมื่อทดสอบตามข้อ 11.3 แล้ว อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวต้องไม่เกินร้อยละ 0.05

6.4 ความต้านแรงอัด

เมื่อทดสอบตามข้อ 11.4 แล้ว คอนกรีตมวลเบาต้องมีความต้านแรงอัดตามตารางที่ 1

6.5 อัตราการดูดกลืนน้ำ

เมื่อทดสอบตามข้อ 11.5 แล้ว อัตราการดูดกลืนน้ำต้องไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

7. การบรรจุ

7.1 เมื่อจะนำคอนกรีตมวลเบาออกจำหน่าย ผู้ทำต้องจัดเรียงคอนกรีตมวลเบาบนแผงรองรับที่เหมาะสม มีการป้องกันขอบไม่ให้แตกบิ่นเสียหายที่จะเป็นผลเสียต่อการใช้งานทั้งในการเก็บรักษาและขนส่ง รวมทั้งให้มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

8. เครื่องหมายและฉลาก

8.1 ที่คอนกรีตมวลเบา อย่างน้อยทุกๆ 10 ก้อน ต้องมีเลขอักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน และถาวร

(1) ชั้นคุณภาพ หรือความต้านแรงอัดต่ำสุด (2) ชนิดของคอนกรีตมวลเบา

(3) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

8.2 ที่ภาชนะบรรจุคอนกรีตมวลเบา อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายและรายละเอียดต่อไปนี้

(1) ชั้นคุณภาพ หรือความต้านแรงอัดต่ำสุด (2) ชนิดของคอนกรีตมวลเบา

(3) ความยาว ความกว้าง ความหนา เป็นมิลลิเมตร (4) ปี เดือนที่ทำ

(5) จำนวนที่บรรจุในหีบห่อ

(6) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

9. การเก็บคอนกรีตมวลเบา

9.1 ต้องเก็บคอนกรีตมวลเบาไว้ที่แห้งมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก และมีการป้องกันความชื้นไม่ให้เข้าถึงคอนกรีตมวลเบาได้ทุกฤดูกาล

9.2 ควรกองเก็บคอนกรีตมวลเบาให้สามารถนำคอนกรีตมวลเบารุ่นที่มาถึงก่อนไปใช้ได้ก่อน

10. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

10.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง คอนกรีตมวลเบาชั้นคุณภาพเดียวกัน ส่วนผสมเดียวกัน จำนวนไม่เกิน 1000 ลูกบาศก์เมตร ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

10.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์การตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

10.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบความต้านแรงอัด

10.2.1.1 ให้ตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 ก้อน

10.2.1.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4 และข้อ 6.1 จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

10.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบความต้านแรงอัด

10.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากคอนกรีตมวลเบาที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่ กำหนดข้อ 10.2.1 เพื่อนำมา ทำเป็นชิ้นทดสอบจำนวน 9 ชิ้น

10.2.2.2 ชิ้นทดสอบทุกชิ้นต้องเป็นไปตามข้อ 6.4 จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

10.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรและอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว

10.2.3.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 ก้อนเพื่อนำมาทำเป็นชิ้นทดสอบสำหรับการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตร 3 ชิ้น และอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว 3 ชิ้น

10.2.3.2 ชิ้นทดสอบทุกชั้นต้องเป็นไปตามข้อ 6.2 และ 6.3 ในแต่ละรายการ จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

10.2.4 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำ

10.2.4.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 ก้อน เพื่อนำมาทำเป็นชิ้นทดสอบจำนวน 3 ชิ้น

10.2.4.2 ชิ้นทดสอบทุกชิ้นต้องเป็นไปตามข้อ 6.5 จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

10.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาต้องเป็นไปตามข้อ 10.2.1.2 ข้อ 10.2.3.2 และข้อ 10.2.4.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

11. การทดสอบ

11.1 ขนาด

11.1.1 เครื่องมือ

11.1.1.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

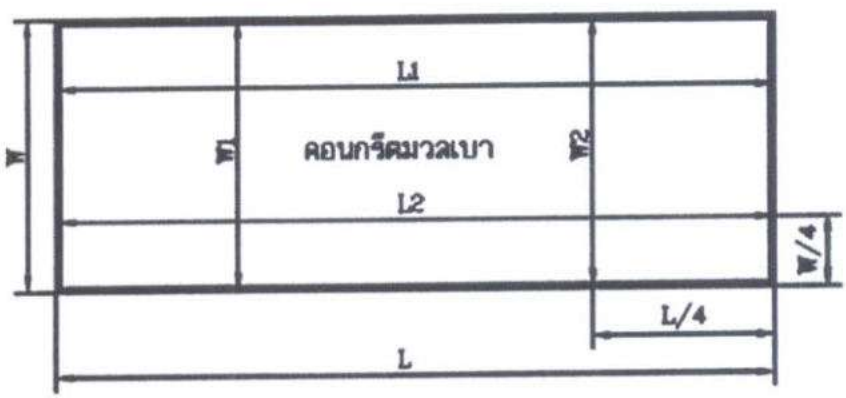
11.1.1.2 เวอร์เนียร์ที่สัดได้ถึง 200 มิลลิเมตร

11.1.1.3 เหล็กฉากที่มีความยาวแต่ละด้านไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร

11.1.2 วิธีทดสอบ

11.1.2.1 ความกว้างและความยาว

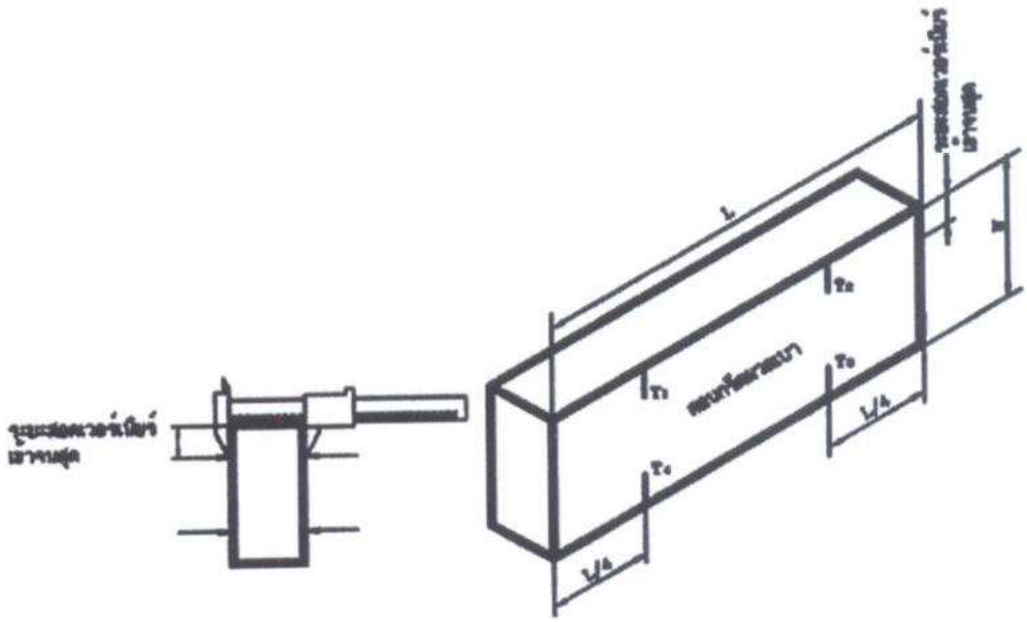
ใช้เครื่องมือวัดตามข้อ 11.1.1.1 วัดความกว้างและความยาวของตัวอย่าง โดย วัดที่ตำแหน่งจากขอบเป็นระยะหนึ่งในสี่ของด้านนั้นๆ ดูรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตำแหน่งวัดความกว้าง และความยาว
(ข้อ 11.1.2.1)

11.1.2.2 ความหนา

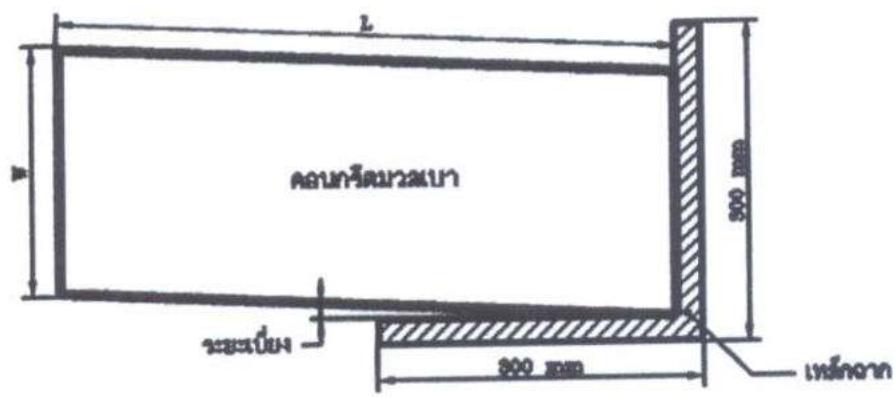
ใช้เวอร์เนียร์วัดความหนาของตัวอย่างที่ตำแหน่งห่างจากขอบด้านยาวของชิ้นเป็นระยะหนึ่งในสี่ของความยาว โดยสอดเวอร์เนียร์เข้าจนสุด ดูรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตำแหน่งวัดความหนา
(ข้อ 11.1.2.2)

11.1.2.3 ความได้ฉาก

ทาบเหล็กฉากที่ด้านสั้นของตัวอย่าง จากนั้นวัดความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นที่ระยะประมาณ 300 มิลลิเมตรจากมุมของเหล็กฉาก ดูรูปที่ 8



รูปที่ 8 การวัดความได้ฉาก
(ข้อ 11.1.2.3)

11.1.3 การรายงานผล

ให้รายงาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ยที่วัดได้

11.2 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

11.2.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน±1 มิลลิเมตร

กรณีชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนด ให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนา

11.2.2 เครื่องมือ

11.2.2.1 เครื่องมือที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.2.2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม

11.2.2.3 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส

11.2.3 วิธีทดสอบ

ให้วัดปริมาตรและมวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

11.2.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของชิ้นทดสอบแต่ละค่าและค่าเฉลี่ยจากสูตร

$$\text{ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง} = \frac{\text{มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ}}{\text{ปริมาตรของชิ้นทดสอบ}}$$

11.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว

11.3.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 40 มิลลิเมตร x 40 มิลลิเมตร x 160 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน± มิลลิเมตร และให้ด้านยาวของชิ้นทดสอบขนานกับด้านยาวของตัวอย่าง

11.3.2 เครื่องมือ

11.3.2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.005 มิลลิเมตร

11.3.2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม

11.3.2.3 อ่างน้ำที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่25 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส

11.3.2.4 ห้องหรือภาชนะปิดที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 25 องศาเซลเซียส ±2 องศาเซลเซียสและมีความชื้น สัมพัทธ์ร้อยละ 43 + ร้อยละ 2 ได้

11.3.2.5 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส ±5 องศาเซลเซียส

11.3.3 วิธีทดสอบ

11.3.3.1 นำชิ้นทดสอบเข้าอบในตู้อบเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็น ชั่งมวลและวัดความยาวของชิ้นทดสอบถือเป็นมวลนสภาพแห้ง คำนวณหาค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40

11.3.3.2 นำชิ้นทดสอบไปแช่ในอ่างน้ำตามข้อ 11.3.2.3 โดยผิวบนของชิ้นทดสอบอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ 3 เซนติเมตรเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นให้เก็บรักษาที่ห้องหรือภาชนะปิดตามข้อ 11.3.2.4 ชั่งมวลและวัดความยาวทุกวันจนมวลของชิ้นทดสอบมีค่าต่ำกว่าค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 ซึ่งคำนวณได้จากข้อ 11.3.3.1

11.3.3.3 วัดความยาวและชั่งมวลของชิ้นทดสอบทุก 3 วัน จนความยาวเข้าสู่สภาพสมดุล โดยชิ้นทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่าร้อยละ 0.003 ต่อ 3 วัน หมายเหตุการณ์รักษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในกรณีใช้ภาชนะปิด ให้ทำโดยเก็บชิ้นทดสอบไว้เหนือสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนตที่ละลายอยู่ในภาวะสมดุลกับน้ำในภาชนะผิดที่ควบคุมอุณหภูมิได้และต้องมีการกวนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการก่อตัวของเกลือโพแทสเซียมหรือฝ้าที่ผิว

11.3.4 การรายงานผล

ให้รายงานอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวจากสูตร

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวร้อยละ}(R) = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100$$

