การนำเศษวัสดุชีวมวลกลับมาใช้ใหม่สำหรับผลิตอิฐก่อสร้าง

ปัญญา พลมีเดช

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

พ.ศ. 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ นายปัญญา พลมีเดช แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....	ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ดร.ศุภชัย สมเพ็ชร)	(ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย)
.....	กรรมการ
(ดร.เชี่ยวชาญ แสงทอง)	(ผู้ทรงคุณวุฒิ)
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นนทพงษ์ พลพวก)	(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก)
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวดล กัญญาคำ)	(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

.....	.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวดล กัญญาคำ)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สนิท ตีเมืองซ้าย)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
	วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ชื่อเรื่อง : การนำเศษวัสดุชีวมวลกลับมาใช้ใหม่สำหรับผลิตอิฐก่อสร้าง

ผู้วิจัย : ปัญญา พลมีเดช **ปริญญา :** วศ.ม. (การจัดการงานวิศวกรรม)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นนทพงษ์ พลพวก อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวดล กัญญาคำ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม พ.ศ. 2559

บทคัดย่อ

องค์ประกอบของดินและกระบวนการผลิตอิฐมอญ มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการผลิตอิฐมอญ วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้ คือ ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของอิฐดินเหนียวโดยดูผลของการใช้สารเติมแต่งคือ แกลบข้าว ขี้เลื่อย กากกาแฟ ชานอ้อย และเศษหญ้านำมาใช้เติมในส่วนผสมของการทำอิฐ สารเติมแต่งมีอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันคือ 0, 5, 10, 15 และ 20 % โดยน้ำหนัก ตัวอย่างของอิฐมอญเผาด้วยเตาเผาแบบแก๊สที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 °C

ผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณสารเติมแต่งทำให้อิฐมีรูพรุนเปิดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความหนาแน่น และค่าความแข็งแรงจะลดลงอัตราส่วนผสมเศษวัสดุชีวมวลต่อดินเหนียวที่เหมาะสมสำหรับอิฐมอญผสมแกลบข้าว อิฐมอญผสมขี้เลื่อย และอิฐมอญผสมกากกาแฟ คือ อัตราส่วนผสม 5% และ 10%ส่วนอัตราส่วนผสมเศษวัสดุชีวมวลต่อดินเหนียวที่เหมาะสมสำหรับชานอ้อยและเศษหญ้าคืออัตราส่วนผสม 5% โดยทั้งหมดให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำระหว่าง 17.25 – 23.56% ค่าการรับกำลังอัดระหว่าง 45.26 – 141.92 kg/cm^2 ซึ่งตามมาตรฐาน มอก.77 - 2545 ให้ค่าการดูดซึมน้ำได้สูงสุด 25% และค่าความแข็งแรงเพียง 35 kg/cm^2

คำสำคัญ : อิฐมอญ, แกลบข้าว, ขี้เลื่อย, กากกาแฟ, ชานอ้อย, เศษหญ้า, ความพรุนตัว, การรับกำลังอัด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

TITLE : Reuse of Biomass wastes in Construction Bricks

AUTHOR : Panya Pholmeedech **DEGREE :** M. Eng. (Engineering Management)

ADVISORS : Asst.Prof.Dr. Nonthaphong Phonphuak Major Advisor

Asst.Prof.Dr. Siwadol Kanyakam Co-advisors

RAJABHAT MAHA SARAKHAM UNIVERSITY, 2016

ABSTRACT

The composition of clay and production of process fired clay bricks are mostly important for clay bricks production. The aim of this study was to investigate the physical and mechanical properties of fired clay bricks due to the effect of additives (rice husk, sawdust,coffee ground, bagasse,Grass) various firing temperatures were investigated. The additives with various concentrations of 0, 5, 10, 15 and 20% by weight were studied. The brick clay specimens were fired in gas kiln furnace at 900, 950 and 1000 $^{\circ}$C.

Results revealed that the rising of the additives obtained the increasing of the open porosity while the bulk density and compressive strength were decreased. As a conclusion, ingredients waste biomass materials suitable for rice husk, sawdust, coffee ground was 5% and 10%, bagasse and grass was 5%, all whose water absorption was17.25 – 23.56%and compressive strengthwas 45.26 –

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

141.92kg/cm^2 byThai Industrial Standards Institute; TISI77-2545 whose water absorption was 25%and compressive strengthno less than was 35 kg/cm^2.

Keywords : Fire clay bricks, rice husk, sawdust, coffee ground, bagasse, Grass,Porosity,Compressive strength

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งในที่นี้ไม่สามารถนำมากล่าวได้ทั้งหมด ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกที่ผู้ศึกษาใคร่ขอขอบพระคุณคือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นนทพงษ์ พลพวก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยเอาใจใส่และให้ความอนุเคราะห์ในหลายๆ ด้าน ทั้งด้านการประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้คำปรึกษาที่ดีเกี่ยวกับการจัดทำวิทยานิพนธ์ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆด้วยความเอาใจใส่ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวดล กัญญาคำ ดร.สมชาย อินทะตา ดร.ศุภชัย สมเพ็ชร และ ดร.เชี่ยวชาญ แสงทอง ที่ให้ความอนุเคราะห์และคำแนะนำต่างๆ ที่ดีเสมอมาขอขอบคุณ นายพัฒนะ เจริญยิ่ง เพื่อนและพี่ชายที่แสนดีที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ สนับสนุนและช่วยแนะนำด้วยดีเสมอ รวมไปถึง นายมิตร เกษไธสง ผู้ช่วยงานวิจัยที่คอยช่วยเหลือด้านการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยรวมไปถึงกระบวนการทดลองต่างๆ ให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาปริญญาโทหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรมทุกๆท่านที่คอยให้กำลังใจตลอดมาและสุดท้ายนี้ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้โอกาสในการศึกษาและผลักดันจนงานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ปัญญา พลมีเดช

สารบัญ

หัวเรื่อง **หน้า**

บทคัดย่อ ..... ค

ABSTRACT ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

สารบัญตารางภาคผนวก ..... ฎ

สารบัญแผนภาพภาคผนวก ..... ฐ

สารบัญภาพภาคผนวก ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

ภูมิหลังและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์การวิจัย 3

กรอบแนวคิดการวิจัย 3

นิยามศัพท์เฉพาะ 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย 6

การวิเคราะห์ต้นทุน 29

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34

บทที่ 3 เครื่องมืออุปกรณ์วัตถุดิบและวิธีการทดลอง 40

เครื่องมือและอุปกรณ์ 40

วัตถุดิบ 40

วิธีดำเนินการวิจัย 41

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 47

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบ 47
ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของอิฐ 55
การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของอิฐมอญผสมเศษชีวมวล 82

หัวเรื่อง **หน้า**

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 85
สรุปผลการวิจัย 85
ข้อเสนอแนะ 86
บรรณานุกรม 87
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 91
ภาคผนวก ข แบบเก็บข้อมูลตัวอย่าง 102
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณ 120
ประวัติของผู้วิจัย 131

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 ข้อดี – ข้อเสียของการใช้คอนกรีตบล็อกเป็นโครงสร้างของผนังอาคาร 9

2 ข้อดี – ข้อเสียของการใช้อิฐมอญเป็นโครงสร้างของผนังอาคาร 10

3 ข้อดี – ข้อเสียของการใช้คอนกรีตมวลเบาเป็นโครงสร้างของผนังอาคาร 10

4 ขนาดความคลาดเคลื่อนและขีดจำกัดในการทดสอบหน่วยเป็นมิลลิเมตร 17

5 แรงอัดและการดูดซึมน้ำ 18

6 องค์ประกอบทางเคมีของส่วนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการการผลิตกาแฟ 25

7 แสดงอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง (โดยน้ำหนัก) 41

8 องค์ประกอบทางเคมีของดินเหนียว แกลบข้าว ขี้เลื่อย และกากกาแฟ 47

9 องค์ประกอบสารอินทรีย์ของชานอ้อยและเศษหญ้า 48

10 แสดงต้นทุนต่อหน่วยในการผลิตอิฐมอญขนาด 160x65x40 มิลลิเมตรต่อ 1 ก้อน 83

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1 แสดงภาพอิฐมอญ 7
2 แสดงแบบที่ใช้ในการผลิตอิฐ 8
3 แสดงการผลิตอิฐมอญด้วยเครื่อง 8
4 แสดงการผลิตอิฐมอญโดยวิธีโคลนอ่อน 12
5 แสดงการผลิตอิฐมอญด้วยวิธีโคลนแข็ง 13
6 แสดงการผลิตอิฐด้วยวิธีอัดแบบแห้ง 14
7 แสดงภาพแกลบข้าว 24
8 แสดงภาพกากกาแฟ 25
9 แสดงภาพชานอ้อย 27
10 แสดงภาพขี้เลื่อย 27
11 แสดงภาพหญ้า 28
12 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของดินเหนียวด้วยเทคนิค XRD 49
13 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแกลบข้าวด้วยเทคนิค XRD 49
14 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของขี้เลื่อยด้วยเทคนิค XRD 50
15 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของกากกาแฟด้วยเทคนิค XRD 50
16 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของชานอ้อยด้วยเทคนิค XRD 51
17 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเศษหญ้าด้วยเทคนิค XRD 51
18 แสดงการกระจายของขนาดอนุภาคของดิน 52
19 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของดินเหนียวด้วยเทคนิค SEM 52

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

20 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของแกลบข้าวด้วยเทคนิค SEM 53
21 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของขี้เลื่อยด้วยเทคนิค SEM 53
22 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของกากกาแฟด้วยเทคนิค SEM 54
23 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของชานอ้อยด้วยเทคนิค SEM 54
24 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของเศษหญ้าด้วยเทคนิค SEM 55
25 แสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผาอิฐมอญผสมแกลบข้าว 56
26 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐมอญผสมแกลบข้าว 57
27 แสดงเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวของอิฐมอญผสมแกลบข้าว 58

ภาพที่ **หน้า**

28 แสดงความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมแกลบข้าว 59
29 แสดงค่าการรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมแกลบข้าว 61
30 แสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผาอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 61
31 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 63
32 แสดงเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวของอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 64
33 แสดงความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 65
34 แสดงค่าการรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 67
35 แสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผาของอิฐมอญผสมกากกาแฟ 68
36 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐมอญผสมกากกาแฟ 69
37 แสดงเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวของอิฐมอญผสมกากกาแฟ 70
38 แสดงความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมกากกาแฟ 71
39 แสดงค่าการรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมกากกาแฟ 72
40 แสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผาอิฐมอญผสมชานอ้อย 73
41 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐมอญผสมชานอ้อย 74
42 แสดงเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวของอิฐมอญผสมชานอ้อย 75
43 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมชานอ้อย 76

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

44 แสดงค่าการรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมชานอ้อย 77
45 แสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผาอิฐมอญผสมเศษหญ้า 78
46 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐมอญผสมเศษหญ้า 79
47 แสดงเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวของอิฐมอญผสมเศษหญ้า 80
48 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมเศษหญ้า 81
49 แสดงค่าการรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมเศษหญ้า 82

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1 แสดงอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง (โดยน้ำหนัก) 92
2 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมแกลบข้าว 5% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C 103
3 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมแกลบข้าว 10% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C 103
4 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมแกลบข้าว 15% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C 105
5 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมแกลบข้าว 20% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C 106
6 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 5% เผาที่อุณหภูมิ

900,950,1,000 °C 107
7 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 10% เผาที่อุณหภูมิ
900,950,1,000 °C 108
8 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 15% เผาที่อุณหภูมิ
900,950,1,000 °C 109
9 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 20% เผาที่อุณหภูมิ
900,950,1,000 °C 110
10 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมกากกาแฟ 5% เผาที่อุณหภูมิ
900,950,1,000 °C 111
11 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมกากกาแฟ 10% เผาที่อุณหภูมิ
900,950,1,000 °C 112
12 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมกากกาแฟ 15% เผาที่อุณหภูมิ
900,950,1,000 °C 113
13 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมกากกาแฟ 20% เผาที่อุณหภูมิ
900,950,1,000 °C 114
14 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมชานอ้อย 5% เผาที่อุณหภูมิ
900,950,1,000 °C 115

ตารางภาคผนวกที่ **หน้า**

15 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมชานอ้อย 10% เผาที่อุณหภูมิ
900,950,1,000 °C 116
16 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมเศษหญ้า 5% เผาที่อุณหภูมิ
900,950,1,000 °C 117
17 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมเศษหญ้า 10% เผาที่อุณหภูมิ
900,950,1,000 °C 118
18 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญดินเหนียว 100% เผาที่อุณหภูมิ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

900,950,1,000 °C 119

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญแผนภาพภาคผนวก

แผนภาพภาคผนวกที่ **หน้า**

1 แสดงขั้นตอนการทดลอง 92

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพภาคผนวก

ภาพภาคผนวกที่ **หน้า**

1 ส่วนผสมวัสดุชีวมวล 94
2 อุปกรณ์ในการเตรียมชิ้นตัวอย่าง 95
3 การผสมและนวดดินให้เข้ากัน 96
4 การขึ้นรูปอิฐ 97
5 การขึ้นรูปและผึ่งอิฐ 98
6 การเผาอิฐ 99
7 อิฐที่ผ่านการเผาเรียบร้อย 100
8 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆของอิฐ 101

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลังและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบัน อิฐเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศและทั่วโลก ในประเทศไทยอิฐที่นิยมใช้กันมากได้แก่ อิฐมอญหรืออิฐดินเผา ซึ่งเป็นอิฐก่อสร้างที่ผลิตจากดินเหนียวและมีการผลิตขึ้นในทุกๆท้องถิ่นทั่วประเทศ การทำอิฐสำหรับก่อสร้างของไทยได้ทำกันมานานแล้วโดยส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมครอบครัวในแถบชนบทซึ่งมีขนาดเล็กและอิฐที่ผลิตส่วนใหญ่เป็นอิฐมอญ กำลังการผลิตประมาณ 5,000 – 10,000ก้อน/วัน ต่อมาได้มีการตั้งโรงงานใช้เครื่องจักรเข้ามาช่วยมากขึ้นทำให้การผลิตอิฐมีคุณภาพและประสิทธิภาพมากขึ้นในอดีตอิฐถูกใช้เป็นวัสดุก่อสร้างอาคารสิ่งปลูกสร้างดังนั้นอิฐจึงเป็นวัสดุก่อสร้างที่มนุษย์รู้จักนำมาใช้งานมาช้านาน นอกจากนี้บางส่วนของโครงสร้างของอาคารที่สำคัญที่มีชื่อเสียงทางสถาปัตยกรรมในโลก เช่น กำแพงเมืองจีน (Great Wall of China) โคลอสเซียม (Colosseum) พีระมิด (Pyramid) และทัชมาฮาล (TajMahal) ได้ถูกสร้างขึ้นด้วยอิฐทั้งนั้น จากข้อมูลที่ศึกษาพบว่าสิ่งก่อสร้างที่ก่อด้วยอิฐไม่เพียงแต่ช่วยให้โครงสร้างมีความแข็งแกร่งเท่านั้นแต่ยังสามารถช่วยป้องกันการสึกหรอและการผุกร่อนที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ เช่น ลม น้ำท่วม แผ่นดินไหว และไฟไหม้ เป็นต้น

ในปัจจุบันมีการทำอิฐโดยเลือกดิน (Clay) ชนิดต่างๆ มากมายด้วยกันในอัตราส่วนต่างๆ และได้เพิ่มสารบางชนิดเข้าไปด้วยเพื่อให้ได้อิฐที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลแตกต่างกันออกไปตามลักษณะการใช้งาน การใส่สารเติมแต่งเพื่อให้ได้คุณสมบัติทางกลที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะอิฐที่ต้องการ ซึ่งคุณสมบัติที่ดีของอิฐที่จะนำมาใช้งานนั้นต้องมีน้ำหนักเบา มีกำลังรับแรงอัดสูง และการดูดซึมน้ำต่ำ โดยวิธีหนึ่งที่จะทำให้อิฐมีน้ำหนักเบาคือเพิ่มความพรุนตัวโดยการเติมวัสดุกลุ่มอินทรีย์สาร (Organic Matte) และอนินทรีย์สาร (Inorganic Matte) เช่น เศษฟาง เศษหญ้า แกลบข้าว ขี้เลื่อย โฟม กากกาแฟ และหินปูน ซึ่งในระหว่างการเผาวัสดุเหล่านี้จะถูกเผาจนเกิดเป็นรูพรุนในเนื้อวัสดุ รวมทั้งยังพบว่ากลุ่มวัสดุที่สร้างความพรุนตัวอย่าง เช่น อินทรีย์โดยทั่วไปจะมีราคาถูกกว่ากลุ่มอนินทรีย์สาร ซึ่งทั้งสองกลุ่มสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการสร้างรูพรุน นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในเรื่องของการประหยัดพลังงาน ลดความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารเมื่อนำมาก่อสร้างเป็นผนังของอาคาร เนื่องจากความพรุน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตัวในเนื้ออิฐนั้นเอง (Demir. 2008) และรูพรุนนี้จะส่งผลต่อสภาพการนำความร้อน (Thermal Conductivity) หรือสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นสมบัติเชิงความร้อน (Thermal Properties) ของวัสดุที่บ่งถึงอัตราเร็วของการส่งผ่านพลังงานความร้อนโดยการนำความร้อน (Conduction) ของสารต่างๆ ซึ่งเป็นการส่งผ่านความร้อนภายในโมเลกุลของสารจากโมเลกุลที่มีระดับพลังงานสูงกว่าไปยังระดับที่ต่ำกว่าวัสดุแต่ละชนิดจะมีความสามารถในนำความร้อนได้แตกต่างกัน สสารที่อยู่ในสถานะของแข็งจะมีโมเลกุลจัดเรียงเป็นระเบียบมากกว่าและนำความร้อนได้ดีกว่าสสารเดียวกันแต่อยู่ในสถานะของของเหลวและก๊าซ น้ำในสถานะของแข็งมีค่าการนำความร้อนสูงกว่า น้ำในสถานะของเหลว และไอน้ำวัสดุ ของแข็งประเภท โลหะเช่น เหล็ก ทองแดง อลูมีเนียม ซึ่งมีโมเลกุลจัดเรียงเป็นระเบียบ สามารถนำความร้อนได้ดี มีค่าการนำความร้อนสูง วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ เรียกว่าฉนวน ตัวอย่างของวัสดุที่เป็นฉนวน เช่น กระดาษ ใยแก้ว ยิปซั่ม เป็นต้น

จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (อิฐสามัญก่อสร้าง มอก.77-2545) ได้กำหนดให้อิฐสามัญก่อสร้างมีค่าความแข็งแรงมากกว่า 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าการดูดซึมน้ำต้องต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วในกระบวนการผลิตอิฐมอญในชุมชนอาจไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดเอาไว้เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่อการผลิต เช่น อุณหภูมิในการเผาอิฐ ถ้าหากการเผาอิฐไม่สุกก็จะทำให้อิฐนั้นเปราะ มีการดูดซึมน้ำสูง หรือแม้กระทั่งส่วนผสมที่ไม่คงที่ก็จะทำให้อิฐที่ได้มีค่าคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ในการที่จะพัฒนาอิฐให้ได้ตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิการเผาและการใช้สารเติมแต่งผสมในเนื้อดินเพื่อที่จะให้เนื้ออิฐหลังการเผามีเนื้อแน่นซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของอิฐ อีกทั้งยังจะช่วยให้อิฐมีการดูดซึมน้ำที่ต่ำลงด้วย

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทดลองผลิตและทดสอบอิฐที่ทำจากดินเหนียวผสมกับวัสดุเหลือทิ้งจากเศษวัสดุชีวมวล ในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผา เพื่อให้ได้อิฐที่มีรูพรุนที่สามารถนำความร้อนได้ต่ำ มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำและค่าการรับกำลังอัดสูง ซึ่งปัจจุบันนี้ในการผลิตอิฐมอญในประเทศไทยยังคงมีการศึกษาในเรื่องนี้อยู่น้อยมาก ถ้าหากการศึกษาทดลองนี้ได้ผลไปในทิศทางบวกก็จะเป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษาเพื่อที่จะได้นำผลจากการศึกษานี้ไปทดลองผลิตกับภาคอุตสาหกรรมที่มีการผลิตอิฐมอญอยู่ในหลายพื้นที่ทั่วประเทศ และในแง่ของความแข็งแรงของอิฐเมื่อมีรูพรุนเกิดขึ้นในเนื้ออิฐจะยังคงให้ความแข็งแรงของอิฐเป็นไปตามมาตรฐานของ มอก.77-2545 ว่าด้วยเรื่องของอิฐสามัญก่อสร้าง โดยอ้างอิงกระบวนการผลิตของชุมชนในท้องถิ่นที่มีการผลิตอิฐมอญ เพื่อให้ผลงานวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตอิฐมอญส่วนใหญ่ของประเทศ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการผลิตอิฐสามัญที่ทำจากดินเหนียวผสมเศษวัสดุชีวมวล

2. เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของอิฐก่อสร้างที่ทำจากดินเหนียวผสมเศษวัสดุชีวมวลที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของอิฐแต่ยังคงความแข็งแรงให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)

กรอบแนวคิดการวิจัย

ก่อนจะมีการทดสอบในห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องมีการรวบรวมข้อมูลและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เศษวัสดุในงานต่างๆ และวิธีทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล โดยรวบรวมประวัติความเป็นมารวมถึงการนำไปใช้งานทั้งในประเทศและต่างประเทศ การจำแนกประเภทและคุณสมบัติต่างๆของเศษวัสดุทางการเกษตรที่มีการนำมาใช้ในส่วนผสมของการทำอิฐ รวมทั้งกลไกการปรับปรุงคุณสมบัติของการเติมเศษวัสดุทางการเกษตรลงในเนื้อดินเพื่อดูลักษณะของอิฐหลังการเผาที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันออกไป และผลที่เกิดขึ้นหลังจากการทดสอบเพื่อนำข้อมูลมาสังเคราะห์สำหรับการนำไปขยายผลเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้และนำไปใช้ได้จริงสำหรับขอบเขตงานวิจัยได้กำหนดขอบเขตไว้ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาผลของอัตราส่วนผสมของเศษวัสดุชีวมวลต่อดินเหนียว และอุณหภูมิการเผาต่อสมบัติทางกายภาพ เชิงกล และสมบัติทางความร้อนของอิฐสามัญก่อสร้างที่ทำจากดินเหนียวผสมเศษชีวมวล

2. อิฐผลิตโดยวิธีโคลนอ่อน (soft mud process) โดยให้ช่างทำอิฐเป็นคนขึ้นรูป และผึ่งให้แห้งในอากาศ เนื่องจากเป็นวิธีที่แพร่หลาย หากมีการนำผลการทดลองครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้ก็จะสามารถประยุกต์ใช้ได้โดยตรง

3. ส่วนผสมของเศษชีวมวลต่อดินเหนียวที่ทดลองผลิตอิฐก่อสร้าง เท่ากับ 0, 5.0, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนักและเผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1,000 องศาเซลเซียส ขึ้นรูปอิฐขนาดเดียวคือ 160x65x40 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐสามัญก่อสร้าง มอก. 77-2545

4. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น การหดตัว การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และค่าความพรุนตัวตามมาตรฐาน ASTM C362-82 และ C373-88

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

5. ทดสอบสมบัติเชิงกลได้แก่ ค่าความต้านทานความเค้นอัด ค่าความต้านทานโมเมนดัดตามมาตรฐาน ASTM C773-88

6. ตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาค (Microstructure) ของอิฐโดยการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)

7. ศึกษาต้นทุนต่อหน่วยในการผลิตอิฐก่อสร้างสามัญที่ทำจากดินเหนียวผสมเศษชีวมวลเพื่อทราบถึงต้นทุนในการผลิตต่อก้อนเท่าไรเปรียบเทียบกับอิฐก่อสร้างสามัญทั่วไป

นิยามศัพท์เฉพาะ

อัตราส่วน หมายถึง ปริมาณของส่วนผสมโดยน้ำหนักประกอบด้วยดินเหนียวแกลบซานอ้อยขี้เลื่อยกากกาแฟและหญ้าที่กำหนดไว้เป็นส่วนๆตามความเหมาะสม

อิฐก่อสร้างสามัญ หมายถึง อิฐก่อสร้างสามัญประเภทที่ 1 อิฐขนาดเล็ก (อิฐมอญ) ที่ผลิตด้วยมือใช้ดินเหนียวเป็นส่วนผสมมีขนาดความยาว 160 มิลลิเมตรความกว้าง 65 มิลลิเมตร และความหนา 40 มิลลิเมตรตามมาตรฐานเลขที่ มอก.77-2545

คุณสมบัติทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติทางด้านขนาดและความคาดเคลื่อนที่ยอมให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อก้อนความทนต่อแรงอัดและการดูดซึมน้ำของอิฐก่อสร้างสามัญขนาดเล็กเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเลขที่ มอก.77-2545

น้ำหนัก หมายถึง แรงของความโน้มถ่วงของโลกที่มีต่อชิ้นอิฐก่อสร้างสามัญขนาดเล็กมีหน่วยเป็นกรัม

ความทนต่อแรงอัด หมายถึง แรงที่จะกระทำเข้าหากันทำให้อิฐก่อสร้างสามัญขนาดเล็กทลายมีหน่วยเป็นเมกะพาสคัลเมื่อนำอิฐก่อสร้างสามัญขนาดเล็กเข้าเครื่องทดสอบทางด้านแบนของแผ่นอิฐโดยใช้อัตราการเพิ่มแรงอัด 2.0 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร (ประมาณ 20 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ในระยะเวลา 1 นาที

การดูดซึมน้ำ หมายถึง ค่าการดูดซึมน้ำคิดเป็นร้อยละเท่ากับค่าเฉลี่ยน้ำหนักของอิฐที่ดูดซึมน้ำลบค่าเฉลี่ยน้ำหนักของอิฐที่แห้งหารด้วยค่าเฉลี่ยน้ำหนักของอิฐที่แห้งคูณ 100 มีหน่วยเป็นกรัม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม หมายถึง มาตรฐานตามกำหนดสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องอิฐก่อสร้างสามัญมาตรฐานเลขที่ มอก.77-2545

ดินเหนียว หมายถึง ดินที่มีเนื้อละเอียดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 80 มีความเหนียวดีเหมาะกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์เมื่อยังไม่เผา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
Rajabhat Maha Sarakham University

แกลบข้าว หมายถึง เปลือกของข้าวทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียวร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 120เกิดจากการแยกเปลือกข้าวเป็นผลิตผลที่ได้จากกระบวนการสีข้าวแกลบข้าวจัดเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

กากกาแฟ หมายถึง กากที่เหลือทิ้งจากการบดเมล็ดกาแฟเพื่อทำกาแฟสด

ชานอ้อย หมายถึง ส่วนของลำต้นอ้อยที่หีบเอาน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกแล้วนำมาบดหรือปั่นให้ยุ่ย

เศษหญ้า หมายถึง ส่วนของลำต้นหญ้า ใบหญ้า ที่ได้จากการตัดหญ้าในสนาม นำมาตากให้แห้งแล้วปั่นให้ยุ่ย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ส่งเสริมการนำวัสดุเหลือใช้ให้นำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และลดต้นทุนการ ผลิต นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วย

2. เป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ซึ่งในข้อกำหนดของมาตรฐาน มอก.77-2545 ว่าด้วยเรื่องของอิฐสามัญก่อสร้าง ยังไม่ได้ระบุค่าการนำความร้อนของอิฐสามัญก่อสร้าง

3. เป็นการส่งเสริมให้เกิดการวิจัยอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะการนำวัสดุที่มีเหลือใช้ในท้องถิ่นหรือชุมชนเอามาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกทั้งเป็นการถ่ายทอดความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมอญ

4. เป็นการสร้างฐานวิจัยภายในประเทศและสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปเผยแพร่ในเวทีระดับชาติและ/หรือนานาชาติทั้งในรูปแบบของการเข้าร่วมประชุมวิชาการและการตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติ และ/หรือนานาชาติ

5. ทราบถึงต้นทุนในการลงทุนผลิตอิฐก่อสร้างที่ทำจากดินเหนียวผสมเศษวัสดุชีวมวลว่ามีต้นทุนในการผลิตต่อก้อนเท่าไรเปรียบเทียบกับอิฐก่อสร้างสามัญทั่วไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของอิฐตัวอย่างที่ทำจากดินเหนียวผสมกับวัสดุเหลือทิ้งจากเศษวัสดุชีวมวลที่ส่วนผสมต่างๆ กันเพื่อหา อัตราส่วนที่เหมาะสม และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาเพื่อให้ได้อิฐที่มีรูพรุนที่สามารถนำความร้อนได้ต่ำ อีกทั้งยังศึกษาลักษณะเฉพาะของอิฐก่อสร้างที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางการนำความร้อนของอิฐ ตลอดจนศึกษาหาจุดคุ้มทุนในการลงทุนผลิตอิฐก่อสร้างจากเศษวัสดุชีวมวล ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้ยังเป็นไปตามมาตรฐานของ มอก.77-2545 ว่าด้วยเรื่องของอิฐสามัญก่อสร้าง โดยอ้างอิงกระบวนการผลิตของชุมชนในท้องถิ่นที่มีการผลิตอิฐมอญเพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆ ของอิฐก่อสร้างจึงจำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของส่วนผสมที่นำมาศึกษา ดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1. อิฐมอญ

อิฐมอญ คือ อิฐสามัญก่อสร้างที่ผลิตจากดินเหนียว เป็นอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป โดยมีการผลิตกันทุกภาคของประเทศไทยตั้งแต่รูปแบบของอุตสาหกรรมในครัวเรือนจนกระทั่งถึงการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐมอญ ได้แก่ ดินเหนียวผสมกับแกลบหรือขี้เลื่อยแต่ที่นิยมกันมากที่สุดคือแกลบ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร อิฐมอญเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) รองรับโดยเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานประกอบด้วยลักษณะทั่วไปต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าวแต่อาจจะบิ่นได้เล็กน้อยมีความคลาดเคลื่อนของความกว้างความยาวและความหนาไม่เกิน ± 5 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า 7 เมกะพาสคัลและการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 25 การเลือกดินเหนียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐมอญนั้นมีข้อที่ควรคำนึงถึงคือความเหนียวของดินเพื่อให้ขึ้นรูปได้ง่ายอุณหภูมิที่เผาให้สุกตัวควรอยู่ในช่วง 950-1,100 $^{\circ}$C เพื่อให้อิฐมีความแข็งโดยไม่มีการ

หดตัวหรือผิดรูปมากเกินไปนอกจากนั้นควรมีปริมาณดินเหนียวสำรองที่เพียงพอเพื่อมีวัตถุดิบใช้ในระยะยาว

อิฐมอญเป็นอิฐก่อผนังที่ได้รับความนิยมยาวนานต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากขั้นตอนในการผลิตไม่ยุ่งยากซับซ้อนและวัตถุดิบหาง่ายจากธรรมชาติทำให้อิฐมอญมีราคาถูกและหาซื้อง่ายในท้องตลาดจึงเป็นที่นิยมของช่างก่อสร้างมาโดยตลอดอิฐมอญเป็นวัสดุที่คงรูปและมีความแข็งแรงการใช้อิฐมอญในระบบก่อสร้างมีมาหลายสิบปีจึงเป็นวัสดุที่เป็นที่รู้จักและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยเนื่องจากความเชื่อมั่นในความคงทนและผลิตได้เองในประเทศจากแรงงานท้องถิ่นคุณสมบัติของอิฐมอญจะยอมให้ความร้อนถ่ายเทเข้า-ออกได้ง่ายและเก็บความร้อนไว้ในตัวเองเป็นเวลานานและเนื่องจากอิฐมอญมีความจุความร้อนสูงทำให้สามารถกักเก็บความร้อนไว้ในเนื้อวัสดุได้มากก่อนที่จะค่อยๆถ่ายเทสู่ภายนอก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 1 แสดงภาพอิฐมอญ

1.1 ชนิดของอิฐมอญ

ชนิดของอิฐสามารถแบ่งได้ตามกรรมวิธีการผลิตแบ่งเป็น 2 ชนิด

1.1.1 อิฐที่ทำด้วยมือ

อิฐที่ทำด้วยมือนั้นขนาดของอิฐแต่ละก้อนไม่เท่ากันทุกก้อนอาจมีความคลาดเคลื่อนในขนาดได้ซึ่งอาจมาจากสาเหตุหลายประการเช่นแบบไม่เท่ากันการอัดดินเข้าในแบบไม่แน่นพอการหดตัวของโคลนที่ใช้ทำอิฐไม่เท่ากันเพราะส่วนผสมไม่สม่ำเสมอแต่ก็ยังใช้ใน

การก่อสร้างได้ดีพอสมควรและยังเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปโดยเฉพาะในปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้ในการสร้างหรือซ่อมแซมโบราณสถานและศิลปะในกลุ่มล้านนาและภูมิปัญญาชาวบ้าน (สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ. 2554)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 2 แสดงแบบที่ใช้ในการผลิตอิฐ (สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ. 2554)

1.1.2 อิฐที่อัดด้วยเครื่อง

อิฐที่อัดด้วยเครื่องมือกลเป็นอิฐที่มีความแน่นดีกรรมวิธีการผลิตดีกว่าอิฐมอญธรรมดาที่ทำด้วยมือเรียกในวงการก่อสร้างว่าอิฐมอญแบบอัดของอิฐชนิดนี้เป็นแบบเหล็กทำให้อิฐที่ออกมามีขนาดสม่ำเสมอแรงอัดที่ใช้อัดสม่ำเสมอทำให้ความแน่นเสมอกันดีและหากมีกรรมวิธีการผลิตที่ดีอิฐจะสามารถรับแรงกดทับและแรงอัดได้มากตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) อิฐที่อัดด้วยเครื่องนี้ยังสามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้หลายแบบ เช่น อิฐก่อสร้าง อิฐโชว์ อิฐทนกรด อิฐมอญครึ่งแผ่น (มีลักษณะคล้ายอิฐปั้นมือแต่อัดด้วยเครื่อง) เป็นต้น แหล่งทำอิฐที่สำคัญในประเทศไทยมีหลายแหล่ง เช่น เชียงใหม่ อ่างทอง สิงห์บุรี พระนครศรีอยุธยา เป็นต้น (สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ. 2554)

ภาพที่ 3 แสดงการผลิตอิฐมอญด้วยเครื่อง (สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ. 2554)

1.2 ความสำคัญของอิฐมอญ

จากผลพวงวิกฤตการณ์ขาดแคลนพลังงานทั้งในเรื่องของไฟฟ้าน้ำและน้ำมันที่นับวันยิ่งทวีความรุนแรงจากการบริโภคที่เพิ่มสูงขึ้นนับเป็นเรื่องน่าห่วงเรื่องหนึ่งสำหรับทุกภาคการผลิตไม่เว้นแม้แต่ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์เพราะหากมองในแง่ของจำนวนที่อยู่อาศัยในประเทศไทยซึ่งปัจจุบันมีอยู่ประมาณ 9 ล้านหลังคาเรือนนั้นส่วนใหญ่ไม่ได้มีการเลือกใช้วัสดุในการออกแบบและก่อสร้างอาคารที่เหมาะสมและคำนึงถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานอย่างที่ควรวัสดุและฉนวนในการออกแบบและสร้างบ้านอาทิอิฐมอญวัสดุแผ่นประเภทกระจกยิปซัมอะลูมิเนียมฟอยล์ใยแก้วโฟมสิ่งเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นปัจจัยสำคัญที่มีส่วนช่วยในการอนุรักษ์และประหยัดพลังงานได้อย่างมากหากมีการเลือกใช้อย่างเหมาะสมอีกทั้งยังสามารถนำมาปรับประยุกต์ใช้กับการสร้างบ้านประหยัดพลังงานได้เป็นอย่างดีอีกด้วยอิฐมอญเป็นอิฐก่อผนังที่ได้รับความนิยมยาวนานต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบันทำจากดินเหนียวบด-อัดเป็นก้อนก่อนนำเข้าเตาเผาในอุณหภูมิสูงอิฐที่ได้จะมีคุณสมบัติแข็งแรงทนทานเนื้อแน่นดูดซึมน้ำต่ำเนื่องจากขั้นตอนในการผลิตไม่ยุ่งยากซับซ้อนและวัตถุดิบหาง่ายจากธรรมชาติทำให้อิฐมอญมีราคาถูกและหาซื้อง่ายในท้องตลาดจึงเป็นที่นิยมของช่างก่อสร้างมาโดยตลอดอิฐมอญเป็นวัสดุที่คงรูปและมีความแข็งแรงการใช้อิฐมอญในระบบก่อสร้างมีมาหลายสิบปีจึงเป็นวัสดุที่เป็นที่รู้จัก

และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยเนื่องจากความเชื่อมั่นในความคงทนและผลิตได้เองในประเทศจากแรงงานท้องถิ่นคุณสมบัติของอิฐมอญจะยอมให้ความร้อนถ่ายเทเข้า-ออกได้ง่ายและเก็บความร้อนไว้ในตัวเองเป็นเวลานานและเนื่องจากอิฐมอญมีความจุความร้อนสูงทำให้สามารถกักเก็บความร้อนไว้ในเนื้อวัสดุได้มากก่อนที่จะค่อยๆถ่ายเทสู่ภายนอกหากพิจารณาข้อดี - ข้อเสียของอิฐมอญ, คอนกรีตบล็อกและคอนกรีตมวลเบาเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของโครงสร้างงานก่อสร้างดังตารางข้างล่าง

ตารางที่ 1 ข้อดี – ข้อเสียของการใช้คอนกรีตบล็อกเป็นโครงสร้างของผนังอาคาร

ข้อดี	ข้อเสีย
1. น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเบากว่าน้ำหนักของอิฐมอญ 2. ราคาก่อต่อตารางเมตรโดยเฉลี่ยจะถูกกว่าอิฐมอญเล็กน้อย 3. งานก่อขึ้นงานได้เร็วกว่าอิฐมอญ 4. มีช่างที่ชำนาญการก่อจำนวนมาก	1. การตอกตะปูยึดพุกต้องทำที่ปูนก่อหรือเสาเอ็นคานเอ็นเท่านั้นการตอกตะปูที่คอนกรีตจะทำให้คอนกรีตแตก-พรุน 2. หากเกิดน้ำรั่วเข้าผนังจะซึมกระจายตัวมาก 3. บล็อกที่ขายกันทั่วไปคุณภาพต่ำบางกว่ามาตรฐานมือทุบ/หล่นก็แตก

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (ปี 2548)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 2 ข้อดี – ข้อเสียของการใช้อิฐมอญเป็นโครงสร้างของผนังอาคาร

ข้อดี	ข้อเสีย
1. โครงสร้างที่ใช้อิฐมอญมีความแข็งแรงและทนทานกว่าคอนกรีตบล็อก 2. ความร้อนถ่ายเทเข้า-ออกได้ง่ายและเก็บความร้อนไว้ในตัวเองเป็นเวลานานก่อนที่จะค่อยๆถ่ายเทสู่ภายนอก 3. มีช่างที่ชำนาญการก่อจำนวนมาก 4. ได้รับความนิยมกันมากที่สุด	1. ราคาก่อต่อตารางเมตรสูงกว่าคอนกรีตบล็อกเล็กน้อย 2. งานก่อขึ้นช้ากว่าคอนกรีตบล็อกและคอนกรีต มวลเบา 3. อิฐมอญมีน้ำหนักมากกว่าคอนกรีตบล็อกและคอนกรีตมวลเบา

5. ผนังที่สร้างด้วยอิฐมอญสามารถเจาะรูได้โดยที่อิฐไม่แตก/พรุน	

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2548)

ตารางที่ 3 ข้อดี – ข้อเสียของการใช้คอนกรีตมวลเบาเป็นโครงสร้างของผนังอาคาร

ข้อดี	ข้อเสีย
1. กันความร้อนได้ดี 2. โครงสร้างรับน้ำหนักได้น้อยลง	1. ราคาแพงกว่าอิฐมอญ 40 เท่า 2. ต้องใช้วัสดุฉาบที่เป็นเฉพาะ 3. การเจาะรูที่ผนัง/คอนกรีตมวลเบาจะทำให้คอนกรีตพรุน 4. ต้องใช้ช่างก่อที่มีความชำนาญโดยเฉพาะ 5. อายุการใช้งานยังไม่มีการยืนยันที่แน่นอน

ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2548)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1.3 ประโยชน์ของอิฐมอญ

จากการรวบรวมข้อดี - ข้อเสียของวัสดุก่อผนังทั้ง 3 ชนิดพบว่าการใช้อิฐมอญนั้นโครงสร้างของอิฐมอญจะมีความคุ้มค่ากว่าคอนกรีตบล็อกและคอนกรีตมวลเบาอีกทั้งอิฐมอญยังมีใช้กันมาตั้งแต่อดีตซึ่งหลงเหลือจนถึงปัจจุบันเช่นซากกำแพงเมืองโบราณต่างๆเจดีย์ในยุคสมัยการปกครองต่างๆสิ่งเหล่านี้สร้างความมั่นใจให้แก่คนไทยมาช้านานว่าอิฐมอญและโครงสร้างงานเหล่านั้นมีความแข็งแรงและทนทานต่อสภาพภูมิอากาศไม่แตกยุ่ยง่ายจึงได้รับความนิยมในการใช้มาโดยตลอดปัจจุบันสิ่งก่อสร้างต่างๆทั้งอาคารบ้านเรือนสถานที่พักผ่อนและสถานที่ท่องเที่ยวจำนวนมากที่สร้างใหม่หรือปรับเปลี่ยนโครงสร้างเดิมของอาคารให้เป็นแบบสมัยนิยม ปัจจุบันปริมาณความต้องการใช้อิฐมอญก็มีมากขึ้นเนื่องจากอิฐมอญสามารถใช้ในงานต่างๆได้อีกมากนอกจากงานก่อผนังอาคารเช่นการใช้เพื่อตกแต่งสวนของโรงแรม/รีสอร์ทการใช้เพื่อตกแต่ง

ผนังบ้าน/ทางเดินยิ่งโดยเฉพาะอิฐมอญที่สามารถโชว์ลวดลายในแบบต่างๆตามแบบที่ลูกค้าต้องการจะได้รับความนิยมมากแต่ด้วยราคาที่สูงและขั้นตอนการผลิตที่ใช้เวลาและความละเอียดมากกว่าอิฐมอญทั่วไปจึงไม่ค่อยมีผู้ผลิตอิฐมอญโชว์ลายมากนักส่งผลให้ความต้องการใช้อิฐมอญ(อิฐแดง)มีมากขึ้นอีกเป็นการทดแทนความต้องการที่มีสินค้าตอบสนองในจำนวนจำกัดของอิฐโชว์คุณประโยชน์ของอิฐมอญไม่ใช่เพียงแค่การก่อผนังหรือการตกแต่งเพียงอย่างเดียวแล้วปัจจุบันอิฐมอญที่ผลิตด้วยกรรมวิธีการเผาจากเตาที่ใช้ไฟแรงในการเผายังช่วยในเรื่องของการลดการใช้พลังงานในช่วงวิกฤตการณ์ขาดแคลนพลังงานทั้งในเรื่องของไฟฟ้าน้ำและน้ำมันได้เป็นอย่างดีด้วยเหตุผลที่ว่าอิฐมอญสามารถเก็บความร้อนไว้ในตัวเองได้นานความร้อนที่จะเข้ามาในตัวอาคารช่วงกลางวันจึงถูกเก็บไว้ที่ตัวอิฐแทนในอาคารจึงไม่ร้อนและประหยัดพลังงานไฟฟ้าในตัวอาคารได้อีกด้วยการกักเก็บความร้อนของอิฐมอญจะเก็บไว้ในช่วงเวลากลางวันและจะค่อยๆปล่อยออกมาในช่วงเวลากลางคืนซึ่งช่วงเวลากลางคืนมีความกดอากาศต่ำกว่าช่วงเวลากลางวันอยู่แล้วจึงทำให้ความร้อนที่อิฐมอญค่อยๆปล่อยออกมานั้นไม่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นเลยดังนั้นการเลือกใช้อิฐมอญในการก่อสร้างจึงเป็นสิ่งที่ผู้รับเหมาและเจ้าของอาคารให้ความสำคัญนอกจากคุณประโยชน์ของอิฐมอญที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นอิฐมอญที่มีความชำรุดหรือแตกหักก็มีคุณประโยชน์ในการใช้งานอีกมากมายเช่นกันตัวอย่างเช่นการใช้อิฐมอญที่มีความชำรุดหรือแตกหักในงานถมถนนหรือถมชั้นล่างของถนนเพื่อความแน่นและโอกาสในการทรุดตัวที่น้อยกว่าการใช้ทรายถมชั้นล่างของถนนการใช้อิฐมอญที่ชำรุดหรือแตกหักในงานสร้างบ่อกักเก็บของเสียจากการขับถ่ายหรือใช้วางรอบๆบ่อกักเก็บของเสียเพื่อคุณประโยชน์ในการดูดซึมน้ำและระบายของเสียได้ดีและช่วยยืดอายุการใช้งานของบ่อได้

1.4 กรรมวิธีในการผลิตอิฐมอญ

1.4.1 วิธีโคลนอ่อน (Soft-Mud Process)

เป็นกรรมวิธีผลิตอิฐแบบพื้นบ้านซึ่งใช้แรงคนในการเตรียมดินและขึ้นรูปอิฐวิธีนี้จะใช้น้ำในการผสมดินสูง (20–30 %) อิฐที่ผลิตออกมามีขนาดไม่ค่อยเท่ากันความแน่นไม่สม่ำเสมอความแข็งแรงต่ำหดตัวสูงและบิดเบี้ยวมากทำให้คุณสมบัติของอิฐไม่ได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกรรมวิธีการผลิตอิฐแบบSoft-Mud Process สามารถลำดับขั้นตอนได้ดังนี้

1) การหมักดินมีวิธีการคือคัดเอาสิ่งที่ไม่ต้องการเช่นก้อนหินหรือรากไม้ออกถ้าดินยังมีความชื้นไม่พอก็ใช้น้ำคลุกเคล้าดินจนชุ่มทั่วกันแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เป็นอย่างน้อย วัตถุประสงค์ในการหมักก็เพื่อทำให้ดินดูดซับน้ำเข้าไปในตัวเพื่อทำให้ดินที่จับตัวกันเป็นก้อนกระจายตัวออกซึ่งจะทำให้การผสมและนวดดินง่ายขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 4 แสดงการผลิตอิฐมอญโดยวิธีโคลนอ่อน (สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ. 2554)

2) การผสมและการนวดวิธีการคือเติมน้ำทีละน้อยและนวดจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงนำไปหมักอีกครั้ง

3) การปั้นอิฐปั้นเป็นก้อนด้วยมือโดยอัดดินลงในแบบไม้

4) การผึ่งแห้งเป็นการทำอิฐแห้งหลังจากขึ้นรูปโดยจะผึ่งไว้ในร่มหรือกลางแจ้งซึ่งจะใช้เวลา 4-5 วันขึ้นอยู่สภาพอากาศแต่การผึ่งแห้งกลางแจ้งอาจจะทำให้อิฐเกิดการแตกร้าวขณะเผาได้

5) นำก้อนดินที่อัดแล้วไปเรียงเข้าเตาเผาโดนเรียงให้โปร่งพอที่ความร้อนจะกระจายไปได้ทั่วระยะเวลาในการเผาประมาณ 6 วัน 6 คืน

