

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้
ดินลูกรัง ถ้ำกลบ และปูนซีเมนต์

ปริญญานิพนธ์
ของ
เบญจมาศ บุญดำ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
มีนาคม 2542
ลิขสิทธิ์เป็นของ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้
ดินลูกรัง ถ้ำกลบ และปูนซีเมนต์

บทคัดย่อ
ของ
เบญจมาศ บุญดำ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
มีนาคม 2542

เบญจมาศ บุญดำ. (2542). การศึกษาอัตราส่วนในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้ดินลูกรัง

แก้วแกลบ และปูนซีเมนต์. ปรินญาณิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ :

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

คณะกรรมการควบคุม : ดร.ละเอียด รัชษ์เผ่า, อาจารย์สุดใจ เห่งสีไพร.

การทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้ดินลูกรัง แก้วแกลบ และปูนซีเมนต์ โดยการคำนวณหาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่าแล้วสุ่มแบบเจาะจงมาเพียง 21 สูตร โดยใช้สูตรที่ 1 - 8 กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 สูตรที่ 8 - 15 กำหนดปริมาณแก้วแกลบร้อยละ 10 และสูตรที่ 15 - 21 กำหนด ปริมาณดินลูกรังร้อยละ 10 แต่ละสูตรผลิตอิฐดินซีเมนต์จากแบบจริงด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ขนาด $12.50 \times 24.50 \times 9.00$ เซนติเมตร จำนวนสูตรละ 20 ก้อน รวม 420 ก้อน แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อน เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 เพื่อดูความเหมาะสมในการนำอิฐดินซีเมนต์ไป ใช้งานต่อไป

ผลการทดลองสรุปได้ว่า สูตรที่เหมาะสมที่สุดที่ควรนำไปผลิตอิฐดินซีเมนต์คือ สูตรที่ 10 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 60 แก้วแกลบร้อยละ 10 และปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 มีคุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัดเท่ากับ 36.60 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 16.60 และค่าร้อยละของความคงทนต่อการสึกกร่อนเท่ากับ 2.42 มีน้ำหนัก 4418 กรัม สีนํ้าตาลอ่อน มีสูตรที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด จำนวน 7 สูตรคือ สูตรที่ 10 - 16 เหตุผลในการเลือกสูตรที่ 10 เพราะว่าสูตรดังกล่าวมีต้นทุนการผลิตต่ำสุด และสีของอิฐดินซีเมนต์เป็นที่นิยมของผู้ใช้โดยทั่วไป

**A STUDY ON THE SUITABLE RATIO OF THE COMBINATION OF
LATERITIC SOIL, RICE HUSK ASH AND CEMENT
FOR THE PRODUCTION OF SOIL CEMENT BRICK.**

**AN ABSTRACT
BY
BENJAMAS BUNDAM**

**Presented in partial fulfillment of the requirements for the Master of
Education degree in Industrial Educational
at Srinakharinwirot University
March 1999**

Benjamas Bundam. (1999). ***A Study on the Suitable Ratio of the Combination of Lateritic Soil, Rice Husk Ash and Cement for the Production of Soil Cement Brick.*** Master thesis, M.A. (Industrial Education). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Dr. La - iad Ruckpau, Mr. Soodchai Ngaosiprai.

This experiment sought to find a suitable ratio of the combination of the lateritic soil, rice husk ash and cement for the production of soil cement brick. The suitable ratio was selected from the twenty - one formulae calculated from the triaxial diagram. The first to eighth formulae used ten percent of rice husk ash. The second set of formula, the eighth to fifteenth formulae used ten percent of lateritic soil, and the fifteenth to twenty - first formulae, used ten percent of Twenty bricks were made from each formula using a hydraulic press of $12.50 \times 24.50 \times 9.00$ centimeter specification. These four hundred and twenty bricks were then tested on the physical property of stress, water absorption and erosion resistance. The data were then compared with those specified in the brick standard manual, 77 - 2517, issued by the Product Standard Institute. Suitable brick were then selected for further uses.

The experiment found that the tenth formula was the best for making soil cement brick. This formula composed of 60 percent lateritic soil, 10 percent rice hush ask, and 30 percent cement. The brick had the stress property of 36.60 kilogram/ square centimeter, the water absorption value of 16.60 and the erosion resistance of value of 2.42. Each brown brick weighed 4418 grams Seven formulae, the tenth to the sixteenth, met the brick standard as stipulated in the product standard manual. The low production cost and the popular brick colored to the choice to recommend the use of the tenth formula.

ปริญญานิพนธ์

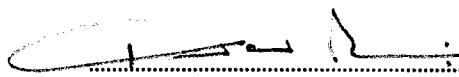
เรื่อง

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์
โดยใช้ดินลูกรัง แก้วแกลบ และ ปูนซีเมนต์

ของ

นางสาวเบญจมาศ บุญดำ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

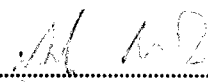
(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

วันที่ 12 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2542

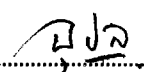
คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธาน

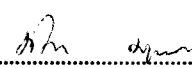
(ดร.ละเอียด รัชเส้า)

..... กรรมการ

(อาจารย์สุดีใจ เหง้าสีไพร)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(ดร.อุปวิทย์ สูดันธกุล)

..... กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(ดร.กัญญา มุลลินเดอร์)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยความเมตตา ให้คำแนะนำ แก้ไข ดูแลและให้กำลังใจ อย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สลโกสม และ ดร.ไพฑูรย์ โพธิสาร ที่ได้จัดให้มีการ สัมมนาเค้าโครงปริญญานิพนธ์ขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ละเอียด รักษ์เผ่า และ อาจารย์สุดใจ เห่งสีไพร ที่สละเวลาเป็น กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ แก้ไข ดูแลให้กำลังใจและให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.กัญญา มุลลินเดอร์ รองศาสตราจารย์ธาดาศักดิ์ วชิรปริชาพงษ์ อาจารย์วิโรจน์ เอ็งสุโสภณ ดร.อุปวิทย์ สุวคันธกุล และ ดร.ไพรัช วงศ์ยุทธไกร ที่กรุณาร่วมเป็น กรรมการสอบให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ให้กำลังใจและให้แนวคิดในการดำเนินงานเพื่อให้งานวิจัยมีความ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์อัศนีชัย ชูอรุณ คณบดีคณะศิลปกรรม ศูนย์กลางสถาบัน เทคโนโลยีราชชมงคล จังหวัดปทุมธานี ที่กรุณาให้โอกาสผู้วิจัยได้ลาศึกษาต่อจนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคพัทลุง และอาจารย์วิเชียร ชิดชอบ หัวหน้า แผนกก่อสร้าง ที่กรุณาให้โอกาส และอนุเคราะห์สถานที่พร้อมเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับทดสอบ คุณสมบัติทางกายภาพในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์เพ็ญสิทธิ์ โพธิจินดา อาจารย์ละออ เพชรรัตน์ และอาจารย์ นพรัตน์ สรวรสวรรณ ที่ได้กรุณาตรวจสอบภาษาไทยและภาษาอังกฤษในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณศักดิ์ชัย ปิยราชกิจ บริษัทน้ำแข็งคอนกรีตชั้น อีคิวเมนต์ จำกัด และ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่มีส่วนสนับสนุนด้านข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ นายบรรชา เจียมสวัสดิ์ นายปุ่น ครบุรี และนายประเสริฐ คงนิม ที่ได้กรุณา เป็นผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้งานอิฐดินซีเมนต์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ นายยุโรป เมฆประดับ นายบรรพต วรรณสวัสดิ์ นายอนุสรณ์ จำวิสูตร นายภิญโญ ชูแสง นางสาววรรณฯ สุกันธชาติ นายเอกวุฒิ ไกรมาก และนายคมสันต์ เรืองโกศล ที่ได้ให้คำปรึกษาช่วยเหลือติดต่อประสานงาน สนับสนุนด้านข้อมูล และให้กำลังใจจนทำให้การวิจัย ครั้งนี้สำเร็จลงด้วยความเรียบร้อย

ขอขอบคุณ นายมิตร เพชรศรี และนายยกเอี่ยม ขวัญแข็ง ที่กรุณาอนุเคราะห์สถานที่ พร้อมเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลองอัดอิฐดินซีเมนต์ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้ดำเนินไปด้วยความ เรียบร้อย

อนึ่ง ผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนและให้กำลังใจเป็นอย่างดีจากคณาจารย์และกรรมการบริหาร หลักสูตรสาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษาทุกท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณนิสิตรุ่นพี่ เพื่อนร่วมรุ่น และรุ่นน้อง ปริญญาโท หลักสูตร วิชาอุตสาหกรรมศึกษาทุกท่าน ที่ให้กำลังใจและบุคคลอื่นที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมดที่มีส่วน ช่วยเหลือแนะนำ สนับสนุน และให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดา ครู - อาจารย์ อันเป็นที่เคารพรักสูงสุดให้ทั้ง
ความรู้ กำลังใจ กำลังทรัพย์ และผู้ที่จะมีได้คือ นายสุชาติ ราชสมบัติ และ นายวสันต์ รักจ้อย
ที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ อันพระคุณนี้หาที่เปรียบมิได้

เบญจมาศ บุญดำ

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
วัตถุที่ใช้ในการทดลอง.....	3
ตัวแปรที่ศึกษา.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	5
สมมติฐานการวิจัย.....	6
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
ประวัติการทำอิฐดินซีเมนต์และการนำอิฐดินซีเมนต์ไปใช้ในประเทศไทย.....	8
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอิฐดินซีเมนต์.....	9
วัตถุดิบในการผลิตอิฐดินซีเมนต์.....	18
คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์.....	24
ความเหมาะสมในการใช้งาน.....	26
ต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์.....	27
วิธีอ่านค่าส่วนผสมจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า.....	30
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	34
วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง.....	34
ตัวแปรที่จะศึกษา.....	34
เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์..	37
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	37
ลำดับขั้นตอนในการทดลอง	37
แผนการดำเนินการวิจัย.....	53
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	55
การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์.....	55

บทที่	หน้า
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	64
สรุปผลการวิจัย.....	65
อภิปรายผล.....	66
ข้อเสนอแนะ.....	68
บรรณานุกรม.....	70
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก หนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญ หนังสือขอความร่วมมือ หนังสือขอใช้ สถานที่ทดลองเพื่อการวิจัย.....	74
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์.....	85
ภาคผนวก ค ผลการทดลองอิฐดินซีเมนต์.....	89
ภาคผนวก ง ภาพกระบวนการผลิตอิฐดินซีเมนต์.....	122
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	142

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 คุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรังที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์.....	19
2 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง.....	19
3 สารประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ.....	21
4 ขอบเขตของส่วนประกอบทางเคมีของซีเมนต์.....	23
5 เกณฑ์กำหนดกำลังต้านแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ.....	25
6 เปรียบเทียบราคาวัสดุทำอิฐดินซีเมนต์และวัสดุฉาบ (พ.ศ. 2526).....	29
7 เปรียบเทียบขนาด น้ำหนัก และราคาโดยประมาณของอิฐและบล็อกชนิดต่าง ๆ....	30
8 การเปรียบเทียบการคิดหาอัตราส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์.....	32
9 อัตราส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์ที่คำนวณได้จากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า.....	36
10 การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์บ่มอายุ 7 วัน.....	45
11 การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์บ่มอายุ 14 วัน.....	46
12 การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์บ่มอายุ 28 วัน.....	47
13 ค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์.....	48
14 ค่าร้อยละของการสึกกร่อนของอิฐดินซีเมนต์.....	49
15 ความเหมาะสมของอิฐดินซีเมนต์ในแต่ละสูตรเพื่อนำไปใช้งานด้านก่อผนังธรรมดา และก่อผนังรับน้ำหนัก.....	50
16 การวิเคราะห์ผลการทดลองอิฐดินซีเมนต์ด้านสีและลักษณะการนำไปใช้งาน.....	51
17 ต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์.....	52
18 แผนการดำเนินการวิจัย.....	53
19 ผลการวิเคราะห์การรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน.....	56
20 ค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์.....	58
21 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของการสึกกร่อนของอิฐดินซีเมนต์.....	60
22 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการนำไปใช้งานของอิฐดินซีเมนต์.....	62
23 ต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์สูตรที่ 10 - 16.....	63
24 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัด ค่าดูดซึมน้ำ และ ความคงทนต่อการสึกกร่อนของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 28 วัน.....	86
25 สีของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุ 1 วัน 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน.....	87
26 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์บ่มอายุ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน.....	88
27 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการนำไปใช้งานของอิฐดินซีเมนต์สูตรที่ 10.....	88
28 น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์บ่มอายุ 7 วัน.....	90
29 น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์บ่มอายุ 14 วัน.....	91
30 น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์บ่มอายุ 28 วัน.....	92
31 การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 7 วัน.....	95

32	การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 14 วัน.....	96
33	การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 28 วัน (แห้งปกติ).....	97
34	การรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 28 วัน (แห้งปกติ).....	98
35	การรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 28 วัน (หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง อบแห้ง).....	99
36	ค่าร้อยละการรับแรงอัดอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุ 28 วัน.....	100
37	ค่าเฉลี่ยการรับแรงอัด.....	101
38	น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์หลังจากอบแห้ง.....	102
39	น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง.....	103
40	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์ก่อนการขัด (หลังจากแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แล้วเข้าอบแห้ง)...	104
41	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 1.....	105
42	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 2.....	106
43	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 3.....	107
44	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 4.....	108
45	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 5.....	109
46	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 6.....	110
47	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 7.....	111
48	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 8.....	112
49	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 9.....	113
50	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 10.....	114
51	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 11.....	115
52	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 12.....	116
53	น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน.....	118
54	ค่าการรับแรงอัดเฉลี่ย 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน.....	118
55	ค่าการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ 28 วัน (ปกติและหลังการทดลอง).....	118
56	น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์หลังจากอบแห้งและหลังจากแช่น้ำ 24 ชั่วโมง.....	118
57	ค่าร้อยละของความคงทนต่อการสึกกร่อนของอิฐดินซีเมนต์.....	119
58	คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์ด้านการรับแรงอัด การดูดซึม และความ คงทนต่อการสึกกร่อนเมื่ออิฐอายุครบ 28 วัน.....	120

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	6
2 ขั้นตอนการอัดอิฐดินซีเมนต์.....	11
3 เครื่องอัดหินวาม.....	12
4 การคำนวณเกี่ยวกับแรงที่ใช้อัดอิฐ.....	13
5 รูปร่างและขนาดของอิฐดินซีเมนต์.....	16
6 การใช้อินเตอร์ล็อกกิ้งบล็อก.....	16-17
7 ลักษณะและขนาดของอินเตอร์ล็อกกิ้งบล็อก.....	18
8 แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า.....	30
9 ตำแหน่งของอัตราส่วนผสมแต่ละสูตรที่ใช้ในการทดลอง 21 สูตร.....	35
10 ลำดับขั้นตอนการทดลองอิฐดินซีเมนต์.....	39
11 ลำดับขั้นตอนการทดลองที่ 1 การตรวจสอบคุณสมบัติของดินลูกรัง.....	40
12 ลำดับขั้นตอนการทดลองตอนที่ 2 การทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิต อิฐดินซีเมนต์.....	42
13 ลำดับขั้นตอนการทดลองตอนที่ 3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ.....	44
14 การเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพจากการวิจัยของ อิฐดินซีเมนต์กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517.....	44
15 ร่องทางแนวตั้ง 6 ร่อง.....	93
16 รุหยอดน้ำปูนทรายเชื่อมระหว่างก้อนบน - ล่างทางแนวตั้ง.....	94
17 ถั่วแกลบ.....	123
18 การร่อนถั่วแกลบผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช.....	123
19 เครื่องบดละเอียดดินลูกรัง.....	124
20 การบดดินลูกรังด้วยเครื่องบดละเอียด.....	124
21 อัตราส่วนผสมใน 1 สูตร.....	125
22 การคลุกเคล้าส่วนผสมด้วยมือ.....	125
23 การคลุกเคล้าส่วนผสมด้วยจอบ.....	126
24 เครื่องอัดอิฐดินซีเมนต์แบบไฮดรอลิก.....	127
25 การเทส่วนผสมลงในบล็อกไฮดรอลิก.....	127
26 การอัดส่วนผสมให้แน่นทั่วทั้งบล็อก.....	128
27 ปิดฝาบล็อกแล้วหมุนเกลียวอัดอิฐดินซีเมนต์.....	128
28 การกดปุ่มให้อิฐดินซีเมนต์ลอยตัวสะดวกในการยกออกจากบล็อก.....	129
29 ยกอิฐดินซีเมนต์ออกจากบล็อกอย่างระมัดระวัง.....	129
30 ชั่งน้ำหนักอิฐดินซีเมนต์เมื่ออัดเสร็จ.....	130
31 การจัดวางอิฐดินซีเมนต์เมื่ออัดเสร็จ.....	130

ภาพประกอบ

หน้า

32	การจัดวางอิฐดินซีเมนต์เพื่อฝังลม.....	131
33	เครื่องทดสอบการรับแรงอัดอิฐดินซีเมนต์.....	132
34	การเตรียมอิฐดินซีเมนต์เพื่อทดสอบการรับแรงอัด.....	133
35	อิฐดินซีเมนต์ที่รับแรงอัดถึงจุดประลัยจนอ่านค่าได้.....	134
36	การชั่งน้ำหนักอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุ 28 วัน.....	134
37	การนำอิฐดินซีเมนต์แช่น้ำ 24 ชั่วโมงเพื่อทดสอบค่าดูดซึมน้ำ.....	135
38	การฝังอิฐดินซีเมนต์ให้หมดหยดน้ำ.....	136
39	เตาอบอิฐดินซีเมนต์.....	136
40	การอบแห้งอิฐดินซีเมนต์.....	137
41	การขัดอิฐดินซีเมนต์ด้วยแปรงลวดทองเหลือง.....	137
42	สีของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุ 7 วัน.....	138
43	สีของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุ 28 วัน.....	138
44	เครื่องอัดหินวาม.....	139
45	การเทส่วนผสมลงในบล็อกหินวาม.....	139
46	การโยกคันดินเพื่ออัดอิฐดินซีเมนต์ให้แน่น.....	140
47	ดันคันอัดลงให้อิฐลอยตัวขึ้น.....	141
48	ยกอิฐออกจากเบ้า.....	141

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ประเทศที่กำลังพัฒนาจะต้องมีความระมัดระวัง และพิจารณาอย่างรอบคอบในการวางแผนพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การใช้ทรัพยากรตามธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า สำหรับประเทศไทย ประชาชนโดยส่วนใหญ่ใช้ไม้ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือน เมื่อจำนวนประชากรเพิ่ม ความต้องการด้านที่อยู่อาศัยก็เพิ่มจำนวนมากขึ้นด้วย ผลกระทบที่ตามมาคือ ความต้องการในการใช้ไม้เพื่อการก่อสร้างมีมากขึ้น ทำให้สูญเสียทรัพยากรป่าไม้ไปเป็นจำนวนมาก จากการสำรวจของกรมป่าไม้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่า พื้นที่ป่าไม้ถูกทำลายเหลือปริมาณน้อยมาก ในปี พ.ศ. 2536 มีพื้นที่ป่าไม้เหลือเพียงร้อยละ 26.02 (ฐลัทธิต์ ชูชาติ. 2538 : 118) แม้ในปี 2541 ป่าไม้ก็ยังคงถูกทำลายในอัตราส่วน 1 ล้านไร่ต่อปี ถึงแม้ว่าจะมีการปลูกป่าทดแทนแต่ก็ทำได้ไม่มากนัก เมื่อเทียบกับอัตราส่วนที่ต้องสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ไป หลายหน่วยงานพยายามหาแนวทางแก้ปัญหา (ในส่วนของงานก่อสร้างได้พยายามแก้ปัญหาด้วยการหาวัสดุชนิดอื่นทดแทนไม้ วัสดุดังกล่าวคือ อิฐ เพราะสามารถใช้วัสดุที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ได้แก่ ดิน หิน ททราย นำมาผสมกับวัสดุเหลือใช้ เช่น แกลบล และซีลี้อย เป็นต้น นำมาผลิตเป็นอิฐชนิดต่าง ๆ ในการผลิตอิฐหากพัฒนาอย่างถูกวิธีก็จะเป็นวัสดุก่อสร้างที่สามารถใช้ประโยชน์ได้มาก ความต้องการในการใช้ไม้ก็จะน้อยลง (รุทร์ กล่อมขุ่ม. 2530 : 9 - 14))

การผลิตอิฐเพื่องานก่อสร้างมีลักษณะที่หลากหลาย เช่น อิฐมอญ อิฐทนไฟ อิฐบล็อก และอิฐดินซีเมนต์ เป็นต้น คุณสมบัติของอิฐที่ผลิตได้ในแต่ละท้องถิ่นก็มีลักษณะที่แตกต่างกันด้วย กระทรวงอุตสาหกรรม จึงได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 เพื่อใช้เป็นมาตรฐานโดยทั่วไป (กระทรวงอุตสาหกรรม. 2531 : 1 - 15) หน่วยงานและสถานประกอบการหลายแห่งจึงให้ความสนใจในกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้อิฐที่มีคุณภาพดีที่สุดมาใช้ในงานก่อสร้าง และจากการสำรวจของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย พบว่า อิฐดินซีเมนต์ (อิฐพัฒนา) เป็นอิฐที่ควรจะได้รับ การสนับสนุนให้มีการผลิตมากที่สุดด้วยเหตุผลที่ว่า อิฐมอญใช้ดินเหนียวผสมแกลบบ้านแล้วนำไปเผา ถ้าดินยังไม่มีความเหนียวพอก็ต้องหมักและต้องเสียเวลาในการเผาไม่ต่ำกว่า 1 สัปดาห์ ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ส่วนอิฐบล็อกผลิตได้จากปูนซีเมนต์และทรายผสมกันไม่ต้องเผาแต่สิ้นเปลืองปูนซีเมนต์ การระบายอากาศเมื่อก่อสร้างอาคารแล้วมีน้อยอิฐมอญไม่ได้สำหรับอิฐทนไฟ เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตยังไม่ดีพอ จึงเห็นควรสนับสนุนให้ผลิตอิฐดินซีเมนต์ เพราะวัสดุที่ใช้ทำ เช่น ดินลูกรังนั้น ในประเทศมีมากหาได้ง่ายในทุกภาคของประเทศ เมื่อนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ทำให้ประหยัดปริมาณปูนซีเมนต์ที่ผสม เป็นการลดต้นทุนการผลิตได้เป็นอย่างดี อิฐที่ได้มีสีเหมือนอิฐมอญและระบายอากาศได้ดี จึงอาจกล่าวได้ว่าอิฐดินซีเมนต์เป็นอิฐที่พัฒนามาจากอิฐมอญและอิฐบล็อก การใช้อิฐดินซีเมนต์เพื่อการก่อสร้างเริ่มมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2513 เช่น การสร้างบ้านพักที่สถานีเกษตรกรรมโนนสูง อำเภอโนนสูง จังหวัด นครราชสีมา ปี พ.ศ. 2523 - 2534 สร้างสำนักงานสาธารณสุขชุมชน บ้านน้ำปูน ตำบลน้ำพาง อำเภอแม่จริม จังหวัดน่าน จำนวน 1 หลัง และหน่วยงานทหารอีกไม่น้อยกว่า 40 หลัง ปี พ.ศ. 2526 จังหวัดกำแพงเพชรก็ได้สนับสนุนให้ประชาชนในพื้นที่ได้

ผลิตอิฐดินซีเมนต์เพื่อใช้ในงานก่อสร้าง (รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 9 - 11) อาคารดังกล่าวยังใช้งานได้ดีจนถึงทุกวันนี้ แต่การผลิตอิฐดินซีเมนต์ในขณะนี้ยังมีข้อมูลที่ควรศึกษาอีกมาก เช่น ขนาดของเม็ดลูกรัง ปริมาณปูนซีเมนต์และน้ำที่เหมาะสม ตลอดจนคุณสมบัติทางกายภาพด้านความคงทนต่อการสึกกร่อนจากการกัดเซาะของน้ำ น้ำฝน และการขีดข่วน จากผลงานการวิจัยของกรมโยธาธิการ สรุปได้ว่า ปริมาณดินลูกรังส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ แตกต่างกัน เช่น ลดช่วงปริมาณปูนซีเมนต์ให้แคบลง ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เพียงร้อยละ 3 จะน้อยเกินไป ทำให้ตัวอย่างอิฐมีปริมาณการสึกกร่อนสูงถึงร้อยละ 25 และเมื่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้การหลุดร่อนของเม็ดลูกรังที่ผิวหน้าลดลง (ธีรพันธ์ ทองประวัติ. 2526 : 5 - 6) การวิจัยของวิทยาลัยเทคนิคหนองคาย เสนอแนะไว้ว่า ถ้าต้องการให้อิฐดินซีเมนต์มีความแข็งแรงต่อการรับน้ำหนักได้ดีต้องอาศัยความประณีตในการผลิตทุกขั้นตอนและควรมีปริมาณทรายผสมครึ่งหนึ่งของดินทั้งหมด (รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 84)

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ที่มีคุณภาพ โดยใช้ดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยดินลูกรังของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย พบว่า ดินลูกรังที่เหมาะสมสำหรับการผลิตอิฐดินซีเมนต์ควรมีส่วนผสมของทรายในปริมาณร้อยละ 75 - 85 และมีดินเหนียวหรือดินเลนปนอย่างน้อยร้อยละ 10 - 15 ส่วนสีโดยธรรมชาติของดินลูกรังนั้นจะมีสีส้มปนเหลืองบ้าง สีส้มปนแดงบ้าง ดังนั้นเมื่อนำมาเป็นส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์จะได้อิฐที่มีสีเข้มสวยงามโดยไม่ต้องผสมฝุ่นสีซึ่งมีราคาแพง สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกดินลูกรังจากบริเวณอำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง ซึ่งตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้นโดยโรงอิฐดินซีเมนต์ นายมิตร เพชรศรี จังหวัดพัทลุงแล้ว พบว่า ดินลูกรังมีสีน้ำตาลแดง มีทรายร้อยละ 75 เหมาะกับงานก่อสร้างรับน้ำหนัก โดยทดสอบความทนทานด้วยวิธีเปียก - แห้ง ครบ 3 รอบ รับแรงอัดได้ 60.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนเถ้าแกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่อาจนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง การนำเถ้าแกลบไปเผาจะได้ซีเมนต์เถ้าแกลบเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าแกลบโดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ พบว่ามีซิลิกาเป็นองค์ประกอบสูงถึงร้อยละ 90 หากนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ใน อัตราส่วน 3 : 7 จะทำให้มีกำลังการรับแรงอัดได้สูงและทนต่อความต้านทาน สภาพการเป็นกรดดีมาก (บุรฉัตร จัทรวิระ. 2537 : 42 - 49) สำหรับปูนซีเมนต์มีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน เหล็ก และอลูมิเนียม เมื่อผสมกับน้ำตามส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวได้ จัดว่าเป็นตัวประสานในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ดี (รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 52)

จากคุณสมบัติของวัสดุดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่ว่า จากเดิมอิฐดินซีเมนต์ผลิตได้จากดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์แต่ยังมีความคงทนต่อการสึกกร่อนน้อย จึงควรเพิ่มเถ้าแกลบเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ความต้านทานความเป็นกรด และเถ้าแกลบเมื่อผสมกับปูนซีเมนต์จะเพิ่มกำลังการรับแรงอัดให้สูงขึ้น เป็นการลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ทำให้ต้นทุนการผลิตถูกลง สามารถใช้วัสดุใช้แล้วให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่า การศึกษาครั้งนี้นอกจากจะเป็นการทดลองเพื่อค้นหาค่าองค์ประกอบของอิฐดินซีเมนต์ที่มีคุณภาพขั้นต่ำตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนดแล้ว ยังเป็นแนวทางในการค้นหาแหล่งวัตถุดิบแหล่งใหม่ในท้องถิ่นและให้ประชาชนในท้องถิ่นใช้วัสดุที่มีอยู่ได้อย่างคุ้มค่า และยังเป็นผลงานที่จะพัฒนาจนทดแทนการก่อสร้างโดยใช้ไม้ ทำให้ลดการตัดไม้ทำลายป่าในอนาคตและรู้จักอิฐดินซีเมนต์ มากยิ่งขึ้นด้วย

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์ ในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517

ความสำคัญของการวิจัย

ได้อิฐดินซีเมนต์ซึ่งผลิตจากทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ในท้องถิ่น มีคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 สามารถใช้เป็นวัสดุก่อสร้างทดแทนไม้ อันเป็นการป้องกันหรือลดการตัดไม้ทำลายป่า และส่งเสริมอุตสาหกรรมท้องถิ่น

ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ครั้งนี้บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่วางไว้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตของการศึกษาไว้ดังนี้

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง จะเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ ได้แก่
 - 1.1 ดินลูกรัง จากบริเวณอำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดพัทลุง ซึ่งขุดลึกจากผิวหน้าดินไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลแดง มีทรายร้อยละ 75 แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด
 - 1.2 เถ้าแกลบ มีสีเทา ผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 100 เมช (0.037 มิลลิเมตร)
 - 1.3 ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica Cement) ตราเสือ
2. ตัวแปรที่จะศึกษา
 - 2.1 ตัวแปรต้น ได้แก่
 - 2.1.1 อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ ซึ่งประกอบด้วย ดินลูกรัง อยู่ในช่วงร้อยละ 10 - 80 เถ้าแกลบ อยู่ในช่วงร้อยละ 10 - 80 และปูนซีเมนต์ อยู่ในช่วงร้อยละ 10 - 80 โดยการสุ่มแบบเจาะจงจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า จำนวน 21 อัตราส่วนผสม แต่ละอัตราส่วนผสมผลิตอิฐดินซีเมนต์ จำนวน 20 ก้อน รวม 420 ก้อน
 - 2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่
 - 2.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 มีดังนี้
 - 2.2.1.1 การรับแรงอัด
 - 2.2.1.2 การดูดซึมน้ำ
 - 2.2.1.3 ความคงทนต่อการสีกร่อน
 - 2.2.2 ความเหมาะสมในการใช้งาน
 - 2.2.3 ต้นทุนการผลิต
3. การขึ้นรูปอิฐดินซีเมนต์จะใช้เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ชนิดเต็มก้อนขนาดกว้าง 12.25 เซนติเมตร ยาว 24.50 เซนติเมตร หนา 9.00 เซนติเมตร ซึ่งเหมาะกับการใช้งานโดยทั่วไปแรงที่ใช้กดอัดอิฐประมาณ 773.45 กิโลกรัม

4. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์ ด้านการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อน จะใช้เกณฑ์มาตรฐานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 โดยเลือกตัวอย่างอิฐอย่างมีระบบ จะนำอิฐหมายเลข 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 รวม 8 ก้อน ของแต่ละอัตราส่วนผสมมาทำการทดสอบด้านการรับแรงอัด แบ่งเป็น 3 ช่วง คือ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน และทดสอบค่าดูดซึมน้ำและความคงทนต่อการสึกกร่อนเมื่ออิฐดินซีเมนต์มีอายุครบ 28 วัน

นิยามศัพท์เฉพาะ

อิฐดินซีเมนต์

หมายถึง อิฐที่ทำขึ้นโดยใช้ดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์ ผสมกับน้ำ แล้วเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิก มีขนาดกว้าง 12.25 เซนติเมตร ยาว 24.50 เซนติเมตร หนา 9.00 เซนติเมตร

อัตราส่วนผสม

หมายถึง ปริมาณของวัตถุดิบที่นำมาผสมเป็นอิฐดินซีเมนต์ โดยคิดอัตราส่วนผสมจากการใช้แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่าเป็นตัวกำหนด อัตราส่วนผสมโดยปริมาตร

ดินลูกรัง

หมายถึง ดินที่ขุดลึกจากผิวหน้าดินไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร จากบริเวณอำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง มีสีน้ำตาลแดง มีทรายร้อยละ 75 แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด

เถ้าแกลบ

หมายถึง แกลบที่เผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส มีสีเทา ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช

ปูนซีเมนต์

หมายถึง ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica Cement) ดราเสื่อ

น้ำ

หมายถึง น้ำสะอาดจากแหล่งธรรมชาติทั่วไปหรือน้ำประปา ใช้อยู่ 10 - 15

เครื่องบดละเอียด

หมายถึง เครื่องมือสำหรับบดดินลูกรังให้มีความละเอียดเทียบเท่าการผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช

เมช (Mesh)

หมายถึง หน่วยวัดขนาด หรือความละเอียดของมวลวัสดุ ซึ่งสามารถลอดช่องตะแกรงที่มีจำนวนรูต่อตารางนิ้วเท่าใด มีค่าเท่ากับเท่านั้นเมช

แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า

หมายถึง ตารางสามเหลี่ยมด้านเท่าที่ใช้ในการกำหนดค่า อัตราส่วนผสมวัตถุดิบในการทดลองทำอิฐดินซีเมนต์ครั้งนี้

เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก

หมายถึง เครื่องอัดอิฐดินซีเมนต์ที่ใช้ระบบไฮดรอลิก สามารถควบคุมแรงอัดสูงสุดได้สม่ำเสมอทุกครั้งที่มีการอัด ตัวเบ้าอัดอิฐดินซีเมนต์ของเครื่องอัดบล็อกแบบไฮดรอลิก มีขนาดกว้าง 12.25 เซนติเมตร ยาว 24.50 เซนติเมตร หนา 9.00 เซนติเมตร

มอก.

หมายถึง ตัวกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ใช้อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 ว่าด้วยการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐก่อสร้างในด้านการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อน

คุณสมบัติทางกายภาพ

หมายถึง ความสามารถในการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อนของอิฐดินซีเมนต์

การรับแรงอัด

หมายถึง ความสามารถทนต่อแรงกดดันขณะที่ทำให้ชิ้นทดสอบเริ่มเสียหายจนไม่สามารถรับแรงอัดได้ต่อไป มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อิฐดินซีเมนต์ที่ได้มาตรฐานต้องรับแรงอัดได้ไม่น้อยกว่า 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

การดูดซึมน้ำ

หมายถึง ความสามารถรับหรือดูดซึมปริมาณน้ำเข้าไปไว้ในผลิตภัณฑ์ ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามปริมาณของน้ำที่เปลี่ยนไปในเวลา 24 ชั่วโมง โดยอิฐดินซีเมนต์ที่ได้มาตรฐานกำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 25

ความคงทนต่อการสึกกร่อน

หมายถึง การที่อิฐถูกแรงเสียดสีทางผิวโดยการถูขัดด้วยแปรงลวดทองเหลือง และยังคงสภาพเดิมไว้ได้ ซึ่งอิฐดินซีเมนต์ที่ได้มาตรฐานจะต้องสูญเสียมวลดินไม่เกินร้อยละ 10 จากการทดลองครบ 12 รอบ

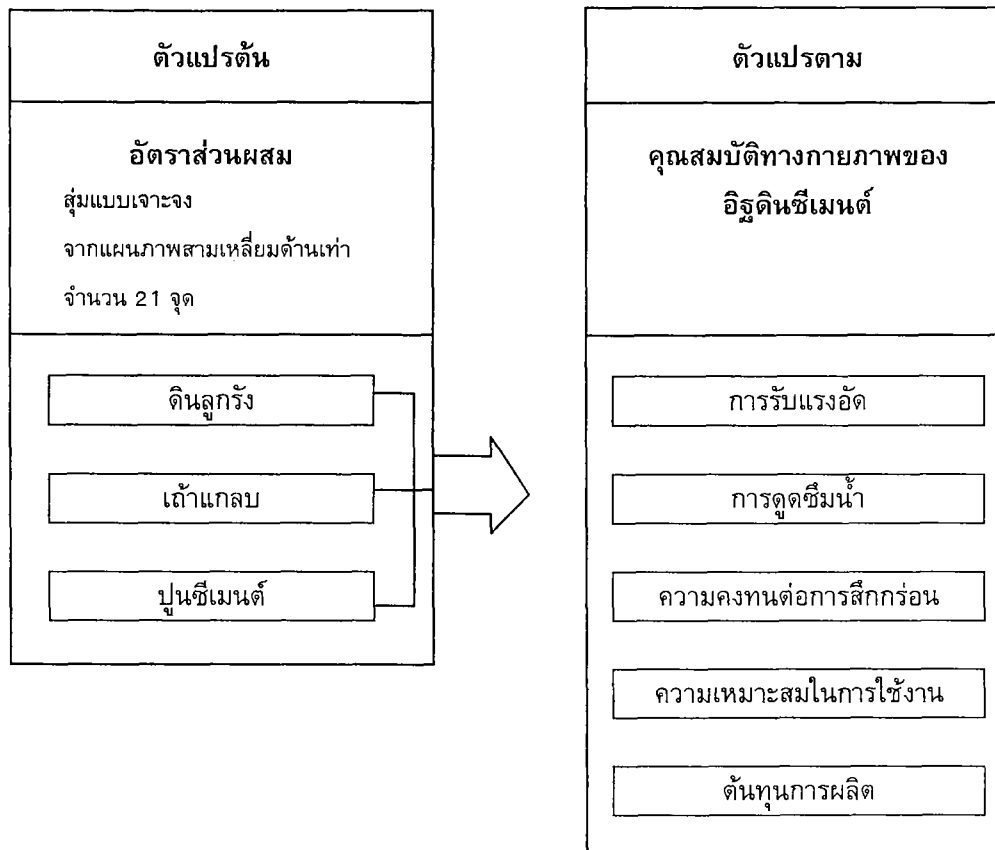
ความเหมาะสมในการใช้งาน

หมายถึง การพิจารณาการนำอิฐดินซีเมนต์ไปใช้งานโดยดูคุณสมบัติกายภาพด้านการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อน ควบคู่ไปกับสีและต้นทุนการผลิตของแต่ละสูตรที่ใช้ทดลอง

ต้นทุนการผลิต

หมายถึง การคิดค่าเสื่อมราคาของเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ต่อดินลูกรังและค่าปูนซีเมนต์รวมกัน เป็นต้นทุนการผลิตต่อก้อน

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

อิฐดินซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นจากอัตราส่วนผสมของดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์ จำนวน 21 อัตราส่วนมีคุณสมบัติทางกายภาพ ด้านการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อนตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาดำรง เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอิฐดินซีเมนต์ จำแนกสาระสำคัญที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้คือ

1. ประวัติการทำอิฐดินซีเมนต์และการนำอิฐดินซีเมนต์ไปใช้ในประเทศไทย
2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอิฐดินซีเมนต์
 - 2.1 ความหมายของอิฐดินซีเมนต์
 - 2.2 ขั้นตอนการผลิตอิฐดินซีเมนต์
 - 2.2.1 การร่อนดิน
 - 2.2.2 การตากดิน
 - 2.2.3 การผสม
 - 2.2.4 การอัดด้วยเครื่องชินวาม
 - 2.2.5 การบ่ม
 - 2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตอิฐดินซีเมนต์
 - 2.3.1 เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก
 - 2.3.2 เครื่องชั่งไฟฟ้ามีความละเอียด จุดทศนิยม 2 ตำแหน่ง
 - 2.3.3 เตาอบ
 - 2.3.4 เครื่องทดสอบกำลังอัด
 - 2.4 รูปร่างและขนาดอิฐดินซีเมนต์
 - 2.5 อินเทอร์เน็ตกึ่งบล็อก
 - 2.6 ประโยชน์ของอิฐดินซีเมนต์เมื่อเทียบกับราคา
3. วัตถุดิบในการผลิตอิฐดินซีเมนต์
 - 3.1 ดินลูกรัง
 - 3.1.1 สารประกอบทางเคมีของดินลูกรัง
 - 3.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง
 - 3.1.3 การเก็บตัวอย่างดินลูกรังสำหรับตรวจสอบ
 - 3.2 เถ้าแกลบ
 - 3.2.1 สารประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ
 - 3.2.2 การเลือกเถ้าแกลบในการทำอิฐดินซีเมนต์
 - 3.3 ปูนซีเมนต์
 - 3.3.1 สารประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์
 - 3.3.2 ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica Cement) ตราเสือ
 - 3.4 น้ำ
4. คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์
 - 4.1 การรับแรงอัด
 - 4.1.1 วิธีการทดสอบการรับแรงอัด

- 4.1.2 เกณฑ์มาตรฐานการรับแรงอัด
- 4.2 การดูดซึมน้ำ
 - 4.2.1 วิธีทดสอบการดูดซึมน้ำ
 - 4.2.2 เกณฑ์มาตรฐานในการดูดซึมน้ำ
- 4.3 ความคงทนต่อการสึกกร่อน
 - 4.3.1 วิธีทดสอบความคงทนต่อการสึกกร่อน
 - 4.3.2 เกณฑ์มาตรฐานในความคงทนต่อการสึกกร่อน
- 5. ความเหมาะสมในการใช้งาน
- 6. ต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์
- 7. วิธีอ่านค่าส่วนผสมจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า
- 8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ประวัติการทำอิฐดินซีเมนต์และการนำอิฐดินซีเมนต์ไปใช้ในประเทศไทย