เมื่อ l_1 คือความยาวของชิ้นทดสอบที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 เป็นมิลลิเมตร

l_2 คือความยาวของชิ้นทดสอบเมื่อเข้าสู่สภาพสมดุล เป็นมิลลิเมตร

หมายเหตุ ความยาวของชิ้นทดสอบที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 หาโดยการประมาณค่าจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความยาวที่ได้จากการทดสอบตามข้อ 11.3.3.1กับข้อ 11.3.3.2

11.4 ความต้านแรงอัด

11.4.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบที่ตำแหน่ง ตอนบน ตอนกลาง และตอนล่างของคอนกรีตมวลเบาให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ± 1 มิลลิเมตร ทำเครื่องหมายแสดง ด้านยาวของตัวอย่างทำการทดสอบเมื่อชิ้นทดสอบมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10 ± ร้อยละ 2 กรณีชิ้นทดสอบมีความชื้นมากกว่าที่กำหนดให้อบชิ้นทดสอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 75 องศาเซลเซียสจนได้ความชื้นตามที่ต้องการกรณีชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนด ให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนา

11.4.2 เครื่องมือ

11.4.2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.4.2.2 เครื่องกดที่อ่านได้ละเอียดถึง 100 นิวตัน และสามารถควบคุมอัตราเพิ่มแรงอัดได้ระหว่าง 0.02 ถึง 0.20 นิวตัน ต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที

11.4.2.3 ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 75 องศาเซลเซียส สำหรับการอบหาปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 10 ± ร้อยละ 2 ได้

11.4.3 วิธีทดสอบ

11.4.3.1 ให้กดชิ้นทดสอบด้วยวิธีตามที่ระบุใน มอก.109 โดยใช้อัตราเพิ่มแรงอัดตามตารางที่ 4 ในแนวตั้งฉากกับด้านยาวของชิ้นตัวอย่างจนได้ค่าแรงอัดสูงสุดเมื่อชิ้นทดสอบแตกเสียหาย

11.4.3.2 วัดปริมาณความชื้นของชิ้นทดสอบ

ตารางที่ 4 อัตราเพิ่มแรงอัดตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

(ข้อ 11.4.3.1)

ชั้นคุณภาพ	อัตราเพิ่มแรงอัด
	นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที
2	0.05
4	0.10
6	0.15
8	0.20

มอก. 1505-2541

11.4.4 การรายงานผล

ให้รายงานปริมาณความชื้น และค่าความต้านแรงอัดของชิ้นทดสอบแต่ละค่าและค่าเฉลี่ย

11.5 อัตราการดูดกลืนน้ำ

11.5.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ± 1 มิลลิเมตร

กรณีชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนด ให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนา

11.5.2 เครื่องมือ

11.5.2.1 เครื่องมือที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.5.2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม

11.5.2.3 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส ±5 องศาเซลเซียส

11.5.3 วิธีทดสอบ

11.5.3.1 อบชิ้นทดสอบในตู้อบให้แห้งจนได้น้ำหนักคงที่ เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ±5 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง จากนั้นวัดมวลและมิติของแต่ละก่อน

11.5.3.2 แช่ชิ้นทดสอบตามข้อ 11.5.3.1 ในน้ำสะอาดให้น้ำท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วยกออกใช้ผ้าชุ่มน้ำเช็ดที่ผิวทีละก้อนและชั่งใหม่ให้เสร็จภายใน 3 นาที น้ำหนักที่ชั่งได้นี้ถือเป็นน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาที่ดูดกลืนน้ำ กรณีตัวอย่างไม่ผ่านการทดสอบ ให้ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 11.5.3.1 โดยใช้ตัวอย่างเดิมกับ น้ำกลั่นอีก 1 ครั้ง

11.5.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา โดยคำนวณจากสัดส่วนน้ำหนักของน้ำที่ดูดกลืนต่อปริมาตรชิ้นทดสอบซึ่งคำนวณจากมิติ

ภาคผนวก ข

การเผยแพร่บทความวิจัยเพื่อขอสำเร็จการศึกษา

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL
วิศวสารลาดกระบัง
Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
คณะวิศวกรรมศาสตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วันที่ 30 ตุลาคม 2555

เลขที่อ้างอิง 1472

เรื่อง การตอบรับบทความ

เรียน คุณกรกฎ เพ็ชร์หัสณะโยธิน สุธน เสถียรยานนท์ สมบัติ ทีฆทรัพย์ โยธิน อึ่งกูล

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเรื่อง ประสิทธิภาพการผลิตของผลิตภัณฑ์อิฐมวลเบาจากส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาล (Manufacturing Efficiency of Autoclaved Aerated Concrete Products from Sugar Sediment Mixture) มาให้พิจารณาเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวสารลาดกระบัง บัดนี้ ผู้ทรงคุณวุฒิได้ทำการพิจารณาแล้วเห็นว่า ยอมรับตีพิมพ์ได้ โดยจะตีพิมพ์ในปีที่ 29 ฉบับที่ 4 เดือนธันวาคม 2555

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

(รศ.ดร.อิสระชัย งามหรู)
หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ISSN 0125-1724

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

วิศวสารลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ปีที่ 29 ฉบับที่ 4 ธันวาคม 2555

บทความวิชาการ

1. การฉีดพลาสติกและการหดตัวของชิ้นงาน 1
วิภู ศรีสืบสาย
2. ทิศทางและแนวโน้มการพัฒนาและวิจัยลิเธียมไอออนแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า 7
กลยุทธ ปัญญาวุธโธ