6) ดับเตาโดยไม่เติมฟืนอีกต่อไปเมื่อฟืนหมดทิ้งให้ระอุและเย็นอีก 4 ถึง 5 วัน

7) นำอิฐออกจากเตานำไปเข้าโกดังเก็บไว้เพื่อรอการจำหน่ายต่อไปในการผลิตยังมีปัจจัยที่สำคัญคืออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาประมาณ 900°C ถึง 1,000°C ในการเผา 1 ครั้ง เตาเผาสามารถบรรจุอิฐได้ประมาณ 30,000 – 50,000 ก้อน

1.4.2 วิธีโคลนแข็ง (Stiff-Mud Process)

มีวิธีการผลิตเหมือนกับวิธีแรกแต่ต่างกันตรงขั้นตอนการเตรียมดินที่เติมน้ำในการน้อยกว่า (10 – 17 %) และใช้เครื่องจักรในการขึ้นรูปโดยรีดดินออกมาเป็นก้อนยาว จากนั้นใช้ลวดขึงตึงตัดให้ได้ขนาดตามต้องการและนำไปผึ่งแห้งและเผาแบบเดียวกันกับวิธีแรก การใช้น้ำผสมน้อยกว่าและใช้เครื่องจักรในการขึ้นรูปทำให้อิฐที่ผลิตได้ออกมามีขนาดและความแน่นเท่าๆกัน วิธีโคลนแข็ง (Stiff-Mud Process) สามารถลำดับขั้นตอนได้ดังนี้

1) การหมักดินมีวิธีการคือคัดเอาสิ่งที่ไม่ต้องการเช่นก้อนหินหรือรากไม้ออกถ้าดินยังมีความชื้นไม่พอก็ใช้น้ำคลุกเคล้าดินจนชุ่มทั่วกันแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงเป็นอย่างน้อยวัตถุประสงค์ในการหมักก็เพื่อทำให้ดินดูดซับน้ำเข้าไปในตัวเพื่อทำให้ดินที่จับตัวกันเป็นก้อนกระจายตัวออกซึ่งจะทำให้การผสมและนวดดินง่ายขึ้น

ภาพที่ 5 แสดงการผลิตอิฐมอญด้วยวิธีโคลนแข็ง (สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ. 2554)

2) การผสมและการนวดวิธีการคือเติมน้ำทีละน้อยและนวดจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงนำไปหมักอีกครั้ง

3) เอาขี้เถ้าแกลบผสมกับดินที่ผึ่งไว้แล้วย่ำและกลับให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว

4) นำดินที่ผสมและย่ำเข้าเครื่องบดและรีดออกมาเป็นเส้นโดยเครื่องรีดเส้นดินที่รีดออกมานั้นมีขนาดหน้าตัดเท่ากับขนาดของอิฐที่ต้องการ จากขนาดของเส้นดินนี้ถ้าต้องการอิฐขนาดใดก็สามารถเปลี่ยนหัวแบบได้ตามต้องการขณะที่เครื่องรีดดินออกมานั้นจะมีเครื่องตัดให้ขาดออกไปเป็นก้อนๆโดยขึงตึงในโครงเหล็กซึ่งติดอยู่ที่เครื่องรีด

5) การผึ่งแห้งเป็นการทำอิฐแห้งหลังจากขึ้นรูปโดยจะผึ่งไว้ในร่มหรือกลางแจ้งซึ่งจะใช้เวลา 4-5 วัน ขึ้นอยู่สภาพอากาศแต่การผึ่งแห้งกลางแจ้งอาจจะทำให้อิฐเกิดการแตกร้าวขณะเผาได้

6) เอาดินที่ผึ่งแล้วไปเข้าเครื่องไฮดรอลิก ซึ่งอัดด้วยแรงคนใช้คนคนเดียวแบบที่อัดเป็นแบบเหล็กแข็งแรงขนาดสม่ำเสมอแบบที่อัดนี้จะมีตราของบริษัทที่ผลิตหรือลวดลายที่ต้องการอัดลงไปด้วยในคราวเดียวกับการที่อัดดินให้แน่น

7) นำอิฐที่ผึ่งแล้วไปผึ่งอีกครั้งผึ่งไว้ประมาณ 7 - 10 วัน ในที่มีหลังคากันแดดกันฝนได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

8) นำก้อนดินที่อัดแล้วไปเรียงเข้าเตาเผาโดยเรียงให้โปร่งพอที่ความร้อนจะกระจายไปได้ทั่วระยะเวลาในการเผาประมาณ 6 วัน 6 คืน

9) ดับเตาโดยไม่เติมฟืนอีกต่อไปเมื่อฟืนหมดทิ้งให้ระอุและเย็นอีก 4 - 5 วัน

10) ลำเรียงอิฐออกจากเตานำไปเข้าโกดังเก็บไว้เพื่อรอการจำหน่าย

ต่อไปในการผลิตยังมีปัจจัยที่สำคัญคืออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาประมาณ900 C- 1,000 C ในการเผา 1 ครั้ง เตาเผาสามารถบรรจุอิฐได้ประมาณ 30,000 – 50,000 ก้อน

1.4.3 วิธีอัดแบบแห้ง (Dry-Press Process)

กรรมวิธีนี้ในการเตรียมดินจะใช้เครื่องบดดินให้เป็นผงละเอียดและไม่มีการเติมน้ำเพิ่มซึ่งในดินจะมีความชื้นตามธรรมชาติอยู่แล้ว (ประมาณ 7 –10 %) แล้วใช้เครื่องจักรที่มีพลังงานสูงในการอัดขึ้นรูปซึ่งจะได้อิฐที่มีขนาดสม่ำเสมอเนื้อแน่นแข็งแรงทั่วทั้ง

ก้อนมีแนวโน้มต่ำที่จะเกิดการโค้ง-งอและแตกร้าวขั้นตอนการผลิตโดยวิธีนี้จะนำดินเหนียวมาเข้าเครื่องบดย่อยให้เป็นเม็ดเล็กๆด้วยใบมีดเหล็กดินที่ถูกย่อยแล้วจะถูกนำมายัง Pan ซึ่ง ณ ที่นี้ ดินจะถูกบดละเอียดจนเป็นผงด้วย Roller เหล็กจากนั้นนำมาตรวจสอบค่าความชื้นซึ่งความชื้นที่เหมาะสมนั้นประมาณ 7 – 15 % จากนั้นจะนำดินไปอัดลงในแบบด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกแล้วจะนำอิฐที่ถูกอัดแล้วไปผึ่งให้แห้งและเผาเช่นเดียวกับทั้งสองวิธีข้างต้น

ภาพที่ 6 แสดงการผลิตอิฐด้วยวิธีอัดแบบแห้ง (สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ. 2554)

1.5 ลักษณะโดยทั่วไปของอิฐมอญ(General Characteristics of Brick)

ลักษณะโดยทั่วไปของอิฐมอญมีดังนี้

1.5.1 ความหนาแน่นของเนื้ออิฐ (Soundness) อิฐที่ดีเหมาะสมแก่การก่อสร้างต้องมีเนื้อแน่นไม่มีร่องโพรงหรือรอยร้าวไม่มีก้อนกรวดก้อนหินอยู่ในเนื้อดิน

1.5.2 รูปร่างของแผ่นอิฐ (Shape) เป็นสิ่งสำคัญมากที่จะเลือกใช้อิฐที่มีเหลี่ยมสันต่างๆให้ได้ฉากกันและแหลมคมเรียบร้อยดีมิฉะนั้นแล้วจะทำให้การก่อไม่เรียบร้อยและอาจจะไม่มีกำลังยึดดีด้วย

1.5.3 ขนาดของแผ่นอิฐ (Size) ต้องเป็นขนาดที่กำหนดไว้ในมาตรฐานต่างๆใช้กันทั่วไป

1.5.4 สีของอิฐ (Color)เกิดจากเหตุหลายประการโดยเฉพาะอาจเกิดจากส่วนผสมที่มีอยู่ในดินเช่นธาตุเหล็กหรือสนิมเหล็กเผาแล้วจะเกิดเป็นสีเหลืองเข้มส้มแดงสีอาจเกิดจากการได้รับความร้อนต่างกันหรือเผาคนละเตาเช่นได้รับความร้อนจัดสีจะแก่กว่าได้รับความร้อนอ่อน

1.5.5 คุณสมบัติของอิฐอิฐที่ดีจะสังเกตได้จากคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1) ผิว (Texture) ผิวเรียบและขรุขระสำหรับทางโรงงานผลิตจะทำให้เรียบหรือหยาบเป็นขรุขระก็ได้สำหรับผิวขรุขระถ้านำมาใช้ในอาคารที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมก็ไม่ค่อยดีนักเพราะควันไฟจับผิวขรุขระทำให้เกิดสกปรกได้ง่ายมักจะใช้ในอาคารธรรมดาอากาศโปร่งทางสถาปัตยกรรมบางครั้งจะเล่นผิวให้ตัดกับคอนกรีตก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสม

2) สี (Color) สีแดงของอิฐเกิดได้จากธาตุเหล็ก (Oxide of Iron) สีน้ำเงินหรือสีคล้ำเกิดจากการเผาสุกมากเกินไปและธาตุเหล็กมากสีขาวและสีเทาเกิดจากดินที่นำมาใช้มีชอล์กมากสีขาวและสีนวลเกิดจากการผสมของชอล์กปูนขาวและธาตุเหล็ก

3) รูปร่าง (Shape) ส่วนสัดของอิฐจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าตรงไปตรงมาขนาดเท่ากันเมื่อนำไปใช้ในการก่อสร้างอิฐนั้นจะมีการยึดเกาะ (Bonding) ทั้งนี้หมายความว่ายึดเกาะและเกาะง่ายมีมุมฉากและได้สัดส่วนไม่บิดงอ

4) รอยบุ๋ม (Frog) อิฐที่มาจากต่างประเทศมักจะมีรอยบุ๋มไว้บนหน้าของแผ่นอิฐทั้งส่วนบนและส่วนล่างอิฐในประเทศไทยนั้นมีอิฐมอญที่ไม่มีรอยบุ๋มคงเนื่องมาจากมีความบางมากประกอบกับมีผิวขรุขระทำให้ปูนก่อจัดยึดได้ดีแต่อิฐบางบัวทองและอิฐบางปลากดเท่านั้นมีรอยบุ๋มไว้เสมอการทำรอยบุ๋มมีความประสงค์เพื่อลดน้ำหนักของอิฐให้น้อยลงและเพื่อความสะดวกในการก่อสร้างทำให้ปูนก่อจับยึดเกาะตัวได้ดี

5) ความแข็งแรง (Strength) เกี่ยวกับคุณภาพของอิฐแต่ละแผ่นจะต้องเผาสุกดีไม่บิดงอแตกร้าวแข็งแกร่งเมื่อเคาะดูมีเสียงดังกังวานซึ่งความแข็งแรงของอิฐทำได้โดยการทดสอบการรับแรงอัดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐจะต้องต้านทานกำลังรับแรงอัดได้ไม่น้อยกว่า 35.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

6) การดูดน้ำ (Water Absorption) การดูดซึมน้ำของอิฐจะถือเป็นเครื่องชี้ความคงทนของอิฐการทดสอบปกติทำได้โดยการนำอิฐไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลที่ได้ต้องไม่เกินร้อยละ 25 ตามมาตรฐานกำหนดสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องอิฐก่อสร้างสามัญมาตรฐานเลขที่มอก.77-2545 เพราะถ้าอิฐมีการดูดซึมน้ำมากเวลานำไปก่อสร้างนานเข้าก็จะเปื่อยยุ่ยละลายไปตามน้ำ

7) การเลือกอิฐ (Selection) การเลือกอิฐที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างมีวิธีพิจารณาดังนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

7.1) อิฐที่ใช้งานเดียวกันควรเป็นอิฐที่เผาในเตาเดียวกันแล้วได้รับความร้อนคือเผาสุกเสมอกันทุกแผ่น

7.2) มีขนาดคงที่เท่ากันทุกแผ่นและน้ำหนักเท่ากันทุกก้อน (โดยเฉลี่ย) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญมาตรฐานเลขที่มอก.77-2545

7.3) มีผิวเรียบร้อยสม่ำเสมอกันทุกด้านไม่บิดงอแตกร้าว

7.4) มุมและเหลี่ยมทุกเหลี่ยมต้องขนาดกันและทุกมุมต้องได้ฉาก

7.5) เคาะฟังเสียงดูต้องมีเสียงแกร่งคล้ายโลหะ

7.6) ไม่ดูดน้ำมากกว่าร้อยละ 25 ของน้ำหนักของอิฐเมื่อแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญมาตรฐานเลขที่มอก.77-2545

7.7) อิฐต้องมีสีสม่ำเสมอเท่ากันทุกแผ่น

7.7) ต้านทานแรงอัดสูงสุดไม่น้อยกว่า 35 กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตรตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญมาตรฐานเลขที่มอก.77-2545

1.6 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ

เนื่องจากในปัจจุบันมีการผลิตอิฐมอญกันอย่างแพร่หลายแต่ละแห่งผลิตขึ้นโดยอาศัยมาตรฐานต่างๆกันตามที่เห็นว่าเหมาะสมหรือจากประสบการณ์ของผู้ผลิตเองทำให้อิฐมีขนาดและคุณภาพแตกต่างกันไปสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรมจึงเห็นสมควรจะกำหนดมาตรฐานสำหรับอิฐมอญเพื่อให้เป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทยฉบับปัจจุบันคือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 84 (พ.ศ.2531) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ.2517 เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญมาตรฐานเลขที่มอก.77-2545 มีรายละเอียดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญดังนี้

1.6.1 ขอบข่ายมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดประเภทขนาดและคุณลักษณะที่ต้องการของอิฐก่อสร้างสามัญขนาดเล็ก (อิฐมอญ)

1.6.2 บทนิยามความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมีดังต่อไปนี้

1) ขนาดหมายถึงความกว้างความยาวและความหนาตามมาตรฐาน

2) อิฐขนาดเล็ก (อิฐมอญ) หมายถึงอิฐที่มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตันผิวไม่สู้เรียบทำด้วยมือหรือเครื่องจักรเหมาะสำหรับใช้ก่อผนังหรือกำแพงที่ฉาบปูน

1.6.3 ประเภทและขนาด

1) ประเภทอิฐก่อสร้างสามัญแบ่งเป็นสองประเภทได้แก่

1.1) ประเภทที่ 1 อิฐขนาดเล็ก (อิฐมอญ)

1.2) ประเภทที่ 2 อิฐขนาดใหญ่

2) ขนาดและความคาดเคลื่อนที่ยอมให้ทั้งอิฐประเภทที่ 1 ดังที่ตาราง 4

ตารางที่ 4 ขนาดความคลาดเคลื่อนและขีดจำกัดในการทดสอบหน่วยเป็นมิลลิเมตร

ประเภท	ขนาด			ขีดจำกัดในการทดสอบอิฐ 20 แผ่น		
	ยาว(มม.)	กว้าง(มม.)	หนา(มม.)	ยาว(มม.)	กว้าง(มม.)	หนา(มม.)
1	140 ± 5	65 ± 3	40 ± 2	2,700 – 2,900	1,240 – 1,360	760 - 840
	160 ± 5	65 ± 3	40 ± 2	3,100 – 3,300	1,240 – 1,360	760 - 840
	190 ± 5	90 ± 3	40 ± 2	3,700 – 3,900	1,740 – 1,860	760 - 840

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1.6.4 ส่วนผสมและวิธีทำ

1) ส่วนผสมอิฐประเภทที่ 1 วัสดุที่ใช้ในการทำได้แก่

1.1) ดินเหนียวหรือดินโคลน

1.2) วัสดุอื่นเช่นแกลบทรายขี้เลื่อยอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกันแล้วแต่ความเหมาะสม

2) วิธีทำ

2.1) การทำด้วยมือใช้ดินเหนียวผสมกับทรายหรือแกลบหรือใช้ดินโคลนผสมกับแกลบย่ำผสมน้ำอัดลงในแบบพิมพ์ไม้ซึ่งวางอยู่บนลานดินที่เรียบโดยโรยเถ้าแกลบบนลานดินและภายในแบบพิมพ์เพื่อกันไม่ให้ดินผสมติดแบบพิมพ์ปาดให้เรียบยกแบบพิมพ์ไม้ออกผึ่งไว้กลางลานดินให้แห้งแล้วจึงนำเข้าเตาเผา

2.2) การทำด้วยเครื่องจักรใช้ดินเหนียวผสมกับทรายหรือแกลบนำเข้าเครื่องพ่นน้ำนวดอัดรีดออกมาเป็นแท่งยาวตัดด้วยลวดเป็นแผ่นอิฐผึ่งให้แห้งแล้วจึงนำเข้าเตาเผา

1.6.5 คุณลักษณะที่ต้องการ

1) ผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปต้องมีขนาดเป็นไปตามตารางที่ 2.5 มีลักษณะและคุณสมบัติอื่นๆดังต่อไปนี้

1.1) เผาสุกและมีสีสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น

1.2) มีความแข็งแรงทนทานตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.5

1.3) มุมทุกมุมควรเป็นมุมฉาก

1.4) รูปร่างและขนาดสม่ำเสมอกัน

1.5) เนื้อแน่นไม่มีรอยแตกร้าว

2) คุณสมบัติทางกายภาพ

2.1) แรงอัด (Compressive Strength) ต้องเป็นไปตามกำหนดในตารางที่ 5

2.2) การดูดซึม (Water Absorption) ต้องเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดในตารางที่ 5

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 5 แรงอัดและการดูดซึมน้ำ

ประเภท	ยาวxกว้างxหนา (มม.)	แรงอัดต่ำสุด (เมกกะพาสคัล)	การดูดซึมน้ำสูงสุด ร้อยละของน้ำหนักอิฐ
1	140x65x40	3.5	25
	160x65x40	3.5	25

	190x90x40	3.5	25

ที่มา : ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1349 : 3

2. ดินเหนียว (Fat Clay)

ดินเหนียว หมายถึง ดินที่มีเนื้อละเอียดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 80 มีความเหนียวดีเหมาะกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ให้ความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์เมื่อยังไม่เผาดิน เกิดจากการตกตะกอนทับถมของเปลือกโลกโดยธรรมชาติ องค์ประกอบที่สำคัญคือ แร่ดิน (Clay Mineral) ซึ่งเป็นแร่ที่ทำให้ดินมีคุณสมบัติเฉพาะคือ ความเป็นพลาสติก (Plastic) แร่ดินที่สำคัญคือ แร่เกาลิน (Kaolinite) แร่มองท์มอ - ริลโลไนท์ (Montmorillonite) และแร่อิลไลท์(Illite)แต่ในดินธรรมชาติยังประกอบด้วยผลึกของแร่ต่างๆที่ไม่ได้เป็นแร่ดิน แต่เรียกว่าแร่องค์ประกอบ (Accessory Mineral) ซึ่งพบมากได้แก่ ควอซท์ (Quarth) เฟลสปาร์ (Feldspar) ไมกา (Mica) และแร่เหล็ก (Ferrus) สำหรับส่วนประกอบอื่นในดินประกอบด้วยอินทรีย์สารและน้ำ อินทรีย์สารจะอยู่ในรูปต่างๆ เช่นลิกไนท์ไข (Waxes) กรดแร่ ส่วนน้ำจะอยู่ในรูปส่วนประกอบของผลึกแร่หรือถูกดูดซึมอยู่ตามผิวของแร่หรือช่องว่างของแร่ (พานทอง อินทรชัย. 2548) ดินเหนียวมีสีทั้งสีน้ำตาลอ่อนสีน้ำตาลแก่และสีเทาแก่เม็ดละเอียดต้องมีความเหนียวพอที่จะทรงตัวอยู่ได้ทั้งในขณะที่เปียกและแห้งถ้าเหนียวมากเกินไปดินจะหดตัวมากต้องใช้วัสดุอื่นผสมเช่น ทรายแกลบหรือขี้เลื่อย เพื่อให้เกิดความเหนียวพอดีและมีความหดตัวน้อยดินเหนียวเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตอิฐเนื่องจากส่วนประกอบส่วนใหญ่ของอิฐนั้นจะเป็นดินเหนียวดินเหนียวเป็นดินที่พบโดยทั่วไปในที่ราบลุ่มเกิดจากการไหลตัวลงสู่ที่ต่ำของดินชั้นแรก (Primary) แล้วทับถมปะปนกับซากพืชซากสัตว์โดยทั่วไปดินเหนียวจะเป็นดินที่มีความทนไฟที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำคือประมาณ 1,000– 1,100°C และหลังจากเผาแล้วจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ประมาณร้อยละ 10 และเมื่อเผาแล้วดินเหนียวจะมีลักษณะสีน้ำตาลแดงดินเหนียวเป็นดินที่เกิดจากตะกอนที่พัดพามาทับถมกันธรรมชาติของดินเหนียวจะประกอบด้วยเคโอลิไนต์ (Kaolinite) เป็นส่วนใหญ่ โดยเคโอลิไนต์ที่พบในดินเหนียวมักมีผลึกที่ไม่สมบูรณ์และมีขนาดเล็กนอกจากนี้ยังพบแร่ดินชนิดอื่นๆอาทิมอนมอริลโลไนต์ (Monmorillonite) อิลไลต์ (illite) ควอร์ทซ์ (Quartz) ไมกา (Mica) เหล็กออกไซด์ (Iron Oxide) รวมทั้งมักมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่เสมอ ดินเหนียวมีสี

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ต่างๆ เกิดจากการมีแร่ธาตุชนิดต่างๆในปริมาณที่แตกต่างกันอาทิ สีดำเทาครีมและน้ำตาลดิน - เหนียวที่มีสีเทาหรือดำนั้นจะมีอินทรียวัตถุปนมากส่วนดินเหนียวสีครีมหรือน้ำตาลมาจากเหล็กออกไซด์ที่ปนอยู่ (สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ. 2554)

สาเหตุที่ต้องนำดินเหนียวมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์มีด้วยกัน 4 ข้อคือ

1. ช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปของเนื้อดินปั้นให้ดีขึ้น

2. พัฒนาผลิตภัณฑ์ก่อนเผาให้มีความแข็งแรงมากขึ้นซึ่งเป็นผลทำให้การสูญเสียเนื่องจากการแตกหักของผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เผาในขณะมีการเคลื่อนย้ายลดน้อยลง

3. ช่วยทาให้น้ำดินที่ใช้ในการเทแบบมีการไหลตัวดีขึ้น

4. ดินเหนียวบางชนิดมีความสามารถช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างมวลสารในเนื้อดินปั้นในขณะทำการเผาเป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่นเป็นเนื้อเดียวกันตลอด

การนำดินเหนียวมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์มีข้อเสียคือ

1. ในดินเหนียวมักมีสิ่งสกปรกเช่นเหล็กออกไซด์และไททาเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นตัวทำให้ความขาวของเนื้อผลิตภัณฑ์เสียไปทำให้ความโปร่งแสงของผลิตภัณฑ์น้อยลง

2. ดินเหนียวมีส่วนประกอบไม่แน่นอนฉะนั้นทำให้เกิดความยุ่งยากในการควบคุมน้ำดินสำหรับเทแบบ

3. ธรรมชาติของดินเหนียวส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ดินขาวแต่มีผลึกขนาดเล็กกว่าดินชนิดอื่นๆ และผลึกมักจะไม่สมบูรณ์โดยแร่ที่มักพบปนอยู่ในดินเหนียวเสมอเช่นควอทซ์ไมกาและเหล็กซัลไฟล์ดินเหนียวมีลักษณะพิเศษก็คือมีสารอินทรีย์ปนอยู่เสมอสารอินทรีย์นี้มีส่วนประกอบคล้ายลิกไนท์มากดินเหนียวเมื่อแห้งจะมีความแข็งแรงสูงและมีการหดตัวสูงเช่นกันดินเหนียวหลายชนิดมีช่วงอุณหภูมิกว้างที่จะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นแก้วซึ่งเป็นประโยชน์คือช่วยปรับปรุงเนื้อผลิตภัณฑ์หลังจากเผาแล้วให้ดีขึ้นในประเทศไทยดินเหนียวที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์มีหลายแหล่ง เช่นสุราษฎ์ธานีปราจีนบุรีแม่เมาะลำปางเชียงใหม่เป็นต้น

2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของดินเหนียว

ส่วนประกอบทางเคมีของดินเหนียวแตกต่างกันไปตามแหล่งที่พบส่วนประกอบโดยประมาณอาจจำแนกได้ดังนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.1.1 ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อยู่ประมาณ 40 – 60 %

2.1.2 อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ประมาณ 30 %

2.1.3 น้ำ (H_2O) ในผลึกและอินทรีย์สาร 10%

2.1.4 สารประกอบอื่นๆเช่นเหล็กออกไซด์เล็กน้อย

แร่ดินต่างๆที่พบในดินเหนียวพอสรุปได้คือแร่ดินขาวซึ่งมีทั้งหยาบและละเอียดเป็นส่วนใหญ่นอกจากนี้ก็มีสารที่เป็นส่วนประกอบอยู่ เช่นควอทซ์ไมกาเป็นต้น

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว

2.2.1 ขนาดของดินเหนียวมีขนาดละเอียดกว่าดินขาวขนาดดินเหนียวจะมีขนาดละเอียดแค่ไหนและมากน้อยเพียงใดจะเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งที่พบคือแหล่งดินที่ถูกพัดพาไปไกลจากแหล่งเดิมมากจะมีการเสียดสีและการบดกันตามธรรมชาติมากขนาดของเม็ดดินจะละเอียดมากขึ้นตามลำดับ

2.2.2 ความเหนียวดินเหนียวมีความเหนียวดีกว่าดินขาวการผสมดินเหนียวลงไปในเนื้อดินปั้นจะช่วยทาให้การขึ้นรูปได้ดีขึ้น

2.2.3 การหดตัวเมื่อแห้งดินเหนียวมีการหดตัวมากน้อยแตกต่างไปตามแหล่งหรือชนิดของดินเหนียวนั้นเช่น ดินเหนียวที่มีซิลิกอนไดออกไซด์สูงจะมีการหดตัวที่ค่อนข้างน้อยแต่ดินเหนียวที่มีอินทรีย์สารสูงจะมีการหดตัวมากประมาณร้อยละ 15

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครสวรรค์
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.2.4 ความแข็งแรงก่อนเผาปกติดินเหนียวจะมีความแข็งแรงกว่าดินขาวดินเหนียวที่มีความแข็งแรงสูงเมื่อผสมในเนื้อดินปั้นจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูงตามด้วย

2.2.5 คุณสมบัติหลังจากเผาถ้าเป็นดินเหนียวล้วนๆ การพิจารณาคุณสมบัติหลังจากการเผาเช่นสีหรือความแข็งแรงจะไม่มีความสำคัญแต่คุณสมบัติเหล่านี้จะมีความสำคัญเมื่อผสมดินเหนียวลงไปในเนื้อดินปั้นดินเหนียวบางอย่างมีไมกาประกอบอยู่เมื่อผสมในเนื้อดินปั้นเมื่อเผาไมกาจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาในเนื้อดินปั้นทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์แน่นและเนียนมากขึ้นดินเหนียวมีสมบัติเด่นในการนำมาขึ้นรูป คือมีความเหนียวและเมื่อแห้งมีความแข็งแรงสูงทำให้ผลิตภัณฑ์หลังแห้งมีความแข็งแรงแต่อย่างไรก็ตามเมื่อแห้งดินเหนียวมักมีการหดตัวสูงซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการแตกร้าวดังนั้นจึงไม่นิยมใช้เนื้อดินเหนียวล้วนๆในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แต่ต้องมีการผสมวัสดุที่ไม่มีความเหนียวอาทิ ดินเชื้อหรือทรายเพื่อ

ลดการดึงตัวและหดตัวซึ่งจะช่วยลดปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของดินได้ดินเหนียวหลายชนิดมีช่วงอุณหภูมิที่จะเปลี่ยนไปเป็นเนื้อแก้วกว้างซึ่งจะเป็นประโยชน์คือช่วยปรับปรุงเนื้อผลิตภัณฑ์หลังการเผาให้ดีขึ้นในการใช้ประโยชน์จากดินเหนียวนั้นนอกจากใช้เป็นเนื้อดินปั้นสาหรับหัตถกรรมพื้นบ้านแล้วยังนิยมนำมาใช้ผสมกับดินขาวเพื่อเพิ่มความเหนียวหรือช่วยให้น้ำดินมีการไหลตัวดีขึ้นในปัจจุบันประเทศไทยมีแหล่งดินเหนียวอยู่หลายแหล่งที่ได้นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์อาทิ ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีปราจีนบุรีลำปางเชียงใหม่นอกเหนือจากนี้ดินเหนียวที่มีอยู่ในแหล่งพื้นบ้านทั่วไปอย่างไรก็ตามแม้ว่าดินเหนียวจะมีอยู่ในหลายพื้นที่ก็ตาม

ดินเหนียว แบ่งตามลักษณะของดินได้เป็นดังนี้ (สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ. 2554)

1. ดินจอมปลวกเป็นลักษณะของดินที่ปนอยู่กับทรายและมีความเหนียวมากก่อนจะนำมาใช้จะต้องมีการทุบให้ละเอียดเพื่อย่อยให้เป็นผงก่อนจะนำมาร่อนแล้วผสมกับน้ำเพื่อขึ้นรูปเป็นดินเหนียวที่มีความทนไฟได้มากพอสมควรโดยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยนิยมที่จะเจาะจอมปลวกเพื่อทำเป็นเตาเผา

2. ดินท้องนาเป็นดินที่มีความเหนียวและมีทรายปนอยู่เล็กน้อยก่อนจะนำมาใช้ต้องขุดเปิดผิวหน้าดินเพื่อแยกสิ่งเจือปนที่เป็นอินทรียวัตถุ เช่นรากไม้กิ่งไม้ออกให้หมด

3. ดินดอนชายน้ำเป็นดินที่มีลักษณะความเหนียวต่างกันตามแต่ละท้องถิ่นโดยมากจะพบว่ามีความเหนียวที่สูงตามแหล่งที่เป็นน้ำนิ่งเช่น บ่อน้ำ การล้างเพื่อแยกสิ่งเจือปนออกจากดินชนิดนี้นิยมล้างด้วยน้ำเนื่องจากเป็นดินที่เหลวและอ่อนตัวอยู่แล้ว

4. ดินดานเป็นดินที่มีความเหนียวน้อยเกิดจากการทับถมกันของดินชนิดต่างๆมาเป็นเวลายาวนานจนรวมตัวกันกลายเป็นสภาพหินใหม่แต่ยังมีความแข็งไม่มาก สามารถที่จะนำมาบดเป็นดินเชื้อแทนทรายละเอียดได้

5. ดินจากเถ้าภูเขาไฟเป็นดินที่มีลักษณะความเหนียวมาก โดยจะมีความเหนียวถึงสามเท่าของดินเหนียวทั่วไปเกิดจากการแปรสภาพของเถ้าลาวาที่ถูกพ่นออกมาจากปล่องภูเขาไฟนิยมนำมาผสมกับเนื้อดินปั้นเพื่อเพิ่มความเหนียวให้กับเนื้อดินอื่นๆ

วิธีการในการปรับดินให้เหมะสม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
PIBULSONGKRAM RAJABHAT UNIVERSITY

1. ถ้าดินมีความเหนียวมากไปเมื่อผึ่งหรือตากแห้งจะทำให้เกิดการหดตัวและเกิดการแตกร้าวเมื่อเผาจะแข็งและบิดตัวมากวิธีการแก้ไขควรใช้ทรายแกลบหรือขี้เถ้าแกลบผสมดินชนิดนี้ตามอัตราส่วนที่เหมาะสม

2. ถ้าดินมีทรายมากเกินไปอิฐจะเปราะและหักง่ายวิธีการแก้ไขควรใช้ดินเหนียวผสมลงไปในอัตราส่วนที่เหมาะสม

3. ดินที่มีกรวดเปลือกหอยหรือหินปูนผสมอยู่เมื่อเผาจนสุกเปลือกหอยและหินปูนจะแปรสภาพเป็นปูนขาวซึ่งดูดน้ำทำให้อิฐแตกง่ายวิธีการแก้ไขก่อนนำดินลงหมักให้เก็บกรวดและสิ่งเจือปนออกให้หมดได้

วิธีการตรวจสอบดินที่ใช้ในการผลิต

การตรวจสอบว่าดินชนิดใดมีคุณสมบัติสำหรับทำอิฐมอญหรือไม่วิธีที่ดีที่สุดการเอาดินมาปั้นเป็นก้อนแล้วปล่อยให้ผึ่งลมหรือตากให้แห้งหรือตากให้แห้งถ้าก้อนอิฐหดตัวและแตกร้าวมากต้องเพิ่มส่วนผสมของแกลบและทรายเข้าไปอีกถ้าอิฐยุ่ยหรือเปราะก็แสดงว่ามีส่วนผสมทรายมากเกินไป จะต้องลดจำนวนทรายลงหรือเพิ่มดินเหนียวให้มากขึ้นเนื่องจากแกลบเป็นวัสดุที่ใช้ผสมกับดินเหนียวเพื่อลดความเหนียวและทำให้อิฐมีน้ำหนักเบาป้องกันการแตกร้าวการหดหรือบิดตัวของอิฐเมื่อทำการเผาแกลบที่ผสมก็จะเผาไหม้ช่วยทำให้อิฐสุกเร็วและเปลืองเชื้อเพลิงน้อยทำให้เนื้ออิฐมีรูพรุนสามารถดูดซึมน้ำได้มากการดูดน้ำของอิฐทำให้ไม่สิ้นเปลืองปูนสอและปูนจะเกาะแผ่นอิฐติดแน่นดีการใช้อัตราส่วนผสมกันที่แตกต่างกันของแกลบจะแตกต่างกันไปตามความนิยมของท้องที่ โดยทั่วไปจะใช้แกลบผสมประมาณ 15-25 กิโลกรัม ต่ออิฐ 1,000 ก้อน และผลของสารเจือปนที่มีอยู่ในเนื้อดินจะส่งผลให้ดินมีคุณลักษณะดังนี้ (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. 2549)

1. ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของดินโดยเปลี่ยนแปลงสภาพมาจากการผุพังของหินควอตซ์ กลายเป็นเม็ดทรายเล็กๆแทรกอยู่ในเนื้อดิน สำหรับซิลิกาจะมีอิทธิพลต่อการหดตัวของดิน โดยดินที่มีซิลิกาที่หยาบจะหดตัวน้อยในขณะเดียวกันดินที่มีซิลิกาที่ละเอียดจะมีอัตราการหดตัวที่น้อยกว่า

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2. อะลูมิเนียมไดออกไซด์ (Al_2O_3) อะลูมินาจะมีความทนไฟที่สูงมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้เป็นอย่างดีทำให้ดินที่มีอะลูมินาสูงจะมีความสามารถในการทนไฟได้ดี

3. เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เหล็กจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีดินโดยดินที่มีเหล็กผสมอยู่มากเมื่อนำไปเผาจะมีสีแดงเข้ม

4) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แคลเซียมจะมีผลต่อความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงาน

5)แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) แมกนีเซียมจะมีผลต่อการต้านทนต่อแรงดึงของชิ้นงานเช่นเดียวกับแคลเซียม

3. แกลบ (Rice Husk)

แกลบข้าว (Rice Husk) คือ เปลือกของข้าวสาร เป็นผลิตผลที่ได้จากกระบวนการสีข้าวแกลบ ข้าวจัดเป็นเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่จำนวนมากปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกแกลบข้าวรายใหญ่ของโลกนอกจากจะมีการนำแกลบข้าวไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่างๆแล้วแกลบข้าวยังสามารถนำไปผสมกับวัสดุอื่นๆทำเป็นวัสดุก่อสร้างแล้วแกลบข้าวยังถูกนำไปผลิตเป็นขี้เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) เพื่อนำขี้เถ้าแกลบไปใช้ประโยชน์อีกมาก ส่วนประกอบหลักของขี้เถ้าแกลบคือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) สามารถนำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการทางเคมีและการเผาที่อุณหภูมิสูง ซิลิกาในขี้เถ้าแกลบมีทั้งที่เป็นซิลิกาผลึก(Crystalline Silica) ซิลิกาผลึกสามารถแบ่งย่อยเป็นหลายชนิดตามความแตกต่างของรูปร่างลักษณะผลึกและความหนาแน่นของซิลิการูปร่างของผลึกมีหลายแบบเช่นสามเหลี่ยมสี่เหลี่ยมหกเหลี่ยมสี่เหลี่ยมลูกบาศก์และเส้นยาวและซิลิกาอสันฐาน (Amorphous Silica) ซึ่งเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีรูปร่างไม่เป็นผลึก (Non-Crystalline Silica) แกลบข้าวยังสามารถนำไปเป็นส่วนผสมสำหรับผลิตอิฐสามัญก่อสร้างโดยใช้ผสมกับดินเหนียวเพื่อลดความเหนียวและทำให้อิฐมีน้ำหนักเบา ป้องกันการแตกร้าวการหดหรือบิดตัวของอิฐเมื่อทำการเผาแกลบที่ผสมก็จะเผาไหม้ช่วยทำให้อิฐสุกเร็วและเปลืองเชื้อเพลิงน้อยผลจาการเผาอิฐยังทำให้เนื้ออิฐมีรูพรุนส่งผลให้อิฐสามัญมีน้ำหนักเบาและมีคุณสมบัติการนำความร้อนที่ลดลง

โดยทั่วไปจะใช้แกลบผสมประมาณ 15-25 กิโลกรัม ต่ออิฐ 1,000 ก้อน นอกจากนั้นบางพื้นที่ยังใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผาอิฐและนำขี้เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) จากการเผาอิฐมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐสามัญอีกด้วย (สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ. 2554)

ภาพที่ 7 แสดงภาพแกลบข้าว

4. กากกาแฟ (CoffeeGround)

กากกาแฟคือ กากที่เหลือทิ้งจากการบดเมล็ดกาแฟเพื่อทำกาแฟสดกาแฟจัดเป็นไม้พุ่มขนาดกลางสูงประมาณ 3-5 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์กาแฟของแต่ละพันธุ์ ผลกาแฟเติบโตได้ประมาณ 15-35 มิลลิเมตร (0.50 ถึง 1.25 นิ้ว) ขึ้นกับชนิดเมล็ดกาแฟเป็นส่วนที่อยู่ในกะลาซึ่งห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆอีกชั้นหนึ่งส่วนเนื้อกาแฟที่ห่อหุ้มกะลาเมื่อสุกเต็มที่มีรสหวานเล็กน้อยลักษณะเป็นยางเหนียวๆผลกาแฟเมื่อสุกเต็มที่ปอกเอาเปลือกและเนื้อทิ้งนำเมล็ดกาแฟทั้งกะลาไปตากแห้งจะเสียน้ำหนักไปประมาณ 7% และเมื่อกะเทาะเอาเปลือกและเนื้อทิ้งนำเมล็ดกาแฟทั้งกะลาไปตากแห้งจะเสียน้ำหนักไปอีกประมาณ 14.78% หรือพอจะกล่าวได้ว่าผลกาแฟสดที่เก็บมาทำเป็นสารกาแฟแห้งจะสูญเสียน้ำหนักไปประมาณ 80% โดยเฉพาะถ้าหากนำไปคั่วทำเป็นกาแฟที่ใช้ชงรับประทานก็คงจะมีเนื้อกาแฟแท้เพียงร้อยละ 13.60 ของน้ำหนักสด องค์ประกอบของสารในเมล็ดกาแฟที่สำคัญคือคาเฟอีน 0.3-3.5%, กรดคลอโรเจนิก 3-10% และกรดแทนนิกเป็นต้นปัจจุบันทั่วโลกมีกาแฟอยู่ประมาณ 50 พันธุ์แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะพันธุ์ที่

นิยมปลูกเป็นทางการค้าทั่วโลกในปัจจุบันคือพันธุ์อาราบิก้ากับพันธุ์โรบัสต้าและพันธุ์ที่เคยปลูกเป็นการค้ามาก่อนซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในด้านการผสมพันธุ์เพราะมีลักษณะดีเด่นบางประการเช่นพันธุ์เอ็กเซลซ่ากับพันธุ์ลิเบอร์ริกาเป็นต้นส่วนกาแฟที่ปลูกในประเทศไทยมีพันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นการค้ามีอยู่ 2 พันธุ์ คือพันธุ์อาราบิก้า กับพันธุ์โรบัสต้า ซึ่งส่วนใหญ่มีแหล่งปลูกในภาคใต้องค์ประกอบทางเคมีของส่วนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการการผลิตกาแฟส่วนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการการผลิตกาแฟได้แก่เปลือกกาแฟ (Coffee Husk) กากกาแฟ (Coffee Pulp) และเมล็ดกาแฟที่ผ่านการบดแล้ว (Coffee Spent Ground) ซึ่งแต่ละส่วนมีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของส่วนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการการผลิตกาแฟ

องค์ประกอบ	เปลือกกาแฟ	กากกาแฟ	เมล็ดกาแฟที่ผ่านการบดแล้ว
โปรตีน	9.2-11.3	8.5-12.1	10.3-12.2
ไขมัน	2.0-2.3	1.5-2.0	15.2-17.9
เซลลูโลส	13.2-27.6	15.1-20.3	13.2-18.4
ขี้เถ้า	3.3-4.1	5.5-6.8	4.5-6.3
ไนโตรเจน	57.8-66.1	45.5-54.3	41.0-49.8
แทนนิน	4.5-5.4	1.8-2.4	1.2-1.5
คาเฟอิน	0.8-1.1	0.5-0.7	0.02-0.08

ที่มา : Fan and Soccol (2005)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 8 แสดงภาพกากกาแฟ

5. ชานอ้อย(Bagasse)

ชานอ้อย คือ ส่วนของลำต้นอ้อยที่หีบเอาน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกแล้ว ปัจจุบันชานอ้อยสมารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ทั้งในภาคเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมโดยนำขี้เถ้าชานอ้อยที่เหลือทิ้งจากการผลิตไปใช้ประโยชน์ซึ่งเป็นการลดปัญหาการกำจัดขี้เถ้าชานอ้อยของโรงงานได้อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทยสำหรับกระบวนการผลิตน้ำตาลจะได้ชานอ้อยเป็นผลพลอยได้ปริมาณชานอ้อยส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานที่จำเป็นในการผลิตน้ำตาลและมีขี้เถ้าจากหม้อไอน้ำเป็นของเสียจากการผลิตเป็นจำนวนมากซึ่งมีการนำไปประยุกต์ในรูปแบบต่างๆเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าชานอ้อยมีปริมาณซิลิกาสูงสามารถใช้เป็นแหล่งซิลิกาในการสังเคราะห์วัสดุที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบเช่นซิลิกาเจลซีโอไลต์ซิลิกอนคาร์ไบด์และอื่นๆซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกันไปตามแต่คุณสมบัติซีโอไลต์เป็นสารประกอบอลูมิโนซิลิเกตมีซิลิกาและอลูมินาเป็นองค์ประกอบหลักซีโอไลต์สามารถใช้ประโยชน์ได้มากมายเช่นการแลกเปลี่ยนไอออนลดความกระด้างของน้ำใช้เป็นตัวดูดซับโลหะหนักใช้ในกระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติและเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีต่างๆ และจากอุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นทั่วทุกภาคของประเทศไทยเพื่อตอบสนองความต้องการและความสะดวกสบายของมนุษย์ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะมลพิษทางอากาศจะส่งผลต่อระบบหายใจระบบหัวใจและปอดซึ่งมลพิษทางอากาศมีสาเหตุหลักมาจากไอเสียของยานพาหนะและการเผาไหม้จากโรงงานอุตสาหกรรมมีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ฝุ่นละอองขนาดเล็กก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) สารตะกั่ว (Pb) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) และโอโซน (O_3) เป็นต้น ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนหรือ NOx เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไนโตรเจน (N_2) และออกซิเจน (O_2) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนสามารถทำปฏิกิริยาได้ก๊าซโอโซนและเป็นสาเหตุหลักของการเกิดฝนกรด (Palomares. et al. 2000) โดยปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าสูงขึ้นดังนั้นหากต้องการลดปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้ลงซึ่งมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ออกไซด์ของไนโตรเจนเป็นก๊าซพิษที่สามารถลดได้โดยวิธี Selective Catalytic Reduction (SCR) วิธี NOx Storage and Reduction (NSR) และวิธี Three Way Catalyst (TWC) แต่วิธี TWC ไม่สามารถลดออกไซด์ของไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะที่ยังมีออกซิเจนเหลืออยู่ในไอเสีย (Lean-NOx) (Nakatsuji et al., 2008 ; Mosca et al., 2009) ดังนั้นการลด Lean-NOx จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในขณะนี้ซึ่งการใช้ซีโอไลต์เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการกำจัดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนออกจากสารพิษโดยเฉพาะซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 ที่สามารถลดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Subbiah. et al. 2003) งานวิจัยนี้จึงมุ่งสนใจในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ SUZ-4 เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยารีดักชันก๊าซไนโตรเจนออกไซด์โดยใช้ขี้เถ้าชานอ้อยที่เหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาลมาเป็นแหล่งวัตถุดิบการผลิตซีโอไลต์เพื่อลดปริมาณขี้เถ้าชานอ้อยอีกทั้งลดการนำเข้าสารเคมีที่เป็นแหล่งซิลิกาได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 9 แสดงภาพชานอ้อย

6. ขี้เลื่อย (Sawdust)

ขี้เลื่อยเป็นวัสดุที่เหลือจากการนำไม้ไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆซึ่งการนำไปใช้จะต้องมีการตัดเลื่อยและใสเพื่อให้ได้ขนาดและรูปร่างตามต้องการทำให้เกิดเศษไม้และขี้เลื่อยเป็นจำนวนมากประโยชน์ที่ใช้ขี้เลื่อยผสมกับดินเหนียวปั้นอิฐนั้นนอกจากจะเป็นวัสดุช่วยทำให้เกิดรูพรุนในเนื้ออิฐยังช่วยลดการหดตัวเมื่อแห้งของอิฐลงทำให้ลดการแตกร้าวก่อนการเผาได้อีกด้วย (Sveda. 2000) พบว่าการผสมขี้เลื่อยช่วยให้การใช้เชื้อเพลิงในการเผาน้อยลงและขี้เลื่อยกว่า75 % สามารถไหม้สลายได้ง่ายโดยที่เริ่มไหม้สลายไปที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 °C

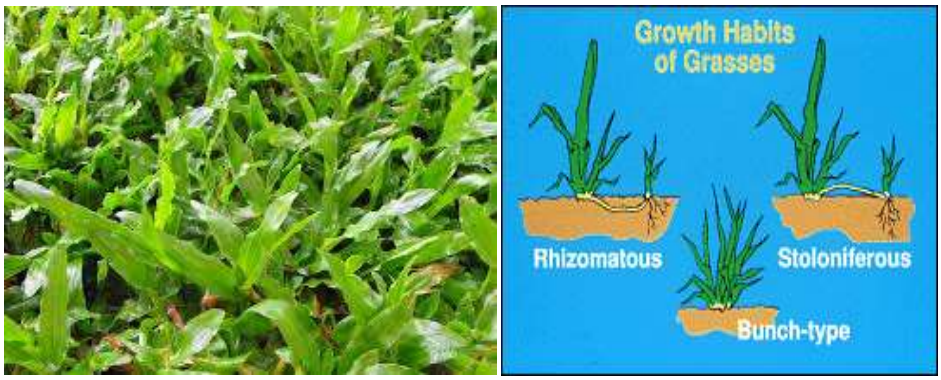
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 10 แสดงภาพขี้เลื่อย

7. หญ้า (Grass)