อาจกล่าวได้ว่า เครื่องผลิตอิฐดินซีเมนต์เป็นผลของความเพียรพยายามของประเทศที่พัฒนาแล้ว โดยเฉพาะประเทศในแถบยุโรปและอเมริกา ที่คิดค้นเทคโนโลยีใหม่ ๆ แต่เป็นเทคโนโลยีที่ง่าย ๆ ที่มุ่งในเรื่องของที่อยู่อาศัยให้กับประเทศที่กำลังพัฒนา (Developing Countries) ทั้งหลาย โดยเฉพาะในทวีปแอฟริกาและในทวีปเอเชียบางประเทศ ประเทศในยุโรปที่รู้จักเทคโนโลยีชนิดนี้ก็ได้แก่ เนเธอร์แลนด์ เยอรมัน และเบลเยียม เป็นต้น สำหรับในอเมริกาในปี ค.ศ. 1966 สมาคมอาสาสมัครช่วยเหลือทางเทคนิค Volunteers in Technical Assistance (VITA) แห่งรัฐแมริแลนด์ สหรัฐอเมริกาได้คิดค้นผลิตเครื่องอัดอิฐดินซีเมนต์ขึ้น เพื่อใช้ในการผลิตอิฐหรือกระเบื้องโดยใช้ดินซีเมนต์ (Soil Cement) เป็นวัสดุ

อิฐดินซีเมนต์และเครื่องอัดอิฐดินซีเมนต์ เป็นที่รู้จักกันแพร่หลายมานานในประเทศกำลังพัฒนาทั้งหลายในทุกทวีป ที่เป็นเช่นนั้น อาจจะเป็นด้วยปัจจัย 2 ประการ ประการแรก ดินซีเมนต์เป็นวัสดุที่หาง่ายและมีราคาไม่สูงมากนัก ประการที่สอง ในประเทศกำลังพัฒนาส่วนใหญ่แล้ว จะมีแรงงานเหลือ เพื่อการใช้แรงงานเหล่านั้นให้เกิดประโยชน์ โดยอาศัยเพียงเทคโนโลยีพื้นฐาน จึงเป็นสิ่งที่รัฐบาลของประเทศต่าง ๆ เหล่านั้นให้ความสนใจ

สำหรับประเทศไทย การผลิตอิฐดินซีเมนต์ได้เป็นที่สนใจอย่างแพร่หลายในหน่วยงานราชการต่าง ๆ มานานนับสิบปีแล้ว แต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลายนักแม้ในปัจจุบัน หน่วยงานที่สนใจค้นคว้าวิจัยและนำดินซีเมนต์มาใช้ประโยชน์ ได้แก่ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย การเคหะแห่งชาติ กรมทางหลวง กรมโยธาธิการ สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท (รพช.) สำนักงานการปฏิรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม เป็นต้น (กรมโยธาธิการ. 2526 : 12 - 13)

การริเริ่มสร้างบ้านที่อยู่อาศัยด้วยอิฐดินซีเมนต์ โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้ก่อสร้างครั้งแรกในประเทศไทยคือ บ้านพักอาศัย 1 หลัง ที่สถานีเกษตรกรรม โนนสูง อำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา ต่อจากนั้น ปี พ.ศ. 2522 ฝ่ายก่อสร้างสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้ทำการสร้างบ้านด้วยการนำดินที่ผ่านการวิเคราะห์จากห้องทดลองมาแล้ว มาทำอิฐเพื่อเป็นกำแพงรับน้ำหนักของอาคารสองชั้นด้วยการเปิดโครงหลังคาโดยไม่ใช้วัสดุฝังใด ๆ และบรรจุทุกน้ำหนักไว้บนพื้นไม้ชั้นสองให้น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 300 กิโลกรัมต่อ 1 ตารางเมตร เป็นการทดสอบความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศของอิฐซึ่ง ผลปรากฏว่า อิฐดินซีเมนต์ที่ทำขึ้นด้วยการใช้

เครื่องอัดแบบชินวาแรมและเนื้อดินได้ผ่านการทดลองมาแล้วนั้น มีคุณภาพในการรับแรงและคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศได้ยาวนานกว่าวัสดุที่เป็นไม้หนา เพราะเมื่อถึง ปี พ.ศ. 2527 ปรากฏว่าไม้ที่นำมาทำโครงหลังคาทั้งตงและพื้นมีสภาพผุและชำรุดจืดหมดสภาพการใช้งาน แต่อิฐยังมีความแข็งแรงอยู่ในขั้นดีมาก (รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 9)

ในช่วง ปี พ.ศ. 2523 - 2524 ได้มีการสร้างอาคารด้วยอิฐดินซีเมนต์ในพื้นที่ห่างไกลตัวเมืองอีกหลายแห่ง เช่น สำนักงานสาธารณสุข บ้านน้ำปูน ตำบลน้ำพาง อำเภอแม่จริม จำนวน 1 หลัง บ้านพักครูและอาคารเรียนโรงเรียนปริยัติธรรมาภิบาล ตำบล อวน อำเภอปัว จังหวัดน่าน จำนวน 3 หลัง หมู่บ้านประชาชนที่บ้านชี ตำบลสะกาด จังหวัดน่าน อีกจำนวน 12 หลัง อิฐที่ใช้ก่อที่หมู่บ้านแห่งนี้มีขนาดเล็ก และต่อมาก็มีการขยายการก่อสร้างมากขึ้น (รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 11)

ในปี พ.ศ. 2525 ระหว่างที่กองทัพบกที่ 3 สามารถชักจูงให้ชาวเขาเผ่าม้งที่ดอยยาว ดอยผาหม่น อำเภอเทิง จังหวัดเชียงราย ซึ่งเคยเป็นฝ่ายตรงข้ามกับรัฐบาลมาร่วมพัฒนาได้นั้น ได้นำหินปูนมาทำอิฐได้แข็งแรงมาก กองพันทหารราบ จากชุดควบคุมที่ 31 จึงได้นำมาทำอิฐสร้างอาคารเรียน ขนาด 8.00 x 7.00 เมตร ได้ 1 หลังที่โรงเรียนบ้านแผ่นดินทอง ตำบลดับเต้า อำเภอเทิง จังหวัดเชียงราย และที่ค่ายรัตนทายาทตำบลเดียวกันได้สร้างอาคารเอนกประสงค์ขนาด 8.00 x 18.00 เมตร โครงสร้างเป็นกำแพงอิฐรับน้ำหนักหลังคาอีกหลังหนึ่งหลัง (รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 14) และยังผลิตอิฐชนิดนี้ขึ้นอีกหลายจังหวัด เช่น กำแพงเพชร จะเข้เชิงเทรา เป็นต้น จึงกล่าวได้ว่าสำหรับคนในวงจรรของการพัฒนาชนบทของประเทศ ส่วนใหญ่รู้จักอิฐดินซีเมนต์มาไม่ต่ำกว่า 10 ปีแล้ว แม้ว่าประวัติความเป็นมาของอิฐดินซีเมนต์ไม่สู้จะแน่ชัดนัก แต่คาดว่าแนวความคิดที่จะนำอิฐดินซีเมนต์เข้ามาในประเทศไทย คงมีต้นกำเนิดจากแนวความคิดในการใช้ดินก่อสร้างเป็นที่อยู่อาศัยของประเทศในทวีปแอฟริกา และอินเดีย แล้วถูกชักนำเข้าสู่ประเทศที่กำลังพัฒนารวมทั้งประเทศไทย โดยองค์การค้ำระหว่างประเทศ จึงได้เกิดความสนใจเรื่องดังกล่าวขึ้น (วิชาญ ภูพัฒน์. 2528 : 1) และปัจจุบันหน่วยงานราชการหลายหน่วยได้ให้ความสนใจในการทำอิฐดินซีเมนต์มากขึ้น มีการขยายการผลิตได้ครอบคลุมทุกภาคของประเทศ ดังจะเห็นได้จากรายงานการสำรวจแหล่งดินสำหรับผลิตอิฐดินซีเมนต์ของสาขาวิจัยอุตสาหกรรมก่อสร้างสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2535 เป็นการสำรวจแหล่งดินทั่วทุกภาคของประเทศไทย จึงเป็นที่มาของคำว่า “อิฐพัฒนา” นั่นเอง

2. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอิฐดินซีเมนต์

2.1 ความหมายของอิฐดินซีเมนต์ อิฐดินซีเมนต์เป็นอิฐที่ทำมาจากการผสม ดินลูกรัง หรือศิลาแลง หรือหินชนวนเข้ากับปูนซีเมนต์และน้ำแล้วอัดด้วยบล็อกเหล็กเพื่อให้คงรูปเป็นก้อนสามารถทำขนาดได้ตามความต้องการ (พงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสด. 2535 : 128)

2.2 ขั้นตอนการผลิตอิฐดินซีเมนต์ วิธีการผลิตอิฐดินซีเมนต์ เมื่อได้เตรียมวัสดุ เครื่องมือและส่วนผสมแล้วก็ถึงขั้นตอนการผลิตที่เหมาะสม ดังนี้

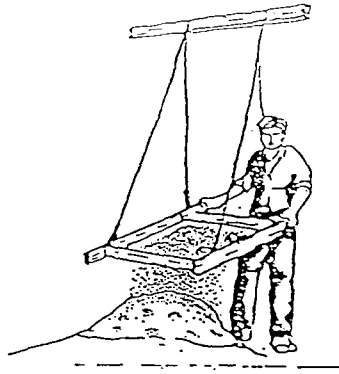
2.2.1 การร่อนดิน ดินที่ได้หากมีความชื้นมากเกินไป ควรตากแดดให้แห้งก่อน และทุบดินให้แตกก่อนเพื่อให้สะดวกต่อการร่อน แต่ถ้าหากดินแห้งพอประมาณแล้วก็ทำการร่อนได้เลย การร่อนต้องร่อนผ่านตะแกรงที่กำหนด หากมีก้อนดินติดกันควรบดให้แตกเสียก่อน

2.2.2 การตากดิน ดินที่ผ่านการร่อนแล้วต้องนำไปเกลี่ยบนลานที่ปรับหน้าเรียบ และอัดแน่น แล้วอาจรองด้วยผ้าพลาสติก หรือทำเป็นพื้นซีเมนต์ก็จะเป็นการดี เพราะไม่ทำให้ดินบริเวณนั้นเข้ามาผสมกับดินที่ตากควรทิ้งไว้ประมาณ 10 ชั่วโมงที่มีแดด โดยควรพิจารณาว่าดินแห้งดีทั่วกันแล้วโดยการพลิกกลับหน้าดินที่ตากเป็นระยะ 3 - 4 ชั่วโมง

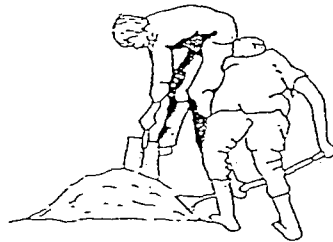
2.2.3 การผสม เมื่อตากดินแห้งดีแล้ว ก็ทำการตวงและชั่งดินและซีเมนต์ตามสัดส่วนผสมที่ได้คำนวณแล้วกองรวมกันในกระบะผสม คลุกให้เข้ากันจึงเติมน้ำตามสัดส่วนที่คำนวณได้ (อาจลดปริมาณน้ำลงบ้าง ถ้าสังเกตว่าดินยังชื้นอยู่มาก) แล้วผสมคลุกให้เข้ากันโดยใช้จอบและพลั่ว การใช้มือผสมจะทำให้ได้ผลดีขึ้นด้วย ในการผสมอาจใช้แรงคนประมาณ 2 คน สำหรับการผลิตในโรงงานอาจใช้เครื่องผสมทำการผสมก็ได้

2.2.4 การอัดด้วยเครื่องชินวาม การอัดต้องรีบอัดในทันทีที่ผสมเสร็จ เพื่อกันน้ำระเหยออกไป การอัดควรใช้แรงคนประมาณ 2 หรือ 3 คน ยืนอยู่คนละด้านของเครื่องทำหน้าที่อัดอีก 1 คน เป็นคนตักวัสดุใส่บล็อกและคอยหยีบก้อนอิฐที่อัดแล้วออกจากเบ้า ในการอัดจะตักวัสดุใส่เบ้าจนเต็ม แล้วกดคานโยก อัดดินผสมกดจนแน่ใจว่าแน่น แล้วยกคานข้ามฟากไปอีกด้านหนึ่งให้อีกคนรับแล้วกดคานโยกดันก้อนบล็อกที่อัดขึ้น นำก้อนที่อัดแล้วไปวางไว้ในที่ร่มเพื่อบ่ม

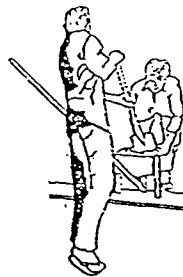
2.2.5 การบ่ม ให้นำก้อนอิฐดินซีเมนต์ที่อัดแล้วไปวางเรียงกันในที่ร่ม ปล่อยให้แห้งประมาณ 14 - 15 วัน เพื่อการบ่ม แล้วจึงนำไปกองทับกัน หรือนำไปใช้ก่อสร้างได้ (รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 24 - 25)



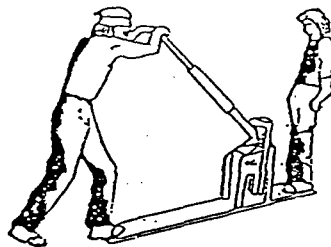
1. นำดินที่เหมาะสมมาร่อนโดยใช้ตะแกรง ขนาด 4×4 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ขนาดพอเหมาะและไม่ให้มีอินทรีย์วัตถุอื่น ๆ เจือปน



2. นำดินที่ร่อนแล้วมาผสมกับปูนซีเมนต์โดยใช้น้ำ ร้อยละ 10 - 15 โดยน้ำหนัก แล้วทำการทดสอบความเหลวของ ส่วนผสมตามสูตรที่กำหนดไว้ว่าเหมาะสมหรือไม่โดยใช้วิธีกำส่วนผสมในมือ ถ้าความเหลวเหมาะสม เมื่อกำแล้วจะ ดึงกันเป็นก้อนขณะคลายมือออก



3. นำส่วนผสมที่คลุกเคล้ากันดีแล้วใส่ลงในเบ้าอัดในเครื่องอัด

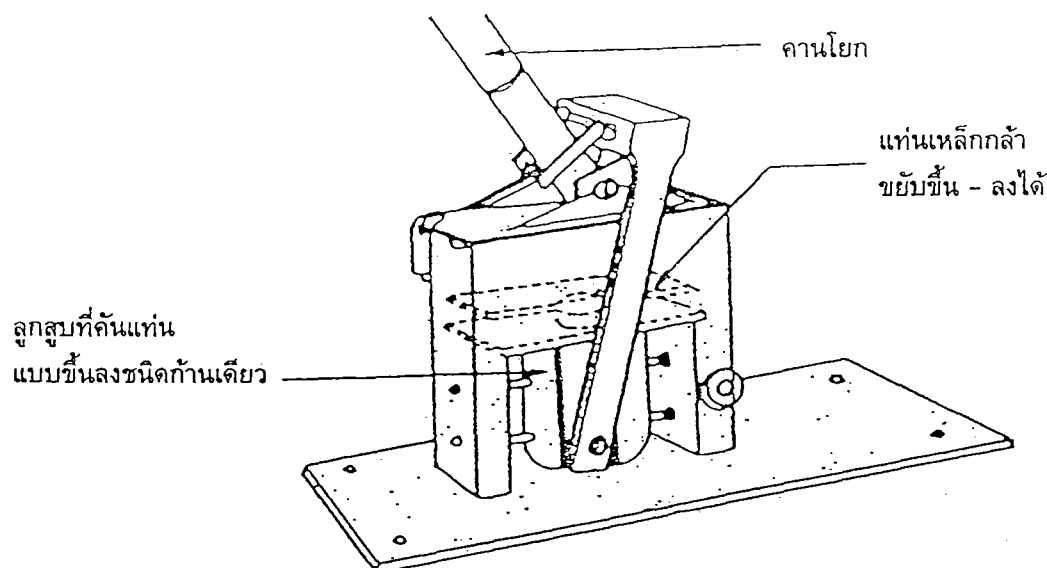


4. เมื่อใส่ส่วนผสมลงในแบบแล้วอัดให้แน่นโดยโยกคันอัดลงมา เสร็จแล้วคลายออกโดยยกคันอัดขึ้น นำแท่งดินซีเมนต์ ออกจากแบบ นำไปฝังในร่มเพื่อบ่มให้แข็งตัวในแนวราบขนานกับพื้น ใช้เวลาบ่มประมาณ 14 วัน จึงนำไปใช้ก่อได้

ภาพประกอบ 2 ขั้นตอนการอัดอิฐดินซีเมนต์

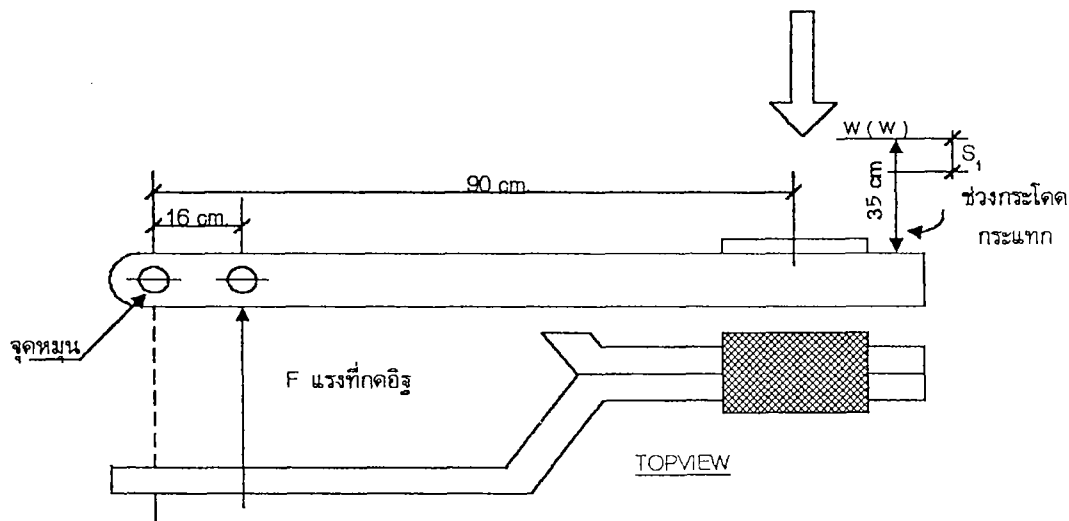
2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ มีดังนี้

2.3.1 เครื่องอัดหินวามแรม เครื่องอัดอิฐดินซีเมนต์ควรเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้แรงอัดสูงสุดให้สม่ำเสมอในทุกครั้งที่ทำการอัด ผิวหน้าของแบบอัดต้องเรียบ ตัวเครื่องอาจเป็นเครื่องมือกลทั้งหมดหรือกึ่งเครื่องมือกล ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ได้ผลดีก็คือ “เครื่องอัดหินวามแรม” ซึ่งเป็นเครื่องประเภทกึ่งเครื่องมือกล เพราะใช้แรงคนกดคานกระเดื่อง ที่ใช้หลักการเชิงกลช่วยเพิ่มแรงอัดและควบคุมแรงอัดสูงสุด เป็นเครื่องอัดอิฐดินซีเมนต์มาตรฐานขนาดเบ้าอัดกว้าง 9 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร หนา 29 เซนติเมตร มีรูปร่าง ลักษณะวิธีการใช้อัดเป็นขั้นตอน (รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 35) ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 เครื่องอัดหินวามแรม

2.3.1.1 การคำนวณเกี่ยวกับแรงที่ใช้อัดอัฐิ



ภาพประกอบ 4 การคำนวณเกี่ยวกับแรงที่ใช้อัดอัฐิ

- 1) การคิดโมเมนต์รอบจุดหมุน โดยการคิบน้ำหนักปกติ (น้ำหนักที่ไม่มีแรงกระแทก)

$$W = 50 \text{ กิโลกรัม}$$

Moment รอบ "จุดหมุน"

$$F_1 \times 16 = W \times 90$$

$$F_1 = \frac{W \times 90}{16}$$

$$F_1 = \frac{50 \times 90}{16} = 281.25 \text{ กิโลกรัม}$$

$$F_1 = 2759.06 \text{ N}$$

- 2) เมื่อไม่มีการกระโดด แต่มีการกระแทกทันที (คิดมวล $W = 50$ กิโลกรัม)

ในกรณีนี้ $F_2 = 2F_1$ ($H = 0$ และ $V = 0$)

$$F_2 = 2(281.25 = 562.5 \text{ กิโลกรัม})$$

$$= 5.518 \text{ KN}$$

- 3) เมื่อมีการขึ้นเหยียบกระแทก (ช่วงกระโดด 35 เซนติเมตร)

$$W \sim \text{งานที่ป้อนเข้า} = \text{งานที่ป้อนออก}$$

$$\text{น้ำหนัก} \times \text{ความสูง} = \text{แรง} \times \text{ระยะทางที่ได้งาน}$$

$$W \times h = W_1 \times S_1$$

ในการกระโดดสูง 35 เซนติเมตร แต่ละครั้ง จะได้ระยะทาง

$$\begin{aligned} S_1 &\approx 10 \text{ เซนติเมตร} \\ \therefore W_1 &= \frac{W \times h}{S_1} \\ &= \frac{50 \times 35}{10} \\ &= 175 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Moment รอบจุดหมุน } F_3 \times 16 &= W_1 \times 90 \\ F_3 &= \frac{175 \times 90}{16} \\ &= 984.4 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

4) ดังนั้นค่าเฉลี่ยของแรงจึงควรเป็น

$$\begin{aligned} \text{ค่าระหว่าง} &= \frac{562.5 + 984.4}{2} \\ &= 773.45 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{แรงที่เกิดอัดอัฐิของเครื่องชินวาแรม คัดแล้วจะมีน้ำหนักประมาณ} \\ &= 773.45 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

(รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 103 - 104)

2.3.2 เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก เป็นเครื่องมืออัดอิฐดินซีเมนต์ที่ใช้ระบบไฮดรอลิก

สามารถควบคุมแรงอัดสูงสุดได้สม่ำเสมอทุกครั้งที่มีการอัดรูปแบบของบล็อก จะใช้ขนาดของอินเตอร์ - ล็อกกับบล็อกชนิดเดิมก่อน สามารถอัดอิฐดินซีเมนต์ได้ครั้งละ 2 ก้อน ใช้คนงานเพียง 1 คน เพื่ออัดอิฐ และใน 1 วัน สามารถอัดอิฐได้ประมาณ 500 ก้อน

2.3.3 เครื่องซึ่งไฟฟ้ามีความละเอียด จุดทศนิยม 2 ตำแหน่ง เครื่องซึ่งวัดอุณหภูมิควรเป็น ชนิดที่มีความไวสูง เพราะการซึ่งน้ำหนักส่วนผสมจะมีข้อผิดพลาดได้ง่าย สำหรับการทดลองในครั้งนี้ จึงใช้เครื่องซึ่งไฟฟ้ามีความละเอียด จุดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ใช้งานง่าย และมีระบบไมโครโพรเซสเซอร์ ช่วยเสริมประสิทธิภาพในการทำงาน (ทวี พรหมพฤษ. 2523 : 179)

2.3.4 เตาอบ เตาอบที่ใช้สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพในการทดลอง ครั้งนี้จะใช้เตาไฟฟ้าชนิดเปิดด้านหน้า บุกด้วยอิฐทนไฟและใช้ขดลวดความร้อนเผาได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 0 - 1,000 องศาเซลเซียส ขนาด 2 แผ่นชั้นวางผลิตภัณฑ์ มีบรรยากาศการเผาแบบออกซิเดชัน (oxidation atmosphere) ช่วยให้การลุกไหม้ดี ไม่มีควัน มีตัวควบคุมและบอกอุณหภูมิที่เรียกว่า เทอร์โมคอปเปิล (thermocouple) อาศัยหลักการการเกิดกระแสไฟฟ้าจากความร้อน โดยนำเอาโลหะ สองชนิดมาเชื่อมปลายติดกัน ซึ่งโลหะทั้งสองจะต้องมีคุณสมบัติต่างกันใส่ในเตาให้ได้รับความร้อน ส่วน ปลายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับเครื่องวัดอุณหภูมิ แล้วเข็มจะชี้บอกอัตราความร้อนเป็นองศาเซลเซียสและ ฟาเรนไฮต์ (ทวี พรหมพฤษ. 2523 : 148 - 149)

2.3.5 เครื่องทดสอบกำลังอัด เป็นแบบไฮดรอลิก โดยช่วงระหว่างพื้นหน้าของแป้นบนและแป้นล่างจะต้องห่างพอที่จะเอาอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทดสอบมาติดตั้งได้ และจะต้องเหลือช่องว่างสำหรับก้อนอิฐทดสอบได้พอดี แรงกดที่ใช้วัดได้ละเอียดถูกต้องถึงร้อยละ ± 1 และสามารถเอียงได้ถูกต้องตามสภาพผิวหน้าที่สัมผัสกับแป้นกด เมื่อทดสอบแล้วค่าที่ได้จะเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

การคำนวณ

ทำการบันทึกแรงอัดสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ คำนวณหาค่ากำลังอัดเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากสมการ

$$F_a = P/A$$

เมื่อ F_a = กำลังอัดเฉลี่ย, กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

P = แรงอัดเฉลี่ย, กิโลกรัม

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง, ตารางเซนติเมตร

ถ้าพื้นที่หน้าตัดจริงของก้อนทดสอบแตกต่างจากพื้นที่หน้าตัดปกติเกินกว่าร้อยละ ± 1.5 ใช้พื้นที่หน้าตัดที่วัดได้จริงในการคำนวณหาหน่วยแรงอัด และถ้าหากค่ากำลังอัดของแต่ละตัวอย่างแตกต่างกันไปจากค่าเฉลี่ยของผลทดสอบทั้งหมดเกินกว่าร้อยละ 10 แล้ว ถือว่าค่านั้นใช้ไม่ได้ ทั้งนี้หลังจากตัดค่าที่ใช้ไม่ได้แล้วจะต้องมีผลการทดสอบเหลือไว้อย่างน้อย 2 ค่า สำหรับค่าเฉลี่ยใหม่หากน้อยกว่า 2 ค่า ต้องทำการทดสอบใหม่ทั้งหมด (สุพรรณี มีกุล. 2540 : 49)

การทดสอบคุณสมบัติของแท่งบล็อกดินซีเมนต์

2.3.1 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด (compressive strength) เพื่อหาความสามารถในการรับน้ำหนักของบล็อก โดยจะทดสอบหลังจากบ่มแท่งบล็อกแล้วประมาณ 14 วัน เป็นการทดสอบตามมาตรฐานทั่วไป

2.3.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (water absorption) เพื่อหาปริมาณการดูดซึมน้ำของแท่งบล็อก และตรวจการซึมน้ำที่ผิวและเนื้อของดินที่จุดอิมดัว เป็นการทดสอบตามมาตรฐานทั่วไป

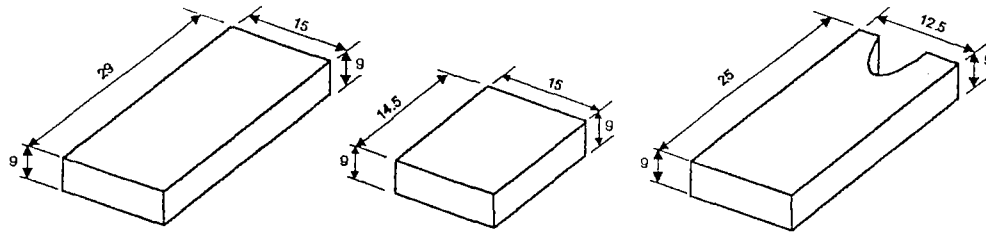
2.3.3 การทดสอบความทนทาน (durability) เพื่อหาความทนทานของแท่งบล็อกในสภาวะที่ใช้งานจริงซึ่งการทดสอบจะเป็นการเร่งสภาวะโดยใช้วิธีเปียกและแห้ง (wetting and drying test) ตามมาตรฐานทั่วไป และหลังจากผ่านการทดสอบโดยวิธีเปียกและแห้งแล้วจะนำมาทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด

2.4 รูปร่างและขนาดของอิฐดินซีเมนต์ การผลิตอิฐดินซีเมนต์มีรูปร่าง 3 แบบ คือ

2.4.1 แบบเต็มก้อนสี่เหลี่ยมตัน ขนาดกว้าง 15.00 เซนติเมตร ยาว 29 เซนติเมตร หนา 9.00 เซนติเมตร สำหรับใช้งานทั่ว ๆ ไป

2.4.2 แบบครึ่งก้อน ขนาดกว้าง 15.00 เซนติเมตร ยาว 14.50 เซนติเมตร หนา 9.00 เซนติเมตร สำหรับใช้งานทั่ว ๆ ไป

2.4.3 แบบครึ่งก้อนมีรอยเว้า ขนาดกว้าง 12.50 เซนติเมตร ยาว 25.00 เซนติเมตร หนา 9.00 เซนติเมตร มีรอยเว้าใช้ก่อบริเวณมุมและตอนปลายผนัง ดังรูป 3 (วงศ์พันธุ์สุนทรโรสถ. 2535 : 131) ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 รูปร่างและขนาดของอิฐดินซีเมนต์

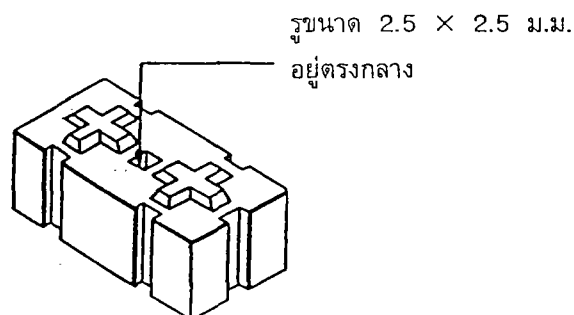
2.5 อินเตอร์ล็อกกิ้งบล็อก จากรูปร่างและขนาดของอิฐดินซีเมนต์ในหัวข้อ 2.4 ก็ได้มีการพัฒนารูปร่างมาเป็นอินเตอร์ล็อกกิ้งบล็อก (Inter Locking Block) ซึ่งออกแบบและพัฒนารูปแบบเพื่อให้มีลักษณะพิเศษตามหน้าที่การใช้งานอย่างแท้จริง ซึ่งแบ่งการใช้งานได้ 4 ลักษณะดังนี้

2.5.1 มีขนาด 2.5×2.5 มิลลิเมตร อยู่ตรงกลางสำหรับหยอดน้ำปูนทรายเชื่อมระหว่างก้อนบนและล่างทางแนวดิ่ง และใช้เสริมเหล็กยึดโครงหลังคา

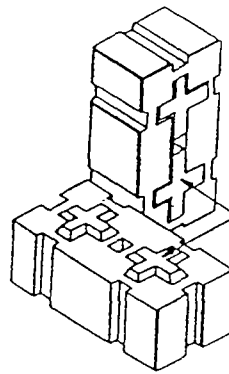
2.5.2 มีกากบาทบนสูง 4 มิลลิเมตร ที่ด้านบน 2 จุด และมีกากบาทเว้าลึก 8 มิลลิเมตร ที่ด้านล่าง 2 จุด เมื่อนำมาวางซ้อนทับเป็นแนวตรงหรือแนวสลับ จะครอบกันได้สนิท (locked block) ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนทางแนวนอนได้

2.5.3 มีร่องทางแนวดิ่งได้ 6 ร่อง ขนาดร่องละ 12.50×25.00 มิลลิเมตร สำหรับวางบล็อกต่อและหยอดน้ำปูนทรายเชื่อมตามแนวนอน ร่องแต่ละร่องสามารถถอดออกได้

2.5.4 สามารถทำครึ่งก้อนได้ เพื่อใช้ในการก่อแบบสลับแนวให้ได้แนวตรงทางแนวดิ่งตรงมุมหรือหัวท้ายผนัง

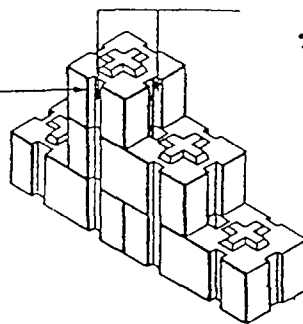


(ก)



กากบาทฐานสูง 4 มิลลิเมตร
ที่ด้านบน 2 จุด และ
กากบาทหัวลึก 8 มิลลิเมตร
ที่ด้านล่าง 2 จุด

(ข)



ร่องทางแนวตั้ง 6 ร่อง
ขนาดร่องละ 12.50 × 25.00 มิลลิเมตร

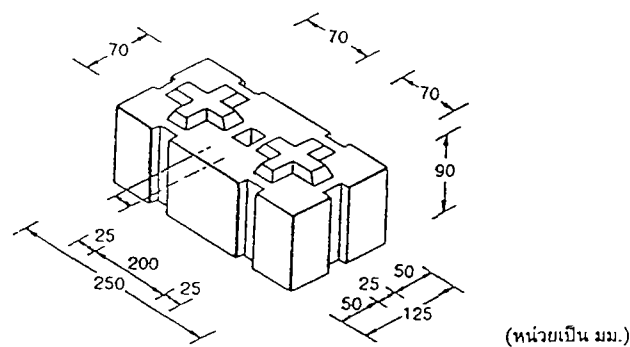
วางในลักษณะสลับครึ่งก้อน

(ค)

ภาพประกอบ 6 การใช้อินเตอร์ล็อกกิ้งบล็อก

ขนาดของอินเตอร์ล็อกกิ้งบล็อก มีดังนี้

1. ขนาดเต็มก้อน มีความกว้าง 125 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร และสูง 90 มิลลิเมตร
2. ขนาดครึ่งก้อน มีความกว้าง 125 มิลลิเมตร ยาว 125 มิลลิเมตร และสูง 90 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 7 ลักษณะและขนาดของอินเตอร์ล็อกกิ่งบล็อก
(พงศ์พันธ์ วรสุทโธสถ. 2535 : 135 - 136)

2.6 ประโยชน์ของอิฐดินซีเมนต์เมื่อเทียบกับราคา อิฐดินซีเมนต์ใช้กับงานก่อสร้างได้หลายประเภท เช่น อาคารที่พักอาศัย ยุ้ง ฉาง ถึงเก็บน้ำฝน บ่อน้ำตื้น หรือแม้แต่รางระบายน้ำเขื่อนหรือฝาย โดยอาจจะต้องใช้ร่วมกับวัสดุประเภทอื่น ปัจจุบันนิยมใช้ก่อสร้างอาคารมาก เพราะมีความคงทน ต้นทุนผลิตต่ำ เหมาะสมกับสภาพทางเศรษฐกิจของชาวชนบท (จงรักษ์ พูลรอด. 2533 : 6) เกี่ยวกับเรื่องค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างอาคารด้วยอิฐดินซีเมนต์ จะมีราคาถูกกว่าอาคารที่ก่อสร้างด้วยอิฐชนิดอื่น เพราะการลงทุนสำหรับผลิตอิฐดินซีเมนต์ระดับชาวบ้านแล้ว มีเพียงค่าเครื่องอัดดิน ราคาประมาณ 3,800 บาท และเครื่องมือช่างไม้และช่างปูน รวมแล้วก็ประมาณ 6,000 บาท และเครื่องอัดดังกล่าวก็สามารถใช้หมุนเวียนในหมู่บ้านได้ เช่น ถ้ามีผู้ต้องการสร้างบ้าน 10 หลัง ก็จะสามารถเพียงครัวเรือนละ 600 บาท เท่านั้น ก็สามารถก่อสร้างบ้านได้ 10 หลังได้ เมื่อเทียบกับปริมาณเงินที่ลดจากการก่อสร้างบ้านไม้แล้วจะน้อยมาก ส่วนราคาต่อก้อนก็ต้องขึ้นอยู่กับปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ด้วย (รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 16)

3. วัตถุประสงค์ในการผลิตอิฐดินซีเมนต์

3.1 ดินลูกรัง ดินที่เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตอิฐดินซีเมนต์ ควรเป็นดินลูกรังหรือเป็นดินปนทรายสีแดง มีความร่วน ไม่จับตัวเป็นก้อน ควรเป็นดินที่ปราศจากเศษใบไม้ รากไม้ ซึ่งควรจะอยู่ลึกพ้นจากผิวดินหน้าอย่างน้อยประมาณ 50 เซนติเมตร มีส่วนผสมของทรายปนอยู่ประมาณร้อยละ 75 - 85 และมีดินเหนียวหรือเลนปนอยู่ อย่างน้อยร้อยละ 10 - 15 (กรมวิทยาศาสตร์. 2535 : 1 - 4) โดยมีคุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรัง ดังตาราง 3 และควรมีคุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง ดังตาราง 4

3.1.1 คุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรัง ดินลูกรังในแต่ละท้องถิ่นมีคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกัน สำหรับดินลูกรังที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ ควรมีคุณสมบัติทางเคมีดังตาราง 1

ตาราง 1 คุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรังที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์

ส่วนประกอบ	ปริมาณ ร้อยละ
SiO ₂	75 - 85
Al ₂ O ₃	8 - 12
Fe ₂ O ₃	1.5 - 3.5
MgO	0.5
SO ₃	0.5
CaO	0.01 - 0.3
Na ₂ O	0.60
K ₂ O	0.60
L.O.I	5

ที่มา : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2535 : 1 - 7)

3.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง ดินลูกรังโดยทั่วไปในประเทศจะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน จึงต้องนำมาตรวจสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาความเหมาะสมในการนำไปผลิตอิฐดินซีเมนต์ตามข้อสรุปดังตาราง 2

ตาราง 2 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง

คุณสมบัติทางกายภาพ	ปริมาณ
ปริมาณความชื้นของดิน (natural moisture content)	ร้อยละ 1.5 - 2.0
ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)	ร้อยละ 2.55 - 2.70
ค่าพิกัด (ดรชน) ความยืดหยุ่น (plasticity index)	น้อยกว่าร้อยละ 7
กำลังต้านทานแรงอัดของบล็อกดินซีเมนต์	มากกว่า 55 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
เฉลี่ยแต่ละก้อน (compressive strength)	
กำลังต้านทานแรงอัดของบล็อกดินซีเมนต์	มากกว่า 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
เฉลี่ยจากบล็อก 5 ก้อน (compressive strength)	
การดูดซึมน้ำของบล็อกดินซีเมนต์	น้อยกว่าร้อยละ 15 ของน้ำหนักบล็อก
(water absorption)	
ความทนทานในการรับน้ำหนัก	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 15
(หลังจากการทดสอบเปียกและแห้ง 6 รอบแล้ว)	

ที่มา : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2535 : 1 - 7)

3.1.3 การเก็บตัวอย่างดินสำหรับตรวจสอบ ควรพิจารณาและปฏิบัติ ดังนี้

ลักษณะดิน ควรเป็นดินที่ปราศจากเศษไม้ รากไม้ปนอยู่ เป็นดินปนทราย สีแดง หรือมีลักษณะคล้ายดินลูกรังที่มีความร่วนไม่จับตัวเป็นก้อน และควรตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของดินตามที่กรมวิทยาศาสตร์ แนะนำไว้

ความลึกของดิน ควรเป็นดินที่อยู่ลึกลงไป ห่างจากดินผิวน้ำอย่างน้อยประมาณ 50 เซนติเมตร

ปริมาณดิน ต้องใช้ดินอย่างน้อยประมาณ 70 กิโลกรัม

ข้อแนะนำการตรวจสอบคุณสมบัติของดินลูกรัง

การตรวจสอบเบื้องต้น จะเป็นการตรวจสอบคุณสมบัติของดินอย่างง่ายโดยไม่ต้องทำในห้องปฏิบัติการ หรือก่อนที่จะนำดินมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อดูจำนวนทรายในดิน

อุปกรณ์ ขวดแก้วเปล่า เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร สูง 20 - 30 เซนติเมตร เกลือ 2 ชั้นโตะ

วิธีการ ใส่ดินที่ต้องการทดสอบ (ควรเป็นดินที่อยู่ลึกลงไปให้พื้นดินผิวน้ำอย่างน้อย ประมาณ 50 เซนติเมตร) ลงไปประมาณ 1/3 ของขวด เติมน้ำลงไปจนระดับน้ำขึ้นมาอยู่ประมาณ 2/3 ของขวด เติมเกลือที่เตรียมไว้เพื่อช่วยให้การทดสอบมีผลดียิ่งขึ้น ปิดฝาขวดเขย่าประมาณ 1 นาที แล้วทิ้งให้ตกตะกอน ประมาณ 20 นาที เราจะสามารถรู้จำนวนของทรายในดิน โดยการวัดความหนาของชั้นทราย คิดเทียบกับความหนาของชั้นทราย และดินรวมกัน

ดินที่เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตอิฐดินซีเมนต์ ควรจะมีส่วนของทรายปนอยู่ประมาณร้อยละ 75 - 85 และมีดินเหนียวหรือเลนปนอยู่อย่างน้อยร้อยละ 10 - 15 (กรมวิทยาศาสตร์. 2535 : 1 - 4)