บทความวิจัย

3. การวิเคราะห์รูปแบบการกรองข้อความสั้นจากเนื้อหาร่วมกับการรับรองจากมนุษย์สำหรับการสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ 13
อำนาจ ละม้ายกลาง สุวิพล สิทธิชีวภาค
4. การออกแบบวงจรชมิททริกเกอร์ซีมอสแบบสามระดับ 19
เอกลักษณ์ เล็กเลิศศิริวงศ์ สิรภพ ตู้ประกาย
5. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนแบบสุญญากาศที่มีแคลเซียมซิลิเกตเป็นแกน 25
ภิญญาพัชญ์ บุรินทราภิบาล อภินันท์ นันคณิสรณ์
6. ประสิทธิภาพการผลิตของผลิตภัณฑ์อิฐมวลเบาจากส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาล 31
กรกฎ เทียร์หัสณะโยธิน สุธน เสถียรยานนท์ สมบัติ ทีฆทรัพย์ โยธิน ยิ่งกูล
7. ผลของอุณหภูมิต่อการลดถอยของความคล่องตัวของประจุพาหะและความต้านทานอนุกรมแฝงของเอ็นมอสเฟต 37
อนุชา เรืองพาณิช รุ่งทวี บัวเนียมจันทร์รัสศรี ณัฐพล สกุณา สุรศักดิ์ เนียมเจริญ รังสรรค์ เมืองเหลือ
8. การปรากฏพีคของทอง (Au) จากการเปลี่ยนแปลงระดับโมเลกุลในคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมตะกอนน้ำตาล 43
โยธิน ยิ่งกูล วันวิสาข์ เจตีย์ภัทรนาท
9. การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการลดต้นทุนในแผนกส่งออกชิ้นส่วนรถยนต์ : กรณีศึกษาบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด 49
นภณัฐ เกตุภาพ สรรพสิทธิ์ ลิมบรรจัย
10. การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำพลังงานความร้อนที่สูญเสียของหม้อไอน้ำกลับมาใช้ใหม่ด้วยชุดแลกเปลี่ยนความร้อน กรณีศึกษาโรงงานทุ่นกระป๋อง 55
จิณาภา แซ่เหีย ลกนธ์ คล่องบุญจิต
11. การสังเคราะห์โครงสร้างนาโนคาร์บอนบนนิกเกิลจากแอลกอฮอล์ด้วยกระบวนการตกสะสมไอเคมี 61
สิทธิโชค ชำนาญอาสา วินัดดา วงศ์วิริยะพันธ์ ปัญญา ชันธ์สุวรรณ
12. วิธีไร้โครงตาข่ายสำหรับปัญหาการนำความร้อน 67
จารุวัตร เจริญสุข ภาสกร เวสสะโกศล

วิศวสารลาดกระบัง

ผู้ทรงคุณวุฒิในกองบรรณาธิการ "วิศวสารลาดกระบัง"

1. ศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ
สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2. ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ศาสตราจารย์ ดร. เศวต บรรเจิดพงศ์ชัย
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ศาสตราจารย์ ดร. ประภาส จงสถิตย์วัฒนา
ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. ศาสตราจารย์ ดร. ประยุทธ อัครเอกฮงสิน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

7. ศาสตราจารย์ ดร. อาศิกัด์ จงพิชัย
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

8. ศาสตราจารย์ ดร. สุชาติ ศุวัตถิรกร
สมาคมวิศวแสงสว่างแห่งประเทศไทย (ส่งเสริมการแสงสว่าง)

9. ศาสตราจารย์ ดร. สมชาย วงศ์เกษ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

10. ศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ชัยพิสุทธิ์
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

11. ศาสตราจารย์ ดร. ไชโยชน์ ไกรฤกษ์
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

12. ศาสตราจารย์ ดร. วิสิฐ ศรีระษา พลธร
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในพระบรมราชูปถัมภ์

13. รองศาสตราจารย์ ดร. ถวิช เดชหร่าย
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสิทธิภาพการผลิตของผลิตภัณฑ์อิฐมวลเบา จากส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาล

Manufacturing Efficiency of Autoclaved Aerated Concrete Products from Sugar Sediment Mixture

กรกฎ เพ็ชร์หัสณะโยธิน สุธน เสถียรยานนท์
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร
สมบัติ ทีฆทรัพย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอิสเทิร์นเอเชีย จ.ปทุมธานี
โยธิน อึ่งกูล
สาขาการจัดการอุตสาหกรรม และเทคโนโลยี ภาควิชาวิทยาศาสตรประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร อีเมล์ : yothinu@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมกากตะกอนน้ำตาล (AAC - SS) จากจังหวัดสุพรรณบุรีและจังหวัดสิงห์บุรี ซึ่งได้แก่ ความต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงดัด ความหนาแน่น และอัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาโดยมีกากตะกอนน้ำตาลซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้มาเป็นส่วนผสมเพื่อแทนที่ทรายที่ผ่านการบดความละเอียด ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ ผลการศึกษาทดสอบพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสุพรรณบุรีและจังหวัดสิงห์บุรี มีส่วนช่วยให้ความต้านทานแรงอัดและแรงดัดเพิ่มมากขึ้นแต่มีค่าความหนาแน่นลดลง ผลการทดสอบกับค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.1505-2541 สัดส่วนผสมแทนที่ทราย 15%, 20% และ 25% ผ่านเกณฑ์ โดยจัดอยู่ในชั้นคุณภาพ 4 ชนิด 0.6

คำสำคัญ : คอนกรีตมวลเบาแบบผสมตะกอนน้ำตาลแบบอบไอน้ำ (AAC - SS), ความต้านทานแรงอัด, กากตะกอนน้ำตาล

Abstract

This research related to the investigation of mechanical properties of Autoclaved Aerated Concrete Containing Sugar Sediments (AAC-SS), i.e. compressive strength, density, water absorption and flexural strength. Specimens made from sugar sediments application from Suphanburi and Singburi province instead of sand application in Autoclaved Aerated Concrete

(AAC). The results show that, with the same quantity of Sugar Sediments from Suphanburi and Singburi province, specimens have higher compressive strength and flexural strength, but density decreases. Properties of Autoclaved Aerated Concrete (AAC) Containing Sugar Sediments, based on the Thai Industrial Standard 1505-1998, specimens in the proportion 15, 20 and 25 percent were classified in AAC class 4 types 0.6

Keywords : Autoclaved Aerated Concrete Containing Sugar Sediments (AAC-SS), Compressive strength, Sugar Sediments.