หญ้า เป็นพืชล้มลุกหลายชนิด หลายสกุล ในชั้น Liliopsida วงศ์ Poaceae หรือเป็นที่รู้จักกันดีว่าวงศ์ Gramineae เช่น หญ้าคา (Imperata Cylindrica Beauv) หญ้าตีนกา (Eleusineindica Gaertn) หญ้าแพรก (Cynodon Dactylon Pers) มีพืชชนิดนี้ประมาณ 600 สกุล และมีประมาณ 10,000 ชนิด มีการประเมินกันว่าหญ้าเป็นพืชที่ปกคลุมผิวโลกกว่า 20% ของพืชทั้งหมดบนโลก พืชในวงศ์นี้เป็นพืชที่มีความสำคัญที่สุดต่อเศรษฐกิจมนุษย์ รวมไปถึงใช้เป็นสนามหญ้าและไม้ไผ่ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในการสร้างในเอเชียแต่บางชนิดจัดเป็นวัชพืช

ปัจจุบัน หญ้าเริ่มมีบทบาทสำคัญมากขึ้นในด้านการนำมาใช้ผลิตพลังงานทดแทนอีกด้วย เช่น หญ้ามิสแคนทัส และหญ้ามิสแคนทัสช้าง



ภาพที่ 11 แสดงภาพหญ้า

7.1 ประเภทของหญ้า

7.1.1 หญ้าเขตอบอุ่น (Warm Season Grasses) ได้แก่ หญ้าบาเฮีย, หญ้าเบอมิวด้า, หญ้าบัฟฟาโล่, หญ้าคารเป็ท, หญ้าเซนติปิด หญ้าเซ็นต์ออกัสติน,หญ้าซอยเซีย เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

7.1.2 หญ้าเขตหนาวเย็น (Cool SeasonGrasses) ได้แก่ หญ้าบลู, หญ้าเฟสคิว, หญ้าไรย์ เป็นต้น

7.1.3 หญ้าในเขตกึ่งหนาวและอบอุ่น (Transition Zone Grasses) ได้แก่ หญ้าบลู, เฟสคิว, หญ้าเทอมอลบลู, หญ้าซอยเซีย เป็นต้น

7.1.4 หญ้าในเขตร้อน (Tropical Grasses) ได้แก่ หญ้าเบอมิวด้า, หญ้าซอยเซีย, หญ้าเซ็นติปิด, หญ้ามาเลเซีย เป็นต้น

7.1.5

7.2 ชนิดของหญ้า

พันธุ์หญ้าสนามที่นิยมโดยทั่วไปมีอยู่หลายสกุลด้วยกันได้แก่

7.2.1 สกุลหญ้าแพรก (Cynodon spp.)ได้แก่ หญ้าแพรก, หญ้าเบอมิวดา เป็นต้น สามารถเจริญได้ดีในสภาพแล้ง ไม่ทนร่ม ทนการเหยียบย่ำได้ดี และฟื้นตัวเร็ว

7.2.2 สกุลหญ้านวลน้อย (Zoysia spp.)ได้แก่ หญ้านวลน้อย (Z. mattrella) กับหญ้าญี่ปุ่น (Z. japonica)

1) หญ้านวลน้อย อ่อนนุ่ม ไม่ทนร่ม และทนต่อการเหยียบย่ำได้ดี

2) หญ้าญี่ปุ่น ใบแข็งเรียวเล็กไม่อ่อนนุ่ม ทนแล้ง ชอบแดด ชอบเจริญเป็นกระจุก

7.2.3 สกุลหญ้าเซ็นต์ออกัสติน (Stenotaphrum spp.) ใบใหญ่มีขน อ่อนนุ่ม ทนร่ม

7.2.4 สกุลหญ้าเซนติปิด (Eremochloa spp.) ทนร่ม แต่ไม่ทนการเหยียบย่ำ

7.2.5 สกุลหญ้ามาเลเซีย (Axonoplus Compresus) ทนร่มได้ดี ทนการเหยียบย่ำพอประมาณ ต้นแบนราบ

7.2.6 สกุลหญ้าบาเฮีย (Paspalum Notatum) ต้นสูง ใบหยาบกว้าง ทนการเหยียบย่ำ

7.2.7 สกุลหญ้านวลจันทร์ (Polytrias Amoura) คล้ายหญ้านวลน้อยแต่อ่อนนุ่มกว่า

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การวิเคราะห์ต้นทุน

ชัยยศ สันติวงษ์ (2533) กล่าวถึง แนวความคิดในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการไว้ว่าโครงการอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะมีกิจกรรมหลักหรือหน้าที่หลัก 3 กิจกรรม คือกิจกรรมด้านเทคนิคด้านตลาดและด้านการเงินผลของกิจกรรมดังกล่าวจะสะท้อนออกมาในรูปของงบการเงินล่วงหน้า (Performa Financial Statement) กิจกรรมทั้ง 3 กิจกรรม ล้วนมีความสัมพันธ์กิจกรรมการตลาดต้องประสานกับกิจกรรมการผลิตในแง่ปริมาณยอดขายราคาขายคุณภาพและลักษณะผลิตภัณฑ์และจะต้องประสานกับฝ่ายการเงินในการจัดหาเงินทุนมาลงทุนในลูกหนี้การค้างบประมาณรายจ่ายในตลาดด้านเทคนิค (Technical Aspects) การวิเคราะห์

ทางด้านเทคนิคมีจุดมุ่งหมายเพื่อคาดคะเนต้นทุนและเงินลงทุนต่างๆอันได้แก่เงินลงทุนถาวรหรือเงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรเริ่มแรกค่าใช้จ่ายในการผลิตเป็นค่าใช้จ่ายวัตถุดิบค่าแรงงานซึ่งนำมาคาดคะเนเงินทุนหมุนเวียนค่าใช้จ่ายก่อนเปิดดำเนินการเป็นค่าใช้จ่ายนอกเหนือจากค่าใช้จ่ายการผลิตปกติซึ่งเกิดขึ้นในระยะแรกเท่านั้นค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมการผลิตรวมถึงค่าใช้จ่ายในการขออนุญาตตั้งโรงงานและยังเป็นการวิเคราะห์เกี่ยวกับชนิดและปริมาณของปัจจัยการผลิตที่นำมาใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ขบวนการผลิตและผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิตการเสาะหาทางเลือกของระดับทางด้านเทคนิคซึ่งเป็นประเด็นที่สำคัญของการวิเคราะห์ทางเทคนิคเพื่อเลือกเทคนิคที่เหมาะสมถูกต้องกับปัญหาหรือวัตถุประสงค์ของโครงการไม่ใช้เทคโนโลยีที่สูงเกินไปหรือเทคโนโลยีที่ล้าสมัยเพื่อจะได้เกิดการใช้ทรัพยากรของโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในการวิเคราะห์ด้านเทคนิคนี้มีความสำคัญต่อขบวนการผลิตของโครงการอย่างมากจึงต้องอาศัยความรู้ความเชี่ยวชาญจากเจ้าหน้าที่เฉพาะด้านในการวิเคราะห์ด้านการตลาด (Marketing and Aommercial Aspects) การวิเคราะห์ตลาดในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ลงลึกถึงรายละเอียดเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องครบถ้วนมาประกอบการประเมินผลตัดสินใจลงทุนการวิเคราะห์ตลาดนี้เป็นการวิเคราะห์ถึงอุปสงค์และลักษณะตลาดซึ่งอาจต้องมีการสำรวจตลาดอาศัยเทคนิคการพยากรณ์มาประกอบเพื่อกำหนดขอบเขตของตลาดเป้าหมายลูกค้าและลักษณะของตลาดได้นอกจากนี้ยังช่วยให้ทราบ 5 อุปสงค์แนวทางการเจาะตลาดตลอดจนกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาดจุดมุ่งหมายหลักในการวิเคราะห์ตลาดก็เพื่อต้องการคาดคะเนรายรับจากยอดขายต้นทุนระบบการจัดจำหน่ายและต้นทุนการขายผลการคาดคะเนที่ได้จะเป็นส่วนหนึ่งที่นำมาจัดทำเป็นงบกำไร-ขาดทุนล่วงหน้าเพื่อใช้ประเมินผลการตัดสินใจลงทุนด้านการเงิน (Financial Aspects) การวิเคราะห์การเงินเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทางการเงินเพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจเลือกโครงการซึ่งเกิดจากการนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคคือแผนการผลิตและการวิเคราะห์ทางด้านตลาดคือแผนการขายมาประกอบกันเพื่อให้การประเมินโครงการเป็นไปอย่างถูกต้องดังนั้นการวิเคราะห์ด้านการเงินจึงเป็นการนำข้อมูลที่ได้มาจัดเตรียมงบประมาณการเงินเพื่อดูความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ของโครงการวิเคราะห์ถึงความต้องการทางการเงินเพื่อใช้ในการลงทุนและวิเคราะห์ถึงผลตอบแทนทางการเงินโดยวัตถุประสงค์ที่สำคัญของการวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อวิเคราะห์ว่าโครงการที่จัดทำขึ้นมีความคุ้มทุนหรือไม่

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภายใต้การคำนึงถึงค่าเสียโอกาสซึ่งอยู่ในรูปของอัตราส่วนลด (Discount Rate) และการวิเคราะห์ความไวของโครงการ (Sensitivity Analysis) ดังนั้น ในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการลงทุนในธุรกิจผลิตอิฐมอญจะมีการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคการผลิตความเป็นไปได้ทางด้านการตลาดและความเป็นไปได้ทางการเงินซึ่งมีทฤษฎีทางด้านเทคนิคการตลาดและการเงินดังต่อไปนี้

1. ทฤษฎีทางด้านเทคนิค

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดคุณสมบัติสำหรับอิฐกลวงก่อแผงไม่รับน้ำหนักมาตรฐานเลขที่มอก.153-2540 ไว้ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1.1 วัตถุดิบ

1.1.1 ดิน

1.1.2 น้ำ

1.2 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

1.3 คุณลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

1.3.1 ลักษณะทั่วไป

1.3.2 การดูดกลืนน้ำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครราม
RAJABHAT MAHAPRARAKHAM UNIVERSITY

2. ทฤษฎีทางด้านการตลาด

งานการตลาดเป็นทั้งศาสตร์และศิลปะธุรกิจที่จะประสบความสำเร็จในธุรกิจได้ต้องมีความรู้ในเรื่องของหลักการตลาดเป็นอย่างดีนอกจากนี้ยังต้องสามารถนำความรู้ด้านการตลาดนั้นไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสมในแต่ละสถานการณ์จะเห็นได้ว่าหลักการตลาดจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่นักการตลาดและธุรกิจจะต้องให้ความสนใจศึกษาโดยละเอียดส่วนประสมการตลาดเป็นปัจจัยการการตลาดเป็นสิ่งที่ธุรกิจต้องคำนึงถึงส่วนประสมการตลาดเป็นปัจจัยทางการตลาดที่สำคัญซึ่งเป็นเครื่องมือที่ธุรกิจสามารถควบคุมได้ซึ่งส่วนประกอบของส่วนประสมทางการตลาดมีทั้งสิ้น 4 ประเภท หรือเรียกว่า 4Ps ดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีส่วนผสมการตลาด (Marketing Mix)ประกอบด้วย 4 P’s

2.1.1 ผลิตภัณฑ์ (Product) หมายถึงการมีสินค้าที่ตอบสนองความต้องการของลูกค้าเป้าหมายได้

2.1.2 ราคา (Price) หมายถึงการมีราคาที่ลูกค้ายอมรับได้และยินดีจ่ายเพราะมองเห็นคุณค่า

2.1.3 การจัดจำหน่าย (Place) หมายถึงการจัดจำหน่ายกระจายสินค้าให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการซื้อหาและให้ความสะดวกแก่ลูกค้า

2.1.4 การส่งเสริมการขาย (Promotion) เป็นการใช้ความพยายามจูงใจให้เกิดความสนใจในตัวสินค้าและเกิดพฤติกรรมการซื้ออย่างต่อเนื่องและในภาวะการตลาดที่มีการแข่งขันอย่างรุนแรงการทำการตลาดถือว่าเป็นส่วนสำคัญอย่างมากต่อธุรกิจการทำการตลาดและการวางแผนการตลาดจำเป็นต้องมีความรอบคอบมากขึ้นดังนั้นทฤษฎีที่ใช้ในการตลาดจึงเป็นแนวคิดและทฤษฎี IMC (Integrate Marketing Communication) หรือกลยุทธ์การตลาดแบบครบวงจรซึ่งสามารถสรุปกิจกรรมต่างๆในรูปแบบของ IMC ได้ดังนี้

1) การโฆษณา (Advertising) เป้าหมายให้เกิดพฤติกรรมการซื้อและใช้สินค้า

2) การส่งเสริมการขาย (Sales Promotion) เป้าหมายเพื่อกระตุ้นพฤติกรรมการซื้อโดยเสนอผลประโยชน์พิเศษ

3) การสื่อสารณจุดซื้อ (Point of Purchase Communications) เป้าหมายเพื่อดึงดูดความสนใจของลูกค้า

4) การสื่อสารการตลาดโดยตรง(Direct Marketing Communications) เป้าหมายเพื่อสื่อข่าวสารไปยังกลุ่มลูกค้าหวังผลตอบกลับคือการสั่งซื้อได้ทันที

5) การประชาสัมพันธ์ (Public Relations) เป้าหมายเน้นการสร้างภาพลักษณ์ของธุรกิจและสินค้า

6) การขายโดยพนักงานขาย (Personal Selling) เป้าหมายเพื่อโน้มน้าวใจให้กลุ่มเป้าหมายซื้อและทดลองใช้สินค้า

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

7) การสนับสนุนการตลาด (Sponsorship Marketing) เป้าหมายทางธุรกิจมากกว่าการสร้างภาพพจน์

8) กิจกรรมทางการตลาด (Event Marketing) มุ่งเน้นภาพลักษณ์ในการสร้างความสนใจและเป็นที่รู้จักแก่ลูกค้าเป้าหมาย

3. ทฤษฎีทางด้านการเงิน

การวิเคราะห์ทางการเงินว่าเป็นการประเมินโครงการในเชิงเศรษฐกิจจำเป็นต้องนำข้อมูลจากการศึกษาด้านการตลาดและด้านเทคนิคมาประกอบการคาดการณ์รายรับและต้นทุนเพื่อกระทำการตัดสินใจซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องมือทางการเงินหลายรูปแบบดังนี้

3.1 การจัดทำงบกระแสเงินสด (Cash flow)

3.2 การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net Present Value : NPV)

3.3 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return : IRR)

3.4 อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio : B/C ratio)

3.5 ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (PaybackPeriod : PB)

3.6 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break – Even Point : BEP)

3.7 การวิเคราะห์ความไวหรือความไหวตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงการ (Sensitivity Analysis) ซึ่งจะแยกวิเคราะห์เป็น 4 กรณีดังนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กรณีที่ 1 การปรับขึ้นของตัวแปรบางชนิดเช่นราคาน้ำมันอัตราดอกเบี้ยเป็นต้นที่ส่งผลต่อต้นทุนสินค้าและค่าใช้จ่ายในการคล่องชีพที่ปรับสูงขึ้นโครงการจำเป็นต้องรับภาระต้นทุนสินค้าและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นอีก 5% โดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นๆคงที่

กรณีที่ 2 มีการปรับขึ้นของตัวแปรบางชนิดเช่นราคาน้ำมันอัตราดอกเบี้ยเป็นต้นที่ส่งผลต่อต้นทุนสินค้าและค่าใช้จ่ายในการคล่องชีพที่ปรับสูงขึ้นโครงการจำเป็นต้องรับภาระต้นทุนสินค้าและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นอีก 10% โดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นๆคงที่

กรณีที่ 3 มีการปรับขึ้นของตัวแปรบางชนิดเช่นราคาน้ำมันอัตราดอกเบี้ยเป็นต้นที่ส่งผลต่อต้นทุนสินค้าและค่าใช้จ่ายในการคล่องชีพที่ปรับสูงขึ้นโครงการจำเป็นต้องรับภาระต้นทุนสินค้าและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นอีก 15% โดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นๆ คงที่

ศึกษาอัตราตอบแทนต้นทุนและค่าใช้จ่ายในลักษณะต่างๆ โดยการใช้มิติทางการเงินเป็นหลักการศึกษาอัตราผลตอบแทนในลักษณะต่างๆมีการกำหนดตัวแปรทางด้านการเงินซึ่งประกอบด้วย

1. ตัวแปรทางด้านผลตอบแทน (Benefits) ได้แก่

1.1 ผลตอบแทนจากการขายอิฐมอญ

1.2 ผลตอบแทนจากการขายอิฐมอญที่แตกหัก

2. ตัวแปรทางด้านต้นทุน (Costs) ได้แก่ ต้นทุนในการลงทุน (ต้นทุนคงที่) ประกอบด้วย

2.1 ค่าที่ดินและค่าปรับปรุงผิวหน้าดิน

2.2 ค่าก่อสร้างอาคารสำนักงานและอาคารโรงงาน

2.3 ค่าก่อสร้างบ้านพักคนงาน/ห้องน้ำ

2.4 ค่าก่อสร้างบ่อบาดาลพร้อมเครื่องกรองปั้มน้ำและถังเก็บ

2.6 ค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตที่เกี่ยวข้อง

2.7 ค่ายานพาหนะ

2.8 ค่าอุปกรณ์สำนักงาน

2.9 เงินเดือนพนักงาน

2.10 ค่าใช้จ่ายในการขายโฆษณาประชาสัมพันธ์

2.11 ค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์

2.12 ค่าสาธารณูปโภคอื่นๆ

3. ต้นทุนในการผลิต (ต้นทุนผันแปร) ประกอบด้วย

3.1 ค่าจัดซื้อวัตถุดิบ (ดินน้ำมันในการผลิตไม้ฟืน)

3.2 ค่าจ้างแรงงาน

3.3 ค่าวัสดุสิ้นเปลือง

3.4 ค่าน้ำมันรถเพื่อการขนส่งและขาย

3.5 ค่าซ่อมบำรุงยานพาหนะเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kadir and Maasom (2013) ศึกษาการนำเอาเศษชานอ้อยมาผสมในการทำอิฐดินเผา โดยศึกษาค่าการนำความร้อน ค่าความแข็งแรง ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อนำเศษชานอ้อยมาผสมตั้งแต่ 1, 2 และ 3% เปรียบเทียบกับที่ไม่ได้เติมค่าความหนาแน่นของอิฐอยู่ระหว่าง 1790, 1640 และ 1520 kg/m^3 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าการนำความร้อนคือ 0.0117, 0.0111 และ 0.0107 W/m. K และค่าความแข็งแรงของอิฐอยู่ระหว่าง 22.8, 14.2 และ 5.8 MPa ตามลำดับ ซึ่งค่าความแข็งแรงจะลดลงเมื่อปริมาณของเศษชานอ้อยเพิ่มขึ้นถึง 3%

Gorhan and Simsek (2013) ศึกษาผลของการเติมแกลบข้าวต่อความพรุนตัวและค่าการเป็นฉนวนความร้อนของอิฐก่อสร้าง โดยใช้แกลบข้าวตั้งแต่ 0 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ และนำไปเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 700-1,000 C ผลจากการเติมแกลบข้าวในปริมาณตั้งแต่ 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์หลังการเผาพบว่าปริมาณค่าการดูดซึมน้ำของอิฐก่อสร้างคือ 15, 24, 27 และ 32 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับค่าความแข็งแรงของอิฐก่อสร้างที่มีการเติมแกลบข้าว 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่าความแข็งแรงที่ค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 7 - 10 MPa การใช้แกลบข้าวในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีความเหมาะสมนอกจากนี้ยังสามารถช่วยเพิ่มความพรุนตัวให้กับอิฐก่อสร้าง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Faria et al. (2012) ได้รายงานผลการศึกษาจากการใช้เถ้าชานอ้อยผสมในการทำอิฐดินเผาพบว่า หลังจากการเผาปริมาณการดูดซึมน้ำของอิฐจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าความแข็งแรงของอิฐลดลง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในการเผาที่เหมาะสมคือ 1,000 C ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำจะน้อยลงนั้นแสดงให้เห็นว่าซิลิกาที่ได้จากเถ้าชานอ้อยทำปฏิกิริยาหลอมละลายรวมกับตัวหลอมละลายที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อดินเช่น เฟลด์สปาร์ และตัวหลอมละลายอื่นๆ ซึ่งจะทำให้รูพรุนลดลงและส่งผลให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของเถ้าชานอ้อยที่เหมาะสำหรับเป็นส่วนผสมในดินเพื่อทำอิฐควรไม่เกิน 10 % โดยน้ำหนักของส่วนผสมและเหมาะที่จะนำเอามาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐดินเผา

Souza et al. (2011) ศึกษาการนำเถ้าชานอ้อยมาเป็นตัวเติมในส่วนผสมของการทำวัสดุเซรามิกส์ สำหรับทำกระเบื้องมุงหลังคา โดยเถ้าชานอ้อยที่นำมาผสมในการทำกระเบื้องมุงหลังคาเท่ากับ 0, 20, 40 และ 60% ของเถ้าโดยน้ำหนัก และนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไปเผาที่

อุณหภูมิ800, 900, 1,000, 1,100 และ 1,200 C ผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าชานอ้อยจาก 0-60% ในตัวอย่างชิ้นทดลองนั้นปริมาณการดูดซึมน้ำจะลดลงและค่าการดูซึมน้ำจะไม่เปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 Cแต่จะเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,200 C เป็นผลมาจากการหลอมเหลวของเฟสที่เป็นตัวหลอมละลายในเนื้อดินร่วมกับซิลิกาและองค์ประกอบอื่นๆ ที่มาจากเถ้าชานอ้อย ซึ่งจะทำให้ความพรุนตัวลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นการเพิ่มปริมาณของเถ้าชานอ้อยจะทำให้ค่าความแข็งแรงลดลงอย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงของชิ้นตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่ม จำทำให้ความพรุนลดลงค่าความหนานแน่นเพิ่มขึ้นตามไปด้วยเมื่ออุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นสรุปผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการใช้เถ้าชานอ้อยในปริมาณตั้งแต่ 20-60% โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิในการเผาตั้งแต่ 1,000 C ขึ้นไปจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องมุงหลังคามีความทนทานที่ดี การดูดซึมน้ำน้อยและค่าความแข็งแรงสูง นอกจากนี้การนำเถ้าชานอ้อยมาใช้ยังเป็นผลดีของการเพิ่มมูลค่าจากของเสียที่มีอยู่ในปริมาณที่มากเป็นการนำเอามาใช้ให้เกิดประโยชน์และยังช่วยในเรื่องการรักษาสิ่งแวดล้อมอีกทางด้วย อีกทั้งหากมีการศึกษาเพิ่มเติมผลจากการใช้เถ้าชานอ้อยเป็นตัวเติมในส่วนผสมของอิฐดินเผา เมื่อผสมเถ้าชานอ้อยแล้วหลังจากการเผาจะเกิดเป็นรูพรุนขึ้นในเนื้ออิฐซึ่งตรงนี้อาจจะต้องศึกษาการปรับปรุงการเป็นแนวความร้อนสำหรับอิฐดินเผาได้อีกทางหนึ่งก็เป็นได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Chopradub (2004) ศึกษาผลของแกลบต่อคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐสามัญที่ทำจากดินเหนียวผสมแกลบมีอัตราส่วนของแกลบต่อดินเหนียวโดยน้ำหนักแห้งที่ร้อยละ 0, 3.4, 4.9 และ 7.8 เผาที่อุณหภูมิ 800, 1,000 และ 1,200 C ผลจาการทดลองพบว่า แกลบมีผลทำให้อิฐมีกำลังรับแรงอัดลดลง และลดในอัตราที่รวดเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของความพรุน เมื่ออิฐมีความพรุนตัวเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อิฐที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างคืออิฐที่ผสมแกลบร้อยละ 2.2 เผาที่อุณหภูมิ 800 C ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 24

ชัยวัฒน์ ธีร์วรากุล และคณะ (2549) ได้ศึกษาถึงการพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตอิฐด้วยมือของกลุ่มชาวบ้านในชุมชนหนองหลวงอำเภอเมืองจังหวัดตากโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิตและส่วนผสมชนิดวัตถุดิบวิธีการเผาที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มคุณภาพของอิฐ

ให้ได้มาตรฐานเนื่องจากอิฐที่ชุมชนผลิตมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานมอก. 77 - 2545 และมีคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอขนาดไม่แน่นอนจากการวิจัยพบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดคืออัตราส่วนของดินเหนียวต่อขี้เลื่อย 5 : 2 โดยปริมาตรโดยมีกาลังอัด 37.60 กก./ซม.^{2} และการเผาอิฐด้วยฟืนและแกลบให้กาลังอัดที่ใกล้เคียงกัน

สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ (2550) ได้ศึกษาการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาของจังหวัดสิงห์บุรีจากผลการวิจัยพบว่าธาตุที่มีอยู่ในดินจากท้องนาซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญที่สุดสาหรับผลิตอิฐมอญโดยการสุ่มตัวอย่างจากแหล่งผลิตจากผู้ผลิตจานวน 3 แหล่งมาวิเคราะห์พบว่าวัตถุดิบจากทั้งสามแหล่งมีส่วนประกอบของธาตุที่ใกล้เคียงกันโดยธาตุที่เป็นส่วนประกอบหลักซึ่งมีมากที่สุดคือ ซิลิกา ซึ่งธาตุซิลิกาจะเป็นส่วนประกอบที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้สุกตัวได้เร็วและมีความแข็งแรงโดยมีมากที่สุด ประมาณร้อยละ 60 รองลงมาคืออะลูมิเนียมที่ทำให้มีความสามารถในการทนไฟและธาตุเหล็กซึ่งเป็นธาตุที่ทำให้อิฐมอญหลังการเผามีลักษณะสีแดง

สุบินทร์ ห้องสวัสดิ์ และคณะ (2541) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของอิฐมอญในจังหวัดอยุธยาอ่างทองและลพบุรีจากการศึกษาพบว่าดินตัวอย่างทั้ง 3 มีปริมาณน้ำในดินระหว่าง 5-10 %, Liquid Limit ระหว่าง 35-37 %, Plastic Limit ระหว่าง 23-27 %, Shrinkage Limit ระหว่าง 35-37 %, ความถ่วงจาเพาะระหว่าง 2.60-2.80 แสดงว่าดินทั้ง 3 ตัวอย่างเป็นดินเม็ดละเอียดและมีความเหนียวปานกลางจากนั้นนำมาผสมกับทรายคละและแกลบโดยใช้อัตราส่วนร้อยละโดยน้าหนักดินตัวอย่าง : ทรายคละ : แกลบดังนี้ 100 : 0 : 0, 90 : 10 : 0, 80 : 20 : 0, 70 : 20 : 10, 80 : 10 : 10 และ 90 : 0 : 10 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมในแต่ละตัวอย่างประมาณ 40% ของน้ำหนักมวลรวมทั้งหมดโดยพิจารณาจากค่าปริมาณน้ำในดิน, Liquid Limit, Plastic Limit และ Shrinkage Limit ทำให้ดินตัวอย่างที่ผสมกับทรายคละแกลบข้างต้นสามารถที่จะนวดและปั้นขึ้นรูปเป็นอิฐมอญได้แล้วนำอิฐที่ได้จากการทดลองผลิตตามอัตราส่วนต่างๆไปเผาเป็นเวลา 14 วันจากนั้นนำมาทดสอบการรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ (มอก.77-2531) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับอิฐที่ผลิตจากโรงงานทั้ง 3จังหวัดจากการทดสอบการรับแรงอัดและการดูด - ซึมน้ำตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ (มอก.77-2531)พบว่าการทดสอบการรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำของอิฐที่ทดสอบผ่านตามมาตรฐานทุกสูตรยกเว้นสูตรที่ 1 ของดินจังหวัดลพบุรี

เนื่องจากเมื่อเผาเสร็จแล้วอิฐแตกเสียหายทั้งหมดเพื่อที่จะให้ได้อัตราส่วนผสมที่ดีที่สุด สูตรของแต่ละจังหวัดจึงแตกต่างกันตามคุณสมบัติของดินแต่ละจังหวัดจากการศึกษาพบว่าอิฐจากโรงงานจังหวัดอยุธยารับแรงอัดได้ 87.90 ksc. ดูดซึมน้ำ 21.50% อิฐจากโรงงานจังหวัดอ่างทองรับแรงอัดได้ 65.90 ksc. ดูดซึมน้ำ 21.42% อิฐจากโรงงานจังหวัดลพบุรีรับแรงอัดได้ 46.40 ksc. ดูดซึมน้ำ 21.73% อิฐที่ทดลองผลิตจากจังหวัดอยุธยาควรใช้อัตราส่วนผสมตามสูตรที่ 1 รับแรงอัดได้ 73.70 ksc. ดูดซึมน้ำ 14.72% อิฐที่ทดลองผลิตจากจังหวัดอ่างทองควรใช้อัตราส่วนผสมตามสูตรที่ 3รับแรงอัดได้ 90.80 ksc. ดูดซึมน้ำ 13.37 ร้อยละของอิฐที่ทดลองผลิตจากจังหวัดลพบุรีควรใช้อัตราส่วนผสมตามสูตรที่ 2 รับแรงอัดได้ 80.80 ksc. ร้อยละการดูดซึมน้ำ 12.39% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินที่ใช้ในแต่ละพื้นที่ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป

พวงผกา ออมทรัพย์ และคณะ (2541) ได้ศึกษาถึงการปรับปรุงกระบวนการเตรียมดินให้มีประสิทธิภาพเพื่อลดการสูญเสียในการผลิตและเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์จากการวิจัยพบว่าอิฐก่อนเผาที่ดีที่สุดสาหรับอุตสาหกรรมอิฐคืออิฐที่เตรียมโดยใช้ดินขนาด 20.20 ไมโครเมตรมีความชื้น 22 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาในการหมักดิน 3 วัน และเติมปริมาณผงคาร์บอเนต 5 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าความแข็งแรงค่าการดูดซึมน้ำและค่าความหนาแน่นของอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ 800 C มีค่าเท่ากับ 21.16 เมกะปาสคาล 13.41 เปอร์เซ็นต์ และ 1.75 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับและค่าความแข็งแรงค่าการดูดซึมน้ำและค่าความหนาแน่นของอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ 850 C มีค่าเท่ากับ 27.60 เมกะปาสคาล 13.21 เปอร์เซ็นต์และ 1.76 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับโดยลักษณะโครงสร้างของอิฐที่มีการเติมผงคาร์บอเนตที่แตกต่างกัน

นพวรรณ ต่อเรืองวัฒนา (2548) ได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของโครงการประกอบธุรกิจผลิตอิฐมอญในจังหวัดเชียงรายโดยใช้วัตถุดิบที่หาได้ในพื้นที่ใช้แรงงานไร้ฝีมือประกอบกับเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตที่หาได้ในท้องตลาดผลิตอิฐมอญที่มีคุณภาพมีความแข็งแกร่งและเป็นที่ต้องการของตลาดเพื่อก่อให้เกิดรายได้และผลตอบแทนค่อนข้างสูงทั้งยังเป็นการก่อให้เกิดการจ้างงานเป็นการสร้างรายได้ให้แก่คนในท้องถิ่นอีกทางหนึ่งด้วยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 2 ประการคือเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการลงทุนผลิตอิฐมอญในจังหวัดเชียงรายเพื่อศึกษาถึงจุดคุ้มทุนของธุรกิจผลิตอิฐมอญในจังหวัดเชียงรายโดยกำหนดอายุโครงการเป็นระยะเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2549-2553 และกำหนดให้อัตราส่วนลดเท่ากับร้อยละ 10 ผล

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การศึกษาพบว่าการลงทุนของธุรกิจผลิตอิฐมอญในจังหวัดเชียงรายมีความเหมาะสมและคุ้มค่าต่อการลงทุนกล่าวคือ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการ (NPV) มีค่าเท่ากับ 2,032,302 บาท อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) มีค่าเท่ากับร้อยละ 40.15 อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุนเท่ากับ 1.36 และโครงการมีระยะเวลาคืนทุน 1 ปี 8 เดือน ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของโครงการพบว่าโครงการมีจุดคุ้มทุนในการผลิตตลอดระยะเวลาโครงการจำนวน 4,333,475 ก้อนซึ่งโครงการลงทุนนี้มีศักยภาพการผลิตตลอดระยะเวลาโครงการจำนวน 5,616,000 ก้อนสำหรับผลการวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงการภายใต้สถานการณ์สมมติ 3 กรณี ได้ผลดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อสมมติให้ปัจจัยที่มีผลกระทบกับต้นทุนและค่าใช้จ่ายปรับตัวสูงขึ้นส่งผลให้โครงการต้องรับภาระต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 5 โดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นคงที่ภายใต้อัตราส่วนลดร้อยละ 10 เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนยังคงยอมรับได้กล่าวคือมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการ (NPV) มีค่าเท่ากับ 1,803,748 บาทอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับร้อยละ 35.78 อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุนเท่ากับ 1.31 และโครงการมีระยะเวลาคืนทุน 1 ปี 10 เดือน ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของโครงการพบว่าโครงการมีจุดคุ้มทุนในการผลิตตลอดระยะเวลาโครงการจำนวน 4,652,607 ก้อน

กรณีที่ 2 เมื่อสมมติให้ปัจจัยที่มีผลกระทบกับต้นทุนและค่าใช้จ่ายปรับตัวสูงขึ้นส่งผลให้โครงการต้องรับภาระต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 10 โดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นคงที่ภายใต้อัตราส่วนลดร้อยละ 10 เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนยังคงยอมรับได้กล่าวคือมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการ (NPV) มีค่าเท่ากับ 1,575,195 บาท อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับร้อยละ 31.38 อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุนเท่ากับ 1.26 และโครงการมีระยะเวลาคืนทุน 1 ปี ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของโครงการพบว่าโครงการมีจุดคุ้มทุนในการผลิตตลอดระยะเวลาโครงการจำนวน 4,986,558 ก้อน

กรณีที่ 3 เมื่อสมมติให้ปัจจัยที่มีผลกระทบกับต้นทุนและค่าใช้จ่ายปรับตัวสูงขึ้นส่งผลให้โครงการต้องรับภาระต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 15 โดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นคงที่ภายใต้อัตราส่วนลดร้อยละ 10 เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุนยังคงยอมรับได้กล่าวคือมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการ (NPV) มีค่าเท่ากับ 1,346,641 บาท อัตรา

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับร้อยละ 26.96 อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุนเท่ากับ 1.21 และโครงการมีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 2 เดือน ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของโครงการพบว่าโครงการมีจุดคุ้มทุนในการผลิตตลอดระยะเวลาโครงการจำนวน 5,336,411 ก้อน

ธีระศักดิ์ อรัญพิทักษ์ (2543) ได้ศึกษาเรื่องการวิเคราะห์ต้นทุน–ผลตอบแทนทางการเงินของการลงทุนโรงงานอิฐในอำเภอเมืองจังหวัดเชียงรายซึ่งวิเคราะห์เพื่อประเมินความเป็นไปได้และความเหมาะสมต่อการลงทุนในโครงการโรงงานผลิตอิฐและวิเคราะห์ความไหวตัวของโครงการเมื่อต้นทุนหรือผลตอบแทนของโครงการมีการผันแปรโดยอาศัยการวิเคราะห์ทางการเงินช่วยในการศึกษาซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net Present Value : NPV) การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) และการวิเคราะห์อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio : B/C Ratio) ผลการศึกษาพบว่าณอัตราส่วนลดร้อยละ 10โครงการมีความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์และมีความเหมาะสมในการลงทุนโดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 3,870,341 บาท ซึ่งมากกว่าศูนย์อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน(B/C ratio) เท่ากับ 1.2334 ซึ่งมากกว่าหนึ่งอัตราผลตอนแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับร้อยละ 41.94 ซึ่งมากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ยืมที่กำหนดคือร้อยละ 10 ผลการวิเคราะห์ความไหวตัวพบว่าโครงการสามารถรองรับการลดลงของราคาขายได้ร้อยละ 17.5 หรือจากราคาขายเดิม 0.40 บาท เหลือ 0.33 บาท และสามารถรองรับการลดลงของยอดขายได้ร้อยละ 32 หรือยอดขายขั้นต่ำเท่ากับ 5,875,200 ก้อน ด้านต้นทุนโครงการสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของต้นทุนการผลิตได้ร้อยละ 44 และสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของอัตราดอกเบี้ยได้ร้อยละ 20 แต่ในกรณีที่ยอดขายลดลงร้อยละ 10 พร้อมกับการเพิ่มขึ้นของต้นทุนการผลิตร้อยละ 20-21 โครงการไม่สามารถทนต่อการไหวตัวนี้ได้จึงไม่เหมาะสมในการลงทุน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
PHRAPHUTTHAYOTFA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 3

เครื่องมืออุปกรณ์ วัตถุดิบ และวิธีการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล
2. เครื่องวัดขนาด เช่น ไม้บรรทัด , เวอเนียร์คาลิปเปอร์
3. เครื่องวัดขนาดอนุภาคPaticle Size Analyzer, (Mastersizer 2000+Hydro 2000 MU, Malvern Instruments, UK)
4. เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์เทคนิค X – Ray Fluorescence,XRF (XRF : Mesa – 500 W, Horiba, Japan)
5. เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน(XRD : X’ Pert Pro MPD, Philipe, Netherlands)
6. เครื่องทดสอบความแข็งแรง (Compressive Strength)
7. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy,SEM)
8. เตาเผาแบบแก๊สที่สามารถควบคุมอุณหภูมิการเผาได้
9. ตะแกรงเบอร์ 100
10. แบบหล่อก้อนอิฐตัวอย่างขนาด160x65x40มิลลิเมตร
11. ถังน้ำสำหรับแช่ก้อนอิฐตัวอย่าง
12. เครื่องบดเศษวัสดุชีวมวล
13. ผ้าตาข่ายสำหรับร่อนดินตัวอย่างและเศษวัสดุชีวมวล
14. ถุงพลาสติกสำหรับเก็บวัตถุดิบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

วัตถุดิบ

1. ดินเหนียวที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100
2. เศษวัสดุชีวมวลประกอบด้วย แกลบข้าว ขี้เลื่อย กากกาแฟ ชานอ้อย และเศษหญ้า
3. น้ำสะอาด (น้ำประปา)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 นำดินเหนียวตัวอย่างที่เตรียมไว้มาตากให้แห้งประมาณ 1 - 2 วัน จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดแล้วร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 100 เพื่อแยกเอาสิ่งปนเปื้อนออก

1.2 นำเศษวัสดุชีวมวลที่เตรียมไว้ซึ่งประกอบด้วย แกลบข้าว ขี้เลื่อย กากกาแฟ ชานอ้อย และเศษหญ้ามาตากให้แห้งประมาณ 1 - 2 วัน

1.3 นำแกลบข้าวมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดแกลบให้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1.0 - 2.0 มิลลิเมตร ขี้เลื่อยและกากกาแฟไม่ต้องบดเพราะมีขนาดอนุภาคที่ละเอียดอยู่แล้ว (ขี้เลื่อยขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1.0 - 2.0 มิลลิเมตร, กากกาแฟขนาดอนุภาคเฉลี่ย 0.5 - 1.0 มิลลิเมตร) ส่วนชานอ้อยและเศษหญ้าที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวนำมาปั่นให้ละเอียดและสั้นลง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1.4 นำเศษวัสดุชีวมวล และดินเหนียวที่เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักเพื่อเตรียมในอัตราส่วนผสมต่างๆโดยอัตราส่วนผสมของเศษวัสดุชีวมวลต่อดินเหนียวที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้ คือ 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง (โดยน้ำหนัก)

ชนิดของเศษวัสดุชีวมวล	อัตราส่วนผสมเศษชีวมวล (%)โดยน้ำหนัก	อัตราส่วนดิน (%)โดยน้ำหนัก
แกลบข้าว	0	100
	5	95

	10	90
	15	85
	20	80
ขี้เลื่อย	0	100
	5	95
	10	90
	15	85
	20	80

ชนิดของเศษวัสดุชีวมวล	อัตราส่วนผสมเศษชีวมวล (%)โดยน้ำหนัก	อัตราส่วนดิน (%)โดยน้ำหนัก
กากกาแฟ	0	100
	5	95
	10	90
	15	85
	20	80
ชานอ้อย	0	100
	5	95
	10	90
	15	85
	20	80
เศษหญ้าแห้ง	0	100
	5	95
	10	90

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

	15	85
	20	80

2. การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

2.1 นำดินเหนียวตัวอย่างที่เตรียมไว้มาผสมกับเศษวัสดุชีวมวลตามอัตราส่วนผสมต่างๆ มาคลุกเคล้าให้เข้ากัน

2.2 เติมน้ำเข้าไปในส่วนผสม โดยเติมทีละน้อยจนกว่าได้อัตราส่วนผสมที่พอเหมาะและนวดจนเป็นเนื้อเดียวกันพอหมาดๆ แล้วนำดินที่นวดจนได้ที่ใส่ในถุงพลาสติกที่เตรียมไว้ รัดปากถุงด้วยหนังยางจากนั้นก็หมักดินในถุงทิ้งไว้ 1–2 วัน

2.3 นำดินที่หมักจนได้ที่มาขึ้นรูปในแบบเหล็กขนาด 160x65x40 มิลลิเมตรที่เตรียมไว้ โดยค่อยอัดดินเข้าแบบหล่อด้วยมือ (โดยวิธีโคลนอ่อน) อัดดินจนแน่นปาดหน้าให้เรียบด้วยเหล็กปาด

2.4 ค่อยๆดันดินออกจากแบบหล่อ จะได้ก้อนตัวอย่างขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร ทำการเขียนรหัสก้อนตัวอย่าง จากนั้นนำก้อนตัวอย่างมาผึ่งในร่มให้แห้งประมาณ 5 – 7 วัน

2.5 หลังจากผึ่งจนแห้งดีแล้ว ทำการวัดขนาดความกว้าง ยาว และหนา พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่าง แล้วบันทึกค่าไว้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.6 จากนั้นนำก้อนตัวอย่างเรียงเข้าเตาเผาแบบแก๊สที่สามารถควบคุมอุณหภูมิการเผาได้

2.7 ทำการเผาก้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิประมาณ 70 - 100°Cประมาณ 1 ชม. เพื่อไล่ความชื้นออกจากก้อนตัวอย่าง

2.8 จากนั้นค่อยๆเร่งอุณหภูมิการเผาโดยให้เพิ่มขึ้นที่ละน้อยจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ คือ 900, 950 และ 1,000°C โดยในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 3 – 4 ชม. จากนั้นคงอุณหภูมิการเผาสูงสุดไว้ 2ชั่วโมง

2.9 เมื่อเผาอิฐจนสุกดีแล้ว ทำการปิดเตาเผา จากนั้นปล่อยให้ค่อยๆเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วนำอิฐออกจากเตาเผา

2.10 หลังจากนำก้อนตัวอย่างออกจากเตาเผา ทำการวัดขนาดความกว้าง ยาว และหนา พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างแล้วบันทึกค่าไว้

2.11 นำก้อนตัวอย่างมาทำการแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชม. นำขึ้นจากน้ำแล้วเช็ดผิวให้แห้ง แล้วทำการชั่งน้ำหนักก้อนตัวอย่างอีกครั้ง แล้วบันทึกค่าไว้

3. การตรวจสอบลักษณะเฉพาะของวัสดุ

3.1 ตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินด้วยเทคนิค X – Ray Fluorescence, XRF (XRF : Mesa - 500 W, Horiba, Japan)

3.2 ตรวจสอบองค์ประกอบทางแร่

วิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่และความเป็นผลึกของวัตถุดิบด้วยเทคนิค X – Ray Difflaction Technic, XRD (XRD : X’ Pert Pro MPD, Philipe, Netherlands)

3.3 วิเคราะห์ขนาดอนุภาคของดิน

วิเคราะห์ขนาดอนุภาคของดินด้วยเทคนิค Paticle Size Analyzer, (Mastersizer 2000+Hydro 2000 MU, Malvern Instruments, UK)

4. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

4.1 การหดตัวหลังการเผา (Fired - Shrinkage)

การหดตัวหลังการเผา ของชิ้นตัวอย่างหลังการเผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1,000°C มีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

1. วัดความยาวของชิ้นตัวอย่าง (ชิ้นทดสอบ) หลังทำการอบแห้งเป็นค่าความยาวหลังการอบแห้ง (ซม.)

2. วัดความยาวของชิ้นตัวอย่าง (ชิ้นทดสอบ) หลังทำการเผาเป็นค่าความยาวหลังการเผา (ซม.)

3. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผาดังสมการ

$$\% \text{ การหดตัวหลังการเผา} = \frac{\text{ความยาวหลังการอบแห้ง} - \text{ความยาวหลังการเผา}}{\text{ความยาวหลังการอบแห้ง}} \times 100$$

5. การหาค่าความพรุนตัว (Porosity)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เป็นการเปรียบเทียบปริมาตรของรูพรุนกับปริมาตรหรือน้ำหนักของชิ้นทดสอบ สมการที่ใช้หาความพรุนตัวปรากฏ (Apparent Porosity) คือ อัตราส่วนปริมาตรของรูพรุนเปิด (Open Pores Volume) ต่อปริมาตรทั้งหมด (Total Volume) หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\% \text{ Porosity} = \frac{W - D}{W - S} \times 100$$

โดยที่ W - D = น้ำหนักของน้ำที่อยู่ในเนื้ออิฐ (กรัม)

= (มวลอิฐ + มวลน้ำ) – มวลอิฐ

= มวลน้ำ

W - S = (มวลอิฐ + มวลน้ำ) – (มวลอิฐ + มวลน้ำ – แรงลอยตัวของอิฐ)

= แรงลอยตัวของอิฐ

6. การหาค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

ค่าการดูดซึมน้ำเป็นคุณสมบัติทางกายภาพอีกอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญ เพราะต้องมีค่าอยู่ในพิสัยที่เหมาะสมเพื่อให้การนำอิฐไปใช้งานได้ดี ดังนั้นค่าการดูดซึมน้ำของอิฐจึงต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยหาค่าการดูดซึมน้ำได้จากสมการดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

$$\% \text{ Water Absorption} = \frac{W\text{-}D \times 100}{D}$$

โดยที่ W – D = น้ำหนักของน้ำที่อยู่ในเนื้ออิฐ (กรัม)

D = น้ำหนักของเนื้ออิฐแห้ง (กรัม)

7. การหาค่าความหนาแน่น (Bulk Density)

ความหนาแน่นของอิฐเป็นคุณสมบัติทางกายภาพอีกอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเลือกใช้อิฐพอสมควร เนื่องจากต้องคำนึงถึงการออกแบบโครงสร้างที่รองรับน้ำหนักอิฐก่อสร้าง โดยหาค่าความหนาแน่นได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Density} = \frac{D\ (g/cm^3)}{W\text{-}S}$$

โดยที่ Density = ความหนาแน่นทั้งก้อนของอิฐ (g/cm^3)

W - S = (มวลอิฐ+มวลน้ำ)–(มวลอิฐ+มวลน้ำ–แรงลอยตัวของอิฐ)

= แรงลอยตัวของอิฐซึ่งเท่ากับปริมาตรของอิฐ

D = น้ำหนักของเนื้ออิฐแห้ง (กรัม)

8. ทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

8.1 การทดสอบค่าความต้านทานความเค้นอัด (Compressive Strength)

การตรวจสอบค่าความเค้นอัดของอิฐ เป็นการตรวจสอบค่าความแข็งแรงของอิฐประการหนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีทดสอบความต้านทานความเค้นอัดของอิฐนั้นจะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยค่าการทดสอบหาค่าความต้านทานความเค้นอัดของอิฐ สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

$$C = \frac{P\ (kg/cm^2)}{A}$$

โดยที่ C = ค่าความต้านทานความเค้นอัด (kg/cm^2)

P = น้ำหนักประลัย (kg)

A = พื้นที่หน้าตัดของอิฐที่รับแรงอัด (cm^2)

9. การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วย

การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยในการลงทุนผลิตอิฐมอญผสมเศษวัสดุชีวมวลคือการหาต้นทุนการผลิตคงที่และต้นทุนผันแปรต่อหน่วยเพื่อเปรียบเทียบราคาผลิตอิฐผสมเศษชีวมวลต่อก้อนกับต้นทุนการผลิตอิฐทั่วไปตามท้องตลาด ว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุนผลิตอิฐในเชิงอุตสาหกรรมหรือไม่โดยคิดจากค่าวัสดุ ค่าแรงงานและเชื้อเพลิงในการเผา

$$X = W + M \text{ (บาท/ก้อน)}$$

โดยที่ X = ต้นทุนต่อหน่วย(บาท/ก้อน)

W = ค่าแรงช่างทำอิฐ, กรรมกร (บาท/ก้อน)

M = ค่าวัสดุที่ใช้ในการทำอิฐ (บาท/ก้อน)

= ค่าดินเหนียว+ค่าวัสดุชีวมวล+ค่าน้ำประปา (บาท/ก้อน)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบ

ผลจากการศึกษาลักษณะเฉพาะของวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาคือดินเหนียวแกลบข้าว ขี้เลื่อย กากกาแฟ ชานอ้อย และเศษหญ้า แสดงผลดังต่อไปนี้

1. ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ (XRF)

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (X-Ray Fluorescence, XRF) ของดินเหนียว แกลบข้าวขี้เลื่อยกากกาแฟ ชานอ้อยและเศษหญ้าที่นำมาใช้ทำอิฐดังแสดงในตารางที่ 8 และ ตารางที่ 9

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีของดินเหนียว แกลบข้าว ขี้เลื่อย และกากกาแฟ

องค์ประกอบทางเคมี	ดินเหนียว Clay (wt%)	แกลบข้าว Rice Husk (wt%)	ขี้เลื่อย Sawdust (wt%)	กากกาแฟ Coffee Ground (wt%)
SiO_2	58.76	95.40	0.027	1.10
Al_2O_3	21.34	Slightly	0.047	0.68
Fe_2O_3	5.10	Slightly	0.01	1.30
CaO	0.21	0.36	0.107	14.81
K_2O	3.10	1.02	0.060	23.84
Na_2O	-	0.80	0.007	8.51
P_2O_5	0.93	0.60	0.002	23.67
TiO_2	1.18	-	0.002	0.13

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

MnO	-	Slightly	0.001	0.29
MgO	-	0.25	0.006	22.90
LOI (Loss on ignition)	8.74	-	99.65	-

จากตารางที่ 8 พบว่า ดินเหนียวมีส่วนประกอบของซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักโดยพบมากถึง 58.76% รองลงมาคือ อลูมินั่มออกไซด์ (Al_3O_3) 21.34% และยังพบว่ามี เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เป็นองค์ประกอบประมาณ 5.10%, โปตัสเซียมออกไซด์ (K_2O) ประมาณ 3.10% และมี Loss On Ignition 8.74%

แกลบข้าว พบว่ามีส่วนประกอบของซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลักถึง 95.40% มีโปตัสเซียมออกไซด์ 1.02% และไม่พบ Loss On Ignition ขี้เลื่อย พบว่ามีส่วนประกอบของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) 0.107%, ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2) 0.027%, โปตัสเซียมออกไซด์ 0.067% และมี Loss On Ignitionถึง 99.65%

กากกาแฟ พบว่ามีโปตัสเซียมออกไซด์ (K_2O) เป็นองค์ประกอบหลัก23.84% โดยพบปริมาณใกล้เคียงกับแคลเซียมฟอสเฟต (P_2O_5) ที่พบถึง 23.67% และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) จำนวน 22.90%อีกทั้งยังพบว่ามีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) จำนวน14.81%, โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) จำนวน 8.51% และไม่พบLoss On Ignition

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 9 องค์ประกอบสารอินทรีย์ของชานอ้อยและเศษหญ้า

sssss	ชานอ้อย (Sugar Can) wt%	เศษหญ้า (Grass) wt%
Cellulose	45.55%	45.70%
Hemicelluose	20.25%	33.67%
Lignin	18.24%	21.60%

จากตารางที่ 9 พบว่าชานอ้อย พบว่ามีองค์ประกอบสารอินทรีย์พวกเซลลูโลส (Cellulose) เป็นองค์ประกอบหลัก จำนวน 45.55% เฮมิเซลลูโลส (Hemi Cellulose) 20.25% และ Lignin เท่ากับ 18.24%

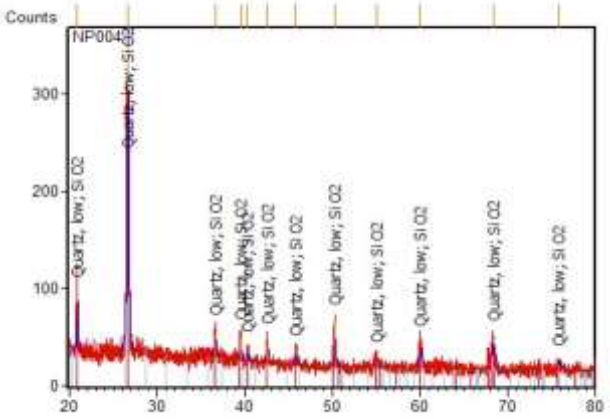
เศษหญ้า พบว่ามีองค์ประกอบสารอินทรีย์พวกเซลลูโลส (Cellulose) เป็นหลัก จำนวน 45.70% ซึ่งมีใกล้เคียงกับชานอ้อย ส่วน เฮมิเซลลูโลส (Hemi Cellulose) จะมีปริมาณแตกต่างกันคือจำนวน 33.67% และ 20.25% ตามลำดับ ส่วนLignin จะมีปริมาณแตกต่างกันเล็กน้อยคือ เท่ากับ 21.60%และ 18.24% ตามลำดับ

2. ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของวัตถุดิบ (XRD)

2.1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของดินเหนียว

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction Technique, XRD ของดินเหนียวดังแสดงตามรูปที่ 12 พบว่ามีเฟสของควอทซ์ (Quartz) ซึ่งเป็นเฟสเฟสหนึ่งของซิลิกาซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF ที่พบว่ามีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

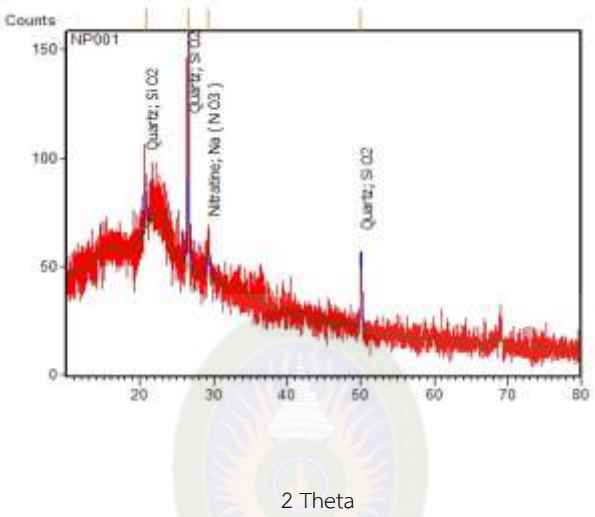


2 Theta

ภาพที่ 12 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของดินเหนียวด้วยเทคนิค XRD

2.2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของแกลบข้าว

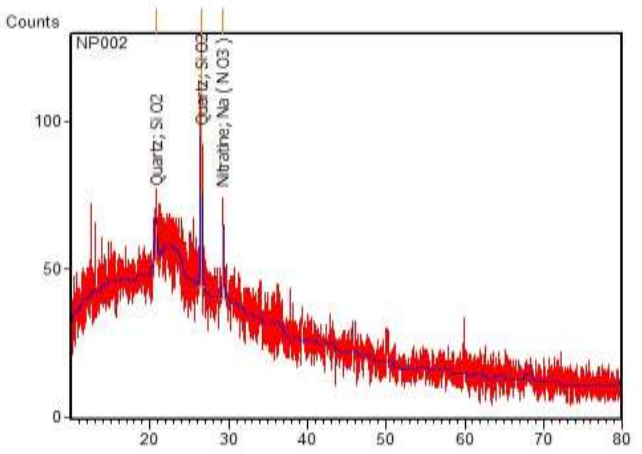
จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ ด้วยวิธี X-Ray Diffraction Technique, XRD ของแกลบข้าวดังแสดงตามรูปที่ 13 พบว่ามีเฟสของควอทซ์ (Quartz) เป็นเฟสหลักซึ่งเป็นเฟสเฟสหนึ่งของซิลิกาเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 13 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแกลบข้าวด้วยเทคนิค XRD

2.3 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของขี้เลื่อย

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction Technique, XRD ของขี้เลื่อยดังแสดงตามรูปที่ 14 พบว่ามีเฟสของควอทซ์ (Quartz) เป็นเฟสหลักซึ่งเป็นเฟสเฟสหนึ่งของซิลิกาเช่นเดียวกันกับผลของแกลบข้าว

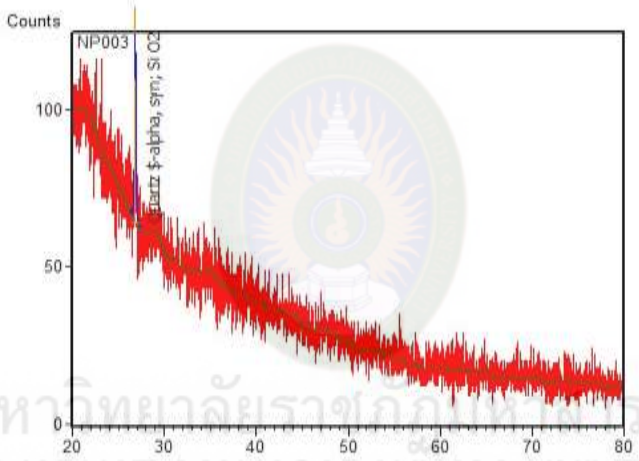


2 Theta

ภาพที่ 14 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของขี้เลื่อยด้วยเทคนิค XRD

2.4 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของกากกาแฟ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ ด้วยเทคนิคX-Ray Diffraction Technique, XRD ของกากกาแฟดังแสดงตามรูปที่ 15 พบว่ามีเฟสของควอทซ์ (Quartz) เป็นเฟสหลักซึ่งเป็นเฟสเฟสหนึ่งของซิลิกาเช่นเดียวกัน



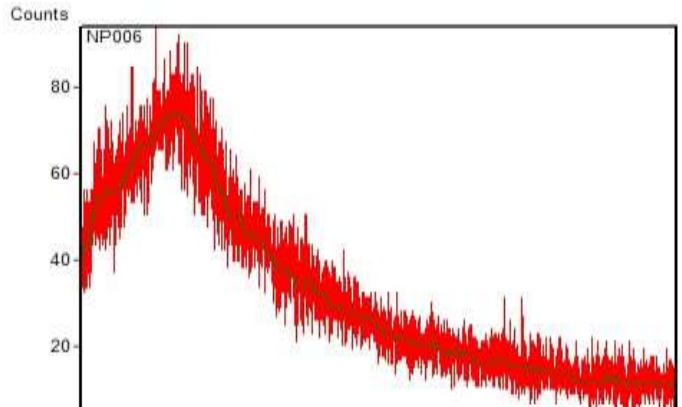
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2 Theta

ภาพที่ 15 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของกากกาแฟด้วยเทคนิค XRD

2.5 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของชานอ้อย

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction Technique, XRD ของชานอ้อย ดังแสดงตามรูปที่ 16 พบควอทซ์เช่นเดียวกัน เนื่องจากตำแหน่งพีคที่พบอยู่ในช่วงมุมของควอทซ์ คือ ระหว่าง 20 - 22 (2Theta)

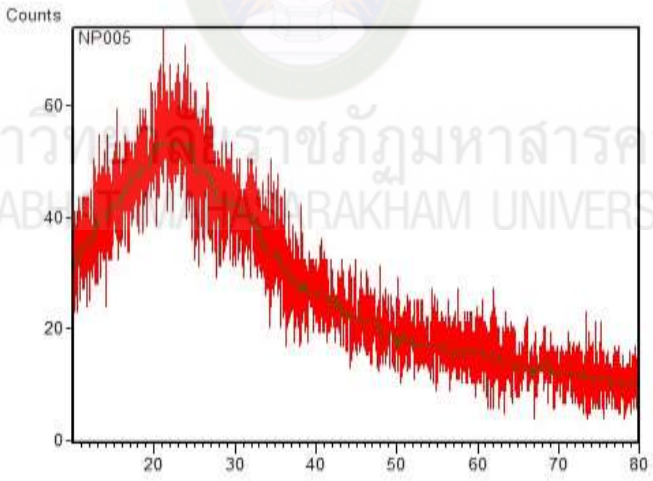


2 Theta

ภาพที่ 16 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของชานอ้อยด้วยเทคนิค XRD

2.6 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของเศษหญ้า

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ ด้วยเทคนิค X-Ray Diffraction Technique, XRD ของเศษหญ้าดังแสดงตามรูปที่ 17 พบเฟสของควอทซ์เช่นเดียวกัน



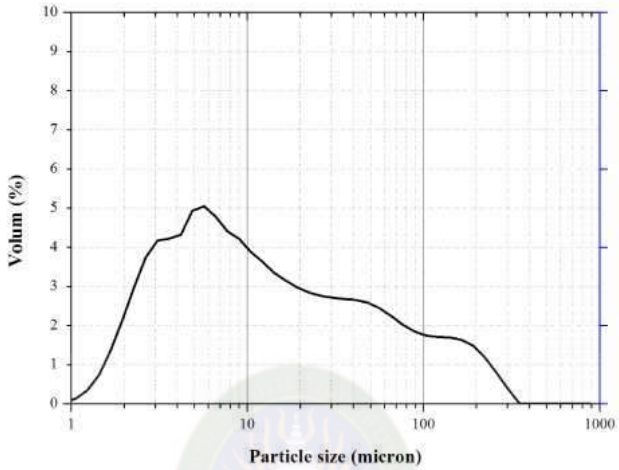
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2 Theta

ภาพที่ 17 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเศษหญ้าด้วยเทคนิค XRD

3. ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของดินเหนียว (Particle Size Analysis)

ขนาดอนุภาคของดินเหนียวที่นำมาใช้สำหรับการทำอิฐในครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Particle Size Analyzer พบว่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเฉลี่ยของดินเหนียวอยู่ในช่วง 5-6 ไมครอน ดังแสดงตามรูปที่ 18



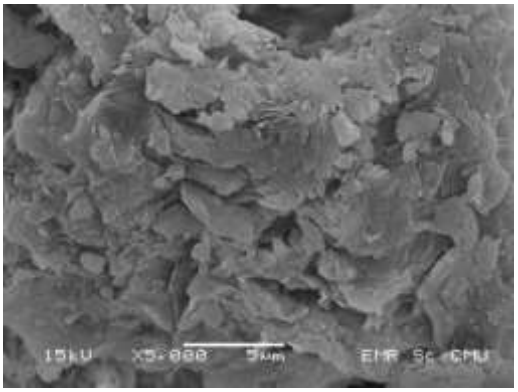
ภาพที่ 18 แสดงการกระจายของขนาดอนุภาคของดิน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

4. ลักษณะสัณฐานวิทยาของวัตถุดิบ

4.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของดินเหนียว

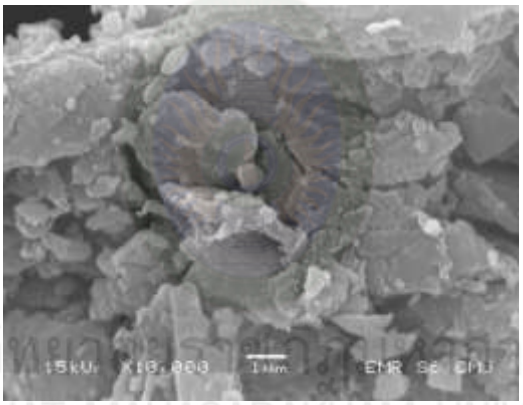
จากรูปที่ 19 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของวัตถุดิบซึ่งถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของดินเหนียวที่นำมาใช้สำหรับการทดลองนี้จะมีลักษณะเป็นแผ่นเรียงซ้อนกันและมีลักษณะใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 19 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของดินเหนียวด้วยเทคนิค SEM

4.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของแกลบข้าว

จากรูปที่ 20 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของวัตถุดิบซึ่งถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของแกลบข้าวที่นำมาใช้สำหรับการทดลองนี้จะพบว่ามีลักษณะเป็นแผ่นและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคมีความไม่สม่ำเสมอ

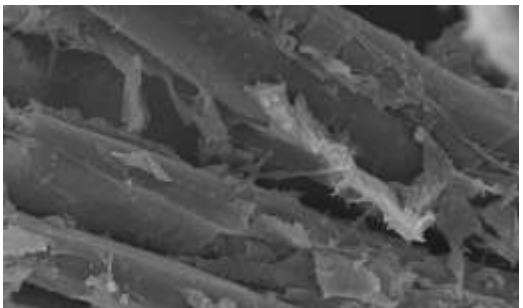


มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 20 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของแกลบข้าวด้วยเทคนิค SEM

4.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของขี้เลื่อย

จากรูปที่ 21 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของวัตถุดิบซึ่งถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของขี้เลื่อยที่นำมาใช้สำหรับการทดลองนี้ จะพบลักษณะคล้ายเส้นใยที่องค์ประกอบหลักของเซลลูโลส (Cellulose)

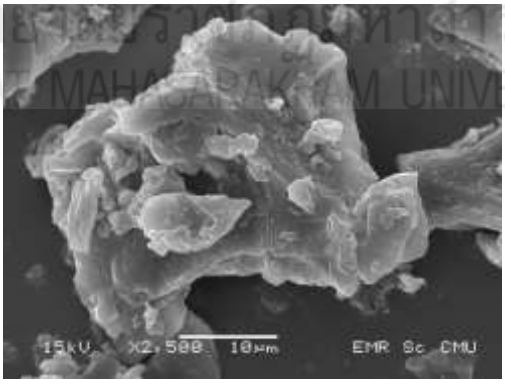


ภาพที่ 21 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของขี้เลื่อยด้วยเทคนิค SEM

4.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของกากกาแฟ

จากรูปที่ 22 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของวัตถุดิบซึ่งถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของกากกาแฟที่นำมาใช้สำหรับการทดลองนี้จะมีลักษณะเป็นก้อนมีรูปร่างเป็นก้อนไม่สม่ำเสมอ และมีขนาดแตกต่างกัน

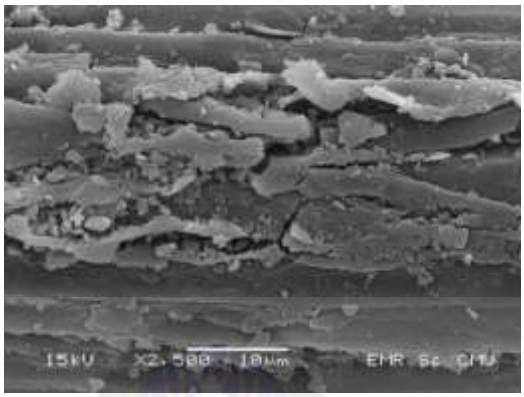
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 22 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของกากกาแฟด้วยเทคนิค SEM

4.5 ลักษณะสัณฐานวิทยาของชานอ้อย

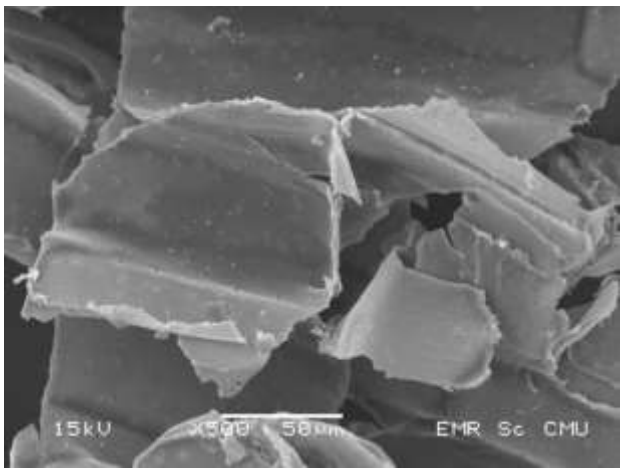
จากรูปที่ 23 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของวัตถุดิบซึ่งถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของชานอ้อยที่นำมาใช้สำหรับการทดลองนี้จะพบองค์ประกอบหลักของเซลลูโลส (Cellulose) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สารอินทรีย์ที่พบ Cellulose, Hemi Cellulose และ Lignin เป็นหลัก



ภาพที่ 23 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของชานอ้อยด้วยเทคนิค SEM

4.6 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเศษหญ้า

จากรูปที่ 24 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของวัตถุดิบซึ่งถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่าลักษณะสัณฐานวิทยาของเศษหญ้าที่นำมาใช้สำหรับการทดลองนี้จะมีลักษณะเป็นแผ่นซึ่งเป็นองค์ประกอบของเซลลูโลส (Cellulose)เช่นเดียวกันกับชานอ้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สารอินทรีย์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 24



ภาพที่ 24 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของเศษหญ้าด้วยเทคนิค SEM

ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของอิฐ

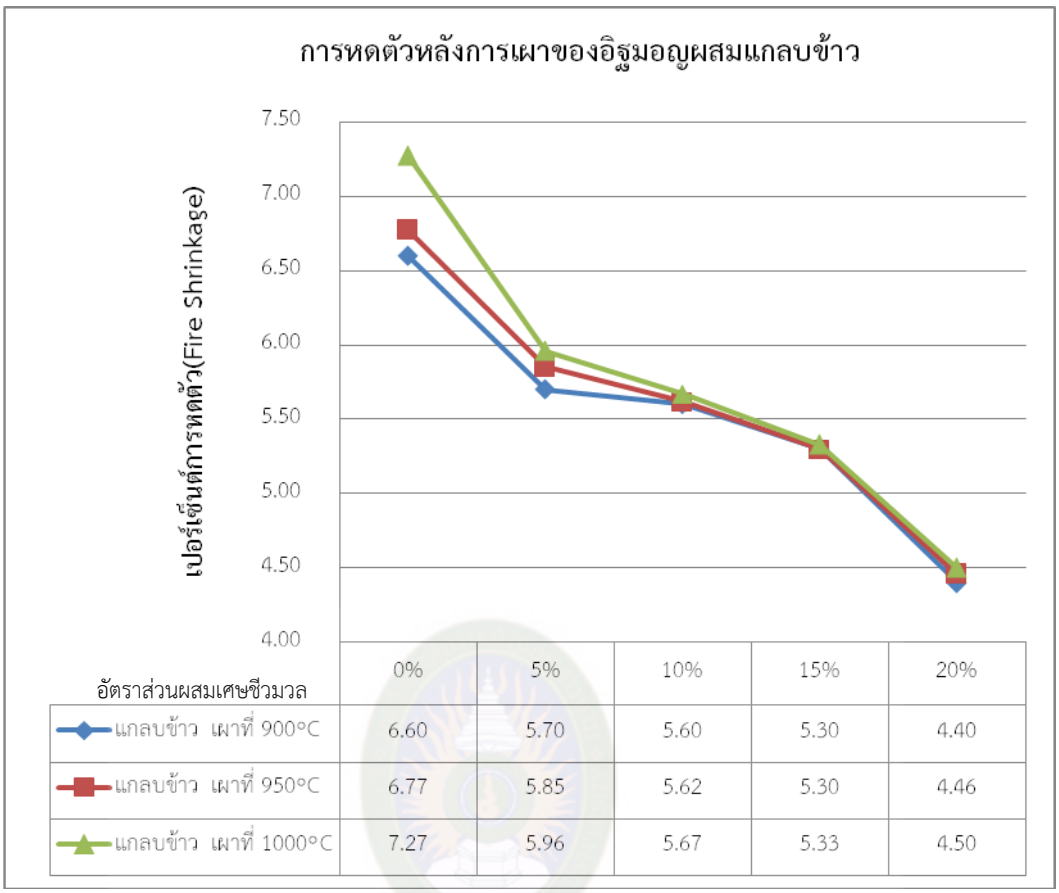
จากผลการทดลองได้มีการนำเศษวัสดุชีวมวลเช่นแกลบข้าว (RiceHusk) ขี้เลื่อย (Sawdust) กากกาแฟ (Coffee Ground) ชานอ้อย (Sugar Can) และเศษหญ้า (Grass) นำมาใช้ในกระบวนการผลิตอิฐอัตราส่วนผสม 0, 5,10, 15 และ 20% โดยน้ำหนัก และเผาอิฐที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 $^{\circ}$C ผลจากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพสมบัติเชิงกล และลักษณะรูพรุนที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของอิฐ สามารถอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้

1. คุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของอิฐมอญผสมแกลบข้าว

1.1 การหดตัวหลังการเผาของอิฐมอญผสมแกลบข้าว (Fire Shrinkage)

เนื่องจากการหดตัวเชิงเส้นของอิฐเป็นปัจจัยที่สำคัญมากเนื่องจากการหดตัวในอัตราส่วนที่สูงอาจนำไปสู่ความเครียดและการแตกหักของอิฐได้ โดยผลของการเติมแกลบข้าวเป็นส่วนผสมนั้นแสดงผลได้ตามภาพที่ 25

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 25 แสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผาอิฐมอญผสมแกลบข้าว

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

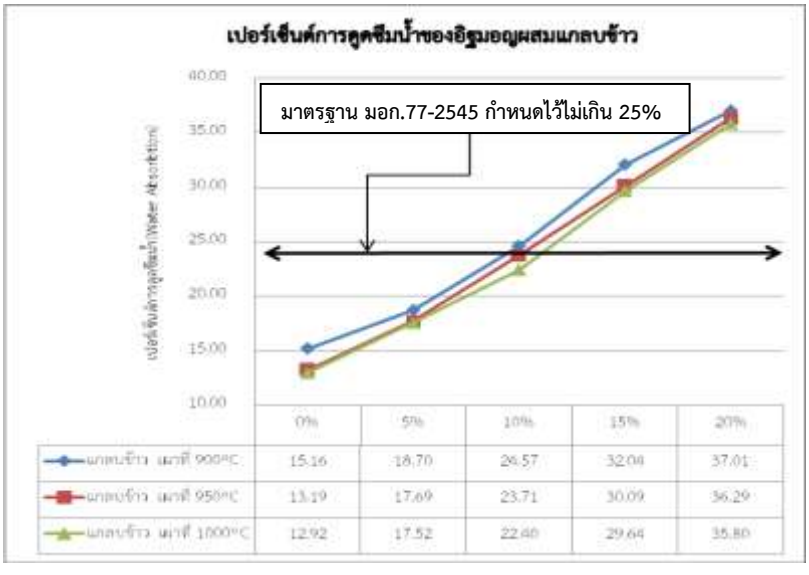
ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อเติมเศษแกลบข้าวเข้าไปในส่วนผสม ดังภาพที่ 25 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนผสมแกลบข้าวต่อดินเหนียวมีผลต่อการหดตัวของอิฐมอญ โดยพบว่าที่อัตราส่วนผสมเศษวัสดุชีวมวลที่เพิ่มขึ้นการหดตัวมีแนวโน้มลดลง และในขณะเดียวกันเมื่ออัตราส่วนผสมเท่ากันเมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาอิฐที่แตกต่างกัน พบว่าที่เมื่ออุณหภูมิมากขึ้นการหดตัวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน โดยจะเห็นว่าที่อัตราส่วนผสม 5% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 $^{\circ}$C มีค่าการหดตัวหลังการเผาที่ 5.70%, 5.85% และ 5.96% ตามลำดับ ส่วนที่อัตราส่วนผสมแกลบข้าวต่อดินเหนียว 10% มีค่าการหดตัวหลังการเผาที่ 5.60%, 5.62% และ 5.67% ตามลำดับ ส่วนที่อัตราส่วนผสมแกลบข้าวต่อดินเหนียว 15% มีค่าการหดตัวหลังการเผาที่ 5.30%, 5.30% และ 5.33% ตามลำดับ และที่อัตราส่วนผสมแกลบข้าวต่อดินเหนียว 20% มีค่าการหดตัวหลังการเผาที่ 4.40%, 4.46% และ 4.50% ตามลำดับ ซึ่งเปรียบเทียบกับดินเหนียว

100% มีค่าการหดตัวเฉลี่ยถึง 6.88% ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากแกลบข้าวมีขนาดอนุภาคใหญ่เมื่อเทียบกับขนาดอนุภาคของดินเหนียว เมื่อผสมเข้ากับดินเหนียวแล้วจะเข้าไปช่วยยึดเกาะกับเม็ดดิน เมื่ออิฐแห้งจะเกิดการหดตัวและแกลบข้าวนี้จะเข้าไปยึดรั้งและต้านทานการหดตัวของดินเหนียวจึงทำให้การหดตัวลดลง

1.2 การดูดซึมน้ำและความพรุนตัวของอิฐมอญผสมแกลบข้าว (Water Absorption and Porosity)

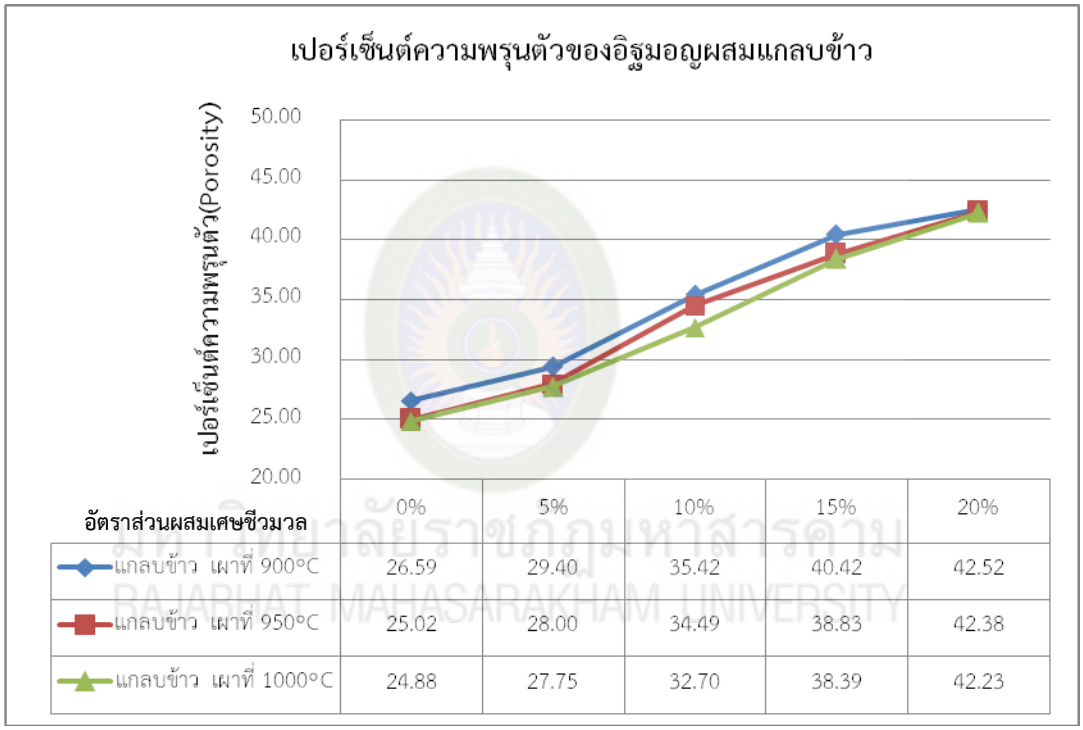
การดูดซึมน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความทนทานของอิฐ อิฐที่มีความพรุนตัวสูงจะมีการดูดซึมน้ำที่สูงอิฐโดยทั่วไปควรมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำเพื่อความแข็งแรงของอิฐและการซึมผ่านของน้ำ ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำที่เหมาะสมของอิฐต้องไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่เกิดขึ้นในเนื้ออิฐโดยการทดลองเติมเศษวัสดุชีวมวลในอัตราส่วนผสม 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนัก และเผาอิฐที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 °C จากผลการทดลอง (ภาพที่ 25) พบว่า ที่อัตราส่วนผสมเศษวัสดุชีวมวล(แกลบข้าว) 5%เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 °C มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 18.70%, 17.69%, 17.52% ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมเศษวัสดุชีวมวล (แกลบข้าว) 10% มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 24.57%, 23.71%, 22.40% ตามลำดับที่อัตราส่วนผสมเศษวัสดุชีวมวล (แกลบข้าว) 15% มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 32.04%, 30.09%, 29.64% ตามลำดับ และที่อัตราส่วนผสมเศษวัสดุชีวมวล (แกลบข้าว) 20% มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ 37.01%, 36.29%, 37.01% ตามลำดับ ส่วนอิฐมอญดินเหนียว 100% มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 13.75% โดยการเผาอิฐที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำจะลดลงและที่อัตราส่วนผสมแกลบข้าวต่อดินเหนียวที่เพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
RAJAPHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



อัตราส่วนผสมเศษชีวมวล

ภาพที่ 26 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐมอญผสมแกลบข้าว



ภาพที่ 27 แสดงเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวของอิฐมอญผสมแกลบข้าว

ผลจากการศึกษาค่าความพรุนตัวของอิฐผสมแกลบข้าว (ภาพที่ 27) พบว่าที่อัตราส่วนผสมเศษวัสดุชีวมวล (แกลบข้าว) 5%เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 °C มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ 29.40%, 28.00%, 27.75% ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมเศษวัสดุชีวมวล (แกลบข้าว) 10% มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ 35.42%, 34.49%, 32.70% ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมเศษวัสดุชีวมวล (แกลบข้าว) 15% มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ

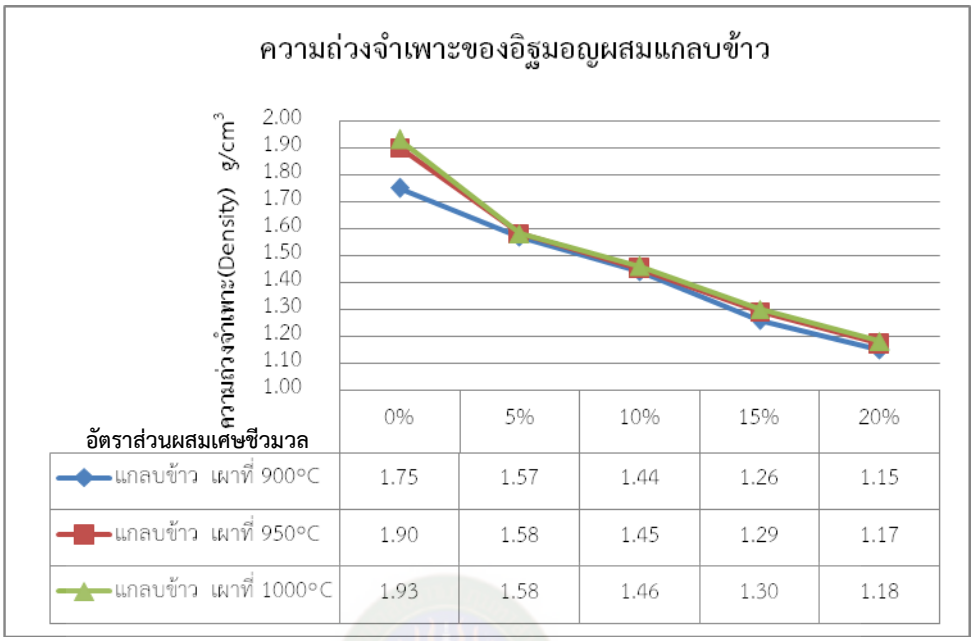
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

40.42%, 38.83%, 38.39% ตามลำดับ และที่อัตราส่วนผสมเศษวัสดุชีวมวล (แกลบข้าว) 20% มีเปอร์เซ็นต์ ความพรุนตัวเท่ากับ 42.52%, 42.38%, 42.23% ตามลำดับส่วนอิฐมอญดินเหนียว 100% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 °C มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ 26.59%, 25.02%, 24.88% ตามลำดับและจากผลการทดลองดังกล่าวส่วนผสมที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอก.77-2545 คือที่อัตราส่วนผสมแกลบข้าว 5% และ 10% อีกทั้งยังพบว่าการเผาอิฐที่อุณหภูมิสูงขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวจะลดลงและอัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

1.3 ความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมแกลบข้าว (Bulk Density)

การทดสอบคุณสมบัติเพื่อหาค่าความหนาแน่นของอิฐ เป็นการตรวจสอบค่าน้ำหนักของอิฐซึ่งจะมีผลต่อการออกแบบโครงสร้างอาคาร ดั้งนั้นหากสามารถผลิตอิฐที่มีความหนาแน่นต่ำก็จะเป็นการลดต้นทุนในด้านโครงสร้างของอาคาร ความหนาแน่นของอิฐขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ซึ่งเป็นผลเฉพาะเจาะจงของวัตถุดิบที่ใช้ วิธีการผลิตและอุณหภูมิในการเผาไหม้ จากการศึกษาพบว่าถ้าความหนาแน่นของอิฐลดลงค่าการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นส่วนค่าความแข็งแรงก็จะลดลงและในการศึกษาครั้งนี้พบว่าความหนาแน่นของอิฐจะเป็นสัดส่วนผกผันกับปริมาณของแกลบข้าวที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสมของอิฐ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณแกลบข้าว ส่งผลทำให้อิฐมีความหนาแน่นลดลง ซึ่งจากผลการทดลอง (ภาพที่ 28) พบว่าที่อัตราส่วนผสมแกลบข้าวต่อดินเหนียว 5% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 °C มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.57, 1.58 และ 1.58 g/cm^{3}ตามลำดับ ส่วนที่อัตราส่วนผสมแกลบข้าวต่อดินเหนียว 10% มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.44, 1.45และ 1.46 g/cm^{3}ตามลำดับ ส่วนที่อัตราส่วนผสมแกลบข้าวต่อดินเหนียว 15% มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.26%, 1.29% และ 1.30% ตามลำดับ และที่อัตราส่วนผสมแกลบข้าวต่อดินเหนียว 20% มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.15, 1.17และ 1.18 g/cm^3 ตามลำดับ ส่วนดินเหนียว 100% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 °C มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.75, 1.90 และ 1.93 g/cm^{3}ตามลำดับซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าอิฐที่ผสมแกลบข้าวในทุกอัตราส่วนจะมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าอิฐดินเหนียว 100% อย่างชัดเจน ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 28

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 28 แสดงความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมแกลบข้าว

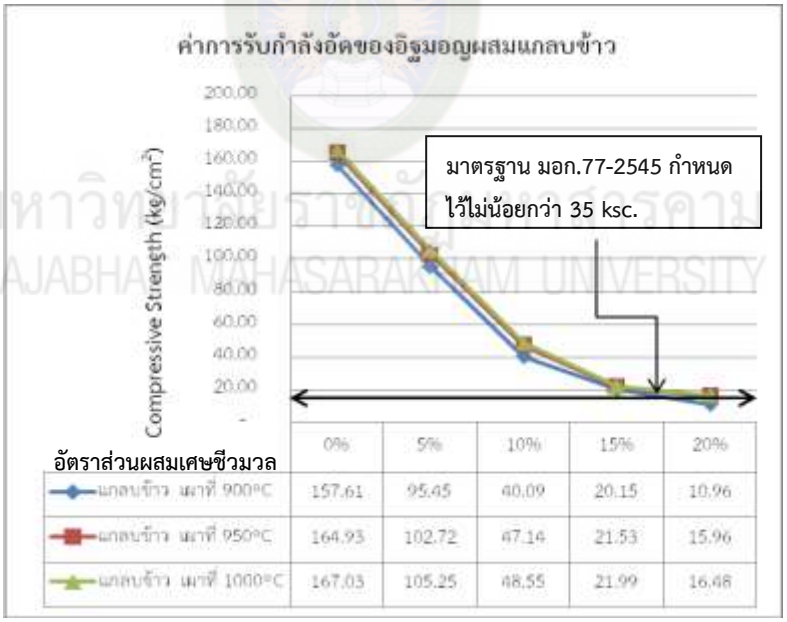
1.4 การรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมแกลบข้าว (Compressive Strength)

การทดสอบคุณสมบัติความต้านทานความเค้นอัดของอิฐ เป็นการตรวจสอบความแข็งแรง (Strength) ของอิฐที่มีความสำคัญและเป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมมีเหตุผลสำคัญ 2 ประการสำหรับอิฐที่จะถูกนำไปใช้งานก่อสร้างคือ ประการแรกอิฐจะต้องมีคุณสมบัติรับแรงอัดและต้านทานต่อการขัดสีได้ ประการที่สองคือเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ในขณะที่คุณสมบัติอื่นๆ ค่อนข้างยากที่จะประเมิน ดังนั้นความต้านทานแรงอัดเป็นเรื่องง่ายที่สามารถกำหนดได้ เพราะค่าความแข็งแรงแสดงถึงดัชนีชี้วัดที่สำคัญหรับวัสดุก่อสร้าง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.77-2545) ซึ่งได้กำหนดค่าความแข็งแรงของอิฐก่อสร้างไว้คือไม่น้อยกว่า 35 kg/cm^2

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าความแข็งของอิฐเป็นผลโดยตรงกับปริมาณของแกลบข้าว และอุณหภูมิในการเผา ซึ่งจะพบว่าค่าความแข็งแรงของอิฐลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมแกลบข้าวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การลดลงของค่าความแข็งแรงของอิฐเป็นผลเนื่องมาจากความพรุนตัว (Porosity) ที่เพิ่มขึ้นในเนื้ออิฐ และส่งผลให้ความหนาแน่น (Bulk Density) ของอิฐลดลงตามไปด้วยดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น นอกจากนี้เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาเพิ่มสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงของอิฐก็จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น (ความถ่วงจำเพาะ) โดยผลจากการทดลอง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

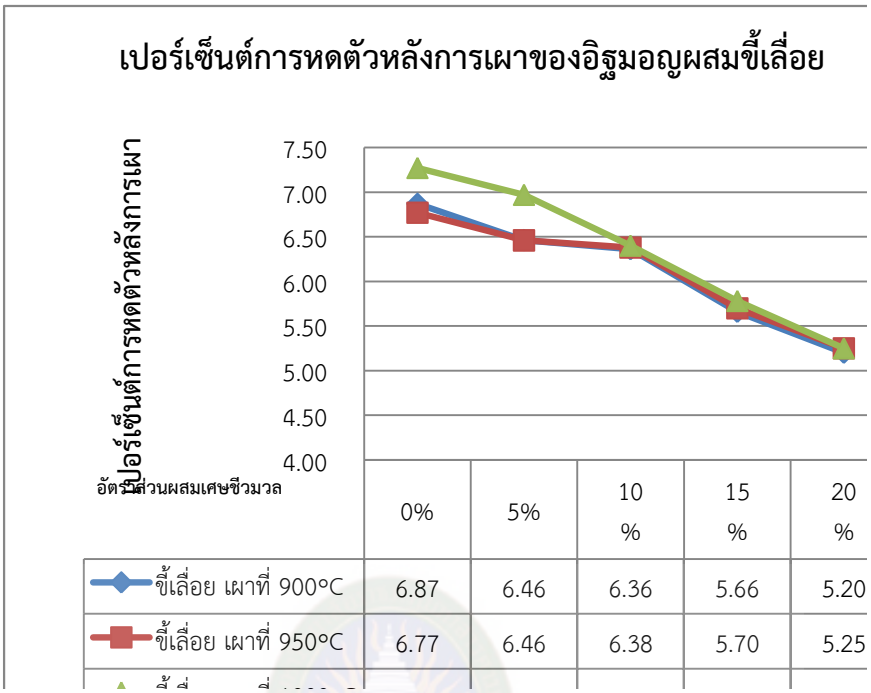
(ภาพที่ 27) พบว่าที่อัตราส่วนผสมแกลบข้าวต่อดินเหนียว 5% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 °C มีค่าการรับกำลังอัดของอิฐเท่ากับ 95.45 kg/cm^2, 102.72 kg/cm^{2}และ 105.25 kg/cm^{2}ตามลำดับ ส่วนที่อัตราส่วนผสมแกลบข้าวต่อดินเหนียว 10% มีค่าการรับกำลังอัดของอิฐเท่ากับ 40.49 kg/cm^2, 47.14 kg/cm^{2}และ 48.55 kg/cm^{2}ตามลำดับ ส่วนที่อัตราส่วนผสมแกลบข้าวต่อดินเหนียว 15% มีค่าการรับกำลังอัดของอิฐเท่ากับ 20.15 kg/cm^2, 21.53 kg/cm^2 และ 21.99 kg/cm^{2}ตามลำดับ และที่อัตราส่วนผสมแกลบข้าวต่อดินเหนียว 20% มีค่าการรับกำลังอัดของอิฐเท่ากับ 10.96 kg/cm^2, 15.96 kg/cm^{2}และ 16.48 kg/cm^{2}ตามลำดับ ส่วนดินเหนียว 100% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 °C มีค่าการรับกำลังอัดของอิฐเท่ากับ 157.61 kg/cm^2, 164.93 kg/cm^{2}และ 167.03 kg/cm^{2}ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าส่วนผสมที่ให้ค่าการรับกำลังอัดเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.77-2545 คือที่อัตราส่วนผสมแกลบข้าว 5% และ 10% เท่านั้น



ภาพที่ 29 แสดงค่าการรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมแกลบข้าว

2. คุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของอิฐมอญผสมขี้เลื่อย

2.1 การหดตัวหลังการเผาของอิฐมอญผสมขี้เลื่อย (Fire Shrinkage)



ภาพที่ 30 แสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผาของอิฐมอญผสมขี้เลื่อย