3.2 เถ้าแกลบ ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ปลูกข้าวได้มากและส่งออกจำหน่ายยังต่างประเทศมากเป็นอันดับหนึ่ง ในการสีข้าวเปลือกเพื่อให้ได้ข้าวสารนั้นย่อมจะได้แกลบเป็นวัสดุเหลือทิ้งปีหนึ่งๆ มีแกลบเหลือทิ้งประมาณ 3 ล้านตัน แกลบส่วนใหญ่โรงสีนำกลับไปใช้เป็นเชื้อเพลิงและคำนวณกันว่า อาจจะได้แกลบปีละ 450,000 ตัน เมื่อนำมาเผาจะได้เถ้าแกลบร้อยละ 15 ของแกลบ แต่เดิมแกลบส่วนใหญ่นอกจากจะใช้เป็นเชื้อเพลิงแล้วยังนำไปผสมดินทำเป็นอิฐ ปัจจุบันได้มีการนำแกลบมาใช้งานอย่างกว้างขวางมากขึ้น เช่น ใช้รองรังสัตว์มีปีก ใช้ดูดน้ำมันที่หกหรือเปื้อน ใช้เป็นวัสดุสำหรับกรอง เป็นต้น ส่วนเถ้าแกลบนั้นการนำไปใช้ประโยชน์ว่ายังน้อยอยู่และก่อให้เกิดปัญหาในการนำเอาไปทิ้งด้วย ชาวบ้านนิยมเอาไปถมที่เป็นหลุมเป็นบ่อทำให้พื้นที่ตรงนั้นแข็งและแน่นดี ในบางที่การก่อสร้างทางด่วนมีดินค่อนข้างอ่อน ก็จะใช้เถ้าแกลบผสมกับปูนขาวถมที่ดินในขณะที่จะเอาทรายลง เป็นต้น การเผาแกลบที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันจะได้แกลบที่มีสีและคุณสมบัติต่างกัน เถ้าแกลบขาวได้จากการคั่ว ๆ เถ้าแกลบที่อุณหภูมิต่ำโดยมีความชื้นพอประมาณหรือได้จากการเผาแกลบที่อุณหภูมิต่ำจนได้สีเทาแล้วค่อย ๆ เฝ้าที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส จนเปลี่ยนเป็นสีขาว ส่วนเถ้าแกลบเทา ได้จากการเผาแกลบที่อุณหภูมิไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส และเถ้าแกลบดำได้จากการ

เผาแกลบที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงแต่ไม่เกิน 1,200 องศาเซลเซียส เช่น เผาแกลบเป็นเชื้อเพลิงจากโรงสีข้าว (อนุชิต กิจสวัสดิ์. 2527 : 3 - 4)

3.2.1 สารประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ แกลบเมื่อนำมาเผาจะเป็นเถ้าแกลบที่มีสารประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันไม่มากนักในแต่ละท้องถิ่น ซึ่งโดยทั่วไปจะมีสารประกอบทางเคมีดังตาราง 3

ตาราง 3 สารประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ

สารประกอบทางเคมี	ส่วนผสม ร้อยละ
SiO ₂	94.5
Al ₂ O ₃	traces
Fe ₂ O ₃	traces
CaO	0.23
MgO	0.23
Sulphate	1.13
Na ₂ O	0.78
K ₂ O	0.10

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2523 : 23; อ้างอิงมาจาก Rice products utilization vol.1 1974 : 6

3.2.2 การเลือกเถ้าแกลบในการทำอิฐดินซีเมนต์

สำหรับเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาโดยใช้อุณหภูมิต่ำจะมีความชื้นพอประมาณ ซิลิกาจะอยู่ในรูปของอสัณฐาน (amorphous) แต่ถ้าได้จากการเผาที่อุณหภูมิต่ำแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงอีกครั้งหนึ่งจะอยู่ในรูปอสัณฐานเป็นจำนวนน้อย และอยู่ในรูปสัณฐานผสม (crystobalite) มาก ส่วนเถ้าแกลบเทาจะอยู่ในรูปของอสัณฐาน และเถ้าแกลบดำจะอยู่ในรูปของอสัณฐานผสมเป็นส่วนใหญ่ เถ้าแกลบขาวจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าเถ้าแกลบเทา และเถ้าแกลบเทาจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าเถ้าแกลบดำ เถ้าแกลบดำจึงเหมาะสมในการนำมาผสมกับดินลูกรังและปูนซีเมนต์ เพื่อต้องการให้อิฐดินซีเมนต์แข็งแรงมากยิ่งขึ้น

3.3 ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์คือวัสดุที่เป็นเชื้อประสานในงานปูนชนิดต่าง ๆ เช่น งานคอนกรีต งานปูนหล่อ ปูนก่อ ปูนฉาบ เป็นต้น มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเทาหรือขาว เมื่อถูกน้ำจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกลายเป็นสภาพคล้ายปูนและแข็งตัวเรื่อย ๆ ถ้าปฏิบัติได้ถูกต้องจะสามารถเชื่อมประสานวัสดุที่แข็งแรง เช่น หิน กรวด ทราย ให้ติดกันแน่นกลายเป็นของแข็งเนื้อเดียวกันดุจดั่งหิน (สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2528. : 1)

ความสะอาดของปูนซีเมนต์ อัตราการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์นอกเหนือไปจากส่วนประกอบทางเคมีแล้ว ยังขึ้นอยู่กับอนุภาคของปูนซีเมนต์ด้วย ถ้ามีปูนซีเมนต์สองอย่างที่มีน้ำหนักเท่ากับปูนซีเมนต์ชนิดที่มีขนาดอนุภาคหยาบทำปฏิกิริยากับน้ำช้ากว่า ในขณะที่ปูนซีเมนต์ละเอียดสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้เร็วกว่าและมีอัตราการก่อตัวและแข็งตัวเร็วกว่า ถ้าปูนซีเมนต์มีอนุภาคละเอียดมากไป

ปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศก่อนและจับตัวกันเป็นก้อน ซึ่งจะทำให้คุณภาพของปูนซีเมนต์เสียไปได้ (วินิต ช่อวิเชียร. 2529 : 18)

ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำเมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ ปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะเริ่มขึ้น ยังผลให้เกิดความเหนียวและเกาะแน่นกับวัสดุ ส่วนผสมความร้อนที่ได้จากการที่ปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำเรียกว่า ฮีต ออฟ ไฮเดรชัน (heat of hydration) วัดเป็นแคลอรีต่อกรัมของปูนซีเมนต์ การทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะหยุดเมื่อน้ำหนีออกจากเนื้อปูนซีเมนต์หมดแล้ว ดังนั้นการบ่มซึ่งเป็นวิธีป้องกันการสูญเสียในเนื้อปูนจึงเป็นสิ่งสำคัญ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์นั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณของปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสมชนิดของปูนซีเมนต์ ความละเอียดของปูนซีเมนต์และอุณหภูมิโดยรอบสำหรับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่ำกว่า 0.55 โดยน้ำหนักรจะขึ้นอยู่กับทำให้ น้ำจากภายนอกด้วย การบ่มกันตามธรรมชาติบ่มกันเป็นเวลา 1 เดือน โดยให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานของห้องทดลองจะพบว่า ปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกินกว่าร้อยละ 80 อย่างไรก็ดีตามสภาพเนื้อปูนจะแห้งภายในเวลาไม่กี่วัน หลังจากนั้นปูนซีเมนต์ยังคงทำปฏิกิริยากับน้ำต่อไปโดยอาศัยน้ำที่ซึมจากใต้ดิน หรือความชื้นในขณะฝนตก หรือในขณะที่มีความชื้นในอากาศสูง

ดังนั้นภายใต้ภาวะแวดล้อมธรรมชาติการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำ จะยังคงมีต่อไปอีกหลายปี (วินิต ช่อวิเชียร. 2529 : 19)

การก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ เมื่อปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำจะได้ซีเมนต์เหลวมีลักษณะนุ่มเหลวปั้นง่าย ถ้าปล่อยให้แห้งโดยไม่รบกวนในไม่ช้าซีเมนต์เหลว จะสูญเสียความชื้นตัวและถึงสถานะที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้โดยปราศจากการแตกร้าว การเปลี่ยนภาวะนี้เรียกว่า “การก่อตัวและการแข็งตัว” ของปูนซีเมนต์ ตามปกติการก่อตัวเป็นก้อนแข็งมีขึ้นภายในสองถึงสามชั่วโมงซึ่งจะเกิดการแข็งตัวตามมา โดยอาจใช้เวลาเป็นเดือนหรือปี ขึ้นอยู่กับการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ

ระยะเวลาการก่อตัว หมายถึง เวลาที่ส่วนผสมของปูนซีเมนต์และน้ำใช้ในการเปลี่ยนแปลงจากสภาพเหลวไม่กั้นตัวเป็นก้อนแข็ง แบ่งออกเป็น 2 อย่างคือ ระยะ เวลาเริ่มก่อตัวหรือการก่อตัวระยะสั้นและระยะเวลาก่อตัวเสร็จ (เริ่มแข็งตัว) หรือการ ก่อตัวระยะปลาย การหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เหลวนี้เป็นสิ่งจำเป็น ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงระยะเวลาที่ต้องทำงานให้เสร็จ ได้แก่ การเท การเขย่า และการตบแต่ง เป็นต้น ก่อนที่ซีเมนต์เหลวนั้นจะแข็งตัว การทดสอบระยะเวลาการก่อตัว (ระยะเวลา ต้นและระยะเวลาลาย) อาจทำได้โดยการทดสอบแบบกิลมอร์ (Gillmore test) หรือใช้การทดสอบแบบไวแคต

ความแข็งแรงของปูนซีเมนต์เป็นเครื่องชี้ถึงลักษณะกำลังรับแรง ความแข็งแรงของปูนซีเมนต์มักจะทดสอบจากแท่งมอร์ตาร์ ซึ่งทำขึ้นโดยการผสมทรายกับปูนซีเมนต์ เพื่อตรวจสอบว่าปูนซีเมนต์ที่จะนำไปใช้มีคุณภาพมาตรฐานหรือไม่ ความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารประกอบที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์และความละเอียดของผงปูนซีเมนต์ การทดสอบจะมีทั้งการทดสอบหาความต้านทานแรงอัดและต่อแรงดึง (วินิต ช่อวิเชียร. 2529 : 20 - 22)

3.3.1 สารประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทยมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน แต่ก็ควรอยู่ในขอบเขตของส่วนประกอบทางเคมีดังตาราง 4

ตาราง 4 ขอบเขตของส่วนประกอบทางเคมีของซีเมนต์

สารประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)
CaO	60 - 67
SiO ₂	17 - 25
Al ₂ O ₃	3 - 8
Fe ₂ O ₃	0.5 - 0.6
MgO	0.1 - 5.5
K ₂ O + Na ₂ O	0.5 - 1.3
SO ₃	1 - 3

ที่มา : สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ (2528. : 14)

3.3.2 ปูนซีเมนต์ซิลิกา (silica cement) ดราเลื่อ เป็นพวกซีเมนต์ที่นำทราย หรือหินซึ่งเป็นวัสดุเฉื่อยบดให้ละเอียดเข้ากับปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์ชนิดที่ 1 ประมาณร้อยละ 25 - 30 (ชาญชัย จารุจินดา. 2527 : 2) ได้ผ่านการทดสอบมาตรฐานอังกฤษมีความละเอียด 3,200 ตารางเซนติเมตร/แกรม การยัดหัดตัวที่ 2 ชั่วโมง 30 นาที และแข็งตัวเต็มที่ 2 ชั่วโมง 30 นาที แรงอัดต่อก้อนมอร์ตาร์บ่ม 3 วัน รับแรงอัด ได้ 230 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร บ่ม 7 วัน รับแรงอัดได้ 290 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (นิพัทธ์ เจียมประเสริฐ. 2524 : 145) เหมาะในการใช้งานก่อสร้างทั่วไปที่ไม่ใช่โครงสร้าง เช่น ทำถนน ทางเท้า ปูนก่อ ปูนฉาบ เป็นต้น เกิดความร้อนน้อยไม่ทำให้เกิดการแตกร้าวแก่อาคารในส่วนที่ใช้ซีเมนต์ชนิดนี้

3.4 น้ำ น้ำสำหรับผสมในการทำอิฐดินซีเมนต์ ถ้าใช้ปริมาณน้อย อิฐที่ได้จะแตกร่อนง่าย โดยเฉพาะขอบหรือถ้าปริมาณน้ำต่ำมากก่อนอิฐก็จะแตกทันที เมื่อยกออกจากแบบอัด ปริมาณน้ำจึงควรอยู่ที่ร้อยละ 10 - 15 ของอัตราส่วนผสม

หน้าที่ของน้ำ

3.4.1 ทำให้ปูนซีเมนต์และวัสดุผสมมีความลื่น สะดวกต่อการเทและอัดตามแบบ

3.4.2 ทำให้วัสดุผสมยึดเกาะแน่นขึ้นด้วยปูนซีเมนต์เป็นตัวยึดเกาะโดยรอบ ทำให้แข็งแรงขึ้น น้ำที่ใช้ควรปราศจากฝุ่น น้ำตาล โซเดรท ฟอสเฟต บอเรท กรดแทนนิก และสารอินทรีย์อื่น ๆ ปะปนอยู่ เพราะจะทำให้อิฐแข็งตัวช้า หรือกำลังอัดลดลงได้ โดยเฉพาะเกลือ แร่เหล็ก และกรดแทนนิก ซึ่งจะทำให้เกิดรอยเปื้อน และสีเปรอะเปื้อนไม่สวย (สุพรรณิ มีกุล. 2540 : 47)

จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ปูนซีเมนต์ดราเลื่อมาเป็นส่วนผสมเพื่อจับยึดโดยถือเอาดินลูกรังและเถ้าแกลบซึ่งเป็นส่วนผสมเป็นตัวเฉื่อย

4. คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์

สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 ได้กำหนดไว้ 3 ด้าน เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติให้ตรงกัน มีดังนี้

4.1 การทดสอบการรับแรงอัด เป็นการทดสอบหาความสามารถในการรับน้ำหนักหรือแรงอัดของตัวอย่างอิฐแต่ละก้อน โดยทดสอบตามแนวตั้งในลักษณะการใช้งานจริง (ธีระพันธ์ ทองประวดี. 2526 : 4)

การทดสอบอิฐแต่ละชุดจัดแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนเพื่อหาหลักการเปลี่ยนแปลงของแรงอัดเมื่อ

อิฐอายุ 7 วัน ในสภาพแห้งปกติ (unsoaked)

อิฐอายุ 14 วัน ในสภาพแห้งปกติ (unsoaked)

อิฐอายุ 28 วัน ในสภาพเปียกหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นมาผึ่งให้แห้ง ก่อนทดสอบ (Soaked)

4.1.1 วิธีการดำเนินการทดสอบการรับแรงอัด

4.1.1.1 นำอิฐตากแห้งผิวน้ำให้เรียบร้อยแล้วใช้กระดาษโรเนียวที่ใช้แล้วที่มีความกว้าง ยาว เท่ากับแผ่นอิฐ จำนวน 34 แผ่น ปะทับด้านบนและด้านล่าง ด้านละ 17 แผ่น เพื่อการปรับหน้าแผ่นอิฐ

4.1.1.2 ใช้แผ่นเหล็กหนา 6 มม. ขนาดเท่ากับแผ่นอิฐขนาดแผ่นอิฐ 2 ด้าน

4.1.1.3 นำเข้าเครื่องทดสอบอัดแรง

4.1.1.4 เมื่อถึงจุดประลัยได้ค่าออกมาเป็นตัวเลขในระบบมาตราแบบ กิโลนิวตัน จะต้องแปลงค่าเป็นระบบเมตริก โดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{จำนวนน้ำหนักกิโลกรัม} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากการอัด}}{9.8} \times 100$$

4.1.1.5 เมื่อต้องการทราบค่าของแรงอัดต่อตารางเซนติเมตรก็จะกระทำโดยการหาพื้นที่หน้าตัดที่แน่นอนของอิฐแต่ละก้อนเป็นจำนวนพื้นที่ตารางเซนติเมตร แล้วจึงนำพื้นที่ของอิฐไปหา ค่าของจุดประลัยของอิฐแต่ละก้อน

4.1.1.6 การบันทึกค่าทั้งหมดตั้งแต่การชั่งน้ำหนักอิฐใช้ตารางในรูปแบบที่กำหนดไว้ การทดสอบแรงอัดกระทำเช่นเดียวกันทั้ง 3 ชุดทดลอง (รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 62)

4.1.2 เกณฑ์มาตรฐานในการรับแรงอัด มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 ได้กำหนดกำลังอัดของอิฐขั้นต่ำสุด ต้องรับน้ำหนักได้เท่ากับ 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

4.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ เป็นการหาปริมาณของน้ำที่แฝงอยู่ในผลิตภัณฑ์ ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามปริมาณของน้ำที่เปลี่ยนไป ในการหาความชื้นจะชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบและน้ำหนักที่แห้ง การนำชิ้นทดสอบไล่ความชื้นเพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและสมควรมีได้ ชิ้นทดสอบ (กระทรวงอุตสาหกรรม. 2532 : 17) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ

มอก. 77 - 2517 จึงได้กำหนดเกณฑ์ด้านการรับแรงอัด และการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกไว้ดังตาราง 5

ตาราง 5 เกณฑ์กำหนดกำลังด้านแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ

กำลังด้านแรงอัดต่ำสุด กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร				การดูดกลืนน้ำสูงสุด (เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน) กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร					
เฉลี่ยจากพื้นที่รวม		เฉลี่ยจากพื้นที่สุทธิ		น้ำหนักคอนกรีตเมื่ออบแห้ง กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร					
เฉลี่ยจาก คอนกรีต บล็อก 5 ก้อน	คอนกรีต บล็อกแต่ละ ก้อน	เฉลี่ยจาก คอนกรีต บล็อก 5 ก้อน	คอนกรีต บล็อก แต่ละ ก้อน	2001 หรือ มากกว่า	1921 ถึง 2000	1841 ถึง 1920	1761 ถึง 1840	1681 ถึง 1780	1680 หรือ น้อยกว่า
70	55	140	110	160	176	192	208	224	240
70	55	-	-	207	224	240	256	272	288
50	40	-	-	-	-	-	-	-	-

ที่มา : รุทร์ กล่อมชุ่ม. (2530 : 51)

4.2.1 วิธีการทดสอบการดูดซึมน้ำ

นำอิฐที่ผ่านการทดสอบการรับแรงอัด สูตรการใช้ส่วนผสมที่สามารถรับแรงอัดได้เกิน 100 กิโลกรัมเท่านั้น เมื่ออิฐครบกำหนด 28 วัน ตัวอย่างอิฐสูตรที่รับแรงได้เกิน 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะถูกนำไปอบที่ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ตัวอย่างละ 2 ก้อน หลังจากนำอิฐออกจากเตาอบแล้วจะทิ้งไว้จนอิฐมีอุณหภูมิตามปกติ จึงนำมาชั่งด้วยตาชั่งที่สามารถชั่งน้ำหนักได้มากกว่า 20 กิโลกรัม มีความละเอียดถึง 10 กรัม อิฐแต่ละก้อนจะถูกบันทึกน้ำหนักหลังอบเป็นครั้งที่ 1 หลังจากนั้นนำอิฐไปแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง จึงนำอิฐมาวางไว้จนหมดหยดน้ำที่จับบนก้อนอิฐแล้วนำกลับไปชั่งใหม่จะทราบปริมาณการดูดซึมน้ำได้จากสูตร

$$X = \frac{B - A}{A} \times 100$$

B = น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์หลังจากแช่น้ำ 24 ชั่วโมง

A = น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์หลังจากอบแห้ง

X = ค่าร้อยละของน้ำหนักของน้ำที่อิฐแต่ละก้อนดูดซึมได้

(รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 63)

4.2.2 เกณฑ์มาตรฐานในการดูดซึมน้ำมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 ได้กำหนดการดูดซึมน้ำของอิฐไว้ห้ามเกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก (รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 51)

4.3 การทดสอบความคงทนต่อการสึกกร่อน

วิธีที่จะนำเข้าทำการทดสอบการสึกกร่อนเป็นวิธีชุดเดียวกับวิธีที่ผ่านการทดสอบการดูดซึมน้ำมาแล้ว จำนวน 42 ก้อน เพราะวิธีที่ผ่านการรับน้ำหนักแรงกดเกิน 100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรทุกก้อน มีคุณสมบัติการดูดซึมน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ ถ้าวิธีที่ทำด้วยสูตรเหล่านี้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเรื่องการสึกกร่อนด้วย จะได้ไม่ต้องนำตัวแปรอื่นเข้ามาทำให้เสียเวลาในการตัดสินใจ

4.3.1 วิธีการทดสอบความคงทนต่อการสึกกร่อน

4.3.1.1 นำวิธีเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 12 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักก้อนวิธีที่แห้งและบันทึกค่าไว้

4.3.1.2 หลังจากบันทึกค่าแล้วนำวิธีไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.3.1.3 นำเข้าเตาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาขัดด้วยแปรงลวดทองเหลืองตลอดผิวของวิธีด้วยแรงกดประมาณ 1.5 กิโลกรัม การขัดจะกระทำบนผิวหน้าด้านหน้ากว้างทั้งสองด้าน ด้านละ 20 ครั้ง ด้านข้างวิธีจะถูด้านละ 10 ครั้ง ด้านหัวท้ายด้านละ 5 ครั้ง การทำครบกระบวนการตั้งแต่ 1 - 3 เช่นนี้ถือว่าเป็นการทำครบ 1 รอบ

4.3.1.4 นำวิธีที่ถูแล้วไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าครั้งที่ 1 ไว้

4.3.1.5 ปฏิบัติขั้นตอนตั้งแต่ข้อ 2 - 4 ให้ครบ 12 ครั้ง จนครบ 42 ก้อน

4.3.1.6 บันทึกการชั่งน้ำหนักทุกครั้งจนถึงครั้งสุดท้าย จึงนำมาหาค่าร้อยละการสึกกร่อนของวิธี โดยใช้สูตร

$$\text{ค่าร้อยละของการสึกกร่อน} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

W_1 = น้ำหนักวิธีหลังอบแห้งก่อนการทดสอบ

W_2 = น้ำหนักวิธีอบแห้งหลังการทดสอบ 12 รอบ

4.3.2 เกณฑ์มาตรฐานในการวัดความคงทนต่อการสึกกร่อน มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 ได้กำหนดค่าความคงทนต่อการสึกกร่อนไว้ว่า มวลของดินที่ยอมให้สูญเสียมากที่สุดจากการทดสอบ 12 รอบ จะต้องไม่เกินร้อยละ 10 (รูปทรงกลมซุ่ม. 2530 : 51)

5. ความเหมาะสมในการใช้งาน

วิธีดินซีเมนต์ที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ควรมีคุณสมบัติทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด และลักษณะงานที่เหมาะสม ก็ควรดูค่าการรับแรงอัดประกอบด้วยดังนี้

การรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์	ลักษณะงาน
1. ค่าไม่ต่ำกว่า 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร	ก่อผนังธรรมดาแทนคอนกรีตบล็อก หรืออิฐดินเผา เช่น รั้ว หรือกำแพงทางระบายน้ำ ฯลฯ
2. ค่ามากกว่า 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร	ใช้ก่อผนังรับน้ำหนัก เช่น บ้านพักอาศัย

อีกประการหนึ่งที่ควรพิจารณาร่วมด้วยก็คือสี ซึ่งก็ต้องขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ โดยส่วนใหญ่จะใช้สีน้ำตาลแดง สีส้มอ่อน เป็นต้น

(ธีรพันธ์ ทองประวัติ. 2526 : 7)

6. ต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะคิดต้นทุนการผลิตจากราคาเครื่องมือ วัสดุที่ใช้คือ ดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ เท่านั้น ส่วนราคาเก่าแก่กลับ และค่าแรงในการอัดอิฐไม่นำมาคิดเป็นต้นทุน แต่จะนำเสนอวิธีคิดอย่างง่ายไว้ดังนี้

5.1 คิดต้นทุนการผลิตจากการใช้เครื่องอัดหินวาม

5.1.1 ค่าเครื่องอัดหินวาม ราคาเครื่องละ	8,000 บาท
ค่าบำรุงรักษาระหว่างการทำงาน	500 บาท
อายุการใช้งานของเครื่องใช้ผลิตได้ประมาณ	100,000 ก้อน
รวมค่าเครื่องและการบำรุงรักษา	$8,000 + 500 = 8,500$ บาท
เพราะฉะนั้นคิดค่าเครื่องมือต่อการทำอิฐ 1 ก้อน	$\frac{8,500}{100,000} = 0.085$ บาท (1)

5.1.2 ค่าดินลูกรัง

ดินลูกรัง 1 คันรถ (6 ลูกบาศก์เมตร)	350 บาท
ดินลูกรัง 1 ลูกบาศก์เมตร ราคา	$\frac{350}{6} = 58.330$ บาท
ถ้าดินลูกรัง 1 ลูกบาศก์เมตร ผลิตอิฐได้ประมาณ	886 ก้อน
เพราะฉะนั้นดินลูกรังที่ใช้ผสม 1 ก้อนคิดเป็น	$\frac{58.33}{886} = 0.065$ บาท (2)

5.1.3 ค่าปูนซีเมนต์

ค่าปูนซีเมนต์ซีลีกาตราเสือ ถุงละ	85 บาท
ปูนซีเมนต์ 1 ถุง ผลิตอิฐได้ประมาณ	120 ก้อน
เพราะฉะนั้นอิฐก้อนหนึ่งมีค่าปูนซีเมนต์	$\frac{85}{120} = 0.710$ บาท (3)

จากข้อ 5.1.1 - 5.1.3 จึงสามารถรวมค่าใช้จ่ายในการทำอิฐ ทั้งหมดต่ออิฐ 1 ก้อน

$$\begin{aligned}
 &= (1) + (2) + (3) \\
 &= 0.085 + 0.065 + 0.710 \\
 &= 0.860 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

คิดราคาไว้เพื่อเหลือเผื่อขาดในการทำอิฐก้อนละ 0.140 บาท

เพราะฉะนั้นราคาต้นทุนในการทำอิฐทั้งก้อนจะตกก้อนละ 1 บาท

เครื่องอัดซินวาแรม ทำให้จำนวนการผลิตอิฐทำได้ชั่วโมงละ 60 ก้อน โดยใช้คนจำนวน

3 คนทำ

$$\text{ดังนั้น ในหนึ่งชั่วโมงเฉลี่ยคน 1 คน อัดอิฐได้คนละ } \frac{60}{3} = 20 \text{ ก้อน}$$

$$\text{ฉะนั้นในการทำงานวันละ 8 ชั่วโมง จะผลิตอิฐได้เฉลี่ยคนละ } 160 \text{ ก้อน}$$

$$\text{หากมีการคิดค่าแรงการผลิตควรคิดราคา 1 ก้อน } = 1 \text{ บาท}$$

สรุป

1. ราคาการผลิตอิฐดินซีเมนต์ที่ประชาชนทำเองในพื้นที่ราคาต่อก้อนไม่เกิน 1 บาท

2. เมื่อคิดรวมค่าแรงเพื่อการจำหน่ายด้วยแล้ว อิฐ 1 ก้อน ราคา 2 บาท

ราคาในข้อ 1 และ 2 อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ เพราะที่คำนวณมา ยังเป็นการประมาณ

ราคาแบบหยาบ ๆ ยังไม่คิดรายละเอียดมากนัก

(รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 105 - 106)

5.2 คิดต้นทุนการผลิตจากการใช้เครื่องอัดบล็อกแบบไฮดรอลิก (สำหรับการวิจัย)

5.2.1 ค่าเครื่องอัดบล็อกแบบไฮดรอลิก ราคาเครื่องละ 85,000 บาท

ค่าบำรุงรักษาระหว่างการทำงาน 500 บาท

อายุการใช้งานของเครื่องใช้ผลิตได้ประมาณ 1,000,000 ก้อน

รวมค่าเครื่องและการบำรุงรักษา $85,000 + 500 = 85,500$ บาท

$$\text{เพราะฉะนั้นคิดค่าเครื่องมือต่อการทำอิฐ 1 ก้อน } \frac{85,500}{1,000,000} = 0.085 \text{ บาท (1)}$$

5.2.2 ค่าดินลูกรัง

ดินลูกรัง 1 คันรถ (6 ลูกบาศก์เมตร) ราคา 550 บาท

$$\text{ดินลูกรัง 1 ลูกบาศก์เมตร ราคา } \frac{550}{6} = 91.660 \text{ บาท}$$

ดินลูกรัง 1 ลูกบาศก์เมตร ผลิตอิฐได้ประมาณ 886 ก้อน

$$\text{เพราะฉะนั้นดินลูกรังที่ใช้งาน 1 ก้อนคิดเป็น } \frac{91.66}{886} = 0.103 \text{ บาท (2)}$$

5.2.3 ค่าปูนซีเมนต์

ค่าปูนซีเมนต์ตราเสือ ถุงละ 109 บาท

ปูนซีเมนต์ 1 ถุง ผลิตอิฐได้ประมาณ 120 ก้อน

$$\text{เพราะฉะนั้นอิฐ 1 ก้อน มีค่าปูนซีเมนต์ } \frac{109}{120} = 0.908 \text{ บาท (3)}$$

จากข้อ 5.2.1 - 5.2.3 จึงสามารถรวมค่าใช้จ่ายในการทำอิฐทั้งหมดต่ออิฐ 1 ก้อน

$$\begin{aligned}
 &= (1) + (2) + (3) \\
 &= 0.085 + 0.103 + 0.908 \\
 &= 1.096 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

คิดราคาไว้เผื่อเหลือเผื่อขาดในการทำอิฐก้อนละ 0.904 บาท

เพราะฉะนั้นราคาต้นทุนในการทำอิฐทั้งก้อนจะตกก้อนละ 2 บาท

เครื่องอัดบล็อกแบบไฮโดรลิก จำนวนการผลิตอิฐทำได้ชั่วโมงละ 63 ก้อน

โดยใช้จำนวนคน 1 คน

ฉะนั้นในการทำงานวันละ 8 ชั่วโมง จะผลิตอิฐได้เฉลี่ยคนละ $8 \times 63 = 504$ ก้อน

คิดค่าแรงการผลิต 1 ก้อน = 1 บาท

นั่นคือต้นทุนการผลิตอิฐด้วยเครื่องอัดบล็อกแบบไฮโดรลิก เท่ากับ $2 + 1 = 3$ บาท

จากราคาขายจริงก้อนละ 6 บาท

ส่วนรายละเอียดที่กรมโยธาธิการ ได้สรุปการคิดราคาเปรียบเทียบวัสดุผลิตอิฐดินซีเมนต์และวัสดุฉาบและเปรียบเทียบขนาด น้ำหนัก และราคาโดยประมาณของอิฐ และบล็อกไว้ ดังตาราง 6 - 7 นั้น เป็นการเปรียบเทียบจากอิฐที่จำหน่ายกันโดยทั่วไป เพื่อให้เห็นความแตกต่างชัดเจนขึ้นระหว่าง อิฐดินซีเมนต์กับอิฐชนิดอื่น ๆ

ตาราง 6 เปรียบเทียบราคาวัสดุทำอิฐดินซีเมนต์และวัสดุฉาบ (พ.ศ. 2526)

ปริมาณ ซีเมนต์ (ร้อยละ)	ขนาดอิฐดินซีเมนต์						การแก้ไขผิวหน้า		
	9 x 14 x 29			7 x 14 x 29			โรยผง	คอนกรีต	ทาด้วยยาง
	ซีเมนต์ (กก.)	ตราข้าง (บาท)	ตราเสือ (บาท)	ซีเมนต์ (กก.)	ตราข้าง (บาท)	ตราเสือ (บาท)	ซีเมนต์	ลูกรัง	มะตอยน้ำ
3	0.23	0.41	0.33	0.18	.032	0.26	เพิ่ม	เพิ่ม	เพิ่ม
6	0.46	0.82	0.66	0.36	0.64	0.51	ราคา	ราคา	ราคา
9	0.70	1.24	0.98	.054	0.97	0.77	4 - 5	.32	.38
12	0.93	1.65	1.31	0.73	1.29	1.03	สตางค์/ ก้อน	สตางค์/ ก้อน	สตางค์/ ก้อน
15	1.17	2.06	1.64	0.91	1.61	1.28			
18	1.40	2.47	1.97	1.09	1.93	1.54			

- หมายเหตุ 1. ปูนซีเมนต์ตราข้าง 88 บาท/ถุง (50 กก.)
 2. ปูนซีเมนต์ตราเสือ 70 บาท/ถุง (50 กก.)
 3. 9 x 14 x 29 หน้า 7.8 กก./ก้อน
 4. 7 x 14 x 29 หน้า 6.1 กก./ก้อน
 5. ประมาณราคาเฉพาะค่าปูนซีเมนต์ไม่คิดค่าแรงงานและดินลูกรัง

ที่มา : หน่วยวิเคราะห์วัสดุ กรมโยธาธิการ. 2526 : 27

ตาราง 7 เปรียบเทียบขนาด น้ำหนัก และราคาโดยประมาณของอิฐและบล็อกชนิดต่าง ๆ

ชนิด	ขนาด : มม	น้ำหนัก : กก.		ราคา : บาท	
		ต่อ 1 ก้อน	ต่อ 1 ตารางเมตร	ต่อ 1 ก้อน	ต่อ 1 ตารางเมตร
อิฐดินซีเมนต์	90 x 140 x 290	7.10	169.40	2.00	44.00
	90 x 140 x 290	6.10	134.20	1.75	38.50
อิฐก่อสร้างสามัญ (อิฐมอญ)	35 x 75 x 160	0.60	78.00	0.35	45.50
อิฐชลบุรี (2 รู)	30 x 70 x 160	0.58	87.00	0.50	75.00
อิฐ บปก.	70 x 105 x 225	3.00	120.00	3.00	120.00
อิฐกลางซีเอ็ม (10 B 5)	80 x 145 x 290	3.40	68.00	4.15	83.00
อิฐกลางซีเอ็ม (11 B 2)	80 x 145 x 145	1.90	76.00	4.00	160.00
คอนกรีตบล็อก	70 x 190 x 390	6.00	75.00	2.90	36.25
ดีเทคบล็อก	70 x 190 x 390	7.00	87.50	3.50	43.75
ซีแพคบล็อก	90 x 190 x 390	10.30	128.75	5.50	68.75

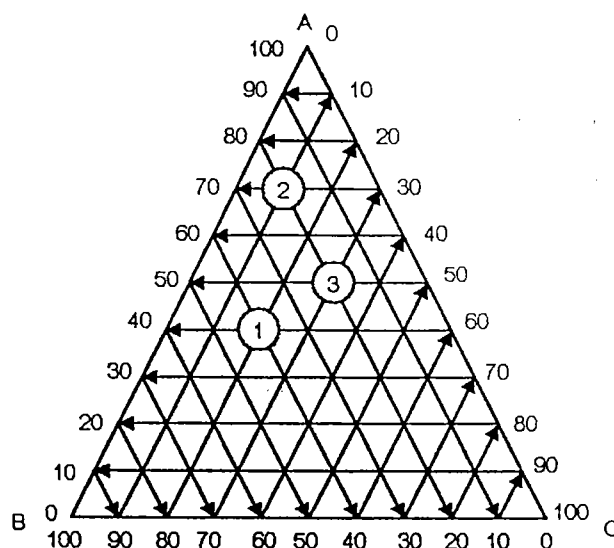
หมายเหตุ (1) อิฐดินซีเมนต์ใช้ซีเมนต์ร้อยละ 9 และดินส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ร้อยละ 5

(2) น้ำหนักต่อตารางเมตร คำนวณจากความหนาของกำแพงซึ่งหนาเท่ากับความหนาของอิฐและบล็อกชนิดต่าง ๆ

ที่มา : หน่วยวิเคราะห์วัสดุ กรมโยธาธิการ. 2526 : 28

7. วิธีอ่านค่าส่วนผสมจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า

การคำนวณส่วนผสมจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า (triangular diagram)



ภาพประกอบ 8 แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า

จากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า สามารถคำนวณหาอัตราส่วนผสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ ได้โดยวางวัตถุสิบไว้ตรงมุมทั้งสามของแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า แล้วอ่านค่าออกมาเป็นส่วนผสม ของวัตถุสิบแต่ละตัว ส่วนมากเป็นวิธีการทดสอบแบบสุ่มเอาหลาย ๆ จุด และเลือกเอาเฉพาะจุดที่ได้ ผลดีมาใช้งาน (Hopper. 1984 : 67 - 72)

วิธีอ่านค่าของตารางในสามเหลี่ยมด้านเท่า (Triaxial Diagram) ให้ A, B และ C เป็น วัตถุสิบ 3 ชนิด

1. การหาค่าของวัตถุสิบ A ให้อ่านตามค่าในแกนนอน ($\leftarrow$) ค่าให้อ่านที่ด้าน a แทนดินลูกรัง

2. การหาค่าของวัตถุสิบ B ให้อ่านตามค่าในแกนเฉียง ($\swarrow$) ที่ลากจากฐาน A ไปฐาน B ค่าให้อ่านที่ด้าน b แทนเถ้าแกลบ

3. การหาค่าของวัตถุสิบ C ให้อ่านตามค่าในแกนเฉียง ($\nearrow$) ที่ลากจากฐาน B ไปฐาน C ค่าให้อ่านที่ด้าน c แทนปูนซีเมนต์

ค่าทั้ง 3 ค่าที่อ่านได้จากตารางนี้เมื่อรวมกันแล้วต้องได้ 100 พอดี ถ้าหากรวมกันแล้วได้ มากกว่าหรือน้อยกว่า 100 แสดงว่าอ่านค่าใดค่าหนึ่งผิด ตัวอย่างเช่น

จุดที่ 1 ประกอบด้วย	ดินลูกรัง	=	40
	เถ้าแกลบ	=	40
	ปูนซีเมนต์	=	20
จุดที่ 2 ประกอบด้วย	ดินลูกรัง	=	70
	เถ้าแกลบ	=	20
	ปูนซีเมนต์	=	10
จุดที่ 3 ประกอบด้วย	ดินลูกรัง	=	50
	เถ้าแกลบ	=	20
	ปูนซีเมนต์	=	30

(สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. 2534 : 65 - 66)

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่มีส่วนสำคัญต่อการลดต้นทุนในการผลิต โดยการนำเถ้าแกลบมาผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ในการผลิตแผ่นใยไม้ - ซีเมนต์ เช่น งานวิจัยปูนซีเมนต์เถ้าแกลบ เถ้าแกลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบมากถึงร้อยละ 90 เมื่อนำมาผสมปูนซีเมนต์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สามารถใช้เถ้าแกลบแทนปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์ได้ถึงร้อยละ 50 - 60 โดยที่กำลังแรงอัดเท่ากับ ส่วนผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ปริญญา จินดาประเสริฐ. 2529 : 81)

งานวิจัยอิฐดินซีเมนต์ของกรมโยธาธิการ (2526 : 28) ทดลองทำอิฐดินซีเมนต์จากส่วนผสม ดินลูกรัง จังหวัดราชบุรี ใช้เครื่องชีนวาแรมอัดอิฐขนาดกว้าง 14 เซนติเมตร ยาว 29 เซนติเมตร หนา 9 เซนติเมตร พบว่า ดินลูกรังที่เหมาะสมที่สุดควรมีขนาดที่สามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ควรใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่างร้อยละ 10 - 15 โดยน้ำหนัก คุณสมบัติทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์ที่สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนด (ธีระพันธ์ ทองประวัติ. 2526 : 6 - 7)

งานวิจัยของ รุทร์ กล่อมขุ่ม (2530 : 83) ได้ค้นพบสิ่งที่สำคัญคือ การรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ที่ใช้ดินลูกรังร่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ผสมทรายครึ่งต่อครึ่ง เมื่อนำมาผสมซีเมนต์ 1.5 - 1 : 9 แล้วพบว่า เมื่ออิฐมีอายุเพียง 7 วัน ไม่ว่าจะอยู่ใน สภาพแห้งหรือเปียกน้ำก็ตาม มีความสามารถในการรับแรงอัดได้เกินกว่าที่ มอก. กำหนด ไว้คือ 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรทั้งสิ้น ยิ่งเมื่ออิฐมีอายุนานวันจนถึง 28 วัน แล้วยังมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะอิฐสูตรที่ 21 - 22 ประกอบไปด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างดินลูกรังต่อบุณซีเมนต์ต่อน้ำเท่ากับ 10 : 22.50 : 19 และ 10 : 18.50 : 18.50 ตามลำดับ อิฐที่ได้มีสีน้ำตาลแดง จะอยู่ในสภาพแห้งหรือเปียกน้ำก็ตามมีความสามารถรับแรงกดอัดได้เกิน 113 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรขึ้นไป มีค่าดูดซึมน้ำเพียงร้อยละ 7.15 ไม่มีปัญหาการดูดซึมน้ำ การสึกกร่อนไม่เกินร้อยละ 4.12 ซึ่ง มอก. 77 - 2517 กำหนดไว้ร้อยละ 10 นับว่าประสบผลสำเร็จในการทดลอง

รายงานการสำรวจแหล่งดินสำหรับผลิตอิฐดินซีเมนต์ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2535 : 1 - 1 - 6 - 8) ค้นพบว่า ลักษณะดินลูกรังที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ ควรเป็นดินปนทรายสีแดงหรือดินที่มีความร่วนไม่จับตัวเป็นก้อน และควรตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นก่อนนำมาใช้ ควรขุดดินลึกจากผิวดินไม่ต่ำกว่า 50 เซนติเมตร มีส่วนผสมของทรายปนอยู่ประมาณร้อยละ 75 - 85 และมีดินเหนียวหรือเลนปนอยู่อย่างน้อยร้อยละ 10 - 25

จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าว จึงสามารถเปรียบเทียบการคิดหาอัตราส่วนผสมของกรรมโยธาธิการ ของ รุทร์ กล่อมขุ่ม และของผู้วิจัยได้ดังตาราง 8

ตาราง 8 การเปรียบเทียบการคิดหาอัตราส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์