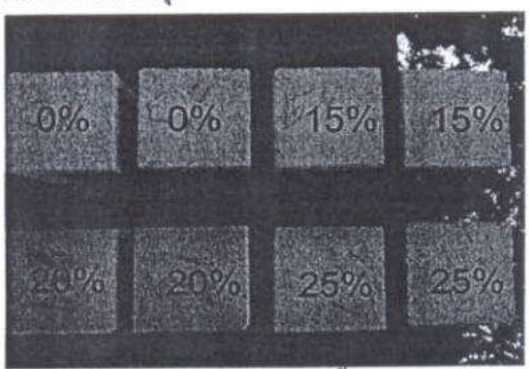
1. บทนำ

ปัญหามลพิษที่เกิดจากการขยายตัวของเมืองและภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยได้แก่ มลพิษทางเสียง น้ำ อากาศ ขยะมูลฝอยหรือเศษวัสดุก่อสร้างและขยะสิ่งที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรม จากปัญหาดังกล่าวมีผลต่อสภาพแวดล้อมก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจกทำให้โลกร้อน จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมและภาคการเกษตร โดย บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา และคณะ [1]-[3] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์และผสมเส้นใยของผักตบชวา เพื่อเป็นส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำที่ผสมเส้นใยดังกล่าวมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย ซิลิกาและแคลเซียมออกไซด์เช่นเดียวกับปูนซีเมนต์ แต่มีน้ำหนักเบา จึงได้ทดลองนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละต่าง ๆ และเทียบค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 1505-2541 ผลการทดสอบพบว่าสัดส่วนผสมแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 2.5 ผ่านเกณฑ์ ต่อมาโยธิน อึ่งกูล [4] ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติทางกลของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำแบบผสมตะกอนน้ำตาล สำหรับกากตะกอนน้ำตาล ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้มาเป็นส่วนผสมเพื่อแทนที่ทรายที่ผ่านการบดความละเอียด ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ ผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนผสมแทนที่ทรายร้อยละ 20 เป็นอัตราส่วนเหมาะสมมีส่วนช่วยให้ความต้านทานแรงอัดเพิ่มมากขึ้น และค่าความหนาแน่นลดลง ได้ค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.1505-2541 และจัดอยู่ในระดับชั้นคุณภาพ 4 ชนิด 0.7

รูปที่ 1 ตะกอนน้ำตาลที่ใช้ในการแทนที่ทราย

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยพัฒนาต่อเนื่องของโยธิน อึ่งกูล [4] และ Ungkoon และคณะ [5]-[6] วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมกากตะกอนน้ำตาล เช่น องค์ประกอบทางเคมี สัดส่วนที่เหมาะสม เปรียบเทียบกับมาตรฐาน

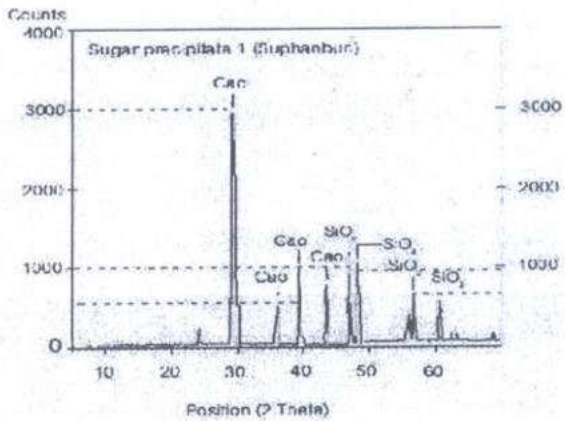
อุตสาหกรรม มอก.1505-2541 [7] และต้นทุนการผลิตของกากตะกอนที่มาจากแหล่งผลิตโรงงานน้ำตาลมิตรผลจังหวัดสุพรรณบุรีกับโรงงานผลิตน้ำตาลจังหวัดสิงห์บุรี



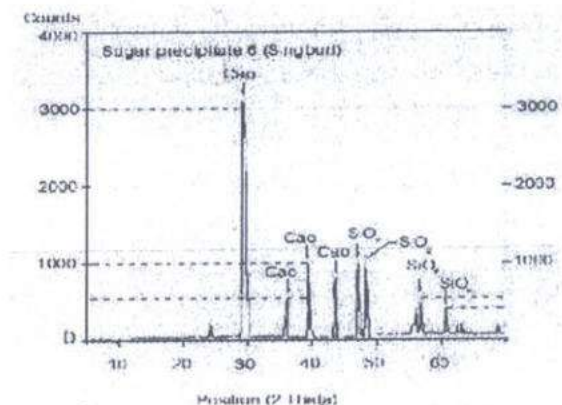
รูปที่ 2 คอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมตะกอนน้ำตาล

2. วัสดุ อุปกรณ์ และการทดลอง

การผลิตคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำทั่วไปและคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมตะกอนน้ำตาลจะมีกระบวนการผลิตในลักษณะเดียวกัน ที่แรงดัน 12 บาร์ อุณหภูมิ 180-190 °C โดยวัตถุดิบตะกอนน้ำตาลที่นำมาใช้ในการทดลองจากจังหวัดสุพรรณบุรีและสิงห์บุรี ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลโดยวิธี X-ray Diffractrometer หรือ XRD จากตะกอนน้ำตาลทั้งสองแหล่งผลที่ได้คือ จากแหล่งสุพรรณบุรีมีองค์ประกอบของ Calcite (ผลึกของปูนขาว) น้อยกว่าสิงห์บุรี โดย Peak ที่แสดงคุณสมบัติของ CaO ของสุพรรณบุรี Intensity จะต่ำกว่าของสิงห์บุรี นั่นแสดงว่ามีปริมาณ CaO ที่น้อยกว่าสิงห์บุรี และจาก Peak ที่แสดงคุณสมบัติของ SiO_2 ของสิงห์บุรีที่มีต่ำกว่าสุพรรณบุรีแต่จะมีผลึกที่เป็นอนุพันธ์ของ silicate เกิดขึ้นซึ่งดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 แต่ทั้ง 2 กลุ่มจะมีองค์ประกอบหลักเดียวกันคือ Calcite ส่วน Calcium carbonate จะมีปะปนบ้างเหมือนอนุพันธ์ของ Silicate ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 1 ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ปูนขาว แร่แอนไฮดราย ทรายบดละเอียดขนาด 63 – 90ไมครอนมากกว่า 85%



รูปที่ 3 XRD ของตะกอนน้ำตาลจากสุพรรณบุรี



รูปที่ 4 XRD ของตะกอนน้ำตาลจากสิงห์บุรี

และกากตะกอนน้ำตาลขนาดความละเอียด 50 – 70 ไมครอนจากทั้งสองแหล่ง ตะกอนน้ำตาลจากสุพรรณบุรี และสิงห์บุรีนำมาแทนที่ทรายบดละเอียดเปรียบเทียบส่วนผสมของวัตถุดิบได้ตามตารางที่ 2 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบทางกลตามมาตรฐานขนาดแม่พิมพ์ 20x20x100cm. นำไปอบด้วยไอน้ำที่แรงดันสูง และตัดเป็นชิ้นงานขนาด 7.5x7.5x7.5cm.

