



รายงานวิจัย
เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาอิฐมอญ - มวลเผาโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากโรงงาน
อุตสาหกรรม (ระยะที่ 1)

The research and development lightweight clay brick by using
waste from industry factory (phase 1)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ จันบัวลา
ดร.วิทวัส รัตนถาวร
นางสาวอภาพรรณ สัตยาวิบูล

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาอิฐมอญ - มวลเผาโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากโรงงาน
อุตสาหกรรม (ระยะที่ 1)

The research and development lightweight clay brick by using
waste from industry factory (phase 1)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ จันบัวลา

(คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

ดร.วิทวัส รัตนถาวร

(คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

นางสาวอภาพรรณ สัตยาวิบูล

(คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัยปีงบประมาณ 2561)

หัวข้อวิจัย	การวิจัยและพัฒนาอิฐมอญ – มวลเผาโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากโรงงาน อุตสาหกรรม (ระยะที่ 1)
ผู้ดำเนินการวิจัย	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ จันบัวลา ดร.วิทวัส รัตนถาวร นางสาวอาภาพรรณ สัตยาวิบูล
หน่วยงาน	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ปี พ.ศ.	2561

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมโรงโม่หินสำหรับปรับปรุงสมบัติของอิฐดินเผามวลเบา โดยการเติมผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมโรงโม่หินร้อยละ 10, 20, 30, 40 % โดยปริมาตร และเผาที่อุณหภูมิ 1000, 1100 °C ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณของผงฝุ่นจากจากโรงงานอุตสาหกรรมโรงโม่หินส่งผลให้อิฐดินเผามวลเบา มีค่าความพรุนตัวและการดูดซึ่มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การนำความร้อนและความหนาแน่นลดลง การเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ความพรุนและการดูดซึ่มน้ำลดลง ผลการวิจัยพบว่าเมื่อเติมผงฝุ่นร้อยละ 40% และเผาที่อุณหภูมิ 1000 °C ขึ้นงานมีสมบัติที่ดีที่สุดคือความหนาแน่น 1.43 g / cm³ ความต้านทานแรงอัด 12.15 MPa การนำความร้อน 0.48 W/mK และการดูดซึ่มน้ำ 21.20

Research Title	The research and development lightweight clay brick by using waste from industry factory (phase 1)
Researcher	Sutas Janbuala Wittawat Ratanathavorn Arpapan Sattayaviblu
Organization	Suan Dusit University
Year	2018

The objective of this study were recycling of powder from industry factory waste to improve properties of lightweight clay bricks. The amount of powder from the mill stone waste added to lightweight clay brick were varied by 10, 20, 30, 40 % by volume, and variation of firing temperature by 1000, 1100 °C. The results showed that more content of powder from industry factory 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 powder from industry factory added 40% and firing temperature 1000 °C the best properties as 1.43 g/cm³ of bulk density, 12.15 MPa of compressive strength, 0.48 W/mK of thermal conductivity, and 21.20 % of water absorption

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้แก่ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ละครตรวจสอบรูปแบบการพิมพ์และความสมบูรณ์ของรายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวิจัย

คณะผู้วิจัย

2561

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(6)
สารบัญภาพ	(7)
บทที่ 1	บทนำ
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย
	ผลที่คาดว่าจะได้รับ
บทที่ 2	การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
	อิฐดินเผา
	อิฐมวลเบา
	อิฐดินเผามวลเบา
	วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
บทที่ 3	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
	วัตถุประสงค์และอุปกรณ์การวิจัย
	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
บทที่ 4	ผลการวิจัยและการวิเคราะห์
	การวิเคราะห์วัตถุประสงค์
	ผลของผงฝุ่นจากโรงโม่หินต่อสมบัติอิฐดินเผามวลเบา
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย
	สรุปผลการวิเคราะห์วัตถุประสงค์
	สรุปผลของผงฝุ่นจากโรงโม่หินต่อสมบัติอิฐดินเผามวลเบา
	ข้อเสนอแนะ

บรรณานุกรม	
บรรณานุกรมภาษาไทย	63
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	64
ประวัติผู้วิจัย	65

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การจำแนกผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาตามชั้นคุณภาพ และขนาด	10
2.2	ความต้านทานแรงอัดและค่าการดูดกลืนน้ำของอิฐดินเผา	10
2.3	การแบ่งชนิดและ สมบัติของอิฐบล็อกมวลเบา	11
2.4	ขนาดของอิฐบล็อกมวลเบา	12
2.5	เปรียบเทียบสมบัติของอิฐดินเผา อิฐมวลเบา และอิฐดินเผามวลเบา	14
2.6	ผลการวิจัยของ Demirl	22
2.7	ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำตามการศึกษาของ Norlia Mohamad Ibrahim	31
2.8	ผลของอัตราส่วนที่แตกต่างกันต่อสมบัติของอิฐมวลเบาตามการศึกษาของ Pimraksa P.	32
2.9	ความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐมวลเบาตามการศึกษาของ สมชาย มณีวรรณ	32
2.10	สมบัติของชิ้นงานที่เติมสารเปลี่ยนสถานะร้อยละ 2.5	33
4.1	ส่วนประกอบทางเคมีของดิน ผงฝุ่นจากโรงไม้หิน	46
4.2	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อการหดตัวหลังเผา	51
4.3	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา	52
4.4	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อความหนาแน่น	53
4.5	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อความพรุนตัว	54
4.6	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อการดูดซึมน้ำ	56
4.7	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อความต้านทานแรงอัด	57
4.8	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อการนำความร้อน	58

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
2.1	อิฐมอญ	4
2.2	อิฐดินเผา	4
2.3	อิฐดินเผาที่ผ่านการขึ้นรูปโดยแบบพิมพ์	6
2.4	อิฐดินเผาที่ผ่านการขึ้นรูปโดยการรีด	6
2.5	การตากอิฐ	6
2.6	ขั้นตอนในการเกิดกระบวนการเผา	7
2.7	แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการขึ้นเทอร์	9
2.8	อิฐมวลเบา	11
2.9	อิฐดินเผามวลเบา	13
2.10	ขั้นตอนการผลิตอิฐดินเผามวลเบา	13
2.11	ชานอ้อย	15
2.12	เถ้าชานอ้อย	16
2.13	แกลบ	16
2.14	เถ้าแกลบ	17
2.15	ความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัดตามการศึกษาของสุทัศน์ จันบัวลา	18
2.16	ความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัดตามการศึกษาของสุทัศน์ จันบัวลา	19
2.17	ผลของแกลบต่อความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัดของอิฐ ตามผลการศึกษาของสุทัศน์ จันบัวลา	20
2.18	ผลของแกลบต่อความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัดของอิฐ ตามผลการศึกษาของ Gorhan	21
2.19	ผลของแกลบต่อความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัดของอิฐ ตามผลการศึกษาของ Faria	23
2.20	ความต้านทานแรงอัดตามผลการวิจัยของ Eliche-Quesada	25
2.21	โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่ไม่เติมวัสดุเหลือทิ้ง จากการผลิตกระดาษกับที่เติมร้อยละ 30 ตามผลการศึกษาของ Sutcu	25
2.22	แสดงความหนาแน่นต่อสัดส่วนของหินปูนตามผลการศึกษาของ วรรณดา ต.แสงจันทร์	26
2.23	ผลของผงหินอ่อนต่อความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัด ตามการศึกษาของ Sutcu	27
2.24	ผลของเถ้าชานอ้อยต่อ ความหนาแน่น ความต้านทานแรงบิด จากผลการศึกษาของ Souza	28
2.25	ผลของขี้ข้าวโพดต่อความหนาแน่น และความแข็งแรง ตามการศึกษาของ Nkayem	29

2.26	ผลของกัมพูห์ร่ต่อความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัดตามผลการศึกษาของ Mohajerani	30
2.27	ความหนาแน่น และความแข็งแรง ของชั้นงานตามการศึกษาของ Kung-Yuh Chiang	31
3.1	ดินเหนียวจากอำเภอบางบาล	35
3.2	ผงฝุ่นจากโรงไม้หิน	35
3.3	ตะแกรงร่อน	36
3.4	เครื่องชั่ง และชุดหาความหนาแน่น	36
3.5	เวอร์เนียร์แคลิเปอร์	36
3.6	แม่พิมพ์แบบขึ้นรูป	37
3.7	เตาเผาไฟฟ้า	37
3.8	เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์	38
3.9	เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์	38
3.10	เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันเทอร์โมมิเตอร์	39
3.11	เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล	39
3.12	เครื่องมือวิเคราะห์การนำความร้อนฮอทดิส	40
3.13	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	40
3.14	ชั้นงานที่ขึ้นรูป	41
3.15	ชั้นงานที่ผ่านการเผา	44
3.16	แผนผังขั้นตอนการวิจัย	45
4.1	โครงสร้างเฟสของดิน	47
4.2	โครงสร้างผงฝุ่นที่เหลือจากโรงไม้หิน	48
4.3	การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของดิน	48
4.4	การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของผงฝุ่น	49
4.5	โครงสร้างเฟสของชั้นงานที่เติมผงฝุ่นจากโรงไม้หินในปริมาณที่แตกต่างกัน และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส	50
4.6	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อการหดตัว	51
4.7	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อน้ำหนักสูญหาย	52
4.8	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อความหนาแน่น	53
4.9	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อความพรุนตัว	55
4.10	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อการดูดซึมน้ำ	56
4.11	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อความต้านทานแรงอัด	57
4.12	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อการนำความร้อน	58
4.13	ผลของผงฝุ่นจากโรงไม้หินต่อโครงสร้างจุลภาคชั้นงานอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส	60
4.14	ผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างจุลภาคของชั้นงานอิฐที่เติมผงฝุ่นจากโรงไม้หิน	61

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อิฐดินเผาหรืออิฐมอญ คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่เกิดจากการนำดินมาผสมกับวัสดุอื่น ๆ เช่น ทราย ขี้เถ้า หรือวัสดุอื่น ๆ แล้วขึ้นรูปโดยการอัดในแบบหรือการรีด แล้วเผา สำหรับอุตสาหกรรมอิฐดินเผาเป็นอุตสาหกรรมที่มีความต่อการพัฒนาประเทศเป็นอย่างมากนับว่าเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีการผลิตมาเป็นเวลายาวนานแล้ว โดยสามารถใช้วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจากท้องถิ่นที่สามารถหาได้โดยทั่วไป ข้อดีของอิฐดินเผา คือ เป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้ทำผนังที่มีความแข็งแรง รับน้ำหนักได้ดี ที่สำคัญมีความคงทนต่อสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในประเทศไทยและสามารถผลิตโดยใช้วัสดุในท้องถิ่นได้ทั้งหมด ข้อเสีย คือ มีน้ำหนักมาก มีความพรุนตัวน้อย ส่งผลให้มีความเป็นฉนวนความร้อนและเสียงต่ำ ที่ผ่านมามีการผลิตอิฐมวลเบาที่ทำจากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย ปูนขาว ยิปซั่ม และสารกระจายตัวที่ทำให้เกิดฟองน้ำ แล้วอบด้วยไอน้ำภายใต้ความดันสูง ทำให้เกิดรูพรุนปิดขนาดเล็ก ๆ จำนวนมากกระจายตัวอยู่ในเนื้อผลิตภัณฑ์ สมบัติที่สำคัญของอิฐมวลเบาที่มาทดแทนหรืออุดช่องว่างของอิฐดินเผา คือ การมีน้ำหนักต่อหน่วยหรือมีความหนาแน่นน้อย เนื่องจากมีความพรุนตัว ทำให้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีกว่าอิฐดินเผา อย่างไรก็ตามจุดด้อยของอิฐมวลเบาคือมีความสามารถในการรับแรงน้อยกว่าอิฐดินเผา และมีราคาแพงกว่าอิฐดินเผา สำหรับแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของอิฐดินเผาให้มีความเบาขึ้นสามารถทำได้ 2 วิธีได้แก่ (Bories, 2014; Lianyang, 2013)

1. การใช้สารอินทรีย์หรือวัตถุดิบที่เหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมมาเติมในวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต ข้อดีของวิธีนี้ คือ ทั้งนี้เนื่องจากกากตะกอนหรือสิ่งที่เหลือจากการผลิตในอุตสาหกรรมเกษตรมีเป็นจำนวนมากเป็นของเหลือ (waste) จึงเป็นการนำของเสียที่ต้องกำจัดทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมไปตัวอีกด้วย หลักการของการทำให้เกิดความพรุนตัวจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเผาผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาทำให้อินทรีย์สารที่เป็นส่วนประกอบหลักของวัตถุดิบกลุ่มนี้เกิดการสลายตัว (decomposition) ออกจากเนื้อดินเผา ส่งผลให้เกิดรูพรุนเป็นจำนวนมากในเนื้อของดินเผา ตัวอย่างของวัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ แกลบ ถั่วแกลบ เปลือกของเมล็ดทานตะวัน ของเหลือจากโรงงานยาสูบ กากตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปา ตะกอนจากโรงงานผลิตกระดาษ เป็นต้น (sutas, 2014)

2. การนำวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีธาตุแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบมาเติมเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตอิฐดินเผา ทำให้เกิดความพรุนตัวเนื่องจากการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างกระบวนการเผาจากการทำปฏิกิริยาของธาตุแคลเซียมคาร์บอเนตกับออกซิเจน ตัวอย่างของวัตถุดิบที่ใช้เติมได้แก่ กากตะกอนที่เหลือจากการผลิตแก้ว หรือตะกอนที่เหลือจากกระบวนการผลิตกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาอิฐดินเผาให้มีความเบา และมีความเป็นฉนวนความร้อน และป้องกันเสียงได้ดีกว่าอิฐดินเผาทั่วไป ในขณะที่ความแข็งแรงสูงกว่าอิฐมวลเบา โดยใช้วัสดุเหลือใช้ (waste) จากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยที่มีเป็นจำนวนมาก สำหรับในระยะที่ 1 จะใช้วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ ใช้ผงฝุ่นที่เกิดจากการผลิตหินแกรนิตของโรงโม่หิน ทั้งนี้เนื่องจากมีส่วนประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งจะส่งผลให้เกิดความพรุนตัวระหว่างการเผา เนื่องจากการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้มีความเบาและมีความเป็นฉนวนความร้อนมากขึ้น โดยใช้ผงฝุ่นที่เหลือจากการผลิตหินแกรนิต ของ บริษัทฟาร์อีสท์มาร์เบิล แอนแกรนิต จำกัด จังหวัดสระบุรี ซึ่งนอกจากจะเป็นการพัฒนาวัสดุก่อสร้างให้มีสมบัติดีขึ้นแล้วยังเป็นการนำกากของเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมโรงโม่หินที่มีเป็นจำนวนมากมาใช้ให้เป็นประโยชน์อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงสมบัติของอิฐดินเผาให้มีน้ำหนักลดลงและมีความเป็นฉนวนความร้อนโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมได้แก่ผงฝุ่นจากโรงโม่หินสำหรับผลิตหินแกรนิตเป็นส่วนผสม
2. เพื่อพัฒนาวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีน้ำหนักน้อยกว่าอิฐดินเผาแต่มีความแข็งแรงสูงกว่าอิฐมวลเบาโดยใช้ผงฝุ่นจากโรงโม่หินเป็นส่วนผสม
3. เพื่อประยุกต์ใช้ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมโรงโม่หินให้เกิดประโยชน์

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ผลิตอิฐดินเผาที่เบาและมีความเป็นฉนวนความร้อนดีจากโรงงานอุตสาหกรรมโรงโม่หินเป็นส่วนผสมมาเป็นส่วนผสม โดยมีความเป็นฉนวนความร้อนและมีความแข็งแรงที่เหมาะสมกับการใช้งานก่อสร้างเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐบล็อกมวลเบา

บทที่ 2

การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อิฐดินเผา

อิฐดินเผาหรืออิฐมอญ เป็นวัสดุก่อสร้างที่อยู่คู่กับสังคมไทยมานาน ซึ่งจะเห็นได้จากสิ่งก่อสร้างเก่าแก่ หรือโบราณสถานที่มีจะมีการก่อสร้างโดยใช้อิฐดินเผาเป็นหลัก โดยทั่วไปแล้วอิฐดินเผาสามารถผลิตได้ในทุกภาคของประเทศไทย เนื่องจากผลิตได้ง่าย อาศัยวัตถุดิบในท้องถิ่นเป็นหลักในการผลิตมักจะใช้ดินที่อยู่ตามท้องถนนผสมกับทราย หรือเถ้าแกลบ เพื่อลดความเหนียวของดินให้สามารถขึ้นรูปได้ ในอดีตมักขึ้นรูปโดยการใส่แรงงานคนอัดลงในแบบพิมพ์ ทำให้อิฐที่ผลิตในอดีตหรือที่เราเรียก อิฐมอญเป็นอิฐที่มีลักษณะตัน ไม่มีรู ปัจจุบันมีการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องรีด ทำให้ลักษณะอิฐมีรูตามของแบบพิมพ์สำหรับรีด อิฐดินเผาที่มีมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดสมบัติของอิฐเรียกว่ามาตรฐานอิฐก่อสร้างสามัญ 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 สำหรับการดูดซึมน้ำในชั้นนี้ไม่กำหนด

ชนิดของอิฐดินเผา

การแบ่งชนิดของอิฐดินเผาในประเทศไทย แบ่งได้หลายชนิดตามรูปแบบและประโยชน์ของการใช้งาน ตัวอย่างชนิดของอิฐได้แก่ (สุทัศน์ จันบัวลา, 2550)

1. อิฐมอญ เป็นลักษณะของอิฐดินเผาที่เป็นแบบอิฐตัน ไม่มีรู เป็นอิฐรูปแบบดั้งเดิมที่มีการผลิตมาเป็นระยะเวลายาวนาน สามารถผลิตได้ทุกภาคของประเทศไทย สำหรับแรงงานที่ใช้ในการผลิตจะเป็นการใช้แรงงานคนเป็นหลัก ตั้งแต่การขึ้นรูปลงในแบบพิมพ์ การตกแต่งอิฐ การตาก และการเก็บอิฐ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐมอญได้แก่ดินเหนียว ผสมกับทราย หรือเถ้าแกลบ หรือขี้เถ้าอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ที่นิยมกันมากที่สุดคือ เถ้าแกลบ เนื่องจากเป็นวัสดุเหลือใช้จากการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงเผาอิฐ การขึ้นรูปจะใช้วิธีแบบง่าย ๆ โดยอัดลงในแบบพิมพ์ ในอดีตใช้ไม้เป็นแบบสำหรับขึ้นรูป จุดเด่นของอิฐมอญเนื่องจากลักษณะเป็นแบบตัน ไม่มีรู ทำให้มีความแข็งแรงสูง และป้องกันการดูดซึมน้ำได้ดี จึงเหมาะสำหรับใช้ทำผนังห้องน้ำ หรือบริเวณที่ต้องสัมผัสกับความชื้นหรือน้ำเป็นหลัก ข้อเสียของอิฐมอญคือ เนื่องจากเป็นการผลิตโดยใช้แรงงานคนเป็นหลักโดยเฉพาะการขึ้นรูปโดยใช้แรงงานคนอัดลงในแบบพิมพ์ ทำให้ขนาดที่ได้ไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจากมีขนาดไม่เท่ากัน นอกจากนั้นการขึ้นรูปโดยใช้แรงงานคนทำให้เกิดความล่าช้า และอัตราการผลิตต่อวันได้จำนวนน้อย



ภาพที่ 2.1 อิฐมอญ

2. อิฐดินเผา เป็นชื่อของอิฐที่มีลักษณะเหมือนกันอิฐมอญ แต่แตกต่างกันที่อิฐดินเผาขึ้นรูปด้วยเครื่องรีด ทำให้มีรูตรงกลาง จำนวนรูขึ้นอยู่กับหัวรีด ลักษณะจุดเด่นของอิฐดินเผาคือ มีความแข็งแรงและความหนาแน่นสูง นอกจากนั้นการผลิตด้วยเครื่องทำให้สามารถผลิตได้จำนวนมากในแต่ละวัน ขนาดจะได้มาตรฐาน ส่วนจุดด้อยของอิฐดินเผา เนื่องจากมีความหนาแน่นสูงส่งผลให้มีค่าการนำความร้อนสูงตามไปด้วยด้วย



ภาพที่ 2.2 อิฐดินเผา

3. อิฐประดับ เป็นลักษณะของอิฐดินเผาชนิดหนึ่งที่มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้สำหรับตกแต่งบ้าน โดยลักษณะจะมีความสวยงาม ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ชีงงานอิฐมีการตกแต่งตามความต้องการของลูกค้า สำหรับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะเหมือนกับอิฐดินเผาทั่วไป แต่การขึ้นรูปอาจใช้แบบพิมพ์ขึ้นรูปตามรูปแบบที่ต้องการ

4. อิฐโปร่ง เป็นลักษณะของอิฐดินเผาชนิดหนึ่ง ที่มีการเจาะรูตรงกลางให้ขนานกันไปตามยาว โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะมีลักษณะเหมือนกับอิฐดินเผาทั่วไป แต่จะไม่นิยมเติมทรายหรือแกลบ

5. อิฐทนไฟ เป็นลักษณะของอิฐดินเผาที่มีวัตถุประสงค์สำหรับใช้ลักษณะพิเศษ คือ ใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่น สำหรับทำผนังของเตา โดยการผลิตอิฐทนไฟจะใช้ดินที่มีส่วนผสมเป็นอลูมินา ค่อนข้างสูง เนื่องจากอะลูมินามีความเป็นฉนวนความร้อนที่ดี (Shimizu, 2013)

กระบวนการผลิตอิฐดินเผา

กระบวนการผลิตอิฐดินเผาโดยทั่วไปเป็นวิธีการที่มีการผลิตมาเป็นเวลายาวนาน โดยมีขั้นตอนในการผลิตได้แก่ (สุทัศน์ จันบัวลา, 2553)