อัตราส่วนที่	วิธีคิดหาอัตราส่วนผสมของ									
	กรรมโยธาธิการ			รุทร์ กล่อมขุ่ม			ผู้วิจัย			
	ดินลูกรัง ร้อยละ	ปูนซีเมนต์ ร้อยละ	น้ำ ร้อยละ	ดินลูกรัง ร้อยละ	ปูนซีเมนต์ ร้อยละ	น้ำ ร้อยละ	ดินลูกรัง ร้อยละ	เถ้าแกลบ ร้อยละ	ปูนซีเมนต์ ร้อยละ	น้ำ ร้อยละ
1	85	3	12	100	22.50	19.00	10	80	10	10
2	82	6	12	100	18.50	18.50	20	70	10	10
3	79	9	12	100	15.30	18.00	30	60	10	10
4	76	12	12	100	13.50	17.50	40	50	10	10
5	73	15	12	100	22.50	19.00	50	40	10	10
6	70	18	12	100	18.50	18.50	60	30	10	10
7	85	3	12	100	15.50	18.00	70	20	10	10
8	82	6	12	100	13.50	17.50	80	10	10	10
9	79	9	12	100	22.50	19.00	70	10	20	12
10	76	12	12	100	18.50	18.50	60	10	30	12
11	73	15	12	100	15.50	18.00	50	10	40	12
12	70	18	12	100	13.50	17.50	40	10	50	15

จากการศึกษางานวิจัยของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย พบว่า ช่วงของดินลูกรังที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงร้อยละ 10 - 100 ปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงร้อยละ 1 - 20 และน้ำควรอยู่ในช่วงร้อยละ 10 - 15 เมื่อพิจารณาตาราง 8 งานวิจัยของกรมโยธาธิการได้กำหนดให้ปูนซีเมนต์อยู่ในช่วง 3 - 18 และน้ำร้อยละ 12 ทุกสูตร เพื่อหาช่วงของดินลูกรังในแต่ละอัตราส่วน โดยอัตราส่วนทุกสูตรเมื่อรวมดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ และน้ำ เข้าด้วยกันแล้วต้องได้ 100 ส่วนงานวิจัยของ รุทร์ กล่อมชุ่ม ใช้หลักการคิดหาร้อยละของส่วนผสมโดยให้ดินลูกรังมีค่าคงที่ 100 จากการผสมระหว่างดินลูกรังที่ผ่านตะแกรง ขนาด 4 มิลลิเมตร ขนาด 0.074 มิลลิเมตร และขนาด 1.8 มิลลิเมตร แล้วให้ช่วงปูนซีเมนต์อยู่ระหว่างร้อยละ 13.50 - 22.50 และน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 17.50 - 19.00 จากการคำนวณโดยใช้สูตรที่ได้จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการได้ว่าค่าร้อยละของน้ำหนักซีเมนต์ เท่ากับ 13 ค่าความชื้นร้อยละ 15 เทียบจากปริมาณดินแห้ง 100 ดังตัวอย่างเช่น

$$\text{ถ้าต้องการหาปริมาณปูนซีเมนต์} = 13 \times \frac{100}{100} = 13$$

$$\text{หาปริมาณน้ำ} = (100 \times 13) \times \frac{15}{100} = 16.95$$

ก็แสดงว่าส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์ประกอบไปด้วย ดินลูกรัง : ปูนซีเมนต์ : น้ำ = 100 : 13 : 16.95 สำหรับงานวิจัยของผู้วิจัยนั้นคิดอัตราส่วนผสมจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า โดยหาค่าวัตถุดิบหลัก 3 ตัว คือ ดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์ ก่อนใน 100 หลังจากนั้นจึงหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม โดยสุ่มเอาที่ร้อยละ 10 - 15 งานวิจัยครั้งนี้จึงแตกต่างจากของเดิมในส่วนของการเพิ่มวัตถุดิบ คือ เถ้าแกลบ และวิธีการคิดหาส่วนผสม ซึ่งก็ยังคงอาศัยงานวิจัยที่ศึกษามาเป็นพื้นฐานในการคิดหาอัตราส่วนผสม ดังกล่าว

กล่าวโดยสรุป ผู้วิจัยศึกษางานวิจัยดังกล่าวก็เพื่อหาแนวทางในการลดต้นทุนการผลิตและทดลองหาอัตราส่วนผสมใหม่จากวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่น โดยคำนึงถึงองค์ประกอบที่ได้จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวด้วย และคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์ต้องได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนดหรือมากกว่านั้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้ดินลูกรัง
เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์ มีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง
2. ตัวแปรที่จะศึกษา
3. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ
4. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง
5. ลำดับขั้นในการทดลอง
6. แผนการดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

1.1 ดินลูกรัง จากบริเวณอำเภอบางบาล จังหวัดพิจิตร ซึ่งขุดลึกจากผิวน้ำดินไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลแดง มีทรายร้อยละ 75 แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด

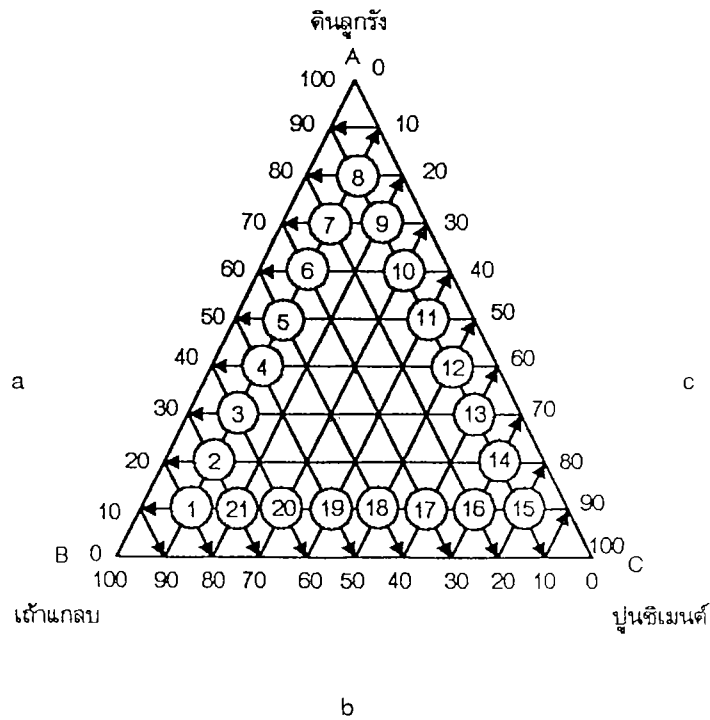
1.2 เถ้าแกลบ จากโรงอิฐอำเภอมือง จังหวัดพิจิตร มีสีเทา ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช (0.037 มิลลิเมตร)

1.3 ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica Cement) ตราเสือ

2. ตัวแปรที่จะศึกษา

2.1 ตัวแปรต้น ได้แก่

2.1.1 อัตราส่วนผสมของวัตถุดิบ ซึ่งประกอบด้วย ดินลูกรัง อยู่ในช่วงร้อยละ 10 - 80 เถ้าแกลบ อยู่ในช่วงร้อยละ 10 - 80 และปูนซีเมนต์ อยู่ในช่วงร้อยละ 10 - 80 โดยการสุ่มแบบเจาะจงจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า ดังภาพประกอบ 9 จำนวน 21 อัตราส่วนผสม แต่ละอัตราส่วนผสมผลิตอิฐดินซีเมนต์ จำนวน 20 ก้อน รวม 420 ก้อน ดังตาราง 9



กำหนดให้ค่าที่อ่านได้จากด้าน a แทน ดินลูกรัง
 กำหนดให้ค่าที่อ่านได้จากด้าน b แทน เถ้าแกลบ
 กำหนดให้ค่าที่อ่านได้จากด้าน c แทน ปูนซีเมนต์

ภาพประกอบ 9 ตำแหน่งของอัตราส่วนผสมแต่ละสูตรที่ใช้ในการทดลอง 21 สูตร

เมื่อกำหนดอัตราส่วนผสมได้แล้ว 21 อัตราส่วนผสม สามารถกำหนดค่าของดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์ ได้ดังตาราง 9

ตาราง 9 อัตราส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์ที่คำนวณได้จากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า

สูตรที่	ส่วนผสมทั้งหมด			น้ำ
	ดินลูกรัง (A)	เถ้าแกลบ (B)	ปูนซีเมนต์ (C)	
1	10	80	10	10
2	20	70	10	10
3	30	60	10	10
4	40	50	10	10
5	50	40	10	10
6	60	30	10	10
7	70	20	10	10
8	80	10	10	10
9	70	10	20	12
10	60	10	30	12
11	50	10	40	12
12	40	10	50	15
13	30	10	60	15
14	20	10	70	15
15	10	10	80	15
16	10	20	70	15
17	10	30	60	15
18	10	40	50	15
19	10	50	40	12
20	10	60	30	12
21	10	70	20	12

2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์มีดังนี้

2.2.1 การรับแรงอัด

2.2.2 การดูดซึมน้ำ

2.2.3 ความคงทนต่อการสึกกร่อน

สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์ ด้านการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อน จะใช้เกณฑ์มาตรฐานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 โดยจะนำอิฐดินซีเมนต์ที่ได้จากการทดลองอัตราส่วนละ 20 ก้อนมาทำการทดสอบ โดยเลือกตัวอย่างอิฐอย่างมีระบบ จะนำอิฐหมายเลข 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 รวม 8 ก้อน มาทุกอัตราส่วน จะทดสอบการรับแรงอัดเมื่ออิฐดินซีเมนต์อายุครบ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ ทดสอบการดูดซึมน้ำและความคงทนต่อการสึกกร่อนเมื่ออิฐดินซีเมนต์อายุ 28 วัน

3. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์

เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 ด้านคุณสมบัติทางกายภาพ มีดังนี้

- 3.1 การรับแรงอัด ได้ไม่น้อยกว่า 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- 3.2 การดูดซึมน้ำ ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก
- 3.3 ความคงทนต่อการสึกกร่อน ให้มวลของดินที่สูญเสียไปมากที่สุดหลังจากการทดสอบ 12 รอบ จะต้องไม่เกินร้อยละ 10

4. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 4.1 เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก
- 4.2 เครื่องชั่งไฟฟ้าความไวสูงมีความละเอียดจุดทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 4.3 เตาอบที่สามารถปรับอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0 - 200 องศาเซลเซียส
- 4.4 เครื่องทดสอบแรงอัด
- 4.5 เครื่องบดละเอียด
- 4.6 ไขมีดปาดฝุ่น
- 4.7 กระดาษเขียนแผนภูมิ
- 4.8 แปรงลวดทองเหลือง
- 4.9 ตะแกรงร่อนขนาด 100 - 200 เมช (0.037 - 0.074 มิลลิเมตร)
- 4.10 ถังมือยาง
- 4.11 นาฬิกาจับเวลา
- 4.12 เกรียงเหล็กแบบใบโพธิ์
- 4.13 ตลับเมตร
- 4.14 อ่างสำหรับแช่อิฐ
- 4.15 กระบอกตวงน้ำขนาด 500 - 1,000 มิลลิเมตร
- 4.16 บัวสำหรับรดน้ำ

5. ลำดับขั้นในการทดลอง

ขั้นตอนในการทดลองครั้งนี้จะแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 เป็นการตรวจสอบคุณสมบัติของดินลูกรังที่เหมาะสมสำหรับผลิตอิฐดินซีเมนต์

ขั้นที่ 2 เป็นการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้

1. ดินลูกรัง
2. เถ้ากลบ
3. ปูนซีเมนต์

ขั้นที่ 3 เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์

1. การทดสอบการรับแรงอัด
2. การทดสอบการดูดซึมน้ำ

3. การทดสอบความคงทนต่อการสึกกร่อน

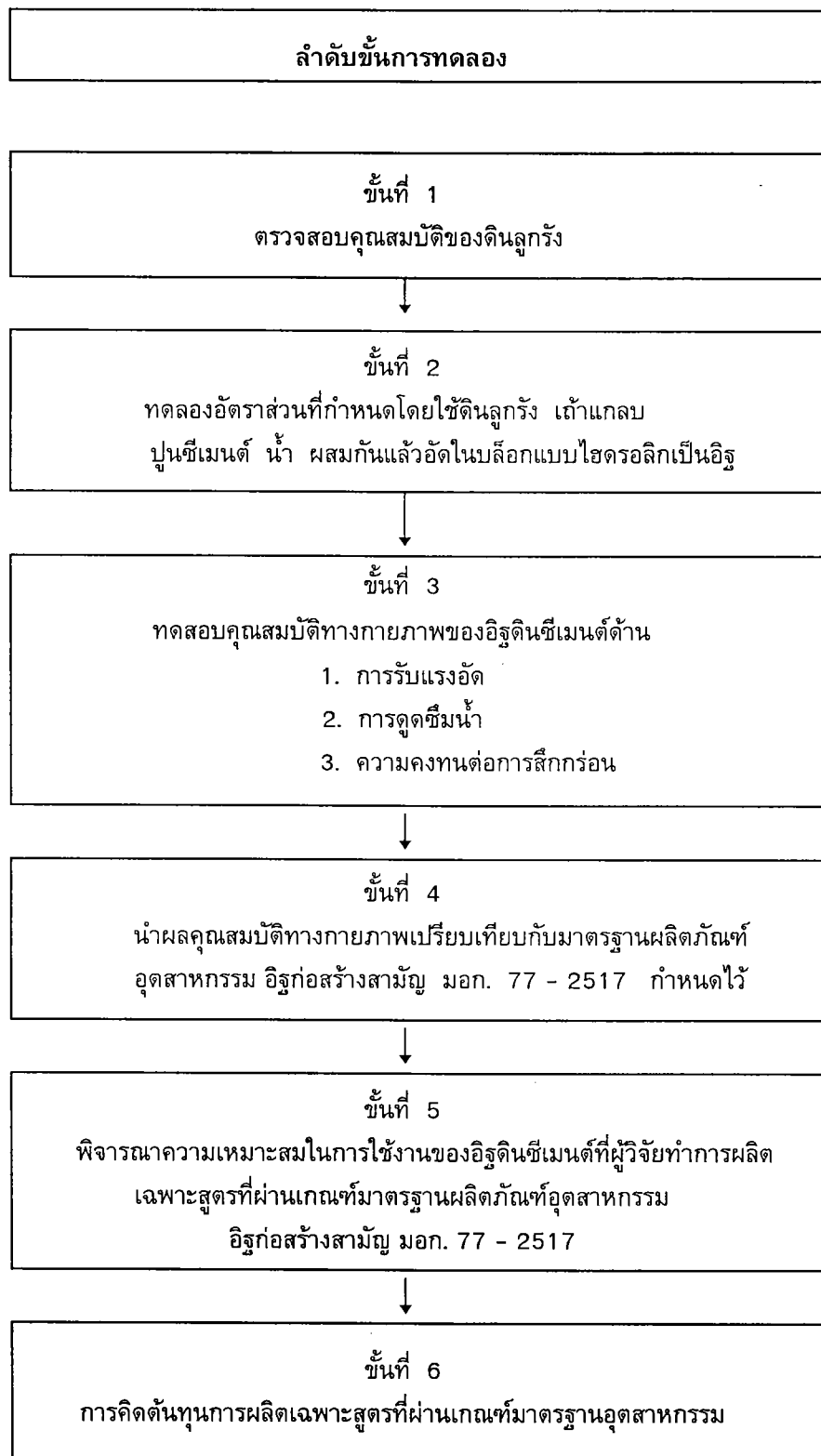
ขั้นที่ 4 นำผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพที่ได้จากการวิจัยเชิงทดลองในครั้งนี้มา
เปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517

1. สูตรที่เหมาะสมกับงานก่อผนังธรรมดา
2. สูตรที่เหมาะสมกับงานก่อผนังรับน้ำหนัก

ขั้นที่ 5 พิจารณาความเหมาะสมในการใช้งานของอิฐดินซีเมนต์ที่ผู้วิจัยทำการผลิต

ขั้นที่ 6 การคิดต้นทุนการผลิต

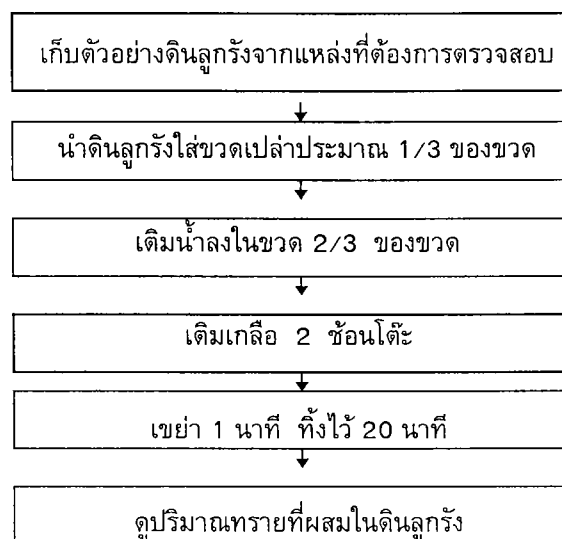
ดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 ลำดับขั้นการทดลองอิฐดินชีเมนต์

ขั้นที่ 1 การตรวจสอบคุณสมบัติของดินลูกรังที่เหมาะสมสำหรับผลิตอิฐดินซีเมนต์
มีลำดับขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เก็บตัวอย่างดินลูกรังสำหรับนำมาตรวจสอบ โดยต้องขุดดินลึกลงไปจากผิวหน้าอย่างน้อย 50 เซนติเมตร ปราศจากเศษใบไม้ รากไม้ มีลักษณะร่วน
2. ใส่ดินที่ต้องการตรวจสอบลงในขวดแก้วเปล่าประมาณ $1/3$ ของขวด
3. เติมน้ำลงไปจนระดับน้ำขึ้นมายุ่งประมาณ $2/3$ ของขวด
4. เติมเกลือที่เตรียมไว้ 2 ช้อนโต๊ะ
5. ปิดฝาขวดเขย่าประมาณ 1 นาที แล้วทิ้งให้ตกตะกอน 20 นาที
6. ดูจำนวนทรายในดินได้จากการวัดความหนาของชั้นทราย คิดเทียบกับความหนาของชั้นทรายและดินรวมกัน โดยดินลูกรังที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ต้องมีปริมาณทรายผสมอยู่ประมาณร้อยละ 75 - 85 ดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 ลำดับขั้นตอนการทดลองที่ 1 การตรวจสอบคุณสมบัติของดินลูกรัง

ขั้นที่ 2 การทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์
มีลำดับการทดลองดังนี้

1. กำหนดอัตราส่วนผสมของอิฐดินซีเมนต์จากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า โดยสุ่มอย่างมีระบบ ซึ่งสุ่มมาเพียง 21 อัตราส่วนผสม ซึ่งอัตราส่วนผสมดังกล่าวจะประกอบไปด้วยดินลูกรังร้อยละ 10 - 80 แก้วกลม อยู่ในช่วงร้อยละ 10 - 80 และปูนซีเมนต์ อยู่ในช่วงร้อยละ 10 - 80

2. เตรียมวัสดุอุปกรณ์

2.1 ดินลูกรัง เป็นดินลูกรังที่ได้จากบริเวณ อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง โดยขุดให้ลึกลงไปจากผิวของหน้าดินไม่ต่ำกว่า 50 เซนติเมตร มีสีน้ำตาลแดง มีทรายร้อยละ 75 นำมาตากให้แห้งโดยการทุบให้ดินร่วน เพื่อสะดวกในการนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียดแล้วก็นำไปผึ่งแดดอีกครั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 ชั่วโมง และมีการพลิกกลับหน้าดินทุก ๆ ระยะ 3 - 4 ชั่วโมง

2.2 ถ้ำกลบ นำกลบจากโรงสีข้าว เมาที่อุณหภูมิตั้งที่ 1,000 องศาเซลเซียส แล้วนำมา ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช (0.037 มิลลิเมตร) เก็บไว้ในที่ที่ไม่มี ความชื้น

2.3 ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ชนิด 42.5

3. ชั่งวัตถุดิบที่เตรียมไว้ตามอัตราส่วนที่กำหนด จำนวน 21 อัตราส่วน ตามรายละเอียด ดังตาราง 9 โดยแต่ละสูตรต้องมีปริมาณพอเหมาะสามารถอัดอิฐดินซีเมนต์ได้ 20 ก้อน

4. นำส่วนผสมทั้งหมดของแต่ละสูตรคลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วผสมน้ำประมาณร้อยละ 10 - 15 โดยน้ำหนัก ค่อย ๆ รดน้ำและคลุกเคล้าให้เข้ากัน

5. อัดด้วยบล็อกแบบไฮดรอลิก ขนาดกว้าง 12.25 เซนติเมตร ยาว 24.50 เซนติเมตร หนา 9.00 เซนติเมตร ซึ่งมีวิธีการอัดดังนี้

5.1 ตรวจสอบอัตราส่วนผสมในแต่ละสูตรใส่ในแบบไฮดรอลิกทีละสูตร

5.2 เทส่วนผสมให้สูงกว่าขอบของบล็อกประมาณ 1 เซนติเมตร ปิดฝาครอบแล้ว หมุนเกลียวให้แน่น

5.3 คลายเกลียวออก กดปุ่มดันตัวก้อนให้ลอยตัวขึ้น

5.4 ยกฝาครอบส่วนบนขึ้นพร้อมทั้งยกอิฐออกจากแท่นที่ล้นก่อน

5.5 นำอิฐวางบนแผ่นกระเบื้องเรียบ ด้วยความระมัดระวัง เพื่อไม่ให้มีฝุ่น

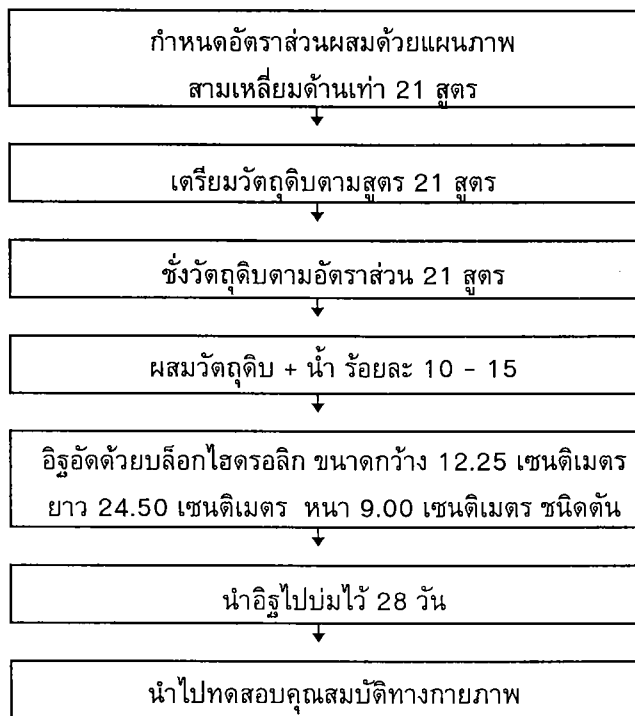
5.6 ทำเครื่องหมายไว้ทุกก้อนของแต่ละสูตร โดยระบุให้สูตรที่ 1 - 21 เป็น A - U และสูตรที่ 1 จะผลิตอิฐจำนวน 20 ก้อน ทำเครื่องหมายได้เป็น A1 - A20 ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึง U1 - U20 จนครบทุกสูตร เรียงอิฐเป็นแถวเพื่อสะดวกในการนำไปบ่มต่อไป

6. นำอิฐดินซีเมนต์ที่ได้จากการอัดจนครบตามจำนวนที่กำหนดในแต่ละสูตรไปบ่ม โดยมีขั้นตอนดังนี้

6.1 นำอิฐดินซีเมนต์ไปจัดวางเป็นชุด ๆ ในที่ร่มที่ไม่ถูกฝน ทิ้งไว้ 1 คืน

6.2 เอากระสอบป่านชุบน้ำคลุมไว้ 3 วัน โดยใช้ฝักบัวรดน้ำให้มีความชื้นอยู่เสมอ ระยะเวลา 3 วัน ที่คลุมด้วยกระสอบไว้

6.3 เปิดกระสอบออกเพื่อผึ่งให้อิฐแห้ง เพื่อทดสอบการรับแรงอัดตามกำหนดเวลา 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 ลำดับขั้นการทดลองตอนที่ 2 การทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์

ขั้นที่ 3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพมีลำดับขั้นการดำเนินการดังนี้

1. การทดสอบการรับแรงอัด

1.1 นำอิฐมาตกแต่งผิวหน้าให้เรียบแล้วใช้กระดาดโรนียวที่ใช้แล้วมีความกว้างความยาว เท่าแผ่นอิฐ จำนวน 34 แผ่น ปะทั้งด้านบนและด้านล่าง ด้านละ 17 แผ่น เพื่อการปรับหน้าแผ่นอิฐ

1.2 ใช้แผ่นเหล็กหนา 3/4 นิ้ว (22 มิลลิเมตร) ขนาดเท่ากับแผ่นอิฐขนาดแผ่นอิฐ

2 ด้าน

1.3 นำเข้าเครื่องทดสอบอัดแรง

1.4 เมื่อถึงจุดประลัยได้ค่าออกมาเป็นตัวเลขบอกค่าเป็นกิโลกรัม เป็นระบบเมตริก

1.5 เมื่อต้องการทราบค่าของแรงอัดต่อตารางเซนติเมตรก็จะกระทำโดยการหาพื้นที่หน้าตัดที่แน่นอนของอิฐแต่ละก้อนเป็นพื้นที่ตารางเซนติเมตร แล้วจึงนำพื้นที่ของอิฐไปหารค่าของจุดประลัยของอิฐแต่ละก้อน

1.6 บันทึกค่าต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในตาราง 10 - 12

2. การทดสอบการดูดซึมน้ำ

2.1 นำอิฐไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ตัวอย่างละ 2 ก้อน

2.2 นำออกจากเตาทิ้งไว้ให้อิฐมีอุณหภูมิปกติ

2.3 นำมาชั่งด้วยตาชั่งไฟฟ้าที่มีความละเอียด มีจุดทศนิยม 2 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักไว้

2.4 วางอิฐในแนวตั้งไว้จนหมดหยดน้ำที่จับบนก้อนอิฐแล้วนำกลับไปชั่งใหม่

2.5 คำนวณหาค่าความดูดซึมน้ำ

3. การทดสอบความคงทนต่อการสึกกร่อน

3.1 นำอิฐเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักก้อนอิฐที่แห้งจดบันทึกไว้

3.2 นำอิฐไปแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง

3.3 นำเข้าเตาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.4 นำมาขัดด้วยแปรงลวดทองเหลืองขัดพื้น แปรงลวดทองเหลืองที่ขัดมีเส้นลวดขนาดความหนาของเส้นลวดไม่ต่ำกว่า 0.4 มิลลิเมตร ประมาณ 1.5 กิโลกรัม ไม่น้อยกว่า 100 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีเส้นลวด 10 เส้น ขัดโดยใช้แรงกดตลอดผิวของอิฐด้วยแรงกด การขัดจะกระทำบนผิวหน้า ด้านกว้างทั้งสองด้าน ด้านละ 20 ครั้ง ด้านข้างของอิฐจะถูด้านละ 10 ครั้ง ด้านหัวท้ายด้านละ 5 ครั้ง การทำครบกระบวนการดังกล่าวถือว่าทำครบ 1 รอบ

3.5 นำอิฐที่ขัดแล้ว (ข้อ 3.4) ไปชั่งน้ำหนัก

3.6 ปฏิบัติตามขั้นตอนตั้งแต่ข้อ 3.2 - 3.5 ให้ครบ 12 ครั้ง ครั้งละ 2 ก้อน

3.7 บันทึกการชั่งน้ำหนักทุกครั้ง จนถึงครั้งสุดท้ายจึงนำมาหาค่าร้อยละของการสึกกร่อนของอิฐ

4. สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

4.1 สูตรหาค่าการดูดซึมน้ำ

$$\text{ค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ (กรัม)} - \text{น้ำหนักหลังอบแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักหลังอบแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

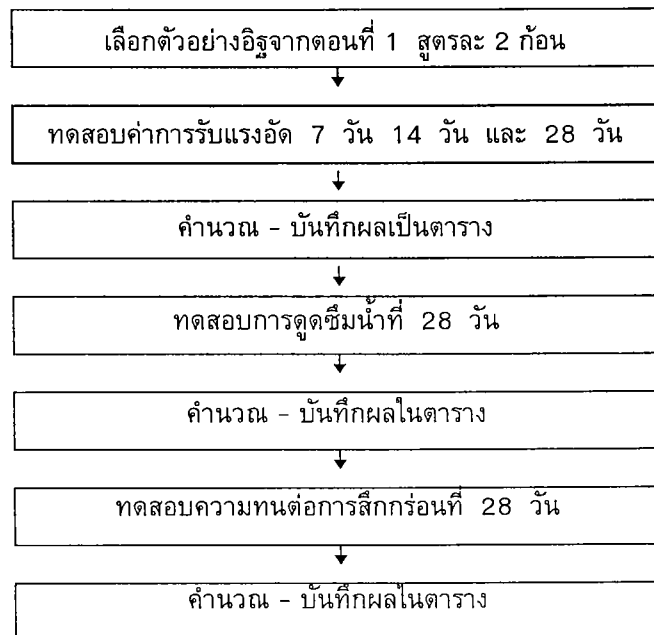
4.2 สูตรหาค่าการสึกกร่อน

$$\text{ค่าร้อยละของการสึกกร่อน} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

W_1 = น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังอบแห้งก่อนการทดสอบ

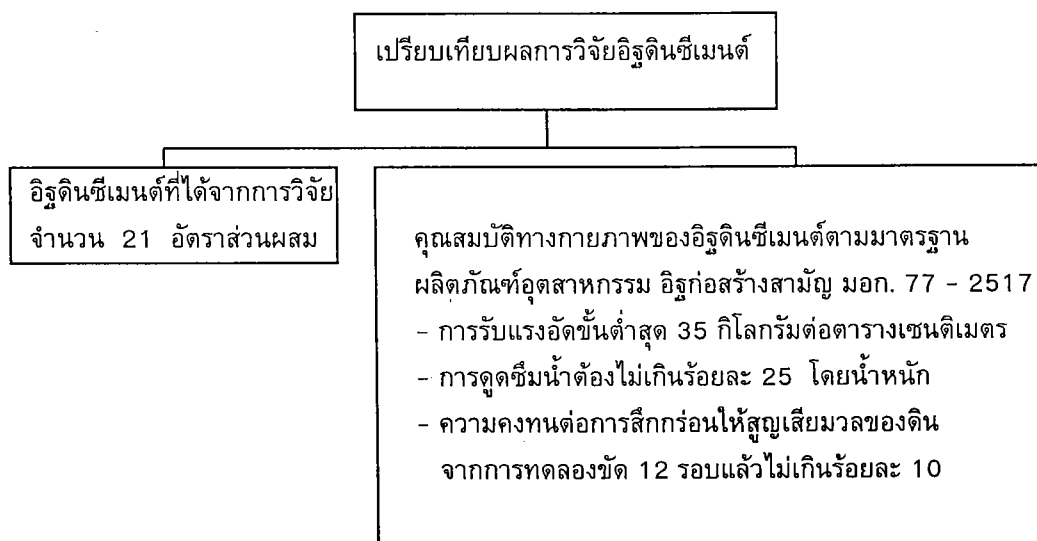
W_2 = น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์อบแห้งหลังการทดสอบ 12 รอบ

ดัดภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 ลำดับขั้นตอนการทดลองตอนที่ 3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

ขั้นที่ 4 นำผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพที่ได้จากการวิจัยเชิงทดลองในครั้งนี้ มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อัฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 เพื่อดูว่า สูตรใดบ้างเข้าเกณฑ์ที่กำหนด ดังภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 การเปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอัฐดินซีเมนต์จากการวิจัย กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อัฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517

สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์จะแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงอิฐดินซีเมนต์มีอายุ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน เพื่อสะดวกในการตรวจสอบ ดังตาราง 10 - 12

ตาราง 10 การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์บ่มอายุ 7 วัน

สูตรที่	การทดสอบการรับแรงอัดเมื่ออายุ 7 วัน				ค่าการรับแรงอัดเฉลี่ย ($\bar{x}$) (กิโลกรัม)
	อิฐหมายเลข	การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	อิฐหมายเลข	การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	
1	A2	.....	A4	.....	.....
2	B2	.....	B4	.....	.....
3	C2	.....	C4	.....	.....
4	D2	.....	D4	.....	.....
5	E2	.....	E4	.....	.....
6	F2	.....	F4	.....	.....
7	G2	.....	G4	.....	.....
8	H2	.....	H4	.....	.....
9	I2	.....	I4	.....	.....
10	J2	.....	J4	.....	.....
11	K2	.....	K4	.....	.....
12	L2	.....	L4	.....	.....
13	M2	.....	M4	.....	.....
14	N2	.....	N4	.....	.....
15	O2	.....	O4	.....	.....
16	P2	.....	P4	.....	.....
17	Q2	.....	Q4	.....	.....
18	R2	.....	R4	.....	.....
19	S2	.....	S4	.....	.....
20	T2	.....	T4	.....	.....
21	U2	.....	U4	.....	.....

ตาราง 11 การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์บ่มอายุ 14 วัน

สูตรที่	การทดสอบการรับแรงอัดเมื่ออายุ 14 วัน				ค่าการรับแรงอัดเฉลี่ย
	อิฐหมายเลข	การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	อิฐหมายเลข	การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	($\bar{x}$) (กิโลกรัม)
1	A6	.....	A8	.....	.....
2	B6	.....	B8	.....	.....
3	C6	.....	C8	.....	.....
4	D6	.....	D8	.....	.....
5	E6	.....	E8	.....	.....
6	F6	.....	F8	.....	.....
7	G6	.....	G8	.....	.....
8	H6	.....	H8	.....	.....
9	I6	.....	I8	.....	.....
10	J6	.....	J8	.....	.....
11	K6	.....	K8	.....	.....
12	L6	.....	L8	.....	.....
13	M6	.....	M8	.....	.....
14	N6	.....	N8	.....	.....
15	O6	.....	O8	.....	.....
16	P6	.....	P8	.....	.....
17	Q6	.....	Q8	.....	.....
18	R6	.....	R8	.....	.....
19	S6	.....	S8	.....	.....
20	T6	.....	T8	.....	.....
21	U6	.....	U8	.....	.....

ตาราง 12 การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์บ่มอายุ 28 วัน

สูตรที่	การทดสอบการรับแรงอัดเมื่ออายุ 28 วัน				ค่าการรับแรงอัดเฉลี่ย
	อิฐหมายเลข	การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	อิฐหมายเลข	การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	($\bar{x}$) (กิโลกรัม)
1	A10	.....	A12	.....	.....
2	B10	.....	B12	.....	.....
3	C10	.....	C12	.....	.....
4	D10	.....	D12	.....	.....
5	E10	.....	E12	.....	.....
6	F10	.....	F12	.....	.....
7	G10	.....	G12	.....	.....
8	H10	.....	H12	.....	.....
9	I10	.....	I12	.....	.....
10	J10	.....	J12	.....	.....
11	K10	.....	K12	.....	.....
12	L10	.....	L12	.....	.....
13	M10	.....	M12	.....	.....
14	N10	.....	N12	.....	.....
15	O10	.....	O12	.....	.....
16	P10	.....	P12	.....	.....
17	Q10	.....	Q12	.....	.....
18	R10	.....	R12	.....	.....
19	S10	.....	S12	.....	.....
20	T10	.....	T12	.....	.....
21	U10	.....	U12	.....	.....

ขั้นที่ 5 เลือกสูตรที่ดีที่สุดสำหรับนำไปผลิตอิฐดินซีเมนต์ต่อไป โดยพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งานของอิฐดินซีเมนต์ที่ผู้วิจัยทำการผลิต

โดยปกติแล้วอิฐดินซีเมนต์จะแบ่งความเหมาะสมไปใช้งานในงานต่าง ๆ ได้ 2 ลักษณะ ดังตาราง 15

ตาราง 15 ความเหมาะสมของอิฐดินซีเมนต์ในแต่ละสูตรเพื่อนำไปใช้งานด้านก่อผนังธรรมดาและก่อผนังรับน้ำหนัก

สูตรที่	คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์			ความเหมาะสมในการใช้งาน	
	การรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความคงทนต่อการสึกกร่อน (ร้อยละ)	ก่อผนังธรรมดา ไม่น้อยกว่า 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร	ก่อผนังรับน้ำหนัก ไม่น้อยกว่า 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					

เมื่อนำอิฐดินซีเมนต์ที่ได้จากการวิจัยมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานอุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 แล้วอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องพิจารณาควบคู่กันเพื่อนำ อิฐดินซีเมนต์ไปใช้งานคือสีของอิฐ ดังภาพประกอบ 16

ตาราง 16 การวิเคราะห์ผลการทดลองอิฐดินเหนียวด้านสีและลักษณะการนำไปใช้งาน

อัตราส่วนผสมที่	อัตราส่วนผสมโดยปริมาตร				คุณสมบัติทางกายภาพ			น้ำหนัก (กรัม)	สี เมื่อ 28 วัน	การพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งาน
	ดินลูกรัง	เถ้ากลบ	ปูนซีเมนต์	น้ำ	การรับแรงอัด (กก./ซ.ม. ²)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความคงทนต่อการสีกร่อน (ร้อยละ)			
1	10	80	10	10						
2	20	70	10	10						
3	30	60	10	10						
4	40	50	10	10						
5	50	40	10	10						
6	60	30	10	10						
7	70	20	10	10						
8	80	10	10	10						
9	70	10	20	12						
10	60	10	30	12						
11	50	10	40	12						
12	40	10	50	15						
13	30	10	60	15						
14	20	10	70	15						
15	10	10	80	15						
16	10	20	70	15						
17	10	30	60	15						
18	10	40	50	15						
19	10	50	40	12						
20	10	60	30	12						
21	10	70	20	12						

ขั้นที่ 6 ต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์ คำนวณได้จากการเลือกสูตรที่มีคุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 และพิจารณาควบคู่ไปกับสีด้วย แล้วนำมาคำนวณหาค่าต้นทุนการผลิตต่อก้อน จากค่าเสื่อมราคาของเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก ค่าดินลูกรัง และค่าปูนซีเมนต์ ดังตาราง 17

ตาราง 17 ต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์

สูตรที่	ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง อัดแบบไฮดรอลิก (บาท)	รายการ		ค่าแรง (บาท)	ต้นทุนการผลิต	
		ค่าดิน ลูกรัง (บาท)	ค่าปูนซีเมนต์ (บาท)		ไม่รวม ค่าแรง (บาท)	รวม ค่าแรง (บาท)
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						

6. แผนการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีแผนการปฏิบัติงานตามตาราง 18

ตาราง 18 แผนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอน การทำงาน	รายละเอียด	ระยะเวลาที่ใช้
1. ขั้นเตรียมการ	ค้นคว้าข้อมูล โดยทำการค้นคว้าหาข้อมูลจากหลายแหล่ง เช่น กระทรวงอุตสาหกรรม สภาวิจัย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย มหาวิทยาลัยต่าง ๆ ฯลฯ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตอิฐดินซีเมนต์ให้ได้มากที่สุด การหาข้อมูลในครั้งนี้ได้รับคำแนะนำจากอาจารย์หลายท่านด้วยกัน จนนำไปสู่การตั้งชื่องานวิจัยและเข้ารับการสัมมนาปัญหาวิจัยเพื่อสรุปเค้าโครงวิจัย ทำให้มองเห็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยชัดเจนขึ้น ตลอดจนติดต่อผู้ควบคุมปริญญาโทปริญญาตรี และขอคำแนะนำจากท่านดังกล่าวเรื่อยมา จนแก้ไขเป็นรูปเป็นร่างเหมาะสมในระดับหนึ่ง	1 ม.ค. - 31 พ.ค. 41
2. ขั้นสอบ เค้าโครง ฯ	แก้ไขงานตามผู้ควบคุมปริญญาโทและปริญญาตรีแนะนำเสร็จในระดับหนึ่ง เตรียมตัวสอบเค้าโครงได้	1 - 30 มิ.ย. 41
3. ขั้นทดลอง	สถานที่ที่ใช้สำหรับการทดลองมีดังนี้ 1. โรงสีข้าว นายภิญโญ ชูแสง จังหวัดพัทลุง จะเตรียมถ้ำกลบ 2. อำเภอลำตาสา จังหวัดพัทลุง เป็นแหล่งดินลูกรัง จะขุดนำมาทดสอบคุณสมบัติโดยโรงอิฐ นายมิตร เพชรศรี 3. การทดลองอัดอิฐดินซีเมนต์ และการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ จะทำการทดลองที่วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง จังหวัดพัทลุง	1 ก.ค. - 30 ต.ค. 41
4. ขั้นวิเคราะห์ ข้อมูล	สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล มีลำดับขั้นตอนดังนี้ 1. การวิเคราะห์ดินลูกรัง จากอำเภอลำตาสา จังหวัดพัทลุง โดยตรวจสอบผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลไว้แล้วของสำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบทจังหวัดพัทลุง 2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์ด้านการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อน โดยการนำผลจากการวิจัยมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กระทรวงอุตสาหกรรม	1 พ.ย. 41 - 20 ม.ค. 42

ตาราง 17 (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด	ระยะเวลาที่ใช้
การทำงาน	3. การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้งาน โดยการพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพที่ผ่านเกณฑ์ ควบคู่ไปกับสีของอิฐที่ได้ แล้วบอกว่าเหมาะกับการก่อสร้างงานก่อผนังธรรมดา (สูงไม่เกิน 3 เมตร) หรืองานก่อผนังรับน้ำหนัก 4. การคิดคำนวณต้นทุนการผลิต โดยการเลือกสูตรที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 มาคิดคำนวณต้นทุนการผลิต เช่นเดียวกับวิธีการคำนวณหน้า 28 - 29 แล้วนำมาเขียนเป็นตารางเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างของแต่ละสูตรอย่างชัดเจน	

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้ดินลูกรัง ถ้ำกลบ และปูนซีเมนต์ โดยการสุมแบบเจาะจงจากแผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่า จำนวน 21 สูตร ซึ่งแต่ละสูตรมีอัตราส่วนผสมที่ต่างกันไป นำมาอัดอิฐดินซีเมนต์ด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก อัดได้ ครั้งละสองก้อน มีขนาด $12.25 \times 24.50 \times 9.00$ เซนติเมตร และนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อน โดยทดสอบและตรวจสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนดเสร็จแล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลในรายละเอียดดังต่อไปนี้

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์

จากการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ จำนวน 21 สูตร และทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 ปรากฏผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ดังตาราง 19 - 21

ตาราง 19 ผลการวิเคราะห์การรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

บ่มอายุ สูตรที่	7 วัน	14 วัน	28 วัน	หมายเหตุ
การรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)				
1	4.56	5.72	5.37	ค่าการรับแรงอัด
2	2.89	4.67	5.48	เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์
3	4.42	5.09	6.93	อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ
4	4.43	5.84	9.20	มอก. 77 - 2517 กำหนดไว้
5	5.32	6.52	9.15	ไม่ต่ำกว่า 35 กิโลกรัมต่อ
6	5.73	6.70	11.76	ตารางเซนติเมตร
7	4.88	6.25	12.66	
8	10.20	10.59	25.83	
9	10.12	13.35	22.47	
10	17.40	24.15	*36.66	
11	19.35	30.95	*44.24	
12	23.52	*35.63	*60.77	
13	31.50	33.79	*65.83	
14	25.43	30.77	*47.25	
15	*44.77	*54.68	*71.01	
16	*35.00	*41.87	*57.40	
17	28.53	26.60	26.09	
18	19.14	23.91	23.75	
19	9.95	10.92	16.84	
20	6.40	6.74	11.77	
21	4.86	5.90	5.42	

* มีคุณสมบัติตามเกณฑ์

จากตาราง 19 พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัดเมื่ออิฐดินซีเมนต์ บ่มอายุ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน เป็นดังนี้

ด้านการรับแรงอัดเมื่ออิฐดินซีเมนต์มีอายุ 7 วัน ข้อมูลจากตารางพบว่า สูตรที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 คือ สูตรที่ 15 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 10 เถ้ากลบร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 80 และน้ำร้อยละ 15 มีค่าการรับแรงอัด 44.77 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสูตรที่ 16 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรัง ร้อยละ 10 เถ้ากลบร้อยละ 20 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 70 และน้ำร้อยละ 15 มีค่าการรับแรงอัด 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนสูตรที่ 1 - 14 และสูตรที่ 17 - 21 ไม่สามารถรับแรงอัดได้ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ด้านการรับแรงอัดเมื่ออิฐดินซีเมนต์มีอายุ 14 วัน ข้อมูลจากตารางพบว่า มีสูตรที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนดเพิ่มจาก 7 วัน คือ สูตรที่ 12 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 40 เถ้าแกลบร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 50 และน้ำร้อยละ 15 มีค่าการรับแรงอัด 35.63 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนสูตรที่ 1 - 11, 13 - 14 และสูตรที่ 17 - 21 ไม่สามารถรับแรงอัดได้ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ด้านการรับแรงอัดเมื่ออิฐดินซีเมนต์มีอายุ 28 วัน ข้อมูลจากตารางพบว่า มีสูตรที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนดเพิ่มจาก 7 วัน และ 14 วัน คือ สูตรที่ 10 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 60 เถ้าแกลบร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 และน้ำร้อยละ 12 มีค่าการรับแรงอัด 36.66 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูตรที่ 11 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 50 เถ้าแกลบร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 40 และน้ำร้อยละ 12 มีค่าการรับแรงอัด 44.24 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สูตรที่ 13 มีค่าอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 30 เถ้าแกลบร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 60 และน้ำร้อยละ 15 มีค่าการรับแรงอัด 65.83 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสูตรที่ 14 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 20 เถ้าแกลบร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 70 และน้ำร้อยละ 15 มีค่าการรับแรงอัด 47.25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร รวมอิฐดินซีเมนต์ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด 7 สูตร คือ สูตรที่ 10 - 16 ส่วนสูตรที่ 1 และสูตรที่ 17 - 21 เมื่ออิฐบ่มครบ 28 วัน แล้วค่าการรับแรงอัดไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตาราง 20 ค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์

สูตรที่	ค่าการรับแรงอัด เมื่ออายุ 28 วัน (กก./ซม. ²)	น้ำหนักที่ เปียกน้ำ (กรัม/ก้อน)	น้ำหนักที่ อบแห้ง (กรัม/ก้อน)	น้ำหนักที่ ดูดซึมน้ำ (กรัม/ก้อน)	การ ดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	หมายเหตุ
1	5.37	3502	2305	1197	51.93	เกณฑ์
2	5.48	3698	2534	1164	45.94	มาตรฐาน
3	6.93	3893	2772	1121	40.44	กำหนดไว้
4	9.20	4149	3307	842	25.46	ไม่เกิน
5	9.15	4214	3300	914	27.70	ร้อยละ 25
6	11.76	4505	3742	763	*20.39	ของน้ำหนัก
7	12.66	4639	3912	727	*18.58	
8	25.83	4662	3966	696	*17.55	
9	22.47	4521	3750	771	*20.56	
10	36.66	4748	4072	676	*16.60	
11	44.24	4870	4267	603	*14.13	
12	60.77	4809	4180	629	*15.05	
13	65.83	4736	4028	708	*17.58	
14	47.25	4649	3948	701	*17.76	
15	71.01	4687	4017	670	*16.68	
16	57.40	4365	3665	700	*19.10	
17	26.09	4213	3328	885	26.59	
18	23.75	4185	3434	751	*21.87	
19	16.84	3937	2964	973	32.83	
20	11.77	3757	2765	992	35.88	
21	5.42	3520	2219	1301	58.63	

* มีคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517

จากตาราง 20 สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านการดูดซึมน้ำ เมื่ออิฐดินซีเมนต์อายุครบ 28 วัน ได้ดังนี้

ด้านการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 28 วัน ข้อมูลจากตารางแสดงว่า สูตรที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนดคือ สูตรที่ 6 - 16 และสูตรที่ 18 กล่าวคือ สูตรที่ 6 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 60 แก้วกลบร้อยละ 30 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และน้ำร้อยละ 10 มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 20.39 สูตรที่ 7 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 70 แก้วกลบร้อยละ 20 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และน้ำร้อยละ 10 มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 18.58 สูตรที่ 8 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 80 แก้วกลบร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และน้ำร้อยละ 10 มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 17.55 สูตรที่ 9 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 70 แก้วกลบร้อยละ 10

ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 และน้ำร้อยละ 12 มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 20.56 สูตรที่ 10 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 60 เถ้าแกลบร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 และน้ำร้อยละ 12 มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 16.60 สูตรที่ 11 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 50 เถ้าแกลบร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 40 และน้ำร้อยละ 12 มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 14.13 สูตรที่ 12 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 40 เถ้าแกลบร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 50 และน้ำร้อยละ 15 มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 15.05 สูตรที่ 13 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 30 เถ้าแกลบร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 60 และน้ำร้อยละ 15 มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 17.58 สูตรที่ 14 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 20 เถ้าแกลบร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 70 และน้ำร้อยละ 15 มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 17.76 สูตรที่ 15 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 10 เถ้าแกลบร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 80 และน้ำร้อยละ 15 มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 16.68 สูตรที่ 16 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 10 เถ้าแกลบร้อยละ 20 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 70 น้ำร้อยละ 15 มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 19.10 และสูตรที่ 18 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 10 เถ้าแกลบร้อยละ 40 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 50 และน้ำร้อยละ 15 มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 21.87 ส่วนสูตรที่ 1 - 5 สูตรที่ 17 และสูตรที่ 19 - 21 นั้นไม่สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด

ตาราง 21 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละของการสีกกร่อนของอิฐดินซีเมนต์

สูตรที่	ค่าการรับแรงอัด เมื่ออิฐดูดซับ 28 วัน (กก./ซม. ²)	น้ำหนักตัวอย่างอิฐก่อนและหลังการกัด (กรัม)												ค่าการ สึกกร่อน (กรัม)	ค่าการสึกกร่อน ในแต่ละสูตร (ร้อยละ)	
		ก่อนกัด	น้ำหนักภายหลังการกัด													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	5.37	2387	2357	2329	2300	2272	2238	2206	2176	2142	2115	2086	2055	2032	355	- 14.87
2	5.48	2571	2554	2534	2511	2488	2474	2449	2422	2398	2374	2351	2327	2317	254	*9.88
3	6.93	2785	2775	2764	2750	2735	2719	2706	2687	2672	2650	2630	2621	2610	175	*6.28
4	9.20	3187	3181	3174	3166	3159	3149	3140	3125	3112	3099	3090	3081	3069	118	*3.70
5	9.15	3293	3288	3283	3277	3270	3265	3259	3255	3248	3236	3232	3225	3217	76	*2.31
6	11.76	3679	3673	3668	3663	3653	3645	3640	3632	3624	3618	3614	3605	3597	82	*2.23
7	12.66	3909	3906	3903	3899	3892	3887	3881	3875	3869	3864	3859	3854	3848	61	*1.56
8	25.83	3911	3907	3903	3899	3896	3889	3885	3880	3875	3872	3866	3861	3855	56	*1.43
9	22.47	3752	3749	3745	3741	3733	3731	3725	3721	3717	3711	3704	3700	3695	57	*1.52
10	36.66	4092	4088	4040	4035	4031	4026	4024	4017	4013	4007	4004	3996	3991	101	*2.47
11	44.24	4173	4169	4164	4157	4154	4146	4142	4139	4147	4130	4122	4117	4110	63	*1.51
12	60.77	4154	4152	4148	4145	4142	4137	4132	4129	4122	4119	4112	4108	4103	51	*1.23
13	65.83	3978	3975	3971	3969	3963	3960	3955	3952	3949	3946	3942	3926	3934	44	*1.11
14	47.25	3965	3963	3959	3953	3951	3945	3938	3935	3932	3926	3922	3917	3913	52	*1.31
15	71.01	3885	3884	3880	3877	3874	3870	3862	3855	3851	3847	3844	3840	3836	49	*1.26
16	57.40	3801	3797	3794	3790	3786	3782	3779	3775	3770	3767	3763	3758	3754	47	*1.24
17	26.09	3664	3662	3656	3653	3646	3643	3638	3635	3630	3626	3620	3615	3612	52	*1.42
18	23.75	3513	3509	3504	3501	3496	3491	3484	3479	3472	3467	3463	3458	3455	58	*1.65
19	16.84	3198	3192	3184	2506	2900	2889	2879	3873	2861	2840	2836	3329	3327	129	*4.03
20	11.77	2829	2826	2811	2742	2729	2709	2694	2671	2656	2636	2623	2606	2600	229	*8.09
21	5.42	2343	2315	2781	2261	2233	2204	2175	2139	2106	2067	2049	2036	2025	328	13.57

* มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ มวลของดินที่สูญเสียไปมากกว่าที่สุดหลังจากการทดสอบ 12 รอบ ต้องไม่เกินร้อยละ 10

จากตาราง 21 สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านความคงทนต่อการสึกกร่อนของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 28 วันได้ดังนี้

ด้านความคงทนต่อการสึกกร่อนของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 28 วัน ข้อมูลจากตารางพบว่า สูตรที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนดคือ สูตรที่ 2 - 20 มีค่าร้อยละของความคงทนต่อการสึกกร่อนเท่ากับ 9.88, 6.28, 3.70, 2.31, 2.23, 1.56, 1.43, 1.52, 2.47, 1.51, 1.23, 1.11, 1.31, 1.26, 1.24, 1.42, 1.65, 4.03, และ 8.09 ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 1 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 10 แก้วเกลบร้อยละ 80 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และน้ำร้อยละ 10 มีค่าร้อยละของความคงทนต่อการสึกกร่อนเท่ากับ 14.87 และสูตรที่ 21 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรังร้อยละ 10 แก้วเกลบร้อยละ 70 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 และน้ำร้อยละ 12 มีค่าร้อยละของความคงทนต่อการสึกกร่อนเท่ากับ 13.57 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนดไว้

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของอิฐดินซีเมนต์ในการนำไปใช้งาน

จากการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ จำนวน 21 สูตร และทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 และพิจารณาด้านน้ำหนัก สี ของอิฐดินซีเมนต์ประกอบ ปรากฏผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมของอิฐดินซีเมนต์ในการนำไปใช้งาน ดังตาราง 22

ตาราง 22 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการนำไปใช้งานของอิฐดินซีเมนต์

สูตรที่	อัตราส่วนผสมโดยปริมาตร				คุณสมบัติทางกายภาพ			น้ำหนักของ อิฐเนื้ออายุ ครบ 28 วัน (กรัม)	สีของอิฐดินซีเมนต์ เมื่ออายุ ครบ 28 วัน	การพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งาน
	ดินลูกรัง	แกลบ	ปูนซีเมนต์	น้ำ	การบีบอัด (กก./ซม. ²)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความคงทนต่อการ สึกกร่อน (ร้อยละ)			
1	10	80	10	10	5.37	51.93	14.87	2999	สีเทาอ่อน	-
2	20	70	10	10	5.48	45.94	*9.88	3366	สีเทาอ่อน	-
3	30	60	10	10	6.93	40.44	*6.28	3750	สีส้มอ่อน	-
4	40	50	10	10	9.20	25.46	*3.70	3882	สีส้มอ่อน	-
5	50	40	10	10	9.15	47.70	*2.31	3886	สีส้มอ่อน	-
6	60	30	10	10	11.76	*20.39	*2.23	4125	สีน้ำตาลแดงอ่อน	-
7	70	20	10	10	12.66	*18.58	*10.56	4223	สีน้ำตาลแดงอ่อน	-
8	80	10	10	10	25.83	*17.55	*1.43	4329	สีน้ำตาลแดงอ่อน	-
9	70	10	20	12	22.47	*20.56	*1.52	4130	สีน้ำตาลอ่อน	-
10	60	10	30	12	*36.66	*16.60	*2.47	4418	สีน้ำตาลอ่อน	ก่อนนึ่งกรรมดาดคารชันเดียว (สูงไม่เกิน 3 เมตร)
11	50	10	40	12	*44.24	*14.13	*1.51	4602	สีเทา	ก่อนนึ่งกรรมดาดคารชันเดียว (สูงไม่เกิน 3 เมตร)
12	40	10	50	15	*60.77	*15.05	*1.23	4527	สีเทา	ก่อนนึ่งกรรมดาดคารชันเดียว (สูงไม่เกิน 3 เมตร)
13	30	10	60	15	*65.83	*17.58	*1.11	4493	สีเทา	ก่อนนึ่งกรรมดาดคารชันเดียว (สูงไม่เกิน 3 เมตร)
14	20	10	70	15	*42.25	*17.76	*1.31	4391	สีเทา	ก่อนนึ่งกรรมดาดคารชันเดียว (สูงไม่เกิน 3 เมตร)
15	10	10	80	15	*71.01	*16.68	*1.26	4484	สีเทา	ก่อนนึ่งกรรมดาดคารชันเดียว (สูงไม่เกิน 3 เมตร)
16	10	20	70	15	*57.40	*19.10	*1.24	4082	สีเทา	ก่อนนึ่งรับน้ำหนักได้ 2 ชั้น
17	10	30	60	15	26.09	26.59	*1.42	3868	สีเทา	ก่อนนึ่งกรรมดาดคารชันเดียว (สูงไม่เกิน 3 เมตร)
18	10	40	50	15	23.75	*21.87	*1.65	3853	สีเทาอ่อน	-
19	10	50	40	12	16.84	32.83	*4.03	3504	สีเทาอ่อน	-
20	10	60	30	12	11.77	35.88	*8.09	3233	สีเทาอ่อน	-
21	10	70	20	12	5.42	58.63	13.57	3015	สีเทาอ่อน	-

* สูตรที่มีคุณสมบัติทางกายภาพตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 ที่กำหนด

จากตาราง 22 สามารถวิเคราะห์ความเหมาะสมในการนำไปใช้งานของอิฐดินซีเมนต์ ได้ดังนี้

ด้านความเหมาะสมในการนำไปใช้ในงานของอิฐดินซีเมนต์ ข้อมูลจากตารางพบว่า สูตรที่ 10 - 16 เป็นสูตรที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยสูตรที่ 10 มีอัตราส่วนผสมของดินลูกรัง ร้อยละ 60 แก้วเกลบร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 และน้ำร้อยละ 12 มีคุณสมบัติทางกายภาพ ด้านการรับแรงอัดเท่ากับ 36.66 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 16.60 มีค่าร้อยละของความคงทนต่อการสึกกร่อนเท่ากับ 2.47 มีน้ำหนัก 44.18 กรัม มีสีน้ำตาลอ่อน เหมาะที่จะนำไปใช้งานก่อผนังธรรมดาชั้นเดียว ให้สูตรที่ 10 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดใน 7 สูตรที่สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายภาพผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด น้ำหนักพอเหมาะ สีของอิฐเป็นที่นิยมกันในท้องตลาด และที่สำคัญต้นทุนการผลิตต่ำสุดจาก 1 ใน 7 สูตรที่ผ่านตามเกณฑ์ ซึ่งสีของอิฐด้านอื่น ๆ ไม่เป็นที่นิยมในท้องตลาด คือมีสีเทา ต้นทุนการผลิตสูงกว่าอิฐดินซีเมนต์ที่มีการผลิตจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดมาก คือมากกว่า 2 - 3 บาท ขยายจริง 6 บาท ผู้เชี่ยวชาญจึงไม่เลือกสูตรดังกล่าว เพื่อนำมาผลิตจำหน่ายและใช้จริง แต่ถ้าหากต้องการผลิตก็ทำได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานเองด้วย

ต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์ จากผลการทดลองพบว่า สูตรที่ 10 - 16 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 จึงนำมาคิดต้นทุนการผลิตได้ ดังตาราง 23

ตาราง 23 ต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์ของสูตรที่ 10 - 16

สูตรที่	รายการ				ต้นทุนการผลิต	
	ค่าเสื่อมราคา	ค่าดินลูกรัง	ค่าปูนซีเมนต์	ค่าแรง	ไม่รวม	รวมค่าแรง
	บล็อกไฮดรอลิก				ค่าแรง	
	(บาท)	(บาท)	(บาท)	(บาท)	(บาท)	(บาท)
10	0.085	0.570	2.720	1	*3.375	4.375
11	0.085	0.470	3.620	1	4.175	5.175
12	0.085	0.370	4.520	1	4.975	5.975
13	0.085	0.270	5.420	1	5.775	6.775
14	0.085	0.170	6.320	1	6.575	7.575
15	0.085	0.070	7.220	1	7.375	8.375
16	0.085	0.070	6.320	1	6.475	7.475

จากตาราง 23 สามารถวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์ได้ดังนี้

ต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์ ข้อมูลจากตารางพบว่า สูตรที่ 10 เป็นสูตรที่ควรจะนำไปผลิตจริงด้วยเหตุผลที่ว่า มีต้นทุนการผลิตต่ำสุดถ้านำไปผลิตเพื่อจำหน่ายในราคาตามท้องตลาดก่อนละ 6 บาท ก็ยังมีกำไรอยู่ 2.62 บาท ส่วนสูตรที่ 11 - 16 ก็สามารถผลิตใช้ได้ แต่ต้นทุนการผลิตสูง ราคาขายก็ต้องสูงตามไปด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานด้วยว่าต้องการคุณภาพของอิฐควบคู่ไปกับการดูราคาหรือต้องการราคาถูกเป็นประเด็นสำคัญ

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การทดลองเพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้ดินลูกรัง ถ้ำกลบ และปูนซีเมนต์ ได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างดินลูกรัง ถ้ำกลบ และปูนซีเมนต์ ในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517

ประชากร

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้ ดินลูกรัง ถ้ำกลบ ปูนซีเมนต์ อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดลองมี 21 สูตร ก้อนอิฐดินซีเมนต์ทดลองใช้ขนาดเท่าของจริงคือ $12.25 \times 24.50 \times 9.00$ เซนติเมตร สูตรละ 20 ก้อน รวม 420 ก้อน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยจึงได้แก่ เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก เครื่องบดละเอียด เครื่องชั่งน้ำหนัก เตาอบ เครื่องทดสอบกำลังอัด เป็นต้น

การดำเนินการวิจัย

การทดลองเพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมตามอัตราส่วนที่กำหนดในแต่ละสูตร มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการทดลอง คือดินลูกรัง โดยการนำดินลูกรังมาตากแดดให้แห้ง แล้วเข้าเครื่องบดละเอียด ให้มีความละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช นำถ้ำกลบมาตากแดดให้แห้ง แล้วนำมาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช และจัดซื้อปูนซีเมนต์ตราเสือไว้เพื่อเตรียมผสม
2. ตวงดินลูกรัง ถ้ำกลบ ปูนซีเมนต์ และน้ำ ตามอัตราส่วนที่กำหนดที่ละสูตร โดยการตวงในการทดลองครั้งนี้ใช้ถึงปูนขนาดที่สามารถบรรจุดินลูกรัง 1 ถัง มีน้ำหนักประมาณ 7.15 กิโลกรัม ถ้ำกลบ 1 ถัง มีน้ำหนักประมาณ 1.90 กิโลกรัม และปูนซีเมนต์ 1 ถัง มีน้ำหนักประมาณ 8.0 กิโลกรัม ส่วนของน้ำตวงเป็นลิตร เพราะคิดเทียบจากอัตราส่วนโดยรวมใน 100 ส่วน แต่ละสูตรจะผลิตอิฐดินซีเมนต์ จำนวน 20 ก้อน สำหรับการตวงตามวิธีดังกล่าวก็สามารถผลิตอิฐได้ 20 ก้อนพอดี
3. นำส่วนผสมมาคลุกเคล้าให้เข้ากันด้วยจอบและมือ โดยการรดน้ำด้วยบัวครึ่งละน้อย ๆ จนคลุกเคล้าเข้ากันได้ดี ตรวจสอบว่าส่วนผสมเข้ากันได้ดีหรือไม่นั้นโดยการใช้มือกำส่วนผสมมาบีดู ถ้าส่วนผสมเหนียวติดกันแต่ไม่ละเอียดมือ แสดงว่าใช้ได้
4. ตักส่วนผสมใส่บล็อกไฮดรอลิกให้ได้ครึ่งก้อนก่อน แล้วใช้มืออัดตามมุมและเกลี่ยให้ทั่ว จึงจะนำส่วนผสมที่เหลือให้เต็ม ใช้มือทุบหน้าส่วนผสมให้แน่น เผื่อไว้ให้เกินเป้าประมาณ 1 เซนติเมตร
5. ปิดฝาบล็อกหมุนเกลียวให้แน่นจนมีเสียงดังเตือนว่าแน่นแล้ว 1 ครั้ง ค่อย ๆ คลายเกลียวออก แล้วกดปมให้แก่อิฐลอยขึ้น

6. ยกอิฐดินซีเมนต์ออกจากบล็อกที่ละก้อนอย่างระมัดระวังเพราะมุมจะบิ่นง่าย นำไปวางเตรียมไว้เป็นชุด ๆ โดยพื้นที่วางอิฐต้องเรียบและควรมีหลังคากันฝนได้

7. ทำความสะอาดบล็อกทุกครั้งก่อนที่จะใส่อัตราส่วนผสมต่อไปและอัดดินจนครบตามต้องการ

8. ปั่นอิฐดินซีเมนต์เป็นเวลา 3 วัน โดยการคลุกกระสอบป่านไว้ 1 คืบ เมื่ออัดเสร็จวันรุ่งขึ้นเอากระสอบป่านออกรดน้ำด้วยบัวให้ทั่วทั้งชุด กระทำเช่นนี้ทุกเช้าตลอด 3 วัน หลังจากนั้นก็ปล่อยให้แห้งตามปกติ

9. นำอิฐดินซีเมนต์มาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัด 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ โดยใช้อิฐหมายเลข 2, 4, 6, 8, 10, 12 มาทดสอบและบันทึกผล

10. นำอิฐดินซีเมนต์มาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านความคงทนต่อการสึกกร่อนและการดูดซึมน้ำ เมื่ออิฐอายุ 28 วัน แล้วก็นำมาทดสอบการรับแรงอัดด้วย (ข้อ 9 - 10 ใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด) โดยใช้อิฐหมายเลข 14 และ 16 มาทดสอบหาค่าและบันทึกผล

11. สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อน โดยเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 และพิจารณาความเหมาะสมในการนำอิฐดินซีเมนต์ไปใช้งานจากคุณสมบัติทางกายภาพและสี

12. คำนวณต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์ในสูตรที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำก้อนอิฐดินซีเมนต์จากการอัดตามอัตราส่วนต่าง ๆ กันมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อน ด้วยเครื่องมือการทดสอบจากห้องปฏิบัติการของวิทยาลัยเทคนิคพัทลุง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 ส่วนการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการนำอิฐดินซีเมนต์ไปใช้งานพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพและสี

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อนของอิฐดินซีเมนต์ จากการใช้อัตราส่วนผสมระหว่างดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์ โดยการเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 และการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการนำอิฐดินซีเมนต์ไปใช้งาน จากการพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพด้านสี พบว่า

ด้านการรับแรงอัด ของอัตราส่วนผสมสูตรที่ 10 - 16 มีค่าการรับแรงอัด 36.66, 44.24, 60.77, 65.83, 47.25, 71.01 และ 57.40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด ส่วนสูตรที่ 1 - 9 และ 17 - 21 มีค่าการรับแรงอัดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด

ด้านการดูดซึม น้ำ ของอัตราส่วนผสมสูตรที่ 6 - 16 และสูตรที่ 18 มีค่าร้อยละของการดูดซึม น้ำเท่ากับ 20.39, 18.58, 17.55, 20.56, 16.60, 14.13, 15.05, 17.58, 17.76, 16.68, 19.10 และ 21.87 ตามลำดับ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด ส่วนสูตรที่ 1 - 5 สูตรที่ 17 และสูตรที่ 19 - 21 มีค่าร้อยละของการดูดซึม น้ำต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด

ด้านความคงทนต่อการสึกกร่อน ของอัตราส่วนผสมสูตรที่ 2 - 20 มีค่าร้อยละของความคงทนต่อการสึกกร่อนเท่ากับ 9.88, 6.28, 3.70, 2.31, 1.56, 1.43, 1.52, 2.47, 1.51, 1.23, 1.11, 1.31, 1.26, 1.24, 1.42, 1.65, 4.03, และ 8.09 ตามลำดับ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด ส่วนสูตรที่ 1 และ 21 มีค่าร้อยละของความคงทนต่อการสึกกร่อนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด

ด้านความเหมาะสมในการนำอิฐดินซีเมนต์ไปใช้งาน ของอัตราส่วนผสมสูตรที่ 10 - 16 โดยสูตรที่ 10 - 14 และสูตรที่ 16 มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานก่อนผนังธรรมดาชั้นเดียว ส่วนสูตรที่ 15 มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานก่อนผนังรับน้ำหนักได้ 2 ชั้น

ด้านต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์ ของอัตราส่วนผสมในสูตรที่ 10 - 16 สูตรที่ควรจะไปผลิตใช้งานจริงคือ สูตรที่ 10 เพราะต้นทุนการผลิตต่ำสุดคือ ราคาก้อนละ 3.375 บาท จากราคาขายจริง โดยทั่วไปก้อนละ 6 บาท

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติรวมทุกด้านแล้ว สูตรที่มีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของ ดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์ คือสูตรที่ 10 มีส่วนผสมของดินลูกรัง ร้อยละ 60 เถ้าแกลบ ร้อยละ 10 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 และน้ำร้อยละ 12 อัตราส่วนผสมระหว่างดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์ เท่ากับ 6 : 1 : 3 โดยปริมาตร มีคุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 มีน้ำหนักพอดี และสีน้ำตาลอ่อน เป็นที่นิยมของผู้ใช้โดยทั่วไป ที่สำคัญจากจำนวน 7 สูตรที่สามารถนำไปผลิตอิฐดินซีเมนต์ได้จริงนั้น มีสูตรที่ 10 ที่มีต้นทุนการผลิตต่ำสุด ผู้วิจัยได้นำอิฐดินซีเมนต์จากอัตราส่วนที่ 10 ไปทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 ซ้ำอีกครั้งพบว่า ค่าคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดไว้เช่นเดียวกับการทดลองครั้งแรก (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข หน้า 88)

อภิปรายผล

ในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์ ที่มีส่วนผสมของดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์ มีผลดังนี้

ด้านการรับแรงอัด ในแต่ละสูตรจะมีค่าไม่เท่ากัน สูตรที่ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 เป็นหลักคือ สูตรที่ 1 - 8 พบว่า มีค่าการรับแรงอัดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด ทุกสูตรตั้งแต่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน แสดงว่าอิฐดินซีเมนต์ที่แทนที่ด้วยเถ้าแกลบในปริมาณมาก จะทำให้การรับแรงอัดต่ำลง สูตรที่ใช้อัตราส่วน

เถาเกลบร้อยละ 10 เป็นหลักคือ สูตรที่ 8 - 15 พบว่า มีค่าการรับแรงอัดตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนดมากที่สุด คือสูตรที่ 10 - 15 แสดงว่า เมื่อใช้ปริมาณเถาเกลบปริมาณน้อย เพิ่มอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ให้มากขึ้น ค่าการรับแรงอัดตามเกณฑ์เพียงสูตรเดียวคือ สูตรที่ 16 ซึ่งมีปริมาณปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนสูงถึงร้อยละ 70 ส่วนสูตรที่ 17 - 21 ค่าการรับแรงอัดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด แสดงว่า เมื่อลดปริมาณดินลูกรังให้ต่ำลง แทนที่ด้วยเถาเกลบ ถึงแม้ว่าปริมาณปูนซีเมนต์จะปริมาณสูงไม่สามารถเพิ่มการรับแรงอัดได้ จากข้อมูลดังกล่าวแสดงว่าถ้าเพิ่มช่วงปูนซีเมนต์ให้สูงขึ้นใช้ดินลูกรังมากกว่าเถาเกลบ ค่าการรับแรงอัดจะสูงขึ้น (รุทร์ กล่อมชุ่ม. 2530 : 83) เช่น สูตรที่ 10 ที่มีปริมาณดินลูกรังต่อเถาเกลบต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 60 : 10 : 30 เป็นต้น ส่วนค่าการรับแรงอัดทั้ง 21 สูตร ตั้งแต่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน จะมีค่าการรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามอายุอิฐซึ่งก็เป็นไปในแนวเดียวกับงานวิจัยของ รุทร์ กล่อมชุ่ม และ กรมโยธาธิการ

ด้านการดูดซึมน้ำ ในแต่ละสูตรจะมีค่าไม่เท่ากัน ในสูตรที่มีอัตราส่วนผสมของเถาเกลบในปริมาณสูงกว่าวัตถุดิบตัวอื่น ๆ จะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำสูงไปด้วย เช่น สูตรที่ 1 - 5 และสูตรที่ 19 - 21 เป็นต้น แสดงว่า ถ้าปริมาณเถาเกลบมากจะสามารถดูดซึมน้ำไว้ในก้อนอิฐได้มาก ส่วนสูตรที่ 6 - 16 และสูตรที่ 18 มีค่าการดูดซึมน้ำตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 ซึ่งสูตรดังกล่าวมีเถาเกลบเป็นอัตราส่วนผสมไม่เกินร้อยละ 30 และส่วนใหญ่อยู่ในช่วงร้อยละ 10 แสดงว่า ถ้าเถาเกลบมีในอัตราส่วนผสมในปริมาณมาก สูตรนั้น ๆ จะดูดซึมน้ำได้มาก เมื่อทดสอบค่าการดูดซึมน้ำก็จะสูงกว่าเกณฑ์กำหนด และจะทำให้อิฐดินซีเมนต์มีค่าการรับแรงอัดต่ำลง เพราะมีความพรุนตัวมากขึ้น (สุพรรณิ มีกุล. 2540 : 81) เช่น สูตรที่ 1 มีอัตราส่วนผสมดินลูกรังร้อยละ 10 เถาเกลบร้อยละ 80 ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ต้องการน้ำในการผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันในปริมาณน้อยคือ ร้อยละ 10 เพราะเถาเกลบสามารถหุ้มน้ำไว้ได้มาก และมีความชื้นมากพอจะแห้งช้า เป็นผลให้การรับแรงอัดต่ำ แต่ค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้น

ด้านความคงทนต่อการสึกกร่อน ในแต่ละสูตรจะมีค่าไม่เท่ากัน จากตาราง 12 พบว่า สูตรที่ 1 และสูตรที่ 21 ไม่สามารถทนต่อการสึกกร่อนได้ มีค่าความคงทนต่อการสึกกร่อนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด แสดงว่า การที่อัตราส่วนผสมมีเถาเกลบร้อยละ 70 - 80 และมีอัตราส่วนดินลูกรังร้อยละ 10 และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 - 20 เมื่อนำมาอัดเป็นอิฐดินซีเมนต์ บ่มจนอายุครบ 28 วัน นำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านความคงทนต่อการสึกกร่อนแล้ว ค่าความคงทนต่อการสึกกร่อนจะสูงกว่าเกณฑ์กำหนด เพราะเถาเกลบถ้านำไปเป็นส่วนผสมในปริมาณมากจะทำให้อิฐดินซีเมนต์มีความพรุนตัวสูง การจับกันระหว่างอนุภาคของดินลูกรัง เถาเกลบ และปูนซีเมนต์ เมื่ออัดเป็นก้อนจะจับตัวกันหลวม ๆ มีช่องว่างมาก ทำให้ค่าการรับแรงอัดต่ำ ค่าการดูดซึมน้ำสูง และค่าความคงทนต่อการสึกกร่อนสูงกว่าเกณฑ์กำหนด ถึงแม้ว่ามีหลายสูตรที่ผ่านเกณฑ์ แต่บางสูตรมีค่าความคงทนต่อการสึกกร่อนสูง เช่น สูตรที่ 2 - 3 เป็นต้น เพราะมีปริมาณเถาเกลบในปริมาณมาก

จากการทดลองผลิตอิฐดินซีเมนต์ 21 สูตร โดยใช้ดินลูกรัง เถาเกลบ และปูนซีเมนต์ พบว่า อิฐดินซีเมนต์ที่มีค่าการรับแรงอัดได้ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนด ก็จะมีค่าการดูดซึมน้ำและค่าความคงทนต่อการสึกกร่อนเป็นไปตามเกณฑ์ด้วย แต่ค่าการดูดซึมน้ำและค่าความคงทนต่อการสึกกร่อนได้ตามเกณฑ์ ไม่สามารถบอก

ได้ว่าจะมีค่าการรับแรงอัดเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดด้วยหรือไม่ การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำและค่าความคงทนต่อการสึกกร่อนทำการทดสอบในขณะที่อิฐดินซีเมนต์อายุครบ 28 วัน สำหรับค่าการรับแรงอัดต้องทดสอบ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน จึงสรุปได้ว่า สูตรที่ใช้ได้ดีต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพ ครบทั้งสามด้านตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนดด้วย

ด้านความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน จากตารางพบว่า สูตรที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จำนวน 7 สูตร คือสูตรที่ 10 - 16 นั้น ด้านความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ควรพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อนในช่วงบ่มอายุ 28 วัน และสีประกอบกัน พบว่า สูตรที่ควรนำไปใช้งานจริงคือสูตรที่ 10 เพราะมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากสูตรที่ 11 - 16 คือ มีสีตามความต้องการของผู้ใช้โดยส่วนใหญ่ และต้นทุนการผลิตต่ำสุด

ด้านต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์ ในแต่ละสูตรมีราคาต้นทุนการผลิตแตกต่างกัน จากตารางพบว่า ต้นทุนการผลิตในสูตรที่ 10 ถูกสุด มีความเหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้งานจริง ส่วนสูตรที่ 11 - 16 มีต้นทุนการผลิตสูง เพราะมีปริมาณปูนซีเมนต์สูงขึ้นตามลำดับ ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์ดีด้วย ถ้านำไปใช้งานก็ต้องขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งานว่าต้องการคุณภาพมากกว่ามองที่ต้นทุนการผลิตหรือราคาขาย

ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาคุณภาพของอิฐดินซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของดินลูกรัง ถ้ำกลบ และปูนซีเมนต์ เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการที่เป็นการเพิ่มเติมจากกระบวนการการวิจัย อาจทำได้โดย

1.1 ดินลูกรังที่ผ่านเครื่องบดละเอียดควรนำมาร่อนด้วยตะแกรงร่อนอีกครั้ง โดยร่อนผ่านตะแกรงร่อนที่มีความละเอียดประมาณ 80 - 100 เมช และในการบดดินลูกรังก็ควรตากให้แห้ง ไม่ให้มีความชื้นเหลืออยู่ เพราะจะร่อนยากและทำให้ไม่ละเอียดพอ

1.2 ดินลูกรังที่เหมาะสมสำหรับนำมาเป็นอัตราส่วนผสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ ควรเป็นสีน้ำตาลแดง ที่มีค่าทรายผสมสูงร้อยละ 75 ขึ้นไป มีค่าร้อยละของทรายผสมมากยิ่งขึ้นจะทำให้อิฐมีความแข็งแรงและทนต่อการสึกกร่อนได้ดี และควรจะทดลองตามอัตราส่วนที่กำหนด 21 สูตร ด้วยดินลูกรังสีส้มอ่อนดูบ้าง เพราะดินลูกรังสีส้มอ่อนอาจจะมีค่าร้อยละของทรายผสมมากกว่าดินลูกรังสีน้ำตาลแดง

1.3 ถ้ำกลบโดยทั่วไปมี 3 สี คือ สีขาว สีเทา สีดำ ถ้ำกลบที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้สีเทา ถ้ามีการทดลองในครั้งต่อไปควรจะทดลองถ้ำกลบสีดำดูบ้าง เพราะถ้ำกลบสีดำจะมีค่าร้อยละของทรายสูง และถ้ารวมกับปูนซีเมนต์ตราเสือแล้วอาจจะอัดได้แน่นกว่าถ้ำกลบสีอื่น

1.4 ปูนซีเมนต์ตราเสือราคาสูง มีการเช็ดตัวช้า ถ้าทำเพื่อการค้าควรใช้ปูนซีเมนต์ที่มีการเช็ดตัวเร็ว เช่น ปูนซีเมนต์ตราช้าง เพราะถ้าอิฐดินซีเมนต์มีการเช็ดตัวเร็วอิฐอาจแห้งเร็ว ค่าการรับแรงอัดจะสูง

1.5 ในสูตรส่วนผสมที่มีถ้ำกลบผสมอยู่ในปริมาณมาก ควรลดปริมาณน้ำที่ใช้คลุกเคล้าให้น้อยลงอีก การห่มน้ำในตัวอิฐดินซีเมนต์จะได้น้อยลง ค่าการดูดซึมน้ำจะได้ไม่สูง

1.6 สำหรับการวิจัยครั้งนี้ใช้ดินลูกรังบดละเอียดอย่างเดียวไม่มีการผสมคละกับดินลูกรังขนาดอื่นเลย ถ้าหากมีการทดลองในครั้งต่อ ๆ ไปน่าจะทดลองทำดู คุณสมบัติทางกายภาพอาจจะเปลี่ยนไปก็ได้

1.7 จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า อิฐดินซีเมนต์ จำนวน 21 สูตร ผ่านเกณฑ์ทั้งการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อนเพียง 7 สูตรเท่านั้น คือ สูตรที่ 10 - 16 ซึ่งแต่ละสูตรก็ใช้อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ในปริมาณสูง ถ้านำมาผลิตเพื่อการค้า สูตรที่ควรผลิตอิฐดินซีเมนต์ก็คือ สูตรที่ 10 ซึ่งมีปริมาณดินลูกรังร้อยละ 60 แก้วกลบร้อยละ 10 และปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 ซึ่งถ้านำมาเทียบกับอัตราส่วนผสมที่ผลิตเพื่อจำหน่ายโดยโรงอิฐ นายมิตร เพชรศรี แล้ว ต้นทุนการผลิตก็ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์ที่ได้จากการวิจัยก็ยังด้อยกว่าของโรงอิฐ นายมิตร เพชรศรี ทุกด้าน จึงคิดว่าน่าจะมีการกำหนดอัตราส่วนผสมใหม่ให้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อย ๆ แต่มีคุณสมบัติทางกายภาพครบทั้ง 3 ด้าน และดีกว่าที่จำหน่ายในท้องตลาด

1.8 ค่าการดูดซึมน้ำจากการวิจัย ในสูตรที่ 17 ไม่ผ่านเกณฑ์ แต่สูตรที่ 18 กลับผ่านเกณฑ์ แสดงว่า ความชื้นมีผลต่อการทดลองมาก การผึ่งอิฐจึงควรผึ่งในที่ลมผ่านสะดวก การวางเรียงอิฐต้องวางเรียงให้ลมสามารถผ่านได้สะดวก อิฐจะได้แห้งสม่ำเสมอทั่วทั้งก้อน

1.9 อิฐดินซีเมนต์ทั้งหมด 21 สูตร ไม่สามารถทนต่อการสึกกร่อนได้เพียง 2 สูตร คือ สูตรที่ 1 และ สูตรที่ 21 แสดงให้เห็นว่าแรงที่ใช้ขัดอิฐไม่สม่ำเสมอทุกสูตร น่าจะมีสูตรที่ไม่สามารถทนต่อการสึกกร่อนได้มากกว่า 2 สูตร ถ้ามีการทดลองอีกจึงควรใช้แรงคนขัดเดียวกันและขัดด้วยแรงสม่ำเสมอทุกสูตร

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัย

1. ควรจะมีการทดลองใช้วัตถุดิบหลัก 4 ตัวคือ ดินลูกรัง แก้วกลบ ทราย และปูนซีเมนต์
2. การกำหนดอัตราส่วนผสมควรใช้วิธีการคำนวณจากทฤษฎีของ เซเกอร์

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี. (2533). *แผนที่แสดงป่าปิด ตามมติคณะรัฐมนตรี*. กรุงเทพฯ : กรมฯ.
- กรมวิทยาศาสตร์. (2514). *เอกสารทางวิชาการเครื่องปั้นดินเผา*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : กรมฯ.
- . (2517). *รายงานกิจกรรมของกรมวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ : กรมฯ.
- กอบจิตต์ จิตวัฒนกุล. (2528). *ภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.
- “การทำซีเมนต์จากเถ้าแกลบ,” (2538). ใน *รายงานกิจกรรมกรมวิทยาศาสตร์บริการ เล่ม 38*.
หน้า 32 - 35. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภา.
- จรงค์ พูลรอด. (2533). *ดินซีเมนต์บล็อค*. กรุงเทพฯ : วิทยาลัยครูพระนคร.
- ชูสิทธิ์ ชูชาติ. (2538). *การใช้ภูมิปัญญาชาวบ้านในการอนุรักษ์ป่าและระบบนิเวศเพื่อแก้ปัญหาภัยแล้งของประเทศไทย*. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- เชษฐ เอี่ยมจิตกุล. (ม.ป.ป.). *อิฐทนไฟ*. กรุงเทพฯ : กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและพลังงาน.
- ทวี พรหมพุกษ์. (2523). *วิชาเครื่องเคลือบดินเผาเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- ธีระพันธ์ ทองประวดี. (2526). *ศึกษาการทำอิฐดินซีเมนต์*. กรุงเทพฯ : กรมโยธาธิการ.
- นมิตร์ ลิ่วธมมงคล. (2538). *รวมข้อมูลก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ : รุ่งแสงการพิมพ์.
- นิพัทธ์ เจียมประเสริฐ. (2524). *งานพระราชทานเพลิงศพนายนิพัทธ์ เจียมประเสริฐ*. กรุงเทพฯ : อักษรไทย.
- บุรฉัตร ฉัตรวีระ และพิชัย นิมิตรยงสกุล. (2530). *การใช้เถ้าแกลบเป็นวัสดุปอชโซเลนในคอนกรีตกำลังสูง*. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.
- ปริญญ์ จินดาประเสริฐ. (2529, กันยายน). “ปูนซีเมนต์เถ้าแกลบ,” *วารสารวิชาการที่อยู่อาศัย*.
3(1) : 81 - 89
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2537). *อิฐทนไฟ*. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พงศ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ. (2535). *วัสดุก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- พิภพ สุนทรสมัย. (2530). *วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ : เอช - เอน การพิมพ์.
- เพ็ญแข แสงแก้ว. (2540). *การวิจัยทางสังคมศาสตร์*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- รังสรรค์ ดวงสร้อยทอง. (2528). *การเริ่มงานเซรามิกส์*. กาญจนบุรี : วิทยาลัยครูกาญจนบุรี.
- รุทร์ กล่อมชุ่ม. (2530). *การทำอิฐลูกรังจากการใช้วัสดุภายในจังหวัดหนองคาย*. หนองคาย : วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย.
- วนิดา ฉินนะโสด. (2538). *การทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำปูนฉาบจากเถ้าแกลบปูนขาว ปูนซีเมนต์ซีลิกา ทรายละเอียดและสังกะสีซิลเฟด*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.
- วิชาญ ภูพัฒน์ และจิรพัฒน์ โชติกไกร. (2528). *เทคโนโลยีดินซีเมนต์*. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซนเตอร์การพิมพ์.
- วินิต ช่อวิเชียร. (2529). *คอนกรีตเทคโนโลยี*. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : ห้าง ป. สัมพันธ์พาณิชย์.

- วินิต ช่อวีเชียร. (2537). *การประมาณราคาก่อสร้าง*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : ห้าง ป. สัมพันธ์พาณิชย์.
- วิไล ตั้งจิตสมคิด. (2539). *การศึกษาไทย*. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- แวอิลีส บินโซดาโอะ. (2540). *การทดลองทำไฟโรเมตริกโคนหมายเลข 7, 8 และ 9 จากวัตถุดิบในประเทศโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานออร์ตไพโรเมตริกโคน*.
ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.
- ศิริชัย โพธิ์ตาปะนะ. (ม.ป.ป.). *เอกสารทางวิชาการเรื่องอิฐก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2513). *การทำอิฐดินซีเมนต์*.
กรุงเทพฯ : สถาบันฯ.
- _____. (2535). *รายงานการสำรวจแหล่งดินสำหรับผลิตบล็อกดินซีเมนต์*. กรุงเทพฯ :
สถาบันฯ.
- สุพรรณ มีกุล. (2540). *การทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีตกำลังสูงที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซีเมนต์แกลบ แกลบลอยลิกไนต์ และสารลดน้ำพิเศษ*.
ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร. ถ่ายเอกสาร.
- สุศักดิ์ โกสิยพันธ์. (2534). *น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา*. กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.
- _____. (2528). *วัสดุศาสตร์*. กรุงเทพฯ : วิทยาลัยครูพระนคร.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2517). *มอก. ปูนซีเมนต์ผสม*. กรุงเทพฯ : สำนักงานฯ.
- _____. (2517). *มอก. วิธีการทดสอบการหดแห้งของคอนกรีตบล็อก*. กรุงเทพฯ :
สำนักงานฯ
- _____. (2519). *มอก. อิฐกลวงทำพื้น*. กรุงเทพฯ : สำนักงานฯ.
- _____. (2529). *มอก. รูปร่างและขนาดของอิฐทนไฟ*. กรุงเทพฯ : สำนักงานฯ.
- _____. (2531). *มอก. อิฐก่อสร้างสามัญ*. กรุงเทพฯ : สำนักงานฯ.
- _____. (2532). *มอก. อิฐทนไฟเคลือบ*. กรุงเทพฯ : สำนักงานฯ.
- _____. (2532). *มอก. อิฐประดับเคลือบสี*. กรุงเทพฯ : สำนักงานฯ.
- _____. (2532). *มอก. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์*. กรุงเทพฯ : สำนักงานฯ.
- _____. (2537). *มอก. อิฐกลวงประดับ*. กรุงเทพฯ : สำนักงานฯ.
- อนุชิต กิจสวัสดิ์. (2529). *วิทยาศาสตร์สำหรับประชาชน*. พิมพ์ครั้งที่ 41. กรุงเทพฯ :
กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- อายุวัฒน์ สว่างผล. (2537). *แนวคิดและผลงานทางวิชาการ*. กำแพงเพชร : สถาบันราชภัฏ
กำแพงเพชร.
- Parmelec, Cullen W. (1973). *Ceramic Glases*. The Maple Press Company, New York.
- Hopper, Robin. (1984). *The Ceramic Spectrum A Simplified Approach to Glaze and Color Development*. Pennsylvania : Chilton Book Company.
- Fourth. (1987). *Earth - Wall Constouction Edltion GF*. National Building Technology Centre.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

หนังสือเชิญผู้เชี่ยวชาญ

หนังสือขอความร่วมมือ

หนังสือขอใช้สถานที่ทดลองเพื่อการวิจัย

และ

ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ที่ ทม 1007/ ๔๖๕๕



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๑๕ พฤศจิกายน 2541

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน รัฐพัฒนากชนบทจังหวัดพัทลุง

ด้วย นางสาวเบญจมาศ บุญคำ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ รดยาซ์ ดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์" โดยมี ดร.ละเอียด รักษ์เฝ้า และ อาจารย์สุดาใจ เหง้าสีไพร เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายปุ่น ครบุรี และ นายอนุสรณ์ จำวิสุตระ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นางสาวเบญจมาศ บุญคำ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานบัณฑิตวิทยาลัย

โทร./โทรสาร.258-4119

ที่ ทม 1007/ 4341



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒๕ พฤศจิกายน 2541

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน หัวหน้าศูนย์สาริทธิการเลี้ยงโรคมชัฒบาล ลพบุรี

ด้วย นางสาวเบญจมาศ บุญคำ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้ ดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์" โดยมี คร.ละเอียดยักษ์เฝ้า และ อาจารย์สุดาใจ เหง้าสีไพร เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ นายบรรชา เจียมสวัสดิ์ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้ นางสาวเบญจมาศ บุญคำ ซึ่งจะเป็ประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานบัณฑิตวิทยาลัย

โทร./โทรสาร.258-4119

ที่ ทม 1007/43 ๒๖



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒๖ พฤศจิกายน 2541

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคพัทลุง

เนื่องด้วย นางสาวเบญจมาศ บุญคำ นิสิตปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้ ดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์" โดยมี ดร.ละเอียด รักษ์เผ่า และ อาจารย์สุตาใจ เหง้าสีไพร เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้ บัณฑิตวิทยาลัย ขอเรียนเชิญ อาจารย์ประเสริฐ คงนิม เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือการวิจัย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้บุคลากรในสังกัดเป็นผู้เชี่ยวชาญ ให้ นางสาวเบญจมาศ บุญคำ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานบัณฑิตวิทยาลัย

โทร./โทรสาร. 258-4119

ที่ ทม 1007/ ๒๔๒๐



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๑๔ ตุลาคม 2541

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

เนื่องด้วย นางสาวเบญจมาศ บุญคำ นิสิตปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์โดยใช้ดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์" โดยมี ดร.ละเอียด รัชส์เผ่า และ อาจารย์สุดาใจ เหง้าสีพร เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในครั้งนี้ บัณฑิตวิทยาลัย มีความประสงค์ขอเชิญท่าน เป็นผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำ และข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตอิฐดินซีเมนต์ของนิสิต ผู้นี้ด้วย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย

โทร/โทรสาร 258-4119

ที่ ทม 1007/5418



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

14 ตุลาคม 2541

เรื่อง ขอความร่วมมือในการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคนิคพัทลุง

เนื่องด้วย นางสาวเบญจมาศ บุญคำ นิสิตปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์โดยใช้ดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์" โดยมี ดร.ละเอียด รัชเฝ้า และ อาจารย์สุดาใจ เห่งสำโพร เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในงานนี้ นิสิตจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย ในการขอใช้สถานที่ และขอใช้เครื่องมือทดสอบแรงอัดเตาเผา และเครื่องช่างน้ำหนัก พร้อมทั้งขอเรียนเชิญ อาจารย์วีเชียร ชิดชอบ เป็นผู้ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐด้วย

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ นางสาวเบญจมาศ บุญคำ ได้เก็บข้อมูลดังกล่าว เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณอย่างสูง
มา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย

โทร/โทรสาร 258-4119

ที่ ทม 1007/ 4342



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๙๔ พฤศจิกายน 2541

เรื่อง ขอความร่วมมือในการวิจัย

เรียน นายมิตร เพชรศรี

ด้วย นางสาวเบญจมาศ บุญคำ นิสิตระดับปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้น้ำดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์" โดยมี ดร.ละเอียด รักษ์เฝ้า และ อาจารย์สุตใจ เหง้าสีไพร เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำวิทยานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย โดยขออนุญาตใช้สถานที่ในการทดลองผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้น้ำดินลูกรัง เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ นางสาวเบญจมาศ บุญคำ ได้เก็บข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานบัณฑิตวิทยาลัย

โทร./โทรสาร. 258-4119

ที่ ทม 1007/๒๕๔๑



บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๒๕ ตุลาคม 2541

เรื่อง ขอให้สถานที่ทดลองเพื่อการวิจัย

เรียน นายยกเอี่ยม ขวัญแข่ง

เนื่องด้วย นางสาวเบญจมาศ บุญคำ นิสิตปริญญาโท วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กำลังดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์โดยใช้ดินลูกรัง ถ้ำกลบ และปูนซีเมนต์" โดยมี ดร.ละเอียด รัชต์เผ่า และ อาจารย์สุดาใจ เห่งสำโพร เป็นคณะกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ในกรณีนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย ในการขอให้สถานที่ทดลองผลิตอิฐดินซีเมนต์ จำนวน 260 ก้อน จากโรงอิฐดินซีเมนต์ยกเอี่ยม

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์จากท่าน ได้โปรดพิจารณาให้ นางสาวเบญจมาศ บุญคำ ได้เก็บข้อมูลดังกล่าว เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพการศึกษา และขอขอบพระคุณอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ วิศาลาภรณ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานเลขานุการบัณฑิตวิทยาลัย

โทร/โทรสาร 258-4119

ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ - ชื่อสกุล	นายปุ่น ครบุรี
เกิดวันที่	3 มิถุนายน พุทธศักราช 2503
ภูมิลำเนา	อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	173 หมู่ 1 ตำบลควนมะพร้าว อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง 93000
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรเครื่องกลระดับ 5
สถานที่ทำงาน	สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท (รพช.) จังหวัดพัทลุง
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2520	มัธยมศึกษาตอนต้น (ม.3) โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย จังหวัดนครราชสีมา
พ.ศ. 2523	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช. ช่างยนต์) โรงเรียนช่างกลพานิชยการ จังหวัดนครราชสีมา
พ.ศ. 2525	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส. ช่างยนต์) วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทคนิคภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา
พ.ศ. 2534	ปริญญาตรี (วศ.บ. เครื่องกล) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2528	สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท (รพช.) จังหวัดนครราชสีมา ตำแหน่งนายช่างเครื่องกลระดับ 2
พ.ศ. 2535	สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท (รพช.) จังหวัดกำแพงเพชร
พ.ศ. 2538	สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท (รพช.) จังหวัดนครราชสีมา
พ.ศ. 2541	สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท (รพช.) จังหวัดพัทลุง

ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ - ชื่อสกุล	นายบรรชา เจียมสวัสดิ์
เกิดวันที่	16 มิถุนายน พุทธศักราช 2502
ภูมิลำเนา	72/1 หมู่ 8 ตำบลห่านโพธิ์ อำเภอเขาชัยสน จังหวัดพัทลุง
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	นิคมสหกรณ์บางแก้ว จังหวัดพัทลุง
ตำแหน่งปัจจุบัน	หัวหน้านิคมสหกรณ์บางแก้ว ระดับ 7
สถานที่ทำงาน	นิคมสหกรณ์บางแก้ว จังหวัดพัทลุง
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2518	มัธยมศึกษาตอนต้น (ม.3) โรงเรียนพัทลุง จังหวัดพัทลุง
พ.ศ. 2521	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) วิทยาลัยเกษตรกรรมสงขลา
พ.ศ. 2524	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) วิทยาลัยเกษตรนครศรีธรรมราช
พ.ศ. 2526	ปริญญาตรี (ทษ.บ.) สัตวศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2526	อาจารย์ 1 ระดับ 2 วิทยาลัยเกษตรกรรมสุราษฎร์ธานี
พ.ศ. 2529	กองสหกรณ์นิคม กรมส่งเสริมสหกรณ์ กรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2535	นิคมสหกรณ์สตึก จังหวัดบุรีรัมย์
พ.ศ. 2537	นิคมสหกรณ์ขามทะเลสอ จังหวัดนครราชสีมา
พ.ศ. 2538	ศูนย์สาธิตการเลี้ยงโคนมชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี
พ.ศ. 2542	นิคมสหกรณ์บางแก้ว จังหวัดพัทลุง
ประสบการณ์	เป็นวิทยากรท้องถิ่นแก่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และวิทยากรท้องถิ่นของสหกรณ์ในกรมส่งเสริมสหกรณ์เกี่ยวกับอู่ดินซีเมนต์

ประวัติผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ - ชื่อสกุล	นายประเสริฐ คงนิม
เกิดวันที่	26 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2501
ภูมิลำเนา	ตำบลควนมะพร้าว อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	200 หมู่ที่ 11 ถนนไชยบุรี ตำบลตำนาน อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง
สถานที่ทำงาน	วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2521	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช. ช่างก่อสร้าง) วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง
พ.ศ. 2523	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส. ช่างก่อสร้าง) วิทยาลัยเทคนิคยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา
พ.ศ. 2524	ประกาศนียบัตรครุมัธยม (ป.ม. ช่างโยธา) วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทเวศร์
พ.ศ. 2527	ครุศาสตรบัณฑิต (ค.บ.) วิศวกรรมโยธา - ก่อสร้าง วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทเวศร์
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2524	อาจารย์วิทยาลัยเทคนิคยะลา แผนกวิชาช่างก่อสร้าง
พ.ศ. 2534	อาจารย์วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง แผนกวิชาช่างก่อสร้าง คณะวิชาการก่อสร้าง

ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของ
อิฐดินซีเมนต์

ตาราง 24 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัด ค่าดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อนของอิฐดินซีเมนต์ เมื่ออายุครบ 28 วัน

สูตร ที่	อัตราส่วนผสมโดยปริมาตร				คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์		
	ดินลูกรัง	เถ้าแกลบ	ปูน ซีเมนต์	น้ำ	การรับแรงอัด (กก./ซม ²)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความคงทน ต่อการสึกกร่อน (ร้อยละ)
1	10	80	10	10	5.37	51.93	14.87
2	20	70	10	10	5.48	45.94	*9.88
3	30	60	10	10	6.93	40.44	*6.28
4	40	50	10	10	9.20	25.46	*3.70
5	50	40	10	10	9.15	27.70	*2.31
6	60	30	10	10	11.76	*20.39	*2.23
7	70	20	10	10	12.66	*18.58	*1.56
8	80	10	10	10	25.83	*17.55	*1.43
9	70	10	20	12	22.47	*20.56	*1.52
10	60	10	30	12	*36.66	*16.60	*2.47
11	50	10	40	12	*44.24	*14.13	*1.51
12	40	10	50	15	*60.77	*15.05	*1.23
13	30	10	60	15	*65.83	*17.58	*1.11
14	20	10	70	15	*47.25	*17.76	*1.31
15	10	10	80	15	*71.01	*16.68	*1.26
16	10	20	70	15	*57.40	*19.10	*1.24
17	10	30	60	15	26.09	26.59	*1.42
18	10	40	50	15	23.75	*21.87	*1.65
19	10	50	40	12	16.84	32.83	*4.03
20	10	60	30	12	11.77	35.88	*8.09
21	10	70	20	12	5.42	58.63	13.57

* มีคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517

ตาราง 25 สีของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุ 1 วัน 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

สูตรที่	ลักษณะสีของอิฐดินซีเมนต์			
	อัดเสร็จ 1 วัน	อายุ 7 วัน	อายุ 14 วัน	อายุ 28 วัน
1	สีเทา	สีเทา	สีเทาอ่อน	สีเทาอ่อน
2	สีเทา	สีเทา	สีเทาอ่อน	สีเทาอ่อน
3	สีส้ม	สีส้มเหลือง	สีส้มอ่อน	สีส้มอ่อน
4	สีส้ม	สีส้มเหลือง	สีส้มอ่อน	สีส้มอ่อน
5	สีส้ม	สีส้มเหลือง	สีส้มอ่อน	สีส้มอ่อน
6	สีน้ำตาลแดง	สีน้ำตาลแดง	สีน้ำตาลแดงอ่อน	สีน้ำตาลแดงอ่อน
7	สีน้ำตาลแดง	สีน้ำตาลแดง	สีน้ำตาลแดงอ่อน	สีน้ำตาลแดงอ่อน
8	สีน้ำตาลแดง	สีน้ำตาลแดง	สีน้ำตาลอ่อน	สีน้ำตาลแดงอ่อน
9	สีน้ำตาลแดง	สีน้ำตาลแดง	สีน้ำตาลอ่อน	สีน้ำตาลอ่อน
10	สีน้ำตาลแดง	สีน้ำตาลแดง	สีน้ำตาลอ่อน	สีน้ำตาลอ่อน
11	สีเขียวอ่อน	สีเขียวอ่อน	สีเทา	สีเทา
12	สีเขียวอ่อน	สีเขียวอ่อน	สีเทา	สีเทา
13	สีเขียวอ่อน	สีเขียวอ่อน	สีเทา	สีเทา
14	สีเขียว	สีเขียว	สีเทา	สีเทา
15	สีเขียว	สีเขียว	สีเทา	สีเทา
16	สีเขียว	สีเขียว	สีเทา	สีเทา
17	สีเขียว	สีเขียว	สีเทา	สีเทา
18	สีเทา	สีเทา	สีเทาอ่อน	สีเทาอ่อน
19	สีเทา	สีเทา	สีเทาอ่อน	สีเทาอ่อน
20	สีเทา	สีเทา	สีเทาอ่อน	สีเทาอ่อน
21	สีเทา	สีเทา	สีเทาอ่อน	สีเทาอ่อน

ตาราง 26 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์บ่มอายุ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

สูตรที่	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์ (กรัม)		
	บ่มอายุ 7 วัน	บ่มอายุ 14 วัน	บ่มอายุ 28 วัน
1	1750	3050	2999
2	2300	3400	3366
3	2350	3625	3750
4	2800	3900	3882
5	2825	3975	3886
6	3100	3975	4125
7	3550	4050	4223
8	3400	4300	4329
9	3400	4100	4130
10	3400	4375	4418
11	3500	4450	4602
12	3450	4500	4527
13	3300	4525	4493
14	3200	4400	4391
15	3250	4400	4484
16	3000	4000	4082
17	2625	3925	3868
18	2400	3800	3853
19	2350	3725	3504
20	2000	3400	3233
21	1900	3150	3015

ตาราง 27 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการนำไปใช้งานของอิฐดินซีเมนต์ สูตรที่ 10

สูตรที่	น้ำหนักใน สภาพแห้ง 28 วัน (กรัม)	การรับ แรงอัด (กก./ซม. ²)	การดูด ซึมน้ำ (ร้อยละ)	ความคงทน ต่อการ สึกกร่อน (ร้อยละ)	สีของอิฐดิน ซีเมนต์เมื่อ อายุ 28 วัน	การพิจารณา ความ เหมาะสมใน การนำไป ใช้งาน
10	4528	36.85	15.78	2.25	สีน้ำตาลอ่อน	ก่อนผนังธรรมดา อาคารชั้นเดียว (ไม่เกิน 3 เมตร)

ภาคผนวก ค
ผลการทดลองอิฐดินซีเมนต์

ตาราง 28 น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุ 7 วัน

สูตรที่	อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 1		อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 2		น้ำหนักเฉลี่ย ($\bar{X}$)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	
1	A2	1800	A4	1700	1750
2	B2	2000	B4	2600	2300
3	C2	2400	C4	2300	2350
4	D2	2800	D4	2800	2800
5	E2	2850	E4	2800	2825
6	F2	3200	F4	3000	3100
7	G2	3500	G4	3600	3550
8	H2	3400	H4	3400	3400
9	I2	3400	I4	3400	3400
10	J2	3500	J4	3300	3400
11	K2	3500	K4	3500	3500
12	L2	3500	L4	3400	3450
13	M2	3200	M4	3400	3300
14	N2	3200	N4	3200	3200
15	O2	3200	O4	3300	3250
16	P2	3000	P4	3000	3000
17	Q2	2600	Q4	2650	2625
18	R2	2400	R4	2400	2400
19	S2	2200	S4	2500	2350
20	T2	2000	T4	2000	2000
21	U2	1800	U4	2000	1900

ตาราง 29 น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุ 14 วัน

สูตรที่	อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 1		อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 2		น้ำหนักเฉลี่ย ($\bar{x}$)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	
1	A2	3100	A4	3000	3050
2	B2	3400	B4	3400	3400
3	C2	3650	C4	3600	3625
4	D2	3900	D4	3900	3900
5	E2	3950	E4	4000	3975
6	F2	4000	F4	3950	3975
7	G2	4100	G4	4000	4050
8	H2	4300	H4	4300	4300
9	I2	4100	I4	4100	4100
10	J2	4400	J4	4350	4375
11	K2	4500	K4	4400	4450
12	L2	4500	L4	4500	4500
13	M2	4550	M4	4500	4525
14	N2	4400	N4	4400	4400
15	O2	4500	O4	4300	4400
16	P2	4000	P4	4000	4000
17	Q2	3900	Q4	3950	3925
18	R2	3800	R4	3800	3800
19	S2	3750	S4	3700	3725
20	T2	3300	T4	3500	3400
21	U2	3100	U4	3200	3150

ตาราง 30 น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์เมื่อป้อนอายุ 28 วัน

สูตรที่	อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 1		อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 2		น้ำหนักเฉลี่ย ($\bar{x}$)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	
1	A2	2845	A4	3153	2999
2	B2	3304	B4	3428	3366
3	C2	3766	C4	3733	3750
4	D2	3848	D4	3915	3882
5	E2	3882	E4	3889	3886
6	F2	4150	F4	4099	4125
7	G2	4211	G4	4234	4223
8	H2	4213	H4	4445	4329
9	I2	4185	I4	4075	4130
10	J2	4393	J4	4442	4418
11	K2	4555	K4	4648	4602
12	L2	4497	L4	4557	4527
13	M2	4547	M4	4439	4493
14	N2	4401	N4	4380	4391
15	O2	4470	O4	4497	4484
16	P2	4164	P4	3999	4082
17	Q2	3934	Q4	3802	3868
18	R2	3939	R4	3767	3853
19	S2	3378	S4	3650	3504
20	T2	3235	T4	3230	3233
21	U2	3042	U4	2988	3015

การบันทึกค่าการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ที่อ่านได้จากการทดสอบ สามารถนำมาหาค่ากำลังอัดเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้จาก สมการ

$$F_a = \frac{P}{A}$$

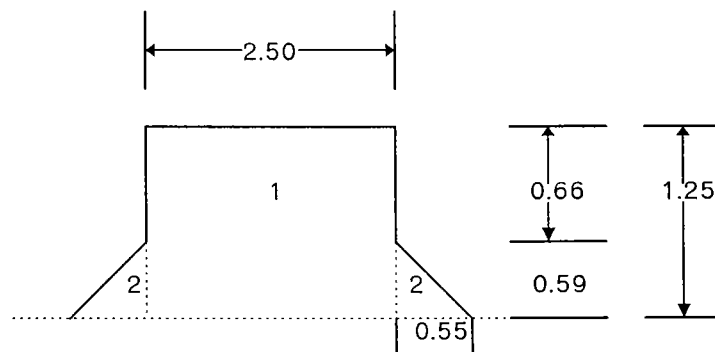
เมื่อ F_a แทน กำลังอัดประลัย (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
 P แทน แรงอัดประลัย (กิโลกรัม)
 A แทน พื้นที่หน้าตัดของอิฐตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)

การหาค่าพื้นที่หน้าตัดของอิฐดินซีเมนต์ ได้จาก

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่หน้าตัด} &= \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \\ &= 12.25 \times 24.50 \\ &= 300.125\end{aligned}$$

∴ พื้นที่หน้าตัดเดิมก่อนมีค่า 300.125 ตารางเซนติเมตร

การหาค่าพื้นที่หน้าตัดส่วนที่ขาดหายไป 6 ส่วน ได้จาก

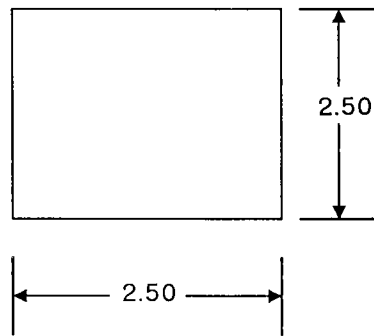


หน่วยเป็นเซนติเมตร

ภาพประกอบ 15 ร่องทางแนวตั้ง 6 ร่อง

$$\begin{aligned}\text{พื้นที่ 1} &= 1.25 \times 2.50 \\ &= 3.125 \\ \text{พื้นที่ 2} &= 0.55 \times 0.59 \\ &= 0.325 \\ \text{พื้นที่ 1 + 2} &= 3.125 + 0.325 = 3.45 \\ \text{พื้นที่ขาดหายไป 6 ส่วน} &= 3.45 \times 6 = 20.70 \text{ ตารางเซนติเมตร}\end{aligned}$$

การหาพื้นที่ส่วนที่ใช้เทซีเมนต์ ได้จาก



หน่วยเป็นเซนติเมตร

ภาพประกอบ 16 รุหยอดน้ำปูนทรายเชื่อมระหว่างก้อนบน - ล่างทางแนวดิ่ง

$$= 2.5 \times 2.5$$

$$\therefore \text{พื้นที่ส่วนที่ต้องการเทซีเมนต์มีค่า} = 6.25 \text{ ตารางเซนติเมตร}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{พื้นที่ส่วนที่ขาดหายไปทั้งหมด} &= 20.70 + 6.25 \\ &= 26.95 \text{ ตารางเซนติเมตร} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดที่นำมาใช้ในการคำนวณจริง}$$

$$= 300.125 - 26.950$$

$$= 273.175 = 273.18 \text{ ตารางเซนติเมตร}$$

การหาค่าการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์สูตรที่ 1 เมื่ออายุ 7 วัน ได้จาก

$$F_a = \frac{P}{A}$$

$$F_a = \frac{1246.35}{273.18}$$

$$F_a = 4.56$$

$\therefore$ อิฐดินซีเมนต์สูตรที่ 1 เมื่อบ่มอายุครบ 7 วัน มีค่าการรับแรงอัด 4.56 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ตาราง 31 การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 7 วัน

สูตรที่	อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 1		อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 2		ค่าการรับแรงอัดเฉลี่ย ($\bar{x}$)
	อิฐหมายเลข	การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	อิฐหมายเลข	การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	
1	A2	1266.90	A4	1225.80	1246.35
2	B2	1021.30	B4	559.65	790.48
3	C2	1310.30	C4	1103.10	1206.70
4	D2	1313.40	D4	1106.40	1209.90
5	E2	1517.50	E4	1388.10	1452.80
6	F2	1638.10	F4	1493.50	1565.80
7	G2	1401.90	G4	1262.60	1332.25
8	H2	2909.90	H4	2660.50	2785.20
9	I2	2921.40	I4	2606.30	2763.85
10	J2	5094.50	J4	4413.40	4753.95
11	K2	5334.40	K4	5235.00	5284.70
12	L2	7025.00	L4	5823.90	6424.45
13	M2	9780.08	M4	7427.90	8603.99
14	N2	7079.80	N4	6816.40	6948.10
15	O2	12260.00	O4	12200.00	12230.00
16	P2	10211.00	P4	8728.80	9469.90
17	Q2	7806.80	Q4	7782.70	7794.70
18	R2	5391.40	R4	5067.00	5229.20
19	S2	2988.00	S4	2450.80	2719.40
20	T2	1798.50	T4	1696.00	1747.25
21	U2	1401.10	U4	1252.00	1326.55

ตาราง 32 การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 14 วัน

สูตรที่	อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 1		อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 2		ค่าการรับแรงอัดเฉลี่ย ($\bar{X}$)
	อิฐหมายเลข	การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	อิฐหมายเลข	การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	
1	A6	1479.80	A8	1644.70	1562.25
2	B6	1325.20	B8	1227.60	1276.40
3	C6	1272.00	C8	1509.00	1390.50
4	D6	1722.30	D8	1468.60	1595.45
5	E6	1685.60	E8	1875.60	1780.60
6	F6	1798.90	F8	1861.60	1830.25
7	G6	1624.90	G8	1792.20	1708.55
8	H6	2710.70	H8	3074.80	2892.75
9	I6	3861.60	I8	3432.40	3647.00
10	J6	6302.70	J8	6889.40	6596.05
11	K6	8150.90	K8	8757.90	8454.40
12	L6	10683.00	L8	8783.00	9733.00
13	M6	8719.80	M8	9741.00	9230.40
14	N6	8567.30	N8	8246.20	8406.75
15	O6	15393.00	O8	14484.00	14938.50
16	P6	11980.00	P8	10896.00	11438.00
17	Q6	6854.40	Q8	7677.40	7265.90
18	R6	6950.10	R8	6111.00	6530.55
19	S6	2927.90	S8	3039.80	2893.85
20	T6	1739.40	T8	1941.40	1840.40
21	U6	1554.80	U8	1664.40	1609.60

ตาราง 33 การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 28 วัน (แห้งปกติ)

สูตรที่	อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 1		อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 2		ค่าการรับแรงอัด
	อิฐหมายเลข	การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	อิฐหมายเลข	การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	เฉลี่ย ($\bar{x}$) (กิโลกรัม)
1	A10	1876.40	A12	1848.30	1862.35
2	B10	1756.70	B12	1653.50	1705.10
3	C10	2054.00	C12	2333.70	2193.85
4	D10	2814.20	D12	2687.70	2750.95
5	E10	3025.80	E12	3025.80	3025.80
6	F10	3497.60	F12	3560.30	3528.95
7	G10	3560.30	G12	4268.70	3914.50
8	H10	8440.90	H12	6897.90	7669.40
9	I10	6971.90	I12	7613.20	7292.55
10	J10	9876.50	J12	9035.80	9456.15
11	K10	9435.10	K12	8656.60	9045.85
12	L10	18994.00	L12	12993.00	15993.50
13	M10	17246.00	M12	21979.00	19612.50
14	N10	12223.00	N12	11849.00	12036.00
15	O10	24273.00	O12	20821.00	22547.00
16	P10	18435.80	P12	19042.80	18739.03
17	Q10	6717.00	Q12	6080.30	6398.65
18	R10	3994.60	R12	6053.10	5023.85
19	S10	5587.30	S12	3962.30	4774.80
20	T10	3817.20	T12	3486.10	3651.65
21	U10	1672.50	U12	1425.70	1549.10

ตาราง 34 การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 28 วัน (แห้งปกติ)

สูตรที่	อัตราส่วนผสมโดยปริมาตร				ค่าการรับแรงอัด ที่อ่านได้ (กก.)	การรับแรงอัด (กก./ซม. ²)
	ดินลูกรัง	เถ้ากลบ	ปูน ซีเมนต์	น้ำ		
1	10	80	10	15	1862.35	6.82
2	20	70	10	15	1705.10	6.24
3	30	60	10	15	2193.85	8.03
4	40	50	10	15	2750.95	10.07
5	50	40	10	15	3025.80	11.08
6	60	30	10	15	3528.95	12.92
7	70	20	10	15	3914.50	14.33
8	80	10	10	15	7669.40	28.07
9	70	10	20	15	7292.55	26.70
10	60	10	30	15	9456.15	*34.62
11	50	10	40	15	9045.85	33.11
12	40	10	50	15	15993.50	*58.55
13	30	10	60	15	19612.50	*71.80
14	20	10	70	15	12036.00	*44.06
15	10	10	80	15	22547.00	*82.54
16	10	20	70	15	18739.00	*68.60
17	10	30	60	15	6398.65	23.42
18	10	40	50	15	5023.85	18.39
19	10	50	40	15	4774.80	17.48
20	10	60	30	15	3651.65	13.37
21	10	70	20	15	1549.10	5.67

* สูตรที่ค่าการรับแรงอัดผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ
มอก. 77 - 2517

ตาราง 35 การทดสอบการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุครบ 28 วัน
(หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง อบแห้ง)

สูตรที่	อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 1		อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 2		ค่าการรับแรงอัด
	อิฐหมายเลข	การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	อิฐหมายเลข	การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	เฉลี่ย ($\bar{x}$) (กิโลกรัม)
1	A14	1085.70	A16	1056.50	1071.10
2	B14	1263.70	B16	1314.70	1289.20
3	C14	1409.70	C16	1769.80	1589.75
4	D14	2226.50	D16	2324.40	2275.45
5	E14	1974.30	E16	1969.10	1971.70
6	F14	3348.90	F16	2444.90	2896.90
7	G14	3026.80	G16	2978.30	3002.55
8	H14	5515.15	H16	7371.70	6443.40
9	I14	7382.70	I16	2577.50	4980.10
10	J14	10491.00	J16	10654.00	10572.50
11	K14	15111.00	K16	15143.00	15127.00
12	L14	17170.00	L16	17243.00	17206.50
13	M14	17243.00	M16	15462.00	16352.50
14	N14	13991.00	N16	13565.00	13778.00
15	O14	16721.00	O16	15779.00	16250.00
16	P14	14335.00	P16	10902.00	12618.50
17	Q14	7622.20	Q16	8089.70	7855.95
18	R14	8050.60	R16	7853.00	7951.80
19	S14	4787.20	S16	4059.80	4423.50
20	T14	2732.20	T16	2819.90	2776.05
21	U14	1336.00	U16	1494.40	1415.20

ตาราง 36 ค่าร้อยละของการรับแรงอัดอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุ 28 วัน

สูตรที่	ค่าการรับแรงอัด (แห้งปกติ) (กิโลกรัม)	ค่าการรับแรงอัด (หลังการทดสอบครบ) (กิโลกรัม)	ผลต่างของค่า การรับแรงอัด (กิโลกรัม)	ค่าร้อยละของ การรับแรงอัด
1	1862.35	1071.10	791.25	42.49
2	1705.10	1289.20	415.90	24.39
3	2193.85	1589.75	604.10	27.54
4	2750.95	2275.45	475.50	17.28
5	3025.80	1971.70	1053.30	34.81
6	3528.95	2896.90	632.05	17.91
7	3914.50	3002.50	912.00	23.30
8	7669.40	6443.40	1226.00	15.99
9	7292.55	4980.10	2312.45	31.71
10	9456.15	10572.50	-1116.35	10.56
11	9045.85	15127.00	-6081.15	40.20
12	15993.50	17206.50	-1213.00	7.05
13	19612.50	16352.50	3260.00	17.01
14	12036.00	13778.00	-1742.00	12.64
15	2247.00	16250.00	6297.00	27.93
16	18739.00	12618.50	6120.50	32.66
17	6398.65	7855.95	-1457.30	18.55
18	5023.85	7951.80	-2927.95	36.82
19	4774.80	4423.50	351.30	7.35
20	3651.65	2776.05	-875.60	23.97
21	1549.10	1415.20	133.90	8.64

ตาราง 37 ค่าเฉลี่ยการรับแรงอัด

สูตร ที่	อัตราส่วนผสมโดยปริมาตร				ค่าการรับแรงอัด (แห้งปกติ) กก./ชม. ²	ค่าการรับแรงอัด (ทดสอบครบ) กก./ชม. ²	ค่าเฉลี่ย การรับแรงอัด แต่ละสูตร กก./ชม. ²
	ดินลูกรัง	เถ้าแกลบ	ปูน ซีเมนต์	น้ำ			
1	10	80	10	15	6.82	3.92	5.37
2	20	70	10	15	6.24	4.72	5.48
3	30	60	10	15	8.03	5.82	6.93
4	40	50	10	15	10.07	8.33	9.20
5	50	40	10	15	11.08	7.22	9.15
6	60	30	10	15	12.92	10.60	11.76
7	70	20	10	15	14.33	10.99	12.66
8	80	10	10	15	28.07	23.59	25.83
9	70	10	20	15	26.70	18.23	22.47
10	60	10	30	15	34.62	38.70	*36.66
11	50	10	40	15	33.11	55.37	*44.24
12	40	10	50	15	58.55	62.99	*60.77
13	30	10	60	15	71.80	59.86	*65.83
14	20	10	70	15	44.06	50.44	*47.25
15	10	10	80	15	82.54	59.48	*71.01
16	10	20	70	15	68.60	46.19	*57.40
17	10	30	60	15	23.42	28.76	26.09
18	10	40	50	15	18.39	29.11	23.75
19	10	50	40	15	17.48	16.19	16.84
20	10	60	30	15	13.37	10.16	11.77
21	10	70	20	15	5.67	5.18	5.42

* สูตรที่ค่าการรับแรงอัดได้มาตรฐานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อีฐก่อสร้างสามัญ
มอก. 77 - 2517

ตาราง 38 น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์หลังจากอบแห้ง

สูตรที่	อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 1		อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 2		น้ำหนักเฉลี่ย
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	หลังอบแห้ง ($\bar{X}$)
1	A14	2123	A16	2487	2305
2	B14	2511	B16	2557	2534
3	C14	2773	C16	2771	2772
4	D14	3280	D16	3333	3307
5	E14	3346	E16	3254	3300
6	F14	3736	F16	3747	3742
7	G14	3914	G16	3909	3912
8	H14	4057	H16	3875	3966
9	I14	3710	I16	3790	3750
10	J14	4086	J16	4057	4072
11	K14	4213	K16	4321	4267
12	L14	4140	L16	4221	4180
13	M14	4085	M16	3971	4028
14	N14	4055	N16	3841	3948
15	O14	4038	O16	3995	4017
16	P14	3531	P16	3800	3665
17	Q14	3374	Q16	3281	3328
18	R14	3390	R16	3477	3434
19	S14	3104	S16	2824	2964
20	T14	2803	T16	2733	2765
21	U14	2141	U16	2296	2219

ตาราง 39 น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง

สูตรที่	อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 1		อิฐดินซีเมนต์ ชุดที่ 2		น้ำหนักเฉลี่ย
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ($\bar{X}$)
1	A14	3374	A16	3630	3502
2	B14	3674	B16	3721	3698
3	C14	3888	C16	3897	3893
4	D14	4130	D16	4168	4149
5	E14	4246	E16	4182	4214
6	F14	4506	F16	4503	4505
7	G14	4638	G16	4640	4639
8	H14	4740	H16	4584	4662
9	I14	4485	I16	4557	4521
10	J14	4720	J16	4776	4748
11	K14	4807	K16	4933	4870
12	L14	4780	L16	4838	4809
13	M14	4772	M16	4700	4736
14	N14	4692	N16	4605	4649
15	O14	4683	O16	4690	4687
16	P14	4430	P16	4300	4365
17	Q14	4180	Q16	4245	4213
18	R14	4144	R16	4226	4185
19	S14	4035	S16	3838	3937
20	T14	3736	T16	3778	3757
21	U14	3515	U16	3525	3520