จะมีอัตราส่วนผสมแทนที่ทรายที่ 0%, 15%, 20% และ 25% ของตะกอนน้ำตาลโดยน้ำหนักตามลำดับ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองในแต่ละสัดส่วนมี 3 ชุด การทดสอบชุดละ 3 ตัวอย่างรวมทั้งหมด 9 ตัวอย่าง โดยผลที่แสดงเป็นผลจากการเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดสอบ

ตารางที่ 1. คุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบในการผลิต

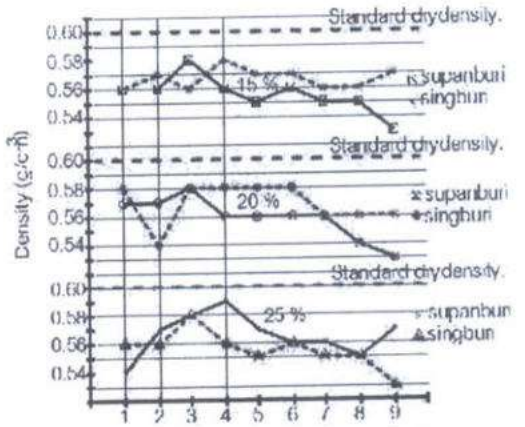
ชนิด (%)	ซีเมนต์	ปูนขาว	ทรายบด	ตะกอนน้ำตาล สุพรรณบุรี/สิงห์บุรี
SiO_2	21.02	-	85	69.2 / 67.3
Al_2O_3	5.21	0.5	6.1	7.08 / 7.12
Fe_2O_3	3.17	0.5	1.2	0.92 / 0.91
CaO	65.46	80	0.36	12.95 / 14.85
MgO	3.14	1	0.85	0.12 / 0.11
Na_2O	0.14	0.2	1	0.9 / 0.85
K_2O	0.83	0.42	1	1.2 / 1.2

ตารางที่2. ส่วนผสมของวัตถุดิบในการผลิต (%โดยน้ำหนัก)

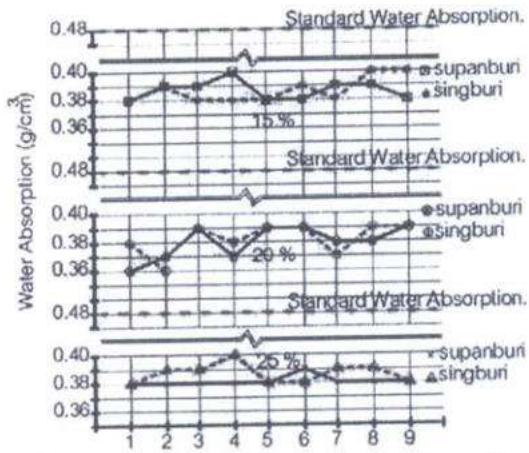
ชนิด (%)	ซีเมนต์	ปูนขาว	ทรายบด	ตะกอนน้ำตาล สุพรรณบุรี/สิงห์บุรี
Aac00	16	15	67	0
Aac15	16	15	52	15
Aac20	16	15	47	20
Aac25	16	15	42	25

3. ผลการทดลอง

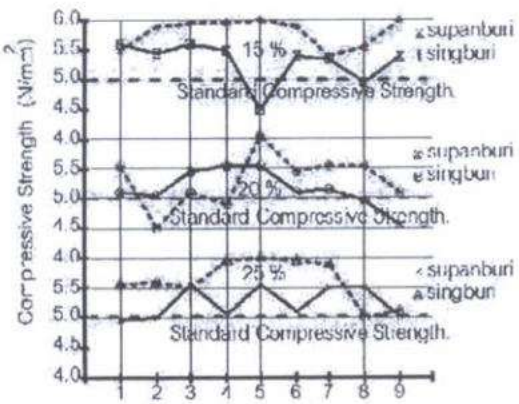
ผลการศึกษา ที่ส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาล 20% จะมีอัตราการดูดกลืนน้ำจากสิงห์บุรีและสุพรรณบุรีมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากขนาดของตะกอนน้ำตาลทั้งสองแหล่งมีขนาดที่ใกล้เคียงกันตามรูปที่ 5 โดยที่สัดส่วน 25% จากแหล่งสุพรรณบุรีจะมีอัตราการดูดกลืนน้ำต่ำกว่าสัดส่วนอื่น ๆ เนื่องจากที่ส่วนผสม 25% มีปริมาณตะกอนน้ำตาลมากที่สุด ซึ่งขนาดของตะกอนน้ำตาลที่เล็กกว่าขนาดของทรายบด หลังจากผ่านการสังเคราะห์ด้วยแรงดัน 12 บาร์ อุณหภูมิ180-190 °C เกิดการเปลี่ยนวัตถุมูลฐานเป็นผลึกคลิสตัลของแคลเซียมซิลิเกต ช่องว่างระหว่างผลึกจึงมีน้อย ทำให้การดูดซึมน้ำได้น้อยลง จากผลการทดสอบสัดส่วน 15%, 20% และ 25% มีอัตราการดูดกลืนน้ำต่ำกว่าสัดส่วน 0%



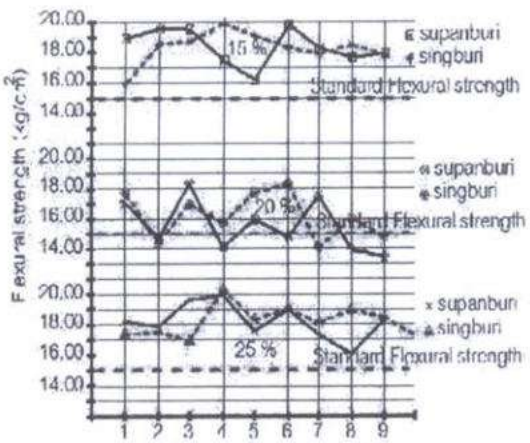
รูปที่ 5 ความความหนาแน่นของการแทนที่ทรายด้วยตะกอนน้ำตาล ที่ 0%, 15%, 20% และ25%



รูปที่ 6 อัตราการดูดกลืนน้ำของการแทนที่ทรายด้วยตะกอนน้ำตาล ที่ 0%, 15%, 20% และ25%