1. การเตรียมวัตถุดิบ วัตถุดิบหลักในการผลิตอิฐดินเผา คือ ดินจากท้องถิ่น หรือดินบริเวณริมบึง ซึ่งมีส่วนประกอบหลักคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ และมีออกไซด์ของเหล็กเป็นส่วนประกอบที่ทำให้อิฐมีสีแดงหลังผ่านการเผา โดยดินจะถูกนำมาคัดแยกสิ่งเจือปนออกแล้วหมักในบ่อดินโดยใช้เวลา 2 - 3 วัน หรือบางครั้งอาจต้องมีการบดให้มีความละเอียดก่อนใช้งาน

2. การเติมวัตถุดิบตัวอื่นลงไปลงในดินเพื่อลดความเหนียวของดินให้สามารถขึ้นรูปได้ โดยวัตถุดิบที่เติมได้แก่ แกลบ หรือถ้าแกลบ 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 โดยถ้าใช้แกลบจะเผาโดยการเติมแกลบไปเรื่อย ๆ ใช้ระยะเวลาประมาณ 3 - 4 วัน จนกระทั่งอิฐสุกตัว และเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่จะนำอิฐออกจำหน่ายต่อไป



ภาพที่ 2.3 อิฐดินเผาที่ผ่านการขึ้นรูปโดยแบบพิมพ์



ภาพที่ 2.4 อิฐดินเผาที่ผ่านการขึ้นรูปโดยการรีด



ภาพที่ 2.5 การตากอิฐ

กระบวนการที่เกิดขึ้นในการเผาอิฐ

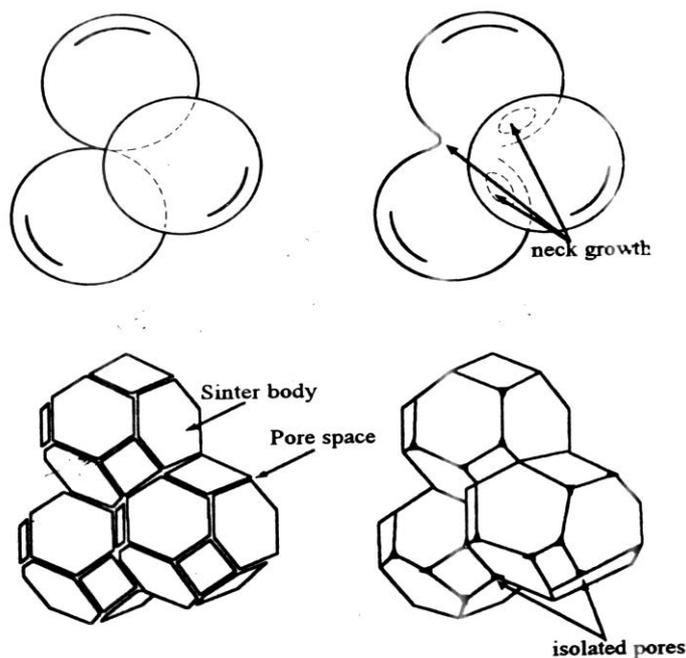
การเผาเซรามิกส์ หรืออิฐ อาจเรียกว่า การเผาอบผนึก (sintering) โดยขั้นตอนและกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างการเผาอิฐเป็นส่วนที่สำคัญ เนื่องจากการเผาเป็นขั้นตอนที่ทำให้ชิ้นงานอิฐเกิดความแข็งแรง มีความหนาแน่นสูง เพราะอนุภาคที่อยู่ในชิ้นงานอิฐเกิดการยึดเหนี่ยวกัน นอกจากนี้ในกระบวนการเผายังเป็นขั้นตอนที่กำหนดสมบัติอื่น ๆ ของอิฐ เช่น ความพรุนตัว ซึ่งส่งผลต่อการดูดกลืนน้ำ และการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ ดังนั้นการเข้าใจกระบวนการหรือปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างเผาจึงเป็นสิ่งสำคัญไม่น้อยกว่าการศึกษาวัสดุดิบที่ใช้ในการผลิต

สำหรับกลไกที่เกิดขึ้นในระหว่างเผาแบ่งอิฐ แบ่งได้ 3 ขั้นตอน คือ (Kingery, 1991)

1. ขั้นตอนเริ่มต้น (initial stage) ขั้นตอนที่จะเป็นขั้นตอนแรกของการเผา โดยในขั้นตอนนี้ อนุภาคจะเริ่มขยับตัวเพื่อให้มีจุดสัมผัสกับอนุภาคที่อยู่รอบ ๆ ข้างให้มากที่สุด หลังจากนั้นก็จะเริ่มเกิดรอยต่อระหว่างอนุภาค

2. ขั้นตอนกลาง (intermediate stage) หลังจากทีอนุภาคมีการขยับเพื่อเชื่อมต่อกันแล้วในขั้นตอนต่อมา รอยต่อระหว่างอนุภาคที่มาเชื่อมกันจะโตขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานมีการหดตัว และช่องว่างหรือรูพรุนที่เชื่อมต่อระหว่างอนุภาคจะลดลง โดยขั้นตอนนี้อนุภาคจะเริ่มเคลื่อนที่เข้าหากันเพื่อยึดเหนี่ยวกัน

3. ขั้นตอนสุดท้าย (final stage) เป็นขั้นตอนที่ช่องว่างเริ่มเคลื่อนตัวออกจากชิ้นงานอิฐ โดยขนาดของเกรนจะโตขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกรนที่มีขนาดเล็กจะถูกเกรนที่มีขนาดใหญ่กลืนให้เข้ามาเป็นเกรนเดียวกัน ขั้นตอนนี้จะเริ่มต้นจากการที่รูพรุนเริ่มเคลื่อนที่ออกไปจากชิ้นงาน โดยขั้นตอนนี้เกิดขึ้นในกระบวนการเผา แสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนในการเกิดกระบวนการเผา (a) ขั้นตอนเริ่มต้น (b) และ (c) ขั้นตอนกลาง (d) ขั้นตอนสุดท้าย

การเกิดเฟสในระหว่างการเผาอินทรีย์

การเกิดเฟสในระหว่างการเผาอินทรีย์ เป็นกระบวนการสำคัญที่ส่งผลให้ชิ้นงานอินทรีย์มีความแข็งแรงมากขึ้น ทั้งนี้ในกระบวนการเผามีเฟสที่เกิดขึ้น 2 เฟส ได้แก่ เฟสของแข็ง และเฟสของเหลว โดยลักษณะของเฟสที่เกิดขึ้นได้แก่ (Michel, 1997)

1. การเกิดเฟสของเหลวขณะเผา (liquid phase sintering)

การเกิดเฟสของเหลวขณะเผา คือ ลักษณะของการเผาที่มีเนื้อสารบางส่วนหรือทั้งหมดอยู่ในสภาพของเหลว ข้อดีของเฟสของเหลวคือ ทำให้อนุภาคของชิ้นงานที่เผาเกิดการเชื่อมต่อกันได้ง่าย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคเพื่อเชื่อมต่อกันเกิดได้ง่ายขึ้น ดังนั้นชิ้นงานที่มีการเกิดเฟสของเหลวในระหว่างเผามาก จึงทำให้กระบวนการเผาเกิดได้ง่ายขึ้น แต่มีข้อเสียคือ เฟสของเหลวที่เกิดขึ้นถ้ามีมากเกินไปชิ้นงานจะหดตัวสูง และความแข็งแรงอาจลดลงได้ สำหรับขั้นตอนการเกิดเฟสของเหลวขณะเผานั้นมี 3 ขั้นตอน ได้แก่

1.1 การเกิดเฟสของเหลว (liquid formation) ในขั้นตอนนี้อนุภาคบางส่วน ที่ปกติเป็นของแข็งจะเริ่มฟอร์มตัวเป็นของเหลว โดยทั่วไปจะเป็นอนุภาคของธาตุที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ เช่น ธาตุอัลคาไล

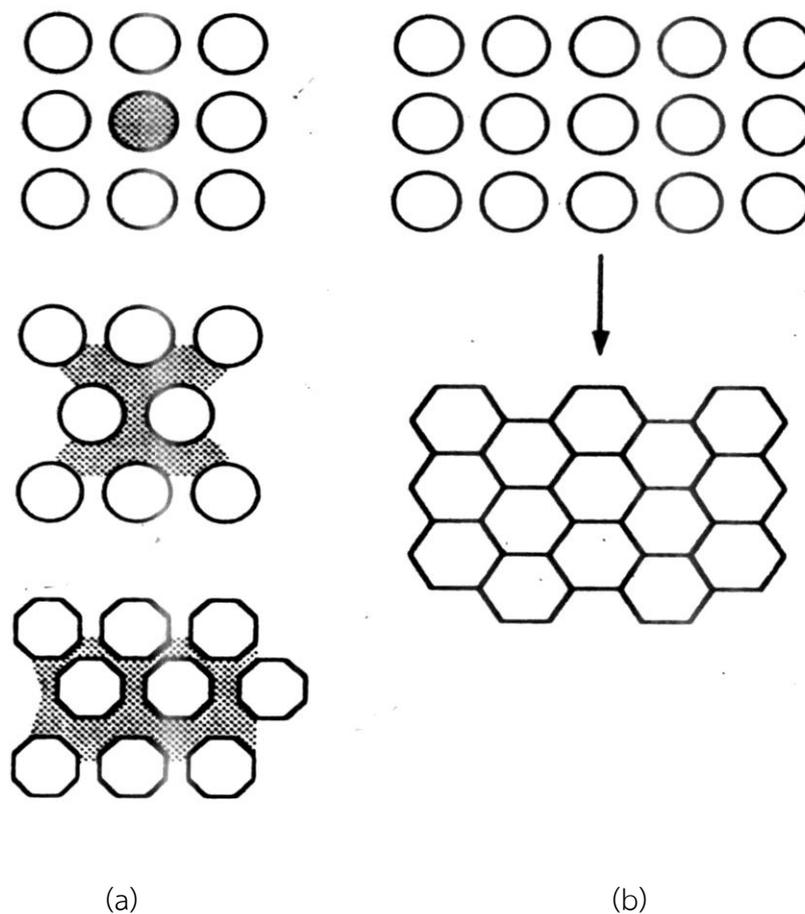
1.2 การเรียงตัวกันของอนุภาค (particle rearrangement) สำหรับในขั้นตอนนี้เฟสของเหลวที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรก จะช่วยทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นทำให้อนุภาคสามารถเคลื่อนที่จัดเรียงตัวใหม่ได้อย่างรวดเร็วขึ้น

1.3 การตกผลึกของสารละลาย (solution reprecipitation) เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่เฟสของเหลวทำหน้าที่ทำให้อนุภาคเชื่อมต่อกันได้ง่ายขึ้นจะตกผลึก จนกระทั่งกลายเป็นของแข็ง

2. การเกิดเฟสของแข็งขณะเผา (solid state sintering)

ลักษณะของการเกิดเฟสของแข็งระหว่างเผานั้น อนุภาคทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเฟสของแข็งบางส่วน หรือทั้งหมด โดยกระบวนการที่ทำให้เกิดการเชื่อมต่อนี้จะเกิดจากการแพร่ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างพลังงานบนพื้นผิวของอนุภาค โดยจะมีการแพร่ในลักษณะหลายบริเวณ เช่นการแพร่ที่บริเวณพื้นผิว ที่บริเวณขอบเกรน หรือการแพร่ของแลตติซ เป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการเกิดเฟสของเหลวขณะเผากับการเกิดเฟสของแข็ง แสดงดังภาพที่ 2.7



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

สมบัติของอิฐดินเผา

สมบัติที่สำคัญที่มีผลต่อการใช้งานของอิฐดินเผาได้แก่

1. **ความหนาแน่น** ความหนาแน่นของอิฐดินเผาเป็นสมบัติพื้นฐานที่จะกำหนดสมบัติอื่น ๆ เช่น ความแข็งแรง ความสามารถในการดูดซึมน้ำ การนำความร้อน โดยทั่วไปอิฐที่มีความหนาแน่นสูงจะมีความแข็งแรงสูงและมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำ แต่จะมีค่าการนำความร้อนที่สูงตามไปด้วย ดังนั้นการออกแบบอิฐให้มีความหนาแน่นที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้การที่อิฐมีความหนาแน่นสูงจะส่งผลให้น้ำหนักของอิฐมากตามไปด้วย

2. **ความต้านทานแรงอัด** โดยทั่วไปการใช้งานอิฐดินเผาจะต้องใช้รับแรงกดที่เกิดจากน้ำหนักของวัสดุก่อสร้างเป็นหลัก ดังนั้นการกำหนดความแข็งแรงของอิฐมักจะกำหนดในรูปของค่าการต้านทานแรงอัด โดยอิฐที่ดีจะต้องมีค่าการต้านทานแรงอัดที่สูงซึ่งจะทำให้มีความแข็งแรงสูง

3. **การดูดซึมน้ำ** ค่าการดูดซึมน้ำเป็นสมบัติที่สำคัญของอิฐดินเผาในการป้องกันการดูดซึมน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้งานหลักของอิฐ คือ ใช้เป็นผนังสำหรับป้องกันฝนด้วย ดังนั้นอิฐดินเผาควรมีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำ

4. การนำความร้อน การนำความร้อนคือ ค่าความสามารถในการส่งผ่านความร้อนของวัสดุ ทั้งนี้อิฐดินเผาที่จำเป็นต้องมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำ เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารเข้าสู่ตัวอาคาร

5. การหดตัว การหดตัวคือ สมบัติของอิฐเมื่อได้รับความร้อน จะมีการลดขนาดเพื่อให้ความแข็งแรงมากขึ้น ทั้งนี้การหดตัวมีทั้งการหดตัวหลังแห้งเนื่องจากชั้นงานอิฐสูญเสียน้ำจากการระเหย และการหดตัวหลังเผา โดยการหดตัวมีความสำคัญ เนื่องจากชั้นงานที่หดตัวมากอาจทำให้เกิดการแตกหักเสียหายได้

6. ความพรุนตัว ความพรุนตัว คือ สมบัติของชั้นงานอิฐที่เกิดเนื่องจากภายในมีรูพรุนเกิดขึ้น ความพรุนตัวมีผลต่อสมบัติอื่นของชั้นงาน เช่น ความหนาแน่น ความแข็งแรง การนำความร้อน

มาตรฐานอุตสาหกรรมของอิฐดินเผา

อิฐดินเผามีการกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรม เรียกว่า มาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐสามัญ (มอก.77 - 2545) โดยมีรายละเอียดคือ

การจำแนกผลิตภัณฑ์ ตามชั้น และขนาด ตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจำแนกผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาตามชั้นคุณภาพ และขนาด (Thailand Industrial Standard Institute, 2547)

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

ตารางที่ 2.2 ความต้านทานแรงอัดและค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินเผา (Thailand Industrial Standard Institute, 2547)

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

อิฐมวลเบา

อิฐมวลเบาหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า คอนกรีตบล็อกมวลเบา คือ วัสดุก่อสร้างที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยลักษณะการใช้งานจะเหมือนกับอิฐดินเผา อิฐมวลเบาผลิตจากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย ปูนขาว ยิปซั่ม และสารกระจายตัวที่ทำให้เกิดฟองน้ำ แล้วอบด้วยไอน้ำภายใต้ความดันสูง ทำให้เกิดรูพรุนปิดขนาดเล็ก ๆ จำนวนมากกระจายตัวอยู่ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ สมบัติที่สำคัญของอิฐมวลเบาที่มาทดแทนหรืออุดช่องว่างของอิฐดินเผา คือ การมีน้ำหนักต่อหน่วยหรือมีความหนาแน่นน้อย เนื่องจากมีความพรุนตัว ทำให้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีกว่าอิฐดินเผา มีขนาดใหญ่กว่าอิฐดินเผาส่งผลให้ใช้เวลาในการก่อสร้างได้เร็วขึ้น



ภาพที่ 2.8 อิฐมวลเบา

มาตรฐานอุตสาหกรรมอิฐมวลเบา

อิฐดินมวลเบาได้ถูกกำหนดให้มีมาตรฐานอุตสาหกรรม เรียกมาตรฐานคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ โดยมีการแบ่งชนิด และสมบัติ ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การแบ่งชนิดและสมบัติของอิฐบล็อกมวลเบา (มอก 2601 – 2556)

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

ในส่วนของคุณาอธิบฐลือกมวลเบาไดกําหนดขนาดที่เปนไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ขนาดของอธิบฐลือกมวลเบา

ความยาว	ความสูง	ความหนา
200	300	เปนไปตามที่ผลากกําหนด
	400	
	500	
	600	

อธิบฐดินเผาอมวลเบา

จากจุดด้อยของอธิบฐดินเผา จึงได้มีการพัฒนาอธิบฐดินเผาชนิดใหม่ให้มีน้ำหนักหรือความหนาแน่นลดลง โดยการเพิ่มความพรุนตัวใหกับอธิบฐดินเผา โดยอธิบฐดินเผาชนิดใหม่ที่พัฒนาขึ้นเรียกวาอธิบฐดินเผาอมวลเบา สําหรับแนวทางในการพัฒนาผลิถณภณอธิบฐดินเผาใหเปนอธิบฐดินเผาอมวลเบาทำได้โดยการเติมสารหรือวัตถุบิที่ทําใหเกิดความพรุนตัวในเนื้อของอธิบฐดินเผาได้แก (สุทศน์ จันบัวลา, 2558)

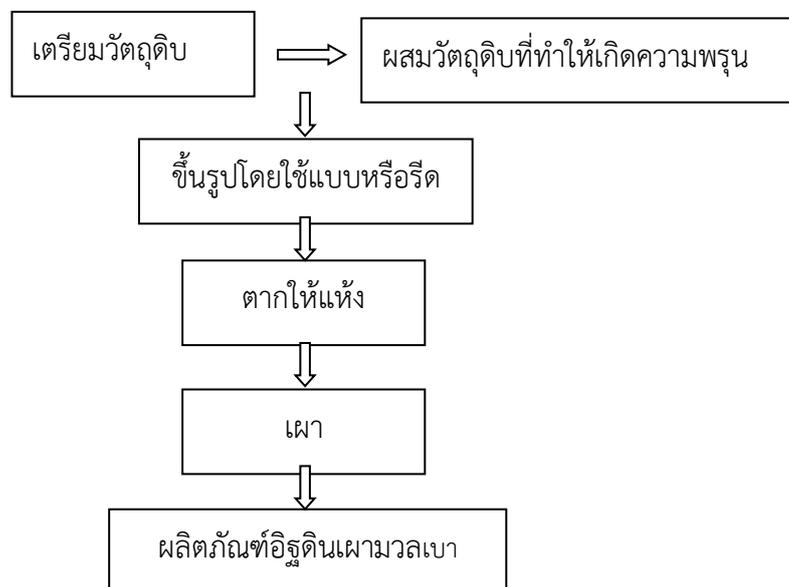
1. การใช้สารอินทรีย์หรือวัตถุบิที่เหลือใช้ทางการเกษตร หรือกากตะกอนจากโรงงานอุตสาหกรรมมาเติมในวัตถุบิหลักที่ใช้ในการผลิถ ข้อดีของวิธีนี้คือ เนื่องจากกากตะกอนหรือสิ่งทีเหลือจากการผลิถในอุตสาหกรรมเกษตรมีเป็นจำนวนมากเป็นของเหลือ (waste) จึงเป็นการนำของเสียที่ต้องกำจัดทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมไปตัวอีกด้วย หลักการของการทําใหเกิดความพรุนตัวจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเผาผลิถภณอธิบฐดินเผาใหอินทรีย์สารที่เป็นส่วนประกอบหลักของวัตถุบิกลุ่มนี้เกิดการสลายตัว (decomposition) ออกจากเนื้อดินเผา ส่งผลให้เกิดรูพรุนเป็นจำนวนมากในเนื้อของดินเผา ตัวอย่างของวัตถุบิที่ใช้ได้แก แกลบ ถั่วแกลบ เปลือกของเมล็ดทานตะวัน ของเหลือจากโรงงานยาสูบ กากตะกอนจากโรงผลิถน้ำประปา ตะกอนจากโรงงานผลิถกระดาษ เป็นต้น

2. การใช้สารอินทรีย์ที่ทําใหเกิดความพรุนตัวเนื่องจากการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างกระบวนการเผาจากการทําปฏิกิริยาของธาตุแคลเซียมคาร์บอเนต เติมลงในวัตถุบิหลัก ซึ่งจะส่งผลใหเกิดความพรุนตัวในเนื้อผลิถภณอธิบฐดินเผา ตัวอย่างของวัตถุบิที่ใช้เติมได้แก ผงหินจากหินอ่อน (marble) ของเหลือจากการผลิถแก้ว ของเหลือจากกระบวนการผลิถกรดฟอสเฟอริก (phosphoric acid) เป็นต้น



ภาพที่ 2.9 อิฐดินเผามวลเบา

สำหรับกระบวนการผลิตอิฐดินเผามวลเบาจะมีขั้นตอนการผลิตเหมือนกับการผลิตอิฐดินเผาธรรมดาโดยสามารถใช้อุปกรณ์และวิธีการผลิตเหมือนกับกระบวนการผลิตอิฐดินเผาได้เลย แต่อาจจะเพิ่มขั้นตอนในส่วนของการผสมวัตถุดิบที่ทำให้เกิดรูพรุนหลังเผาเข้าไปนั่นเอง โดยกระบวนการผลิตอิฐดินเผามวลเบาแสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 ขั้นตอนการผลิตอิฐดินเผามวลเบา

จุดเด่นของของอิฐดินเผามวลเบา นั่นคือ การมีสมบัติอยู่กึ่งกลางระหว่างผลิตภัณฑ์อิฐดินเผา กับอิฐมวลเบาที่มีการผลิตจริงในประเทศ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของอิฐดินเผาและอิฐมวลเบา กำหนด โดยเมื่อเปรียบเทียบสมบัติของอิฐทั้ง 3 ชนิด แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบสมบัติของอิฐดินเผา อิฐมวลเบา และอิฐดินเผามวลเบา

สมบัติ/ชนิดอิฐ	อิฐดินเผา	อิฐมวลเบา	อิฐดินเผามวลเบา
ความหนาแน่น (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