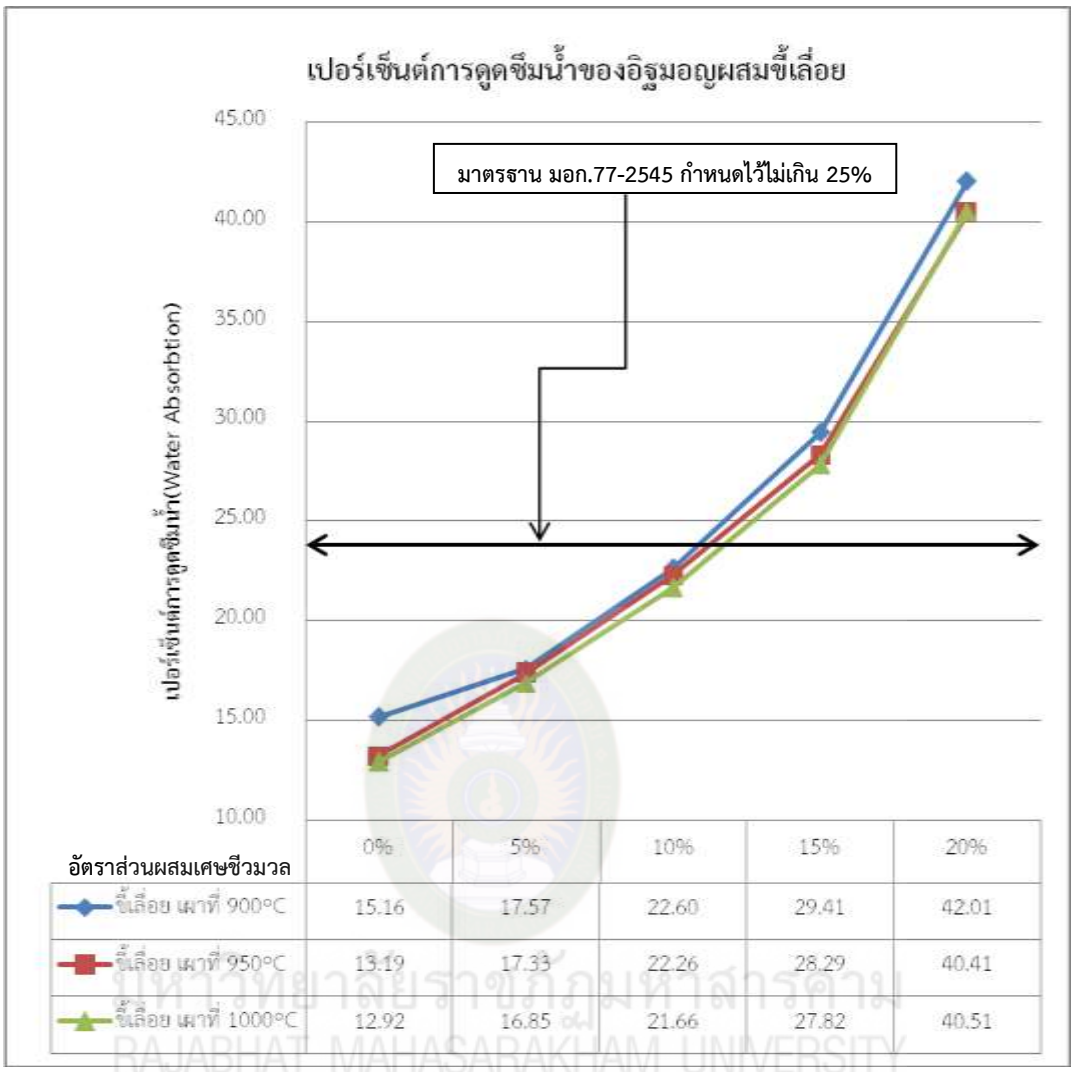
ผลจากการทดลองเติมขี้เลื่อยเข้าไปในส่วนผสม (ภาพที่ 30) พบว่าที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อย 5% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 °C พบว่ามีค่าการหดตัวหลังการเผาที่ 6.46%, 6.46% และ 6.97% ตามลำดับ ส่วนที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อยต่อดินเหนียว 10% มีค่าการหดตัวหลังการเผาที่ 6.36%, 6.38% และ 6.40% ตามลำดับ ส่วนที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อยต่อดินเหนียว 15%มีค่าการหดตัวหลังการเผาที่ 5.66%, 5.70% และ 5.78% ตามลำดับ และที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อยต่อดินเหนียว20% มีค่าการหดตัวหลังการเผาที่ 5.20%, 5.25% และ 5.25% ตามลำดับ ส่วนดินเหนียว 100% มีค่าการหดตัวเฉลี่ยเท่ากับ 6.88% ซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อย ที่เพิ่มขึ้นการหดตัวมีแนวโน้มลดลงและอุณหภูมิในการเผาอิฐที่เพิ่มมากขึ้นการหดตัวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากขี้เลื่อยมีลักษณะเป็นเส้นใยเมื่อผสมเข้ากับดินเหนียวแล้วจะเข้าไปยึดเกาะเม็ดดินและช่วยเสริมแรงภายในเนื้ออิฐ เมื่ออิฐแห้งจะเกิดการหดตัว ขี้เลื่อยนี้จะเข้าไปยึดรั้งการหดตัวของดินเหนียวจึงทำให้การหดตัวลดลง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.2 การดูดซึมน้ำและความพรุนตัวอิฐมอญผสมขี้เลื่อย (Water Absorption and Porosity)

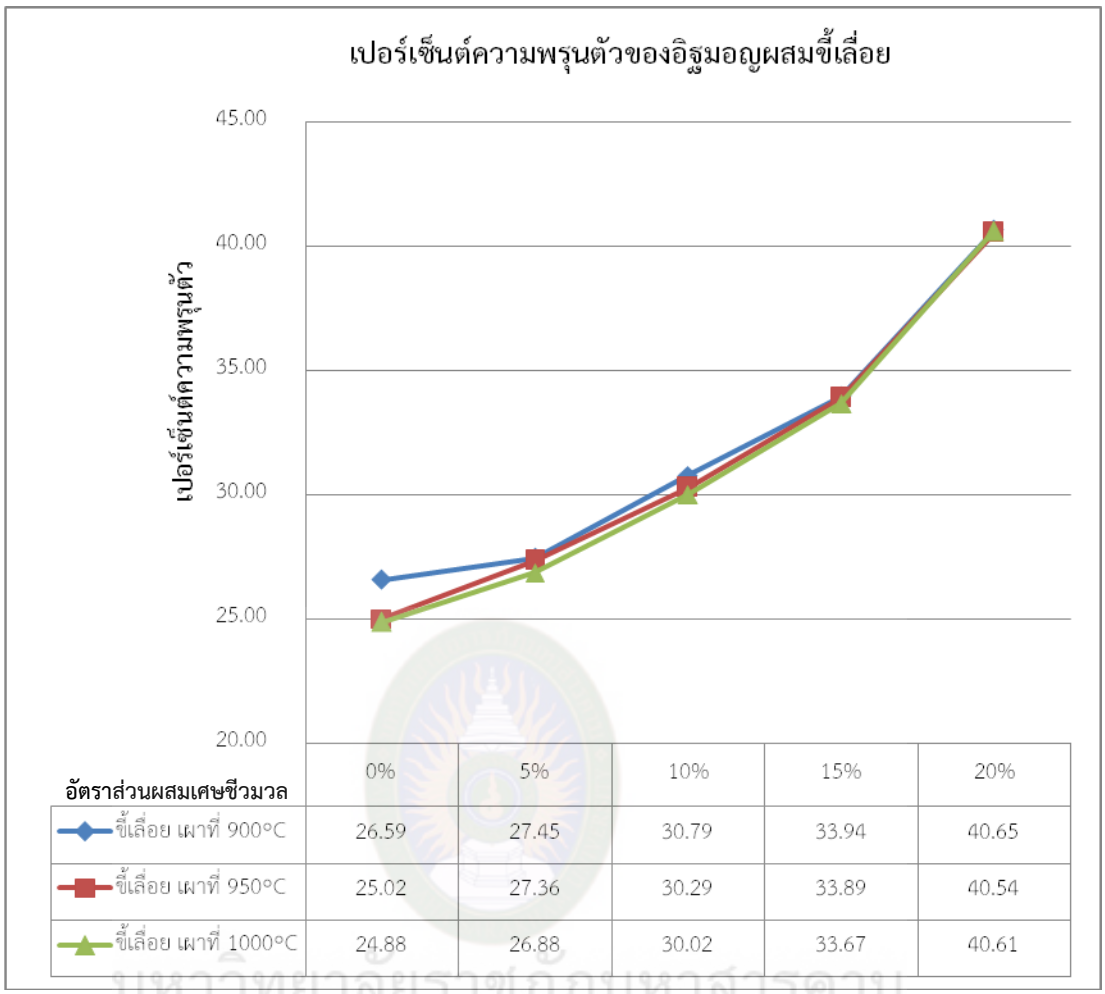
จากผลการทดลอง (ภาพที่ 31) พบว่า ที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อย 5% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 °C มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 17.57%, 17.33%, 16.85% ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสม 10% มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 22.60%, 22.26%, 21.66% ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสม 15% มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 29.41%, 28.29%, 27.82% ตามลำดับและที่อัตราส่วนผสม 20% มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 42.01%, 40.41%, 40.51% ตามลำดับ ส่วนอิฐมอญดินเหนียว 100% มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 13.75% โดยการเผาอิฐที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำจะลดลงและที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อยต่อดินเหนียวที่เพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับอิฐมอญผสมแกลบข้าว

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 31 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐมอญผสมขี้เลื่อย



อัตราส่วนผสมเศษชีวมวล	0%	5%	10%	15%	20%
ขี้เลื่อย เผาที่ 900°C	26.59	27.45	30.79	33.94	40.65
ขี้เลื่อย เผาที่ 950°C	25.02	27.36	30.29	33.89	40.54
ขี้เลื่อย เผาที่ 1000°C	24.88	26.88	30.02	33.67	40.61

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 32 แสดงเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวของอิฐมอญผสมขี้เลื่อย

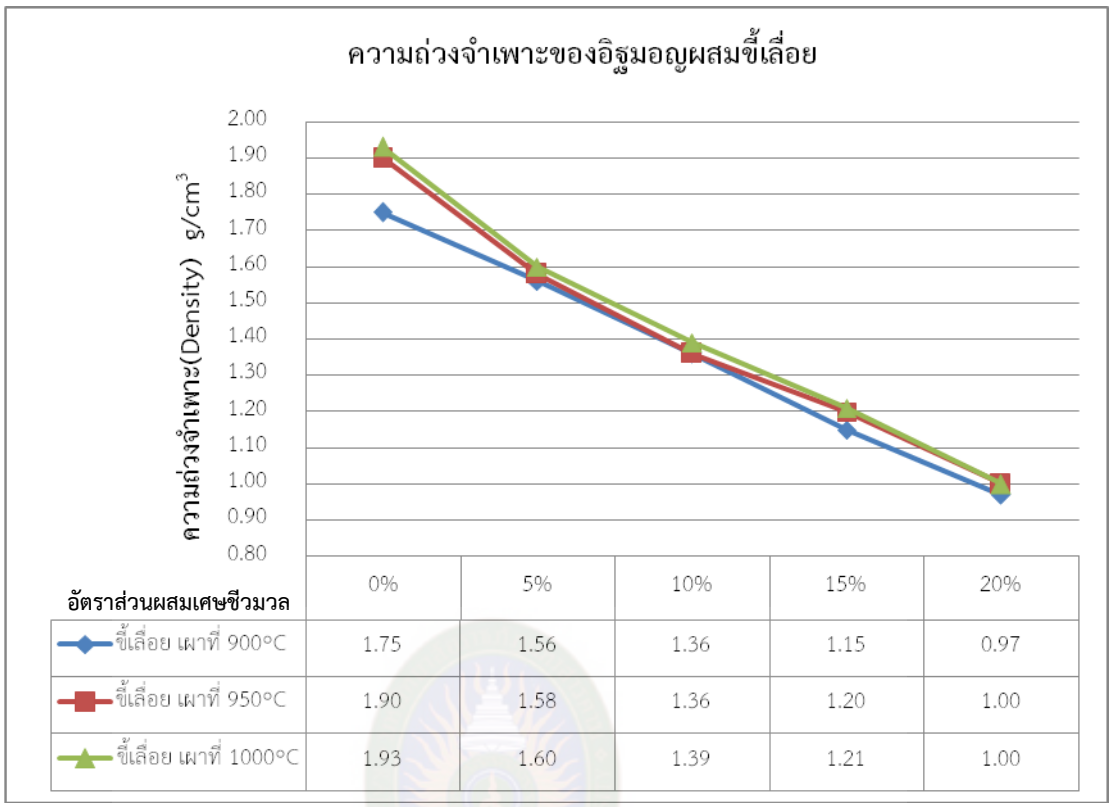
ผลจากการศึกษาค่าความพรุนตัวของอิฐผสมขี้เลื่อย (ภาพที่ 32) พบว่า ที่อัตราส่วนผสมเลื่อย 5% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 °C มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ 27.45%, 27.36%, 26.88% ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสม 10% มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ 30.79%, 30.29%, 30.02% ตามลำดับที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อย 15% มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ 33.94%, 33.89%, 33.67% ตามลำดับ และที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อย 20% มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ 40.65%, 40.54%, 40.61% ตามลำดับ ส่วนอิฐมอญดินเหนียว 100% มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ 26.59%, 25.02%, 24.88% ตามลำดับและจากผลการทดลองดังกล่าว พบว่าส่วนผสมที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มอก.77-2545 (ไม่เกิน 25%) คือที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อย 5% และ 10% เท่านั้นที่ให้ค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน มอก. อีกทั้งยังพบว่าการเผาอิฐที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวลดลง นอกจากนั้นที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อยต่อดินเหนียวที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

2.3 ความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมขี้เลื่อย (Bulk Density)

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 33) พบว่าที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อยต่อดินเหนียว 5% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 $^{\circ}$C พบว่ามีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.56, 1.58 และ 1.60 g/cm^3 ตามลำดับ ส่วนที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อยต่อดินเหนียว 10% มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.36, 1.36 และ 1.39 g/cm^{3}ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อยต่อดินเหนียว 15% ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.15%, 1.20% และ 1.21% ตามลำดับ และที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อยต่อดินเหนียว 20% มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.97, 1.00 และ 1.00 g/cm^3 ตามลำดับ ส่วนดินเหนียว 100% มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.75, 1.90 และ 1.93 g/cm^3 ตามลำดับซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าการเผาอิฐที่อุณหภูมิสูงขึ้นอิฐจะมีความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นและที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อยที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความหนาแน่น (ความถ่วงจำเพาะ) ของอิฐลดลง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



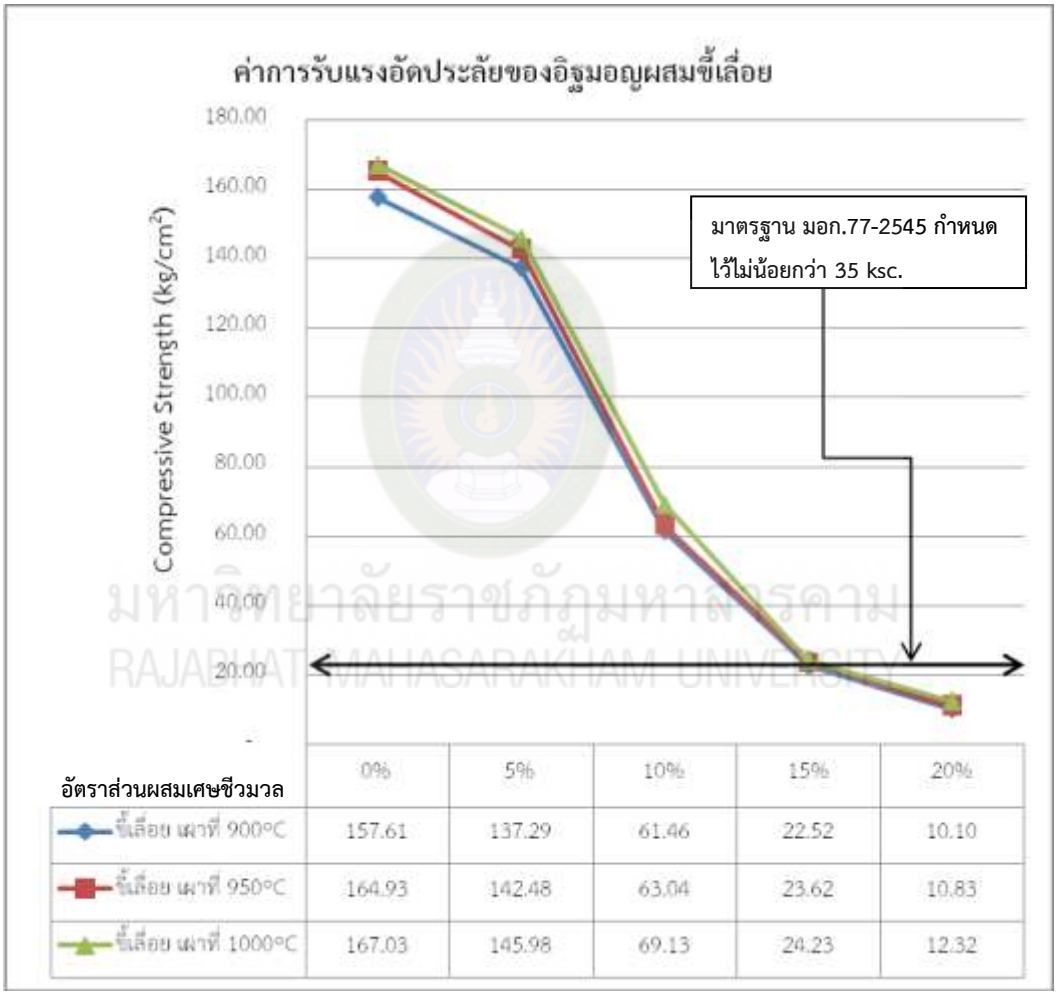
ภาพที่ 33 แสดงความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมขี้เลื่อย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.4 การรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมขี้เลื่อย (Compressive Strength)

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 34) พบว่าที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อย 5% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 °C มีค่าการรับกำลังอัดของอิฐเท่ากับ 137.29 kg/cm^2, 142.48 kg/cm^2 และ 145.98kg/cm^2 ตามลำดับ ส่วนที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อย 10% มีค่าการรับกำลังอัดของอิฐเท่ากับ 61.46 kg/cm^2, 63.04 kg/cm^2 และ 69.13kg/cm^2 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อย 15% มีค่าการรับกำลังอัดของอิฐเท่ากับ 22.52 kg/cm^2, 23.62 kg/cm^2 และ 24.23kg/cm^2 ตามลำดับ และที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อย 20% มีค่าการรับกำลังอัดของอิฐเท่ากับ 10.10 kg/cm^2, 10.83 kg/cm^2 และ 12.32kg/cm^2 ตามลำดับ ส่วนดินเหนียว 100% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 °C มีค่าการรับกำลังอัดของอิฐเท่ากับ 157.61 kg/cm^2, 164.93 kg/cm^2 และ 167.03kg/cm^2 ตามลำดับซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าส่วนผสมที่ให้ค่าการ

รับกำลังอัดเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอก.77-2545 ว่าด้วยอิฐสามัญก่อสร้าง ที่กำหนดค่าการรับกำลังอัดของอิฐไว้ไม่น้อยกว่า 35 kg/cm^2 คืออัตราส่วนผสมขี้เลื่อย 5% และ 10% เท่านั้นอีกทั้งยังพบว่าการเผาอิฐที่อุณหภูมิสูงขึ้นอิฐจะมีค่าการรับกำลังอัดเพิ่มขึ้นและที่อัตราส่วนผสมขี้เลื่อยที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้ค่าการรับกำลังอัดของอิฐลดลงทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากความพรุนตัวที่เพิ่มขึ้น



อัตราส่วนผสมเศษชีวมวล	0%	5%	10%	15%	20%
ขี้เลื่อย เผาที่ 900°C	157.61	137.29	61.46	22.52	10.10
ขี้เลื่อย เผาที่ 950°C	164.93	142.48	63.04	23.62	10.83
ขี้เลื่อย เผาที่ 1000°C	167.03	145.98	69.13	24.23	12.32

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

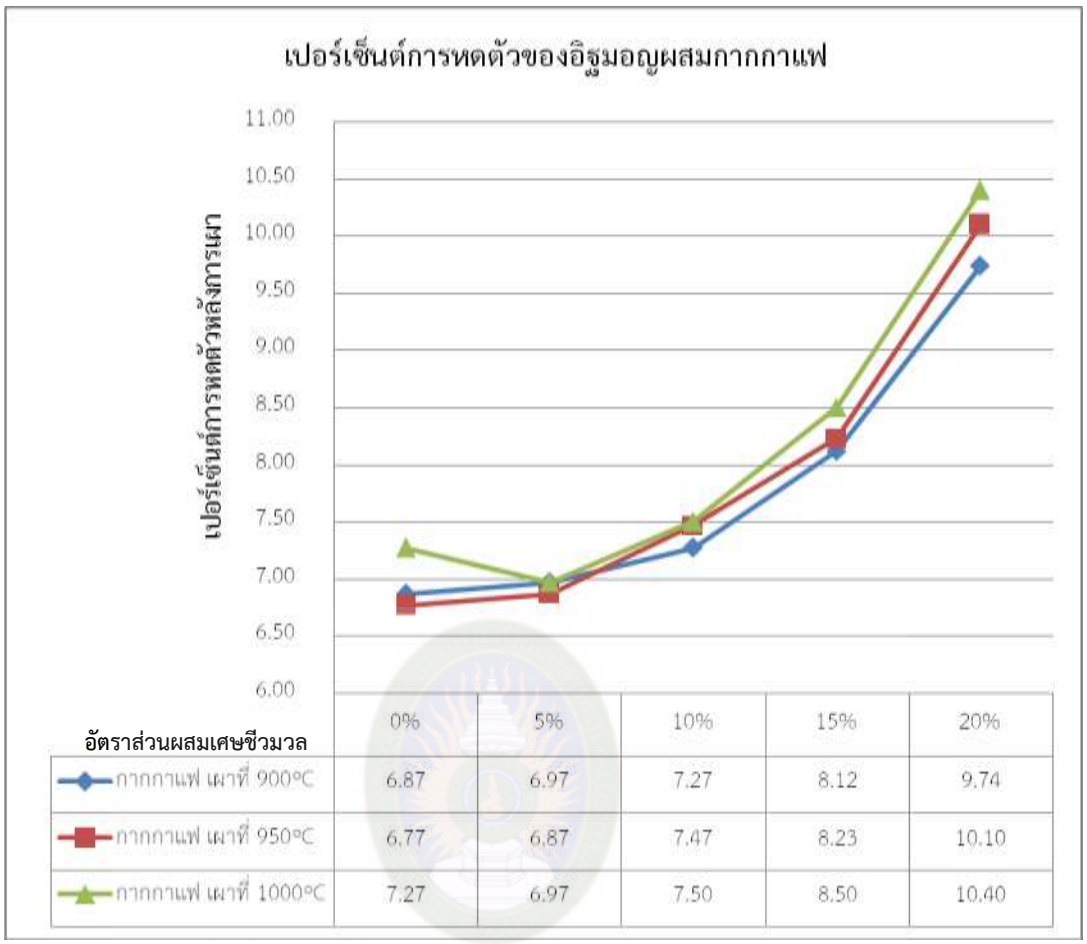
ภาพที่ 34 แสดงค่าการรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมขี้เลื่อย

3. คุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของอิฐมอญผสมกากกาแฟ

3.1 การหดตัวหลังการเผาของอิฐมอญผสมกากกาแฟ (Fire Shrinkage)

ผลจากการทดลองอิฐมอญผสมกากกาแฟ (ภาพที่ 35) พบว่าที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 5% มีค่าการหดตัวหลังการเผาเฉลี่ยที่ 6.93% ที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 10% มีค่าการหดตัวหลังการเผาเฉลี่ยที่ 7.41% ส่วนที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 15% มีค่าการหดตัวหลังการเผาที่ 8.28% และที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 20% มีค่าการหดตัวหลังการเผาเฉลี่ยที่ 10.08% ส่วนอิฐมอญดินเหนียว 100% มีค่าการหดตัวหลังการเผาเฉลี่ยที่ 6.97% ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนผสมกากกาแฟที่เพิ่มขึ้นการหดตัวของอิฐก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วยซึ่งแตกต่างจากการผสมเศษวัสดุชีวมวลชนิดอื่น (แกลบข้าว, ขี้เลื่อย, ชานอ้อย และเศษหญ้า) ที่ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่ออัตราส่วนผสมเศษวัสดุเพิ่มขึ้นการหดตัวของอิฐจะลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคของกากกาแฟที่มีขนาดเล็กทำให้ไม่สามารถยึดเกาะกับอนุภาคของดินเหนียวและไม่ช่วยยึดรั้งการหดตัวของดินเหนียวจึงทำให้การหดตัวของอิฐเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังพบว่าอุณหภูมิในการเผาอิฐที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อิฐมีแนวโน้มการหดตัวเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



อัตราส่วนผสมเศษชีวมวล	0%	5%	10%	15%	20%
กากกาแฟ เผาที่ 900°C	6.87	6.97	7.27	8.12	9.74
กากกาแฟ เผาที่ 950°C	6.77	6.87	7.47	8.23	10.10
กากกาแฟ เผาที่ 1000°C	7.27	6.97	7.50	8.50	10.40

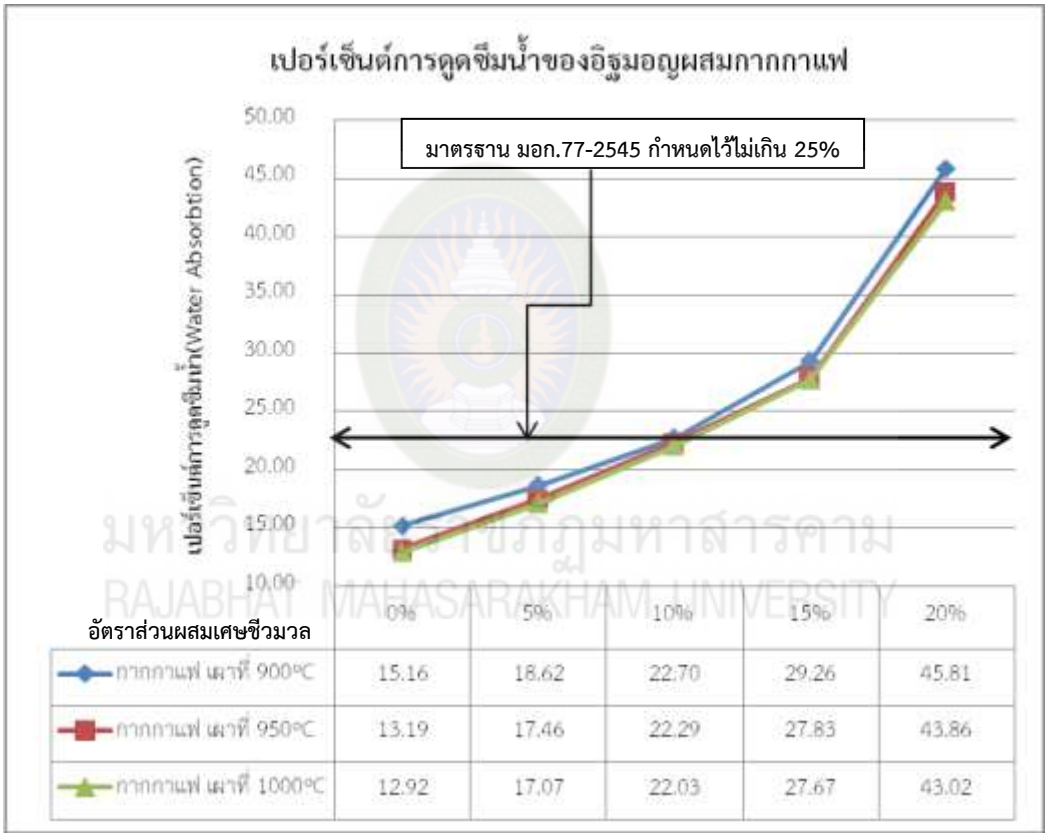
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 35 แสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผาของอิฐมอญผสมกากกาแฟ

3.2 การดูดซึมน้ำและความพรุนตัวอิฐมอญผสมกากกาแฟ (Water Absorption and Porosity)

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 36) พบว่า ที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 5% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000°C มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 18.62%, 17.46%, 17.07% ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 10% มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 22.70%, 22.29%, 22.03% ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 15% มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 29.26%, 27.83%, 27.67% ตามลำดับ และที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 20% มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 45.81%, 43.86%, 43.02% ตามลำดับ ส่วนอิฐมอญดินเหนียว 100% มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 13.75% โดยการเผาอิฐที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมี

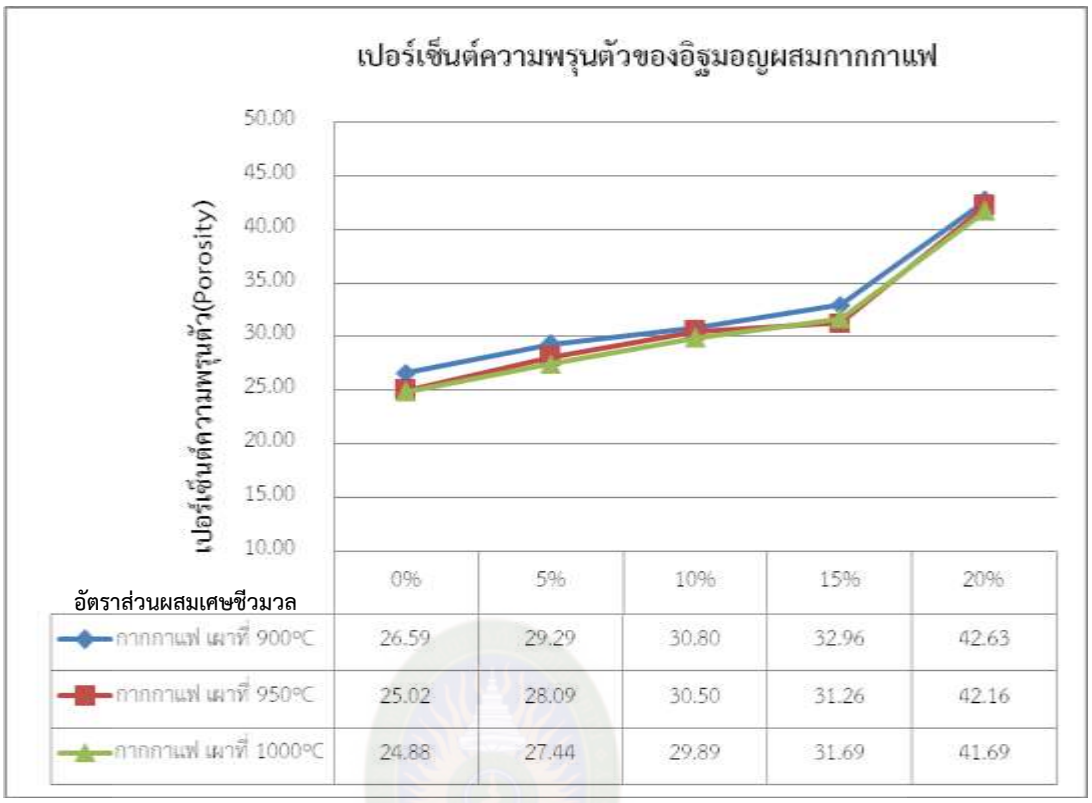
แนวโน้มลดลง อีกทั้งยังพบว่าอัตราส่วนผสมกากกาแฟต่อดินเหนียวที่เพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการศึกษาค่าความพรุนตัวของอิฐมอญผสมกากกาแฟ (ภาพที่ 36) พบว่า ที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 5% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000°C มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ 29.29%, 28.09%, 27.44% ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 10% มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ 30.80%, 30.50%, 29.89% ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 15% มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัว



อัตราส่วนผสมเศษชีวมวล	0%	5%	10%	15%	20%
กากกาแฟ เผาที่ 900°C	15.16	18.62	22.70	29.26	45.81
กากกาแฟ เผาที่ 950°C	13.19	17.46	22.29	27.83	43.86
กากกาแฟ เผาที่ 1000°C	12.92	17.07	22.03	27.67	43.02

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 36 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐมอญผสมกากกาแฟ



ภาพที่ 37 แสดงเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวของอิฐมอญผสมกากกาแฟ

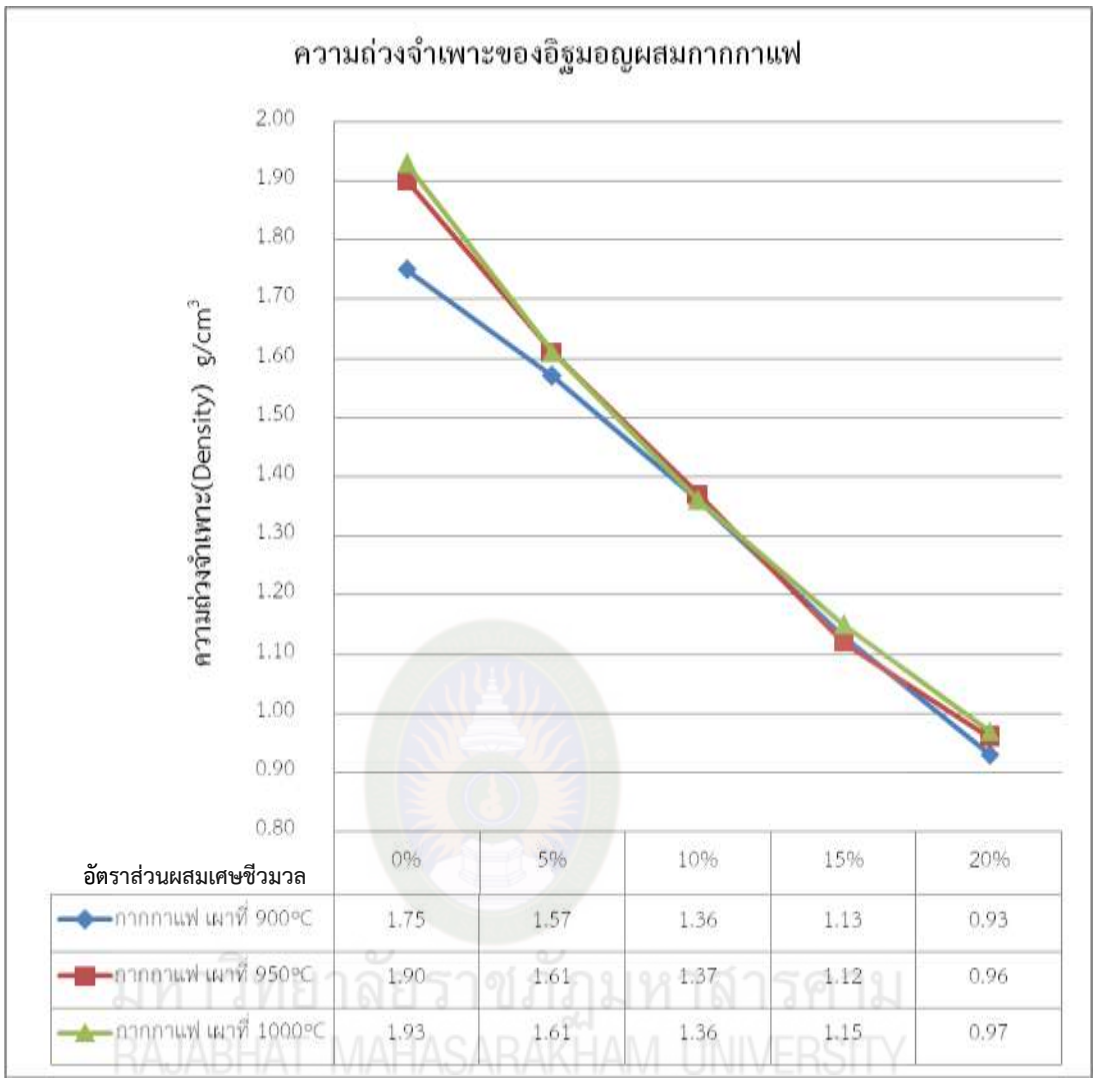
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เท่ากับ 32.96%, 31.26%, 31.69% ตามลำดับ และที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 20% มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ 42.63%, 42.16%, 40.69% ตามลำดับ ส่วนอิฐดินเหนียว 100% มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ 26.59%, 25.02%, 24.88% ตามลำดับ และจากผลการทดลองดังกล่าวส่วนผสมที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.77-2545 คือที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 5% และ 10% เช่นเดียวกับเศษวัสดุชีวมวลก่อนหน้านี้ อีกทั้งยังพบว่าการเผาอิฐที่อุณหภูมิสูงขึ้นยังส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวของอิฐลดลง และที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟต่อดินเหนียวที่เพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

3.3 ความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมกากกาแฟ (Density)

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 38) พบว่าที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 5% มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 1.59 g/cm^3 ที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 10% มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 1.36 g/cm^3 ที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 15% มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 1.13 g/cm^3 และที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 20% มีความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 0.95 g/cm^3 ส่วนอิฐมอญดินเหนียว 100% มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 1.86 g/cm^3 ซึ่งจากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าอัตราส่วนผสมกากกาแฟที่เพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของอิฐ (ความถ่วงจำเพาะ) จะลดลง โดยลดลงถึง 48.92% ที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 20% ซึ่งส่งผลทำให้อิฐมีน้ำหนักเบาขึ้น และยังพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาที่สูงขึ้น ความหนาแน่นอิฐมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

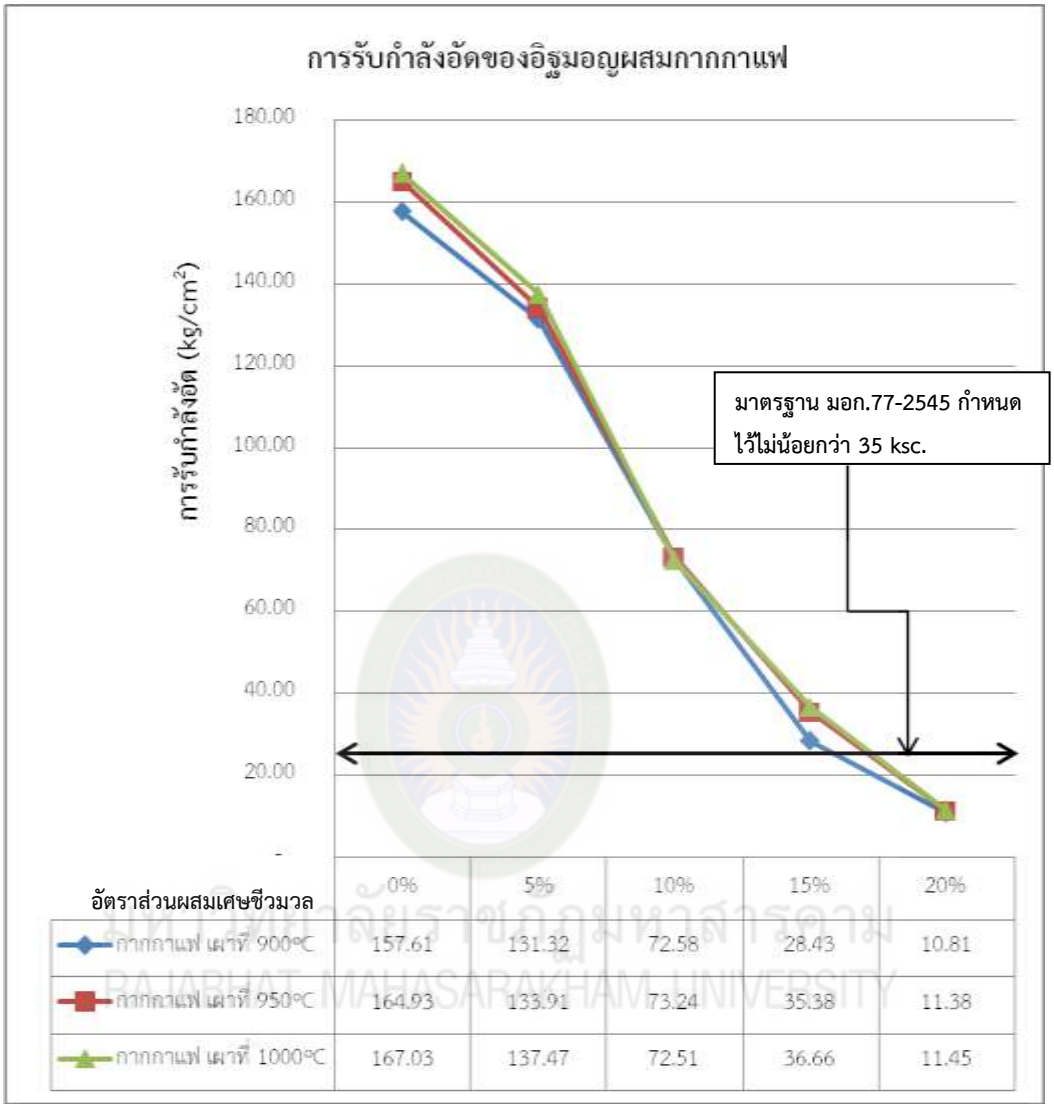
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 38 แสดงความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมกากกาแฟ

3.4 การรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมกากกาแฟ (Compressive Strength)

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 39) พบว่าที่อัตราส่วนผสมกากกาแฟ 5% และ 10% ให้ค่าการรับกำลังอัดเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.77 - 2545 โดยให้ค่าการรับกำลังอัดเฉลี่ย 134.23 kg/cm^2 และ 72.77 kg/cm^2 อีกทั้งยังพบว่าการเผาอิฐที่อุณหภูมิ 1000 $^\circ$C อิฐจะมีค่าการรับกำลังอัดที่สูงกว่าการเผาอิฐที่อุณหภูมิ 900 $^\circ$C เนื่องจากความพรุนตัวที่ลดลงและความหนาแน่นที่เพิ่มมากขึ้น



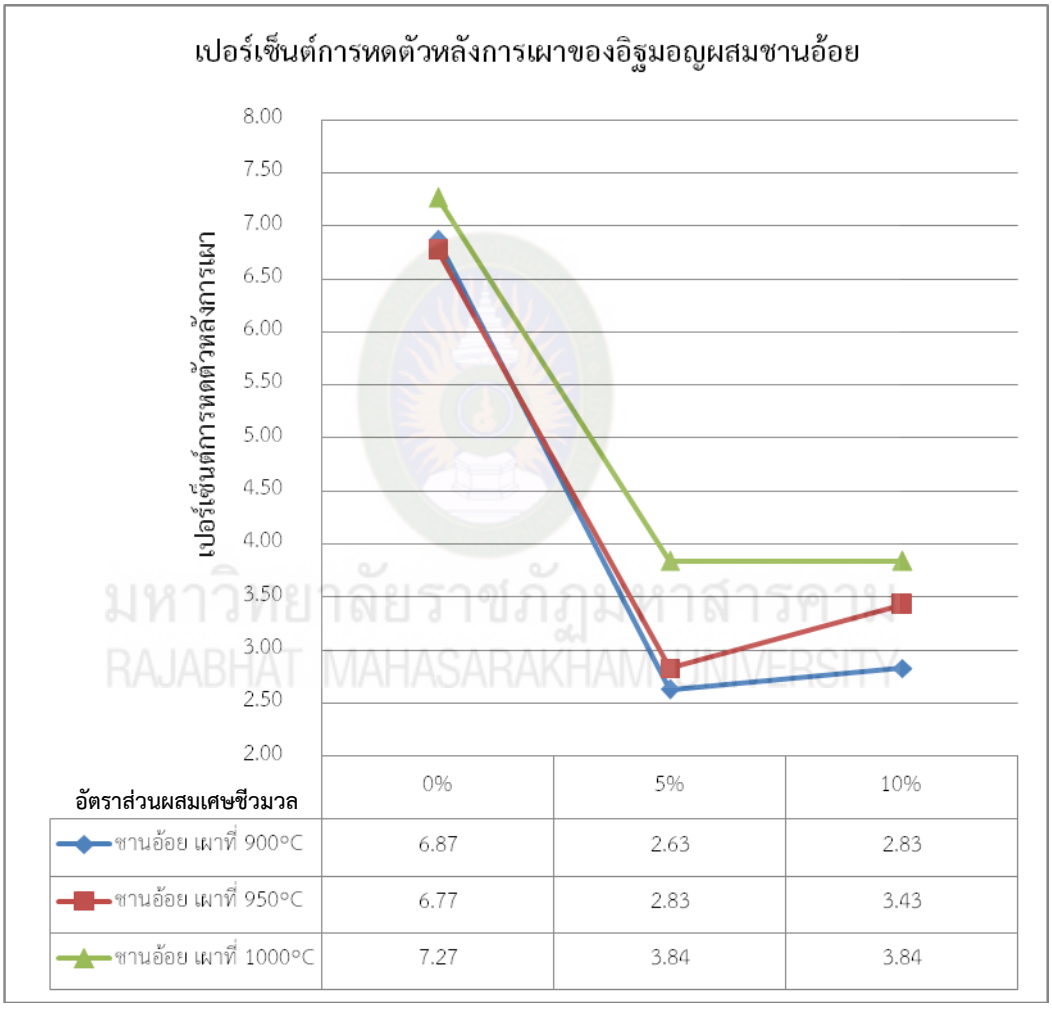
ภาพที่ 39 แสดงค่าการรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมกากกาแฟ

4. คุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของอิฐมอญผสมชานอ้อย

4.1 การหดตัวหลังการเผาของอิฐมอญผสมชานอ้อย (Fire Shrinkage)

จากผลการทดลองเติมชานอ้อยเข้าไปในส่วนผสมพบว่าอิฐที่ได้มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวระหว่าง 2.63 - 3.84% ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับอิฐดิน

เหนียว 100% ที่มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ย 6.97% โดยที่อัตราส่วนผสมชานอ้อย 5% มีการหดตัวเฉลี่ยเพียง 3.10% และที่อัตราส่วนผสมชานอ้อย 10% มีการหดตัวเฉลี่ย 3.36% เท่านั้น ซึ่งการหดตัวที่ค่อนข้างน้อยเป็นผลมาจากเศษชานอ้อยที่มีลักษณะเป็นเส้นใยทำให้สามารถต้านทานการหดตัวได้ อีกทั้งยังพบว่าอัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นการหดตัวของอิฐเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และการเผาอิฐที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นอิฐมีแนวโน้มที่จะหดตัวเพิ่มมากขึ้นซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับเศษวัสดุชีวมวลข้างต้น



อัตราส่วนผสมเศษชีวมวล	0%	5%	10%
ชานอ้อย เผาที่ 900°C	6.87	2.63	2.83
ชานอ้อย เผาที่ 950°C	6.77	2.83	3.43
ชานอ้อย เผาที่ 1000°C	7.27	3.84	3.84

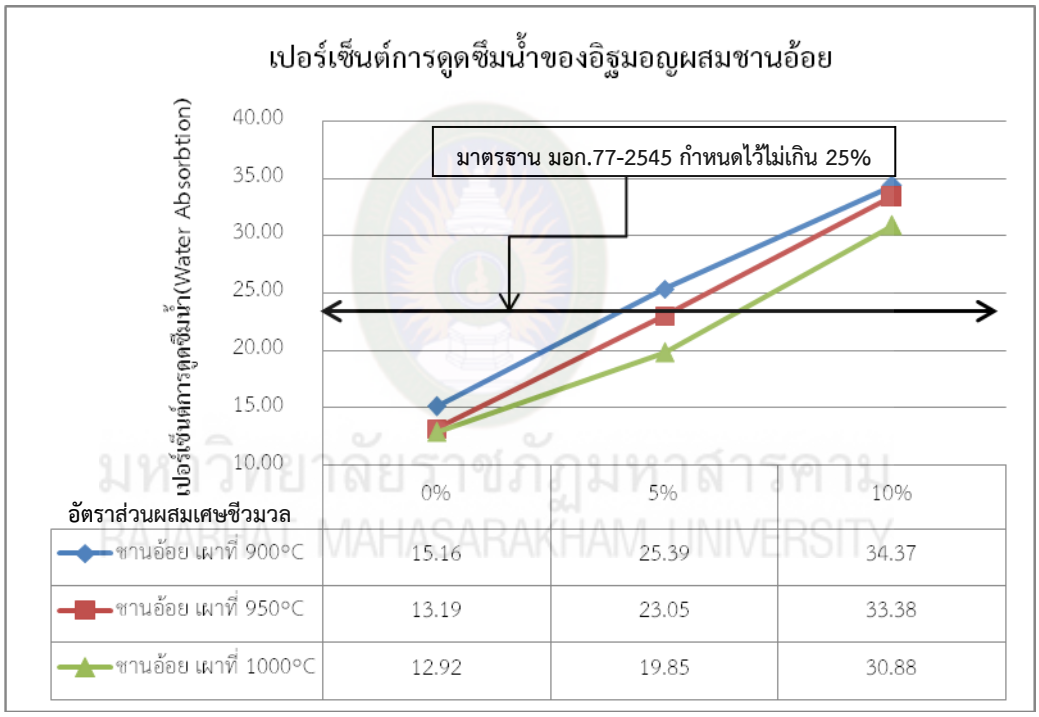
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หมายเหตุ : ที่อัตราส่วนผสมชานอ้อย 15% และ 20% ไม่สามารถขึ้นรูปอิฐได้