รูปที่ 7 ความต้านแรงอัดของการแทนที่ทรายด้วยตะกอนน้ำตาล ที่ 0%, 15%, 20% และ25%



รูปที่ 8 ความต้านแรงดัดของการแทนที่ทรายด้วยตะกอนน้ำตาล ที่ 0%, 15%, 20% และ25%

เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นของผลึกสูงจะมีตะกอนน้ำตาลกระจายตัวได้ทั่วถึง เนื่องจากฟองอากาศมีขนาดเล็กและมีจำนวนน้อย ในขณะที่คอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นของผลึกต่ำกว่า จะมีฟองอากาศใหญ่และจำนวนมาก จึงทำให้ตะกอนน้ำตาลกระจายตัวได้ไม่ทั่วถึง อัตราการดูดซึมน้ำจึงมีเพิ่มมากขึ้น สำหรับค่าความหนาแน่นของการแทนที่ทรายด้วยตะกอนน้ำตาล ที่ 15%, 20% และ 25% จากรูปที่ 6 มีความหนาแน่นต่ำกว่า 0%, ในทุกสัดส่วนการแทนที่ทรายเนื่องจากตะกอนน้ำตาลทั้งสองแหล่งมีน้ำหนักเบากว่าทราย เมื่อมีการแทนที่ทรายมากขึ้นความหนาแน่นจึงลดลง ในลักษณะแปรผกผันกับปริมาณตะกอนที่เพิ่มมากขึ้น ผลการศึกษาพบว่าคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำที่มีส่วนผสมกากตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรี 15%,20% และ 25% มีความต้านทานแรงอัดสูงกว่า 0%, 15%, 20%และ 25% จากจังหวัดสุพรรณบุรีจากรูปที่ 7 เนื่องจากมีสัดส่วนของแคลเซียมต่อซิลิกอนมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณแคลเซียมมากขึ้นแต่ค่าซิลิกอนลดลงซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนน้ำตาลที่มีแคลเซียมออกไซด์เจือปนอยู่ โดยเฉพาะตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรี มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์สูงกว่าตะกอนน้ำตาลจากสุพรรณบุรี ทำให้ค่า Ca/Si ratio สูงกว่า การเกิดผลึกมีความสมบูรณ์มากกว่า คือ11Å-tobermorite จะกลายเป็น 9Å-tobermorite[1](8) ทำให้โครงสร้างผลึกมีความละเอียดสูง การถักทอเป็นเส้นใยค่อนข้างหนาแน่น และมีโครงสร้างผลึกที่ละเอียดที่สุดจึงให้ผลต่อการรับกำลังอัดได้ดีที่สุด ส่วนการรับกำลังดัด จากรูปที่ 8 ผลที่เกิดขึ้นจากการแทนที่ด้วยตะกอนน้ำตาลทั้งสองแหล่งจะได้ใกล้เคียงกัน คือให้ผลที่สูงกว่าการแทนที่ด้วยทราย 0% นั้นเพราะการจัดเรียงตัวของผลึก Tobermorite จะเรียงในลักษณะซ้อนเป็นชั้นๆ จึงแสดงผลที่แตกต่างของแรงดัดไม่ชัดเจนระหว่างตะกอนน้ำตาลทั้งสองแหล่ง

4. สรุป

ผลการศึกษา พบว่าคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำที่มีส่วนผสมตะกอนน้ำตาลจากจังหวัดสิงห์บุรี 15%, 20% และ 25% มีความต้านทานแรงอัดและแรงดัดสูงกว่า 0%, 15%, 20% และ 25% จากจังหวัดสุพรรณบุรี

โดยตะกอนน้ำตาลจากแหล่งสิงห์บุรี มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์สูงกว่าตะกอนน้ำตาลจากสุพรรณบุรี ทำให้ค่า Ca/Si ratio สูงกว่าการเกิดผลึกมีความสมบูรณ์มากกว่า คือ 11Å-tobermorite จะกลายเป็น 9Å-tobermorite[1] ทำให้โครงสร้างผลึกมีความละเอียดสูง การถักทอเป็นเส้นใยค่อนข้างหนาแน่น และมีโครงสร้างผลึกที่ละเอียดที่สุดจึงให้ผลต่อการรับกำลังอัดและแรงดัดได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบการแทนที่ทรายด้วยตะกอนน้ำตาลที่สัดส่วน 15% 20% และ 25% จากจังหวัดสุพรรณบุรีและจังหวัดสิงห์บุรี ผลการทดสอบพบว่าคุณสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 1505 -2541 ผ่านเกณฑ์ จัดอยู่ในชั้นคุณภาพ G4 ชนิด 0.6 นอกจากนี้การแทนที่ทรายด้วยตะกอนน้ำตาลยังช่วยในการลดการใช้พลังงานในการบดทรายและเพิ่มมูลค่าในการใช้ซ้ำวัตถุดิบจากภาคอุตสาหกรรม สำหรับค่าความหนาแน่นที่ลดลงจากการแทนที่ทรายบดละเอียดด้วยตะกอนน้ำตาลยังเป็นการเพิ่มปริมาณความสามารถในการขนส่งสินค้าได้เพิ่มมากขึ้นมากกว่า 8-10 เปอร์เซ็นต์

5. เอกสารอ้างอิง

[1] บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา, ปรีดา จันทวงษ์ และโยธิน อึ่งกูล, "การศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์," วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 21, ฉบับที่ 2, หน้าที่ 266 - 271, พฤษภาคม – สิงหาคม, 2554.

[2] บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา, ปรีดา จันทวงษ์ และโยธิน อึ่งกูล, "การศึกษาคุณสมบัติทางกลของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำแบบผสมไมโครไฟเบอร์," วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง, ปีที่ 19, ฉบับที่2, หน้าที่ 59 - 68, กรกฎาคม-ธันวาคม, 2554.

[3] บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา, ปรีดา จันทวงษ์ และโยธิน อึ่งกูล, "การศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำผสมเส้นใยของผักตบชวา," วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 29, ฉบับที่ 1, หน้าที่ 43 - 48, กันยายน, 2554.

[4] โยธิน อึ่งกูล, "อิทธิพลของส่วนผสมตะกอนน้ำตาลต่อคุณสมบัติทางกลของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ," วิศวสารลาดกระบัง, ปีที่ 28, ฉบับที่3, หน้าที่ 55 - 60, กันยายน, 2554.