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศ เกษตรกรรม โดยเฉพาะการปลูกข้าว และอ้อย ที่มีเป็นจำนวนมาก ทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางการเกษตร ของพืชในกลุ่มนี้เป็นจำนวนมาก

ขานอ้อย (bagasse)

ขานอ้อย คือ ซีวมวลที่เหลือจากการเกษตร ซึ่งเป็นวัสดุที่เกิดจากการผ่านกระบวนการเพื่อเอาส่วนประกอบที่เป็นน้ำออกจากลำต้นของอ้อย ทำให้เหลือกากของต้นอ้อยที่ส่วนประกอบหลักเป็นไฟเบอร์ขานอ้อยนับว่าเป็นกากของเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ที่มีเป็นจำนวนมากในหลายประเทศได้แก่ บราซิล อินเดีย จีน ไทย 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 (Punsuvon, 2001; Phonsaen, K, 2012; คณะกรรมการจัดทำโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2559)

การใช้ประโยชน์จากขานอ้อย

ปัจจุบันมีการนำขานอ้อยไปใช้ประโยชน์ได้แก่

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยทั่วไปการใช้ประโยชน์หลักของขานอ้อย คือ ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งโรงงานน้ำตาลจะมีการนำขานอ้อยที่เหลือจากการผลิตน้ำตาลมาหมუნเวียนใช้ในโรงงานโดยการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าหมუნเวียนใช้ในโรงงาน

2. ใช้ผลิตเป็นวัสดุก่อสร้าง โดยการอัดเป็นแผ่น ทั้งนี้เนื่องจากขานอ้อยมีไฟเบอร์สูงจึงเหมาะสำหรับอัดเป็นแผ่นโดยใช้กาวประสาน เพื่อเป็นแผ่นผนังสำหรับก่อสร้าง โดยผนังที่ทำจากขานอ้อยมีลักษณะพิเศษคือ เป็นฉนวนเสียงได้เป็นอย่างดี

3. ใช้ผลิตเป็นกระดาษ เนื่องจากชานอ้อยมีลักษณะเป็นไฟเบอร์ จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้งานโดยการอัดเป็นแผ่นอยู่ในรูปของกระดาษชานอ้อย

4. ใช้เป็นปุ๋ย และวัสดุคลุมดิน เนื่องจากชานอ้อยเป็นวัสดุชีวมวลที่มีส่วนประกอบบางส่วนเป็นน้ำตาลซึ่งสามารถย่อยสลายได้ดี จึงเหมาะสำหรับทำปุ๋ยสำหรับพืชได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 2.11 ชานอ้อย

เถ้าชานอ้อย (bagasse ash)

เถ้าชานอ้อยคือ ส่วนประกอบที่เหลือจากการเผาไหม้ชานอ้อย เมื่อชานอ้อยมีการเผาไหม้จะเหลือเถ้าอยู่ประมาณร้อยละ 1 - 4 โดยชานอ้อยเมื่อเผาไหม้เป็นเถ้าชานอ้อยแล้ว จะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิคอนไดออกไซด์ ประมาณร้อยละ 55 - 70 มีความหนาแน่นประมาณ 1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Chennakesava Rao, 2015) เถ้าชานอ้อยนับว่าเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีเป็นจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่จะเป็นเถ้าชานอ้อยที่เหลือจากการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากเถ้าชานอ้อยยังมีไม่มากเท่าที่ควร ส่วนใหญ่จะใช้ประโยชน์ในเรื่องของการเป็นปุ๋ย หรือวัสดุสำหรับปลูกพืช และจะมีบางส่วนที่มีการนำไปใช้สำหรับเป็นส่วนผสมของซีเมนต์ (อรรคเดช ฤกษ์พิบูลย์, 2551) ส่วนผสมของกลาสเซรามิกส์ (Teixeira, 2014) การสกัดเอาซิลิกา (พัชรินทร์ วรธนกุล, 2010)



ภาพที่ 2.12 แ่้าชานอ้อย

แกลบ (rice husk)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการปลูกข้าวมากเป็นอันดับ 6 ของโลก โดยประเทศที่มีการปลูกข้าวมากที่สุดคือ จีน รองลงมาคือ อินเดีย อย่างไรก็ตามประเทศไทยนับเป็นประเทศที่มีการส่งออกข้าวมากที่สุดในโลก (สมพร อิศวิลานนท์, 2557) ในกระบวนการผลิตข้าวเมื่อได้ข้าวเปลือกมาจะต้องสีข้าวเพื่อเอาเปลือกข้าวออกให้เหลือเฉพาะเม็ดข้าว หรือที่เราเรียกว่า ข้าวสาร โดยมีสิ่งที่เหลือทิ้งจากการสีข้าว นั่นก็คือ เปลือกของเม็ดข้าว เรียกว่า แกลบข้าว (rice husk) นั่นเอง แกลบข้าวหรือที่เรียกสั้น ๆ ว่าแกลบ คือ ส่วนที่เหลือทิ้งจากการผลิตข้าวสาร และมีเป็นจำนวนมากในประเทศไทย ในอดีตแกลบข้าว นับว่าเป็นของเหลือทิ้งที่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ แต่สำหรับปัจจุบันแกลบจัดเป็นวัสดุชีวมวลที่สำคัญ ใช้เป็นเชื้อเพลิง และใช้ในการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าชีวมวล กระบวนการเผาแกลบจะทำให้เกิดของเหลือทิ้งเป็นมีลักษณะเป็นสีขาว หรือสีดำ เรียกว่า แ่้าแกลบ



ภาพที่ 2.13 แกลบ

สำหรับการใช้ประโยชน์ของแกลบในปัจจุบันมีเป็นจำนวนมาก ได้แก่

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

แกลบ (rice husk ash)

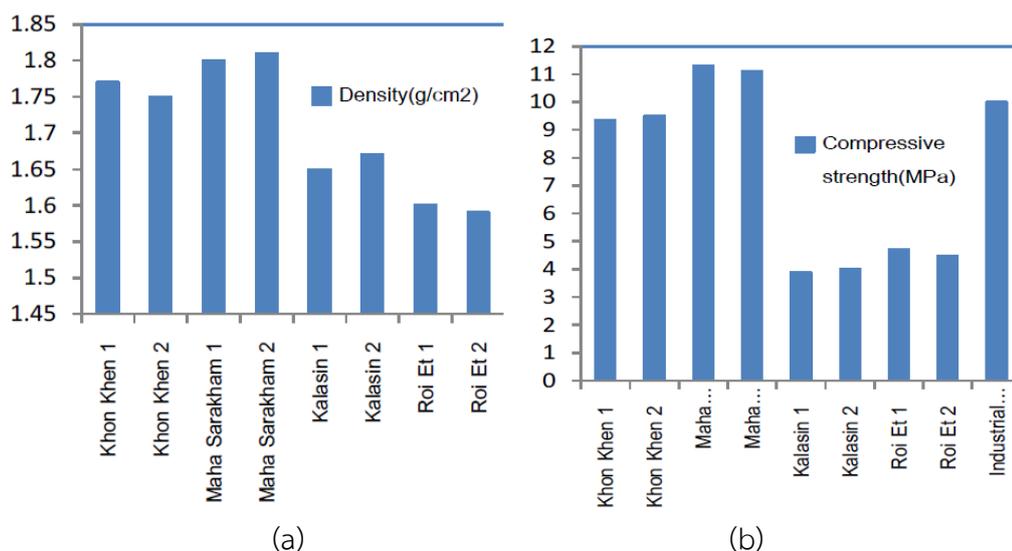
แกลบคือ วัสดุที่เหลือจากการเผาไม้แกลบ มีลักษณะเป็นอนุภาคสีขาวเทา ถึงดำ (ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการเผาไหม้) โดยเมื่อเผาแกลบจะมีส่วนที่เหลือเป็นเถ้าประมาณร้อยละ 20 แกลบมีส่วนประกอบหลักคือ ซิลิคอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 80 - 90 ปัจจุบันแกลบกำลังเป็นปัญหาสำคัญสำหรับโรงสีและโรงไฟฟ้าที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากยังไม่มี การนำไปใช้ประโยชน์เท่าที่ควร ที่ผ่านมามีการศึกษาเพื่อนำแกลบไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น ใช้เป็นปุ๋ย ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงคอนกรีต หรือใช้ในการสกัดเอาสารซิลิกา เป็นต้น (Gabriel, 2016; Mohseni, 2016) อย่างไรก็ตาม ยังมีแกลบที่เหลือจากการใช้ประโยชน์อยู่เป็นจำนวนมาก จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแกลบพบว่า มีปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 70 - 90% แกลบมีความพรุนตัวสูงมีน้ำหนักเบา มีพื้นที่ผิวมากมีสมบัติดูดซับได้ดีและมีสมบัติเป็นฉนวนด้วย (Mansaray, 1998)



ภาพที่ 2.14 แกลบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

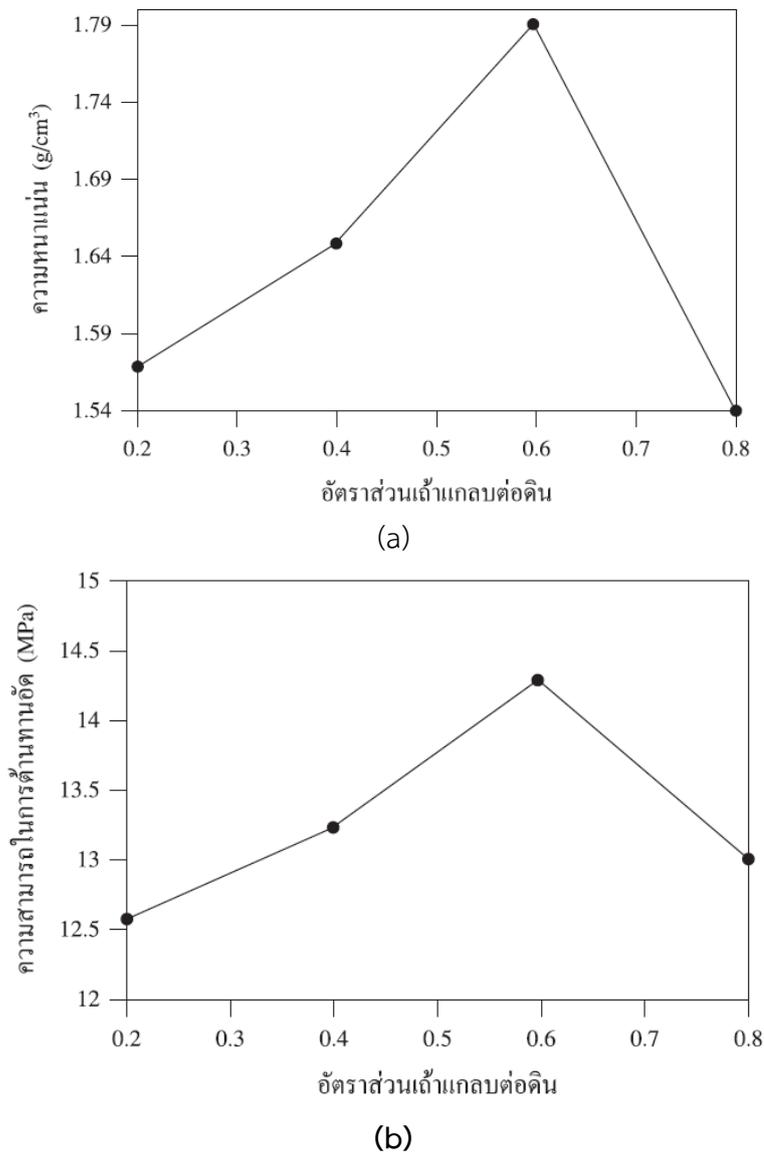
สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ (สุทัศน์ จันบัวลา, 2554) ได้ศึกษาสมบัติของอิฐดินเผาที่ผลิตในเขตจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น มหาสารคาม ร้อยเอ็ดและกาฬสินธุ์ โดยศึกษารูปแบบของผลิตภัณฑ์ ส่วนประกอบของวัตถุดิบ ความต้านทานแรงอัด ความหนาแน่น ร้อยละการดูดกลืนน้ำ ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบของอิฐมีลักษณะเหมือนกันคือ มีจำนวนร่องของอิฐ 2 ร่องและมีจำนวนรู 4 รู วัตถุดิบที่ใช้ผลิตคือ ดินจากท้องนาของทุกจังหวัดมีส่วนประกอบของธาตุหลักที่เหมือนกันคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ อะลูมิเนียมไดออกไซด์ และออกไซด์ของเหล็ก ความสามารถในการรับแรงอัดมีค่าแตกต่างกันโดยอิฐดินเผาจากมหาสารคามมีค่าสูงสุดเท่ากับ 11.30 เมกกะพาสคาล ส่วนที่จังหวัดกาฬสินธุ์มีค่าต่ำที่สุดคือ 3.88 เมกกะพาสคาล ร้อยละของการดูดซึมน้ำจังหวัดมหาสารคามมีค่าต่ำสุด และจังหวัดกาฬสินธุ์มีค่าสูงที่สุด โดยผลการศึกษแสดงดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b)

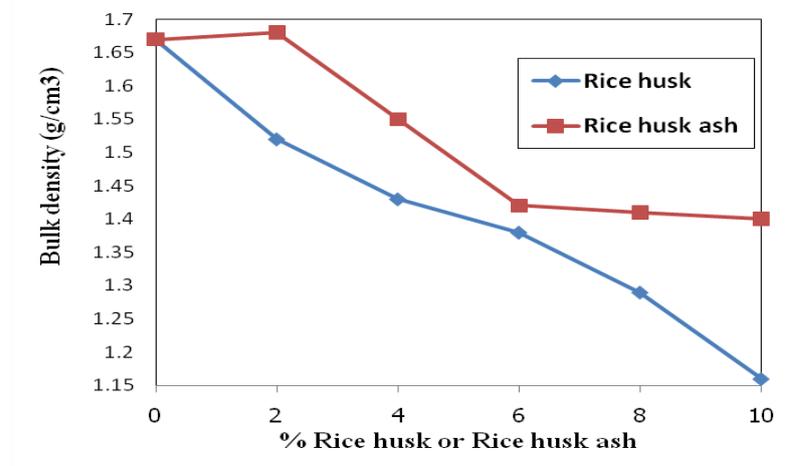
ตามการศึกษาของสุทัศน์ จันบัวลา

สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ (สุทัศน์ จันบัวลา, 2550) 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

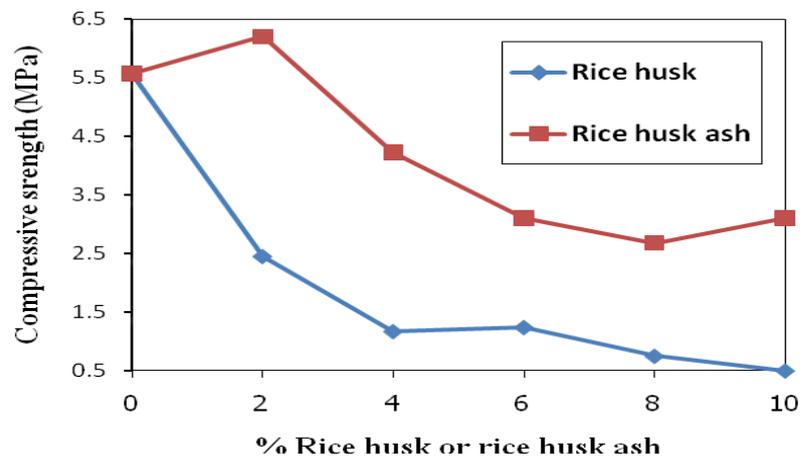


ภาพที่ 2.16 ความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b)
ตามการศึกษาของสุทัศน์ จันบัวลา

สุทัศน์ จันบัวลา และคณะ (Sutas, 2011) ได้ศึกษาผลของแก้วและแก้วเคลือบต่อสมบัติของอิฐดินเผา โดยการเติมแก้วเคลือบร้อยละ 2 - 10 โดยน้ำหนัก และเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า การเติม แก้วและแก้วเคลือบร้อยละ 2 ส่งผลให้ชิ้นงานอิฐดินเผามีความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด มากที่สุด และเมื่อเติมแก้ว หรือแก้วเคลือบมากกว่าร้อยละ 2 ชิ้นงานอิฐมีความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัด ลดลงตามปริมาณของแก้วเคลือบที่เติมลงไป เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแก้วกับแก้วเคลือบพบว่า ผลของแก้วส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัดลดลงมากกว่าการเติมแก้ว โดยผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 2.17



(a)

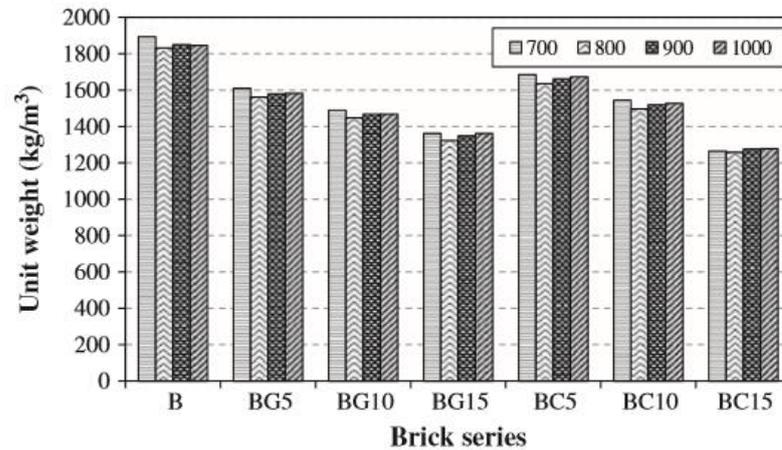


(b)

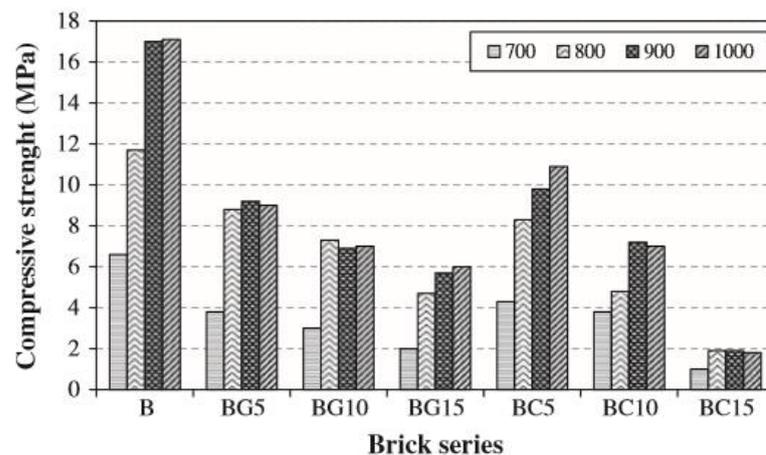
ภาพที่ 2.17 ผลของแกลบต่อความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ของอิฐ ตามผลการศึกษานี้ของสุทัศน์ จันบัวลา

Gorhan และคณะ (Gorhan, 2013) ได้ศึกษาผลของแกลบบดและแกลบไม่บดที่ส่งผลต่อสมบัติของอิฐดินเผา โดยใช้แกลบที่ไม่ได้บด และแกลบที่บดให้ได้ขนาดอนุภาค 1 มิลลิเมตร เติมลงในวัสดุหลักคือ ดินเหนียว ร้อยละ 5 - 15 โดยปริมาตร และเผาที่อุณหภูมิ 700 - 800 องศาเซลเซียส ผลการศึกษานี้พบว่า ผลของการเติมแกลบส่งผลให้ความพรุนตัวของอิฐดินเผาเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนาแน่นและความแข็งแรงลดลง โดยชิ้นงานที่เติมแกลบบดจะมีความหนาแน่นและความแข็งแรงน้อยกว่าชิ้นงานที่เติมแกลบที่ไม่ได้บด ยกเว้นที่ปริมาณแกลบร้อยละ 15 ชิ้นงานที่เติมแกลบไม่บดจะมีความหนาแน่นและความแข็งแรงน้อยกว่าชิ้นงานที่เติมแกลบบด ในขณะที่การดูดซึมน้ำและความพรุนตัวของชิ้นงานที่เติมแกลบบดจะมีค่ามากกว่าชิ้นงานที่เติมแกลบไม่ได้บด ยกเว้นที่ปริมาณร้อยละ 15 ชิ้นงานที่เติมแกลบบดจะมีการดูดซึมน้ำและความพรุนตัวน้อยกว่าชิ้นงานที่เติมแกลบไม่บด ในส่วนของการนำความร้อนการเติมแกลบส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐลดลง โดยอิฐที่เติมแกลบไม่บดจะมีค่าการนำความร้อนมากกว่าอิฐที่เติมแกลบบด เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่

เติมปริมาณแกลบที่เท่ากันเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาสูงขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นและความแข็งแรงสูงขึ้น ในขณะที่ความพรุนตัวและการดูดซึมน้ำลดลง ในขณะที่ผลของการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐสูงขึ้นตามไปด้วย โดยผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 2.18



(a)



(b)

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

Demirl และคณะ (Demil, 2005) ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์เยื่อกระดาษที่เหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษซึ่งมีไฟเบอร์เป็นส่วนประกอบหลักมาใช้เป็นส่วนผสมของอิฐดินเผา โดยใช้เยื่อกระดาษผสมลงไปในวัตถุดิบหลักคือ ดินเหนียวตั้งแต่ร้อยละ 2.5 - 10 ขึ้นรูปด้วยวิธีการรีด ให้ชิ้นงานมีขนาด $25 \times 25 \times 150$ มิลลิเมตร เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ 2 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 600 องศาเซลเซียส จากนั้นเพิ่มอัตราการเผาเป็น 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งถึง 900 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 30 นาที ผลการวิจัยพบว่า การเติมเยื่อกระดาษส่งผลให้สภาพความเหนียว หรือสภาพพลาสติกของดินลดลงเนื่องจากเยื่อกระดาษดูดซึมน้ำได้ดี ค่าน้ำหนักสูญหายเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 8.9 เมื่อไม่ได้เติมเยื่อกระดาษเป็นร้อยละ 18.25 เมื่อเติม

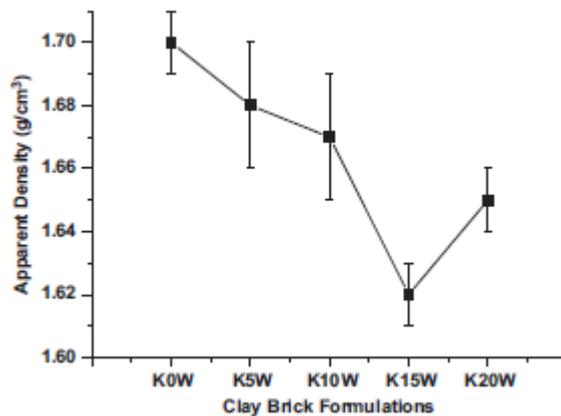
เยื่อกระดาษร้อยละ 10 เยื่อกระดาษส่งผลให้ชิ้นงานอิฐดินเผามีความพรุนตัวเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเติมเยื่อกระดาษร้อยละ 10 โดยมีความพรุนตัวเท่ากับร้อยละ 52 และความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงถึงร้อยละ 37.14 ในขณะที่ความหนาแน่นลดลงเหลือ 1.40 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การเติมเยื่อกระดาษส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดของชิ้นงานลดลงจาก 15.5 เมกะพาสคัล เมื่อไม่ได้เติมเยื่อกระดาษเหลือ 9.5 เมกะพาสคัล เมื่อเติมเยื่อกระดาษลงไปร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ผลการวิจัยของ Demirl

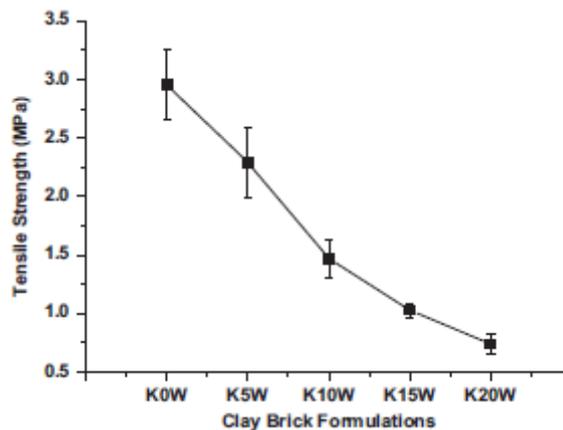
Mechanical properties	Sample series			
	A	B	C	D
Apparent porosity (%)	30	35	41	52
Bulk density (gr/cm ³)	1.82	1.49	1.43	1.40
Apparent density (gr/cm ³)	2.42	1.96	1.85	1.80
Water absorption (%)	14.46	23.47	28.66	37.14
Compressive strength ^a (kg/cm ²)	155	128	112	95

Bories และคณะ (Bories, 2015) ได้ศึกษาการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้แก่ ฟางข้าว สาลี 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 เมื่อเติมเปลือกเมล็ดทานตะวันบดที่มีขนาด 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 มิลลิเมตรร้อยละ 8 ในขณะที่ค่าการนำความร้อนน้อยที่สุดเท่ากับ 0.2 เมื่อเติมเปลือกเมล็ดทานตะวันร้อยละ 4 และมีค่ามากที่สุด 0.32 วัตต์ต่อเมตร - เคลวิน เมื่อเติมฟางข้าวบดที่มีขนาด 5 มิลลิเมตรร้อยละ 4

Faria และคณะ (Faria, 2012) ได้ศึกษาผลของเถ้าขานอ้อยต่อสมบัติของอิฐดินเผา โดยเติมเถ้าขานอ้อยลงไปร้อยละ 5 - 20 โดยน้ำหนักขึ้นรูปโดยวิธีอัดแบบด้วยความดัน 25 เมกะพาสคัลได้ชิ้นงานทดสอบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า ส่วนประกอบหลักของเถ้าขานอ้อยคือ ซิลิการ้อยละ 61.59 และมีออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) เท่ากับ ร้อยละ 7.36 การเติมเถ้าขานอ้อยส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีการหดตัวและความแข็งแรงลดลงตามปริมาณเถ้าขานอ้อยที่เติมลงไป โดยชิ้นงานมีความแข็งแรงน้อยที่สุดเมื่อเติมเถ้าขานอ้อยร้อยละ 15 ในขณะที่ความหนาแน่นมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 1.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 25.55 เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างจุลภาคพบว่า การเติมเถ้าขานอ้อยส่งผลให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวมากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ความแข็งแรงลดลงไปด้วย ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 2.19



(a)

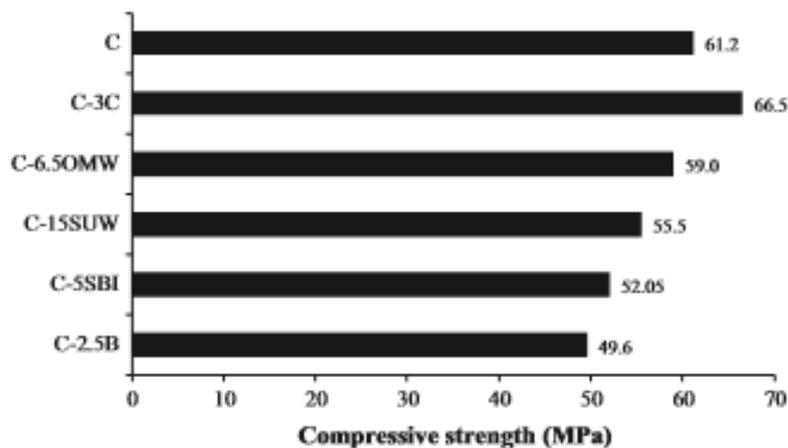


(b)

ภาพที่ 2.19 ผลของแกลบต่อความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ของอิฐตามผลการศึกษาของ Faria

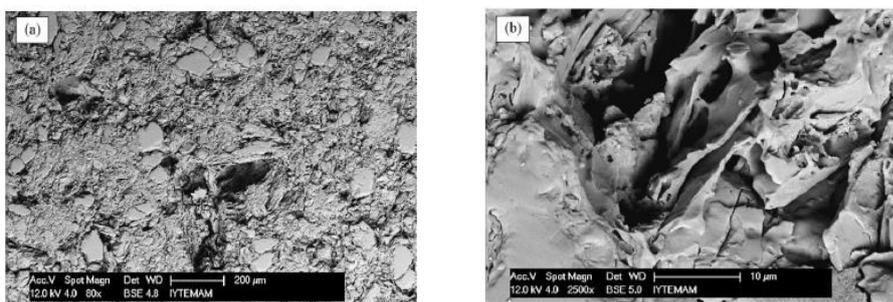
Demirl (Demirl , 2008) ได้ศึกษาผลของชีวมวลที่มีจำนวนมากในตุรกีได้แก่ ชีวเสี้ยว กากของเหลือจากการผลิตยาสูบ และหญ้า โดยผสมชีวมวลลงในวัสดุหลักคือ ดินเหนียวในอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 0, 2.5, 5, และ 10 ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบขนาด $75 \times 40 \times 100$ มิลลิเมตรโดยการรีดปล่อยให้แห้ง 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นอบในเตาอบอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที โดยอัตราการเผา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที ถึง 600 องศาเซลเซียส และ 4 องศาเซลเซียสต่อนาที ถึง 900 องศาเซลเซียสผลการวิจัยพบว่า การเติมชีวมวลส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวมากขึ้น โดยการหดตัวของชิ้นงานที่เติมชีวมวลทั้งสามชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ความหนาแน่นและความแข็งแรงลดลงมากที่สุด เมื่อเติมชีวมวลลงไปร้อยละ 10 โดยการเติมชีวะเสี้ยวส่งผลให้ความหนาแน่นต่ำสุดเท่ากับ 1.35 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและความแข็งแรงน้อยที่สุดเท่ากับ 8.15 เมกะพาสคัลเมื่อเติมของเหลือจากโรงงานยาสูบร้อยละ 10 ในขณะที่การเติม ชีวมวลส่งผลให้ชิ้นงานมีความพรุนตัว และการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณที่เติมลงไป โดยมีความพรุนตัวมากที่สุดเมื่อเติมชีวะเสี้ยวร้อยละ 10 เท่ากับร้อยละ 42.2 และการดูดซึมน้ำร้อยละ 31.25

Eliche-Quesada และคณะ (Eliche-Quesada, 2011) ได้ศึกษาผลของสิ่งเหลือใช้ได้แก่ กากตะกอนน้ำเสีย ชานอ้อย ตะกอนจากอุตสาหกรรมเบียร์ ตะกอนโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก และของเหลือจากการผลิตผงกาแฟต่อสมบัติของอิฐดินเผา โดยการบดให้ได้ขนาดเล็กลงกว่า 150 ไมโครเมตร ผสมในดินเหนียวในอัตราส่วนที่ต่างกันคือ กากตะกอนน้ำเสี้ยวร้อยละ 15 ชานอ้อยร้อยละ 2.5 ตะกอนจากอุตสาหกรรมเบียร์ ร้อยละ 2.5 ตะกอนโรงงานผลิตน้ำมันมะกอก ร้อยละ 3 และของเหลือจากการผลิตผงกาแฟร้อยละ 6.5 ขึ้นรูปให้มีขนาด $30 \times 10 \times 60$ มิลลิเมตร หลังชิ้นงานแห้งแล้วอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ผลการวิจัยพบว่า การเติมกากตะกอนส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงและความหนาแน่นลดลง โดยชิ้นงานที่เติมตะกอนน้ำเสียและกากตะกอนจากอุตสาหกรรมนม มีความหนาแน่นน้อยที่สุดเท่ากับ 1.11 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ชิ้นงานที่เติมชานอ้อยมีความแข็งแรงมากที่สุดเท่ากับ 26.5 เมกะพาสคัลนอกจากนั้นการเติมตะกอนยังส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความเป็นฉนวนความร้อนเพิ่มขึ้น โดยชิ้นงานที่มีความเป็นฉนวนความร้อนมากที่สุดคือ ชิ้นงานที่เติมชานอ้อย โดยมีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.142 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน ($W/m \cdot K$) โดยความต้านทานแรงอัดแสดงดังภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 ความต้านทานแรงอัดตามผลการวิจัยของ Eliche-Quesada

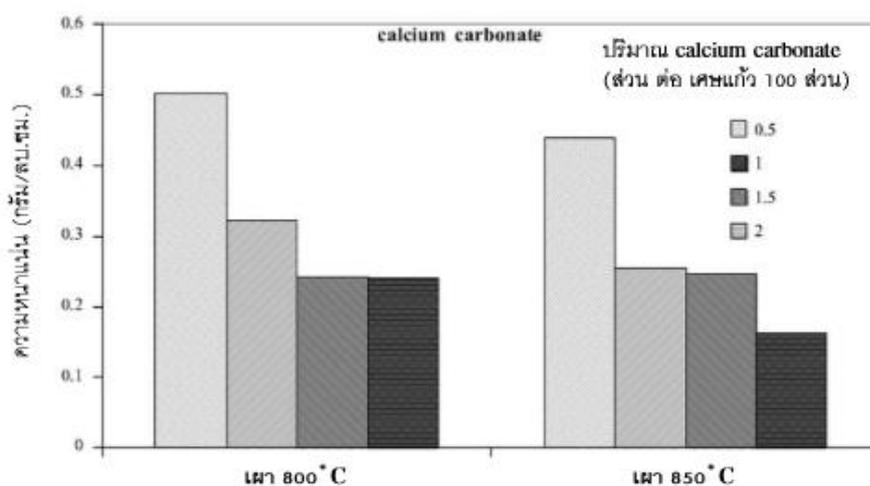
Sutcu และคณะ (Sutcu, 2015) ได้ทำการศึกษาค่าการลดการนำความร้อนของอิฐโดยใช้วัสดุที่เหลือจากการผลิตกระดาษ โดยผสมลงไปนดินร้อยละ 10, 20, 30 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปโดยการอัดด้วยความดัน 10 เมกะพาสคัลให้มีขนาด $85 \times 58 \times 10$ มิลลิเมตร เผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่า ส่วนประกอบหลักของตะกอนที่เหลือจากการผลิตกระดาษคือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 32.91 ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 6.42 การเติมกากตะกอนจากการผลิตกระดาษส่งผลให้ค่าการนำความร้อนลดลงจาก 0.83 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน (W/mK) เป็น 0.42 วัตต์ต่อเมตร - เคลวิน (W/mK) ที่การเติมกากตะกอนร้อยละ 30 โดยผลของการเติมกากตะกอนทำให้ความหนาแน่นลดลงจาก 1.82 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น 1.29 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ปริมาณร้อยละ 30 และความแข็งแรงของชิ้นงานลดลงจาก 40 เมกะพาสคัล เป็น 5.1 เมกะพาสคัลในขณะที่ความพรุนตัวและค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณวัสดุที่เหลือจากการผลิตเยื่อกระดาษที่เติมลงไป โดยโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานแสดงดังภาพที่ 2.21



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

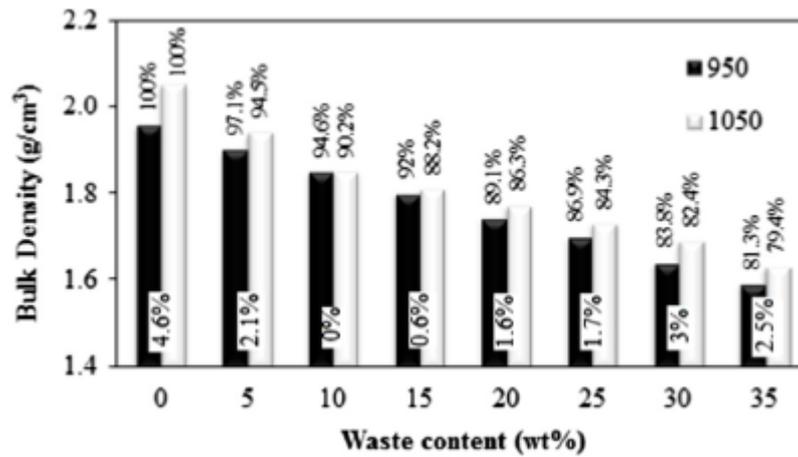
วรรณมา ต.แสงจันทร์ (วรรณมา ต.แสงจันทร์, 2552) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอิฐที่เป็นฉนวนความร้อน โดยนำเศษแก้วสีขาบดให้ละเอียด ผสมสารก่อฟองชนิดหิปูน หรือโคโลไมด์ ในอัตราส่วน 0.5 - 2.0 ส่วน ต่อเศษแก้ว 100 ส่วน

ขึ้นรูปแล้วเผาที่อุณหภูมิ 800 และ 850 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่า เศษแก้วสามารถนำมาทำเป็นอิฐมวลเบาได้ โดยผสม สารก่อฟองชนิดหินปูน 1 ส่วนหรือโดโลไมต์ 1.5 ส่วนต่อ เศษแก้วบดละเอียด 100 ส่วน และใช้โซเดียมซิลิเกตเป็น สารเชื่อมประสาน เพื่อช่วยในการขึ้นรูปให้เป็นก้อน อิฐเผาที่อุณหภูมิ 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

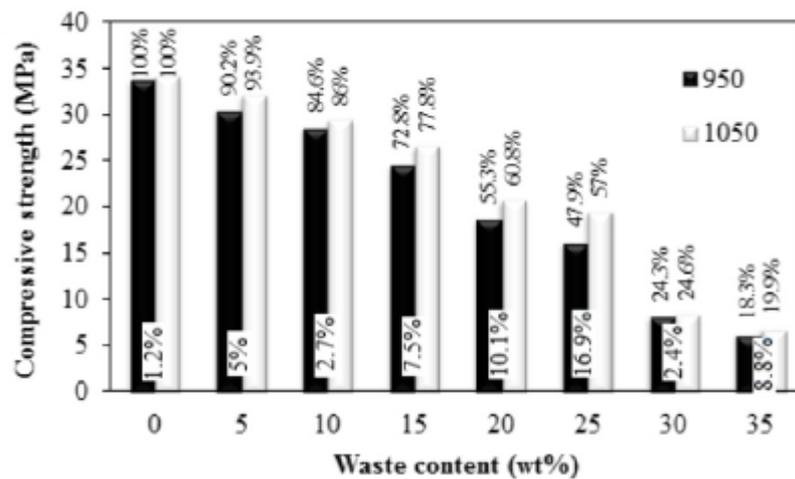


ภาพที่ 2.22 แสดงความหนาแน่นต่อสัดส่วนของหินปูนตามผลการศึกษาของ วรธนา ต.แสงจันทร์ (39)

Sutcu และคณะ (Sutcu, 2015) ได้ทำการศึกษาผลของเศษผงหินอ่อนต่อสมบัติของอิฐดินเผา โดยการเติมผงจากหินอ่อนตั้งแต่ร้อยละ 5 - 35 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปในแบบพิมพ์โดยใช้ความดัน 40 เมกะพาสคาล ได้ชิ้นงานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร เผาที่อุณหภูมิ 950 และ 1050 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่า ผลของผงฝุ่นจากหินอ่อนทำให้ความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัด และการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐลดลง ตามปริมาณของเศษผงหินอ่อนที่เพิ่มขึ้น โดยผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 2.23



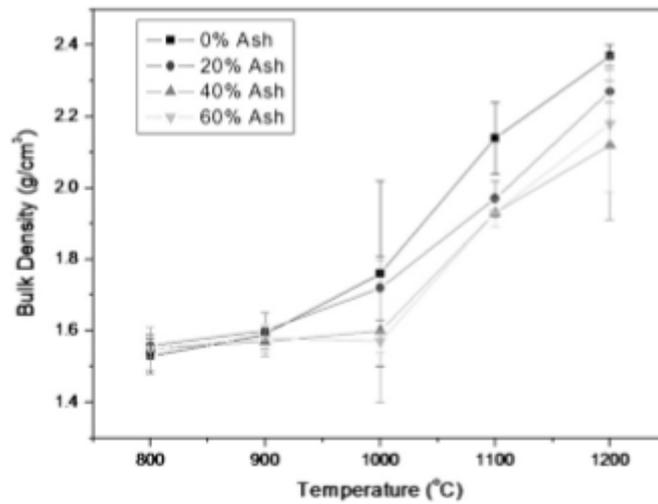
(a)



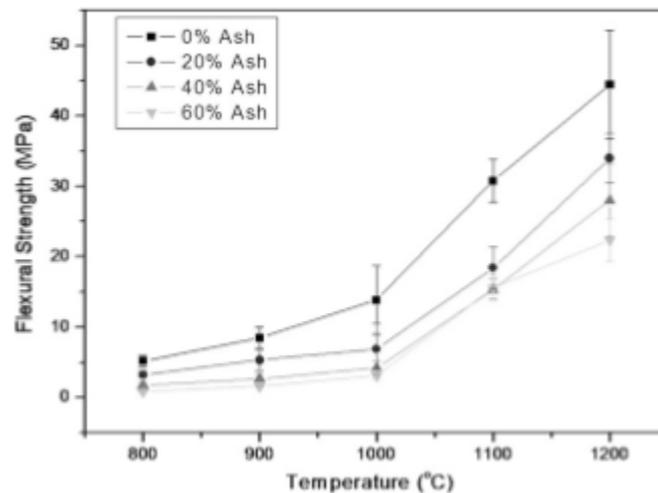
(b)

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

Souza และคณะ (Souza, 2011) ได้ทำการศึกษาผลของเถ้าขานอ้อยต่อเครื่องปั้นดินเผา โดยการเติมเถ้าขานอ้อยลงในดินตั้งแต่ร้อยละ 20 - 60 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปโดยการอัดลงแบบด้วยความดัน 19 เมกะพาสคัล และเผาที่อุณหภูมิ 800 - 1200 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่า การเติมเถ้าขานอ้อยลงในเครื่องปั้นดินเผา ส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัดลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ชิ้นงานดินเผามีความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้น โดยผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 2.24



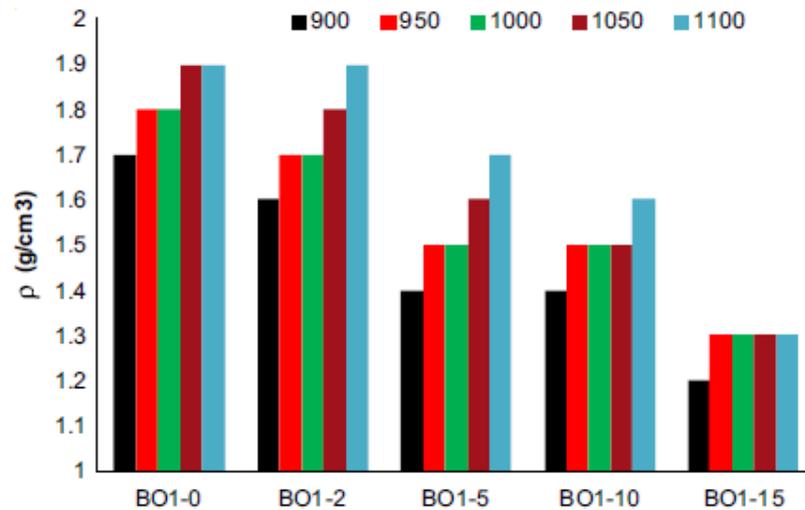
(a)



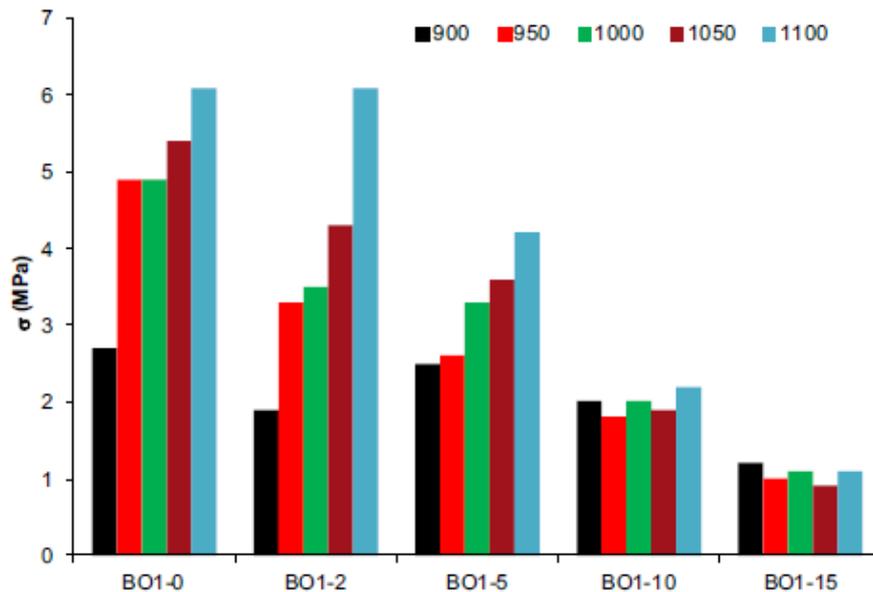
(b)

ภาพที่ 2.24 ผลของเถ้าขาน้อยต่อ ความหนาแน่น (a) ความต้านทานแรงบิด (b)
จากผลการศึกษาของ Souza

Nkayem และคณะ (Nkayem, 2016) ได้ศึกษาการใช้ซังข้าวโพดสำหรับ เพิ่มความพรุนให้กับอิฐดินเผา โดยบดซังข้าวโพดให้มีขนาด 1.25 ไมโครเมตร เติมนลงในดินตั้งแต่ร้อยละ 2 - 15 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปโดยใช้แรงดัน 3 เมกกะพาสคาล 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



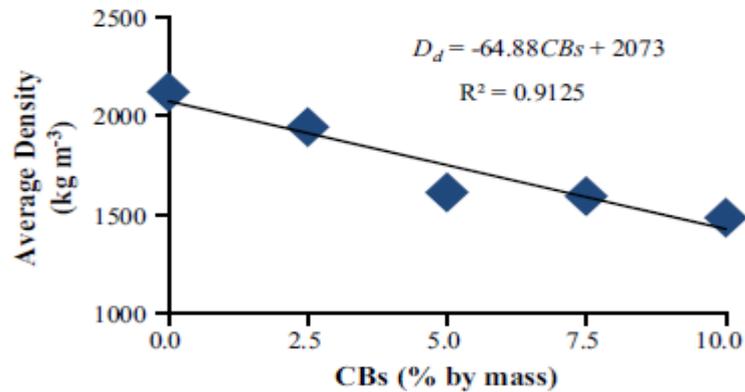
(a)



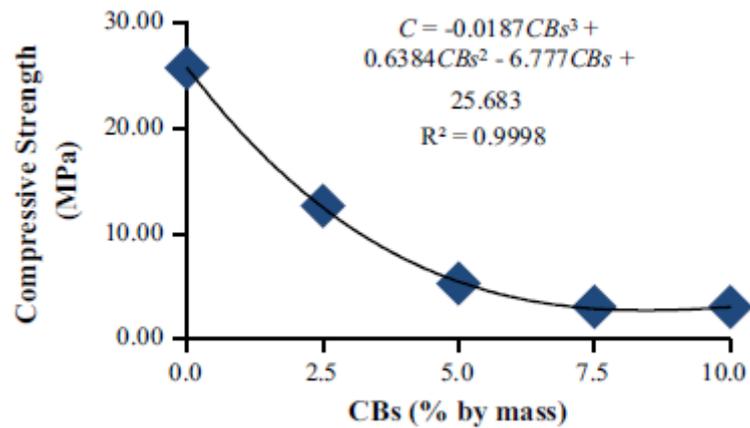
(b)

ภาพที่ 2.25 ผลของซังข้าวโพดต่อความหนาแน่น (a) และความแข็งแรง (b) ตามการศึกษาของ Nkayem

Mohajerani และคณะ (Mohajerani, 2016). ได้ศึกษาการใช้ก้นบุนหรี สำหรับปรับปรุงสมบัติของอิฐดินเผา โดยการเติมก้นบุนหรีที่บดแล้ว ร้อยละ 2.5 - 10 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่า การเติมก้นบุนหรี ส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความหนาแน่น และความแข็งแรงลดลง ตามปริมาณของก้นบุนหรี โดยผลการศึกษา แสดงดังภาพที่ 2.26



(a)



(b)

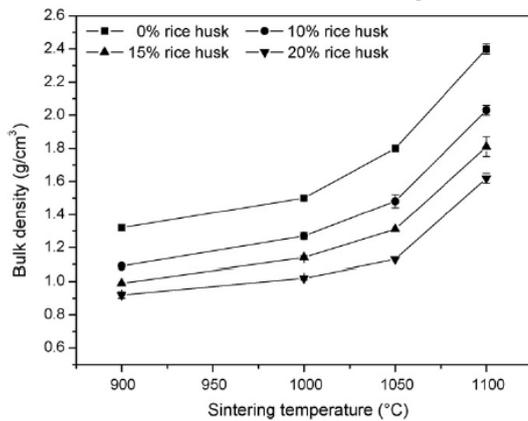
ภาพที่ 2.26 ผลของกัณฑ์หรือต่อความหนาแน่น (a) และความต้านทานแรงอัด (b) ตามผลการศึกษาของ Mohajerani

Norlia Mohamad Ibrahim และคณะ (2013) ได้ทำการศึกษาการใช้วัสดุเหลือใช้จากอิฐดินเผาสำหรับอิฐมวลเบาที่มีโฟมเป็นส่วนประกอบ โดยการเติมวัสดุเหลือใช้จากอิฐดินเผาร้อยละ 25 - 100 ขึ้นรูปให้มีขนาด ความกว้าง ความยาว และความสูง 100 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่า การเติมวัสดุเหลือใช้จากอิฐดินเผาส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมวลเบาที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจาก 1.63 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น 1.73 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงอัดลดลงจาก 25.91 เมกะพาสคัล เป็น 6.25 เมกะพาสคัล โดยเมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่น ก่อนและหลัง 24 ชั่วโมงแสดงดังตารางที่ 2.7

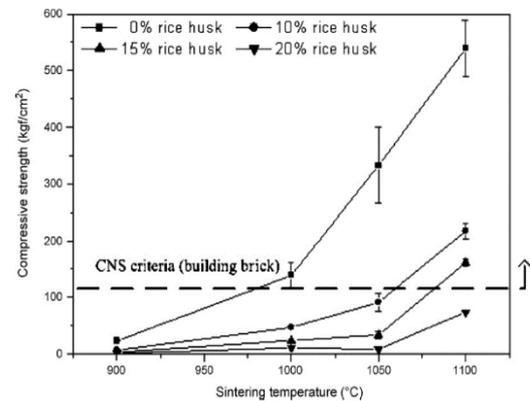
ตารางที่ 2.7 ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำตามการศึกษาของ Norlia Mohamad Ibrahim

% Waste Clay Brick	Before (kg/m ³)	After 24 hour (kg/m ³)	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 (2009) ได้ศึกษาการใช้กากตะกอนน้ำประปาและแกลบสำหรับอิฐมวลเบา โดยการเติมแกลบที่มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 74 - 300 ไมโครเมตร ในอัตราส่วนร้อยละ 5 - 25 โดยน้ำหนัก อัดด้วยแรงดัน 60 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร สูง 55 มิลลิเมตร เผาที่อุณหภูมิ 900 - 1100 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มปริมาณแกลบส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัดลดลง ในขณะที่การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ความหนาแน่นและความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้น ในขณะที่การดูดซึมน้ำลดลง โดยผลการศึกษานี้แสดงดังภาพที่ 2.27



(a)



(b)

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

ตารางที่ 2.8 ผลของอัตราส่วนที่แตกต่างกันต่อสมบัติของอิฐมวลเบาตามการศึกษาของ Pimraksa P.

LDE:lime:gypsum (Ca/Si)	Bulk density (g/cm ³)	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

สมชาย มณีวรรณ และคณะ (สมชาย มณีวรรณ, 2012) ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผนังอิฐมวลเบาที่มีส่วนประกอบของสารเปลี่ยนสถานะ (PCM) เพื่อเป็นฉนวนความร้อน โดยใช้อิฐมวลเบาแบบบอบไอน้ำชั้นคุณภาพ 4 และสารเปลี่ยนสถานะ salt hydrated ชนิด S32 และ S44 ผสมกับปูนก่อก่อนหน้า 3 มิลลิเมตร ในอัตราส่วนร้อยละ 2.5, 5.0, 7.5, และ 10.0 โดยน้ำหนัก และลักษณะการก่อที่มีความหนาที่แตกต่างกันจำนวน 3 รูปแบบ ทดสอบสมบัติที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความต้านทานแรงดัด ความต้านทานแรงอัด การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ผลการศึกษาพบว่า ความหนาแน่นทุกสวนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบา คือ มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.61 - 64 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร โดยความหนาแน่นแสดงดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐมวลเบาตามการศึกษาของ สมชาย มณีวรรณ (ณัฐพัชร สืบบัวแก้ว, 2555)

PCM	ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร(แห้ง)			มาตรฐาน 0.61-0.70 kg/dm ²	
	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 พบว่า การเพิ่มปริมาณสารก่อสถานะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงอัดลดลงตามปริมาณของสารก่อสถานะที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความต้านทานแรงอัด และการดูดซึมน้ำของชิ้นงานของทุกสวนผสม

ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบาระดับ 4 เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของชิ้นงานที่เติมสารเปลี่ยนสถานะ ร้อยละ 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 ³)	0.61-0.70	0.62	S32	0.62	0.62	0.62
			S44	0.62	0.62	0.63
ค่าการรับแรงอัด (N/mm ²)	4.50	5.52	S32	4.91	4.60	4.70
			S44	4.82	4.79	4.75
ค่าต้านทานแรงคด (kg/cm ²)	4 เท่าแรงอัด	21.23	S32	22.62	20.52	20.04
			S44	24.05	21.43	22.77
อัตราการดูดกลืนน้ำ (g/cm ³)	ไม่เกิน 0.50	0.41	S32	0.39	0.40	0.39
			S44	0.39	0.40	0.39
ตรวจสอบมาตรฐาน		√	-	√	√	√

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบและอุปกรณ์การวิจัย

วัตถุดิบ

วัตถุดิบสำหรับการวิจัย ได้แก่

1. ดินเหนียวจากอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
2. ผงฝุ่นที่เหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมโรงโม่หินของ บริษัทฟาร์อีสท์มาร์เบิล แอนแกรนิต

จำกัด

โดยวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 3.1 - 3.2



ภาพที่ 3.1 ดินเหนียวจากอำเภอบางบาล



ภาพที่ 3.2 ผงฝุ่นจากโรงงานอุตสาหกรรมโรงโม่หิน

อุปกรณ์การวิจัย

อุปกรณ์สำหรับการวิจัย ได้แก่

1. ตะแกรงร่อนขนาด 18 เมช
2. เครื่องชั่ง และชุดวัดความหนาแน่น บริษัท REDWAG รุ่น PS 360
3. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์
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 เอกซ์เรย์ดิฟแฟรคชันเทอร์โมมิเตอร์ (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 3.3 - 3.17



ภาพที่ 3.3 ตะแกรงร่อน



ภาพที่ 3.4 เครื่องชั่ง และชุดหาความหนาแน่น



ภาพที่ 3.5 เวอร์เนียคาลิปเปอร์



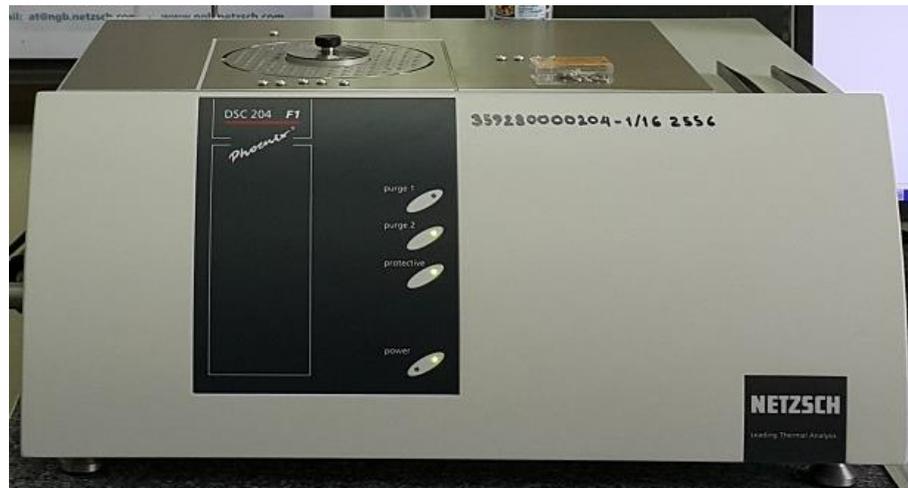
ภาพที่ 3.6 แม่พิมพ์แบบขึ้นรูป



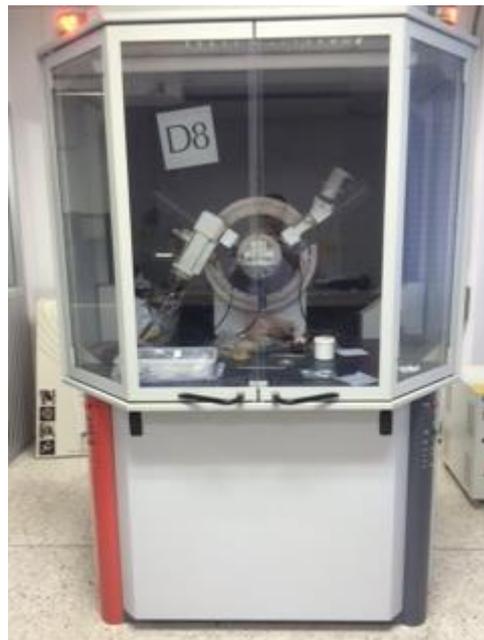
ภาพที่ 3.7 เต้าเผาไฟฟ้า



ภาพที่ 3.8 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์



ภาพที่ 3.9 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์



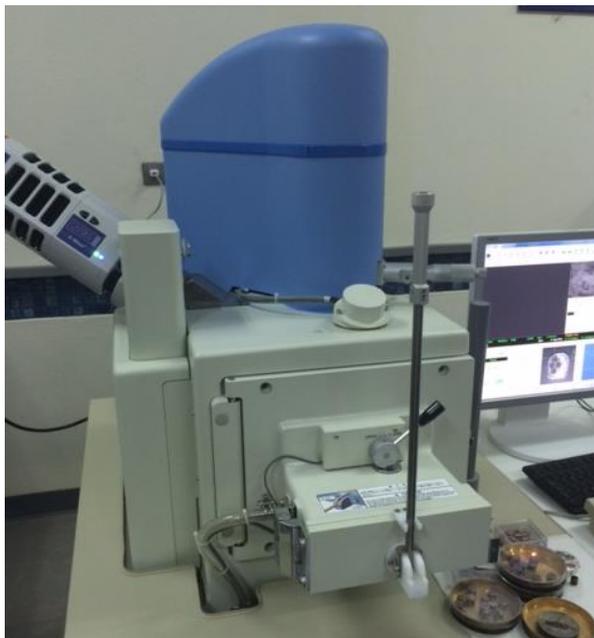
ภาพที่ 3.10 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่นเทอร์โมมิเตอร์



ภาพที่ 3.11 เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล



ภาพที่ 3.12 เครื่องมือวิเคราะห์การนำความร้อนฮอตดิส



ภาพที่ 3.13 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เตรียมวัตถุดิบได้แก่ ดิน ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมโรงโม่หิน
3. นำวัตถุดิบได้แก่ ดิน ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมโรงโม่หิน
4. วิเคราะห์สมบัติวัตถุดิบได้แก่
 - 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบโดยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X - ray Fluorescence XRF)
 - 4.2 โครงสร้างของวัตถุดิบโดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันเทอร์โมมิเตอร์ (X - ray Diffraction, XRD)
 - 4.3 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนโดยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์
5. นำดินผสมกับ ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อน ร้อยละ 10, 20, 30, และ 40 โดยปริมาตร
6. ผสมวัตถุดิบให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้มือคนให้เข้ากันเป็นระยะเวลา 15 นาที
7. เติมน้ำในปริมาณร้อยละ 30 โดยปริมาตร เพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้
8. ขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้วิธีอัดลงในแม่พิมพ์ และตัดชิ้นงานให้มีขนาดยาว 5 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร และสูง 2 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.14 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 900, 1000 และ 1100 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง โดยใช้ระยะเวลาในการเผา 3 ชั่วโมง วิเคราะห์สมบัติของชิ้นงานได้แก่

- 13.1 การหดตัวตามยาวหลังเผาตามมาตรฐาน ASTM C 329 - 09 [49] ตามสมการ

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

หาร้อยละของการหดตัวรวมจากสมการ ร้อยละของการหดตัว = ร้อยละของความหดตัวหลังแห้ง + ร้อยละของความหดตัวหลังเผา

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

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

13.3 ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความพรุนตัว ตามมาตรฐาน ASTM C 373 - 14 [51]

การวิเคราะห์ความหนาแน่นทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีอะเคมีดิส โดยการนำชิ้นงานที่ผ่านการเผาเรียบร้อยแล้วไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำชิ้นงานไปชั่งหาน้ำหนักแห้ง (D) จากนั้นนำชิ้นงานไปต้มในน้ำกลั่นโดยใช้อุณหภูมิอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อต้มเสร็จแล้วก็แช่ชิ้นงานไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อให้มั่นใจว่าน้ำได้ซึมเข้าไปในเนื้อของชิ้นงานทั้งหมดแล้ว จากนั้นนำชิ้นงานไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักเปียก (W) และชั่งในน้ำเพื่อหาน้ำหนักแขวนลอย (I) คำนวณหาความหนาแน่นของชิ้นงานโดยใช้สมการ

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

เมื่อ	ρ	คือ	ความหนาแน่น
	D	คือ	น้ำหนักแห้ง
	W	คือ	น้ำหนักเปียก
	I	คือ	น้ำหนักที่ชั่งในน้ำ หรือน้ำหนักแขวนลอย

การหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ จากข้อมูลที่ใช้สำหรับหาความหนาแน่น นำมาคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำโดยใช้สมการ

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

เมื่อ	D	คือ	น้ำหนักแห้ง
	W	คือ	น้ำหนักเปียก

การหาค่าความพรุนตัว จากข้อมูลที่ใช้สำหรับหาความหนาแน่น นำมาคำนวณหาการหาค่าร้อยละความพรุนตัวของชิ้นงานโดยใช้สมการ

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

เมื่อ	D	คือ	น้ำหนักแห้ง
	W	คือ	น้ำหนักเปียก
	I	คือ	น้ำหนักที่ชั่งในน้ำ หรือน้ำหนักแขวนลอย

13.4 ความต้านทานแรงอัดโดยเครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล (Universal testing machine) โดยใช้สมการ

$$M = \frac{3 PL}{2bd^2}$$

ให้	M =	ค่าความแข็งแรงของดิน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
	P =	แรงที่กดทำให้ แท่งทดลองหัก (กิโลกรัม)
	L =	ระยะห่างของแท่นรองรับขึ้นทดลอง (เซนติเมตร)
	b =	ความกว้างของขึ้นทดลอง (เซนติเมตร)
	d =	ความหนาของขึ้นทดลอง (เซนติเมตร)
	d =	ความหนาของขึ้นทดลอง (เซนติเมตร)

13.5 การนำความร้อนโดยเครื่องมือวิเคราะห์ความร้อนฮอตดิส (hot disk thermal constant analyzer)

13.6 โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy)

การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน ทำการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) โดยนำชิ้นงานมาตัดให้มีขนาดเล็ก และขัดพื้นผิวให้เรียบ จากนั้นนำไปเคลือบเพื่อให้นำไฟฟ้า โดยการเคลือบด้วยทองในบรรยากาศสุญญากาศด้วยเครื่อง Ion coater โดยใช้ วิธีการเคลือบแบบสปัตเตอร์ริง เป็นเวลา 60 วินาที จากนั้นนำไปส่องด้วยกล้อง SEM โดยการใช้อำลังขยาย 3000 เท่า เพื่อศึกษาลักษณะเกรนและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน หลังจากนั้นถ่ายภาพของชิ้นงานตัวอย่าง

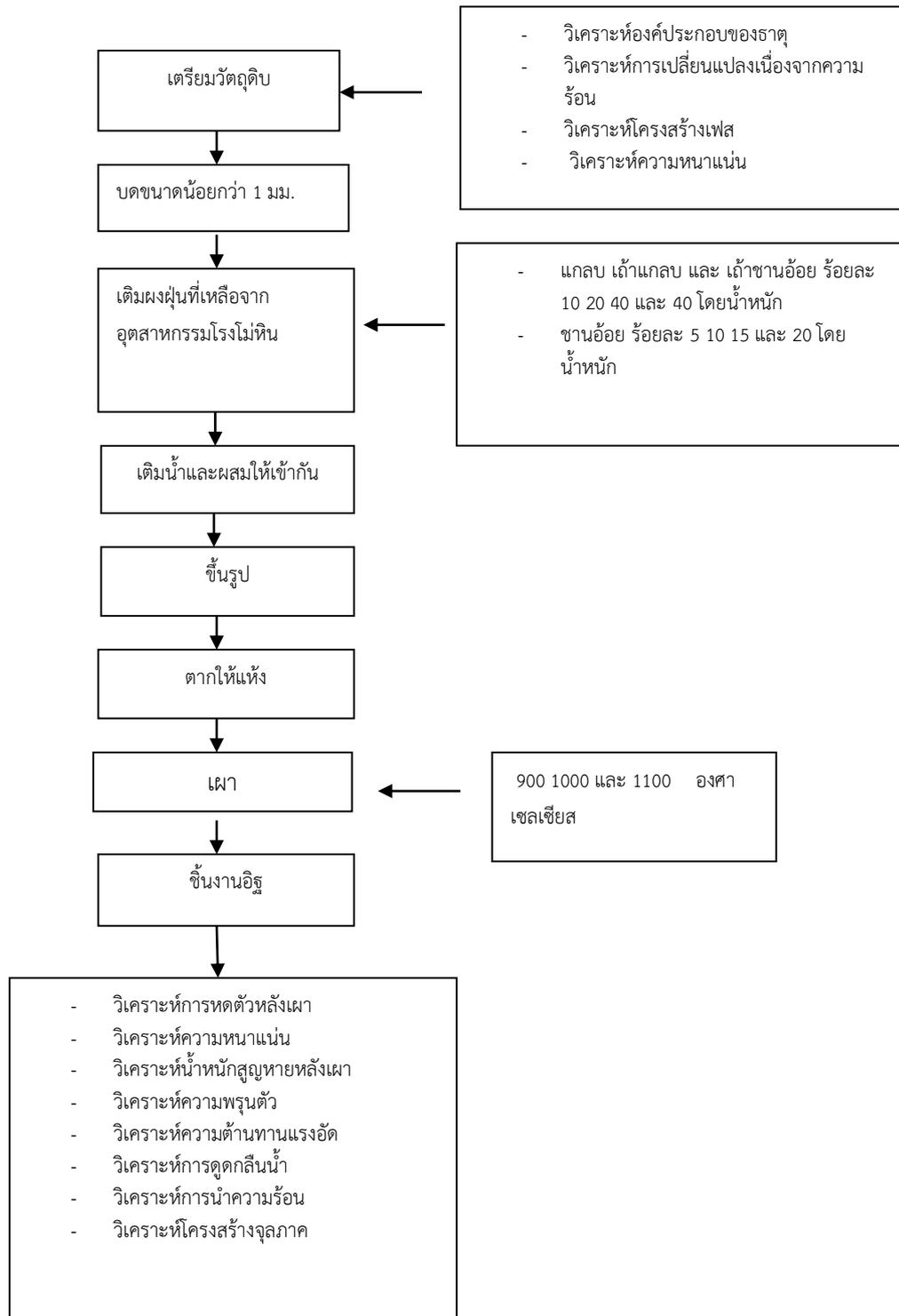
13.7 โครงสร้างของวัสดุขีบโดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น (X - ray Diffraction, XRD)

14. วิเคราะห์ข้อมูล สรุป เขียนบทความ



ภาพที่ 3.15 ชิ้นงานที่ผ่านการเผา

โดยขั้นการทดลองแสดงภาพรูปที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 แผนผังขั้นตอนการวิจัย

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

การวิเคราะห์วัตถุดิบ

1. การวิเคราะห์ส่วนประกอบของวัตถุดิบ

ส่วนประกอบหลักของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมโรงโม่หินแสดงดังตารางที่ 4.1

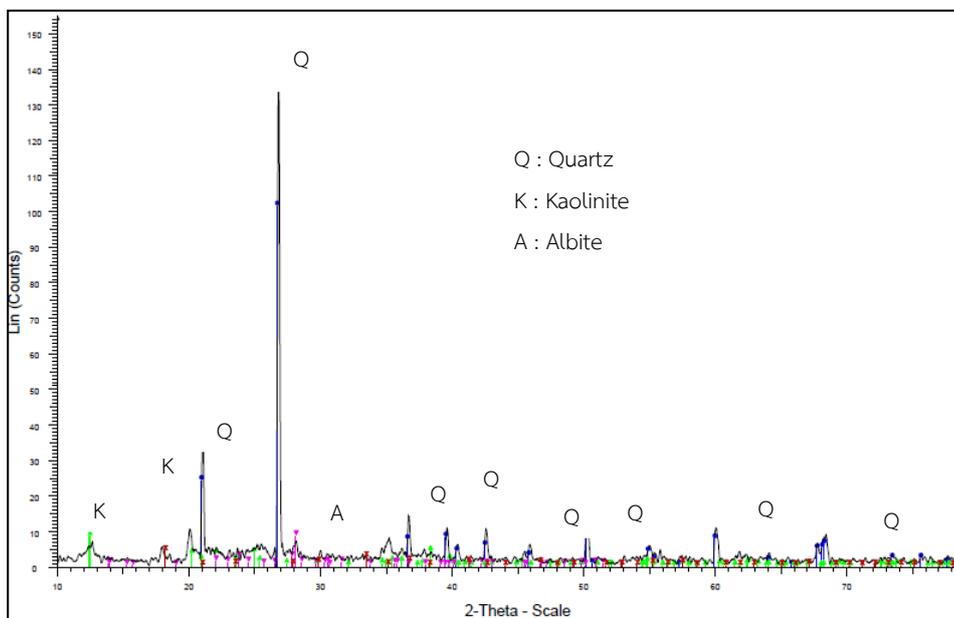
ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของดิน และผงฝุ่นหินอ่อน

ส่วนประกอบ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	CaO	P ₂ O ₅	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
ผงฝุ่นโรงโม่หิน	65.54	14.07	4.29	5.25	0.11	0.13	43.2	-	-	-	10.18

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า วัตถุดิบหลักที่มีในดิน และผงฝุ่นจากหินอ่อนมีองค์ประกอบหลักคือ ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO₂) ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความแข็งแรงเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง รองลงมาคือ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) ซึ่งทำให้อิฐมีความทนไฟสูง และออกไซด์ของเหล็ก (Fe₂O₃) ที่ส่งผลให้ชิ้นงานหลังเผามีสีแดง เมื่อพิจารณาส่วนประกอบของดิน พบว่ามีผลรวมของเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และไททานเนียมออกไซด์ (TiO₂) มากกว่าร้อยละ 9 แสดงว่า ดินที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นดินประเภทไม่ทนไฟ นอกจากนั้นส่วนประกอบเหล่านี้ยังเป็นตัวช่วยให้กระบวนการเผาอิฐ (Flux) เกิดได้ง่ายที่อุณหภูมิไม่สูงอีกด้วย (Musthafa, AM, 2010) ส่วนผงฝุ่นหินอ่อนประกอบไปด้วยแคลเซียมออกไซด์เป็นส่วนประกอบหลักทำให้อิฐเกิดความพรุนตัวระหว่างเผา ค่าน้ำหนักสูญหายหลังเผาร้อยละ 9.10

2. การวิเคราะห์เฟสโครงสร้างของวัตถุดิบ

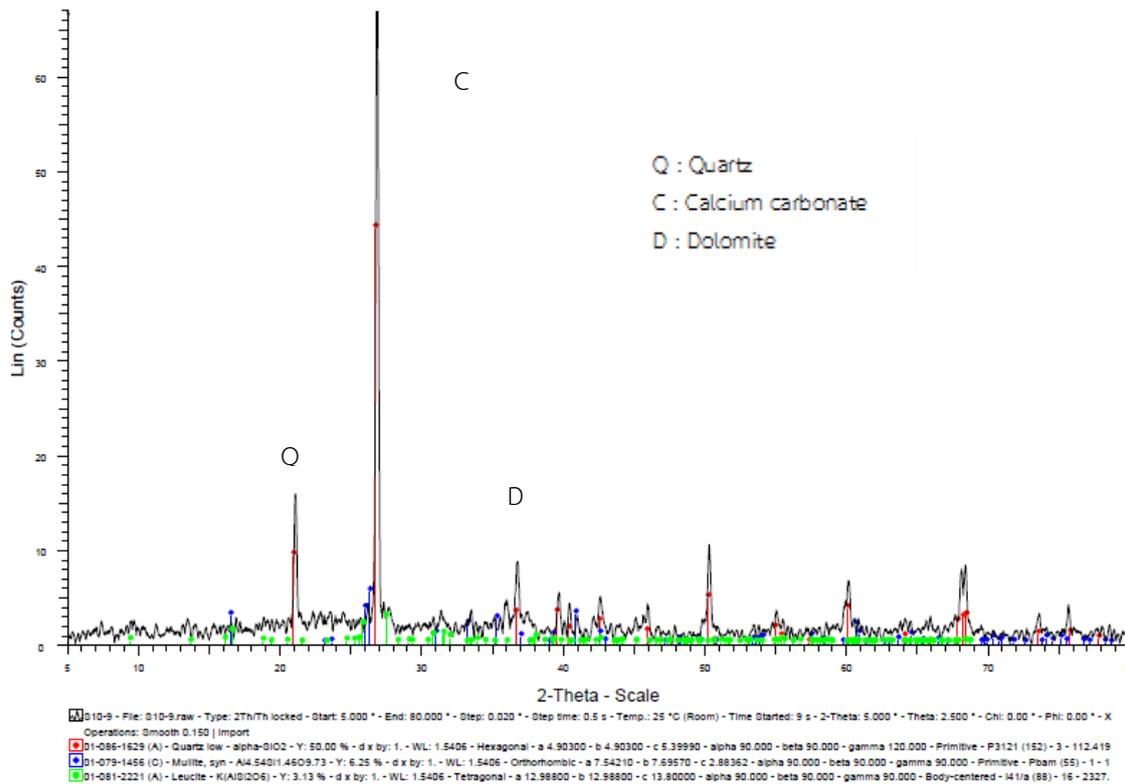
การวิเคราะห์เฟสโครงสร้างของดินแสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 โครงสร้างเฟสของดิน

พิจารณาจากกราฟ XRD ของดิน พบว่า มีส่วนประกอบของเฟสหลักคือ แร่ควอตซ์ หรือ ซิลิคอนไดออกไซด์ (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 (Teixeira, 2001) โดยควอตซ์ที่เป็นโครงสร้างหลักจะทำให้ชิ้นงานหลังเผามีความแข็งแรง และไม่แตกหักในระหว่างกระบวนการเผา (ดร.ณิ วัฒนศิริเวช, 2552)

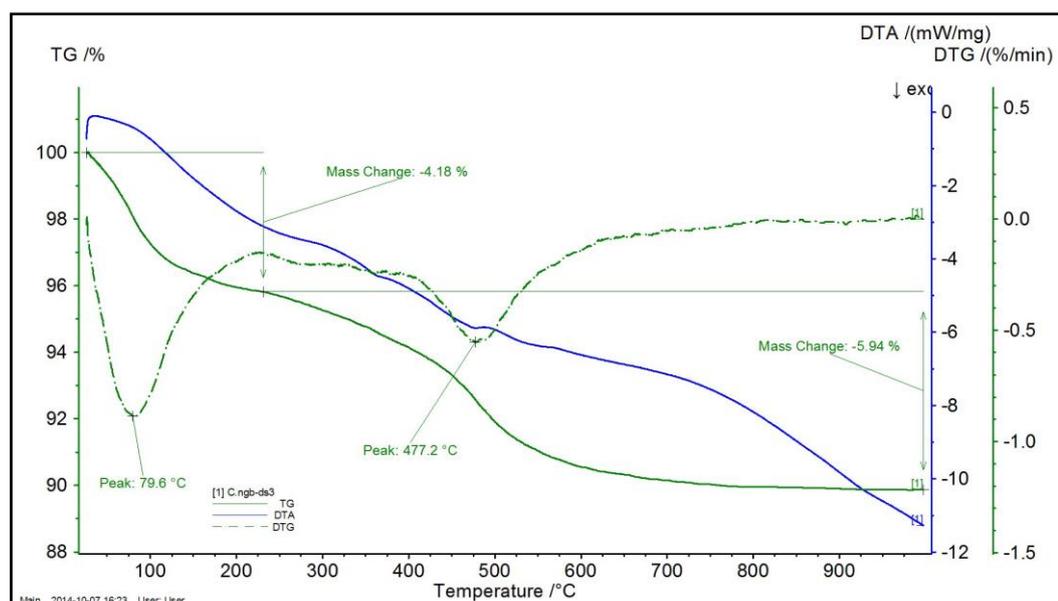
การวิเคราะห์โครงสร้างเฟสของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนแสดงดังภาพที่ 4.2
พิจารณาจากกราฟ XRD ของแกลบพบว่า มีส่วนประกอบของเฟสหลักคือ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) โดโลไมท์ (CaMg) และ แร่ควอตซ์ หรือ ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2)



ภาพที่ 4.2 โครงสร้างผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขุดโรงโม่หิน

3. การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุขุด

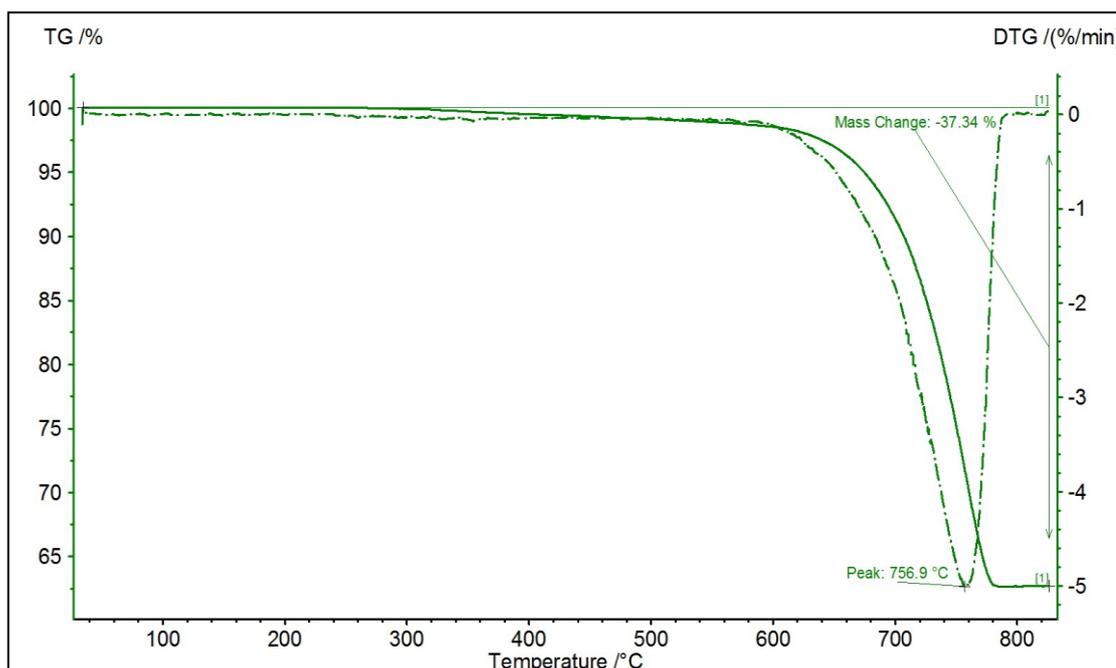
การวิเคราะห์ผลของความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของดินแสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของดิน (สุทัศน์ จันบัวลา, 2559)

พิจารณาจากกราฟ TG และ DTG ของดิน พบว่า น้ำหนักสูญหายของดินลดลงทั้งหมดประมาณร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส โดยการลดลงที่จุดแรกร้อยละ 4.48 อยู่ระหว่างช่วงอุณหภูมิประมาณ 20 - 220 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากเกิดจากการระเหยของน้ำที่อยู่ในดิน ซึ่งมีอัตราการลดลงมากที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 79 องศาเซลเซียส จุดที่สองอยู่ระหว่างอุณหภูมิประมาณ 220 - 980 องศาเซลเซียส มีการลดลงของมวลเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน (พรรณวิไล กิ่งสุวรรณรัตน์, 2545) โดยมีอัตราการสลายตัวมากที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 477.2 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากกราฟของ DTA พบว่า ภาพรวมเกิดปฏิกิริยาคูดพลังงานความร้อน โดยเกิดมากที่สุดที่อุณหภูมิ 79 องศาเซลเซียส และ 477.2 องศาเซลเซียส เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำ และการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดินนั่นเอง

การวิเคราะห์ผลของความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมโรงโม่หิน แสดงดังภาพที่ 4.4



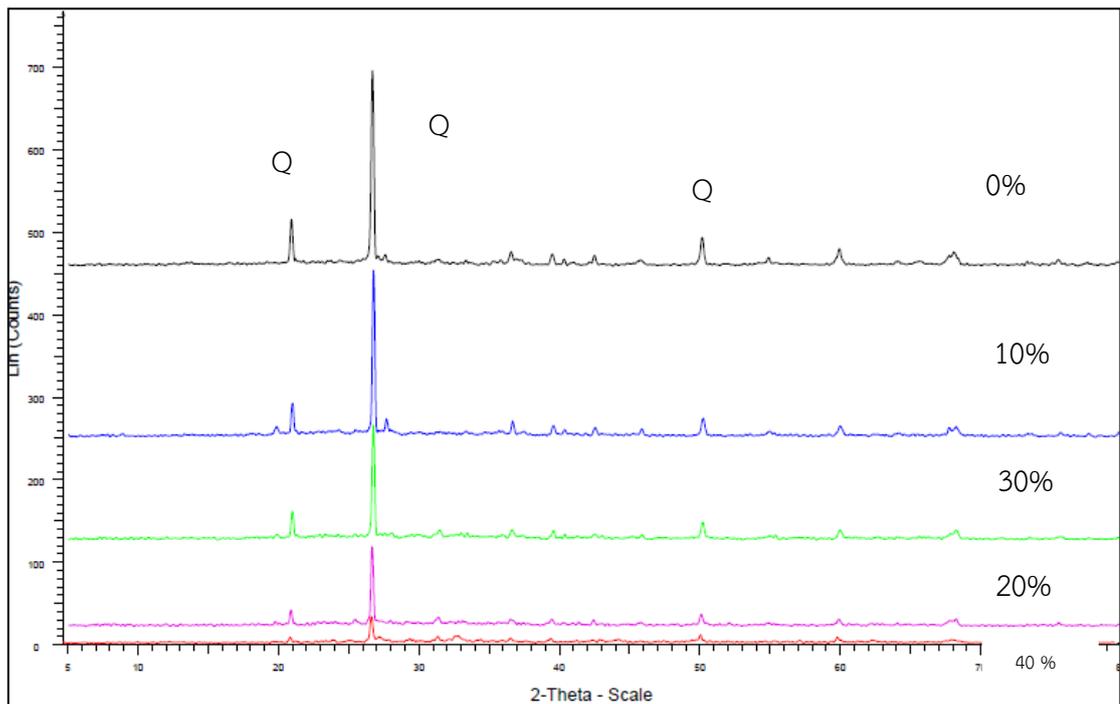
ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของผงฝุ่นโรงโม่หิน

พิจารณาจากกราฟ TG และ DTG ของแกลบ พบว่า ค่าน้ำหนักสูญหายลดลงทั้งหมดประมาณร้อยละ 37.34 ที่อุณหภูมิเผา 756.9 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักที่มีในผงฝุ่นหินอ่อนทำให้น้ำหนักหายไปนั่นเอง (พรรณวิไล กิ่งสุวรรณรัตน์, 2545)

ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อสมบัติของอิฐดินเผามวลเบา

1. ผลของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมโรงโม่หินต่อโครงสร้างเฟส

การวิเคราะห์โครงสร้างเฟสของชิ้นงานอิฐที่เติม ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขุดหินอ่อน แสดงดังรูปที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 โครงสร้างเฟสของชิ้นงานที่เติมผงฝุ่นโรงโม่หินในปริมาณที่แตกต่างกัน และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

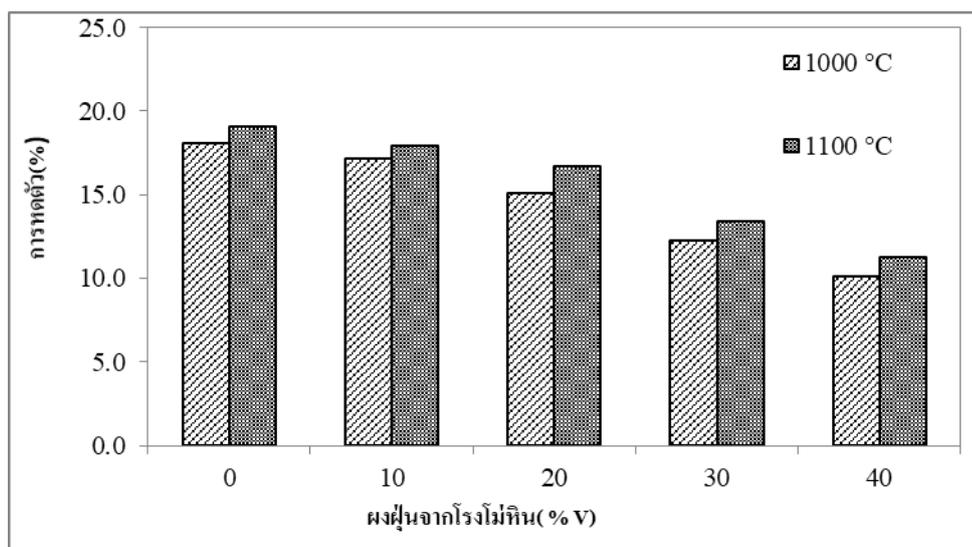
จากภาพแสดงให้เห็นว่า ผลของการเติมผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมโรงโม่หินลงไปบนดิน ทำให้เฟสของผลึกแร่ควอตซ์ มีความสูงของพีคที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเติมแคลบถึงแม้จะมีโครงสร้างหลักเป็นควอตซ์อยู่แล้ว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับดินมีจำนวนน้อยกว่า จึงเป็นการลดปริมาณผลึกของควอตซ์ให้กับวัตถุดิบที่ใช้ผลิตอิฐดินเผา เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาณที่แตกต่างกันพบว่า การเพิ่มปริมาณของผงหินอ่อน ส่งผลให้ผลึกของควอตซ์ลดลง ตามปริมาณของผงหินอ่อนที่เพิ่มขึ้น

2. ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการหดตัว

ผลของผงฝุ่นต่อการหดตัวของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.2 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมผงฝุ่นหินอ่อนกับร้อยละการหดตัวของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.2 ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินการหดตัวหลังเผา

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการหดตัวหลังเผา (%)	0	10	20	30	40
1000 องศาเซลเซียส	18.1	17.2	15.1	12.3	10.1
1100 องศาเซลเซียส	19.1	17.9	16.7	13.4	11.3



ภาพที่ 4.6 ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อการหดตัว

พิจารณาจากกราฟแสดงผลของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนต่อการหดตัวของชิ้นงานอิฐ เมื่อเติมผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนส่งผลให้การหดตัวของชิ้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนไปลดความเหนียวหรือสภาพพลาสติกของวัตถุดิบหลักคือ ดิน ในขณะที่เดียวกันการลดปริมาณดินทำให้เฟสของเหลวซึ่งทำให้เกิดการหดตัวที่เกิดขึ้นระหว่างเผาลดลง เนื่องจากธาตุอัลคาไลน์ที่อยู่ในดินลดลง ดังนั้นเมื่อขึ้นรูปชิ้นงานอิฐและนำไปเผาทำให้ค่าการหดตัวของชิ้นงานหลังเผาลดลงตามไปด้วย (Yariv, 2003, Bideci, 2008) พิจารณาผลของ

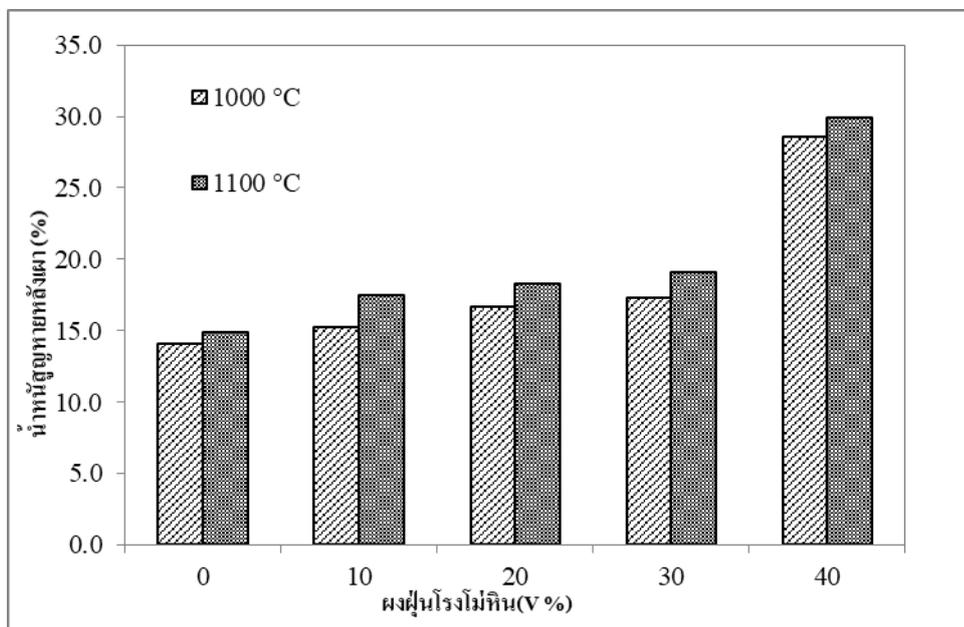
อุณหภูมิต่อการหดตัวของชิ้นงานอิฐ พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิเผา ส่งผลให้การหดตัวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ตามการเพิ่มของอุณหภูมิ ทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ชิ้นงานมีเฟสของเหลวที่เกิดจากการหลอมตัวของธาตุที่จุดหลอมเหลวต่ำ (K_2O , Fe_2O_3) ที่เป็นส่วนประกอบของดิน ในระหว่างการเผาเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ จึงทำให้การหดตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยชิ้นงานที่มีการหดตัวมากที่สุด ร้อยละ 19.1 เมื่อเติมผงฝุ่นร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส (Nastro, 2006)

3. ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา

ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อน้ำหนักสูญหายของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.3 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมผงฝุ่นหินอ่อนกับร้อยละต่อน้ำหนักสูญหายชิ้นงานอิฐแสดงดังภาพที่ 4.7

ตารางที่ 4.3 ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา (%)	0	10	20	30	40
1000 องศาเซลเซียส	14.1	15.2	16.7	17.3	28.55
1100 องศาเซลเซียส	14.9	17.5	18.32	19.1	29.9



ภาพที่ 4.7 ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อน้ำหนักสูญหาย

พิจารณารูปผลของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดโรงโม่หินต่อน้ำหนักสูญหายระหว่างเผา พบว่า การเติมผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดโรงโม่หินส่งผลให้น้ำหนักสูญหายระหว่างการเผาของชิ้นงานอิฐเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมโรงโม่หินมากขึ้น ค่าน้ำหนักสูญหายก็เพิ่มขึ้นตามปริมาณของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมโรงโม่หินที่เติมลงไป ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดโรงโม่หินซึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ ในระหว่างการเผา ยังมีปริมาณมากก็เกิดการสลายตัวมากขึ้นนั่นเอง

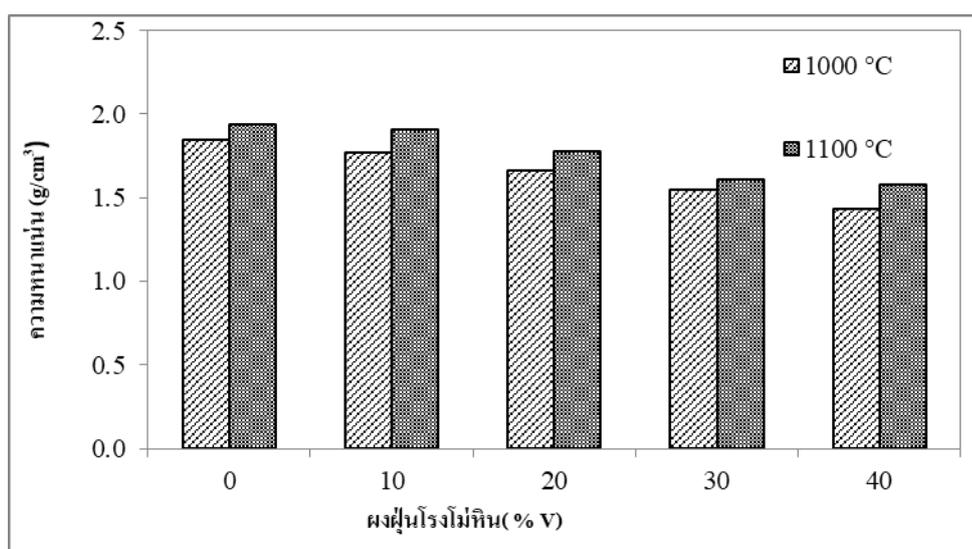
เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อน้ำหนักสูญหายพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้น้ำหนักสูญหายของชิ้นงานเพิ่มขึ้นไปด้วยตามปริมาณของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้การสลายตัวเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปตามผลของความร้อนต่อการสลายตัวของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมโรงโม่หินตามภาพที่ 4.7 โดยชิ้นงานมีค่าน้ำหนักสูญหายมากที่สุดร้อยละ 25.9 เมื่อเติมผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมโรงโม่หินร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

4. ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อความหนาแน่น

ผลของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมโรงโม่หินต่อความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.4 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของโรงโม่หินกับความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.8

ตารางที่ 4.4 ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อความหนาแน่น

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความหนาแน่น (g/cm ³)	0	10	20	30	40
1000 องศาเซลเซียส	1.85	1.77	1.66	1.55	1.43
1100 องศาเซลเซียส	1.94	1.91	1.78	1.61	1.58



ภาพที่ 4.8 ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อความหนาแน่น

พิจารณารูปภาพผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อความหนาแน่นของชั้นงาน พบว่า การเติมผงฝุ่นโรงโม่หินส่งผลให้ชั้นงานมีความหนาแน่นลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณโรงโม่หินมากขึ้น ความหนาแน่นของชั้นงานก็จะลดลงตามปริมาณของโรงโม่หินที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของโรงโม่หินซึ่งมีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบหลัก ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ทำให้เกิดความพรุนตัวของชั้นงานอิฐ ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มปริมาณผงฝุ่นโรงโม่หินเป็นการลดเฟสของเหลวที่เกิดระหว่างการเผาที่ช่วยให้ชั้นงานมีความหนาแน่น ส่งผลให้ความหนาแน่นของชั้นงานลดลง

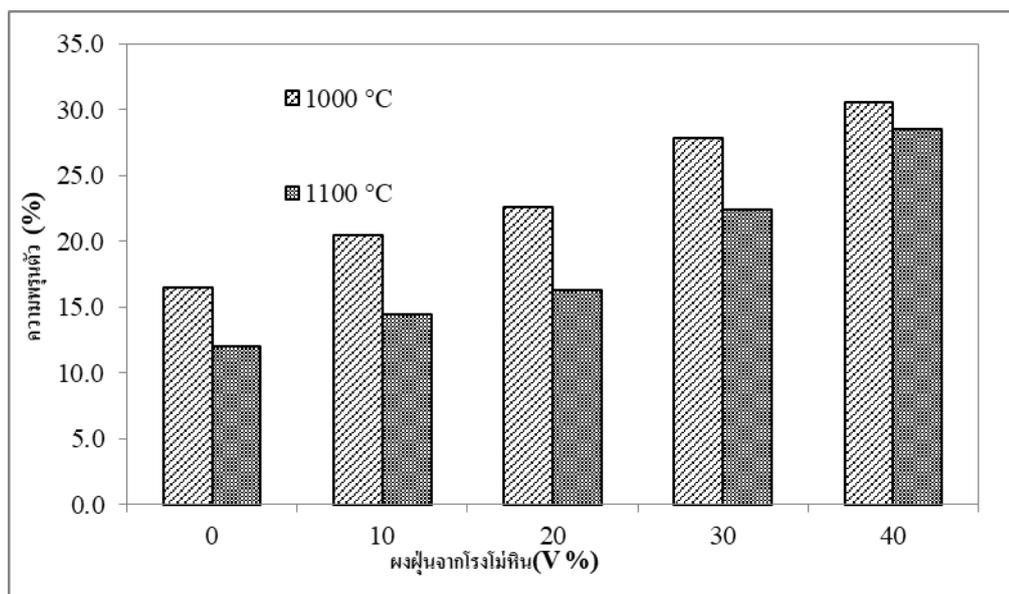
เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิเผาต่อความหนาแน่นของชั้นงานอิฐ พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ชั้นงานอิฐมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิเผาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้เพิ่มการเกิดเฟสของเหลวที่เกิดจากการหลอมของธาตุบางชนิดที่เป็นส่วนประกอบของดินและมีจุดหลอมเหลวต่ำ ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มอุณหภูมิ ส่งผลให้เกิดเฟสของแก้ว (vitrification) ขึ้นในระหว่างการเผาเนื่องจากสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) ที่อยู่ในดินจะหลอมเหลวเป็นเฟสของแก้วที่อุณหภูมิมากกว่า 850 องศาเซลเซียส เชื่อมระหว่างอนุภาคของชั้นงานทำให้ชั้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดสูงขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง (Raut, NS, 2008; Milheiro, 2005) โดยชั้นงานมีความหนาแน่นมากที่สุดเมื่อเติมผงฝุ่นร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

5. ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อความพรุนตัว

ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อความพรุนตัวของชั้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.5 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมแกลบต่อร้อยละความพรุนตัวของชั้นงานอิฐแสดงดังภาพที่ 4.9

ตารางที่ 4.5 ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อความพรุนตัว

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความพรุนตัว (%)	0	10	20	30	40
1000 องศาเซลเซียส	16.5	20.5	22.6	37.8	30.5
1100 องศาเซลเซียส	12	14.4	16.26	22.41	28.5



ภาพที่ 4.9 ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อความพรุนตัว

พิจารณาจากกราฟแสดงผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐดินเผา พบว่าการเติมผงฝุ่นโรงโม่หินส่งผลให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้นชิ้นงานก็มีความพรุนตัวเพิ่มตามปริมาณของผงฝุ่นโรงโม่หินที่เติมลงไป ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวของผงฝุ่นโรงโม่หินในระหว่างการเผา ทำให้เกิดความพรุนตัวของชิ้นงานเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงฝุ่นโรงโม่หินที่เพิ่ม ซึ่งสอดคล้องกับน้ำหนักสูญหายตามภาพที่ 4.5

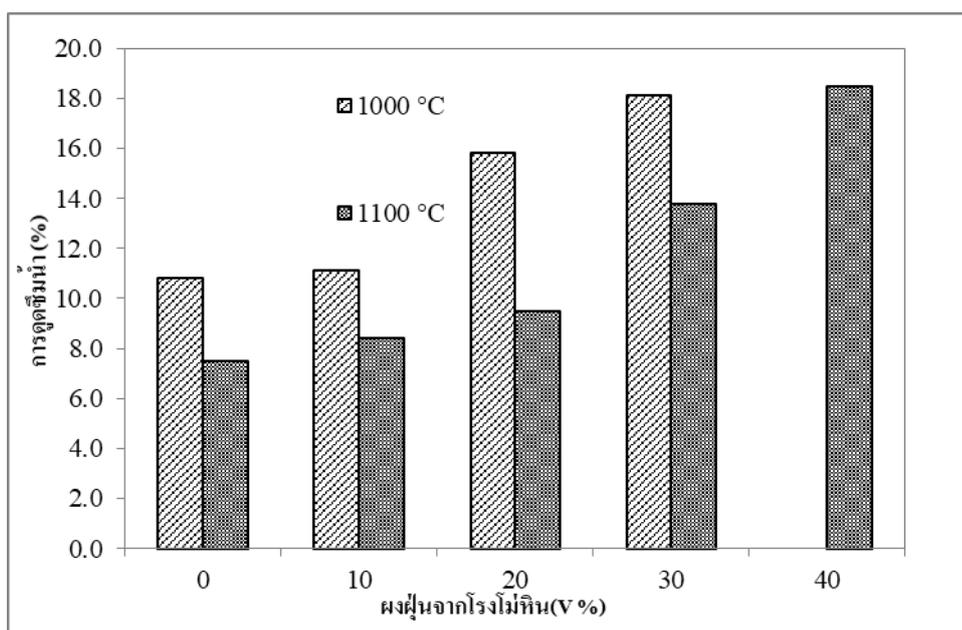
เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐ พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความพรุนตัวลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มการเกิดเฟสของเหลวที่เกิดจากการหลอมของธาตุที่เป็นส่วนประกอบของดิน ในขณะเดียวกันการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เกิดเฟสของแก้วขึ้นในระหว่างการเผาเนื่องจากซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ที่อยู่ในดินจะเปลี่ยนเป็นเฟสของแก้วที่อุณหภูมิมากกว่า 850 องศาเซลเซียส เชื่อมระหว่างอนุภาคของชิ้นงานปิดรูพรุน ทำให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวลดลงนั่นเอง โดยชิ้นงานมีความพรุนตัวมากที่สุดร้อยละ 41.1 เมื่อเติมผงฝุ่นหินอ่อนร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

6. ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อการดูดซึมน้ำ

ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อการดูดซึมน้ำของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.6 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมผงฝุ่นโรงโม่หินต่อร้อยละการดูดกลืนน้ำของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.10

ตารางที่ 4.6 ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อการดูดซึมน้ำ

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการดูดซึมน้ำ (%)	0	10	20	30	40
1000 องศาเซลเซียส	10.8	11.1	15.8	18.1	21.2
1100 องศาเซลเซียส	7.5	8.4	9.5	13.8	18.5



ภาพที่ 4.10 ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อการดูดซึมน้ำ

พิจารณารูปแสดงผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อการดูดซึมน้ำของชิ้นงานอิฐ พบว่า การเติมผงฝุ่นโรงโม่หินส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้น การดูดซึมน้ำของชิ้นงานก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของผงฝุ่น ทำให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วยตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง โดยชิ้นงานที่เติมผงฝุ่นโรงโม่หินทั้งหมด มีค่าการดูดซึมน้ำที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐบล็อกมวลเบา (มอก.2601 - 2556) เกรด C10 คือ น้อยกว่าร้อยละ 23.00

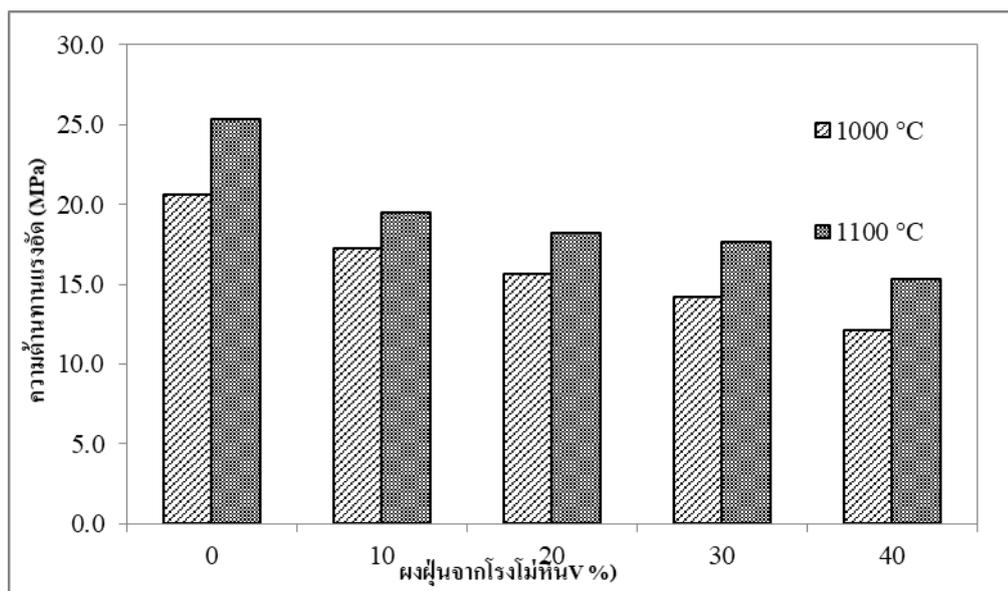
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเผา พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าการดูดซึมน้ำลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความพรุนตัวลดลง ความหนาแน่นของชิ้นงานสูงขึ้น ส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดลงตามไปด้วยนั่นเอง โดยชิ้นงานอิฐมีค่าดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ร้อยละ 7.5 เมื่อเติมร้อยละ 10 และเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

7. ผลของผงฝุ่นต่อความต้านทานแรงอัด

ความต้านทานแรงอัดเป็นสมบัติที่สำคัญของอิฐดินเผา เนื่องจากการใช้งานต้องมีการรับแรงที่กดลง (Mahllawy, 2008) โดยผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐแสดงดังตารางที่ 4.7 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมผงฝุ่นโรงโม่หินต่อความต้านทานแรงอัดของชิ้นงาน อิฐแสดงดังภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.7 ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อความต้านทานแรงอัด

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความต้านทานแรงอัด (MPa)	0	10	20	30	40
1000 องศาเซลเซียส	20.58	17.23	15.66	14.23	12.15
1100 องศาเซลเซียส	25.32	19.45	18.23	17.61	15.3



ภาพที่ 4.11 ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อความต้านทานแรงอัด

พิจารณากราฟผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อความต้านทานแรงอัด พบว่า การเติมผงฝุ่นโรงโม่หินส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความต้านทานแรงอัดลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณของผงฝุ่นโรงโม่หินความต้านทานแรงอัดของอิฐก็จะลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากผงฝุ่นโรงโม่หินที่เติมลงไปเกิดการสลายตัวในระหว่างการเผา ทำให้เกิดความพรุนตัว ส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานและความต้านทานแรงอัดลดลงตามไปด้วย โดยชิ้นงานอิฐที่เติมผงฝุ่นโรงโม่หินทั้งหมด มีค่าความต้านทานแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบา (มอก.2601 - 2556) เกรด C10 คือ มีความต้านทานแรงอัดไม่ต่ำกว่า 2.50

เมกะพาสคัล และผ่านมาตรฐานอิฐสามัญ (มอก.77 - 2545) คือ มีความต้านทานแรงอัดไม่ต่ำกว่า 9.0 เมกะพาสคัล

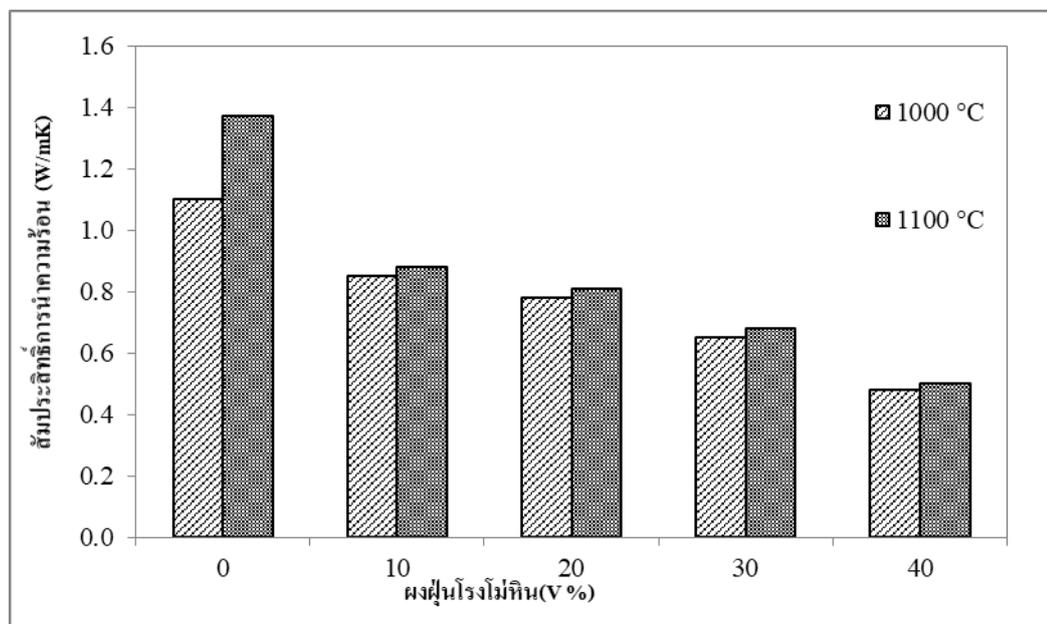
เมื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิเผาต่อความต้านทานแรงอัด พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิเผาทำให้ให้ความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับความหนาแน่นตามภาพที่ 4.14 ทำให้ความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง

8. ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อการนำความร้อน

ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ แสดงดังตารางที่ 4.8 และเมื่อนำผลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลของการเติมผงฝุ่นโรงโม่หินต่อการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ แสดงดังภาพที่ 4.12

ตารางที่ 4.8 ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อการนำความร้อน

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการนำความร้อน (W/mK)	0	10	20	30	40
1000 องศาเซลเซียส	1.1	0.85	0.78	0.65	0.48
1100 องศาเซลเซียส	1.37	0.88	0.81	0.68	0.50



ภาพที่ 4.12 ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อการนำความร้อน

พิจารณาจากกราฟผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อค่าการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ พบว่า การเติมผงฝุ่นหินอ่อนส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีค่าการนำความร้อนลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณของผงฝุ่นหินอ่อนมากขึ้น การนำความร้อนของชิ้นงานอิฐก็จะลดลงตามลงไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการเติมผงฝุ่นโรงโม่หินส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความพรุนตัวมากขึ้นตามภาพที่ 4.14 เนื่องจากการสลายตัวของผงฝุ่นโรงโม่หินในระหว่างกระบวนการเผา ซึ่งส่งผลให้การนำความร้อนของชิ้นงานอิฐลดลงตามปริมาณของผงฝุ่นหินอ่อนที่เพิ่มขึ้นไปด้วย (Mishra,1986)

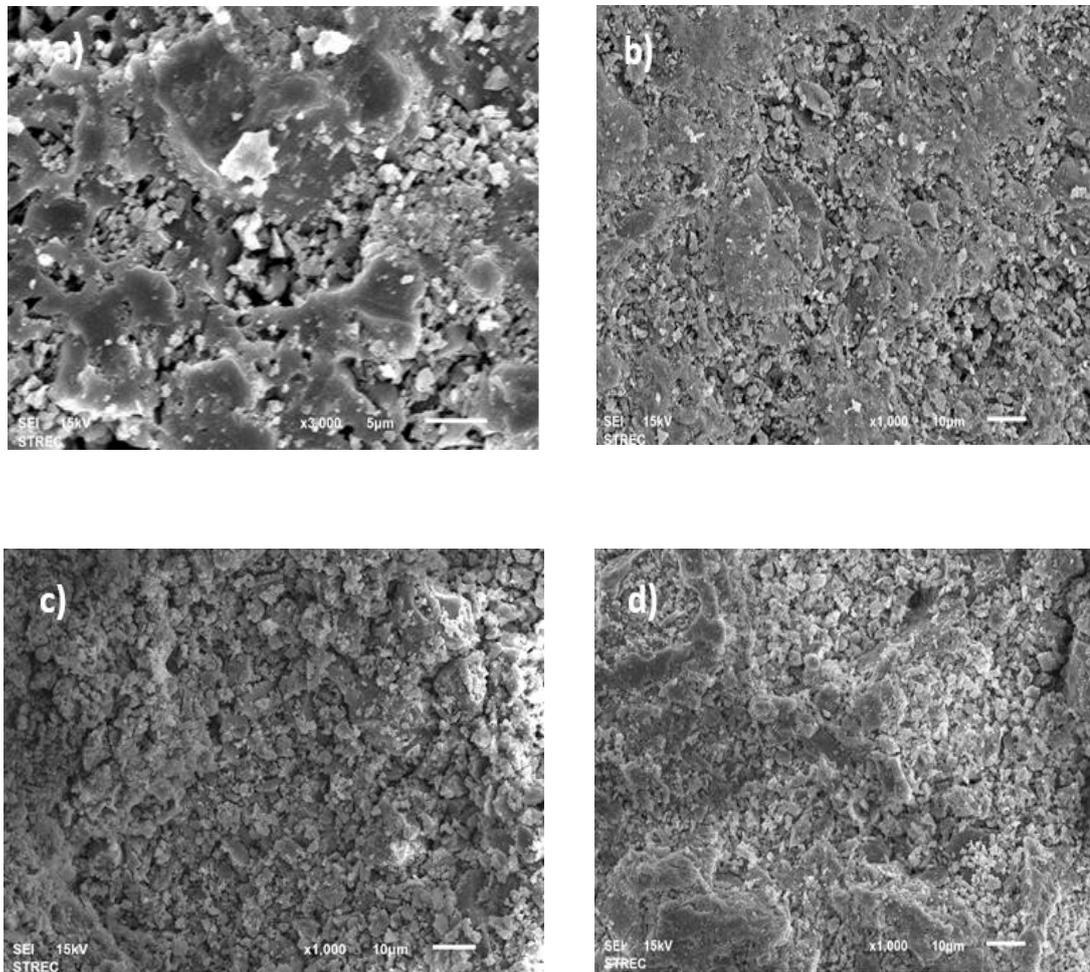
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเผา พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้การนำความร้อนของชิ้นงานอิฐเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเผาทำให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นสูงความพรุนตัวลดลงตามปริมาณของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการนำความร้อนสูงขึ้นตามไปด้วย (Sütçü, 2009) โดยชิ้นงานอิฐมีค่าการนำความร้อนน้อยที่สุด 0.16 วัตต์ต่อเมตร เคลวิน เมื่อเติมผงฝุ่นโรงโม่หินร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากชิ้นงานอิฐเป็นองค์ประกอบที่มีความพรุนตัวมากที่สุด

9. ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อโครงสร้างจุลภาค

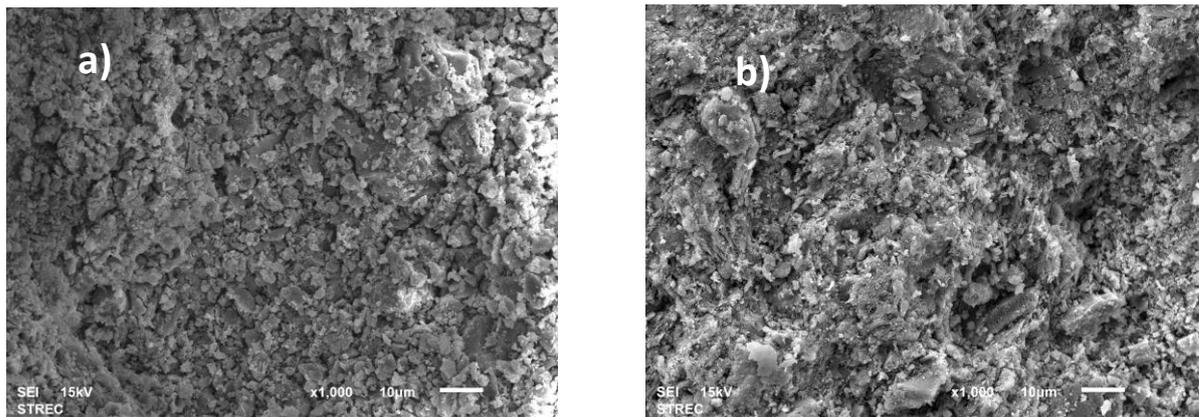
ผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4.13

พิจารณาจากรูปผลของผงฝุ่นจากโรงโม่หินต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐ พบว่า การเติมผงฝุ่นโรงโม่หินส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความพรุนตัวเพิ่มขึ้นตามปริมาณของผงฝุ่นโรงโม่หินที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของผงฝุ่นโรงโม่หินในระหว่างการเผาซึ่งมีสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบหลัก ทำให้เกิดรูพรุนเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด และการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐลดลงนั่นเอง

พิจารณาผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐที่เติมผงฝุ่นโรงโม่หินร้อยละ 20 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 - 1100 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4.14 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่มีการเติมผงฝุ่นหินอ่อนร้อยละ 20 และเผาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความพรุนตัวของชิ้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากผลของอุณหภูมิจะส่งผลให้เกิดเฟสของแก้วและเฟสของเหลวในระหว่างการเผาตามปริมาณอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งไปเชื่อมระหว่างรูพรุน ส่งผลให้ช่วยลดรูพรุนของชิ้นงานอิฐ ทำให้ชิ้นงานอิฐมีความหนาแน่น และความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเอง (Loryuenyong, 2009; Marras,2000; Vieira, 2004)



ภาพที่ 4.13 ผลของผงปูนโรงไหมหินต่อโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส และเติมผงปูนหินอ่อน a) 10% b) 20% c) 30% และ d) 40% โดยปริมาตร



ภาพที่ 4.14 ผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐที่เติมผงฝุ่นโรงโม่หินร้อยละ 20 โดยปริมาตรและ เเผาที่อุณหภูมิ a) 1000 องศาเซลเซียส b) 1100 องศาเซลเซียส

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิเคราะห์วัตถุดิบ

ผลการวิเคราะห์วัตถุดิบสำหรับวิจัย ได้แก่ ดิน ผงฝุ่นจากโรงโม่หินพบว่า องค์ประกอบของวัตถุดิบหลักคือ ดิน ประกอบได้ด้วย ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานอิฐมีความแข็งแรง เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง รองลงมาคือ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ซึ่งทำให้อิฐมีความทนไฟสูง และออกไซด์ของเหล็ก (Fe_2O_3) ที่ส่งผลให้ชิ้นงานหลังเผามีสีแดง ในส่วนของผงฝุ่นจากโรงโม่หินจะมีส่วนประกอบหลักเหมือนกับดิน คือ มีแคลเซียมคาร์บอเนตไซด์เป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างเฟส

เมื่อพิจารณาผลของความร้อนต่อวัตถุดิบพบว่า ที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส ดินจะมีค่าน้ำหนักสูญหายประมาณร้อยละ 10 ผงฝุ่นหินอ่อนบประมาณร้อยละ 37.34

สรุปผลของผงฝุ่นโรงโม่หินต่อสมบัติอิฐดินเผามวลเบา

ผลการศึกษาพบว่า การเติมผงฝุ่นโรงโม่หินส่งผลให้ การหดตัว ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด และการนำความร้อนลดลง ตามปริมาณของโรงโม่หินที่เติมลงไป ในขณะที่การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ความพรุนตัว และการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการสลายตัวของผงฝุ่นโรงโม่หินในระหว่างการเผา ทำให้ชิ้นงานมีความพรุนตัวมากขึ้นตามปริมาณของผงฝุ่นโรงโม่หินและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ การหดตัว การสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ความหนาแน่น ความต้านทานแรงอัด การนำความร้อนของชิ้นงานอิฐ เพิ่มขึ้น ในขณะที่ ความพรุนตัว การดูดซึมน้ำ ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เกิดเฟสของเหลวที่ช่วยปิดรูพรุน ในระหว่างการเผา ทำให้มีการหดตัวของชิ้นงานอิฐหลังเผา

จากผลการศึกษาพบว่า ชิ้นงานที่เติมผงฝุ่นโรงโม่หินร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบา (มอก. 2601 – 2556) เกรด C12 คือ มีความหนาแน่นไม่เกิน 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในส่วนของการดูดซึมน้ำ ชิ้นงานอิฐที่เติมผงฝุ่นหินอ่อนทั้งหมด มีค่าที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบา (มอก.2601 – 2556) เกรด C10 ส่วนส่วนค่าความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานที่เติมผงฝุ่นทั้งหมด มีค่าความต้านทานแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบา (มอก.2601 – 2556) เกรด C10

โดยชิ้นงานอิฐมีสมบัติที่ดีที่สุดเมื่อเติมผงฝุ่นหินอ่อนร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส จะได้ชิ้นงานอิฐที่มีความหนาแน่น 1.43 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความต้านทานแรงอัด 12.15 เมกะพาสคัล การดูดซึมน้ำร้อยละ 21.20 และการนำความร้อน 0.48 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรเพิ่มอุณหภูมิเผามากกว่า 1100 องศาเซลเซียส เพื่ออุณหภูมิที่เสถียร
2. ควรศึกษาขนาดของอนุภาค และขนาดของรูพรุน ที่ส่งผลต่อสมบัติของอิฐดินเผามวลเบา
3. ควรศึกษาโดยการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ ชนิดอื่น ที่มีเป็นจำนวนมากในประเทศไทย เช่น ชังข้าวโพด ถั่วปาล์ม เป็นต้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

- กรรมธิการ เกิดมงคล.(2529). *ต้นทุนและผลตอบแทนจากการลงทุนผลิตอิฐมอญระดับอุตสาหกรรม*
ครัวเรือนในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา และอ่างทอง.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต
การบัญชี. กรุงเทพฯ : จุฬาฯ
- กุลธิดา บรรจงศิริ และ จิรจิตต์ บรรจงศิริ. (2548). *การศึกษาปริมาณโลหะหนักในอิฐมอญที่ผลิต จาก*
ดินเหนียวผสมตะกอนบำบัดน้ำเสียจากชุมชน. การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 10 :
ชลบุรี
- ชนิษฐา เพชร, พัฒนันต์ จันสว่าง, สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว, เอกชัย อยู่ประเสริฐชัย และบุญลือ เอมะรุจิ.
(2549). *งานวิจัยเรื่องการผลิตและใช้ก๊าซธรรมชาติเพื่อเผาอิฐก่อสร้าง.กรุงเทพฯ*
มหาวิทยาลัยมหิดล
- คณะกรรมการจัดทำโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. *ชานอ้อย. สืบค้นจาก*
<http://kanchanapisek.or.th> เมื่อวันที่ 15 มีนาคม 2559.
- ชัยวัฒน์ ธีร์วรากล, พงศ์เกษม ของดีงาม, จิราภรณ์ พรหมณีวรรณ และ สนธยา ทองอรุณศรี.(2549).
งานวิจัยเรื่องการวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพในการผลิตอิฐมอญด้วยมือของ
กลุ่มชาวบ้านในท้องถิ่น. ตาก : สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตตาก
- ณัฐพัชร สืบบัวแก้ว, สมศักดิ์ มีเสถียร, ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา., *การพัฒนาอิฐมวลเบา โดยใช้*
กระดาษเหลือใช้. วารสารวิชาอุตสาหกรรมศึกษา. 6(2555): 51-57.
- ดรุณี วัฒนศิริเวช และ สุธี วัฒนศิริเวช. *การวิเคราะห์แร่ดิน เคลือบ และตำหนิในเซรามิกส์.*
สำนักพิมพ์จุฬาฯ .2552.
- ประชุม คำพุ่ม. (2550). *การศึกษาการรับกำลังอัดและกำลังดัดของอิฐดินดิบผสมเถ้าแกลบวารสาร*
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 27 (พิเศษ), 94-98
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539) .*เซรามิกส์. กรุงเทพฯ : จุฬา*
- พัชรินทร์ วรธนกุล. *Sol-Gel เทคโนโลยีสังเคราะห์ซิลิกาจากชานอ้อย. เทคโนโลยีไปโอ. 36 (2010)*
40-43.
- พรณวิไล กิ่งสุวรรณรัตน์, *การผลิตเอทานอลจากเหง้ามันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร-*
มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2545.
- พงษ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ และ วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ. (2546). *วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ ซีเอ็ดยูเคชั่น*
- พวงผกา ออมทรัพย์ และ เกศรินทร์ พิมพ์รักษา. (2549).*งานวิจัยเรื่องปรับปรุงกระบวนการในการ*
เตรียมดินให้มีประสิทธิภาพเพื่อลดการสูญเสียในกระบวนการผลิตและเพิ่มคุณค่า
ผลิตภัณฑ์. เชียงใหม่: ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- วรรณภา ต. แสงจันทร์, *การพัฒนาอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว. (2552) วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*
179 46-52.
- สยาม ณรงค์ฤทธิ. (2533). *คนเผาอิฐ. กรุงเทพฯ : ต้นอ้อ*

- สุทัศน์ จันบัวลา. (2550). การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาในจังหวัดสิงห์บุรี. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
- สุทัศน์ จันบัวลา. (2553). การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาในเขตภาคกลางตอนบน กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
- สุทัศน์ จันบัวลา. (2558). อิฐดินเผามวลเบา ทางเลือกใหม่ของวัสดุก่อสร้าง. วารสารเชรามิกส์. 45, 17-19.
- สุทัศน์ จันบัวลา และ มานะ เอี่ยมบัว (2554). การศึกษาสมบัติของอิฐดินเผาในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง. วารสาร มมส. ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ครั้งที่ 7 323-327
- สุบินทร์ ห่องสวัสดิ์, ฉลองรัฐ จงยิ่งศิริ. (2541). การศึกษาด้านวิศวกรรมของอิฐมอญในจังหวัดอยุธยา อ่างทอง และลพบุรี. ปรินญาณิพนธ์ ภาควิชาก่อสร้างและงานไม้ สาขาวิชาเทคโนโลยีโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- สมชาย มณีวรรณ และคณะ. (2012). การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผนังอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของสารเปลี่ยนสถานะ. NU Science Journal. 9 45-56.
- สมพร อิศวิลานนท์. มองสถานการณ์ข้าวไทยผ่านตลาดการค้าข้าวโลก. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 2557.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (มอก 2601 – 2556). 2556.
- อรรคเดช ฤกษ์พิบูลย์. รายงานวิจัยความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยบดละเอียดภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2551.
- เอก ช่อประดับ. (2547) คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐสามัญที่ทำจากดินเหนียวผสมแกลบ วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

- Bories, C., Borredon, M., Vedrenne, E., and Vilarem, G., (2015) *Fired clay bricks using agricultural biomass wastes: Study and characterization*. *Construction and Building Materials*. 91 158-163.
- 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.
- Chiang, K., Chou, P., Hua, C., Chien, K., and Cheeseman, C., (2009). *Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks*. *Journal of Hazardous Materials*. 171 76-82
- Demir, I., Baspina, S., and Orhan, M., (2005). *Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production*. *Building Environment*. 40 1533-1537
- Demir, I., (2008) *Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks*. *Journal of Waste Management*. 28 622-627
- Eliche-Quesada, D., et al., (2011) *The use of different forms of waste in the manufacture of ceramic bricks*. *Applied Clay Science* 52 270-276.
- Faria, K.C. P., Gurgel, R.F., and Holanda, J.N.F., (2012) *Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks*. *Journal of Environmental Management*. 101 7-12.
- 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.
- Gorhan, G. and Simsek, O. (2013), *Porous clay bricks manufactured with rice husks*. *Construction and Building Materials*. 40 390-396.
- Ibrahim, M. N., Salehuddin, S., Amat, R. C., Rahim, N. L., and Izhar, T. N. T., (2013). *Performance of Lightweight Foamed Concrete with Waste Clay Brick as Coarse Aggregate*. *APCBEE Procedia*. 5 49-501.
- Kingery, A. J.; Bowen, H.K.; and Uhlmann, D.R.(1991) *Introduction to Ceramic*. Singapore : John Wiley of Sons (SEA) Pte,
- 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.

- Mahllawy, M.S., *Characteristics of acid resisting bricks made from quarry residues and waste steel slag*. Construction and Building Materials. 22(2008): 1887-96.
- 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.
- Marras, Sl., Ihtiaris, IA., Hatzitrifon, 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.
- Michel W., Barsoum.:(1997) *Fundamentals of Ceramics*. New York : The Mcgraw – Hill
- 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.
- Mohajerani, A., Kadir, A. A., Larobina, L., (2016). *A Practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks*. Waste Management. 52(2016):228-244.
- Mohseni, E., Naseri, F., Amjadi, R., Mehrinejad, M., Malek, K., and Ranjbar, M. *Microstructure and durability properties of cement mortars containing nano-TiO₂ and rice husk ash*. Construction and Building Materials. 114 (2016): 656–664.
- 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.
- Njeumen Nkayema, D.E., Mbey, J.A., Kenne Dikko, B.B., Njopwouo, D., (2016) *Preliminary study on the use of corn cob as pore forming agent in lightweight clay bricks: Physical and mechanical features*. Journal of Building Engineering. 5 254-259.
- 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.
- 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.

- 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.
- 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.
- Souza, A.E., Teixeira, S.R., Santo, G.T.A., Costa, F.B. Longo, E., (2011). *Reuse of sugarcane bagasse ash (SCBA) to produce ceramic materials.* Journal of Waste Management. 92 2774-2780
- 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.
- 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.
- Sutcu, M., Alptekin, H., Erdogmus, and E., Gencil, O., (2015) *Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials.* Construction and Building Materials. 82 1-8.
- 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.
- Thailand Industrial Standard Institute. 2004., *Thai industrial standard of clay brick.* Bangkok Thailand (2547): TISI 44-2547.
- 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.
- Yariv, S., *The role of charcoal on dta curves of organo-clay complexes: an overview.* Applied Clay Science. 24(2003) 225-36.

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายสุทัศน์ จันทน์บัวลา

ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	ปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันฯ	ประเทศ
2544	ปริญญาตรี	วท.บ	ฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	ไทย
2551	ปริญญาตรี	น.บ.	นิติศาสตร์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	ไทย
2548	ปริญญาโท	วท.ม.	เทคโนโลยีเซรามิก	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย
2559	ปริญญาเอก	วท.ด.	วัสดุศาสตร์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ไทย

สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

เครื่องปั้นดินเผา เพียโซอิเล็กทริกเซรามิกส์, สื่อการสอนวิทยาศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

นางสาวอาภาพรรณ สัตยาวิบูลย์

ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

ประวัติการศึกษา

ปี	ระดับการศึกษา	วุฒิการศึกษา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา
2539 – 2542	ปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยมหิดล
2543 -2546	ปริญญาโท	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

การจัดการสิ่งแวดล้อม และการวิเคราะห์สาร PAH ในสิ่งแวดล้อม

ชื่อ - สกุล

นายวัชรกรรณ์ เนตรหาญ

ตำแหน่งปัจจุบัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยสวนดุสิต

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	ปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันฯ	ประเทศ
2538	ตรี	เศรษฐศาสตร์บัณฑิต	เศรษฐศาสตร์	มหาวิทยาลัยรามคำแหง	ไทย
2545	โท	วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต	อุตสาหกรรม โครงข่าย โทรคมนาคม และ คอมพิวเตอร์	มหาวิทยาลัยรังสิต	ไทย

สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

การสื่อสารดาวเทียม, ระบบการสื่อสาร, ตรรกศาสตร์คลุมเครือ