ตาราง 40 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์ก่อนการขัด (หลังจากแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แล้วเข้าอบแห้ง)

สูตรที่	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์ก่อนการขัด				น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ($\bar{x}$)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	
1	A14	2219	A16	2554	2387
2	B14	2508	B16	2633	2571
3	C14	2812	C16	2758	2785
4	D14	3218	D16	3155	3187
5	E14	3261	E16	3325	3293
6	F14	3668	F16	3689	3679
7	G14	3910	G16	3908	3909
8	H14	3829	H16	3992	3911
9	I14	3654	I16	3850	3752
10	J14	4082	J16	4102	4092
11	K14	4254	K16	4092	4173
12	L14	4026	L16	4282	4154
13	M14	3980	M16	3975	3978
14	N14	3918	N16	4012	3965
15	O14	3909	O16	3861	3885
16	P14	3657	P16	3945	3801
17	Q14	3510	Q16	3818	3664
18	R14	3432	R16	3594	3513
19	S14	2925	S16	3470	3198
20	T14	2778	T16	2879	2829
21	U14	2397	U16	2288	2343

ตาราง 41 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 1

สูตรที่	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัด				น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ($\bar{x}$)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	
1	A14	2187	A16	2527	2357
2	B14	2488	B16	2620	2554
3	C14	2800	C16	2749	2775
4	D14	3214	D16	3148	3181
5	E14	3255	E16	3321	3288
6	F14	3682	F16	3664	3673
7	G14	3906	G16	3906	3906
8	H14	3826	H16	3988	3907
9	I14	3652	I16	3846	3749
10	J14	4074	J16	4101	4088
11	K14	4252	K16	4086	4169
12	L14	4023	L16	4280	4152
13	M14	3978	M16	3972	3975
14	N14	3915	N16	4010	3963
15	O14	3907	O16	3860	3884
16	P14	3652	P16	3942	3797
17	Q14	3509	Q16	3814	3662
18	R14	3430	R16	3587	3509
19	S14	2920	S16	3463	3192
20	T14	2777	T16	2875	2826
21	U14	2368	U16	2262	2315

ตาราง 42 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 2

สูตรที่	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัด				น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ($\bar{x}$)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	
1	A14	2157	A16	2501	2329
2	B14	2467	B16	2601	2534
3	C14	2789	C16	2738	2764
4	D14	3207	D16	3141	3174
5	E14	3250	E16	3316	3283
6	F14	3677	F16	3659	3662
7	G14	3903	G16	3902	3903
8	H14	3821	H16	3984	3903
9	I14	3649	I16	3841	3745
10	J14	4070	J16	4009	4040
11	K14	4248	K16	4080	4164
12	L14	4018	L16	4278	4148
13	M14	3972	M16	3970	3971
14	N14	3910	N16	4008	3959
15	O14	3902	O16	3857	3880
16	P14	3648	P16	3939	3794
17	Q14	3500	Q16	3812	3656
18	R14	3428	R16	3580	3504
19	S14	2916	S16	3452	3184
20	T14	2762	T16	2860	2811
21	U14	2332	U16	2229	2281

ตาราง 43 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 3

สูตรที่	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัด				น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ($\bar{x}$)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	
1	A14	2128	A16	2471	2300
2	B14	2445	B16	2576	2511
3	C14	2769	C16	2730	2750
4	D14	3199	D16	3132	3166
5	E14	3242	E16	3311	3277
6	F14	3671	F16	3654	3663
7	G14	3899	G16	3898	3899
8	H14	3816	H16	3982	3899
9	I14	3642	I16	3839	3741
10	J14	4068	J16	4001	4035
11	K14	4242	K16	4072	4157
12	L14	4014	L16	4276	4145
13	M14	3970	M16	3968	4969
14	N14	3902	N16	4004	3953
15	O14	3900	O16	3853	3877
16	P14	3644	P16	3935	3790
17	Q14	3499	Q16	3806	3653
18	R14	3424	R16	3578	3501
19	S14	2910	S16	2902	2906
20	T14	2751	T16	2732	2742
21	U14	2301	U16	2221	2261

ตาราง 44 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 4

สูตรที่	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัด				น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ($\bar{x}$)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	
1	A14	2097	A16	2446	2272
2	B14	2428	B16	2548	2488
3	C14	2748	C16	2721	2735
4	D14	3192	D16	3125	3159
5	E14	3238	E16	3301	3270
6	F14	3668	F16	3638	3653
7	G14	3892	G16	3891	3892
8	H14	3812	H16	3980	3896
9	I14	3634	I16	3832	3733
10	J14	4062	J16	3999	4031
11	K14	4239	K16	4068	4154
12	L14	4011	L16	4272	4142
13	M14	3962	M16	3964	3963
14	N14	3900	N16	4002	3951
15	O14	3897	O16	3850	3874
16	P14	3640	P16	3931	3786
17	Q14	3491	Q16	3800	3646
18	R14	3421	R16	3571	3496
19	S14	2901	S16	2899	2900
20	T14	2738	T16	2719	2729
21	U14	2268	U16	2198	2233

ตาราง 45 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 5

สูตรที่	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัด				น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ($\bar{x}$)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	
1	A14	2062	A16	2414	2238
2	B14	2422	B16	2526	2474
3	C14	2729	C16	2708	2719
4	D14	3179	D16	3118	3149
5	E14	3230	E16	3299	3265
6	F14	3662	F16	3628	3645
7	G14	3888	G16	3885	3887
8	H14	3806	H16	3972	3889
9	I14	3632	I16	3830	3731
10	J14	4060	J16	3991	4026
11	K14	4225	K16	4066	4146
12	L14	4005	L16	4268	4137
13	M14	3960	M16	3960	3960
14	N14	3890	N16	4000	3945
15	O14	3892	O16	3848	3870
16	P14	3636	P16	3928	3782
17	Q14	3488	Q16	3798	3643
18	R14	3419	R16	3562	3491
19	S14	2895	S16	2882	2889
20	T14	2726	T16	2691	2709
21	U14	2235	U16	2172	2204

ตาราง 46 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 6

สูตรที่	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัด				น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	($\bar{x}$)
1	A14	2033	A16	2379	2206
2	B14	2398	B16	2499	2449
3	C14	2720	C16	2692	2706
4	D14	3168	D16	3112	3140
5	E14	3228	E16	3290	3259
6	F14	3658	F16	3621	3640
7	G14	3880	G16	3881	3881
8	H14	3801	H16	3968	3885
9	I14	3625	I16	3825	3725
10	J14	4058	J16	3989	4024
11	K14	4221	K16	4062	4142
12	L14	4001	L16	4262	4132
13	M14	3954	M16	3956	3955
14	N14	3884	N16	3992	3938
15	O14	3882	O16	3842	3862
16	P14	3632	P16	3926	3779
17	Q14	3482	Q16	3794	3638
18	R14	3412	R16	3556	3484
19	S14	2885	S16	2872	2879
20	T14	2721	T16	2666	2694
21	U14	2201	U16	2138	2170

ตาราง 47 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 7

สูตรที่	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัด				น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ($\bar{x}$)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	
1	A14	2002	A16	2349	2176
2	B14	2973	B16	2470	2422
3	C14	2701	C16	2672	2687
4	D14	3150	D16	3100	3152
5	E14	3221	E16	3288	3255
6	F14	3649	F16	3615	3632
7	G14	3872	G16	3877	3875
8	H14	3799	H16	3960	3880
9	I14	3622	I16	3820	3721
10	J14	4052	J16	3981	4017
11	K14	4219	K16	4058	4139
12	L14	3998	L16	4259	4129
13	M14	3952	M16	3951	3952
14	N14	3880	N16	3990	3935
15	O14	3872	O16	3838	3855
16	P14	3629	P16	3921	3775
17	Q14	3478	Q16	3791	3635
18	R14	3406	R16	3551	3479
19	S14	2876	S16	2869	2873
20	T14	2700	T16	2642	2671
21	U14	2172	U16	2105	2139

ตาราง 48 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 8

สูตรที่	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัด				น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	($\bar{X}$)
1	A14	1964	A16	2320	2142
2	B14	2347	B16	2449	2398
3	C14	2685	C16	2658	2672
4	D14	3142	D16	3081	3112
5	E14	3215	E16	3280	3248
6	F14	3641	F16	3607	3624
7	G14	3868	G16	3870	3896
8	H14	3791	H16	3958	3875
9	I14	3618	I16	3815	3717
10	J14	4048	J16	3978	4013
11	K14	4212	K16	4052	4147
12	L14	3992	L16	4252	4122
13	M14	3950	M16	3948	3949
14	N14	3875	N16	3988	3932
15	O14	3869	O16	3832	3851
16	P14	3622	P16	3918	3770
17	Q14	3472	Q16	3788	3630
18	R14	3400	R16	3544	3472
19	S14	2862	S16	2859	2861
20	T14	2688	T16	2624	2656
21	U14	2137	U16	2075	2106

ตาราง 49 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 9

สูตรที่	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัด				น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	($\bar{x}$)
1	A14	1939	A16	2291	2115
2	B14	2326	B16	2422	2374
3	C14	2660	C16	2639	2650
4	D14	3120	D16	3078	3099
5	E14	3200	E16	3272	3236
6	F14	3653	F16	3600	3618
7	G14	3860	G16	3868	3864
8	H14	3789	H16	3954	3872
9	I14	3612	I16	3810	3711
10	J14	4042	J16	3972	4007
11	K14	4209	K16	4050	4130
12	L14	3989	L16	4248	4119
13	M14	3948	M16	3944	3946
14	N14	3871	N16	3980	3926
15	O14	3864	O16	3830	3847
16	P14	3620	P16	3914	3767
17	Q14	3469	Q16	3782	3626
18	R14	3394	R16	3540	3467
19	S14	2855	S16	2825	2840
20	T14	2660	T16	2612	2636
21	U14	2102	U16	2032	2067

ตาราง 50 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 10

สูตรที่	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัด				น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	($\bar{x}$)
1	A14	1905	A16	2266	2086
2	B14	2301	B16	2401	2351
3	C14	2641	C16	2619	3630
4	D14	3110	D16	3070	3090
5	E14	3195	E16	3268	3232
6	F14	3629	F16	3599	3614
7	G14	3854	G16	3864	3859
8	H14	3782	H16	3950	3866
9	I14	3606	I16	3802	3704
10	J14	4038	J16	3969	4004
11	K14	4201	K16	4042	4122
12	L14	3982	L16	4242	4112
13	M14	3944	M16	3940	3942
14	N14	3868	N16	3976	3922
15	O14	3860	O16	3828	3844
16	P14	3614	P16	3912	3763
17	Q14	3462	Q16	3778	3620
18	R14	3390	R16	3536	3463
19	S14	3850	S16	3821	2836
20	T14	3646	T16	3600	2623
21	U14	2080	U16	2017	2049

ตาราง 51 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 11

สูตรที่	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัด				น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ($\bar{x}$)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	
1	A14	1872	A16	2238	2055
2	B14	2279	B16	2375	2327
3	C14	2642	C16	2600	2621
4	D14	3100	D16	3062	3081
5	E14	3190	E16	3260	3225
6	F14	3621	F16	3589	3605
7	G14	3850	G16	3858	3854
8	H14	3779	H16	3942	3861
9	I14	3601	I16	3798	3700
10	J14	4032	J16	3960	3996
11	K14	4199	K16	4035	4117
12	L14	3977	L16	4239	4108
13	M14	3940	M16	3932	3936
14	N14	3862	N16	3972	3917
15	O14	3856	O16	3824	3840
16	P14	3607	P16	3908	3758
17	Q14	3458	Q16	3772	3615
18	R14	3385	R16	3530	3458
19	S14	3842	S16	2816	3329
20	T14	2629	T16	2582	3606
21	U14	2069	U16	2002	2036

ตาราง 52 น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัดในครั้งที่ 12

สูตรที่	น้ำหนักอิฐดินซีเมนต์หลังการขัด				น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ($\bar{x}$)
	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	อิฐหมายเลข	น้ำหนัก (กรัม)	
1	A14	1847	A16	2216	2032
2	B14	2269	B16	2365	2317
3	C14	2629	C16	2590	2610
4	D14	3090	D16	3048	3069
5	E14	3182	E16	3252	3217
6	F14	3616	F16	3578	3597
7	G14	3842	G16	3854	3848
8	H14	3771	H16	3938	3855
9	I14	3599	I16	3790	3695
10	J14	4029	J16	3952	3991
11	K14	4190	K16	4030	4110
12	L14	3971	L16	4235	4103
13	M14	3939	M16	3929	3934
14	N14	3858	N16	3968	3913
15	O14	3852	O16	3820	3836
16	P14	3602	P16	3906	3754
17	Q14	3454	Q16	3769	3612
18	R14	3381	R16	3529	3455
19	S14	3839	S16	2814	3327
20	T14	2624	T16	2576	2600
21	U14	2058	U16	1991	2025

การคิดต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะคิดต้นทุนการผลิตจากราคาเครื่องมือ วัสดุที่ใช้คือ ดินลูกรัง และปูนซีเมนต์ เท่านั้น ส่วนราคาเข้ากลบและค่าแรงในการอัดอิฐดินซีเมนต์ไม่นำมาคิดเป็นต้นทุนการผลิต โดยนำเสนอวิธีคิดอย่างง่ายไว้ดังนี้ (เป็นราคาที่คิดไว้ ณ วันที่ 30 ธันวาคม 2541)

1. การคิดต้นทุนการผลิตอิฐดินซีเมนต์ในสูตรที่ 10

1.1 ค่าเครื่องมือต่อการทำอิฐ 1 ก้อน = 0.085 บาท (หน้า 28)

1.2 ค่าดินลูกรัง

ดินลูกรัง 1 ลูกบาศก์เมตร ประมาณ 8 คันรถเข็น

ดินลูกรัง 1 ลูกบาศก์เมตร ราคาประมาณ 91.66 บาท

$$\text{ดินลูกรัง 1 รถเข็น} = \frac{91.66}{8} \text{ บาท} = 11.45 \text{ บาท}$$

ดินลูกรัง 1 รถเข็น มีน้ำหนักประมาณ 50 กิโลกรัม

สูตรที่ 10 ใช้ดิน 6 ถัง (1 ถังหนัก 7.7 กิโลกรัม) อัตราได้ประมาณ 20 ก้อน

สูตรที่ 10 ใช้ดิน $6 \times 7.7 = 46.2$ กิโลกรัม

สูตรที่ 10 ใช้ดินประมาณ 1 คันรถ $= 11.45$ บาท

$$\text{ถ้าคิด 1 ก้อน} \quad \frac{11.45}{20} = 0.57 \text{ บาท}$$

1.3 ค่าปูนซีเมนต์

ค่าปูนซีเมนต์ตราเสือ ราคากระสอบละ 109 บาท

1 กระสอบ มีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม

สูตรที่ 10 ใช้ปูนซีเมนต์ 3 ถัง (1 ถังหนัก 8.6 กิโลกรัม)

สามารถอัตราได้ประมาณ 20 ก้อน

สูตรที่ 10 ใช้ปูนซีเมนต์ $3 \times 8.6 = 25.8$ กิโลกรัม

$$\text{แสดงว่าใน 20 ก้อนใช้ปูนซีเมนต์จริง} \quad \frac{109}{2} = 54.50 \text{ บาท}$$

$$\text{ถ้าคิด 1 ก้อน} \quad \frac{54.50}{20} = 2.72 \text{ บาท}$$

$$\text{รวม } 1.1 + 1.2 + 1.3 = 0.85 + 0.57 + 2.72$$

$$\therefore \text{ต้นทุนการผลิตสูตรที่ 10} = 3.375 \text{ บาท}$$

ทั้งนี้สูตรที่ 12 - 16 ก็มีวิธีการคิดแบบเดียวกัน โดยอัตราส่วนของดินลูกรังและปูนซีเมนต์จากสูตรเอา 10 หาร ค่าออกมาเป็น ถัง เช่น สูตรที่ 10 มีดินลูกรังต่อปูนซีเมนต์ผสมในอัตราส่วน 60 : 30 นั่นคือมีดินลูกรัง 6 ถัง ปูน 3 ถัง เป็นต้น

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์ของโรงอิฐ นายมิตร เพชรศรี

ตาราง 53 น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

สูตรที่	อิฐตัวอย่าง	7 วัน		14 วัน		28 วัน	
		ค่าจริง	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	ค่าจริง	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)	ค่าจริง	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
A	A1	4210	4315	5100	5170	5000	5125
	A2	4420		5240		5250	

ตาราง 54 ค่าการรับแรงอัดเฉลี่ย 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

สูตรที่	อิฐตัวอย่าง	7 วัน		14 วัน		28 วัน	
		ค่าที่อ่านได้ (กก.)	ค่าการรับแรงอัดเฉลี่ย (กก.)	ค่าที่อ่านได้ (กก.)	ค่าการรับแรงอัดเฉลี่ย (กก.)	ค่าที่อ่านได้ (กก.)	ค่าการรับแรงอัดเฉลี่ย (กก.)
A	A1	6464.00	6040.00	6823.20	6579.45	12220.00	12097.75
	A2	5616.30		6335.70		11975.50	

ตาราง 55 ค่าการรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ 28 วัน (ปกติและหลังการทดสอบ)

สูตรที่	อิฐตัวอย่าง	28 วัน (ปกติ)		28 วัน (ทดสอบครบ)		ค่าเฉลี่ยการรับแรงอัด (กก./ซม. ²)
		ค่าที่อ่านได้ (กก.)	ค่าการรับแรงอัด (กก./ซม. ²)	ค่าที่อ่านได้ (กก.)	ค่าการรับแรงอัด (กก./ซม. ²)	
A	A1 A2	12097.75	44.28	15459.50	56.60	50.44

ตาราง 56 น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์หลังจากอบแห้งและหลังจากแช่น้ำ 24 ชั่วโมง

สูตรที่	อิฐหมายเลข	หลังอบแห้ง		หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง	
		ค่าจริง (กรัม)	ค่าเฉลี่ย (กรัม)	ค่าจริง (กรัม)	ค่าเฉลี่ย (กรัม)
A	A3	4650	4635	5113	5101
	A4	4619		5088	

ตาราง 57 ค่าร้อยละของความคงทนต่อการสึกกร่อนของอิฐดินเหนียว

สูตรที่	ค่าการรับแรงอัด เมื่ออิฐอายุครบ 28 วัน (กก./ซม. ²)	น้ำหนักตัวอย่างอิฐก่อนและหลังการขัด (กรัม)												ค่าเฉลี่ย ของการสึกกร่อน ($\bar{X}$) (กรัม)	
		ก่อนขัด	น้ำหนักภายหลังการขัด												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	59
A	50.44	5101	5098	5092	5089	5084	5082	5079	5077	5072	5062	5058	5050	5042		1.16

ตาราง 58 คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์ด้านการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความคงทนต่อการสึกกร่อน เมื่ออิฐอายุครบ 28 วัน

สูตรที่	อัตราส่วนผสม				ค่าการรับแรงอัด (กก./ซม. ²)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ร้อยละของความคงทนต่อการสึกกร่อน (ร้อยละ)
	ดินลูกรัง	ทราย	ปูนซีเมนต์	น้ำ			
A	7	2	1	10	50.44	9.14	1.16

สรุป อิฐดินซีเมนต์จากโรงอิฐ นายมิตร เพชรศรี มีคุณสมบัติทางกายภาพด้านการรับแรงอัด 50.44 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 9.14 และมีค่าร้อยละของความคงทนต่อการสึกกร่อน 1.16 ซึ่งจัดว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม อิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77 - 2517 กำหนดไว้ และอิฐดินซีเมนต์ชุดนี้เหมาะกับการก่อสร้างอาคารชั้นเดียว สีอิฐก็เหมาะสมในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนคือมีสีน้ำตาลแดงอ่อน

พัทลุง ดินซีเมนต์ กับการอนุรักษ์ธรรมชาติ

นายสุพัฒน์ ธรรมเพชร สส.พัทลุง และสหกรณ์โคนมพัทลุง จำกัด โดย นายสนัย สุขเกษม ประธานกรรมการ ได้สนับสนุนขยายผลอิฐดินซีเมนต์เพื่อการก่อสร้างบ้านแก่ชาวพัทลุงในชุมชน เพราะดินในจังหวัดพัทลุงมีหลายจุดที่สามารถนำไปทำอิฐดินซีเมนต์ได้ เป็นการอนุรักษ์ธรรมชาติไปด้วย เพราะดินซีเมนต์ทำจาก ดินที่มีทรายเกินร้อยละ 80 เมื่ออัดเป็นก้อนแล้วไม่ต้องเผา การก่อสร้างไม่ต้องใช้ไม้แบบ ไม่ใช่เสา ลดการทำลายป่า ค่าใช้จ่ายของการก่อสร้างลดลงร้อยละ 30 - 40 ของการก่อสร้างปกติ ก่อสร้างเร็วและง่าย นอกจากนี้ยังมีการทำอิฐโค้งสำหรับทำถังรับน้ำฝน ขณะนี้มีกลุ่มทำอิฐดังกล่าว ในจังหวัดพัทลุง 3 กลุ่ม มีการก่อสร้างบ้านบ่อรับน้ำฝน ในจังหวัดพัทลุงและใกล้เคียงไปหลายหลังแล้ว ซึ่งขณะนี้จังหวัดพัทลุงกำลังผลักดันให้มีการผลิตอิฐดินซีเมนต์ และได้ฝึกอบรมให้บาง อบต. และบางสหกรณ์ไปแล้วเพื่อเป็นการสร้างงานในชนบท นอกจากลดการทำลายป่า ชาวบ้านก่อสร้างบ้านเองได้ ลดต้นทุนการสร้างแล้วยังเป็นการสร้างงานในชนบทอีกด้วย กลุ่มที่ผลิตอิฐปัจจุบันมีกลุ่มจองถนน สหกรณ์การเช่าซื้อที่ดินบางแก้ว จำกัด และกลุ่มบ้านคลองซุด ตำบลห่านโพธิ์ เขาชัยสน ซึ่งเป็นกลุ่มใหญ่ที่สุด และในปี 2542 สหกรณ์โคนมพัทลุง จำกัด ร่วมกับโครงการผลิตอิฐดินซีเมนต์ขนาดใหญ่จะผลิตอิฐให้สมาชิกผู้เลี้ยงโคนมไปก่อสร้างบ่อหมักต้นข้าวโพด ฟางข้าว สร้างคอกโค และบ้านพักอาศัยอีกด้วย

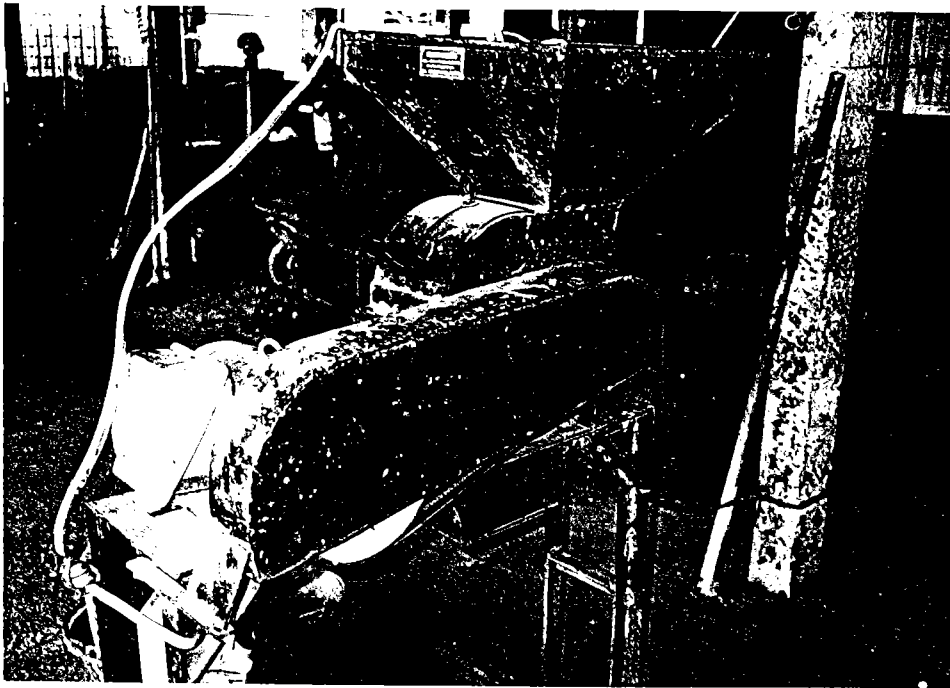
ภาคผนวก ง
ภาพกระบวนการผลิตอิฐดินซีเมนต์



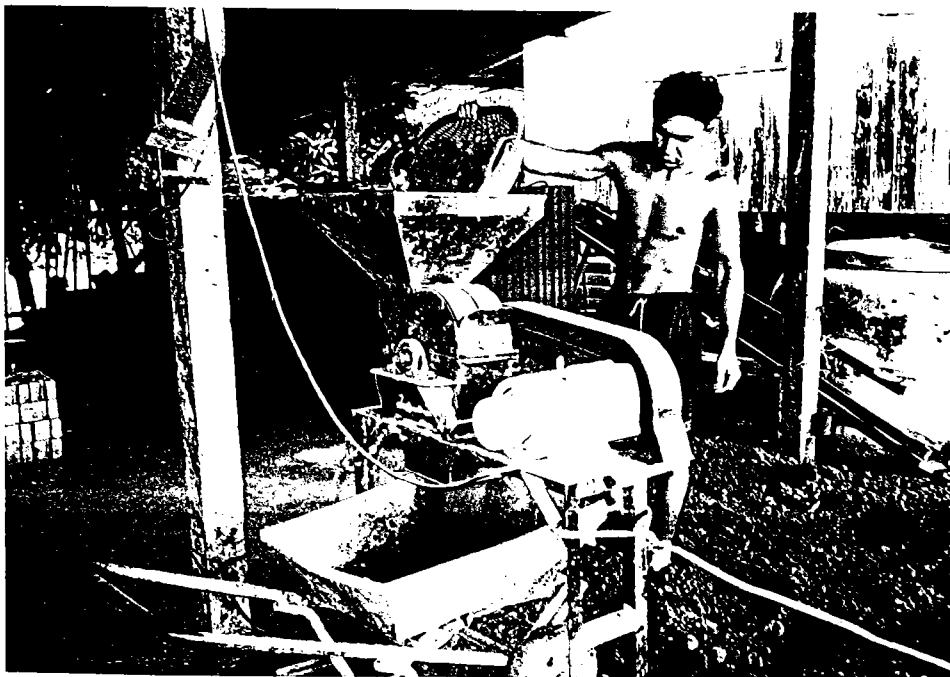
ภาพประกอบ 17 ถ้ำกลบ



ภาพประกอบ 18 การร่อนถ้ำกลบผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช



ภาพประกอบ 19 เครื่องบดละเอียดดินลูกรัง



ภาพประกอบ 20 การบดดินลูกรังด้วยเครื่องบดละเอียด



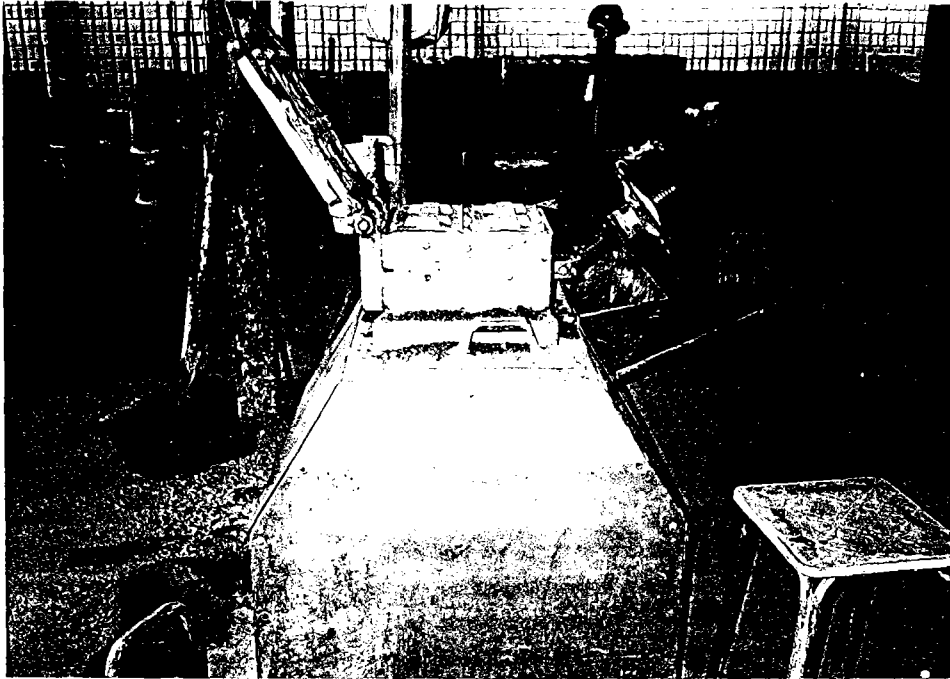
ภาพประกอบ 21 อัตราส่วนผสมใน 1 สูตร



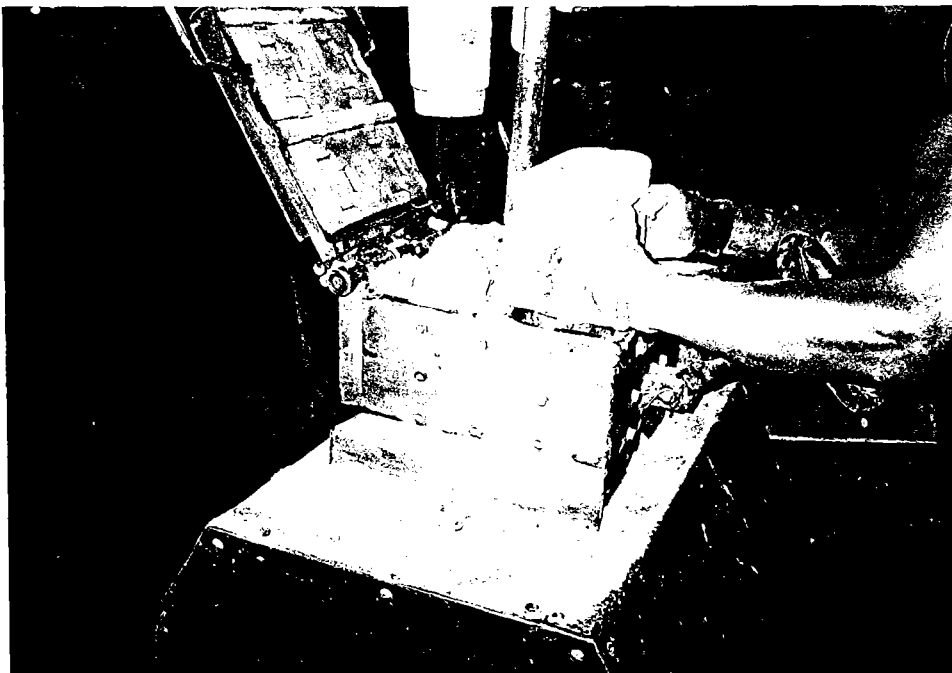
ภาพประกอบ 22 การคลุกเคล้าส่วนผสมด้วยมือ



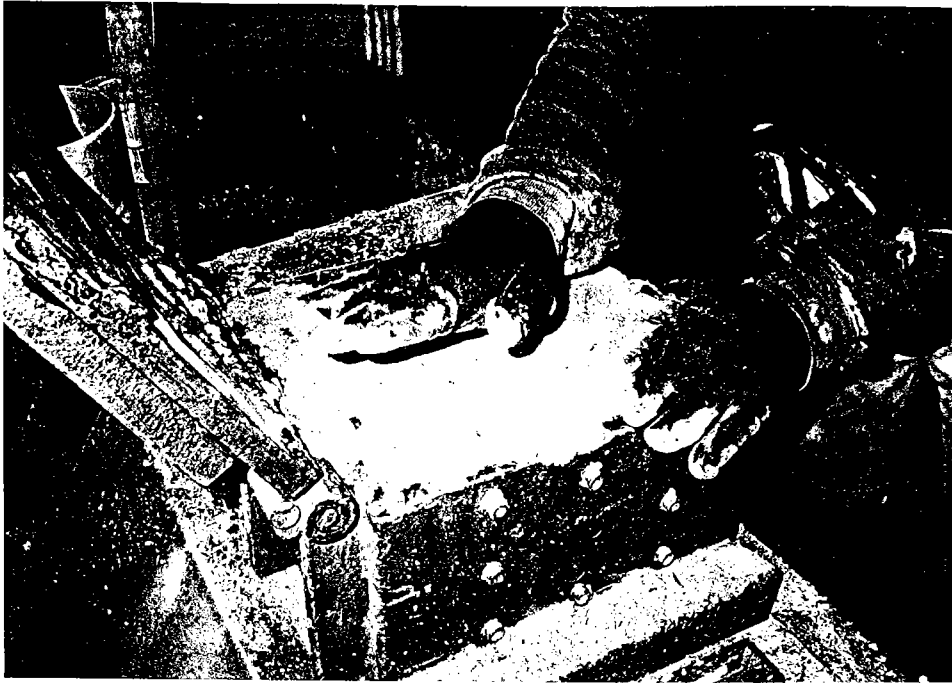
ภาพประกอบ 23 การคลุกเคล้าส่วนผสมด้วยจอบให้เข้ากัน



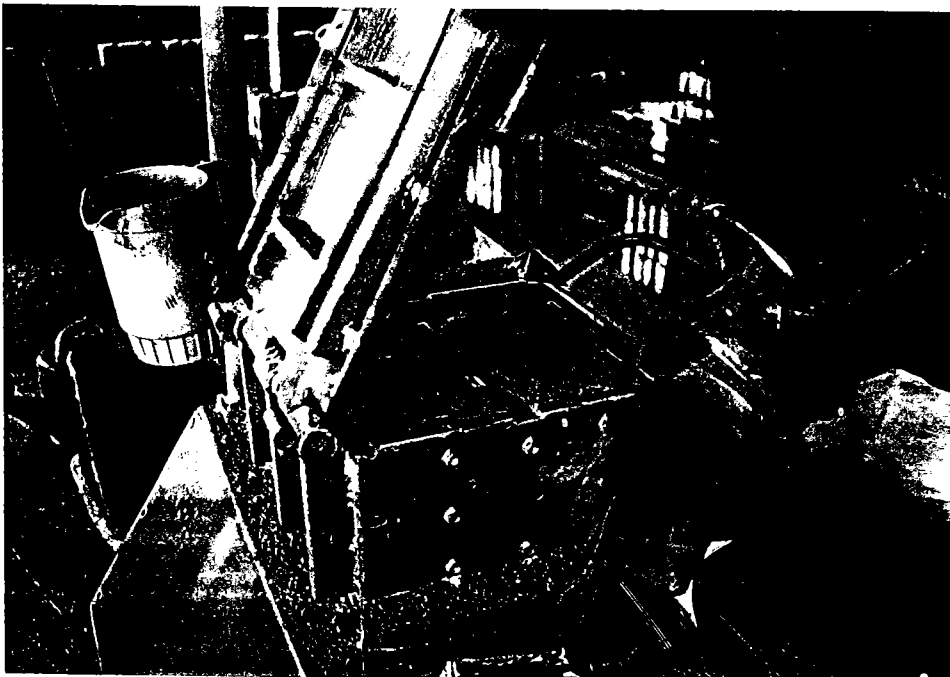
ภาพประกอบ 24 เครื่องอัดอิฐดินซีเมนต์แบบไฮดรอลิก



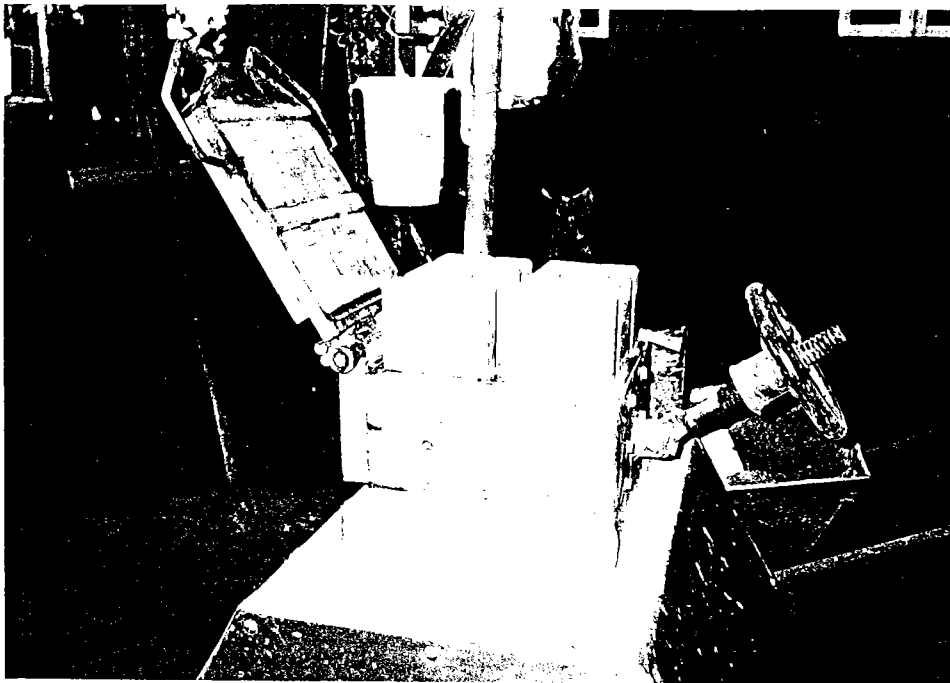
ภาพประกอบ 25 การเทส่วนผสมลงในบล็อกไฮดรอลิก



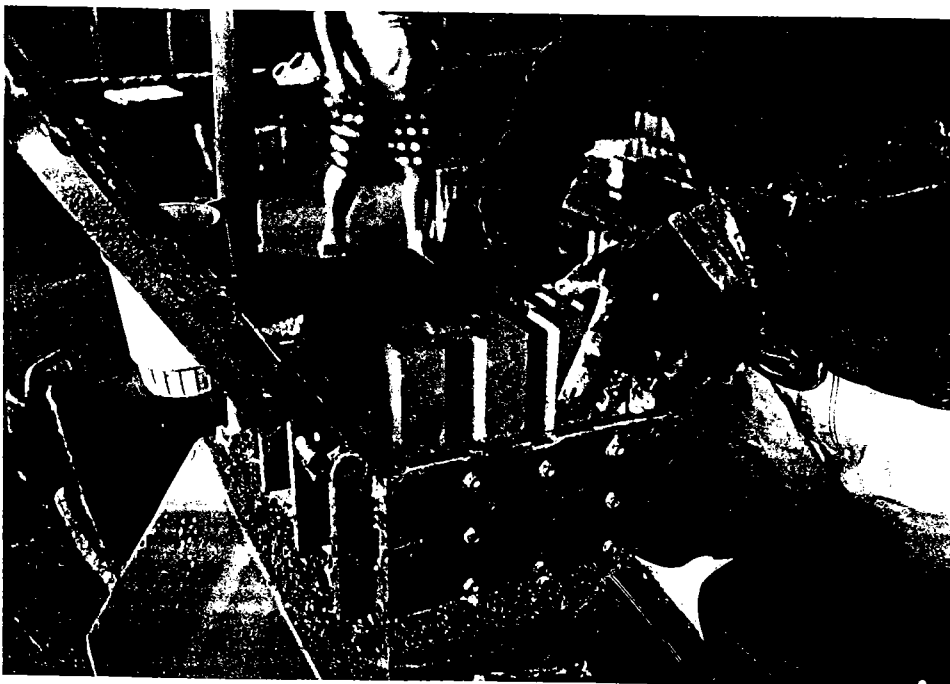
ภาพประกอบ 26 การอัดส่วนผสมให้แน่นทั่วทั้งบล็อก



ภาพประกอบ 27 ปิดฝาบล็อกแล้วหมุนเกลียวอัดอิฐดินซีเมนต์



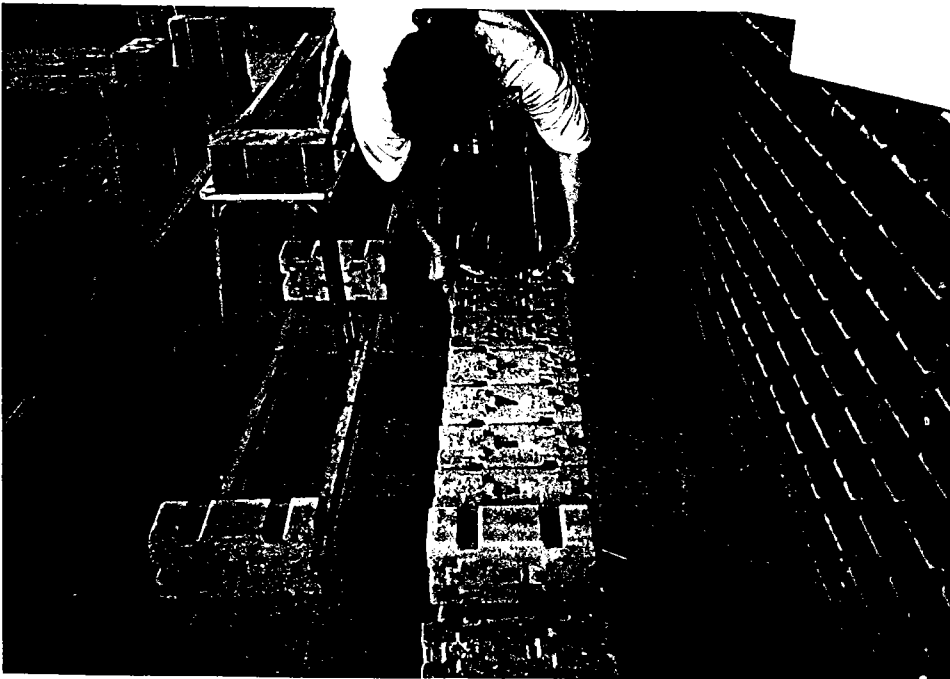
ภาพประกอบ 28 กดปั๊มให้อิฐดินซีเมนต์ลอยตัวสะดวกในการยกออกจากบล็อก



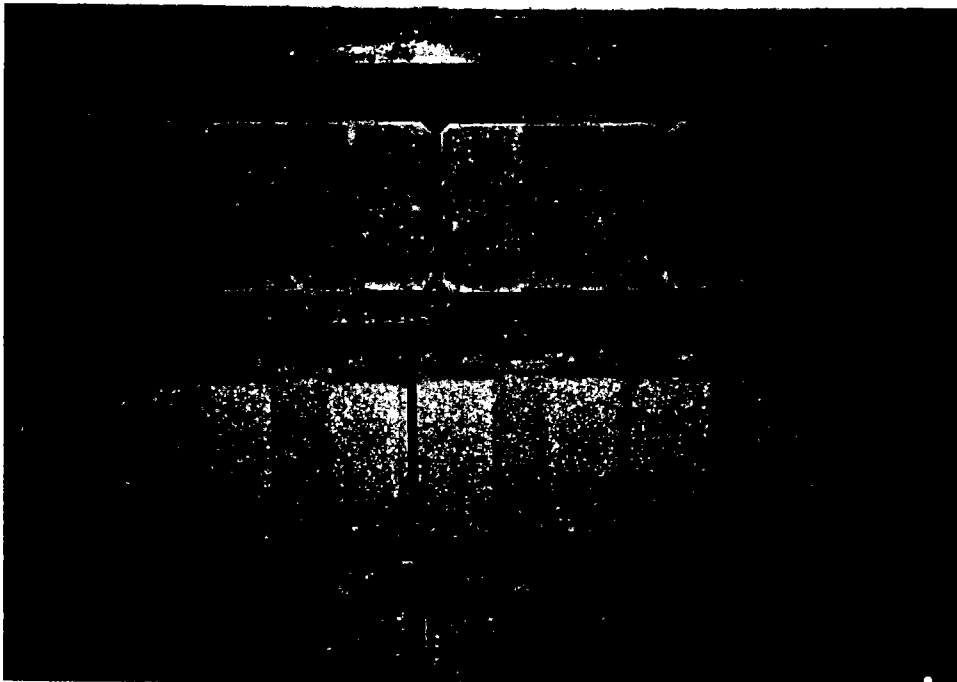
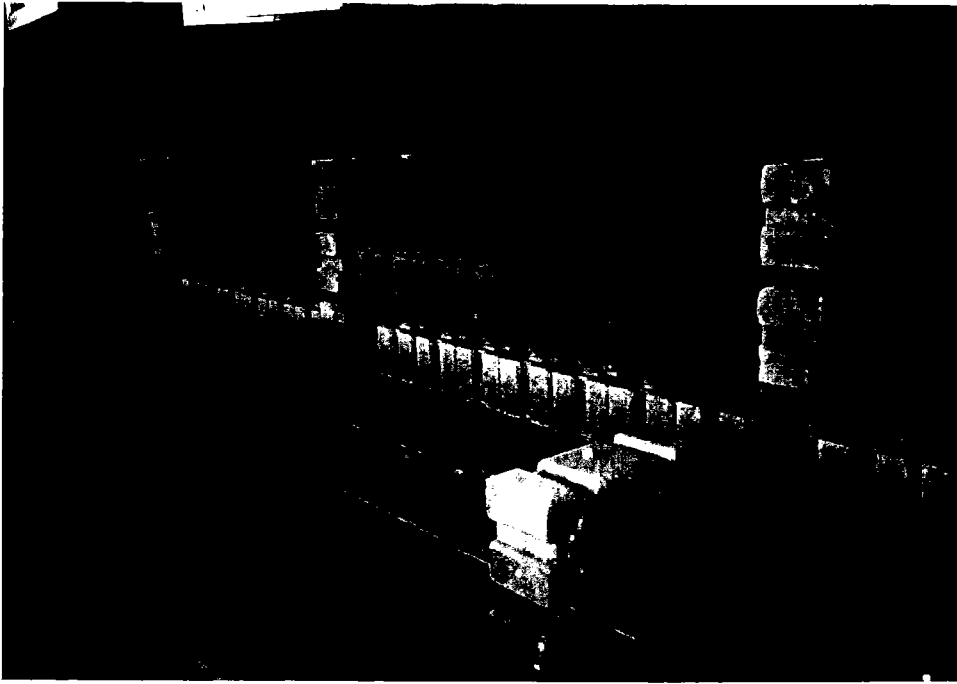
ภาพประกอบ 29 ยกอิฐดินซีเมนต์ออกจากบล็อกอย่างระมัดระวัง



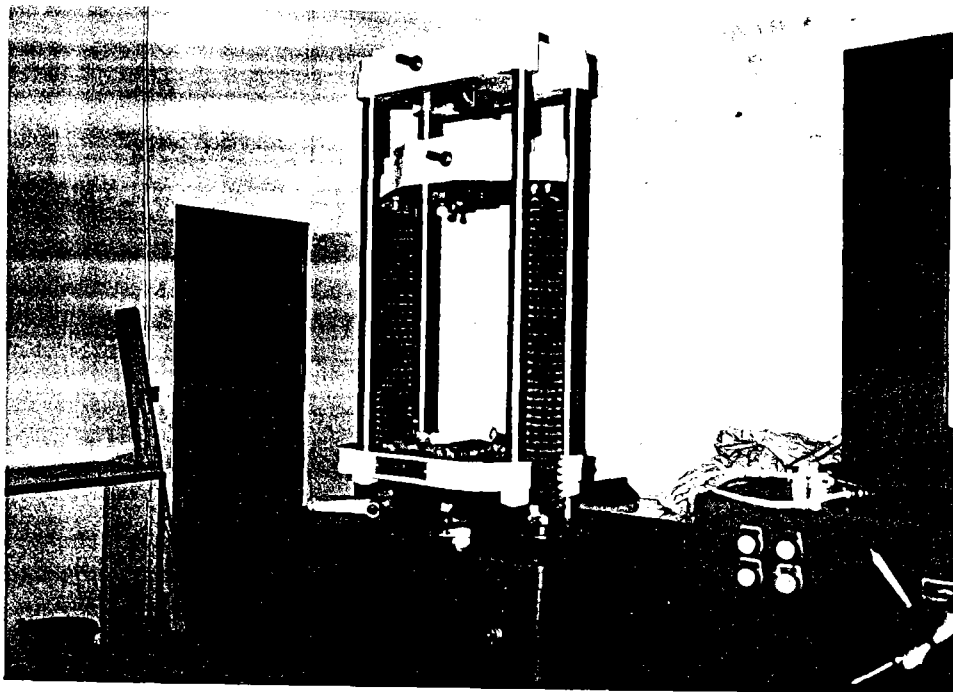
ภาพประกอบ 30 ชั่งน้ำหนักอิฐดินซีเมนต์เมื่ออัดเสร็จ



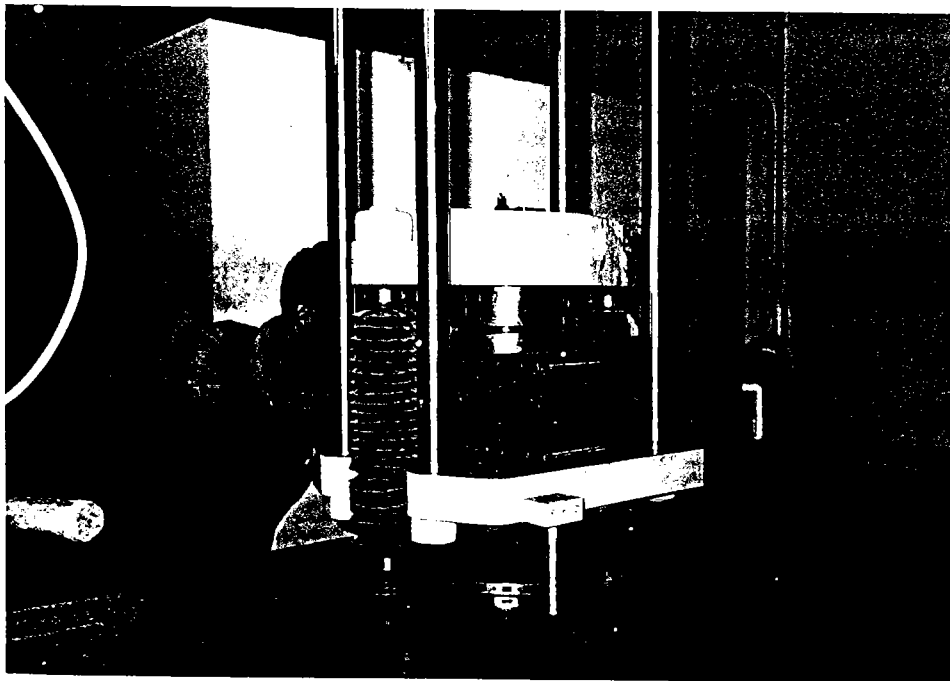
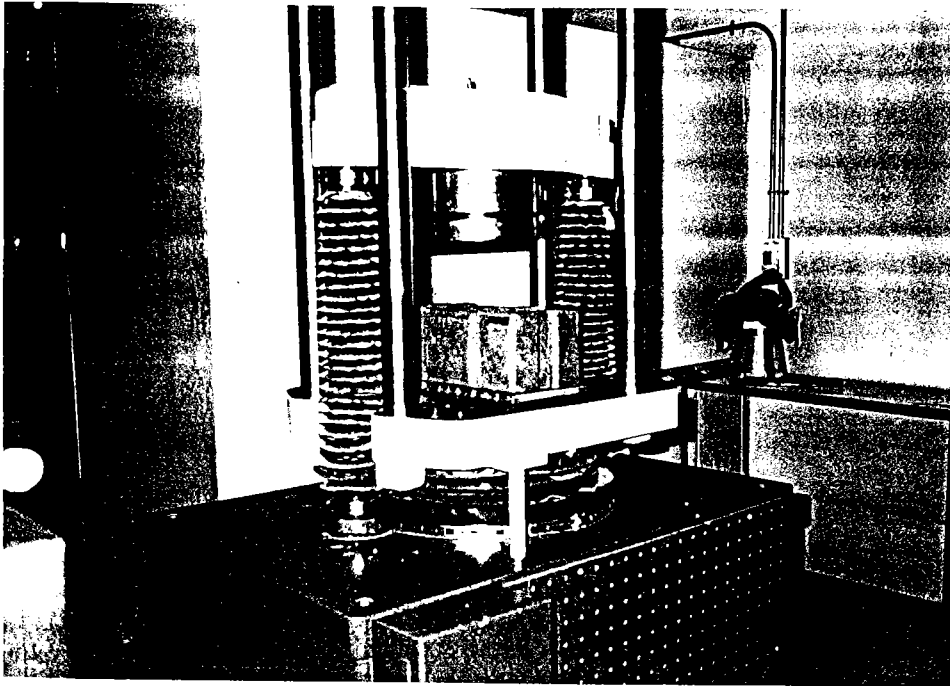
ภาพประกอบ 31 การจัดวางอิฐดินซีเมนต์เมื่ออัดเสร็จ



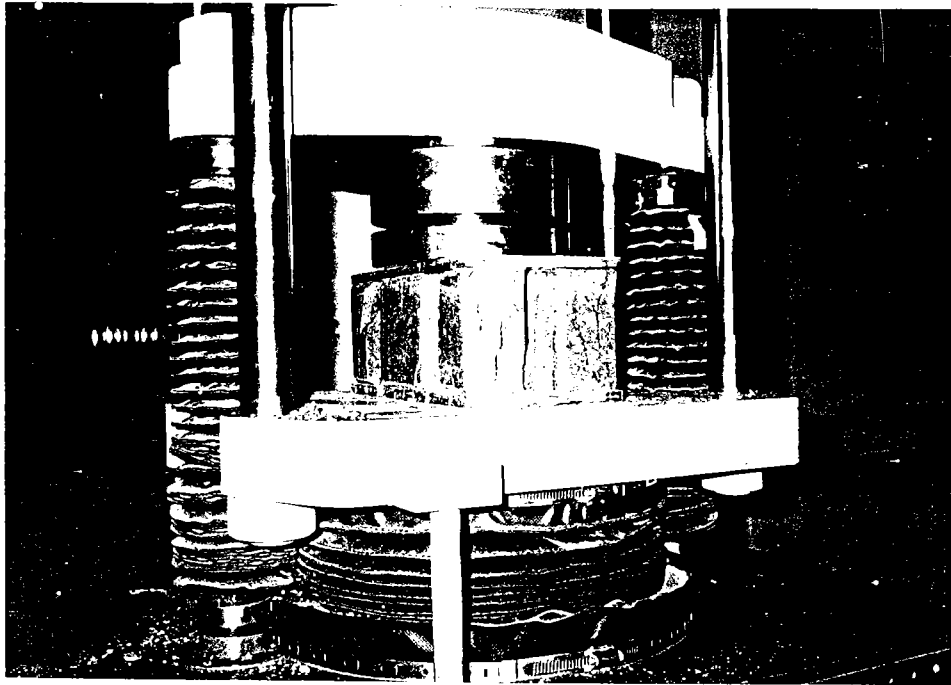
ภาพประกอบ 32 การจัดวางอิฐดินซีเมนต์เพื่อฝังลม



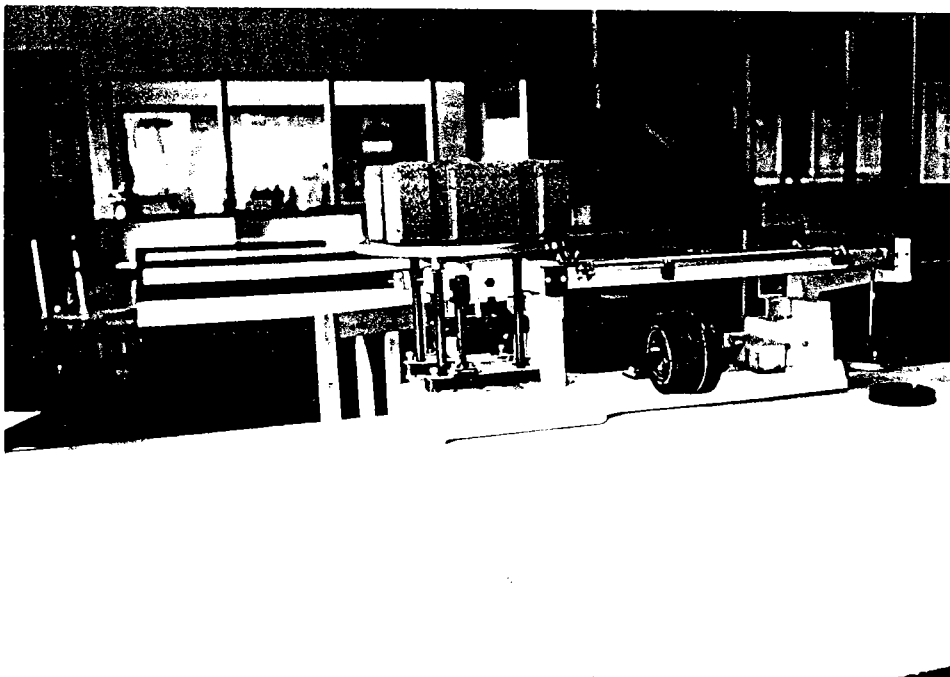
ภาพประกอบ 33 เครื่องทดสอบการรับแรงอัดอิฐดินซีเมนต์



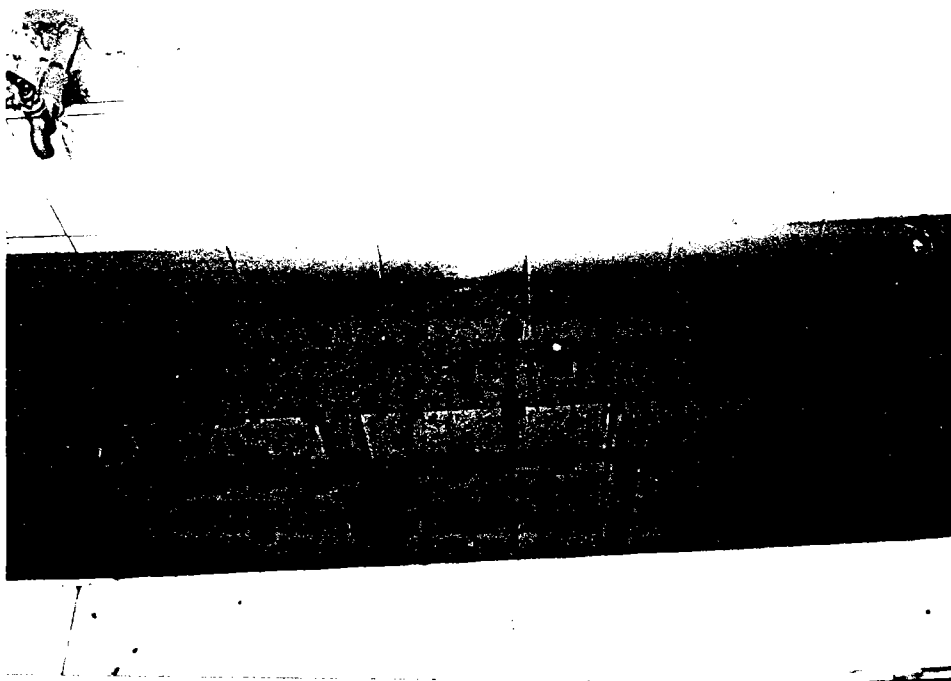
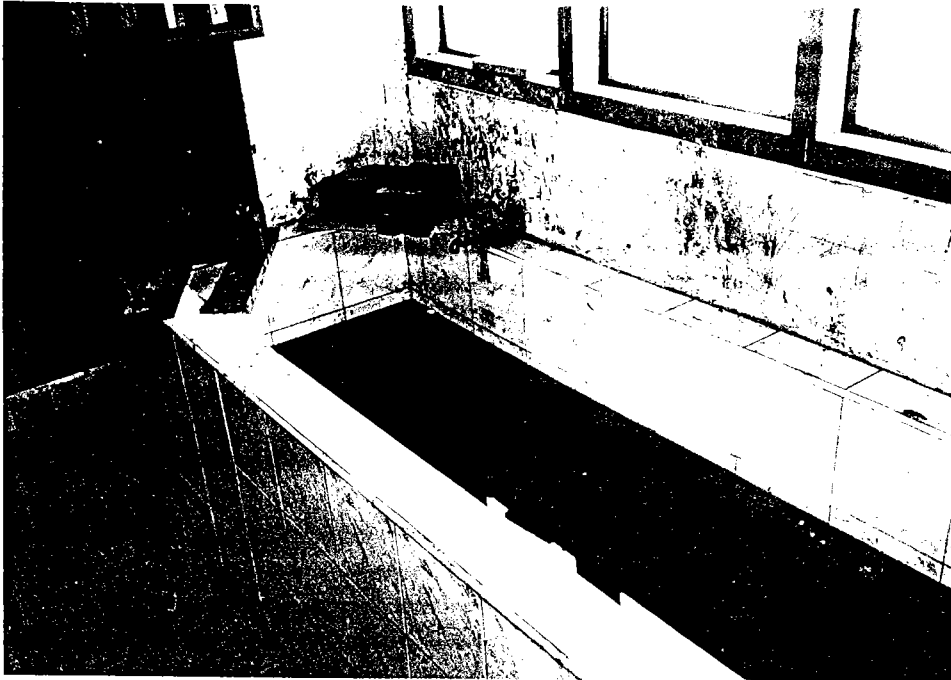
ภาพประกอบ 34 การเตรียมอิฐดินซีเมนต์เพื่อทดสอบการรับแรงอัด



ภาพประกอบ 35 อีฐดินซีเมนต์ที่รับแรงอัดถึงจุดประลัยจนอ่านค่าได้



ภาพประกอบ 36 การชั่งน้ำหนักอีฐดินซีเมนต์เมื่ออายุ 28 วัน



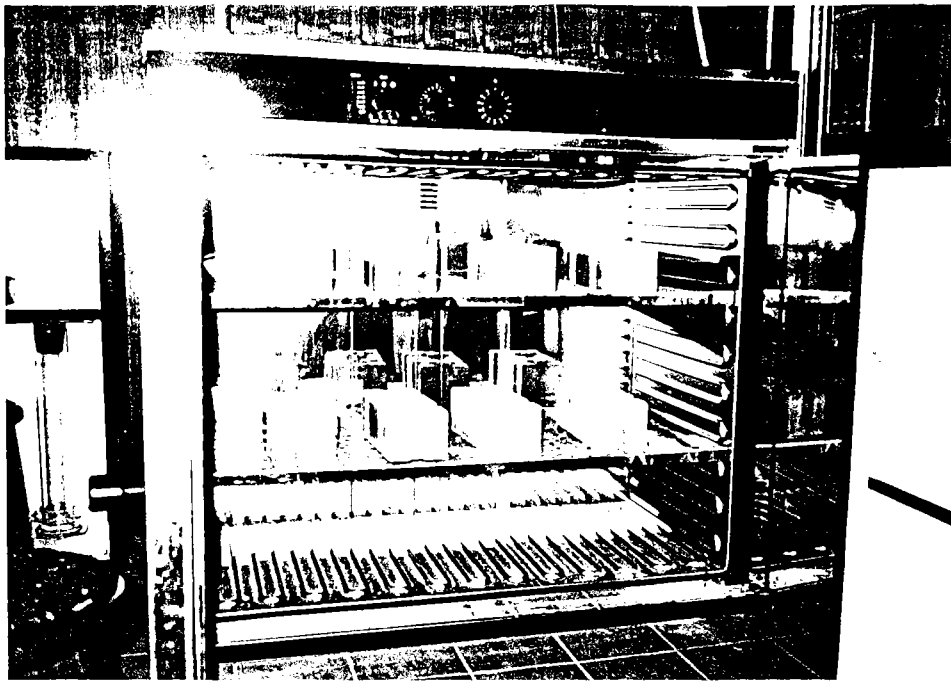
ภาพประกอบ 37 การนำอิฐดินซีเมนต์แช่น้ำ 24 ชั่วโมง เพื่อทดสอบค่าดูดซึมน้ำ



ภาพประกอบ 38 การฝังอิฐดินซีเมนต์ให้หมดหยดน้ำ



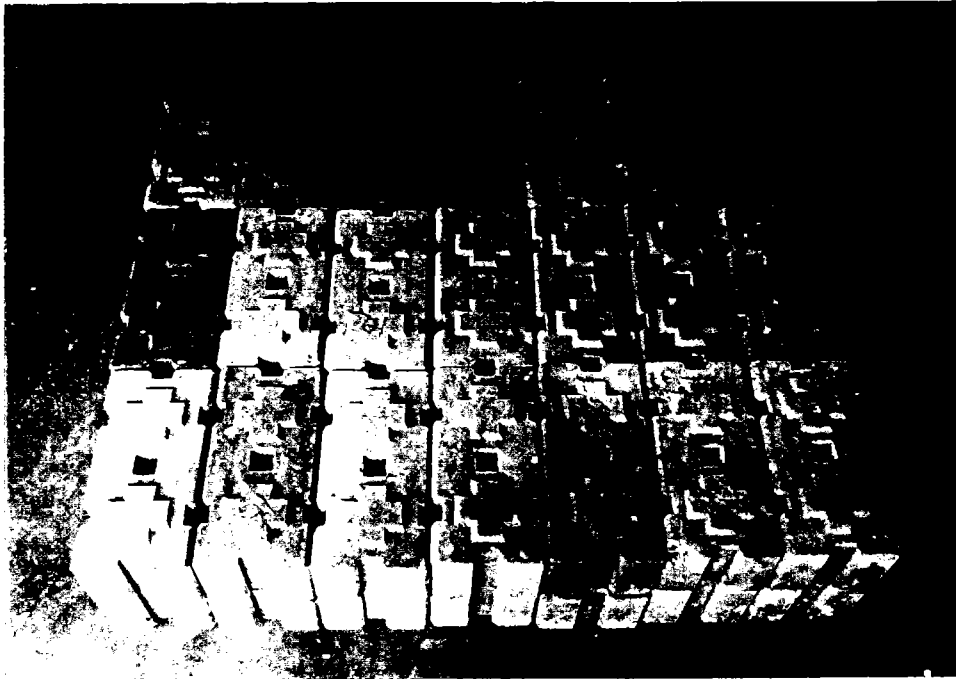
ภาพประกอบ 39 เตาอบอิฐดินซีเมนต์



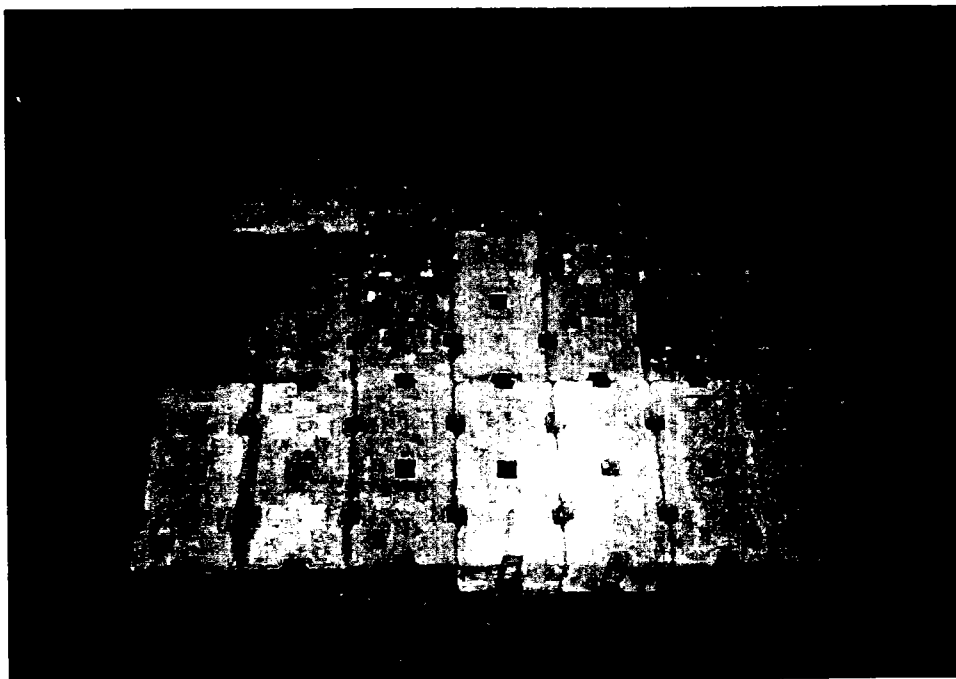
ภาพประกอบ 40 การอบแห้งอิฐดินซีเมนต์



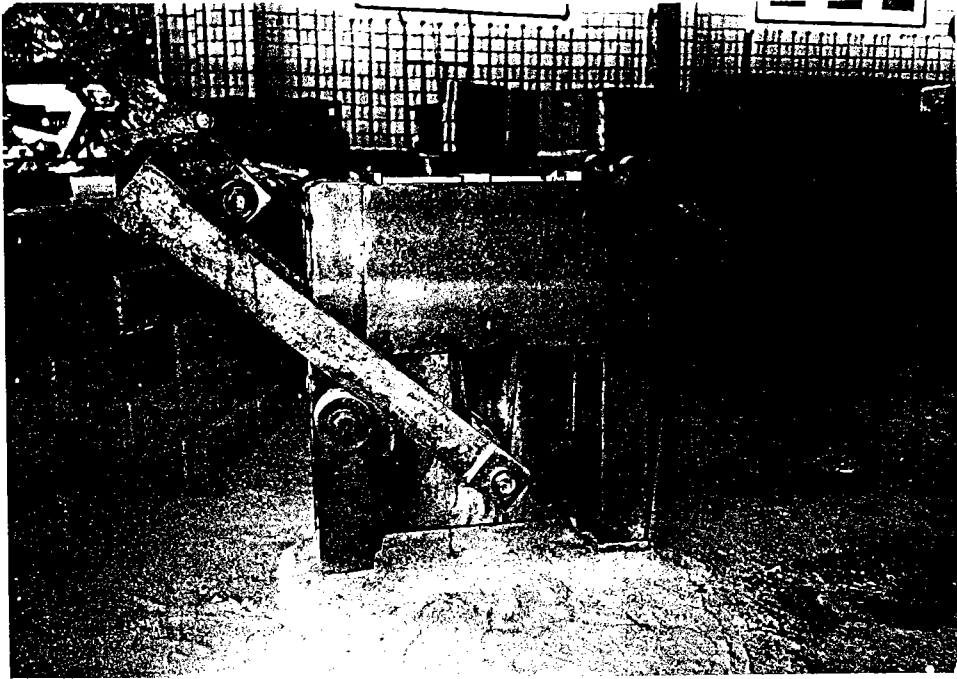
ภาพประกอบ 41 การขัดอิฐดินซีเมนต์ด้วยแปรงลวดทองเหลือง



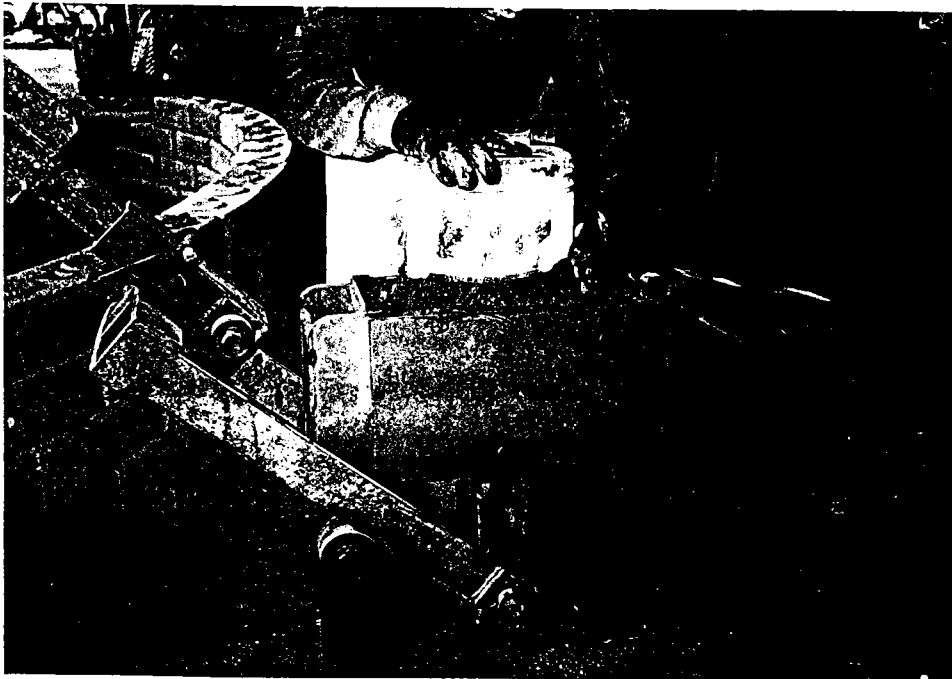
ภาพประกอบ 42 สีของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุ 7 วัน แถวบนสุดอิฐหมายเลข 1 - 7
แถวกลางอิฐหมายเลข 8 - 14 แถวล่างสุดอิฐหมายเลข 15 - 21



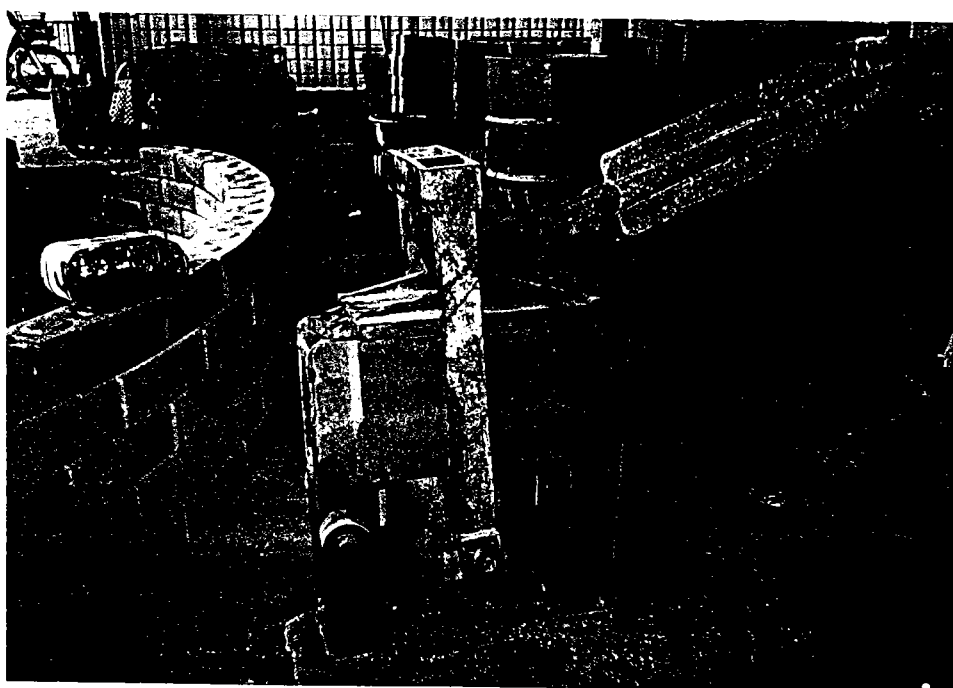
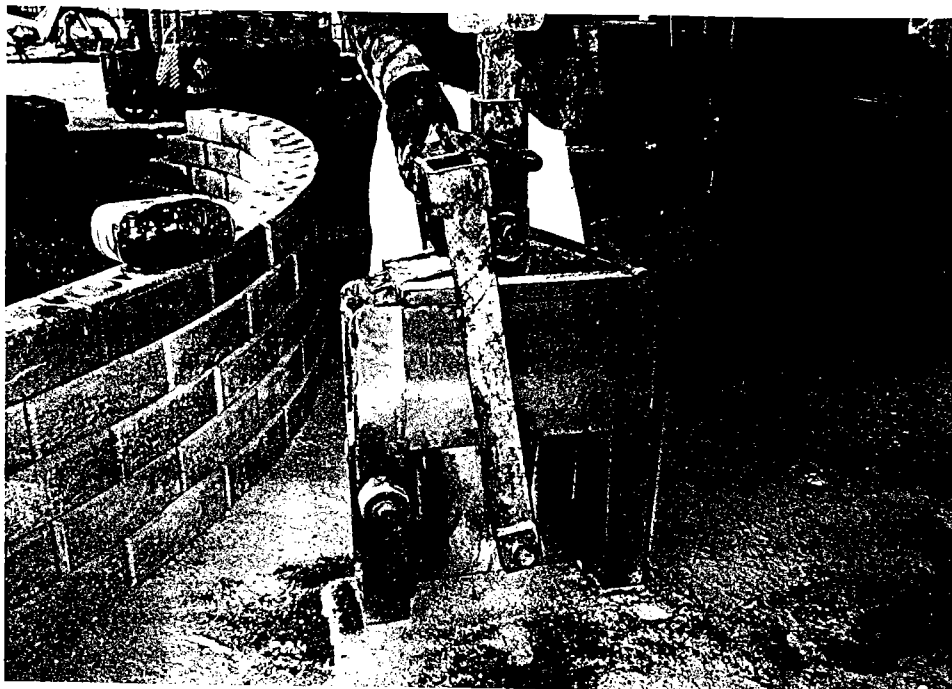
ภาพประกอบ 43 สีของอิฐดินซีเมนต์เมื่ออายุ 28 วัน



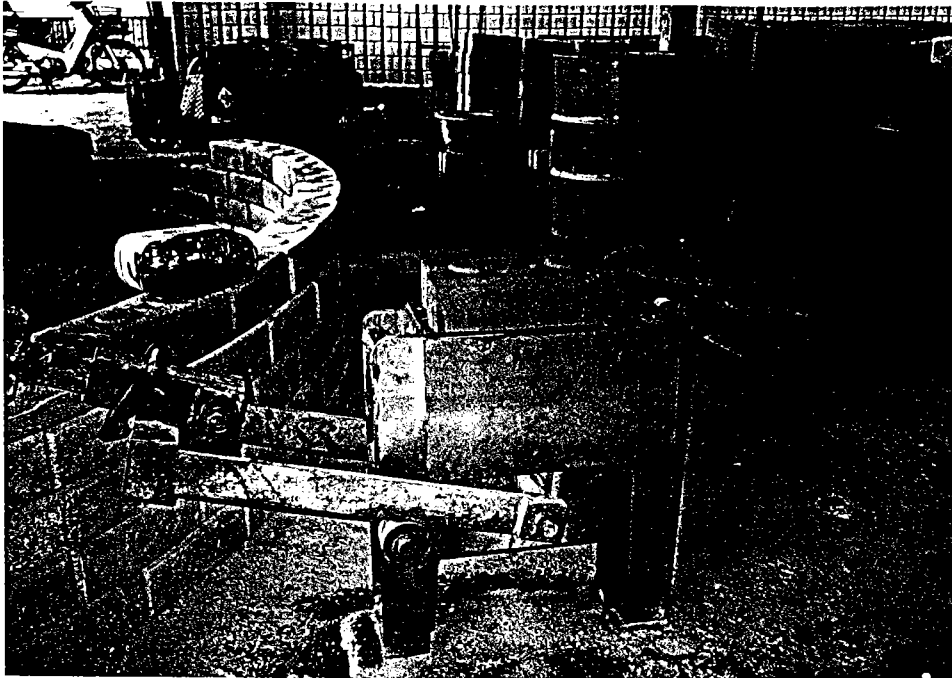
ภาพประกอบ 44 เครื่องอัดหินวาม



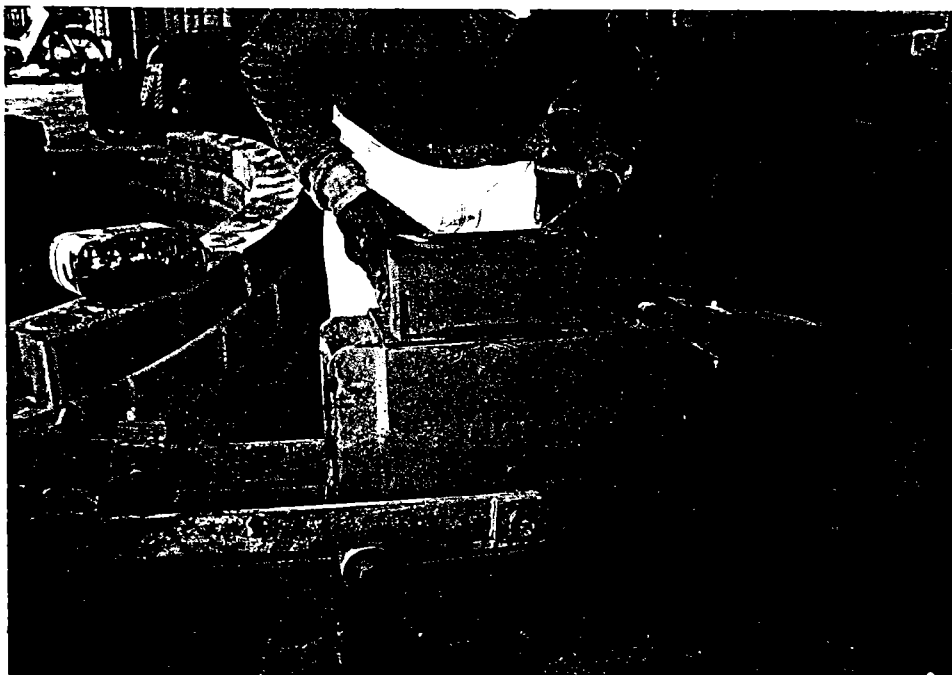
ภาพประกอบ 45 การเทส่วนผสมลงในบล็อกหินวาม



ภาพประกอบ 46 การโยกคันอัดเพื่ออัดอิฐดินซีเมนต์ให้แน่น



ภาพประกอบ 47 ตันคันอัดลงให้อิฐลอยตัวขึ้น



ภาพประกอบ 48 ยกอิฐออกจากเบ้า

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ - ชื่อสกุล	นางสาวเบญจมาศ บุญดำ
วัน เดือน ปีเกิด	20 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2512
สถานที่เกิด	12/5 ถนนราเมศวร์ ซอย 22 ตำบลคูหาสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง 93000
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านพักข้าราชการ (633) ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร. 5493718
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ 1 ระดับ 3
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะศิลปกรรม สาขาวิชาเครื่องปั้นดินเผา ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร. 5493286
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2523	ชั้นประถมศึกษา (ป.6) โรงเรียนวัดนางลาด อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง
พ.ศ. 2531	ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย (ม.6) โรงเรียนพัทลุง อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง
พ.ศ. 2536	ปริญญาตรี (วท.บ. เทคโนโลยีเซรามิกส์) วิทยาลัยครูพระนคร
พ.ศ. 2542	กศ.ม. วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