[5] Y. Ungkoon, C. Sittipunt, P. Namprakai, W. Jetipattaranat, Kim, K.S., and T. Charinpanitkul, "Analysis of Microstructure and Property of Autoclave Aereted Concrete Wall Construction Material," Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Vol.13, No.7, pp. 1103 –1108, Dec., 2007.

[6] Y. Ungkoon, "Study Nano Concrete of Autoclave Aereted Reinforce Lightweight Panels," Journal of Applied Science, Vol. 10, No. 1., pp. 95-105, Jan., 2011.

[7] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ, มอก.1505–2541, สำนักงาน มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

[8] J.S. Dolado, M. Griebel, J. Hamaekers, "A Molecular Dynamics Study of Cementitious Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) Gels," 2007. (online)

ภาคผนวก ค

ประกาศนียบัตรอบรมภาษาอังกฤษ

QUT

Faculty of Education

Certificate of Participation

awarded to

Miss Korakoj Pethassanayothin

ACADEMIC ENGLISH FOR RESEARCH SEMINAR

Brisbane, 14-18 April 2008

Associate Professor Bob Elliott
Assistant Dean (International & Engagement)
Faculty of Education
18 April 2008

Queensland University of Technology

AUSTRALIA ECU EDITH COWAN UNIVERSITY

CERTIFICATE OF PARTICIPATION PRESENTED TO

Miss Korakoj Pethassanayothin

TO ACKNOWLEDGE ATTENDANCE AT THE

ADVANCED TEACHING & RESEARCH STUDY VISIT

AT
EDITH COWAN UNIVERSITY

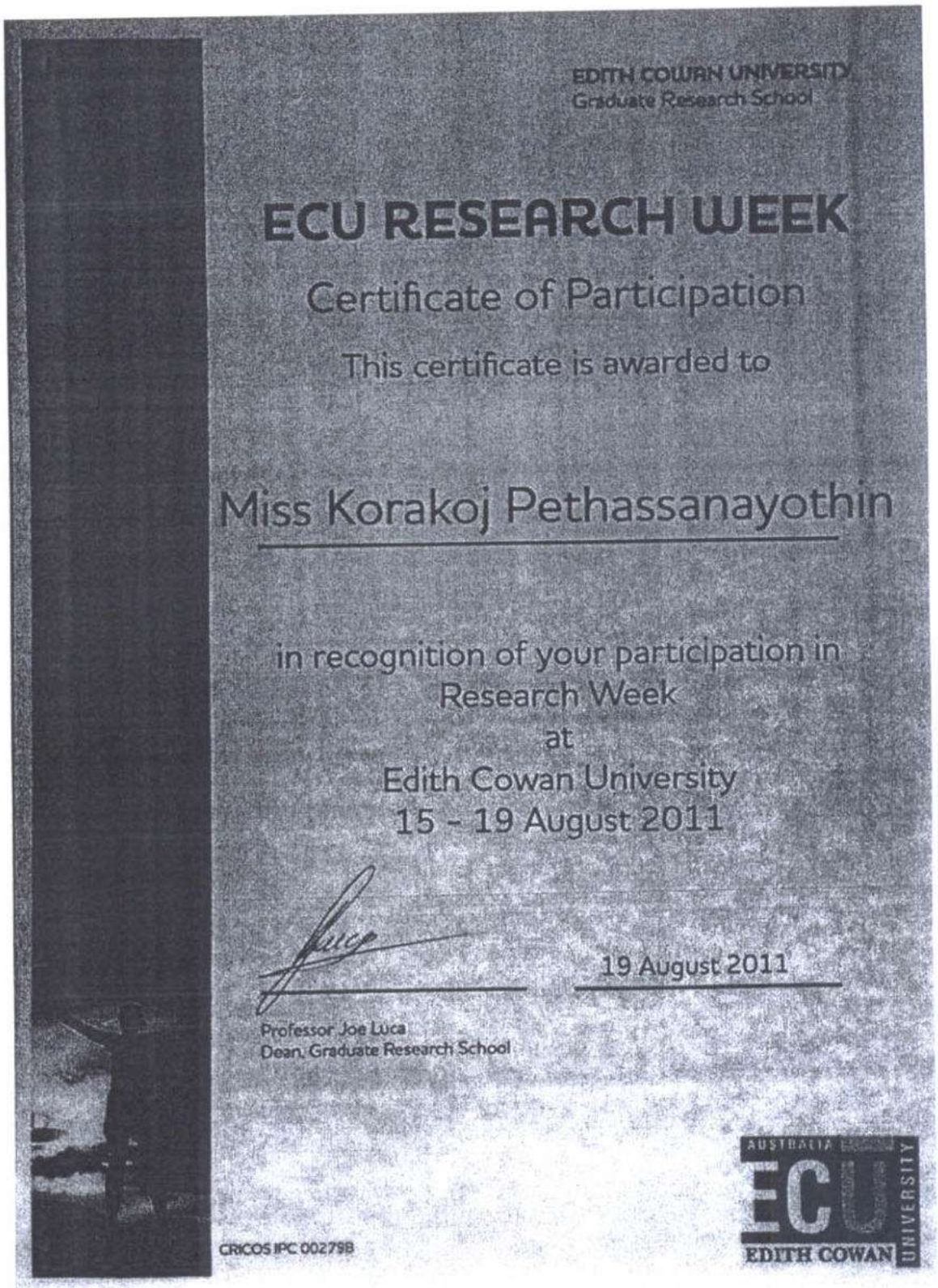
12 – 16 October 2009

Dr Supot Wathisen
President
Bansomdejchaopraya Rajabhat University

Dated: October 2009

Associate Professor Jim Cross
Associate Dean International
Faculty of Computing, Health & Science

Dated: October 2009



EDITH COWAN UNIVERSITY
Graduate Research School

ECU RESEARCH WEEK

Certificate of Participation

This certificate is awarded to

Miss Korakoj Pethassanayothin

in recognition of your participation in
Research Week
at
Edith Cowan University
15 - 19 August 2011

19 August 2011

Professor Joe Luca
Dean, Graduate Research School

CRICOS IPC 00279B

AUSTRALIA ECU EDITH COWAN UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวกรกฎ เพ็ชร์หัสณะโยธิน
วัน เดือน ปี เกิด	1 กรกฎาคม 2522
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2545	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
พ.ศ. 2549	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2555	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
สถานที่ทำงาน	สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
ตำแหน่งงานปัจจุบัน	อาจารย์ และ ประธานสาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม