

ผลของแอลกอฮอล์ แก้วแอลกอฮอล์ และแก้วชานอ้อยต่อสมบัติทางกายภาพ  
ของอิฐดินเผามวลเบา



นายสุทัศน์ จันบัวลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF RICE HUSK, RICE HUSK ASH, BAGASSE AND BAGASSE ASH  
ON PHYSICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CLAY BRICK

Mr. Sutas Janbuala



A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Materials Science

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของแอลกอฮอล์แก่แอลกอฮอล์ และแอลกอฮอล์ต่อสมบัติทางกายภาพของอิฐดินเผามวลเบา
โดย	นายสุทัศน์ จันทน์
สาขาวิชา	วัสดุศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนากร วาสนาเพียรพงศ์

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประณัฐ โพธิยะราช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนากร วาสนาเพียรพงศ์)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. สิริพรรณ นิลไพรัช)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กานต์ เสรีวัลย์สถิตย์)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. อภิรัฐ ธีรภาพิเศษพงษ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. นิรุติ หวังหมู่กลาง)

สุทัศน์ จันบัวลา : ผลของแกลบ เถ้าแกลบ ชานอ้อย และเถ้าชานอ้อยต่อสมบัติทางกายภาพของอิฐดินเผามวลเบา (EFFECTS OF RICE HUSK, RICE HUSK ASH, BAGASSE AND BAGASSE ASH ON PHYSICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CLAY BRICK) อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ธนากร วาสนาเพียรพงศ์, 144 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำวัสดุเหลือทิ้งคือ แกลบ เถ้าแกลบ ชานอ้อย และเถ้าชานอ้อยมาใช้ปรับปรุงสมบัติของอิฐดินเผาให้มีน้ำหนักเบาลง โดยการเติมแกลบ เถ้าแกลบ หรือเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก หรือเติมชานอ้อยร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนัก และเผาที่อุณหภูมิ 700 800 900 และ 1000 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่า การเติมแกลบ เถ้าแกลบ ชานอ้อย หรือเถ้าชานอ้อย ส่งผลให้ ความพรุนตัว การดูดซึมน้ำ ของชิ้นงานอิฐเพิ่มขึ้น ในขณะที่ ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด และการนำความร้อนลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ ความพรุนตัว การดูดซึมน้ำลดลง ในขณะที่ ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด การหดตัว และการนำความร้อนเพิ่มขึ้น ชิ้นงานอิฐที่เติมแกลบมีสมบัติที่ดีที่สุด เมื่อเติมแกลบร้อยละ 20 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส โดยได้ชิ้นงานอิฐที่มีความหนาแน่น 1.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความต้านทานแรงอัด 7.26 เมกะพาสคัล การนำความร้อน 0.51 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน และการดูดซึมน้ำร้อยละ 21 การเติมเถ้าแกลบชิ้นงานอิฐมีสมบัติที่ดีที่สุด เมื่อเติมเถ้าแกลบร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส โดยได้ชิ้นงานอิฐที่มีความหนาแน่น 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความต้านทานแรงอัด 5.97 เมกะพาสคัล การนำความร้อน 0.43 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน และการดูดซึมน้ำร้อยละ 20.59 การเติมชานอ้อยชิ้นงานอิฐมีสมบัติที่ดีที่สุด เมื่อเติมชานอ้อยร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส โดยได้ชิ้นงานอิฐที่มีความหนาแน่น 1.11 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความต้านทานแรงอัด 8.14 เมกะพาสคัล การนำความร้อน 0.43 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน และการดูดซึมน้ำร้อยละ 20.67 การเติมเถ้าชานอ้อยชิ้นงานอิฐมีสมบัติที่ดีที่สุด เมื่อเติมเถ้าชานอ้อยร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส โดยได้ชิ้นงานอิฐที่มีความหนาแน่น 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความต้านทานแรงอัด 9.42 เมกะพาสคัล การนำความร้อน 0.45 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน และการดูดซึมน้ำร้อยละ 21.9

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วัสดุศาสตร์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

# # 5672852123 : MAJOR MATERIALS SCIENCE

KEYWORDS: RICE HUSK / RICE HUSK ASH / BAGASSE ANDBAGASSE ASH / PHYSICALPROPERTIES / LIGHTWEIGHT

SUTAS JANBUALA: EEFECTS OF RICE HUSK, RICE HUSK ASH, BAGASSE ANDBAGASSE ASH ON PHYSICAL PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CLAY BRICK.  
ADVISOR: ASST. PROF. THANAKORN WASANAPIARNPONG, D.Eng., 144 pp.

The objective of this study were recycling of rice husk, rice husk ash, bagasse and bagasse ash waste to improve properties of lightweight clay bricks. The amount of rice husk, rice husk ash and bagasse ash waste added to lightweight clay brick were varied by 10, 20, 30, 40 % by weight, the amount of bagasse added to lightweight clay brick were varied by 5, 10, 15, 20 % by weight and variation of firing temperature by 700, 800, 900, 1000 °C. The results showed that more content of rice husk, rice husk ash, bagasse and bagasse ash waste was added, the higher values of porosity and water absorption was observed, in contrast to the reduction of thermal conduction and bulk density. The increase in firing temperature affected the decrease of porosity and water absorption, for rice husk added 20% and firing temperature 1000 °C the best properties as 1.19 g/cm<sup>3</sup> of bulk density, 7.26 MPa of compressive strength, 0.51 W/mK of thermal conductivity, and 21.0 % of water absorption, for rice husk ash added 10% and firing temperature 900 °C the best properties as 1.20 g/cm<sup>3</sup> of bulk density, 5.97 MPa of compressive strength, 0.43 W/mK of thermal conductivity, and 20.59 % of water absorption, for bagasse added 10% and firing temperature 1000 °C the best properties as 1.11 g/cm<sup>3</sup> of bulk density, 8.14 MPa of compressive strength, 0.43 W/mK of thermal conductivity, and 20.60 % of water absorption, for bagasse ash added 20% and firing temperature 1000 °C the best properties as 1.2 g/cm<sup>3</sup> of bulk density, 9.20 MPa of compressive strength, 0.45 W/mK of thermal conductivity, and 21.90 % of water absorption.

Department: Materials Science

Student's Signature .....

Field of Study: Materials Science

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2015

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร วาสนาเพียรพงศ์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ เป็นอย่างดี นิสิตปริญญาเอกสาขาวัสดุศาสตร์ (เซรามิกส์) ที่เป็นกัลยาณมิตรคอยช่วยเหลือในทุกเรื่องตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์ คุณวิรุพงษ์ ครพนม ที่ให้ความอนุเคราะห์และแนะนำในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ผลมหาวิทยาลัยสวนดุสิต ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาต่อและการทำวิทยานิพนธ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัด เจ เอส บริคเทค ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่ในการทดลอง



## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 อธิฐตินเผา .....	3
2.2 อธิฐมวลเบา .....	11
2.3 อธิฐตินเผาอมวลเบา.....	13
2.4 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.....	15
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย .....	37
3.1 วัตถุประสงค์และอุปกรณ์การวิจัย.....	37
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	44
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ .....	49
4.1 การวิเคราะห์วัตถุประสงค์ .....	49
4.2 ผลของแกลบต่อสมบัติของอิฐดินเผาอมวลเบา.....	60

4.3 ผลของชานอ้อยต่อสมบัติของดินดินเฝามวลเบา.....	73
4.4 ผลของเถ้าแกลบต่อสมบัติของอิฐดินเฝามวลเบา .....	87
4.5 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อสมบัติของดินดินเฝามวลเบา .....	100
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	113
5.1 การวิเคราะห์วัตถุติบ .....	113
5.2 ผลของแกลบต่อสมบัติอิฐดินเฝามวลเบา.....	113
5.3 ผลของชานอ้อยต่อสมบัติของอิฐดินเฝามวลเบา .....	114
5.4 ผลของเถ้าแกลบต่อสมบัติของอิฐดินเฝามวลเบา .....	115
5.5 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อสมบัติของอิฐดินเฝามวลเบา.....	116
5.6 สรุปภาพรวม.....	116
รายการอ้างอิง .....	119
ภาคผนวก.....	126
ภาคผนวก ก ภาพถ่ายชิ้นงานที่อุณหภูมิเฝา 900 องศาเซลเซียส .....	127
ภาคผนวก ข โครงสร้างเฟสของวัตถุติบ .....	132
ภาคผนวก ค กราฟการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนของวัตถุติบ.....	138
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	144



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การจำแนกผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาตามชั้นคุณภาพ และขนาด .....	10
ตารางที่ 2.2 ความต้านทานแรงอัดและค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินเผา .....	10
ตารางที่ 2.3 การแบ่งชนิดและสมบัติของอิฐบล็อกมวลเบา.....	12
ตารางที่ 2.4 ขนาดของอิฐบล็อกมวลเบา.....	12
ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบสมบัติของอิฐดินเผา อิฐมวลเบา และอิฐดินเผามวลเบา .....	14
ตารางที่ 2.6 ผลการวิจัยของ Demirl.....	23
ตารางที่ 2.7 ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำตามการศึกษาของ Norlia Mohamad Ibrahim.....	33
ตารางที่ 2.8 ผลของอัตราส่วนที่ต่างกันต่อสมบัติของอิฐมวลเบาตามการศึกษาของ Pimraksa P.....	35
ตารางที่ 2.9 ความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐมวลเบาตามการศึกษาของ สมชาย มณีวรรณ .....	36
ตารางที่ 2.10 เปรียบเทียบสมบัติของชิ้นงานที่เดิมสารเปลี่ยนสถานะร้อยละ 2.5.....	36
ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของดิน เถ้าแกลบ และเถ้าชานอ้อย .....	49
ตารางที่ 4.2 ความหนาแน่นรวมของวัตถุดิบ .....	50
ตารางที่ 4.3 ผลของแกลบต่อการหดตัว .....	61
ตารางที่ 4.4 ผลของแกลบต่อน้ำหนักสูญหาย.....	62
ตารางที่ 4.5 ผลของแกลบต่อความหนาแน่น.....	63
ตารางที่ 4.6 ผลของแกลบต่อความพรุนตัว .....	65
ตารางที่ 4.7 ผลของแกลบต่อการดูดซึมน้ำ.....	66
ตารางที่ 4.8 ผลของแกลบต่อความต้านทานแรงอัด .....	68
ตารางที่ 4.9 ผลของแกลบต่อการนำความร้อน.....	69
ตารางที่ 4.10 ผลของชานอ้อยต่อการหดตัวหลังเผา.....	74
ตารางที่ 4.11 ผลของชานอ้อยต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา .....	75

ตารางที่ 4.12 ผลของชานอ้อยต่อความหนาแน่น .....	77
ตารางที่ 4.13 ผลของชานอ้อยต่อความพรุนตัว .....	78
ตารางที่ 4.14 ผลของชานอ้อยต่อการดูดซึมน้ำ .....	80
ตารางที่ 4.15 ผลของชานอ้อยต่อความต้านทานแรงอัด .....	81
ตารางที่ 4.16 ผลของชานอ้อยต่อการนำความร้อน .....	83
ตารางที่ 4.17 ผลของเถ้าแกลบต่อการหดตัว .....	88
ตารางที่ 4.18 ผลของเถ้าแกลบต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา .....	89
ตารางที่ 4.19 ผลของเถ้าแกลบต่อความหนาแน่น .....	90
ตารางที่ 4.20 ผลของเถ้าแกลบต่อความพรุนตัว .....	92
ตารางที่ 4.21 ผลของเถ้าแกลบต่อการดูดกลืนน้ำ .....	93
ตารางที่ 4.22 ผลของเถ้าแกลบต่อความต้านทานแรงอัด .....	95
ตารางที่ 4.23 ผลของเถ้าแกลบต่อการนำความร้อน .....	96
ตารางที่ 4.24 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อการหดตัวหลังเผา .....	101
ตารางที่ 4.25 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา .....	102
ตารางที่ 4.26 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อความหนาแน่น .....	103
ตารางที่ 4.27 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อความพรุนตัว .....	105
ตารางที่ 4.28 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อการดูดกลืนน้ำ .....	106
ตารางที่ 4.29 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อความต้านทานแรงอัด .....	108
ตารางที่ 5.1 สมบัติของอิฐดินเผามวลเบา .....	117

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 อิฐมอญ .....	4
ภาพที่ 2.2 อิฐดินเผา .....	4
ภาพที่ 2.3 อิฐดินเผาที่ผ่านการขึ้นรูปโดยแบบพิมพ์ .....	6
ภาพที่ 2.4 อิฐดินเผาที่ผ่านการขึ้นรูปโดยการรีด .....	6
ภาพที่ 2.5 การตากอิฐ .....	6
ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนในการเกิดกระบวนการเผา (a) ขั้นตอนเริ่มต้น (b) และ (c) ขั้นตอนกลาง (d) ขั้นตอนสุดท้าย .....	7
ภาพที่ 2.7 การเปรียบเทียบลักษณะการซินเทอร์แบบ (a) Liquid phase sintering กับ (b) Solid state sintering .....	9
ภาพที่ 2.8 อิฐมวลเบา .....	11
ภาพที่ 2.9 อิฐดินเผามวลเบา .....	13
ภาพที่ 2.10 ขั้นตอนการผลิตอิฐดินเผามวลเบา .....	14
ภาพที่ 2.11 ชานอ้อย .....	16
ภาพที่ 2.12 เล้าชานอ้อย .....	16
ภาพที่ 2.13 แกลบ .....	17
ภาพที่ 2.14 เล้าแกลบ .....	18
ภาพที่ 2.15 ความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ตามการศึกษาของสุทัศน์ จันบัวลา .....	19
ภาพที่ 2.16 ความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ตามการศึกษาของสุทัศน์ จันบัวลา .....	20
ภาพที่ 2.17 ผลของแกลบต่อความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ของอิฐ ตามผลการศึกษาของสุทัศน์ จันบัวลา .....	21

ภาพที่ 2.18 ผลของแถบต่อความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ของอิฐ ตามผลการศึกษาของ Gorhan .....	22
ภาพที่ 2.19 ผลของแถบต่อความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ของอิฐ ตามผลการศึกษาของ Faria.....	25
ภาพที่ 2.20 ความต้านทานแรงอัดตามผลการวิจัยของ Eliche-Quesada .....	27
ภาพที่ 2.21 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่ไม่เติมวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตกระดาษ (a) กับที่เติมร้อยละ 30 (b) ตามผลการศึกษาของ Sutcu.....	27
ภาพที่ 2.22 แสดงความหนาแน่นต่อสัดส่วนของหินปูน ตามผลการศึกษาของ วรรรณา ต.แสงจันทร์ .....	28
ภาพที่ 2.23 ผลของผงหินอ่อนต่อความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ตามผลการศึกษาของ Sutcu.....	29
ภาพที่ 2.24 ผลของเถ้าขานอ้อยต่อ ความหนาแน่น (a) ความต้านทานแรงบิด (b) จากผลการศึกษาของ Souza .....	30
ภาพที่ 2.25 ผลของซังข้าวโพดต่อความหนาแน่น (a) และความแข็งแรง (b) ตามการศึกษาของ Nkayem.....	31
ภาพที่ 2.26 ผลของก้นบุหรี่ต่อความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ตามผลการศึกษาของ Mohajerani .....	32
ภาพที่ 2.27 ความหนาแน่น (a) และความแข็งแรง (b) ของชิ้นงาน ตามการศึกษาของ Kung-Yuh Chiang .....	34
ภาพที่ 3.1 ดินเหนียวจากอำเภอบางบาล .....	37
ภาพที่ 3.2 แถบดิบ .....	38
ภาพที่ 3.3 ขานอ้อยดิบ .....	38
ภาพที่ 3.4 เถ้าแกลบ.....	39
ภาพที่ 3.5 เถ้าขานอ้อย.....	39
ภาพที่ 3.6 ตะแกรงร่อน.....	40

ภาพที่ 3.7 เครื่องชั่ง และชุดหาคความหนาแน่น.....	41
ภาพที่ 3.8 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์.....	41
ภาพที่ 3.9 แม่พิมพ์แบบขึ้นรูป .....	41
ภาพที่ 3.10 เตาดเผาไฟฟ้า.....	42
ภาพที่ 3.11 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์.....	42
ภาพที่ 3.12 เครื่องดีฟเพอเรนเซียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ .....	42
ภาพที่ 3.13 เครื่องเอกซเรย์ดีฟแฟรกชันเทอร์โมมิเตอร์.....	43
ภาพที่ 3.14 เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล .....	43
ภาพที่ 3.15 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	44
ภาพที่ 3.16 ชิ้นงานที่ขึ้นรูป.....	45
ภาพที่ 3.17 ชิ้นงานที่ผ่านการเผา .....	46
ภาพที่ 3.18 แผนผังขั้นตอนการวิจัย.....	48
ภาพที่ 4.1 โครงสร้างเฟสของดิน.....	50
ภาพที่ 4.2 โครงสร้างเฟสแกลบ.....	51
ภาพที่ 4.3 โครงสร้างเฟสของชานอ้อย.....	52
ภาพที่ 4.4 โครงสร้างเฟสของเถ้าแกลบ.....	53
ภาพที่ 4.5 โครงสร้างเฟสของเถ้าชานอ้อย .....	54
ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของดิน .....	55
ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของแกลบ.....	56
ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของเถ้าแกลบ .....	57
ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของชานอ้อย.....	58
ภาพที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของเถ้าชานอ้อย .....	59
ภาพที่ 4.11 โครงสร้างเฟสของชิ้นงานที่เติมแกลบในปริมาณที่แตกต่างกัน .....	60

ภาพที่ 4.12 ผลของเกลือต่อการหดตัว.....	61
ภาพที่ 4.13 ผลของเกลือต่อน้ำหนักสูญหาย .....	62
ภาพที่ 4.14 ผลของเกลือต่อความหนาแน่น .....	64
ภาพที่ 4.15 ผลของเกลือต่อความพรุนตัว .....	65
ภาพที่ 4.16 ผลของเกลือต่อการดูดซึมน้ำ .....	67
ภาพที่ 4.17 ผลของเกลือต่อความต้านทานแรงอัด.....	68
ภาพที่ 4.18 ผลของเกลือต่อการนำความร้อน .....	70
ภาพที่ 4.19 ผลของเกลือต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และเติมเกลือ a) 10% b) 20% c) 30% และ d) 40% โดยน้ำหนัก.....	71
ภาพที่ 4.20 ผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐที่เติมเกลือร้อยละ 20 โดย น้ำหนักและ เผาที่อุณหภูมิ a) 700 องศาเซลเซียส b) 800 องศาเซลเซียส c) 900 องศาเซลเซียส d) 1000 องศาเซลเซียส.....	72
ภาพที่ 4.21 ผลของขานอ้อยต่อโครงสร้างเฟส .....	73
ภาพที่ 4.22 ผลของขานอ้อยต่อการหดตัวหลังเผา .....	74
ภาพที่ 4.23 ผลของขานอ้อยต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา .....	76
ภาพที่ 4.24 ผลของขานอ้อยต่อความหนาแน่น .....	77
ภาพที่ 4.25 ผลของขานอ้อยต่อความพรุนตัว.....	79
ภาพที่ 4.26 ผลของขานอ้อยต่อการดูดซึมน้ำ .....	80
ภาพที่ 4.27 ผลของขานอ้อยต่อความต้านทานแรงอัด.....	82
ภาพที่ 4.28 ผลของขานอ้อยต่อการนำความร้อน .....	84
ภาพที่ 4.29 ผลของขานอ้อยต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และเติมเกลือ a) 5% b) 10% c) 15% และ d) 20% .....	85
ภาพที่ 4.30 ผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐที่เติมขานอ้อยร้อยละ 10 โดย น้ำหนักและเผาที่อุณหภูมิ a) 700 องศาเซลเซียส b) 800 องศาเซลเซียส c) 900 องศาเซลเซียส.....	86

ภาพที่ 4.31 ผลของเก้า้แกลบต่อโครงสร้างเฟส .....	87
ภาพที่ 4.32 ผลของเก้า้แกลบต่อการหดตัวหลังเผา .....	88
ภาพที่ 4.33 ผลของเก้า้แกลบต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา.....	89
ภาพที่ 4.34 ผลของเก้า้แกลบต่อความหนาแน่น.....	91
ภาพที่ 4.35 ผลของเก้า้แกลบต่อความพรุนตัว.....	92
ภาพที่ 4.36 ผลของเก้า้แกลบต่อการดูดซึมน้ำ.....	94
ภาพที่ 4.37 ผลของเก้า้แกลบต่อความต้านทานแรงอัด.....	95
ภาพที่ 4.38 ผลของเก้า้แกลบต่อการนำความร้อน.....	97
ภาพที่ 4.39 โครงสร้างจุลภาคของอิฐดินเผาที่เติมเก้า้แกลบและเผาที่อุณหภูมิ 900 องศา เซลเซียส และเติมเก้า้แกลบ a) 10% b) 20% c) 30% d) 40% .....	98
ภาพที่ 4.40 ผลของเก้า้แกลบร้อยละ 20 ต่อโครงสร้างจุลภาคของอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ a) 700 องศาเซลเซียส b) 800องศาเซลเซียส c) 900 องศาเซลเซียส d) 1000 องศา เซลเซียส .....	99
ภาพที่ 4.41 โครงสร้างเฟสของชิ้นงานอิฐที่เติมเก้า้ชานอ้อยในปริมาณที่แตกต่างกัน .....	100
ภาพที่ 4.42 ผลของเก้า้ชานอ้อยต่อการหดตัวหลังเผา .....	101
ภาพที่ 4.43 ผลของเก้า้ชานอ้อยต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา .....	102
ภาพที่ 4.44 ผลของเก้า้ชานอ้อยต่อความหนาแน่น.....	104
ภาพที่ 4.45 ผลของเก้า้ชานอ้อยต่อความพรุนตัว .....	105
ภาพที่ 4.46 ผลของเก้า้ชานอ้อยต่อการดูดซึมน้ำ.....	107
ภาพที่ 4.47 ผลของเก้า้ชานอ้อยต่อความต้านทานแรงอัด .....	108
ภาพที่ 4.48 ผลของเก้า้ชานอ้อยต่อการนำความร้อน .....	110
ภาพที่ 4.49 ผลของเก้า้ชานอ้อยต่อโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ 900 องศา เซลเซียสและเติมแกลบ a) 10% b) 20% c) 30% และ d) 40% .....	111

ภาพที่ 4.50 ผลของเก้าชานอ้อยร้อยละ 20 ต่อโครงสร้างจุลภาคของอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ a) 700 องศาเซลเซียส b) 800 องศาเซลเซียส c) 900 องศาเซลเซียส d) 1000 องศาเซลเซียส .....	112
--	-----





# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อิฐดินเผาหรืออิฐมอญคือวัสดุก่อสร้างพื้นฐานที่มีความสำคัญ โดยมีการผลิตและใช้ในเกือบทุกประเทศทั่วโลก จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์พบว่ามีการใช้งานมาเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน โดยวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตคือดินเหนียวผสมกับวัสดุอื่นๆ เช่น ทราย ชี้เลื้อย แล้วขึ้นรูปโดยการอัดในแบบหรือการอัดรีด แล้วเผาที่อุณหภูมิประมาณ 700 – 1000 องศาเซลเซียส สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสามารถหาได้ในท้องถิ่นทั่วไป กระบวนการผลิตไม่ซับซ้อนทำให้มีการผลิตอย่างแพร่หลาย [1] โดยทั่วไปอิฐมอญจะหมายถึงอิฐที่ทำด้วยมือเปล่าและเป็นอิฐต้นคือไม่มีรู ส่วนอิฐดินเผาจะใช้เรียกอิฐที่ทำด้วยเครื่องโดยการอัดรีด (extrusion) ผ่านหัวแบบทำให้มีรูเกิดขึ้นในตัวอิฐตลอดแนวความยาวของการอัดรีด โดยจะมีตั้งแต่ 2 รู 4 รู หรือขึ้นอยู่กับแบบที่ใช้และความต้องการของลูกค้า โดยมีทั้งขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้แก่ดินจากแหล่งธรรมชาติในท้องถิ่น นำมาผสมน้ำ หมักให้เกิดความเหนียวและเติมทราย แกลบ หรือเถ้าแกลบลงไปเล็กน้อยเพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้ ใช้วิธีขึ้นรูปโดยการอัดในแบบ หรือการอัดรีด ผึ่งให้แห้ง นำไปเผาโดยใช้เชื้อเพลิงเช่นแกลบ หรือฟืน เป็นต้น สมบัติที่โดดเด่นของอิฐดินเผาคือมีความแข็งแรงสูงและมีความหนาแน่นมาก รวมทั้งมีความคงทนและสามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลาที่ยาวนาน ส่วนจุดด้อยคือมีน้ำหนักมากเนื่องจากมีความหนาแน่นสูง กั้นความร้อนและเสียงได้ไม่ดีนัก มีความเป็นฉนวนความร้อนต่ำเมื่อเทียบกับอิฐบล็อกมวลเบา [2] ในปัจจุบันมีวัสดุก่อสร้างที่เป็นคู่แข่งที่สำคัญของอิฐดินเผาคืออิฐมวลเบา ซึ่งมีน้ำหนักเบาและมีความเป็นฉนวนความร้อนดีกว่าอิฐดินเผา แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียของอิฐบล็อกมวลเบาคือมีความแข็งแรงต่ำ

จากปัญหาของอิฐดินเผาและอิฐมวลเบา ที่มีสมบัติที่แตกต่างด้านจุดเด่นและจุดด้อย จึงได้มีการพัฒนาวัสดุชนิดใหม่ที่มีสมบัติอยู่ระหว่างอิฐดินเผาและอิฐบล็อกมวลเบา เรียกว่าอิฐดินเผามวลเบา (lightweight clay brick) โดยอิฐดินเผามวลเบาจะมีกระบวนการและวัตถุดิบที่ใช้การผลิตเหมือนกับอิฐดินเผา แต่ในการผลิตมีการเติมวัตถุดิบที่ช่วยทำให้เกิดความพรุนตัวระหว่างเผาเข้าไป โดยวัตถุดิบที่เติมเข้าไปจะเกิดการสลายตัวระหว่างการเผาทำให้เกิดความพรุนตัวในเนื้ออิฐดินเผา ซึ่งจะส่งผลให้อิฐดินเผามีความหนาแน่นลดลง และมีความเป็นฉนวนความร้อนสูงเนื่องจากมีความพรุนตัว ตัวอย่างของกลุ่มวัสดุที่เติมลงไปในอิฐดินเผาเพื่อให้มีสมบัติเป็นอิฐดินเผามวลเบาได้แก่ [3,4,5]

1. การนำวัสดุชีวมวลที่เหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ เป็นส่วนผสมในวัตถุดิบหลัก สำหรับการหลักการของการเกิดความร้อนนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเผาผลิตอิฐดินเผา อินทรีย์สารซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของวัตถุดิบกลุ่มนี้เกิดการเผาไหม้สลายตัวออกไปจากเนื้อดินเผา ส่งผลให้เกิดรูพรุน

เป็นจำนวนมากในเนื้อของดินเผา ข้อดีของวิธีนี้คือเนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในประเทศไทย ทำให้ต้นทุนการผลิตไม่เพิ่มจากเดิม ตัวอย่างของชีวมวลที่ใช้เช่น ชี้อเลื้อย แกลบ เปลือกของเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น

2. การนำวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม มาเติมในวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตอิฐดินเผา เนื่องจากการสลายตัวเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างกระบวนการเผาของวัสดุที่นำมาเติม ส่งผลให้เกิดความพรุนตัวในเนื้อผลิตภัณฑ์อิฐดินเผา ข้อดีของวิธีนี้คือทั้งนี้เนื่องจากกากตะกอนหรือสิ่งที่เหลือจากการผลิตในอุตสาหกรรมเป็นของเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรม จึงเป็นการนำของเสียที่ต้องกำจัดทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมไปด้วย ตัวอย่างของวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมเช่น กากตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปา กากตะกอนจากโรงงานผลิตกระดาษ วัสดุที่เหลือจากการผลิตแก้ว เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะพัฒนาสมบัติของอิฐดินเผาโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีจำนวนมากในประเทศไทยได้แก่ แกลบ แ่้าแกลบ ชานอ้อย และแ่้าชานอ้อย เป็นส่วนผสม เพื่อพัฒนาสมบัติของอิฐดินเผาให้มีความหนาแน่นลดลง และมีความเป็นฉนวนความร้อนเพิ่มขึ้น โดยยังมีความต้านทานแรงอัดที่สูงเพียงพอกับการใช้งานก่อสร้าง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาอิฐดินเผาให้มีความหนาแน่นต่ำโดยใส่ แกลบ แ่้าแกลบ ชานอ้อย หรือแ่้าชานอ้อย เป็นส่วนผสม
2. วิเคราะห์สมบัติของอิฐดินเผาที่มีแกลบ แ่้าแกลบ ชานอ้อย หรือแ่้าชานอ้อย เป็นส่วนผสม

## 1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ผลิตภัณฑ์อิฐดินเผามวลเบาจากการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเป็นส่วนผสม โดยมีความเป็นฉนวนความร้อนและมีความแข็งแรงที่เหมาะสมกับการใช้งานก่อสร้างเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐบล็อกมวลเบา

## บทที่ 2

### การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 อิฐดินเผา

อิฐดินเผาหรืออิฐมอญ เป็นวัสดุก่อสร้างที่อยู่คู่กับสังคมไทยมานาน ซึ่งจะเห็นได้จากสิ่งก่อสร้างเก่าแก่ หรือโบราณสถานที่มีจะมีการก่อสร้างโดยใช้อิฐดินเผาเป็นหลัก โดยทั่วไปแล้วอิฐดินเผาสามารถผลิตได้ในทุกภาคของประเทศไทย เนื่องจากผลิตได้ง่าย อาศัยวัตถุดิบในท้องถิ่นเป็นหลัก ในการผลิตมักจะใช้ดินที่อยู่ตามท้องถนนผสมกับทราย หรือเถ้าแกลบ เพื่อลดความเหนียวของดินให้สามารถขึ้นรูปได้ ในอดีตมักขึ้นรูปโดยการใช้แรงงานคนอัดลงในแบบพิมพ์ ทำให้อิฐที่ผลิตในอดีตหรือที่เราเรียกอิฐมอญเป็นอิฐที่มีลักษณะตัน ไม่มีรู ปัจจุบันมีการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องรีด ทำให้ลักษณะอิฐมีรูตามของแบบพิมพ์สำหรับรีด อิฐดินเผามีมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดสมบัติของอิฐ เรียกว่ามาตรฐานอิฐก่อสร้างสามัญ มอก.77 โดยแบ่งเป็นชั้นคุณภาพ ก ข และ ค โดยชั้นคุณภาพ ก จะมีความต้านทานแรงอัดได้ต่ำสุดในแต่ละก้อนไม่ต่ำกว่า 17 เมกะพาสคัล การดูดซึมน้ำสูงสุดไม่เกินร้อยละ 22 ชั้นคุณภาพ ข จะมีความต้านทานแรงอัดได้ต่ำสุดในแต่ละก้อนไม่ต่ำกว่า 15 เมกะพาสคัล การดูดกลืนน้ำสูงสุดไม่เกินร้อยละ 25 และชั้นคุณภาพ ค จะมีความต้านทานแรงอัดได้ต่ำสุดในแต่ละก้อนไม่ต่ำกว่า 9 เมกะพาสคัล [6] สำหรับการดูดซึมน้ำในชั้นนี้ไม่กำหนด

#### ชนิดของอิฐดินเผา

การแบ่งชนิดของอิฐดินเผาในประเทศไทย แบ่งได้หลายชนิดตามรูปแบบและประโยชน์ของการใช้งาน ตัวอย่างชนิดของอิฐได้แก่ [7, 8,9]

1. อิฐมอญ เป็นลักษณะของอิฐดินเผาที่เป็นแบบอิฐตัน ไม่มีรู เป็นอิฐรูปแบบดั้งเดิมที่มีการผลิตมาเป็นระยะเวลายาวนาน สามารถผลิตได้ทุกภาคของประเทศไทย สำหรับแรงงานที่ใช้ในการผลิตจะเป็นการใช้แรงงานคนเป็นหลัก ตั้งแต่การขึ้นรูปลงในแบบพิมพ์ การตากอิฐ การตาก และการเก็บอิฐ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐมอญได้แก่ดินเหนียว ผสมกับทราย หรือเถ้าแกลบ หรือขี้เถ้าอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ที่นิยมกันมากที่สุดคือเถ้าแกลบ เนื่องจากเป็นวัสดุเหลือใช้จากการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงเผาอิฐ การขึ้นรูปจะใช้วิธีแบบง่าย ๆ โดยอัดลงในแบบพิมพ์ ในอดีตใช้ไม้เป็นแบบสำหรับขึ้นรูป จุดเด่นของอิฐมอญเนื่องจากลักษณะเป็นแบบตัน ไม่มีรู ทำให้มีความแข็งแรงสูง และป้องกันการดูดซึมน้ำได้ดี จึงเหมาะสำหรับใช้ทำผนังห้องน้ำ หรือบริเวณที่ต้องสัมผัสกับความชื้นหรือน้ำเป็นหลัก ข้อเสียของอิฐมอญคือ เนื่องจากการผลิตโดยใช้แรงงานคนเป็นหลักโดยเฉพาะการขึ้นรูปโดยใช้แรงงานคนอัดลงในแบบพิมพ์ ทำให้ขนาดที่ได้ไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจากมีขนาดไม่เท่ากัน นอกจากนี้การขึ้นรูปโดยใช้แรงงานคนทำให้เกิดความล่าช้า และอัตราการผลิตต่อวันได้จำนวนน้อย



ภาพที่ 2.1 อิฐมอญ

2. อิฐดินเผา เป็นชื่อของอิฐที่มีลักษณะเหมือนกันอิฐมอญ แต่แตกต่างกันที่อิฐดินเผาขึ้นรูปด้วยเครื่องรีด ทำให้มีรูตรงกลาง จำนวนรูขึ้นอยู่กับหัวรีด ลักษณะจุดเด่นของอิฐดินเผาคือ มีความแข็งแรงและความหนาแน่นสูง นอกจากนี้การผลิตด้วยเครื่องทำให้สามารถผลิตได้จำนวนมากในแต่ละวัน ขนาดจะได้มาตรฐาน ส่วนจุดด้อยของอิฐดินเผา เนื่องจากมีความหนาแน่นสูงส่งผลให้มีค่าการนำความร้อนสูงตามไปด้วย



ภาพที่ 2.2 อิฐดินเผา

3. อิฐประดับ เป็นลักษณะของอิฐดินเผาชนิดหนึ่งที่มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้สำหรับตกแต่งบ้าน โดยลักษณะจะมีความสวยงาม ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ชิ้นงานอิฐมีการตกแต่งตามความต้องการของลูกค้า สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะเหมือนกับอิฐดินเผาทั่วไป แต่การขึ้นรูปอาจใช้แบบพิมพ์ขึ้นรูปตามรูปแบบที่ต้องการ

4. อิฐโปรง เป็นลักษณะของอิฐดินเผาชนิดหนึ่ง ที่มีการเจาะรูตรงกลางให้ขนานกันไปตามยาว โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะมีลักษณะเหมือนกับอิฐดินเผาทั่วไป แต่จะไม่นิยมเติมทรายหรือเกล็ด

5. อิฐทนไฟ เป็นลักษณะของอิฐดินเผาที่มีวัตถุประสงค์สำหรับใช้ลักษณะพิเศษคือใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่นสำหรับทำผนังของเตา โดยการผลิตอิฐทนไฟจะใช้ดินที่มีส่วนผสมเป็นอลูมินา ค่อนข้างสูง เนื่องจากอะลูมินามีความเป็นฉนวนความร้อนที่ดี [10]

#### กระบวนการผลิตอิฐดินเผา

กระบวนการผลิตอิฐดินเผาโดยทั่วไปเป็นวิธีการที่มีการผลิตมาเป็นเวลายาวนาน โดยมีขั้นตอนในการผลิตได้แก่ [7,8,9]

1. การเตรียมวัตถุดิบ วัตถุดิบหลักในการผลิตอิฐดินเผาคือดินจากท้องนา หรือดินบริเวณริมบึง ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือซิลิกอนไดออกไซด์ และมีออกไซด์ของเหล็กเป็นส่วนประกอบที่ทำให้อิฐมีสีแดงหลังผ่านการเผา โดยดินจะถูกนำมาคัดแยกสิ่งเจือปนออกแล้วหมักในบ่อดินโดยใช้เวลา 2-3 วัน หรือบางครั้งอาจต้องมีการบดให้มีความละเอียดก่อนใช้งาน

2. การเติมวัตถุดิบตัวอื่นลงไปเหนียวดินเพื่อลดความเหนียวของดินให้สามารถขึ้นรูปได้ โดยวัตถุดิบที่เติมได้แก่ แกลบ หรือเถ้าแกลบ หรือทราย สำหรับในขั้นตอนนี้หลังจากดินผ่านการหมัก จะมีการเติมวัตถุดิบเหล่านี้ลงไปเล็กน้อยเพื่อลดความเหนียวของดิน โดยทั่วไปจะเติมไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เพราะถ้าเติมมากเกินไปจะส่งผลให้วัตถุดิบมีความเหนียวน้อย ทำให้ขึ้นรูปยาก และการเติมมากเกินไปอาจส่งผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงานอิฐหลังเผาได้

3. การขึ้นรูปอิฐ สำหรับกระบวนการขึ้นรูปอิฐแบบดั้งเดิมจะใช้วิธีการโดยอัดลงในแบบพิมพ์รูปสี่เหลี่ยมที่ทำจากไม้ โดยใช้แรงงานคนในการอัดขึ้นรูป และตกแต่งชิ้นงานอิฐ หลังจากนั้นทำการปาดข้างหน้าให้อิฐมีความเรียบ และปล่อยให้แห้งก่อนนำออกจากแบบพิมพ์ ในปัจจุบันนิยมขึ้นรูปโดยใช้เครื่องรีดอิฐ ซึ่งลักษณะของอิฐจะมีรูตามหัวรีด การขึ้นรูปวิธีนี้จะทำให้ขึ้นผลิตอิฐได้เร็วขึ้นกว่าการขึ้นรูปแบบใช้แบบพิมพ์ และขนาดของอิฐจะได้มาตรฐานมากกว่าการขึ้นรูปโดยใช้แรงงานคน

4. การตากอิฐให้แห้ง หลังจากอิฐผ่านการขึ้นรูปแล้ว ชิ้นงานอิฐจะถูกลำเลียงนำไปตากให้แห้งในลานสำหรับตากโดยใช้แสงแดด ใช้เวลาตากประมาณ 4 - 5 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพของแสงแดดในขณะนั้น

5. การเผาอิฐ อิฐที่ถูกตากให้แห้งจะถูกนำเข้าเตาเผา โดยการเรียงอิฐให้มีช่องว่างระหว่างแถวสำหรับเติมเชื้อเพลิงได้ เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาโดยทั่วไปจะใช้ฟืน หรือแกลบ โดยถ้าใช้แกลบจะเผาโดยการเติมแกลบไปเรื่อยๆ ใช้ระยะเวลาประมาณ 3 - 4 วัน จนกระทั่งอิฐสุกตัว และเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่จะนำอิฐออกจำหน่ายต่อไป



ภาพที่ 2.3 อิฐดินเผาที่ผ่านการขึ้นรูปโดยแบบพิมพ์



ภาพที่ 2.4 อิฐดินเผาที่ผ่านการขึ้นรูปโดยการรีด



ภาพที่ 2.5 การตากอิฐ

### กระบวนการที่เกิดขึ้นในการเผาอิฐ

การเผาเซรามิกส์ หรืออิฐ อาจเรียกว่าการเผาอบผนึก (sintering) โดยขั้นตอนและกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาอิฐเป็นส่วนที่สำคัญ เนื่องจากการเผาเป็นขั้นตอนที่ทำให้ชิ้นงานอิฐเกิดความแข็งแรง มีความหนาแน่นสูง เพราะอนุภาคที่อยู่ในชิ้นงานอิฐเกิดการยึดเหนี่ยวกัน นอกจากนี้ในกระบวนการเผายังเป็นขั้นตอนที่กำหนดสมบัติอื่นๆ ของอิฐ เช่นความพรุนตัว ซึ่งส่งผลต่อการดูดกลืนน้ำ และการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ ดังนั้นการเข้าใจกระบวนการหรือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างเผาจึงเป็นสิ่งสำคัญไม่น้อยกว่าการศึกษาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

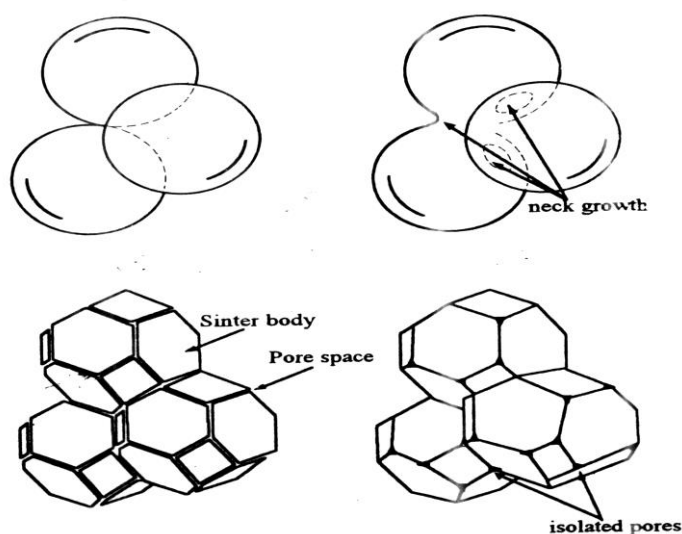
สำหรับกลไกที่เกิดขึ้นในระหว่างเผาแบ่งอิฐ แบ่งได้ 3 ขั้นตอนคือ [ 7,8,9, 11]

1. ขั้นตอนที่เริ่มต้น (initial stage) ขั้นตอนที่จะเป็นขั้นตอนแรกของการเผา โดยในขั้นตอนนี้ อนุภาคจะเริ่มขยับตัวเพื่อให้มีจุดสัมผัสกับอนุภาคที่อยู่รอบๆข้างให้มากที่สุด หลังจากนั้นก็จะเริ่มเกิดรอยต่อระหว่างอนุภาค

2. ขั้นตอนที่กลาง (intermediate stage) หลังจากที่อนุภาคมีการขยับเพื่อเชื่อมต่อกันแล้วในขั้นตอนต่อมา รอยต่อระหว่างอนุภาคที่มาเชื่อมกันจะโตขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานมีการหดตัว และช่องว่างหรือรูพรุนที่เชื่อมต่อระหว่างอนุภาคจะลดลง โดยขั้นตอนนี้อนุภาคจะเริ่มเคลื่อนที่เข้าหากันเพื่อยึดเหนี่ยวกัน

3. ขั้นตอนที่สุดท้าย (final stage) เป็นขั้นตอนที่ช่องว่างเริ่มเคลื่อนตัวออกจากชิ้นงานอิฐ โดยขนาดของเกรนจะโตขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกรนที่มีขนาดเล็กจะถูกเกรนที่มีขนาดใหญ่กลืนให้เข้ามาเป็นเกรนเดียวกัน ขั้นตอนนี้จะเริ่มต้นจากการที่รูพรุนเริ่มเคลื่อนที่ออกไปจากชิ้นงาน

โดยขั้นกลไกที่เกิดขึ้นในกระบวนการเผา แสดงดังภาพที่ 2.6 [11]



ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนในการเกิดกระบวนการเผา (a) ขั้นตอนที่เริ่มต้น (b) และ (c) ขั้นตอนที่กลาง (d) ขั้นตอนที่สุดท้าย

### การเกิดเฟสในระหว่างการเผาผนึกอิฐ

การเกิดเฟสในระหว่างการเผาอิฐ เป็นกระบวนการสำคัญที่ส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความแข็งแรงมากขึ้น ทั้งนี้ในกระบวนการเผามีเฟสที่เกิดขึ้น 2 เฟส ได้แก่เฟสของแข็ง และเฟสของเหลว โดยลักษณะของเฟสที่เกิดขึ้นได้แก่ [7,8,10,12]

#### 1. การเกิดเฟสของเหลวขณะเผา (liquid phase sintering)

การเกิดเฟสของเหลวขณะเผา คือลักษณะของการเผาที่มีเนื้อสารบางส่วนหรือทั้งหมดอยู่ในสภาพของเหลว ข้อดีของเฟสของเหลวคือทำให้อนุภาคของชิ้นงานที่เผาเกิดการเชื่อมต่อกันได้ง่าย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคเพื่อเชื่อมต่อกันเกิดได้ง่ายขึ้น ดังนั้นชิ้นงานที่มีการเกิดเฟสของเหลวในระหว่างเผามาก จึงทำให้กระบวนการเผาเกิดได้ง่ายขึ้น แต่มีข้อเสียคือเฟสของเหลวที่เกิดขึ้นถ้ามีมากเกินไปชิ้นงานจะหดตัวสูง และความแข็งแรงอาจลดลงได้ สำหรับขั้นตอนการเกิดเฟสของเหลวขณะเผานั้นมี 3 ขั้นตอน ได้แก่

1.1 การเกิดเฟสของเหลว (liquid formation) ในขั้นตอนนี้อนุภาคบางส่วน ที่ปกติเป็นของแข็งจะเริ่มฟอร์มตัวเป็นของเหลว โดยทั่วไปจะเป็นอนุภาคของธาตุที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ เช่น ธาตุอัลคาไล

1.2 การเรียงตัวกันของอนุภาค (particle rearrangement) สำหรับในขั้นตอนนี้ เฟสของเหลวที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรก จะช่วยทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นทำให้อนุภาคสามารถเคลื่อนที่จัดเรียงตัวใหม่ได้อย่างรวดเร็วขึ้น

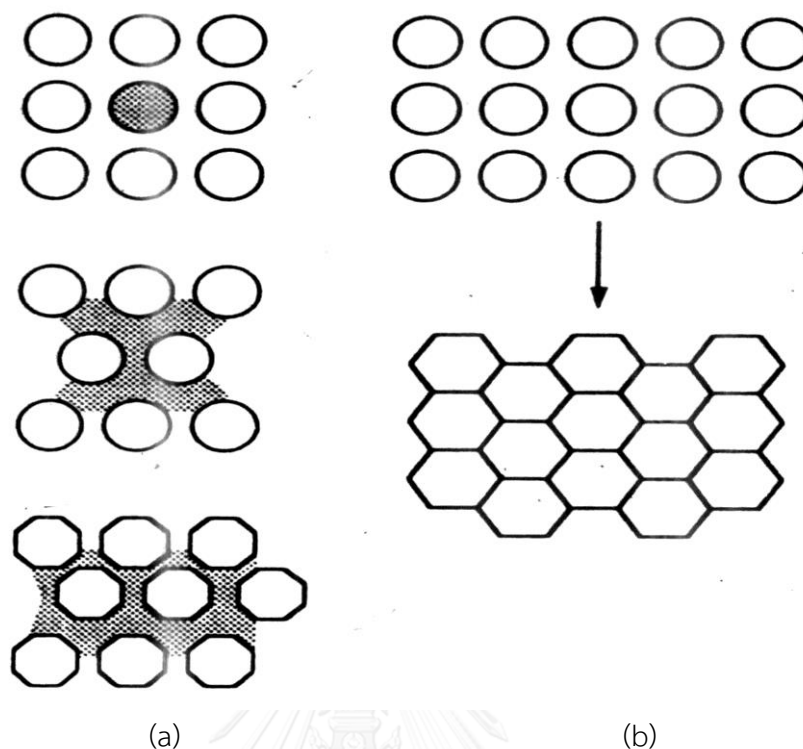
1.3. การตกผลึกของสารละลาย (solution reprecipitation) เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่เฟสของเหลวที่ทำหน้าที่ให้อนุภาคเชื่อมต่อกันได้ง่ายขึ้นจะตกผลึก จนกระทั่งกลายเป็นของแข็ง

#### 2. การเกิดเฟสของแข็งขณะเผา (solid state sintering )

ลักษณะของการเกิดเฟสของแข็งระหว่างเผานั้น อนุภาคทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเฟสของแข็งบางส่วน หรือทั้งหมด โดยกระบวนการที่ทำให้เกิดการเชื่อมต่อนี้ระหว่างอนุภาคจะเกิดจากการแพร่ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างพลังงานบนพื้นผิวของอนุภาค โดยจะมีการแพร่ในลักษณะหลายบริเวณ เช่นการแพร่ที่บริเวณพื้นผิว ที่บริเวณขอบเกรน หรือการแพร่ของแลตทิซ เป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการเกิดเฟสของเหลวขณะเผากับการเกิดเฟสของแข็ง แสดงดังภาพที่ 2.7 [12]





ภาพที่ 2.7 การเปรียบเทียบลักษณะการซินเทอร์แบบ (a) Liquid phase sintering  
กับ (b) Solid state sintering

### สมบัติของอิฐดินเผา

สมบัติที่สำคัญที่มีผลต่อการใช้งานของอิฐดินเผาได้แก่

**1. ความหนาแน่น** ความหนาแน่นของอิฐดินเผาเป็นสมบัติพื้นฐานที่จะกำหนดสมบัติอื่นๆ เช่นความแข็งแรง ความสามารถในการดูดซึมน้ำ การนำความร้อน โดยทั่วไปอิฐที่มีความหนาแน่นสูงจะมีความแข็งแรงสูงและมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำ แต่จะมีค่าการนำความร้อนที่สูงตามไปด้วย ดังนั้นการออกแบบอิฐให้มีความหนาแน่นที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนั้นการที่อิฐมีความหนาแน่นสูงจะส่งผลให้น้ำหนักของอิฐมากตามไปด้วย

