



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาอิฐดินเผา – มวลเบา โดยใช้ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรม
หินอ่อนเป็นส่วนผสม

The Research and development lightweight clay brick by mixing
waste powder from marble industry

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ จันบัวลา

ดร.วิทวัส รัตนถาวร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์มานะ เอี่ยมบัว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรกรรณ์ เนตรหาญ

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาอิฐดินเผา – มวลเบา โดยใช้ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรม
หินอ่อนเป็นส่วนผสม

The Research and development lightweight clay brick by mixing
waste powder from marble industry

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ จันบัวลา
(สังกัดคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

ดร.วิทวัส รัตนถาวร

(สังกัดคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์มานะ เอี่ยมบัว
(สังกัดโรงเรียนการท่องเที่ยวและการบริการ)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรภรณ์ เนตรหาญ
(สังกัดคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสวนดุสิต

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยสวนดุสิต ปีงบประมาณ 2560)

หัวข้อวิจัย	การวิจัยและพัฒนาอิฐดินเผา – มวลเบา โดยใช้ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมหินอ่อนเป็นส่วนผสม
ผู้ดำเนินการวิจัย	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทัศน์ จันบัวลา ดร.วิทวัส รัตนถาวร ผู้ช่วยศาสตราจารย์มานะ เอี่ยมบัว ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรการณ เนตรหาญ
หน่วยงาน	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปี พ.ศ.	2560

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมหินอ่อนสำหรับปรับปรุงสมบัติของอิฐดินเผามวลเบา โดยการเติมผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมหินอ่อนร้อยละ 10, 20, 30, 40% โดยปริมาตร และเผาที่อุณหภูมิ 900, 1000, 1100 °C ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณของผงฝุ่นจากจากโรงงานอุตสาหกรรมหินอ่อนส่งผลให้อิฐดินเผามวลเบา มีค่าความพรุนตัวและการดูดซึ่มเพิ่มขึ้น ในขณะที่การนำความร้อนและความหนาแน่นลดลง การเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ความพรุนและการดูดซึ่มน้ำลดลง ผลการวิจัยพบว่าเมื่อเติมผงฝุ่นร้อยละ 40% และเผาที่อุณหภูมิ 900 °C ขึ้นงานมีสมบัติที่ดีที่สุดคือความหนาแน่น 1.20 g / cm³ ความต้านทานแรงอัด 9.2 MPa การนำความร้อน 0.32 W/mK และการดูดซึ่มน้ำ 23.5

Research Title	The Research and development lightweight clay brick by mixing waste powder from marble industry
Researcher	Mr.Sutas Janbuala Mr.Wittawat Ratanathavorn Mr.Mana lembua Mr.Watcharakorn Netharn
Organization	Suan Dusit University Faculty of Science and Technology
Year	2017

The objective of this study were recycling of powder from marble industry waste to improve properties of lightweight clay bricks. The amount of powder from marble industry waste added to lightweight clay brick were varied by 10, 20, 30, 40 % by volume, and variation of firing temperature by 900, 1000, 1100 °C. The results showed that more content of powder from marble industry 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 marble industry added 40% and firing temperature 900 °C the best properties as 1.20 g/cm³ of bulk density, 9.2 MPa of compressive strength, 0.32 W/mK of thermal conductivity, and 23.5 % of water absorption

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยดีคณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้แก่ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ เครื่องมือวิจัย

คณะผู้วิจัย

ธันวาคม 2560

สารบัญ

	หน้า	
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)	
กิตติกรรมประกาศ	(3)	
สารบัญ	(4)	
สารบัญตาราง	(6)	
สารบัญภาพ	(7)	
บทที่ 1	บทนำ	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	ขอบเขตของการวิจัย	2
	สมมติฐานการวิจัย	3
	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
	ความเป็นมาของอัญมณีดินเผา	4
	ชนิดของอัญมณี	4
	ลักษณะที่ดีของอัญมณี	6
	วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต	7
	คุณสมบัติของดินและอัญมณีดินเผา	12
	กรรมวิธีในการผลิตอัญมณี	12
	กระบวนการที่เกิดขึ้นในการเผาอัญมณี	15
	เกณฑ์ที่ใช้วัดมาตรฐานของอัญมณี	18
	อุตสาหกรรมอัญมณีดินเผาในกลุ่มจังหวัดภาคกลางตอนบน	20
	ทฤษฎีพฤติกรรมของผู้บริโภค	21
	พฤติกรรมการตัดสินใจซื้ออัญมณีของผู้บริโภค	22
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
	กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	35

บทที่ 3	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	38
	วัตุดิบและอุปกรณ์การวิจัย	38
	เครื่องมือสำหรับใช้ในการวิจัย	39
	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	45
บทที่ 4	ผลการวิจัยและการวิเคราะห์	51
	การวิเคราะห์หัตถ์ดิบ	51
	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อสมบัติอิฐดินเผามวลเบา	54
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย	67
	การศึกษาองค์ประกอบของหัตถ์ดิบ	67
	การศึกษาผลของผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน	67
	ข้อเสนอแนะ	69
บรรณานุกรม		
	บรรณานุกรมภาษาไทย	70
	บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	71
	ประวัติผู้วิจัย	72

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.1	ขนาดอิฐมอญสำเร็จรูป	18
ตารางที่ 2.2	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของมิติ	18
ตารางที่ 2.3	แสดงค่าแรงอัดและการดูดซึมน้ำของอิฐ	19
ตารางที่ 2.4	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอิฐกับเกณฑ์มาตรฐาน	23
ตารางที่ 2.5	แสดงผลของส่วนผสมต่อคุณสมบัติของอิฐมอญ	24
ตารางที่ 2.6	แสดงผลของอุณหภูมิเผาต่อคุณสมบัติของอิฐมอญ	25
ตารางที่ 2.7	แสดงผลการวิจัยที่ได้	27
ตารางที่ 2.8	แสดงกำลังของอิฐที่เผาด้วยก๊าซชีวภาพ	29
ตารางที่ 4.1	ส่วนประกอบทางเคมีของดิน ผงฝุ่นหินอ่อน	51
ตารางที่ 4.2	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการหดตัวหลังเผา	55
ตารางที่ 4.3	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา	56
ตารางที่ 4.4	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อความหนาแน่น	58
ตารางที่ 4.5	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อความพรุนตัว	59
ตารางที่ 4.6	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการดูดซึมน้ำ	60
ตารางที่ 4.7	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อความต้านทานแรงอัด	62
ตารางที่ 4.8	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการนำความร้อน	63

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2.1 อีฐมอญ	5
ภาพที่ 2.2 อีฐดินเผา	11
ภาพที่ 2.3 อีฐดินเผาที่ผ่านการขึ้นรูปโดยแบบพิมพ์	13
ภาพที่ 2.4 อีฐดินเผาที่ผ่านการขึ้นรูปโดยการรีด	14
ภาพที่ 2.5 การตากอีฐ	14
ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนในการเกิดกระบวนการเผา	15
ภาพที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการซินเทอร์	16
ภาพที่ 2.8 แสดงขั้นตอนการเกิด Solid state sintering	17
ภาพที่ 2.9 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอีฐมอญที่มีอัตราส่วนระหว่างเถ้าแกลบต่ออีฐ เท่ากับ 0.6	25
ภาพที่ 2.10 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอีฐมอญที่เผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส	26
ภาพที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของอีฐดินเผาที่เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และมีปริมาณผง คาร์บอนเนตที่แตกต่างกัน (1) 0 % (2) 5 % (3) 10 % (4) 20 โดยน้ำหนัก	28
ภาพที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของอีฐดินเผาที่เผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส และมีปริมาณผงคาร์บอนเนตที่แตกต่างกัน (1) 0 % (2) 5 % (3) 10 % (4) 20% โดยน้ำหนัก	28
ภาพที่ 2.13 แสดงผลของแกลบต่อความสามารถในการรับแรงอัด	30
ภาพที่ 2.14 แสดงผลของแกลบต่อความพรุนตัวของอีฐ	30
ภาพที่ 2.15 แสดงผลของแกลบที่มีต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำ	31
ภาพที่ 2.16 แสดงผลของแกลบที่มีต่อความพรุนตัวของอีฐ	31
ภาพที่ 2.17 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างดินกับกากตะกอนของเสียที่ส่งผลต่อค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ	33
ภาพที่ 2.18 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างดินกับกากตะกอนของเสียที่ส่งผลต่อกำลังของอีฐ	33
ภาพที่ 2.19 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างดินกับกากตะกอนของเสียที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของอีฐ	34
ภาพที่ 2.20 แสดงผลของเถ้าแกลบต่อค่าความสามารถในการรับแรงอัดของอีฐ	34

ภาพที่	2.21	แสดงผลของเก้าแกลบต่อค้ำยัมอดูลัสของอิฐ	35
ภาพที่	2.22	แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย	37
ภาพที่	3.1	ดินเหนียวจากอำเภอบางบาล	38
ภาพที่	3.2	ผงฝุ่นจากโรงงานอุตสาหกรรมขีดหินอ่อน	39
ภาพที่	3.3	ตะแกรงร่อน	40
ภาพที่	3.4	เครื่องชั่ง และชุดหาความหนาแน่น	41
ภาพที่	3.5	เวอร์เนียร์แคลิเปอร์	41
ภาพที่	3.6	แม่พิมพ์แบบขึ้นรูป	41
ภาพที่	3.7	เตาเผาไฟฟ้า	42
ภาพที่	3.8	เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์	42
ภาพที่	3.9	เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์	43
ภาพที่	3.10	เครื่องเอกซเรย์ดีฟแฟรกชันเทอร์โมมิเตอร์	43
ภาพที่	3.11	เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล	44
ภาพที่	3.12	เครื่องมือวิเคราะห์การนำความร้อนฮอตดิส	44
ภาพที่	3.13	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	45
ภาพที่	3.14	ชิ้นงานที่ขึ้นรูป	46
ภาพที่	3.15	ชิ้นงานที่ผ่านการเผา	49
ภาพที่	3.16	แผนผังขั้นตอนการวิจัย	50
ภาพที่	4.1	โครงสร้างผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขีดหินอ่อน	52
ภาพที่	4.2	การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของผงฝุ่นหินอ่อน	53
ภาพที่	4.3	โครงสร้างเฟสของชิ้นงานที่เติมผงฝุ่นหินอ่อนในปริมาณที่แตกต่างกัน และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส	54
ภาพที่	4.4	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการหดตัว	55
ภาพที่	4.5	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อน้ำหนักสูญหาย	56
ภาพที่	4.6	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อความหนาแน่น	58
ภาพที่	4.7	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อความพรุนตัว	59
ภาพที่	4.8	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการดูดซึมน้ำ	60
ภาพที่	4.9	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อความต้านทานแรงอัด	62
ภาพที่	4.10	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการนำความร้อน	63
ภาพที่	4.11	ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ	

	1000 องศาเซลเซียส	65
ภาพที่ 4.12	ผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐที่เติมผงฝุ่นหินอ่อน ร้อยละ 20	66

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมอิฐดินเผาหรืออิฐมอญเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีการผลิตมาเป็นเวลายาวนานแล้ว โดยจะใช้วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจากภายในประเทศทั้งหมด ที่สามารถหาได้โดยทั่ว ๆ ไป ตามท้องถิ่นต่าง ๆ ในประเทศไทย ส่วนใหญ่ลักษณะการผลิตจะเป็นเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน (จ้างงานต่ำกว่า 10 คน มีทรัพย์สินถาวร ไม่เกิน 1 ล้านบาท) ส่วนหนึ่งเป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อม (จ้างงาน 10-49 คน มีทรัพย์สินถาวรระหว่าง 1-10 ล้านบาท) และมีเพียงน้อยเท่านั้นที่เป็นอุตสาหกรรมขนาดกลาง (จ้างงาน 50-199 คน มีทรัพย์สินถาวรระหว่าง 10-50 ล้านบาท) โรงงานผลิตอิฐ ในปัจจุบันมีจำนวน 951 โรงงาน รวมกำลังการผลิตประมาณ 2,100,000,000 ชิ้น/ปี หรือ ประมาณ 175,000,000 ชิ้น/เดือน โรงงานผลิตอิฐจะตั้งกระจายอยู่ทั่วประเทศ โดยเมื่อพิจารณาในเรื่องของการกระจุกตัวหรือความหนาแน่นของอุตสาหกรรม พบว่าการผลิตอิฐก่อสร้างทำการผลิตที่จังหวัดในเขตภาคกลางตอนบนได้แก่ นครศรีอยุธยา อ่างทอง สิงห์บุรี มากที่สุดโดยอาศัยดินบริเวณแถบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต เนื่องจากอุตสาหกรรมการผลิตอิฐก่อสร้างส่วนใหญ่จะเป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อม ดังนั้นขนาดโรงงานจึงค่อนข้างเล็ก อิฐก่อสร้างเป็นสินค้าที่ผลิตจำหน่ายในประเทศเป็นส่วนใหญ่ จึงมีเหลือส่งออกเพียงบางส่วน ซึ่งลักษณะการส่งออกมีอัตราการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยมีตลาดส่งออกที่สำคัญแถบอินโดจีน ได้แก่ พม่า ลาว กัมพูชา และภูมิภาคอื่น ๆ เช่น สิงคโปร์ ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา

อิฐดินเผาคือวัสดุที่ผลิตมาจากการนำดินเหนียวผสมกับแกลบหรือขี้เลื่อยหรือวัสดุอื่นๆ แล้วนำมาเผาเพื่อให้ได้วัสดุที่คงรูปและมีความแข็งแรง เป็นวัสดุที่สำคัญในงานก่อสร้างเนื่องจากมีความแข็งแรงทนทาน รับน้ำหนักได้ดี ขนาดพอเหมาะและน้ำหนักเบา การใช้อิฐดินเผาในระบบก่อสร้างของประเทศไทยมีมายาวนานโดยจะเห็นได้จากสิ่งก่อสร้างในยุคก่อนๆ จึงเป็นวัสดุที่เป็นที่รู้จักและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากความเชื่อมั่นในความคงทน และยังเป็นวัสดุที่สามารถผลิตได้เองในประเทศโดยใช้วัตถุดิบและแรงงานจากท้องถิ่น นอกจากจะใช้ในการก่อสร้างแล้วอิฐดินเผายังใช้ในการประดับและตกแต่งได้อีกด้วย คุณสมบัติของอิฐดินเผาจะยอมให้ความร้อนถ่ายเทเข้า-ออกได้ง่าย และเก็บความร้อนไว้ในตัวเองเป็นเวลานาน และเนื่องจากอิฐมีความจุความร้อนสูงทำให้สามารถกักเก็บความร้อนไว้ในเนื้อวัสดุได้มากกว่าก่อนที่จะค่อยๆ ถ่ายเทสู่ภายนอก จึงเหมาะกับการใช้สำหรับงานก่อสร้างได้เป็นอย่างดี ในประเทศไทยมีการผลิตอิฐดินเผาอยู่ทั่วทุกภาค

ของประเทศตั้งแต่รูปแบบของอุตสาหกรรมในครัวเรือนจนกระทั่งถึงการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

ปัญหาที่สำคัญอีกของอิฐดินเผาคือมีน้ำหนักมาก และมีความหนาแน่นสูงทำให้มีความเป็นฉนวนความร้อนและฉนวนเสียงน้อย และการที่มีน้ำหนักมากทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ซึ่งเป็นต้นทุนหลักสำหรับผู้ผลิตอิฐ ที่ผ่านมามีคณะผู้วิจัยได้ทำการวิจัยและศึกษาการใช้วัตถุดิบและการออกแบบที่เหมาะสมแล้ว (สุทัศน์ จันบัวลา, 2553) ซึ่งพบว่าได้ผลการวิจัยเป็นที่น่าพอใจโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้นและได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาอิฐดินเผาให้มีความเบา และมีความเป็นฉนวนความร้อนและป้องกันเสียงได้ดีกว่าอิฐดินเผาทั่วไป ในขณะที่ความแข็งแรงสูงกว่าอิฐมวลเบา โดยใช้ผงฝุ่นที่เกิดจากการขัดหินอ่อนซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการขัดหินอ่อนให้มีความเบา ทั้งนี้เนื่องจากมีส่วนประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความพรุนตัวระหว่างการเผาทำให้มีความเบาและมีความเป็นฉนวนความร้อนมากขึ้น โดยใช้ผงฝุ่นที่เหลือจากการขัดหินอ่อนของ บริษัทฟาร์อีสท์มาร์เบิล แอนแกรนิต จำกัด จังหวัดสระบุรี ซึ่งนอกจากจะเป็นการพัฒนาวัสดุก่อสร้างให้มีสมบัติดีขึ้นแล้วยังเป็นการนำกากของเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมหินอ่อนที่มีเป็นจำนวนมากมาใช้ให้เป็นประโยชน์อีกด้วย โดยแนวคิดการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

1. การวิจัยเชิงสำรวจโดยมุ่งเน้นไปที่การศึกษากระบวนการและรูปแบบที่ใช้ในการลดน้ำหนักอิฐดินเผา
2. การวิจัยเชิงทดลองโดยจะมุ่งเน้นการพัฒนา การออกแบบ และพัฒนาตัวเติมในอิฐดินเผาโดยใช้ผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน
3. การถ่ายทอดผลงานวิจัยสู่กลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อิฐดินเผา

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวัสดุก่อสร้างอิฐดินเผาเบาโดยใช้ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนเป็นส่วนผสม
2. เพื่อศึกษาสมบัติของอิฐดินเผาเบาที่ใช้ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนเป็นส่วนผสม

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุจากผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนและแนวทางการนำมาใช้ประโยชน์อุตสาหกรรมอิฐดินเผาโดย

2. ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงเฟส และการเปลี่ยนแปลงเชิงกายภาพของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง

3. ศึกษาผลของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อน ที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อิฐดินเผา โดยทำการทดลองดังนี้

3.1 ผสมผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนกับดินในปริมาณร้อยละ 10-50 โดยน้ำหนัก

3.2 ขึ้นรูปโดยการอัดแบบ

3.3 เผาที่อุณหภูมิ 800 – 1200 องศาเซลเซียส

3.4 นำชิ้นงานไปวิเคราะห์สมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐดินเผาสามัญ มอก 44-2547 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐมวลเบา มอก 2601-2556 ได้แก่ ความหนาแน่น ความแข็งแรง ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

3.4 นำชิ้นงานไปวิเคราะห์สมบัติที่เกี่ยวข้องได้แก่ การหดตัว ค่าน้ำหนักสูญหาย ความพรุนตัว การนำความร้อน และโครงสร้างจุลภาค

3.6 นำชิ้นงานที่มีสมบัติดีที่สุดมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

4. สร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบอิฐดินเผามวลเบาที่มีความเบากว่าอิฐดินเผาแต่แข็งแรงกว่าอิฐมวลเบา โดยใช้วัตถุดิบคือผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนเป็นส่วนผสม

5. ถ่ายทอดผลงานวิจัยสู่กลุ่มผู้ผลิตอิฐดินเผาเพื่อเป็นแนวทางในการผลิต และโรงงานอุตสาหกรรมหินอ่อนเพื่อเป็นแนวทางในการนำผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนไปใช้ประโยชน์

สมมติฐานการวิจัย

การเติมผงฝุ่นจากโรงงานอุตสาหกรรมหินอ่อนจะส่งผลให้อิฐดินเผามีความเบาลงและมีความเป็นฉนวนความร้อนมากขึ้น

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ผลิตภัณฑ์อิฐดินเผามวลเบาจากการนำผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนเป็นส่วนผสมมาเป็นส่วนผสม โดยมีความเป็นฉนวนความร้อนและมีความแข็งแรงที่เหมาะสมกับการใช้งานก่อสร้างเมื่อเปรียบเทียบกับอิฐบล็อกมวลเบา

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความเป็นมาของอิฐดินเผา

อิฐดินเผาหรืออิฐมอญนับเป็นวัสดุก่อสร้างที่อยู่คู่กับคนไทยมาเป็นเวลายาวนานแล้ว โดยจะเห็นได้ว่าสิ่งก่อสร้างยุคก่อนๆ ที่เห็นได้จากโบราณสถานต่างๆ ในประเทศนั้นส่วนประกอบมีอิฐเป็นวัสดุหลัก ทั้งนี้เนื่องจากอิฐใช้เป็นส่วนประกอบหลักในการยึดโครงสร้างของตัวอาคารให้มีความมั่นคงแข็งแรง นอกจากนี้ยังทำให้อาคารมีความสวยงามอีกด้วย สำหรับสาเหตุของชื่ออิฐมอญนั้นเนื่องจากในอดีตชาวมอญซึ่งอพยพเข้ามาอยู่ในประเทศไทยตามริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณแถวปากเกร็ด ปทุมธานี เป็นคนกลุ่มแรกที่ได้มีการทำอิฐดินเผาขึ้น ด้วยความนิยมในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนของตนโดยการใช้อิฐ ทำให้อิฐซึ่งออกเรขายโดยชาวมอญเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในยุคนั้นจึงทำให้เรียกชื่ออิฐดินเผาใหม่นี้ว่าอิฐมอญนั่นเอง

ชนิดของอิฐ

อิฐก่อสร้างในประเทศไทยนั้นแบ่งตามลักษณะของการใช้งาน และแต่ละชนิดก็จะมีวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตแตกต่างกันออกไปได้แก่ (สยาม ณรงค์ฤทธิ์, 2533)

1. อิฐมอญ เป็นอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป โดยมีการผลิตกันทุกภาคของประเทศไทยตั้งแต่รูปแบบของอุตสาหกรรมในครัวเรือนจนกระทั่งถึงการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่โดยวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตอิฐมอญได้แก่ดินเหนียว ผสมกับแกลบ หรือขี้เลื่อย อย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ที่นิยมกันมากที่สุดคือแกลบ คุณสมบัติของอิฐมอญจะยอมให้ความร้อนถ่ายเทเข้า-ออกได้ง่าย และเก็บความร้อนไว้ในตัวเองเป็นเวลานาน และเนื่องจากอิฐมอญมีความจุความร้อนสูงทำให้สามารถกักเก็บความร้อนไว้ในเนื้อวัสดุได้มากกว่าก่อนที่จะค่อยๆถ่ายเทสู่ภายนอก จึงเหมาะกับการใช้กับบริเวณที่ใช้งานเฉพาะช่วงกลางวัน อิฐมอญเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน(มผช.) รองรับโดยเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ประกอบด้วย ลักษณะทั่วไปต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าว แต่อาจจะบิ่นได้เล็กน้อย มีความคลาดเคลื่อนของความกว้าง ความยาว และความหนา ไม่เกิน ± 5 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า 7 เมกะพาสคัล และการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 25 การเลือกดินเหนียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐมอญนั้น มีข้อที่ควรคำนึงถึงคือ ความเหนียวของดินเพื่อให้ง่ายขึ้นรูปได้ง่าย อุณหภูมิที่เผาให้สุกตัวควรอยู่ในช่วง 950-1100 องศาเซลเซียส เพื่อให้อิฐมีความแข็งแรงโดยไม่มีการหดตัวหรือผิรุ่ยมากเกินไป นอกจากนั้นควรมีปริมาณดินเหนียวสำรองที่เพียงพอเพื่อมีวัตถุดิบใช้ในระยะเวลา



ภาพที่ 2.1 แสดงภาพของอิฐมอญ

2. อิฐประดับ มีวัตถุประสงค์ในการใช้งานเพื่อความสวยงามของอาคารบ้านเรือน การผลิตส่วนใหญ่จะอยู่ในภาคกลางของประเทศไทย วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตอิฐชนิดนี้คือดินเหนียวที่มีสิ่งเจือปนแร่เหล็ก หรือบางแห่งจะมีการผสมดินเหนียวลงไปเพื่อให้สีของอิฐไม่มีความแดงจัดมากเกินไป

3. อิฐโปร่ง เป็นอิฐที่มีการตัดแปลงมาจากอิฐมอญโดยการเจาะรูตรงกลางของก้อนอิฐสองรูให้ขนานกันไปตามแนวยาวของก้อนอิฐ สำหรับวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตอิฐชนิดนี้คือดินเหนียวตามท้องถิ่นทั่วไป และไม่นิยมที่จะผสมทรายหรือเกล็ด

4. อิฐทนไฟ มีคุณสมบัติต้านทานความร้อนใช้ในการก่อเตาไฟต้องใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพทนไฟก่ออิฐ

5. อิฐปูนทราย ใช้ปูนขาวผสมกับทรายหรือปูนซีเมนต์กับทรายโดยใช้ปูน 4- 10 ส่วนต่อทราย 100 ส่วน ใช้กำลังอัดให้เป็นก้อนทิ้งไว้ให้แห้งไม่ต้องเผาก็มีความแข็งแรง

6. อิฐเคลือบ เป็นอิฐที่มีการเติมสารบางอย่างลงไปในช่วงการผลิตขณะเผาจนถึงความร้อนสูงจัด เช่นเกลือ ก็จะทำให้อิฐนั้นเคลือบเกลือ

7. อิฐเคลือบสี โดยการทาสีลงบนอิฐแล้วเคลือบทับอีกครั้งหนึ่งมีสีขาว นวล ดำ เขียว มีคุณสมบัติกันน้ำได้จึงมีประโยชน์สำหรับตกแต่งและใช้ในส่วนที่ต้องการทำความสะอาดบ่อยๆ

8. อิฐคอนกรีต ทำด้วยปูนซีเมนต์ผสมทรายและหินฝุ่นแล้วหล่อในแม่พิมพ์มักทำให้มีโพรงตรงกลางเพื่อให้เบาและปูนก่อจับได้

การแบ่งชนิดของอิฐโดยใช้ลักษณะการแบ่งตามกรรมวิธีการผลิตได้ดังต่อไปนี้
อิฐที่ทำด้วยมือ (พงพันธ์ และวรพงษ์ วรสุนทรโอสถ, 2546)

1. อิฐที่ทำด้วยมือขนาดของอิฐที่ได้จะไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของขนาดอิฐที่ได้ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากแบบของอิฐไม่เท่ากัน แรงที่ใช้อัดไม่เท่ากัน การหดตัวของโคลนที่ใช้ทำอิฐไม่เท่ากันเนื่องจากส่วนผสมไม่สม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ตามก็มีการใช้ในงานก่อสร้างได้เป็นอย่างดี และยังเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน โดยแหล่งที่ทำมีอยู่ทั่วไปเช่น สิงห์บุรี อโยธยา เชียงใหม่ เป็นต้น

อิฐที่ทำด้วยเครื่อง

2. อิฐที่อัดด้วยเครื่องมือกลเป็นอิฐที่มีความหนาแน่นดี กรรมวิธีในการผลิตดีกว่าอิฐธรรมดาที่ทำด้วยมือ แบบอัดของอิฐชนิดนี้ทำด้วยเหล็กทำให้อิฐมีความสม่ำเสมอ แรงอัดที่สม่ำเสมอทำให้มีความหนาแน่นเสมอกันดี วัสดุที่ใช้ทำอิฐชนิดนี้เป็นดินเหนียวดินที่มีคุณภาพดีอยู่แถวจังหวัดพระนครศรีอยุธยาและอ่างทองซึ่งตามเส้นทางจากอยุธยา ป่าโมก อ่างทอง จะเห็นโรงงานอิฐชนิดนี้อยู่มากมาย

ลักษณะที่ดีของอิฐ

อิฐที่ดีและเป็นที่ต้องการของตลาดต้องมีลักษณะต่อไปนี้ (สยาม ณรงค์ฤทธิ์, 2533)

1. ผลิตด้วยเครื่องจักรหรือผลิตด้วยแรงงานคนอย่างประณีต
2. สุกสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น
3. มีความเหนียวไม่แตกง่าย
4. มีรูปร่างเรียบร้อยไม่แอ่นบิด
5. ทุกเหลี่ยมของอิฐต้องได้ฉากตลอด
6. ขนาดเท่ากันทุกก้อน
7. เมื่ออิฐหักจะมองเห็นเนื้อภายในคล้ายหินที่แน่นมากไม่มีรูพรุนไม่มีรอยแตกร้าว
8. โดยทั่วไปขนาดความกว้างควรเป็นขนาดสองเท่าของอิฐ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

1. ดินเหนียวปนทราย (ปรีดา ขาวข้า, 2539)

เป็นดินที่มีสีน้ำตาลอ่อน สีน้ำตาลแก่ และสีเทาแก่ เม็ดละเอียด ต้องมีความเหนียวพอที่จะทรงตัวอยู่ได้ทั้งในขณะที่เปียกและแห้ง ถ้าเหนียวมากเกินไปดินจะหดตัวมากต้องใช้วัสดุอื่นผสม เช่นทราย แกลบ เพื่อให้เกิดความเหนียวพอดีและมีความหดตัวน้อย

ดินเหนียวเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตอิฐ เนื่องจากส่วนประกอบส่วนใหญ่ของอิฐนั้นจะเป็นดินเหนียว ดินเหนียวเป็นดินที่พบโดยทั่วไปในที่ราบลุ่มเกิดจากการไหลตัวลงสู่ที่ต่ำของดินชั้นแรก (primary) แล้วทับถมปะปนกับซากพืชซากสัตว์ โดยทั่วไปดินเหนียวจะเป็นดินที่มีความหนไฟที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำคือประมาณ 1000 – 1100 องศาเซลเซียส และหลังจากเผาแล้วจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำ (water absorption) ประมาณร้อยละ 10 และเมื่อเผาแล้วดินเหนียวจะมีลักษณะสีน้ำตาลแดง ดินเหนียว เป็นดินที่เกิดจากตะกอนที่พัดพามาทับถมกัน ธรรมชาติของดินเหนียว จะประกอบด้วยเคโอลิไนต์ (kaolinite) เป็นส่วนใหญ่ โดยเคโอลิไนต์ที่พบในดินเหนียว มักมีผลึกที่ไม่สมบูรณ์และมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังพบแร่ดินชนิดอื่นๆ อาทิ มอนมอริลโลไนต์ (monmorillonite) อิลไลต์ (illite) ควออร์ทซ์ (quartz) ไมกา (mica) เหล็กออกไซด์ (iron oxide) รวมทั้งมักมีสารอินทรีย์ปะปนอยู่เสมอ ดินเหนียวมีสีต่างๆ เกิดจากการมีแร่ธาตุชนิดต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน อาทิ สีดำ เทา ครีมน้ำตาล ดินเหนียวที่มีสีเทาหรือดำนั้น จะมีอินทรีย์วัตถุปนมาก ส่วนดินเหนียวสีครีมหรือน้ำตาล มาจากเหล็กออกไซด์ที่ปนอยู่

สาเหตุที่ต้องนำดินเหนียวมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์มีด้วยกัน 4 ข้อ คือ

1. ช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปของเนื้อดินปั้นให้ดีขึ้น
2. พัฒนาผลิตภัณฑ์ก่อนเผาให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้การสูญเสียเนื่องจากการแตกหักของผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เผาในขณะที่มีการเคลื่อนย้ายลดน้อยลง
3. ช่วยทำให้น้ำดินที่ใช้ในการเทแบบมีการไหลตัวดีขึ้น
4. ดินเหนียวบางชนิดมีความสามารถช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างมวลสารในเนื้อดินปั้นในขณะที่ทำการเผา เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่นเป็นเนื้อเดียวกันตลอด

การนำดินเหนียวมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ มีข้อเสีย คือ

1. ในดินเหนียวมักมีสิ่งสกปรก เช่น เหล็กออกไซด์และไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งเป็นตัวทำให้ความขาวของเนื้อผลิตภัณฑ์เสียไป
2. ทำให้ความโปร่งแสงของผลิตภัณฑ์น้อยลง
3. ดินเหนียวมีส่วนประกอบไม่แน่นอนขณะนั้นทำให้เกิดความยุ่งยากในการควบคุมน้ำดินสำหรับเทแบบ

ธรรมชาติของดินเหนียว ส่วนใหญ่ประกอบด้วย แร่ดินขาว แต่มีผลึกขนาดเล็กกว่าดินชนิดอื่นๆ และผลึกมักจะไม่สมบูรณ์ โดยแร่ที่มักพบปนอยู่ในดินเหนียวเสมอ เช่น ควอตซ์ ไมกา และเหล็กซิลไฟต์ ดินเหนียวมีลักษณะพิเศษก็คือ มีสารอินทรีย์ปนอยู่เสมอ สารอินทรีย์นี้มีส่วนประกอบคล้ายลิกไนท์มาก ดินเหนียวเมื่อแห้งมีความแข็งแรงสูงและมีการหดตัวสูงเช่นกัน ดินเหนียวหลายชนิดมีช่วงอุณหภูมิกว้างที่จะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นแก้ว ซึ่งเป็นประโยชน์ คือ ช่วยปรับปรุงเนื้อผลิตภัณฑ์หลังจากเผาแล้วให้ดีขึ้น ในประเทศไทยดินเหนียวที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกมีหลายแหล่ง เช่น สุราษฎร์ธานี ปราจีนบุรี แม่เมาะ ลำปาง เชียงใหม่ เป็นต้น

1.1 ส่วนประกอบทางเคมีของดินเหนียว

ส่วนประกอบทางเคมีของดินเหนียวแตกต่างกันไปตามแหล่งที่พบ ส่วนประกอบโดยประมาณอาจจำแนกได้ดังนี้ (ปริดา ขาวขำ, 2532)

1. ซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) อยู่ประมาณ 40 – 60 %
2. อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ประมาณ 30 %
3. น้ำ (H_2O) ในผลึกและอินทรีย์สาร 10%
4. สารประกอบอื่นๆ เช่น เหล็กออกไซด์ เล็กน้อย

แร่ดินต่างๆ ที่พบในดินเหนียวพอสรุปได้ คือ แร่ดินขาว ซึ่งมีทั้งหยาบและละเอียดเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ก็มีสาร ที่เป็นส่วนประกอบอยู่เช่น ควอตซ์ ไมกา เป็นต้น

1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว

1. ขนาดของดินเหนียวมีขนาดละเอียดกว่าดินขาว ขนาดดินเหนียวจะมีขนาดละเอียดแคบไหนดและมากน้อยเพียงใดจะเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งที่พบคือแหล่งดินที่ถูกพัดพาไปไกลจากแหล่งเดิมมากจะมีการเสียดสี และการบดกันตามธรรมชาติมาก ขนาดของเม็ดดินจะละเอียดมากขึ้นตามลำดับ

2. ความเหนียว ดินเหนียวมีความเหนียวดีกว่าดินขาว การผสมดินเหนียวลงไปเหนื่อดินปั้นจะช่วยทำให้การขึ้นรูปได้ดีขึ้น

3. การหดตัวเมื่อแห้งดินเหนียวมีการหดตัวมากขึ้นแตกต่างไปตามแหล่งหรือชนิดของดินเหนียวนั้น เช่นดินเหนียวที่มี ซิลิกอนไดออกไซด์สูงจะมีการหดตัวที่ค่อนข้างน้อย แต่ดินเหนียวที่มีอินทรีย์สารสูงจะมีการหดตัวมากประมาณร้อยละ 15

4. ความแข็งแรงก่อนเผาปกติดินเหนียวจะมีความแข็งแรงกว่าดินขาว ดินเหนียวที่มีความแข็งแรงสูงเมื่อผสมในเหนื่อดินปั้นจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูงตามด้วย

5. คุณสมบัติหลังจากเผา ถ้าเป็นดินเหนียวล้วน ๆ การพิจารณาคุณสมบัติหลังจากการเผา เช่น สี หรือความแข็งแรงจะไม่มีผลสำคัญ แต่คุณสมบัติเหล่านี้จะมีความสำคัญเมื่อผสมดินเหนียว

ลงไปในเนื้อดินปั้น ดินเหนียวบางอย่างมี ไมกาประกอบอยู่เมื่อผสมในเนื้อดินปั้นเมื่อเผา ไมกาจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาในเนื้อดินปั้นทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์แน่นและเนียนมากขึ้น

ดินเหนียวมีสมบัติเด่นในการนำมาขึ้นรูปคือ มีความเหนียว และเมื่อแห้งมีความแข็งแรงสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังแห้งมีความแข็งแรง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อแห้ง ดินเหนียวมักมีการหดตัวสูง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการแตกร้าว ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้เนื้อดินเหนียวล้วนๆ ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ แต่ต้องมีการผสมวัสดุที่ไม่มีความเหนียว อาทิ ดินเชื้อ หรือทราย เพื่อลดการดึงตัวและหดตัว ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการแตกร้าว เนื่องจากการหดตัวของดินได้ ดินเหนียวหลายชนิด มีช่วงอุณหภูมิที่จะเปลี่ยนไปเป็นเนื้อแก้วกว้าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ คือ ช่วยปรับปรุงเนื้อผลิตภัณฑ์หลังการเผาให้ดีขึ้น ในการใช้ประโยชน์จากดินเหนียวนั้น นอกจากใช้เป็นเนื้อดินปั้นสำหรับหัตถกรรมพื้นบ้านแล้ว ยังนิยมนำมาใช้ผสมกับดินขาว เพื่อเพิ่มความเหนียว หรือช่วยให้น้ำดินมีการไหลตัวดีขึ้น

ในปัจจุบันประเทศไทยมีแหล่งดินเหนียวอยู่หลายแหล่ง ที่ได้นำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเซรามิก อาทิ ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ปราจีนบุรี ลำปาง เชียงใหม่ นอกเหนือจากนี้ ดินเหนียวที่มีอยู่ในแหล่งพื้นบ้านทั่วไป อย่างไรก็ตาม แม้ว่าดินเหนียวจะมีอยู่ในหลายพื้นที่ก็ตาม

สำหรับดินเหนียวแบ่งตามลักษณะของดินได้เป็นดังนี้

1. ดินจอมปลวก เป็นลักษณะของดินที่ปนอยู่กับทรายและมีความเหนียวมาก ก่อนจะนำมาใช้จะต้องมีการทุบให้ละเอียดเพื่อย่อยให้เป็นผง ก่อนจะนำมาร่อนแล้วผสมกับน้ำเพื่อขึ้นรูปเป็นดินเหนียวที่มีความหนไฟได้มากพอสมควร โดยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยนิยมที่จะเจาะจอมปลวกเพื่อทำเป็นเตาเผา

2. ดินท้องนา เป็นดินที่มีความเหนียวและมีทรายปนอยู่เล็กน้อยก่อนจะนำมาใช้ต้องขุดเปิดผิวหน้าดินเพื่อแยกสิ่งเจือปนที่เป็นอินทรีย์วัตถุเช่น รากไม้ กิ่งไม้ ออก

3. ดินดอนชาวน้ำ เป็นดินที่มีลักษณะความเหนียวต่างกันตามแต่ละท้องถิ่น โดยมากจะพบว่ามีความเหนียวที่สูงตามแหล่งที่เป็นน้ำนิ่ง เช่นบ่อน้ำ การล้างเพื่อแยกสิ่งเจือปนออกจากดินชนิดนี้นิยมล้างด้วยน้ำเนื่องจากเป็นดินที่เหลวและอ่อนตัวอยู่แล้ว

4. ดินดาน เป็นดินที่มีความเหนียวน้อยเกิดจากการทับถมกันของดินชนิดต่างๆ มาเป็นเวลายาวนานจนรวมตัวกันกลายเป็นสภาพหินใหม่ แต่ยังคงมีความแข็งแรงไม่มากสามารถที่จะนำมาบดเป็นดินเชื้อแทนทรายละเอียดได้

5. ดินจากถ้ำภูเขาไฟ เป็นดินที่มีลักษณะความเหนียวมาก โดยจะมีความเหนียวถึงสามเท่าของดินเหนียวทั่วไป เกิดจากการแปรสภาพของถ้ำลาวาที่ถูกพ่นออกมาจากปล่องภูเขาไฟ นิยมนำมาผสมกับเนื้อดินปั้นเพื่อเพิ่มความเหนียวให้กับเนื้อดินอื่นๆ

วิธีการในการปรับดินให้เหมาะสม

1. ถ้าดินมีความเหนียวมากไปเมื่อฝั่งหรือตากแห้งจะทำให้เกิดการหดตัวและเกิดการแตกร้าว เมื่อเผาจะแข็งและบิตตัวมาก วิธีการแก้ไขควรใช้ทราย แกลบ หรือขี้เถ้าแกลบผสมดินชนิดนี้ตามอัตราส่วนที่เหมาะสม

2. ถ้าดินมีทรายมากเกินไป อิฐจะเปราะและหักง่าย วิธีการแก้ไขควรใช้ดินเหนียวผสมลงไป ในอัตราส่วนที่เหมาะสม

3. ดินที่มีกรวด เปลือกหอย หรือปูนผสมอยู่ เมื่อเผาจนสุกเปลือกหอยและดินปูนจะแปรสภาพเป็นปูนขาวซึ่งดูดน้ำ ทำให้อิฐแตกง่าย วิธีการแก้ไขก่อนนำดินลงหมักให้เก็บกรวด และสิ่งเจือปนออกให้หมดได้

วิธีการตรวจสอบดินที่ใช้ในการผลิต

การตรวจสอบว่าดินชนิดใดมีคุณสมบัติสำหรับทำอิฐมอญหรือไม่ วิธีที่ดีที่สุดคือการเอาดินมาปั้นเป็นก้อนแล้วปล่อยให้ฝั่งลมหรือตากให้แห้ง หรือตากให้แห้งถ้าก้อนอิฐหดตัวและแตกร้าวมากต้องเพิ่มส่วนผสมของแกลบและทรายเข้าไปอีก ถ้าอิฐยุ่ยหรือเปราะก็แสดงว่ามีส่วนผสมทรายมากเกินไป จะต้องลดจำนวนทรายลงหรือเพิ่มดินเหนียวให้มากขึ้น เนื่องจากแกลบเป็นวัสดุที่ใช้ผสมกับดินเหนียว เพื่อลดความเหนียวและทำให้อิฐมีน้ำหนักเบา ป้องกันการแตกร้าว การหดหรือบิตตัวของอิฐ เมื่อทำการเผาแกลบที่ผสมก็จะเผาไหม้ช่วยทำให้อิฐสุกเร็วและเปลืองเชื้อเพลิงน้อย ทำให้เนื้ออิฐมีรูพรุนสามารถดูดซึมน้ำได้มากการดูดน้ำของอิฐทำให้ไม่ลื่นเปลือกปูนสอและปูนจะเกาะแผ่นอิฐติดแน่นดี การใช้อัตราส่วนผสมกันที่แตกต่างกันของแกลบจะแตกต่างกันไปตามความนิยมของท้องถิ่น โดยทั่วไปจะใช้แกลบผสมประมาณ 15- 25 กิโลกรัมต่ออิฐ 1000 ก้อน

ผลของสารเจือปนที่อยู่ในเนื้อดิน (ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539)

1. ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของดิน โดยเปลี่ยนแปลงสภาพมาจากการพองตัวของหินครอตซ์ กลายเป็นเม็ดทรายเล็กๆแทรกอยู่ในเนื้อดิน สำหรับซิลิกาจะมีอิทธิพลต่อการหดตัวของดิน โดยดินที่มีซิลิกาที่หายากจะหดตัวน้อยในขณะที่เดียวกันดินที่มีซิลิกาที่ละเอียดจะมีอัตราการหดตัวที่น้อยกว่า

2. อะลูมิเนียมไดออกไซด์ (Al_2O_3) อะลูมินาจะมีความทนไฟที่สูงมีความต้านทานต่อการกรัดกร่อนของสารเคมีได้เป็นอย่างดี ทำให้ดินที่มีอะลูมินาสูงจะมีความสามารถในการทนไฟได้ดี

3. เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) เหล็กจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีดิน โดยดินที่มีเหล็กผสมอยู่มากเมื่อนำไปเผาจะมีสีแดงเข้ม

4. แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แคลเซียมจะมีผลต่อความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงาน

5. แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) แมกนีเซียมจะมีผลต่อการต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงาน เช่นเดียวกับแคลเซียม

2. แกลบ

แกลบข้าว (Rice Husk) คือผลผลิตที่ได้จากการสีข้าว เป็นเปลือกของข้าวสาร เป็นส่วนที่เหลือใช้จากการผลิตข้าวสาร เมล็ดมีลักษณะเป็นรูปทรงรี เม็ดยาวสีเหลืองอมน้ำตาล หรือเหลืองนวล แล้วแต่ภูมิภาคประเทศที่มีการปลูกข้าว ปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งออกแกลบข้าวรายใหญ่ของโลก นอกจากการนำแกลบข้าวไปใช้เป็นเชื้อเพลิงต่างๆแล้ว ยังสามารถนำไปผสมกับวัสดุอื่นๆทำเป็นวัสดุก่อสร้างแล้ว แกลบข้าวยังถูกนำไปผลิตเป็นขี้เถ้าแกลบ(Rice Husk Ash) เพื่อนำขี้เถ้าแกลบไปใช้ประโยชน์อีกมาก ซึ่งส่วนประกอบหลักของขี้เถ้าแกลบ คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) สามารถนำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการทางเคมี และการเผาที่อุณหภูมิสูง ซิลิกาในขี้เถ้าแกลบมีทั้งที่เป็น ซิลิกาผลึก(Crystalline Silica) ซิลิกาผลึกสามารถแบ่งย่อยเป็นหลายชนิดตามความแตกต่างของรูปร่าง ลักษณะผลึกและความหนาแน่นของซิลิกา รูปร่างของผลึกมีหลายแบบ เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม สี่เหลี่ยมลูกบาศก์และเส้นยาว และซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica) ซึ่งเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีรูปร่างไม่เป็นผลึก (Non-crystalline Silica) แกลบ เป็นวัสดุที่ใช้ผสมกับดินเหนียวเพื่อลดความเหนียวและทำให้อิฐมีน้ำหนักเบา ป้องกันการแตกร้าว การหดหรือบิดตัวของอิฐ เมื่อทำการเผาแกลบที่ผสมก็จะเผาไหม้ช่วยทำให้อิฐสุกเร็วและเปลืองเชื้อเพลิงน้อย ทำให้เนื้ออิฐมีรูพรุนสามารถดูดซึมน้ำได้มากการดูดน้ำของอิฐทำให้ไม่สิ้นเปลืองปูนสอและปูนจะเกาะแผ่นอิฐติดแน่นดี การใช้อัตราส่วนผสมกันที่แตกต่างกันของแกลบจะแตกต่างกันไปตามความนิยมของท้องที่ โดยทั่วไปจะใช้แกลบผสมประมาณ 15- 25 กิโลกรัมต่ออิฐ 1000 ก้อน



ภาพที่ 2.2 แสดงภาพของเถ้าแกลบที่ใช้ในการผลิตอิฐ

3. ทราย

ใช้ผสมกับดินเหนียวเมื่อดินมีความเหนียวและหดตัวมากทรายจะเพิ่มความแข็งแรงรับน้ำหนักได้ดี การผสมทรายในปริมาณที่พอเหมาะจะช่วยป้องกันการหดตัว การแตกร้าว และการบิดตัวเมื่อเผา ถ้าผสมทรายมากเกินไปจะทำร้ายแรงยึดเกาะระหว่างอิฐ อิฐจะเปราะหักง่ายการใช้ทรายผสมดินเหนียวนั้นไม่จำเป็นเสมอไปถ้าเป็นดินเหนียวที่มีคุณภาพเหมาะสำหรับทำอิฐแล้วไม่จำเป็นต้องผสมทรายลงไปก็

คุณสมบัติของดินและอิฐดินเผา

1. การหดตัว การหดตัวของดินจะเกิดขึ้นเมื่อนำไปเผา ซึ่งการหดตัวนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเผาที่แตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของเม็ดดินและสิ่งเจือปนที่อยู่ในเม็ดดินที่มีการหดตัวที่แตกต่างกัน

2. ความเหนียวของดิน ค่าความเหนียวคือคุณสมบัติที่สามารถเปลี่ยนแปลงสภาพรูปทรงได้ โดยที่ไม่เกิดการแตกหักเมื่อใช้แรงกดหรือบีบ และในขณะเดียวกันก็สามารถคงรูปทรงอยู่ได้เมื่อปล่อยแรงที่กดหรือบีบออกแล้ว ความเหนียวเป็นคุณสมบัติของดินที่มีผลต่อการขึ้นรูปดินถ้าดินมีความเหนียวน้อยก็ทำให้ขึ้นรูปได้ยาก แต่ถ้ามีความเหนียวมากขึ้นงานก็จะมี ความแข็งแรงตัวช้าและหดตัวสูง นอกจากนี้ความเหนียวยังมีผลต่อลักษณะของการขึ้นรูปแต่ละชนิดด้วย

3. สีของดิน เป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญต่อการผลิตชิ้นงานเนื่องจากดินแต่ละแห่งจะมีสีที่แตกต่างกันออกไปซึ่งจะขึ้นอยู่กับสิ่งเจือปนที่อยู่ในดินเช่นแร่ต่างๆ ซากพืชซากสัตว์

4. ความแข็งแรง ความแข็งแรงคือคุณสมบัติที่แสดงถึงความทนทานต่อแรงกระแทก หรือแรงกดที่กระทำ โดยชิ้นงานที่มีความแข็งแรงมากจะไม่เปราะง่ายสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก

5. การดูดซึมน้ำ การดูดซึมน้ำคือคุณสมบัติของชิ้นงานที่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้มากน้อยเท่าไร โดยการเปรียบเทียบกับน้ำหนักแห้ง

กรรมวิธีในการผลิตอิฐ (พงพันธ์ วรสุนทรโอสถ และวรพงศ์ วรสุนทรโรสถ, 2546)

1. การเลือกดิน การเลือกดินที่นำมาทำอิฐนั้นจะต้องไม่มีทรายเจือปนมากเกินไป หรือไม่เป็นดินเหนียวจนเกินไป ถ้ามีทรายมากก็ทำให้อิฐนั้นร้อนและร่วน และถ้าดินเหนียวมากเกินไปเมื่อตากแดดก็เกิดการแตกร้าว วิธีที่ดีควรทำตัวอย่างในปริมาณที่น้อยๆ ดูก่อน หากดินเหนียวมากเกินไปต้องผสมทรายหรือแกลบซึ่งจะทำให้ดินหายเหนียวและช่วยในการเผาไหม้อิฐ

2. การขุดและย่ำดิน ดินที่ใช้ทำอิฐยิ่งเปียกฝนมากยิ่งดี บางครั้งใช้ดินโคลนที่งอกออกมาริมฝั่งแม่น้ำ เมื่อนำดินขึ้นมาแล้วเลือกเอาเศษผงและสิ่งอื่นๆ ออก แล้วนำมาย่ำให้ละเอียดและให้เข้ากันดีใช้แกลบผสมลงไปประมาณร้อยละสิบของปริมาตรถ้าดินแห้งเกินไปให้เติมน้ำตามสมควรที่จะทำงานได้

สะดวกขนาดให้มีความเหลวพอที่จะเทลงแบบ การผสมกลับทำให้ข้างในของอิฐโปร่งเมื่ออิฐถูกความร้อนเผาไหม้ ทำให้อิฐเบาขึ้นและเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีเมื่อนำมาก่อเป็นผนัง ประโยชน์จากการผสมกลับลงไปอีกอย่างคือป้องกันไม่ให้อิฐแตกเวลาตากแดดและไม่ให้ติดพิมพ์แบบไม้เมื่ออัดเข้าเป็นรูปอิฐ



ภาพที่ 2.3 แสดงแบบที่ใช้ทำอิฐ

3. การทำให้เป็นรูปแบบที่ต้องการ แบบที่ใช้หล่อดินเป็นแผ่นอิฐนั้นเป็นไม้สี่ด้านมีเฉพาะด้านข้างไม่มีส่วนบนและส่วนล่าง ไม้ที่ทำแบบควรเป็นไม้ลักษณะที่ดีเมื่อถูกน้ำหรือความชื้นไม่บิดงอ ทนทาน ด้านในไสเรียบ ขนาดของไม้แบบควรโตกว่าขนาดของอิฐที่ต้องการประมาณ 5- 10 เปอร์เซ็นต์ เพราะเมื่อเอาดินที่ผสมเป็นอิฐเทลงในแบบและตากให้แห้งแล้วขนาดของดินที่ตากแดดจะหดลงเล็กน้อย เมื่อแบบพร้อมแล้ววางแบบลงบนพื้นราบจะเป็นพื้นในบริเวณที่ตากแดดก็ได้ นำโคลนที่ผสมแล้วมาเตรียมไว้ใกล้ๆ แบบ เอาไม้แบบชุบน้ำ แล้ววางราบตักโคลนน้ำผสมลงในแบบใช้ไม้ตบให้โคลนเข้าไปอัดแน่นแบบโดยทั่ว แล้วปาดส่วนบนให้เรียบเสมอไม้แบบแล้วยกแม่แบบออก นำไม้แบบไปชุบน้ำแล้วเทโคลนลงทำแผ่นใหม่ต่อไปจนได้จำนวนตามที่ต้องการ

4. การตากให้แห้งสนิท เมื่อถอดแบบออกแล้วต้องทิ้งตากแดดไว้ให้แห้งสนิท การกำหนดระยะเวลาในการตากแดดนั้นขึ้นอยู่กับฤดูกาลและสภาพของอากาศถ้าทำในหน้าแล้งอาจใช้เวลาประมาณ 3- 5 วัน ในฤดูอื่นๆ เฉลี่ยโดยทั่วไปประมาณ 7- 8 วัน แต่ในฤดูฝนจะไม่เหมาะสมที่จะทำอิฐเพราะขณะตากแดดฝนอาจตกทำให้อิฐที่ตากแดดเกิดการเสียหายได้เว้นแต่จะมีวัสดุปกคลุมในขณะที่ฝนตกลงมา



ภาพที่ 2.4 แสดงอิฐที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว

5. การถากแต่งอิฐที่จะเผาให้เรียบ ดินที่อัดลงในแบบและเอาแบบออกแล้วนำไปตากแดดจนแห้งจะเห็นว่าที่ส่วนข้างๆ ของกันจะไม่เรียบเพราะมีเนื้อดินที่อัดเข้าเป็นแบบเกินออกมาจึงต้องใช้มีดถากแต่งก่อนดินที่จะนำเข้าเตาเผาให้ได้รูปร่างที่เรียบสม่ำเสมอทั้งก้อน

6. การเผาอิฐ เมื่อแห้งดินตากแห้งพอที่จะเผาเป็นอิฐได้แล้วจะนำมากองเป็นแถว แถวหนึ่งกว้างเท่ากับความยาวของแผ่นดินที่จะเผาเป็นอิฐโดยเว้นระยะห่างระหว่างแถวไว้เท่าๆ กันเพื่อใส่แกลบลงไประหว่างแถว การเรียงขนาดของกองทั้งหมดจะมีขนาดเท่าไรนั้นแล้วแต่ปริมาณของดินที่จะเผาในครั้งหนึ่งขนาดที่ปฏิบัติกันทั่วไปคือยาวประมาณ 6- 7 เมตร สูงประมาณ 1.6 เมตร



ภาพที่ 2.5 แสดงการเรียงอิฐสำหรับการเผา

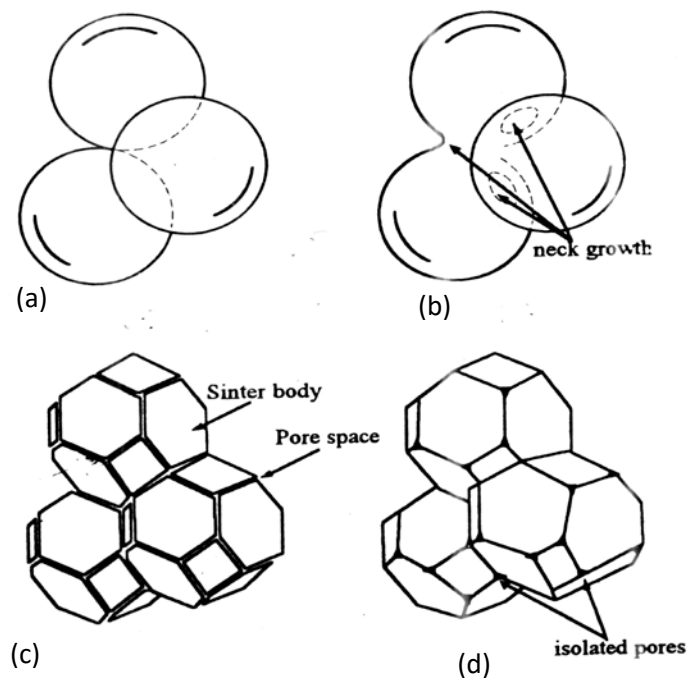
กระบวนการที่เกิดขึ้นในการเผาอิฐ

กระบวนการเผาผนึก (sintering) คือกระบวนการที่ทำให้อนุภาคของวัสดุหลอมเป็นเนื้อเดียวกันทำให้เกิดพันธะยึดเหนี่ยวต่อกันซึ่งการซินเทอร์นั้นเป็นกระบวนการที่สำคัญที่จะช่วยกำหนดคุณสมบัติของชิ้นงาน

สำหรับโลกที่เกิดขึ้นในขณะเผาแบ่งได้เป็นสามขั้นตอนคือ

1. ขั้นตอนเริ่มต้น (initial stage) ในขั้นตอนนี้อนุภาคจะเริ่มขยับตัวเพื่อให้มีจุดสัมผัสกับอนุภาคที่อยู่รอบๆข้างให้มากที่สุด หลังจากนั้นก็จะเริ่มเกิดรอยต่อระหว่างอนุภาค (neck)
 2. ขั้นตอนกลาง (intermediate stage) ในขั้นตอนนี้จะมีการโตขึ้นของรอยต่อระหว่างอนุภาค ทำให้รูพรุนที่อยู่ระหว่างอนุภาคลดลงชิ้นงานเริ่มหดตัว ในขณะเดียวกันจุดศูนย์กลางของอนุภาคก็จะเริ่มเคลื่อนเข้าหากัน
 3. ขั้นตอนสุดท้าย (final stage) ขั้นตอนนี้จะเริ่มต้นจากการที่รูพรุนเริ่มเคลื่อนที่ออกไปจากชิ้นงาน และระบบของชิ้นงานก็จะมีการลดพลังงานพื้นผิว (surface energy) ลง โดยลักษณะของเกรนที่มีขนาดเล็กจะโดนเกรนที่มีขนาดใหญ่กลืนเพื่อเป็นการลดพลังงานพื้นผิวดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้ชิ้นงานมีขนาดเกรนที่ใหญ่ขึ้น

โดยขั้นตอนในการเกิดกระบวนการซินเทอร์แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 2.6 แสดงขั้นตอนในการเกิดกระบวนการเผา (a) ขั้นตอนเริ่มต้น (b) และ (c) ขั้นตอนกลาง (d) ขั้นตอนสุดท้าย (Kingery, Bowen, & Uhlmann, 1991)

กระบวนการที่เกิดในการเผาแบ่งได้ดังนี้

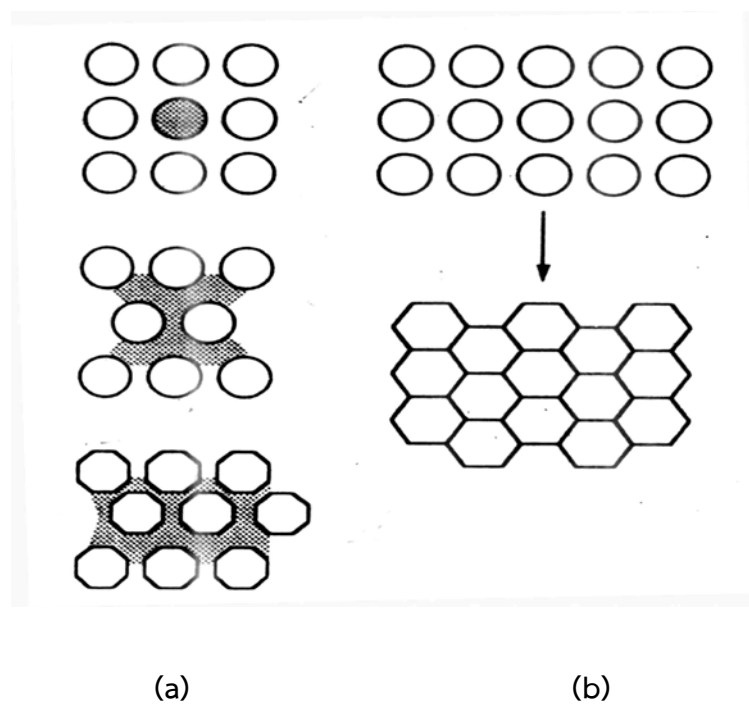
1. การเกิดเฟสของเหลวขณะเผา (liquid phase sintering)

การเกิดเฟสของเหลวขณะเผา (liquid phase sintering) คือลักษณะของการเผาที่มีเนื้อสารบางส่วนหรือทั้งหมดอยู่ในสภาพของเหลวซึ่งลักษณะการเกิดเฟสของของเหลวจะเป็นกลไกที่สำคัญในการเผา สารเนื่องจากจะทำให้ลักษณะการเรียงตัวของอนุภาคเกิดได้ง่ายขึ้น และนอกจากนั้นยังทำให้กลไกในการเคลื่อนที่เข้าหากัน (diffusion) เกิดได้เร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นแล้วข้อดีของการเกิดเฟสของเหลวในขณะเผา ก็คือสามารถที่จะช่วยการกระบวนการเผาขึ้นงานให้เกิดได้เร็วขึ้นและใช้อุณหภูมิในการเผาที่ต่ำลง ในกระบวนการเกิดเฟสของเหลวขณะเผานั้นมี 3 กระบวนการ ได้แก่

1.1 การฟอร์มตัวของของเหลว (liquid formation) คือการเกิดเฟสของของเหลวในระหว่างกระบวนการเผาอบนี้

1.2 การเรียงตัวกันของอนุภาค (particle rearrangement) เฟสของเหลวที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่หนึ่งจะช่วยทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นทำให้อนุภาคสามารถที่จะจัดเรียงตัวใหม่ได้อย่างรวดเร็วขึ้น

1.3 การตกผลึกของสารละลาย (solution reprecipitation) เป็นขั้นตอนสุดท้าย เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการเกิดเฟสของเหลวขณะเผากับการเกิดเฟสของแข็ง แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะการซินเทอร์แบบ Liquid phase sintering (a) กับ Solid state sintering (b) (Kingery, Bowen, & Uhlmann, 1991)

2. การเกิดเฟสของแข็งขณะเผา (solid state sintering)

คือกระบวนการในการเผาสารที่มีลักษณะการเกิดเป็นเฟสของแข็งอย่างเดียวโดยจะเกิดจากการที่อนุภาคเกิดการแพร่ (diffusion) ในบริเวณพื้นผิวของมันเองซึ่งจะเกิดจากความแตกต่างของพลังงานที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาค การเกิดเฟสของแข็งมีขั้นตอนดังนี้

2.1 การแพร่ที่บริเวณพื้นผิว (surface diffusion) โดยอะตอมจะแพร่จากบริเวณพื้นผิวไปยังรอยต่อ (neck) ของอนุภาค

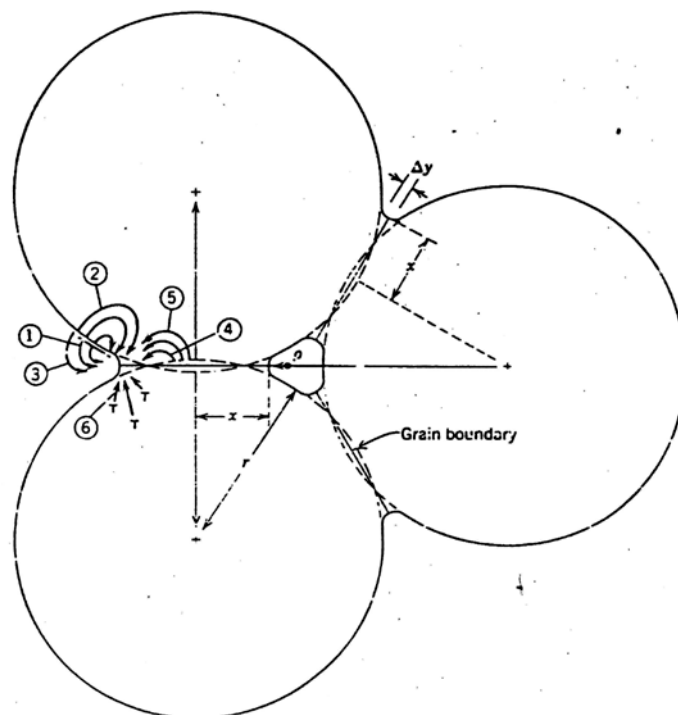
2.2 การแพร่ของแลตติซ (lattice diffusion) อะตอมจะแพร่จากแลตติซไปยังรอยต่อของอนุภาค

2.3 การระเหย (vapor transportation) อะตอมจะเกิดการระเหยจากพื้นผิวไปยังรอยต่อของอนุภาค

2.4 การแพร่บริเวณขอบเกรน (boundary diffusion) อะตอมจะแพร่จากบริเวณขอบเกรนไปยังรอยต่อของอนุภาค

2.5 การแพร่ของแลตติซเหมือนกรณีข้อสอง

โดยขั้นตอนที่เกิดขึ้นแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 2.8 แสดงขั้นตอนการเกิด Solid state sintering (Michel, 1997, p 502)

เกณฑ์ที่ใช้วัดมาตรฐานของอิฐมอญ

1. มาตรฐานอุตสาหกรรมของอิฐ มอก.77 – 2545

มาตรฐานอุตสาหกรรมซึ่งเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์อิฐมอญคือมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ 77 – 2545 โดยกำหนดขนาดของชิ้นงานและเกณฑ์ขั้นต่ำเมื่อทดสอบคุณสมบัติต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดอิฐมอญสำเร็จรูป (มอก.77-2545)

ชั้นคุณภาพ	ขนาด		
	ยาว (มม.)	กว้าง (มม.)	หนา (มม.)
ก ข และ ค	160	65	40
	190	90	40
	190	90	65
	190	90	90

ขนาดความคลาดเคลื่อนต้องไม่เกินข้อมูลตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของมิติ

มิติ	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
40	±2
65 ถึง 90	± 3
140 ถึง 190	± 5

แรงอัด (compressive strength) และการดูดซึมน้ำ (water absorption) ต้องเป็นไปตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าแรงอัดและการดูดซึมน้ำของอิฐ (มอก.77/2545)

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

2. มาตรฐานฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐมอญ มพข.601 / 2547

2.1 ขอบข่าย มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะอิฐมอญที่ทำจากดินเหนียวและซีเมนต์แล้วเป็นส่วนประกอบหลัก

2.2 บทนิยาม อิฐมอญ หมายถึง อิฐที่ทำจากดินเหนียวผสมซีเมนต์แล้วและน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม อาจผสมวัสดุอื่น กวนด้วยเครื่องกวนจนเป็นเนื้อเดียวกัน ใส่แบบพิมพ์อัดเป็นก้อนสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ต้องการ ทิ้งไว้ให้แห้งแล้วนำไปเผาจนสุก

2.3 คุณลักษณะที่ต้องการ

2.3.1 ลักษณะทั่วไปต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าว อาจบิ่นได้เล็กน้อย

2.3.2 มิติต้องเป็นไปตามฉลากที่ระบุไว้โดยแต่ละมิติมีเกณฑ์

ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร

2.3.3 ความต้านแรงอัด ค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 7 เมกกะปาสกาล

2.3.4 การดูดกลืนน้ำ ค่าเฉลี่ยต้องไม่เกินร้อยละ 25

2.4 การบรรจุ หากมีการบรรจุให้บรรจุอิฐมอญในภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอิฐมอญได้

2.5 เครื่องหมายและฉลาก ที่ฉลากหรือภาชนะบรรจุอิฐมอญทุกหน่วยอย่างน้อยต้องมีเลข
อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นง่าย ชัดเจน

2.5.1 ชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ เช่นอิฐมอญ อิฐแดง อิฐมือ

2.5.2 มิติ

2.5.3 เดือน ปี ที่ทำ

2.5.4 ข้อเสนอแนะในการใช้และดูแลรักษา

2.5.5 ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จด

ทะเบียน

2.6 การทดสอบ

2.6.1 การทดสอบลักษณะทั่วไป การบรรจุ และเครื่องหมายฉลาก ให้ตรวจพินิจ

2.6.2 การทดสอบมิติ ให้ใช้เครื่องวัดที่เหมาะสม

2.6.3 ความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ ให้ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ มอก. 77-2545

อุตสาหกรรมอิฐดินเผาในกลุ่มจังหวัดภาคกลางตอนบน

เนื่องจากภูมิประเทศของจังหวัดในกลุ่มภาคกลางตอนบนได้แก่จังหวัดอ่างทอง ชัยนาท
สิงห์บุรี ลพบุรี สระบุรี พระนครศรีอยุธยา นนทบุรี ปทุมธานี ตั้งอยู่ริมแม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำ
น้อย ซึ่งเป็นแหล่งที่มีดินที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐดินเผาโดยเฉพาะ
ประเภทที่ใช้ในงานก่อสร้าง จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์พบว่าการผลิตมาเป็นเวลายาวนาน
อันจะเห็นได้จากเตาเผาแม่น้ำน้อย ซึ่งเป็นเตาเผาที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในประวัติศาสตร์และ
การค้าสมัยกรุงศรีอยุธยา มีการผลิตภาชนะเครื่องปั้นดินเผาเนื้อแกร่งไม่มีเคลือบมีตั้งแต่เนื้อละเอียด
จนถึงเนื้อหยาบสีแดงและสีเทาแกมชมพู ที่ขุดพบในชุมชนโบราณที่มีเป็นจำนวนมาก

ในปัจจุบันการผลิตเครื่องอิฐดินเผาในจังหวัดภาคกลางตอนบนได้มีการกระจายอยู่ตามชุมชน
ในจังหวัด โดยจะมีตั้งแต่ทำเป็นอุตสาหกรรมภายในครัวเรือนจนกระทั่งเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่
ลักษณะการผลิตยังอาศัยวิธีแบบดั้งเดิม ยังขาดการใช้เทคโนโลยีเพื่อเชื่อมโยงกระบวนการผลิตให้เกิด
ประสิทธิภาพสูงสุด

ทฤษฎีพฤติกรรมของผู้บริโภค

การที่ผู้บริโภคจะแสดงพฤติกรรมในการเลือกซื้อสินค้าอย่างหนึ่งออกมาจะต้องมีสาเหตุของพฤติกรรมนั้นเสมอ โดยพฤติกรรมของผู้บริโภคจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. การเกิดพฤติกรรมในการบริโภคจะต้องมีสาเหตุที่ทำให้เกิดพฤติกรรม
2. การเกิดพฤติกรรมในเรื่องการบริโภคต้องมีสิ่งจูงใจ
3. การเกิดพฤติกรรมบริโภคของผู้บริโภคย่อมมีเป้าหมายในการเกิดพฤติกรรมนั้น

การที่ผู้บริโภคจะแสดงออกในเรื่องของการบริโภคจะต้องมีปัจจัยหรือองค์ประกอบที่เข้ามาเกี่ยวข้องเรียกว่าสิ่งกระตุ้น และการตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นโดยลักษณะของสิ่งกระตุ้นแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. สิ่งกระตุ้นภายใน หมายถึงสิ่งกระตุ้นที่เกิดจากความต้องการภายในของผู้ต้องการบริโภค หรือเป็นความต้องการที่เกิดขึ้นตามสัญชาตญาณ เช่น ความหิว ความเจ็บป่วย ความกลัว

2. สิ่งกระตุ้นภายนอก คือสิ่งกระตุ้นที่ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามความต้องการภายในของร่างกาย แต่เป็นสิ่งที่นักการตลาดสร้างให้เกิดขึ้นเพื่อให้ผู้บริโภคเกิดความต้องการ โดยใช้สิ่งจูงใจทางด้านเหตุผล และอารมณ์ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

2.1 สิ่งกระตุ้นทางการตลาด เกิดจากการที่นักการตลาดนำส่วนประกอบทางการตลาดมาเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดความต้องการได้แก่

2.1.1 ผลិតภัณฑ์ โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในด้านต่าง ๆ ได้แก่คุณภาพ การออกแบบ ปริมาณ เป็นต้น

2.1.2 ราคา โดยการกำหนดราคาให้เหมาะสมกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.1.3 ช่องทางการจัดจำหน่าย โดยการวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์อย่างทั่วถึงสามารถหาซื้อได้ง่ายและสะดวกในการเดินทาง

2.1.4 การส่งเสริมการตลาด โดยมีการโฆษณาประชาสัมพันธ์สินค้า การส่งพนักงานขายไปสาธิตสินค้า การแจกสินค้าตัวอย่างเพื่อทดลองใช้

2.2 สิ่งกระตุ้นอื่นๆ เป็นสิ่งกระตุ้นภายนอกที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่

2.2.1 ภาวะทางเศรษฐกิจ

2.2.2 เทคโนโลยี

2.2.3 กฎหมายและการเมือง

2.2.4 วัฒนธรรม

พฤติกรรมการตัดสินใจซื้ออัฐมอญของผู้บริโภค

การศึกษาถึงปัจจัยและพฤติกรรมของผู้บริโภคของลูกค้าที่ซื้ออัฐมอญพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการซื้ออัฐมอญมีดังนี้

1. พฤติกรรมการตัดสินใจซื้ออัฐมอญ พบว่าสาเหตุในการซื้ออัฐมอญส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการซื้อเพื่อรับเหมาก่อสร้าง เหตุผลหลักในการซื้อจึงอยู่ที่การที่สินค้ามีราคาถูก เพราะต้องนำไปรับเหมาในการก่อสร้าง

2. ปริมาณในการซื้อปริมาณในการซื้ออัฐมอญแต่ละครั้งของลูกค้าจะอยู่ที่ 50,001-100,000 ก้อน เพราะจะนำไปก่อสร้างโครงการที่เป็นโครงการใหญ่ เป็นส่วนน้อยที่จะซื้อไปใช้เอง 3 ความถี่ในการซื้อสินค้า ส่วนใหญ่ความถี่ในการซื้อสินค้าจะอยู่ที่ 11 ครั้ง ต่อระยะเวลา 1 เดือน

3. ราคาอัฐมอญที่ซื้อแต่ละครั้งจะอยู่ที่ 15,001 - 30,000 บาท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตที่ผลิตงานได้ จึงขึ้นอยู่กับดินฟ้าอากาศด้วย

4. ระดับการตัดสินใจซื้อของผู้ซื้อจะอยู่ที่ระดับปานกลาง ทั้งนี้เนื่องจากลูกค้าส่วนใหญ่ต้องการซื้ออัฐมอญที่ราคาถูก คุณภาพใช้ได้แต่ไม่ถึงกับดีมาก สะดวกในการขนส่ง นั่นคือใกล้กับสถานที่ในการก่อสร้าง

5. ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าของลูกค้าได้แก่

- 5.1 คุณภาพของผลิตภัณฑ์
- 5.2 ราคา
- 5.3 ช่องทางจำหน่าย
- 5.4 การส่งเสริมการขาย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุทัศน์ จันบัวลา (2550) ได้ศึกษาการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อัฐมอญดินเผาของจังหวัดสิงห์บุรี จากผลการวิจัยพบว่าธาตุที่มีอยู่ในดินจากท้องถิ่นซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญที่สุดสำหรับผลิตอัฐมอญ โดยการสุ่มตัวอย่างจากแหล่งผลิตจากผู้ผลิตจำนวนสามแหล่งมาวิเคราะห์พบว่าวัตถุดิบจากทั้งสามแหล่งมีส่วนประกอบของธาตุที่ใกล้เคียงกันโดยธาตุที่เป็นส่วนประกอบหลักซึ่งมีมากที่สุดคือซิลิกา ซึ่งธาตุซิลิกาจะเป็นส่วนประกอบที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้สุกตัวได้เร็วและมีความแข็งแรงโดยมีมากที่สุดประมาณร้อยละ 60 รองลงมาคืออะลูมิเนียมที่ทำให้มีความสามารถในการทนไฟ และธาตุเหล็กซึ่งเป็นธาตุที่ทำให้อัฐมอญหลังการเผามีลักษณะสีแดง

การศึกษาคุณสมบัติของอิฐมอญ

1. คุณสมบัติทางกายภาพ จากการศึกษาขนาดความกว้างความสูงและความหนาของชิ้นงานจากแหล่งผลิตทั้งสามแหล่งพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีขนาดที่ไม่ได้มาตรฐานสากลในเรื่องของความหนาของชิ้นงานดังตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบกับตารางที่ 2.5

2. ความสามารถในการรับแรงอัด จากการศึกษาพบว่าความสามารถในการต้านทานแรงอัดของอิฐมอญจากแหล่งผลิตจำนวน 3 แหล่ง ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 77-2545) และมีจำนวนหนึ่งแหล่งผลิตที่ไม่ได้มาตรฐานสากลผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 601-2547)

3. ความสามารถในการดูดซึมน้ำ จากการศึกษาพบว่าอิฐมอญจากทั้งสามแหล่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานสากลในเรื่องของค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ

โดยเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของอิฐกับเกณฑ์มาตรฐานแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอิฐกับเกณฑ์มาตรฐาน

คุณสมบัติ	แหล่งผลิตที่ 1	แหล่งผลิตที่ 1	แหล่งผลิตที่ 1	มผช. 601 - 2547	มอก. 77 - 2545
ความสามารถในการรับแรงอัด (MPa)	10.00	9.81	6.15	ไม่ต่ำกว่า 7	ไม่ต่ำกว่า 10
ร้อยละของการดูดซึมน้ำ	15.45	18.36	17.30	ไม่เกิน 25	ไม่เกิน 22

สาเหตุที่ทำให้คุณภาพของอิฐไม่เป็นที่ควรทึ่งนี้เนื่องจากส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคือดินจากท้องถิ่นและเถ้าแกลบยังมีความไม่สม่ำเสมอในการผลิตทำให้คุณสมบัติของอิฐมอญที่ได้มีค่าไม่สม่ำเสมอซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของอิฐ เนื่องจากผู้ผลิตอาศัยวิธีการกะประมาณด้วยสายตาในเรื่องของปริมาณส่วนผสมของวัตถุดิบ

การปรับปรุง

จากผลการวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอิฐมอญที่ผลิตในจังหวัดสิงห์บุรีให้มีคุณภาพดี โดยศึกษาถึงความเหมาะสมของส่วนผสมวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำได้ง่าย โดยที่ผู้ผลิตไม่ต้องลงทุนเพิ่มเติมเพียงแค่ปรับปรุงส่วนผสมให้เหมาะสมเท่านั้น ซึ่งจากเดิมที่ผลิตกันอยู่ผู้ผลิตอาศัยเพียงแค่การสังเกตด้วยตาเปล่า และใช้ประสบการณ์ที่เคยทำมา ในการวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมของวัตถุดิบทำให้เกิดความไม่แน่นอนในกระบวนการผลิตซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของอิฐ

นอกจากนั้นผู้ผลิตยังทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยอาศัยวิธีดั้งเดิมคือใช้วิธีเอาอิฐที่ผลิตได้มากระทบกันแล้วฟังเสียง ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ และในการวิจัยยังศึกษาถึงอุณหภูมิในการเผาที่เหมาะสมที่ส่งผลให้คุณภาพของอิฐมอญดีที่สุดด้วย

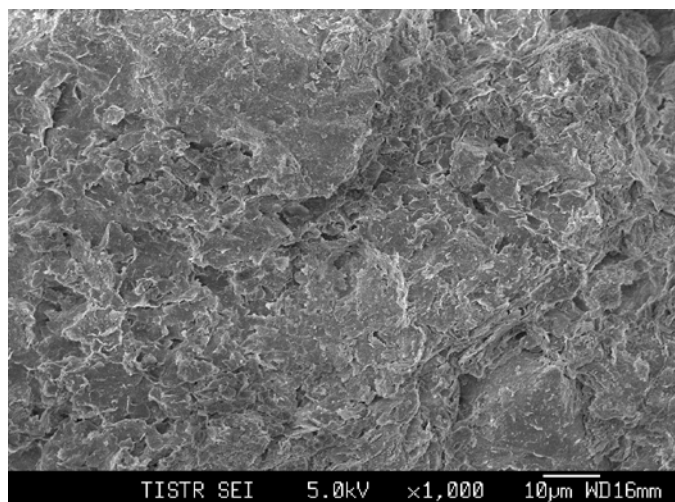
การศึกษาส่วนประกอบของวัตถุดิบที่เหมาะสมนั้นได้ทำการศึกษาถึงส่วนผสมที่ผู้ผลิตในจังหวัดสิงห์บุรีใช้ในการผลิต คือดินจากท้องนา และเถ้าแกลบ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ดินซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตพบว่ามีส่วนประกอบของธาตุซิลิกาเป็นหลักซึ่งทำให้ดินที่เผามีความแข็งแรง นอกจากนี้วัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งก็คือเถ้าแกลบ โดยทั่วไปแกลบเมื่อผ่านการเผาแล้วจะให้ธาตุซิลิกาออกมาซึ่งจะทำให้ดินที่เติมแกลบหรือเถ้าแกลบเข้าไปสุกตัวได้เร็วและมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ที่ผู้ผลิตใช้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสมก็เพื่อให้สามารถขึ้นรูปดินได้เท่านั้น การใช้เถ้าแกลบผสมถ้าใช้น้อยไปก็ทำให้อิฐมอญที่ได้มีความแข็งแรงน้อยและขึ้นรูปได้ยาก แต่ถ้าใช้มากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงน้อยลงด้วยเนื่องจากเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เถ้าแกลบระเหยออกไปทำให้อิฐมีความพรุนตัวสูง ดังนั้นอุณหภูมิในการเผาก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดคุณภาพของอิฐมอญด้วย

ผลการวิจัยพบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของวัตถุดิบระหว่างเถ้าแกลบกับดินจากท้องนาคือการใช้เถ้าแกลบ 3 ส่วน และใช้ดิน 5 ส่วน หรือคิดเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 0.6 โดยปริมาตรทั้งนี้ที่อัตราส่วนนี้ทำให้คุณสมบัติของอิฐมอญดีที่สุดเนื่องจากเป็นปริมาณส่วนผสมที่พอดีเพราะถ้าใช้เถ้าแกลบน้อยกว่านี้ก็ทำให้อิฐมีความแข็งแรงน้อยเนื่องจากเถ้าแกลบที่ใส่เข้าไปทำให้ทำให้การเผาอิฐสุกตัวได้เร็วขึ้น แต่ถ้าใช้มากกว่านี้ก็ส่งผลให้อิฐมอญมีความพรุนตัวสูงเนื่องจากเกิดการระเหยของเถ้าแกลบทำให้คุณสมบัติด้อยลงไปด้วย จากผลการวิจัยพบว่าชิ้นงานวิจัยผ่านมาตรฐานสากล 77-2545 ทุกส่วนผสม ผลการวิจัยที่ได้โดยการเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงผลของส่วนผสมต่อคุณสมบัติของอิฐมอญ

อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อดิน (โดยปริมาตร)	ความสามารถในการรับแรงอัด (MPa)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ร้อยละของการดูดซึมน้ำ	ร้อยละของความพรุนตัว
0.2	12.58	1.57	22.69	35.57
0.4	13.24	1.66	18.13	29.82
0.6	14.30	1.79	14.44	25.88
0.8	13.02	1.53	19.60	30.17

เมื่อวิเคราะห์ถึงโครงสร้างจุลภาคพบว่าเพื่อเพิ่มเถ้าแกลบมากขึ้นจะทำให้ขนาดเกรนของชิ้นงานอิฐมอญมีขนาดโตขึ้นและมีความพรุนตัวมากขึ้นตามไปด้วยโดยโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่มีอัตราส่วนระหว่างเถ้าแกลบต่ออิฐเท่ากับ 0.6 แสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐมอญที่มีอัตราส่วนระหว่างเถ้าแกลบต่ออิฐ เท่ากับ 0.6

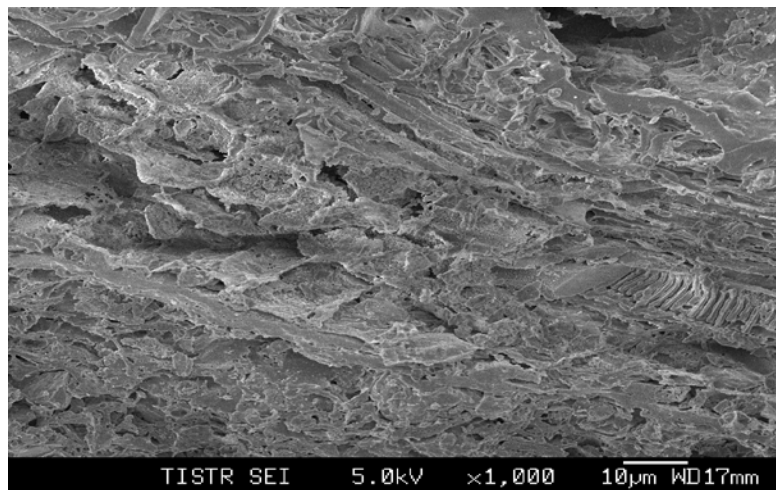
และเมื่อศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสมโดยการใช้อัตราส่วนที่ดีที่สุดคืออัตราส่วนเถ้าแกลบต่อดินจากท้องถิ่นเท่ากับ 0.6 พบว่าคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุดคือ 850 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากถ้าคุณสมบัติต่ำกว่านี้จะทำให้การเกาะกันของอนุภาคดินน้อยลงเนื่องจากอุณหภูมิเผาต่ำไป แต่ถ้าใช้คุณสมบัติสูงกว่านี้ก็จะทำให้เกิดการระเหยตัวออกไปของเถ้าแกลบทำให้อิฐมีความพรุนตัวสูงนั่นเอง

จากผลการวิจัยพบว่าชิ้นงานวิจัยผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 77-2545 เมื่อเผาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 850 – 950 องศาเซลเซียส โดยผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงผลของอุณหภูมิเผาต่อคุณสมบัติของอิฐมอญ

อุณหภูมิเผา (องศาเซลเซียส)	ความสามารถในการรับแรงอัด (MPa)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ร้อยละของการดูดซึมน้ำ	ร้อยละของความพรุนตัว
800	9.87	1.61	20.77	33.41
850	14.30	1.71	16.85	28.73
900	11.00	1.64	21.11	34.57
950	10.20	1.61	21.82	35.22

และเมื่อศึกษาถึงโครงสร้างจุลภาคพบว่าถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นขนาดของเกรนชิ้นงานอิฐมอญจะมีขนาดโตขึ้น และมีความพรุนตัวสูงขึ้นตามไปด้วยโดยโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐมอญที่เผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส

จากผลการวิจัยที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่เดิมพบว่าผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ได้มีคุณสมบัติที่ดีกว่าคือมีค่าความสามารถในการรับแรงอัดสูงขึ้นจากเดิมที่มีค่า 6.15 MPa 9.81 MPa และ 10 MPa เป็น 14.30 MPa โดยมีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ เท่ากับร้อยละ 14.4 ซึ่งดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีในท้องถิ่น และผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ได้ มีคุณสมบัติตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดไว้ จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์อิฐดินเผา โดยมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีมูลค่าทางการตลาดเพิ่มขึ้นไปด้วย

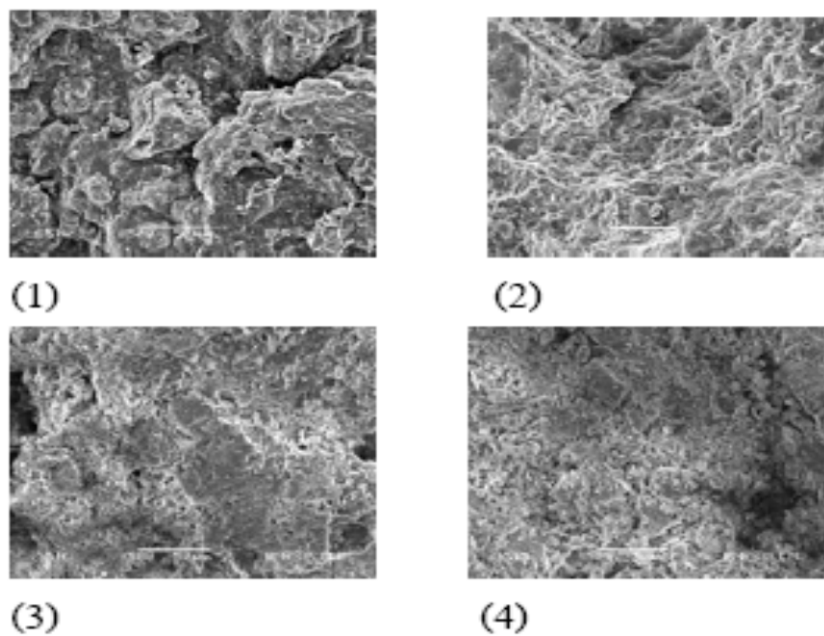
โดยงานวิจัยที่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์กับกลุ่มเป้าหมายคือลงพื้นที่แนะนำและนำผลวิจัยที่ได้ไปใช้กับกลุ่มเป้าหมาย

ชัยวัฒน์ ธีร์วรากล, พงศ์เกษม ของดีงาม, จิราภรณ์ พรหมณีวรรณ และสนธยา ทองอรุณศรี (2549) ได้ศึกษาถึงการพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตอิฐด้วยมือของกลุ่มชาวบ้านในชุมชนหนองหลวง อำเภอเมือง จังหวัดตาก โดยการปรับปรุงกระบวนการผลิตและส่วนผสม ชนิดวัตถุดิบ วิธีการเผาที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มคุณภาพของอิฐให้ได้มาตรฐาน เนื่องจากอิฐที่ชุมชนผลิตมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน มอก. 77- 2545 และมีคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ ขนาดไม่แน่นอน จากการวิจัยพบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดคืออัตราส่วนของดินเหนียวต่อซีลี้อยู่ 5:2 โดยปริมาตร โดยมีกำลังอัด 37.60 กก./ซม² และการเผาอิฐด้วยฟืนและแกลบให้กำลังอัดที่ใกล้เคียงกันโดยผลการศึกษาที่ได้แสดงดังตารางที่ 7

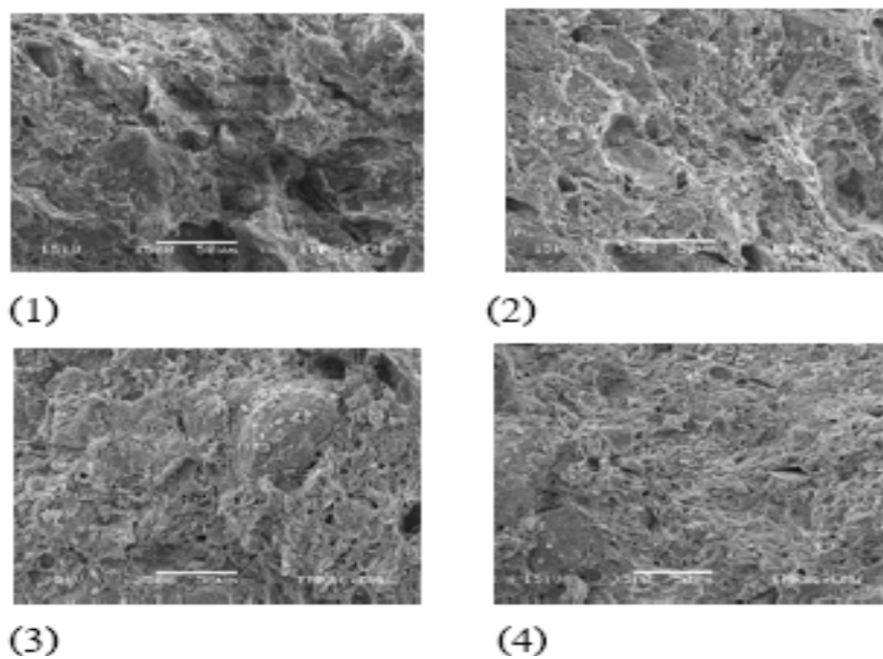
ตารางที่ 7 แสดงผลการวิจัยที่ได้

การทดสอบ	เผาด้วยฟืน						เผาด้วยแกลบ					
	ดินเหนียวผสมขี้เถ้า			ดินเหนียวผสมขี้เถ้าแกลบ			ดินเหนียวผสมขี้เถ้า			ดินเหนียวผสมขี้เถ้าแกลบ		
	5:1	5:2	5:3	5:1	5:2	5:3	5:1	5:2	5:3	5:1	5:2	5:3
กำลังอัด (kg/cm ²)	21.5	37.6	30.9	19.2	24.0	21.2	24.6	40.4	32.9	23.5	21.9	18.8
ความหนาแน่น (kg/m ³)	138	138	133	127	127	122	129	123	119	126	115	114
ร้อยละการดูดซึมน้ำ	9	9	3	1	7	6	5	4	3	2	6	8

พวงพกา ออมทรัพย์ และคณะ (2541) ได้ศึกษาถึงการปรับปรุงกระบวนการเตรียมดินให้มีประสิทธิภาพเพื่อลดการสูญเสียในการผลิตและเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์ จากการวิจัยพบว่าอิฐก่อนเผาที่ดีที่สุดสำหรับอุตสาหกรรมอิฐคืออิฐที่เตรียมโดยใช้ดินขนาด 20.20 ไมโครเมตร มีความชื้น 22 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาในการหมักดิน 3 วัน และเติมปริมาณผงคาร์บอน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าความแข็งแรง ค่าการดูดซึมน้ำและค่าความหนาแน่นของอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 21.16 เมกะปาสคาล 13.41 เปอร์เซ็นต์ และ 1.75 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และค่าความแข็งแรง ค่าการดูดซึมน้ำและค่าความหนาแน่นของอิฐที่เผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 27.60 เมกะปาสคาล 13.21 เปอร์เซ็นต์ และ 1.76 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ โดยลักษณะโครงสร้างของอิฐที่มีการเติมผงคาร์บอนที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 2.11 และ 2.12



ภาพที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของอิฐดินเผาที่เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และมีปริมาณผงคาร์บอนที่ต่างกัน (1) 0 % (2) 5 % (3) 10 % (4) 20 โดยน้ำหนัก



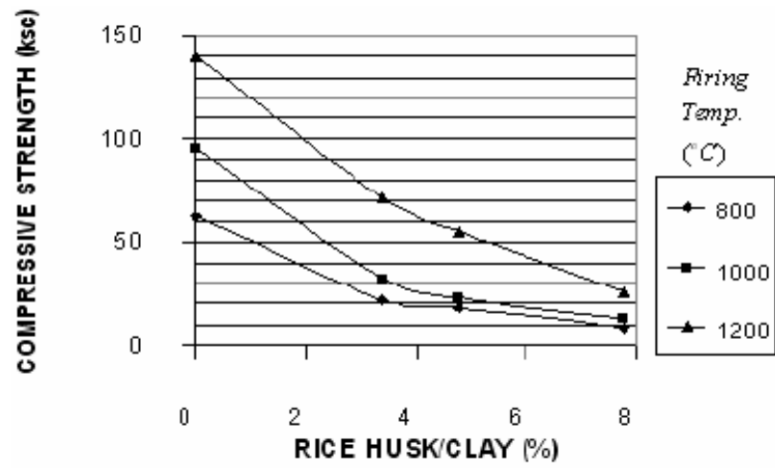
ภาพที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของอิฐดินเผาที่เผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส และมีปริมาณผงคาร์บอนที่ต่างกัน (1) 0 % (2) 5 % (3) 10 % (4) 20% โดยน้ำหนัก

ขนิษฐา เพชร และคณะ (2549) ได้ศึกษาถึงการผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อการเผาอิฐก่อสร้างโดยใช้ก๊าซมูลวัวเป็นเชื้อเพลิงจากการวิจัยพบว่าอัตราส่วนของมูลวัวเปียกต่อน้ำ 1:1 โดยน้ำหนักจะให้ปริมาณก๊าซสูงสุด จากนั้นทำการออกแบบและก่อสร้างเตาเผาอิฐโดยคำนึงถึงปริมาณความร้อนที่ได้รับจากก๊าซชีวภาพและการสูญเสียความร้อนของเตา โดยกำลังของอิฐที่ได้จากการเผาด้วยก๊าซชีวภาพมูลวัวเป็นเวลา 8 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 17.31 เมกะปาสคาล ส่วนอิฐซึ่งเผาด้วยแกลบและฟืนทั่วไปต้องใช้เวลาเผาานาน 7-8 วันจึงจะได้ค่ากำลังที่ใกล้เคียงนี้ โดยผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 8

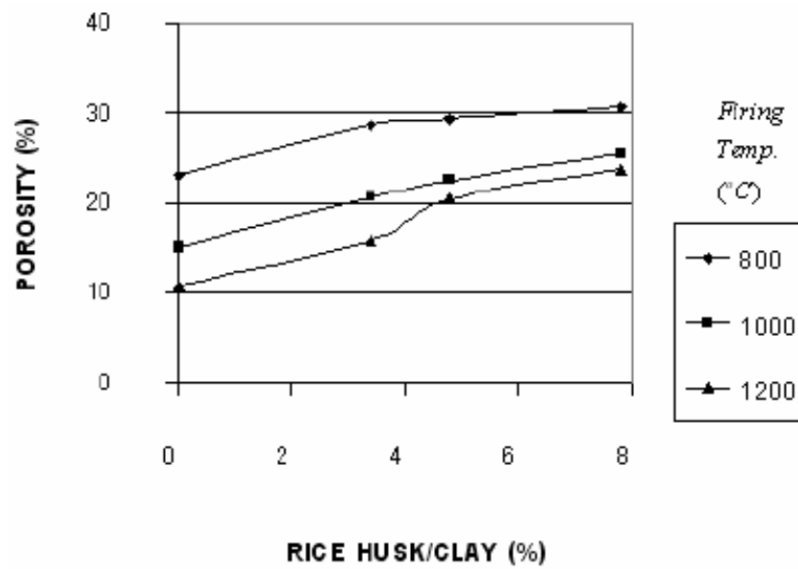
ตารางที่ 8 แสดงกำลังของอิฐที่เผาด้วยก๊าซชีวภาพ

ตัวอย่าง ชุดที่	น้ำหนักเฉลี่ย (g)	กว้างเฉลี่ย (mm)	ยาวเฉลี่ย (mm)	สูงเฉลี่ย (mm)	ความสามารถ รับแรงอัด (kg/cm ²)
1	610.6	64	158	37	16.05
2	592.0	66	159	35	14.35
3	593.5	66	160	35	18.82
4	597.4	65	159	34	17.02
	เฉลี่ย				17.31

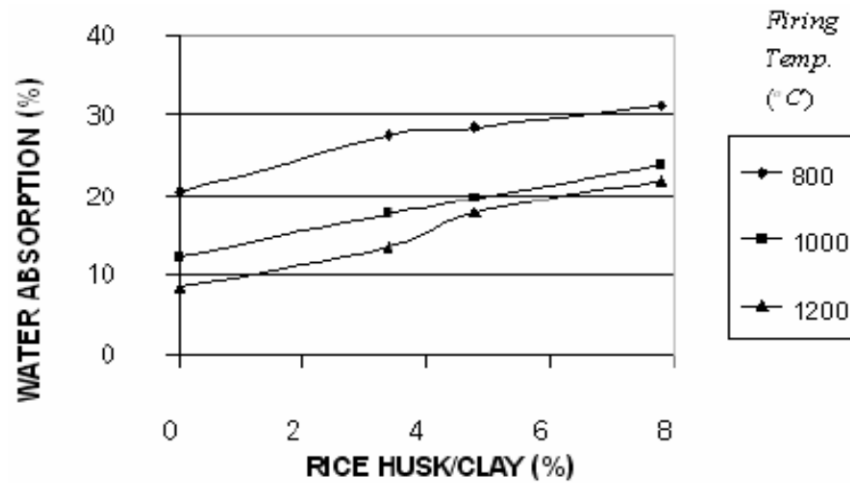
เอก ข่อประดับ (2547) ได้ศึกษาถึงผลของแกลบที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐสามัญที่ทำจากดินเหนียว จากผลการวิจัยพบว่าแกลบมีผลทำให้อิฐมีกำลังรับแรงอัดลดลง โดยลดลงเร็วกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของรูพรุน เมื่ออิฐมีรูพรุนมากจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้มากขึ้น และมีค่าปริมาณการนำความร้อนที่ลดลง เมื่อปริมาณแกลบเพิ่มขึ้น โดยอิฐที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดคืออิฐที่ผสมแกลบลงไปปริมาณร้อยละ 2.2 ของน้ำหนักโดยผลการวิจัยแสดงดังภาพที่ 14- 17



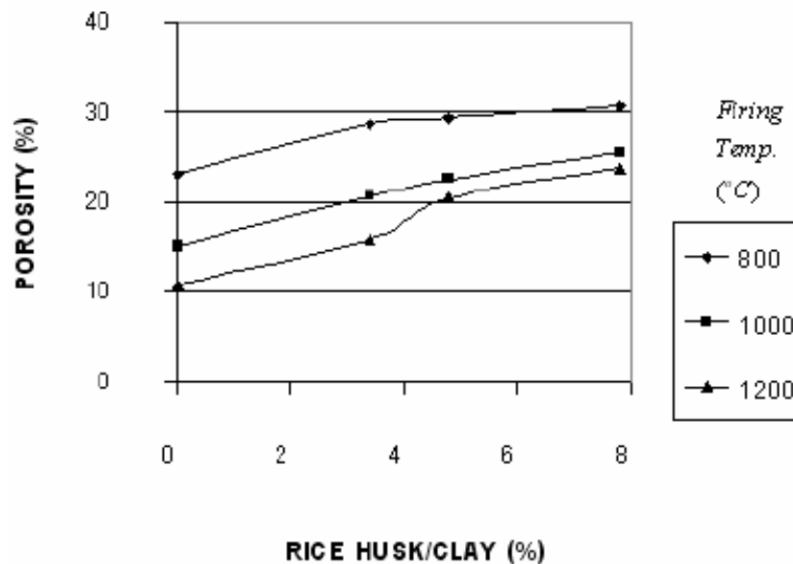
ภาพที่ 2.13 แสดงผลของแกลบต่อความสามารถในการรับแรงอัด



ภาพที่ 2.14 แสดงผลของแกลบต่อความพรุนตัวของอิฐ



ภาพที่ 2.15 แสดงผลของแกลบที่มีต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำ

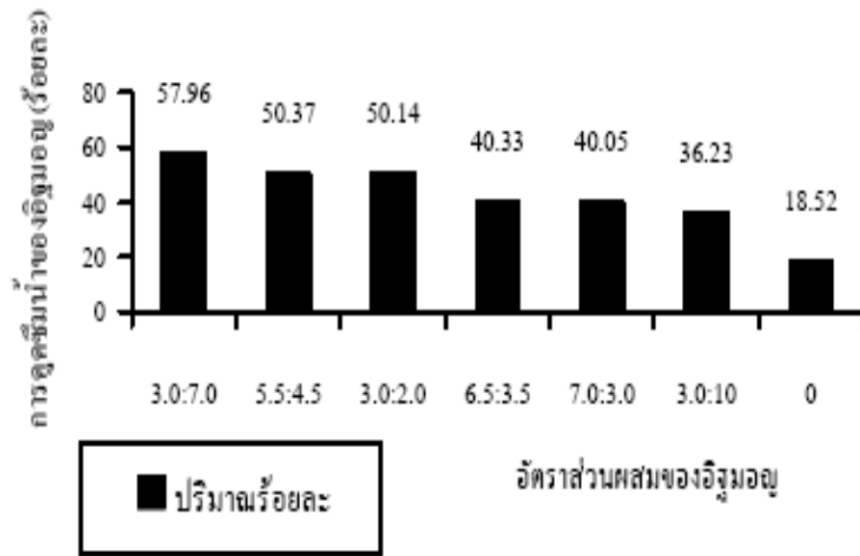


ภาพที่ 2.16 แสดงผลของแกลบที่มีต่อความพรุนตัวของอิฐ

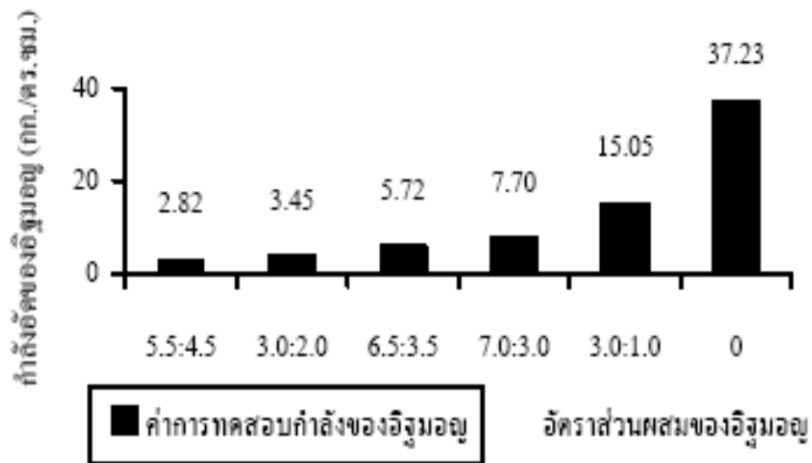
สุบินทร์ ห่องสวัสดิ์ และฉลองรัฐ จงยิ่งศรี (2541) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของอิฐมอญ ในจังหวัดอยุธยาอ่างทอง และลพบุรี จากการศึกษพบว่าดินตัวอย่างทั้ง 3 มีปริมาณน้ำในดินระหว่าง 5-10 % , Liquid Limit ระหว่าง 35-37 % , Plastic Limit ระหว่าง 23-27 % , Shrinkage Limit ระหว่าง 35-37 % , ความถ่วงจำเพาะ ระหว่าง 2.60-2.80 แสดงว่าดินทั้ง 3 ตัวอย่างเป็นดินเม็ดละเอียดและมีความเหนียวปานกลาง จากนั้น นำมาผสมกับทรายละเอียดและแกลบ โดยใช้อัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักดินตัวอย่าง : ทรายละเอียด : แกลบ ดังนี้ 100 : 0 : 0 , 90 : 10 : 0 , 80 : 20 : 0 ,

70 : 20 : 10 , 80 : 10 : 10 และ 90 : 0 : 10 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสม ในแต่ละตัวอย่างประมาณ 40 % ของน้ำหนักมวลรวมทั้งหมด โดยพิจารณาจากค่าปริมาณน้ำในดิน, Liquid Limit, Plastic Limit และ Shrinkage Limit ทำให้ดินตัวอย่างที่ผสมกับทรายละเอียดและกลบข้างต้น สามารถที่จะนวดและปั้นขึ้น รูปเป็นอิฐมอดูได้ แล้วนำอิฐที่ได้จากการทดลองผลิตตามอัตราส่วนต่างๆ ไปเผาเป็นเวลา 14 วัน มาทดสอบการรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ (มอก.77-2531) แล้วนำมาเปรียบเทียบ กับอิฐที่ผลิตจากโรงงานทั้ง 3 จังหวัด จากการทดสอบการรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ (มอก. 77-2531) พบว่าการทดสอบการรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำของอิฐที่ทดสอบผ่านตามมาตรฐานทุกสูตร ยกเว้นสูตรที่ 1 ของดินจังหวัดลพบุรี เนื่องจากเมื่อเผาเสร็จแล้วอิฐแตกเสียหายทั้งหมด เพื่อที่จะให้ได้อัตราส่วน ผสมที่ดีที่สุด สูตรของแต่ละจังหวัดจึงแตกต่างกันตามคุณสมบัติของดินแต่ละจังหวัด จากการศึกษาพบว่าอิฐจาก โรงงานจังหวัดอยุธยา รับแรงอัดได้ 87.90 ksc. ดูดซึมน้ำ 21.50 % อิฐจากโรงงานจังหวัดอ่างทอง รับแรงอัดได้ 65.90 ksc. ดูดซึมน้ำ 21.42 % อิฐจากโรงงานจังหวัดลพบุรี รับแรงอัดได้ 46.40 ksc. ดูดซึมน้ำ 21.73 % อิฐที่ทดลองผลิตจากจังหวัดอยุธยาควรใช้อัตราส่วนผสมตามสูตรที่ 1 รับแรงอัดได้ 73.70 ksc. ดูดซึมน้ำ 14.72 % อิฐที่ทดลองผลิตจากจังหวัดอ่างทองควรใช้อัตราส่วนผสมตามสูตรที่ 3 รับแรงอัดได้ 90.80 ksc. ดูดซึมน้ำ 13.37 ร้อยละของอิฐที่ทดลองผลิตจากจังหวัดลพบุรีควรใช้อัตราส่วนผสมตามสูตรที่ 2 รับแรงอัดได้ 80.80 ksc. ร้อยละการดูดซึมน้ำ 12.39 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินที่ใช้ในแต่ละพื้นที่ ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป เมื่อผ่านการทดสอบกรรมวิธี ที่กล่าวมาแล้ว

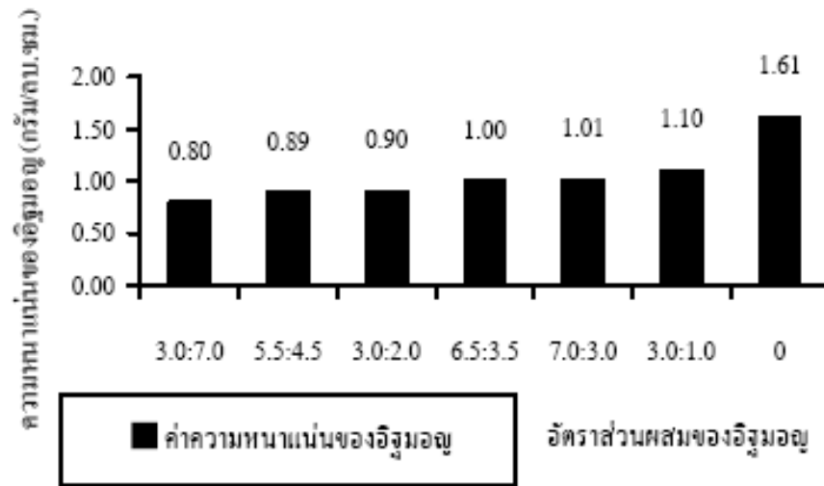
กุลธิดา บรรจงศิริ และจิรัฐ บรรจงศรี (2548) ได้ศึกษาคุณสมบัติของอิฐมอดูที่ใช้ดินผสมกากตะกอนของเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยใช้ปริมาณในอัตราส่วนของดินกับกากตะกอนของเสียที่แตกต่างกัน พบว่าอัตราส่วนที่ทำให้อิฐมอดูมีคุณภาพดีที่สุดคืออัตราส่วนดินต่อกากตะกอนของเสียเท่ากับ 3: 1 โดยผลการวิจัยที่ได้แสดงดังภาพที่ 2.17- 2.19



ภาพที่ 2.17 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างดินกับกากตะกอนของเสียที่ส่งผลต่อค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ

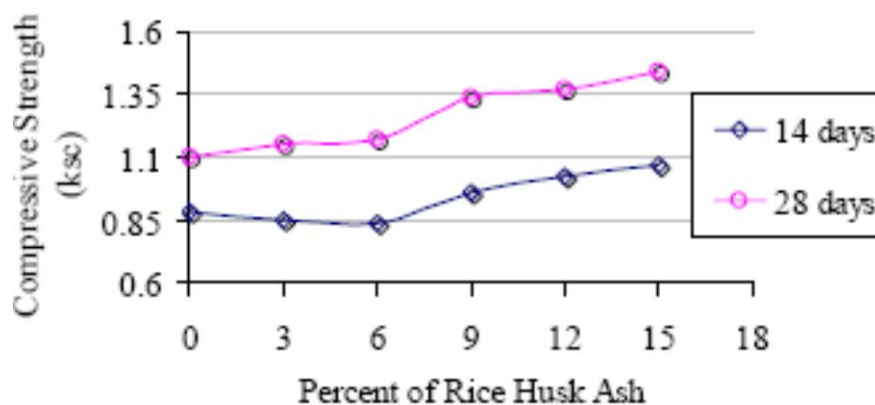


ภาพที่ 2.18 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างดินกับกากตะกอนของเสียที่ส่งผลต่อกำลังของอิฐ

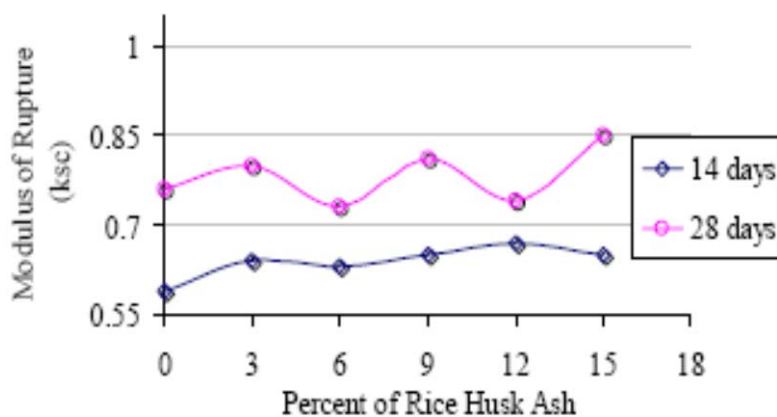


ภาพที่ 2.19 แสดงผลของอัตราส่วนระหว่างดินกับกากตะกอนของเสีย
ที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของอิฐ

ประชุม คำพุ่ม (2550) ได้ศึกษาผลของการใช้ซีเถ้าแกลบช่วยในการรับแรงอัดของอิฐโดยใช้
อัตราส่วนของซีเถ้าแกลบที่ต่างกัน จากผลการศึกษาว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของซีเถ้าแกลบจะทำให้
อิฐที่ได้มีความสามารถในการรับแรงอัดได้มากขึ้น โดยผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 2.20 และ 2.21



ภาพที่ 2.20 แสดงผลของเถ้าแกลบต่อค่าความสามารถในการรับแรงอัดของอิฐ



ภาพที่ 2.21 แสดงผลของเถ้าแกลบต่อค่ายังมอดูลัสของอิฐ

กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

อิฐดินเผาเป็นวัสดุก่อสร้างพื้นฐานที่มีการผลิตในประเทศไทยมาเป็นระยะเวลาที่ยาวนาน และเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีลักษณะเด่นคือมีความแข็งแรงและคงทนสูง มีความหนาแน่นและน้ำหนักมาก ในขณะที่เดียวกันก็จะมี การนำความร้อนได้ดีด้วย ทำให้เกิดปัญหาที่สำคัญของอิฐดินเผาคือมีน้ำหนักสูง และมีค่าการนำความร้อนที่สูง

ในการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐดินเผานั้นจะขึ้นรูปได้ 2 แบบได้แก่โดยการรีดและการอัดลงในแบบ ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้สามารถผลิตได้ในปริมาณมากและมีลักษณะที่เหมือนกันดังนั้นการออกแบบและปรับปรุงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบและปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อให้ได้รูปแบบที่สมบูรณ์ในด้านคุณสมบัติและประโยชน์ใช้สอย กระบวนการผลิตและสอดคล้องกับความต้องการของตลาด

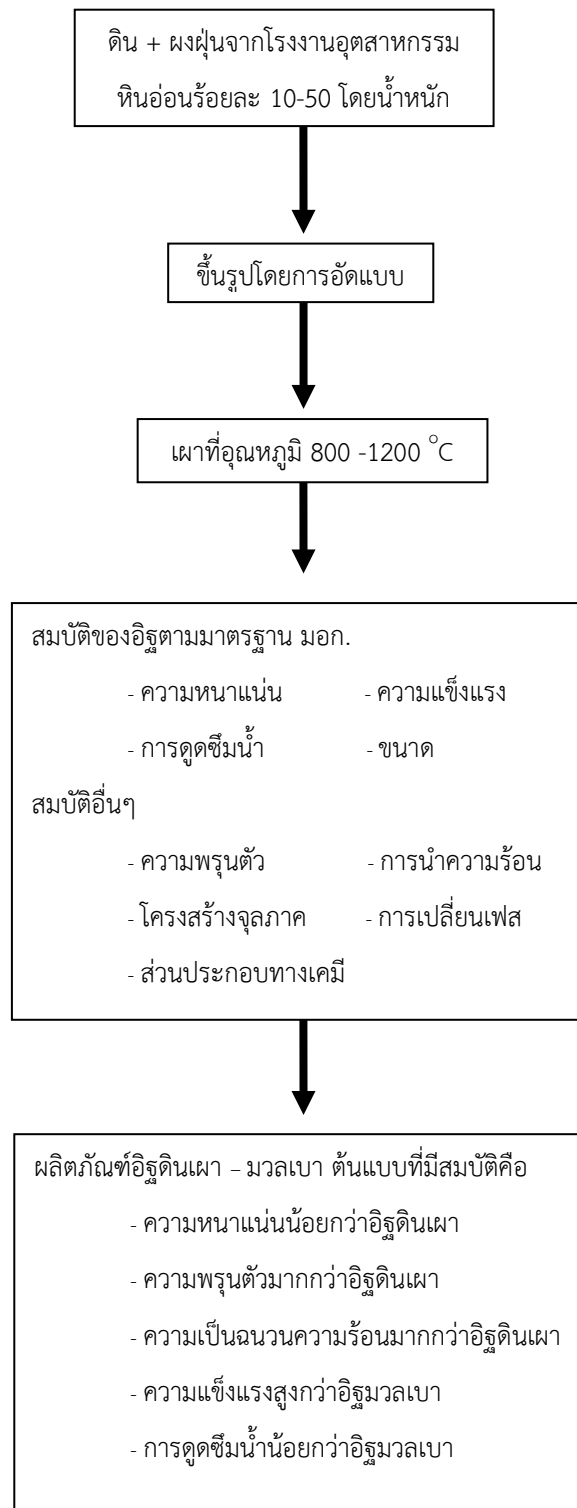
สำหรับในงานวิจัยนี้จะพัฒนาอิฐดินเผาให้มีความเบามากขึ้นในขณะเดียวกันก็ลดการนำความร้อนของอิฐ โดยการเติมวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมขี้ดินอ่อนเพื่อให้เกิดความพรุนตัวในอิฐดินเผา ซึ่งนอกจากจะเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาให้มีสมบัติที่ดีขึ้นแล้ว ยังเป็นการประยุกต์วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

โดยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาให้มีความเบาขึ้นมีกรอบแนวคิดในการวิจัยดังนี้

1. การศึกษาข้อมูลและสมบัติเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ตลอดทั้งปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติของอิฐดินเผา และลักษณะองค์ประกอบทางเคมีของผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมขีดหินอ่อนเพื่อวางแผนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

2. การทดลองพัฒนาวัตถุดิบในการผลิตโดยการผสมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมขีดหินอ่อนในปริมาณที่แตกต่างกัน และเผาในอุณหภูมิที่มีความแตกต่างต่างกัน

3. การทดสอบสมบัติของอิฐดินเผาที่พัฒนาขึ้น
สำหรับกรอบแนวคิดที่เชื่อมโยงความสัมพันธ์ในการวิจัยแสดงดังภาพที่ 2.22



ภาพที่ 22 แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบเครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ทางคณะผู้วิจัยได้ใช้วัตถุดิบ (Raw materials) และวัสดุดังต่อไปนี้

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้วัตถุดิบ (Raw materials) ดังนี้

1. ดินจากโรงอิฐ ห้างหุ้นส่วนจำกัด เจเอสบริคเทค อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
2. ผงฝุ่นที่เหลือทิ้ง ซึ่งเกิดจากการขัดหินอ่อนจากอุตสาหกรรมหินอ่อนของ บริษัทฟาร์อีสท์ มาร์เบิล แอนแกรนิต จำกัด จังหวัดสระบุรี

สำหรับวัตถุดิบ (Raw materials) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แสดงตามรูปที่ 3.1 - 3.2



ภาพที่ 3.1 ดินที่ใช้ในการวิจัย



ภาพที่ 3.2 ผงฝุ่นจากโรงงานอุตสาหกรรมขัดหินอ่อน

เครื่องมือสำหรับการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้เครื่องมือที่ใช้ได้แก่

1. เครื่องมือกรองที่มีขนาด 18 เมช ที่ทำให้อนุภาคของวัตถุดิบหลังการกรองมีขนาดไม่เกิน 1 mm
2. ชุดเครื่องชั่ง สำหรับชั่งวัตถุดิบ โดยประกอบไปด้วย ชุดวัดความหนาแน่น วัดการดูดซึมน้ำ และชุดวัดความพรุนตัว ของบริษัท REDWAG รุ่น PS 360
3. อุปกรณ์สำหรับวัดขนาดของชิ้นงานทดสอบ เวอร์เนียร์คาลิเปอร์
4. แบบแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ โดยใช้แบบจากโรงงานที่ผลิตอิฐ
5. เตาเผาไฟฟ้าอุณหภูมิสูงสุด 1200°C ของบริษัท HERM CONCEPT
6. อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาหาส่วนประกอบทางเคมี ของวัตถุดิบ (Raw material) ได้แก่ เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) ของบริษัท ซีมาซู รุ่น เอ็ก ดี ทกพัน
7. เครื่องวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงความร้อนต่อวัตถุดิบ (TG – DTA) บริษัทเน็ท รุ่น ดีเอชซี 200F3
8. อุปกรณ์วัดลักษณะเฟสของวัตถุดิบที่ใช้สำหรับเป็นส่วนผสมคือเครื่อง เอกซเรย์ดิฟแฟรคชั่น เทอร์โมมิเตอร์ (X-ray Diffraction, XRD)

9. เครื่องทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงานทดสอบ ยูนิเวอร์แซล บริษัทอินทรอน รุ่น อินทรอน 4469

10. เครื่องมือสำหรับวัดค่าการนำความร้อนของวัสดุชนิดแบบฮอตดิส (hot disk thermal constant analyzer) จาก MTEC

11. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐ SEM บริษัทเจโอรุ่น เจอีเอ็ม 6340 J

ภาพของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.3 - 3.17



ภาพที่ 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการคัดกรองที่กรองอนุภาคได้ขนาดไม่เกิน 1 mm



ภาพที่ 3.4 ชุดเครื่องชั่งที่มีทศนิยม 2 ตำแหน่ง



ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์วัดความยาวเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์



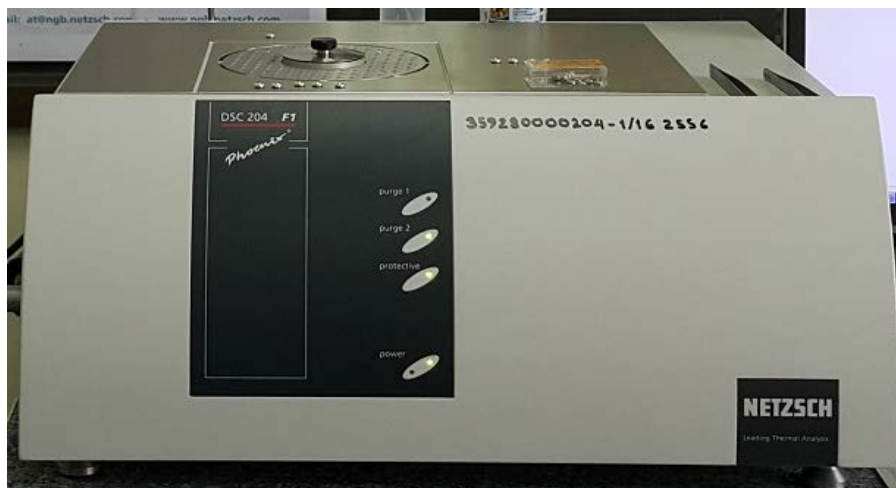
ภาพที่ 3.6 แม่พิมพ์แบบสำหรับขึ้นรูปชิ้นงานอีฐู



ภาพที่ 3.7 เตาเผาไฟฟ้าเผาได้สูงสุด 1200 °C



ภาพที่ 3.8 เครื่อง XRF



ภาพที่ 3.9 เครื่อง TG-DTA



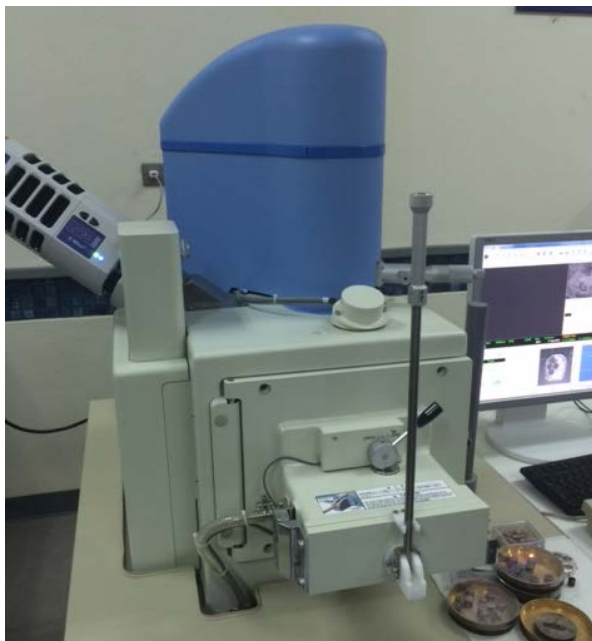
ภาพที่ 3.10 เครื่อง XRD



ภาพที่ 3.11 เครื่องทดสอบความแข็งแรงยูนิเวอร์แซล



ภาพที่ 3.12 เครื่องมือวิเคราะห์การนำความร้อนของสารชนิดฮอตดิส



ภาพที่ 3.13 กล้อง SEM

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการศึกษาวิจัยและทำชิ้นงานเมื่อทดสอบสมบัติมีดังต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอิฐดินเผามวลเบา และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด
2. เตรียมวัสดุหลัก (Raw materials) สำหรับการวิจัยได้แก่ ดินจากโรงอิฐ เจเอสบริคเทค จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อน ในจังหวัดสระบุรี
3. นำวัตถุดิบมาบดให้ได้ขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร โดยกรองผ่านตระแกรงเบอร์ 18 เมช
4. นำวัตถุดิบได้แก่ ดิน ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อน มาศึกษา และศึกษาส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องได้แก่
 - 4.1 องค์ประกอบที่เป็นธาตุของวัตถุดิบ ในปริมาณร้อยละ X - ray Fluorescence, XRF
 - 4.2 ลักษณะเฟสของวัตถุดิบ คือ ดินและผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน โดยใช้เครื่อง XRD
 - 4.3 ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบได้แก่ การสลายตัว การลดน้ำหนัก เมื่อได้รับความร้อนโดยใช้เครื่อง TG-DTA
5. นำวัตถุดิบหลักคือดินมาผสมกับตัวเติม ได้แก่ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อน โดยเติมลงไปร้อยละ 10, 20, 30, และ 40 โดยปริมาตร

6. ผสมวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด ให้ส่วนผสมเข้ากันและมีลักษณะ เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เวลาในการผสมเป็นระยะเวลา 15 – 30 นาที

7. เติมน้ำลงในส่วนผสมของวัตถุดิบ ในปริมาณร้อยละ 20 - 30 โดยปริมาตร เพื่อวัตถุดิบมีความเหนียวพอประมาณและสามารถขึ้นรูปได้

8. ขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้วิธีอัดลงในแบบแม่พิมพ์ และถอดออกจากแบบ หลังจากนั้นตัดชิ้นงานให้เป็นสี่เหลี่ยมที่มีขนาดยาว 5 cm กว้าง 5 cm และสูง 2 cm



ภาพที่ 3.14 ชิ้นงานที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้ว

9. นำชิ้นงานไปตากให้แห้งโดยใช้แสงแดดจากธรรมชาติ ใช้เวลาประมาณ 30 - 48 ชั่วโมง

10. นำชิ้นงานทดสอบที่แห้งเรียบร้อยแล้ว ไปอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออกจากชิ้นงานทดสอบ

11. นำชิ้นงานมาคำนวณเพื่อค่าร้อยละของการหดตัวก่อนแห้งและหลังแห้ง โดยใช้คำนวณจากสมการ

$$\text{สภาพการหดตัวหลังแห้งของชิ้นงาน (\%)} = \frac{\text{ความยาวก่อนแห้ง} - \text{ความยาวหลังแห้ง}}{\text{ความยาวก่อนแห้ง}} \times 100$$

12. วัดค่าน้ำหนักก่อนเผาของชิ้นงานโดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดจำนวนทศนิยม 2 ตำแหน่ง พร้อมบันทึกเป็นน้ำหนักก่อนเผา

13. นำชิ้นงานทดสอบไปเผาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน จำนวน 3 จุด โดยใช้อุณหภูมิที่ 900, 1000 และ 1100 °C และใช้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิระหว่างเผาเป็น 350 °C/hr และใช้ระยะเวลาในการคงไว้ที่อุณหภูมิเผานั้นเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นคำนวณหาสมบัติของชิ้นงานได้แก่

13.1 การหดตัวตามยาวหลังจากชิ้นงานผ่านการเผาแล้ว ตามมาตรฐาน ASTM C 329 - 09 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{สภาพหดตัวหลังเผาของชิ้นงาน (\%)} = \frac{\text{สภาพความยาวก่อนเผา} - \text{สภาพความยาวหลังเผา}}{\text{สภาพความยาวก่อนเผา}} \times 100$$

หลังจากนั้นคำนวณหาค่าการหดตัวรวมของชิ้นงานทดสอบโดยใช้สมการสมการสภาพการหดตัวรวม (%) = การหดตัวหลังแห้งของชิ้นงาน (%) + การหดตัวหลังเผาของชิ้นงาน (%)

13.2 คำนวณหาค่าน้ำหนักสูญหายหลังการเผาของชิ้นงานทดสอบ โดยใช้มาตรฐาน ASTM C 771 - 14 เป็นหลักเกณฑ์ในการคำนวณจาก

$$\text{ค่าน้ำหนักสูญหายของชิ้นงาน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนเผาชิ้นงาน} - \text{น้ำหนักหลังเผาชิ้นงาน}}{\text{น้ำหนักก่อนเผา}} \times 100$$

13.3 คำนวณหาค่าความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าความพรุนตัวของชิ้นงานทดสอบ โดยใช้เกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C 373 - 14

มีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

13.3.1 นำชิ้นงานอิฐดินเผาสำหรับทดสอบที่ผ่านการเผาเรียบร้อยแล้วไปอบให้แห้งที่ตู้อบ โดยใช้อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

13.3.2 นำชิ้นงานอิฐดินเผาสำหรับทดสอบชั่งหาน้ำหนักแห้ง (D) จากนั้นบันทึกเป็นค่าน้ำหนักแห้ง

13.3.3 ชิ้นงานอิฐดินเผาสำหรับทดสอบไปต้มในน้ำกลั่นให้เดือนที่อุณหภูมิประมาณ 100 °C ใช้ระยะเวลา 6 ชั่วโมง และแช่ชิ้นงานทดสอบไว้ 24 ชั่วโมง

13.3.4 จากนั้นนำชิ้นงานอิฐดินเผาสำหรับทดสอบไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักเปียก (W) บันทึกเป็นน้ำหนักเปียก

13.3.5 นำชิ้นงานอิฐดินเผาสำหรับทดสอบชั่งในน้ำเพื่อหาน้ำหนักแขวนลอย (I) บันทึกเป็นน้ำหนักแขวนลอยหรือน้ำหนักในน้ำ

จากนั้นนำค่าที่ได้มาใช้ในการคำนวณหาความหนาแน่นของชิ้นงานอโลหะจากสมการ

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

เมื่อ	ρ	คือ	ความหนาแน่นของชิ้นงาน
	D	คือ	น้ำหนักของชิ้นงานขณะแห้ง
	W	คือ	น้ำหนักของชิ้นงานขณะเปียก
	I	คือ	น้ำหนักของชิ้นงานขณะชั่งในน้ำ หรือน้ำหนักของชิ้นงานขณะแขวนลอย และนำค่าที่ได้มาใช้

ในการหาค่าการดูดซึมน้ำ (%) โดยใช้สมการ

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

เมื่อ	D	คือ	น้ำหนักของชิ้นงานขณะแห้ง
	W	คือ	น้ำหนักของชิ้นงานขณะเปียก

นำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการคำนวณหาความพรุนตัวของชิ้นงาน (%) โดยใช้สมการ

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

เมื่อ	D	คือ	น้ำหนักของชิ้นงานขณะแห้ง
	W	คือ	น้ำหนักของชิ้นงานขณะเปียก
	I	คือ	น้ำหนักของชิ้นงานขณะในน้ำ หรือน้ำหนักของชิ้นงานขณะแขวนลอย

13.4 หาความแข็งแรงของชิ้นงานในรูปแบบ ความสามารถในการรับแรงอัดโดยเครื่องทดสอบความแข็งแรงยูนิเวอร์แซล (Universal testing machine) และคำนวณจากสมการ

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

เมื่อ	M =	ความแข็งแรงของชิ้นงานทดสอบ (kg/cm^2)
	P =	ขนาดแรงกดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบแตกหัก (kg)
	L =	ระยะห่างระหว่างแท่นรองรับชิ้นงานทดสอบ (cm)
	b =	ขนาดความกว้างของชิ้นงานทดสอบ (cm)
	d =	ขนาดความหนาของชิ้นงานทดสอบ (cm)

13.5 ศึกษาค่าการนำความร้อนโดยเครื่องมือวัดค่าการนำความร้อนของสสารหรือวัสดุหอทดิส

13.6 ศึกษาโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้อง SEM ซึ่งจะต้องมีการเตรียมชิ้นงานก่อน โดยมีขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานดังนี้

13.6.1 นำชิ้นงานทดสอบมาตัดให้มีขนาดเล็กเพื่อให้สามารถใส่ในฐานรองรับได้

13.6.2 ขัดพื้นผิวของชิ้นงานให้มีความให้เรียบพร้อมใช้ลมไล่ฝุ่นออกจากพื้นผิวให้หมด และติดชิ้นงานที่ฐานรองรับ

13.6.3 นำชิ้นงานทดสอบไปเคลือบด้วยทองคำในสภาพบรรยากาศที่เป็นสุญญากาศด้วยเครื่อง Ion coater เพื่อให้ชิ้นงานทดสอบนำไฟฟ้า และกระบวนการเคลือบ ใช้วิธีการเคลือบแบบสปัตเตอร์ริง และใช้ระยะเวลาในการเคลือบ 60 วินาที

13.6.4 นำชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการเคลือบด้วยทองคำเรียบร้อยแล้วเข้าเครื่อง SEM

13.6.5 หลังจากนั้นนำชิ้นงานทดสอบที่อยู่ที่ฐานรองรับไปส่องด้วยกล้อง SEM โดยการใช้กำลังขยายของกล้องมีขนาด 3000 เท่า

13.6.6 วิเคราะห์และศึกษาลักษณะเกรนและโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบ หลังจากนั้นทำการถ่ายภาพของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบ และบันทึกข้อมูล

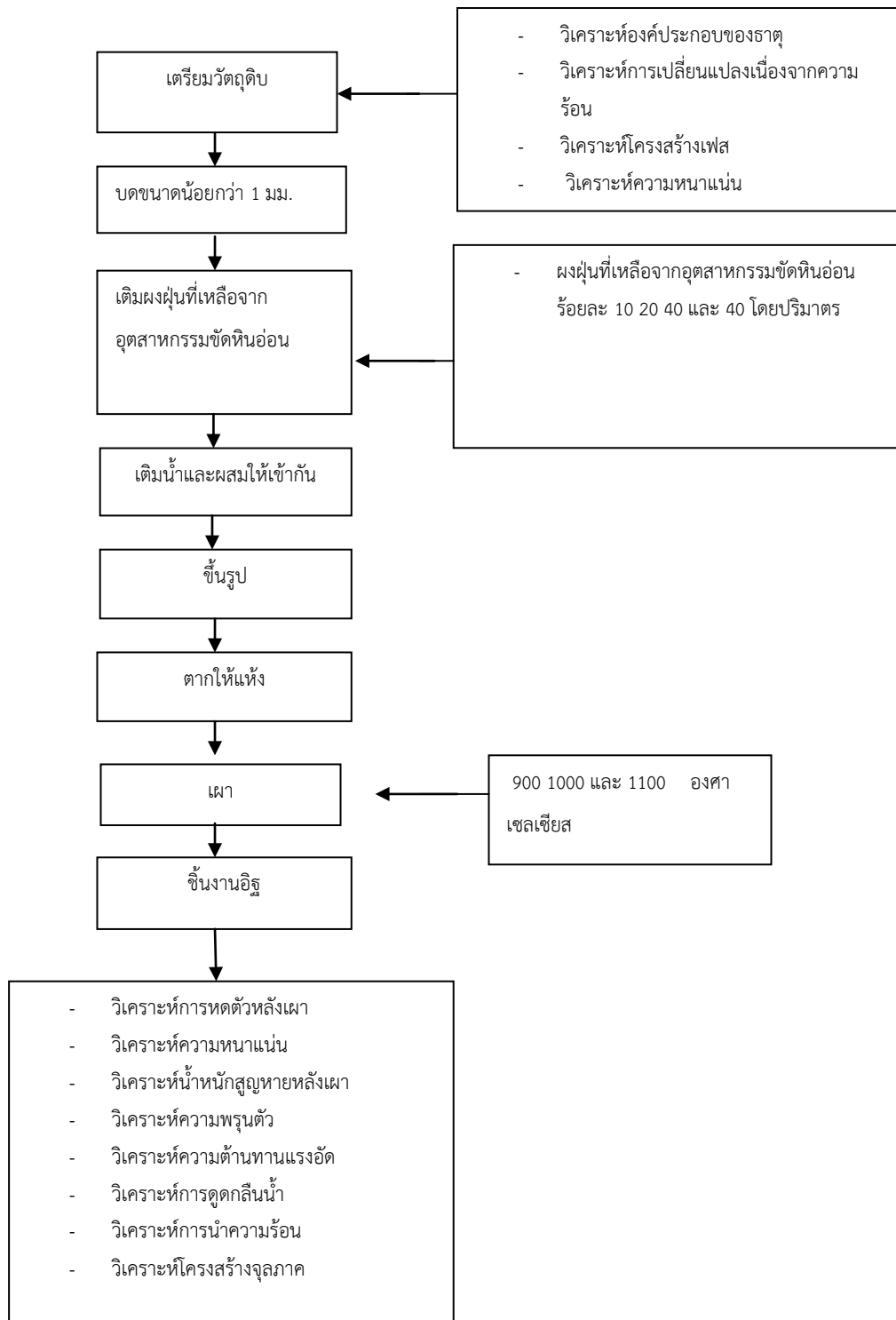
14. วิเคราะห์ข้อมูลการวิจัย เขียนรูปเล่ม สรุป และเขียนบทความ

15. เผยแพร่งานวิจัยไปยังกลุ่มเป้าหมายที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 3.15 ชิ้นงานที่ผ่านการเผาเรียบร้อยแล้ว

โดยขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 แผนผังขั้นตอนการวิจัย

บทที่ 4 ผลการวิจัย

การวิเคราะห์วัตถุติด

1. การวิเคราะห์ส่วนประกอบของวัตถุติด

ส่วนประกอบหลักของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อน แสดงดังตารางที่ 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
ผงฝุ่นหินอ่อน	9.19	2.07	1.29	0.25	5.11	0.13	43.2	-	-	-	37.99

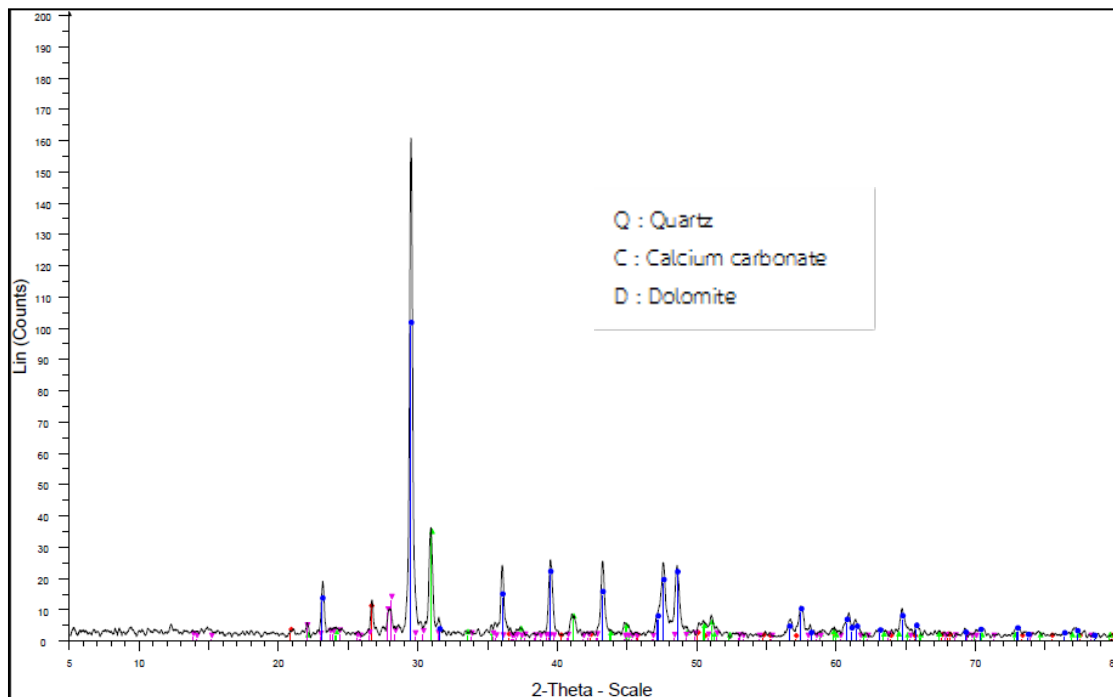
จากผลการวิเคราะห์พบว่าวัตถุติดคือดิน พบว่าแร่ธาตุที่พบเป็นส่วนใหญ่คือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการทำให้อิฐสุกตัวได้เร็วและเกิดความแข็งแรง แร่ธาตุที่พบรองลงมาคืออลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) ที่ส่งผลให้ดินมีความสามารถในการทนไฟ และเหล็กออกไซด์ (Fe₂O₃) ที่ทำให้อิฐที่ผ่านการเผาแล้วเป็นสีแดง โดยดินมีค่าน้ำหนักสูญหายหลังเผาร้อยละ 9.10

เพื่อพิจารณาส่วนประกอบของผงฝุ่นจากหินอ่อนพบว่า องค์ประกอบหลักคือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 43.2 และซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) ร้อยละ 9.19 และค่าน้ำหนักสูญหายหลังเผาร้อยละ 37.99

2. การวิเคราะห์เฟสโครงสร้างของวัตถุดิบ

การวิเคราะห์โครงสร้างเฟสของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนแสดงดังภาพที่ 4.1

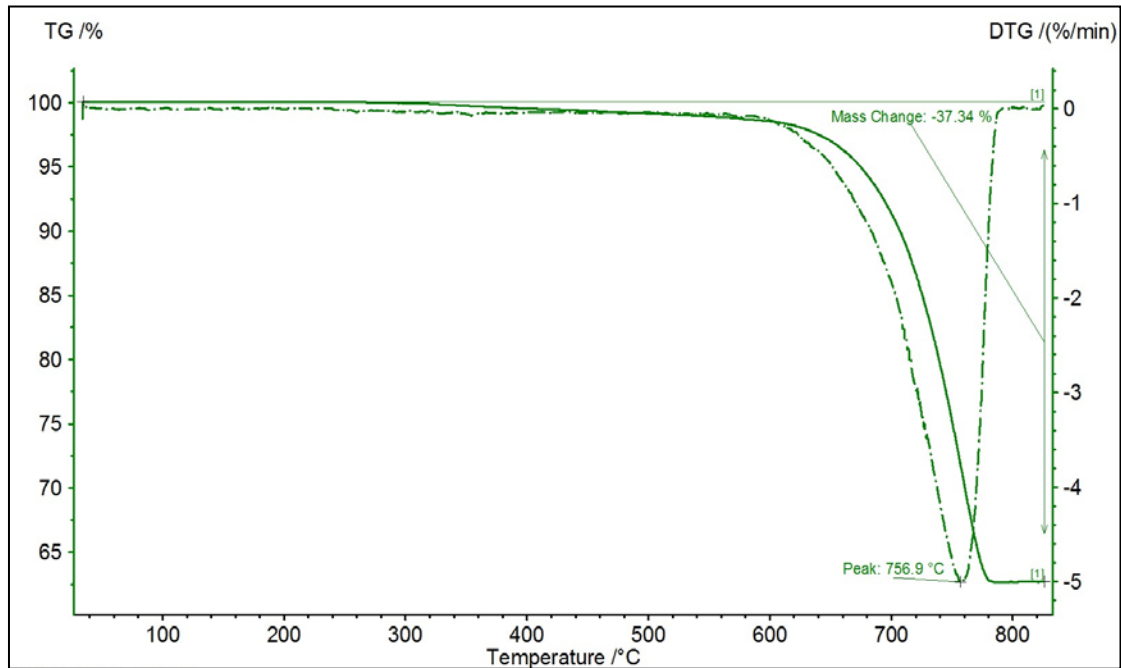
พิจารณาจากกราฟ XRD ของผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนพบว่า มีส่วนประกอบของเฟสหลักคือแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) โดโลไมท์ (CaMg) และ แร่ควอตซ์ หรือซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2)



ภาพที่ 4.1 โครงสร้างผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อน

3. การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุดิบ

ผลของอุณหภูมิหรือความร้อนที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลง ของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขุดหินอ่อนดังรูปที่ 4.2



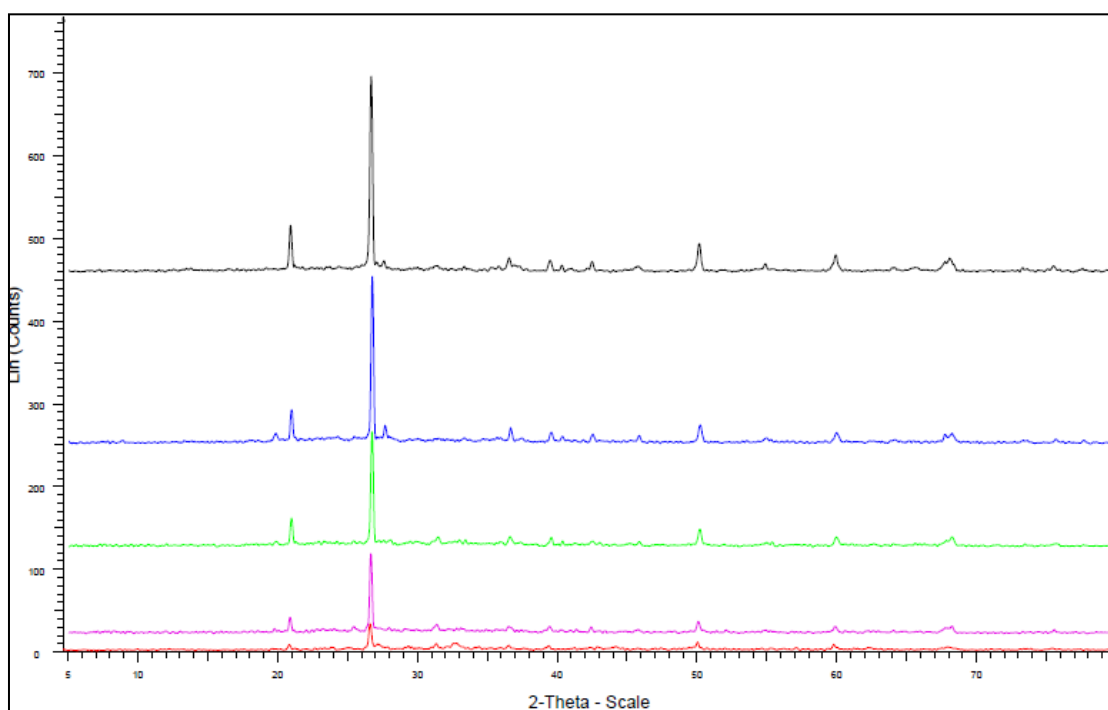
ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนของผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน

พิจารณาจากกราฟ ของผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน พบว่า ค่าน้ำหนักสูญหายของผงฝุ่นทั้งหมดลดลงทั้งหมดประมาณร้อยละ 37.34 ที่อุณหภูมิเผา 756.9 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เกิดจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นส่วนประกอบ ที่มีในผงฝุ่นหินอ่อนทำให้น้ำหนักหายไปนั่นเอง

ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อสมบัติของอิฐดินเผามวลเบา

1. ผลของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนต่อโครงสร้างเฟส

ลักษณะโครงสร้างเฟสของชิ้นงานอิฐมวลเบาที่เติม ผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนแสดงดังรูปที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 โครงสร้างเฟสของชิ้นงานของอิฐดินเผามวลเบาที่เติมผงฝุ่นหินอ่อนในปริมาณที่ต่างกัันและเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

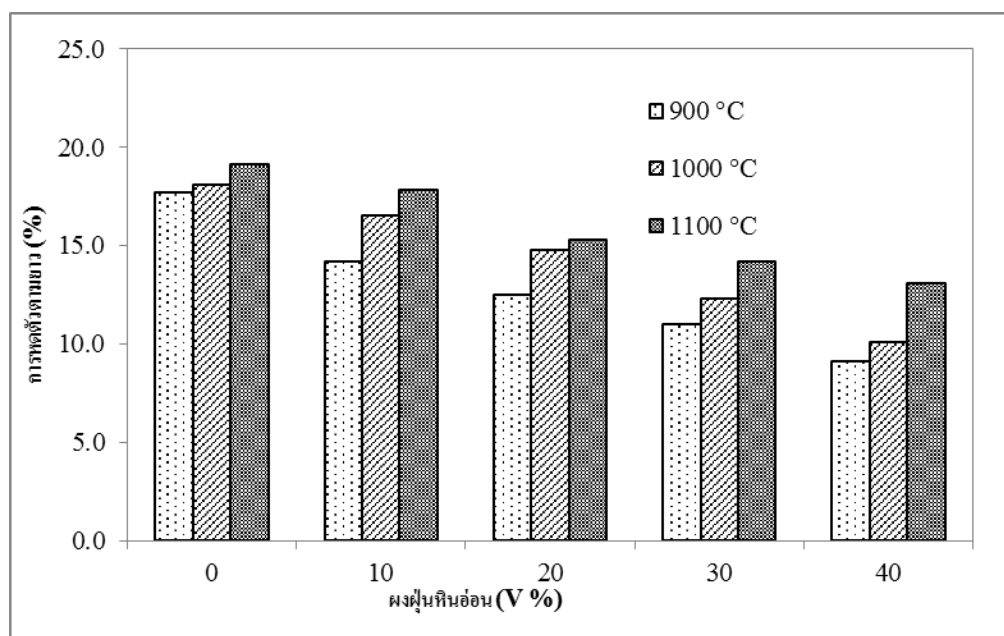
ผลของการเติมผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนลงไปนดินทำให้เฟสของผลึกแร่ควอตซ์ มีปริมาณลดลง ทั้งนี้เนื่องจากผงฝุ่นหินอ่อนที่เติมลงไปมีปริมาณของแร่ควอตซ์น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับดิน ทำให้การเติมลงไปส่งผลให้ปริมาณผลึกของควอตซ์ในชิ้นงานโดยรวมลดลงตามไปด้วยนั่นเอง

2. ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการหดตัว

เมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนส่งผลต่อการหดตัวของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบา ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.2 และกราฟแสดงอัตราส่วนของการเติมผงฝุ่นหินอ่อนกับค่าร้อยละการหดตัวของชิ้นงานอิฐดินเผาหรืออิฐมวลเบา แสดงดังรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.2 ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อร้อยละของการหดตัวหลังเผาของอิฐดินเผามวลเบา

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อร้อยละการหดตัวหลังเผา (%)	0	10	20	30	40
900 °C	17.7	14.2	12.5	11	9.1
1000 °C	18.1	16.5	14.8	12.3	10.1
1100 °C	19.1	17.8	15.3	14.2	13.1



ภาพที่ 4.4 ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการหดตัวของอิฐดินเผามวลเบา

จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปจะทำให้ชิ้นงานมีความหดตัวน้อยลงและเมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้นชิ้นงานจะหดตัวน้อยลงตามไปด้วยเนื่องจากการเติมผงฝุ่นหิน

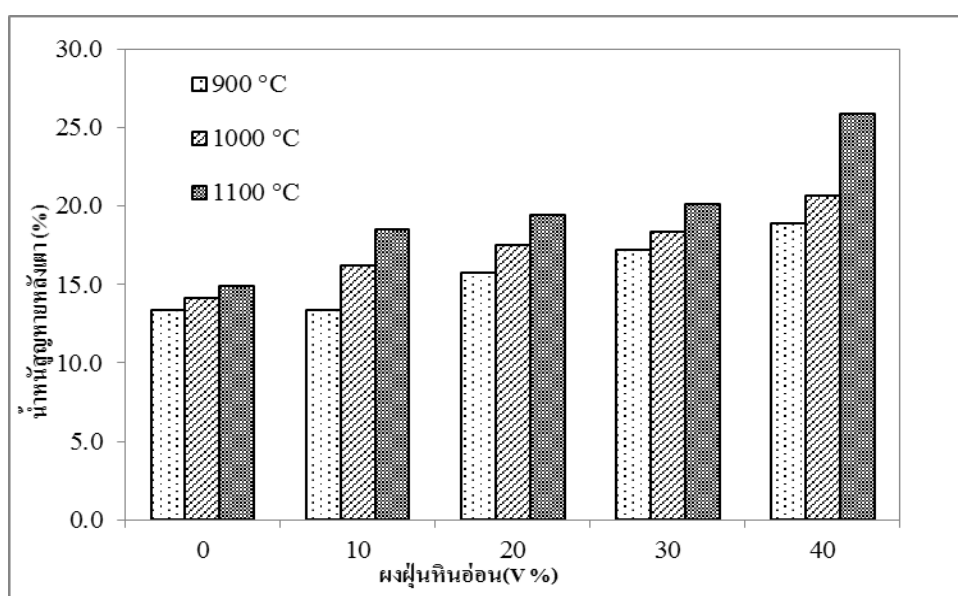
อ่อนจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปจะทำให้วัตถุบที่ประกอบไปด้วยผงฝุ่นและดินมีความเหนียวลดลง ดังนั้นเมื่อเผาแล้วจึงทำให้ชิ้นงานมีการหดตัวลดลงตามไปด้วยนั่นเอง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้การหดตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้อุณหภูมิของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบาชิ้นงาน มีการเรียงตัวและอัดกันแน่นมากขึ้นทำให้การหดตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

3. ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผา

เมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนส่งผลต่อน้ำหนักสูญหายของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบาแสดงดังตารางที่ 4.3 และกราฟแสดงอัตราส่วนของการเติมผงฝุ่นหินอ่อนกับน้ำหนักสูญหายชิ้นงานอิฐแสดงดังรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.3 ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อน้ำหนักสูญหายหลังเผาของอิฐดินเผามวลเบา

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อร้อยละน้ำหนักสูญหายหลังเผา (%)	0	10	20	30	40
900 °C	13.4	13.37	15.71	17.2	18.9
1000 °C	14.1	16.2	17.5	18.32	20.65
1100 °C	14.9	18.5	19.4	20.1	25.9



ภาพที่ 4.5 ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อค่าร้อยละน้ำหนักสูญหายของอิฐดินเผามวลเบา

จากผลการวิจัยพบว่าการเติมผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อน ต่อน้ำหนักสูญหายระหว่างเผา พบว่า การเติมผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนลงไปบนดินทำให้ร้อยละของน้ำหนักสูญหายหลังการเผาของชิ้นงานอิฐมอญมวลเบาเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนมากขึ้น ค่าน้ำหนักสูญหายก็เพิ่มขึ้นตามปริมาณของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนที่เติมลงไป ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการสลายตัวผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนซึ่งมีส่วนประกอบบางส่วนเป็นอินทรีย์วัตถุนั่นเอง

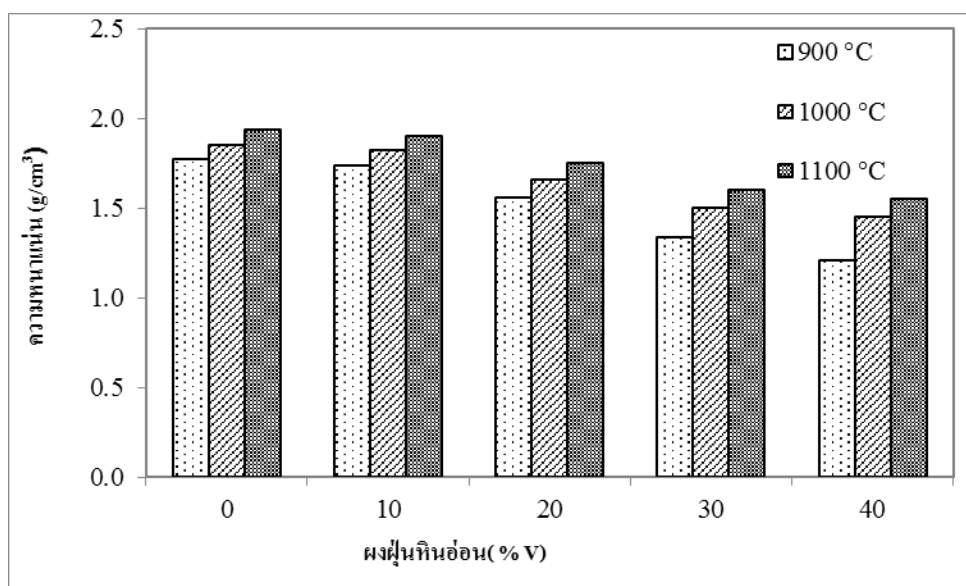
และการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบาจะส่งผลให้ชิ้นงานมีการสูญเสียน้ำหนักหลังเผาเพิ่มตามไปด้วย ซึ่งจะสอดคล้องกับลักษณะกราฟของความร้อนที่ส่งผลต่อผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนตามภาพที่ 4.7 โดยชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบาที่มีค่าร้อยละของน้ำหนักสูญหายหลังเผามากที่สุด 25.9 % เมื่อเติมผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อน 40 % และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100 °C

4. ผลของผงฝุ่นต่อความหนาแน่น

เมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนส่งผลต่อความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบาแสดงดังตารางที่ 4.4 และกราฟแสดงอัตราส่วนของการเติมผงฝุ่นหินอ่อนกับความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐ แสดงดังรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.4 ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อค่าความหนาแน่นของอิฐดินเผามวลเบา

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความหนาแน่น (g/cm ³)	0	10	20	30	40
900 °C	1.77	1.74	1.56	1.34	1.20
1000 °C	1.85	1.82	1.66	1.5	1.45
1100 °C	1.94	1.9	1.75	1.6	1.55



ภาพที่ 4.6 ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อค่าความหนาแน่นของอิฐดินเผามวลเบา

จากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานอิฐมวลเบาที่มีการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนกับไม่ได้เติมพบว่าการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้ความหนาแน่นของอิฐลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน ขึ้นความหนาแน่นของอิฐก็จะลดลงตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้ชิ้นงานของอิฐมีรูพรุนมาก ในขณะเดียวกันการเพิ่มปริมาณผงฝุ่นหินอ่อนเป็นการลดเฟสของเหลวที่เกิดระหว่างการเผาที่ช่วยให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นระหว่างเผาจึงส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลงตามไปด้วยนั่นเอง โดยชิ้นงานที่เติมผงฝุ่นร้อยละ 40 และเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบาประเภทไม่อบด้วยไอน้ำ (มอก. 2601 - 2556) ในชั้นเกรด C12 คือมีความหนาแน่นไม่เกิน 1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

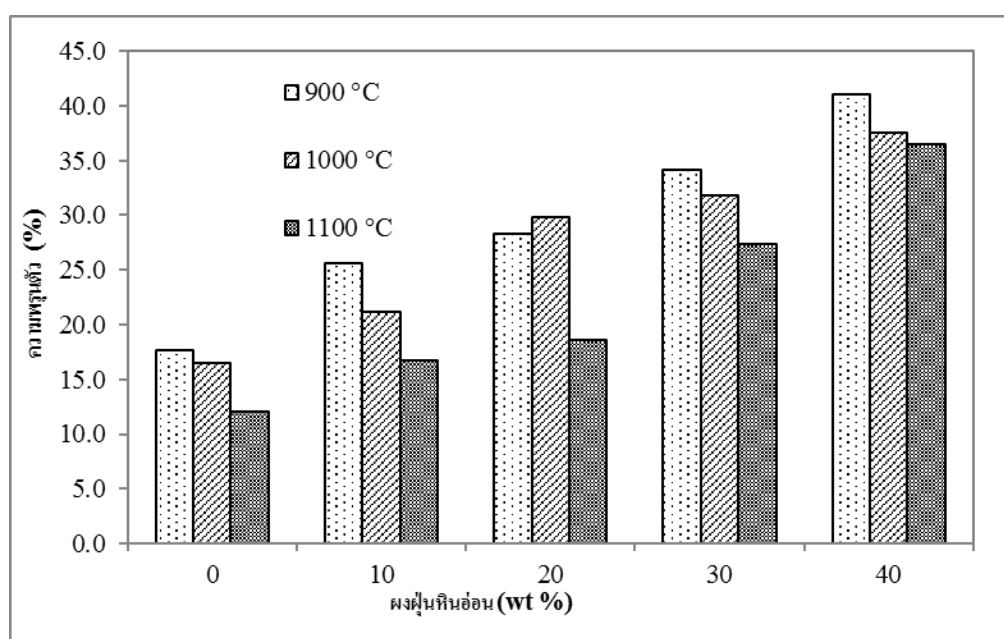
เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเผาชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบาพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้อิฐดินเผามวลเบามีความหนาแน่นเพิ่มตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ทั้งนี้เนื่องจากผลของอุณหภูมิจะทำให้กระบวนการอัดตัวกันดีขึ้นของอนุภาคชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบาตัวเอง โดยชิ้นงานมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุดเมื่อเติมผงฟูร้อยละ 10 และผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

5. ผลของผงฟูหินอ่อนต่อความพรุนตัว

เมื่อเติมผงฟูจากอุตสาหกรรมหินอ่อนส่งผลต่อความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบา แสดงดังตารางที่ 4.5 และกราฟแสดงอัตราส่วนของการเติมผงฟูหินอ่อนต่อร้อยละความพรุนตัวของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบา แสดงดังรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.5 ผลของผงฟูหินอ่อนต่อร้อยละความพรุนตัวของอิฐดินเผามวลเบา

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อร้อยละความพรุนตัว (%)	0	10	20	30	40
900 °C	17.7	25.6	28.3	34.1	41.1
1000 °C	16.5	21.2	29.8	31.8	37.5
1100 °C	12	16.74	18.56	27.34	36.5



ภาพที่ 4.7 ผลของผงฟูหินอ่อนต่อร้อยละความพรุนตัวของอิฐดินเผามวลเบา

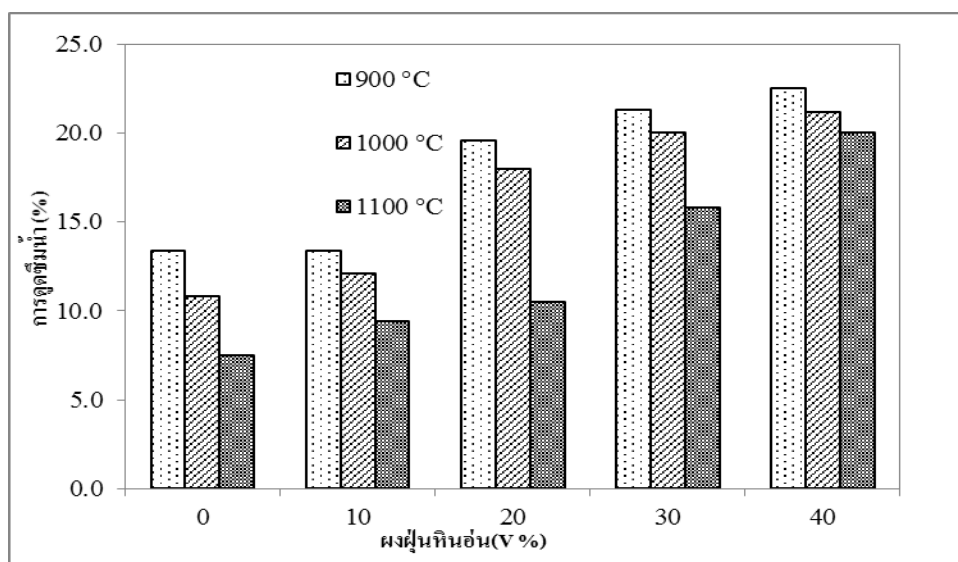
จากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานอิฐมอญมวลเบาที่มีการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนกับไม่ได้เติมพบว่าการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้ความพรุนตัวของอิฐดินเผามวลเบาเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน ขึ้นความพรุนตัวของอิฐก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในชิ้นงานเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มปริมาณผงฝุ่นหินอ่อนเป็นการลดเฟสของเหลวที่เกิดระหว่างการเผาที่ช่วยให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นระหว่างเผา จึงส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลงทำให้ความพรุนตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง

6. ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการดูดซึมน้ำ

เมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนส่งผลต่อการดูดซึมน้ำของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบา แสดงดังตารางที่ 4.6 และกราฟแสดงอัตราส่วนของการเติมผงฝุ่นหินอ่อนต่อร้อยละการดูดกลืนน้ำของชิ้นงานอิฐดินเผา แสดงดังภาพที่ 4.10

ตารางที่ 4.6 ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐดินเผา

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการดูดซึมน้ำ (%)	0	10	20	30	40
900 องศาเซลเซียส	13.4	13.37	19.56	21.3	22.5
1000 องศาเซลเซียส	10.8	12.1	18.0	20.0	21.2
1100 องศาเซลเซียส	7.5	9.4	10.5	15.8	20.0



ภาพที่ 4.8 ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการดูดซึมน้ำของอิฐดินเผา

จากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานอิฐมวลเบาที่มีการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนกับไม่ได้เติมพบว่าการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้การดูดซึมน้ำของอิฐดินเผามวลเบาเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน ชิ้นการดูดซึมน้ำของอิฐก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในชิ้นงานเพิ่มขึ้นตามไปด้วยทำให้ความพรุนตัวเพิ่มขึ้นส่งผลให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพื่อพิจารณาผลของการเพิ่มอุณหภูมิพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้อิฐดินเผามวลเบามีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและความพรุนตัวลดลง ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามไปด้วยนั่นเอง

โดยชิ้นงานที่เติมผงฝุ่นหินอ่อนทั้งหมด มีค่าการดูดซึมน้ำที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานอิฐบล็อกมวลเบาประเภทไม่อบไอน้ำ (มอก.2601 - 2556) เกรด C10 คือ มีค่าของการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 23.00

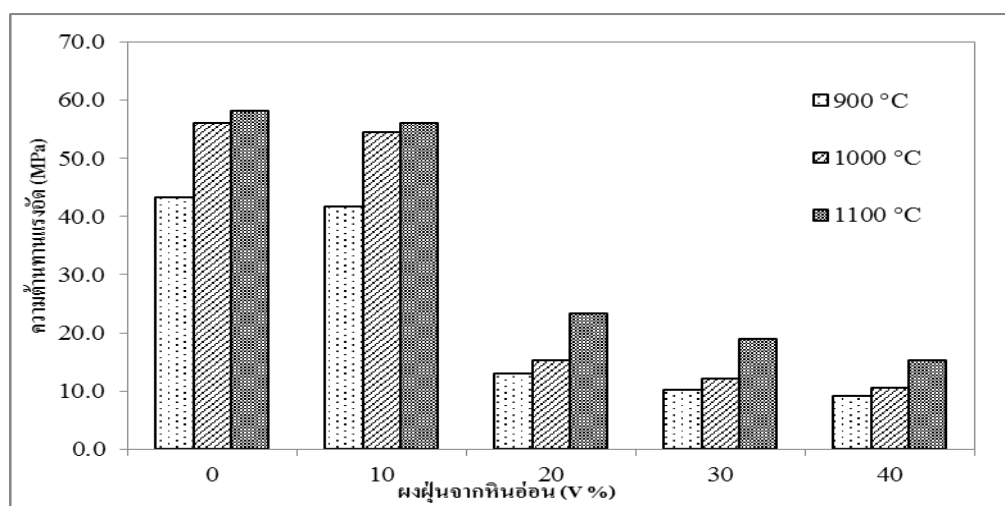
โดยชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบาที่มีค่าร้อยละดูดซึมน้ำน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 7.5 เมื่อเติมผลฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนร้อยละ 10 และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส

7. ผลของผงฝุ่นต่อความต้านทานแรงอัด

เมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนส่งผลต่อความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบา แสดงดังตารางที่ 4.7 และกราฟแสดงอัตราส่วนของการเติมผงฝุ่นหินอ่อนต่อความต้านทานแรงอัด ของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบาแสดงดังภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.7 ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อความต้านทานแรงอัดของอิฐดินเผามวลเบา

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อความต้านทานแรงอัด (MPa)	0	10	20	30	40
900 °C	43.21	41.78	12.98	10.24	9.2
1000 °C	56.12	54.41	15.28	12.15	10.5
1100 °C	58.21	56.12	23.3	18.9	15.3



ภาพที่ 4.9 ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อความต้านทานแรงอัดของอิฐดินเผามวลเบา

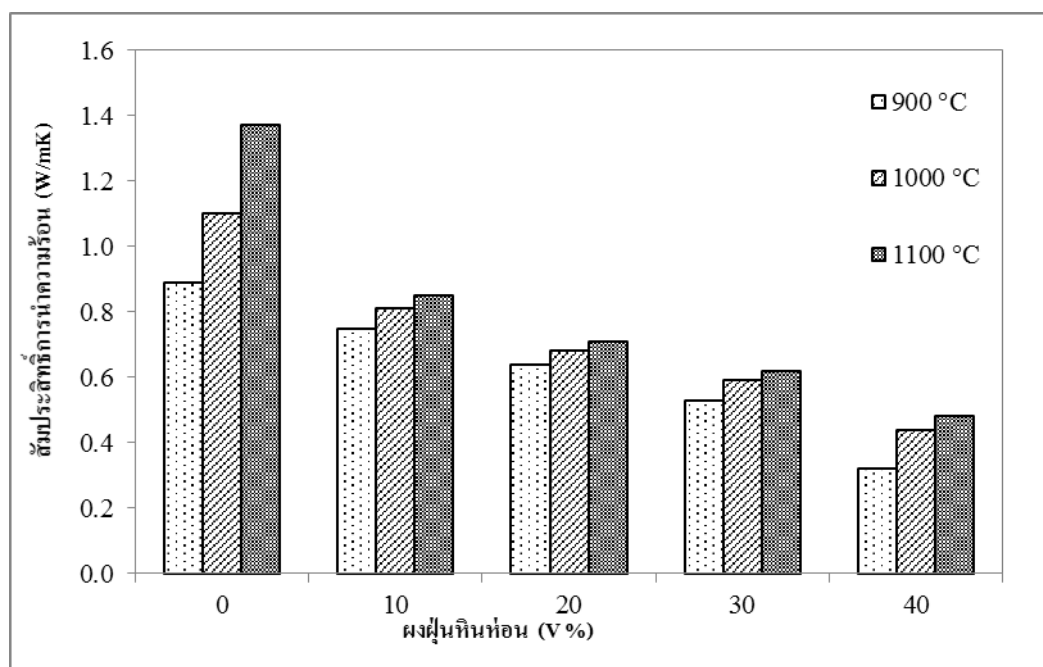
จากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานอิฐมวลเบาที่มีการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนกับไม่ได้เติม พบว่าการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้ความต้านทานแรงอัดของอิฐลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนขึ้น ความต้านทานแรงอัดของอิฐก็จะลดลงตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้ชิ้นงานของอิฐมีรูพรุนมาก ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มปริมาณผงฝุ่นหินอ่อนเป็นการลดเฟสของเหลวที่เกิดระหว่างการเผาที่ช่วยให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นระหว่างเผาจึงส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลงส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดตามไปด้วยนั่นเอง โดยชิ้นงานอิฐที่เติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนทั้งหมด มีค่าความต้านทานแรงอัดที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบาประเภทไม่อบไอน้ำ (มอก.2601 - 2556) ในระดับเกรด C10 ที่กำหนดให้ความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐต้องไม่ต่ำกว่า 2.50 เมกะพาสคัล และนอกจากนี้ยังมีค่าผ่านมาตรฐานอิฐสามัญ (มอก.77 - 2545) ที่กำหนดให้ความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐต้องไม่ต่ำกว่า 2.50 เมกะพาสคัลอีกด้วย

8. ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการนำความร้อน

เมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนส่งผลต่อการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบา แสดงดังตารางที่ 4.8 และกราฟแสดงอัตราส่วนของการเติมผงฝุ่นหินอ่อนต่อการนำความร้อนของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบา แสดงดังภาพที่ 4.12

ตารางที่ 4.8 ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการนำความร้อนของอิฐดินเผามวลเบา

อุณหภูมิเผา/ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อการนำความร้อน (W/mK)	0	10	20	30	40
900 °C	0.89	0.75	0.64	0.53	0.32
1000 °C	1.1	0.81	0.68	0.59	0.44
1100 °C	1.37	0.85	0.71	0.62	0.48



ภาพที่ 4.10 ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อการนำความร้อนของอิฐดินเผามวลเบา

จากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานอิฐมอญมวลเบาที่มีการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนกับไม่ได้เติมพบว่าการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้ค่าการนำความร้อนอัดของอิฐลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน ขึ้นความต้านทานแรงอัดของอิฐก็จะลดลงตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้ชิ้นงานของอิฐมีรูพรุนมาก ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มปริมาณผงฝุ่นหินอ่อนเป็นการลดเฟสของเหลวที่เกิดระหว่างการเผาที่ช่วยให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นระหว่างเผาจึงส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลงส่งผลให้ค่าการนำความร้อนตามไปด้วยนั่นเอง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาพบว่าการนำความร้อนของอิฐดินเผามวลเบาเพิ่มขึ้นตามปริมาณของอุณหภูมิเผาที่เพิ่มขึ้นทั้งนี้ เนื่องจากความหนาแน่นของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบาเพิ่มขึ้นส่งผลให้การนำความร้อนเพิ่มตามไปด้วยนั่นเอง

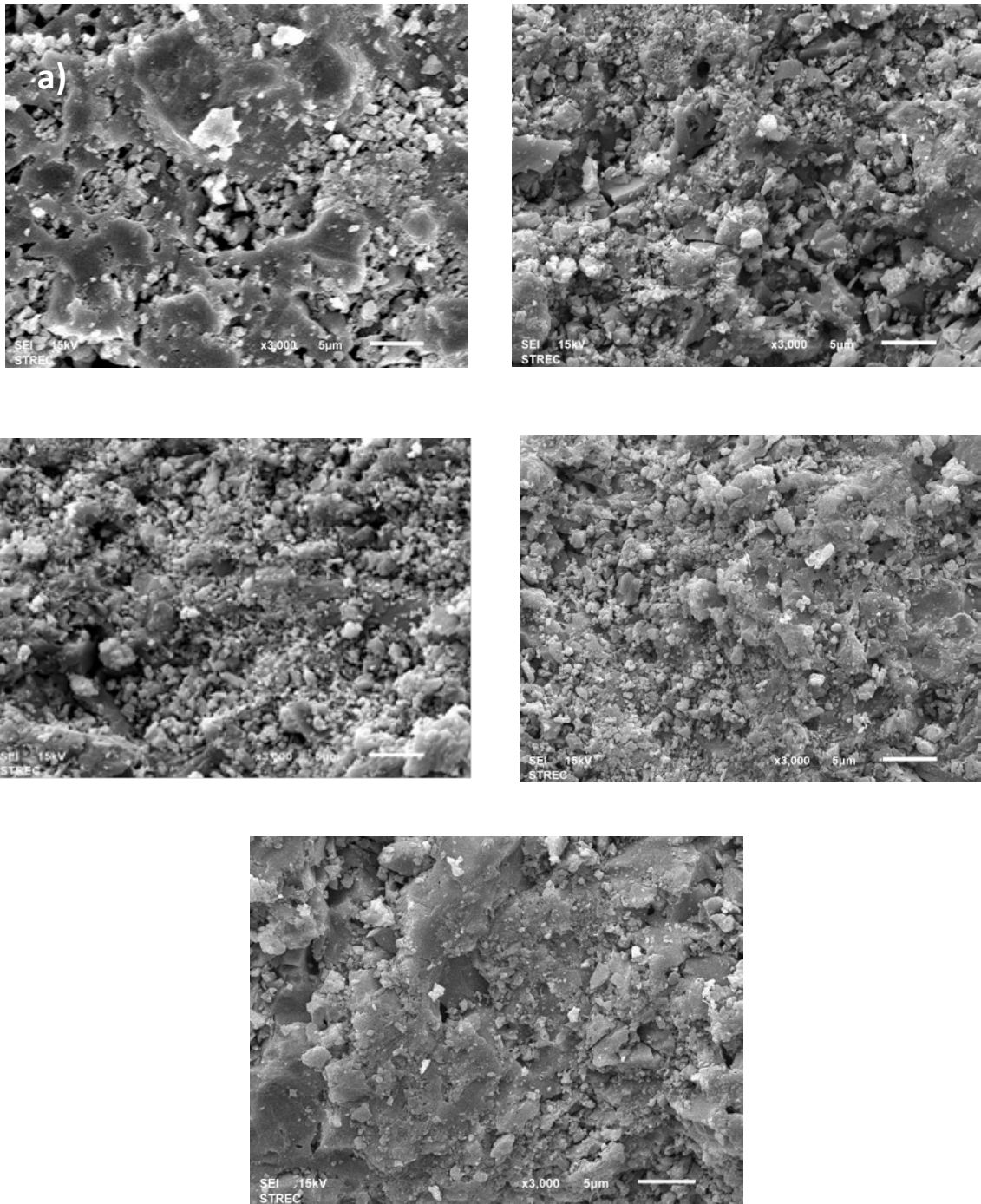
โดยชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบาที่มีค่าการนำความร้อนน้อยที่สุดเท่ากับ 0.16 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน เมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนร้อยละ 40 และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส

9. ผลของผงฝุ่นหินอ่อนต่อโครงสร้างจุลภาค

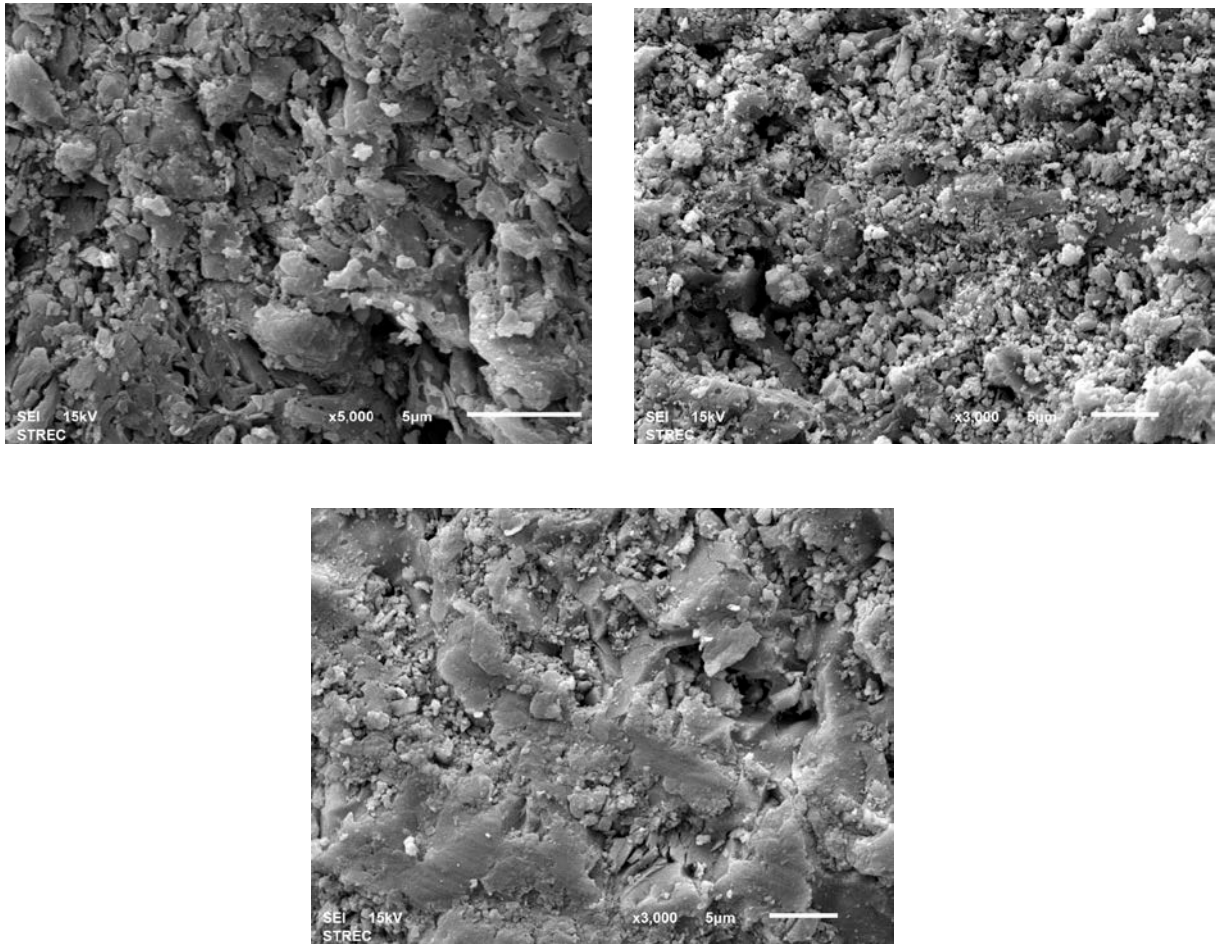
เมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบา ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.13

จากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานอิฐมอญมวลเบาที่มีการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนกับไม่ได้เติมพบว่าการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้ความพรุนตัวของอิฐดินเผามวลเบาเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน ขึ้นความพรุนตัวของอิฐก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในชิ้นงานเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มปริมาณผงฝุ่นหินอ่อนเป็นการลดเฟสของเหลวที่เกิดระหว่างการเผาที่ช่วยให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นระหว่างเผา จึงส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลงทำให้ความพรุนตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง

และเมื่อศึกษาถึงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐที่เติมผลฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนร้อยละ 20 โดยน้ำหนักและผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 - 1000 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4.14 พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ลักษณะของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบาที่มีความพรุนตัวลดลง ทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความพรุนตัว การดูดซึมน้ำ เพิ่มขึ้น นั่นเอง



ภาพที่ 4.11 ผลของผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนต่อโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบาที่เผาที่อุณหภูมิ 1000°C และเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน a) 10% b) 20% c) 30% และ d) 40% โดยปริมาตร



ภาพที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิต่อโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบา ที่เติมผงฝุ่นจาก
อุตสาหกรรมหินอ่อนร้อยละ 20 โดยปริมาตร และ ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ
a) 900 °C b) 1000 °C c) 1100 °C

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาองค์ประกอบของวัตถุดิบ

เมื่อศึกษาองค์ประกอบของวัตถุดิบที่ใช้สำหรับวิจัยในครั้งนี้ประกอบไปด้วย ดินจากอำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จากผลการวิเคราะห์พบว่าวัตถุดิบหลักคือดิน พบว่าแร่ธาตุที่พบเป็นส่วนใหญ่คือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการทำให้อิฐสุกตัวได้เร็ว และเกิดความแข็งแรง แร่ธาตุที่พบรองลงมาคืออลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ที่ส่งผลให้ดินมีความสามารถในการทนไฟ และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ที่ทำให้อิฐดินเผามวลเบาที่ผ่านการเผาแล้วเป็นสีแดง โดยดินมีค่าน้ำหนักสูญหายหลังเผาร้อยละ 9.10 เพื่อพิจารณาส่วนประกอบของผงฝุ่นจากหินอ่อนพบว่า องค์ประกอบหลักคือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 43.2 และซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 9.19 และค่าน้ำหนักสูญหายหลังเผาร้อยละ 37.99 เมื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างเฟสของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อน พบว่า มีองค์ประกอบหลักคือแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) โดโลไมท์ (CaMg) และ แร่ควอตซ์ หรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เมื่อศึกษาถึงผลของอุณหภูมิหรือความร้อนที่ส่งผลต่อพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลง ของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนพบว่า ค่าน้ำหนักสูญหายของผงฝุ่นทั้งหมดลดลงทั้งหมดประมาณร้อยละ 37.34 ที่อุณหภูมิเผา 756.9 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เกิดจากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งที่มีในผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน ทำให้น้ำหนักสูญหายไประหว่างการเผานั้นเอง

การศึกษาผลของผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน

จากผลการศึกษาพบว่า การเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน ส่งผลให้อิฐดินเผามวลเบา มีน้ำหนักต่อหน่วย (Unit weight) หรือความหนาแน่นลดลง โดยลดลงจาก 1.85 g/cm^3 เป็น 1.45 g/cm^3 เมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อน ร้อยละ 40 โดยปริมาตร และเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส หรือลดลง 21.62 % ดังนั้นการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงในอิฐดินเผา ทำให้ดินเผามีน้ำหนักลดลงได้ค่อนข้างสูง และมีสมบัติอื่นๆ ดังนี้

1. การหดตัว เมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปจะทำให้ชิ้นงานมีความหดตัวน้อยลง และเมื่อเมื่อเติมเพิ่มขึ้น ชิ้นงานจะหดตัวน้อยลงตามไปด้วยเนื่องจากการเติมผงฝุ่นหินอ่อนจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปจะทำให้วัตถุดิบที่ประกอบไปด้วยผงฝุ่นและดินมีความเหนียวลดลง ดังนั้นเมื่อเผาแล้วจึงทำให้ชิ้นงานมีการหดตัวลดลงตามไปด้วยนั่นเอง

2. น้ำหนักสูญหาย จากผลการวิจัยพบว่าการเติมผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนต่อน้ำหนักสูญหายระหว่างเผา พบว่า การเติมผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนลงไปบนดินทำให้ค่าน้ำหนักสูญหายหลังการเผา ซึ่งคิดเป็นร้อยละ ของชิ้นทดสอบอิฐมอญมวลเบาเพิ่มขึ้นและเมื่อเติมจำนวนผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนมากขึ้น ค่าน้ำหนักสูญหายที่เป็นร้อยละก็เพิ่มขึ้นตามปริมาณของผงฝุ่นที่เหลือจากอุตสาหกรรมขัดหินอ่อนที่เติมลงไป

3. ความหนาแน่น จากผลการวิจัยพบว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานอิฐมอญมวลเบาที่มีการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนกับไม่ได้เติมพบว่าการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้ค่าน้ำหนักต่อหน่วย (Unit weight) หรือความหนาแน่นของอิฐดินเผามวลเบาลดลง และเมื่อเติมจำนวนผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนมากขึ้น ความหนาแน่นของอิฐก็จะลดลงตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้ชิ้นงานของอิฐมีรูพรุนมากขึ้นเอง

4. ความพรุนตัว จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานอิฐมอญมวลเบาที่มีการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนกับไม่ได้เติมพบว่าการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้ความพรุนตัวของอิฐดินเผามวลเบาเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนขึ้นความพรุนตัวของอิฐก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในชิ้นงานเพิ่มขึ้นตามไปด้วย นั่นเอง

5. การดูดซึมน้ำจากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานอิฐมอญมวลเบาที่มีการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนกับไม่ได้เติมพบว่าการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้การดูดซึมน้ำของอิฐดินเผามวลเบาเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนขึ้นการดูดซึมน้ำของอิฐก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในชิ้นงานเพิ่มขึ้นตามไปด้วยทำให้ความพรุนตัวเพิ่มขึ้นส่งผลให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพื่อพิจารณาผลของการเพิ่มอุณหภูมิพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดลงตามไปด้วย

6. ความต้านทานแรงอัด จากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานอิฐมอญมวลเบาที่มีการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนกับไม่ได้เติมพบว่าการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้ความต้านทานแรงอัดของอิฐลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนขึ้นความต้านทานแรงอัดของอิฐก็จะลดลงตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้ชิ้นงานของอิฐมีรูพรุนมาก ไปด้วยนั่นเอง

7. การนำความร้อนจากการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานอิฐมอญมวลเบาที่มีการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนกับไม่ได้เติมพบว่าการเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้ค่าการนำความร้อนอัดของอิฐลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนขึ้น

การนำความร้อนก็จะลดลงตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อเติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปทำให้
ชิ้นงานของอิฐมีรูพรุนมาก ไปด้วยนั่นเอง

และผลจากการวิจัยยังพบว่า ชิ้นงานที่เติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนร้อยละ 40
และผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส จะมีความหนาแน่นที่เป็นไปตามเกณฑ์
มาตรฐานอิฐมวลเบาชนิดที่ไม่อบไอน้ำ (มอก. 2601 – 2556) ในระดับเกรด C₁₂ โดยมีเกณฑ์
กำหนดไว้ว่าความหนาแน่นจะต้องไม่เกิน 1.20 g/cm³ นอกจากนั้นค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำชิ้นงาน
อิฐดินเผามวลเบาที่เติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนทั้งหมด มีค่าที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานอิฐ
มวลเบาแบบไม่อบไอน้ำ (มอก.2601 – 2556) ในระดับเกรด C₁₀ ส่วน ในส่วนความสามารถในการ
ต้านทานแรงอัดของชิ้นงานอิฐดินเผามวลเบาที่เติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนทั้งหมด
มีค่าความสามารถในการต้านทานแรงอัดที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานอิฐมวลเบาชนิดไม่อบไอน้ำ
(มอก. 2601 – 2556) ในระดับเกรด C₁₀ อีกด้วย

โดยชิ้นงานอิฐดินเผาหรืออิฐมอญมวลเบา มีสมบัติที่ดีที่สุดคือชิ้นงานอิฐดินเผาหรือ
เติมผงฝุ่นจากอุตสาหกรรมหินอ่อนลงไปร้อยละ 40 และผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 900 °C โดย
อิฐดินเผาหรืออิฐมอญมวลเบาที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.20 g/cm³ มีความสามารถในการต้านทานแรงอัดเท่ากับ
9.2 M·Pa ค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำเท่ากับ 22.5 และค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.32 W/m·K

ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรเพิ่มอุณหภูมิเผามากกว่า 1100 องศาเซลเซียส เพื่อดูแลแนวโน้มสมบัติที่เหมาะสม
เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้น้ำหนักลดลงได้อีก
2. ควรศึกษาขนาดของอนุภาค และขนาดของรูพรุน ที่ส่งผลต่อสมบัติของอิฐดินเผาหรือ
อิฐมอญมวลเบา
3. ควรศึกษาโดยการเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้ ชนิดอื่น ที่มีเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะวัสดุเหลือใช้
ทางการเกษตร เช่น ช้างข้าวโพด ถั่วปาล์ม เป็นต้น
4. ควรนำชิ้นงานอิฐดินเผาหรืออิฐมวลเบาที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้งานจริงและเปรียบเทียบกับ
อิฐดินเผา
5. ควรพัฒนากระบวนการขึ้นรูปอิฐดินเผาหรืออิฐมวลเบา

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาไทย

- กุลธิดา บรรจงศิริ และจิรัฐิติ์ บรรจงศิริ. (2548). การศึกษาปริมาณโลหะหนักในอิฐมอญที่ผลิตจากดินเหนียวผสมตะกอนบำบัดน้ำเสียจากชุมชน, การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 10 : ชลบุรี วนิชฐา เพชร, พัฒนันต์ จันสว่าง, สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว, เอกชัย อยู่ประเสริฐชัย และบุญลือ เอมะรุจิ. (2549).งานวิจัยเรื่องการผลิตและใช้ก๊าซธรรมชาติเพื่อเผาอิฐก่อสร้าง. กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยมหิดล ชัยวัฒน์ ธีร์วารากุล, พงศ์เกษม ของดีงาม, จิราภรณ์ พรหมณีวรรณ และสนธยา ทองอรุณศรี. (2549). งานวิจัย เรื่องการวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพและประสิทธิภาพในการผลิตอิฐมอญด้วยมือของกลุ่มชาวบ้านในท้องถิ่น. ตาก : สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตตาก
- ประชุม คำพุด. (2550). การศึกษาการรับกำลังอัดและกำลังดัดของอิฐดินดิบผสมเถ้าแกลบวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 27 (พิเศษ), 94-98
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539) .เชรามิกส์. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- พงษ์พันธ์ วรสุนทรโรสด และ วรพงศ์ วรสุนทรโรสด. (2546). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ. ซีเอ็ดดูเคชั่น
- พวงผกา ออมทรัพย์ และ เกศรินทร์ พิมพ์รักษา. (2549). งานวิจัยเรื่องปรับปรุงกระบวนการในการเตรียม - ดินให้มีประสิทธิภาพเพื่อลดการสูญเสียในกระบวนการผลิตและเพิ่มคุณค่าผลิตภัณฑ์. เชียงใหม่: ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- สยาม ณรงค์ฤทธิ์. (2533). คนเผาอิฐ. กรุงเทพฯ : ต้นอ่อน
- สุทัศน์ จันบัวลา. (2550). การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาในจังหวัดสิงห์บุรี. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
- สุทัศน์ จันบัวลา. (2553). การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐดินเผาในเขตภาคกลางตอนบน. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
- สุปินทร์ ห่องสวัสดิ์และฉลองรัฐ จงยั้งศิริ. (2541). การศึกษาด้านวิศวกรรมของอิฐมอญในจังหวัดอยุธยา อ่างทอง และลพบุรี.ปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาก่อสร้างและงานไม้ สาขาวิชาเทคโนโลยีโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- เอก ช่อประดับ. (2547). คุณสมบัติทางกายภาพของอิฐสามัญที่ทำจากดินเหนียวผสมแกลบ. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บรรณานุกรมต่างประเทศ

Kingery, A. J, Bowen, H.K, and Uhlmann, D.R.(1991). **Introduction to Ceramic**. Singapore :

John Wiley of Sons (SEA) Pte

Michel W., Barsoum.(1997). **Fundamentals of Ceramics**. New York : The Mcgraw – Hill

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

นายสุทัศน์ จันบัวลา

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

ชื่อ - สกุล

นายมานะ เอี่ยมบัว

ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำโรงเรียนการท่องเที่ยวและการบริการ มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา	ปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันฯ	ประเทศ
2542	ปริญญาตรี	ศศบ.	ออกแบบศิลปประยุกต์	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	ไทย
2546	ปริญญาโท	คอ.ม.	เทคโนโลยี ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง	ไทย

สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

การออกแบบผลิตภัณฑ์

ชื่อ - สกุล

นายวัชรภรณ์ 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