ภาพที่ 40 แสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผาของอิฐมอญผสมชานอ้อย

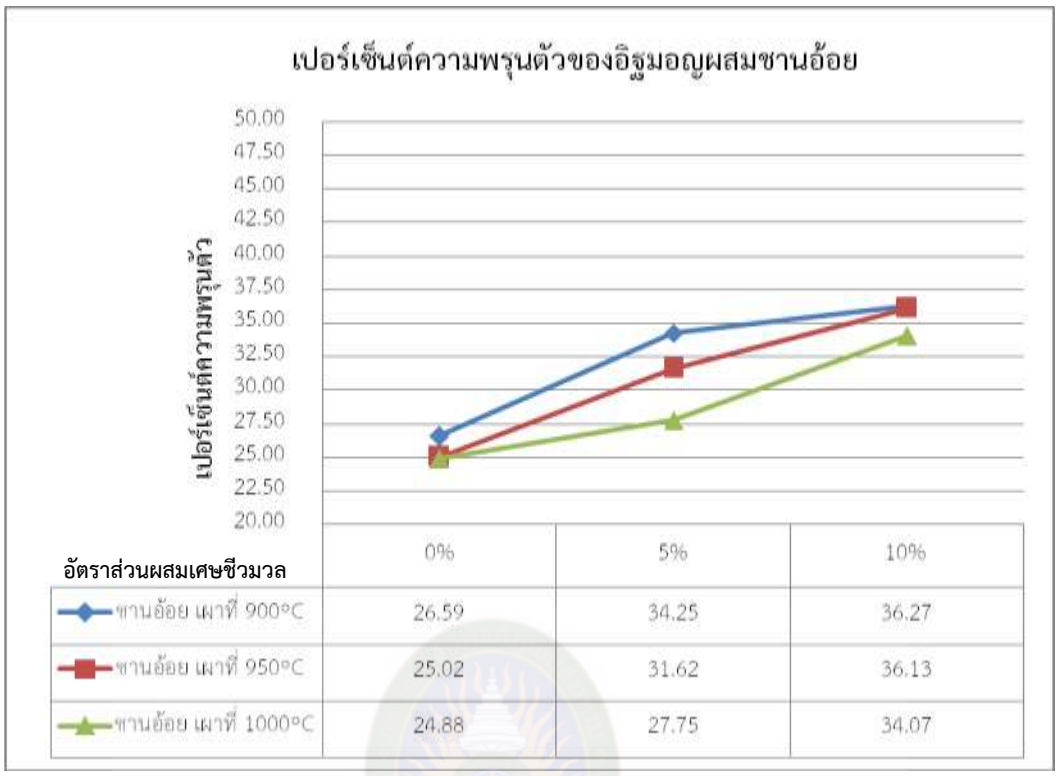
4.2 การดูดซึมน้ำและความพรุนตัวอิฐมอญผสมชานอ้อย(Water Absorption and Porosity)

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 41) จะพบว่าเมื่ออัตราส่วนผสมชานอ้อยเพิ่มมากขึ้นเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยที่อัตราส่วนผสมชานอ้อย 5% เผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000°C มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 25.39%, 23.05% และ 19.85 % ตามลำดับ ที่อัตราส่วนผสมชานอ้อย 10% มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 34.37%, 33.38%, 30.88% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับความพรุนตัวที่เพิ่มมากขึ้น เมื่ออัตราส่วนผสมมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 41 ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณชานอ้อยที่เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนผสมจึงส่งผลทำให้การดูดซึมน้ำและความพรุนตัวเพิ่มขึ้น



หมายเหตุ : ที่อัตราส่วนผสมชานอ้อย 15% และ 20% ไม่สามารถขึ้นรูปอิฐได้

ภาพที่ 41 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐมอญผสมชานอ้อย



อัตราส่วนผสมเศษชีวมวล	0%	5%	10%
ชานอ้อย เผาที่ 900°C	26.59	34.25	36.27
ชานอ้อย เผาที่ 950°C	25.02	31.62	36.13
ชานอ้อย เผาที่ 1000°C	24.88	27.75	34.07

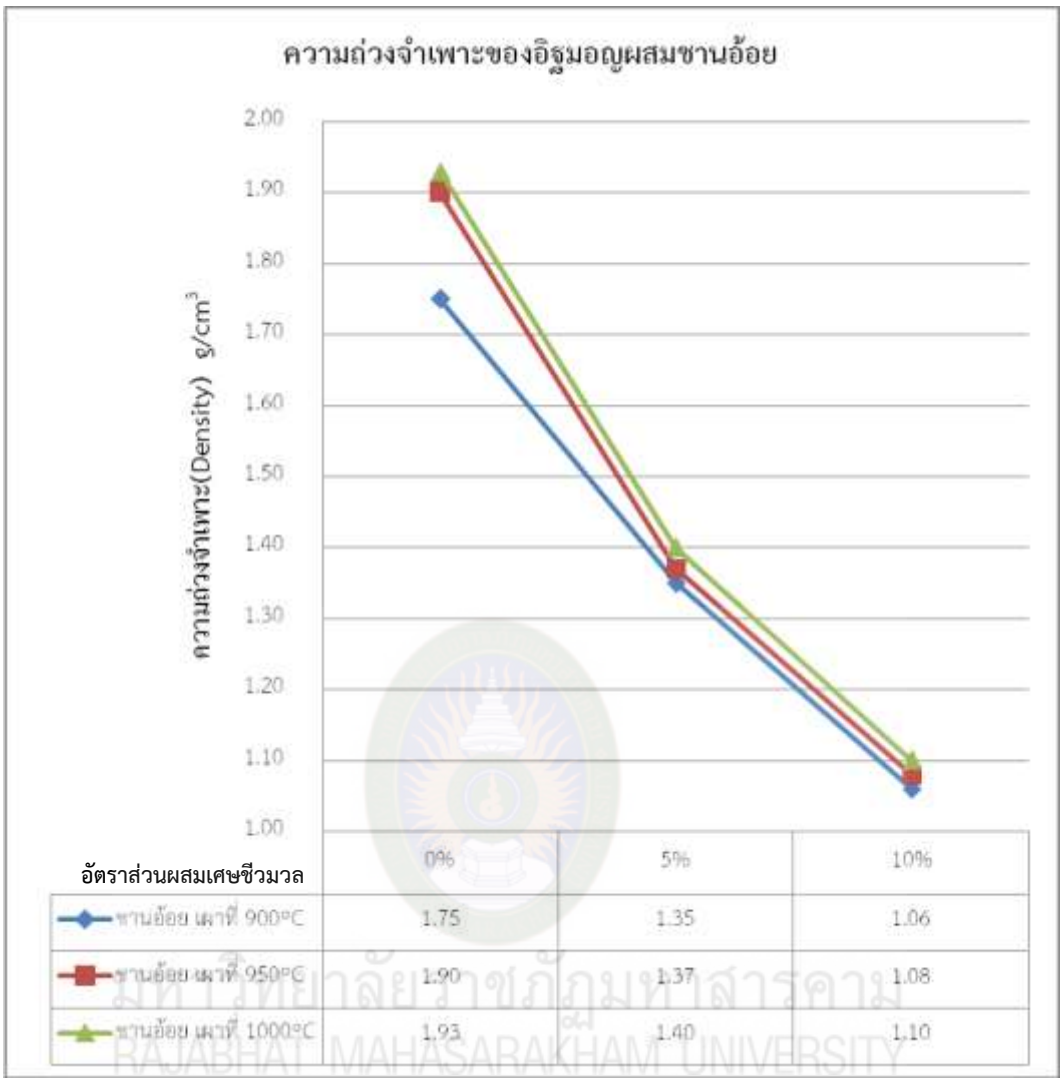
หมายเหตุ : ที่อัตราส่วนผสมชานอ้อย 15% และ 20% ไม่สามารถขึ้นรูปอิฐได้

ภาพที่ 42 แสดงเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวของอิฐมอญผสมชานอ้อย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

4.3 ความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมชานอ้อย(Bulk Density)

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 43) จะพบว่าความถ่วงจำเพาะของอิฐผสมชานอ้อยจะลดลงตามอัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนผสมชานอ้อย 5% และ 10% เผาด้วยอุณหภูมิ 900, 950 และ 1000°C มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 1.37 g/cm^3 และ 1.08 g/cm^3 เมื่อเปรียบเทียบกับกับอิฐดินเหนียว 100% ที่มีความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 1.86 g/cm^3 จะพบว่าความถ่วงจำเพาะลดลงถึง 26.34% และ 41.93% ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้นี้มีความสอดคล้องกับความพรุนตัวและค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ คือ เมื่อความพรุนตัวและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น จะส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่น (ความถ่วงจำเพาะ) ของอิฐลดลง



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

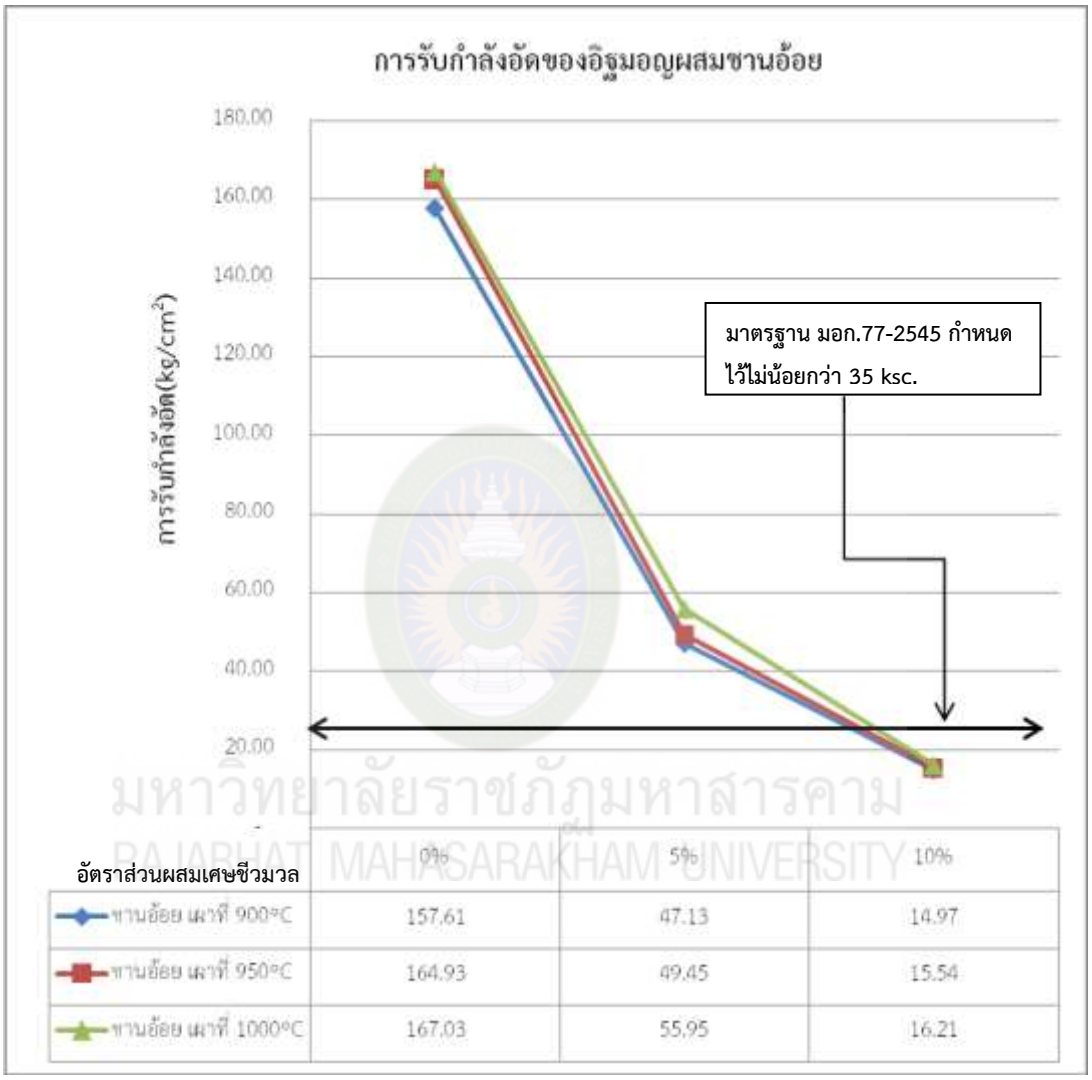
หมายเหตุ : ที่อัตราส่วนผสมชานอ้อย 15% และ 20% ไม่สามารถขึ้นรูปอิฐได้

ภาพที่ 43 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมชานอ้อย

4.4 การรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมชานอ้อย(Compressive Strength)

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 44) จะพบว่าอัตราส่วนผสมที่ให้ค่าเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.77 - 2545 ว่าด้วยอิฐสามัญก่อสร้างคืออัตราส่วนผสมชานอ้อย 5% โดยให้ค่าการรับกำลังอัดเฉลี่ย 50.84 kg/cm^2 ส่วนที่อัตราส่วนผสมชานอ้อย 10% ให้ค่าการรับกำลังอัดเฉลี่ยเพียง 15.57 kg/cm^2 ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำมาก และจากผลการทดลองจะเห็นว่าอุณหภูมิในการเผา และอัตราส่วนผสมมีผลต่อการรับกำลังอัดของอิฐ โดยการเผาอิฐที่

อุณหภูมิที่สูงขึ้น การรับกำลังอัดของอิฐมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และการรับกำลังอัดของอิฐจะลดลง เมื่ออัตราส่วนผสมชานอ้อยเพิ่มขึ้น



อัตราส่วนผสมเศษชีวมวล	0%	5%	10%
ชานอ้อย เผาที่ 900°C	157.61	47.13	14.97
ชานอ้อย เผาที่ 950°C	164.93	49.45	15.54
ชานอ้อย เผาที่ 1000°C	167.03	55.95	16.21

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

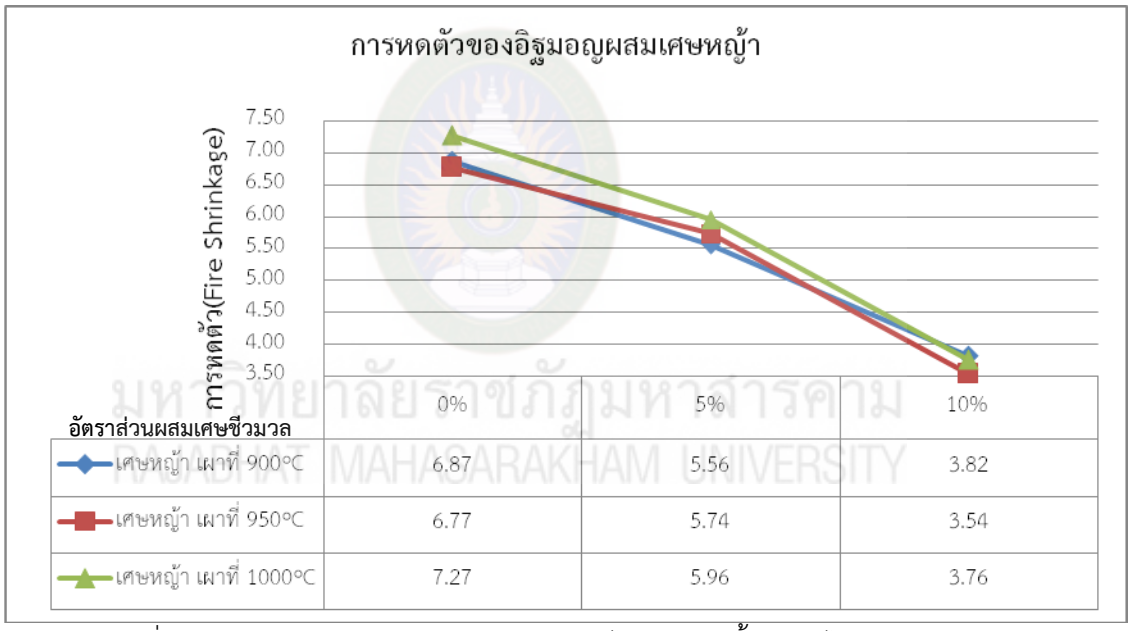
หมายเหตุ : ที่อัตราส่วนผสมชานอ้อย 15% และ 20% ไม่สามารถขึ้นรูปอิฐได้

ภาพที่ 44 แสดงค่าการรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมชานอ้อย

5. คุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของอิฐมอญผสมเศษหญ้า

5.1 การหดตัวหลังการเผาของอิฐมอญผสมเศษหญ้า (Fire Shrinkage)

จากผลการทดลองเติมเศษหญ้า เข้าไปในส่วนผสมแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000°C พบว่าที่อุณหภูมิการเผา 900°C อิฐมอญผสมเศษหญ้ามีการหดตัว 5.56% และ 3.82% สำหรับอัตราส่วนผสม 5% และ 10% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิการเผา 950°C การหดตัว 5.74% และ 3.54% และที่อุณหภูมิการเผา 1000°C การหดตัว 5.96% และ 3.76% จากผลการทดลองจะเห็นว่าอุณหภูมิในการเผาและอัตราส่วนผสมมีผลต่อการหดตัวของอิฐ การเผาอิฐที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นอิฐมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเพิ่มมากขึ้น และที่อัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นการหดตัวของอิฐจะลดลง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับอิฐมอญผสมชานอ้อย เนื่องจากเศษหญ้ามีลักษณะเป็นเส้นใยคล้ายกับชานอ้อย



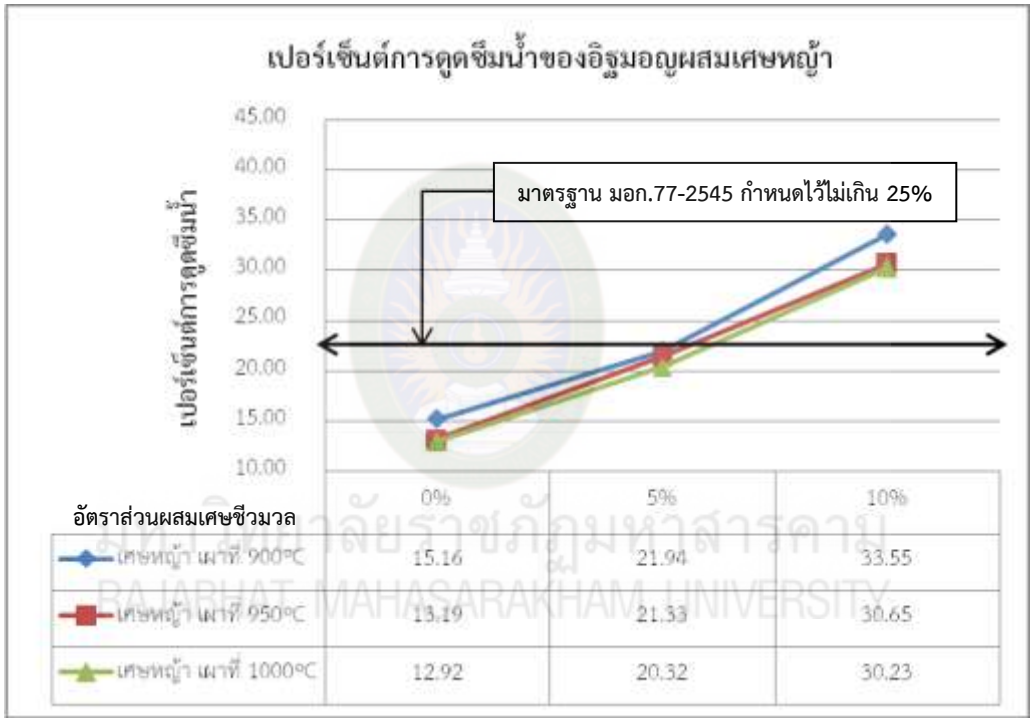
หมายเหตุ : ที่อัตราส่วนผสมเศษหญ้า 15% และ 20% ไม่สามารถขึ้นรูปอิฐได้

ภาพที่ 45 แสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผาของอิฐมอญผสมเศษหญ้า

2.2 การดูดซึมน้ำและความพรุนตัวอิฐมอญผสมเศษหญ้า(Water Absorption and Porosity)

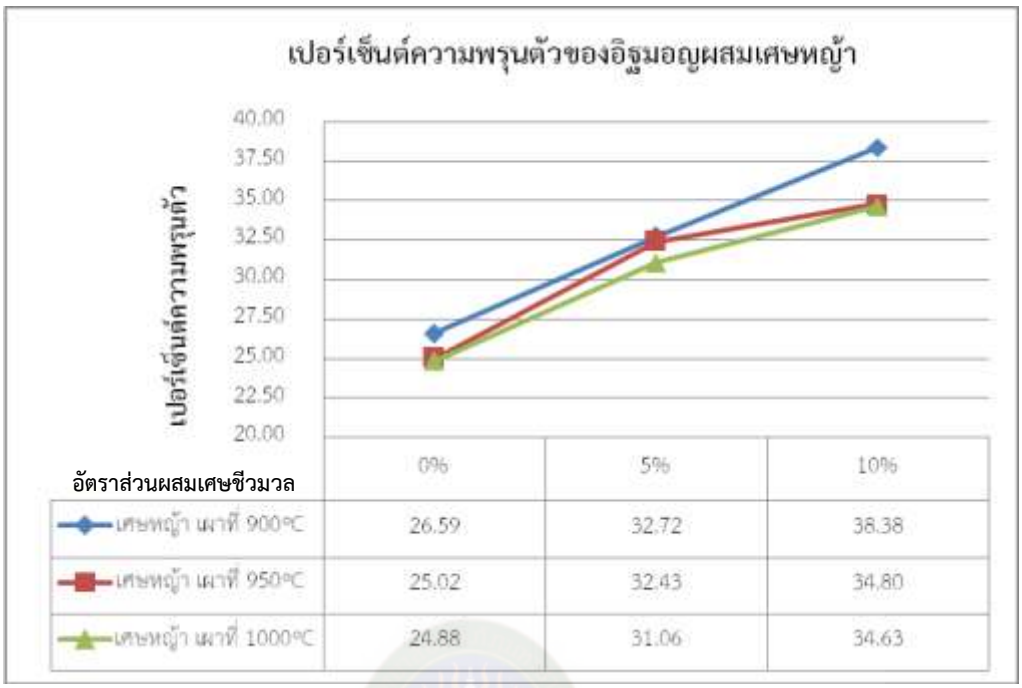
จากผลการทดลอง (ภาพที่ 46) จะพบว่าที่อัตราส่วนผสมเศษหญ้า 5% เท่านั้นที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.77-2545 โดยให้ค่าเปอร์เซ็นต์

การดูดซึมน้ำเท่ากับ 21.94%, 21.33% และ 20.32 % เมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 900, 950 และ 1000°C ตามลำดับ ส่วนที่อัตราส่วนผสมเศษหญ้า 10% ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูงกว่ามาตรฐานเฉลี่ยประมาณ 6.47% ซึ่งจะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำลดลงเมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากความหนาแน่นของอิฐที่เพิ่มขึ้นและความพรุนตัวที่ลดลงนั่นเอง โดยผลของความพรุนตัวพบว่า (ภาพที่ 46) ที่อัตราส่วนผสมเศษหญ้า 5% ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวเท่ากับ 32.72%, 32.43% และ 31.06 % ตามลำดับ



หมายเหตุ : ที่อัตราส่วนผสมเศษหญ้า 15% และ 20% ไม่สามารถขึ้นรูปอิฐได้

ภาพที่ 46 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐมอญผสมเศษหญ้า



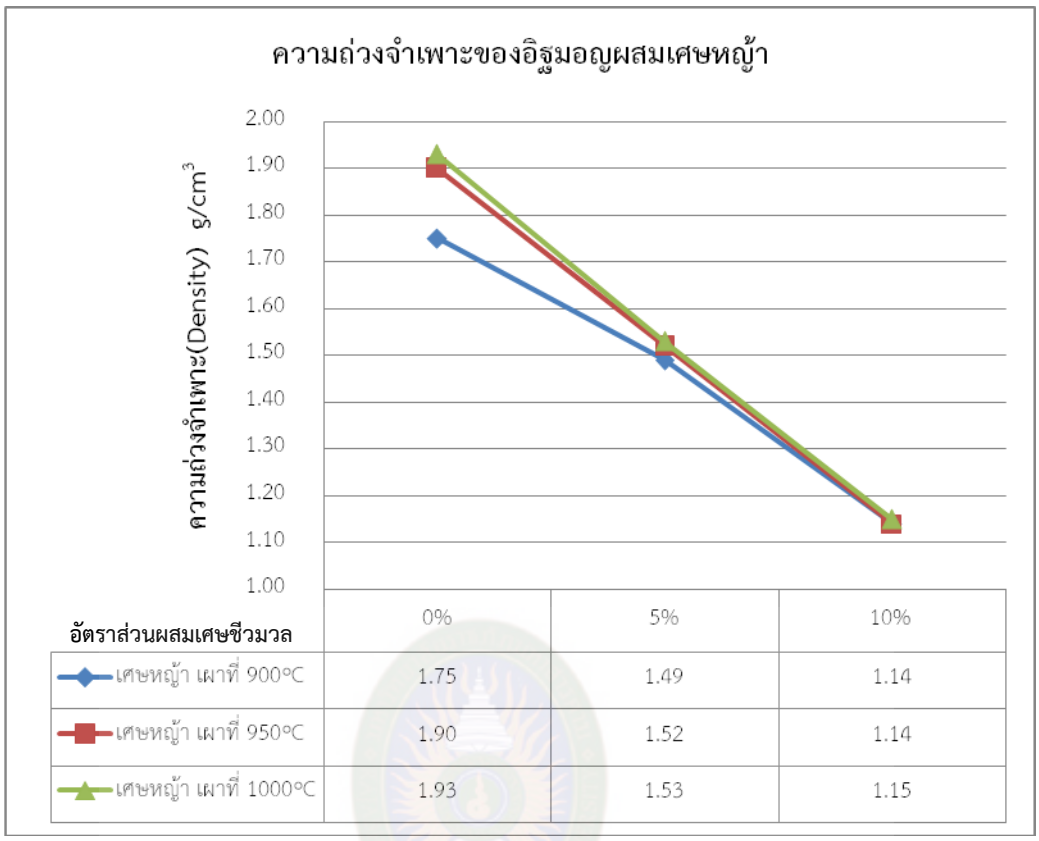
หมายเหตุ : ที่อัตราส่วนผสมเศษหญ้า 15% และ 20% ไม่สามารถขึ้นรูปอิฐได้

ภาพที่ 47 แสดงเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวของอิฐมอญผสมเศษหญ้า

5.3 ความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมเศษหญ้า(Bulk Density)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 48) จะพบว่าความถ่วงจำเพาะของอิฐผสมเศษหญ้าเป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราส่วนผสม โดยที่อัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้นความถ่วงจำเพาะของอิฐจะลดลง อีกทั้งยังพบว่าอุณหภูมิการเผาไม่มีผลต่อความถ่วงจำเพาะมากนักสำหรับกรณีของเศษหญ้า โดยที่อัตราส่วนผสมเศษหญ้า 5% เผาด้วยอุณหภูมิ 900, 950 และ 1000 $^{\circ}$C มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.49, 1.52 และ 1.53 g/cm^3 ตามลำดับ และที่อัตราส่วนผสมเศษหญ้า 10% มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.14, 1.14 และ 1.15 g/cm^3 ตามลำดับ



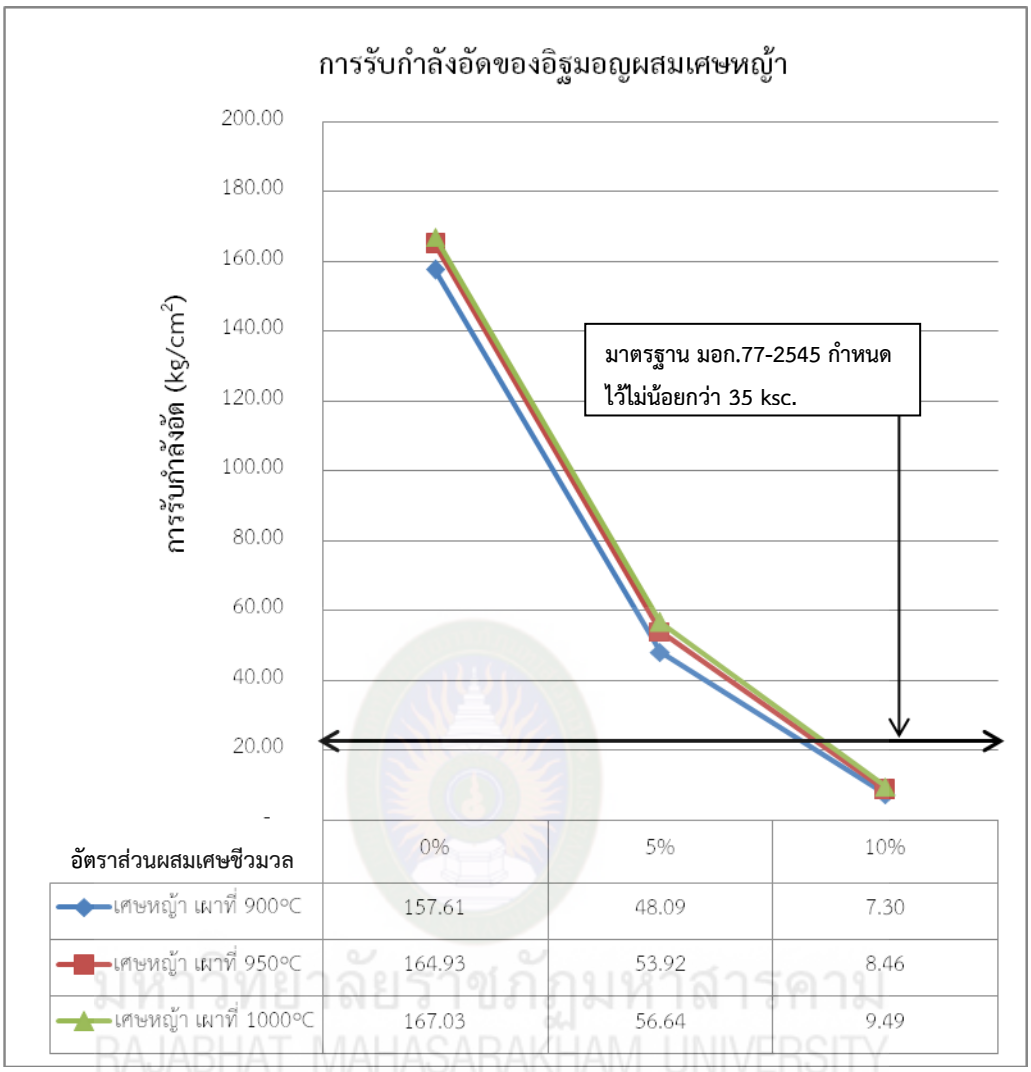
หมายเหตุ : ที่อัตราส่วนผสมเศษหญ้า15% และ 20% ไม่สามารถขึ้นรูปอิฐได้

ภาพที่ 48 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของอิฐมอญผสมเศษหญ้า

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

5.4 การรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมเศษหญ้า(Compressive Strength)

จากผลการทดลอง (ภาพที่ 49) จะพบว่าที่อัตราส่วนผสมเศษหญ้า 5% เท่านั้นที่ให้ค่าการรับกำลังอัดเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.77-2545 ว่าด้วยอิฐสามัญก่อสร้างเช่นเดียวกับอิฐมอญผสมชานอ้อย โดยให้ค่าการรับกำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 52.88 kg/cm^2 ส่วนที่อัตราส่วนผสมเศษหญ้า 10% .ให้ค่าการรับกำลังอัดเฉลี่ยเพียง 8.41kg/cm^2 เท่านั้น



หมายเหตุ : ที่อัตราส่วนผสมเศษหญ้า15% และ 20% ไม่สามารถขึ้นรูปอิฐได้

ภาพที่ 49 แสดงค่าการรับกำลังอัดของอิฐมอญผสมเศษหญ้า

การวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยของอิฐมอญผสมเศษชีวมวล

จากการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยในการลงทุนผลิตอิฐมอญผสมเศษวัสดุชีวมวล (ตามตารางที่ 10) พบว่าต้นทุนในการผลิตอิฐมอญผสมเศษวัสดุชีวมวล (ไม่รวมค่าใช้จ่ายในการเผาอิฐ) ต่อก้อนแสดงดังต่อไปนี้คือ อิฐมอญผสมแกลบข้าวและอิฐมอญผสมขี้เลื่อยมีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 0.262- 0.364 บาท/ก้อน อิฐมอญผสมกากกาแฟมีต้นทุนการผลิตที่สูงที่สุดโดยมีราคาอยู่ที่ 1.641 - 5.880 บาท/ก้อน ในขณะที่อิฐมอญผสมชานอ้อยมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดอยู่ที่ 0.239 -

0.251 บาท/ก้อน และอิฐมอญผสมเศษหญ้ามีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 0.242 - 0.256 บาท/ก้อน ส่วนอิฐมอญทั่วไปมีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 0.262 บาท/ก้อน ซึ่งมีต้นทุนการผลิตใกล้เคียงกับอิฐมอญผสมแกลบข้าวและอิฐมอญผสมขี้เลื่อย

ตารางที่ 10 แสดงต้นทุนต่อหน่วยในการผลิตอิฐมอญขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร ต่อ 1 ก้อน

ส่วนผสม	ค่าแรง (บาท: ก้อน)	ค่าวัสดุ			รวม (บาท:ก้อน)
		ดินเหนียว (บาท: ก้อน)	วัสดุชีวมวล (บาท: ก้อน)	น้ำ (บาท:ก้อน)	
อิฐก่อสร้างทั่วไป	0.175	0.052	0.034	0.001	0.262
ดินเหนียว 100%	0.175	0.052	-	0.001	0.228
แกลบข้าว 5%	0.175	0.052	0.034	0.001	0.262
แกลบข้าว 10%	0.175	0.052	0.068	0.001	0.296
แกลบข้าว 15%	0.175	0.052	0.102	0.001	0.330
แกลบข้าว 20%	0.175	0.052	0.136	0.001	0.364
ขี้เลื่อย 5%	0.175	0.052	0.034	0.001	0.262
ขี้เลื่อย 10%	0.175	0.052	0.068	0.001	0.296
ขี้เลื่อย 15%	0.175	0.052	0.102	0.001	0.33
ขี้เลื่อย 20%	0.175	0.052	0.136	0.001	0.364
กากกาแฟ 5%	0.175	0.052	1.413	0.001	1.641
กากกาแฟ 10%	0.175	0.052	2.826	0.001	3.054
กากกาแฟ 15%	0.175	0.052	4.239	0.001	4.467

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ส่วนผสม	ค่าแรง (บาท: ก้อน)	ค่าวัสดุ			รวม (บาท:ก้อน)
		ดินเหนียว (บาท: ก้อน)	วัสดุชีวมวล (บาท: ก้อน)	น้ำ (บาท:ก้อน)	
กากกาแฟ 20%	0.175	0.052	5.652	0.001	5.880
ชานอ้อย 5%	0.175	0.052	0.011	0.001	0.239
ชานอ้อย 10%	0.175	0.052	0.023	0.001	0.251
เศษหญ้า 5%	0.175	0.052	0.014	0.001	0.242
เศษหญ้า 10%	0.175	0.052	0.028	0.001	0.256

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง การนำเศษวัสดุชีวมวลกลับมาใช้ใหม่สำหรับผลิตอิฐก่อสร้าง ในขั้นนี้ผู้วิจัยขอนำเสนอสรุปผลการวิจัย และให้ข้อเสนอแนะ ตามลำดับดังนี้

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองนำเศษวัสดุชีวมวลมาเป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตอิฐก่อสร้าง (อิฐมอญ) ทั้งหมดสรุปได้ดังต่อไปนี้

อิฐมอญผสมแกลบข้าว พบว่า อัตราส่วนผสมดินเหนียวต่อแกลบข้าวที่เหมาะสมคือ 5% และ 10% โดยน้ำหนักซึ่งให้ค่าคุณสมบัติของอิฐเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 77 – 2545 ว่าด้วยอิฐสามัญก่อสร้าง คือ ให้ค่าการรับกำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 101.14kg/cm^2 และ 45.26 kg/cm^2 ตามลำดับ ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 17.97% และ 23.56% และค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 1.58 g/cm^3 และ 1.45 g/cm^3 ตามลำดับ โดยค่าความถ่วงจำเพาะลดลงถึง 22.04% ที่อัตราส่วนผสม 10%

อิฐมอญผสมขี้เลื่อย พบว่า อัตราส่วนผสมดินเหนียวต่อขี้เลื่อยที่เหมาะสมคือ 5% และ 10% โดยน้ำหนักซึ่งให้ค่าคุณสมบัติของอิฐเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 77 – 2545 ว่าด้วยอิฐสามัญก่อสร้าง คือ ให้ค่าการรับกำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 141.92 kg/cm^2 และ 64.54 kg/cm^2 ตามลำดับ ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 17.25% และ 22.17% และค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 1.57 g/cm^3 และ 1.38 g/cm^3 ตามลำดับ

อิฐมอญผสมกากกาแฟ พบว่า อัตราส่วนผสมดินเหนียวต่อกากกาแฟที่เหมาะสมคือ 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ให้ค่าคุณสมบัติของอิฐเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 77 – 2545 ว่าด้วยอิฐสามัญก่อสร้างเช่นเดียวกับอิฐมอญผสมแกลบข้าวและอิฐมอญผสมขี้เลื่อย คือ ให้ค่าการรับกำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 134.23 และ 72.78 kg/cm^2 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
MAHASARAKHAM UNIVERSITY

17.72% และ 22.34% ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยอยู่ที่ 1.60 g/cm^3 และ 1.36 g/cm^3 โดยค่าความถ่วงจำเพาะลดลงถึง 13.97 และ 26.88% ที่อัตราส่วนผสม 5% และ 10% ตามลำดับ

อิฐมอญผสมชานอ้อย พบว่า อัตราส่วนผสมชานอ้อยที่เหมาะสมคือไม่เกิน 5% โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ค่าคุณสมบัติของอิฐเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.77 – 2545 ว่าด้วยอิฐสามัญก่อสร้าง โดยให้ค่าการรับกำลังอัดเท่ากับ 50.84 kg/cm^2 และค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 22.76%

อิฐมอญผสมเศษหญ้า พบว่า อัตราส่วนผสมเศษหญ้าที่เหมาะสมคือ ไม่เกิน 5% โดยน้ำหนัก เช่นเดียวกันกับกรณีของอิฐมอญผสมชานอ้อยซึ่งให้ค่าคุณสมบัติของอิฐเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.77 - 2545 ว่าด้วยอิฐสามัญก่อสร้าง โดยอิฐมีค่าการรับกำลังอัดเฉลี่ย 52.88 kg/cm^2 และค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 21.20% อีกทั้งอิฐที่ได้ยังมีความพรุนตัวเพิ่มมากขึ้นและค่าความถ่วงจำเพาะลดลงจากอิฐดินเหนียวถึง 18.63% อีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองครั้งต่อไปควรมีการศึกษาสมบัติด้านการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของอิฐ ซึ่งคุณลักษณะด้านการนำความร้อนตามมาตรฐานของ มอก 77-2545 ว่าด้วยเรื่องอิฐสามัญก่อสร้าง ยังไม่ได้กำหนดคุณลักษณะนี้ไว้ หากมีการศึกษาจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง นอกจากนั้นยังเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐมอญซึ่งจะเกิดประโยชน์อย่างยิ่งเพราะจะช่วยลดพลังงานในการเผาอิฐ และทำให้ประหยัดต้นทุนในการผลิต อีกทั้งยังเป็นการนำเศษวัสดุเหลือใช้ที่มีมากในปัจจุบันมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อสร้างรูพรุนในเนื้ออิฐ ดังนั้นถ้าหากการศึกษาครั้งนี้มีความเป็นไปได้ก็จะเป็นประโยชน์สำหรับการต่อยอดในการทำวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุก่อสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างที่กำลังเติบโตในขณะนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

ชัยยศ สันติวงษ์. (2533). **การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ.** กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช

ณัฐดนย์ พวงพุฒ และสืบพงษ์ สวัสดี. (2544). **การศึกษาวัสดุก่อสร้างที่ประหยัดพลังงานเพื่อนำมาใช้ในงานอาคาร.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาก่อสร้างและงานไม้ (เทคโนโลยีโยธา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ธงชัย สันติวงษ์. (2531). **หลักการจัดการ.** กรุงเทพฯ : ไทยวัฒนาพานิช.

ธีระศักดิ์ อรัญพิทักษ์. (2543). **การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลตอบแทนทางการเงินของการลงทุนโรงงานอิฐในอำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย**. การค้นคว้าอิสระ เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นพวรรณ ต่อเรืองวัฒนา. (2548). **การศึกษาความเป็นไปได้ของการประกอบธุรกิจผลิตอิฐมอญในจังหวัดเชียงราย.** เชียงใหม่ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นราทิพย์ ชุติวงศ์. (2544). **เศรษฐศาสตร์การจัดการ**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ. (2554). **การออกแบบและพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาในเขตพื้นที่จังหวัดภาคตะวันนออกเฉียงเหนือตอนกลาง.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.

สุภาพรรณ ธรรมสุวรรณ. **การจัดการสนามหญ้า (Lawn Management)**. พิษณุโลก : ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร.

เอก ช่อประดับ. (2547). **คุณสมบัติเชิงกายภาพของอิฐสามัญที่ทำจากดินเหนียวผสมแกลบ**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Adeola J.O., (1977). A review of masonry block/brick types used for building in Nigeria. M. Eng. Thesis University of Benin : Benin-City.

American society for testing of materials, DesignationC 326-82. (2002). "**Standard test method Fordrying and firing shrinkage of ceramic whitewares clays**". In : Annual book of ASTM standard 15.02, West Conshohocken, Pennsylvania : ASTM.

American society for testing of materials, Designation C 373-88 "**Standard test method for water absorption, bulk density, apparent density and apparent specific gravity of firedwhitewares products**". In: Annual Book of ASTM standard 15.02, West Conshohocken,Pennsylvania : ASTM (2002).

American society for testing of materials, Designation C773-88 "**Standard test method for compressive (crushing) strength of fired whitewares materials**". In Annual Book of ASTM standard 15.02, West Conshohocken, Pennsylvania : ASTM (2002)

American society for testing of materials, Designation C177-97 "**Standard test method Forsteady-state heat flux measurements and thermal transmission properties by means ofthe guarded-hot-plate pparatus**". In: Annual Book of ASTM standard 04.06, West Conshohocken, Pennsylvania : ASTM (2000)

ASTM C326-09. (2014). "Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic White ware Clays," **ASTM Book of Standards**. Vol. 15 NO. 2.

ASTM C373-14. (2014). "Standard Test Method for Water Absorption," **Bulk Density.** Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whit

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

eware Products, Ceramic Tiles, and Glass Tiles, ASTM Book of Standards Vol. 15 : 02.

Chopradub A. (2004), "**Physical properties of common brick made from mixtures of clay and rice husk**". M. Eng. Thesis, Chiang Mai University.

Cultrone G., Sebastián E., Torre de la M.J., (2005). "**Mineralogical and physical behavior of solidbricks with additives**". J. Construct Build Mater. NO. 19 : 39-48.

Demir I., (2008). **"Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks".** J. Waste Manage. Vol 28 : 622-627.

Faria K C P, Gurgel R F, Holanda J N F. (2012), "**Recycling of sugarcane Bagasse ash waste in the production of clay bricks**", *Environ Manage*, 101, 7-12.

Gorhan G and Şimşek O. (2013), "**Porous clay bricks manufactured with rice husks**", *Constr Build Mater*, 40, 390–396.

Kadir A A, Maasom N. (2013), "**Recycling sugarcane bagasse waste in to fired clay brick**",Zero waste Genera, 1, 21-26.

Karaman S., Gunal H., Ersahin S., **"Assessment of clay brick compressive strength using quantitative values of colour components"**. J. Construct Build Mater. 20: 348-354,2006.

Phonphuak, N., Chindraprasirt, P. (2014). **Types of waste, properties and durability of pore forming waste-based fired masonry bricks, in Eco-efficient masonry bricks and blocks : design, properties and durability**, 1st Edition, Editors: F. Pacheco-Torgal, P.B. Lourenço, J.A. Labrincha, S. Kumar, and P. Chindaprasirt, Woodhead Publishing : 103-127.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Prachumpun P. (1994). **Quality improvement of Hang Dong clay for some ceramic products development**. M.S. Thesis, Chiang Mai University.