**2. ความต้านทานแรงอัด** โดยทั่วไปการใช้งานอิฐดินเผาจะต้องใช้รับแรงกดที่เกิดจากน้ำหนักของวัสดุก่อสร้างเป็นหลัก ดังนั้นการกำหนดความแข็งแรงของอิฐมักจะกำหนดในรูปของค่าการต้านทานแรงอัด โดยอิฐที่ดีจะต้องมีค่าการต้านทานแรงอัดที่สูงซึ่งจะทำให้มีความแข็งแรงสูง

**3. การดูดซึมน้ำ** ค่าการดูดซึมน้ำเป็นสมบัติที่สำคัญของอิฐดินเผาในการป้องกันการดูดซึมน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้งานหลักของอิฐคือใช้เป็นผนังสำหรับป้องกันฝนด้วย ดังนั้นอิฐดินเผาควรมีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำ

**4.การนำความร้อน** การนำความร้อนคือค่าความสามารถในการส่งผ่านความร้อนของวัสดุ ทั้งนี้อิฐดินเผาที่ดีจะต้องมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารเข้าสู่ตัวอาคาร

**5. การหดตัว** การหดตัวคือสมบัติของอิฐเมื่อได้รับความร้อน จะมีการลดขนาดเพื่อให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ทั้งนี้การหดตัวมีทั้งการหดตัวหลังแห้งเนื่องจากชั้นงานอิฐสูญเสียน้ำจากการระเหย และการหดตัวหลังเผา โดยการหดตัวมีความสำคัญ เนื่องจากชั้นงานที่หดตัวมากอาจทำให้เกิดการแตกร้าวเสียหายได้

**6. ความพรุนตัว** ความพรุนตัวคือสมบัติของชั้นงานอิฐที่เกิดเนื่องจากภายในมีรูพรุนเกิดขึ้น ความพรุนตัวมีผลต่อสมบัติอื่นของชั้นงาน เช่น ความหนาแน่น ความแข็งแรง การนำความร้อน

#### มาตรฐานอุตสาหกรรมของอิฐดินเผา

อิฐดินเผามีการกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรม เรียกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐสามัญ (มอก.77-2545) โดยมีรายละเอียดคือ

การจำแนกผลิตภัณฑ์ ตามชั้น และขนาด ตามตารางที่ 2.1 [6]

ตารางที่ 2.1 การจำแนกผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาตามชั้นคุณภาพ และขนาด

ชั้นคุณภาพ	ขนาด (ยาว x กว้าง x หนา) มิลลิเมตร
ก	140 x 65 x 40
ข	190 x 90 x 40
ค	190 x 90 x 65
	190 x 90 x 90

ในส่วนของความต้านทานแรงอัดและค่าการดูดกลืนน้ำมีการกำหนดเกณฑ์ตามตารางที่ 2.2 [6]

ตารางที่ 2.2 ความต้านทานแรงอัดและค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินเผา

ชั้นคุณภาพ	ความต้านทานแรงอัดต่ำสุด (MPa)		ร้อยละการดูดซึมน้ำสูงสุด	
	เฉลี่ย 5 ก้อน	แต่ละก้อน	เฉลี่ย 5 ก้อน	แต่ละก้อน
ก	21.0	17.0	17.0	20.0
ข	17.0	15.0	22.0	25.0
ค	10.0	9.0	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด

## 2.2 อิฐมวลเบา

อิฐมวลเบาหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบา คือวัสดุก่อสร้างที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยลักษณะการใช้งานจะเหมือนกับอิฐดินเผา อิฐมวลเบาผลิตจากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย ปูนขาว ยิปซั่ม และสารกระจายตัวที่ทำให้เกิดฟองน้ำ แล้วอบด้วยไอน้ำภายใต้ความดันสูง ทำให้เกิดรูพรุนปิดขนาดเล็กๆ จำนวนมากกระจายตัวอยู่ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ สมบัติที่สำคัญของอิฐมวลเบาที่มาทดแทนหรือออกช่องว่างของอิฐดินเผาคือการมีน้ำหนักต่อหน่วยหรือมีความหนาแน่นน้อย เนื่องจากมีความพรุนตัว ทำให้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีกว่าอิฐดินเผา มีขนาดใหญ่กว่าอิฐดินเผาส่งผลให้ใช้เวลาในการก่อสร้างได้เร็วขึ้น



ภาพที่ 2.8 อิฐมวลเบา

### มาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐมวลเบา

อิฐดินมวลเบาได้ถูกกำหนดให้มีมาตรฐานอุตสาหกรรม เรียกมาตรฐานคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศ [13] โดยมีการแบ่งชนิด และสมบัติ ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การแบ่งชนิดและสมบัติของอิฐบล็อกมวลเบา

ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตร ในสภาพแห้งเฉลี่ย ( $\text{kg/m}^3$ )	ความต้านทานแรงอัด ขั้นต่ำ (MPa)	การดูดซึมน้ำไม่เกิน (ร้อยละ)
C6	01 ถึง 600	2.0	25
C7	601 ถึง 700		
C8	701 ถึง 800		
C9	801 ถึง 900	2.5	23
C10	901 ถึง 1000		
C12	1001 ถึง 1200		
C14	1201 ถึง 1400	5.0	20
C16	1401 ถึง 1 600		

ในส่วนของขนาดอิฐบล็อกมวลเบาได้กำหนดขนาดที่เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมดังตารางที่ 2.4 [13]

ตารางที่ 2.4 ขนาดของอิฐบล็อกมวลเบา

ความยาว	ความสูง	ความหนา
200	300	เป็นไปตามที่ฉลากกำหนด
	400	
	500	
	600	

## 2.3 อิฐดินเผามวลเบา

จากจุดด้อยของอิฐดินเผา จึงได้มีการพัฒนาอิฐดินเผาชนิดใหม่ให้มีน้ำหนักหรือความหนาแน่นลดลง โดยการเพิ่มความพรุนตัวให้กับอิฐดินเผา โดยอิฐดินเผาชนิดใหม่ที่พัฒนาขึ้นเรียกว่า อิฐดินเผามวลเบา สำหรับแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาให้เป็นอิฐดินเผามวลเบาทำได้โดยการเติมสารหรือวัตถุที่ทำให้เกิดความพรุนตัวในเนื้อของอิฐดินเผาได้แก่ [14]

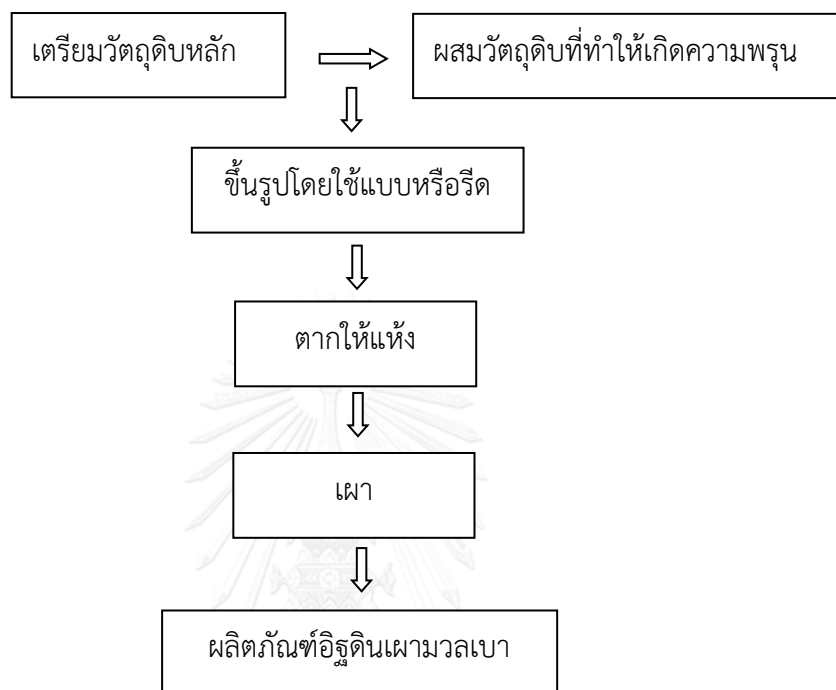
1. การใช้สารอินทรีย์หรือวัตถุที่เหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมมาเติมในวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต ข้อดีของวิธีนี้คือทั้งนี้เนื่องจากกากตะกอนหรือสิ่งที่เหลือจากการผลิตในอุตสาหกรรมเกษตรมีเป็นจำนวนมากเป็นของเหลือ (waste) จึงเป็นการนำของเสียที่ต้องกำจัดทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมไปด้วย หลักการของการทำให้เกิดความพรุนตัวจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเผาผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาทำให้อินทรีย์สารที่เป็นส่วนประกอบหลักของวัตถุดิบกลุ่มนี้เกิดการสลายตัว (decomposition) ออกไปจากเนื้อดินเผา ส่งผลให้เกิดรูพรุนเป็นจำนวนมากในเนื้อของดินเผา ตัวอย่างของวัตถุที่ใช้ได้แก่ แกลบ ถั่วแกลบ เปลือกของเมล็ดทานตะวัน ของเหลือจากโรงงานยาสูบ กากตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปา ตะกอนจากโรงงานผลิตกระดาษ เป็นต้น

2. การใช้สารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดความพรุนตัวเนื่องจากการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างกระบวนการเผาจากการทำปฏิกิริยาของธาตุแคลเซียมคาร์บอเนต เติมลงในวัตถุดิบหลัก ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความพรุนตัวในเนื้อผลิตภัณฑ์อิฐดินเผา ตัวอย่างของวัตถุที่ใช้เติมได้แก่ ผงหินจากหินอ่อน (marble) ของเหลือจากการผลิตแก้ว ของเหลือจากกระบวนการผลิตกรดฟอสเฟอริก (phosphoric acid) เป็นต้น



ภาพที่ 2.9 อิฐดินเผามวลเบา

สำหรับกระบวนการผลิตอิฐดินเผามวลเบาจะมีขั้นตอนการผลิตเหมือนกับการผลิตอิฐดินเผาธรรมดาโดยสามารถใช้อุปกรณ์และวิธีการผลิตเหมือนกับการกระบวนการผลิตอิฐดินเผาได้เลย แต่อาจจะเพิ่มขั้นตอนในส่วนของการผสมวัตถุดิบที่ทำให้เกิดรูพรุนหลังเผาเข้าไปนั่นเอง โดยกระบวนการผลิตอิฐดินเผามวลเบาแสดงดังภาพที่ 2.10 [14]



ภาพที่ 2.10 ขั้นตอนการผลิตอิฐดินเผามวลเบา

จุดเด่นของของอิฐดินเผามวลเบา นั่นคือการมีสมบัติอยู่กึ่งกลางระหว่างผลิตภัณฑ์อิฐดินเผา กับอิฐมวลเบาที่มีการผลิตจริงในประเทศ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของอิฐดินเผาและอิฐมวลเบา กำหนด โดยเมื่อเปรียบเทียบสมบัติของอิฐทั้ง 3 ชนิด แสดงดังตารางที่ 2.5 [14]

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบสมบัติของอิฐดินเผา อิฐมวลเบา และอิฐดินเผามวลเบา

สมบัติ/ชนิดอิฐ	อิฐดินเผา	อิฐมวลเบา	อิฐดินเผามวลเบา
ความหนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ )	สูง	ต่ำกว่า 1.20	1.00 -1.50
ความต้านทานแรงอัดขั้นต่ำ (MPa)	9	2.5 - 5	2.5 - 12
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	สูง	ต่ำ	ปานกลาง
การดูดซึมน้ำ (%)	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 25	20 - 30

## 2.4 วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศ เกษตรกรรม โดยเฉพาะการปลูกข้าว และอ้อย ที่มีเป็นจำนวนมาก ทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางการเกษตร ของพืชในกลุ่มนี้เป็นจำนวนมาก

### ขานอ้อย (bagasse)

ขานอ้อยคือชีวมวลที่เหลือจากการเกษตร ซึ่งเป็นวัสดุที่เกิดจากการผ่านกระบวนการเพื่อเอา ส่วนประกอบที่เป็นน้ำออกจากลำต้นของอ้อย ทำให้เหลือกากของต้นอ้อยที่ส่วนประกอบหลักเป็นไฟเบอร์ ขานอ้อยนับว่าเป็นกากที่เหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ที่มีเป็นจำนวนมากในหลายประเทศได้แก่ บราซิล อินเดีย จีน ไทย [15] สำหรับในประเทศไทยมีการปลูกอ้อยเป็นจำนวนมาก ในหนึ่งปีจะมีขานอ้อยที่เหลือจากอุตสาหกรรมน้ำตาลประมาณ 20 ล้านตัน โดยทั่วไปขานอ้อยประมาณร้อยละ 80 จะถูกนำไปใช้งานเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ใช้ผลิตเยื่อกระดาษ ใช้เป็นแผ่นอัดสำหรับวัสดุก่อสร้าง แต่ยังมีบางส่วนประมาณร้อยละ 20 ที่ยังไม่ถูกนำไปใช้งาน องค์ประกอบทางเคมีของขานอ้อยประกอบไปด้วย เซลลูโลส (cellulose) ร้อยละ 45-55 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ร้อยละ 20-25 ลิกนิน (lignin) ร้อยละ 18-24 และเถ้าขานอ้อยร้อยละ 1-4 [16, 17, 18]

### การใช้ประโยชน์จากขานอ้อย

ปัจจุบันมีการนำขานอ้อยไปใช้ประโยชน์ได้แก่ [18,19]

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยทั่วไปการใช้ประโยชน์หลักของขานอ้อย คือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งโรงงานน้ำตาลจะมีการนำขานอ้อยที่เหลือจากการผลิตน้ำตาลมาหมุนเวียนใช้ในโรงงานโดยการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าหมุนเวียนใช้ในโรงงาน
2. ใช้ผลิตเป็นวัสดุก่อสร้าง โดยการอัดเป็นแผ่น ทั้งนี้เนื่องจากขานอ้อยมีไฟเบอร์สูงจึงเหมาะสำหรับอัดเป็นแผ่นโดยใช้กาวประสาน เพื่อเป็นเป็นผนังสำหรับก่อสร้าง โดยผนังที่ทำจากขานอ้อยมีลักษณะพิเศษคือ เป็นฉนวนเสียงได้เป็นอย่างดี
3. ใช้ผลิตเป็นกระดาษ เนื่องจากขานอ้อยมีลักษณะเป็นไฟเบอร์ จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้งานโดยการอัดเป็นแผ่นอยู่ในรูปของกระดาษขานอ้อย
4. ใช้เป็นปุ๋ย และวัสดุคลุมดิน เนื่องจากขานอ้อยเป็นวัสดุชีวมวลที่มีส่วนประกอบบางส่วนเป็นน้ำตาลซึ่งสามารถย่อยสลายได้ดี จึงเหมาะสำหรับทำปุ๋ยสำหรับพืชได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 2.11 ชานอ้อย

#### เถ้าชานอ้อย (bagasse ash)

เถ้าชานอ้อยคือส่วนประกอบที่เหลือจากการเผาไหม้ชานอ้อย เมื่อชานอ้อยมีการเผาไหม้จะเหลือเถ้าอยู่ประมาณร้อยละ 1-4 โดยชานอ้อยเมื่อเผาไหม้เป็นเถ้าชานอ้อยแล้ว จะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิคอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 55 - 70 มีความหนาแน่นประมาณ 1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [20] เถ้าชานอ้อยนับว่าเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีเป็นจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่จะเป็นเถ้าชานอ้อยที่เหลือจากการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากเถ้าชานอ้อยยังมีไม่มากเท่าที่ควร ส่วนใหญ่จะใช้ประโยชน์ในเรื่องของการเป็นปุ๋ยหรือวัสดุสำหรับปลูกพืช และจะมีบางส่วนที่มีการนำไปใช้สำหรับเป็นส่วนผสมของซีเมนต์ [21] ส่วนผสมของกลาสเซรามิกส์ [22] การสกัดเอาซิลิกา [23]



ภาพที่ 2.12 เถ้าชานอ้อย



### แกลบ (rice husk)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการปลูกข้าวมากเป็นอันดับ 6 ของโลก โดยประเทศที่มีการปลูกข้าวมากที่สุดคือจีน รองลงมาคืออินเดีย อย่างไรก็ตามประเทศไทยนับเป็นประเทศที่มีการส่งออกข้าวมากที่สุดในโลก [24] ในกระบวนการผลิตข้าวเมื่อได้ข้าวเปลือกมาจะต้องสีข้าวเพื่อเอาเปลือกข้าวออกให้เหลือเฉพาะเม็ดข้าว หรือที่เราเรียกว่าข้าวสาร โดยมีสิ่งที่เหลือทิ้งจากการสีข้าว นั่นก็คือเปลือกของเม็ดข้าว เรียกว่าแกลบข้าว (rice husk) นั่นเอง แกลบข้าวหรือที่เรียกสั้นๆ ว่าแกลบ คือส่วนที่เหลือทิ้งจากการผลิตข้าวสาร และมีเป็นจำนวนมากในประเทศไทย ในอดีตแกลบข้าวถือว่าเป็นของเหลือทิ้งที่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ แต่สำหรับปัจจุบันแกลบจัดเป็นวัสดุชีวมวลที่สำคัญ ใช้เป็นเชื้อเพลิง และใช้ในการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าชีวมวล กระบวนการเผาแกลบจะทำให้เกิดของเหลือทิ้งเป็นมีลักษณะเป็นสีขาว หรือสีดำ เรียกว่าเถ้าแกลบ



ภาพที่ 2.13 แกลบ

สำหรับการใช้ประโยชน์ของแกลบในปัจจุบันมีเป็นจำนวนมากได้แก่

1. การใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ปัจจุบันเถ้าแกลบเป็นชีวมวลที่มีความสำคัญสำหรับใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากเป็นชีวมวลที่มีเป็นจำนวนมาก
2. การใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตอิฐดินเผา โดยทั่วไปโรงงานที่ผลิตอิฐดินเผาแบบดั้งเดิมจะใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผา เพราะเป็นชีวมวลที่หาได้ง่ายและมีจำนวนมาก
3. การใช้เป็นวัสดุสำหรับปลูกพืช หรือวัสดุคลุมดิน
4. ใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้างเช่น อิฐดินเผา อิฐบล็อก

### เถ้าแกลบ (rice husk ash)

เถ้าแกลบคือวัสดุที่เหลือจากการเผาไม้แกลบ มีลักษณะเป็นอนุภาคสีขาวเทา ถึงดำ (ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการเผาไหม้) โดยเมื่อเผาแกลบจะมีส่วนที่เหลือเป็นเถ้าประมาณร้อยละ 20 เถ้าแกลบมีส่วนประกอบหลักคือซิลิกอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 80 – 90 ปัจจุบันเถ้าแกลบกำลังเป็นปัญหาสำคัญสำหรับโรงสีและโรงไฟฟ้าที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากยังไม่มี การนำไปใช้ประโยชน์เท่าที่ควร ที่ผ่านมามีการศึกษาเพื่อนำเถ้าแกลบไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่นใช้เป็นปุ๋ย ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงคอนกรีต หรือใช้ในการสกัดเอาสารซิลิกา เป็นต้น [25,26] อย่างไรก็ตาม ยังมีเถ้าแกลบที่เหลือจากการใช้ประโยชน์อยู่เป็นจำนวนมาก จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบพบว่า มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 70-90% เถ้าแกลบมีความพรุนตัวสูง มีน้ำหนักเบา มีพื้นที่ผิวมากมีสมบัติดูดซับได้ดีและมีสมบัติเป็นฉนวนด้วย [27]

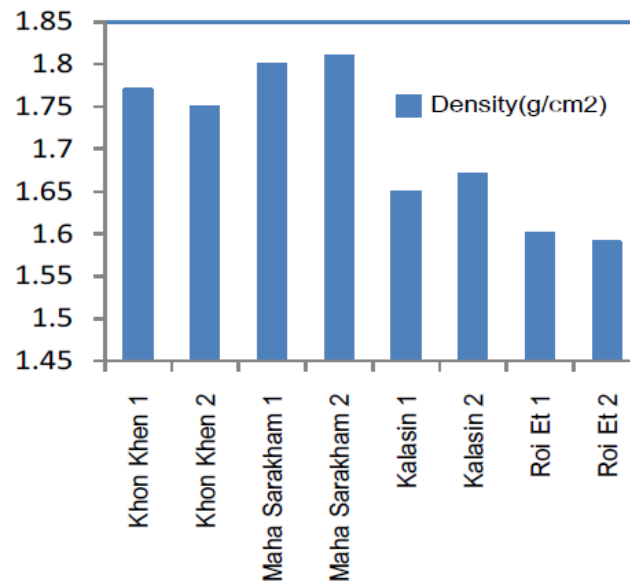


CHULALONGKORN UNIVERSITY ภาพที่ 2.14 เถ้าแกลบ

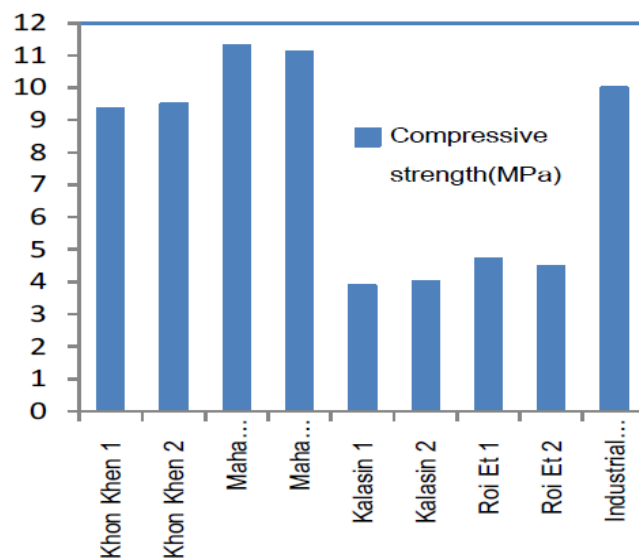
### 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ [28] ได้ศึกษาสมบัติของอิฐดินเผาที่ผลิตในเขตจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง ได้แก่จังหวัดขอนแก่น มหาสารคาม ร้อยเอ็ดและกาฬสินธุ์ โดยศึกษารูปแบบของผลิตภัณฑ์ ส่วนประกอบของวัตถุดิบ ความต้านทานแรงอัด ความหนาแน่น ร้อยละการดูดกลืนน้ำ ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบของอิฐมีลักษณะเหมือนกันคือมีจำนวนร่องของอิฐ 2 ร่องและมีจำนวนรู 4 รู วัตถุดิบที่ใช้ผลิตคือดินจากท้องถิ่นของทุกจังหวัดมีส่วนประกอบของธาตุหลักที่เหมือนกันคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ อะลูมิเนียมไดออกไซด์ และออกไซด์ของเหล็ก ความสามารถในการรับแรงอัดมีค่าแตกต่างกันโดยอิฐดินเผาจากมหาสารคามมีค่าสูงสุดเท่ากับ 11.30 เมกกะพาสกาล

ส่วนที่จังหวัดกาฬสินธุ์มีค่าต่ำที่สุดคือ 3.88 เมกกะพาสกาล ร้อยละของการดูดซึมน้ำจังหวัดมหาสารคามมีค่าต่ำสุด และจังหวัดกาฬสินธุ์มีค่าสูงที่สุด โดยผลการศึกษาดังภาพที่ 2.15



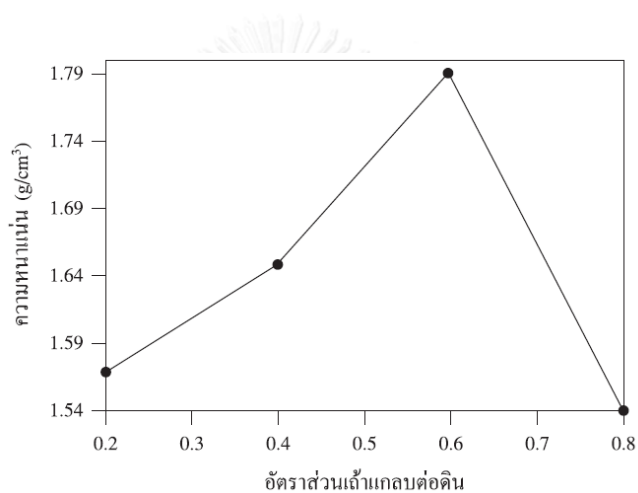
(a)



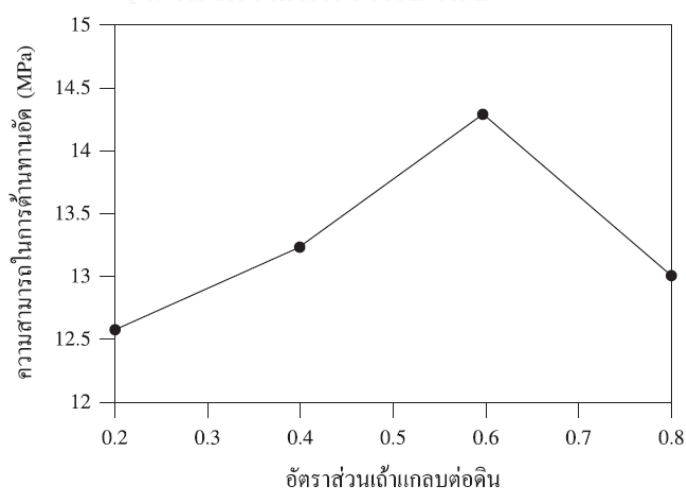
(b)

ภาพที่ 2.15 ความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ตามการศึกษาของสุทัศน์ จันบัวลา

สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ [29] ได้ศึกษาการพัฒนาส่วนผสมที่เหมาะสมของกลุ่มผู้ผลิตอิฐดินเผาในจังหวัดสิงห์บุรี การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นโดยการสุ่มเลือกทดสอบอิฐจากผู้ผลิตใน 3 ตำบล คือ ตำบลโพกรวม ตำบลบางกระบือ และตำบลต้นโพธิ์ ผลการทดสอบสมบัติของอิฐดินเผาพบว่า อิฐดินเผาในตำบลโพกรวม และ ตำบลบางกระบือ มีความต้านทานแรงอัด และการดูดกลืนน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐสามัญ ส่วนอิฐในตำบลต้นโพธิ์มีการดูดกลืนน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม แต่มีความต้านทานแรงอัดที่ไม่ผ่านเกณฑ์ เพื่อทดลองหาส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างเถ้าแกลบกับดิน โดยการเติมเถ้าแกลบต่อดินในอัตราส่วนต่อดิน 0.2- 0.8 โดยปริมาตร ผลการวิจัยพบว่า การเติมเถ้าแกลบในอัตราส่วน 0.6 ส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัดมากที่สุด โดยผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 2.16



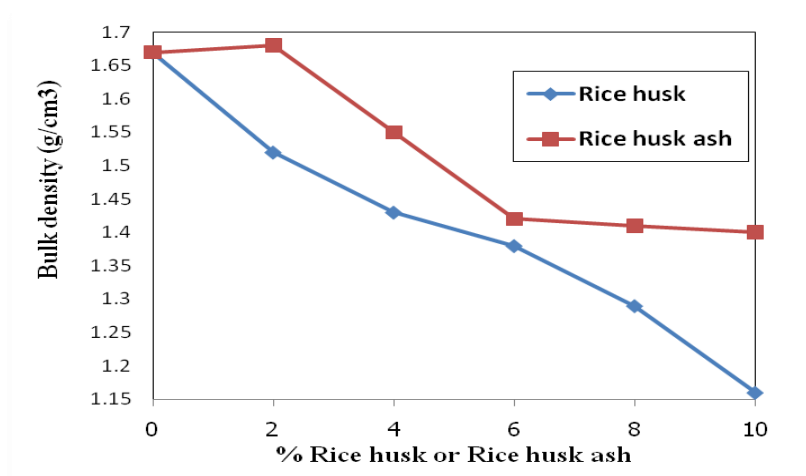
(a)



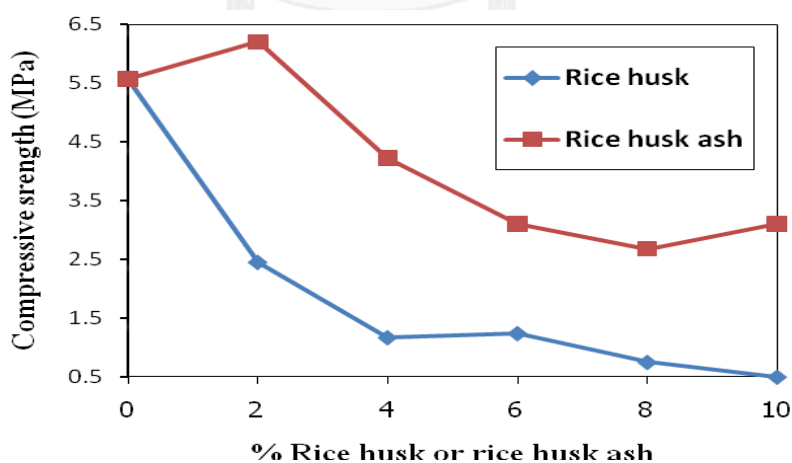
(b)

ภาพที่ 2.16 ความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ตามการศึกษาของสุทัศน์ จันบัวลา

สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ [30] ได้ศึกษาผลของแกลบและเถ้าแกลบต่อสมบัติของอิฐดินเผา โดยการเติมเถ้าแกลบร้อยละ 2-10 โดยน้ำหนัก และเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า การเติม แกลบและเถ้าแกลบร้อยละ 2 ส่งผลให้ชิ้นงานอิฐดินเผา มีความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด มากที่สุด และเมื่อเติมแกลบ หรือเถ้าแกลบมากกว่าร้อยละ 2 ชิ้นงานอิฐมีความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัด ลดลงตามปริมาณของเถ้าแกลบที่เติมลงไป เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแกลบกับเถ้าแกลบพบว่าผลของแกลบส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัดลดลงมากกว่าการเติมเถ้าแกลบ โดยผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 2.17



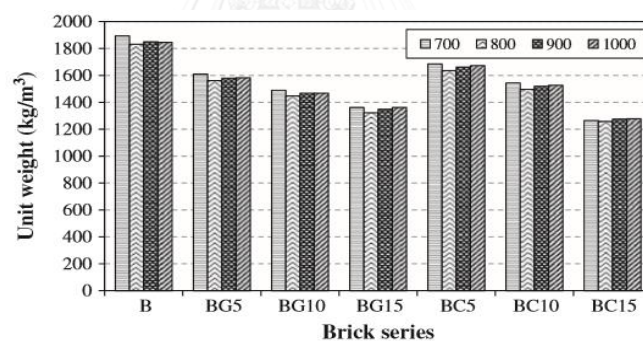
(a)



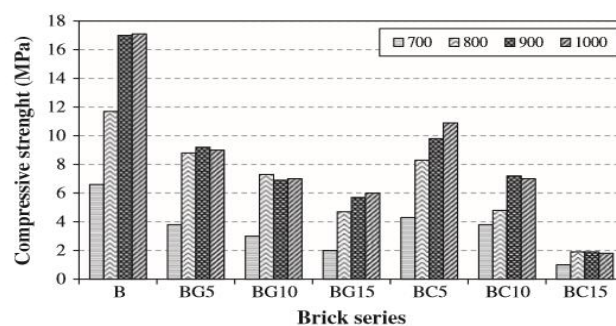
(b)

ภาพที่ 2.17 ผลของแกลบต่อความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ของอิฐตามผลการศึกษาของสุทัศน์ จันบัวลา

Gorhan และคณะ [31] ได้ศึกษาผลของแกลบบดและแกลบไม่บดที่ส่งผลต่อสมบัติของอิฐดินเผา โดยใช้แกลบที่ไม่ได้บด และแกลบที่บดให้ได้ขนาดอนุภาค 1 มิลลิเมตร เติมลงในวัสดุดิบหลักคือดินเหนียว ร้อยละ 5-15 โดยปริมาตร และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 800 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า ผลของการเติมแกลบส่งผลให้ความพรุนตัวของอิฐดินเผาเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนาแน่นและความแข็งแรงลดลง โดยชิ้นงานที่เติมแกลบบดจะมีความหนาแน่นและความแข็งแรงน้อยกว่าชิ้นงานที่เติมแกลบที่ไม่ได้บด ยกเว้นที่ปริมาณแกลบร้อยละ 15 ชิ้นงานที่เติมแกลบไม่บดจะมีความหนาแน่นและความแข็งแรงน้อยกว่าชิ้นงานที่เติมแกลบบด ในขณะที่การดูดซึมน้ำและความพรุนตัวของชิ้นงานที่เติมแกลบบดจะมีค่ามากกว่าชิ้นงานที่เติมแกลบไม่ได้บด ยกเว้นที่ปริมาณร้อยละ 15 ชิ้นงานที่เติมแกลบบดจะมีการดูดซึมน้ำและความพรุนตัวน้อยกว่าชิ้นงานที่เติมแกลบบด ในส่วนของการนำความร้อนการเติมแกลบส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐลดลง โดยอิฐที่เติมแกลบไม่บดจะมีค่าการนำความร้อนมากกว่าอิฐที่เติมแกลบบด เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่เติมปริมาณแกลบที่เท่ากันเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาสูงขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นและความแข็งแรงสูงขึ้นในขณะที่ความพรุนตัวและการดูดซึมน้ำลดลง ในขณะที่ผลของการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐสูงขึ้นตามไปด้วย โดยผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 2.18



(a)



(b)

ภาพที่ 2.18 ผลของแกลบต่อความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ของอิฐ ตามผลการศึกษาของ Gorhan

Demirl และคณะ [32] ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์เยื่อกระดาษที่เหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษซึ่งมีไฟเบอร์เป็นส่วนประกอบหลักมาใช้เป็นส่วนผสมของอิฐดินเผา โดยใช้เยื่อกระดาษผสมลงไปในวัตถุดิบหลักคือดินเหนียวตั้งแต่ร้อยละ 2.5 – 10 ขึ้นรูปด้วยวิธีการรีด ให้ชิ้นงานมีขนาด 25 × 25 × 150 มิลลิเมตร เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ 2 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 600 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอัตราการเผาเป็น 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งถึง 900 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 30 นาที ผลการวิจัยพบว่า การเติมเยื่อกระดาษส่งผลให้สภาพความเหนียวหรือสภาพพลาสติกของดินลดลงเนื่องจากเยื่อกระดาษดูดซึมน้ำได้ดี ค่าน้ำหนักสูญหายเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 8.9 เมื่อไม่ได้เติมเยื่อกระดาษเป็นร้อยละ 18.25 เมื่อเติมเยื่อกระดาษร้อยละ 10 เยื่อกระดาษส่งผลให้ชิ้นงานอิฐดินเผา มีความพรุนตัวเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเติมเยื่อกระดาษร้อยละ 10 โดยมีความพรุนตัวเท่ากับร้อยละ 52 และความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงถึงร้อยละ 37.14 ในขณะที่ความหนาแน่นลดลงเหลือ 1.40 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การเติมเยื่อกระดาษส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดของชิ้นงานลดลงจาก 15.5 เมกะพาสคัล เมื่อไม่ได้เติมเยื่อกระดาษเหลือ 9.5 เมกะพาสคัล เมื่อเติมเยื่อกระดาษลงไปร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 2.6 [32]

ตารางที่ 2.6 ผลการวิจัยของ Demirl

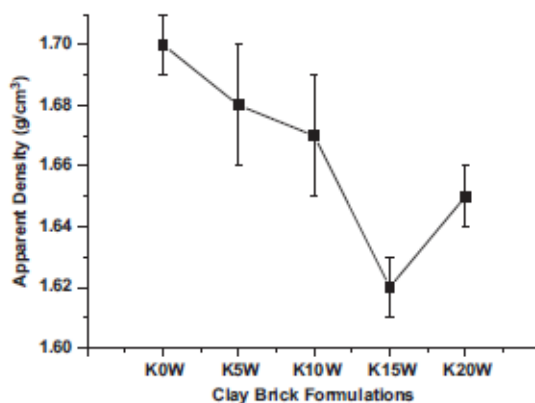
Mechanical properties	Sample series			
	A	B	C	D
Apparent porosity (%)	30	35	41	52
Bulk density (gr/cm <sup>3</sup> )	1.82	1.49	1.43	1.40
Apparent density (gr/cm <sup>3</sup> )	2.42	1.96	1.85	1.80
Water absorption (%)	14.46	23.47	28.66	37.14
Compressive strength <sup>a</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	155	128	112	95

Bories และคณะ [33] ได้ศึกษาการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้แก่ ฟางข้าวสาลี เปลือกเมล็ดทานตะวัน และกากเมล็ดน้ำมันมะกอก (olive stone flour) เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐดินเผา โดยบดให้มีขนาดอนุภาค 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร ผสมลงในดินที่มีขนาดอนุภาค 3 มิลลิเมตรในอัตราส่วนร้อยละ 4 และ 8 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยวิธีการรีด ให้ชิ้นงานมีขนาด 175 × 19 × 17 มิลลิเมตร เผาที่อุณหภูมิ 920 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า ชิ้นงานมีความพรุนตัว และการดูดซึมน้ำมากที่สุดเมื่อเติมฟางข้าวที่มีขนาด 0.5 มิลลิเมตร ร้อยละ 8 โดยน้ำหนักมีความพรุนตัวร้อยละ 43.5 และการดูดซึมน้ำร้อยละ 30 ในขณะที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดเท่ากับ 1.46 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และชิ้นงานมีความพรุนตัวน้อยที่สุด เมื่อเติมเปลือกเมล็ดทานตะวัน

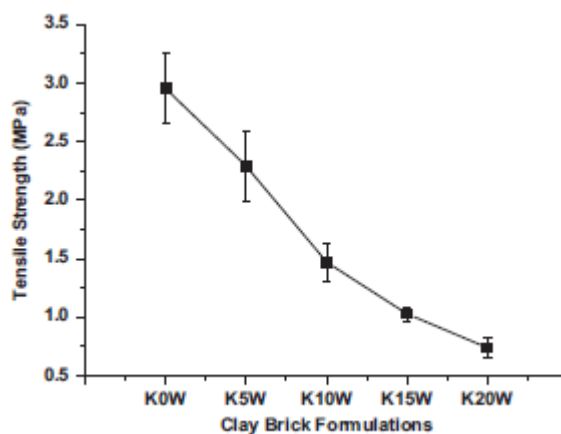
บดที่มีขนาด 0.5 มิลลิเมตร ร้อยละ 4 โดยมีความพรุนตัวร้อยละ 31.6 และการดูดซึมน้ำมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเติมกากเมล็ดน้ำมันมะกอก ลงไปร้อยละ 4 โดยมีการดูดซึมน้ำร้อยละ 17.8 ในขณะที่มีความหนาแน่นมากที่สุดเท่ากับ 1.77 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ชิ้นงานมีความต้านทานต่อการแตกหักมากที่สุดเท่ากับ 10.9 เมกะพาสคัล เมื่อเติมกากเมล็ดน้ำมันมะกอก ลงไปร้อยละ 4 และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 5.3 เมกะพาสคัลเมื่อเติมฟางข้าวบดที่มีขนาด 5 มิลลิเมตร ร้อยละ 8 ในขณะที่ค่าการนำความร้อนน้อยที่สุดเท่ากับ 0.2 เมื่อเติมเปลือกเมล็ดทานตะวันร้อยละ 4 และมีค่ามากที่สุด 0.32 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน เมื่อเติมฟางข้าวบดที่มีขนาด 5 มิลลิเมตร ร้อยละ 4

Faria และคณะ [34] ได้ศึกษาผลของเถ้าขานอ้อยต่อสมบัติของอิฐดินเผา โดยเติมเถ้าขานอ้อยลงไปร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนักขึ้นรูปโดยวิธีอัดแบบด้วยความดัน 25 เมกะพาสคัลได้ชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า ส่วนประกอบหลักของเถ้าขานอ้อยคือซิลิกา ร้อยละ 61.59 และมีออกไซด์ของเหล็ก ( $Fe_2O_3$ ) เท่ากับ ร้อยละ 7.36 การเติมเถ้าขานอ้อยส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีการหดตัว และความแข็งแรงลดลงตามปริมาณเถ้าขานอ้อยที่เติมลงไป โดยชิ้นงานมีความแข็งแรงน้อยที่สุดเมื่อเติมเถ้าขานอ้อยร้อยละ 15 ในขณะที่ความหนาแน่นมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 1.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 25.55 เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างจุลภาคพบว่าการเติมเถ้าขานอ้อยส่งผลให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวมากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ความแข็งแรงลดลงตามไปด้วย ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 2.19





(a)



(b)

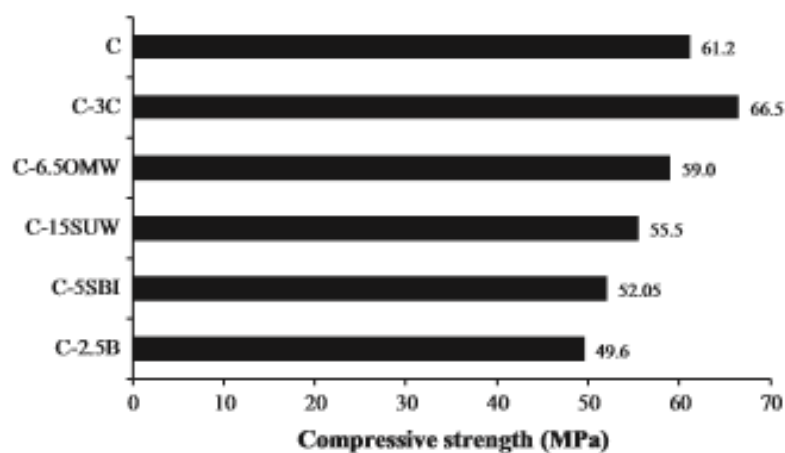
ภาพที่ 2.19 ผลของเกลือต่อความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ของอิฐ ตามผลการศึกษาของ Faria

Demirl [35] ได้ศึกษาผลของชีวมวลที่มีจำนวนมากในตุรกีได้แก่ ชี้อ้อย กากของเหลือจากการผลิตยาสูบ และหญ้า โดยผสมชีวมวลลงในวัตถุดิบหลักคือดินเหนียวในอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 0, 2.5, 5, และ 10 ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบขนาด  $75 \times 40 \times 100$  มิลลิเมตรโดยการรีด ปล่อยให้แห้ง 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นอบในเตาอบอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที โดยอัตราการเผา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ถึง 600 องศาเซลเซียส และ 4 องศาเซลเซียสต่อนาที ถึง 900 องศาเซลเซียสผลการวิจัยพบว่า การเติมชีวมวลส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวมากขึ้น โดยการหดตัวของชิ้นงานที่เติมชีวมวลทั้งสามชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ความหนาแน่นและความแข็งแรงลดลงมากที่สุดเมื่อเติมชีวมวลลงไปร้อยละ 10 โดยการเติมชี้อ้อยส่งผลให้ความหนาแน่นต่ำสุดเท่ากับ 1.35 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและความแข็งแรงน้อยที่สุดเท่ากับ 8.15 เมกะพาสคัลเมื่อเติมของเหลือจากโรงงานยาสูบร้อยละ 10 ในขณะที่การเติม

ชีวมวลส่งผลให้ชิ้นงานมีความพรุนตัว และการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณที่เติมลงไป โดยมีความพรุนตัวมากที่สุดเมื่อเติมซีลี้อยู่ร้อยละ 10 เท่ากับร้อยละ 42.2 และการดูดซึมน้ำร้อยละ 31.25

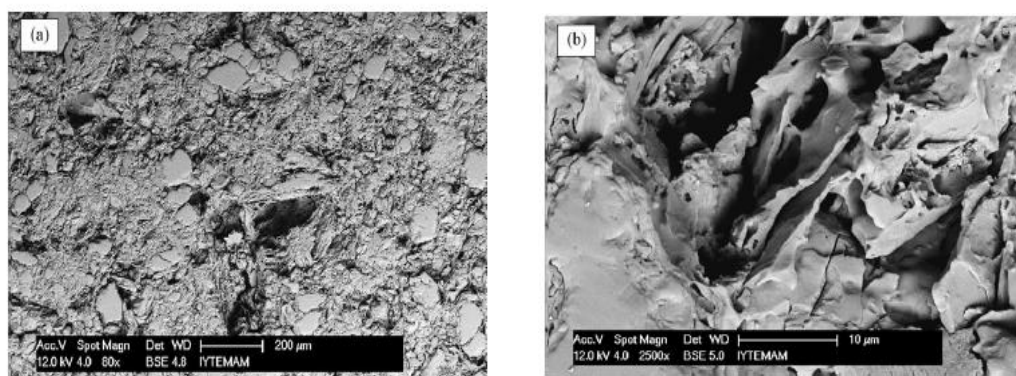
Abali และคณะ [36] ได้ทำการศึกษา การใช้กากตะกอนยิปซัมที่เหลือจากการผลิตกรดฟอสเฟอริก และสารโบรอน โดยผสมลงในดินเหนียวตั้งแต่ร้อยละ 1, 3, 5, 20 ขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรและยาว 20 มิลลิเมตรปล่อยให้แห้ง 24 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 700, 800, 900 และ 1000 องศาเซลเซียสผลการวิจัยพบว่าการเพิ่มปริมาณของฟอสฟอริบซัมและบอโรยิปซัมส่งผลให้ค่าน้ำหนักสูญหายของชิ้นงานเพิ่มขึ้นอย่างน้อยร้อยละ 10 ในขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาก็จะส่งผลให้ค่าน้ำหนักสูญหายเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณฟอสฟอริบซัมและบอโรยิปซัม และมีค่าลดลงเพื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผา การเติมฟอสฟอริบซัมและบอโรยิปซัมส่งผลให้ระยะเวลาแห้งตัวของชิ้นงานลดลงตามปริมาณที่เพิ่มขึ้น

Eliche-Quesada และคณะ [37] ได้ศึกษาผลของสิ่งเหลือใช้ ได้แก่ กากตะกอนน้ำเสีย ชานอ้อย ตะกอนจากอุตสาหกรรมเบียร์ ตะกอนโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก และของเหลือจากการผลิตผงกาแฟต่อสมบัติของอิฐดินเผา โดยการบดให้ได้ขนาดเล็กกว่า 150 ไมโครเมตร ผสมในดินเหนียวในอัตราส่วนที่ต่างกันคือ กากตะกอนน้ำเสียร้อยละ 15 ชานอ้อยร้อยละ 2.5 ตะกอนจากอุตสาหกรรมเบียร์ ร้อยละ 2.5 ตะกอนโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก ร้อยละ 3 และของเหลือจากการผลิตผงกาแฟ ร้อยละ 6.5 ขึ้นรูปให้มีขนาด  $30 \times 10 \times 60$  มิลลิเมตร หลังชิ้นงานแห้งแล้วอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ผลการวิจัยพบว่า การเติมกากตะกอนส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงและความหนาแน่นลดลง โดยชิ้นงานที่เติมตะกอนน้ำเสีย และกากตะกอนจากอุตสาหกรรมนม มีความหนาแน่นน้อยที่สุดเท่ากับ 1.11 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ชิ้นงานที่เติมชานอ้อยมีความแข็งแรงมากที่สุดเท่ากับ 26.5 เมกะพาสคัลนอกจากนั้นการเติมตะกอนยังส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความเป็นฉนวนความร้อนเพิ่มขึ้น โดยชิ้นงานที่มีความเป็นฉนวนความร้อนมากที่สุดคือชิ้นงานที่เติมชานอ้อย โดยมีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.142 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ( $W/m \cdot K$ ) โดยความต้านทานแรงอัดแสดงดังภาพที่ 2.20



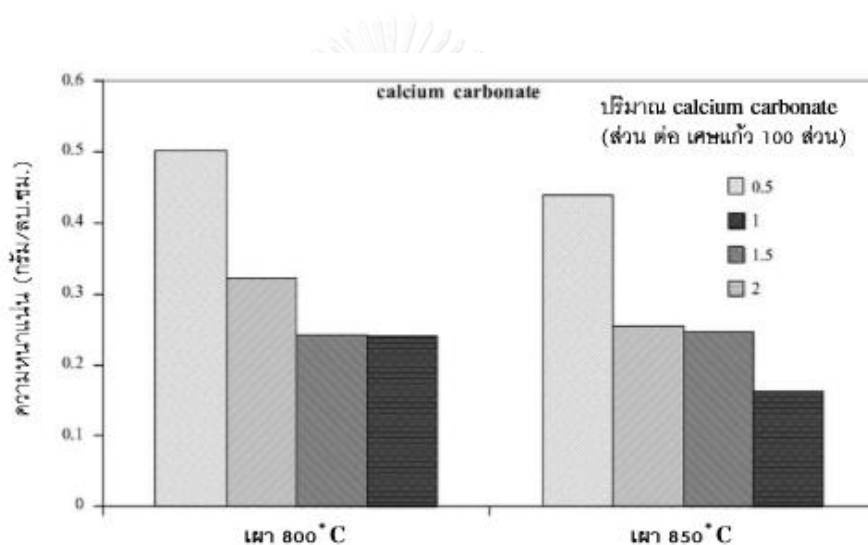
ภาพที่ 2.20 ความต้านทานแรงอัดตามผลการวิจัยของ Eliche-Quesada

Sutcu และคณะ [38] ได้ทำการศึกษาค่าการลดการนำความร้อนของอิฐโดยใช้วัสดุที่เหลือจากการผลิตกระดาษ โดยผสมลงไปดินร้อยละ 10, 20, 30 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปโดยการอัดด้วยความดัน 10 เมกะพาสคัลให้มีขนาด  $85 \times 58 \times 10$  มิลลิเมตร เผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่าส่วนประกอบหลักของตะกอนที่เหลือจากการผลิตกระดาษคือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 32.91 ซิลิคอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ร้อยละ 6.42 การเติมกากตะกอนจากการผลิตกระดาษส่งผลให้ค่าการนำความร้อนลดลงจาก 0.83 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ( $\text{W/mK}$ ) เป็น 0.42 วัตต์ต่อเมตร - เคลวิน ( $\text{W/mK}$ ) ที่การเติมกากตะกอนร้อยละ 30 โดยผลของการเติมกากตะกอนทำให้ความหนาแน่นลดลงจาก 1.82 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น 1.29 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ปริมาณร้อยละ 30 และความแข็งแรงของชิ้นงานลดลงจาก 40 เมกะพาสคัลเป็น 5.1 เมกะพาสคัลในขณะที่ความพรุนตัวและค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณวัสดุที่เหลือจากการผลิตเยื่อกระดาษที่เติมลงไป โดยโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานแสดงดังภาพที่ 2.21



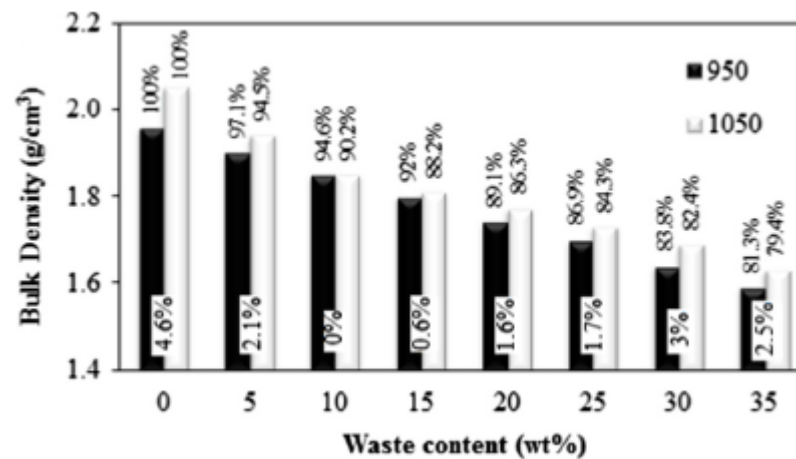
ภาพที่ 2.21 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่ไม่เติมวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตกระดาษ (a) กับที่เติมร้อยละ 30 (b) ตามผลการศึกษาของ Sutcu

วรรณภา ต.แสงจันทร์ [39] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอิฐที่เป็นฉนวนความร้อน โดยนำเศษแก้วสีขาบดให้ละเอียด ผสมสารก่อฟองซิดหินปูน หรือโคโลไมต์ ในอัตราส่วน 0.5 – 2.0 ส่วน ต่อเศษแก้ว 100 ส่วน ขึ้นรูปแล้วเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 850 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่า เศษแก้วสามารถนำมาทำเป็นอิฐมวลเบาได้ โดยผสม สารก่อฟองซิดหินปูน 1 ส่วนหรือโคโลไมต์ 1.5 ส่วนต่อ เศษแก้วบดละเอียด 100 ส่วน และใช้โซเดียมซิลิเกตเป็น สารเชื่อมประสาน เพื่อช่วยในการขึ้นรูปให้เป็นก้อนอิฐเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะได้อิฐมวลเบาที่มีค่า ความหนาแน่น 0.30-0.32 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าความต้าน แรงอัด 5.4-5.6 เมกะพาสคัล และค่าการนำความร้อน 0.60-0.65 วัตต์/เมตร.เคลวิน โดยผลของความหนาแน่นต่อสัดส่วนของหินปูนแสดงดังภาพที่ 2.22

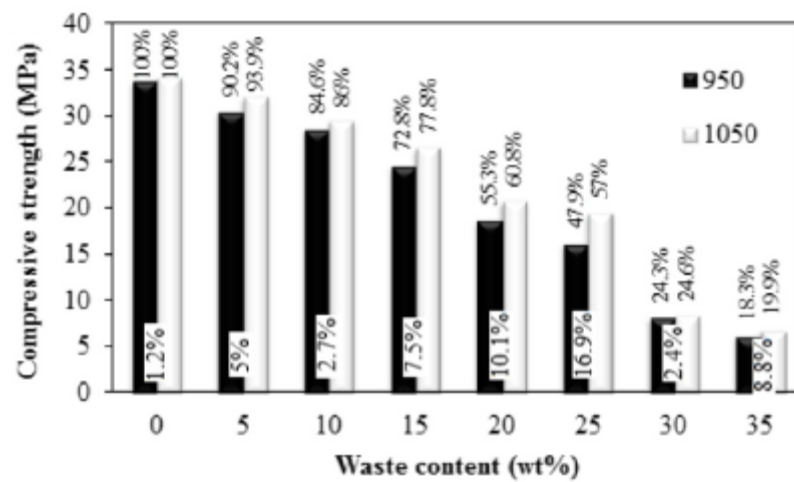


ภาพที่ 2.22 แสดงความหนาแน่นต่อสัดส่วนของหินปูน  
ตามผลการศึกษาของ วรรณภา ต.แสงจันทร์

Sutcu และคณะ [40] ได้ทำการศึกษาผลของเศษผงหินอ่อนต่อสมบัติของอิฐดินเผา โดยการเติมผงจากหินอ่อนตั้งแต่ร้อยละ 5 – 35 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปในแบบพิมพ์โดยใช้ความดัน 40 เมกะพาสคัล ได้ชิ้นงานที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร เผาที่อุณหภูมิ 950 และ 1050 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่าผลของผงฝุ่นจากหินอ่อนทำให้ความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัด และการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐลดลง ตามปริมาณของเศษผงหินอ่อนที่เพิ่มขึ้น โดยผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 2.23



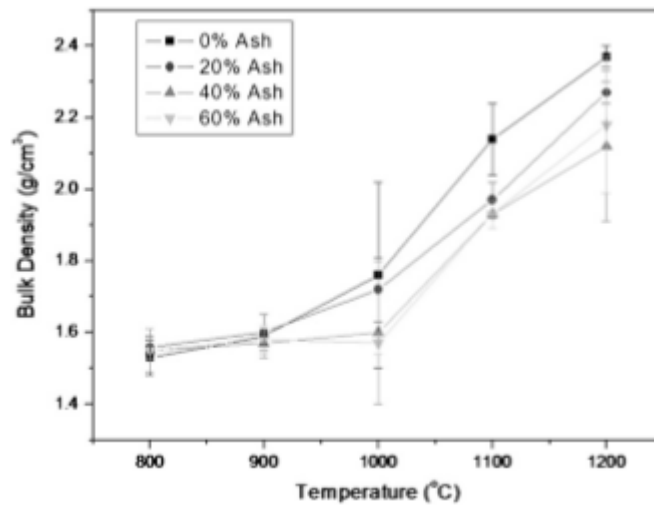
(a)



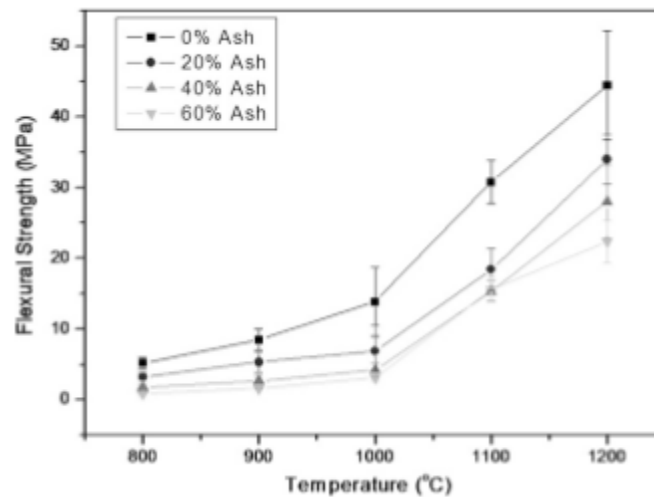
(b)

ภาพที่ 2.23 ผลของผงหินอ่อนต่อความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ตามการศึกษาของ Sutcu

Souza และคณะ [41] ได้ทำการศึกษาผลของเถ้าขานอ้อยต่อเครื่องปั้นดินเผา โดยการเติมเถ้าขานอ้อยลงในดินตั้งแต่ร้อยละ 20 – 60 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปโดยการอัดลงแบบด้วยความดัน 19 เมกะพาสคัล และเผาที่อุณหภูมิ 800 – 1200 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่าการเติมเถ้าขานอ้อยลงในเครื่องปั้นดินเผา ส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาแน่น และความต้านทานแรงบิดลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ชิ้นงานดินเผามีความหนาแน่น และความต้านทานแรงบิดเพิ่มขึ้น โดยผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 2.24



(a)

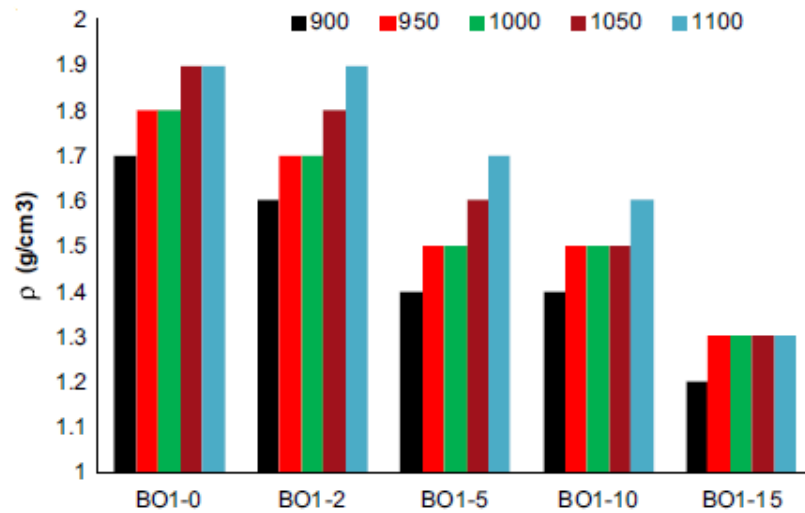


(b)

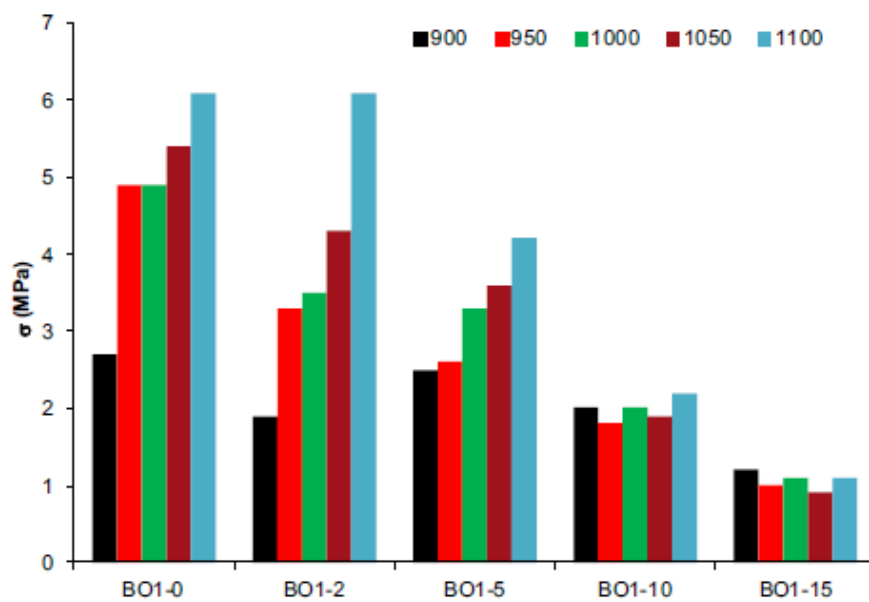
ภาพที่ 2.24 ผลของเถ้าขานอ้อยต่อ ความหนาแน่น (a) ความต้านทานแรงบิด (b)

จากผลการศึกษาของ Souza

Nkayem และคณะ [42] ได้ศึกษาการใช้ซังข้าวโพดสำหรับ เพิ่มความพรุนให้กับอิฐดินเผา โดยบดซังข้าวโพดให้มีขนาด 1.25 ไมโครเมตร เติมนลงในดินตั้งแต่ร้อยละ 2 – 15 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปโดยใช้แรงดัน 3 เมกะพาสคาล อัดเข้าแบบพิมพ์ ที่มีขนาดกว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร และหนา 15 มิลลิเมตร เผาที่อุณหภูมิ 900 – 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่า ผลของซังข้าวโพดส่งผลให้ ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด ของชิ้นงานอิฐลดลง ในขณะที่ การหดตัว การดูดซึมน้ำ ความพรุนตัว ของชิ้นงานอิฐสูงขึ้น โดยผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 2.25



(a)

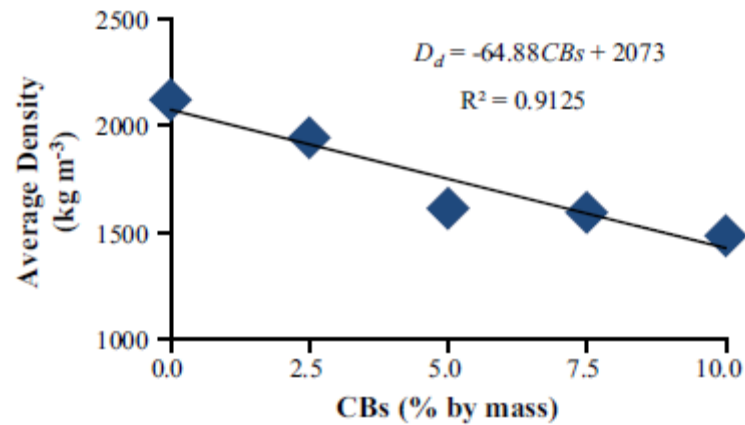


(b)

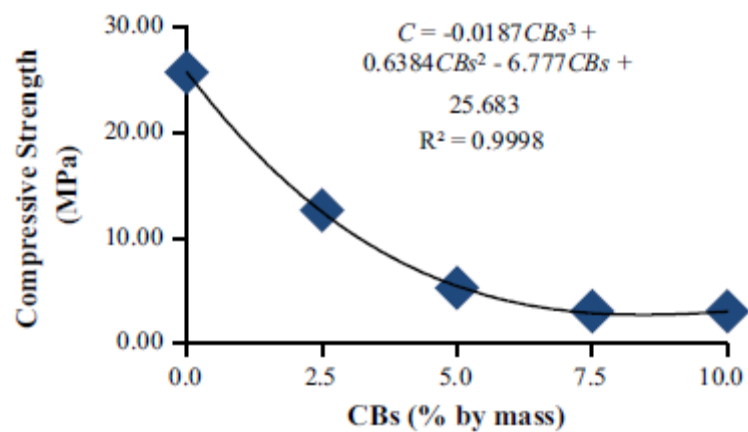
ภาพที่ 2.25 ผลของซังข้าวโพดต่อความหนาแน่น (a) และความแข็งแรง (b)

ตามการศึกษาของ Nkayem

Mohajerani และคณะ [43] ได้ศึกษาการใช้ก้นบุหรี สำหรับปรับปรุงสมบัติของอิฐดินเผา โดยการเติมก้นบุหรีที่บดแล้ว ร้อยละ 2.5 – 10 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่า การเติมก้นบุหรี ส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความหนาแน่น และความแข็งแรงลดลง ตามปริมาณของก้นบุหรี โดยผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 2.26



(a)



(b)

ภาพที่ 2.26 ผลของกัณฑ์หรือต่อความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ตามผลการศึกษาของ Mohajerani

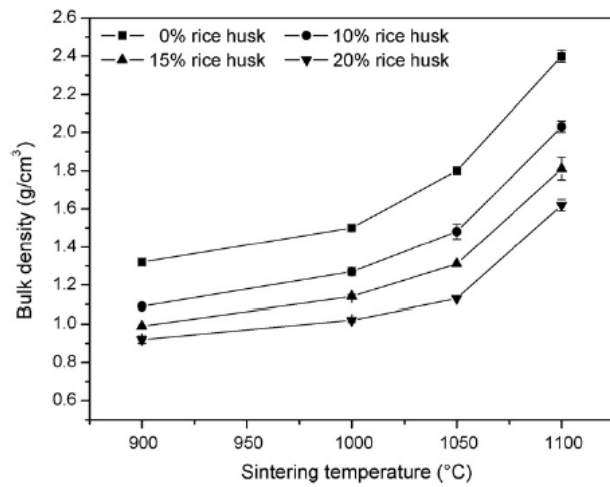
Norlia Mohamad Ibrahim และคณะ [44] ได้ทำการศึกษาการใช้วัสดุเหลือใช้จากอิฐดินเผาสำหรับอิฐมวลเบาที่มีโฟมเป็นส่วนประกอบ โดยการเติมวัสดุเหลือใช้จากอิฐดินเผาร้อยละ 25 - 100 ขึ้นรูปให้มีขนาด ความกว้าง ความยาว และความสูง 100 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่าการเติมวัสดุเหลือใช้จากอิฐดินเผาส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมวลเบาที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจาก 1.63 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น 1.73 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงอัดลดลงจาก 25.91 เมกะพาสคัล เป็น 6.25 เมกะพาสคัล โดยเมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่น ก่อนและหลัง 24 ชั่วโมงแสดงดังตารางที่ 2.7 [44]



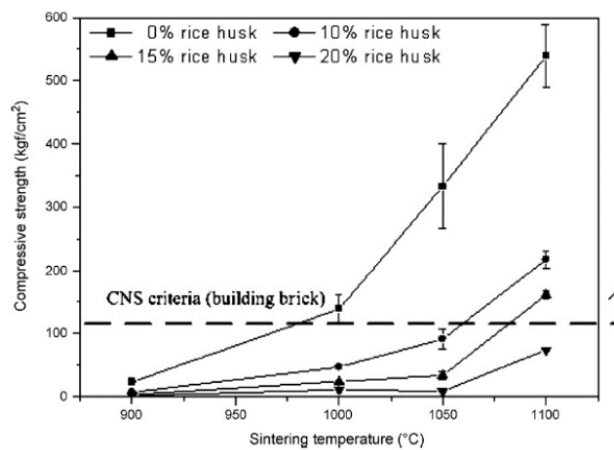
ตารางที่ 2.7 ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำตามการศึกษาของ Norlia Mohamad Ibrahim

% Waste Clay Brick	Before (kg/m <sup>3</sup> )	After 24 hour (kg/m <sup>3</sup> )	Water Absorption capacity (%)
Control	1684	1452	15.98
25	1666	1436	16.02
50	1760	1513	16.33
75	1884	1605	17.38
100	1870	1568	19.26

Kung-Yuh Chiang และคณะ [45] ได้ศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำประปาและแกลบ สำหรับอิฐมวลเบา โดยการเติมแกลบที่มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 74 – 300 ไมโครเมตร ในอัตราส่วนร้อยละ 5 – 25 โดยน้ำหนัก อัดด้วยแรงดัน 60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร สูง 55 มิลลิเมตร เหนือที่อุณหภูมิ 900 – 1100 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มปริมาณแกลบส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัดลดลง ในขณะที่การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้น ในขณะที่การดูดซึมน้ำลดลง โดยผลการศึกษาดังกล่าวที่ 2.27



(a)



(b)

ภาพที่ 2.27 ความหนาแน่น (a) และความแข็งแรง (b) ของชิ้นงาน ตามการศึกษาของ Kung-Yuh Chiang

Pimraksa P. และคณะ [46] ได้ทำการศึกษการผลิตอิฐมวลเบาโดยใช้ดินเบาผสมกับปูนขาว และยิปซั่ม ในอัตราส่วนที่ต่างกัน ชิ้นรูปให้มีขนาด  $3.5 \times 7.5 \times 15.0$  เซนติเมตร ด้วยความดัน 3.5 เมกะปาสคาล ที่งัวที่อุณหภูมิห้องให้แห้ง หลังจากนั้นอบด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 4 ชั่วโมง ผลของอัตราส่วนผสมที่ต่างกันแสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ผลของอัตราส่วนที่แตกต่างกันต่อสมบัติของอิฐมวลเบาตามการศึกษาของ Pimraksa P.

LDE:lime:gypsum (Ca/Si)	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Water absorption (%)	Compressive strength (MPa)
80:20:0 (0.32)	1.27	47	15.5
80:15:5 (0.32)	0.88	66	14.5
75:15:10 (0.42)	0.97	57	15.5
70:15:15 (0.55)	1.02	32	18.0

ณัฐพัชร สืบบัวแก้ว และคณะ [47] ได้ทำการศึกษการพัฒนาอิฐมวลเบาโดยใช้กระดาษเหลือใช้ โดยใช้อัตราส่วนของกระดาษเหลือใช้ที่แตกต่างกันจำนวน 5 สูตร โดยอัตราส่วนในการผสมของอิฐมวลเบาคือ ททราย 50 ลิตร ปูนซีเมนต์ 30 ลิตร ยิบซั่ม 9 ลิตร ปูนขาว 9 ลิตรและ ผงอลูมิเนียม 2 ลิตร และสูตรที่ใช้ทดลองคือแทนที่ทรายตั้งแต่ 10 – 50 ลิตร ผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มปริมาณกระดาษเหลือใช้ส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐมวลเบาลดลงมากที่สุดเมื่อเติมแทนที่ทรายทั้งหมด 50 ลิตร และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอิฐมวลเบาพบว่า เมื่อเติมกระดาษเหลือใช้ไปแทนที่ทรายทั้งหมดจำนวน 50 ลิตร ชิ้นงานจะมีค่าความหนาแน่น ความต้านทานแรงดึงผิวหน้า และค่าความชื้น ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบา ส่วนค่าความต้านทานแรงอัดไม่ผ่านมาตรฐาน

สมชาย มณีวรรณ และคณะ [47] ได้ทำการศึกษการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผนังอิฐมวลเบาที่มีส่วนประกอบของสารเปลี่ยนสถานะ (PCM) เพื่อเป็นฉนวนความร้อน โดยใช้อิฐมวลเบาแบบอบไอน้ำชั้นคุณภาพ 4 และสารเปลี่ยนสถานะ salt hydrated ชนิด S32 และ S44 ผสมกับปูนก่อกหนา 3 มิลลิเมตร ในอัตราส่วนร้อยละ 2.5 5.0 7.5 และ 10.0 โดย น้ำหนัก และลักษณะการก่อที่มีความหนาที่แตกต่างกันจำนวน 3 รูปแบบ ทดสอบสมบัติที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความต้านทานแรงดัด ความต้านทานแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ผลการศึกษาพบว่า ความหนาแน่นทุกสวนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบา คือมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.61--0.64 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร โดยความหนาแน่นแสดงดังตารางที่ 2.9 [47]

ตารางที่ 2.9 ความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐมวลเบาตามการศึกษาของ สมชาย มณีวรรณ

PCM	ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร(แห้ง)			มาตรฐาน 0.61-0.70 kg/dm <sup>3</sup>	
	ร้อยละ โดยน้ำหนัก (%)	size 3-7	size 5-5		size 7-3
S32	2.5	0.62	0.62	0.62	√
	5.0	0.62	0.64	0.64	√
	7.5	0.63	0.63	0.62	√
	10.0	0.64	0.63	0.63	√
S44	2.5	0.62	0.62	0.63	√
	5.0	0.65	0.61	0.62	√
	7.5	0.65	0.63	0.64	√
	10.0	0.63	0.62	0.64	√

และเมื่อวิเคราะห์ค่าความต้านทานแรงอัดและการดูดซึมน้ำ พบว่าการเพิ่มปริมาณสารก่อสถานะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงอัดลดลงตามปริมาณของสารก่อสถานะที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความต้านทานแรงอัด และการดูดซึมน้ำของชิ้นงานของทุกสวนผสม ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบาระดับ 4 เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของชิ้นงานที่เติมสารเปลี่ยนสถานะร้อยละ 2.5 แสดงดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 เปรียบเทียบสมบัติของชิ้นงานที่เติมสารเปลี่ยนสถานะร้อยละ 2.5

สมบัติทางกายภาพ	มาตรฐาน G4 ชนิด 0.7	บล็อกที่ ผลิตได้	PCM	size 3-7	size 5-5	size 7-3
ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (g/cm <sup>3</sup> )	0.61-0.70	0.62	S32	0.62	0.62	0.62
			S44	0.62	0.62	0.63
ค่าการรับแรงอัด (N/mm <sup>2</sup> )	4.50	5.52	S32	4.91	4.60	4.70
			S44	4.82	4.79	4.75
ค่าต้านทานแรงคด (kg/cm <sup>2</sup> )	4 เท่าแรงอัด	21.23	S32	22.62	20.52	20.04
			S44	24.05	21.43	22.77
อัตราการดูดกลืนน้ำ (g/cm <sup>3</sup> )	ไม่เกิน 0.50	0.41	S32	0.39	0.40	0.39
			S44	0.39	0.40	0.39
ตรวจสอบมาตรฐาน		√	-	√	√	√

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุดิบและอุปกรณ์การวิจัย

##### วัสดุดิบ

วัสดุดิบสำหรับการวิจัยได้แก่

1. ดินเหนียวจากอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
2. แกลบจากอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
3. เถ้าแกลบจากอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
4. ชานอ้อยจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี
5. เถ้าชานอ้อยจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี

โดยวัสดุดิบที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 3.1 - 3.5



ภาพที่ 3.1 ดินเหนียวจากอำเภอบางบาล



ภาพที่ 3.2 แกลบดิบ



ภาพที่ 3.3 ชานอ้อยดิบ



ภาพที่ 3.4 เถ้าแกลบ



ภาพที่ 3.5 เถ้าชานอ้อย

## อุปกรณ์การวิจัย

อุปกรณ์สำหรับการวิจัยได้แก่

1. ตะแกรงร่อนขนาด 18 เมช
2. เครื่องชั่ง และชุดวัดความหนาแน่น บริษัท REDWAG รุ่น PS 360
3. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
4. แบบขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ
5. เต้าเผาไฟฟ้า บริษัท HERM CONCEPT
6. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการเรืองแสงรังสีเอ็กซ์ เอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence XRF) บริษัท Shimadzu รุ่น XD 6000
7. เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ บริษัท NETZSCH รุ่น DSC 200F3
8. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ เอกซ์เรย์ดิฟแฟรคชั่นเทอร์โมมิเตอร์ (X-ray Diffraction, XRD)
9. เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล (Universal testing machine) บริษัท Instron รุ่น Instron 4469
10. เครื่องมือวิเคราะห์ความร้อนฮอตดิส (hot disk thermal constant analyzer)
11. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy) บริษัท JEOL รุ่น JEM 6340 J

โดยอุปกรณ์การวิจัยแสดงดังภาพที่ 3.6 – 3.15



ภาพที่ 3.6 ตะแกรงร่อน





ภาพที่ 3.7 เครื่องชั่ง และชุดหาความหนาแน่น



ภาพที่ 3.8 เวอร์เนียคาลิปเปอร์



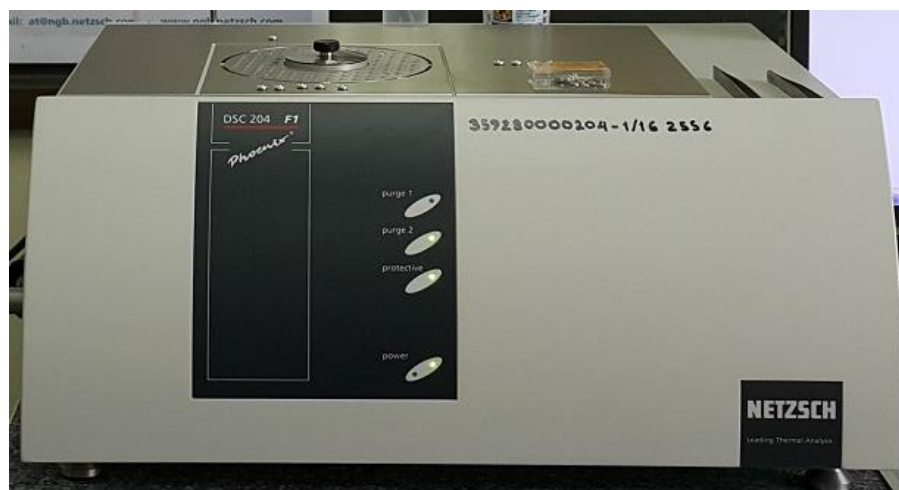
ภาพที่ 3.9 แม่พิมพ์แบบขึ้นรูป



ภาพที่ 3.10 เต้าเผาไฟฟ้า



ภาพที่ 3.11 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์



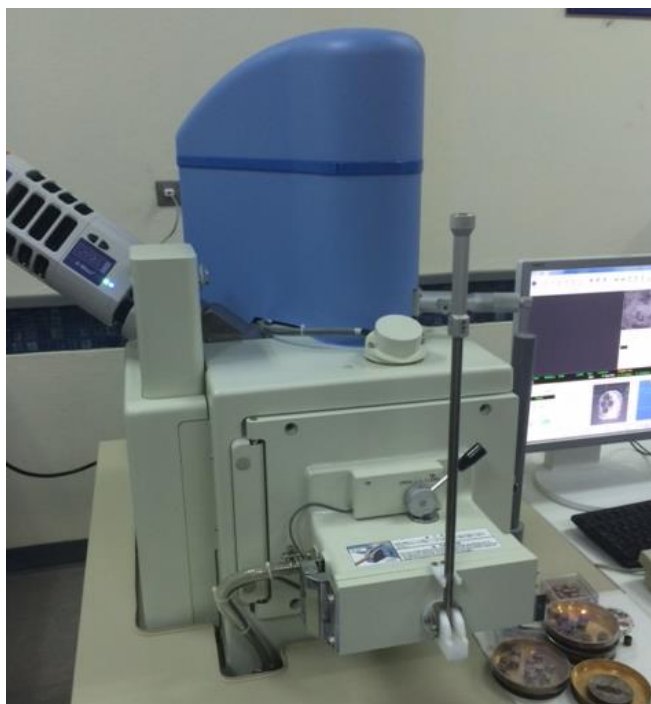
ภาพที่ 3.12 เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์



ภาพที่ 3.13 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันเทอร์โมมิเตอร์



ภาพที่ 3.14 เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล



ภาพที่ 3.15 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

### 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เตรียมวัตถุดิบได้แก่ ดิน แกลบ เถ้าแกลบ ชานอ้อย และเถ้าชานอ้อย
3. นำวัตถุดิบได้แก่ ดิน แกลบ เถ้าแกลบ ชานอ้อย และเถ้าชานอ้อยมาบดให้ละเอียดมีขนาดต่ำกว่า 1 มิลลิเมตร
4. วิเคราะห์สมบัติวัตถุดิบได้แก่
  - 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบโดยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence XRF)
  - 4.2 โครงสร้างของวัตถุดิบโดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันเทอร์โมมิเตอร์ (X-ray Diffraction, XRD)
  - 4.3 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนโดยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์
  - 4.4 ความหนาแน่นโดยใช้เครื่องพิคโนมิเตอร์ (pycnometer)
5. นำดินผสมกับ แกลบ หรือเถ้าแกลบ หรือเถ้าชานอ้อย ร้อยละ 10 20 30 40 โดยน้ำหนัก หรือผสมชานอ้อยในอัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 20 โดยน้ำหนัก
6. ผสมวัตถุดิบให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้มือคนให้เข้ากันเป็นระยะเวลา 15 นาที

7. เติมน้ำในปริมาณที่เหมาะสมประมาณร้อยละ 10 – 20 โดยน้ำหนักของส่วนผสม เพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้

8. ขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้วิธีอัดลงในแบบแม่พิมพ์ และตัดชิ้นงานให้มีขนาดยาว 5 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร และสูง 2 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 ชิ้นงานที่ขึ้นรูป

9. นำชิ้นงานออกจากแบบแม่พิมพ์แล้วนำไปตากให้แห้งประมาณ 48 ชั่วโมง

10. นำชิ้นงานไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

11. วิเคราะห์ค่าการหดตัวหลังแห้ง ตามมาตรฐาน ASTM C 329 – 09 [49] โดยใช้สมการ

$$\text{ร้อยละของความหดตัวหลังแห้ง} = \frac{\text{ความยาวก่อนแห้ง} - \text{ความยาวหลังแห้ง}}{\text{ความยาวก่อนแห้ง}} \times 100$$

12. วิเคราะห์น้ำหนักก่อนเผา

13. นำชิ้นงานไปเผาที่อุณหภูมิ โดยใช้อุณหภูมิที่ 700 800 900 และ 1000 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง โดยใช้ระยะเวลาในการเผา 3 ชั่วโมง



ภาพที่ 3.17 ชิ้นงานที่ผ่านการเผา

#### 14. วิเคราะห์สมบัติของชิ้นงานได้แก่

14.1 การหดตัวตามยาวหลังเผา ตามมาตรฐาน ASTM C 329 – 09 [49] โดยใช้สมการ

$$\text{ร้อยละของการหดตัวหลังเผา} = \frac{\text{ความยาวก่อนเผา} - \text{ความยาวหลังเผา}}{\text{ความยาวก่อนเผา}} \times 100$$

หาร้อยละของการหดตัวรวมจากสมการ

$$\text{ร้อยละของการหดตัว} = \text{ร้อยละของความหดตัวหลังแห้ง} + \text{ร้อยละของความหดตัวหลังเผา}$$

14.2 น้ำหนักสูญหายหลังการเผา ตามมาตรฐาน ASTM C 771-14 [50] โดยใช้สมการ

$$\text{ร้อยละของน้ำหนักสูญหาย} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนเผา} - \text{น้ำหนักหลังเผา}}{\text{น้ำหนักก่อนเผา}} \times 100$$

14.3 ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความพรุนตัว โดยใช้มาตรฐาน ASTM C 373– 14 [51] ดังนี้

การวิเคราะห์ความหนาแน่นทำการวิเคราะห์ โดยการนำชิ้นงานที่ผ่านการเผาเรียบร้อยแล้วไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำชิ้นงานไปชั่งหาน้ำหนักแห้ง (D) จากนั้นนำชิ้นงานไปต้มในน้ำกลั่นโดยใช้อุณหภูมิอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อต้มเสร็จแล้วก็แช่ชิ้นงานไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อให้มันใจว่าน้ำได้ซึมเข้าไปในเนื้อของชิ้นงานทั้งหมดแล้ว จากนั้นนำชิ้นงานไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักเปียก (W) และชั่งน้ำหนักในน้ำเพื่อหาน้ำหนักแขวนลอย (I) คำนวณหาความหนาแน่นของชิ้นงานโดยใช้สมการ

$$\rho = \frac{D}{W - I}$$

เมื่อ  $\rho$  คือความหนาแน่น

D คือน้ำหนักแห้ง

W คือน้ำหนักเปียก

I คือน้ำหนักที่ชั่งในน้ำ หรือน้ำหนักแขวนลอย

การหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ จากข้อมูลที่ใช้สำหรับหาความหนาแน่น นำมาคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำโดยใช้สมการ

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \left( \frac{W - D}{D} \right) \times 100$$

เมื่อ

D คือน้ำหนักแห้ง

W คือน้ำหนักเปียก

การหาค่าความพรุนตัว จากข้อมูลที่ใช้สำหรับหาความหนาแน่น นำมาคำนวณหาค่าการหาค่าร้อยละความพรุนตัวของชิ้นงานโดยใช้สมการ

$$\text{ร้อยละของความพรุนตัว} = \left( \frac{W - D}{W - I} \right) \times 100$$

เมื่อ

D คือน้ำหนักแห้ง

W คือน้ำหนักเปียก

I คือน้ำหนักที่ชั่งในน้ำ หรือน้ำหนักแขวนลอย

14.4 หาความต้านทานแรงอัดโดยเครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล (Universal testing machine)

14.5 หาค่าการนำความร้อนโดยเครื่องมือวิเคราะห์ความร้อนฮอตดิส (hot disk thermal constant analyzer)

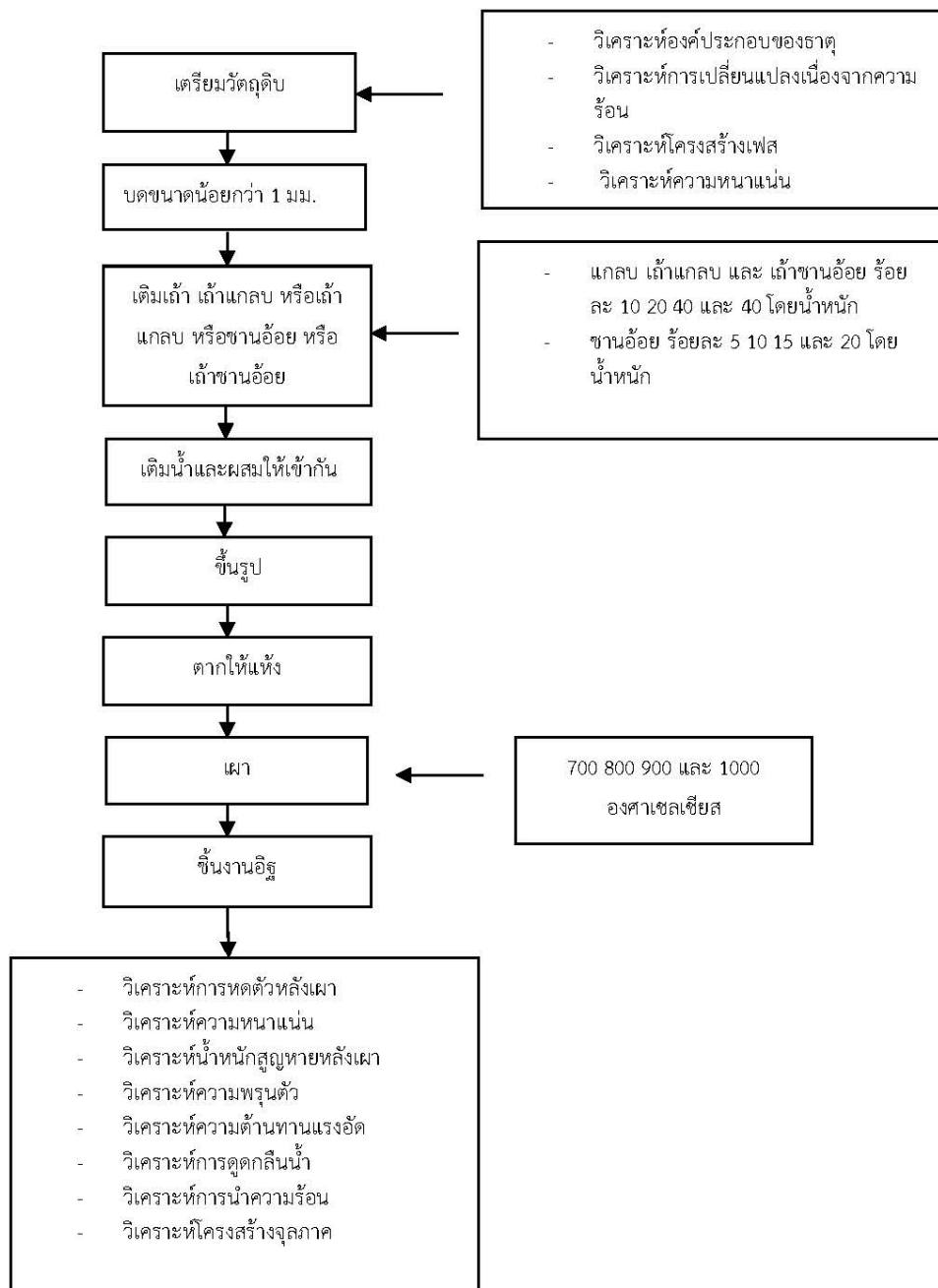
14.6 หาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy)

การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน ทำการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) โดยนำชิ้นงานมาตัดให้มีขนาดเล็ก และขัดพื้นผิวให้เรียบ จากนั้นนำไปเคลือบเพื่อให้นำไฟฟ้า โดยการเคลือบด้วยทองในบรรยากาศสุญญากาศด้วยเครื่อง Ion coater โดยใช้วิธีการเคลือบแบบสะบัดเตอริง เป็นเวลา 60 วินาที จากนั้นนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยการใช้กำลังขยาย 3000 เท่า เพื่อศึกษาดูลักษณะความพรุนตัวและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน หลังจากนั้นถ่ายภาพของชิ้นงานตัวอย่าง

## 14.7 วิเคราะห์โครงสร้างเฟสของวัสดุขี้ดินโดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น (X-ray Diffraction, XRD)

### 15. วิเคราะห์ข้อมูล สรุปรูปร่างและขนาดและวิธานิพันธ์

โดยขั้นการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 แผนผังขั้นตอนการวิจัย



## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

#### 4.1 การวิเคราะห์วัตถุดิบ

##### 4.1.1 การวิเคราะห์ส่วนประกอบของวัตถุดิบ

ส่วนประกอบหลักของแกลบและเถ้าชานอ้อยมีลักษณะเหมือนกันคือ มีเซลลูโลส (cellulose) มากที่สุด รองลงมาคือเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin โดยเมื่อผ่านกระบวนการเผา แกลบจะเหลือเป็นเถ้าประมาณร้อยละ 7.9 ส่วนชานอ้อยจะเหลือเป็นเถ้าประมาณร้อยละ 5.70 [52,53]

โดยส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อย และเถ้าแกลบแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของดิน เถ้าแกลบ และเถ้าชานอ้อย

ส่วนประกอบ	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	BaO	LOI
ดิน	60.67	15.18	7.61	3.12	1.15	1.18	0.79	0.56	0.22	0.11	9.10
เถ้าแกลบ	85.00	0.53	0.74	2.80	0.54	0.07	0.87	0.10	0.55	0.12	10.0
เถ้าชานอ้อย	68.00	2.10	1.30	4.21	1.25	0.29	4.01	3.31	0.20	0.30	14.50

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า วัตถุดิบหลักที่มีในดิน เถ้าแกลบ และเถ้าชานอ้อย มีองค์ประกอบหลักที่เหมือนกันคือ ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>) ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความแข็งแรงเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง รองลงมาคืออะลูมิเนียมออกไซด์ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ซึ่งทำให้อิฐมีความทนไฟสูง และออกไซด์ของเหล็ก (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ที่ส่งผลให้ชิ้นงานหลังเผามีสีแดง เมื่อพิจารณาส่วนประกอบของดิน พบว่ามีผลรวมของเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และไททาเนียมออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) มากกว่าร้อยละ 9 แสดงว่าดินที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นดินประเภทไม่ทนไฟ นอกจากนั้นส่วนประกอบเหล่านี้ยังเป็นตัวช่วยให้กระบวนการเผาอิฐ (Flux) เกิดได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำ ไม่สูงอีกด้วย [54]

#### 4.1.2 การวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของวัตถุดิบ

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของวัตถุดิบแสดงดังตารางที่ 4.2

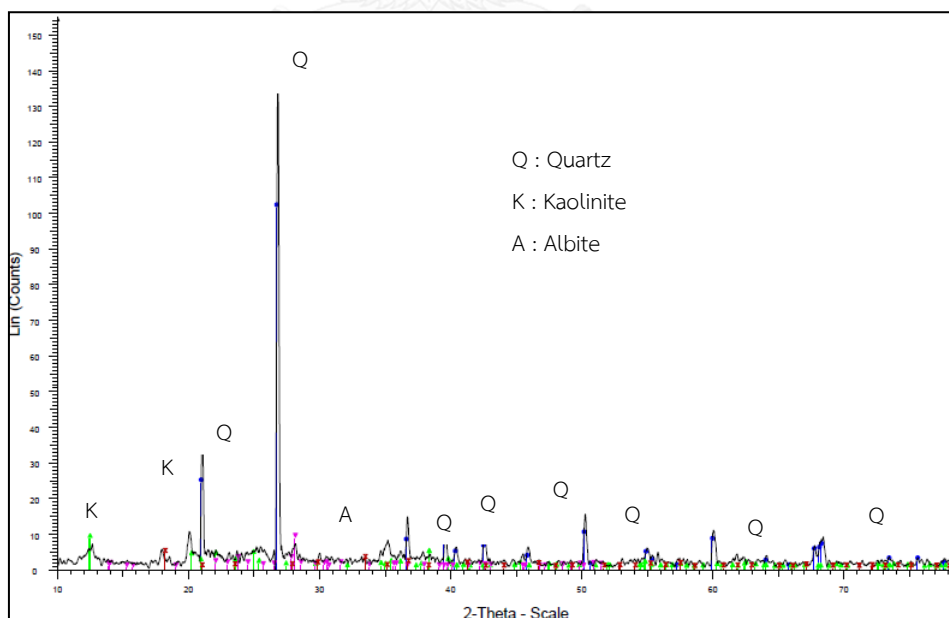
ตารางที่ 4.2 ความหนาแน่นรวมของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	ดิน	แกลบ	ชานอ้อย	เถ้าแกลบ	เถ้าชานอ้อย
ความหนาแน่นรวม (g/cm <sup>3</sup> )	1.63	1.25	1.03	1.12	1.40

จากตารางแสดงความหนาแน่นรวมของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง พบว่าความหนาแน่นของชานอ้อยน้อยที่สุด รองลงมาคือเถ้าแกลบ แกลบ และเถ้าชานอ้อย อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของวัตถุดิบทั้งหมดเมื่อเปรียบเทียบกับดิน จะมีความหนาแน่นน้อยกว่าดินทั้งหมด ดังนั้นเมื่อนำไปเติมในชิ้นงานอิฐส่งผลให้ชิ้นงานก่อนเผามีความหนาแน่นหรือเบากว่าชิ้นงานที่ไม่ได้เติมนั่นเอง

#### การวิเคราะห์เฟสโครงสร้างของวัตถุดิบ

การวิเคราะห์เฟสโครงสร้างของดินแสดงดังภาพที่ 4.1

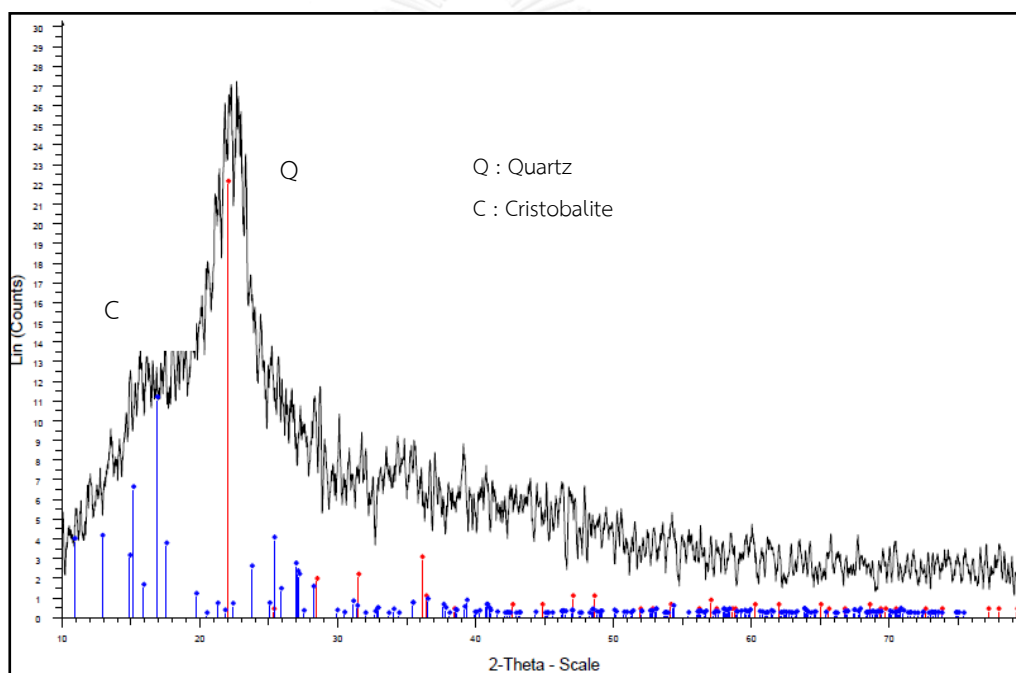


ภาพที่ 4.1 โครงสร้างเฟสของดิน

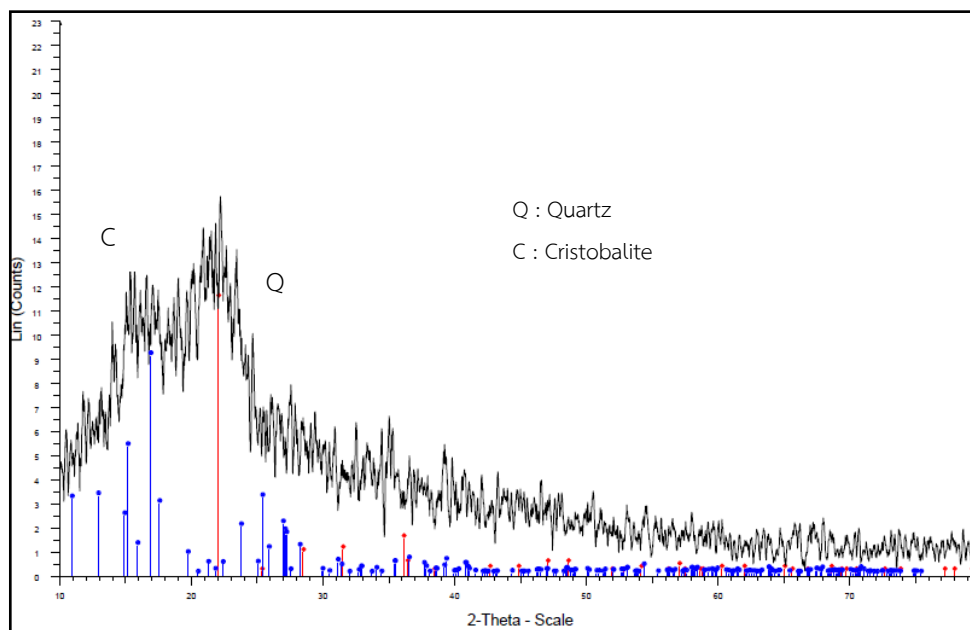
พิจารณาจากกราฟ XRD ของดิน พบว่ามีส่วนประกอบของเฟสหลักคือ แร่ควอตซ์ หรือ ซิลิคอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) และ เคโอลิไนต์ ( $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH}_4)$ ) โดยมี แอลไบท์ ( $\text{NaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) ปะปนเล็กน้อย สอดคล้องกับส่วนประกอบทางเคมีตามตารางที่ 4.2 ซึ่งเป็นส่วนประกอบของดินที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเครื่องปั้นดินเผาทั่วไป [55] โดยควอตซ์ที่เป็นโครงสร้างหลักจะทำให้ชิ้นงานหลังเผามีความแข็งแรง และไม่แตกหักในระหว่างกระบวนการเผา [56]

การวิเคราะห์โครงสร้างเฟสของแกลบ แสดงดังภาพที่ 4.2

พิจารณาจากกราฟ XRD ของแกลบพบว่ามีส่วนประกอบของเฟสหลักคือซิลิคอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ที่อยู่ในรูปของผลึกควอตซ์ทั่วไป และอยู่ในรูปของผลึกคริสโทบาไลต์เป็นหลัก ซึ่งเป็นลักษณะองค์ประกอบเหมือนกับดิน ที่เป็นวัตถุดิบหลักสำหรับผลิตเครื่องปั้นดินเผา



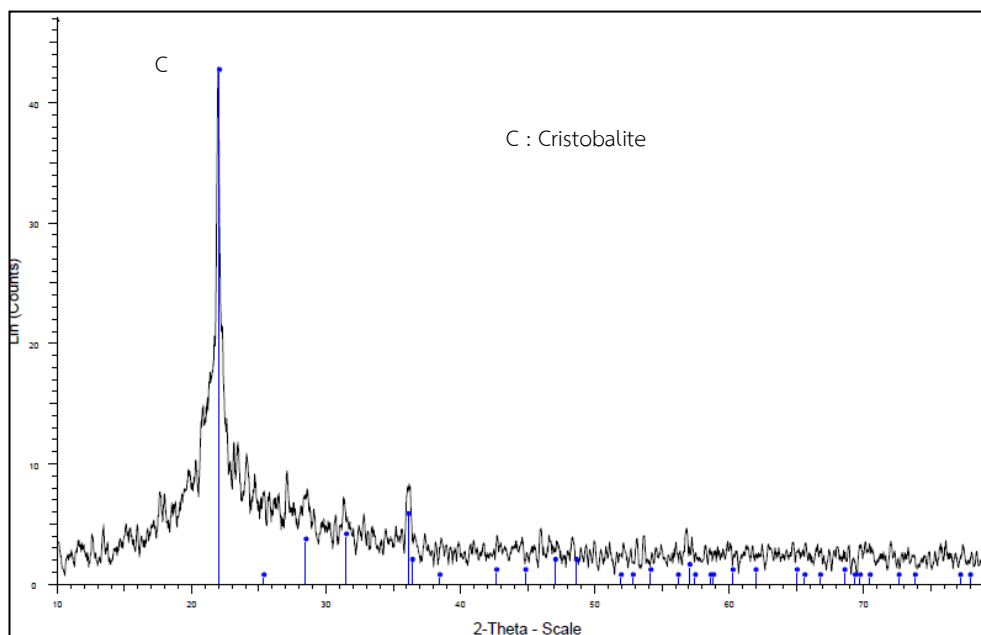
ภาพที่ 4.2 โครงสร้างเฟสแกลบ



ภาพที่ 4.3 โครงสร้างเฟสของชานอ้อย

การวิเคราะห์โครงสร้างเฟสของชานอ้อย แสดงดังภาพที่ 4.3

พิจารณาจากกราฟ XRD ของชานอ้อยพบว่ามีส่วนประกอบของเฟสหลักเหมือนแกลบคือ ซิลิคอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) อยู่ในรูปของควอตซ์ และ คริสโทบาไลต์ เป็นหลัก โดยมีลักษณะองค์ประกอบเหมือนกับแกลบ ซึ่งมีส่วนประกอบเหมือนกับดินที่เป็นวัตถุดิบหลักที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปั้นดินเผา



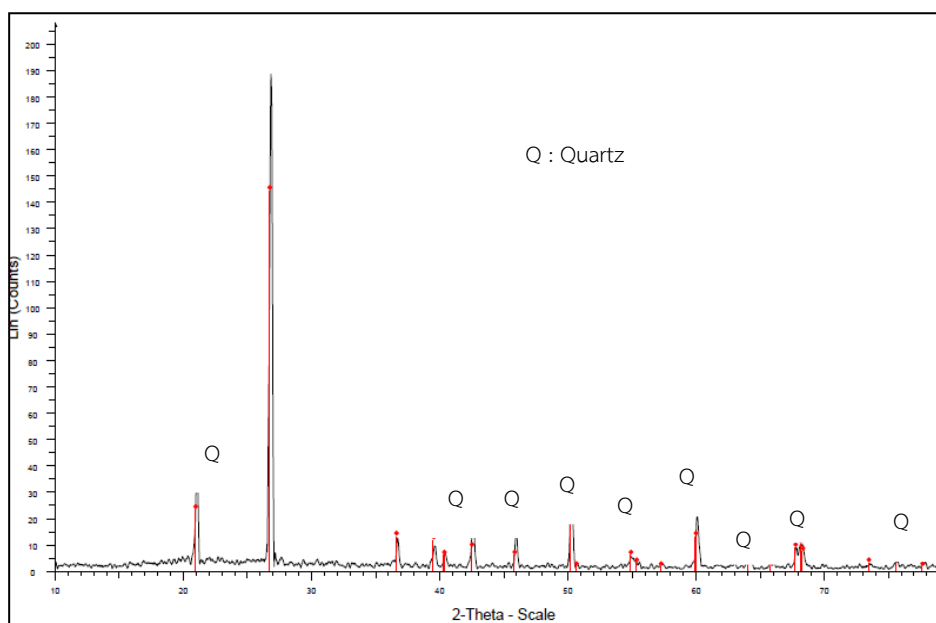
ภาพที่ 4.4 โครงสร้างเฟสของแก้วเคลือบ

การวิเคราะห์เฟสของแก้วเคลือบ แสดงดังภาพที่ 4.4

พิจารณาจากกราฟ XRD ของแก้วเคลือบพบว่ามีส่วนประกอบของเฟสหลัก คือซิลิคอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) อยู่ในรูปผลึกของคริสโตบาลิต์ ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของแก้วเคลือบตามตารางที่ 4.2 โดยผลของซิลิคอนไดออกไซด์ ทำให้ชิ้นงานอัฐมมีความแกร่ง และลดการแตกร้าวในระหว่างกระบวนการเผา [56]

การวิเคราะห์โครงสร้างเฟสของเถ้าชานอ้อย แสดงดังภาพที่ 4.5

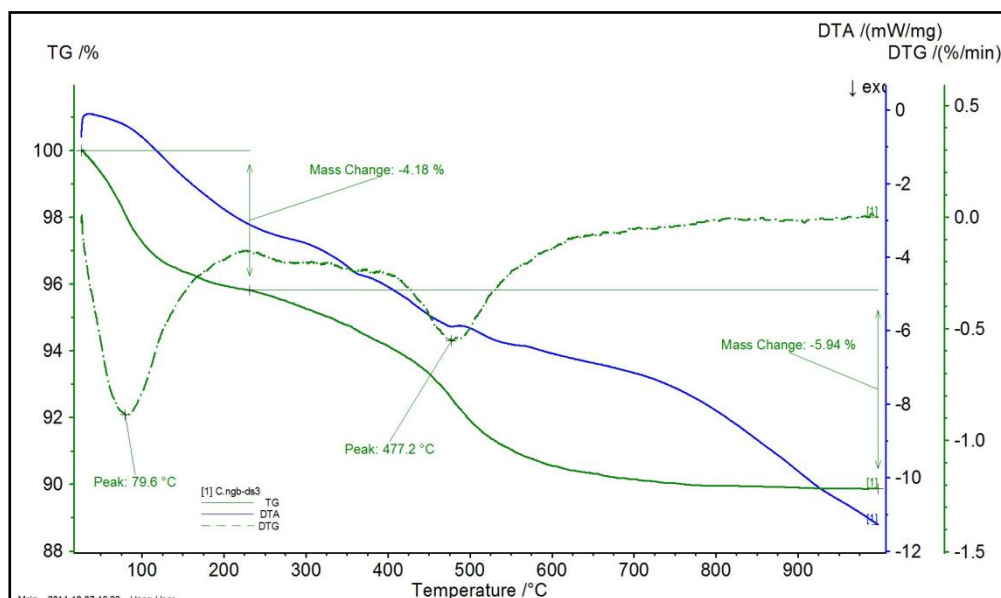
พิจารณาจากกราฟ XRD ของเถ้าชานอ้อยพบว่ามีส่วนประกอบของเฟสหลักเหมือนเถ้าแกลบ คือแร่ควอตซ์ ( $\text{SiO}_2$ ) สอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยตามตารางที่ 4.2 โดยองค์ประกอบที่มีเหมือนทราย ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำหรับใช้ลดความเหนียว หรือสภาพพลาสติกของดินทำให้ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้นและลดการหดตัว [57]



ภาพที่ 4.5 โครงสร้างเฟสของเถ้าชานอ้อย

#### 4.1.4 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุดิบ

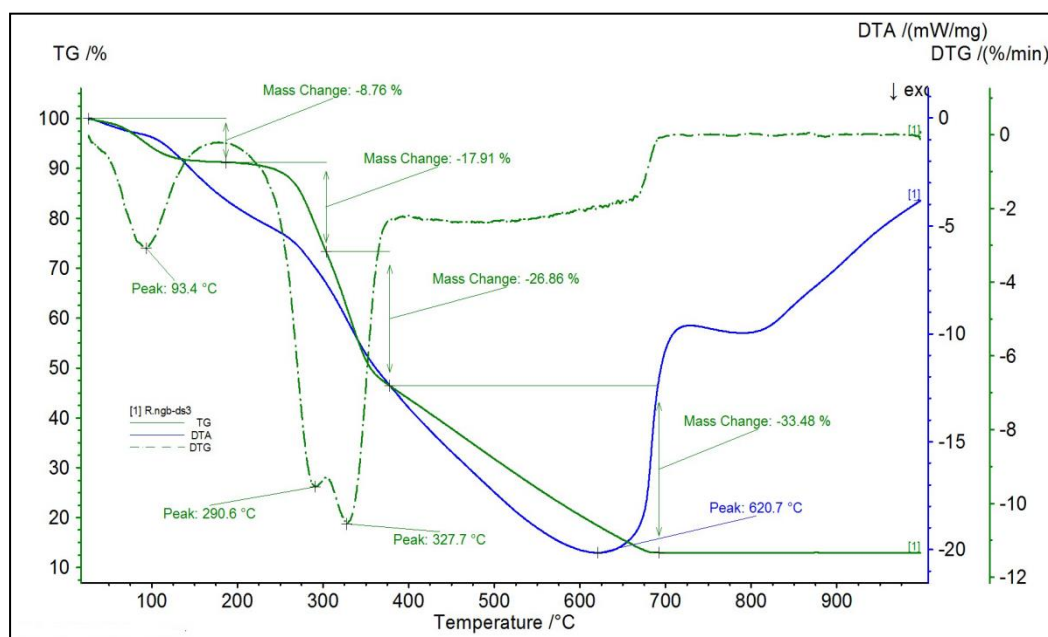
การวิเคราะห์ผลของความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของดินแสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของดิน

พิจารณาจากกราฟ TG และ DTG ของดินจากภาพที่ 4.6 พบว่าน้ำหนักสูญหายของดินลดลงทั้งหมดประมาณร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส โดยการลดลงที่จุดแรกร้อยละ 4.48 อยู่ระหว่างช่วงอุณหภูมิประมาณ 20 - 220 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดจากการระเหยของน้ำที่อยู่ในดิน ซึ่งมีอัตราการลดลงมากที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 79 องศาเซลเซียส จุดที่สองอยู่ระหว่างอุณหภูมิประมาณ 220 - 980 องศาเซลเซียส มีการลดลงของมวลเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน [53] โดยมีอัตราการสลายตัวมากที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 477.2 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากกราฟของ DTA พบว่าภาพรวมเกิดปฏิกิริยาคูดพลังงานความร้อน โดยเกิดมากที่สุดที่อุณหภูมิ 79 องศาเซลเซียส และ 477.2 องศาเซลเซียส เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำ และการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดินนั่นเอง

การวิเคราะห์ผลของความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของแกลบแสดงดังภาพที่ 4.7

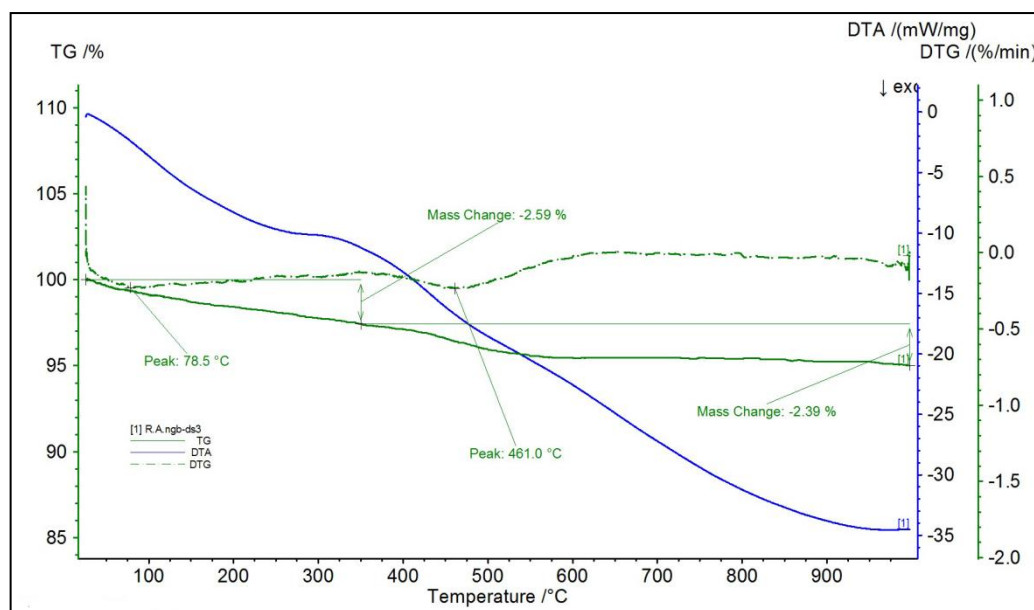


ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของแกลบ

พิจารณาจากกราฟ TG และ DTG ของแกลบตามภาพที่ 4.7 พบว่าค่าน้ำหนักสูญหายลดลงทั้งหมดประมาณร้อยละ 87 ที่อุณหภูมิเผา 680 องศาเซลเซียส ช่วงแรกของการลดลงอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 20 – 100 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการลดลงมากที่สุดที่ 93.4 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เกิดจากการระเหยของน้ำที่อยู่ในแกลบ ช่วงต่อมาอยู่ระหว่างอุณหภูมิ 200 – 450 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 290.6 และ 327.7 องศาเซลเซียส มีอัตราการลดลงมากที่สุด ทั้งนี้เกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักที่มีในแกลบ [53] เมื่อพิจารณาจากกราฟของ DTA พบว่าที่อุณหภูมิเริ่มต้นจนกระทั่งถึง 620 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาคูดพลังงานความร้อน เนื่องจากเกิดการสลายตัวสารอินทรีย์ในแกลบ



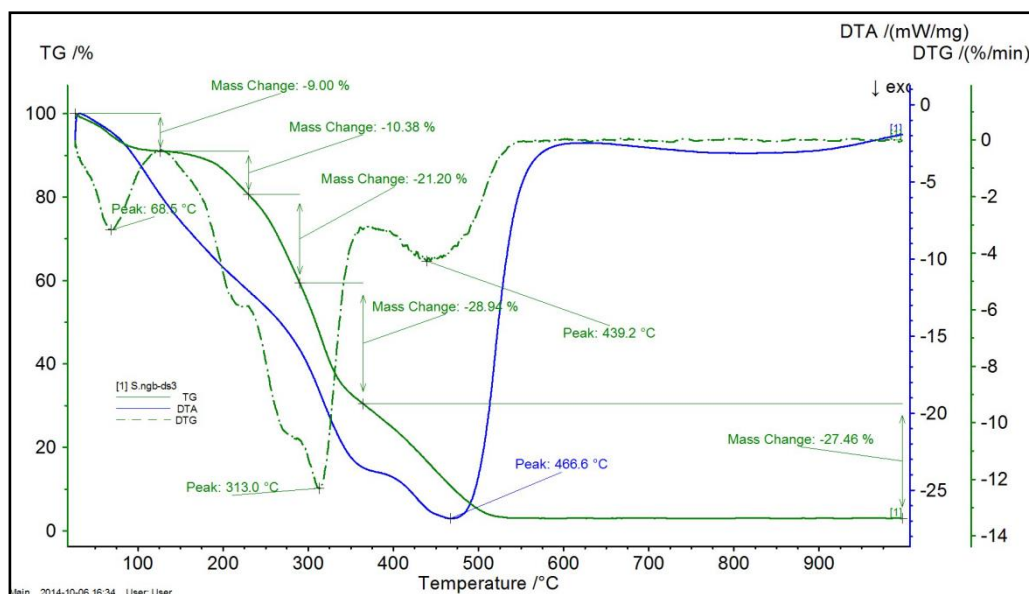
การวิเคราะห์ผลของความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของเก้าแกลบแสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของเก้าแกลบ

พิจารณาจากกราฟ TG และ DTG ของเก้าแกลบตามภาพที่ 4.8 พบว่าค่าน้ำหนักสูญหายลดลงทั้งหมดประมาณร้อยละ 7 ที่อุณหภูมิเผา 1000 องศาเซลเซียส โดยการลดลงของน้ำหนักที่จุดแรกอยู่ในช่วงระหว่างอุณหภูมิประมาณ 20 - 100 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากการระเหยของน้ำที่อยู่ในเก้าแกลบ โดยที่อุณหภูมิ ประมาณ 78.5 องศาเซลเซียส มีอัตราการลดลงมากที่สุด ที่จุดต่อมาอยู่ระหว่างอุณหภูมิประมาณ 200 - 500 องศาเซลเซียส มีอัตราการลดลงของน้ำหนักเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบบางส่วนของเก้าแกลบ โดยมีอัตราการสลายตัวมากที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 461 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากกราฟของ DTA พบว่าที่อุณหภูมิ 200 - 500 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาคูดพลังงานความร้อนมากที่สุด เนื่องจากเกิดการสลายตัวของเก้าแกลบซึ่งมีส่วนประกอบบางส่วนเป็นสารอินทรีย์ นั่นเอง

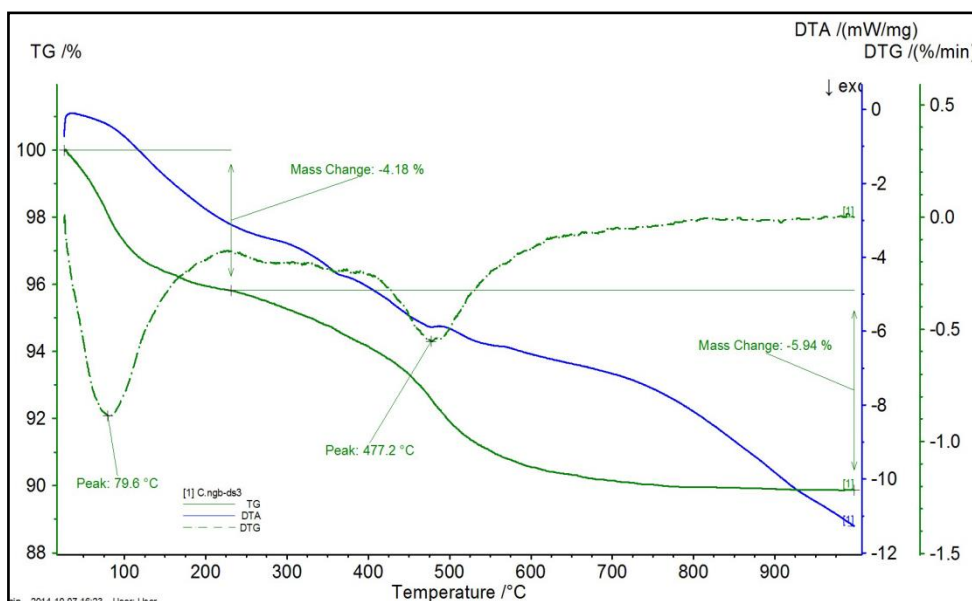
การวิเคราะห์ผลของความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของชานอ้อยแสดงดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของชานอ้อย

พิจารณาจากกราฟ TG และ DTG ของชานอ้อยตามภาพที่ 4.9 พบว่าค่าน้ำหนักสูญหายรวมทั้งหมดประมาณร้อยละ 97 ที่อุณหภูมิเผาประมาณ 550 องศาเซลเซียส โดยการลดลงของมวลร้อยละ 9 ที่จุดแรกอยู่ในช่วงระหว่างอุณหภูมิประมาณ 20 - 150 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เกิดจากการระเหยของน้ำ ที่อยู่ในชานอ้อย โดยที่อุณหภูมิประมาณ 68.5 องศาเซลเซียส มีอัตราการลดลงมากที่สุด ที่จุดต่อมาอยู่ระหว่างอุณหภูมิประมาณ 200 - 500 องศาเซลเซียส มีการลดลงของมวลเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของชานอ้อย โดยมีอัตราการสลายตัวมากที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 313 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากกราฟของ DTA พบว่าที่อุณหภูมิ 200 - 500 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาดูดพลังงานความร้อน เนื่องจากเกิดการสลายตัวของชานอ้อยซึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์

การวิเคราะห์ผลของความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของเก้าชานอ้อยแสดงดังภาพที่ 4.10



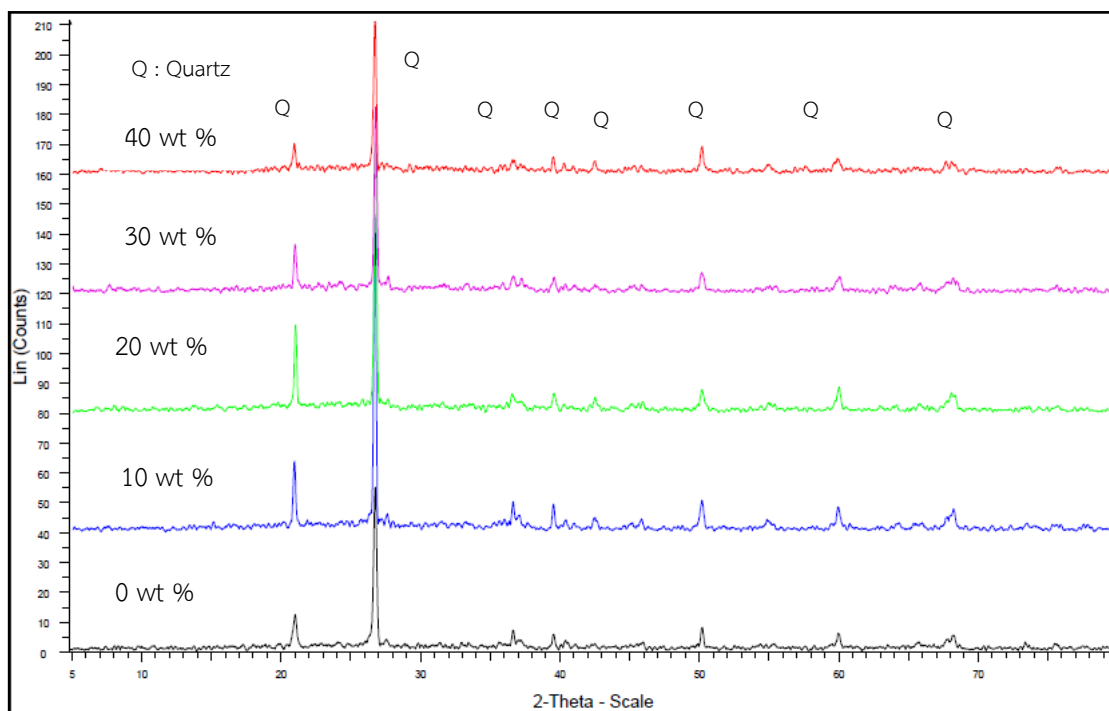
ภาพที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของเก้าชานอ้อย

พิจารณาจากกราฟ TG และ DTG ของเก้าชานอ้อยตามภาพที่ 4.10 พบว่าค่าน้ำหนักสูญหายรวมทั้งหมดประมาณร้อยละ 12 ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส โดยการลดลงของน้ำหนักที่จุดแรกอยู่ในช่วงระหว่างอุณหภูมิประมาณ 20 - 100 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากการระเหยของน้ำที่อยู่ในเก้าชานอ้อย โดยที่อุณหภูมิ ประมาณ 79.6 องศาเซลเซียส มีอัตราการลดลงมากที่สุด ช่วงต่อมาอยู่ระหว่างอุณหภูมิประมาณ 200 - 500 องศาเซลเซียส มีอัตราการลดลงของน้ำหนักเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบของเก้าชานอ้อย โดยมีอัตราการสลายตัวมากที่สุดที่อุณหภูมิ 477.2 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากกราฟของ DTA พบว่าที่อุณหภูมิ 477.2 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาคูดพลังงานความร้อนมากที่สุด เนื่องจากเกิดการสลายตัวของเก้าชานอ้อยซึ่งเป็นมีส่วนประกอบบางส่วนเป็นสารอินทรีย์ นั่นเอง

## 4.2 ผลของแถบต่อสมบัติของอิฐดินเผามวลเบา

### 4.2.1 ผลของแถบต่อโครงสร้างเฟส

การวิเคราะห์โครงสร้างเฟสของชิ้นงานอิฐที่เติม แถบแสดงดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 โครงสร้างเฟสของชิ้นงานที่เติมแถบในปริมาณที่แตกต่างกัน และเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

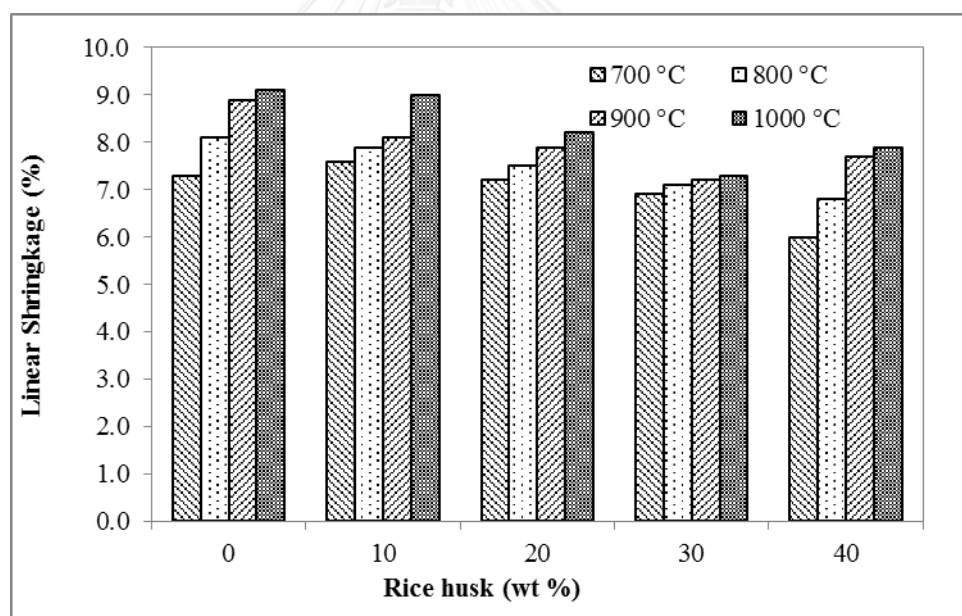
จากภาพแสดงให้เห็นว่าผลของการเติมแถบลงไปดินทำให้เฟสของผลึกแร่ควอตซ์ มีความสูงของพีคที่ลดลงเล็กน้อย แทบจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เนื่องจากการเติมแถบถึงแม้จะมีโครงสร้างหลักเป็นควอตซ์อยู่แล้ว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับดินมีจำนวนน้อยกว่า จึงเป็นการลดปริมาณผลึกของควอตซ์ให้กับวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอิฐดินเผา เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณที่แตกต่างกันพบว่า การเพิ่มปริมาณของแถบ ส่งผลให้ผลึกของควอตซ์ลดลง ตามปริมาณของแถบที่เพิ่มขึ้น

#### 4.2.2 ผลของແລบต่อการหดตัว

ผลของແລบต่อการหดตัวของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.3 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมແລบกับร้อยละการหดตัวของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.12

ตารางที่ 4.3 ผลของແລบต่อการหดตัว

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการหดตัวหลังเผา (%)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	7.30	7.60	7.20	6.90	6.00
800 องศาเซลเซียส	8.10	7.90	7.50	7.10	6.80
900 องศาเซลเซียส	8.90	8.10	7.90	7.20	7.70
1000 องศาเซลเซียส	9.10	9.00	8.20	7.30	7.90



ภาพที่ 4.12 ผลของແລบต่อการหดตัว

พิจารณาจากกราฟแสดงผลของແລบต่อการหดตัวของชิ้นงานอิฐ เมื่อเติมແລบส่งผลให้การหดตัวของชิ้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากແລบไปลดความเหนียวหรือสภาพพลาสติกของวัตถุดิบหลักคือดิน ในขณะที่เดียวกันการลดปริมาณดินทำให้เฟสของเหลวซึ่งทำให้เกิดการหดตัวที่เกิดขึ้นระหว่างเผา ลดลง เนื่องจากธาตุอัลคาไลน์ที่อยู่ในดินลดลง ดังนั้นเมื่อขึ้นรูปชิ้นงานอิฐและนำไปเผาทำให้ค่าการหดตัวของชิ้นงานหลังเผาลดลงตามไปด้วย [58, 59]

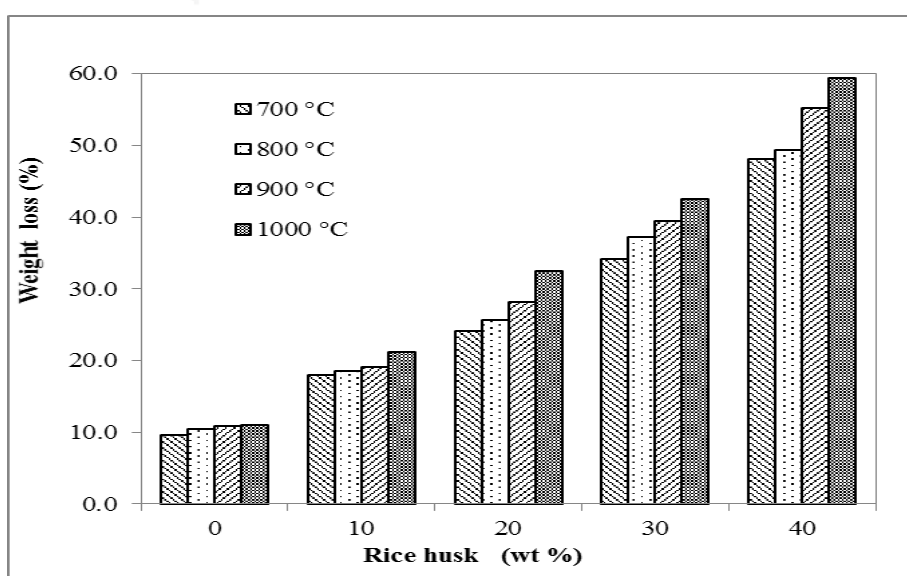
พิจารณาผลของอุณหภูมิต่อการหดตัวของชิ้นงานอิฐ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิเผา ส่งผลให้การหดตัวของชิ้นงานเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ ทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ชิ้นงานมีเฟสของเหลวที่เกิดจากการหลอมตัวของธาตุที่จุดหลอมเหลวต่ำ ( $K_2O$ ,  $Fe_2O_3$ ) ที่เป็นส่วนประกอบของดิน ในระหว่างการเผาเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ จึงทำให้การหดตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยชิ้นงานที่มีการหดตัวมากที่สุด ร้อยละ 9.00 เมื่อเติมแกลบร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส [60]

#### 4.2.3 ผลของแกลบต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา

ผลของแกลบต่อน้ำหนักสูญหายของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.4 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมแกลบกับร้อยละต่อน้ำหนักสูญหายชิ้นงานอิฐแสดงดังภาพที่ 4.13

ตารางที่ 4.4 ผลของแกลบต่อน้ำหนักสูญหาย

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา (%)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	9.60	18.00	24.10	34.10	48.10
800 องศาเซลเซียส	10.50	18.50	25.60	37.20	49.30
900 องศาเซลเซียส	10.80	19.10	28.20	39.40	55.20
1000 องศาเซลเซียส	11.00	21.20	32.50	42.50	59.40



ภาพที่ 4.13 ผลของแกลบต่อน้ำหนักสูญหาย

พิจารณากราฟผลของแกลบต่อน้ำหนักสูญหายระหว่างเผา พบว่าการเติมแกลบส่งผลให้น้ำหนักสูญหายระหว่างการเผาของชิ้นงานอิฐเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณแกลบมากขึ้น ค่าน้ำหนักสูญหายก็เพิ่มขึ้นตามปริมาณของแกลบที่เติมลงไป ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวแกลบซึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ ในระหว่างการเผา ยิ่งมีปริมาณมากก็เกิดการสลายตัวมากขึ้นนั่นเอง

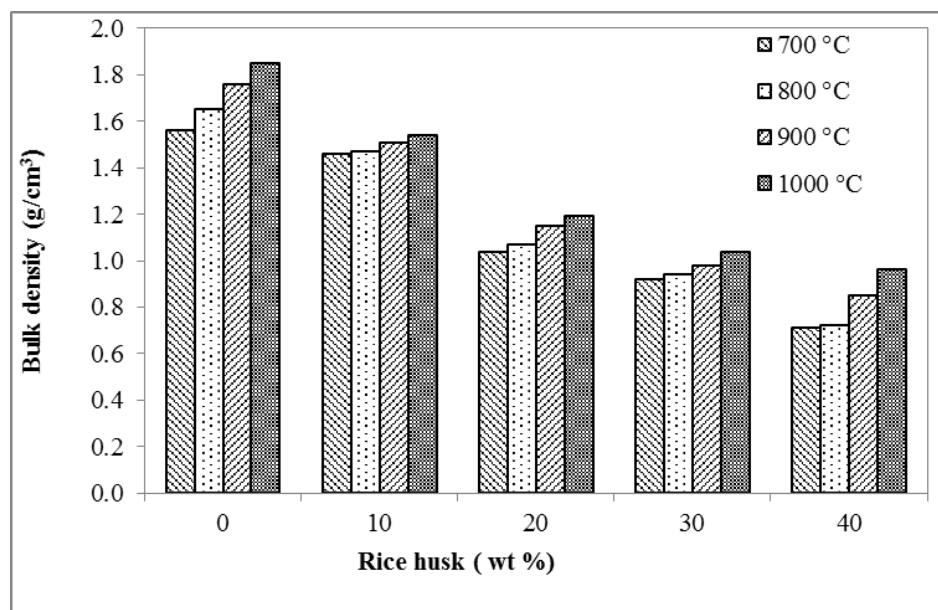
เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อน้ำหนักสูญหายพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้น้ำหนักสูญหายของชิ้นงานเพิ่มขึ้นไปด้วยตามปริมาณของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้การสลายตัวเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปตามผลของความร้อนต่อการสลายตัวของแกลบตามภาพที่ 4.7 โดยชิ้นงานมีค่าน้ำหนักสูญหายมากที่สุดร้อยละ 59.40 เมื่อเติมแกลบร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

#### 4.2.4 ผลของแกลบต่อความหนาแน่น

ผลของแกลบต่อความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.5 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมแกลบกับความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.14

ตารางที่ 4.5 ผลของแกลบต่อความหนาแน่น

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความหนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ )	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	1.56	1.46	1.04	0.92	0.71
800 องศาเซลเซียส	1.65	1.47	1.07	0.94	0.72
900 องศาเซลเซียส	1.76	1.51	1.15	0.98	0.85
1000 องศาเซลเซียส	1.85	1.54	1.19	1.04	0.96



ภาพที่ 4.14 ผลของแกลบต่อความหนาแน่น

พิจารณากราฟผลของแกลบต่อความหนาแน่นของชิ้นงาน พบว่าการเติมแกลบส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณแกลบมากขึ้น ความหนาแน่นของชิ้นงานก็จะลดลงตามปริมาณของแกลบที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของแกลบซึ่งมีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบหลัก ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ทำให้เกิดความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐ ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มปริมาณแกลบเป็นการลดเฟสของเหลวที่เกิดระหว่างการเผาที่ช่วยให้ชิ้นงานมีความหนาแน่น ส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลงนั่นเอง โดยชิ้นงานที่เติมแกลบร้อยละ 20 - 40 และเผาที่อุณหภูมิ 700 - 1000 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐบล็อกมวลเบา (มอก. 2601 - 2556) เกรด C12 คือมีความหนาแน่นไม่เกิน 1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิเผาต่อความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเผาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้เพิ่มการเกิดเฟสของเหลวที่เกิดจากการหลอมของธาตุบางชนิดที่เป็นส่วนประกอบของดินและมีจุดหลอมเหลวต่ำ ในขณะเดียวกันการเพิ่มอุณหภูมิ ส่งผลให้เกิดเฟสของแก้ว (vitrification) ขึ้นในระหว่างการเผาเนื่องจากสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ที่อยู่ในดินจะหลอมเหลวเป็นเฟสของแก้วที่อุณหภูมิมากกว่า 850 องศาเซลเซียส เชื่อมระหว่างอนุภาคของชิ้นงานทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดสูงขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง [61, 62] โดยชิ้นงานมีความหนาแน่นมากที่สุดเมื่อเติมแกลบร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

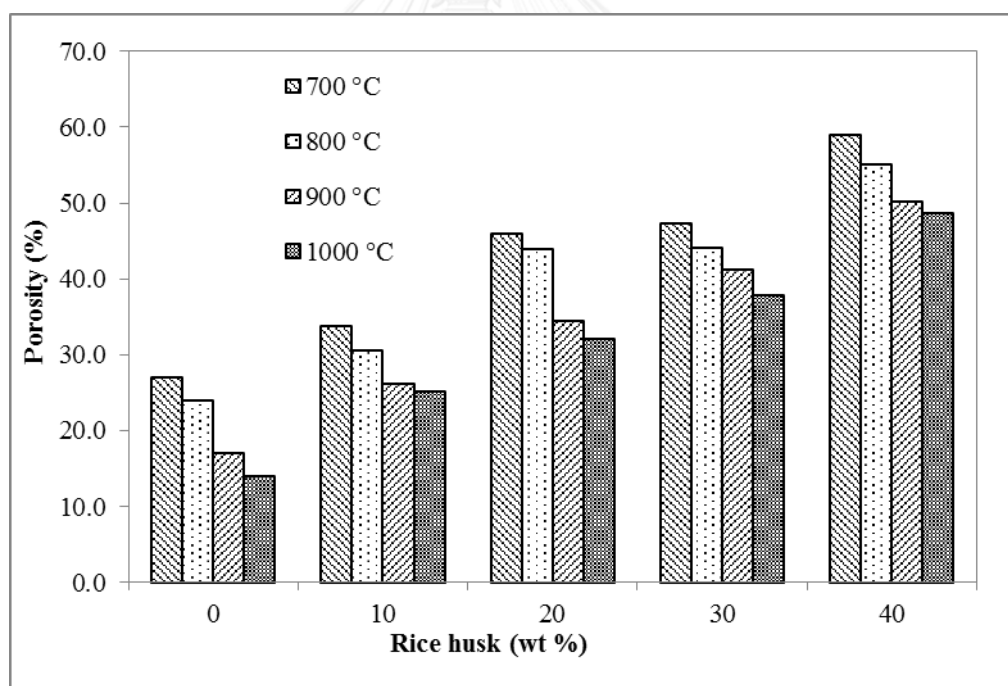


#### 4.2.5 ผลของแกลบต่อความพรุนตัว

ผลของแกลบต่อความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.6 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมแกลบต่อร้อยละความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.15

ตารางที่ 4.6 ผลของแกลบต่อความพรุนตัว

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความพรุนตัว (%)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	27.00	33.80	46.00	47.30	59.00
800 องศาเซลเซียส	24.01	30.50	44.00	44.10	55.10
900 องศาเซลเซียส	17.10	26.10	34.5	41.20	50.20
1000 องศาเซลเซียส	14.00	25.08	32.1	37.80	48.70



ภาพที่ 4.15 ผลของแกลบต่อความพรุนตัว

พิจารณาจากกราฟแสดงผลของแกลบต่อความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐดินเผา พบว่าการเติมแกลบส่งผลให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณแกลบชิ้นงานก็มีความพรุนตัวเพิ่มตามปริมาณของแกลบที่เติมลงไป ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวของแกลบในระหว่างการเผา ทำให้เกิดความพรุนตัวของชิ้นงานเพิ่มขึ้นตามปริมาณแกลบที่เพิ่ม ซึ่งสอดคล้องกับน้ำหนักสูญหายตามภาพที่ 4.13

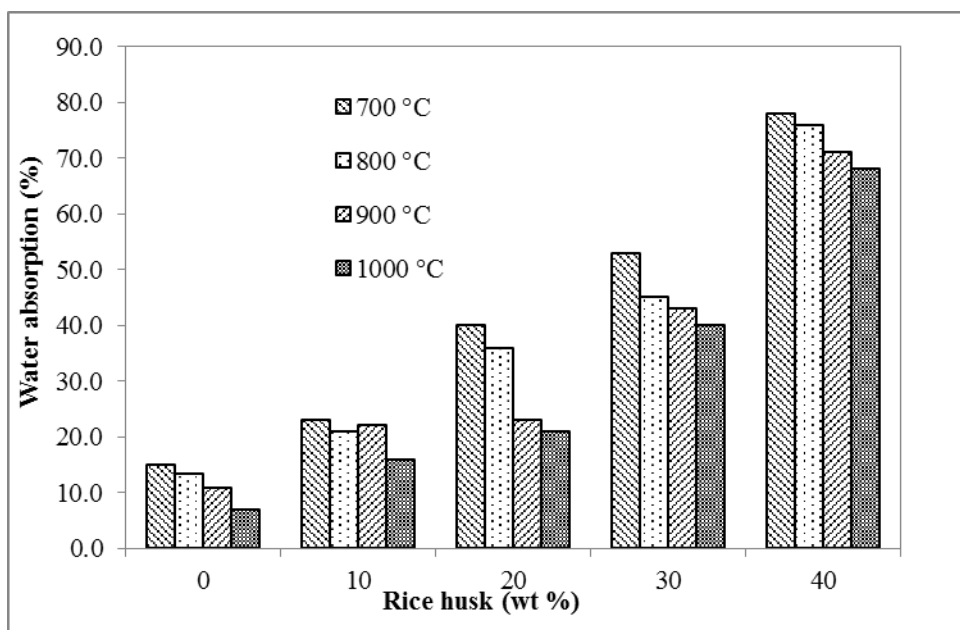
เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความพรุนตัวลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มการเกิดเฟสของเหลวที่เกิดจากการหลอมของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของดิน ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เกิดเฟสของแก้วขึ้นในระหว่างการเผาเนื่องจากซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ที่อยู่ในดินจะเปลี่ยนเป็นเฟสของแก้วที่อุณหภูมิมากกว่า 850 องศาเซลเซียส เชื่อมระหว่างอนุภาคของชิ้นงานปิดรูพรุน ทำให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวลดลงนั่นเอง โดยชิ้นงานมีความพรุนตัวมากที่สุดร้อยละ 59.00 เมื่อเติมแกลบร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

#### 4.2.6 ผลของแกลบต่อการดูดซึมน้ำ

ผลของแกลบต่อการดูดซึมน้ำของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.7 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมแกลบต่อร้อยละการดูดกลืนน้ำของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.16

ตารางที่ 4.7 ผลของแกลบต่อการดูดซึมน้ำ

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการดูดซึมน้ำ (%)	0	10	20	30	40
700 °C	30.51	23.00	40.05	53.08	78.00
800 °C	27.74	21.00	36.01	45.88	76.00
900 °C	24.21	22.00	23.00	43.00	71.00
1000 °C	17.00	16.00	21.08	40.00	68.00



ภาพที่ 4.16 ผลของแกลบต่อการดูดซึมน้ำ

พิจารณารูปแสดงผลของแกลบต่อการดูดซึมน้ำของชิ้นงานอิฐ พบว่าการเติมแกลบส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณแกลบการดูดซึมน้ำของชิ้นงานก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของแกลบ ทำให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วยตามปริมาณของแกลบที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง โดยชิ้นงานที่เติมแกลบร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 800 – 1000 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซึมน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐบล็อกมวลเบา (มอก.2601 – 2556) เกรด C10 คือน้อยกว่าร้อยละ 23.00 นอกจากนั้นชิ้นงานที่เติมแกลบร้อยละ 20 และเผาที่อุณหภูมิ 900 - 1000 องศาเซลเซียส ก็มีการดูดซึมน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ด้วย

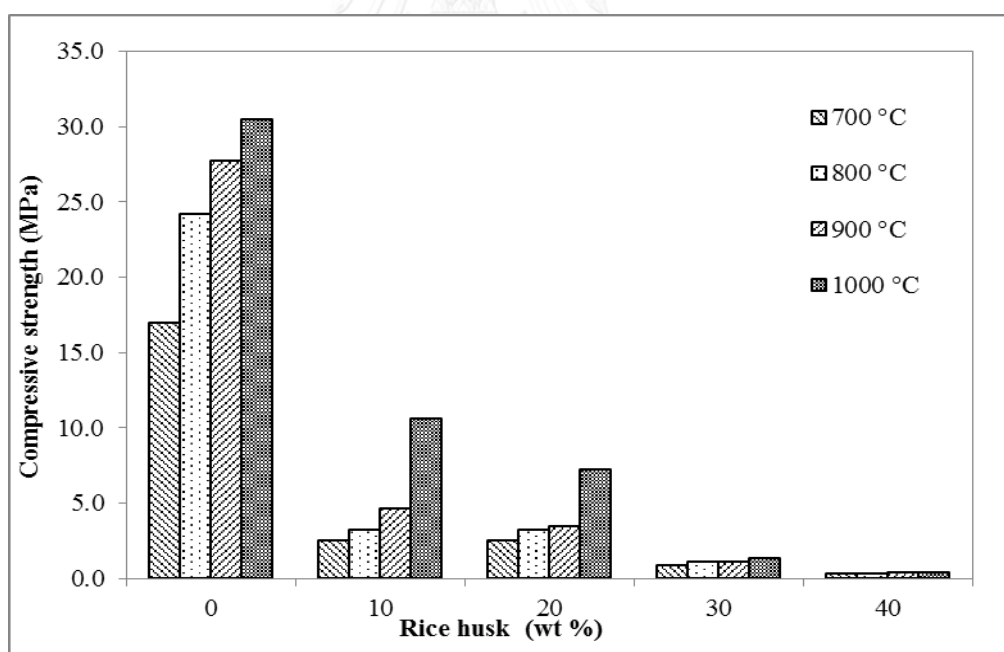
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเผา พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าการดูดซึมน้ำลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความพรุนตัวลดลง ความหนาแน่นของชิ้นงานสูงขึ้น ส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดลงตามไปด้วยนั่นเอง โดยชิ้นงานอิฐมีค่าดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ร้อยละ 16.00 เมื่อเติมแกลบร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

#### 4.2.7 ผลของแกลบต่อความต้านทานแรงอัด

ความต้านทานแรงอัดเป็นสมบัติที่สำคัญของอิฐดินเผา เนื่องจากการใช้งานต้องมีการรับแรงที่กดลง [63] โดยผลของแกลบต่อความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.8 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมแกลบต่อความต้านทานแรงอัดของชิ้นงาน อิฐแสดงดังภาพที่ 4.17

ตารางที่ 4.8 ผลของแกลบต่อความต้านทานแรงอัด

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความต้านทานแรงอัด (MPa)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	17.00	2.51	2.49	0.86	0.34
800 องศาเซลเซียส	24.21	3.24	3.21	1.11	0.36
900 องศาเซลเซียส	27.74	4.65	3.50	1.15	0.39
1000 องศาเซลเซียส	30.51	10.65	7.26	1.36	0.42



ภาพที่ 4.17 ผลของแกลบต่อความต้านทานทางแรงอัด

พิจารณากราฟผลของแกลบต่อความต้านทานแรงอัด พบว่าการเติมแกลบส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความต้านทานแรงอัดลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณของแกลบ ความต้านทานแรงอัดของอิฐก็จะลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากแกลบที่เติมลงไปเกิดการสลายตัวในระหว่างการเผา ทำให้เกิดความพรุนตัว

ส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานและความต้านทานแรงอัดลดลงตามไปด้วย โดยชิ้นงานอิฐที่เดิม แกลบร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 1000 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบา (มอก.2601 – 2556) เกรด C10 คือมีความต้านทานแรงอัดไม่ต่ำกว่า 2.50 เมกะพาสคัล และชิ้นงานที่เดิมแกลบร้อยละ 20 และเผาที่อุณหภูมิ 800 – 1000 องศาเซลเซียส จะมีความต้านทานแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบาด้วย

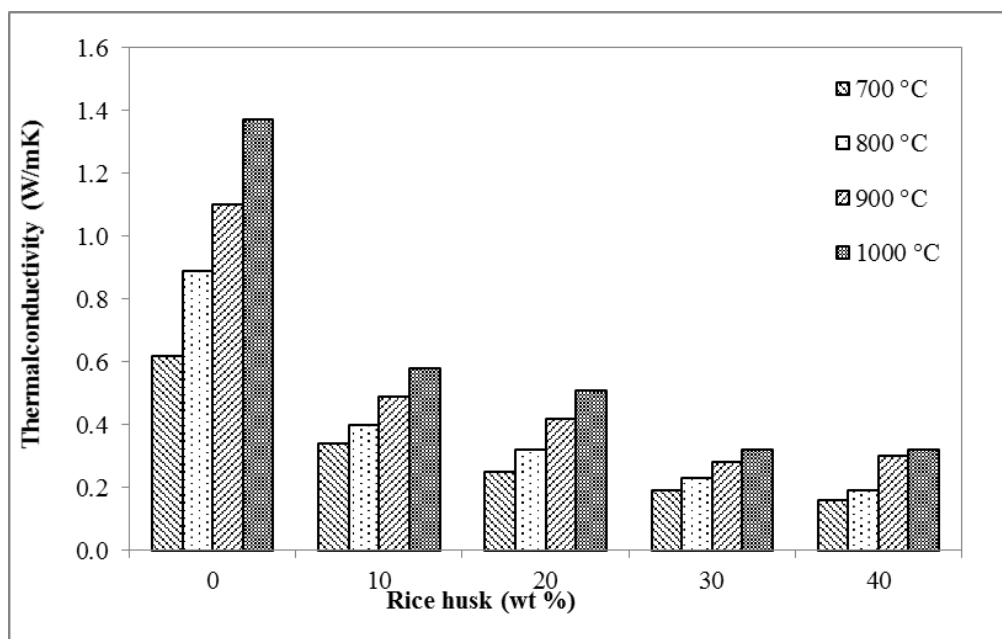
เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิเผาคือความต้านทานแรงอัด พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิเผาทำให้ ให้ความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ ความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นตามภาพที่ 4.14 ให้ความ ความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง

#### 4.2.8 ผลของแกลบต่อการนำความร้อน

ผลของแกลบต่อการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ แสดงดังตารางที่ 4.9 และเมื่อนำผลมาเขียน กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเพิ่มแกลบต่อการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ แสดงดัง ภาพที่ 4.18

ตารางที่ 4.9 ผลของแกลบต่อการนำความร้อน

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการนำความร้อน (W/mK)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	0.62	0.34	0.25	0.19	0.16
800 องศาเซลเซียส	0.89	0.40	0.32	0.23	0.19
900 องศาเซลเซียส	1.10	0.49	0.42	0.28	0.30
1000 องศาเซลเซียส	1.37	0.58	0.51	0.32	0.32



ภาพที่ 4.18 ผลของแกลบต่อการนำความร้อน

พิจารณาจากกราฟผลของแกลบต่อค่าการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ พบว่าการเติมแกลบส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีค่าการนำความร้อนลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณของแกลบมากขึ้น การนำความร้อนของชิ้นงานอิฐก็จะลดลงตามลงไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการเติมแกลบส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความพรุนตัวมากขึ้นตามภาพที่ 4.15 เนื่องจากการสลายตัวของแกลบในระหว่างกระบวนการเผา ซึ่งส่งผลให้การนำความร้อนของชิ้นงานอิฐลดลงตามปริมาณของแกลบที่เพิ่มขึ้นไปด้วย [64]

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเผา พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้การนำความร้อนของชิ้นงานอิฐเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเผาทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นสูงความพรุนตัวลดลงตามปริมาณของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการนำความร้อนสูงขึ้นตามไปด้วย [65] โดยชิ้นงานอิฐมีค่าการนำความร้อนน้อยที่สุด 0.16 วัตต์ต่อเมตร เคลวิน เมื่อเติมแกลบร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากชิ้นงานอิฐเป็นองค์ประกอบที่มีความพรุนตัวมากที่สุด

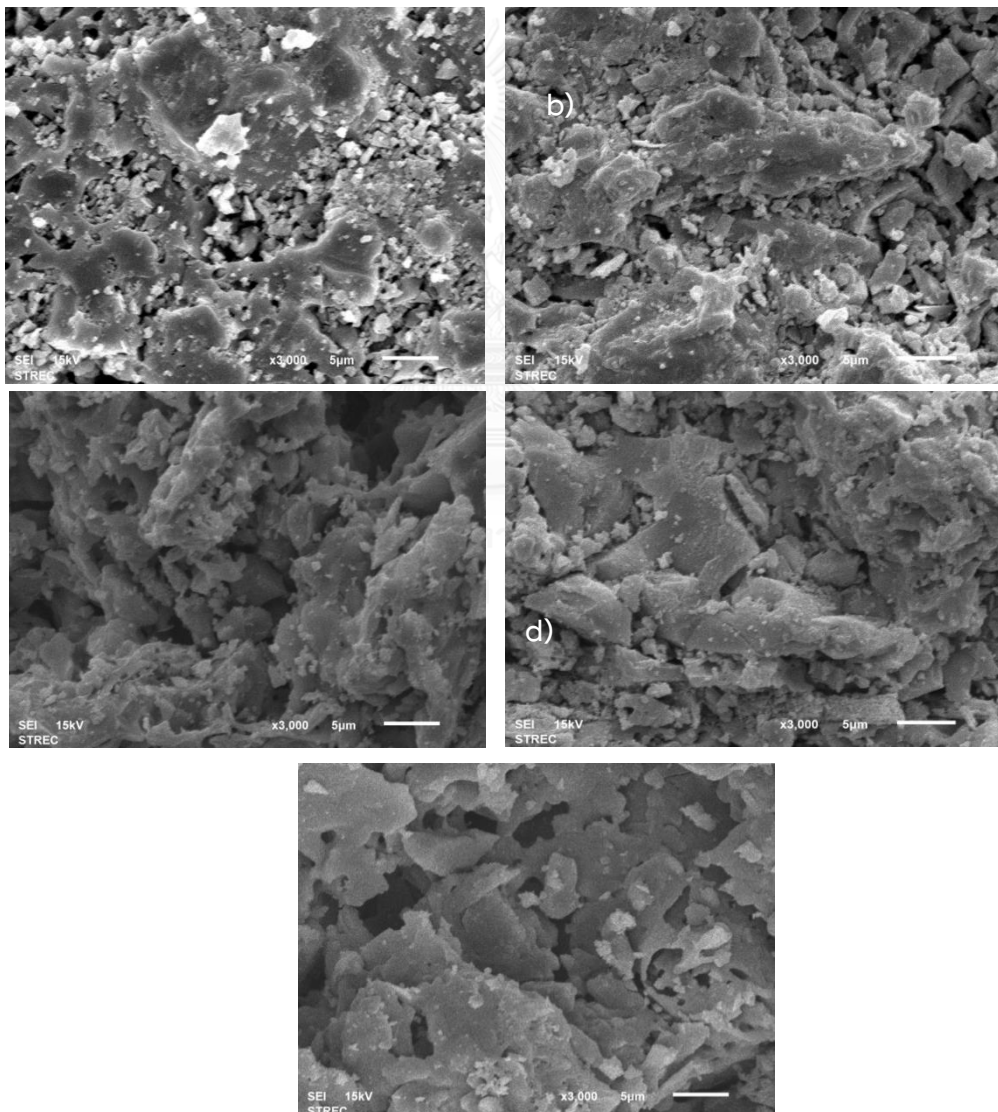
#### 4.2.9 ผลของแกลบต่อโครงสร้างจุลภาค

ผลของแกลบต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4.19

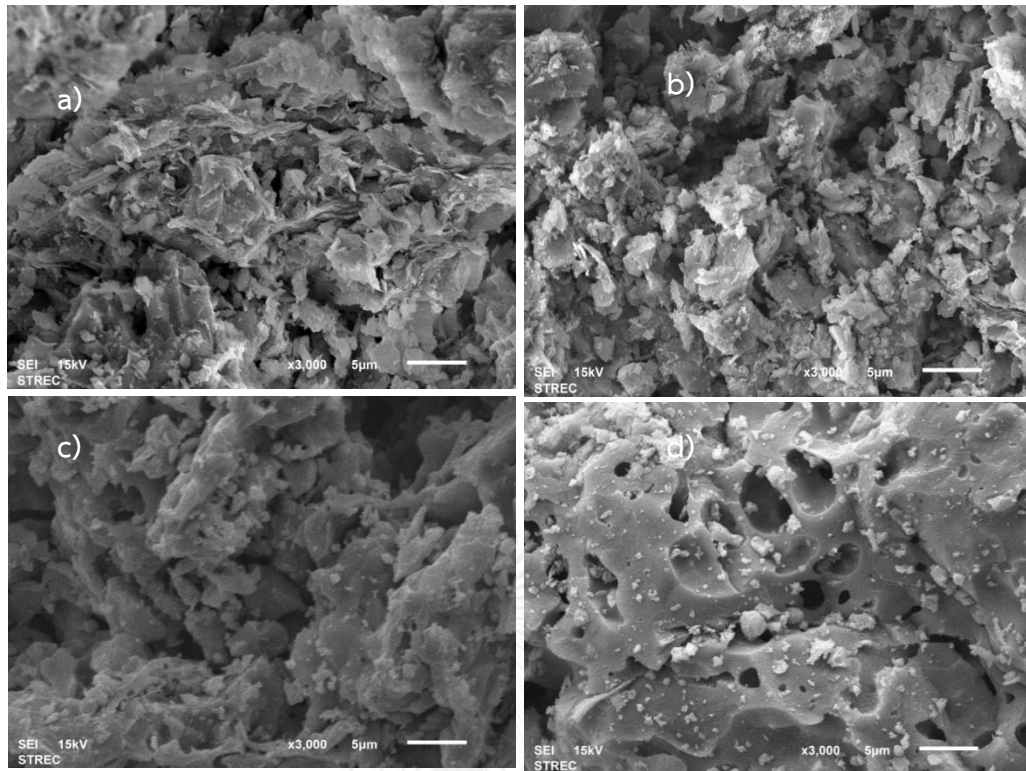
พิจารณาจากภาพผลของแกลบต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐ พบว่าการเติมแกลบส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความพรุนตัวเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแกลบที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของแกลบในระหว่างการเผาซึ่งมีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบหลัก ทำให้เกิดรูพรุนเป็นจำนวนมาก ส่งผล

ให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด และการนำความร้อนของ ชิ้นงานอิฐลดลงนั่นเอง

พิจารณาผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐที่เติมแกลบร้อยละ 20 โดย น้ำหนักและเผาที่อุณหภูมิ 700 – 800 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4.20 เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง ชิ้นงานที่มีการเติมแกลบร้อยละ 20 และเผาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ ความพรุนตัวของชิ้นงานลดลงทั้งนี้เนื่องจากผลของอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดเฟสของแก้วและเฟส ของเหลวในระหว่างการเผาตามปริมาณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งไปเชื่อมระหว่างรูพรุน ส่งผลให้ช่วยลดรู พรุนของชิ้นงานอิฐ ทำให้ชิ้นงานอิฐมีความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ เพิ่มขึ้นนั่นเอง [66, 67, 68]



ภาพที่ 4.19 ผลของแกลบต่อโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และเติมแกลบ a) 10% b) 20% c) 30% และ d) 40% โดยน้ำหนัก



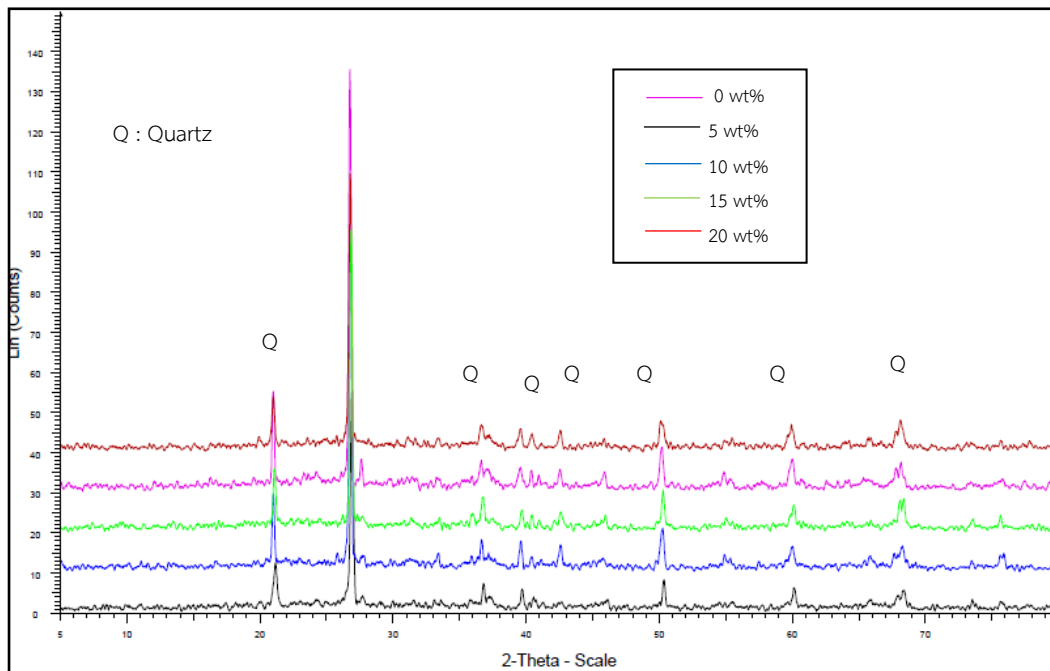
ภาพที่ 4.20 ผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐที่เติมแคลบร็อยละ 20 โดยน้ำหนัก และ เเผที่อุณหภูมิ a) 700 องศาเซลเซียส b) 800 องศาเซลเซียส c) 900 องศาเซลเซียส d) 1000 องศาเซลเซียส



### 4.3 ผลของชานอ้อยต่อสมบัติของดินดินเหนียว

#### 4.3.1 ผลของชานอ้อยต่อโครงสร้างเฟส

ผลของชานอ้อยต่อเฟสของชั้นงานอิฐแสดงดังภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 ผลของชานอ้อยต่อโครงสร้างเฟส

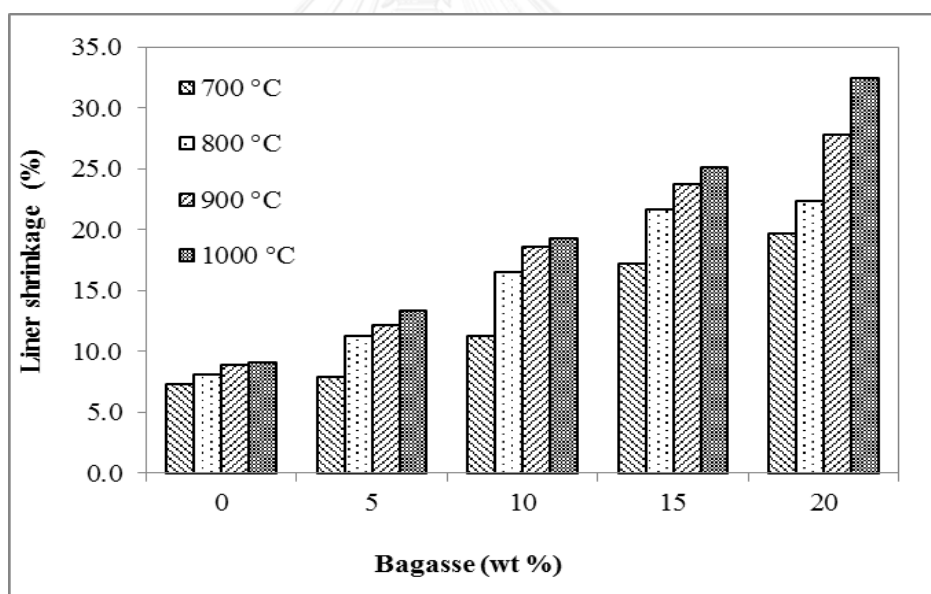
จากภาพแสดงให้เห็นว่าผลของการเติมชานอ้อยลงไปเหนียวดิน มีผลเหมือนกับการเติมแกลบ โดยทำให้เฟสของผลึกแร่ควอตซ์มีพีคที่ลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากการเติมชานอ้อย ถึงแม้จะมีโครงสร้างหลักเป็นควอตซ์อยู่แล้ว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับดินมีจำนวนน้อยกว่า จึงเป็นการลดปริมาณของควอตซ์ให้กับวัสดุที่ใช้ผลิตอิฐดินเผา เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณที่แตกต่างกันพบว่าการเพิ่มปริมาณของชานอ้อย ส่งผลให้ผลึกของแร่ควอตซ์ลดลง ตามปริมาณของแกลบที่เพิ่มขึ้น

#### 4.3.2 ผลของขานอ้อยต่อการหดตัวหลังเผา

ผลของขานอ้อยต่อการหดตัวของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.10 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมขานอ้อยต่อร้อยละการหดตัวของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.22

ตารางที่ 4.10 ผลของขานอ้อยต่อการหดตัวหลังเผา

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการหดตัวหลังเผา (%)	0	5	10	15	20
700 องศาเซลเซียส	7.30	7.90	11.30	17.20	19.70
800 องศาเซลเซียส	8.10	11.30	16.50	21.72	22.40
900 องศาเซลเซียส	8.90	12.20	18.60	23.80	27.80
1000 องศาเซลเซียส	9.10	13.40	19.30	25.10	32.50



ภาพที่ 4.22 ผลของขานอ้อยต่อการหดตัวหลังเผา

พิจารณากราฟการหดตัวของชิ้นงานอิฐที่เติมขานอ้อย พบว่าการเติมขานอ้อยส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีการหดตัวเพิ่มขึ้นตามปริมาณของขานอ้อยที่เติมลงไป ถึงแม้ว่าขานอ้อยจะช่วยลดความเหนียวของดินซึ่งจะทำให้การหดตัวของชิ้นงานอิฐลดลงเหมือนกรณีของการเติมแกลบ แต่อย่างไรก็ตาม จากตารางที่ 4.2 เนื่องจากขานอ้อยมีความหนาแน่นต่ำและเบาเมื่อเปรียบเทียบกับดิน เมื่อผ่านกระบวนการเผา ขานอ้อยเกิดการสลายตัวไปมากกว่าร้อยละ 95 ตามภาพที่ 4.9 ส่งผลให้ชิ้นงานเกิด

การยุบตัวและหดตัวหลังจากเผามากกว่าที่จะไปช่วยลดการหดตัว โดยชิ้นงานที่มีการหดตัวมากที่สุดคือชิ้นงานที่เติมซันอ้อยร้อยละ 20 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส โดยหดตัวร้อยละ 32.50 ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณของซันอ้อยและอุณหภูมิเผามากที่สุด

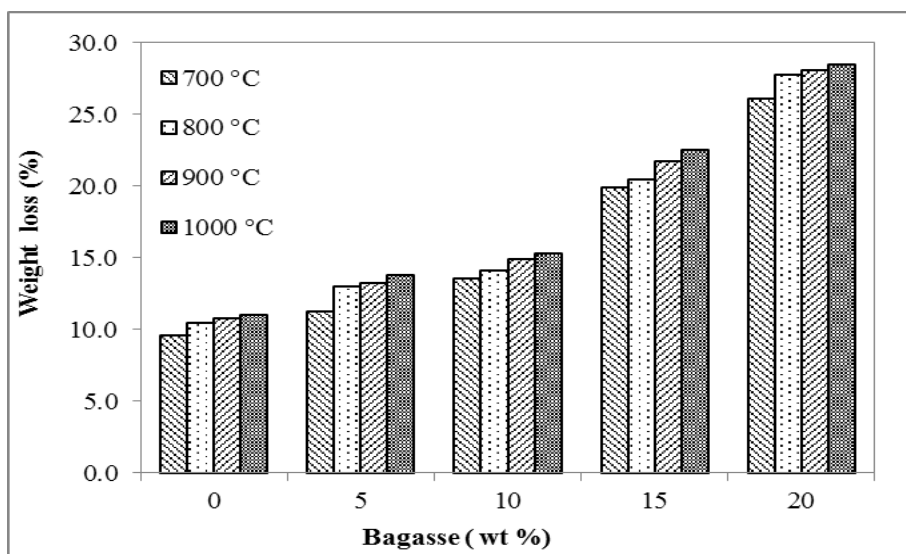
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิเผาที่แตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้การหดตัวของชิ้นงานสูงขึ้นตามปริมาณของอุณหภูมิเผาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเผาทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้น เนื่องจากเกิดเฟสของเหลว (liquid phase) ไปช่วยเชื่อมรูพรุนในระหว่างเผาทำให้ชิ้นงานอิฐมีความหดตัวเพิ่มขึ้นตามเฟสของเหลวที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีความหนาแน่นมากขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง

#### 4.3.3 ผลของซันอ้อยต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา

ผลของซันอ้อยต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผาของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.11 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมซันอ้อยต่อร้อยละน้ำหนักสูญหายหลังเผาของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.23

ตารางที่ 4.11 ผลของซันอ้อยต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา (%)	0	5	10	15	20
700 องศาเซลเซียส	9.60	11.30	13.60	19.90	26.10
800 องศาเซลเซียส	10.50	13.00	14.10	20.50	27.80
900 องศาเซลเซียส	10.80	13.25	14.90	21.70	28.10
1000 องศาเซลเซียส	11.00	13.80	15.30	22.50	28.50



ภาพที่ 4.23 ผลของชานอ้อยต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา

พิจารณากราฟแสดงค่าน้ำหนักสูญหายของชิ้นงานอิฐเมื่อเติมชานอ้อย พบว่าผลของการเติมชานอ้อยส่งผลให้ชิ้นงานมีน้ำหนักสูญหายเพิ่มขึ้นตามปริมาณของชานอ้อยที่เติมลงไป ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวระหว่างเผาของชานอ้อยที่มีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบหลัก ทำให้ชิ้นงานมีน้ำหนักลดลงตามปริมาณของชานอ้อยที่เพิ่มขึ้น โดยชิ้นงานที่มีน้ำหนักสูญหายระหว่างเผามากที่สุด คือ ชิ้นงานที่เติมชานอ้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

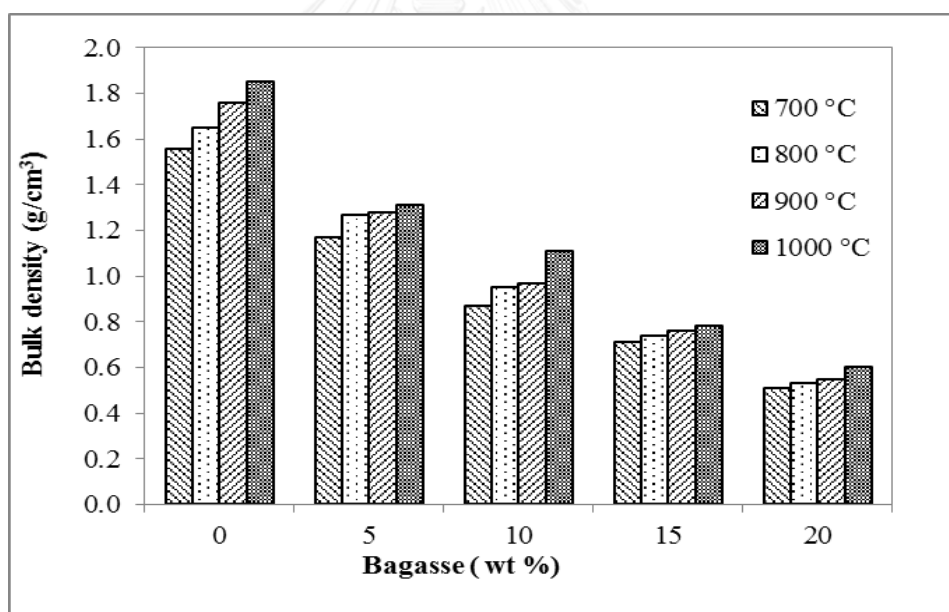
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิเผาที่แตกต่างกันพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีค่าน้ำหนักสูญหายเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่ม ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้การสลายตัวของชานอ้อยเกิดได้มากขึ้นตามไปด้วยนั่นเองซึ่งสอดคล้องกับกราฟการเปลี่ยนแปลงของชานอ้อยเมื่อได้รับความร้อนตามภาพที่ 4.9

#### 4.3.4 ผลของชานอ้อยต่อความหนาแน่น

ผลของชานอ้อยต่อความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.12 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมชานอ้อยต่อความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.24

ตารางที่ 4.12 ผลของชานอ้อยต่อความหนาแน่น

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	0	5	10	15	20
700 องศาเซลเซียส	1.56	1.17	0.87	0.71	0.51
800 องศาเซลเซียส	1.65	1.27	0.95	0.74	0.53
900 องศาเซลเซียส	1.76	1.28	0.97	0.76	0.55
1000 องศาเซลเซียส	1.85	1.31	1.11	0.78	0.60



ภาพที่ 4.24 ผลของชานอ้อยต่อความหนาแน่น

พิจารณากราฟแสดงผลของชานอ้อยต่อความหนาแน่น พบว่าผลของชานอ้อยส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่มีการเติมชานอ้อยในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณชานอ้อยมากขึ้นความหนาแน่นของชิ้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของชานอ้อยที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาทำให้เกิดความพรุนตัว ยังมีปริมาณมากก็ยิ่งมีการสลายตัวมากขึ้นตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความพรุนตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับความพรุนตัวตาม

ภาพที่ 4.25 ส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มชานอ้อยเป็นการลดปริมาณการเกิดเฟสของเหลวที่เป็นผลจากธาตุอัลคาไลน์ที่อยู่ในดิน ส่งผลให้ชิ้นงานมีรูพรุนและเกิดความพรุนตัวมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นลดลง ซึ่งลักษณะผลจะเหมือนกับการเติมแคลบ ผลการศึกษาพบว่าชิ้นงานมีความหนาแน่นน้อยที่สุด 0.51 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อเติมชานอ้อยร้อยละ 20 และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยชิ้นงานที่เติมชานอ้อยร้อยละ 10-20 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 1000 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐบล็อกจากมวลเบา (มอก. 2601-2556) ในเกรด C12 คือมีความหนาแน่นไม่เกิน 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

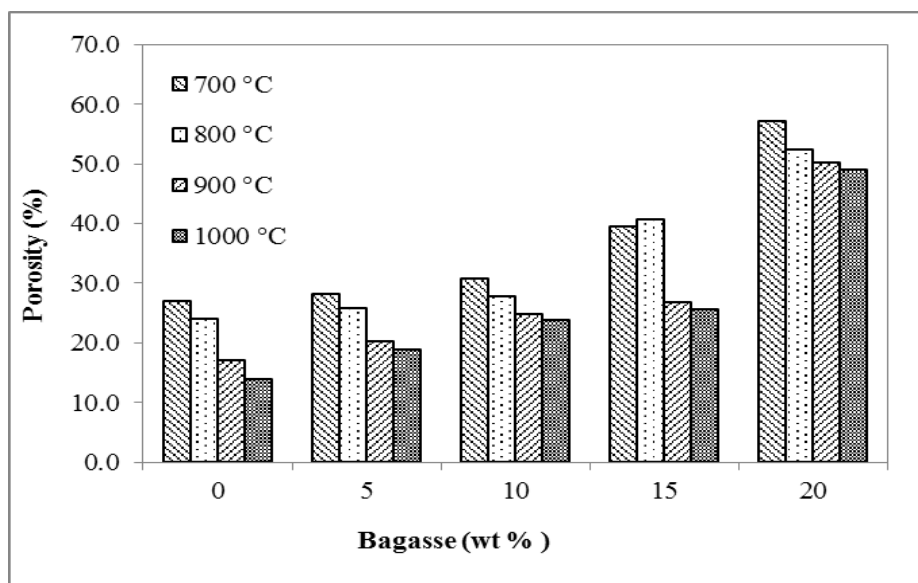
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเผาที่แตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่ม ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดเฟสของเหลว และเกิดเฟสของแก้วขึ้นในระหว่างการเผา เนื่องจากซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ที่อยู่ในดินจะเปลี่ยนเป็นเฟสของแก้วที่อุณหภูมิมากกว่า 850 องศาเซลเซียส เชื่อมระหว่างอนุภาคของชิ้นงานทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดสูงขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง โดยชิ้นงานที่มีความหนาแน่นมากที่สุดเมื่อเติมชานอ้อย คือชิ้นงานที่เติมชานอ้อยร้อยละ 5 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

#### 4.3.5 ผลของชานอ้อยต่อความพรุนตัว

ผลของชานอ้อยต่อความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.13 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมชานอ้อยต่อร้อยละความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.25

ตารางที่ 4.13 ผลของชานอ้อยต่อความพรุนตัว

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความพรุนตัว (%)	0	5	10	15	20
700 องศาเซลเซียส	27.00	28.18	30.78	39.59	57.23
800 องศาเซลเซียส	24.00	25.81	27.86	40.73	52.45
900 องศาเซลเซียส	17.00	20.21	24.89	26.75	50.21
1000 องศาเซลเซียส	14.00	18.82	23.85	25.70	48.96



ภาพที่ 4.25 ผลของชานอ้อยต่อความพรุนตัว

พิจารณาจากกราฟแสดงผลของชานอ้อยต่อความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐ พบว่าการเติมชานอ้อยส่งผลให้ความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐเพิ่มขึ้นตามปริมาณของชานอ้อยที่เติมลงไป ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวของชานอ้อยในระหว่างเผา ยังมีปริมาณมากก็เกิดการสลายตัวมาก ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดความพรุนตัวมากขึ้นนั่นเอง โดยชิ้นงานมีความพรุนตัวมากที่สุดเมื่อเติมชานอ้อยร้อยละ 20 และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีความพรุนตัวร้อยละ 57.23 เนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่มีชานอ้อยมากที่สุด และเผาที่อุณหภูมิต่ำสุด

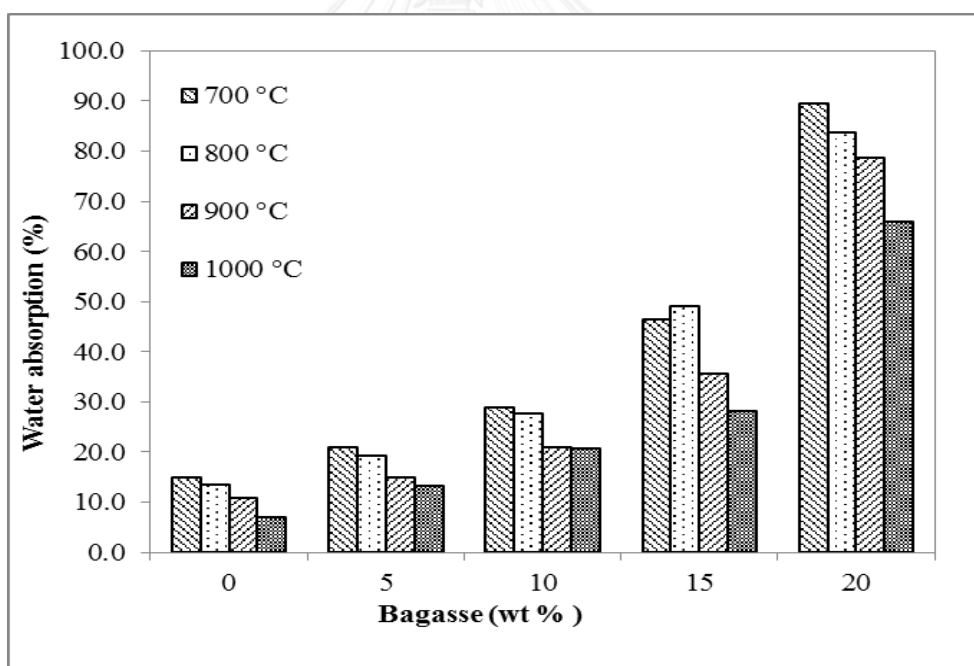
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิเผาที่แตกต่างกันพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการเผาส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความพรุนตัวลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิประมาณ 850 องศาเซลเซียส ขึ้นไปซิลิกอนไดออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของดินจะเปลี่ยนเป็นเฟสของแก้ว ที่ไปช่วยให้ชิ้นงานมีรูพรุนแบบปิด ทำให้ความพรุนตัวลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นก็จะทำให้รูพรุนมีขนาดลดลงตามไปด้วย โดยชิ้นงานที่มีความพรุนตัวน้อยที่สุด คือชิ้นงานที่เติมชานอ้อยร้อยละ 5 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีความพรุนตัวร้อยละ 18.82

#### 4.3.6 ผลของชานอ้อยต่อการดูดซึมน้ำ

ผลของชานอ้อยต่อการดูดซึมน้ำของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.14 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมชานอ้อยต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานอิฐแสดงดังภาพที่ 4.26

ตารางที่ 4.14 ผลของชานอ้อยต่อการดูดซึมน้ำ

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการดูดซึมน้ำ (%)	0	5	10	15	20
700 องศาเซลเซียส	15.00	21.04	29.00	46.53	89.58
800 องศาเซลเซียส	13.40	19.20	27.67	49.19	83.62
900 องศาเซลเซียส	10.80	14.90	20.92	35.73	78.65
1000 องศาเซลเซียส	7.00	13.27	20.67	28.12	65.87



ภาพที่ 4.26 ผลของชานอ้อยต่อการดูดซึมน้ำ

พิจารณากราฟแสดงผลของชานอ้อยต่อค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐ พบว่าผลของชานอ้อยที่เติมลงไปทำให้การดูดซึมน้ำของชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น เมื่อเปรียบระหว่างชิ้นงานที่มีการเติมชานอ้อยในปริมาณที่ต่างกกัน พบว่าชานอ้อยส่งผลต่อการดูดซึมน้ำ โดยเมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้



การดูดซึมน้ำสูงขึ้นตามปริมาณของชานอ้อย ทั้งนี้เนื่องจากชิ้นงานมีความพรุนตัวสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับความพรุนตัวของชิ้นงานตามภาพที่ 4.25

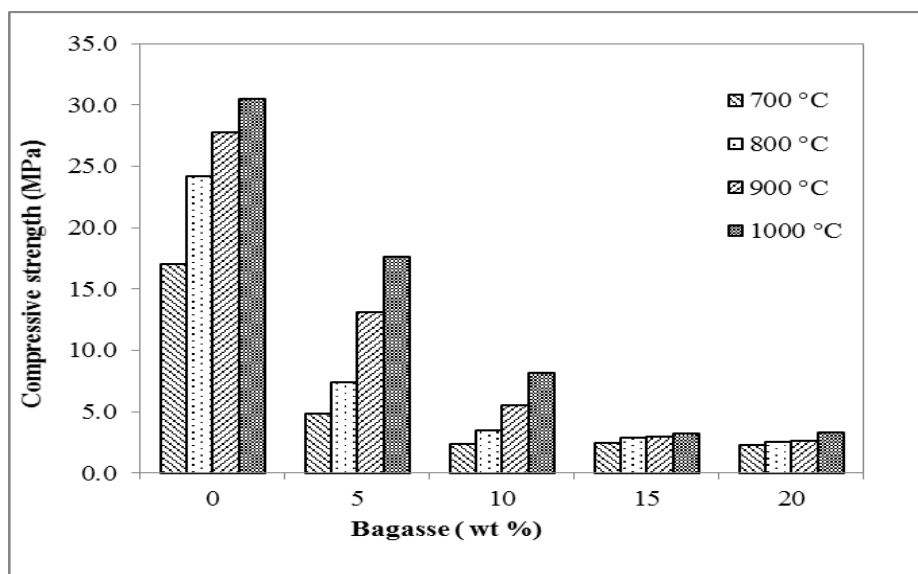
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่มีการเผาในอุณหภูมิที่แตกต่างกันพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานลดลง เนื่องจากความพรุนตัวลดลง โดยชิ้นงานอิฐที่เดิมชานอ้อยร้อยละ 5 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 1000 องศาเซลเซียส จะมีค่าการดูดซึมน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐบล็อกมวลเบา (มอก.2601-2556) ประเภท C10 คือมีค่าไม่เกินร้อยละ 23 นอกจากนี้ชิ้นงานที่เดิมชานอ้อยร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 900 – 1000 องศาเซลเซียส จะมีค่าการดูดซึมน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ด้วย

#### 4.3.7 ผลของชานอ้อยต่อความต้านทานแรงอัด

ผลของชานอ้อยต่อการต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.15 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมชานอ้อยต่อการต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.27

ตารางที่ 4.15 ผลของชานอ้อยต่อความต้านทานแรงอัด

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความต้านทานแรงอัด (MPa)	0	5	10	15	20
700 องศาเซลเซียส	17.00	4.84	2.36	2.44	2.30
800 องศาเซลเซียส	24.21	7.43	3.50	2.91	2.50
900 องศาเซลเซียส	27.74	13.14	5.51	3.00	2.60
1000 องศาเซลเซียส	30.51	17.63	8.14	3.19	3.32



ภาพที่ 4.27 ผลของชานอ้อยต่อความต้านทานแรงอัด

พิจารณากราฟแสดงผลของชานอ้อยต่อความต้านทานแรงอัด พบว่าชานอ้อยส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐลดลง เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีการเติมชานอ้อยในปริมาณที่ต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณชานอ้อยมากขึ้นส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของชานอ้อยที่เกิดขึ้นระหว่างการเผา ยังมีปริมาณมากก็ยิ่งมีการสลายตัวมากขึ้นตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีรูพรุนและเกิดความพรุนตัวมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นลดลง ส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดลดลงตามไปด้วย โดยชิ้นงานอิฐมีความต้านทานแรงอัดมากที่สุดเมื่อเติมชานอ้อยร้อยละ 5 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 17.63 เมกะพาสคัล

เมื่อเติมชานอ้อยร้อยละ 5 และเผาที่อุณหภูมิ 700 - 1000 องศาเซลเซียส ชิ้นงานอิฐจะมีความต้านทานแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐบล็อกมวลเบา (มอก.2601-2556) ในเกรด C12 คือมีความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า 2.50 เมกะพาสคัล และเมื่อเติมชานอ้อยร้อยละ 10 - 20 และเผาที่อุณหภูมิ 900 - 1000 องศาเซลเซียส ชิ้นงานอิฐจะมีความต้านทานแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ด้วย นอกจากนั้นชิ้นงานอิฐที่เติมชานอ้อยร้อยละ 5 และเผาที่อุณหภูมิ 900 - 1000 องศาเซลเซียส ยังมีความต้านทานแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐดินเผา (มอก.77-2545) คือมีความต้านทานแรงอัดมากกว่า 9 เมกะพาสคัล อีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิเผาที่แตกต่างกันพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้ชิ้นงานอิฐมีความต้านทานแรงอัดสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดเฟสของแก้วขึ้นในระหว่างการเผาเนื่องจากซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>) ที่อยู่ในดินจะเปลี่ยนเป็นเฟสของแก้วที่อุณหภูมิมากกว่า 800 องศาเซลเซียส เชื่อมระหว่างอนุภาคของชิ้นงานทำให้ชิ้นงานอิฐมีความหนาแน่นมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดสูงขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง

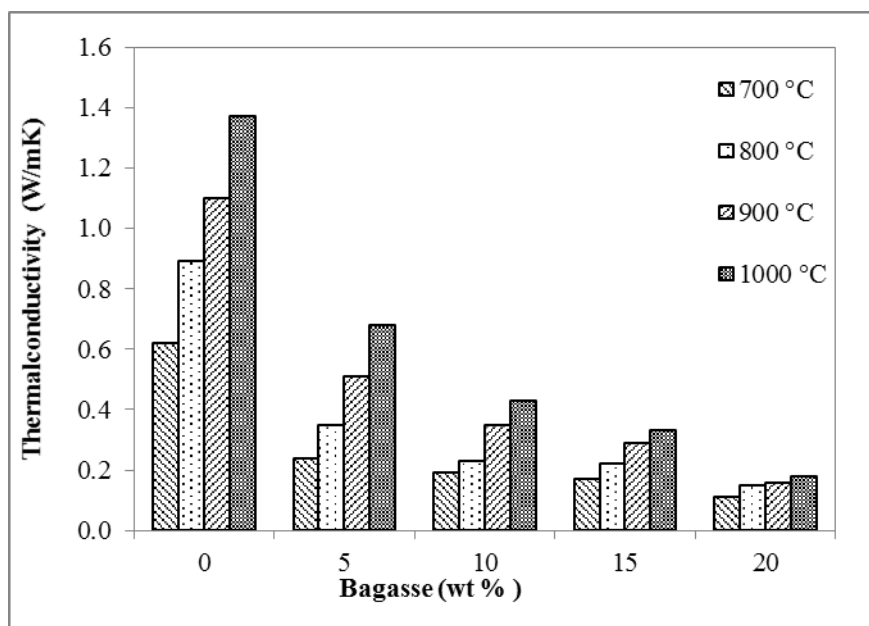
จากผลการศึกษา พบว่าชิ้นงานที่มีการเติมชานอ้อยร้อยละ 10 เผาที่อุณหภูมิ 800 – 1000 องศาเซลเซียส จะมีค่าความหนาแน่นและความสามารถในการรับแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐมวลเบา (มอก.2601-2556) เกรด C10 โดยชิ้นงานที่มีสมบัติที่ดีที่สุด คือ ชิ้นงานที่เติมชานอ้อยร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 1.11 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความสามารถในการรับแรงอัด 8.14 เมกะพาสคัล

#### 4.3.8 ผลของชานอ้อยต่อการนำความร้อน

ผลของชานอ้อยต่อการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.16 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมชานอ้อยต่อการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐแสดงดังภาพที่ 4.28

ตารางที่ 4.16 ผลของชานอ้อยต่อการนำความร้อน

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการนำความร้อน (W/mK)	0	5	10	15	20
700 องศาเซลเซียส	0.62	0.24	0.19	0.17	0.11
800 องศาเซลเซียส	0.89	0.35	0.23	0.22	0.15
900 องศาเซลเซียส	1.10	0.51	0.35	0.29	0.16
1000 องศาเซลเซียส	1.37	0.68	0.43	0.33	0.18

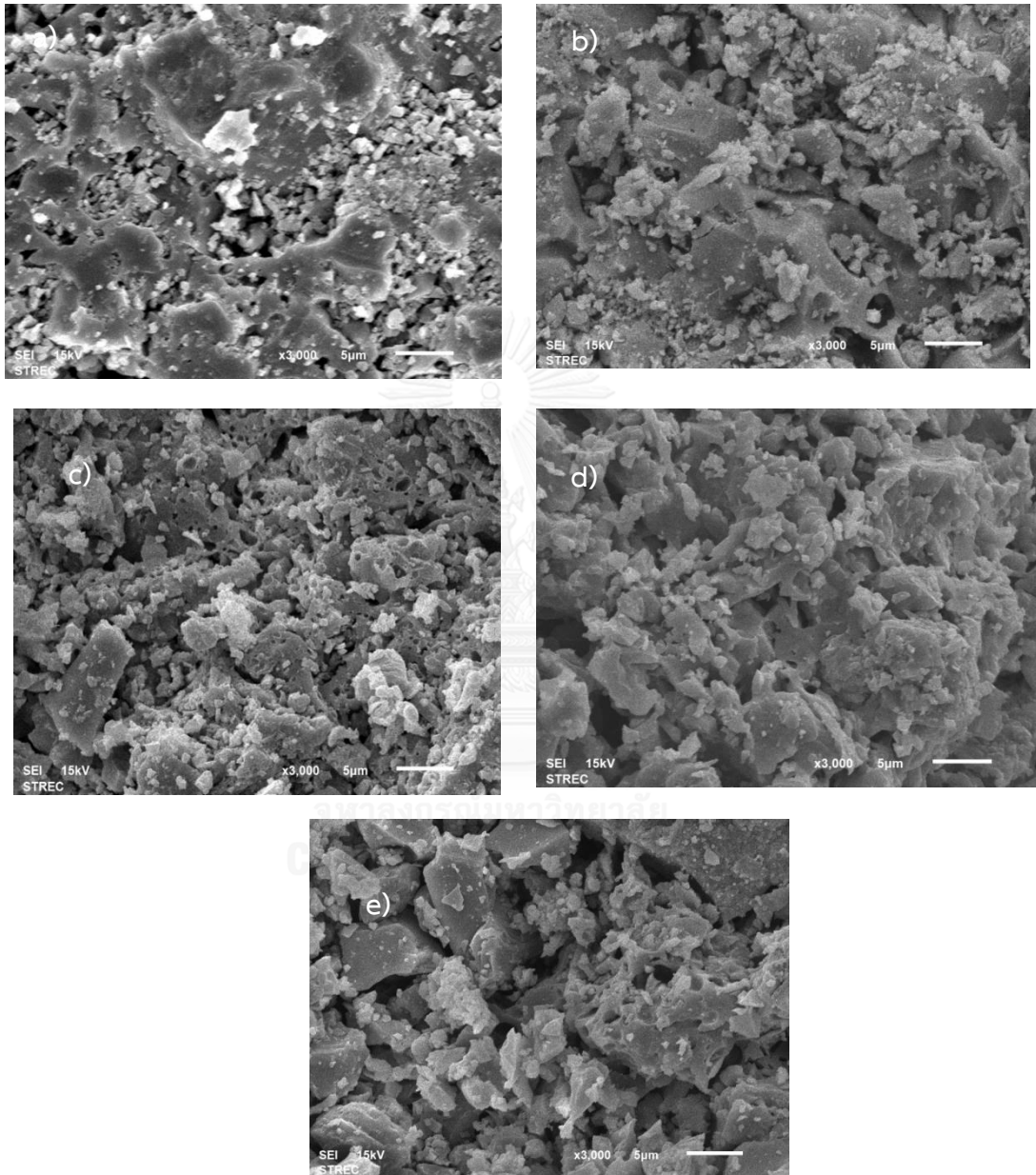


ภาพที่ 4.28 ผลของชานอ้อยต่อการนำความร้อน

พิจารณารูปแสดงผลของชานอ้อยต่อการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ พบว่าผลของชานอ้อยทำให้ชิ้นงานมีค่าการนำความร้อนลดลงจาก 1.37 วัตต์ต่อเมตร เคลวิน เมื่อไม่ได้เติมชานอ้อย เป็น 0.18 วัตต์ต่อเมตร เคลวิน เมื่อเติมชานอ้อยร้อยละ 20 ที่อุณหภูมิเผา 1000 องศาเซลเซียส โดยการเพิ่มของปริมาณชานอ้อย ส่งผลให้การนำความร้อนของชิ้นงานลดลงไปตามปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เนื่องจากการเติมชานอ้อย ทำให้ชิ้นงานอิฐมีความพรุนตัวสูงขึ้นเพราะการสลายตัวของชานอ้อยซึ่ง สอดคล้องกับความพรุนตัวตามภาพที่ 4.25 ส่งผลให้การนำความร้อนลดลงตามปริมาณความพรุนตัว ของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง โดยชิ้นงานมีค่าการนำความร้อนน้อยที่สุดเมื่อเติมชานอ้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.11 วัตต์ต่อเมตร เคลวิน และมีค่ามากที่สุดเมื่อเติมชานอ้อยร้อยละ 5 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.68 วัตต์ต่อเมตร เคลวิน

#### 4.3.9 ผลของขานอ้อยต่อโครงสร้างจุลภาค

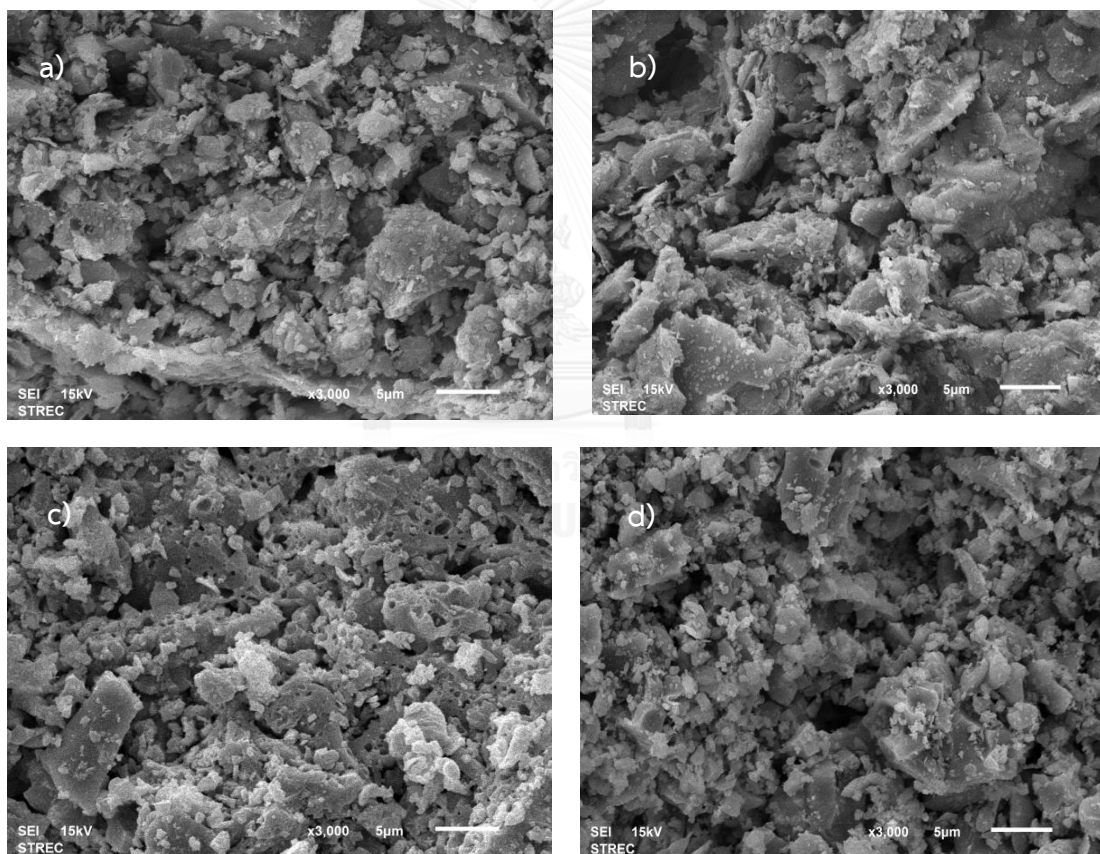
ผลของขานอ้อยต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4.29



ภาพที่ 4.29 ผลของขานอ้อยต่อโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสและเติมแกลบ a) 5% b) 10% c) 15% และ d) 20%

พิจารณาจากโครงสร้างจุลภาคพบว่า เมื่อเติมขานอ้อยไปในชิ้นงานอิฐ ส่งผลให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวเกิดขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณของขานอ้อยที่เติมลงไปพบว่า การเพิ่มปริมาณของขานอ้อยมากขึ้น ชิ้นงานมีความพรุนตัวมากขึ้นตามไปด้วยสอดคล้องกับความพรุนตัวของชิ้นงานตามภาพที่ 4.25 ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวของขานอ้อยซึ่งเป็นสารอินทรีย์ ในระหว่างการเผา ส่งผลให้ความหนาแน่นและต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐลดลงสอดคล้องกับความหนาแน่นตามภาพที่ 4.24 และความต้านทานแรงอัดตามภาพที่ 4.27

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่มีการเผาในอุณหภูมิที่แตกต่างกันแสดงดังภาพที่ 4.30 พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความพรุนตัวของชิ้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากผลของอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดเฟสของแก้วในระหว่างการเผาที่จะไปช่วยอุดรูพรุนของชิ้นงาน ส่งผลทำให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวลดลง และหนาแน่นเพิ่มขึ้นนั่นเอง

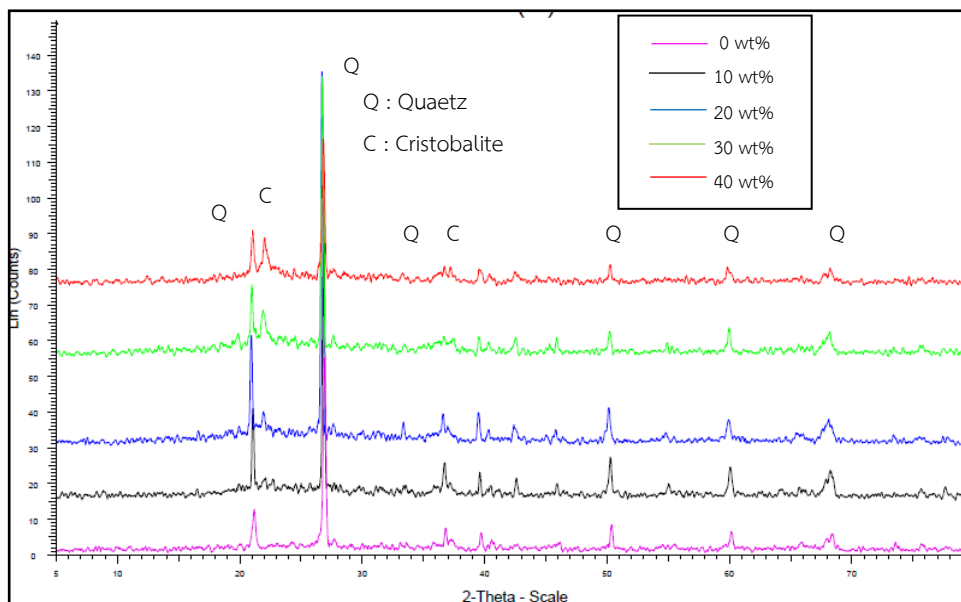


ภาพที่ 4.30 ผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐที่เติมขานอ้อยร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และเผาที่อุณหภูมิ a) 700 องศาเซลเซียส b) 800 องศาเซลเซียส c) 900 องศาเซลเซียส d) 1000 องศาเซลเซียส

#### 4.4 ผลของเถ้าแกลบต่อสมบัติของอิฐดินเผามวลเบา

##### 4.4.1 ผลของเถ้าแกลบต่อโครงสร้างเฟส

ผลของเถ้าแกลบต่อโครงสร้างเฟสของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.31



ภาพที่ 4.31 ผลของเถ้าแกลบต่อโครงสร้างเฟส

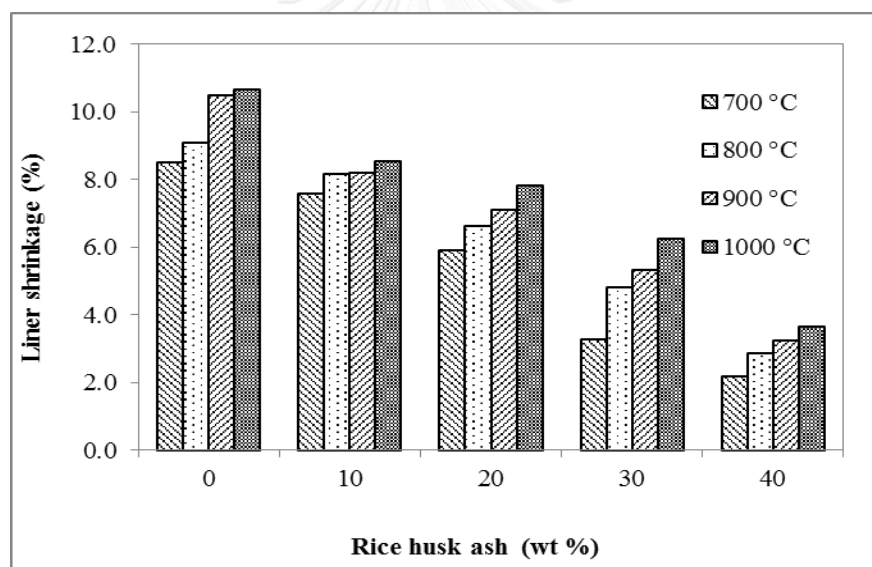
จากภาพแสดงให้เห็นว่าผลของการเติมเถ้าแกลบลงไปในดิน ทำให้เฟสของซิลิคอนไดออกไซด์ ซึ่งอยู่ในรูปคริสโทบาไลต์มีพีคที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเติมเถ้าแกลบซึ่งแกลบมีโครงสร้างหลักเป็น คริสโทบาไลต์อยู่แล้ว จึงเป็นการเพิ่มปริมาณของควอตซ์ในรูปของคริสโทบาไลต์ให้กับดิน ทำให้พีคของคริสโทบาไลต์สูงขึ้นตามปริมาณของเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างเฟสของเถ้าแกลบตามภาพที่ 4.4 ที่มีเฟสหลักคือซิลิคอนไดออกไซด์ในรูปของคริสโทบาไลต์

#### 4.4.2 ผลของเถ้าแกลบต่อการหดตัวของเส้นใย

ผลของเถ้าแกลบต่อการหดตัวของเส้นใย แสดงดังตารางที่ 4.17 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมเถ้าแกลบต่อการหดตัวของเส้นใย แสดงดังภาพที่ 4.32

ตารางที่ 4.17 ผลของเถ้าแกลบต่อการหดตัว

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการหดตัวของเส้นใย (%)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	8.50	7.58	5.92	3.26	2.19
800 องศาเซลเซียส	9.10	8.17	6.62	4.82	2.85
900 องศาเซลเซียส	10.50	8.19	7.10	5.33	3.25
1000 องศาเซลเซียส	10.68	8.55	7.81	6.26	3.65



ภาพที่ 4.32 ผลของเถ้าแกลบต่อการหดตัวของเส้นใย

พิจารณากราฟแสดงผลของเถ้าแกลบต่อการหดตัวของเส้นใยพบว่า การเติมเถ้าแกลบส่งผลให้เส้นใยมีการหดตัวลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณของเถ้าแกลบ เส้นใยมีความหดตัวลดลงตามปริมาณของเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเติมเถ้าแกลบส่งผลให้เฟสของเหลวที่เกิดระหว่างเส้นใยลดลง นอกจากนั้นการเติมเถ้าแกลบที่มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งมีสมบัติเหมือนทราย ส่งผลให้ความเหนียวหรือสภาพพลาสติกของดินที่เป็นวัตถุดิบหลักลดลง เหมือนกับการเติมทราย เมื่อเผาทำให้การหดตัวของเส้นใยลดลงตามปริมาณของเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง



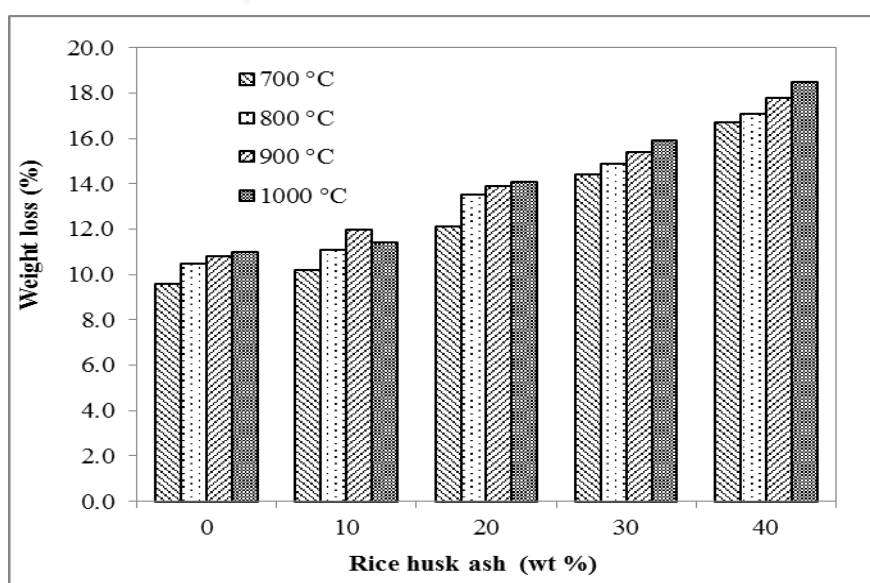
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิเผาที่แตกต่างกันพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ชิ้นงานมีการหดตัวเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเผา ทำให้เกิดเกิดเฟสของเหลวระหว่างการเผาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานมีการหดตัวเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่า ชิ้นงานมีความหดตัวมากที่สุดเมื่อเติมเถ้าแกลบร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส โดยมีค่าการหดตัวร้อยละ 8.55

#### 4.4.3 ผลของเถ้าแกลบต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา

ผลของเถ้าแกลบต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผาของชิ้นงานอิฐ แสดงดังตารางที่ 4.18 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมเถ้าแกลบต่อร้อยละน้ำหนักสูญหายหลังเผาของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.33

ตารางที่ 4.18 ผลของเถ้าแกลบต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา (%)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	9.60	10.20	12.10	14.40	16.70
800 องศาเซลเซียส	10.50	11.10	13.50	14.90	17.10
900 องศาเซลเซียส	10.80	12.00	13.90	15.40	17.80
1000 องศาเซลเซียส	11.00	11.40	14.10	15.90	18.50



ภาพที่ 4.33 ผลของเถ้าแกลบต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา

พิจารณารูปแสดงผลของเถ้ากลบต่อน้ำหนักสูญหายของชิ้นงานอิฐ พบว่าการเติมเถ้ากลบส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีน้ำหนักสูญหายหลังจากการเผาเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่เติมเถ้ากลบในปริมาณที่ต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้ากลบมากขึ้น น้ำหนักสูญหายหลังเผาก็จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้ากลบที่เติม ทั้งนี้เนื่องจากในเถ้ากลบมีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบบางส่วน ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้จะเกิดการสลายตัวระหว่างการเผา ส่งผลให้น้ำหนักสูญหายหลังเผาเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเถ้ากลบที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

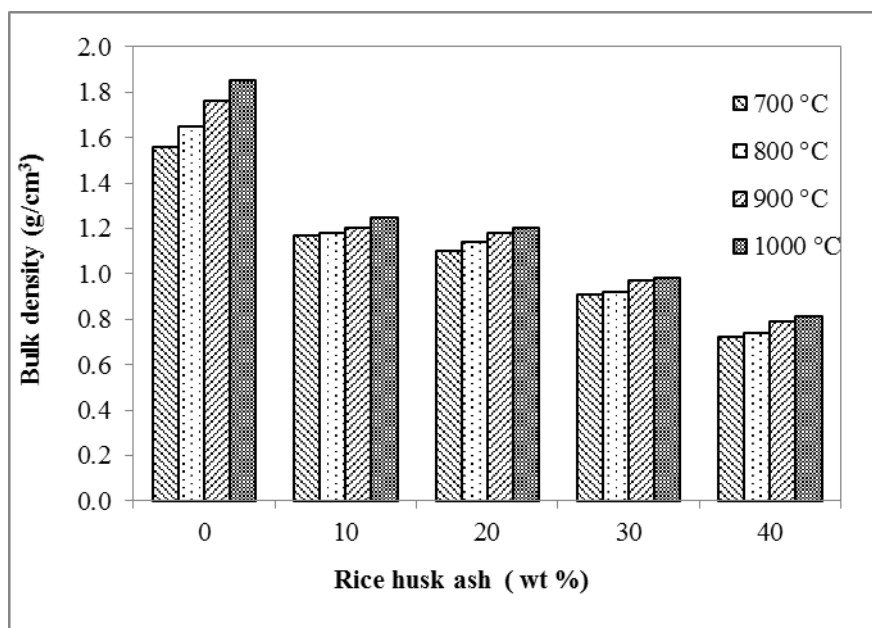
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิเผา พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้น้ำหนักสูญหายเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้การสลายตัวของเถ้ากลบเพิ่มขึ้นนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับผลของการเปลี่ยนแปลงเพื่อได้รับความร้อนของเถ้ากลบตามภาพที่ 4.8 โดยชิ้นงานอิฐมีน้ำหนักสูญหายมากที่สุดร้อยละ 18.50 เมื่อเติมเถ้ากลบร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณเถ้ากลบมากที่สุดและเผาที่อุณหภูมิสูงสุด

#### 4.4.4 ผลของเถ้ากลบต่อความหนาแน่น

ผลของเถ้ากลบต่อความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐ แสดงดังตารางที่ 4.19 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมเถ้ากลบต่อความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.34

ตารางที่ 4.19 ผลของเถ้ากลบต่อความหนาแน่น

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	1.56	1.17	1.1	0.91	0.72
800 องศาเซลเซียส	1.65	1.18	1.14	0.92	0.74
900 องศาเซลเซียส	1.76	1.2	1.18	0.97	0.79
1000 องศาเซลเซียส	1.85	1.25	1.20	0.98	0.81



ภาพที่ 4.34 ผลของเถ้าแกลบต่อความหนาแน่น

พิจารณาจากกราฟแสดงผลของเถ้าแกลบต่อความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐ พบว่าผลของเถ้าแกลบส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลง เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีการเติมเถ้าแกลบในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าแกลบมากขึ้นทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าแกลบมีความเบาและความหนาแน่นต่ำและความพรุนตัวสูงเมื่อเปรียบเทียบกับดิน นอกจากนี้องค์ประกอบของเถ้าแกลบมีผลึกของซิลิกาเป็นจำนวนมาก ทำให้ชิ้นงานที่เติมเถ้าแกลบมีความพรุนตัวสูงขึ้น [ 69, 70] ในขณะที่เดียวกันระหว่างการเผา เกิดการสลายตัวของเถ้าแกลบที่มีบางส่วนเป็นสารอินทรีย์ ยังมีปริมาณมากก็ยิ่งมีการสลายตัวมากขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานมีรูพรุนและเกิดความพรุนตัวมากขึ้น ทำให้ความหนาแน่นลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่เคยใช้แกลบเป็นส่วนผสมทำให้เกิดความพรุนตัวของอิฐดินเผา [35] โดยชิ้นงานที่มีความหนาแน่นมากที่สุดคือชิ้นงานที่เติมเถ้าแกลบ ร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 1.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความหนาแน่นน้อยที่สุดเมื่อเติมเถ้าแกลบร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยมีความหนาแน่น 0.72 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเผาที่แตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดเฟสของแก้วขึ้นในระหว่างการเผา ในขณะเดียวกันเนื่องจากมีธาตุที่เป็นฟลักซ์ที่อยู่ในดินประเภทไม่ทนไฟ ได้แก่ธาตุกลุ่มอัลคาไลน์และอัลคาไลน์เอิร์ท เปลี่ยนเป็นเฟสของเหลว (liquid phase) เชื่อมระหว่างอนุภาคของชิ้นงานทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้น

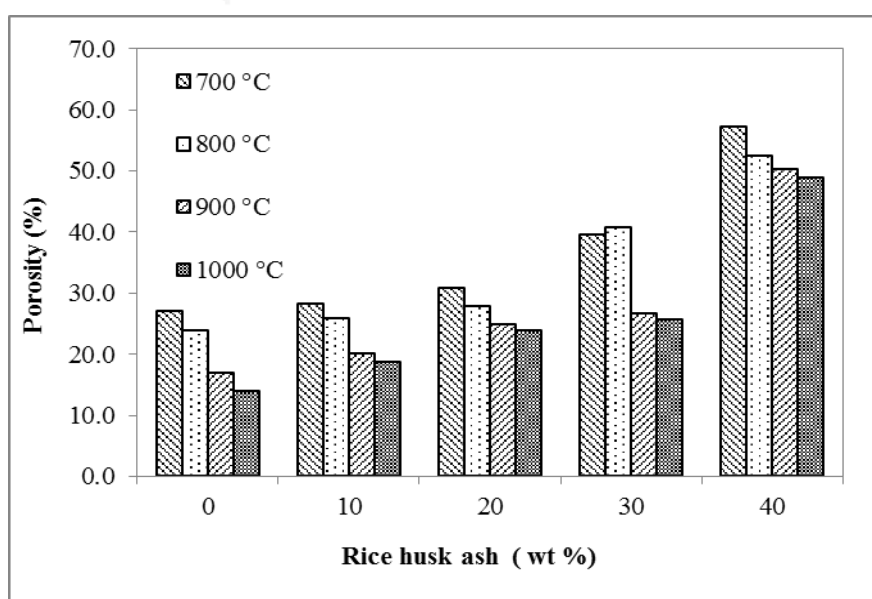
ผลการศึกษาพบว่าชิ้นงานที่เติมเถ้าแกลบร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 900 องศาเซลเซียสจะมีมีความหนาแน่นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐบล็อกมวลเบา ( มอก. 2601 – 2556) เกรด C12 คือมีความหนาแน่นไม่เกิน 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่เดียวกันเมื่อเติมเถ้าแกลบร้อยละ 20 – 40 ชิ้นงานก็มีความหนาแน่นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ด้วยทุกอุณหภูมิเผา

#### 4.4.5 ผลของเถ้าแกลบต่อความพรุนตัว

ผลของเถ้าแกลบต่อความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.20 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมเถ้าแกลบต่อร้อยละความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐแสดงดังภาพที่ 4.35

ตารางที่ 4.20 ผลของเถ้าแกลบต่อความพรุนตัว

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความพรุนตัว (%)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	27.00	34.58	39.92	48.86	54.19
800 องศาเซลเซียส	24.00	32.17	36.62	48.82	53.85
900 องศาเซลเซียส	17.00	30.19	36.10	45.33	52.95
1000 องศาเซลเซียส	14.00	28.25	35.81	44.26	52.65



ภาพที่ 4.35 ผลของเถ้าแกลบต่อความพรุนตัว

พิจารณากราฟแสดงผลของเก้า้แลกเปลี่ยนต่อคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าการเติมเก้า้แลกเปลี่ยนทำให้ความพรุนตัวของชั้นงานอิฐมีค่าสูงขึ้น เมื่อเปรียบระหว่างชั้นงานที่มีการเติมเก้า้แลกเปลี่ยนในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเก้า้แลกเปลี่ยน ทำให้ความพรุนตัวของชั้นงานอิฐมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเก้า้แลกเปลี่ยนมีความหนาแน่นต่ำและพรุนตัวสูงเมื่อเปรียบเทียบกับดิน และในเก้า้แลกเปลี่ยนประกอบไปด้วยผลึกของซิลิกาเป็นจำนวนมาก ประกอบกับเมื่อนำชั้นงานไปเผาจะเกิดการสลายตัวของเก้า้แลกเปลี่ยนบางส่วนซึ่งเป็นสารอินทรีย์ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ส่งผลให้ชั้นงานที่เติมเก้า้แลกเปลี่ยนมีความพรุนตัวเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเก้า้แลกเปลี่ยนที่เติมลงไปนั่นเอง

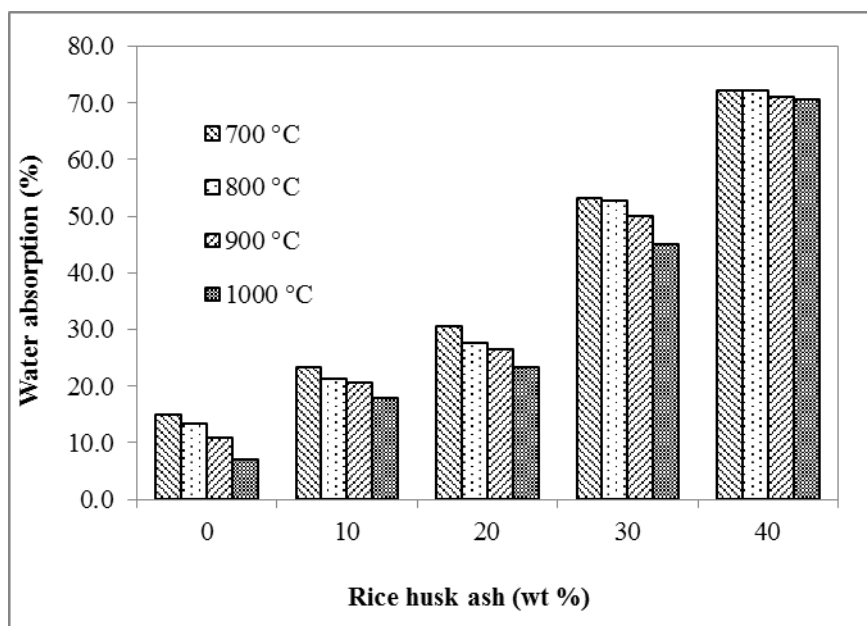
เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างชั้นงานที่มีการเผาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ความพรุนตัวของชั้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ชั้นงานมีเฟสของเหลวระหว่างเผาเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิประมาณ 850 องศาเซลเซียส ในกระบวนการเผาจะเกิดเฟสของแก้วขึ้นทำให้ชั้นงานมีรูพรุนแบบปิด ความพรุนตัวลดลง ส่งผลให้ชั้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้นตามไปด้วย โดยชั้นงานมีค่าความพรุนตัวมากที่สุดร้อยละ 54.19 เมื่อเติมเก้า้แลกเปลี่ยนร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

#### 4.4.6 ผลของเก้า้แลกเปลี่ยนต่อการดูดซึมน้ำ

ผลของเก้า้แลกเปลี่ยนต่อการดูดซึมน้ำของชั้นงานอิฐ แสดงดังตารางที่ 4.21 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมเก้า้แลกเปลี่ยนต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของชั้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.36

ตารางที่ 4.21 ผลของเก้า้แลกเปลี่ยนต่อการดูดกลืนน้ำ

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการดูดซึมน้ำ (%)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	15.00	23.25	30.55	53.17	72.29
800 องศาเซลเซียส	13.40	21.33	27.71	52.65	72.23
900 องศาเซลเซียส	10.80	20.59	26.55	50.04	71.15
1000 องศาเซลเซียส	7.00	17.80	23.29	45.05	70.61



ภาพที่ 4.36 ผลของเถ้าแกลบต่อการดูดซึมน้ำ

พิจารณารูปแสดงผลของเถ้าแกลบต่อค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ พบว่าการเติมเถ้าแกลบส่งผลให้การดูดซึมน้ำของชิ้นงานอิฐมีค่าสูงขึ้น เมื่อเปรียบระหว่างชิ้นงานที่มีการเติมเถ้าแกลบในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าเถ้าแกลบส่งผลต่อการดูดซึมน้ำ โดยเมื่อมีการเติมในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ร้อยละของการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นที่ลดลงตามภาพที่ 4.34 และความพรุนตัวที่เพิ่มขึ้นตามภาพที่ 4.35

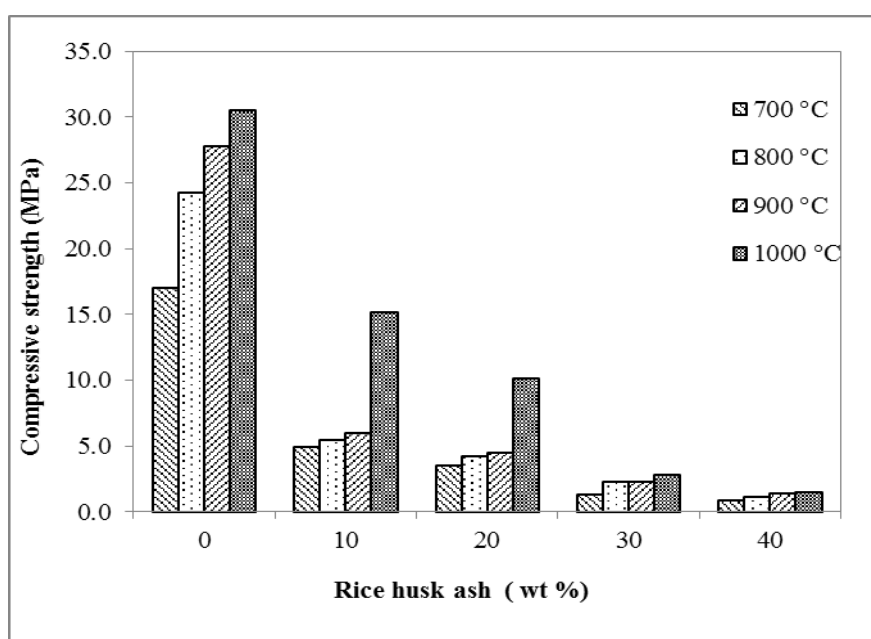
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่มีการเผาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ส่งผลให้การดูดซึมน้ำของชิ้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวลดลง โดยชิ้นงานที่เติมเถ้าแกลบ ร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 900 – 1000 องศาเซลเซียส จะมีค่าการดูดซึมน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐมวลเบา (มอก.2601 – 2556) เกรด C10 คือไม่เกินร้อยละ 23.00

#### 4.4.7 ผลของเถ้าแกลบต่อความต้านทานแรงอัด

ผลของเถ้าแกลบต่อความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐ แสดงดังตารางที่ 4.22 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมเถ้าแกลบต่อความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.37

ตารางที่ 4.22 ผลของเถ้าแกลบต่อความต้านทานแรงอัด

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความต้านทานแรงอัด (MPa)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	17.00	4.94	3.51	1.27	0.83
800 องศาเซลเซียส	24.21	5.48	4.19	2.27	1.11
900 องศาเซลเซียส	27.74	5.97	4.48	2.30	1.41
1000 องศาเซลเซียส	30.51	15.14	10.11	2.76	1.49



ภาพที่ 4.37 ผลของเถ้าแกลบต่อความต้านทานแรงอัด

พิจารณาจากกราฟผลของเถ้าแกลบต่อความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐ พบว่าผลของเถ้าแกลบส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานลดลง เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีการเติมเถ้าแกลบ ในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าแกลบมากขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงของชิ้นงานลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของเถ้าแกลบ และผลของผลึกซิลิกาที่มีอยู่ในเถ้าแกลบ ส่งผลทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลง และความต้านทานแรงอัดลดลงตามไปด้วย โดยชิ้นงานมีความต้านทานแรงอัดมากที่สุด 15.14 เมกะพาสคัล เมื่อเติมเถ้าแกลบร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเผาที่แตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ชิ้นงานมีความต้านทานแรงอัดสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้นซึ่งส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดสูงขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง

จากการวิเคราะห์ผลพบว่าชิ้นงานที่มีการเติมเถ้าแกลบริ้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 1000 องศาเซลเซียส จะมีความต้านทานแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐบล็อกมวลเบา ( มอก. 2601 – 2556) เกรด C10 คือมีความต้านทานแรงอัดไม่ต่ำกว่า 2.50 เมกะพาสคัล ในขณะที่ชิ้นงานอิฐที่เติมเถ้าแกลบริ้อยละ 20 และเผาที่อุณหภูมิ 800 – 1000 องศาเซลเซียส จะมีความต้านทานแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ด้วย

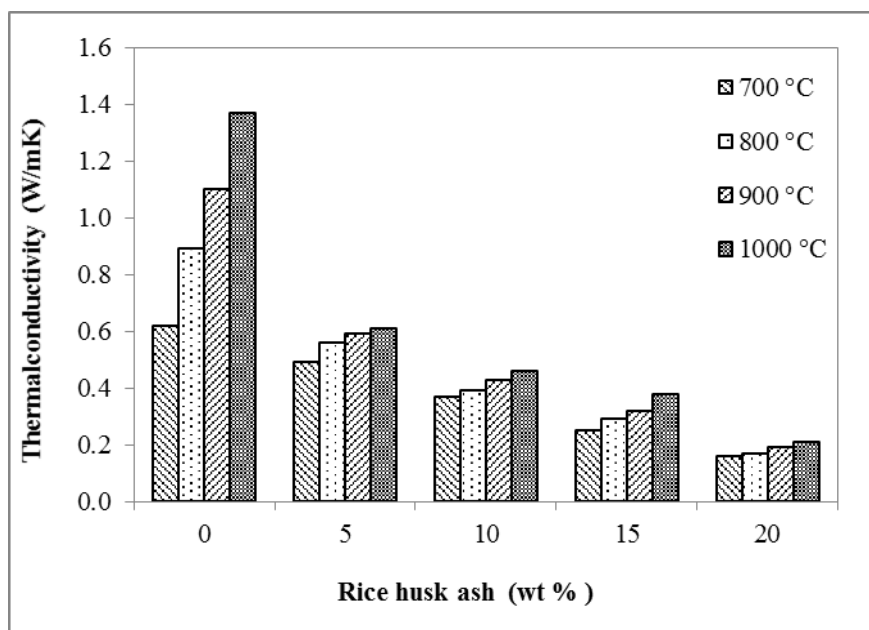
#### 4.4.8 ผลของเถ้าแกลต่อการนำความร้อน

ผลของเถ้าแกลต่อการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.23 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมเถ้าแกลต่อการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐแสดงดังภาพที่ 4.38

ตารางที่ 4.23 ผลของเถ้าแกลต่อการนำความร้อน

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการนำความร้อน (W/mK)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	0.62	0.49	0.37	0.25	0.16
800 องศาเซลเซียส	0.89	0.56	0.39	0.29	0.17
900 องศาเซลเซียส	1.10	0.59	0.43	0.32	0.19
1000 องศาเซลเซียส	1.37	0.61	0.46	0.38	0.21





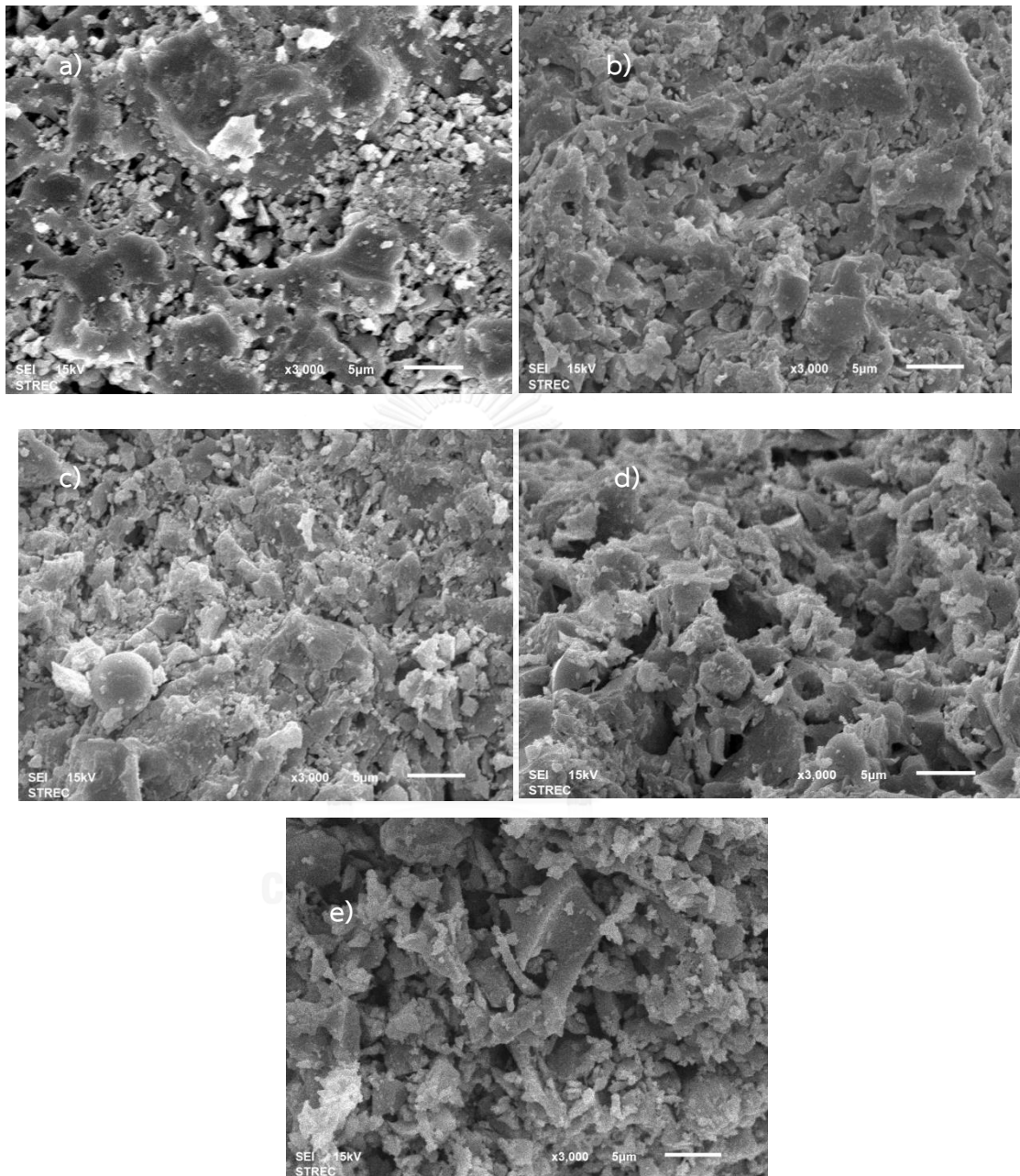
ภาพที่ 4.38 ผลของเถ้าแกลบต่อการนำความร้อน

พิจารณาการนำความร้อนของชิ้นงานพบว่าผลของเถ้าแกลบที่เติมลงไปทำให้ชิ้นงานมีค่าการนำความร้อนลดลง โดยการเพิ่มของปริมาณเถ้าแกลบ ส่งผลให้การนำความร้อนของชิ้นงานลดลงไปตามปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเติมเถ้าแกลบ ทำให้ชิ้นงานอัฐมีความพรุนตัวสูงขึ้น เพราะการสลายตัวของเถ้าแกลบในระหว่างการเผา ซึ่งสอดคล้องกับความพรุนตัวของชิ้นงานตามภาพที่ 4.35 ซึ่งจะส่งผลให้การนำความร้อนลดลงตามปริมาณความพรุนตัวของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง โดยชิ้นงานมีค่าการนำความร้อนน้อยที่สุดเมื่อเติมเถ้าแกลบร้อยละ 40 โดยน้ำหนักและเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.16 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเผา พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ความสามารถในการนำความร้อนของชิ้นงานสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเผา ทำให้ความพรุนตัวของชิ้นงานลดลง เนื่องจากชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้การนำความร้อนสูงขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง

#### 4.4.9 ผลของเถ้าแกลบต่อโครงสร้างจุลภาค

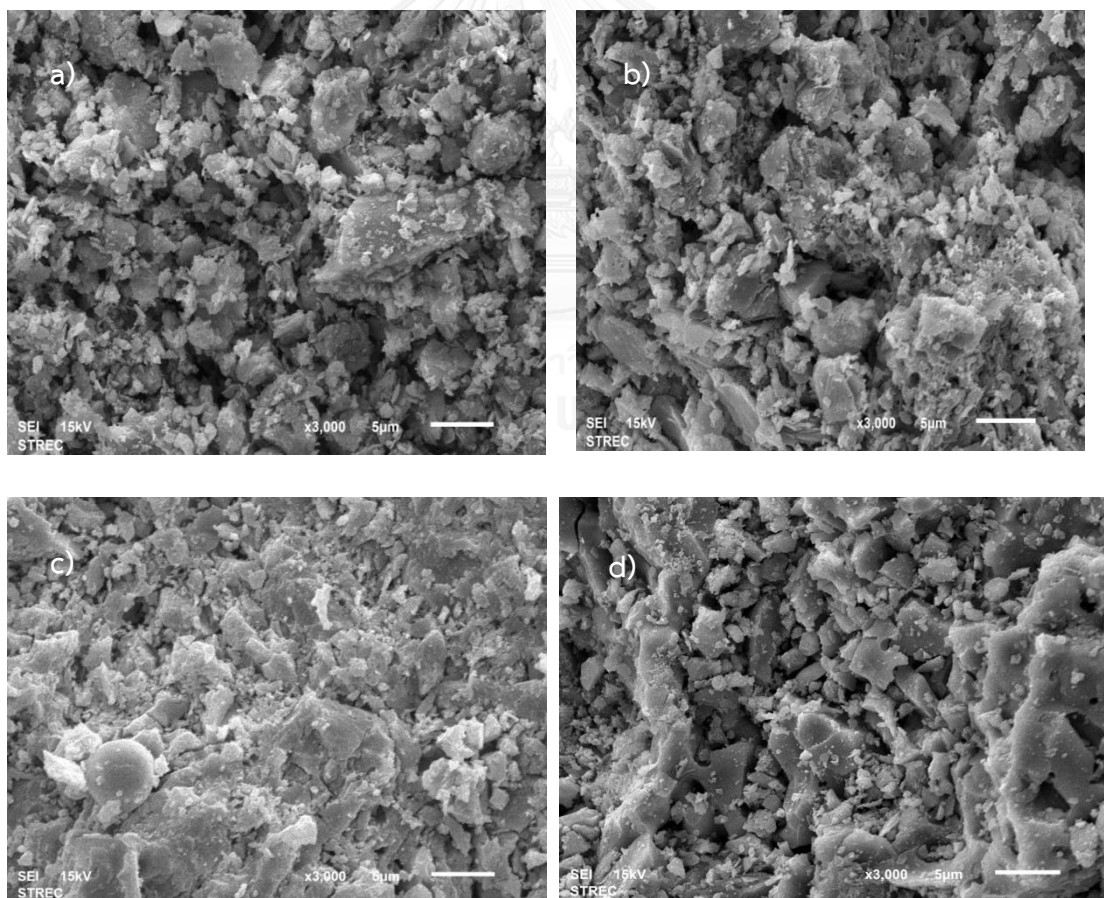
ผลของเถ้าแกลบต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐแสดงดังภาพที่ 4.39



ภาพที่ 4.39 โครงสร้างจุลภาคของอิฐดินเผาที่เติมเถ้าแกลบและเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และเติมเถ้าแกลบ a) 10% b) 20% c) 30% d) 40%

พิจารณาจากโครงสร้างจุลภาคพบว่า เมื่อเติมแก้วกลบไปในชิ้นงานจะส่งผลให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวเกิดขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณแก้วกลบมากขึ้นก็จะมีค่าความพรุนตัวมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากแก้วกลบซึ่งประกอบไปด้วยผลึกของซิลิกาเป็นจำนวนมากมีความพรุนตัวสูง เมื่อเติมลงไปทำให้ชิ้นงานอัฐมีความพรุนตัวตามไปด้วย และในขณะเดียวกัน เกิดการสลายตัวของแก้วกลบ ซึ่งมีส่วนประกอบบางส่วนเป็นสารอินทรีย์ สลายตัวไปในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการเผา ทำให้ชิ้นงานเกิดความพรุนตัว ส่งผลให้ความหนาแน่นและต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอัฐลดลงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นของชิ้นงานตามภาพที่ 4.34 และความต้านทานแรงอัดตามภาพที่ 4.37

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานอัฐที่มีการเผาในอุณหภูมิที่แตกต่างกันแสดงดังภาพที่ 4.40 พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความพรุนตัวของชิ้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากผลของอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดเฟสของเหลว และเฟสของแก้วในระหว่างการเผา ที่จะไปช่วยเชื่อมระหว่างอนุภาคทำให้เกิดการลดรูพรุนของชิ้นงาน ส่งผลทำให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวลดลง และความหนาแน่นเพิ่มขึ้นนั่นเอง

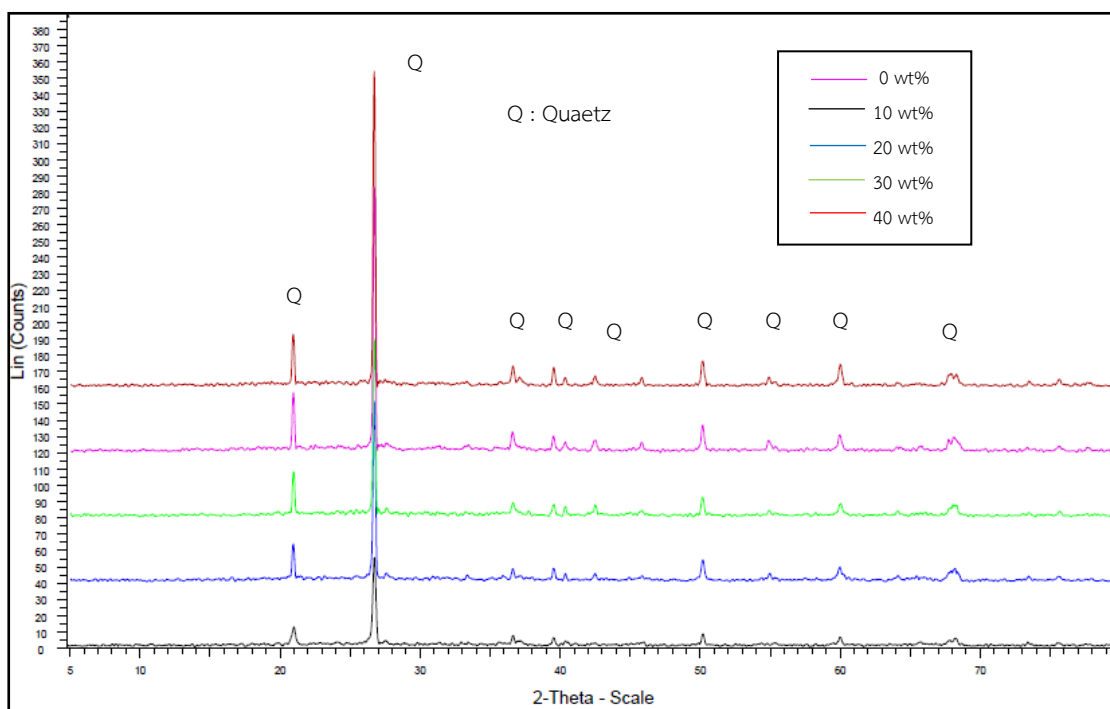


ภาพที่ 4.40 ผลของแก้วกลบร้อยละ 20 ต่อโครงสร้างจุลภาคของอัฐที่เผาที่อุณหภูมิ a) 700 องศาเซลเซียส b) 800 องศาเซลเซียส c) 900 องศาเซลเซียส d) 1000 องศาเซลเซียส

## 4.5 ผลของเถ้าขานอ้อยต่อสมบัติของดินดินเผามวลเบา

### 4.5.1 ผลของเถ้าขานอ้อยต่อโครงสร้างเฟส

ผลของเถ้าขานอ้อยต่อโครงสร้างเฟสของชิ้นงานอิฐแสดงดังภาพที่ 4.41



ภาพที่ 4.41 โครงสร้างเฟสของชิ้นงานอิฐที่เติมเถ้าขานอ้อยในปริมาณที่แตกต่างกัน

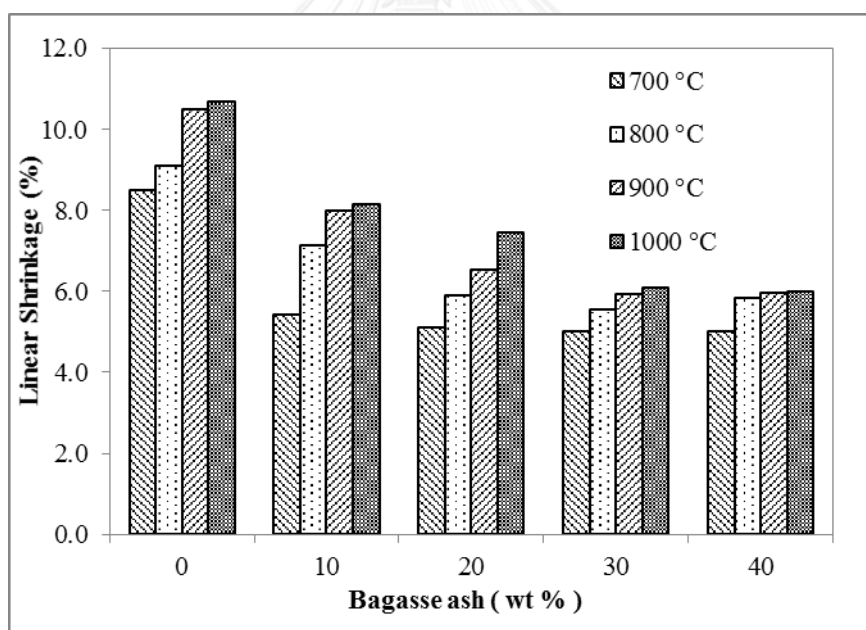
จากรูปแสดงให้เห็นว่าผลของการเติมเถ้าขานอ้อยลงไปในดิน ทำให้เฟสของแร่ควอตซ์มีพีคที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้าขานอ้อยที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเติมเถ้าขานอ้อยซึ่งมีโครงสร้างหลักเป็นควอตซ์อยู่แล้วตามภาพที่ 4.5 จึงเป็นการเพิ่มปริมาณผลึกของแร่ควอตซ์ให้กับดิน ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าขานอ้อย และดิน ตามตารางที่ 4.2

#### 4.5.2 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อการหดตัวของลึงเผา

ผลของเถ้าชานอ้อยต่อการหดตัวของลึงเผาของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.24 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมเถ้าชานอ้อยต่อร้อยละการหดตัวของลึงเผาของชิ้นงานอิฐแสดงดังภาพที่ 4.42

ตารางที่ 4.24 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อการหดตัวของลึงเผา

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการหดตัวของลึงเผา (%)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	8.50	5.43	5.11	5.02	5.00
800 องศาเซลเซียส	9.10	7.12	5.89	5.55	5.82
900 องศาเซลเซียส	10.50	7.98	6.52	5.94	5.95
1000 องศาเซลเซียส	10.68	8.15	7.45	6.10	5.99



ภาพที่ 4.42 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อการหดตัวของลึงเผา

พิจารณารูปแสดงผลของเถ้าชานอ้อยต่อการหดตัวของลึงเผาของชิ้นงานอิฐดินเผา พบว่าการเติมเถ้าชานอ้อยส่งผลให้การหดตัวของลึงเผาของชิ้นงานอิฐลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณของเถ้าชานอ้อยค่าการหดตัวของลึงเผาก็จะลดลงตามปริมาณของเถ้าชานอ้อยที่เติมลงไป ทั้งนี้เนื่องจากการเติมเถ้าชานอ้อยซึ่งมีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบหลัก มีสมบัติเหมือนกับทราย คือไปลดความเหนียวหรือสภาพ

พลาสติกของดิน ในขณะที่เดียวกันการเติมเถ้าขานอ้อยไปลดการเกิดเฟสของเหลวระหว่างเผา ทำให้ค่าการหดตัวของชิ้นงานอิฐหลังเผาลดลงตามไปด้วย

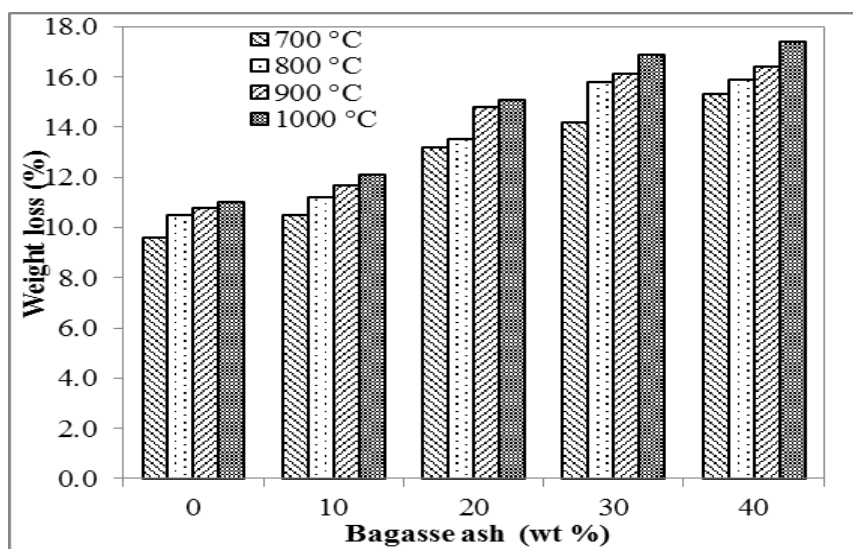
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิเผาที่แตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้การหดของชิ้นงานอิฐลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ชิ้นงานมีเฟสของเหลวระหว่างเผาเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การหดตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยชิ้นงานอิฐมีการหดตัวมากที่สุดร้อยละ 8.15 เมื่อเติมเถ้าขานอ้อยร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

#### 4.5.3 ผลของเถ้าขานอ้อยต่อน้ำหนักสูญหาย

ผลของเถ้าขานอ้อยต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผาของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.25 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมเถ้าขานอ้อยต่อร้อยละน้ำหนักสูญหายชิ้นงานหลังเผาของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.43

ตารางที่ 4.25 ผลของเถ้าขานอ้อยต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา (%)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	9.60	10.50	13.20	14.20	15.30
800 องศาเซลเซียส	10.50	11.20	13.50	15.80	15.90
900 องศาเซลเซียส	10.80	11.70	14.80	16.10	16.40
1000 องศาเซลเซียส	11.00	12.10	15.10	16.90	17.40



ภาพที่ 4.43 ผลของเถ้าขานอ้อยต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา

พิจารณาจากกราฟแสดงผลของเถาซานอ้อยต่อน้ำหนักสุญหาย พบว่าการเติมเถาซานอ้อย ส่งผลให้น้ำหนักสุญหายของชิ้นงานอิฐมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณของเถาซานอ้อยค่าน้ำหนักสุญหายจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเถาซานอ้อยที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเถาซานอ้อยซึ่งมีส่วนประกอบบางส่วนเป็นสารอินทรีย์ เกิดการสลายตัวในระหว่างการเผา ทำให้ค่าน้ำหนักสุญหายเพิ่มขึ้นนั่นเอง

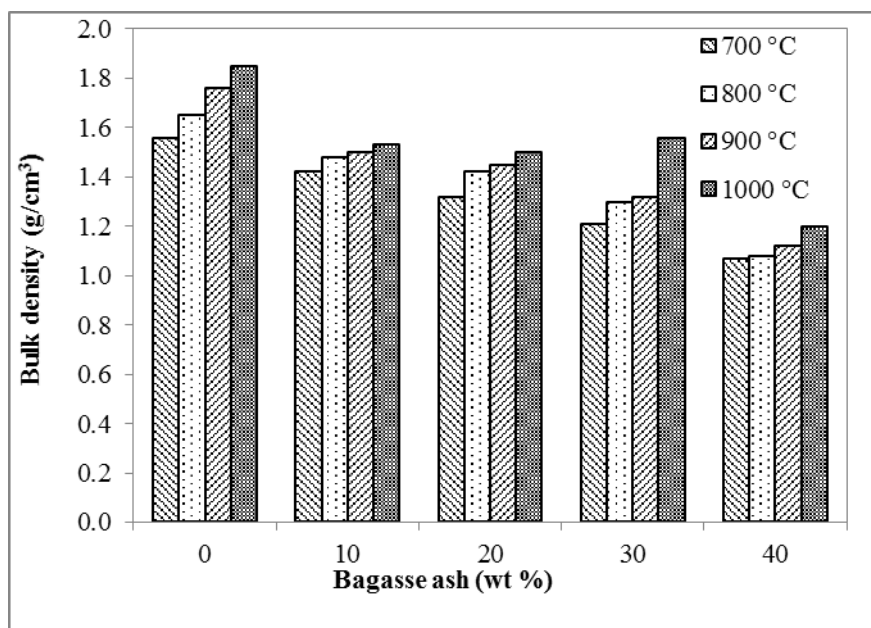
และเพื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิในการเผาพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีค่าน้ำหนักสุญหายเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้การสลายตัวของเถาซานอ้อยเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้น้ำหนักสุญหายเพิ่มขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับผลของการเปลี่ยนแปลงของเถาซานอ้อยเมื่อได้รับความร้อนตามภาพที่ 4.9

#### 4.5.4 ผลของเถาซานอ้อยต่อความหนาแน่น

ผลของเถาซานอ้อยต่อความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.26 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมเถาซานอ้อยต่อความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐแสดงดังภาพที่ 4.44

ตารางที่ 4.26 ผลของเถาซานอ้อยต่อความหนาแน่น

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความหนาแน่น (%)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	1.56	1.42	1.32	1.21	1.07
800 องศาเซลเซียส	1.65	1.48	1.42	1.30	1.08
900 องศาเซลเซียส	1.76	1.50	1.45	1.32	1.12
1000 องศาเซลเซียส	1.85	1.53	1.50	1.56	1.20



ภาพที่ 4.44 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อความหนาแน่น

พิจารณารูปแสดงผลของเถ้าชานอ้อยต่อความหนาแน่น พบว่าเถ้าชานอ้อยส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลง เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีการเติมเถ้าชานอ้อยในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าชานอ้อยทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องเถ้าชานอ้อยมีผลึกของซิลิกาเป็นส่วนประกอบซึ่งมีความพรุนตัวสูงเมื่อเปรียบเทียบกับดิน [50, 51, 52] และการสลายตัวของเถ้าชานอ้อยซึ่งมีบางส่วนเป็นสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเผา ยิ่งมีปริมาณมากก็ยิ่งมีการสลายตัวมากขึ้นตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ชิ้นงานมีรูพรุนมากขึ้นทำให้ความหนาแน่นลดลง โดยชิ้นงานที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดที่ 1.07 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อเติมเถ้าชานอ้อยร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส และเมื่อเติมเถ้าชานอ้อยร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 900 องศาเซลเซียส จะมีความหนาแน่นผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐบล็อกมวลเบา (มอก.2601-2556) ในเกรด C12 คือความหนาแน่นไม่เกิน 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเผาที่แตกต่างกัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดเฟสของเหลวเพิ่มขึ้น และในขณะเดียวกันก็เกิดเฟสของแก้วขึ้นในระหว่างการเผา เนื่องจากซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ที่อยู่ในดินจะเปลี่ยนเป็นเฟสของแก้วที่อุณหภูมิมากกว่า 850 องศาเซลเซียส เชื่อมระหว่างอนุภาคของชิ้นงานทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้น โดยชิ้นงานที่มีความหนาแน่นมากที่สุด 1.53 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อเติมเถ้าชานอ้อยร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

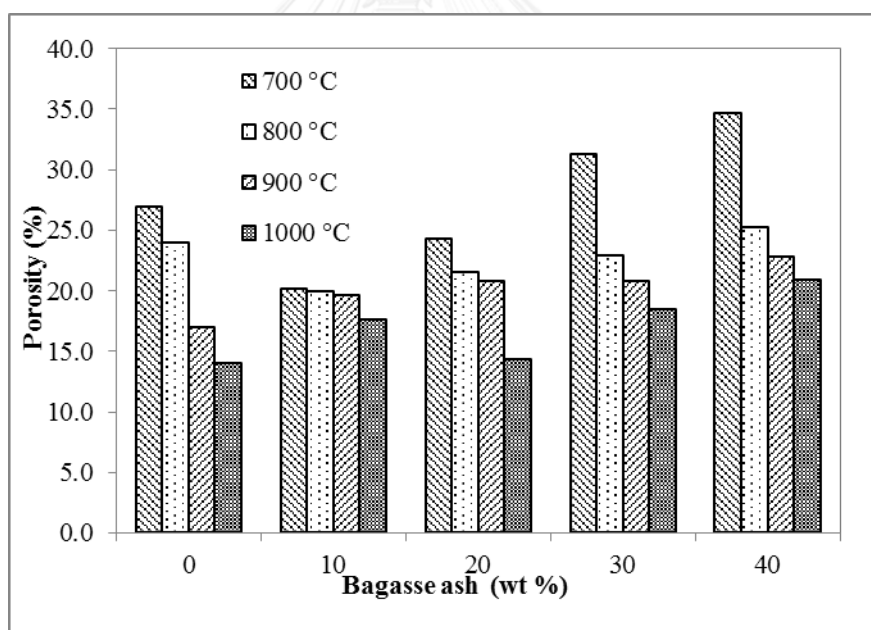


#### 4.5.5 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อความพรุนตัว

ผลของเถ้าชานอ้อยต่อความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 2.27 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมเถ้าชานอ้อยต่อร้อยละความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.45

ตารางที่ 4.27 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อความพรุนตัว

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความพรุนตัว (%)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	27.00	20.2	24.30	31.25	34.67
800 องศาเซลเซียส	24.00	20.00	21.50	22.89	25.25
900 องศาเซลเซียส	17.00	19.61	20.78	20.81	22.78
1000 องศาเซลเซียส	14.00	17.62	14.37	18.45	20.91



ภาพที่ 4.45 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อความพรุนตัว

พิจารณากราฟแสดงผลของเถ้าชานอ้อยต่อร้อยละความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐ พบว่าการเติมเถ้าชานอ้อยทำให้ความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐมีค่าสูงขึ้น เมื่อเปรียบระหว่างชิ้นงานที่มีการเติมเถ้าชานอ้อยในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้ความพรุนตัวมีค่าสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าชานอ้อยมีความหนาแน่นต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ

ดิน และถ้าชานอ้อยมีผลึกของซิลิกาจำนวนมาก เมื่อผสมในดินทำให้ชั้นงานอิฐก่อนเผามีความหนาแน่นต่ำ และเมื่อนำชั้นงานไปเผาเกิดการสลายตัวของถ้าชานอ้อยบางส่วนซึ่งเป็นสารอินทรีย์โดยสลายตัวในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ส่งผลให้ชั้นงานอิฐที่เติมถ้าชานอ้อยมีความพรุนตัวเกิดขึ้นนั่นเอง

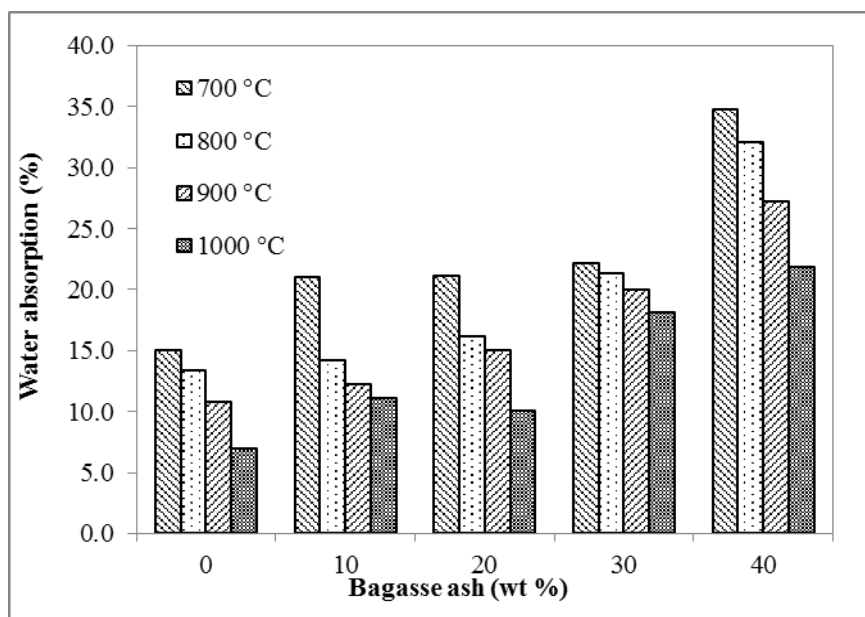
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชั้นงานที่มีการเผาในอุณหภูมิที่แตกต่างกันพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ความพรุนตัวของชั้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้เกิดเฟสของเหลวเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิประมาณ 850 องศาเซลเซียส ในกระบวนการเผาจะเกิดเฟสของแก้วขึ้นทำให้ชั้นงานมีรูพรุนแบบปิด ความพรุนตัวลดลงซึ่งส่งผลให้ชั้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้นตามไปด้วย โดยชั้นงานมีค่าความพรุนตัวมากที่สุดร้อยละ 34.67 เมื่อเติมถ้าชานอ้อยร้อยละ 40 และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

#### 4.5.6 ผลของถ้าชานอ้อยต่อการดูดซึมน้ำ

ผลของถ้าชานอ้อยต่อการดูดกลืนน้ำของชั้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 2.28 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมถ้าชานอ้อยต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของชั้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.46

ตารางที่ 4.28 ผลของถ้าชานอ้อยต่อการดูดกลืนน้ำ

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการดูดซึมน้ำ (%)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	15.00	21.04	21.12	22.16	34.80
800 องศาเซลเซียส	13.40	14.20	16.20	21.35	32.10
900 องศาเซลเซียส	10.80	12.21	15.00	20.00	27.20
1000 องศาเซลเซียส	7.00	11.10	10.12	18.12	21.90



ภาพที่ 4.46 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อการดูดซึมน้ำ

พิจารณารูปแสดงผลของเถ้าชานอ้อยต่อค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ พบว่าการเติมเถ้าชานอ้อยส่งผลให้การดูดซึมน้ำของชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น เมื่อเปรียบระหว่างชิ้นงานที่มีการเติมเถ้าชานอ้อยในปริมาณที่ต่างกัน พบว่าเมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้การดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับความพรุนตัวที่เพิ่มขึ้นตามภาพที่ 4.45

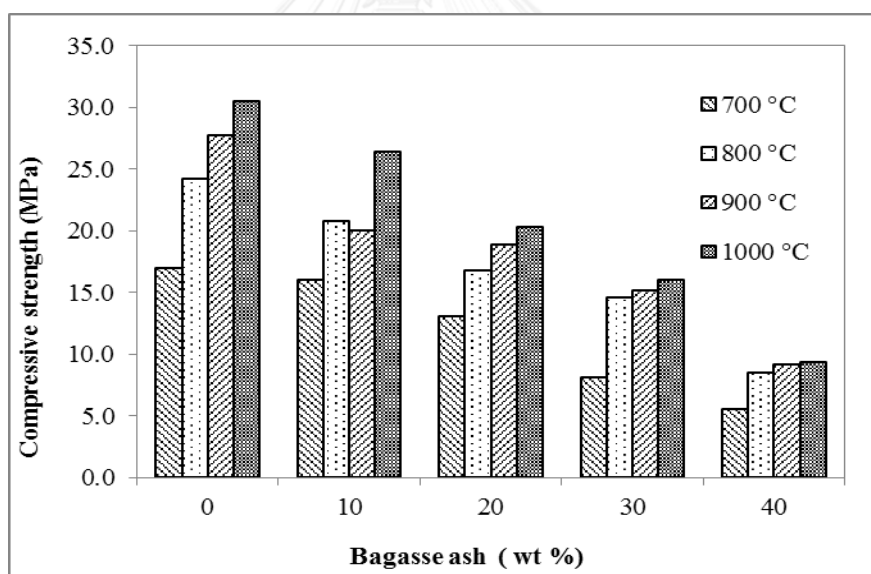
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่มีการเผาในอุณหภูมิที่ต่างกัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้การดูดซึมน้ำของชิ้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐลดลง โดยชิ้นงานที่เติมเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10-30 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 1000 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐมวลเบา (มอก.2601 – 2556) เกรด C10 ในขณะที่เดียวกันชิ้นงานอิฐที่เติมเถ้าชานอ้อยร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ก็ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ด้วย โดยมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 11.00 เมื่อเติมเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

#### 4.5.7 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อความต้านทานแรงอัด

ผลของเถ้าชานอ้อยต่อความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.29 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมเถ้าชานอ้อยต่อการต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐแสดงดังภาพที่ 4.47

ตารางที่ 4.29 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อความต้านทานแรงอัด

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความต้านทานแรงอัด (MPa)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	17.00	16.09	13.13	8.10	5.60
800 องศาเซลเซียส	24.21	20.77	16.81	14.64	8.50
900 องศาเซลเซียส	27.74	20.01	18.89	15.15	9.18
1000 องศาเซลเซียส	30.51	26.46	20.30	16.01	9.42



ภาพที่ 4.47 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อความต้านทานแรงอัด

พิจารณากราฟผลของเถ้าชานอ้อยต่อความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐ พบว่าผลของเถ้าชานอ้อยส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานลดลง เมื่อเปรียบเทียบชิ้นงานที่มีการเติมเถ้าชานอ้อยในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าชานอ้อยมากขึ้น ให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของชิ้นงานลดลงไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากผลของผลึกซิลิกาที่อยู่ในเถ้าชานอ้อย และการสลายตัวของเถ้าชานอ้อยที่เกิดขึ้นระหว่างการเผา ยังมีปริมาณมากก็ยังมีกร

สลายตัวมากขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานมีรูพรุนและเกิดความพรุนตัวมากขึ้นทำให้ความหนาแน่นลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลงตามไปด้วย โดยชิ้นงานมีความต้านทานแรงอัดมากที่สุด 26.46 เมกะพาสคาล เมื่อเติมเถ้าเถ้าขานอ้อยร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเผาที่แตกต่างกันพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ชิ้นงานมีความต้านทานแรงอัดสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้นซึ่งส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดสูงขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง

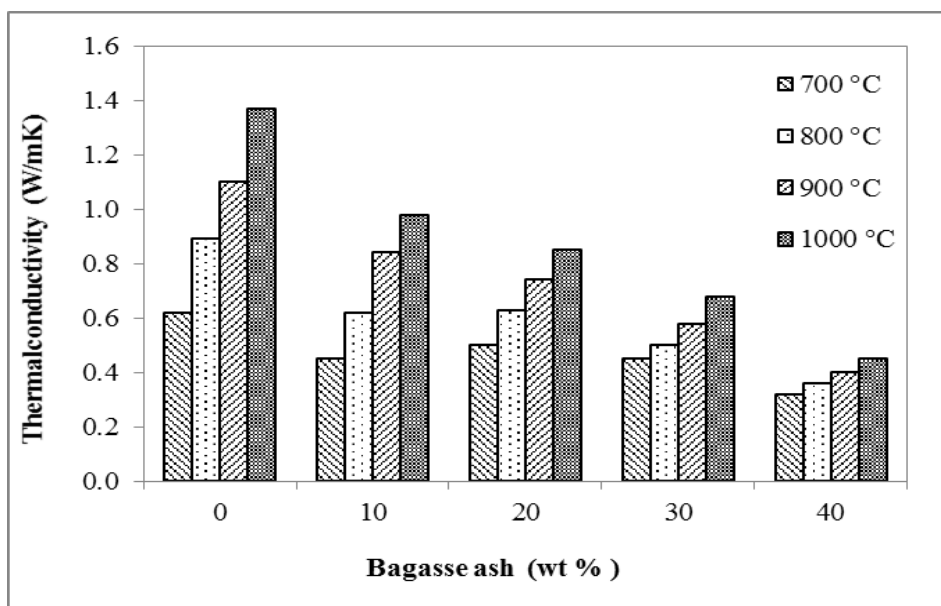
จากการศึกษาพบว่าชิ้นงานที่มีการเติมเถ้าขานอ้อยทั้งหมดคือร้อยละ 10 – 40 โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านทานแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐบล็อกมวลเบา (มอก. 2601 – 2556) เกรด C10 คือมีความต้านทานแรงอัดสูงกว่า 2.50 เมกะพาสคัล และชิ้นงานทั้งหมดที่เผาที่อุณหภูมิ 800 – 1000 องศาเซลเซียส ยังมีความต้านทานแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐดินเผา (มอก 77-2545) อีกด้วย โดยมีความต้านทานแรงอัดมากกว่า 9.00 เมกะพาสคัล

#### 4.5.8 ผลของเถ้าขานอ้อยต่อการนำความร้อน

ผลของเถ้าขานอ้อยต่อการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.30 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมเถ้าขานอ้อยต่อการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.48

ตารางที่ 4.30 ผลของเถ้าขานอ้อยต่อการนำความร้อน

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการนำความร้อน (W/mK)	0	10	20	30	40
700 องศาเซลเซียส	0.62	0.45	0.5	0.45	0.32
800 องศาเซลเซียส	0.89	0.62	0.63	0.50	0.36
900 องศาเซลเซียส	1.10	0.84	0.74	0.58	0.40
1000 องศาเซลเซียส	1.37	0.98	0.85	0.68	0.45



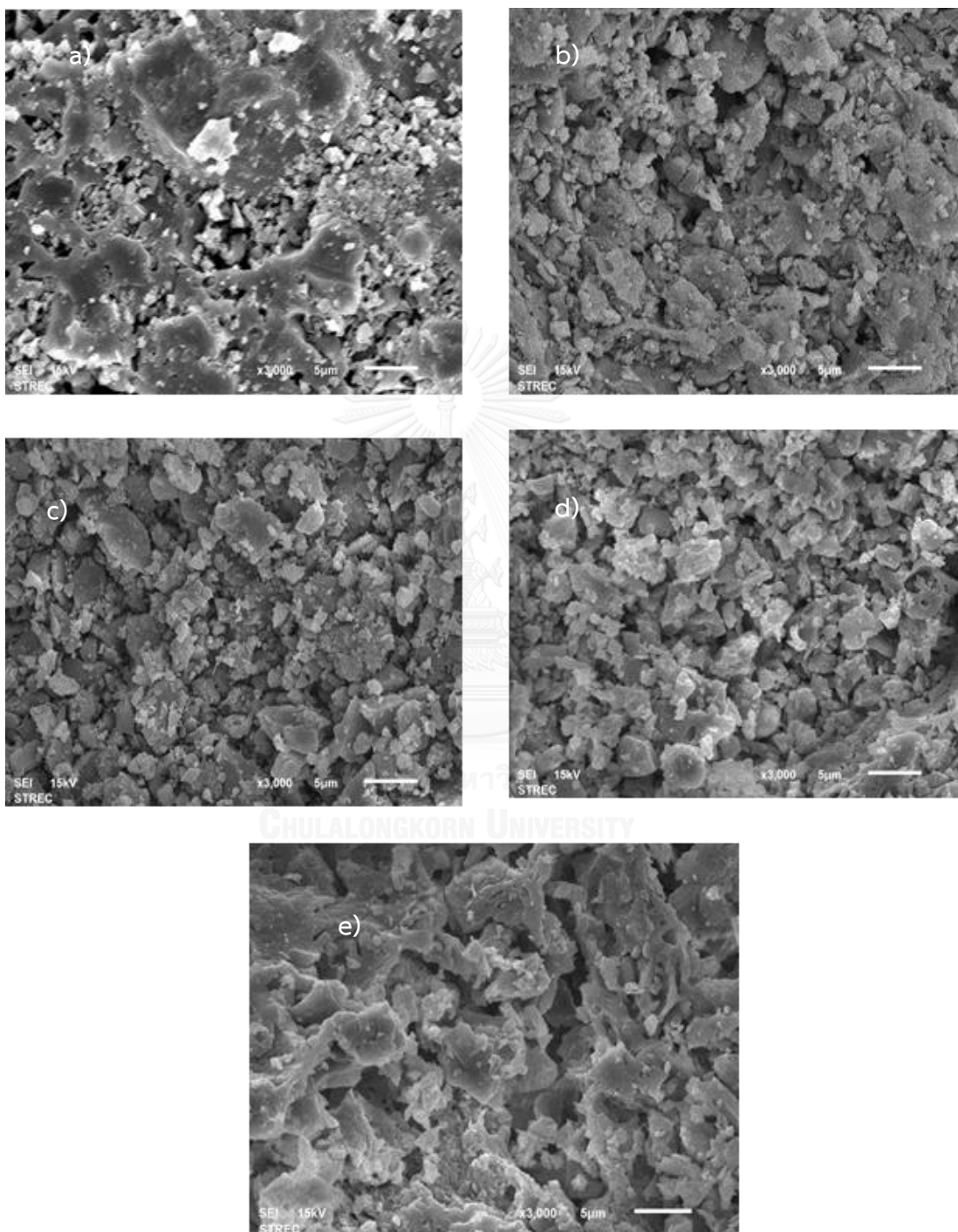
ภาพที่ 4.48 ผลของเถ้าชานอ้อยต่อการนำความร้อน

พิจารณากราฟการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ พบว่าผลของเถ้าชานอ้อยที่เติมลงไปทำให้ชิ้นงานมีการนำความร้อนลดลง โดยการเพิ่มของปริมาณเถ้าชานอ้อย ส่งผลให้การนำความร้อนของชิ้นงานลดลงตามปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเติมเถ้าชานอ้อยลงในชิ้นงาน ส่งผลให้มีความพรุนตัวสูงขึ้นตามภาพที่ 4.45 เพราะการสลายตัวของเถ้าชานอ้อยในระหว่างการเผา ซึ่งจะส่งผลให้ค่าการนำความร้อนลดลงตามปริมาณความพรุนตัวของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง โดยชิ้นงานมีค่าการนำความร้อนน้อยที่สุดเมื่อเติมเถ้าชานอ้อยร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.42 วัตต์ต่อเมตร เคลวิน

เพื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเผาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ความสามารถในการนำความร้อนของชิ้นงานสูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ความพรุนตัวของชิ้นงานลดลง ซึ่งมีผลทำให้การนำความร้อนสูงขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง

#### 4.5.9 ผลของเถ้าขาน้อยต่อโครงสร้างจุลภาค

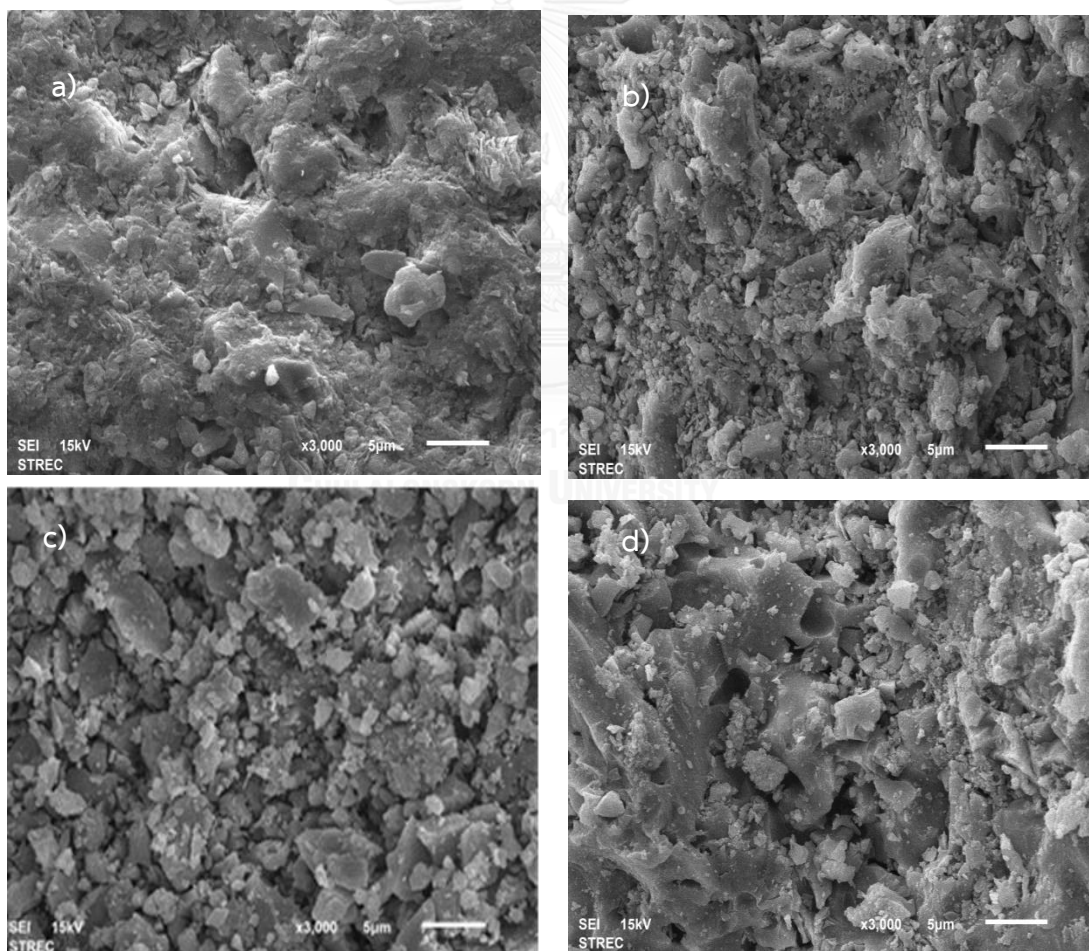
ผลของขาน้อยต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐแสดงดังภาพที่ 4.49



ภาพที่ 4.49 ผลของเถ้าขาน้อยต่อโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และเติมแกลบ a) 10% b) 20% c) 30% และ d) 40%

พิจารณาจากโครงสร้างจุลภาคพบว่า เมื่อเติมเถ้าชานอ้อยไปในชิ้นงาน จะส่งผลให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวเกิดขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้นก็จะมีค่าความพรุนตัวมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าชานอ้อยมีผลึกของซิลิกาเป็นจำนวนมากซึ่งมีความพรุนตัว เมื่อเติมลงไปทำให้ชิ้นงานอธรรมีความพรุนตัว และในขณะเดียวกันเกิดการสลายตัวของเถ้าชานอ้อย ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ ในระหว่างการเผาทำให้ความพรุนตัวเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับความพรุนตัวของชิ้นงานตามภาพที่ 4.45 จึงส่งผลให้ความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานลดลงตามไปด้วย

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่เผาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4.50 พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความพรุนตัวของชิ้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากผลของอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดเฟสของแก้วในระหว่างการเผาที่จะไปช่วยอุดรูพรุนของชิ้นงาน ส่งผลทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นนั่นเอง



ภาพที่ 4.50 ผลของเถ้าชานอ้อยร้อยละ 20 ต่อโครงสร้างจุลภาคของอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ a) 700 องศาเซลเซียส b) 800 องศาเซลเซียส c) 900 องศาเซลเซียส d) 1000 องศาเซลเซียส



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

#### 5.1 การวิเคราะห์วัตถุติด

ผลการวิเคราะห์วัตถุติดสำหรับวิจัย ได้แก่ ดิน แกลบ เถ้าแกลบ ชานอ้อย เถ้าชานอ้อย พบว่า องค์ประกอบของวัตถุติดหลักคือดิน ประกอบได้ด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ซึ่งส่งผลให้ ชิ้นงานอิฐมีความแข็งแรงเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง รองลงมาคืออะลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ซึ่งทำให้อิฐมีความทนไฟสูง และออกไซด์ของเหล็ก ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ที่ส่งผลให้ชิ้นงานหลังเผามีสีแดง ในส่วนของเถ้าแกลบ และเถ้าชานอ้อยจะมีส่วนประกอบหลักเหมือนกับดิน คือมีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างเฟส

เมื่อพิจารณาผลของความร้อนต่อวัตถุติดพบว่า ที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส ดินจะมีค่าน้ำหนักสูญหายประมาณร้อยละ 10 แกลบประมาณร้อยละ 87 เถ้าแกลบประมาณร้อยละ 7 ชานอ้อยประมาณร้อยละ 97 และเถ้าชานอ้อยประมาณร้อยละ 12

#### 5.2 ผลของแกลบต่อสมบัติอิฐดินเฝ้ามวลเบา

ผลการศึกษาพบว่า การเติมแกลบส่งผลให้ การหดตัว ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด และการนำความร้อนลดลง ตามปริมาณของแกลบที่เติมลงไป ในขณะที่การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ความพรุนตัว และการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของแกลบในระหว่างการเผา ทำให้ ชิ้นงานมีความพรุนตัวมากขึ้นตามปริมาณของแกลบ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ การหดตัว การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด การนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ เพิ่มขึ้น ในขณะที่ ความพรุนตัว การดูดซึมน้ำ ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เกิดเฟสของเหลวที่ช่วยปิดรูพรุน ในระหว่างการเผา ทำให้มีการหดตัวของชิ้นงานอิฐหลังเผา

จากผลการศึกษาพบว่า ชิ้นงานที่เติมแกลบร้อยละ 20 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 900 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบา (มอก. 2601 – 2556) เกรด C12 คือมีความหนาแน่นไม่เกิน 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และชิ้นงานที่เติมแกลบร้อยละ 30-40 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 1000 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบาทั้งหมด ในส่วนของค่าการดูดซึมน้ำ ชิ้นงานอิฐที่เติมแกลบร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 800 – 1000 องศาเซลเซียส มีค่าที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบา (มอก.2601 – 2556) เกรด C10 ส่วนชิ้นงานที่เติมแกลบร้อยละ 20 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ชิ้นงานจะผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ด้วย ส่วน

ค่าความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานที่เติมแคลบร็อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 1000 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบา (มอก.2601 – 2556) เกรด C10 ในขณะที่ชิ้นงานที่เติมแคลบร็อยละ 20 และเผาที่อุณหภูมิ 800 – 1000 องศาเซลเซียส มีความต้านทานแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบาไปด้วย

โดยชิ้นงานอิฐมีสมบัติที่ดีที่สุดเมื่อเติมแคลบร็อยละ 20 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส จะได้ชิ้นงานอิฐที่มีความหนาแน่น 1.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความต้านทานแรงอัด 7.26 เมกะพาสคัล การดูดซึมน้ำร้อยละ 21.00 และการนำความร้อน 0.51 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

### 5.3 ผลของชานอ้อยต่อสมบัติของอิฐดินเผามวลเบา

ผลการศึกษาพบว่าผลของชานอ้อยส่งผลให้ ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด และการนำความร้อนลดลง ตามปริมาณของชานอ้อยที่เติมลงไป ในขณะที่ การหดตัว การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ความพรุนตัว และการดูดซึมน้ำ เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของชานอ้อยในระหว่างการเผา ทำให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวมากขึ้นตามปริมาณของชานอ้อย และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ การหดตัว การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด การนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ เพิ่มขึ้น ในขณะที่ ความพรุนตัว การดูดซึมน้ำ ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เกิดเฟสของเหลวที่ช่วยปิดรูพรุน ในระหว่างการเผา ซึ่งลักษณะผลจะเหมือนกับการเติมแคลบ

จากผลการศึกษาพบว่า การเติมชานอ้อยร้อยละ 10-20 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 1000 องศาเซลเซียส ชิ้นงานอิฐมีความหนาแน่นผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบา (มอก. 2601 – 2556) เกรด C12 และชิ้นงานที่เติมชานอ้อยร้อยละ 5 และเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบาไปด้วย ในส่วนของค่าการดูดซึมน้ำ ชิ้นงานที่เติมชานอ้อยร้อยละ 5 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 1000 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐมวลเบา (มอก.2601-2556) ประเภท C10 ชิ้นงานที่เติมชานอ้อยร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 900 – 1000 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซึมน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ด้วย ในขณะที่ชิ้นงานที่เติมชานอ้อยร้อยละ 5 ที่ทุกอุณหภูมิเผาจะมีความต้านทานแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบา (มอก.2601-2556) ในเกรด C10 และเมื่อเติมชานอ้อยร้อยละ 10 – 20 และเผาที่อุณหภูมิ 900 – 1000 องศาเซลเซียส ชิ้นงานจะมีความต้านทานแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ด้วย นอกจากนั้นชิ้นงานที่เติมชานอ้อยร้อยละ 5 และเผาที่อุณหภูมิ 900 – 1000 องศาเซลเซียส ยังมีความต้านทานแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐดินเผา (มอก.77-2545) คือมีความต้านทานแรงอัดมากกว่า 9 เมกะพาสคัล อีกด้วย

โดยขึ้นงานอิฐมีสมบัติที่ดีที่สุด เมื่อเติมซานอ้อยร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส จะได้ขึ้นงานอิฐที่มีความหนาแน่น 1.11 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความต้านทานแรงอัด 8.14 เมกะพาสคัล การดูดซึมน้ำร้อยละ 20.67 และการนำความร้อน 0.43 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

#### 5.4 ผลของเถ้าแกลบต่อสมบัติของอิฐดินเผามวลเบา

ผลการศึกษาพบว่าผลของเถ้าแกลบส่งผลให้ การหดตัว ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด และการนำความร้อนลดลง ตามปริมาณของเถ้าแกลบที่เติมลงไป ในขณะที่ การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ความพรุนตัว และการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของเถ้าแกลบในระหว่างการเผา และการที่เถ้าแกลบมีความเบาว่าดินเมื่อเติมลงไปทำให้ขึ้นงานมีความพรุนตัวมากขึ้นตามปริมาณของเถ้าแกลบ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ การหดตัว การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด การนำความร้อนของขึ้นงานอิฐเพิ่มขึ้น ในขณะที่ ความพรุนตัว การดูดซึมน้ำ ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เกิดเฟสของเหลวที่ช่วยปิดรูพรุน ในระหว่างการเผา

จากผลการศึกษาพบว่า ขึ้นงานที่เติมเถ้าแกลบร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 900 องศาเซลเซียส จะมีความหนาแน่นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐมวลเบา ( มอก. 2601 – 2556) เกรด C12 คือมีความหนาแน่นไม่เกิน 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่เดียวกันเมื่อเติมเถ้าแกลบร้อยละ 20 – 40 ขึ้นงานก็มีความหนาแน่นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ด้วยทุกอุณหภูมิเผา ในส่วนของค่าการดูดซึมน้ำ ขึ้นงานที่เติมเถ้าแกลบร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 900 – 1000 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐมวลเบา (มอก.2601 – 2556) เกรด C10 ส่วนค่าความต้านทานแรงอัดของขึ้นงานที่มีการเติมเถ้าแกลบร้อยละ 10 ที่ทุกอุณหภูมิเผาจะมีความต้านทานแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐมวลเบา ( มอก. 2601 – 2556) เกรด C10 ในขณะที่ขึ้นงานอิฐที่เติมเถ้าแกลบร้อยละ 20 และเผาที่อุณหภูมิ 800 – 1000 องศาเซลเซียส จะมีความต้านทานแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ด้วย

โดยขึ้นงานอิฐมีสมบัติที่ดีที่สุด เมื่อเติมเถ้าแกลบร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส จะได้ขึ้นงานอิฐที่มีความหนาแน่น 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความต้านทานแรงอัด 5.97 เมกะพาสคัล การดูดซึมน้ำร้อยละ 20.59 และการนำความร้อน 0.43 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

### 5.5 ผลของเถาขานอ้อยต่อสมบัติของอิฐดินเผามวลเบา

ผลการศึกษาพบว่าผลของเถาขานอ้อยส่งผลให้ การหดตัว ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด และการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐลดลง ตามปริมาณของเถาขานอ้อยที่เติมลงไป ในขณะที่ การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ความพรุนตัว และการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของเถาขานอ้อยในระหว่างการเผา และการที่เถาขานอ้อยมีความเบากว่าดินเมื่อเติมลงไปทำให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวมากขึ้นตามปริมาณของเถาขานอ้อย และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ การหดตัว การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด การนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ เพิ่มขึ้น ในขณะที่ ความพรุนตัว การดูดซึมน้ำ ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เกิดเฟสของเหลวที่ช่วยปิดรูพรุน ในระหว่างการเผา

จากผลการศึกษาพบว่า ชิ้นงานที่เติมเถาขานอ้อยร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 900 องศาเซลเซียส จะมีความหนาแน่นผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบา (มอก.2601-2556) ในเกรด C12 ในส่วนของค่าการดูดซึมน้ำ ชิ้นงานที่เติมเถาขานอ้อยร้อยละ 10-30 และเผาที่อุณหภูมิ 700 – 1000 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐมวลเบา (มอก.2601 – 2556) เกรด C10 ในขณะเดียวกันชิ้นงานอิฐที่เติมเถาขานอ้อยร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ก็ผ่านเกณฑ์มาตรฐานนี้ด้วย ส่วนค่าความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานที่มีการเติมเถาขานอ้อยพบว่ามีความต้านทานแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐมวลเบา ( มอก. 2601 – 2556) เกรด C10 ทั้งหมด นอกจากนั้นชิ้นงานที่เติมเถาขานอ้อยร้อยละ 10 - 40 และเผาที่อุณหภูมิ 900 – 1000 องศาเซลเซียส ยังมีความต้านทานแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐดินเผา (มอก.77-2545) คือมีความต้านทานแรงอัดมากกว่า 9.00 เมกะพาสคัล อีกด้วย

โดยชิ้นงานอิฐมีสมบัติที่ดีที่สุด เมื่อเติมเถาขานอ้อยร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส จะได้ชิ้นงานอิฐที่มีความหนาแน่น 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความต้านทานแรงอัด 9.42 เมกะพาสคัล การดูดซึมน้ำร้อยละ 21.9 และการนำความร้อน 0.45 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

### 5.6 สรุปภาพรวม

สรุปภาพรวมผลการศึกษา พบว่าวัสดุเหลือใช้ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แกลบ เถ้าแกลบ ขานอ้อย และเถาขานอ้อย มีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐดินเผามวลเบาได้เป็นอย่างดี โดยเมื่อเปรียบเทียบภาพรวม ผลของวัสดุเหลือใช้ทั้ง 4 ชนิด ต่อสมบัติของอิฐดินเผามวลเบาได้ผลดังนี้

1. ความหนาแน่น ผลการศึกษาพบว่าชานอ้อย ส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐดินเผา ลดลงมากที่สุด รองลงมาคือแกลบ เถ้าแกลบ และลำดับสุดท้ายคือเถ้าชานอ้อย
  2. ความต้านทานแรงอัด ผลการศึกษาพบว่าชานอ้อยส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดของ ชิ้นงานอิฐดินเผา ลดลงมากที่สุด รองลงมาคือแกลบ เถ้าแกลบ และลำดับสุดท้ายคือเถ้าชานอ้อย
  3. การนำความร้อน ผลการศึกษาพบว่าชานอ้อยส่งผลให้การนำความร้อนของชิ้นงานอิฐดินเผา ลดลงมากที่สุด รองลงมาคือแกลบ เถ้าแกลบ และลำดับสุดท้ายคือเถ้าชานอ้อย
  4. น้ำหนักหลังเผา ผลการศึกษาพบว่าชานอ้อยส่งผลให้น้ำหนักหลังเผาของชิ้นงานอิฐดินเผา ลดลงมากที่สุด รองลงมาคือแกลบ เถ้าแกลบ และลำดับสุดท้ายคือเถ้าชานอ้อย
  5. ความพรุนตัว ผลการศึกษาพบว่าชานอ้อยส่งผลให้ความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐดินเผา เพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือแกลบ เถ้าแกลบ และลำดับสุดท้ายคือเถ้าชานอ้อย
  6. การดูดซึมน้ำ ผลการศึกษาพบว่าชานอ้อยส่งผลให้การดูดซึมน้ำ ของชิ้นงานอิฐดินเผา เพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือแกลบ เถ้าแกลบ และลำดับสุดท้ายคือเถ้าชานอ้อย
  7. การหดตัวหลังเผา ผลการศึกษาพบว่า ชานอ้อยส่งผลให้ชิ้นงานอิฐดินเผา มีการหดตัว เพิ่มขึ้น ส่วนแกลบ เถ้าแกลบ และเถ้าชานอ้อย ส่งผลให้อิฐดินเผา มีการหดตัวลดลง
- โดยเมื่อเปรียบเทียบส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการใช้วัสดุแต่ละชนิด และสมบัติตาม มาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐ แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สมบัติของอิฐดินเผา มวลเบา

สมบัติ/วัสดุ	แกลบ	ชานอ้อย	เถ้าแกลบ	เถ้าชานอ้อย	มอก.77-2545	มอก.6012-2556 (C12)
	20%, 1000 °C	10% 1000 °C	10% 900 °C	10% 900 °C		
ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	1.19	1.11	1.20	1.20	-	ไม่เกิน 1.2
ความต้านทาน แรงอัด (MPa)	7.26	8.14	5.97	9.2	ไม่ต่ำกว่า 9	ไม่ต่ำกว่า 2.5
การดูดกลืนน้ำ (%)	21.0	20.6	20.59	21.9	ไม่เกิน 22	ไม่เกิน 23
การนำความร้อน (W/m.K)	0.51	0.43	0.43	0.45	-	-

## 5.7 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรเพิ่มอุณหภูมิเผามากกว่า 1000 องศาเซลเซียส เพื่อดูแนวโน้มสมบัติที่เหมาะสม เนื่องจากชิ้นงานที่เดิมแกลบ ชานอ้อย และเถ้าชานอ้อย มีสมบัติที่ดีที่สุดเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส
2. ในส่วนของเถ้าชานอ้อยควรเพิ่มปริมาณเถ้าชานอ้อยมากกว่าร้อยละ 40 เพื่อดูแนวโน้มสมบัติที่เหมาะสม เนื่องจาก อิฐดินเผามวลเบาที่เดิมเถ้าชานอ้อย มีสมบัติที่ดีที่สุดเมื่อเติมน้อยละ 40
3. ควรศึกษาขนาดของอนุภาค และขนาดของรูพรุน ที่ส่งผลต่อสมบัติของอิฐดินเผามวลเบา
4. ควรศึกษาโดยการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ชนิดอื่น ที่มีเป็นจำนวนมากในประเทศไทย เช่น ชังข้าวโพด เถ้าปาล์ม เป็นต้น



## รายการอ้างอิง

- [1] Janbuala, S., Kitthawee, U., Aermbua, M., and Laoratanakul, P., Effect of rice husk ash to mechanical properties of clay bricks. Advance Material Research. 77 (2013): 50-53.
- [2] Janbuala, S. and Wasanapiarnpong, T., Effect of rice husk and rice husk ash on properties of lightweight clay bricks. Key Engineering Materials. 659 (2015): 74-79.
- [3] Bories, C., Borredon, M., Vedrenne, E., and Vilarem, G., Development of eco-friendly porous fired clay bricks using pore-forming agents: A review. Journal of Environmental Management. 143 (2014): 186-196.
- [4] Zhang, L., Production of bricks from waste materials-A review. Construction and Building Materials. 47 (2013): 643-655.
- [5] Muñoz Velasco, P., Morales Ortiz, M.P., Mendivil Giró, M., Muñoz Velasco, L., Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review. Construction and Building Materials. 63 (2014): 97–107
- [6] Thailand Industrial Standard Institute. 2004., Thai industrial standard of clay brick. Bangkok Thailand (2547): TISI 44-2547.
- [7] สุทัศน์ จันบัวลา, พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล, มานะ เอี่ยมบัว, รายงานวิจัยการออกแบบและพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์อิฐมอญในเขตพื้นที่จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต. 2554.
- [8] สุทัศน์ จันบัวลา, พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล, มานะ เอี่ยมบัว, รายงานวิจัยการออกแบบและพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาในเขตพื้นที่จังหวัดภาคกลางตอนบน. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต. 2553.
- [9] สุทัศน์ จันบัวลา, พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล, มานะ เอี่ยมบัว, รายงานวิจัยการออกแบบและพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาในเขตจังหวัดสิงห์บุรี. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต. 2551.
- [10] Shimizu, T., Matsuura, K., Furue, and H. Matsuzak, K., Thermal conductivity of high porosity alumina refractory bricks made by a slurry gelation and foaming method. Journal of the European Ceramic Society. 33 (2013): 3429–3435.

- [11] Kingery, A. J., Bowen, H.K. and Uhlmann, D.R., Introduction to Ceramic. Singapore : John Wiley Sons (SEA) Pte. 1991.
- [12] Michel, W., Barsoum., Fundamentals of Ceramics. New York : The McGraw – Hill. 1997.
- [13] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (มอก 2601 – 2556). 2556.
- [14] สุทัศน์ จันบัวลา, อธิฐดินเฬามวลเบา ทางเลือกใหม่ของวัสดุก่อสร้าง. วารสารเซรามิกส์. 45(2558): 17-19.
- [15] Study the feasibility of producing ethanol from cellulose - commercial use. March 9, 2016, Chulalongkhon University. 2013 available online :<http://webkc.dede.go.th/testmax/node/239>.
- [16] Punsuvon, V., Saeneeyuth, S., Sariman, S., and Intarat, K., Production of high alpha-cellulose pulp and xylose from bagasse by steam explosion. The 39th Kasetsart University Symposium. 79-85. 5-7 February 2001.
- [17] Phonsaen, K., Uriyapongson, S., Patarajinda, V., Tatsapong, P., and Polsan. Y., Effect of improve bagasse with urea and urea with soybean meal on nutritive value and in vitro digestibility. Journal of KhonKaen Agriculture. 40 (2012): 531-535.
- [18] คณะกรรมการจัดทำโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. ชานอ้อย. สืบค้นจาก <http://kanchanapisek.or.th> เมื่อวันที่ 15 มีนาคม 2559.
- [19] Loha, Y.R., Sujana, D., Rahmana, M.E., and Dasb, C.E., Sugarcane bagasse-The future composite material: A literature review. Resources, Conservation and Recycling. 75 (2013): 14-22.
- [20] Chennakesava Rao, M.N. and Prabath, N.V.N, Green Concrete using Agro Industrial Waste (Sugarcane Bagasse ASH). International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE). 5(2015) : 86-92.
- [21] อรรถเดช ฤกษ์พิบูลย์. รายงานวิจัยความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียดภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2551.
- [22] Teixeira, S.R., Magalhães, R.S., Arenales, A., Souza, A.E., Romero, M., and Rincón, J.N., Valorization of sugarcane bagasse ash: Producing glass-ceramic Materials. Journal of Environmental Management. 134 (2014): 15- 19.



- [23] พัชรินทร์ วรณกุล. Sol-Gel เทคโนโลยีสังเคราะห์ซิลิกาจากขานอ้อย. เทคโนโลยีไปโอ. 36 (2010) 40-43.
- [24] สมพร อิศวิลานนท์. มองสถานการณ์ข้าวไทยผ่านตลาดการค้าข้าวโลก. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 2557.
- [25] Gabriel, M., Gomesa, F., Philipssenc, C., Barda, E. K., Zen, L. D., and Souzaa, G., Rice husk bubbling fluidized bed combustion for amorphous silica synthesis. Journal of Environmental Chemical Engineering. 4 (2016): 2278–2290.
- [26] Mohseni, E., Naseri, F., Amjadi, R., Mehrinejad, M., Malek, K., and Ranjbar, M. Microstructure and durability properties of cement mortars containing nano-TiO<sub>2</sub> and rice husk ash. Construction and Building Materials. 114 (2016): 656–664.
- [27] Mansaray, K.G. and Ghaly, A.E., Thermogravimetric analysis of rice husk in an air atmosphere for energy conversion. Energy Sources. 7 (1998): 653-664.
- [28] สุทัศน์ จันบัวลา และ มานะ เอี่ยมบัว การศึกษาสมบัติของอิฐดินเผาในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง. วารสาร มมส. ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ครั้งที่ 7 323-327.
- [29] สุทัศน์ จันบัวลา, มานะ เอี่ยมบัว, และ พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล การพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาจังหวัดสิงห์บุรี. วารสารวิจัย มสศ.สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2(2009) : 15-24.
- [30] Sutas, J., Mana, A., and Pitak, L., Effect of Rice Husk and Rice Husk Ash to Properties of Bricks. Procedia Engineering. 32(2011): 1061 - 1067.
- [31] Gorhan, G. and Simsek, O., Porous clay bricks manufactured with rice husks. Construction and Building Materials. 40 (2013): 390-396.
- [32] Demir, I., Baspina, S., and Orhan, M., Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production. Building Environment. 40 (2005): 1533-1537.
- [33] Bories, C., Borredon, M., Vedrenne, E., and Vilarem, G., Fired clay bricks using agricultural biomass wastes: Study and characterization. Construction and Building Materials. 91 (2015): 158-163.
- [34] Faria, K.C. P., Gurgel, R.F., and Holanda, J.N.F., Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. Journal of Environmental Management. 101 (2012): 7-12.
- [35] Demir, I., Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks. Journal of Waste Management. 28 (2008): 622-627.

- [36] Abali, Y., Yurdusev, M. A., Zeybek, S., Kumanlioglu, A.A., Using phosphogypsum and boron concentrator wastes in light brick production. Construction and Building Materials. 21 (2007): 52-56.
- [37] Eliche-Quesada, D., et al., The use of different forms of waste in the manufacture of ceramic bricks. Applied Clay Science 52 (2011): 270-276.
- [38] Sutcu, M. and Akkurt, S., The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity. Ceramic International. 35 (2009): 2625-2631.
- [39] วรธนา ต. แสงจันทร์, การพัฒนาอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 179 ( 2552): 46-52.
- [40] Sutcu, M., Alptekin, H., Erdogmus, and E., Gencil, O., Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials. Construction and Building Materials. 82 (2015): 1-8.
- [41] Souza, A.E., Teixeira, S.R., Santo, G.T.A., Costa, F.B. Longo, E., Reuse of sugarcane bagasse ash (SCBA) to produce ceramic materials. Journal of Waste Management. 92 (2011): 2774-2780
- [42] Njeumen Nkayema, D.E., Mbey, J.A., Kenne Dikko, B.B., Njopwouo, D., Preliminary study on the use of corn cob as pore forming agent in lightweight clay bricks: Physical and mechanical features. Journal of Building Engineering. 5(2016): 254-259.
- [43] Mohajerani, A., Kadir, A. A., Larobina, L., A Practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks. Waste Management. 52(2016):228-244.
- [44] Ibrahim, M. N., Salehuddin, S., Amat, R. C., Rahim, N. L., and Izhar, T. N. T., Performance of Lightweight Foamed Concrete with Waste Clay Brick as Coarse Aggregate. APCBEE Procedia. 5(2013): 49-501.
- [45] Chiang, K., Chou, P., Hua, C., Chien, K., and Cheeseman, C., Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks. Journal of Hazardous Materials. 171 (2009): 76-82

- [46] Pimraksa, P., Chindapasirt, P., Lightweight bricks made of diatomaceous earth, lime and gypsum. Ceramics International. 35(2009): 471-478.
- [47] ณัฐพัชร์ สืบบัวแก้ว, สมศักดิ์ มีเสถียร, ชีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา., การพัฒนาอิฐมวลเบาโดยใช้กระดาษเหลือใช้. วารสารวิชาอุตสาหกรรมศึกษา. 6(2555): 51-57.
- [48] สมชาย มณีวรรณ และคณะ, การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผนังอิฐมวลเบาที่มีส่วนประกอบของสารเปลี่ยนสถานะ. NU Science Journal. 9( 2012): 45-56.
- [49] ASTM C326 Test Method for Drying and Firing Shrinkage of Ceramic White ware Clays., American Society for Testing and Materials.1997.
- [50] ASTM C771 - Test Method for Weight Loss After Heat Aging of Preformed Tape Sealants., American Society for Testing and Materials. 1994.
- [51] ASTM C373 - Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products., American Society for Testing and Materials. 1994.
- [52] Williams, P.T., Nugranad, N., Comparison of products from the pyrolysis and catalytic pyrolysis of rice husk. Energy. 2000 25(6): 493-513.
- [53] พรรณวิไล กิ่งสุวรรณรัตน์, การผลิตเอทานอลจากเหง้ามันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2545.
- [54] Musthafa, AM., Janaki, K., Velraj, G., Microscopy porosimetry and chemical analysis to estimate the firing temperature of some archaeological pottery shreds from India. Microchemical Journal. 2010 95(2): 311-314.
- [55] Teixeira, S.R., Souza, S.A., Moura, C.A.I., Mineralogical characterization of clays used in the structural ceramic industry in west of S. Paulo State, Brazil. Cerâmica. 47(2001): 204-207.
- [56] ดร.ณิ วัฒนศิริเวช และ สุธี วัฒนศิริเวช. การวิเคราะห์แร่ดิน เคลือบ และตำหนิในเซรามิกส์. สำนักพิมพ์จุฬาฯ .2552.
- [57] Souza, A.E., Argilominerais: Influência dos Aditivos (Cinza de Bagaço de Cana de Açúcar e Rocha Sedimentar) no Processo de Sinterização. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, Bauru, SP, Brasil. 2008.

- [58] Yariv, S., The role of charcoal on dta curves of organo-clay complexes: an overview. Applied Clay Science. 24(2003) 225-36.
- [59] Bideci A, Bideci ÖS. Diatomit hammaddesinin tuğla üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması (An investigation about the usability of diatomite raw material for brick production). Trakya University Journal of Science. 8 (2008): 69-76.
- [60] Nastro, V., Vuono ,D., Guzzu, M., Niceforo, G., Bruno, I., Luca, P., Characterisation of raw materials for production of ceramics. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 84(2006): 181-4.
- [61] Raut, NS., Biswas, P., Bhattacharya, TK., Das, K., Effect of bauxite addition on densification and mullitization behaviour of West Bengal clay. Bulletin of Materials Science. 31(2008): 995-9.
- [62] Milheiro, F.A.C., Freire, M.N., Silva, A.G.P., Holanda, J.N.F., Densification behavior of are firing Brazilian kaolinitic clay. Ceramic International. 31(2005): 757-63.
- [63] Mahllawy, M.S., Characteristics of acid resisting bricks made from quarry residues and waste steel slag. Construction and Building Materials. 22(2008): 1887-96.
- [64] Mishra, P., Chakraverty, A., Banerjee, HD., Studies on physical and thermal properties of rice husk related to its industrial application. Journal Material Science. 21(1986) 21: 2129-32.
- [65] Sütçü, M. and Akkurt, S., The Use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity. Ceramic International. 35(2009): 2625-31.
- [66] Öztürk, AÇ., Tuğla üretiminde termik santral atığı puzolanik uçucu küllerinde değerlendirilmesi. I. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi 2002, İstanbul, TR.
- [67] Loryuenyong, V., Panyachai, T., Kaewsimork, K., Siritai, C., Effects of recycled glass substitution on the physical and mechanical properties of clay bricks. Waste Management. 10(2009): 2717-21.
- [68] Marras, Sl., Ihtiaris, IA., Hatzitriton, NK., Sikalidis, K., Aifantis, EC., A preliminary study of stress-assisted fluid penetration in ceramic bricks. Journal of European Ceramic Society. 20 (2000): 489-95.

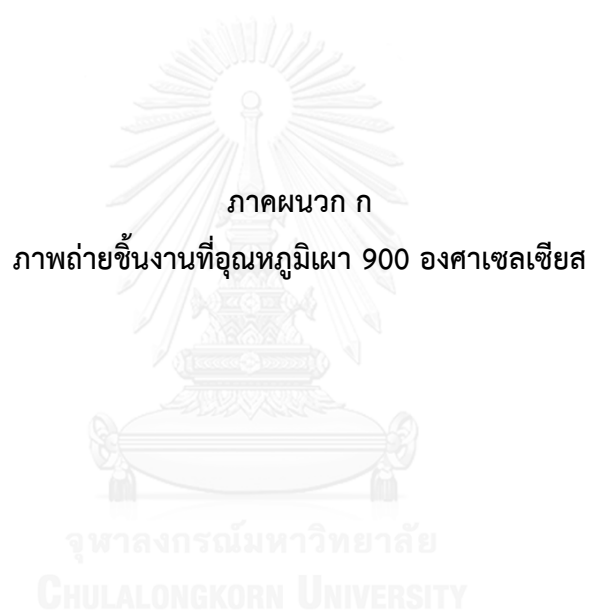
- [69] Vieira, C.M.F., Soares, T.M., Sánchez, R., Monteiro, S.N., Incorporation of granite waste in red ceramics. Material Science Engineering. 373(2004): 115-121.
- [70] Teixeira, S.R., Romero, M., Rincón, J., Crystallization of  $\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O}$  glass using sugarcane bagasse ash as silica source. Journal the American Ceramic Society. 93(2010): 450-455.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY





แกลบ 0 wt %



แกลบ 10 wt %



แกลบ 20 wt %



แกลบ 30 wt %



แกลบ 40 wt %





แก้วกลบ 0 wt %



แก้วกลบ 10 wt %



แก้วกลบ 20 wt %



แก้วกลบ 30 wt %



แก้วกลบ 40 wt %



ชานอ้อย 0 wt %



ชานอ้อย 5 wt %



ชานอ้อย 10 wt %



ชานอ้อย 15 wt %



ชานอ้อย 20 wt %



ถ้ำซานอ้อย 0 wt %



ถ้ำซานอ้อย 10 wt %



ถ้ำซานอ้อย 20 wt %

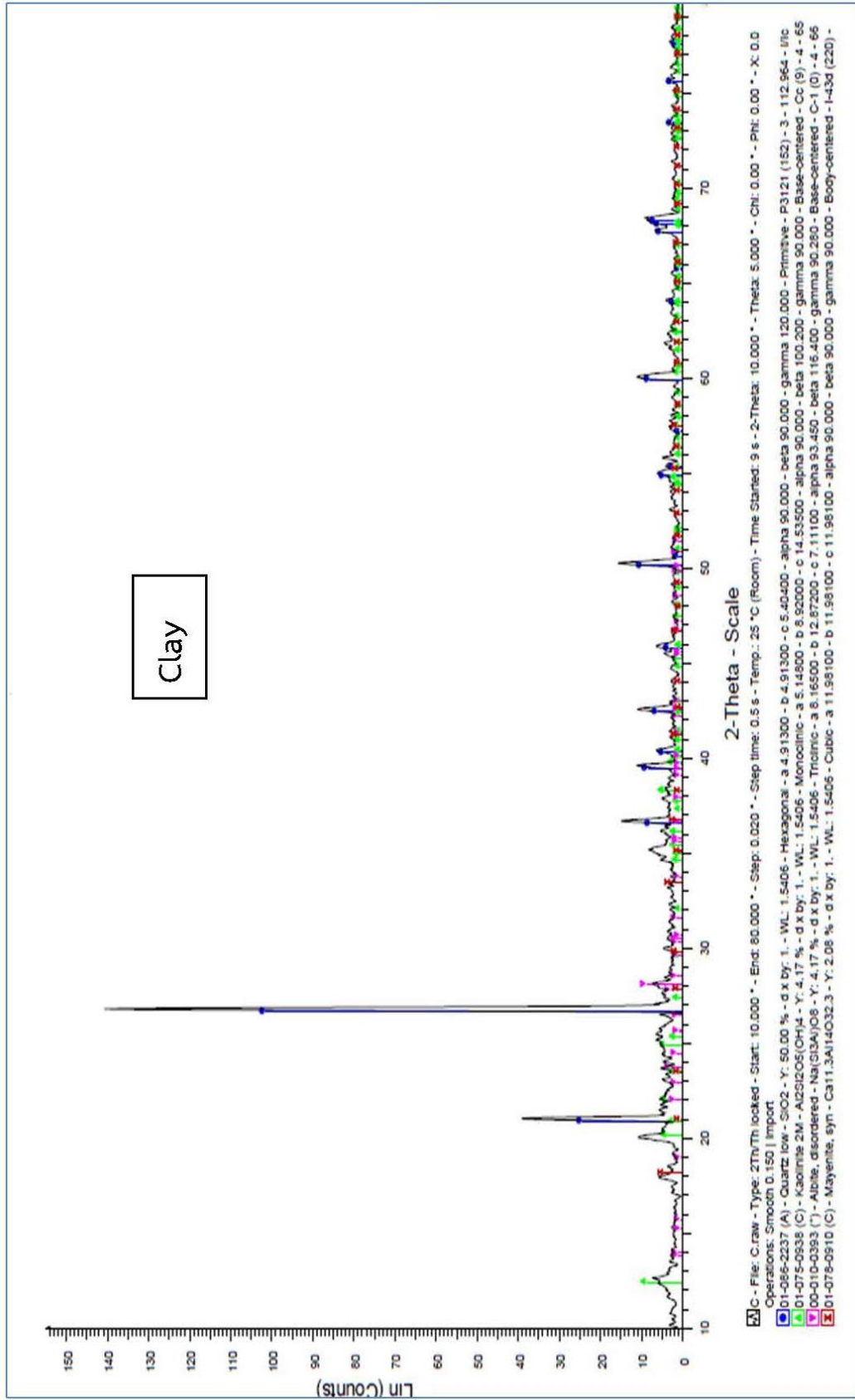


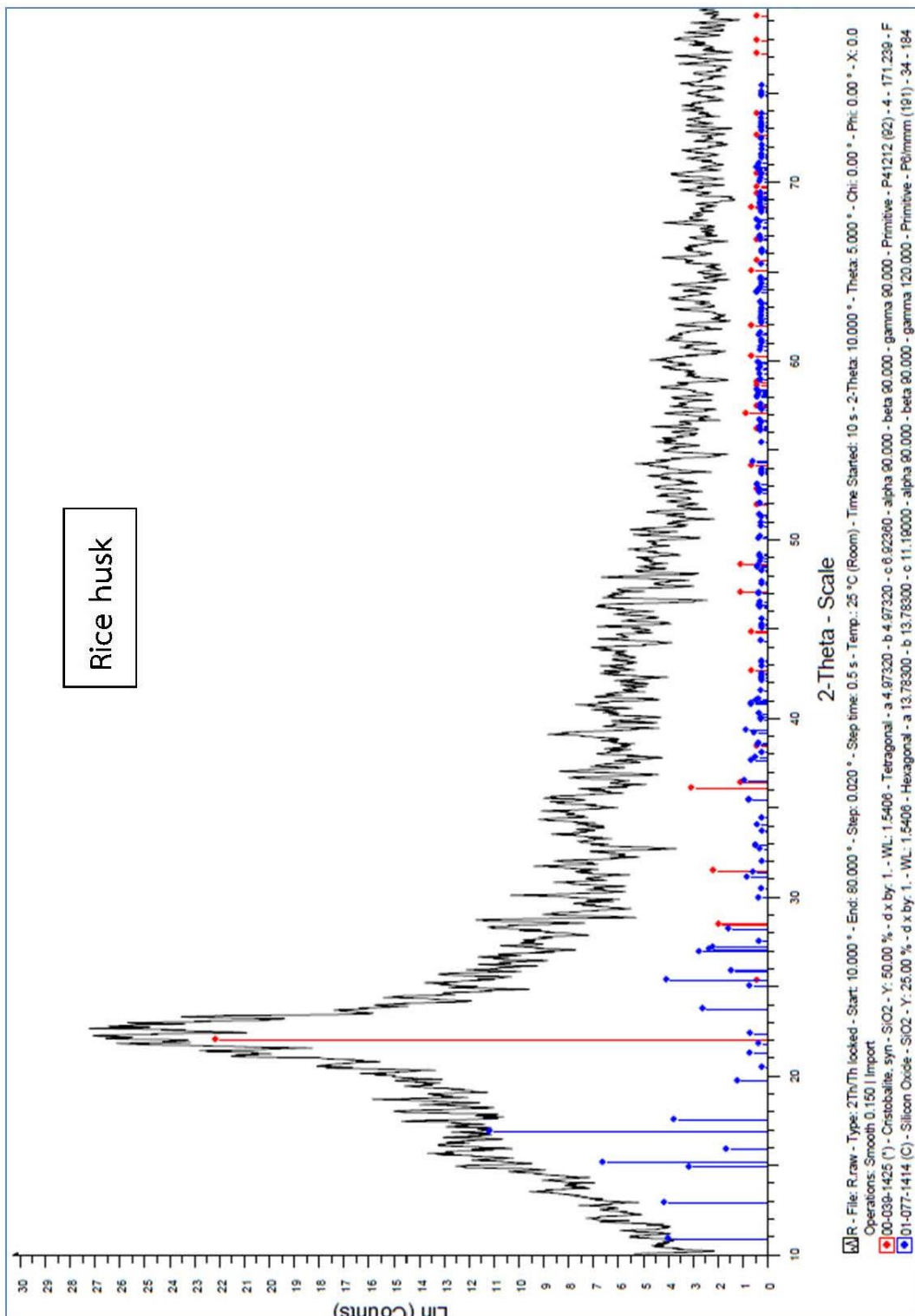
ถ้ำซานอ้อย 30 wt %

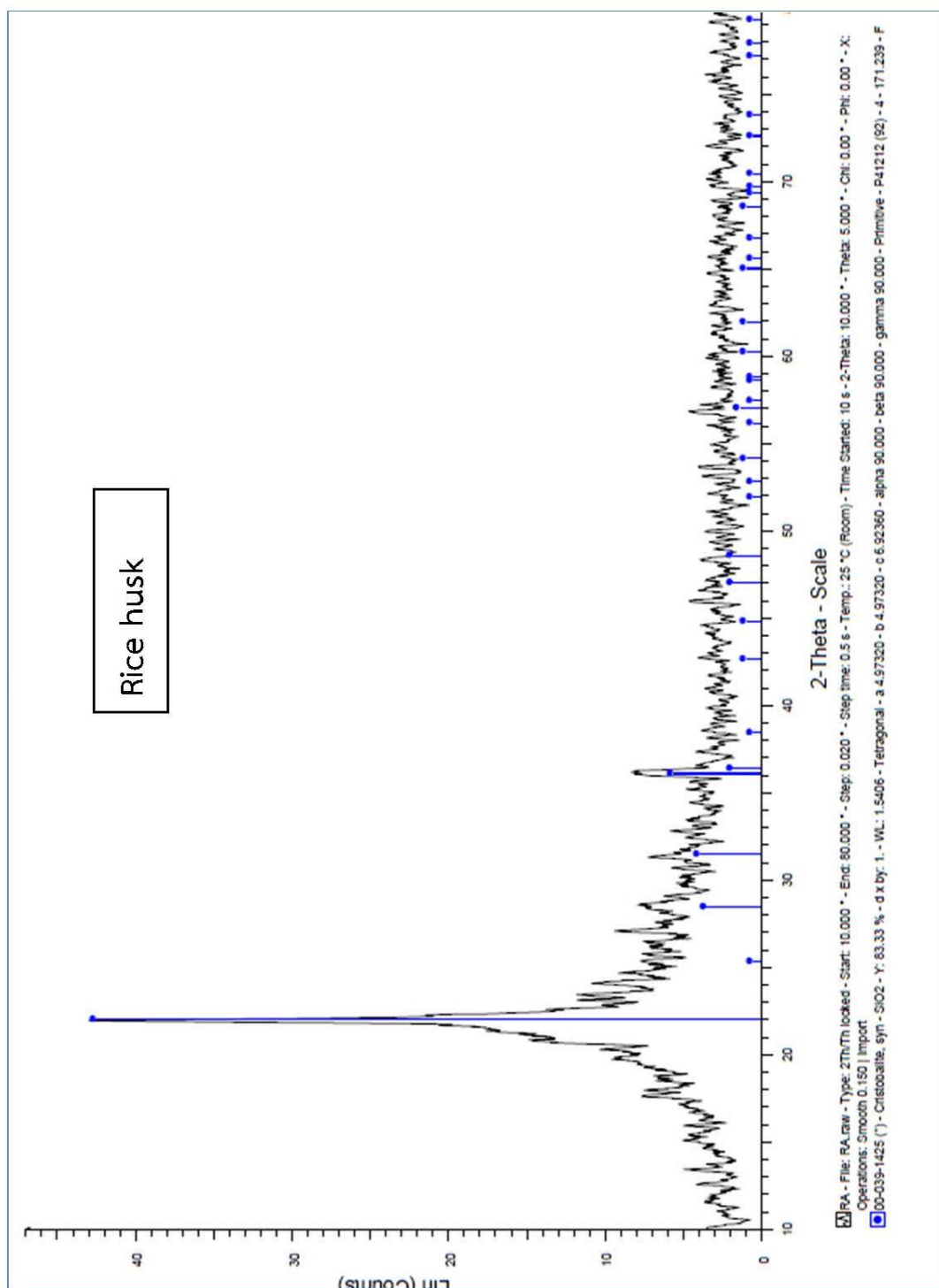


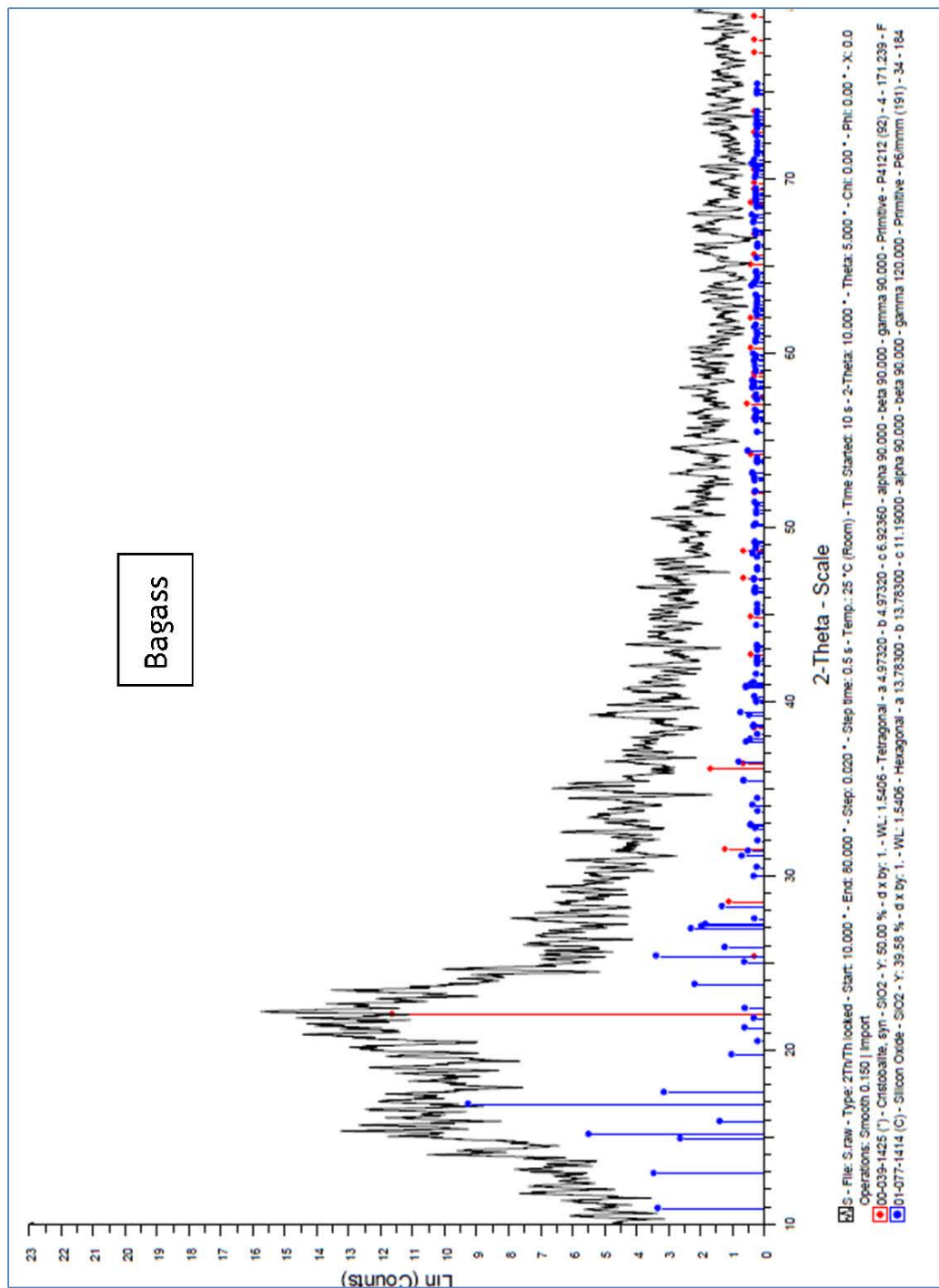
ถ้ำซานอ้อย 40 wt %



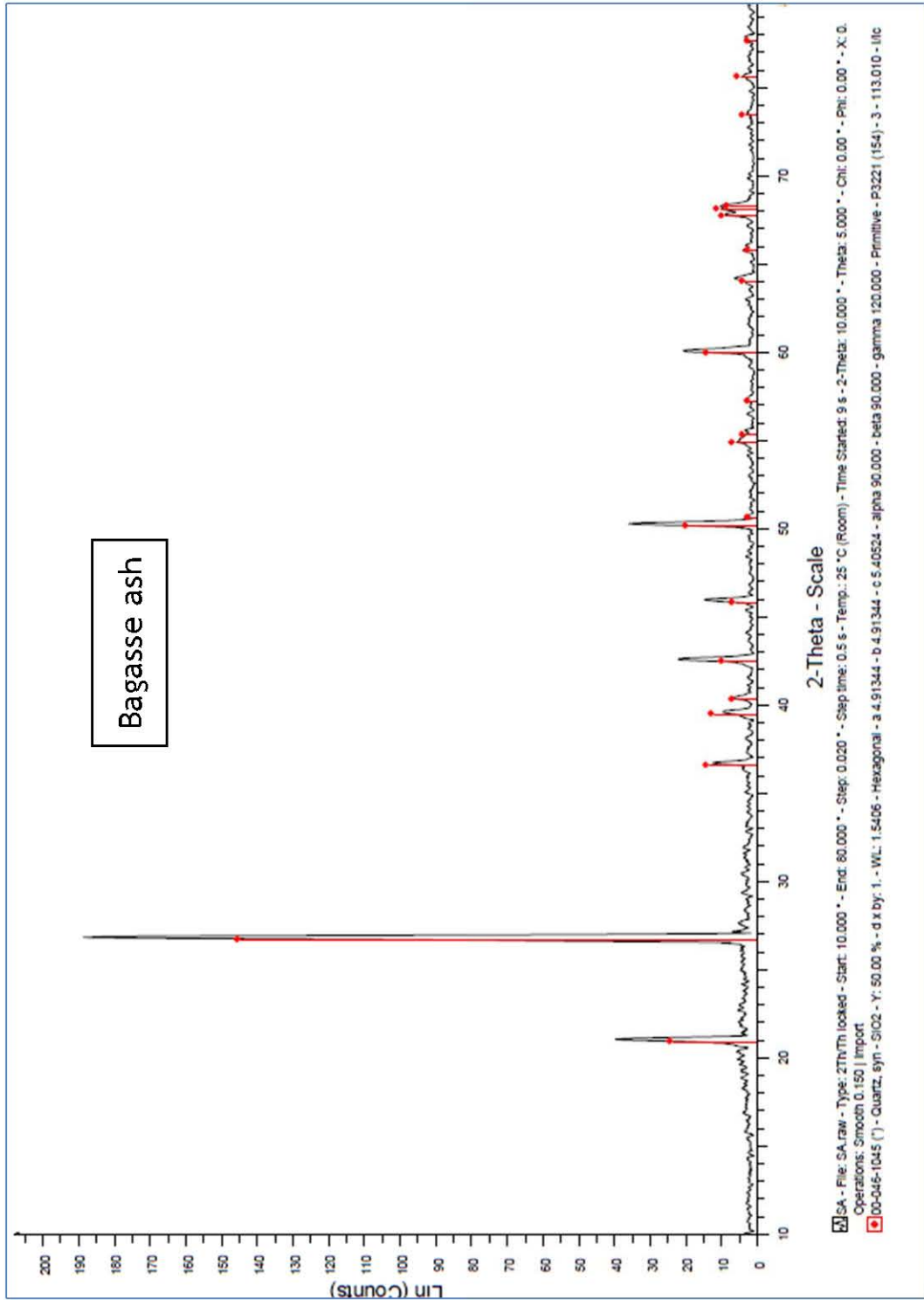




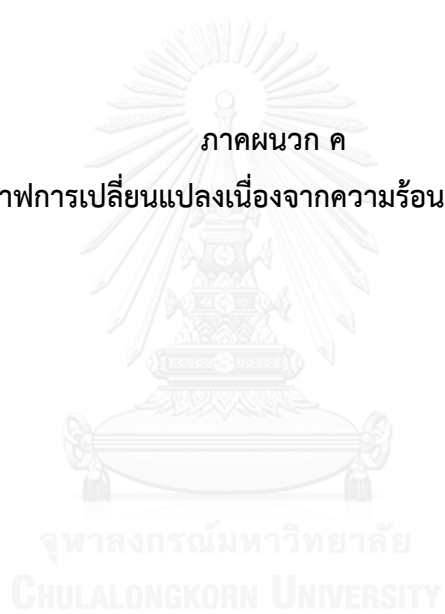


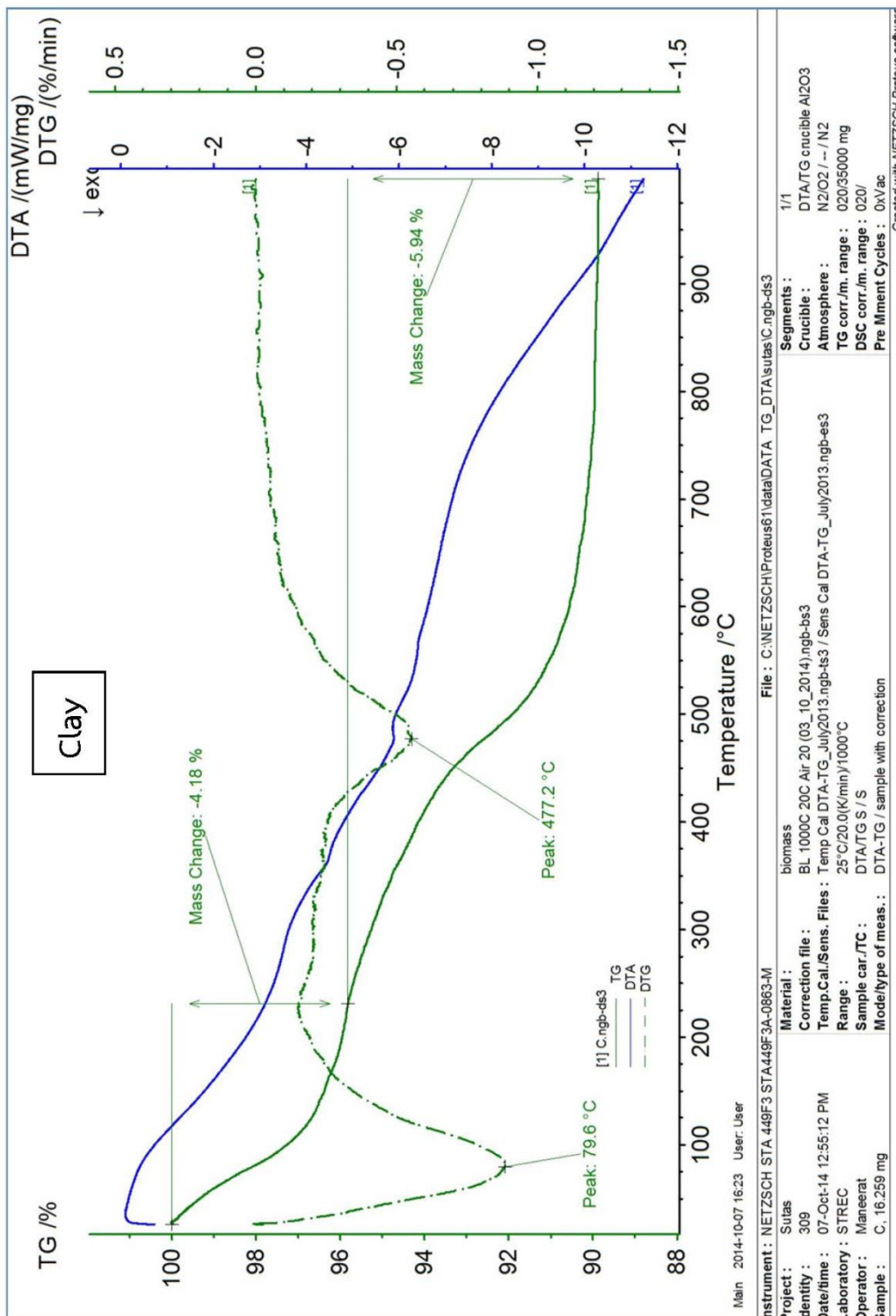


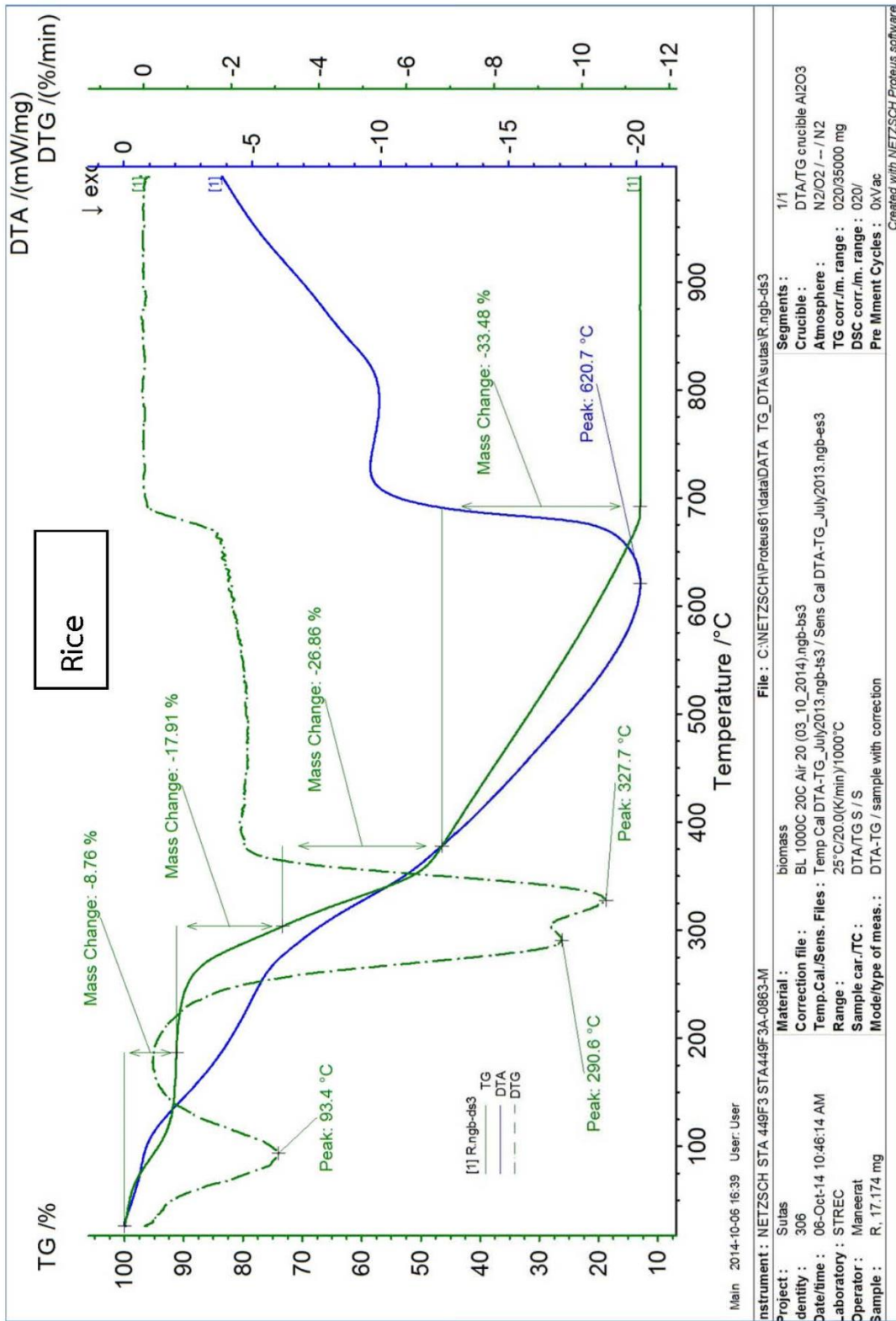


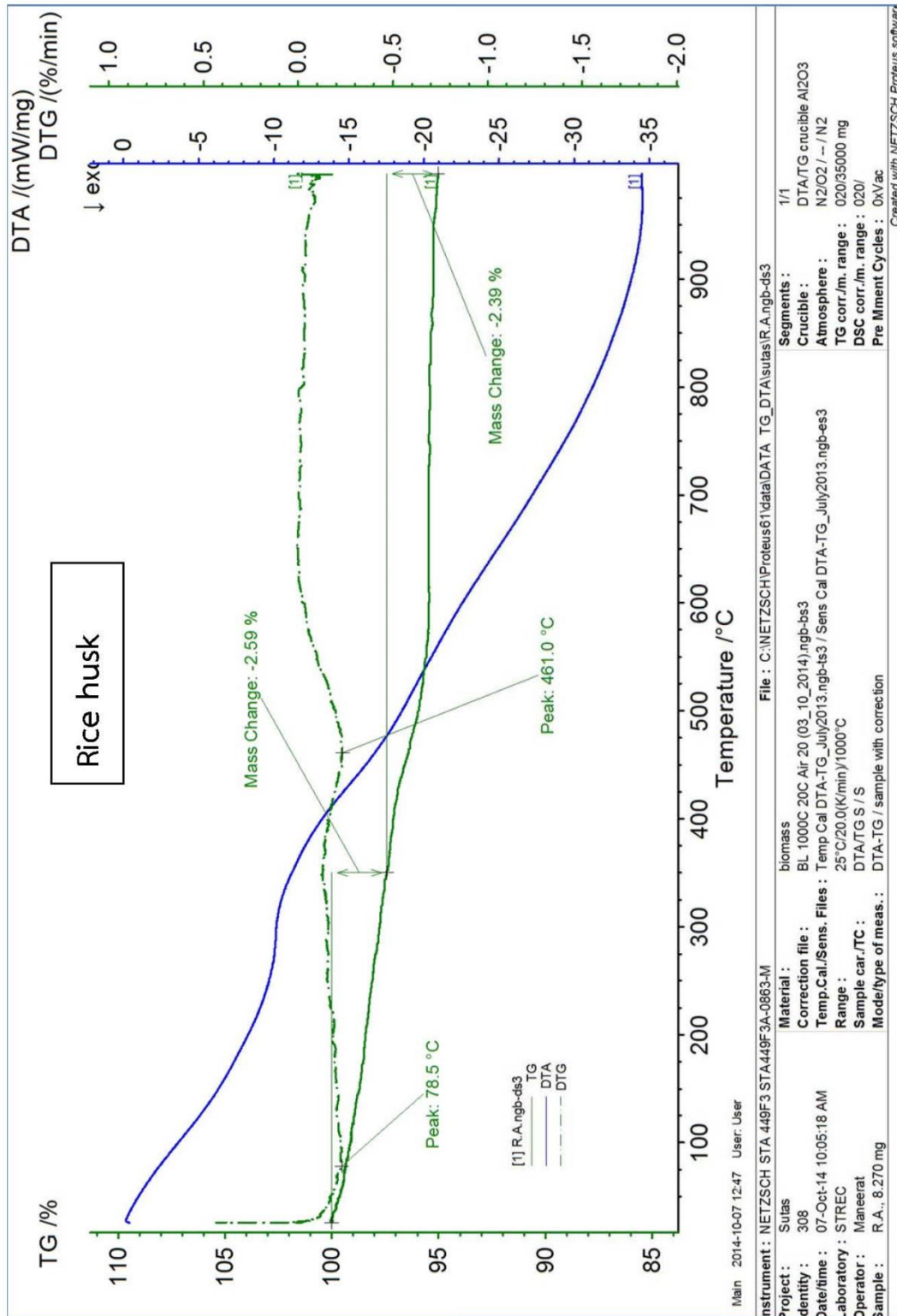


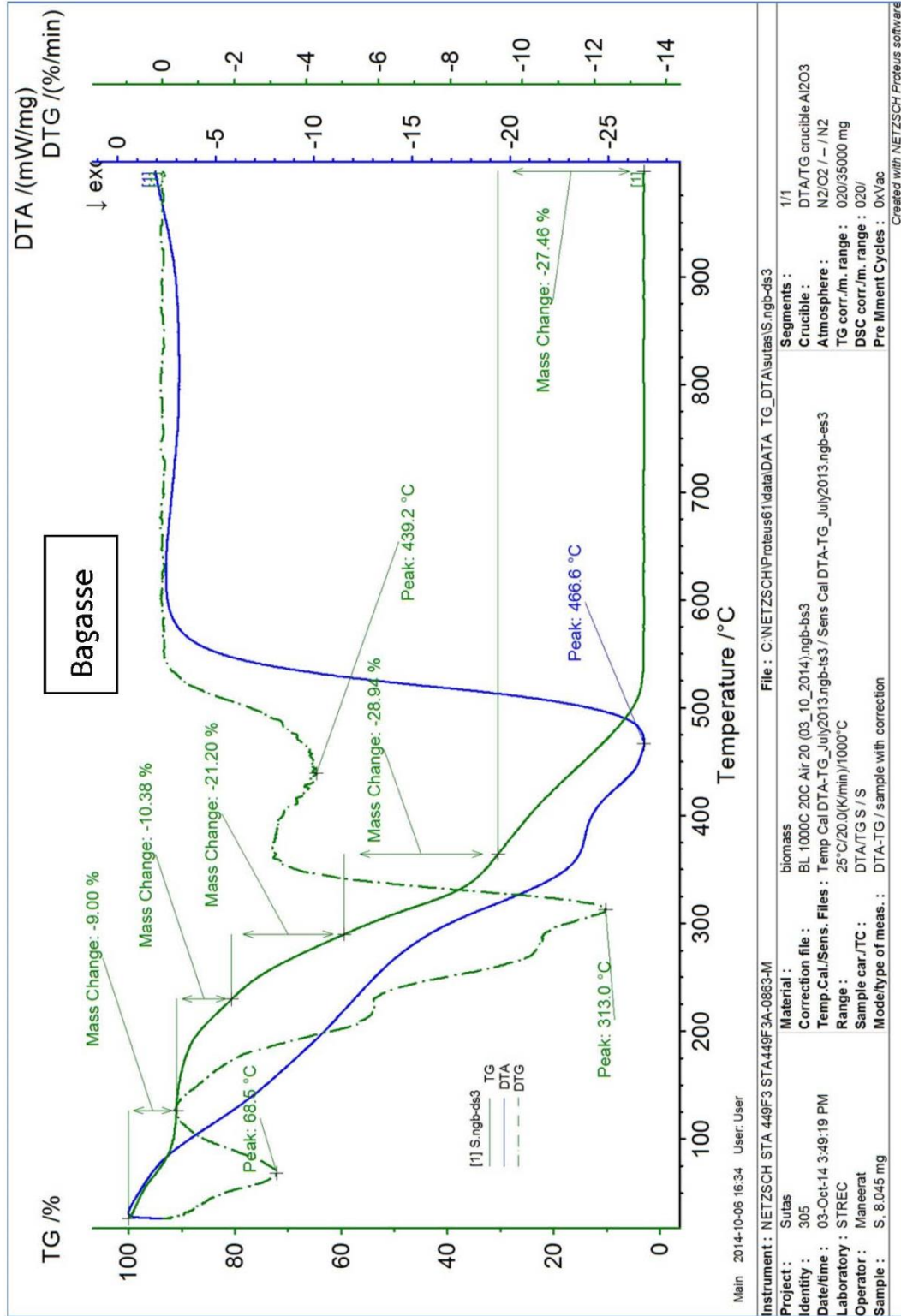
ภาคผนวก ค  
กราฟการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนของวัตถุบีบ

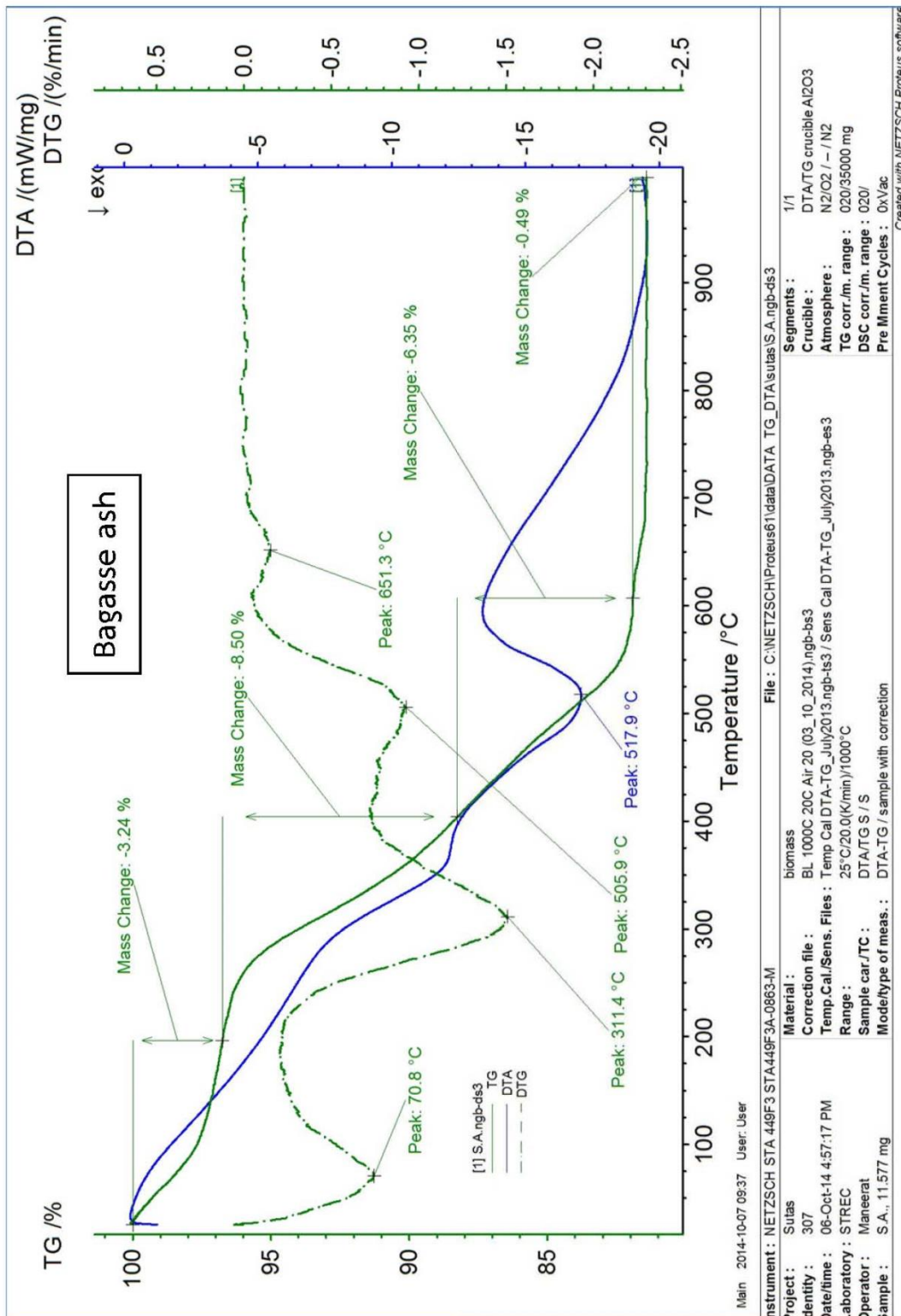












### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุทัศน์ จันบัวลา เกิดเมื่อวันที่ 15 มีนาคม 2521 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนโยธินบูรณะ ระดับปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และ สาขานิติศาสตร์ คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาเทคโนโลยีเซรามิก คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการเผยแพร่บทความในวารสารจำนวน 5 บทความ ได้แก่

1. Effect of rice husk and rice husk ash on properties of lightweight clay bricks. Key Engineering Matererial, Vol. 659 (2015) : pp 74-79
2. Recycling Rice Husk Ash Waste for Clay Bricks, Jurnal Teknologi, in press
3. Lightweight clay brick ceramic prepared with bagasse addition , ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, VOL. 11 (2016) : pp 1-5
4. การผลิตอิฐดินเผามวลเบาโดยใช้เถ้าชานอ้อยเป็นส่วนผสม, วารสาร มสค. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2560
5. อิฐดินเผามวลเบา ทางเลือกใหม่ของวัสดุก่อสร้าง. วารสารเซรามิกส์. 45 (2558): 17-19