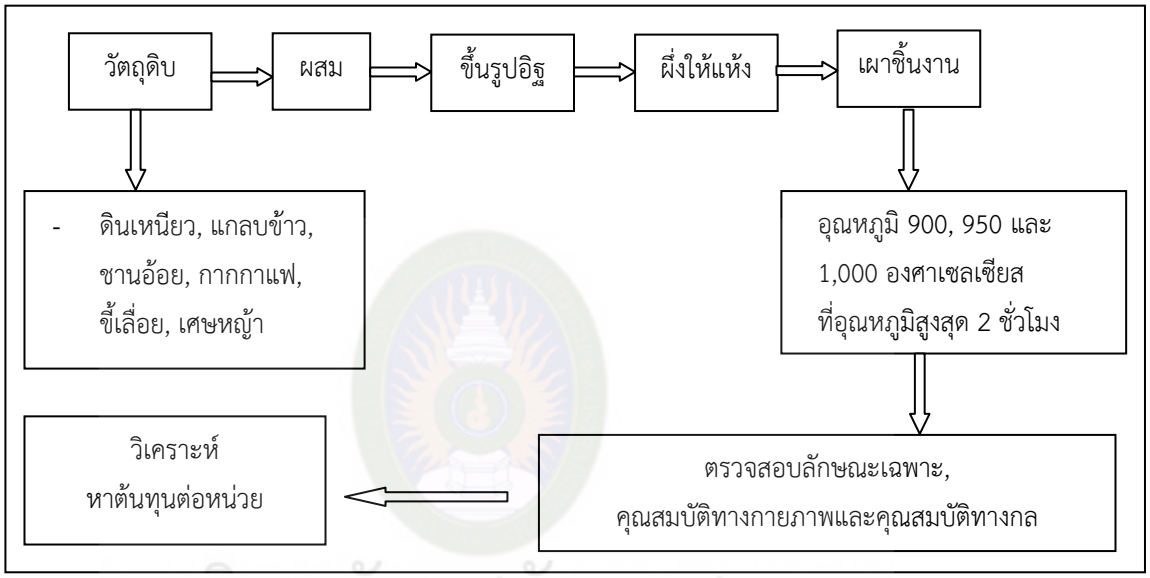
Souza A E, Teixeira S R, Santos G T A, Costa F B, Longo E. (2011). “Reuse of sugarcane bagasse ash (SCBA) to produce ceramic materials,” **Environ Manage.** Vol. 92 NO. 14 : 2774-2780.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

แผนภาพภาคผนวกที่ 1 แสดงขั้นตอนการทดลอง

1. การเตรียมวัตถุดิบ

ส่วนผสมวัสดุชีวมวล 5 ชนิด คือ ขี้เลื่อย กากกาแฟ แกลบข้าว ชานอ้อยและเศษหญ้า โดยใช้อัตราส่วนผสมต่อดินเหนียวของวัสดุทั้ง 5 ชนิดในอัตราส่วนที่แตกต่างกันออกไปคือที่อัตราส่วนผสม 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนัก โดยใช้อัตราส่วนผสมดังตารางภาคผนวกที่ 1

ตารางภาคผนวกที่ 1 แสดงอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง (โดยน้ำหนัก)

ลำดับที่	ชนิดของกากวัสดุ	อัตราส่วนผสม	ดิน(%)

		(%) โดยน้ำหนัก	โดยน้ำหนัก
1	แกลบข้าว , ขี้เลื่อย,กากกาแฟ,ชานอ้อย , เศษหญ้า	0	100
2	แกลบข้าว , ขี้เลื่อย,กากกาแฟ,ชานอ้อย , เศษหญ้า	5	95

ลำดับที่	ชนิดของกากวัสดุ	อัตราส่วนผสม (%) โดยน้ำหนัก	ดิน(%) โดยน้ำหนัก
3	แกลบข้าว , ขี้เลื่อย,กากกาแฟ,ชานอ้อย , เศษหญ้า	10	90
4	แกลบข้าว , ขี้เลื่อย,กากกาแฟ,ชานอ้อย , เศษหญ้า	15	85
5	แกลบข้าว , ขี้เลื่อย,กากกาแฟ,ชานอ้อย , เศษหญ้า	20	80

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ดินเหนียว | **แกลบข้าว**

กากกาแฟ | **ชานอ้อย**

ขี้เลื่อย	เศษ

ภาพภาคผนวกที่ 1 ส่วนผสมวัสดุชีวมวล

2. การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

ในขั้นตอนการเตรียมชิ้นตัวอย่าง จะนำวัสดุชีวมวลทั้ง 5ชนิด คือ แกลบข้าว ขี้เลื่อย กากกาแฟ ชานอ้อยและเศษหญ้า มาผสมระหว่างดินเหนียวกับวัสดุทั้ง 5 ชนิด โดยใช้มือเพื่อให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และใช้น้ำเป็นส่วนผสมตั้งแต่ 25 - 30% วิธีการขึ้นรูปอ้างอิงจากการผลิตแบบชาวบ้านซึ่งเป็นการขึ้นรูปโดยวิธีโคลนอ่อน (Soft - Mud Process) อัดดินลงในแบบที่มีขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร หลังการขึ้นรูปผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง (กระแสอากาศ)

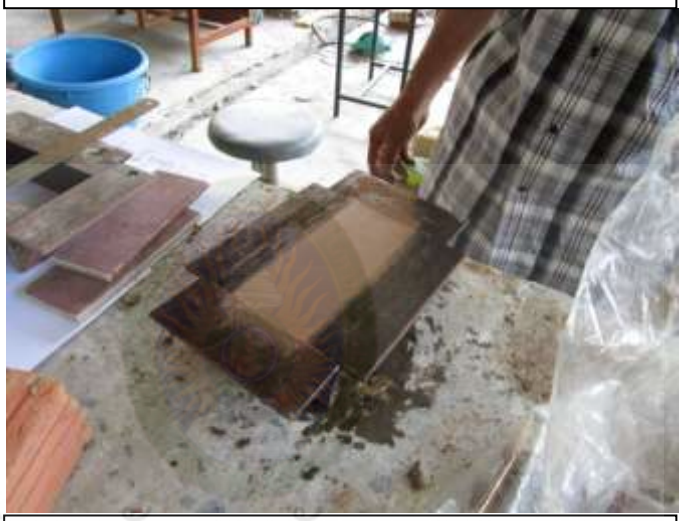
ภาพภาคผนวกที่ 2 อุปกรณ์ในการเตรียมชิ้นตัวอย่าง

ภาพภาคผนวกที่ 3 การผสมและนวดดินให้เข้ากัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

อัดดินเข้าแบบให้แน่น

ปาดแต่งหน้าให้เรียบ



ดินที่แต่งหน้าเรียบร้อยพร้อมดันออกจากแบบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพภาคผนวกที่ 4 การขึ้นรูปอิฐ

ดันอิฐออกจากแบบ

ผึ่งอิฐให้แห้งในร่ม 7 – 10 วัน

ภาพภาคผนวกที่ 5 การขึ้นรูปและผึ่งอิฐ

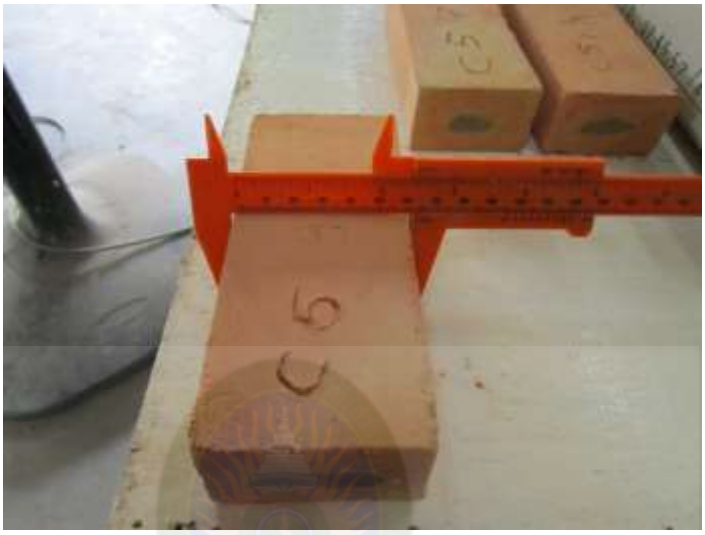
เตาเผาแบบแก๊สที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

นำอิฐเรียงเข้าเตาเผาแบบแก๊ส

เผาอิฐด้วยเตาเผาแบบแก๊ส

ภาพภาคผนวกที่ 6 การเผาอิฐ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพภาคผนวกที่ 7 อิฐที่ผ่านการเผาเรียบร้อย

วัดขนาดและชั่งน้ำหนักอิฐหลังการเผา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ทดสอบอิฐด้วยเครื่องทดสอบ

รูปภาคผนวกที่ 8 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของอิฐ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

แบบเก็บข้อมูลตัวอย่าง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 2 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมแกลบข้าว5% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			หนักก่อนเผา(g)	หนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
แกลบ 5% เผาที่ 900°C	H5-1	6.45	15.60	3.75	6.42	15.55	3.70	660.31	595.17	703.95	9,800.00
	H5-2	6.45	15.60	3.85	6.42	15.55	3.80	671.07	596.38	705.60	9,300.00
	H5-3	6.50	15.55	3.85	6.45	15.50	3.83	662.46	587.28	702.00	9,500.00
เฉลี่ย		**6.47**	**15.58**	**3.82**	**6.43**	**15.53**	**3.78**	**664.61**	**592.94**	**703.85**	**9,533.33**
แกลบ 5% เผาที่ 950°C	H5-6	6.40	15.60	3.85	6.35	15.50	3.80	648.90	582.70	687.38	9,600.00
	H5-7	6.40	15.60	3.80	6.33	15.55	3.75	658.50	593.32	702.43	10,200.00
	H5-8	6.35	15.55	3.85	6.33	15.50	3.80	670.30	590.46	689.10	10,500.00
เฉลี่ย		**6.38**	**15.58**	**3.83**	**6.34**	**15.52**	**3.78**	**659.23**	**588.83**	**692.97**	**10,100.00**
แกลบ 5% เผาที่ 1000°C	H5-11	6.40	15.65	3.80	6.32	15.50	3.75	643.40	578.66	684.81	11,100.00
	H5-12	6.38	15.60	3.85	6.30	15.50	3.80	658.90	593.14	695.75	10,400.00
	H5-13	6.40	15.60	3.90	6.30	15.55	3.85	661.80	595.11	695.95	9,400.00
เฉลี่ย		**6.39**	**15.62**	**3.85**	**6.31**	**15.52**	**3.80**	**654.70**	**588.97**	**692.17**	**10,300.00**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 3 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมแกลบข้าว 10% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			หนักก่อนผา (g)	หนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
แกลบ 10% เผาที่ 900°C	H10-1	6.35	15.60	3.85	6.30	15.55	3.83	659.70	550.55	683.57	4,200.00
	H10-2	6.45	15.50	3.80	6.45	15.40	3.77	641.29	542.09	680.77	3,700.00
	H10-3	6.45	15.60	3.90	6.40	15.55	3.85	637.57	540.54	670.12	4,000.00
เฉลี่ย		**6.42**	**15.57**	**3.85**	**6.38**	**15.50**	**3.82**	**646.19**	**544.39**	**678.15**	**3,966.67**
แกลบ 10% เผาที่ 950°C	H10-6	6.34	15.75	3.85	6.30	15.65	3.80	621.00	543.70	670.00	4,800.00
	H10-7	6.40	15.75	3.90	6.30	15.65	3.85	639.15	550.81	683.24	4,600.00
	H10-8	6.35	15.60	3.85	6.28	15.55	3.83	635.95	546.64	677.00	4,500.00
เฉลี่ย		**6.36**	**15.70**	**3.87**	**6.29**	**15.62**	**3.83**	**632.03**	**547.05**	**676.75**	**4,633.33**
แกลบ 10%	H10-11	6.40	15.50	3.85	6.37	15.40	3.82	622.28	539.86	660.68	4,500.00

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เผาที่ 1000°C	H10-12	6.40	15.55	3.80	6.35	15.45	3.77	621.00	545.19	665.06	4,700.00
	H10-13	6.35	15.60	3.80	6.33	15.53	3.78	628.30	544.61	668.97	5,100.00
เฉลี่ย		**6.38**	**15.55**	**3.82**	**6.35**	**15.46**	**3.79**	**623.86**	**543.22**	**664.90**	**4,766.67**

ตารางภาคผนวกที่ 4 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมแกลบข้าว15% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	**รหัสก้อนตัวอย่าง**	**ขนาดก่อนเผา(cm.)**			**ขนาดหลังเผา(cm.)**			**หนักก่อนผา (g)**	**หนักหลังเผา(g)**	**น้ำหนักเปียก (g)**	**แรงอัด (kg.)**
		กว้าง	**ยาว**	**หนา**	**กว้าง**	**ยาว**	**หนา**				
แกลบ 15%เผาที่ 900°C	H15-1	6.55	15.57	3.85	6.50	15.60	3.80	600.30	488.87	642.09	2,200.00
	H15-2	6.55	15.60	3.85	6.50	15.60	3.80	600.65	489.41	644.80	1,800.00
	H15-3	6.45	15.63	3.80	6.45	15.50	3.80	581.24	473.52	630.00	2,100.00
เฉลี่ย		**6.52**	**15.60**	**3.83**	**6.48**	**15.57**	**3.80**	**594.06**	**483.93**	**638.96**	**2,033.33**
แกลบ 15%เผาที่ 950°C	H15-6	6.45	15.60	3.85	6.40	15.60	3.80	596.20	489.79	635.04	2,100.00
	H15-7	6.45	15.70	3.85	6.45	15.60	3.80	607.80	498.65	650.79	2,300.00
	H15-8	6.53	15.65	3.85	6.50	15.60	3.80	600.80	492.16	640.21	2,100.00
เฉลี่ย		**6.48**	**15.65**	**3.85**	**6.45**	**15.60**	**3.80**	**601.60**	**493.53**	**642.01**	**2,166.67**
แกลบ 15%เผาที่ 1000°C	H15-11	6.43	15.60	3.85	6.40	15.60	3.80	593.30	483.56	631.75	1,900.00
	H15-12	6.43	15.80	3.80	6.40	15.70	3.70	595.80	488.08	630.88	2,400.00

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

	H15-13	6.45	15.75	3.85	6.40	15.60	3.80	599.45	492.68	635.70	2,300.00
เฉลี่ย		**6.44**	**15.72**	**3.83**	**6.40**	**15.63**	**3.77**	**596.18**	**488.11**	**632.78**	**2,200.00**

ตารางภาคผนวกที่ 5 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมแกลบข้าว 20% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก(g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
แกลบ 20%เผาที่ 900°C	H20-1	6.50	15.90	3.85	6.48	15.86	3.83	576.71	453.26	620.82	1,200.00
	H20-2	6.66	15.80	3.95	6.60	15.75	3.90	595.23	471.05	640.07	1,100.00
	H20-3	6.55	15.90	3.95	6.53	15.85	3.92	586.43	459.84	635.51	1,100.00
เฉลี่ย		**6.57**	**15.87**	**3.92**	**6.54**	**15.82**	**3.88**	**586.12**	**461.38**	**632.13**	**1,133.33**
แกลบ 20%เผาที่ 950°C	H20-6	6.50	15.85	3.85	6.45	15.80	3.82	575.03	454.17	619.81	1,800.00
	H20-7	6.50	15.80	3.80	6.47	15.75	3.75	567.16	447.87	610.00	1,600.00
	H20-8	6.55	15.85	3.90	6.53	15.80	3.85	584.90	462.56	630.00	1,500.00
เฉลี่ย		**6.52**	**15.83**	**3.85**	**6.48**	**15.78**	**3.81**	**575.70**	**454.87**	**619.94**	**1,633.33**
แกลบ 20%เผาที่ 1000°C	H20-11	6.50	15.85	3.85	6.40	15.80	3.80	578.10	455.40	618.29	1,700.00
	H20-12	6.60	15.70	3.83	6.50	15.65	3.80	583.40	459.11	622.40	1,600.00
	H20-13	6.50	15.70	3.90	6.45	15.60	3.85	575.50	451.72	614.69	1,700.00
เฉลี่ย											**1,666.67**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

		6.53	**15.75**	**3.86**	**6.45**	**15.68**	**3.82**	**579.00**	**455.41**	**618.46**	

ตารางภาคผนวกที่ 6 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 5% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	**รหัสก้อนตัวอย่าง**	**ขนาดก่อนเผา(cm.)**			**ขนาดหลังเผา(cm.)**			**น้ำหนักก่อนเผา(g)**	**น้ำหนักหลังเผา(g)**	**น้ำหนักเปียก (g)**	**แรงอัด (kg.)**
		กว้าง	**ยาว**	**หนา**	**กว้าง**	**ยาว**	**หนา**				
ขี้เลื่อย 5%เผาที่ 900°C	S5-1	64.51	15.46	39.52	6.45	15.40	3.90	650.22	585.34	688.30	13,900.00
	S5-2	64.52	15.50	38.00	6.45	15.50	3.70	660.34	597.45	699.68	14,200.00
	S5-3	64.50	15.45	38.50	6.45	15.40	3.80	653.70	590.56	696.87	12,900.00
เฉลี่ย		**64.51**	**15.47**	**38.67**	**6.45**	**15.43**	**3.80**	**654.75**	**591.12**	**694.95**	**13,666.67**
ขี้เลื่อย 5%เผาที่ 950°C	S5-6	6.40	15.50	3.90	6.40	15.45	3.90	663.75	598.76	705.60	14,500.00
	S5-7	6.45	15.45	3.85	6.40	15.45	3.80	649.91	585.83	687.50	13,800.00
	S5-8	6.35	15.50	3.80	6.30	15.40	3.75	651.38	591.91	691.19	13,700.00
เฉลี่ย		**6.40**	**15.48**	**3.85**	**6.37**	**15.43**	**3.82**	**655.01**	**592.17**	**694.76**	**14,000.00**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ขี้เลื่อย 5%เผาที่ 1000°C	S5-11	6.45	15.40	3.95	6.35	15.30	3.80	662.15	595.60	698.43	14,800.00
	S5-12	6.40	15.45	3.85	6.35	15.40	3.80	654.84	588.61	686.24	14,500.00
	S5-13	6.40	15.40	3.90	6.40	15.35	3.80	660.33	593.50	692.50	13,500.00
เฉลี่ย		**6.42**	**15.42**	**3.90**	**6.37**	**15.35**	**3.80**	**659.11**	**592.57**	**692.39**	**14,266.67**

ตารางภาคผนวกที่ 7 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 10% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก(g)	แรงอัด(kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
ขี้เลื่อย 10% เผาที่ 900°C	S10-1	6.35	15.60	3.74	6.40	15.55	3.70	542.28	500.99	614.45	5,900.00
	S10-2	6.35	15.55	3.74	6.40	15.45	3.70	546.24	509.44	626.07	6,100.00
	S10-3	6.45	15.46	3.76	6.45	15.40	3.75	538.31	497.00	607.58	6,300.00
เฉลี่ย		**6.38**	**15.54**	**3.75**	**6.42**	**15.47**	**3.72**	**542.28**	**502.48**	**616.03**	**6,100.00**
ขี้เลื่อย 10% เผาที่	S10-6	6.50	15.65	3.80	6.45	15.55	3.80	593.08	509.10	622.08	6,200.00
	S10-7	6.45	15.50	3.80	6.40	15.40	3.80	597.30	513.17	627.42	6,800.00

950°C	S10-8	6.35	15.45	3.75	6.35	15.40	3.70	580.16	497.96	609.16	5,700.00
เฉลี่ย		**6.43**	**15.53**	**3.78**	**6.40**	**15.45**	**3.77**	**590.18**	**506.74**	**619.55**	**6,233.33**
ขี้เลื่อย 10% เผาที่ 1000°C	S10-11	6.30	15.50	3.90	6.30	15.40	3.85	604.60	516.95	627.82	6,900.00
	S10-12	6.45	15.50	3.80	6.38	15.40	3.75	595.29	509.04	618.10	6,500.00
	S10-13	6.45	15.70	3.70	6.40	15.60	3.60	586.70	501.06	611.90	7,000.00
เฉลี่ย		**6.40**	**15.57**	**3.80**	**6.36**	**15.47**	**3.73**	**595.53**	**509.02**	**619.27**	**6,800.00**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 8 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 15% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
ขี้เลื่อย 15% เผาที่ 900°C	S15-1	6.55	15.60	38.50	6.50	15.60	3.82	542.20	444.32	574.57	2,200.00
	S15-2	6.52	15.55	38.50	6.50	15.50	3.83	546.00	447.09	578.64	2,300.00
	S15-3	6.45	15.60	38.40	6.40	15.60	3.82	538.07	440.72	570.75	2,300.00

เฉลี่ย		**6.51**	**15.58**	**38.47**	**6.47**	**15.57**	**3.82**	**542.09**	**444.04**	**574.65**	**2,266.67**
ขี้เลื่อย 15% เผาที่ 950°C	S15-6	6.45	15.70	3.70	6.40	15.70	3.64	524.22	431.50	553.52	2,300.00
	S15-7	6.50	15.60	3.70	6.38	15.60	3.64	527.69	434.39	554.42	2,300.00
	S15-8	6.50	15.70	3.75	6.45	15.60	3.70	549.93	452.15	583.02	2,500.00
เฉลี่ย		**6.48**	**15.67**	**3.72**	**6.41**	**15.63**	**3.66**	**533.95**	**439.35**	**563.65**	**2,366.67**
ขี้เลื่อย 15% เผาที่ 1000°C	S15-11	6.40	15.70	3.65	6.35	15.65	3.60	530.50	436.34	556.39	2,200.00
	S15-12	6.50	15.60	3.70	6.40	15.50	3.70	539.45	442.11	565.47	2,500.00
	S15-13	6.35	15.70	3.70	6.30	15.65	3.70	536.89	440.44	563.88	2,500.00
เฉลี่ย		**6.42**	**15.67**	**3.68**	**6.35**	**15.60**	**3.67**	**535.61**	**439.63**	**561.91**	**2,400.00**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 9 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 20% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา (g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				

ขี้เลื่อย 20% เผาที่ 900°C	S20-1	6.50	15.60	3.80	6.50	15.60	3.80	481.16	374.06	531.33	1,000.00
	S20-2	6.60	15.60	3.72	6.60	15.60	3.70	470.00	365.71	520.03	1,100.00
	S20-3	6.50	16.00	3.74	6.50	15.80	3.70	475.09	369.59	524.05	1,000.00
เฉลี่ย		**6.53**	**15.73**	**3.75**	**6.53**	**15.67**	**3.73**	**475.42**	**369.79**	**525.14**	**1,033.33**
ขี้เลื่อย 20% เผาที่ 950°C	S20-6	6.45	15.50	3.75	6.40	15.45	3.70	474.10	370.72	517.48	1,100.00
	S20-7	6.40	15.70	3.80	6.30	15.60	3.80	483.70	376.24	529.76	1,000.00
	S20-8	6.40	15.65	3.75	6.30	15.60	3.80	472.60	369.53	520.45	1,100.00
เฉลี่ย		**6.42**	**15.62**	**3.77**	**6.33**	**15.55**	**3.77**	**476.80**	**372.16**	**522.56**	**1,066.67**
ขี้เลื่อย 20% เผาที่ 1000°C	S20-11	6.45	15.80	3.70	6.45	15.70	3.60	469.03	362.89	511.63	1,300.00
	S20-12	6.40	15.70	3.60	6.35	15.65	3.60	470.57	363.40	512.77	1,100.00
	S20-13	6.45	15.80	3.80	6.35	15.70	3.70	471.00	367.67	512.73	1,300.00
เฉลี่ย		**6.43**	**15.77**	**3.70**	**6.38**	**15.68**	**3.63**	**470.20**	**364.65**	**512.38**	**1,233.33**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 10 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมกากกาแฟ 5% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
กากกาแฟ 5% เผาที่ 900°C	C5-1	6.35	15.47	3.85	6.35	15.30	3.85	638.07	569.01	675.71	12,400.00
	C5-2	6.46	15.48	3.80	6.30	15.35	3.65	637.18	567.56	672.92	13,000.00
	C5-3	6.40	15.46	3.75	6.30	15.40	3.70	641.96	571.93	677.91	12,800.00
เฉลี่ย		**6.40**	**15.47**	**3.80**	**6.32**	**15.35**	**3.73**	**639.07**	**569.50**	**675.51**	**12,733.33**
กากกาแฟ 5% เผาที่ 950°C	C5-6	6.35	15.50	3.74	6.30	15.40	3.70	632.80	567.98	670.67	13100
	C5-7	6.40	15.47	3.75	6.35	15.30	3.65	641.20	579.57	679.25	13300
	C5-8	6.40	15.50	3.70	6.40	15.40	3.65	640.00	578.89	678.03	12800
เฉลี่ย		**6.38**	**15.49**	**3.73**	**6.35**	**15.37**	**3.67**	**638.00**	**575.48**	**675.98**	**13,066.67**
กากกาแฟ 5% เผาที่ 1000°C	C5-11	6.45	15.50	3.70	6.40	15.35	3.60	626.40	563.40	657.28	13500
	C5-12	6.40	15.45	3.75	6.35	15.30	3.65	629.40	566.25	662.34	13000
	C5-13	6.35	15.50	3.75	6.30	15.40	3.60	635.95	569.98	670.19	13700
เฉลี่ย		**6.40**	**15.48**	**3.73**	**6.35**	**15.35**	**3.62**	**630.58**	**566.54**	**663.27**	**13,400.00**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 11 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมกากกาแฟ 10% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
กากกาแฟ 10% เผาที่ 900°C	C10-1	6.40	15.47	37.50	6.35	15.40	3.70	580.11	492.34	604.85	7000
	C10-2	6.40	15.20	38.50	6.30	15.20	3.80	579.48	493.03	605.59	7300
	C10-3	6.37	15.30	37.50	6.35	15.30	3.70	573.85	487.52	596.77	6800
เฉลี่ย		**6.39**	**15.32**	**37.83**	**6.33**	**15.30**	**3.73**	**577.81**	**490.96**	**602.40**	**7,033.33**
กากกาแฟ 10% เผาที่ 950°C	C10-6	6.40	15.20	3.75	6.35	15.18	3.70	578.72	497.23	607.17	7300
	C10-7	6.40	15.33	3.75	6.35	15.30	3.80	576.47	494.82	606.89	7500
	C10-8	6.40	15.35	3.75	6.35	15.32	3.70	575.88	493.91	603.06	6500
เฉลี่ย		**6.40**	**15.29**	**3.75**	**6.35**	**15.27**	**3.73**	**577.02**	**495.32**	**605.71**	**7,100.00**
กากกาแฟ 10% เผาที่ 1000°C	C10-11	6.40	15.25	3.70	6.40	15.20	3.70	566.78	485.82	598.86	7400
	C10-12	6.40	15.45	3.75	6.40	15.40	3.70	582.82	498.05	603.18	7400
	C10-13	6.40	15.30	3.72	6.40	15.30	3.70	571.90	490.76	597.47	6500

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เฉลี่ย		**6.40**	**15.33**	**3.72**	**6.40**	**15.30**	**3.70**	**573.83**	**491.54**	**599.84**	**7,100.00**

ตารางภาคผนวกที่ 12 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมกากกาแฟ 15% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	**รหัสก้อนตัวอย่าง**	**ขนาดก่อนเผา(cm.)**			**ขนาดหลังเผา(cm.)**			**น้ำหนักก่อนเผา(g)**	**น้ำหนักหลังเผา(g)**	**น้ำหนักเปียก (g)**	**แรงอัด (kg.)**
		กว้าง	**ยาว**	**หนา**	**กว้าง**	**ยาว**	**หนา**				
กากกาแฟ 15% เผาที่ 900°C	C15-1	6.45	15.30	3.80	6.40	15.30	3.80	515.81	413.65	534.25	3,500.00
	C15-2	6.30	15.47	3.76	6.30	15.40	3.70	505.05	406.60	526.24	2,300.00
	C15-3	6.35	15.45	3.74	6.30	15.40	3.70	508.04	407.30	526.30	2,500.00
เฉลี่ย		**6.37**	**15.41**	**3.77**	**6.33**	**15.37**	**3.73**	**509.63**	**409.18**	**528.93**	**2,766.67**
กากกาแฟ 15% เผาที่ 950°C	C15-6	6.30	15.46	3.75	6.35	15.43	3.64	500.18	406.11	522.29	3700
	C15-7	6.35	15.45	3.76	6.45	15.26	3.74	501.70	408.07	521.85	3300
	C15-8	6.30	15.50	3.75	6.35	15.36	3.74	505.25	409.92	520.58	3400
เฉลี่ย		**6.32**	**15.47**	**3.75**	**6.38**	**15.35**	**3.71**	**502.38**	**408.03**	**521.57**	**3,466.67**
กาก	C15-11	6.35	15.40	3.75	6.30	15.30	3.80	507.87	411.28	525.45	3700

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

กาแฟ 15% เผาที่ 1000°C	C15-12	6.34	15.50	3.70	6.30	15.30	3.70	505.63	409.81	521.00	3600
	C15-13	6.30	15.45	3.70	6.30	15.30	3.60	500.84	404.32	518.00	3300
เฉลี่ย		**6.33**	**15.45**	**3.72**	**6.30**	**15.30**	**3.70**	**504.78**	**408.47**	**521.48**	**3,533.33**

ตารางภาคผนวกที่ 13 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมกากกาแฟ20% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
กากกาแฟ 20% เผาที่ 900°C	C20-1	6.45	15.00	3.86	6.40	14.78	3.85	444.92	335.49	488.81	1000
	C20-2	6.50	15.00	3.77	6.45	14.90	3.74	445.57	337.48	492.41	1000
	C20-3	6.47	15.10	3.86	6.40	15.00	3.85	459.79	344.46	502.30	1100
เฉลี่ย		**6.47**	**15.03**	**3.83**	**6.42**	**14.89**	**3.81**	**450.09**	**339.14**	**494.51**	**1,033.33**
กากกาแฟ 20% เผาที่ 950°C	C20-6	6.40	15.20	3.65	6.35	15.00	3.60	431.28	330.42	473.43	1200
	C20-7	6.50	14.80	3.80	6.50	14.60	3.75	440.59	338.09	486.60	1100
	C20-8	6.45	15.00	3.90	6.40	14.90	3.70	448.00	342.51	494.38	950

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เฉลี่ย		**6.45**	**15.00**	**3.78**	**6.42**	**14.83**	**3.68**	**439.96**	**337.01**	**484.80**	**1,083.33**
กาก กาแฟ 20% เผาที่ 1000°C	C20-11	6.50	14.80	3.80	6.40	14.55	3.70	432.71	330.19	473.01	1200
	C20-12	6.30	15.30	3.75	6.30	15.10	3.75	453.87	346.57	493.63	1000
	C20-13	6.30	14.80	3.80	6.20	14.70	3.80	443.25	338.72	485.65	1000
เฉลี่ย		**6.37**	**14.97**	**3.78**	**6.30**	**14.78**	**3.75**	**443.28**	**338.49**	**484.10**	**1,066.67**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 14 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมชานอ้อย 5% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา (g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
ชานอ้อย 5%เผาที่ 900°C	BA5-1	6.45	16.46	3.80	6.43	16.00	3.77	577.58	517.03	627.50	5,400.00
	BA5-2	6.35	16.47	3.70	6.30	16.00	3.67	570.86	510.65	681.52	4,500.00
	BA5-3	6.45	16.48	3.85	6.42	16.20	3.80	589.06	527.40	640.87	4,600.00
เฉลี่ย											

		6.42	**16.47**	**3.78**	**6.38**	**16.07**	**3.75**	**579.17**	**518.36**	**649.96**	**4,833.33**
ชานอ้อย 5%เผาที่ 950°C	BA5-6	6.45	16.50	3.75	6.40	16.10	3.70	590.40	528.38	655.70	4,900.00
	BA5-7	6.40	16.30	3.70	6.37	16.00	3.70	572.95	517.85	630.84	5,500.00
	BA5-8	6.45	16.20	3.85	6.40	16.00	3.80	588.84	528.30	650.86	4,800.00
เฉลี่ย		**6.43**	**16.33**	**3.77**	**6.39**	**16.03**	**3.73**	**584.06**	**524.84**	**645.80**	**5,066.67**
ชานอ้อย 5%เผาที่ 1000°C	BA5-11	6.40	16.30	3.70	6.35	16.00	3.65	574.10	525.64	635.25	5,300.00
	BA5-12	6.45	16.40	3.85	6.40	15.80	3.80	588.57	532.57	640.37	5,500.00
	BA5-13	6.45	16.30	3.80	6.40	15.80	3.75	575.00	528.15	625.57	6,200.00
เฉลี่ย		**6.43**	**16.33**	**3.78**	**6.38**	**15.87**	**3.73**	**579.22**	**528.79**	**633.73**	**5,666.67**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 15 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมชานอ้อย10% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	**รหัสก้อนตัวอย่าง**	**ขนาดก่อนเผา(cm.)**			**ขนาดหลังเผา(cm.)**			**น้ำหนักก่อนเผา(g)**	**น้ำหนักหลังเผา(g)**	**น้ำหนักเปียก (g)**	**แรงอัด (kg.)**
		กว้าง	**ยาว**	**หนา**	**กว้าง**	**ยาว**	**หนา**				
ชานอ้อย 10%เผา	BA10-1	6.45	16.20	3.74	6.43	16.00	3.72	464.00	394.28	532.41	1,600.00
	BA10-2										

ที่		6.40	16.30	3.55	6.40	16.10	3.55	455.05	386.64	518.98	1,500.00
900°C	BA10-3	6.35	16.30	3.54	6.33	16.00	3.52	454.51	385.04	515.34	1,500.00
เฉลี่ย		**6.40**	**16.27**	**3.61**	**6.39**	**16.03**	**3.60**	**457.85**	**388.65**	**522.24**	**1,533.33**
ชานอ้อย	BA10-6	6.35	16.20	3.75	6.33	16.00	3.70	475.03	408.58	547.09	1,700.00
10%เผา	BA10-7	6.35	16.30	3.60	6.32	16.00	3.60	452.78	390.10	520.80	1,500.00
ที่ 950°C	BA10-8	6.35	16.30	3.55	6.33	15.80	3.53	445.05	383.05	508.30	1,500.00
เฉลี่ย		**6.35**	**16.27**	**3.63**	**6.33**	**15.93**	**3.61**	**457.62**	**393.91**	**525.40**	**1,566.67**
ชานอ้อย	BA10-11	6.35	16.20	3.70	6.35	15.90	3.70	472.30	405.61	536.70	1,700.00
10%เผา	BA10-12	6.40	16.30	3.65	6.35	15.80	3.60	456.50	402.10	519.26	1,600.00
ที่ 1000°C	BA10-13	6.40	16.30	3.60	6.35	15.90	3.55	456.21	398.10	522.26	1,600.00
เฉลี่ย		**6.38**	**16.27**	**3.65**	**6.35**	**15.87**	**3.62**	**461.67**	**401.94**	**526.07**	**1,633.33**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 16 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมเศษหญ้า 5% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
เศษหญ้า 5% เผาที่ 900°C	G5-1	6.40	15.60	3.75	6.40	15.57	3.74	630.60	560.70	689.20	4,500.00
	G5-2	6.35	15.63	3.60	6.35	15.60	3.58	596.37	532.32	633.40	5,500.00
	G5-3	6.35	15.60	3.74	6.33	15.58	3.73	611.00	540.37	669.18	4,300.00
เฉลี่ย		**6.37**	**15.61**	**3.70**	**6.36**	**15.58**	**3.68**	**612.66**	**544.46**	**663.93**	**4,766.67**
เศษหญ้า 5% เผาที่ 950°C	G5-6	6.40	15.60	3.80	6.36	15.57	3.78	628.27	560.24	690.17	6,200.00
	G5-7	6.40	15.60	3.70	6.37	15.58	3.67	606.48	545.85	671.23	5,000.00
	G5-8	6.38	15.55	3.65	6.35	15.51	3.63	644.72	560.67	660.80	4,800.00
เฉลี่ย		**6.39**	**15.58**	**3.72**	**6.36**	**15.55**	**3.69**	**626.49**	**555.59**	**674.07**	**5,333.33**
เศษหญ้า 5% เผาที่ 1000°C	G5-11	6.45	15.60	3.80	6.41	15.58	3.77	625.93	570.47	688.85	6,000.00
	G5-12	6.42	15.55	3.85	6.40	15.52	3.82	621.38	577.32	695.77	6,100.00
	G5-13	6.45	15.50	3.78	6.42	15.45	3.76	622.45	578.18	692.02	4,800.00
เฉลี่ย		**6.44**	**15.55**	**3.81**	**6.41**	**15.52**	**3.78**	**623.25**	**575.32**	**692.21**	**5,633.33**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 17 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมเศษหญ้า 10% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			หนักก่อนเผา (g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
เศษหญ้า 10% เผาที่ 900°C	G10-1	6.40	15.80	3.85	6.30	15.78	3.83	528.54	432.18	580.52	700.00
	G10-2	6.50	15.80	3.80	6.30	15.78	3.80	546.54	446.62	605.34	700.00
	G10-3	6.45	16.10	3.75	6.40	16.05	3.74	514.75	428.73	560.30	800.00
เฉลี่ย		**6.45**	**15.90**	**3.80**	**6.33**	**15.87**	**3.79**	**529.94**	**435.84**	**582.05**	**733.33**
เศษหญ้า 10% เผาที่ 950°C	G10-6	6.45	15.95	3.70	6.43	15.95	3.68	95.00	435.16	569.53	900.00
	G10-7	6.40	15.90	3.85	6.40	15.85	3.80	496.10	440.65	569.06	800.00
	G10-8	6.50	16.00	3.80	6.47	15.95	3.80	506.80	435.37	574.49	900.00
เฉลี่ย		**6.45**	**15.95**	**3.78**	**6.43**	**15.92**	**3.76**	**365.97**	**437.06**	**571.03**	**866.67**
เศษหญ้า 10% เผาที่ 1000°C	G10-11	6.40	15.80	3.80	6.35	15.75	3.70	492.88	422.77	560.45	1,100.00
	G10-12	6.50	15.95	3.80	6.45	15.92	3.73	519.78	435.51	563.78	900.00
	G10-13	6.50	16.00	3.85	6.45	15.97	3.75	518.61	446.50	575.00	900.00
เฉลี่ย		**6.47**	**15.92**	**3.82**	**6.42**	**15.88**	**3.73**	**510.42**	**434.93**	**566.41**	**966.67**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 18 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญดินเหนียว 100% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
ดินเหนียว 100% เผาที่ 900°C	CL5-1	6.40	15.47	3.80	6.40	15.40	3.80	706.98	654.89	753.30	15,000.00
	CL5-2	6.38	15.40	3.85	6.40	15.40	3.80	712.89	661.15	761.80	16,000.00
	CL5-3	6.36	15.35	3.85	6.40	15.30	3.85	710.29	658.94	759.30	15,500.00
เฉลี่ย		**6.38**	**15.41**	**3.83**	**6.40**	**15.37**	**3.82**	**710.05**	**658.33**	**758.13**	**15,500.00**
ดินเหนียว 100% เผาที่ 950°C	CL5-6	6.33	15.45	3.80	6.25	15.40	3.70	712.50	665.50	760.84	15,300.00
	CL5-7	6.32	15.45	3.75	6.25	15.40	3.60	708.08	667.22	748.35	15,400.00
	CL5-8	6.30	15.45	3.78	6.30	15.35	3.63	707.50	665.50	752.68	17,000.00
เฉลี่ย		**6.32**	**15.45**	**3.78**	**6.27**	**15.38**	**3.64**	**709.36**	**666.07**	**753.96**	**15,900.00**
ดินเหนียว 100% เผาที่ 1000°C	CL5-11	6.35	15.35	3.75	6.30	15.30	3.60	708.20	673.50	755.30	13,000.00
	CL5-12	6.40	15.40	3.75	6.35	15.30	3.60	715.90	672.59	761.22	16,000.00
	CL5-13	6.30	15.40	3.75	6.25	15.30	3.65	708.70	668.47	758.24	19,300.00
เฉลี่ย		**6.35**	**15.38**	**3.75**	**6.30**	**15.30**	**3.62**	**710.93**	**671.52**	**758.25**	**16,100.00**

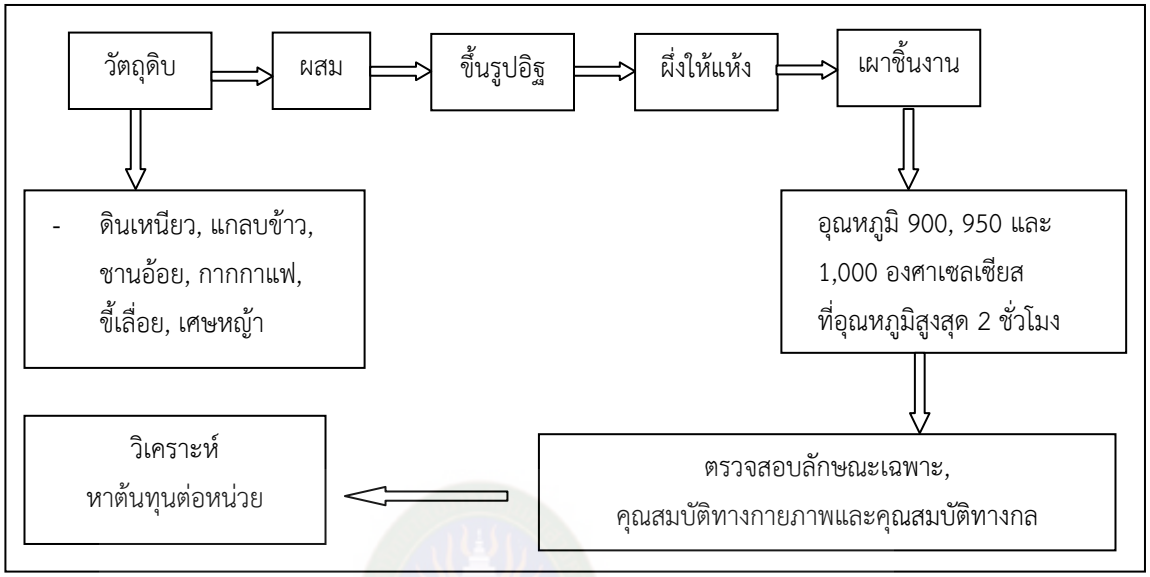
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



แผนภาพภาคผนวกที่ 1 แสดงขั้นตอนการทดลอง

1. การเตรียมวัตถุดิบ

ส่วนผสมวัสดุชีวมวล 5 ชนิด คือ ขี้เลื่อย กากกาแฟ แกลบข้าว ชานอ้อยและเศษหญ้า โดยใช้อัตราส่วนผสมต่อดินเหนียวของวัสดุทั้ง 5 ชนิดในอัตราส่วนที่แตกต่างกันออกไปคือที่อัตราส่วนผสม 0, 5, 10, 15 และ 20% โดยน้ำหนัก โดยใช้อัตราส่วนผสมดังตารางภาคผนวกที่ 1

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 1 แสดงอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดลอง (โดยน้ำหนัก)

ลำดับที่	ชนิดของกากวัสดุ	อัตราส่วนผสม (%) โดยน้ำหนัก	ดิน(%) โดยน้ำหนัก
1	แกลบข้าว , ขี้เลื่อย,กากกาแฟ,ชานอ้อย , เศษหญ้า	0	100
2	แกลบข้าว , ขี้เลื่อย,กากกาแฟ,ชานอ้อย , เศษหญ้า	5	95

ลำดับที่	ชนิดของกากวัสดุ	อัตราส่วนผสม (%) โดยน้ำหนัก	ดิน(%) โดยน้ำหนัก
3	แกลบข้าว , ขี้เลื่อย,กากกาแฟ,ชานอ้อย , เศษหญ้า	10	90
4	แกลบข้าว , ขี้เลื่อย,กากกาแฟ,ชานอ้อย , เศษหญ้า	15	85
5	แกลบข้าว , ขี้เลื่อย,กากกาแฟ,ชานอ้อย , เศษหญ้า	20	80

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ดินเหนียว

แกลบข้าว

กากกาแฟ

ชานอ้อย

ขี้เลื่อย

เศษหญ้าตากแห้ง

ภาพภาคผนวกที่ 1 ส่วนผสมวัสดุชีวมวล

2. การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

ในขั้นตอนการเตรียมชิ้นตัวอย่าง จะนำวัสดุชีวมวลทั้ง 5ชนิด คือ แกลบข้าว ขี้เลื่อย กากกาแฟ ชานอ้อยและเศษหญ้า มาผสมระหว่างดินเหนียวกับวัสดุทั้ง 5 ชนิด โดยใช้มือเพื่อให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และใช้น้ำเป็นส่วนผสมตั้งแต่ 25 - 30% วิธีการขึ้นรูปอ้างอิงจากการผลิตแบบชาวบ้านซึ่งเป็นการขึ้นรูปโดยวิธีโคลนอ่อน(Soft - Mud Process) อัดดินลงในแบบที่มีขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร หลังการขึ้นรูปผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง(กระแสอากาศ)

ภาพภาคผนวกที่ 2 อุปกรณ์ในการเตรียมชิ้นตัวอย่าง

ภาพภาคผนวกที่ 3 การผสมและนวดดินให้เข้ากัน

อัดดินเข้าแบบให้แน่น

ปาดแต่งหน้าให้เรียบ

ดินที่แต่งหน้าเรียบร้อยพร้อมดันออกจากแบบ

ภาพภาคผนวกที่ 4 การขึ้นรูปอิฐ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ดันอิฐออกจากแบบ

ผึ่งอิฐให้แห้งในร่ม 7 – 10 วัน

ภาพภาคผนวกที่ 5 การขึ้นรูปและผึ่งอิฐ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เตาเผาแบบแก๊สที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

นำอิฐเรียงเข้าเตาเผาแบบแก๊ส

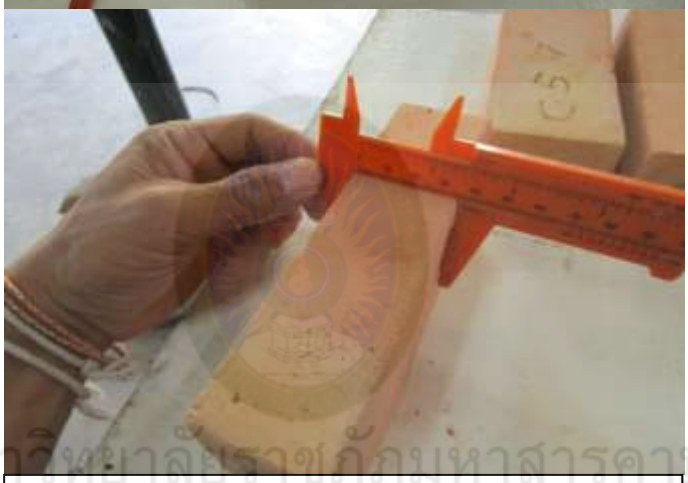
เผาอิฐด้วยเตาเผาแบบแก๊ส

ภาพภาคผนวกที่ 6 การเผาอิฐ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
RAJABHAT PHRANAKHON SI AYUTTHAYA UNIVERSITY

ภาพภาคผนวกที่ 7 อิฐที่ผ่านการเผาเรียบร้อย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



วัดขนาดและชั่งน้ำหนักอิฐหลังการเผา

ทดสอบอิฐด้วยเครื่องทดสอบ

รูปภาคผนวกที่ 8 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของอิฐ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

แบบเก็บข้อมูลตัวอย่าง

ตารางภาคผนวกที่ 2แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมแกลบข้าว5% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			หนักก่อนเผา(g)	หนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
แกลบ 5% เผาที่ 900°C	H5-1	6.45	15.60	3.75	6.42	15.55	3.70	660.31	595.17	703.95	9,800.00
	H5-2	6.45	15.60	3.85	6.42	15.55	3.80	671.07	596.38	705.60	9,300.00
	H5-3	6.50	15.55	3.85	6.45	15.50	3.83	662.46	587.28	702.00	9,500.00
เฉลี่ย		**6.47**	**15.58**	**3.82**	**6.43**	**15.53**	**3.78**	**664.61**	**592.94**	**703.85**	**9,533.33**
แกลบ 5% เผาที่ 950°C	H5-6	6.40	15.60	3.85	6.35	15.50	3.80	648.90	582.70	687.38	9,600.00
	H5-7	6.40	15.60	3.80	6.33	15.55	3.75	658.50	593.32	702.43	10,200.00
	H5-8	6.35	15.55	3.85	6.33	15.50	3.80	670.30	590.46	689.10	10,500.00
เฉลี่ย		**6.38**	**15.58**	**3.83**	**6.34**	**15.52**	**3.78**	**659.23**	**588.83**	**692.97**	**10,100.00**
แกลบ 5% เผาที่ 1000°C	H5-11	6.40	15.65	3.80	6.32	15.50	3.75	643.40	578.66	684.81	11,100.00
	H5-12	6.38	15.60	3.85	6.30	15.50	3.80	658.90	593.14	695.75	10,400.00
	H5-13	6.40	15.60	3.90	6.30	15.55	3.85	661.80	595.11	695.95	9,400.00
เฉลี่ย		**6.39**	**15.62**	**3.85**	**6.31**	**15.52**	**3.80**	**654.70**	**588.97**	**692.17**	**10,300.00**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 3 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมแกลบข้าว 10% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			หนักก่อนผา (g)	หนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
แกลบ 10% เผาที่ 900°C	H10-1	6.35	15.60	3.85	6.30	15.55	3.83	659.70	550.55	683.57	4,200.00
	H10-2	6.45	15.50	3.80	6.45	15.40	3.77	641.29	542.09	680.77	3,700.00
	H10-3	6.45	15.60	3.90	6.40	15.55	3.85	637.57	540.54	670.12	4,000.00
เฉลี่ย		**6.42**	**15.57**	**3.85**	**6.38**	**15.50**	**3.82**	**646.19**	**544.39**	**678.15**	**3,966.67**
แกลบ 10% เผาที่ 950°C	H10-6	6.34	15.75	3.85	6.30	15.65	3.80	621.00	543.70	670.00	4,800.00
	H10-7	6.40	15.75	3.90	6.30	15.65	3.85	639.15	550.81	683.24	4,600.00
	H10-8	6.35	15.60	3.85	6.28	15.55	3.83	635.95	546.64	677.00	4,500.00
เฉลี่ย		**6.36**	**15.70**	**3.87**	**6.29**	**15.62**	**3.83**	**632.03**	**547.05**	**676.75**	**4,633.33**
แกลบ 10% เผาที่ 1000°C	H10-11	6.40	15.50	3.85	6.37	15.40	3.82	622.28	539.86	660.68	4,500.00
	H10-12	6.40	15.55	3.80	6.35	15.45	3.77	621.00	545.19	665.06	4,700.00
	H10-13	6.35	15.60	3.80	6.33	15.53	3.78	628.30	544.61	668.97	5,100.00

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เฉลี่ย		**6.38**	**15.55**	**3.82**	**6.35**	**15.46**	**3.79**	**623.86**	**543.22**	**664.90**	**4,766.67**

ตารางภาคผนวกที่ 4 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมแกลบข้าว15% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	**รหัสก้อนตัวอย่าง**	**ขนาดก่อนเผา(cm.)**			**ขนาดหลังเผา(cm.)**			**หนักก่อนผา (g)**	**หนักหลังเผา(g)**	**น้ำหนักเปียก (g)**	**แรงอัด (kg.)**
		กว้าง	**ยาว**	**หนา**	**กว้าง**	**ยาว**	**หนา**				
แกลบ 15%เผาที่ 900°C	H15-1	6.55	15.57	3.85	6.50	15.60	3.80	600.30	488.87	642.09	2,200.00
	H15-2	6.55	15.60	3.85	6.50	15.60	3.80	600.65	489.41	644.80	1,800.00
	H15-3	6.45	15.63	3.80	6.45	15.50	3.80	581.24	473.52	630.00	2,100.00
เฉลี่ย		**6.52**	**15.60**	**3.83**	**6.48**	**15.57**	**3.80**	**594.06**	**483.93**	**638.96**	**2,033.33**
แกลบ 15%เผาที่ 950°C	H15-6	6.45	15.60	3.85	6.40	15.60	3.80	596.20	489.79	635.04	2,100.00
	H15-7	6.45	15.70	3.85	6.45	15.60	3.80	607.80	498.65	650.79	2,300.00
	H15-8	6.53	15.65	3.85	6.50	15.60	3.80	600.80	492.16	640.21	2,100.00
เฉลี่ย		**6.48**	**15.65**	**3.85**	**6.45**	**15.60**	**3.80**	**601.60**	**493.53**	**642.01**	**2,166.67**
แกลบ 15%เผาที่ 1000°C	H15-11	6.43	15.60	3.85	6.40	15.60	3.80	593.30	483.56	631.75	1,900.00
	H15-12	6.43	15.80	3.80	6.40	15.70	3.70	595.80	488.08	630.88	2,400.00
	H15-13	6.45	15.75	3.85	6.40	15.60	3.80	599.45	492.68	635.70	2,300.00

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เฉลี่ย		**6.44**	**15.72**	**3.83**	**6.40**	**15.63**	**3.77**	**596.18**	**488.11**	**632.78**	**2,200.00**

ตารางภาคผนวกที่ 5แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมแกลบข้าว 20% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	**รหัสก้อนตัวอย่าง**	**ขนาดก่อนเผา(cm.)**			**ขนาดหลังเผา(cm.)**			**น้ำหนักก่อนเผา(g)**	**น้ำหนักหลังเผา(g)**	**น้ำหนักเปียก (g)**	**แรงอัด (kg.)**
		กว้าง	**ยาว**	**หนา**	**กว้าง**	**ยาว**	**หนา**				
แกลบ 20%เผาที่ 900°C	H20-1	6.50	15.90	3.85	6.48	15.86	3.83	576.71	453.26	620.82	1,200.00
	H20-2	6.66	15.80	3.95	6.60	15.75	3.90	595.23	471.05	640.07	1,100.00
	H20-3	6.55	15.90	3.95	6.53	15.85	3.92	586.43	459.84	635.51	1,100.00
เฉลี่ย		**6.57**	**15.87**	**3.92**	**6.54**	**15.82**	**3.88**	**586.12**	**461.38**	**632.13**	**1,133.33**
แกลบ 20%เผาที่ 950°C	H20-6	6.50	15.85	3.85	6.45	15.80	3.82	575.03	454.17	619.81	1,800.00
	H20-7	6.50	15.80	3.80	6.47	15.75	3.75	567.16	447.87	610.00	1,600.00
	H20-8	6.55	15.85	3.90	6.53	15.80	3.85	584.90	462.56	630.00	1,500.00
เฉลี่ย		**6.52**	**15.83**	**3.85**	**6.48**	**15.78**	**3.81**	**575.70**	**454.87**	**619.94**	**1,633.33**
แกลบ	H20-11	6.50	15.85	3.85	6.40	15.80	3.80	578.10	455.40	618.29	1,700.00

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

20%เผาที่ 1000°C	H20-12	6.60	15.70	3.83	6.50	15.65	3.80	583.40	459.11	622.40	1,600.00
	H20-13	6.50	15.70	3.90	6.45	15.60	3.85	575.50	451.72	614.69	1,700.00
เฉลี่ย		**6.53**	**15.75**	**3.86**	**6.45**	**15.68**	**3.82**	**579.00**	**455.41**	**618.46**	**1,666.67**

ตารางภาคผนวกที่ 6แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมขี้เลื่อย5% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	**รหัสก้อนตัวอย่าง**	**ขนาดก่อนเผา(cm.)**			**ขนาดหลังเผา(cm.)**			**น้ำหนักก่อนเผา(g)**	**น้ำหนักหลังเผา(g)**	**น้ำหนักเปียก (g)**	**แรงอัด (kg.)**
		กว้าง	**ยาว**	**หนา**	**กว้าง**	**ยาว**	**หนา**				
ขี้เลื่อย 5%เผาที่ 900°C	S5-1	64.51	15.46	39.52	6.45	15.40	3.90	650.22	585.34	688.30	13,900.00
	S5-2	64.52	15.50	38.00	6.45	15.50	3.70	660.34	597.45	699.68	14,200.00
	S5-3	64.50	15.45	38.50	6.45	15.40	3.80	653.70	590.56	696.87	12,900.00
เฉลี่ย		**64.51**	**15.47**	**38.67**	**6.45**	**15.43**	**3.80**	**654.75**	**591.12**	**694.95**	**13,666.67**
ขี้เลื่อย 5%เผาที่	S5-6	6.40	15.50	3.90	6.40	15.45	3.90	663.75	598.76	705.60	14,500.00
	S5-7	6.45	15.45	3.85	6.40	15.45	3.80	649.91	585.83	687.50	13,800.00

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

950°C	S5-8	6.35	15.50	3.80	6.30	15.40	3.75	651.38	591.91	691.19	13,700.00
เฉลี่ย		**6.40**	**15.48**	**3.85**	**6.37**	**15.43**	**3.82**	**655.01**	**592.17**	**694.76**	**14,000.00**
ขี้เลื่อย 5%เผาที่ 1000°C	S5-11	6.45	15.40	3.95	6.35	15.30	3.80	662.15	595.60	698.43	14,800.00
	S5-12	6.40	15.45	3.85	6.35	15.40	3.80	654.84	588.61	686.24	14,500.00
	S5-13	6.40	15.40	3.90	6.40	15.35	3.80	660.33	593.50	692.50	13,500.00
เฉลี่ย		**6.42**	**15.42**	**3.90**	**6.37**	**15.35**	**3.80**	**659.11**	**592.57**	**692.39**	**14,266.67**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 7 แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมขี้เลื่อย10% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
ขี้เลื่อย 10% เผาที่ 900°C	S10-1	6.35	15.60	3.74	6.40	15.55	3.70	542.28	500.99	614.45	5,900.00
	S10-2	6.35	15.55	3.74	6.40	15.45	3.70	546.24	509.44	626.07	6,100.00
	S10-3	6.45	15.46	3.76	6.45	15.40	3.75	538.31	497.00	607.58	6,300.00

เฉลี่ย		**6.38**	**15.54**	**3.75**	**6.42**	**15.47**	**3.72**	**542.28**	**502.48**	**616.03**	**6,100.00**
ขี้เลื่อย 10% เผาที่ 950°C	S10-6	6.50	15.65	3.80	6.45	15.55	3.80	593.08	509.10	622.08	6,200.00
	S10-7	6.45	15.50	3.80	6.40	15.40	3.80	597.30	513.17	627.42	6,800.00
	S10-8	6.35	15.45	3.75	6.35	15.40	3.70	580.16	497.96	609.16	5,700.00
เฉลี่ย		**6.43**	**15.53**	**3.78**	**6.40**	**15.45**	**3.77**	**590.18**	**506.74**	**619.55**	**6,233.33**
ขี้เลื่อย 10% เผาที่ 1000°C	S10-11	6.30	15.50	3.90	6.30	15.40	3.85	604.60	516.95	627.82	6,900.00
	S10-12	6.45	15.50	3.80	6.38	15.40	3.75	595.29	509.04	618.10	6,500.00
	S10-13	6.45	15.70	3.70	6.40	15.60	3.60	586.70	501.06	611.90	7,000.00
เฉลี่ย		**6.40**	**15.57**	**3.80**	**6.36**	**15.47**	**3.73**	**595.53**	**509.02**	**619.27**	**6,800.00**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 8แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 15% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	**รหัสก้อนตัวอย่าง**	**ขนาดก่อนเผา(cm.)**			**ขนาดหลังเผา(cm.)**			**น้ำหนักก่อนเผา(g)**	**น้ำหนักหลังเผา(g)**	**น้ำหนักเปียก (g)**	**แรงอัด (kg.)**
		กว้าง	**ยาว**	**หนา**	**กว้าง**	**ยาว**	**หนา**				

ขี้เลื่อย 15% เผาที่ 900°C	S15-1	6.55	15.60	38.50	6.50	15.60	3.82	542.20	444.32	574.57	2,200.00
	S15-2	6.52	15.55	38.50	6.50	15.50	3.83	546.00	447.09	578.64	2,300.00
	S15-3	6.45	15.60	38.40	6.40	15.60	3.82	538.07	440.72	570.75	2,300.00
เฉลี่ย		**6.51**	**15.58**	**38.47**	**6.47**	**15.57**	**3.82**	**542.09**	**444.04**	**574.65**	**2,266.67**
ขี้เลื่อย 15% เผาที่ 950°C	S15-6	6.45	15.70	3.70	6.40	15.70	3.64	524.22	431.50	553.52	2,300.00
	S15-7	6.50	15.60	3.70	6.38	15.60	3.64	527.69	434.39	554.42	2,300.00
	S15-8	6.50	15.70	3.75	6.45	15.60	3.70	549.93	452.15	583.02	2,500.00
เฉลี่ย		**6.48**	**15.67**	**3.72**	**6.41**	**15.63**	**3.66**	**533.95**	**439.35**	**563.65**	**2,366.67**
ขี้เลื่อย 15% เผาที่ 1000°C	S15-11	6.40	15.70	3.65	6.35	15.65	3.60	530.50	436.34	556.39	2,200.00
	S15-12	6.50	15.60	3.70	6.40	15.50	3.70	539.45	442.11	565.47	2,500.00
	S15-13	6.35	15.70	3.70	6.30	15.65	3.70	536.89	440.44	563.88	2,500.00
เฉลี่ย		**6.42**	**15.67**	**3.68**	**6.35**	**15.60**	**3.67**	**535.61**	**439.63**	**561.91**	**2,400.00**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 9แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 20% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
ขี้เลื่อย 20% เผาที่ 900°C	S20-1	6.50	15.60	3.80	6.50	15.60	3.80	481.16	374.06	531.33	1,000.00
	S20-2	6.60	15.60	3.72	6.60	15.60	3.70	470.00	365.71	520.03	1,100.00
	S20-3	6.50	16.00	3.74	6.50	15.80	3.70	475.09	369.59	524.05	1,000.00
เฉลี่ย		**6.53**	**15.73**	**3.75**	**6.53**	**15.67**	**3.73**	**475.42**	**369.79**	**525.14**	**1,033.33**
ขี้เลื่อย 20% เผาที่ 950°C	S20-6	6.45	15.50	3.75	6.40	15.45	3.70	474.10	370.72	517.48	1,100.00
	S20-7	6.40	15.70	3.80	6.30	15.60	3.80	483.70	376.24	529.76	1,000.00
	S20-8	6.40	15.65	3.75	6.30	15.60	3.80	472.60	369.53	520.45	1,100.00
เฉลี่ย		**6.42**	**15.62**	**3.77**	**6.33**	**15.55**	**3.77**	**476.80**	**372.16**	**522.56**	**1,066.67**
ขี้เลื่อย 20% เผาที่ 1000°C	S20-11	6.45	15.80	3.70	6.45	15.70	3.60	469.03	362.89	511.63	1,300.00
	S20-12	6.40	15.70	3.60	6.35	15.65	3.60	470.57	363.40	512.77	1,100.00
	S20-13	6.45	15.80	3.80	6.35	15.70	3.70	471.00	367.67	512.73	1,300.00
เฉลี่ย		**6.43**	**15.77**	**3.70**	**6.38**	**15.68**	**3.63**	**470.20**	**364.65**	**512.38**	**1,233.33**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 10แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมกากกาแฟ 5% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก(g)	แรงอัด(kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
กากกาแฟ 5% เผาที่ 900°C	C5-1	6.35	15.47	3.85	6.35	15.30	3.85	638.07	569.01	675.71	12,400.00
	C5-2	6.46	15.48	3.80	6.30	15.35	3.65	637.18	567.56	672.92	13,000.00
	C5-3	6.40	15.46	3.75	6.30	15.40	3.70	641.96	571.93	677.91	12,800.00
เฉลี่ย		**6.40**	**15.47**	**3.80**	**6.32**	**15.35**	**3.73**	**639.07**	**569.50**	**675.51**	**12,733.33**
กากกาแฟ 5% เผาที่ 950°C	C5-6	6.35	15.50	3.74	6.30	15.40	3.70	632.80	567.98	670.67	13100
	C5-7	6.40	15.47	3.75	6.35	15.30	3.65	641.20	579.57	679.25	13300
	C5-8	6.40	15.50	3.70	6.40	15.40	3.65	640.00	578.89	678.03	12800
เฉลี่ย		**6.38**	**15.49**	**3.73**	**6.35**	**15.37**	**3.67**	**638.00**	**575.48**	**675.98**	**13,066.67**
กากกาแฟ 5% เผาที่	C5-11	6.45	15.50	3.70	6.40	15.35	3.60	626.40	563.40	657.28	13500
	C5-12	6.40	15.45	3.75	6.35	15.30	3.65	629.40	566.25	662.34	13000

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1000°C	C5-13	6.35	15.50	3.75	6.30	15.40	3.60	635.95	569.98	670.19	13700
เฉลี่ย		**6.40**	**15.48**	**3.73**	**6.35**	**15.35**	**3.62**	**630.58**	**566.54**	**663.27**	**13,400.00**

ตารางภาคผนวกที่ 11แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมกากกาแฟ 10% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	**รหัสก้อนตัวอย่าง**	**ขนาดก่อนเผา(cm.)**			**ขนาดหลังเผา(cm.)**			**น้ำหนักก่อนเผา(g)**	**น้ำหนักหลังเผา(g)**	**น้ำหนักเปียก (g)**	**แรงอัด (kg.)**
		กว้าง	**ยาว**	**หนา**	**กว้าง**	**ยาว**	**หนา**				
กากกาแฟ 10% เผาที่ 900°C	C10-1	6.40	15.47	37.50	6.35	15.40	3.70	580.11	492.34	604.85	7000
	C10-2	6.40	15.20	38.50	6.30	15.20	3.80	579.48	493.03	605.59	7300
	C10-3	6.37	15.30	37.50	6.35	15.30	3.70	573.85	487.52	596.77	6800
เฉลี่ย		**6.39**	**15.32**	**37.83**	**6.33**	**15.30**	**3.73**	**577.81**	**490.96**	**602.40**	**7,033.33**
กากกาแฟ 10% เผาที่ 950°C	C10-6	6.40	15.20	3.75	6.35	15.18	3.70	578.72	497.23	607.17	7300
	C10-7	6.40	15.33	3.75	6.35	15.30	3.80	576.47	494.82	606.89	7500
	C10-8	6.40	15.35	3.75	6.35	15.32	3.70	575.88	493.91	603.06	6500
เฉลี่ย											**7,100.00**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

		6.40	**15.29**	**3.75**	**6.35**	**15.27**	**3.73**	**577.02**	**495.32**	**605.71**	
กากกาแฟ 10% เผาที่ 1000°C	C10-11	6.40	15.25	3.70	6.40	15.20	3.70	566.78	485.82	598.86	7400
	C10-12	6.40	15.45	3.75	6.40	15.40	3.70	582.82	498.05	603.18	7400
	C10-13	6.40	15.30	3.72	6.40	15.30	3.70	571.90	490.76	597.47	6500
เฉลี่ย		**6.40**	**15.33**	**3.72**	**6.40**	**15.30**	**3.70**	**573.83**	**491.54**	**599.84**	**7,100.00**

ตารางภาคผนวกที่ 12แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมกากกาแฟ 15% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ส่วนผสม	**รหัสก้อนตัวอย่าง**	**ขนาดก่อนเผา(cm.)**			**ขนาดหลังเผา(cm.)**			**น้ำหนักก่อนเผา(g)**	**น้ำหนักหลังเผา(g)**	**น้ำหนักเปียก (g)**	**แรงอัด(kg.)**
		กว้าง	**ยาว**	**หนา**	**กว้าง**	**ยาว**	**หนา**				
กากกาแฟ 15% เผาที่ 900°C	C15-1	6.45	15.30	3.80	6.40	15.30	3.80	515.81	413.65	534.25	3,500.00
	C15-2	6.30	15.47	3.76	6.30	15.40	3.70	505.05	406.60	526.24	2,300.00
	C15-3	6.35	15.45	3.74	6.30	15.40	3.70	508.04	407.30	526.30	2,500.00
เฉลี่ย		**6.37**	**15.41**	**3.77**	**6.33**	**15.37**	**3.73**	**509.63**	**409.18**	**528.93**	**2,766.67**
	C15-6										3700

กาก		6.30	15.46	3.75	6.35	15.43	3.64	500.18	406.11	522.29	
กาแฟ 15% เผาที่ 950°C	C15-7	6.35	15.45	3.76	6.45	15.26	3.74	501.70	408.07	521.85	3300
	C15-8	6.30	15.50	3.75	6.35	15.36	3.74	505.25	409.92	520.58	3400
เฉลี่ย		**6.32**	**15.47**	**3.75**	**6.38**	**15.35**	**3.71**	**502.38**	**408.03**	**521.57**	**3,466.67**
กาก	C15-11	6.35	15.40	3.75	6.30	15.30	3.80	507.87	411.28	525.45	3700
กาแฟ 15% เผาที่ 1000°C	C15-12	6.34	15.50	3.70	6.30	15.30	3.70	505.63	409.81	521.00	3600
	C15-13	6.30	15.45	3.70	6.30	15.30	3.60	500.84	404.32	518.00	3300
เฉลี่ย		**6.33**	**15.45**	**3.72**	**6.30**	**15.30**	**3.70**	**504.78**	**408.47**	**521.48**	**3,533.33**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 13แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมกากกาแฟ20% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	**รหัสก้อนตัวอย่าง**	**ขนาดก่อนเผา(cm.)**			**ขนาดหลังเผา(cm.)**			**น้ำหนักก่อนเผา(g)**	**น้ำหนักหลังเผา(g)**	**น้ำหนักเปียก (g)**	**แรงอัด(kg.)**
		กว้าง	**ยาว**	**หนา**	**กว้าง**	**ยาว**	**หนา**				
กากกาแฟ 20% เผาที่	C20-1	6.45	15.00	3.86	6.40	14.78	3.85	444.92	335.49	488.81	1000
	C20-2	6.50	15.00	3.77	6.45	14.90	3.74	445.57	337.48	492.41	1000

900°C	C20-3	6.47	15.10	3.86	6.40	15.00	3.85	459.79	344.46	502.30	1100
เฉลี่ย		**6.47**	**15.03**	**3.83**	**6.42**	**14.89**	**3.81**	**450.09**	**339.14**	**494.51**	**1,033.33**
กากกาแฟ 20% เผาที่ 950°C	C20-6	6.40	15.20	3.65	6.35	15.00	3.60	431.28	330.42	473.43	1200
	C20-7	6.50	14.80	3.80	6.50	14.60	3.75	440.59	338.09	486.60	1100
	C20-8	6.45	15.00	3.90	6.40	14.90	3.70	448.00	342.51	494.38	950
เฉลี่ย		**6.45**	**15.00**	**3.78**	**6.42**	**14.83**	**3.68**	**439.96**	**337.01**	**484.80**	**1,083.33**
กากกาแฟ 20% เผาที่ 1000°C	C20-11	6.50	14.80	3.80	6.40	14.55	3.70	432.71	330.19	473.01	1200
	C20-12	6.30	15.30	3.75	6.30	15.10	3.75	453.87	346.57	493.63	1000
	C20-13	6.30	14.80	3.80	6.20	14.70	3.80	443.25	338.72	485.65	1000
เฉลี่ย		**6.37**	**14.97**	**3.78**	**6.30**	**14.78**	**3.75**	**443.28**	**338.49**	**484.10**	**1,066.67**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 14แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมชานอ้อย5% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	**รหัส**	**ขนาดก่อนเผา(cm.)**	**ขนาดหลังเผา(cm.)**	**น้ำหนัก**	**น้ำหนัก**		**แรงอัด**

	ก้อนตัวอย่าง	กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา	ก่อนเผา(g)	หลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	(kg.)
ชานอ้อย 5%เผาที่ 900°C	BA5-1	6.45	16.46	3.80	6.43	16.00	3.77	577.58	517.03	627.50	5,400.00
	BA5-2	6.35	16.47	3.70	6.30	16.00	3.67	570.86	510.65	681.52	4,500.00
	BA5-3	6.45	16.48	3.85	6.42	16.20	3.80	589.06	527.40	640.87	4,600.00
เฉลี่ย		**6.42**	**16.47**	**3.78**	**6.38**	**16.07**	**3.75**	**579.17**	**518.36**	**649.96**	**4,833.33**
ชานอ้อย 5%เผาที่ 950°C	BA5-6	6.45	16.50	3.75	6.40	16.10	3.70	590.40	528.38	655.70	4,900.00
	BA5-7	6.40	16.30	3.70	6.37	16.00	3.70	572.95	517.85	630.84	5,500.00
	BA5-8	6.45	16.20	3.85	6.40	16.00	3.80	588.84	528.30	650.86	4,800.00
เฉลี่ย		**6.43**	**16.33**	**3.77**	**6.39**	**16.03**	**3.73**	**584.06**	**524.84**	**645.80**	**5,066.67**
ชานอ้อย 5%เผาที่ 1000°C	BA5-11	6.40	16.30	3.70	6.35	16.00	3.65	574.10	525.64	635.25	5,300.00
	BA5-12	6.45	16.40	3.85	6.40	15.80	3.80	588.57	532.57	640.37	5,500.00
	BA5-13	6.45	16.30	3.80	6.40	15.80	3.75	575.00	528.15	625.57	6,200.00
เฉลี่ย		**6.43**	**16.33**	**3.78**	**6.38**	**15.87**	**3.73**	**579.22**	**528.79**	**633.73**	**5,666.67**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 15แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมชานอ้อย10% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
ชานอ้อย 10%เผาที่ 900°C	BA10-1	6.45	16.20	3.74	6.43	16.00	3.72	464.00	394.28	532.41	1,600.00
	BA10-2	6.40	16.30	3.55	6.40	16.10	3.55	455.05	386.64	518.98	1,500.00
	BA10-3	6.35	16.30	3.54	6.33	16.00	3.52	454.51	385.04	515.34	1,500.00
เฉลี่ย		**6.40**	**16.27**	**3.61**	**6.39**	**16.03**	**3.60**	**457.85**	**388.65**	**522.24**	**1,533.33**
ชานอ้อย 10%เผาที่ 950°C	BA10-6	6.35	16.20	3.75	6.33	16.00	3.70	475.03	408.58	547.09	1,700.00
	BA10-7	6.35	16.30	3.60	6.32	16.00	3.60	452.78	390.10	520.80	1,500.00
	BA10-8	6.35	16.30	3.55	6.33	15.80	3.53	445.05	383.05	508.30	1,500.00
เฉลี่ย		**6.35**	**16.27**	**3.63**	**6.33**	**15.93**	**3.61**	**457.62**	**393.91**	**525.40**	**1,566.67**
ชานอ้อย 10%เผาที่ 1000°C	BA10-11	6.35	16.20	3.70	6.35	15.90	3.70	472.30	405.61	536.70	1,700.00
	BA10-12	6.40	16.30	3.65	6.35	15.80	3.60	456.50	402.10	519.26	1,600.00
	BA10-13	6.40	16.30	3.60	6.35	15.90	3.55	456.21	398.10	522.26	1,600.00
เฉลี่ย		**6.38**	**16.27**	**3.65**	**6.35**	**15.87**	**3.62**	**461.67**	**401.94**	**526.07**	**1,633.33**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 16แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมเศษหญ้า 5% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก(g)	แรงอัด(kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
เศษหญ้า 5% เผาที่ 900°C	G5-1	6.40	15.60	3.75	6.40	15.57	3.74	630.60	560.70	689.20	4,500.00
	G5-2	6.35	15.63	3.60	6.35	15.60	3.58	596.37	532.32	633.40	5,500.00
	G5-3	6.35	15.60	3.74	6.33	15.58	3.73	611.00	540.37	669.18	4,300.00
เฉลี่ย		**6.37**	**15.61**	**3.70**	**6.36**	**15.58**	**3.68**	**612.66**	**544.46**	**663.93**	**4,766.67**
เศษหญ้า 5% เผาที่ 950°C	G5-6	6.40	15.60	3.80	6.36	15.57	3.78	628.27	560.24	690.17	6,200.00
	G5-7	6.40	15.60	3.70	6.37	15.58	3.67	606.48	545.85	671.23	5,000.00
	G5-8	6.38	15.55	3.65	6.35	15.51	3.63	644.72	560.67	660.80	4,800.00
เฉลี่ย		**6.39**	**15.58**	**3.72**	**6.36**	**15.55**	**3.69**	**626.49**	**555.59**	**674.07**	**5,333.33**
เศษหญ้า 5% เผาที่	G5-11	6.45	15.60	3.80	6.41	15.58	3.77	625.93	570.47	688.85	6,000.00
	G5-12										6,100.00

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1000°C		6.42	15.55	3.85	6.40	15.52	3.82	621.38	577.32	695.77	
	G5-13	6.45	15.50	3.78	6.42	15.45	3.76	622.45	578.18	692.02	4,800.00
เฉลี่ย		**6.44**	**15.55**	**3.81**	**6.41**	**15.52**	**3.78**	**623.25**	**575.32**	**692.21**	**5,633.33**

ตารางภาคผนวกที่ 17แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญผสมเศษหญ้า 10% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 °C

ส่วนผสม	**รหัสก้อนตัวอย่าง**	**ขนาดก่อนเผา(cm.)**			**ขนาดหลังเผา(cm.)**			**หนักก่อนเผา(g)**	**น้ำหนักหลังเผา(g)**	**น้ำหนักเปียก (g)**	**แรงอัด (kg.)**
		กว้าง	**ยาว**	**หนา**	**กว้าง**	**ยาว**	**หนา**				
เศษหญ้า 10% เผาที่ 900°C	G10-1	6.40	15.80	3.85	6.30	15.78	3.83	528.54	432.18	580.52	700.00
	G10-2	6.50	15.80	3.80	6.30	15.78	3.80	546.54	446.62	605.34	700.00
	G10-3	6.45	16.10	3.75	6.40	16.05	3.74	514.75	428.73	560.30	800.00
เฉลี่ย		**6.45**	**15.90**	**3.80**	**6.33**	**15.87**	**3.79**	**529.94**	**435.84**	**582.05**	**733.33**
เศษหญ้า 10% เผาที่ 950°C	G10-6	6.45	15.95	3.70	6.43	15.95	3.68	95.00	435.16	569.53	900.00
	G10-7	6.40	15.90	3.85	6.40	15.85	3.80	496.10	440.65	569.06	800.00
	G10-8										

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

		6.50	16.00	3.80	6.47	15.95	3.80	506.80	435.37	574.49	900.00
เฉลี่ย		**6.45**	**15.95**	**3.78**	**6.43**	**15.92**	**3.76**	**365.97**	**437.06**	**571.03**	**866.67**
เศษหญ้า 10% เผาที่ 1000°C	G10-11	6.40	15.80	3.80	6.35	15.75	3.70	492.88	422.77	560.45	1,100.00
	G10-12	6.50	15.95	3.80	6.45	15.92	3.73	519.78	435.51	563.78	900.00
	G10-13	6.50	16.00	3.85	6.45	15.97	3.75	518.61	446.50	575.00	900.00
เฉลี่ย		**6.47**	**15.92**	**3.82**	**6.42**	**15.88**	**3.73**	**510.42**	**434.93**	**566.41**	**966.67**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางภาคผนวกที่ 18แบบเก็บข้อมูลตัวอย่างอิฐมอญดินเหนียว 100% เผาที่อุณหภูมิ 900,950,1,000 ˚C

ส่วนผสม	รหัสก้อนตัวอย่าง	ขนาดก่อนเผา(cm.)			ขนาดหลังเผา(cm.)			น้ำหนักก่อนเผา(g)	น้ำหนักหลังเผา(g)	น้ำหนักเปียก (g)	แรงอัด (kg.)
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา				
ดินเหนียว 100% เผาที่ 900°C	CL5-1	6.40	15.47	3.80	6.40	15.40	3.80	706.98	654.89	753.30	15,000.00
	CL5-2	6.38	15.40	3.85	6.40	15.40	3.80	712.89	661.15	761.80	16,000.00
	CL5-3	6.36	15.35	3.85	6.40	15.30	3.85	710.29	658.94	759.30	15,500.00
เฉลี่ย											**15,500.00**

		6.38	**15.41**	**3.83**	**6.40**	**15.37**	**3.82**	**710.05**	**658.33**	**758.13**	
ดิน เหนียว 100% เผาที่ 950°C	CL5-6	6.33	15.45	3.80	6.25	15.40	3.70	712.50	665.50	760.84	15,300.00
	CL5-7	6.32	15.45	3.75	6.25	15.40	3.60	708.08	667.22	748.35	15,400.00
	CL5-8	6.30	15.45	3.78	6.30	15.35	3.63	707.50	665.50	752.68	17,000.00
เฉลี่ย		**6.32**	**15.45**	**3.78**	**6.27**	**15.38**	**3.64**	**709.36**	**666.07**	**753.96**	**15,900.00**
ดิน เหนียว 100% เผาที่ 1000°C	CL5-11	6.35	15.35	3.75	6.30	15.30	3.60	708.20	673.50	755.30	13,000.00
	CL5-12	6.40	15.40	3.75	6.35	15.30	3.60	715.90	672.59	761.22	16,000.00
	CL5-13	6.30	15.40	3.75	6.25	15.30	3.65	708.70	668.47	758.24	19,300.00
เฉลี่ย		**6.35**	**15.38**	**3.75**	**6.30**	**15.30**	**3.62**	**710.93**	**671.52**	**758.25**	**16,100.00**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวกค

ตัวอย่างการคำนวณ

1.การหดตัวหลังการเผา (Fired – Shrinkage)

ตัวอย่างที่ 1อิฐก้อนที่ 1 วัดความยาวหลังการอบแห้ง16.5 เซนติเมตร วัดความยาวหลังการเผาได้15.53 เซนติเมตร จงหาค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวหลังการเผา

$$\% \text{ การหดตัวหลังการเผา} = \frac{\text{งการอบแห้ง} - \text{ความยาวหลังการเผา}}{\text{ความยาวหลังการอบแห้ง}} \times 100$$

$$= \frac{\text{i8}}{\text{—}} \times 100$$

$$= 5.86 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

2.การหาค่าความพรุนตัว (Porosity)

ตัวอย่างที่ 2 อิฐก้อนที่1มีขนาด 6.43x15.53x3.78เซนติเมตร มีน้ำหนักหลังเผา 592.94 กรัม และมีน้ำหนักเปียก 703.85 กรัมจงหาค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัวของอิฐ

$$\% \text{ Porosity} = \quad \times 100$$

โดยที่ W - D = น้ำหนักของน้ำที่อยู่ในเนื้ออิฐ (กรัม)

= (มวลอิฐ + มวลน้ำ) – มวลอิฐ

= มวลน้ำ

W - S = (มวลอิฐ+มวลน้ำ)–(มวลอิฐ+มวลน้ำ–แรงลอยตัวของอิฐ)

= แรงลอยตัวของอิฐ

= ปริมาตรของอิฐ

ดังนั้น % Porosity = $\times 100$

$$= \frac{\text{92.94}}{\text{3x3.78}} \times 100$$

% Porosity = 29.40 %

3.การหาค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตัวอย่างที่ 3อิฐก้อนที่1มีขนาด 6.43x15.53x3.78เซนติเมตร มีน้ำหนักหลังเผา 592.94 กรัม และมีน้ำหนักเปียก 703.85 กรัม จงหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐ

$$\% \text{ Water Absorption} = \frac{W - D}{D} \times 100$$

โดยที่ W - D = น้ำหนักของน้ำที่อยู่ในเนื้ออิฐ (กรัม)

D = น้ำหนักของเนื้ออิฐแห้ง (กรัม)

$$= \frac{2.94}{} \times 100$$

% Water Absorption = 18.70 %

4.การหาค่าความหนาแน่น (Bulk Density)

ตัวอย่างที่ 4อิฐก้อนที่ 1 มีขนาด 6.43x15.53x3.78เซนติเมตรมีน้ำหนักหลังเผา 592.94 กรัม จงหาค่าความหนาแน่นของอิฐ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

$$\text{Density} = \frac{W - S}{D} \quad (g/cm^3)$$

โดยที่Density = ความหนาแน่นทั้งก้อนของอิฐ (g/cm^3)

W - S = (มวลอิฐ+มวลน้ำ)–(มวลอิฐ+มวลน้ำ–แรงลอยตัวของอิฐ)

= แรงลอยตัวของอิฐซึ่งเท่ากับปริมาตรของอิฐ

D = น้ำหนักของเนื้ออิฐแห้ง (กรัม)

$$\text{Density} = \frac{4}{3x3.78}$$

= 18.70 $g./cm^3$.

5.การทดสอบค่าความต้านทานความเค้นอัด(Compressive Strength)

ตัวอย่างที่ 5 อิฐก้อนที่ 1 มีขนาด 6.43x15.53x3.82 เซนติเมตรนำไปทดสอบด้วยเครื่องกดทดสอบกำลังอัดได้9,533.33 kg. จงหาค่าความต้านทานความเค้นอัด (Compressive Strength) ของอิฐ

$$C = \text{kg/cm}^2$$

โดยที่ C = ค่าความต้านทานความเค้นอัด (kg/cm^2)

P = น้ำหนักประลัย (kg)

A = พื้นที่หน้าตัดของอิฐที่รับแรงอัด (cm^2)

C =

=

=

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

6. การวิเคราะห์ราคาต้นทุนต่อหน่วย

ตัวอย่างที่ 6 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนต่อก้อนของอิฐมอญขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร(สำหรับอิฐมอญทั่วไป)

X = W + M(บาท/ก้อน)

- **ค่าแรง (W)**

โรงงานผลิตอิฐมอญ 1 โรง มีคนงาน 4คนผลิตอิฐได้วันละ 8000 ก้อน

ค่าแรงช่างทำอิฐ/กรรมกร = 350 บาท/คน/วัน

= 4x350 บาท/วัน

= 1400 บาท/วัน

ค่าแรงผลิตอิฐมอญ = 0.175 บาท/ก้อน

- **ค่าวัสดุ(M)**

1. ดินเหนียว 1 ลบ.ม. ผลิตอิฐขนาด 160x65x40 มิลลิเมตรได้ประมาณ 2,300 ก้อน ราคาดินเฉลี่ย ลบ.ม. ละ 120 บาท

ค่าดินเหนียว = 120/2300 บาท/ก้อน

= 0.052บาท/ก้อน

2. แกลบ ในการผลิตอิฐมอญ 2,300 ก้อน ใช้แกลบในการผลิต 65 กิโลกรัม ราคาแกลบ 1.50 บาท/กิโลกรัม

ค่าแกลบ = 65x1.20

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

= 78บาท

= 78/2300

= 0.034บาท/ก้อน

3. น้ำประปา ในการผลิตอิฐมอญ 2,300 ก้อน ใช้น้ำประปาในการผลิตประมาณ 150 ลิตร ราคาน้ำประปา16บาท/ลบ.ม.

ค่าน้ำ 150 ลิตร = 2.40 บาท

= 2.40/2300

= 0.001บาท/ก้อน

ดังนั้น X = 0.175 + (0.052+0.034+0.001)บาท/ก้อน

= 0.262บาท/ก้อน

สรุป อิฐมอญขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร1 ก้อน มีต้นทุนในการผลิต(รวมวัสดุและค่าแรงงาน) เท่ากับ 0.262บาท/ก้อน

ตัวอย่างที่ 7 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนต่อก้อนของอิฐมอญขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร(สำหรับอิฐมอญผสมแกลบข้าว 5%)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

X = W + M(บาท/ก้อน)

- **ค่าแรง (W)**

โรงงานผลิตอิฐมอญ 1 โรง มีคนงาน 4 คนผลิตอิฐได้วันละ 8000 ก้อน

ค่าแรงช่างทำอิฐ/กรรมกร = 350 บาท/คน/วัน

= 4x350 บาท/วัน

= 1400 บาท/วัน

ค่าแรงผลิตอิฐมอญ = 0.175 บาท/ก้อน

- **ค่าวัสดุ (M)**

1. ดินเหนียว 1 ลบ.ม. ผลิตอิฐขนาด 160x65x40 มิลลิเมตรได้ประมาณ 2,300 ก้อน ราคาดินเฉลี่ย ลบ.ม. ละ 120 บาท

ค่าดินเหนียว = 120/2300 บาท/ก้อน

= 0.052บาท/ก้อน

2. แกลบข้าว ในการผลิตอิฐมอญ 2,300 ก้อน ใช้แกลบในการผลิต 65 กิโลกรัม ราคาแกลบ 1.20 บาท/กิโลกรัม

ค่าแกลบ = 65x1.20

= 78บาท

= 78/2300

= 0.034บาท/ก้อน

3. น้ำประปา ในการผลิตอิฐมอญ 2,300 ก้อน ใช้น้ำประปาในการผลิตประมาณ 150 ลิตร ราคาน้ำประปา 16 บาท/ลบ.ม.

ค่าน้ำ 150 ลิตร = 2.40 บาท

= 2.40/2300

= 0.001บาท/ก้อน

ดังนั้น X = 0.175 + (0.052+0.034+0.001)บาท/ก้อน

= 0.262บาท/ก้อน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สรุป อิฐมอญขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร1ก้อน ผสมด้วยแกลบข้าว 5% มีต้นทุนในการผลิต(รวมวัสดุและค่าแรงงาน) เท่ากับ 0.262บาท/ก้อน

ตัวอย่างที่ 8 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนต่อก้อนของอิฐมอญขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร(สำหรับอิฐมอญผสมขี้เลื่อย 5%)

X = W + M(บาท/ก้อน)

- **ค่าแรง (W)**

โรงงานผลิตอิฐมอญ 1 โรง มีคนงาน 4 คนผลิตอิฐได้วันละ 8000 ก้อน

ค่าแรงช่างทำอิฐ/กรรมกร = 350 บาท/คน/วัน

= 4x350 บาท/วัน

= 1400 บาท/วัน

ค่าแรงผลิตอิฐมอญ = 0.175 บาท/ก้อน

- **ค่าวัสดุ (M)**

1. ดินเหนียว 1 ลบ.ม. ผลิตอิฐขนาด 160x65x40 มิลลิเมตรได้ประมาณ 2,300 ก้อน ราคาดินเฉลี่ย ลบ.ม. ละ 120 บาท

ค่าดินเหนียว = 120/2300 บาท/ก้อน

= 0.052บาท/ก้อน

2. ขี้เลื่อย ในการผลิตอิฐมอญ 2,300 ก้อน ใช้ขี้เลื่อยในการผลิต 65 กิโลกรัม ราคาขี้เลื่อย 1.20 บาท/กิโลกรัม

ค่าขี้เลื่อย = 65x1.20

= 78บาท

= 78/2300

= 0.034บาท/ก้อน

3. น้ำประปา ในการผลิตอิฐมอญ 2,300 ก้อน ใช้น้ำประปาในการผลิตประมาณ 150 ลิตร ราคาน้ำประปา 16 บาท/ลบ.ม.

ค่าน้ำ 150 ลิตร = 2.40 บาท

= 2.40/2300

= 0.001บาท/ก้อน

ดังนั้น X = 0.175 + (0.052+0.034+0.001)บาท/ก้อน

= 0.262บาท/ก้อน

สรุป อิฐมอญขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร1ก้อน ผสมด้วยขี้เลื่อย 5% มีต้นทุนในการผลิต(รวมวัสดุและค่าแรงงาน) เท่ากับ 0.262บาท/ก้อน

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตัวอย่างที่ 9 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนต่อก้อนของอิฐมอญขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร(สำหรับอิฐมอญผสมกากกาแฟ 5%)

X = W + M(บาท/ก้อน)

- **ค่าแรง (W)**

โรงงานผลิตอิฐมอญ 1 โรง มีคนงาน 4 คนผลิตอิฐได้วันละ 8000 ก้อน

ค่าแรงช่างทำอิฐ/กรรมกร = 350 บาท/คน/วัน

= 4x350 บาท/วัน

= 1400 บาท/วัน

ค่าแรงผลิตอิฐมอญ = 0.175 บาท/ก้อน

- **ค่าวัสดุ (M)**

1. ดินเหนียว 1 ลบ.ม. ผลิตอิฐขนาด 160x65x40 มิลลิเมตรได้ประมาณ 2,300 ก้อน ราคาดินเฉลี่ย ลบ.ม. ละ 120 บาท

ค่าดินเหนียว = 120/2300 บาท/ก้อน

= 0.052บาท/ก้อน

2. กากกาแฟ ในการผลิตอิฐมอญ 2,300 ก้อน ใช้กากกาแฟในการผลิต 65 กิโลกรัม ราคากากกาแฟ 50บาท/กิโลกรัม

ค่ากากกาแฟ = 65x50

= 3250บาท

= 3250/2300

= 1.413บาท/ก้อน

3. น้ำประปา ในการผลิตอิฐมอญ 2,300 ก้อน ใช้น้ำประปาในการผลิตประมาณ 150 ลิตร ราคาน้ำประปา 16 บาท/ลบ.ม.

ค่าน้ำ 150 ลิตร = 2.40 บาท

= 2.40/2300

= 0.001บาท/ก้อน

ดังนั้น X = 0.175 + (0.052+1.413+0.001)บาท/ก้อน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

= 1.641บาท/ก้อน

สรุป อิฐมอญขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร1 ก้อน ผสมด้วยกากกาแฟ5% มีต้นทุนในการผลิต(รวมวัสดุและค่าแรงงาน) เท่ากับ 1.641บาท/ก้อน

ตัวอย่างที่ 10 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนต่อก้อนของอิฐมอญขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร(สำหรับอิฐมอญผสมชานอ้อย 5%)

X = W + M(บาท/ก้อน)

- **ค่าแรง (W)**

โรงงานผลิตอิฐมอญ 1 โรง มีคนงาน 4 คนผลิตอิฐได้วันละ 8000 ก้อน

ค่าแรงช่างทำอิฐ/กรรมกร = 350 บาท/คน/วัน

= 4x350 บาท/วัน

= 1400 บาท/วัน

ค่าแรงผลิตอิฐมอญ = 0.175 บาท/ก้อน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

- **ค่าวัสดุ (M)**

1. ดินเหนียว 1 ลบ.ม. ผลิตอิฐขนาด 160x65x40 มิลลิเมตรได้ประมาณ 2,300 ก้อน ราคาดินเฉลี่ย ลบ.ม. ละ 120 บาท

ค่าดินเหนียว = 120/2300 บาท/ก้อน

= 0.052บาท/ก้อน

2. ชานอ้อย ในการผลิตอิฐมอญ 2,300 ก้อน ใช้ชานอ้อยในการผลิต 65 กิโลกรัม ราคา

ชานอ้อย0.40 บาท/กิโลกรัม

ค่าชานอ้อย = 65x0.40

= 26บาท

= 26/2300

= 0.011บาท/ก้อน

3. น้ำประปา ในการผลิตอิฐมอญ 2,300 ก้อน ใช้น้ำประปาในการผลิตประมาณ 150 ลิตร ราคาน้ำประปา 16 บาท/ลบ.ม.

ค่าน้ำ 150 ลิตร = 2.40 บาท

= 2.40/2300

= 0.001บาท/ก้อน

ดังนั้น X = 0.175 + (0.052+0.011+0.001)บาท/ก้อน

= 0.239บาท/ก้อน

สรุป อิฐมอญขนาด160x65x40 มิลลิเมตร1ก้อน ผสมด้วยชานอ้อย 5% มีต้นทุนในการผลิต(รวมวัสดุและค่าแรงงาน) เท่ากับ 0.239บาท/ก้อน

ตัวอย่างที่ 11 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนต่อก้อนของอิฐมอญขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร(สำหรับอิฐมอญผสมเศษหญ้า 5%)

X = W + M(บาท/ก้อน)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

- **ค่าแรง (W)**

โรงงานผลิตอิฐมอญ 1 โรง มีคนงาน 4 คนผลิตอิฐได้วันละ 8000 ก้อน

ค่าแรงช่างทำอิฐ/กรรมกร = 350 บาท/คน/วัน

= 4x350 บาท/วัน

= 1400 บาท/วัน

ค่าแรงผลิตอิฐมอญ = 0.175 บาท/ก้อน

- **ค่าวัสดุ (M)**

1. ดินเหนียว 1 ลบ.ม. ผลิตอิฐขนาด 160x65x40 มิลลิเมตรได้ประมาณ 2,300 ก้อน ราคาดินเฉลี่ย ลบ.ม. ละ 120 บาท

ค่าดินเหนียว = 120/2300 บาท/ก้อน

= 0.052บาท/ก้อน

2. เศษหญ้าในการผลิตอิฐมอญ 2,300 ก้อน ใช้เศษหญ้าในการผลิต 65 กิโลกรัม ราคาเศษหญ้า0.50บาท/กิโลกรัม

ค่าเศษหญ้า = 65x0.50

= 32.5บาท

= 32.5/2300

= 0.014บาท/ก้อน

3. น้ำประปา ในการผลิตอิฐมอญ 2,300 ก้อน ใช้น้ำประปาในการผลิตประมาณ 150 ลิตร ราคาน้ำประปา 16 บาท/ลบ.ม.

ค่าน้ำ 150 ลิตร = 2.40 บาท

= 2.40/2300

= 0.001บาท/ก้อน

ดังนั้น X = 0.175 + (0.052+0.014+0.001)บาท/ก้อน

= 0.242บาท/ก้อน

สรุป อิฐมอญขนาด 160x65x40 มิลลิเมตร1ก้อน ผสมด้วยเศษหญ้า 5% มีต้นทุนในการผลิต(รวมวัสดุและค่าแรงงาน) เท่ากับ 0.242บาท/ก้อน

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ประวัติของผู้วิจัย

ชื่อ นายปัญญา พลมีเดช

วัน เดือน ปีเกิด 18 มกราคม 2524

สถานที่เกิด ตำบลหนองเม็ก อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี

ที่อยู่ปัจจุบัน เลขที่ 22 หมู่ที่ 13 ตำบลหนองเม็ก อำเภอหนองหาน
จังหวัดอุดรธานี

สถานที่ทำงาน สำนักงานเทศบาลตำบลหนองไผ่ หมู่ที่ 2 ตำบลหนองไผ่
อำเภอหนองหาน จังหวัดอุดรธานี

ตำแหน่ง หัวหน้าฝ่ายการโยธา

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2545 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.ก่อสร้าง) วิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี

พ.ศ.2548 วิศวกรรมบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

พ.ศ.2559 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY