

การศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ
THE STUDY OF ALUMINUM DROSS EFFECT ON REFRACTORY
BRICK PROPERTIES

ศาสตราจารย์ เตี้ยะตาช้าง

SARTHACHAI THEATHACHANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ 2553

การศึกษาอิทธิพลของถ้ำลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ 2553

**THE STUDY OF ALUMINUM DROSS EFFECT ON REFRACTORY
BRICK PROPERTIES**

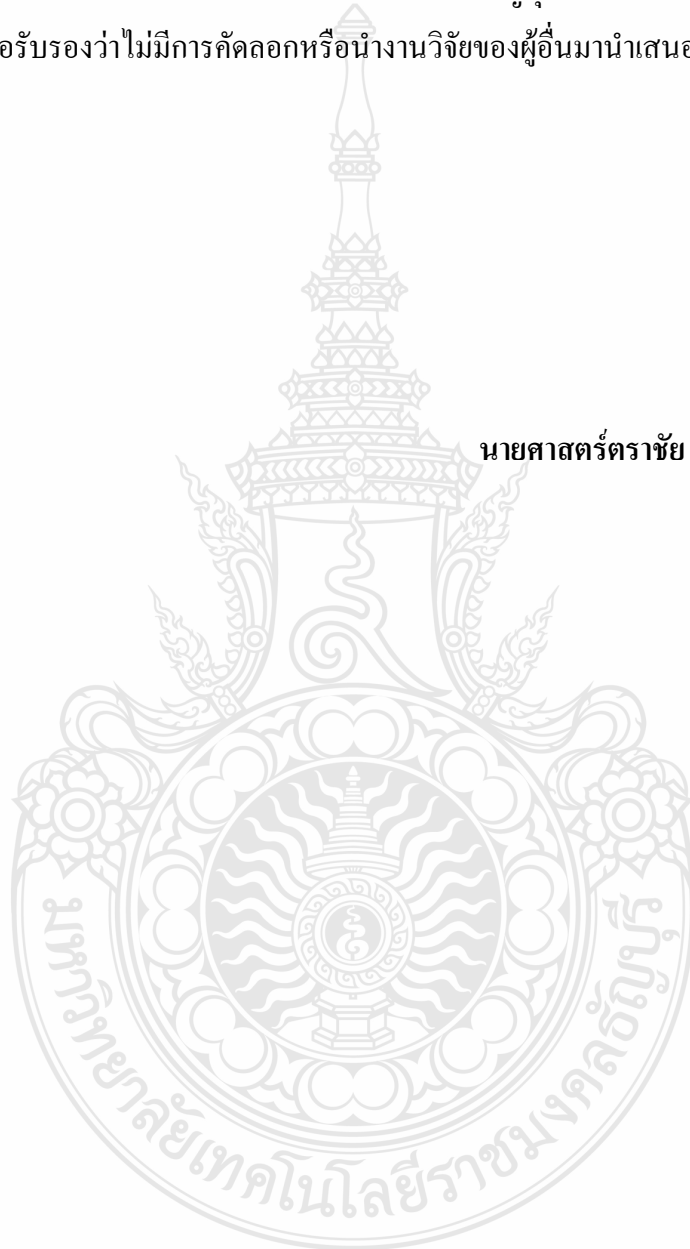
SARTHRACHAI THEATHACHANG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN INDUSTRIAL ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2010

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการศึกษาค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายศาสตราจารย์ เตียะตาซ่าง





ใบรับรองวิทยานิพนธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ THE STUDY OF ALUMINUM DROSS EFFECT ON REFRACTORY BRICK PROPERTIES
ชื่อนักศึกษา	นายศาสตราจารย์ เตี้ยะดาข้าง
รหัสประจำตัว	115070404014-8
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร. สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล
วัน เดือน ปี ที่สอบ	3 ตุลาคม 2553
สถานที่สอบ	ห้องประชุมเฟื่องทอง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาศ เมืองจันทร์บุรี)

.....กรรมการ
(ดร. กิตติพงษ์ กิมะพงศ์)

.....กรรมการ
(ดร. ศิริชัย ต่อสกุล)

.....กรรมการ
(ดร. สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชัย หิรัญวโรดม)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอิทธิพลของถ้ำลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ
ชื่อนักศึกษา	นายศาสตร์ตราชัย เตียะตาข้าง
รหัสประจำตัว	115070404014-8
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. สมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล

บทคัดย่อ

การผลิตอิฐทนไฟได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามแนวโน้มความต้องการของตลาดที่เพิ่มขึ้น มีการพัฒนาการผลิตโดยใช้วัตถุดิบเหลือใช้เป็นส่วนผสม เช่น ในอุตสาหกรรมหล่อโลหะมีเศษถ้ำลอยอะลูมิเนียมเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตจำนวนมากที่ถูกทิ้งอย่างไร้ประโยชน์และก่อให้เกิดมลพิษ ทั้งๆที่กากเหลือเหล่านี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่ยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐทนไฟได้ การใช้เศษถ้ำลอยอะลูมิเนียมเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐทนไฟจึงเป็นแนวคิดในการผลิตอิฐทนไฟแบบใหม่ซึ่งมีสมบัติค่าความทนไฟสูงขึ้น มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนการผลิต ลดปริมาณของเสีย ลดมลพิษและรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมด้วย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาส่วนผสมและอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการผลิตอิฐทนไฟของถ้ำลอยอะลูมิเนียม โดยออกแบบการทดลองให้มีตัวแปรซึ่งประกอบด้วย ขนาดของ Mesh No.40 ถึง 100 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันที่ 100:00 ถึง 20:80 แรงดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm² ถึง 350 kg/cm² และอุณหภูมิในการเผาขึ้นงานที่ 1,200 °C ถึง 1,300 °C แล้วนำตัวอย่างชิ้นงานไปทดสอบสมบัติทางกายภาพซึ่งประกอบด้วยค่าความหนาแน่น, ค่าความพรุนปรากฏ, ค่าการดูดซึมน้ำ, ค่าความถ่วงจำเพาะ, และสมบัติทางกลประกอบด้วย ค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐานของอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB-50

ผลการทดลองครั้งนี้โดยสรุป คือ ตัวอย่างชิ้นงาน B1M50C300X คัดแยกขนาดอนุภาคของถ้ำลอยอะลูมิเนียมที่ Mesh No. 50 ในอัตราส่วนผสม 100:00 อัดขึ้นรูปด้วยแรงดัน 300 kg/cm² และเผาที่อุณหภูมิ 1,200 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลพบว่า มีค่าความหนาแน่น 1.41 g/cm³, ค่าความพรุนปรากฏ 56.37%, ค่าการดูดซึมน้ำ 3.24%, ค่าความถ่วงจำเพาะ 39.95, ค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น 6.11 MPa และยังพบว่าค่าสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีที่สุดของตัวแปรในการผลิตอิฐทนไฟของตัวอย่างชิ้นงาน B5M100C350X คัดแยกขนาดอนุภาคของถ้ำลอยอะลูมิเนียมที่ Mesh No.100 ในอัตราส่วนผสม 20:80 อัดขึ้นรูปด้วยแรงดัน 350 kg/cm² และเผาที่อุณหภูมิ 1,200 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล

พบว่า มีค่าความหนาแน่น 1.96 g/cm^3 , ค่าความพรุนปรากฏ 36%, ค่าการดูดซึมน้ำ 3.07%, ค่าความถ่วงจำเพาะ 18.30, และค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น 54.08 MPa จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานของอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB-50 โดยผลทดสอบสมบัติทางกายและทางกลพบว่า ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2.30 g/cm^3 มีค่าน้อยกว่า 0.34 g/cm^3 , ส่วนค่าความพรุน ปรากฏ เท่ากับ 22 % มีค่ามากกว่า 14 %, และค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น เท่ากับ 45 MPa ซึ่งมีค่ามากกว่า 9.08 MPa .



คำสำคัญ : อิฐทนไฟ, แก้วลอยอะลูมิเนียม, อะลูมินา, ซิลิกา, เหล็กออกไซด์, ค่าต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น

Thesis Title: THE STUDY OF ALUMINUM DROSS EFFECT ON REFRACTORY BRICK PROPERTIES

Student Name: Mr. Sarthrachai Theathachang

Student ID: 115070404014-8

Degree Award: Master of Engineering

Study Program: Industrial Engineering

Academic Year: 2010

Thesis Advisor: Dr. Somsak Ithisoponakul

ABSTRACT

According to the high demand in the market, the manufacturing process of refractory brick has been continuously developing such as utilizing recycled industrial disposed materials as alternative composition. In conventional casting industry, large amount of disposed materials were causing environmental problem even though it contains several potential materials which are capable to be recycled and used as composition in the refractory brick. Thus the idea to utilize Aluminum dross in refractory brick could be beneficial by reducing production cost, disposed material, pollution and yet save the environment.

This research aimed to study the influences of processing parameters in manufacturing of refractory brick which contains Aluminum dross. The experiment was carried out by varying the following parameters; 1. Mesh size, No.40 to 100 respectively 2. Composition, 100:0 to 20:80 3. Forming pressure, 300 to 350 kg/cm² and 4. Heating temperature, 1,200 to 1,300 °C. After the experiment, the samples were brought to examined the following physical properties; density, apparent porosity, water absorption, specific gravity and also mechanical properties; crushing pressure. The results were then compared with the standard values of high alumina refractory KB-50.

The sample no. B1M50C300X contained Aluminum dross at mesh no. 50 in the ratio of 100:00. The sample was pressed with 300 kg/cm² then heated at 1,200 °C for 1 hr. The sample yielded density of 1.41 g/cm³, apparent porosity of 56.37%, water absorption of 3.24%, specific gravity of 39.95, and Cold Crushing Strength of 6.11 MPa. The best result obtained in this research was sample no. B5M100C350X which contained Aluminum dross at mesh no. 100 in the ratio of 20:80. The sample was pressed with 350 kg/cm² then heated at 1,200 °C for 1 hr. The sample

yielded density of 1.96 g/cm^3 , apparent porosity of 36 %, water absorption of 3.07%, specific gravity of 18.30, and Cold Crushing Strength of 54.08 MPa. Comparing the tested properties with that specified in the high alumina refractory's standard reveals that the density of the sample is 0.34 g/cm^3 lower, the porosity 14% higher and the compressive strength is 9.08 MPa higher than standard values.



Keywords : Refractory brick, Aluminum dross, Alumina, Silica, Iron oxide, Cold Crushing strength

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณจากความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ ดร. สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ประภาส เมืองจันทร์บุรี ,ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งให้คำแนะนำความรู้และข้อคิดเห็น รวมถึงปัญหาต่างๆ ต่องานวิจัยฉบับนี้ตลอดมา และขอกราบขอบพระคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณบุคคลที่ได้ให้การช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกระหว่างปฏิบัติงานวิจัย ในแต่ละขั้นตอนอย่างดียิ่งคือ คุณอานัติ หาทรัพย์ คุณณสินธ์ ไพทีกุล นักวิชาการศูนย์พัฒนา วิเคราะห์สมบัติของวัสดุ และดร.ชุมพล บุษบก คุณรุ่งเรือง สิงค์ไข่มุก นักวิชาการฝ่ายนวัตกรรมวัสดุ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดาและ มารดา ที่ได้เลี้ยงดู อบรม สั่งสอนผู้วิจัยตลอด มา และบุคคลรอบข้างที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือเสมอมา

ศาสตร์ตราชัย เตี้ยะตาข้าง

3 ตุลาคม 2553



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 จุดประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษาการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 คุณสมบัติทั่วไปของวัสดุทนไฟ	5
2.3 วัสดุที่ใช้ในการผลิตวัสดุทนไฟ	10
2.4 ชนิดของอิฐทนไฟ	11
2.5 การทดสอบสมบัติของอิฐทนไฟ	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	28
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย	28
3.2 เครื่องมือและขั้นตอนการดำเนินการ	29
3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของตัวอย่างชิ้นงานอิฐทนไฟ	41
3.4 การทดสอบกำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น (Cold Crushing Strength)	45
3.5 ค่าความทนไฟ (Refractoriness)	48
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	49
4.1 ผลการทดสอบของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	49
4.2 ขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ	49
4.3 การผสมของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันของการผลิตอิฐทนไฟ	50
4.4 ความดันในการอัดขึ้นรูปของการผลิตอิฐทนไฟ	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 การเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของการผลิตอิฐทนไฟ	51
4.6 ผลการศึกษาอิทธิพลตัวแปรของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	86
5.1 สรุปผลการการศึกษา	86
5.2 ข้อเสนอแนะ	86
เอกสารอ้างอิง	87
ภาคผนวก	
ก ตารางแสดงตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	89
ข ตารางแสดงเฟสและสารประกอบของเถ้าลอยอะลูมิเนียม	91
ค ตารางผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	95
ง ตารางผลการทดสอบค่าต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	100
จ ตารางแสดงผลการทดสอบสมบัติต่างๆของอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB-50 และผลการวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบของ อะลูมินา, ซิลิกา, และเหล็กออกไซด์ที่ใช้ในงานวิจัย	105
ฉ ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่	111
ประวัติผู้เขียน	119

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทางกายภาพของอะลูมิเนียม	6
2.2 สมบัติทางกลของอะลูมิเนียม	6
2.3 สมบัติทางกายภาพกายภาพและทางกลของอะลูมินา	7
2.4 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอะลูมินาและเซอร์โคเนียม	8
2.5 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐแมกนีไซท์	13
2.6 ผลการวิเคราะห์ของอิฐทนไฟชนิดโครม	15
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการเผาบัลค์เดนซิติ์กับความพรุนตัวของวัตถุดิบ A และ B	16
2.8 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟโคโลไมต์	16
2.9 การปรับปรุงขนาดอนุภาคของอิฐทนไฟโคโลไมต์	17
2.10 โมดูลัสการยึดหยุ่นของโลหะบางชนิด	27
2.11 ความแข็งแรงคราก และความแข็งแรงสูงสุดของโลหะบางชนิด	27



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	ตะแกรงแบบเส้นสำหรับหาปริมาณกากข้างตะแกรง	19
2.2	เครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test Instron SATEC Series.)	20
2.3	เตาเผาชิ้นงาน	21
2.4	ตัวอย่างรูปแบบของแรงกด	24
2.5	ลักษณะการเกิดความเค้นและความเครียด	25
2.6	การทดสอบแรงกด (ก) การให้แรงแก่ชิ้นงาน (ข) ชิ้นงานทดสอบ (ค) เครื่องทดสอบ	25
2.7	เส้นโค้งการทดสอบแรงกด	26
3.1	แผนภาพการไหลของกระบวนการในการดำเนินงานวิจัย	28
3.2	แผนภาพการไหลของขั้นตอนการทดลอง	29
3.3	เกล็ดอลูมิเนียม (Aluminum Dross)	30
3.4	เครื่องทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบ (X-ray Diffracto meter)	30
3.5	เครื่องทดสอบหาการกระจายตัว (Test Sieve Analysis)	31
3.6	เกล็ดอลูมิเนียมที่คัดแยกขนาดของอนุภาคแล้ว	32
3.7	เตาอบชิ้นงาน	32
3.8	เครื่องชั่งที่ใช้หาอัตราส่วนผสมของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	33
3.9	วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐทนไฟ (Refractor Brick)	34
3.10	อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน	34
3.11	อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ในการอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	35
3.12	เครื่องทดสอบแรงกด	36
3.13	การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	36
3.14	ผลการทดสอบของโปรแกรมที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	37
3.15	การคั่นตัวอย่างชิ้นงานทดสอบออก	37
3.16	ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากการขึ้นรูป	38
3.17	การอบไล่ความชื้นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	38
3.18	เครื่องตัดชิ้นงาน (Cut-Off Machine MARUMOTO VELNUT)	39
3.19	การตัดชิ้นงาน	39
3.20	ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการตัด	40
3.21	เตาเผา (Naber therm รุ่น N60/H Maximum 1340 °C)	40
3.22	ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากการเผา	41

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
3.23 เตาอบตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	42
3.24 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Divaricator)	42
3.25 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	43
3.26 การต้มตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	44
3.27 การชั่งน้ำหนักในน้ำ(ก) เครื่องชั่งน้ำหนักในน้ำ และ (ข) แสดงการชั่งชิ้นงานในน้ำ	44
3.28 เครื่องทดสอบแรงดึง (Compression Test Instron SATEC Series)	46
3.29 การกดตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	46
3.30 จอภาพแสดงกราฟและค่าของแรงสูงสุดการทดสอบแรงต้านทานบีบคั้นเมื่อเย็น	47
3.31 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่เสียหายหลังการทดสอบ	47
4.1 การกระจายตัวของเส้นลวดอะลูมิเนียม อะลูมินา ซิลิกา และเหล็กออกไซด์	50
4.2 ตัวอย่างชิ้นงานหลังการอัดขึ้นรูป	51
4.3 ตัวอย่างชิ้นงานของเส้นลวดอะลูมิเนียมหลังการเผาอุณหภูมิที่ 1,200 °C	52
4.4 ตัวอย่างชิ้นงานที่เสียหายหลังการเผาอุณหภูมิที่ 1,300 °C (ก) ตัวอย่างชิ้นงานบีดวม (ข) ตัวอย่างชิ้นงานหดตัว และ (ค) ตัวอย่างชิ้นงานที่แตกร้าว	53
4.5 การแตกร้าวบริเวณผิวหน้าตัดและการพังทลายของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	55
4.6 ผิวหน้าตัดของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ² อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °C	56
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	57
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	58
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	59
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	60
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นกับตัวอย่างชิ้นงานที่สัดส่วนต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	61

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

4.12	ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ² อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °C	62
4.13	ผิวหน้าตัดของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ² อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °C	64
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	65
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	65
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	66
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	67
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นกับตัวอย่างชิ้นงานที่สัดส่วนต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	68
4.19	ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ² อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °C	69
4.20	ผิวหน้าตัดของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ² อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °C	71
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	72
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	72
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	73
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	74
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นกับตัวอย่างชิ้นงานที่สัดส่วนต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	75

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.26 ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ² อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °C	76
4.27 ผิวหน้าตัดของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ² อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °C	78
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	79
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	79
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	80
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	81
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นกับตัวอย่างชิ้นงานที่สัดส่วนต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	82
4.33 ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ² อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °C	83
4.34 ความสัมพันธ์ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบอิฐทนไฟกับอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB-50	84

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อิฐทนไฟเป็นวัสดุทนไฟชนิดหนึ่งซึ่งเป็นผลผลิตสำคัญของอุตสาหกรรมเซรามิกที่ใช้ประโยชน์ไม่เฉพาะแต่ในงานอุตสาหกรรมเซรามิกเท่านั้น หากยังใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอื่นๆที่ต้องใช้ความร้อนสูงในการผลิต เช่น เตาหลอมโลหะในอุตสาหกรรมเหล็ก เตาเผาผลิตไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและอุตสาหกรรมอื่นๆ การใช้อิฐทนไฟส่วนใหญ่ใช้ในงานก่อสร้างเตาเผาชนิดต่างๆ รูปลักษณะและขนาดของอิฐจึงมีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน[1] ความหมายของอิฐทนไฟ คือ อิฐที่มีความสามารถในการทนความร้อนได้สูง มีความต้านทานแรงแตกร้าวสูงในแนวขวาง นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อการยุบตัวของแรงเฉือนสูง วัสดุที่ใช้ทำมักประกอบด้วย ดินทนไฟ (Fire Clay) ดินเหนียว (Plastic Clay) ดินขาว (White Clay) หรือดินเกาลิน (Kaolin) และวัสดุอื่นๆ ตามแต่ละชนิดและการนำไปใช้งาน ซึ่งอิฐทนไฟสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดใหญ่ๆ คือ อิฐทนไฟไฟล์เคลย์ (Fri Clay Brick) อิฐทนไฟอะลูมินาสูง (High Alumina Brick) อิฐทนไฟเชิงค่าง (Basic Brick) และอิฐทนไฟฉนวน (Insulator Brick) [1]

ปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมเพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี เช่น ในอุตสาหกรรมงานหล่อ ส่งผลถึงสภาพสิ่งแวดล้อมเนื่องจากฝุ่นละอองและมลพิษที่มีต่อระบบทางเดินหายใจได้ การกำจัดเถ้าลอยอะลูมิเนียม ในปัจจุบันใช้การฝังกลบเป็นส่วนใหญ่ โดยการขนส่งไปยังจุดฝังกลบทำให้เกิดรายจ่ายเพิ่มขึ้นตามมา คือ ค่าแรงงาน, ค่ายานพาหนะ และค่าเชื้อเพลิงเป็นต้น ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดศึกษา โครงสร้างและสารประกอบทางเคมี และสมมติฐานของการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆในกระบวนการผลิตอิฐทนไฟ เพื่อให้ได้ตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเป็นข้อมูลพื้นฐานประยุกต์ใช้ในอนาคตต่อไป งานวิจัยนี้จะนำเสนอผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟที่มีสถานะเหมาะสมที่สุดเพื่อมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของอิฐทนไฟอะลูมินาสูงKB-50 ผลการเปรียบเทียบเมื่อมีสมบัติที่ดีกว่าสามารถนำไปช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตอิฐทนไฟ โดยการลดต้นทุนของวัตถุดิบและสมบัติทางกายภาพและทางกล นอกจากนี้ยังสามารถนำความรู้จากงานวิจัยนี้มาประยุกต์ใช้กับการผลิตอิฐทนไฟ โดยมีการใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกันออกไป รวมถึงภาคอุตสาหกรรมต่างๆที่เกี่ยวข้องเป็นต้น

1.2 จุดประสงค์การวิจัย

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลตัวแปรของการผลิตอิฐทนไฟต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของถ้ำล้อยอะลูมิเนียมผสมเข้ากับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ

1.2.2 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB-50

1.3 ขอบเขตของการศึกษาการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการคัดขนาดของอนุภาคของถ้ำล้อยอะลูมิเนียม โดยเครื่องทดสอบหาค่าการกระจายตัวโดยการกระจายตัวขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วงที่กำหนด Mesh No. 40, 50 และ 100

1.3.2 ศึกษาอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่แตกต่างกันประกอบด้วย 100:00, 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80

1.3.3 ศึกษากระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 300 และ 350 kg/cm² โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM Designation: C 20-97

1.3.4 ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่ 1,200 และ 1,300 °C

1.3.5 ศึกษาการทดสอบสมบัติทางกายภาพ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM Designation: C 20-00 ประกอบด้วย

- 1) ทดสอบหาค่าความหนาแน่น
- 2) ทดสอบหาค่าความพรุนปรากฏ
- 3) ทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ
- 4) ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ

1.3.6 ศึกษาการทดสอบสมบัติทางกล โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM Designation: C 113-97 ประกอบด้วย

- 1) ทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น
- 2) ทดสอบค่าการทนไฟ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นองค์ประกอบความรู้ในการวิจัยต่อไป โดยมีเป้าหมาย คือ ภาควิชาอุตสาหกรรมเพิ่มศักยภาพการวิจัยและพัฒนาของถ้ำล้อยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ

1.4.2 นำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์โดยการนำเสนอกรรมวิธีกระบวนการผลิตอิฐทนไฟโดยใช้ถ้ำล้อยอะลูมิเนียมเป็นส่วนผสมเป็นพื้นฐานในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

1.4.3 ลดปริมาณของเสียของภาคอุตสาหกรรมและรักษาสภาพสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 สาโรจน์ ขาวดี [1] ได้อธิบายถึงกระบวนการผลิตอิฐทนไฟ (Refractory Brick) วัตถุดิบที่นำเข้าไปใช้ในการผลิตอิฐทนไฟ คือ ทรายจากแหล่งเขาน้อย ต.หันคา จ.ชัยนาท วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติพื้นฐาน นำทรายหาอัตราส่วนในการขึ้นรูปอิฐทนไฟ ตามมาตรฐาน ASTM และเปรียบเทียบสมบัติพื้นฐานของอิฐทนไฟกับทฤษฎีอิฐทนไฟในท้องตลาด ผลการทดสอบที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติพื้นฐานอิฐฉนวนทนความร้อนที่ผลิตจากบริษัทสยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟจำกัด และบริษัทบางกอกแสงไทยจำกัด จากการศึกษาสมบัติพื้นฐานทรายชัยนาท พบว่า ผลการทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์มีค่าสูงกว่าทั้งสองบริษัท ส่วนสมบัติทางกลมีค่าต่ำกว่าทั้งสองบริษัท

2.1.2 บุญเลิศ ยี่เต็ง และ รุจโรจน์ อ่อนสะอาด [2] ศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการผลิตอิฐทนไฟภายในประเทศรวมถึงการนำตัวอย่างอิฐทนไฟมาทำการศึกษาคูณภาพ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและลดปริมาณการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีมูลค่าสูง ปัญหาที่สำคัญคือ การวางแผนการผลิตในแต่ละปี จำนวนการสั่งผลิตอิฐทนไฟของลูกค้านำไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งปี รวมถึงปัญหาของแรงงาน วัตถุดิบ เครื่องจักรและปัจจัยด้านอื่นๆและในด้านการยอมรับในคุณภาพของอิฐทนไฟภายในประเทศ ตลาดโดยรวมยังไม่มี ความมั่นใจในมาตรฐานการผลิตและการควบคุมคุณภาพจึงได้นำอิฐทนไฟที่ได้ผลิตจากโรงงานทั้งหมด 3 แห่งภายในประเทศมาทำการทดสอบตามอิฐทนไฟมาตรฐาน ASTM C 20-1974 และ ASTM C 133-1972 ผลจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างอิฐทนไฟไฟร์เคลย์ K-43 ST-76 ขนาดมาตรฐานที่ผลิตที่ผลิตจากโรงงานทั้ง 3 แห่ง พบว่าส่วนใหญ่มีขนาด รูปร่าง น้ำหนักและสีที่คล้ายกัน มีสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เรื่อง วิธีทดสอบวัสดุทนไฟ (มอก.558-2528)

2.1.3 เชษฐ เอี่ยมจิตกุล [3] ได้กล่าวถึงอิฐทนไฟไฟร์เคลย์ ซึ่งเป็นอิฐทนไฟที่มีการผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศไทยประมาณครึ่งศตวรรษมานี้ โดยหน่วยงานของทางราชการ การใช้งานยังจำกัดอยู่ในวงแคบเฉพาะแต่ของราชการเท่านั้น คุณภาพยังไม่ดีเท่าที่ควร เพราะแหล่งวัตถุดิบจำกัดและกรรมวิธียังไม่ทันสมัย จนถึงปี พ.ศ. 2505 จึงได้มีบริษัทวัสดุก่อสร้างเริ่มกิจการผลิตอิฐทนไฟไฟร์เคลย์พร้อมทั้งพัฒนากรรมวิธีการผลิตควบคู่ไปกับการพัฒนาคุณภาพ จึงทำให้อิฐที่ผลิตได้ในปัจจุบันมีคุณภาพดี โดยเริ่มจากดินทนไฟที่มีความเหนียวเป็นตัวประสานและดินเชื้อ (Chayote) เป็นโครงสร้างของอิฐ ทั้งดินทนไฟและดินเชื้อ ต้องมีอุณหภูมิหรือผลรวมของอุณหภูมิของวัตถุดิบทั้งสองจะต้องสูงกว่าผลรวมของซิลิกามีอนินอิฐที่ผลิตได้จะมีความทนไฟต่ำ กรมวิทยาศาสตร์บริการได้พิจารณาเห็นว่าการผลิตอิฐทนไฟขึ้นใช้ภายในประเทศเป็นสิ่งจำเป็นจึงได้จัดเป็นโครงการศึกษาวิจัย

สำรวจแหล่งวัตถุดิบพบว่าดินทนไฟหนองใหญ่ จ.ปราจีนบุรี มีความทนไฟสูง และดิสก์เก็ต (Diskette) จ.นครนายก มีสัดส่วนของ ซิลิกาและอะลูมินาเหมาะที่จะใช้ทำวัสดุทนไฟได้ จึงได้ทดลองใช้ผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ โดยผสมในเครื่องผสมแบบถังผสม (Duipanmixer) หมักด้วยน้ำ เพื่อให้เกิดความพอดีในการอัดขึ้นรูป ริดผ่านเครื่องริด (Extruder) ให้ได้รูปร่างอิฐ ผึ่งลมให้แห้งจนแข็ง จึงนำมาอัดด้วยเครื่องอัดใช้แรงอัด 5 ตัน/จังหวะเป็นอย่างน้อย ผลการทดสอบพบว่า ได้สูตรของการทำอิฐทนไฟ รวมทั้งเทคโนโลยีการผลิตและการเผา เพื่อให้ได้อิฐที่มีคุณภาพดี การเผา นั้นจะต้องเผาที่อุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึกมัลไลต์ ซึ่งจะเริ่มเกิดที่อุณหภูมิ 1,200 °C และเกิดมากที่สุดที่อุณหภูมิ 1,400 °C ขึ้นไป ถ้าใช้อุณหภูมิการเผาที่ต่ำเกินไปปริมาณการใช้งานและการทนทานต่อการรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูงจะน้อยลงไปด้วย

2.1.4 ปาร์วีร์ เซาว์โน และ ศิริพร ลาภเกียรติถาวร [4] ได้กล่าวถึง ลักษณะความพรุนตัวของอะลูมินาที่เตรียมด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป ซึ่งงานอะลูมินาถูกเตรียมให้มีความเป็นรูพรุน โดยการผสมผงอะลูมินากับสารโพสิโวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณ 10% และ 20 % ทำการผสมสารทั้งสองให้เข้ากัน จากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปโดยวิธีการอัดให้เป็นเม็ดโดยใช้แรงอัดที่ 1,000 และ 1,500 kg/cm² นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,400 , 1,450 และ 1,500 °C รักษาอุณหภูมิสูงสุดนาน 2 ชั่วโมง ซึ่งงานที่ได้หลังการเผาจะนำไปวิเคราะห์ ค่าความหนาแน่น ค่าความพรุนตัว ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าการดูดซึมน้ำด้วยวิธีอะกิมิติสและศึกษาลักษณะของโครงสร้างระดับคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ผลการทดสอบพบว่า ปริมาณโพสิโวนิลแอลกอฮอล์มีผลต่อความพรุนตัวของชิ้นงานมากกว่าแรงอัดขึ้นรูป และความแตกต่างของความพรุนตัวจะแสดงความชัดเจนมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผา การลดแรงอัดไม่แสดงการเพิ่มของความพรุนตัว

2.1.5 สุรเชษฐ์ จิงเกษมโชคชัย วราภรณ์ คุณาวานากิจ ลดา พันธุ์สุขุมธนา วรรณมา ต.แสงจันทร์ และพิมพ์วัลย์ วัฒนภาส [5] ได้กล่าวถึง อิฐมวลเบาจากเถ้าลอยลิกไนต์ แสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มค่าความถ่วงจำเพาะ และค่ากำลังรับแรงอัดได้สูงขึ้น ได้จากการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินลิกไนต์ของการไฟฟ้าการผลิตแห่งประเทศไทย ผลิตผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้า คือ เถ้าลอยลิกไนต์ มีลักษณะคล้ายๆฝุ่นซึ่งมีอยู่ปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี พบว่า มีสมบัติที่จะนำมาใช้ทดแทนซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างจากการวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบ (XRD) ทดลองหาอัตราส่วนผสมโดยการแปรเปลี่ยนส่วนผสมเถ้าลอยลิกไนต์ 38-80 % ปูนซีเมนต์ 20-50 % ปูนขาว 0-40 % ผลการทดลองมีค่าความหนาแน่น 1.27-1.55 g/cm³ ผลการทดลองมีค่ากำลังรับแรงอัด 148-335 kg/cm² การทดลองหาส่วนผสมที่เหมาะสมของสารทำให้เกิดฟอง มีการทดลองแปรเปลี่ยนปริมาณผงอะลูมิเนียมและสารเติมแต่งเช่นการลดน้ำผลการทดสอบค่าความหนาแน่นลดเหลืออยู่ในช่วง 0.51-0.70 g/cm³ ค่ากำลังรับแรงอัด 23-60 kg/cm² และทดลองเพิ่มกำลังรับแรงอัด โดยเติมทรายละเอียดลงในส่วนผสมแปรเปลี่ยนปริมาณทรายในช่วงร้อยละ 5-35 โดยผลการทดลองมีค่าความหนาแน่นลดเหลืออยู่ในช่วง 0.54-0.70 g/cm³ และค่ากำลังรับแรงอัด 32-52 kg/cm² ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานในการก่อสร้างได้

2.2 สมบัติทั่วไปของวัตถุดิบไฟ

2.2.1 ซิลิกา (Quartz) [7]

ควอตซ์ หรือ ซิลิกา คือ องค์ประกอบหลักการเนื้อทรายที่พบเห็นกันทั่วไป สูตรทางเคมี SiO_2 มี Si 46.7% และ O_2 53.3% มีความเสถียรทนต่อการกัดกร่อนสูงมาก มีองค์ประกอบทางเคมีที่บริสุทธิ์และสมบัติทางฟิสิกส์ที่คงที่ แร่อื่นๆที่อาจพบได้ คือ ลิเทียม โวเดียม โปแตสเซียม อลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส และไททานเนียม ควอตซ์มีรูปผลึกเฮกซะโกนาล เกิดเป็นแท่งยาวปลายแหลมทั้งหัวท้าย บางครั้งเกิดผลึกแผ่ มีเนื้อสมานแน่น มีความแข็งความถ่วงจำเพาะ 2.65 รอยแตกเว้า วาวคล้ายแก้ว หรือเทียนไข มีสีขาว หรือสีอื่นๆขึ้นอยู่กับมลทิน เช่น เหล็กให้สีม่วงถึงเหลือง ไททานเนียมให้สีชมพู เป็นต้น เนื้อควอตซ์โปร่งใสถึงโปร่งแสง ควอตซ์จึงมีมากมายหลายชนิดรวมทั้งที่เป็นผลึกหายาบ และพวกที่เป็นผลึกละเอียด หรือเนียนละเอียดมองตาเปล่าไม่เห็น ซึ่งมีเนื้อเป็นแบบเส้นใย (Fibrous) และแบบมวลเม็ด (Granular) ควอตซ์เป็นส่วนประกอบของหินอัคนี เช่น แกรนิต ไรโอไลต์ และเปกมาไทต์ แล้วสะสมตัวเป็นหินทราย และอื่นๆ เมื่อหินอัคนีผุพังไปโดยทั่วไป จะพบควอตซ์ ร่วมกับเฟลด์สปาร์เป็นสายแร่ และพบควอตซ์ ตามลำธารที่องน้ำฝั่งทะเลส่วนประกอบของดินในรูปของทราย ควอตซ์ ใช้เป็นรัตนชาติ หินประดับ หรือนำไปใช้งานในลักษณะอื่น เช่น เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เครื่องมือทางแสง ทำเลนส์และปริซึม ควอตซ์ในรูปของทรายเป็นส่วนประกอบหลักในงานคอนกรีต งานก่อสร้างทุกชนิด เป็นผง (Flux) ทำวัสดุขัดสีเป็นวัสดุหลักในอุตสาหกรรมแก้วและกระจก เป็นส่วนผสมในเนื้อผลิตภัณฑ์เซรามิก เครื่องเคลือบ (Porcelain) ทำเนื้อกระดาษทรายและเป็นวัสดุเติม (Filler)

2.2.2 อะลูมิเนียม (Aluminum) [7]

อะลูมิเนียมผลิตจากแร่บ็อกไซต์ (Bauxite) แร่ชนิดนี้มีปริมาณของอะลูมิเนียมมากพอที่จะนำไปถลุงได้ เมื่อถลุงแล้วต้องนำไปแยกด้วยกรรมวิธีทางไฟฟ้า (Hall Process) จึงจะได้ อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ซึ่งมีความบริสุทธิ์ประมาณ 98-99 % ซึ่งต่อมาอาจทำให้บริสุทธิ์ได้ถึงประมาณ 99.99 % อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่สำคัญและได้รับการใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะเบา (Light Metal) ซึ่งโลหะเบา หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า 4 g/cm^3 อะลูมิเนียมมีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น น้ำหนักเบาและความทนทานต่อการเกิดของสนิมมีความแข็งแรงอยู่ในเกณฑ์ปานกลางแต่มีค่าความเหนียวสูงอะลูมิเนียม ยังมีสมบัติด้านการหล่อหลอมที่ดีทนทานต่อการผุกร่อนในบรรยากาศที่ใช้งานทั่วไปได้ดีมากโดยมีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำสามารถรวมตัวกับโลหะอื่นๆ เป็นโลหะผสมได้ง่ายและมีความสามารถในการไหลอยู่ในเกณฑ์สูงสมบัติทางกายภาพของอะลูมิเนียม ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของอะลูมิเนียม [7]

สมบัติทางกายภาพ	หน่วย
เลขอะตอม	13
น้ำหนักอะตอม	26.9815 cm ³ /mol
โครงสร้าง	FCC
สี	ขาวเงิน
รัศมีอะตอม	1.82 ⁰
ความหนาแน่น	293 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	660.37 °C
จุดเดือด	2,519 °C
ความร้อนจำเพาะ	0.90 j/kg
ความร้อนในการหลอมละลาย	10.790 kJ/mol
ความร้อนกลายเป็นไอ	293.40 kJ/mol
การนำความร้อน	2.37 w/cmK
อัตราการหดตัวจากสภาพการหลอมเหลว	6.60 %

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกลของอะลูมิเนียม [7]

สมบัติทางกล	หน่วย
ความแข็งแรง (Tensile Strength)	2 kg/mm ²
พิกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit)	3 kg/mm ²
อัตราการยืดตัว (Percent Elongation)	8-10 MPa
ความแข็ง (Hardness)	16-20 HRC
โมดูลัสของการยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)	7,800 kg/mm ²

2.2.3 อะลูมินา (Alumina) [10]

อะลูมินามีชื่อทางเคมีว่า อะลูมิเนียมออกไซด์ สูตรทางเคมีคือ Al₂O₃ พบในธรรมชาติในรูปของแร่คอร์ันดัม (Corundum) โดยปกติจะมีสีขาวหรือไม่มีสี แต่หากมีสิ่งเจือปนในโครงสร้างของอะลูมินาเล็กน้อย จะทำให้เกิดสีต่าง ๆ ทำให้มีความสวยงามมากขึ้น กลายเป็นแร่ที่มีค่า เช่น สีแดงของทับทิมเกิดจากมีธาตุโครเมียมอยู่ในเนื้ออะลูมินา เป็นต้น อะลูมินาที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตขึ้นจากแร่บอกไซต์โดยกระบวนการที่มีชื่อว่า กระบวนการของเบเยอร์ เพื่อเป็นการกำจัดสิ่งเจือปนและเปลี่ยน

อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ให้เป็นอะลูมินา ที่ผลิตได้ส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 90) ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตโลหะอะลูมิเนียม ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 10 นำไปใช้ในรูปของอะลูมินาโดยตรง มีโครงสร้างผลึกแบบเฟสอัลฟา (Alpha Phase) เป็นเฟสที่มีเป็นตัวที่มีค่าเสถียรมากที่สุดที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากผลึกมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ มีค่าความหนาแน่นสูง อะลูมินามักพบในรูปของแฉ่ง (Hydrate) คือ ผลึกของอะลูมินามีการรวมตัวทางเคมีกับน้ำ เช่น หินบักไซต์ (Bauxite) ซึ่งประกอบด้วยแร่ที่สำคัญ 3 ชนิด คือ จิบไซท์ ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$) มีความแข็งแรงสูงที่สุด โดยเฉพาะ (Hexagonal Alpha H_2O) เคอะสปอร์ไบท์ไมท์ จุดหลอมเหลวสูง ($2,050^\circ C$) อะลูมินาเป็นวัสดุที่มีความทนไฟสูง มีความทนต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี และมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีด้วยสมบัตินี้เอง อะลูมินาจึงถูกนำมาใช้ในการผลิตวัตถุดิบไฟ เบ้าหลอม หัวเทียน และแผ่นรองวงจรไฟฟ้า ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านเตาเผาได้รุดหน้าไปมากสามารถผลิตอะลูมินาที่หลอมตัวเป็นเนื้อแก้ว มีความโปร่งแสงได้ดี ซึ่งใช้ประกอบกับอุปกรณ์ทำโคมไฟและได้มีการนำอะลูมินามาผสมในเนื้อดินใช้ในการผลิตถ้วยชาม (Tableware) ด้วย อย่างไรก็ตามการนำอะลูมินามาใช้ ก็มีผลเสียในบางกรณี เช่น อัตราการขยายตัวของดินต่ำ ไม่เท่ากับอัตราการขยายตัวของเคลือบ เพราะเมื่อผลึกอะลูมินา เมื่อเผาผ่านความร้อนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปผลึกซับซ้อนเหมือนซิลิกานอกจากนี้ อะลูมินาเป็นวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะหนักถึง 3.95 ถ้าใช้ผสมเนื้อดินปริมาณ 35 % จะทำให้เนื้อดินหลังการเผา มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นถึง 20% และอะลูมินามีค่าความแข็งสูงถึง 90 HRC ซึ่งรองจากเพชร ทำให้การบดย่อย ให้เป็นผงละเอียดทำได้และค่อนข้างยาก ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอะลูมินา [10]

Fine ceramics	Zirconium				
Properties Eigenschaften	Units	Polycrystalline Ruby $Al_2O_3 + Cr_2O_3$	Al_2O_3 99.7%	Al_2O_3 99.99%	Ronnie Toughened Alumina 90% Al_2O_3 + 10% ZrO_2
Density Dichtes	g/cm^3	3.9	3.9	3.98	4.25
Color Farbe	-	Red	White	White	White
Flexural Strength Biegefestigkeit	MPa	360	310	340	500
Compressive strength Druckfestigkeit	MPa	3700	3200	3700	2000
Hardness Härte	HV1	2200	1800	2100	2000
Grain Size Korngröße	μm	<2	<10	<2	<0.5
Characteristics Eigenschaften	-	-	-	-	-

2.2.4 เซอร์โคเนียม (Zirconium: ZrO₂) [10]

เตรียมได้จากแร่เซอร์โคเนียม (ZrSiO₄) เซอร์โคเนียม เป็นวัสดุทนไฟสูง และมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าซิลิกา จึงบดให้ละเอียดได้ยาก และทนต่อการต้านทานอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงฉับพลันกะทันหัน (Thermal Shock) วัสดุเซอร์โคเนียมถูกนำมาใช้ในการเตรียม น้ำเคลือบสีขาวทึบ ใช้ทำอุปกรณ์ทนไฟในเตาเผา และนำมาใช้พ่นแผ่นรองเตาเผา เมื่อนำมาบดละเอียด โดยผสมกับดินขาวในปริมาณ 10% เซอร์โคเนียมมีจุดหลอมเหลวสูงถึง 2,550 °C รูปผลึกเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขดปริมาตรด้านบนและล่างประโยชน์ของเซอร์โคเนียมใช้พ่นบุผนังเตาหลอมอะลูมิเนียม และทำแม่พิมพ์หล่ออะลูมิเนียม เนื่องจากเซอร์โคเนียมเป็นวัสดุที่ไม่เปียกอะลูมิเนียมใช้ทำเซอร์คอนปอร์เลนโดยการใส่เซอร์โคเนียมในปริมาณ 60-70% ของเนื้อดินหลังการเผามีความแข็งแรงสูงและมีน้ำหนักมาก เนื่องจากเซอร์โคเนียมมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง สามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีใช้ในการทำอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการเคมี ผลึกของเซอร์โคเนียมเป็นอัญมณีมีค่าชนิด ซึ่งเรียกชื่อไทยว่า เพทาย

2.2.5 อะลูมินาและเซอร์โคเนียม (Zirconium Toughened Aluminum ZTP) [10]

เป็นวัสดุที่ประกอบด้วย อะลูมินา ที่มีความแข็ง และมีสมบัติทนต่อการสึกหรอ กับเซอร์โคเนียมที่มีความเหนียว และความแข็งแรงดี ซึ่งเมื่อรวมตัวกันจะทำให้เกิดโครงสร้างภายในแบบทรงสี่เหลี่ยม (Cubic) ซึ่งเซอร์โคเนียมเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบทรงสี่เหลี่ยม ZTP มีการปกคลุมถึงสามชั้นเพิ่มขึ้นในบริเวณที่เป็นส่วนโค้ง มีความบริสุทธิ์ (99.99%) สูงกว่า อะลูมินาและเซอร์โคเนียม 2 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอะลูมินาและเซอร์โคเนียม [10]

Fine ceramics Properties Eigenschaft	Zirconium			
	Units	Zirconium	Zirconium Alumina (80%ZrO ₂ +20%Al ₂ O ₃)	ESD Zirconium Zr ₃ +Doping
Density Ditches	g/cm ³	6	5.5	6
Cooler Far be	-	Black	White	Anthracite
Flexural Strength Biegefestig kit	MPa	1000	2200	-
Compressive strength Druckfestig kit	MPa	1850	-	-
Hardness Head	HV1	1400	1500	1100
Grain Size Mongoose	µm	<0.5	<0.5	-
Characteristics Eigenschaft	-	-	-	Electrostatic Dissipative 10 cm ²

2.2.6 แร่เหล็กออกไซด์ (Iron Oxides) [8]

แร่นี้ปรากฏอยู่ในดินและมีอิทธิพลที่ทำให้เกิดสีต่างๆขึ้นในดิน โดยเฉพาะสีน้ำตาล เหลือง และแดง และอาจเกิดในลักษณะจุดประจุดในดินด้วย ประกอบด้วยแร่ต่อไปนี้คือวัตฤติบจะ ได้แก่ เฮมาไทต์ (Iron Ore) แร่เหล็ก ถ่านหิน และหินปูนอากาศร้อนจะถูกเป่าเข้าไปในเตาเผาเพื่อจะทำให้ถ่านหินติดไฟและสร้างคาร์บอนไดออกไซด์และปล่อยพลังงานความร้อนอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ มีปฏิกิริยากับถ่านหินทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์จะช่วยลดปริมาณของออกไซด์ของเหล็กในแร่เหล็กที่กำลังละลาย ซึ่งจะไหลผ่านส่วนล่างของเตาเผา คาร์บอนมอนอกไซด์นี้จะถูกออกไซด์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นในเหล็กออกไซด์ หินปูนจะช่วยดึงสิ่งเจือปนที่เป็นกรดออกจากแร่และทำให้เป็นเศษกากของสารละลาย ซึ่งจะล่อออกไปที่ส่วนผิวหน้าของเหล็กละลายคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกกำจัดทิ้งรวมทั้งคาร์บอนมอนอกไซด์จะลอยผ่านออกไปตอนบนของเหล็กหรือเหล็กกล้าได้ถูกใช้วงกว้าง เนื่องจากมีความแข็งแรงและราคาถูกแต่สามารถเกิดสนิมได้ง่าย การเกิดสนิมสามารถป้องกันได้โดยเคลือบเข้ากับสารที่มีปฏิกิริยาสูงกว่าอากาศเช่น สังกะสีหรือแมกนีเซียม ยิ่งสารที่มีปฏิกิริยาเป็นสนิมก็จะเกิดสนิมแทนเหล็ก เรียกว่า สคริฟิเซิลไพโรเทคชั่น ปกติจะใช้ในการทำรั้วหรือทำห้องเรือดินศิลาแลง เหล็กออกไซด์ การวิเคราะห์ ปริมาณ ชนิด และหน้าตัดดิน ผลการศึกษาปริมาณเหล็กออกไซด์ชนิดที่มีผลึกและเหล็กออกไซด์สัณฐานจากตัวอย่างดิน โดยเก็บจากบริเวณบ้านฝั้น (P1) หนองแก (P2) จังหวัดอุดรธานี บริเวณท่าแร่ (P3) บ้านนาโพธิ์ (P4) และบ้านโนนอุดม (P5) จังหวัดสกลนคร พบว่าปริมาณเหล็กออกไซด์ในรูปผลึก และสัณฐานของดินศิลาแลงมีค่าอยู่ในพิสัย 0.61 - 11.57 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ (P5) มีปริมาณเหล็กออกไซด์ทั้งในรูปผลึก และสัณฐานรวมกัน > P3 > P2 > P1 > P4 และในทุกหน้าตัดดินเหล็กออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกจนถึงชั้นที่มีการสะสมกรวดศิลาแลงจึงจะมีค่าลดลงในชั้นดินตอนล่างปริมาณเหล็กออกไซด์ในรูปสัณฐานของดินศิลาแลงมีค่าอยู่ในพิสัย 0.07 - 0.64 เปอร์เซ็นต์ P3 > P4 > P5 > P1 > P2 ปริมาณเหล็กออกไซด์ในรูปที่มีผลึกมีปริมาณสูงกว่าในรูปเหล็กออกไซด์สัณฐานทั้งในดินศิลาแลง และในอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินศิลาแลง จากการศึกษาพบว่าเหล็กออกไซด์สัณฐานส่วนใหญ่มักพบในอนุภาคขนาดดินเหนียวในปริมาณที่สูงกว่าในดินศิลาแลงจากการหาความสัมพันธ์ทางสถิติของเหล็กในรูปต่าง ๆ พบว่า ค่าสัดส่วนของ Fed/Fete และค่า Fed- Forfeit ของหน้าตัดดิน (P4) มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 กับหน้าตัดดิน (P1)(P2) และ(P3) ศิลาแลงเกิดขึ้นได้ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ฝนตกมาก แต่แล้งนานด้วยในฤดูฝนน้ำใต้ดินมีระดับสูงทำให้ท่วมตอนบนของชั้นดิน (ซึ่งต่อไปกลายเป็นศิลาแลง) ระหว่างนั้น น้ำฝนจะละลายเอาสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์เอาไว้เมื่อถึงหน้าแล้งน้ำใต้ดินลดระดับต่ำลงก็พาเอาสารประกอบอะลูมิเนียมลงไปสู่ที่ต่ำ เวลานานเข้า วัสดุบริเวณด้านบนจึงมีสารประกอบเหล็กออกไซด์มาก ขึ้น และมักรวมกันเป็นกลุ่มจึงเกิดเป็นโพรงว่างเป็นทางให้น้ำใต้ดินซึมขึ้นลงได้ง่ายขึ้น และชะสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์ออกไปเร็วด้วยทำให้ศิลาแลงมีลักษณะเด่น คือ มีรูพรุน

ทั่วไป และเนื้อเป็นสารประกอบเหล็กออกไซด์มากกว่าอะลูมิเนียมออกไซด์ สมบัติต่างๆของเหล็กออกไซด์ประกอบด้วย ค่าความหนาแน่น 5.1 g/cm^3 , ค่าความร้อนจำเพาะ $0.67 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, ค่าตัวนำความร้อนที่ 20°C $2.09 \text{ kJ/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ และจุดหลอมเหลวที่ 1.03 Bar อุณหภูมิ $1,565^\circ\text{C}$

2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตวัสดุทนไฟ

Bra Wall [10] กล่าวว่า วัสดุที่ใช้ในการผลิตวัสดุทนไฟได้มาจากสินแร่ตามธรรมชาติโดยตรง เช่น ดินแบบต่างๆ (Clay) หินฟันม้า (Feldspar) หินควอตซ์ (Quartz) และทรายทะเลนอกจากนี้วัสดุอย่างใดจากการสกัดจากสินแร่ และนำมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการทางเคมี เช่น อะลูมินา ซึ่งสกัดจากแร่บอกไซต์ (Bauxite) บางอย่างได้จากการสังเคราะห์ เช่น แบเรียมไททาเนต ($\text{BaO} \cdot \text{TiO}_2$) นอกจากนี้ยังมีพวกเฟอร์ไรท์ (Ferrites) และสารเคมีบางชนิดที่เป็นตัวช่วยในการขึ้นรูป วัตถุดิบที่สำคัญที่นำมาใช้ในการผลิตอิฐทนไฟ (Refractor Brick) ได้แก่ ดินและหินที่สำคัญมีดังนี้

2.3.1 ดินทนไฟ (Fire Clay) [10]

ดินทนไฟที่ใช้ในการผลิตอิฐทนไฟ (Refractor Brick) แยกตามสมบัติทางเคมีได้ดังนี้คือ

- 1) ดินทนไฟที่ผสมธาตุเดี่ยว (Single Oxide) เป็นดินที่แสดงถึงคุณสมบัติการทนไฟได้มากน้อยเพียงใด ดินชนิดนี้ที่สำคัญและนิยมนำมาใช้กันมากได้แก่ ดินอะลูมินา (Al_2O_3) หรือแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เป็นส่วนประกอบในการผลิตวัสดุทนไฟ
- 2) ดินทนไฟผสมออกไซด์ (Mixed Oxide) เป็นดินที่มีออกไซด์ผสมอยู่มาก แต่ที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ มุลไลต์ ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) คอร์ไดไรท์ ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)
- 3) ดินทนไฟไม่ผสมออกไซด์ (Non Oxide) ดินประเภทนี้เป็นส่วนประกอบที่ไม่มีออกไซด์ปนอยู่ได้แก่ ซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ดินประเภทไม่ค่อยนิยมนำมาใช้มากนักเพราะมีราคาแพง ดินทนไฟที่มีความเหนียว พบอยู่ทั่วไปบางครั้งพบในรูปดินดำและดินขาวเหนียว หรือถ้ามีเปอร์เซ็นต์ของเหล็กออกไซด์ปนอยู่สูง จะมีเหลืองไปจนถึงแดง ดินทนไฟที่นิยมนำมาใช้ส่วนใหญ่มาจากจังหวัดลำปาง ระนอง สุราษฎร์ธานี ชลบุรี และปราจีนบุรี

2.3.2 ดินเชื้อ (Grog) [10]

ดินเชื้อเป็นดินประเภทเดียวกับดินทนไฟ นำมาใช้ผสมกับอิฐทนไฟได้ แต่ต้องนำไปเผาให้ร้อนประมาณ $1,000^\circ\text{C}$ เสียก่อน ทั้งนี้เพื่อไล่น้ำที่อยู่ในดินออก ดินเชื้อจะแข็งตัวเป็นก้อนแล้วนำมาบดให้ละเอียดใช้ผสมกับดินทนไฟ (ดินที่ไม่ได้เผา) เข้าด้วยกัน การที่ต้องผสมเข้าด้วยกันเช่นนี้ เพราะการผลิตอิฐทนไฟมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมตันจะมีการหดตัวสูง และจะมีการแตกเสียหายเนื่องจากการหดตัว

2.3.3 หินสปู (Pyrophyllite) [10]

หินสปูใช้ผสมเนื้อดินเพื่อให้มีความทนไฟสูงขึ้น ก่อนนำไปใช้ต้องทำการเผาเสียก่อนเพื่อไล่น้ำออก บดให้ละเอียดใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นอีกชนิดหนึ่งโดยปกติหากไม่ใช้ดินทนไฟชนิดที่

มีคุณภาพดีสามารถทนความร้อนได้สูงแล้ว จะไม่ใช้หินสอพุนผสมด้วยก็ได้ หินสอพุนที่นำมาใช้ส่วนใหญ่ นำมาจากจังหวัดนครนายก เชียงราย และสระบุรี

2.3.4 แร่ไคยาไนท์ ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$) [10]

แร่ไคยาไนท์ใช้ผสมในเนื้อดินเพื่อผลิตอิฐทนไฟที่ต้องการคุณสมบัติในการทนความร้อนสูงกว่าอิฐทนไฟชนิดธรรมดา แต่ไคยาไนท์ก่อนนำมาใช้ต้องทำการเผาเสียก่อน ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิ $1,350\text{ }^{\circ}C$ แร่ไคยาไนท์จะเปลี่ยนสภาพเป็นมุลไลต์ (Mullet) ซึ่งทนความร้อนได้สูงขึ้น

2.4 ชนิดของอิฐทนไฟ

Clancy and Benson [11] ได้กล่าวไว้ว่าอิฐทนไฟที่ใช้ทั่วไปมีอยู่หลายประเภทแต่สามารถจำแนกประเภทใหญ่ๆ ได้ 4 ชนิด คือ อิฐทนไฟไฟร์เคลย์ (Fire Clay Bick) อิฐทนไฟอะลูมินาสูง (High Alumina Refractory Bick) อิฐทนไฟเชิงด่าง (Basic Refractory Bick) และอิฐทนไฟฉนวน (Insulating Fire Brick)

2.4.1 อิฐทนไฟไฟร์เคลย์ (Fire Clay Brick) [12]

Par Melee [12] ได้บอกไว้ว่าอิฐทนไฟไฟร์เคลย์ หมายถึง อิฐที่มีปริมาณของอะลูมินาอยู่ไม่เกิน 47.5% สามารถทนความร้อนได้ไม่ต่ำกว่า $1,430\text{ }^{\circ}C$ อิฐทนไฟไฟร์เคลย์ แบ่งได้เป็น 5 ชนิด ประกอบด้วย

- 1) ชนิดอิฐทนไฟสูงพิเศษ (Super Duty) ใช้สัญลักษณ์ SD
- 2) ชนิดอิฐทนไฟสูง (High Duty) ใช้สัญลักษณ์ HD
- 3) ชนิดอิฐทนไฟกึ่งซิลิกา (Semi-Silica) ใช้สัญลักษณ์ SS
- 4) ชนิดอิฐทนไฟปานกลาง (Medium Duty) ใช้สัญลักษณ์ MD
- 5) ชนิดอิฐทนไฟต่ำ (Low Duty) ใช้สัญลักษณ์ LD

วัสดุที่ผสมมีดินทนไฟ (Fire Clay) ดินเหนียว (Plastic Clay) ดินขาวหรือดินเกาลิน (Kaolin) และวัสดุอื่นๆ เช่น ดิกโคต (Docket) ซิลลิมาไนต์ (Solemnity) ไคยาไนต์ (Khanate) บอกไซด์ (Bauxite) มุลไลต์ (Mullet) ใดๆอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างผสมกัน แล้วแต่ความเหมาะสม ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่อง เสร็จแล้วเอาออกจากแบบ ผึ่งให้แห้งแล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสม

2.4.2 อิฐทนไฟอะลูมินาสูง (High Alumina Refractory Bick) [11, 12]

Clancy and Pam Lee [11,12] บอกไว้ว่า อิฐทนไฟอะลูมินาสูง ต้องมีอะลูมินาอยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 47.5 สามารถทนความร้อนได้ต่ำกว่า $1,763\text{ }^{\circ}C$ อิฐทนไฟอะลูมินาสูงแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด ตามมาตรฐาน มอก. 547-2541 ดังนี้

- 1) อ 50 (มีอะลูมินาร้อยละ 50)
- 2) อ 60 (มีอะลูมินาร้อยละ 60)
- 3) อ 70 (มีอะลูมินาร้อยละ 70)

- 4) อ 80 (มีอะลูมินาร้อยละ 80)
- 5) อ 85 (มีอะลูมินาร้อยละ 85)
- 6) อ 90 (มีอะลูมินาร้อยละ 90)
- 7) อ 99 (มีอะลูมินาร้อยละ 99)

วัสดุที่ผสมมีดินไฟ (Fire Clay) ดินเหนียว (Plastic Clay) ดินขาวหรือดินเกาลิน (Kaolin) และวัสดุอื่นๆ เช่น ดิกโคต (Docket) ซิลลิมาไนต์ (Similarity) ไคยาไนต์ (Khanate) บอกไซต์ (Bauxite) มุลไลต์ (Mullet) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างผสมกัน แล้วแต่ความเหมาะสม ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องแล้วเอาออกจากแบบฝั่งให้แห้ง นำไปเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสม

2.4.3 อิฐทนไฟเชิงต่าง (Basic Refractory Brick) [13]

Grim [13] อธิบายว่าสามารถแบ่งอิฐทนไฟเชิงต่างได้ 4 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1) อิฐแมกนีไซต์ (Magnetite Bick)

อิฐที่ผลิตจากแมกนีไซต์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง เกิดมาแล้วประมาณ 100 ปี เกิดในอุตสาหกรรมถลุงโลหะ เนื่องจากอิฐชนิดนี้มีความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะและขี้ถลุงที่อุณหภูมิสูงได้ดี ต้น ค.ศ. 1930 มีการนำอิฐที่ผลิตโดยใช้สารเคมีช่วยในการเกาะยึดมาใช้กันมากขึ้น และปัจจุบันก็ยังใช้กันอยู่ เมื่อเกิดกระบวนการ Line-Dimwits (LD) หรือกระบวนการถลุงโลหะโดยใช้ออกซิเจนในกระบวนการ (Basic Oxygen Furnaces Process) BOFP ได้มีการผลิตและบล็อกแมกนีไซต์ โดยใช้น้ำมันดิน (Tar-Funded) เป็นตัวยึดเกาะนี้สำหรับกรุเตาเหล่านั้น การบดและการคัดขนาดแรกๆทำโดยอาศัยการบดเปียกในแพนมิลล์ (Pan Mill) ปัจจุบันการบดใช้การบดแห้ง แล้วคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนและควบคุมการผสมให้ได้คุณภาพสม่ำเสมอ จะใช้ขนาด 3 หรือ 4 ช่วงในการผสมเพื่อให้ได้ตรงตามความประสงค์ เช่น ต้องการบดลึกลงหรือต้องการให้มีความต้านทานต่อการกระทำของความร้อน (Thermal-Shock-Resistance) การบดอาจบดด้วยโคนครัชเซอร์ (Cone Crusher) คัดขนาดเป็น 3 ช่วง ส่วนละเอียดได้จากการใช้บอลมิลล์ บดบางส่วนที่ได้จากการบดด้วยโคนครัชเซอร์ วัตถุประสงค์แต่ละขนาดเก็บไว้แยกกันในที่เก็บ ซึ่งต้องออกแบบให้ดีกับการไหลเทไปทางใดทางหนึ่ง (Segregation) ซึ่งส่วนต่างๆผสมกันตามส่วนผสมที่ต้องการให้ได้ตามวัตถุประสงค์เฉพาะที่ต้องการตัวเติมแต่งส่วนผสม (Addition) หลายๆส่วนผสมอาจใช้น้ำเพียงอย่างเดียว แต่มีการเติมซัลไฟต์ ไกล์ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานกระดาษเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของก้อนอิฐก่อนเผา อิฐที่ผ่านการเผา มักใช้แมกนีเซียมซัลเฟต หรือกรดซัลฟูริกเติมลงไป นอกจากนี้ก็มีการใช้ฟอสเฟตเป็นตัวยึดเกาะเช่นเดียวกันกับการผลิตอิฐทนไฟชนิดมีอะลูมินาสูง บางครั้งมีการเติมออกไซด์เหล็กเพื่อการการซินเตอร์ (Sinter) ซึ่งทำให้อิฐมีความพรุนตัวต่ำ มีการเติมอะลูมินา 6% ทำให้อิฐมีความต้านต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนได้ดี เซาริง (Souring) สมัยแรกๆการผสมส่วนผสมของอิฐกับน้ำแล้วทิ้งไว้ระยะหนึ่งเป็นวิธีที่สำคัญมากในการผลิตอิฐชนิดแมกนีไซต์ แต่ปัจจุบันการใช้แมกนีไซต์ที่เผาอย่างดีและมีไลม์ และต่างอื่นๆผสมกันอยู่ปริมาณเล็กน้อยผสมด้วยปริมาณเล็กน้อยผสมกับ

น้ำประมาณ 5% แล้วนำไปเข้าเครื่องอัดอิฐเป็นวิธีการที่ใช้ได้ดี อย่างไรก็ตามถ้าแมกนีเซียมมีวัสดุที่ผสมอยู่และเมื่อเผาจะให้วัสดุที่อ่อนนุ่ม หรือมีโหล่มผสมอยู่มาก ตัวอย่างเช่น วัสดุดิบที่มาจากโดโลไมต์ ($MgCO_3, CaCO_3$) อาจต้องการเซาริงในบางรูปแบบปกติอาจเลือกวิธีการปล่อยให้ส่วนผสมกึ่งแห้งไว้บนพื้นเย็นๆ หรือพื้นร้อน และอาจจะต้องอบด้วยไอน้ำร้อนแต่การกระทำต้องระมัดระวังไม่ให้รวมตัวกับน้ำมากเกินไป ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐแมกนีไซต์ [13]

Code	M1	M2	M3	M4	M5
Type Test procedure	Standard sea-water Magnesia BSI	Low-flux sea-water Magnesia BSI	Standard BSI	Low- boron sea-water Magnesia BSI	Standard BSI
Apparent Porosity. %	14.4	14.5	19.8	17.6	17-21
Bulk density. g/ml	-	-	2.86	2.89	2.8-2.94
lb/ft. ³	-	-	179	180	175-184
kg/m ³	-	-	2,860	2,890	2,800-2,940
Cold-crushing strength lb/in ²	7,000	6,000	9,000	7,600	8,000
kg/cm ²	492	422	630	530	560
mn/m ³	48.2	41.4	62.1	52.4	55.2

2) อิฐโครม [15, 16]

James ได้กล่าวความหมายของอิฐโครมไว้ว่า คืออิฐทนไฟที่ทำขึ้นมาจากส่วนผสมของแร่โครมเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ หรือทั้งหมดความพรุนตัวประมาณ 25% ความหนาแน่นรวมประมาณ 2.29 %

Ramming ได้กล่าวถึงว่าเป็นอิฐที่มี Direct-Bonded ว่าหมายถึง อิฐที่มีเนื้อพันธะระหว่าง Periclase-Spinel และPercales อิฐชนิดนี้มีคุณลักษณะเฉพาะ ได้แก่ มีความแข็งแรงแม้ใช้งานที่อุณหภูมิสูง ความต้านทานขีดลู่คืบ และไม่เปลี่ยนแปลงขนาดแม้ใช้งานที่อุณหภูมิ 1,800 °C ส่วนผสมของอิฐควรมีปริมาณ SiO₂ น้อย และการเผาอิฐควรเผาที่อุณหภูมิสูงจะสามารถทำให้เกิด Direct-Bonded มากขึ้นในปี 1927 ได้ร่วมมือกับบริษัทที่ผลิตอิฐทนไฟ ได้ผลิตอิฐทนไฟโดยการหลอมสินแร่หรือออกไซด์ ซึ่งเป็นส่วนผสมของวัตถุดิบแล้วเทของเหลวลงในแบบ (Electro-Casting) เป็นเทคนิคที่ยาก เพราะต้องใช้อุณหภูมิสูงมาก อุณหภูมิที่ใช้ระหว่าง 1,800 -2,500 °C

วัตถุดิบไฟชนิดแรกที่ผลิตโดยวิธีนี้ ได้แก่ มูลสัตว์ ซึ่งมีการใช้งานในบางส่วนของผนังเตาหลอมแก้วและต่อมาได้มีการเติม ZrO_2 เพื่อทำให้จุดหลอมเหลวต่ำลงแต่มีความต้านทานต่อจี้ดลูงได้ดีมากขึ้น ในปี 1952 จึงเกิดผลิตภัณฑ์แมกนีเซียม-โครม ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้าแบบที่สร้างขึ้นสำหรับรับรองของเหลวผลิตด้วยวัตถุดิบไฟที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง หรือผลิตด้วยแกรไฟต์หลังจากเทแบบเสร็จในระยะเวลาสั้นๆต้องรับนำผลผลิตที่ได้ไปชุกไว้ในกองวัสดุฉนวนเพื่อลดแรงกระทำเนื่องจากความร้อนระหว่างการปล่อยให้เย็นตัว โครไมต์เป็นที่มีแร่โครมเป็นส่วนประกอบโดยมีสูตรทั่วไป $(Mg,Fe^{2+})O.(Cr,AaI,Fe^{3+})_2O_3.MgO.Al_2O_3$ เป็นอัญมณีและมีโครงสร้างเป็น สปิเนล ถือเป็นต้นแบบสินแร่โครมเกิดจากการแทนที่บางส่วนของ $MgFe^{2+}$ และการแทนที่ Al ด้วย Cr^{3+} หรือ Fe^{3+} มีการใช้สินแร่โครมในอุตสาหกรรมเหล็กกล้าในปี ค.ศ 1880 โดยใช้เป็นวัสดุคั่นกลางระหว่างวัตถุดิบไฟชนิดต่างและกรด เช่น คั่นกลางระหว่าง Mg O กับ SiO_2 วัตถุดิบไฟชนิดโครม-แมกนีเซียม เกิดจากการผสม Mg O ลงไปในโครไมต์โดยที่มีโครมมากกว่า 50% และสำหรับแมกนีเซียม-โครม เป็นวัตถุดิบไฟที่มีโครมน้อยกว่า 50% อัญมณีนี้มีความแข็งแรงสูงที่อุณหภูมิสูงและสามารถใช้เป็นหลังคาเตาถลุงโลหะแทนอัญมณี SiO_2 ได้ เนื่องจากอัญมณีนี้มีความทนไฟสูง และต้านทานจี้ดลูงได้ดีสามารถใช้ได้กับเตาไอเพน-ฮาท ที่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวเผาไหม้ และการขจัดคาร์บอน

ประเทศที่มีการผลิตสินแร่โครมปริมาณมาก ได้แก่ รัสเซีย แอฟริกาใต้ ฟิลิปปินส์ และตุรกี สินแร่โครมไม่จำเป็นต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงก่อนที่จะนำไปใช้ ซึ่งต่างไปจากวัตถุดิบไฟชนิดแมกนีเซียมแต่สำหรับการมุ่งหวังเฉพาะและสำหรับสินแร่เฉพาะเท่านั้นจึงจะมีการเผาก่อนเพื่อทำให้ผลที่ได้รับการปรับปรุงสมบัติที่ดีขึ้น เพราะการเผาเป็นสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายฉะนั้นจะทำก็ต่อเมื่อเห็นผลประโยชน์ที่ชัดเจน การเผาสินแร่โครมจะทำให้แร่อื่นๆที่ประกอบอยู่เกิดปฏิกิริยาดังเช่นการเผาแร่ที่มีเซอร์เพนไทน์ $3MgO.2SiO_2+H_2O$ ประกอบอยู่

$3MgO.2SiO_2.2H_2O \xrightarrow{700^\circ C} 2MgO.SiO_2+2H_2O+2H_2O+SiO_2$
 $2MgO.SiO_2$ คือ ฟอสเฟสไรต์ในสินแร่ที่มี Fe O เมื่อมีการเผาออกซิเจน และรีดักชันปฏิกิริยาได้ดังนี้



การเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ไม่ว่าในขณะการผลิตหรือขณะการใช้งาน จะทำให้เกิดผลผลิตผลร่วนยุ่ยปฏิกิริยานี้มักเกิดขึ้นกับสินแร่ที่มีปริมาณเหล็กสูงในสินแร่ โดยเฉพาะที่มีแนวโน้มเกิดการร่วนยุ่ยในบรรยากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงเราสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ โดยการผสมแมกนีเซียมลงไปในส่วนผสมโครมแล้วเผาในเตา ชนิด โรตารี หลังจากนั้นนำผลผลิตที่ได้ไปบดและใช้ผสมทำอัญต่อไป การผลิตอัญไฟชนิดโครมเริ่มแรก ผลิตโดยการบดสินแร่โครมกับน้ำ และอาจใส่ตัวช่วยเกาะยึดเล็กน้อย ขึ้นรูปอัญ การอบแห้ง และการเผาอัญ เริ่มแรกใช้การคั่นกลางระหว่างวัสดุที่มีฤทธิ์เป็นด่างเช่น บริเวณจี้ดลูง ปัจจุบันอัญที่ผลิตแบบนี้ใช้น้อยมากได้ผสม MgO ลงใน

ส่วนผสมประมาณ 10% เป็นอย่างน้อย เพื่อปรับปรุงความทนไฟของแร่บางตัววิธีการนี้ไม่เพียงแต่ทำให้อิฐมีคุณภาพสูงขึ้นยังลดปัญหาในการเผาได้มาก ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ผลการวิเคราะห์ของอิฐทนไฟชนิดโครม [16]

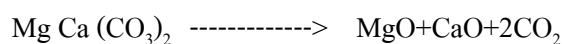
Source Chemical analysis,%	Turkish(1)	Turkish(2)	Philippine Concentrates	Russian
SiO ₂	2.71	3.52	4.43 2.96	2.94
TiO ₂	0.14	0.24	0.22 0.26	0.17
Al ₂ O ₃	9.57	22.48	27.16 28.99	8.67
Fe O	13.23	14.62	14.71 14.40	12.96
Cr ₂ O ₃	56.31	40.79	33.4 34.96	57.76
Ca O	0.1	0.39	0.14 0.05	0.82
Mg O	17.3	17.02	1.38 17.99	15.34

3) อิฐชนิดโครม-แมกนีไซต์และแมกนีไซต์-โครม [17]

Lyman and Rocs กล่าวไว้ว่า ส่วนผสมวัตถุดิบไฟชนิดโครม-แมกนีไซต์ ผลิตขึ้นมาใช้ในด้านปี 1930 ทั้งใน America, Germany และ UK ในปี 1937 Lyman and Rocs ได้สรุปว่าอิฐโครม 50-70% เป็นส่วนประกอบจะมีความแข็งแรงดีที่สุด แม้โรงงานที่อุณหภูมิสูง Austro-American Magnesite Company ได้พบว่า การผสมส่วนผสมโดยใช้ขนาดวัตถุดิบหยาบ 60% ขนาดกลาง 10-20% และส่วนผสมที่เหลือเป็นขนาดละเอียดจะทำให้อิฐที่ได้มีความทนทานต่อการกระทำของความร้อนได้ดี การเลือกใช้สินแร่ต้องพิจารณาองค์ประกอบหลายอย่าง เป็นต้นว่าหายากหรือง่าย ใช้ประโยชน์ได้ตามต้องการหรือเปล่าและที่สำคัญเรื่องราคามีข้อเสนอแนะให้ใช้ส่วนผสมซึ่งประกอบด้วยโครมผสมกับ SiO₂ 3-6%, FeO ปริมาณไม่เกิน 18% เพื่อลดข้อยุ่งยากเนื่องจากการรีดิวซ์ภายในเตาปริมาณ CaO ควรมีน้อยกว่า 1% เพื่อลดปริมาณสารที่จะเป็นตัวลดจุดหลอมตัวสุดท้ายควรมี Cr₂O₃ ระหว่าง 40-50% ไม่ว่าจะใช้อิฐในสถานะที่ผ่านการเผามาแล้วหรือไม่ อิฐเหล่านี้ควรขึ้นรูปด้วยแรงอัดที่สูงเช่นเดียวกับการอัดขึ้นรูปอิฐแมกนีไซต์ อิฐที่ไม่ผ่านการเผา หรืออิฐที่อาศัยสารเคมีเป็นตัวยึดเกาะโดยใช้ H₂SO₄ หรือ MgSO₄ ซึ่งเป็นตัวทำให้อิฐมีความแข็งแรงหลังจากการอบแห้งอิฐชนิดนี้จะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับปฏิกิริยากับน้ำ (Hydration) เหมือนปัญหาที่เกิดในอิฐแมกนีไซต์เนื่องจากปริมาณ MgO ในอิฐชนิดโครม-แมกนีไซต์มีไม่เกิน 30-40% และตัวโครมเป็นวัสดุที่ไม่รวมตัวกับน้ำ

4) อิฐโดโลไมต์ (Dolomite Brick) [18]

Zoglmeyr, Romei and Breccias อธิบายไว้ว่า สิ่งที่สำคัญในการผลิตอิฐโดโลไมต์ (Dolomite Brick) คือ ต้องเผาให้ปฏิกิริยาที่สมบูรณ์



เพราะถ้าไม่เผาสมบูรณ์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไวต่อปฏิกิริยาและมีความพรุนตัวสูง ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า การเผาต้องเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,700 °C จนความพรุนตัวประมาณ 15% ผลิตภัณฑ์นี้จะเก็บไว้ได้นานหลายสัปดาห์โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงขนาดอนุภาคของอิฐทนไฟโดโลไมต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเผากับบัลค์เดนซิตีและความพรุนตัวของวัตถุดิบ A และ B ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟโดโลไมต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.8 และการปรับปรุงขนาดอนุภาคของอิฐทนไฟโดโลไมต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเผาบัลค์เดนซิตีกับความพรุนตัวของวัตถุดิบ A และ B [18]

	A	B
Silica SiO ₂ %	0.46	3.68
Mixed Oxide R ₂ O ₂ %	0.52	0.81
CaCO ₃ %	54.25	51.21
MgCO ₃ %	44.75	43.39
	99.75	99.09

ตารางที่ 2.8 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟโดโลไมต์ [18]

Code	D1	D2	D3	D4
Type	Semi stable	Semi stable	Semi stable	Semi stable
Apparent porosity. %	18-20	23	22	25
Bulk density.	g/ml	2.73	2.52	2.58
	lb/ft ³	171	157	161
	kg/m ³	2,730	2,520	2,580
Cold-crushing strength	lb/in ²	8,500+	3,700	8,000+
	kg/cm ²	600+	260	560+
	mn/m ²	58.6+	25.5	55.2+

ตารางที่ 2.9 การปรับปรุงขนาดอนุภาคของอิฐทนไฟโดโลไมต์ [18]

Original	Loss - free chemical analysis Wt-%					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ca O	Mg O by difference	Bulk Density/ml.
South Yorkshire	2.5	2.21	1.94	57.05	37.05	3
South Durham	2.35	1.42	1.4	58.2	36.12	2.85
South Walks	2.58	1.3	1.67	56.06.	38.39	3
North Derbyshire	0.88	0.45	1.3	56.8	40.57	3.1
Palletize dolomite	0.83	0.44	1.14	56.7	40.89	3.25
Semistablized dolomite	1.05	1.45	7.04	56.08	34.38	3.2
Germany	1	0.3	1.5	-	36	3.15
Italy	1.05	0.92	0.28	56.1	41.5	3.2
France	0.7	0.45	0.6	57.2	41.05	3.1
Japan	0.6	0.6	3	62.5	33.3	3
U.S.A.	0.5	0.2	0.1	58	41.2	3.3

4) อิฐทนไฟฉนวน (Insulating Fire Brick) [19]

Medvedovski อธิบายไว้ว่า อิฐทนไฟฉนวนคือ อิฐที่การนำความร้อนความจุความร้อนต่ำ ซึ่งมีความหนาแน่นรวมและการเปลี่ยนแปลงโดยการเผาต่ำลง

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ [7] บอกไว้ว่า ในสมัยแรกๆ การผลิตที่ได้มีคุณภาพที่ต่ำ คือ ใช้ได้ในอุณหภูมิต่ำประมาณปี ค.ศ.1930 จึงสามารถพัฒนาใช้กับอุณหภูมิสูงมีส่วนผสมจากดินทนไฟที่มีความพรุนต่ำสูง ดินขาวดินที่มีอะลูมินาสูงรูปผลผลิต โดยการผสมขี้เถ้าลงไปในส่วนผสม หลังจากการเผาอิฐแล้วขี้เถ้าจะถูกขจัดออกไปคงเหลือรูปพรุนในอิฐทนไฟ

2.5 การทดสอบสมบัติของอิฐทนไฟ

2.5.1 การทดสอบหาการกระจาย [9]

วิธีการหาปริมาณกากค้างตะแกรง

สำหรับการหาปริมาณกากค้างตะแกรงของวัสดุพิเศษเซรามิกด้วยตะแกรงร้อนแบบเปียก เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ประกอบด้วย

- 1) เครื่องกวนแบบที่มี 3 ใบกวน ขนาดของใบกวน 2 นิ้ว ความเร็วรอบในการกวน ประมาณ 1,700 รอบต่อนาที
- 2) ตะแกรงร่อน (Sieve) Mesh No. 35 (500 μm), Mesh No. 40 (425 μm) Mesh No.50 (300 μm) และ Mesh No.100 (150 μm)
- 3) เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 กรัม
- 4) ภาชนะความจุอย่างน้อย 2 ลิตร
- 5) เตาอบอุณหภูมิ 110 $^{\circ}\text{C}$
- 6) ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Desiccators)
วิธีการทดสอบ
- 7) ทำการสุ่มตัวอย่างตามวิธีการสุ่มตัวอย่าง
- 8) อบตัวอย่างที่เตรียมจากข้อที่ 7) ในเตาที่อุณหภูมิ 110 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Desiccators)
- 9) นำตัวอย่างที่อบแล้วจากข้อที่ 2.5.1.8 ชั่งน้ำหนัก 100 กรัม ใส่ลงภาชนะแล้วเติมน้ำ 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้เวลานาน 2 ชั่วโมง เพื่อให้ดินเกิดการแตกตัว ถ้าน้ำดินที่ได้มีความหนืดเกินไปให้เติมน้ำอีก 500 มิลลิลิตร ถ้าไม่แน่ใจว่าน้ำดินแตกตัวดีหรือไม่ให้ใช้เครื่องกวน กวนน้ำดินเพื่อให้ดินเกิดการแตกตัวมากขึ้น เป็นเวลานาน 30 นาที
- 10) นำน้ำดินที่เตรียมจากข้อที่ 2.5.1.9 ที่มีการแตกตัวดีแล้ว เทลงในตะแกรงที่จัดไว้โดยตั้งซ้อนกันเรียงลำดับจาก Mesh No. 35 (500 μm), Mesh No. 40 (425 μm) Mesh No.50 (300 μm) และ Mesh No.100 (150 μm) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ฉีดน้ำเพื่อช่วยให้อนุภาคดินที่ละเอียดผ่านตะแกรงจนหมดโดยสังเกตเห็นน้ำที่ผ่านตะแกรงใส ค่อยๆใช้น้ำไล่สิ่งที่ยังอยู่บนตะแกรงทุกตะแกรง ลงในภาชนะ แล้วนำภาชนะไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 $^{\circ}\text{C}$ จนกากที่ค้างบนตะแกรงแห้ง
- 11) นำกากที่ค้างบนตะแกรงหลังอบแห้งแล้วไปชั่ง (หักกลบน้ำหนักภาชนะออก) แล้วจดบันทึกน้ำหนักกากที่ค้างอยู่บนตะแกรงของแต่ละตะแกรง จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณ ปริมาณกากค้างตะแกรงตามสมการที่ 2.1

$$\text{ปริมาณกากค้างตะแกรง (ร้อยละ)} = (A/B) \times 100 \quad (2.1)$$

เมื่อ $A =$ น้ำหนักแห้งของตัวอย่างก่อนทดสอบปริมาณกากค้างตะแกรง
 $B =$ น้ำหนักแห้งของสิ่งที่ค้างอยู่บนตะแกรง



รูปที่ 2.1 ตะแกรงแบบส้นสำหรับหาปริมาณกากค้ำตะแกรง [9]

2.5.2 การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ [21]

การอัดขึ้นรูปอิฐทนไฟ (Moulding) ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปอิฐโดยวิธีการอัดอยู่ระหว่าง 10,000-20,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว จะทำให้ได้อิฐที่มีความหนาแน่นมากกว่าอิฐที่ขึ้นรูปด้วยมือหรือความดันที่น้อยกว่าที่กล่าวมา การใช้ความดันสูงจะช่วยทำให้การหดตัวของอิฐหลังจากการเผา น้อยลง การอบแห้ง (Drying) การแตกของอิฐในช่วงการอบแห้งมีสาเหตุมาจากการใช้วัตถุดิบที่เมื่อเผาจะมีการอ่อนตัวใช้วัตถุดิบที่มีความละเอียดปริมาณมากเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับน้ำในอัตราเร็วที่มากกว่าวัตถุดิบขนาดหยาบการใช้อุณหภูมิในห้องอบสูงมากเกินไป การอัดขึ้นรูปตัวอย่าง ชิ้นงานทดสอบควรใช้แรงอัดที่เหมาะสมกับวัสดุ โดยทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องทดสอบแรงกด แรงดึง แรงเฉือน เพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ เช่นค่าความต้านทานแรงดึง ความยืดตัว ความเหนียว ความเปราะและลักษณะการแตกหักของวัสดุนั้นนับว่าเป็นประโยชน์ในการออกแบบ การเลือกวัสดุ ให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป



รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test Instron SATEC Series.)

2.5.3 เตาเผา (Firing) [21]

การเผา (Firing) เป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของกระบวนการผลิตอิฐทนไฟโดยที่มีความร้อนเข้ามาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุให้มีสมบัติทางด้านต่างๆเปลี่ยนไป ซึ่งควรใช้อุณหภูมิที่ถูกต้องและการเลือกใช้เตาที่เหมาะสมกับการใช้งาน การเผาอิฐนิยมใช้เตาเผาอุโมงค์ มีการควบคุมอย่างดี และการเผาที่อุณหภูมิสูงเชื้อเพลิงนิยมใช้แก๊สหรือน้ำมัน ใช้เวลาในการเผา 3-5 วัน อุณหภูมิสูงสุดอยู่ระหว่าง 1,550-1,750 °C อิฐที่มีคุณภาพต่ำหน่วยเผาที่อุณหภูมิ 1,600 °C สามารถใช้ได้ดี แต่อิฐที่ต้องการความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงควรเผาที่ไม่ต่ำกว่า 1,750 °C หรือจะให้ดีกว่านี้ที่ 1,800 °C อิฐที่ต้องการความต้านทานสูงต่อซัลฟูรได้ดีสามารถทำได้ด้วยการทำให้อิฐที่อัดตัวด้วยทาร์หรือ พิตช์ ผลิตภัณฑ์แมกนีไซต์ โดยสามารถใช้วิธีการเทแบบการขึ้นรูปด้วยใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวกลางความละเอียดของวัตถุดิบ 50% ละเอียดเป็นไมคอนหลังจากการเผาผลิตภัณฑ์ที่ 1,450 °C สามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่น 95% แมกนีไซต์ที่มีความหนาแน่นสูง หรือปราศจากความพรุน สามารถผลิตได้โดยวิธีขึ้นรูปร้อน (Hot Pressing) เป็นมินเนอรอลไลเซอร์ (Mineralize) ใช้อุณหภูมิที่ 1,300 °C จะระเหยออกไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติโปร่งแสง เตาที่ใช้ในการเผาอิฐทนไฟ ที่นิยมโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ 1. เตาแบบยกประตูขึ้นลงได้ (Shuttle Kiln) ใช้สำหรับเผาอิฐทนไฟที่มีขนาดใหญ่มีลักษณะ

การเรียงตัวของอิฐคล้ายกับเตาอุโมงค์ รถเตาสามารถหมุนเวียนใช้ได้หัวพื้นจะอยู่ด้านข้างของเตาและอยู่ในระดับต่ำ ในส่วนกลางของรถเตาจะมีช่องลมร้อน ข้อดีของเตาชนิดนี้ คือ การเรียงและนำชิ้นงานออกจากเตาได้ง่าย 2. เตาอุโมงค์ (Tunnel Kiln) การใช้ในการเผาอิฐทนไฟเป็นที่นิยมมากกว่าการใช้เตาแบบยกประตูขึ้นลงได้ เพราะจะได้อิฐที่มีคุณภาพและมีต้นทุนต่ำกว่าแต่เตาแบบยกประตูขึ้นลงได้สามารถเผาอิฐที่มีขนาดใหญ่หรือมีรูปร่างสลับซับซ้อนในกรณีที่ตารางการเผาแตกต่างไปจากมาตรฐานในการเผาอิฐทนไฟต้องมีความระมัดระวังเป็นอย่างมาก เนื่องจากชนิดและขนาดของอิฐทนไฟซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน นอกจากนี้อิฐทนไฟในแต่ละชนิดยังใช้อุณหภูมิในการเผาที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้อิฐที่มีคุณภาพตามความต้องการ ดังนั้นการเลือกใช้เตาเผาและการควบคุมการเผาจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง



รูปที่ 2.3 เตาเผาชิ้นงาน

2.5.4 การทดสอบทางสมบัติทางกายภาพ [9]

สมบัติทางกายภาพเป็นส่วนหนึ่งในการทดสอบเพื่อดูสภาพของโครงสร้างของวัสดุและสมบัติอื่นๆ เพื่อนำผลการทดสอบไปทำการวิเคราะห์สำหรับการนำผลไปใช้งานให้เหมาะสม โดยมีขั้นตอนวิธีการหาค่าน้ำหนักแห้ง (Dry Weight: D) ค่าน้ำหนักอิมมิตัว (Suspended Weight: S) และค่าน้ำหนักในน้ำ (Saturated Weight: W) นำผลการทดสอบมาคำนวณหา ค่าความเป็นรูพรุน, ค่าการดูดซึมน้ำ, ค่าความถ่วงจำเพาะ, และค่าความหนาแน่น โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ค่าน้ำหนักแห้ง (Dry Weight: D) นำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการเผาแล้วจำนวน 5 ชิ้น/ตัวอย่าง ไปในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 150°C (Oven Dry) 24 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในตู้เก็บกักความชื้น แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักหน่วยเป็นกรัม ความละเอียดอย่างน้อย 0.1 กรัม ได้ ค่าน้ำหนัก

แห่ง การหาค่า D อาจจะทำก่อนหรือหลังค่าน้ำหนักในน้ำ ก็ได้แต่ควรที่จะทำการหาค่าน้ำหนักในน้ำ เพราะว่าชิ้นงานตัวอย่างทดสอบถ้าทำการหาค่าน้ำหนักในน้ำอาจทำให้ชิ้นทดสอบแตกหักได้

2) ค่าน้ำหนักอิมมิตัว (Suspended Weight: S) นำชิ้นงานทดสอบวางจุ่มลงในน้ำที่ต้มที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ระหว่างต้มอย่าให้ชิ้นทดสอบติดพื้นภาชนะที่ได้ต้มหลังจากต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วควรปล่อยให้เย็นในภาชนะทิ้งไว้ให้เย็น ตามอุณหภูมิห้องอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ก่อนจะนำไปหาค่าน้ำหนักในน้ำ การหาค่า S โดยชั่งชิ้นงานทดสอบในน้ำ ที่ต้มแล้วหลังปล่อยให้เย็น 12 ชั่วโมงโดยใช้อุปกรณ์รองรับชิ้นงานทดสอบนำไปชั่งกับตาชั่งแบบดิจิตอลความละเอียด 0.1 กรัม วัดชั่งน้ำหนักกับตาชั่ง แบบดิจิตอลความละเอียด 0.1 กรัม แล้วอ่านค่าได้ค่าน้ำหนักอิมมิตัว

3) ค่าน้ำหนักในน้ำ (Saturated Weight: W) หลังจากหาค่า ค่าน้ำหนักในน้ำ แล้วนำชิ้นงานทดสอบที่ชั่งเสร็จแล้วขึ้นมาเช็ดเบาๆ ให้แห้งวางบนผ้าไม่ให้มีน้ำมาติดเกาะแล้วนำไปชั่งหาค่าน้ำหนักในน้ำ ด้วยตาชั่ง แบบดิจิตอลความละเอียด 0.1 กรัม

4) วิธีการคำนวณหาสมบัติทางกายภาพ [9] วิธีการคำนวณอ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM Designation: C20-97

วิธีคำนวณหาได้จากหน่วย(cm^3) โดยนำค่าของ ค่าน้ำหนักในน้ำ (Saturated Weight: W) ลบด้วย ค่าน้ำหนักอิมมิตัว (Suspended Weight: S) เขียนเป็นสูตรได้

$$V (\text{cm}^3) = W - S \quad (2.2)$$

Exterior Volume: V = ปริมาตรของชิ้นงาน
 (โดยสมมติที่ $1, \text{cm}^3 = 1$ กรัม ที่อุณหภูมิของน้ำตามอุณหภูมิห้อง)
 W = ค่าน้ำหนักในน้ำ
 S = ค่าน้ำหนักอิมมิตัว

5) สูตรคำนวณหาสมบัติต่างๆ (Volumes of Open Pore and Impervious Portions) คำนวณได้จากสูตร

$$\text{Volumes of Open Pore } (\text{cm}^3) = W - D \quad (2.3)$$

$$\text{Volumes of Impervious Portions } (\text{cm}^3) = D - S \quad (2.4)$$

6) ค่าความความเป็นรูพรุน (Apparent Porosity: P) คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความสัมพันธ์ระหว่าง Volumes of Open Pore ของชิ้นตัวอย่างทดสอบต่อ Exterior Volume: V แล้วคิดเปอร์เซ็นต์จะได้จากสูตร

$$P\% = (W-D)/V*100 \quad (2.5)$$

P = ค่าความความเป็นรูพรุน

W = ค่าน้ำหนักในน้ำ

D = ค่าน้ำหนักแห้ง

Exterior Volume: V = ปริมาตรของชิ้นงาน

7) ค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption: A) คำนวณจากความสัมพันธ์ระหว่าง Volumes of Open Pore ต่อ ค่าน้ำหนักแห้ง แล้วคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์จะได้สูตร

$$A\% = (W-D)/D*100 \quad (2.6)$$

A = ค่าการดูดซึมน้ำ

W = ค่าน้ำหนักในน้ำ

D = ค่าน้ำหนักแห้ง

8) ค่าความถ่วงจำเพาะ (Apparent Specific Gravity: T) คำนวณได้จาก ค่าน้ำหนักแห้ง ต่อ Volumes of Impervious Portion ได้จากสูตร

$$T = D / (D-S) \quad (2.7)$$

T = ค่าความถ่วงจำเพาะ

S = ค่าน้ำหนักอิมตัว

D = ค่าน้ำหนักแห้ง

9) ค่าความหนาแน่น (Bulk Density: B) คำนวณได้จาก ค่าน้ำหนักแห้ง ต่อ Exterior Volume จะได้สูตร

$$B \text{ g/cm}^3 = D/V \quad (2.8)$$

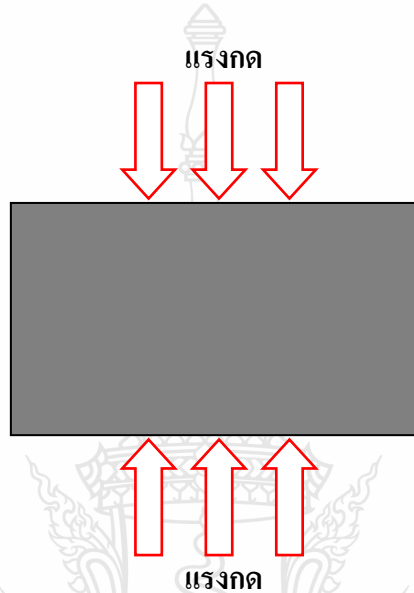
B = ค่าความหนาแน่น

D = ค่าน้ำหนักแห้ง

Exterior Volume: V = ปริมาตรของชิ้นงาน

2.5.5 การทดสอบสมบัติทางกล

สมบัติทางกลของวัสดุเป็นหนึ่งในคุณลักษณะสำคัญในการออกแบบโครงสร้างต่างๆ เพื่อนำไปทำการรับแรงในการทำงานจริง สมบัติทางกลของวัสดุกล่าวได้ในภาพรวม คือ ความสามารถของวัสดุที่ต้านทานแรงกระทำกับตัวมันเองเพื่อที่จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ หากพิจารณาตามรูปแบบของแรงกระทำต่อวัสดุในการกระทำได้ดังนี้



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างรูปแบบของแรงกด [20]

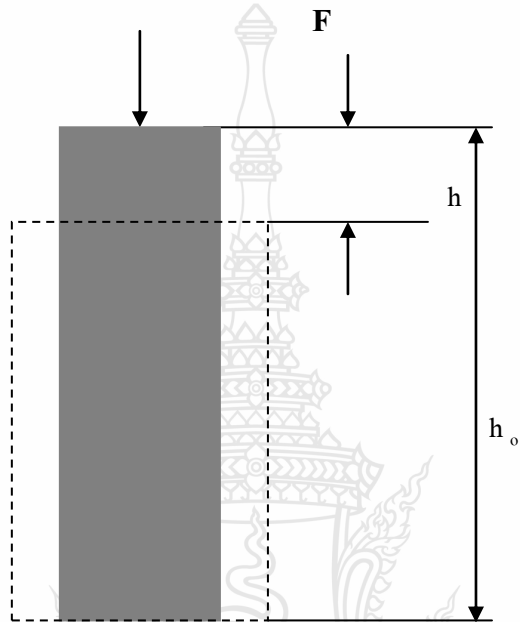
1) ความเค้นและความเครียดแรงกด เพื่อความเข้าใจให้พิจารณา ดังแสดงในรูปที่ 2.5-2.7 เมื่อชิ้นงานทรงกระบอกถูกแรงกดเข้าไปชิ้นงานจะหดตัวลง วัสดุจะเกิดแรงต้านเล็กๆในเนื้อวัสดุ ลักษณะนี้เรียกว่าความเค้น (Stress) สามารถหาค่าได้โดยหาอัตราส่วนระหว่างแรงพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่ตั้งฉากกับแนวแรงดังสมการที่ 2.9 ขณะที่ความเครียด (Strain) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวที่หดเข้าเปรียบเทียบกับความยาวเริ่มต้นของชิ้นงานดังสมการที่ 2.0 ค่าความสัมพันธ์และ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (2.9)$$

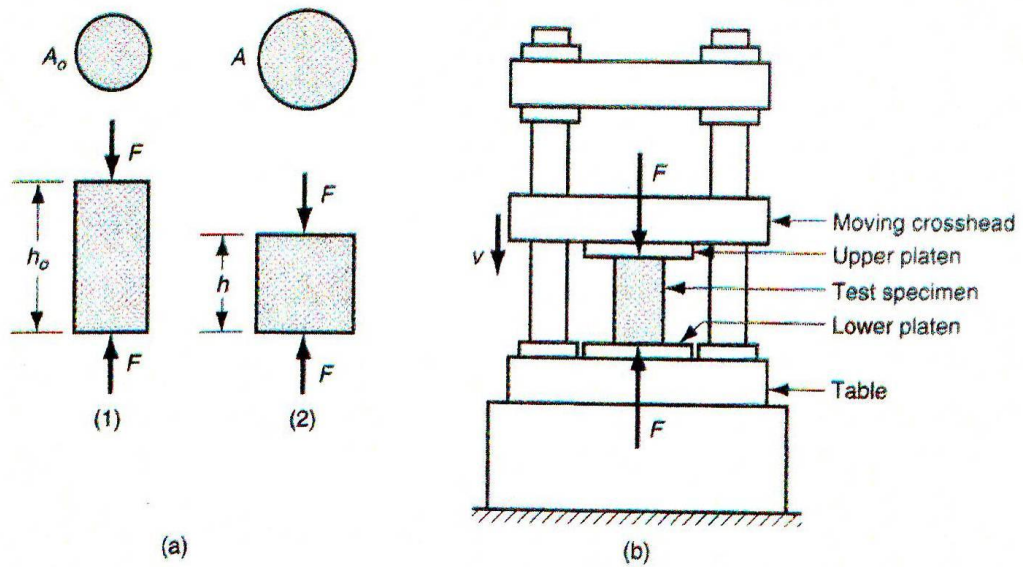
$$e = \frac{h - h_0}{h_0} \quad (2.10)$$

เมื่อ σ_c = ความเค้น
 F = แรงกระทำ

- A_0 = พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น
- e = ความเครียด
- h = ความยาวสุดท้าย
- h_0 = ความยาวเริ่มต้น

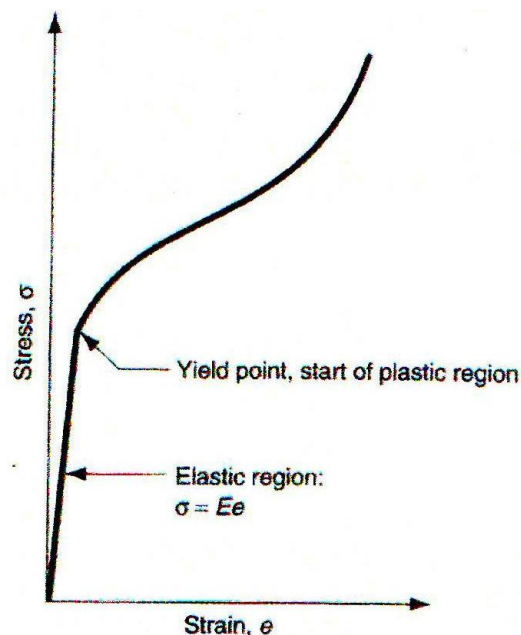


รูปที่ 2.5 ลักษณะการเกิดความเค้นและความเครียด



รูปที่ 2.6 การทดสอบแรงกด (a) การให้แรงแก่ชิ้นงาน (b) เครื่องทดสอบแรงกด [20]

ในกรณีของการทดสอบแรงกดสามารถหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบ
ชิ้นงาน 2 ค่า คือ ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Yield Point) และเปอร์เซ็นต์การหดตัว (Elastic Region)



รูปที่ 2.7 เส้นโค้งการทดสอบแรงกด [20]

จากรูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในการทดสอบแรงกดของวัสดุชนิดหนึ่ง พบส่วนประกอบต่างๆที่มีสำคัญดังนี้

- ช่วงยืดหยุ่น (Elastic Region) เกิดจากการเริ่มทำการกดวัสดุ ช่วงนี้เมื่อทำการปล่อยแรงกดออก วัสดุจะยืดออกตำแหน่งเริ่มต้น ค่าความยาวเริ่มต้นและค่าความยาวสุดท้าย เป็นช่วงที่ความเค้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเครียดความชันของกราฟคงที่ ณ ช่วงนี้สามารถทราบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

- จุดคราก (Yield Point) คือจุดที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนรูปถาวรเป็นจุดที่เมื่อปล่อยกดออกวัสดุจะไม่ยืดออกไปยังตำแหน่งเริ่มต้น โดยปกติจุดครากจะสังเกตได้ยาก แต่สามารถทำได้โดยวิธีการที่เรียกว่า “0.2 % ความเค้นพิสูจน์ (0.2% Proof Stress)” สามารถทำได้โดยการลากเส้นโดยแบ่งส่วนของด้านความเครียดออกเป็น 100 ส่วน และจากจุดเริ่มต้นที่ระยะประมาณ 0.2 ลากเส้นขนานกับเส้นกราฟทดสอบขึ้นไป โดยมีระยะขนานไปกับเส้นช่วงยืดหยุ่น ดังแสดงในรูปที่ 2.7

- ช่วงเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Region) เป็นช่วงที่ต่อเนื่องมาจากช่วงยืดหยุ่น หากทำการเพิ่มแรงในการกดวัสดุจะเปลี่ยนรูปถาวร เมื่อปล่อยแรงกดออกวัสดุไม่ยืดออกกลับไปที่มีความยาวของตำแหน่งเริ่มต้นวัสดุจะแสดงความต้านทานแรงกดสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อถึงจุดๆหนึ่งจะได้ค่าแรงต้านทานแรงกดสูงสุด ซึ่งโลหะแต่ละชนิดจะมีความแข็งแรงต่างกันออกไป

ตารางที่ 2.10 โมดูลัสการยืดหยุ่นของโลหะบางชนิด [20]

โลหะ	โมดูลัสการยืดหยุ่น (MPa)
อะลูมิเนียมและอะลูมิเนียมผสม	69×10^3
เหล็กหล่อ	138×10^3
ทองแดงและทองแดงผสม	110×10^3
เหล็ก	209×10^3
ตะกั่ว	21×10^3
แมกนีเซียม	48×10^3
นิกเกิล	209×10^3
เหล็กกล้า	209×10^3

ตารางที่ 2.11 ความแข็งแรงครากและความแข็งแรงสูงสุดของโลหะบางชนิด [20]

โลหะ	ความแข็งแรงคราก (MPa)	ความแข็งแรงสูงสุด (MPa)
อะลูมิเนียมผสม	175	350
เหล็กหล่อ	275	275
ทองแดงผสม	205	410
แมกนีเซียมทองแดง	175	275

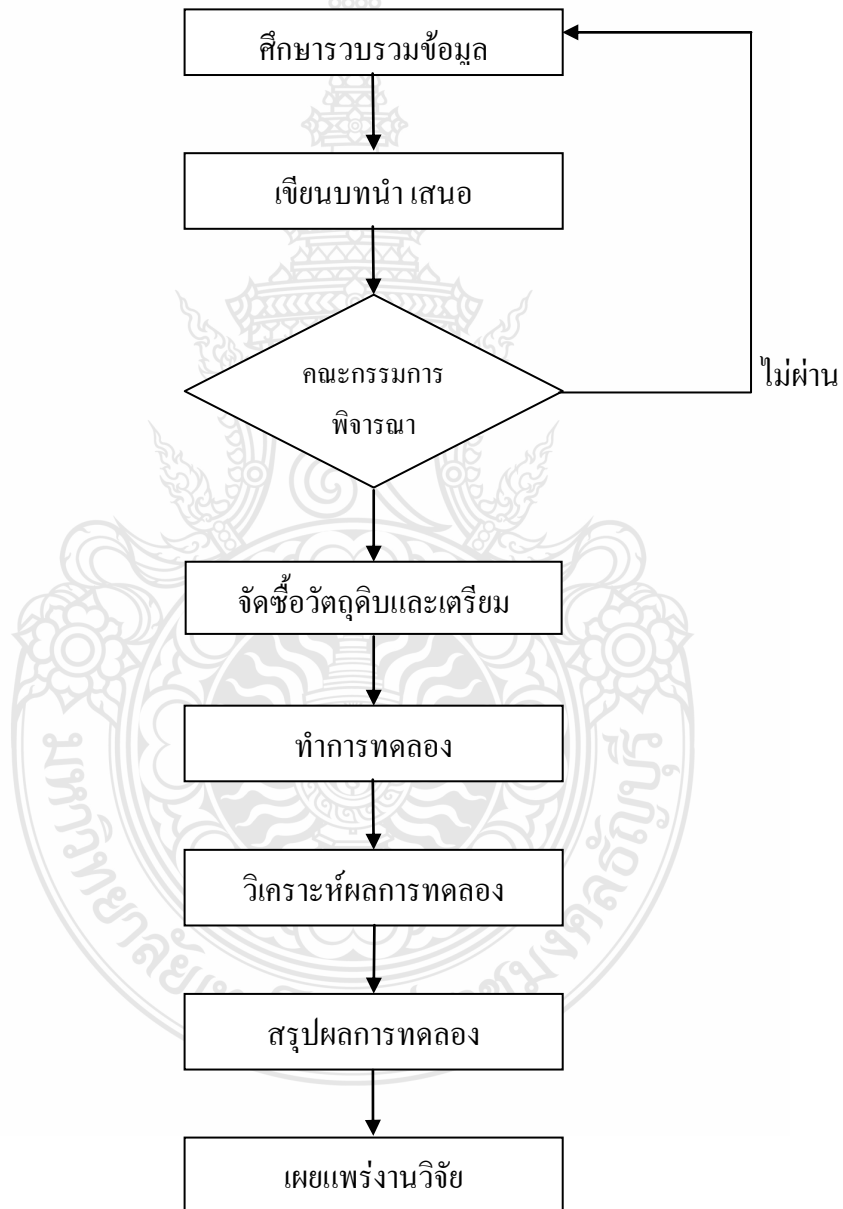
2) ค่าความทนไฟ (Refractoriness) การทดสอบค่าความทนไฟ หมายถึงการนำตัวอย่างชิ้นงานมาทำการทดสอบหาค่าความทนไฟ โดยการเผาตัวอย่างชิ้นงานเพื่อเปรียบเทียบกับไพโรเมตริกโคนมาตรฐาน (Standard Parametric Cone) หมายถึง โคนพีระมิดฐานสามเหลี่ยมที่มีรูปร่างและขนาดตามที่กำหนดและจะต้องมีการปักโคนที่ฐานรองรับให้ด้านหน้าของโคนที่จะโค้งงอทำมุมกับแนวราบ 82 องศาเซลเซียส ทำจากวัสดุคิบทางเซรามิก เมื่อนำไปเผาภายใต้สภาวะที่กำหนดจะอ่อนตัวและปลายโคนจะงอโค้งลงจากพื้นที่โคนตั้งอยู่เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนด ไพโรเมตริกโคนนี้จัดทำขึ้นโดยมีหมายเลขกำกับการเรียงตามลำดับ ซึ่งเป็นเครื่องชี้บอกค่าของอุณหภูมิที่ทำการทดสอบหรือค่าหมายเลขสมมูลไพโรเมตริกโคน (Parametric Cone Equivalent-PCE) ซึ่งเป็นค่าความทนไฟที่ได้จากการทดสอบ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

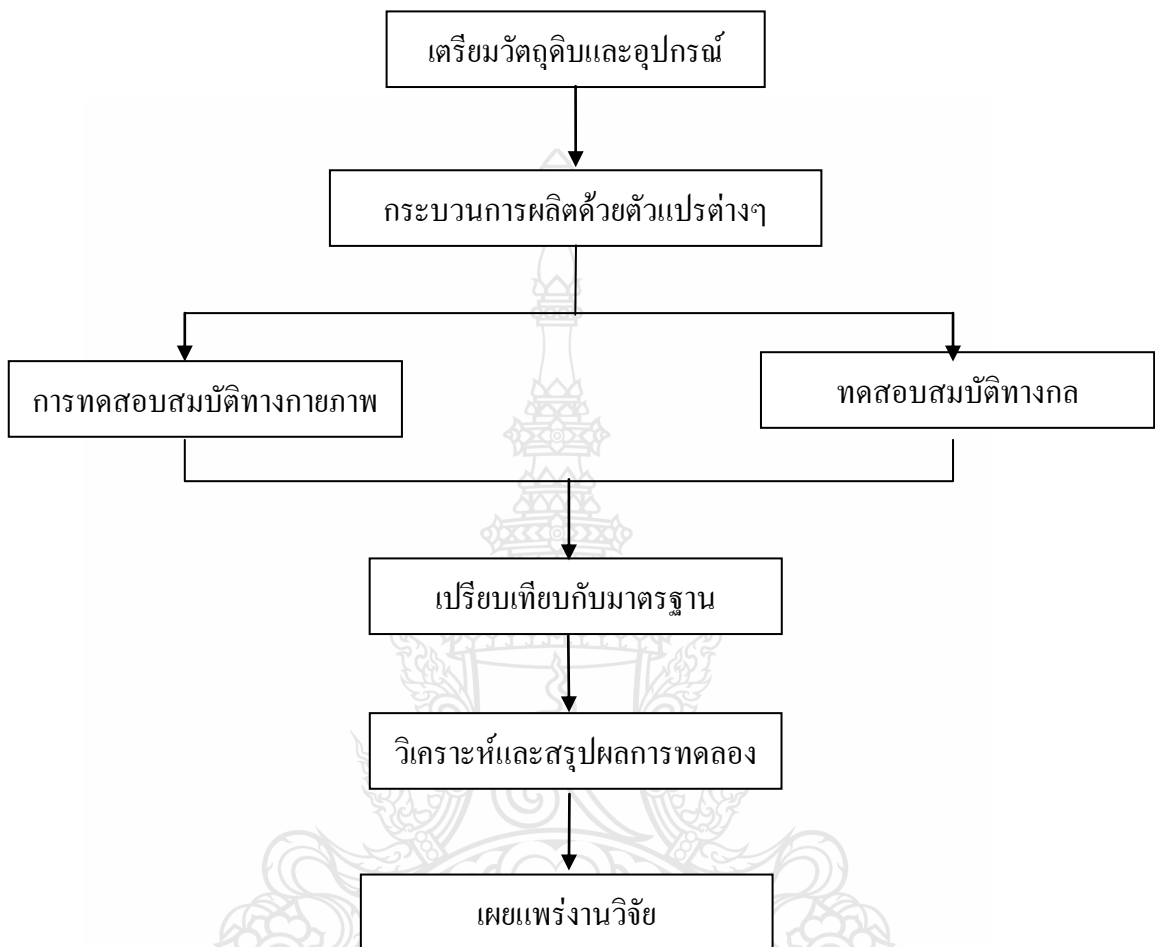
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเกลืออะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟโดยมีแผนการดำเนินงานวิจัยและรายละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการไหลของกระบวนการในการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของถ้ำลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟโดยสามารถแบ่งขั้นตอนการปฏิบัติการ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพการไหลของขั้นตอนการทดลอง

3.2 เครื่องมือและขั้นตอนการดำเนินการ

3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

จากข้อมูลที่ตั้งของแหล่งถ้ำลอยอะลูมิเนียม (Aluminum Dross) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก คุณทศพล เนียมสอน ห้างหุ้นส่วน เจ.เอ็ม.แมชชีน อินจิเนียริง เลขที่ 193/10 ม.4 ต.พยอม อ.วังน้อย จ.พระนครศรีอยุธยา ตามที่ได้กล่าวมาคือถ้ำลอยอะลูมิเนียม เป็นวัตถุดิบส่วนที่เหลือใช้แล้วของกระบวนการหลอมเศษอะลูมิเนียม ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดผงเล็กๆคล้ายฝุ่น ดังแสดงในรูปที่ 3.3 นำถ้ำลอยอะลูมิเนียม ประมาณ 100 กิโลกรัม โดยใช้เป็นวัตถุดิบหลักในงานวิจัยครั้งนี้

- 1) เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์
- 2) เตาอบชิ้นงาน
- 3) ตะแกรงร่อนขนาดของ Mesh No. 30, 40, 50 และ 100

- 4) การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ
- 5) ทำการสຸ່มตัวอย่างตามวิธีการสຸ່มตัวอย่าง
- 6) นำตัวอย่างมาร่อนผ่านตะแกรงร่อน Mesh No.40, 50 และ100
- 7) นำตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรงไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Desiccators)
- 8) ทำการอัดตัวอย่างที่อบแห้งแล้วลงในแผ่นอลูมิเนียมบนช่องบรรจุ (Holder) และปาดผิวหน้าให้เรียบแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย เครื่องทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบ (X-Ray Diffractometer) จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์
- 9) นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับการ์ดมาตรฐาน JCPDS ของตัวอย่างที่ทำ การทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 เถ้าลอยอะลูมิเนียม (Aluminum Dross)



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบ (X-Ray Diffractometer)

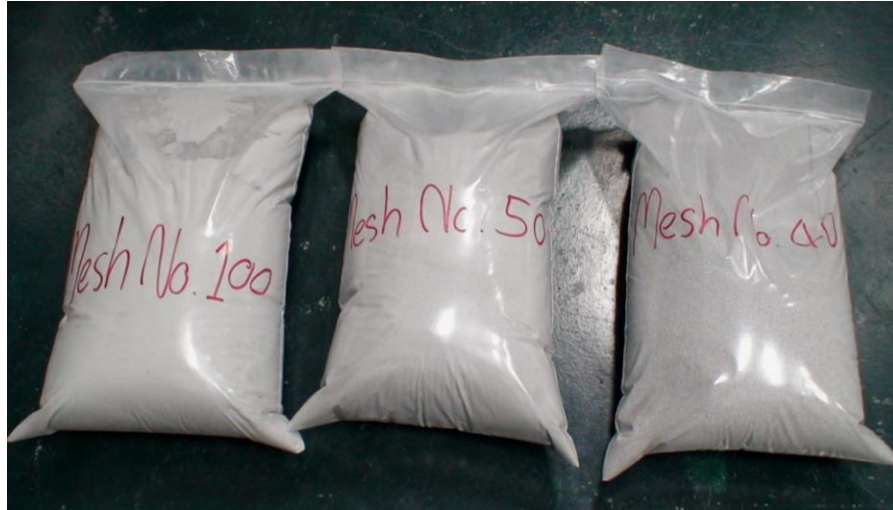
3.2.2 การคัดขนาดของอนุภาคของถ้ำลอยอะลูมิเนียม (Aluminum Dross)

โดยใช้เครื่องทดสอบการกระจายตัว (Test Sieve Analysis) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งประกอบด้วยตะแกรงร่อน (Vibrating Screen) ใช้ในการกระจายขนาดของอนุภาคของถ้ำลอยอะลูมิเนียมโดยทำการเรียงตะแกรงร่อนเป็นชั้นๆตามลำดับความหยาบถึงความละเอียดของช่องเปิดคือ Mesh No. 40, 50 และ 100 ซึ่งขนาดของ Mesh No. แต่ละชนิดมีขนาดความละเอียดของช่องเปิดต่างกันเป็นช่วง คือ 150 μm ดังนั้นการกระจายตัวของขนาดอนุภาคถ้ำลอยอะลูมิเนียมก็ต่างกันด้วยสามารถกำหนดขนาดความละเอียดของช่องเปิดเป็นช่วงๆประกอบด้วยทั้งหมด 3 ช่วง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบของอัตราส่วนผสมในแต่ละช่วงที่มีขนาดของอนุภาคที่ต่างกันจากผลการทดสอบ สมบัติทางกายภาพและทางกล เพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของอนุภาคในแต่ละช่วงซึ่งอาจมีค่าที่ต่างกันจากผลการทดลอง ดังนั้นเมื่อได้ค่าที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป โดยกำหนดขนาดของ Mesh No. ดังต่อไปนี้

- 1) Mesh No.40 ช่องเปิดของขนาดอนุภาคอยู่ที่ 425 μm กำหนดขนาดความละเอียดของช่องเปิดตะแกรงร่อนเป็นช่วง คือ ระหว่าง 425-300 μm
- 2) Mesh No.50 ช่องเปิดของขนาดอนุภาคอยู่ที่ 300 μm กำหนดขนาดความละเอียดของช่องเปิดตะแกรงร่อนเป็นช่วง คือ ระหว่าง 300-150 μm
- 3) Mesh No.100 ช่องเปิดของขนาดอนุภาคอยู่ที่ 150 μm กำหนดขนาดความละเอียดของช่องเปิดตะแกรงร่อนเป็นช่วง คือ ระหว่าง 150-0.1 μm ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบการกระจายตัว (Test Sieve Analysis)



รูปที่ 3.6 เถ้าลอยอะลูมิเนียมที่คัดแยกขนาดของอนุภาค

เมื่อได้ขนาดของอนุภาคเถ้าลอยอะลูมิเนียมตามที่กำหนดนำไปอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อทำการไล่ความชื้นออก เพื่อไม่ให้ผงของเถ้าลอยอะลูมิเนียมเกาะกันเป็นก้อน ก่อนที่จะนำไปผสมในสัดส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เตาอบชิ้นงาน

3.2.3 อัตราส่วนผสมของอิฐทนไฟ

วัตถุดิบที่สำคัญที่ใช้ในส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ (Refractory Brick) โดยทั่วไปซึ่งประกอบด้วย 1. อะลูมินา (Alumina) 2. ซิลิกา (Silica) 3. เหล็กออกไซด์ (Iron Oxide) เป็นต้น เริ่มแรกทำการผสมของ อะลูมินา (Alumina) 50-52%, ซิลิกา (Silica) 44-46%, เหล็กออกไซด์ (Iron Oxide)

1.5% ตามลำดับ โดยกำหนดปริมาณของอัตราส่วนไว้คงที่ (ในอัตราส่วนผสมโดยอ้างอิงมาตรฐานอิฐทนไฟอะลูมินาสูงKB-50 เป็นหลัก) ผสมคลุกเคล้าให้เข้าด้วยจนเป็นเนื้อเดียวกัน งานวิจัยนี้ได้ใช้เป็นส่วนผสมกับวัตถุดิบหลัก คือ เถ้าลอยอะลูมิเนียม ขั้นตอนการผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน คือ ลดปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมลงในอัตราส่วนผสมที่สัดส่วนต่างกัน โดยเครื่องชั่งใช้ชั่งน้ำหนักหาสัดส่วนต่างๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.8 การผลิตอิฐทนไฟ โดยใช้การทดสอบของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่แตกต่างกันทั้งหมด 5 สัดส่วน ซึ่งได้ข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยใช้วัตถุดิบหลักต่างกันอัตราส่วนผสมในสัดส่วนต่างๆ ได้มีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมเพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของแต่ละสัดส่วนว่ามีสมบัติที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป โดยกำหนดอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันทั้งหมด 5 สัดส่วน ได้แก่

- 1) สัดส่วนที่ 100:00 ประกอบด้วย เถ้าลอยอะลูมิเนียมล้วนๆ 100% ใช้สัญลักษณ์ คือ B1
- 2) สัดส่วนที่ 80: 20 ประกอบด้วย เถ้าลอยอะลูมิเนียม 80% กับ ส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ 20% ใช้สัญลักษณ์ คือ B2
- 3) สัดส่วนที่ 60: 40 ประกอบด้วย เถ้าลอยอะลูมิเนียม 60% กับ ส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ 40% ใช้สัญลักษณ์ คือ B3
- 4) สัดส่วนที่ 40: 60 ประกอบด้วย เถ้าลอยอะลูมิเนียม 40% กับ ส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ 60% ใช้สัญลักษณ์ คือ B4
- 5) สัดส่วนที่ 20: 80 ประกอบด้วย เถ้าลอยอะลูมิเนียม 20% กับ ส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ 80% ใช้สัญลักษณ์ คือ B5 ดังแสดงในรูปที่ 3.10

เมื่อได้ส่วนผสมที่สัดส่วนต้องการแล้วทำการผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันของแต่ละสัดส่วนโดยให้มีการกระจายตัวอย่างสมบูรณ์ของเถ้าลอยอะลูมิเนียม อะลูมินา, ซิลิกา และเหล็กออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 และรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.8 เครื่องชั่งที่ใช้หาอัตราส่วนผสมของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



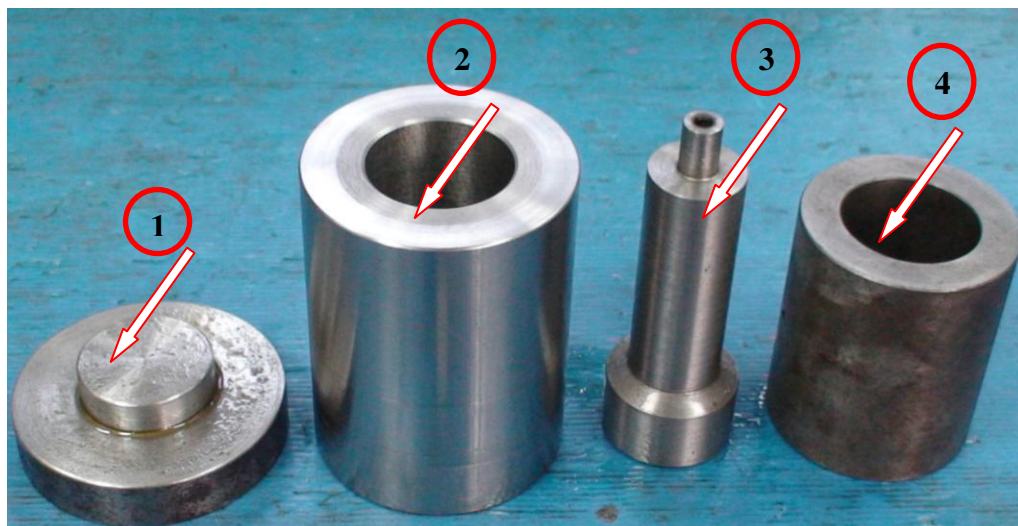
รูปที่ 3.9 วัตถุดิบและส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ



รูปที่ 3.10 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน

3.2.5 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Fixture) ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ [9]

การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน อ้างอิงจากชิ้นงานมาตรฐานรูปทรงกระบอกขนาด 51x51 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM Designation: C 20-97 ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ทำจากเหล็ก SCM4 จากมาตรฐาน JIS ซึ่งมีส่วนผสมของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง มีโครเมียมและโมลิบดีนัมผสม ทำให้มีค่าความเหนียวทนต่อแรงดึงกดสูงที่ 100 kgf/mm² ซึ่งสามารถทนรับแรงอัด จากเครื่องทดสอบแรงกด โดยที่อุปกรณ์จับยึดและตัวอย่างชิ้นงานทดสอบไม่แตกเสียหาย แบบอัดขึ้นรูป มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก โดยประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆทั้งหมด 4 ส่วน คือ



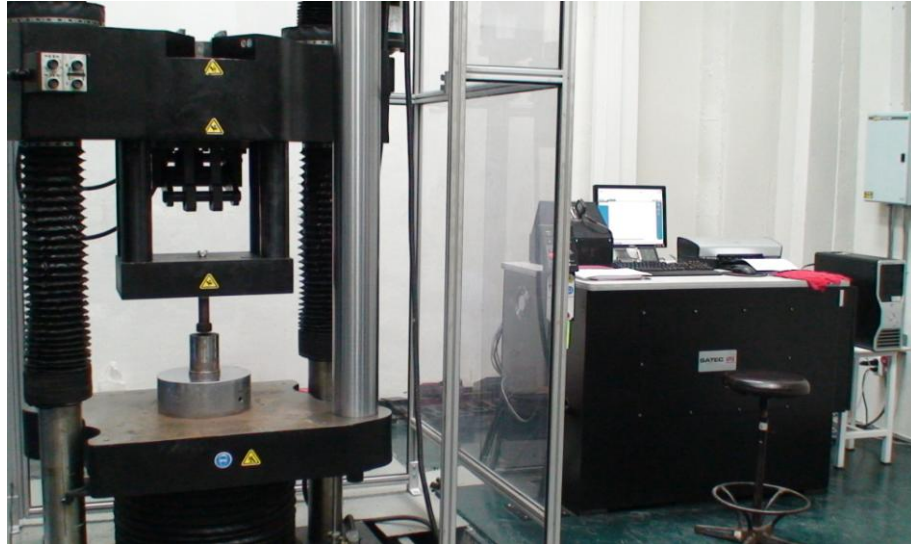
รูปที่ 3.11 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Fixture) ในการอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

- 1) ส่วนที่ 1 ฐานรองรับแท่งบรรจุชิ้นงาน
- 2) ส่วนที่ 2 แท่งบรรจุชิ้นงานมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกมีลักษณะเป็นรูกลวง ขนาดรูใน 51.2 มิลลิเมตร ขนาดความโตนอก 150 มิลลิเมตร และขนาดความสูง 20 มิลลิเมตร
- 3) ส่วนที่ 3 ชุดหัวกดซึ่งใช้จับยึดกับชุดกดของเครื่องทดสอบแรงกดที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน
- 4) ส่วนที่ 4 ชุดรองรับการดันชิ้นงานออกจากแท่งบรรจุตัวอย่างชิ้นงาน

3.2.6 การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

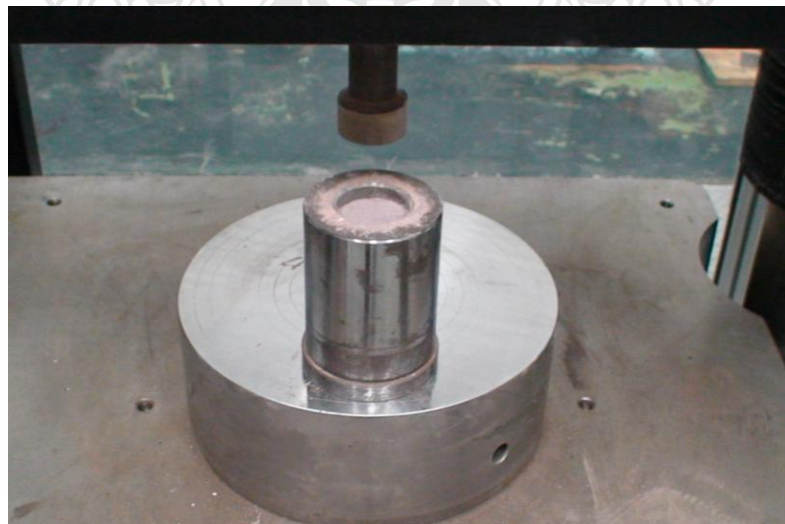
นำวัสดุดิบที่ได้ทำการผสมในสัดส่วนต่างๆคลุกเคล้ากับน้ำสะอาด 15% ของน้ำหนัก จนเป็นเนื้อเดียวกัน กระบวนการอัดขึ้นรูปใช้ที่ความดันที่ 300 และ 350 kg/cm^2 ของหน้าตัดชิ้นงานทดสอบ [9] โดยอ้างอิงมาตรฐาน ASTM Designation: C 20-97 การอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test) ดังแสดงในรูปที่ 3.12 การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยการเขียนโปรแกรมจากเครื่องทดสอบ ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมประกอบไปด้วย การป้อนคำสั่งต่างๆตามที่กำหนดดังนี้

- 1) การป้อนความดัน (Load) ที่ต้องการ คือ 300 และ 350 kg/cm^2 หรือ 61.25 KN และ 71.47 KN จากการแปลงค่าหน่วยสำหรับใช้กับเครื่องทดสอบแรงกด
- 2) ป้อนค่าแรงอัดที่ด้วยแรงดันที่ 50 KN /Min
- 3) เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นถึงแรงตามที่กำหนดไว้ คือ 61.25 KN และ 71.47 KN ทำการป้อนค่าแรงดันไว้คงที่ (Hole Load) เวลา 1 นาที
- 4) จบโปรแกรมการทำงาน

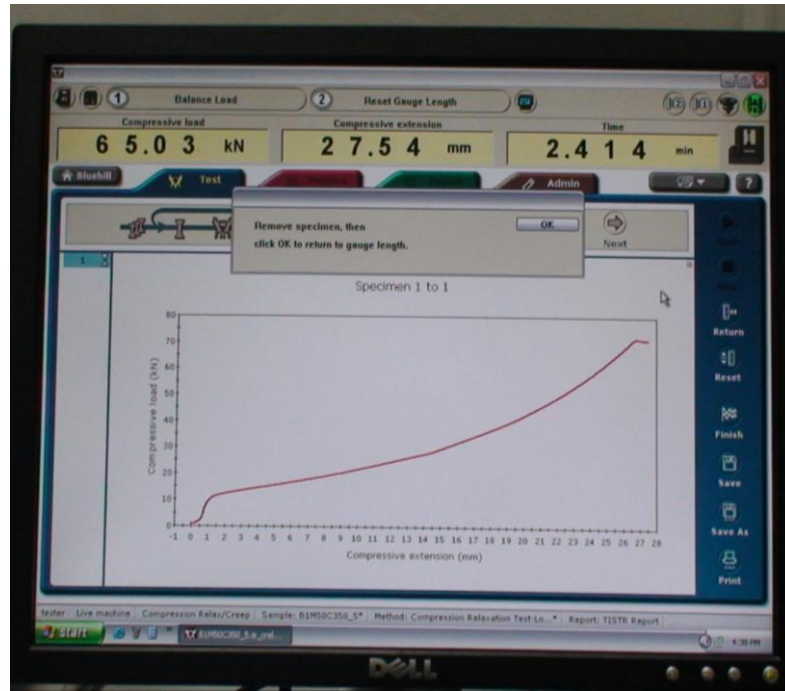


รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบแรงกด

ค่าที่แสดงผลออกมาประกอบด้วยแรงดัน (Load) ที่ 350 kg/cm^2 หรือ 71.47 KN ระยะการยุบตัวเท่ากับ 27.54 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเท่ากับ 2.42 นาทีต่อตัว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ในกระบวนการอัดขึ้นรูปแบบนี้ทำให้ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบทุกตัวจึงมีแรงอัดที่เท่ากันทุกก้อนด้วย แรงกดของเครื่องทดสอบแรงกดเนื่องจากการใช้โปรแกรมควบคุม จากนั้นก็ทำการดันชิ้นงานออกมาแล้วทำการเขียนหมายเลขกำกับชิ้นงานเพื่อป้องกันการสับสนของชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.13 การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.14 ผลการทดสอบของโปรแกรมที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.15 การคั่นตัวอย่างชิ้นงานทดสอบออกจากอุปกรณ์จับยึด



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากการขึ้นรูป

3.2.7 การเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

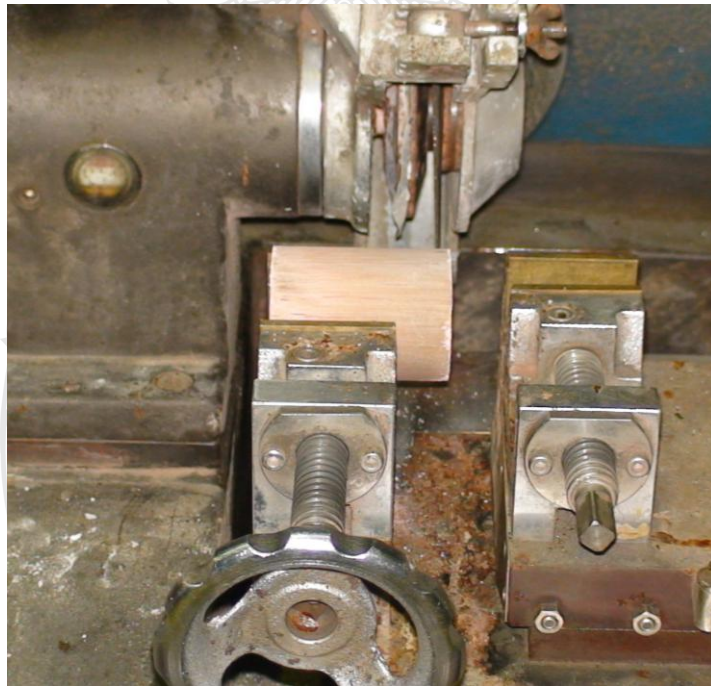
หลังจากการอัดขึ้นรูปแล้วนำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบไปอบที่อุณหภูมิ 110°C เพื่อทำการไล่ความชื้นออกเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยเตาอบดังแสดงในรูปที่ 3.17 เสร็จแล้วนำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบไปตัดออกให้ได้ขนาดตามมาตรฐานที่กำหนดคือ 51×51 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM Designation: C 20-97 [9] ด้วยเครื่องตัด Cut-Off Machine MARUMOTO VELNUT. ดังแสดงในรูปที่ 3.18 และ รูปที่ 3.19



รูปที่ 3.17 การอบไล่ความชื้นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.18 เครื่องตัดชิ้นงาน (Cut-Off Machine MARUMOTO VELNUT)



รูปที่ 3.19 การตัดชิ้นงาน

เมื่อตัดชิ้นงานที่มีขนาดตามที่กำหนด คือ 51x 51 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.20 ใส่หมายเลขกำกับชิ้นงานทุกชิ้นเพื่อป้องกันการสับสนของตัวอย่างชิ้นงาน แล้วทำการเผาด้วยเตาเผา Nabertherm รุ่น N60/H Maximum 1340 °C ที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,300 °C ดังแสดงในรูปที่ 3.21 โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนในการเผา ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้



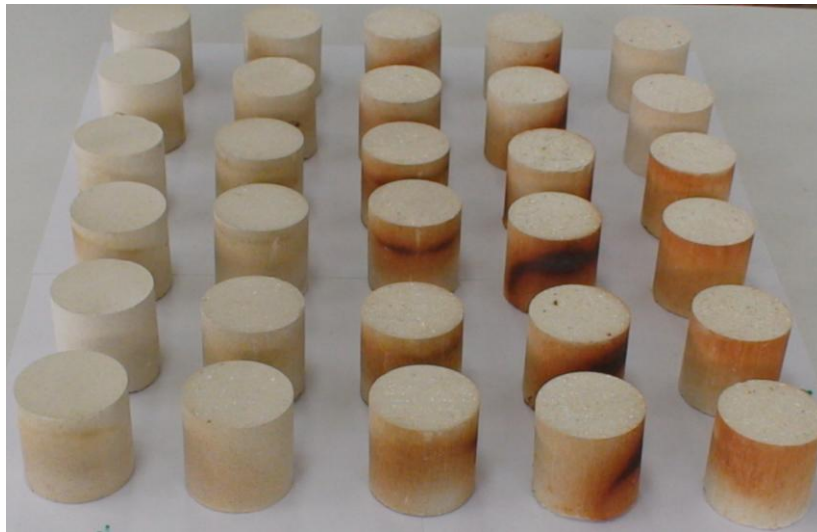
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการตัด

- 1) ขั้นตอนที่ 1 ทำการป้อนค่าอุณหภูมิที่อัตรา 5 องศาต่อนาที จากอุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิที่ $1,200^{\circ}\text{C}$ ใช้เวลา 4 ชั่วโมง เพื่อทำการเผาไล่ความชื้นออกจากตัวอย่างชิ้นงานทดสอบและให้เวลาการเซตตัวภายในเนื้อของชิ้นงาน
- 2) ขั้นตอนที่ 2 เมื่อค่าอุณหภูมิถึงที่ $1,200^{\circ}\text{C}$ แล้วทำการคงค่าอุณหภูมิไว้คงที่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เนื้อภายในตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลอมเหลวเนื้อของวัสดุทำการประสานยึดเกาะกัน
- 3) ขั้นตอนที่ 3 ทำการลดค่าอุณหภูมิที่ $1,200^{\circ}\text{C}$ ลงถึงค่าอุณหภูมิห้องโดยใช้ค่าอุณหภูมิอัตราที่ 5 องศาต่อนาที ใช้เวลา 4 ชั่วโมง จบขั้นตอนในการเผา จากนั้นปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวภายในเตาโดยใช้เวลาในการเย็นตัวประมาณ 12 ชั่วโมง



รูปที่ 3.21 เตาเผา (Naber Therm รุ่น N60/H Maximum 1340°C)

รูปที่ 3.22 คือ ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากเผาอุณหภูมิที่ 1,200 °C จากนั้นนำไปทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากการเผา

3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของตัวอย่างชิ้นงานอิฐทนไฟ [9]

การทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังจากผ่านกระบวนการเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแล้วทำการทดสอบเพื่อหาค่าน้ำหนักต่างๆ ประกอบด้วย

- การหาค่าน้ำหนักแห้ง (Dry Weight: D)
- ค่าน้ำหนักอิ่มตัว (Saturation Weight: W)
- ค่าชั่งน้ำหนักในน้ำ (Suspended Weight: S)

โดยประกอบด้วยขั้นตอนวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

3.3.1 เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

วิธีการทดสอบโดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM Designation: C20-00 [9]

- 1) เครื่องชั่งความละเอียด 0.001 กรัม
- 2) เตาอบ อุณหภูมิ 100-150 °C
- 3) อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานที่มีรูปทรงและขนาดที่สามารถรองรับชิ้นงานได้ขณะที่มีการชั่งน้ำหนักในน้ำ
- 4) เตาสำหรับต้มน้ำ (Hot Plate)
- 5) จานรองสำหรับขณะต้มชิ้นงาน
- 6) ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Divaricator)
- 7) ผ้าฝ้ายหรือผ้าลินิน

3.3.2 คำน้่าน้ำหนักแห้ง (Dry Weight: D) [9]

1) นำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการเผาแล้วจำนวน 5 ชิ้น/ตัวอย่าง ไปในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 150°C (Oven Dry) 24 ชั่วโมง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.23 การหาคำน้่าน้ำหนักแห้ง อาจจะทำก่อนหรือหลัง การหาคำน้่าน้ำหนักอิมตัว ก็ได้ แต่ควรที่จะทำก่อน เพราะว่าตัวอย่างชิ้นงานตัวอย่างทดสอบ ยังมีสภาพสมบูรณ์ ถ้าทำหลังจากการหาคำน้่าน้ำหนักแห้งอาจทำให้ตัวอย่างชิ้นแตกหัก

2) ปล่อยให้เย็นตัวในตู้เก็บกักความชื้น (Divaricator) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.24

3) ใช้อุปกรณ์รองรับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบนำไปชั่งกับตาชั่ง แบบดิจิทัลความละเอียด 0.1 กรัม อ่านค่าน้่าน้ำหนักแห้ง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.25

4) บันทึกค่าน้่าน้ำหนักแห้ง (Dry Weight: D)



รูปที่ 3.23 เตาอบตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.24 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Divaricator)



รูปที่ 3.25 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

3.3.3 ค่าน้ำหนักอิ่มตัว (Saturation Weight: W) [9]

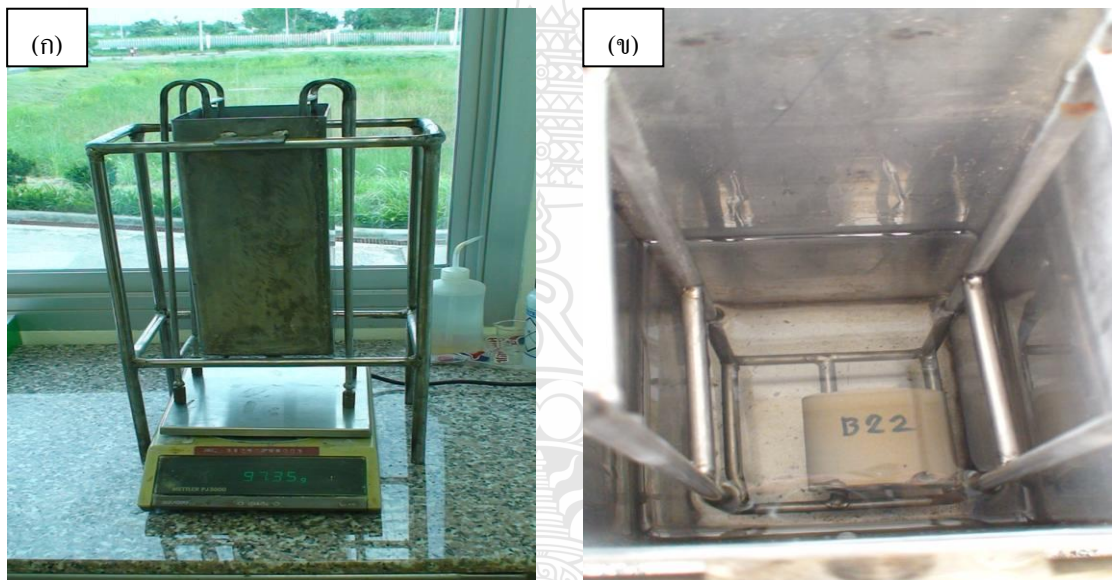
- 1) นำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบวางจุ่มลงในน้ำควรวัดน้ำหนักให้ท่วมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ เพื่อที่น้ำจะได้เข้าไปแทนที่อากาศภายในตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ
- 2) การต้มใช้เวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 150°C โดยเตาต้ม (Stereo) ข้อควรระวังอย่าให้น้ำแห้งระหว่างการต้มต้องเติมน้ำเป็นระยะ
- 3) หลังจากต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วควรปล่อยให้เย็นในภาชนะทิ้งไว้ให้เย็นภายใน อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.27
- 4) ใช้อุปกรณ์ชั่งรองรับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบนำไปชั่งกับเครื่องชั่งแบบดิจิทัลที่มีความละเอียด 0.1 กรัม แล้วอ่านค่าน้ำหนักอิ่มตัว (Saturation) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.27
- 5) บันทึกค่าน้ำหนักหลังการต้ม

3.3.4 ค่าชั่งน้ำหนักในน้ำ (Suspended Weight: S) [9]

- 1) หาค่าชั่งน้ำหนักในน้ำ โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ต้มแล้วหลังปล่อยให้เย็น 12 ชั่วโมง ใช้ผ้าฝ้ายหรือผ้าลินินซับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบให้แห้ง
- 2) โดยใช้อุปกรณ์รองรับตัวชิ้นงานนำไปชั่งกับเครื่องชั่งแบบดิจิทัลที่ค่าที่ความละเอียด 0.1 กรัม กับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทดสอบชั่งน้ำหนักในน้ำ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.27 (ก) การวัดชั่งน้ำหนักกับเครื่องชั่งกับอุปกรณ์จับยึดตัวอย่างชิ้นงานชั่งน้ำหนักในน้ำ แล้วอ่านค่าได้ค่าชั่งน้ำหนักในน้ำ (Suspended Weight: S) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.27(ข)
- 3) บันทึกค่าชั่งน้ำหนักในน้ำ (Suspended Weight: S)



รูปที่ 3.26 การต้มตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.27 การชั่งน้ำหนักในน้ำ (ก) เครื่องชั่งน้ำหนักในน้ำ และ (ข) แสดงการชั่งชิ้นงานในน้ำ

3.3.5 การคำนวณค่าสมบัติทางกายภาพและวิเคราะห์ผลการทดสอบ [9]

เมื่อได้ผลการทดสอบของค่าน้ำหนักแห้ง ค่าน้ำหนักอิมตัว และค่าน้ำหนักในน้ำ นำไปคำนวณหาค่าสมบัติทางกายภาพดังต่อไปนี้

- 1) ความหนาแน่น
- 2) ค่าความพรุนปรากฏ
- 3) ค่าความถ่วงจำเพาะ
- 4) ค่าการดูดซึมน้ำ

ผลการคำนวณหาค่าสมบัติทางกายภาพทั้งหมดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

3.4 การทดสอบกำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น (Cold Crushing Strength) [9]

โดยวิธีการทดสอบ อ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM Designation: C 133-97 [9]

3.4.1 นำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากการทดสอบสมบัติทางกายภาพจำนวน 5 ชิ้นต่อตัวอย่างทำการทดสอบหาค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นในงานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแบบทรงกระบอก (Cylinder) คือ เป็นรูปทรงกระบอกพื้นที่หน้าตัด ขนาด 51 x 51 มิลลิเมตร

3.4.2 อบตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ที่อุณหภูมิ 110 °C ใช้เวลา 3 ชั่วโมง โดยให้น้ำหนักใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักหลังการเผา (Dry Weight) และต้องทำการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น (Cold Crushing Strength) ภายใน 2 ชั่วโมง เพื่อให้เม็ดเกรนทำการเซทตัวในเวลาทดสอบ

3.4.3 การทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น โดยเครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test Instron SATEC Series)

3.4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการจับยึดชิ้นงานในการทดสอบ ประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ (1) โพรแกรมการทดสอบ (2) ชุดหัวกด (Bearing Block) และ (3) ชุดแท่นรองรับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.28

3.4.5 วางตัวอย่างชิ้นงานทดสอบบนแท่นรองรับแล้วปรับตำแหน่งชิ้นงานให้ตรงกลางของชุดหัวกด (Bearing Block)

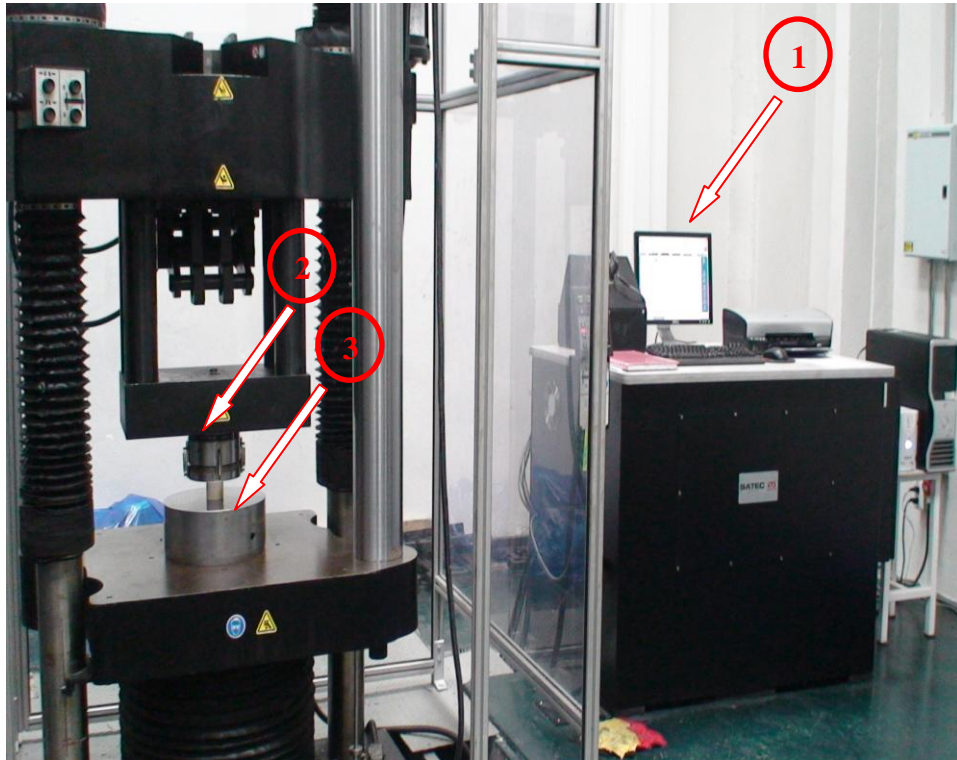
3.4.6 การทดสอบโดยการเขียนโปรแกรมจากเครื่องทดสอบมีขั้นตอนการป้อนคำสั่งต่างๆ ตามที่กำหนด ประกอบด้วย

1) การป้อนค่าแรงที่กำหนด คือ ใช้อัตราแรงกดคงที่ (Load Rate) ที่ 1 มิลลิเมตรต่อนาที หมายถึงค่าแรงกด (Load) จะเพิ่มขึ้นที่ 1 มิลลิเมตรต่อนาที และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนทำให้ตัวอย่างชิ้นงานเริ่มรับแรงกดไม่ได้ คือ แรงกดจะเพิ่มขึ้นถึงแรงสูงสุดที่ชิ้นงานจะรับแรงต้านทานได้ ดังนั้นเมื่อชิ้นงานรับแรงต้านทานไม่ได้ชิ้นงานก็จะเริ่มมีเสียงดังจากการเสียหายมีการขูดตัวและรอยแตกร้าวตามบริเวณของชิ้นงานแรงกด (Load) จะเริ่มลดลงตามมาด้วย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.29

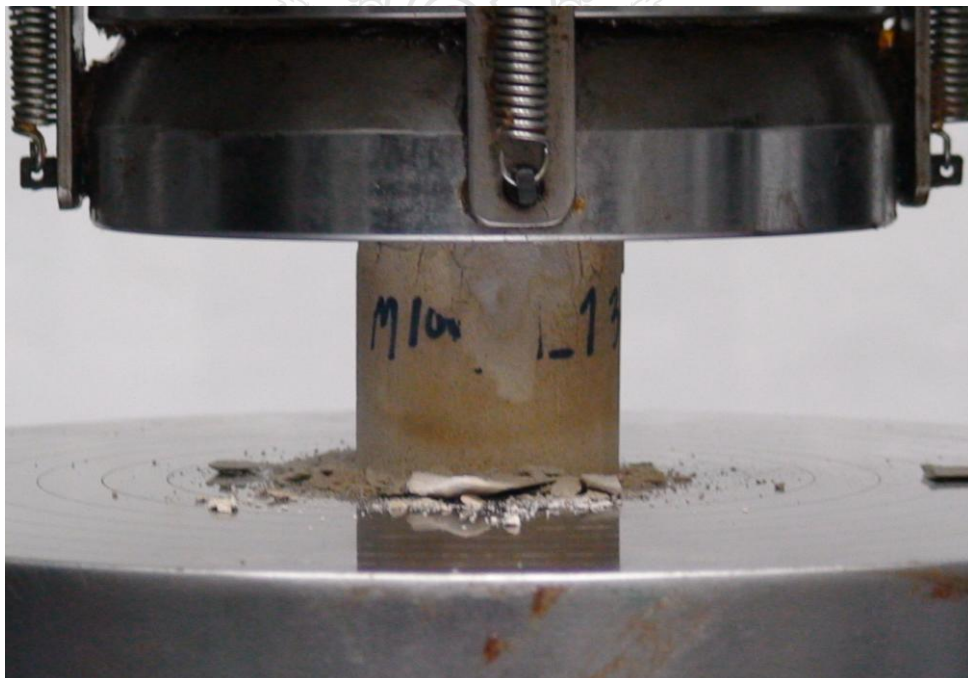
2) การป้อนค่าแรงกดโดยกำหนดค่าแรงกดสูงสุดต่อความเสียหายของชิ้นงานที่ไม่เกิน 50เปอร์เซ็นต์ ถ้าความเสียหายเกินจากค่าที่กำหนดทำการตั้งเครื่องให้หยุดการทำงานทันที

3) จบโปรแกรมการทดสอบ

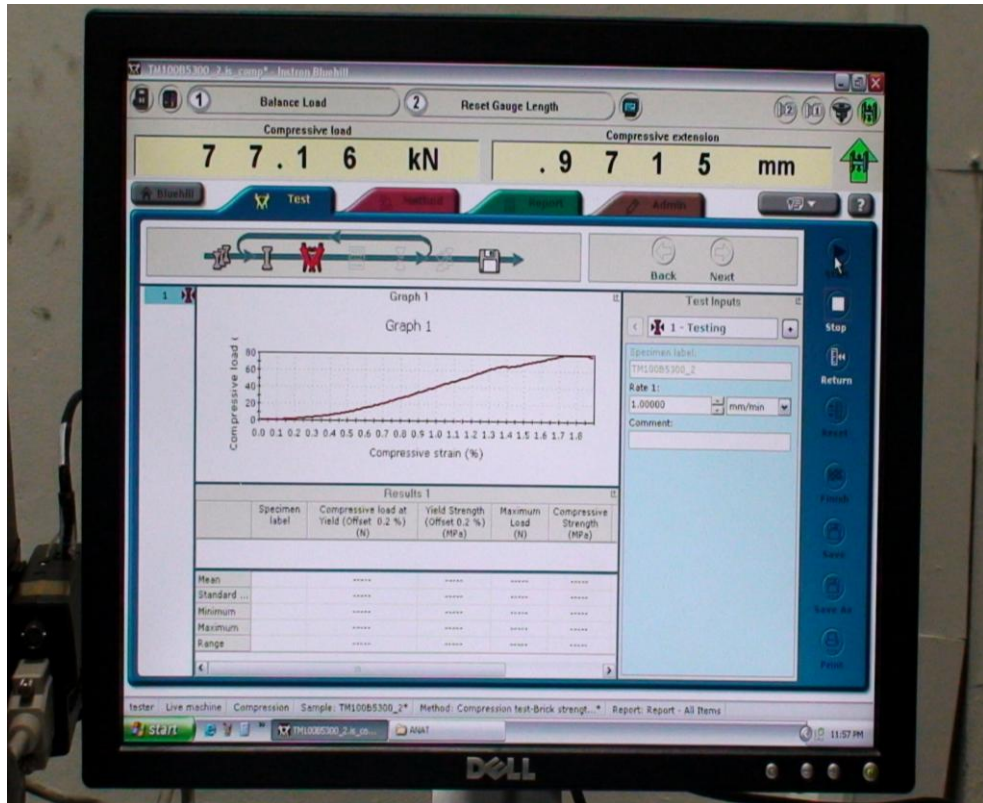
3.4.7 บันทึกค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น (Cold Crushing Strength) ผลการทดสอบที่ได้จากโปรแกรม ประกอบด้วย ค่าแรงสูงสุดของค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นเวลาในการทดสอบ, ระยะเวลาขูดตัว, เวลาที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.30 และสภาพความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานหลังจากการผ่านการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.28 เครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test Instron SATEC Series.)



รูปที่ 3.29 การกดตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.30 จอภาพแสดงกราฟและผลทดสอบแรงด้านทานบีบดเมื่อเย็น



รูปที่ 3.31 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่เสียหายหลังการทดสอบ

3.5 ค่าความทนไฟ (Refractoriness)

วิธีการทดสอบค่าความทนไฟ อ้างอิงจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 548-2541 [9] การทดสอบค่าความทนไฟคือ การเปรียบเทียบกับไพโรเมตริกโคนมาตรฐาน (Standard Parametric Cone) หมายถึง โคนพีรามิดฐานสามเหลี่ยมที่มีรูปร่างและขนาดตามที่กำหนด และจะต้องมีการปักโคนที่ฐานรองรับให้ด้านหน้าของโคนที่จะโค้งงอทำมุมกับแนวราบ 82 องศาเซลเซียส ทำจากวัสดุดิบทางเซรามิก เมื่อนำไปเผาภายใต้สภาวะที่กำหนดจะอ่อนตัว และปลายโคนจะงอโค้งลงจากพื้นที่โคนตั้งอยู่ เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนด ไพโรเมตริกโคนนี้จัดทำขึ้นโดยมีหมายเลขกำกับเรียงตามลำดับซึ่งเป็นเครื่องชี้บอกอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ หรือหมายเลขสมมูลไพโรเมตริกโคน (PCE) จากนั้นก็จะได้ค่าความทนไฟโดยที่ไพโรเมตริกโคนมาตรฐานจะมีค่าความทนไฟเป็นข้อมูลบอกค่าไว้ ตัวอย่าง เช่น อิฐทนไฟที่ทนความร้อนได้ไม่ต่ำกว่า 1,763 องศาเซลเซียส หรือ พีซีอี 34 (PCE 34)



บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์

การทดลองของกระบวนการผลิตอิฐทนไฟด้วยการใช้เถ้าลอยอะลูมิเนียมผสมกับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐทนไฟตามขั้นตอนการทดลองออกแบบไว้ในบทที่ 3 โดยเริ่มจากการศึกษาความเป็นไปได้ของอิทธิพลเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ หลังจากนั้นได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของอิฐทนไฟประกอบด้วย ศึกษาขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียม ศึกษาอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ศึกษาความดันในการอัดขึ้นรูป ศึกษาอุณหภูมิในการเผา การทดสอบหาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลประกอบด้วย ค่าความหนาแน่น, ค่าความพรุนปรากฏ, ค่าการดูดซึมน้ำ, ค่าความถ่วงจำเพาะ, ค่าความทนไฟและค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น โดยมีผลการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของอิทธิพลเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ โดยนำเถ้าลอยอะลูมิเนียมไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบ (X-ray Diffractometer) สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์: Step angle = 0.02° ; Count Time = 1 sec; D-, R-and S-slits 1° , 0.2 mm and 1° , respectively; Target type's; Cu; Tube voltage = 30 kV; current = 40 mA. ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์พบว่า องค์ประกอบที่มีความเป็นไปได้ [JCPDS No.] ประกอบด้วย

4.1.1 อะลูมิเนียม Aluminums, syn -Al [04-0787]

4.1.2 ซิลิกา Quart, syn - SiO₂ [46-1045]

4.1.3 ซิลิกอน Silicon, syn - Si [27-1402]

4.1.4 รูไทล์ Rutile, syn -TiO₂ [21-1276]

4.1.5 อะลูมินา Corundum, syn - Al₂O₃ [10-0173]

4.1.6 แมงกานีส Manganese, syn -Mn [33-0887]

ตารางผลการวิเคราะห์เฟสและสารประกอบของเถ้าลอยอะลูมิเนียม ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข

4.2 ขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ

ตัวแปรการผลิตอิฐทนไฟที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยขนาดอนุภาคของ Mesh No. 40, 50 และ 100 โดยมีขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันเป็นช่วงๆ ดังแสดงไว้ในหัวข้อ 3.2.2 รูปที่ 3.6 โดยใช้ช่องเปิดของตะแกรงร่อน (Vibrating Screen) ซึ่งได้กำหนดออกเป็น 3 ช่วง ประกอบด้วย

4.2.1 ขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อน Mesh No. 40 ถึง Mesh No. 50 กำหนดเป็นช่วงระหว่าง 425-300 μm

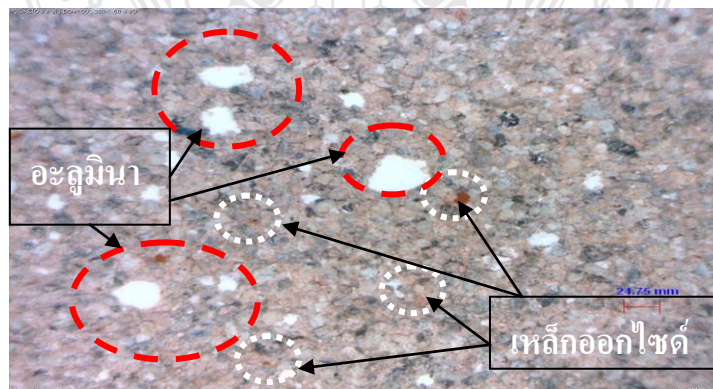
4.2.2 ขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อน Mesh No. 50 ถึง Mesh No.100 กำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm

4.2.3 ขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อน Mesh No. 100 ผ่านลงไปทั้งหมดกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 150-0.1 μm

การวิเคราะห์ทดสอบของขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียม โดยใช้เครื่องทดสอบหาการกระจายตัว (Test Sieve Analysis) ดังแสดงไว้ในหัวข้อ 3.2.2 รูปที่ 3.5 โดยมีขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันเป็นช่วงซึ่งกำหนดไว้ 3 ช่วง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบของอัตราส่วนผสมในแต่ละช่วงที่มีขนาดของอนุภาคที่ต่างกัน จากผลการทดสอบทางกายภาพและทางกล เพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆของอนุภาคในแต่ละช่วงซึ่งอาจมีค่าที่ต่างกันจากการทดลอง

4.3 การผสมของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันของการผลิตอิฐทนไฟ

ตัวแปรของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันที่ทำการศึกษาในการทดลองนี้คืออัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐทนไฟกับวัตถุดิบหลักนั้นต้องทำการผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันจนให้เป็นเนื้อเดียวกัน [1] การผลิตอิฐทนไฟโดยใช้อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันแบ่งออกเป็น 5 สัดส่วนประกอบด้วย 100:00 (B1), 80: 20 (B2), 60: 40 (B3), 40: 60 (B4) และ 20: 80 (B5) พบว่า มีการกระจายตัวไม่เป็นระเบียบ ของเถ้าลอยอะลูมิเนียมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ สังเกตจากมีก้อนกลมเล็กๆของอะลูมินาเห็นเป็นสีขาว และเหล็กออกไซด์มีสีน้ำตาลเข้มกระจายทั่วบริเวณของผิวตัวอย่างชิ้นงานซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กมากเกิดการรวมตัวยึดเกาะกันแน่นเป็นก้อนเล็กๆกล่าวคือ ด้วยอุณหภูมิความชื้นรอบๆบริเวณตัวอย่างชิ้นงานจากการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงขนาดกำลังขยาย 200 เท่า โดยแสดงการกระจายตัวระหว่างขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ ที่อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของเถ้าลอยอะลูมิเนียม อะลูมินา ซิลิกา และเหล็กออกไซด์

4.4 ความดันในการอัดขึ้นรูปของการผลิตอิฐทนไฟ

ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ประกอบด้วย 300 และ 350 kg/cm² พร้อมกับ อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM Designation: C 133-97 [9] การอัดขึ้นรูปโดยเครื่องทดสอบแรงกด (Tensile Test Instron SATC Series) ดังแสดงไว้ในหัวข้อ 3.2.5 รูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12 พบว่า ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบมีค่าแรงอัดที่เท่ากันทุกตัวอย่าง เนื่องจากการใช้โปรแกรมควบคุมการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องทดสอบแรงกด ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังการอัดขึ้นรูปแล้วประกอบไปด้วย 5 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.3 โดยอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันนั้นมีสีที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากปริมาณของเปอร์เซ็นต์ ส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่ไม่เท่ากันในการผสมในแต่ละสัดส่วน ดังนั้นตัวอย่างชิ้นงานทดสอบจึงมีความเข้มข้นของสีที่แตกต่างกันตามลำดับ คือ 100:00 (B1), 80: 20 (B2), 60: 40 (B3), 40: 60 (B4) และ 20: 80 (B5) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังการอัดขึ้นรูป

4.5 การเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของการผลิตอิฐทนไฟ

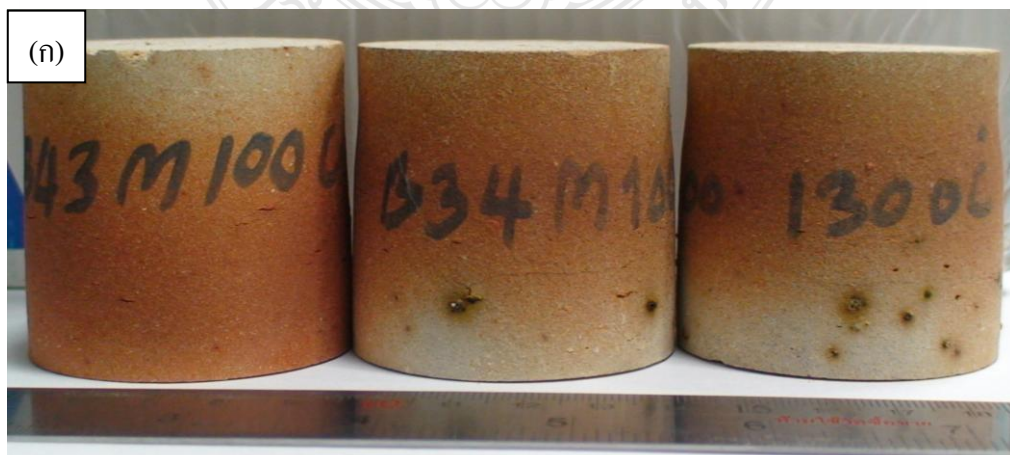
การเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบนี้ใช้อุณหภูมิที่ 5 องศาต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นภายในเตา โดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกันที่ 1,200 และ 1,300 °C ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ 4 ตัวอย่าง ประกอบด้วย ขนาดของ Mesh No. 50 และ Mesh No.100 เป็นอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันว่า 100:00 (B1), 80: 20 (B2), 60: 40 (B3), 40: 60 (B4) และ 20: 80 (B5) ซึ่งได้จากการศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัตถุดิบที่แตกต่างกันไปแต่ส่วนผสมทางเคมีใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟเมื่อเปรียบเทียบกับแล้ว

เทคโนโลยีการผลิตและการเผาเพื่อให้ได้อิฐทนไฟที่มีคุณภาพดี การเผานั้นจะต้องเผาที่อุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึกมัลไลต์ (Mullite) เป็นสารประกอบของอะลูมินา และซิลิกา ซึ่งจะเริ่มเกิดที่อุณหภูมิ 1,200 °C และจะเกิดมากที่สุดที่ อุณหภูมิ 1,400 °C ถ้าอุณหภูมิการเผาอิฐทนไฟดำเนินไปปริมาณการใช้งานและการทนต่อการรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูงจะค่อยๆ ลดลง [3] จากผลของการเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบพบว่า การเผาตัวอย่างชิ้นงานที่ 1,200 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างชิ้นงานของถ่้าลอยอะลูมิเนียมหลังการเผาอุณหภูมิที่ 1,200 °C

ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบมีสภาพสมบูรณ์ดีมีการแตกร้าวบ้างเป็นบางส่วน และมีสีน้ำตาลเข้มคล้ายกับรอยไหม้บริเวณผิวรอบนอกของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของ B2, B3, B4 และ B5 ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของเหล็กออกไซด์ที่เกาะอยู่บริเวณรอบของผิวตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ หรืออาจเป็นธาตุอื่นๆ ที่ทำปฏิกิริยากับความร้อนจึงเกิดเป็นรอยไหม้ เมื่อทำการเผาของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นที่ 1,300 °C ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 พบว่า หลังการเผา ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบมีความเสียหายลักษณะของรูปทรงและขนาดที่เปลี่ยนแปลงไป คือ หด บวม บิด และแตกร้าว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 (ก)-(ข)-(ค) อย่างไรก็ตามการตรวจสอบอุณหภูมิในการเผาตัวอย่างชิ้นงานที่เกิดขึ้นนี้ ควรมีการศึกษาต่อไปเพื่อให้ทราบว่าอุณหภูมิเท่าใดจึงไม่ทำให้ตัวอย่างชิ้นงานเกิดการเสียหาย





รูปที่ 4.4 ตัวอย่างชิ้นงานที่เสียหายหลังการเผาอุณหภูมิที่ 1,300 °C (ก) ตัวอย่างชิ้นงานบิตบวม (ข) ตัวอย่างชิ้นงานหดตัว และ (ค) ตัวอย่างชิ้นงานที่แตกร้าว

4.6 ผลการศึกษาอิทธิพลตัวแปรของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ

การศึกษาอิทธิพลตัวแปรของเถ้าลอยอะลูมิเนียม มีผลต่อการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

การทดสอบสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย

- ค่าความหนาแน่น
- ค่าความพรุนปรากฏ
- ค่าความถ่วงจำเพาะ
- ค่าการดูดซึมน้ำ

การทดสอบสมบัติทางกลประกอบด้วย

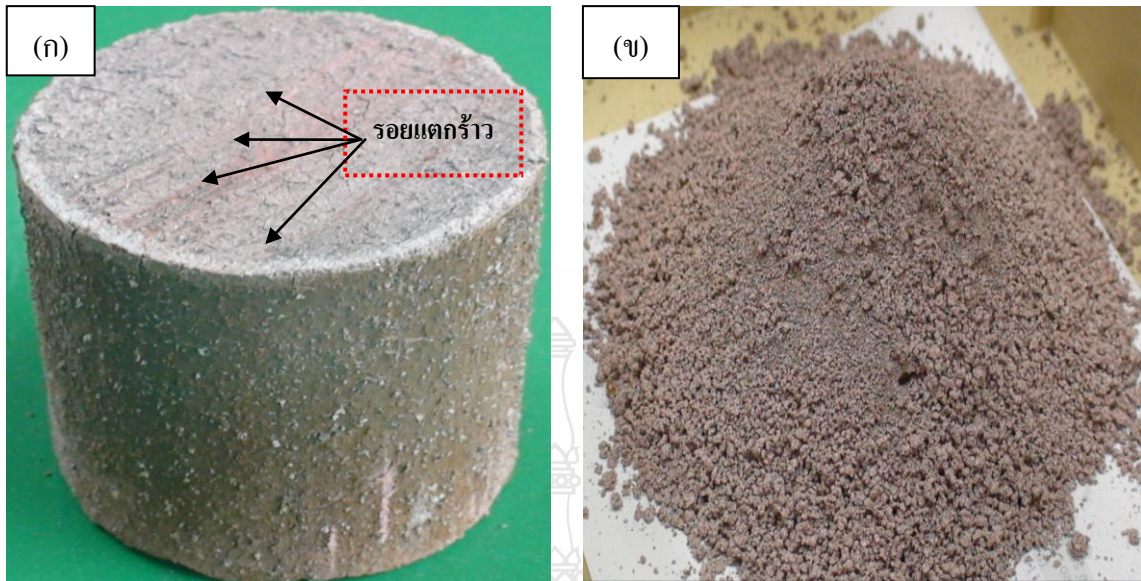
- ค่ากำลังต้านแรงบีบคเมื่อเย็น
- ค่าความทนไฟ

การทดสอบและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางกลของกลุ่มตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ซึ่งได้ใช้ขนาดของ Mesh No. 40, 50 และ 100 ตัวอย่าง ประกอบด้วย S1M50C300X, S2M50C350X, S3M100C300X, และ S4M100C350X ของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันว่า 100:00 (B1), 80: 20 (B2), 60: 40 (B3), 40: 60 (B4) และ 20: 80 (B5) การอัดขึ้นรูปที่ความดันที่ 300 และ 350 kg/cm² การเผาโดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกันว่า 1,200 °C จากการทดสอบโดยอ้างอิงมาตรฐาน American Society for Testing and Material 2000, ASTM Designation C 20-00, ASTM Designation C135-97:General Product, Chemical Special tie Use Product Refractoriness, Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01 Philadelphian, ASTM pp.149-162. And ASTM Designation C133-97 [9] ผลของการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบมีดังนี้

4.6.1 อิทธิพลขนาดอนุภาคของ Mesh No. 40 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm² และการเผาอุณหภูมิที่ 1,200 °C ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐทนไฟ ตัวแปรการผลิตที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย

- 1) อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันว่า 100: 00, 80: 20, 60: 40, 40: 60 และ 20: 80
- 2) ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm²
- 3) การเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °C

รูปที่ 4.5 แสดงผิวหน้าของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอัดขึ้นรูปที่ความดัน 300 kg/cm² ผลที่ได้จากการอัดขึ้นรูปพบว่า เกิดจุดบกพร่องพบรอยแตกร้าวหลังการอัดขึ้นรูปชิ้นงานแล้ว รูปที่ 4.5 (ก) แสดงการแตกร้าวบริเวณผิวหน้าตัดของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ โดยมีขนาดของอนุภาคเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ Mesh No.40 ขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนซึ่งกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 425-300 μm การอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 300 kg/cm² แล้วนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นออกที่อุณหภูมิที่ 110 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นพบว่า เกิดมีรอยแตกร้าวทั่วบริเวณผิวหน้าตัดของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ เมื่อปล่อยให้เย็นประมาณ 24 ชั่วโมง ชิ้นงานก็มีรอยแตกมากขึ้นจนแตกละเอียดพังทลายลงเป็นกองดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ข) เนื่องด้วยขนาดของอนุภาคเถ้าลอยอะลูมิเนียมของ Mesh No.40 ซึ่งมีขนาดใหญ่เกินไปไปการเกาะยึดตัวของเม็ดเกรนไม่ดี และการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบทำให้ตัวอย่างชิ้นงานเกิดการเสียหาย อย่างไรก็ตามการคัดแยกขนาดของอนุภาคเถ้าลอยอะลูมิเนียมและการตรวจสอบขนาดของอนุภาคเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปของการผลิตอิฐทนไฟ ควรมีการศึกษาวิจัยต่อไปเพื่อเป็นการตรวจสอบตามสมมติฐานที่กล่าวไว้ว่า ขนาดของอนุภาคเถ้าลอยใช้ในการอัดขึ้นรูปได้โดยที่ไม่มีการเสียหายต่อไป

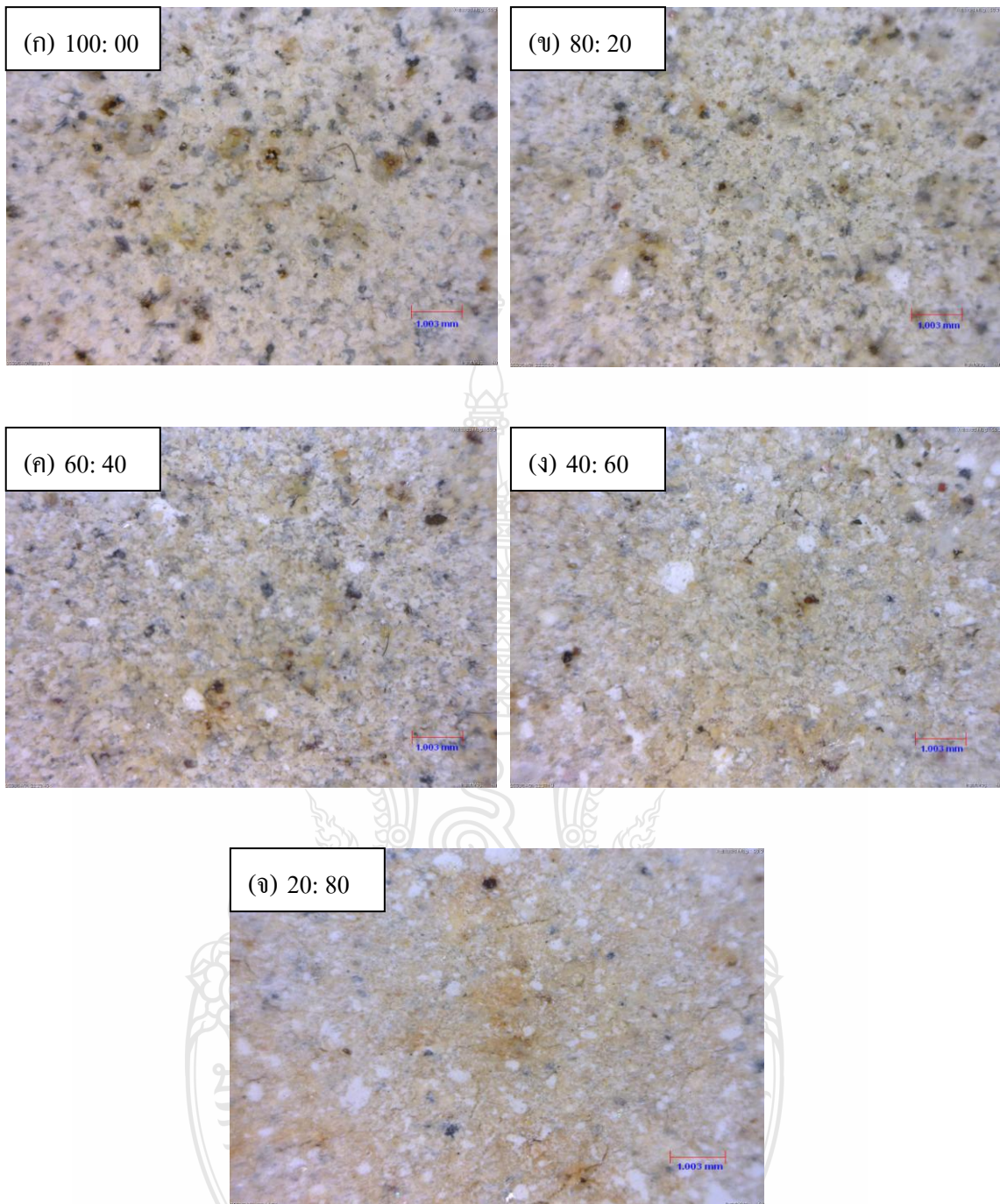


รูปที่ 4.5 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 300 kg/cm^2 ของ Mesh No.40 (ก) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่เสียหาย แตกร้าวบริเวณผิวหน้าตัดของชิ้นงาน และ (ข) การพังทลายของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

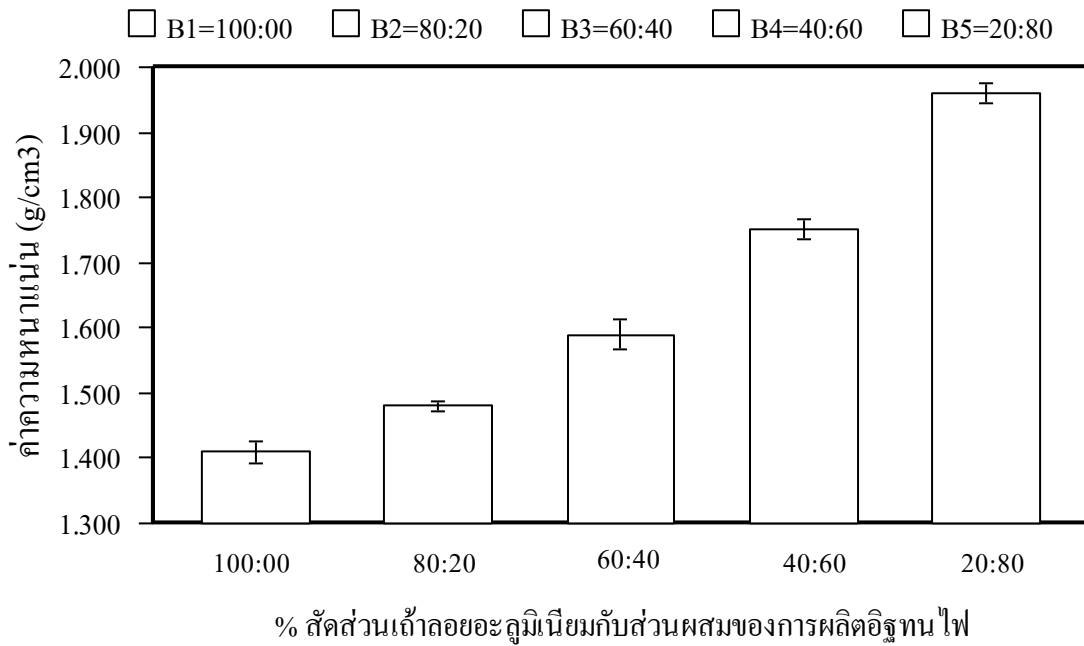
4.6.2 อิทธิพลขนาดอนุภาคของ Mesh No. 50 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 และการเผาอุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^\circ\text{C}$ ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐทนไฟ ตัวแปรการผลิตที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย

- 1) อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันที่ 100: 00, 80: 20, 60: 40, 40: 60 และ 20: 80
- 2) ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2
- 3) การเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^\circ\text{C}$

รูปที่ 4.6 แสดงผิวหน้าตัดของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 300 kg/cm^2 และการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^\circ\text{C}$ โดยใช้อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันทั้งหมด 5 สัดส่วน ประกอบด้วยส่วนผสมในสัดส่วนที่ 100:00 (B1), 80: 20 (B2), 60: 40 (B3), 40: 60 (B4) และ 20: 80 (B5) จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า และยังพบว่า มีการกระจายตัวของอะลูมินาที่ไม่สม่ำเสมอกล่าวคือ ได้ทำการจับตัวรวมกันเป็นก้อนเม็ดเล็กๆสีขาว กระจายโดยทั่วบริเวณผิวของชิ้นงานทดสอบ พิจารณาจากจุดบกพร่องของการกระจายตัวของอะลูมินาทั่วบริเวณผิวหน้าตัดและส่วนบริเวณส่วนอื่นๆของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ สันนิษฐานจากขั้นตอนในกระบวนการผสมของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.10 คาดว่าอุณหภูมิและความชื้นซึ่งมีส่วนทำให้เม็ดของอะลูมินาเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆกระจายทั่วบริเวณผิวของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบด้วยปริมาณพื้นที่ของการกระจายตัวของอะลูมินาที่ไม่สม่ำเสมอเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบมีปริมาณเพียงเล็กน้อย

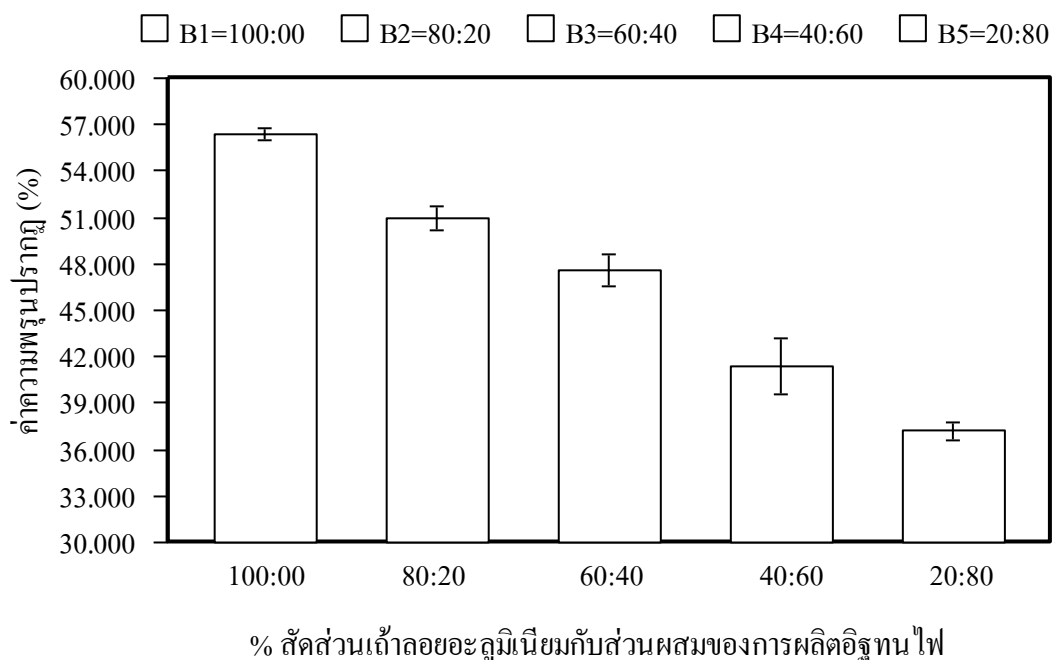


รูปที่ 4.6 ผิวหน้าตัดของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 และการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^\circ\text{C}$ โดยใช้อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน ทั้งหมด 5 สัดส่วน ได้แก่ 100:00 (B1), 80: 20 (B2), 60: 40 (B3), 40: 60 (B4) และ 20: 80 (B5) จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงด้วยกำลังขยาย 50 เท่า



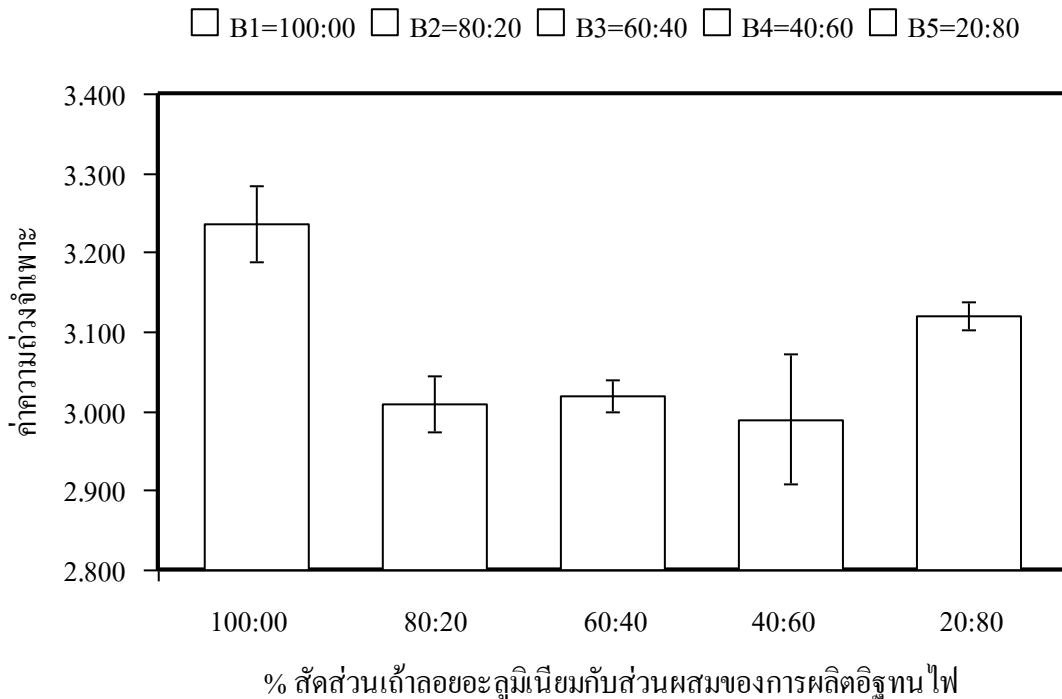
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm²

จากรูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่มี ปริมาณสัดส่วนของถั่วลยอะลูมิเนียมแตกต่างกันด้วยขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 300 kg/cm² และการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 °C พบว่า แนวโน้มค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ กล่าวคือ มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟในสัดส่วนต่างๆของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ค่าความหนาแน่นสูงสุด คือ 1.96g/cm³ ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 เนื่องด้วยปริมาณสัดส่วนของถั่วลยอะลูมิเนียมลดลงแต่กลับกัน ปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นสูงสุด การเพิ่มค่าความหนาแน่นของชิ้นงานเมื่อปริมาณถั่วลยอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้นคาดว่า เกิดจากการเรียงตัวของเม็ดแกรนยัดเกาะแน่นอย่างเป็นระเบียบมากขึ้นส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีอยู่ 80% ดังแสดงในรูปที่ 4.6(จ) สัดส่วนนี้มีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร้อนที่ 45 μm คาดว่าทำให้ขนาดอนุภาคที่เล็กสามารถเข้าไปแทรกตัวในระหว่างช่องว่างของเม็ดถั่วลยอะลูมิเนียมที่มีขนาดใหญ่กว่า ทำให้มีการเรียงตัวของเม็ดแกรนเป็นไปอย่างมีระเบียบเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 B3 และB2 มีค่าความหนาแน่นลดลงตามลำดับ ค่าความหนาแน่นต่ำสุด คือ 1.41 g/cm³ ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน100:00 สาเหตุคาดว่าส่วนผสมของ B1 มีปริมาณของสัดส่วนของถั่วลยอะลูมิเนียม 100% ซึ่งถั่วลยอะลูมิเนียม Mesh No.50 ที่ขนาดอนุภาคที่ใหญ่มีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร้อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm



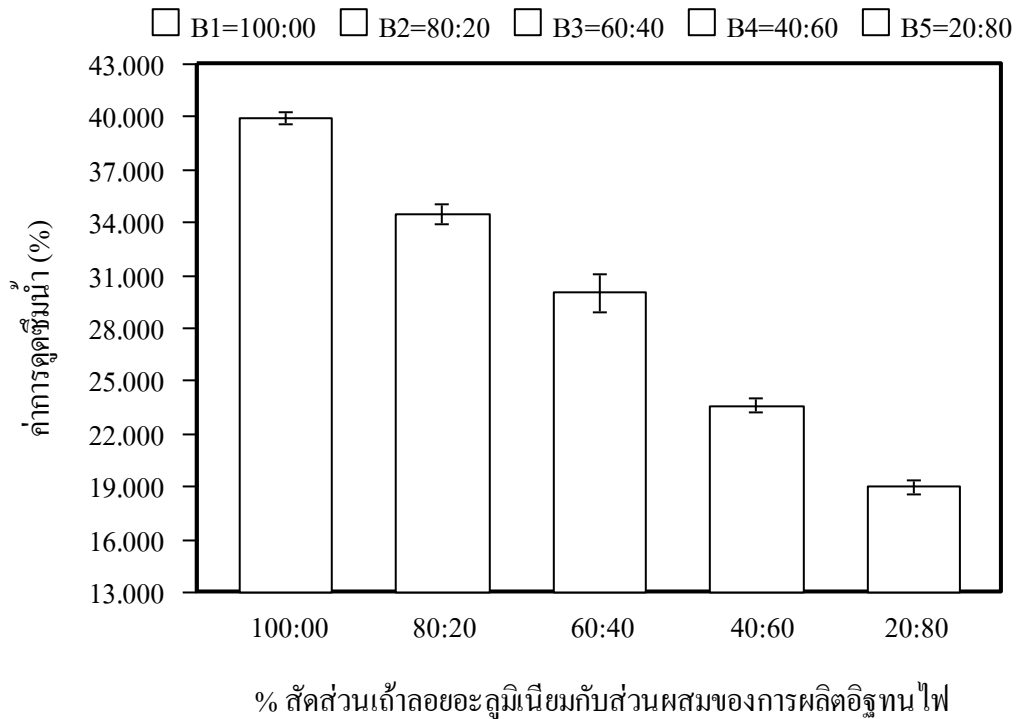
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm²

จากรูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบของค่าความพรุนปรากฏพบว่า ค่าความพรุนปรากฏมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสัดส่วนของเถ้าลอยอะลูมิเนียม ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 มีค่าความพรุนปรากฏสูงสุด คือ 56.37% กล่าวคือ ปริมาณสัดส่วนมีแต่เถ้าลอยอะลูมิเนียม 100% เนื่องด้วยขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ Mesh No.50 ซึ่งมีขนาดของอนุภาคที่เล็กและใหญ่ไม่เท่ากันปะปนอยู่ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเม็ดแกรนดังแสดงในรูปที่ 4.6 (จ) โดยมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm และการอัดขึ้นรูปด้วยแรงดันต่ำที่ 300 kg/cm² ทำให้เกิดความพรุนสูงที่สุด ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2, B3, B4 และ B5 พบว่า มีค่าความพรุนปรากฏลดลงตามลำดับค่าว่า ปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มขึ้นผสมเข้ากับเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่มีปริมาณลดลงตามสัดส่วนต่างๆ เม็ดแกรนที่ขนาดแตกต่างกันทำให้มีการเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ข)-(ค)-(ง) ค่าความพรุนปรากฏต่ำสุด คือ 37.20% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 พบว่า มีปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีอยู่ถึง 80% มีขนาดอนุภาคที่เล็กมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนที่ 45 μm ซึ่งมีปริมาณมากพอที่เข้าไปแทนที่ระหว่างช่องว่างของเม็ดเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่มีเพียง 20% ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (จ)โดยที่มีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm เรียงตัวกันเป็นระเบียบมากขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้นแต่ค่าความพรุนปรากฏลดน้อยลง [9]



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm²

จากรูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบของค่าความถ่วงจำเพาะที่ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm² พบว่า มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่าความถ่วงจำเพาะที่ไม่สม่ำเสมอเกินคาดว่า เกิดจากอนุกรมการหลอมเหลวที่ไม่สมบูรณ์ของธาตุต่างๆ บริเวณภายในเนื้อของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ โดยเวลาที่ใช้ในการเผาชิ้นงานและปริมาณของถ้ำลยอะลูมิเนียมสัดส่วนที่ต่างกันทำให้เกิดค่าความหนาแน่นตกค้างภายในเนื้อของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ [2] และได้แสดงค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุด คือ 3.24 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 แสดงในรูปที่ 4.6 (ก) เมื่อเพิ่มปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟตามสัดส่วนตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของ B2, B3, B4 และ B5 พบว่า มีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นและลดลงที่ค่าแตกต่างกัน ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2 และ B4 ในสัดส่วน 80:20 และ 40:60 ที่มีปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟใกล้เคียงกันทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าที่แตกต่างกันในแต่ละสัดส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ข)-(ค)-(ง) และ (จ) แสดงค่าความถ่วงจำเพาะต่ำสุด คือ 2.99 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 ในสัดส่วน 40:60 ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (จ)

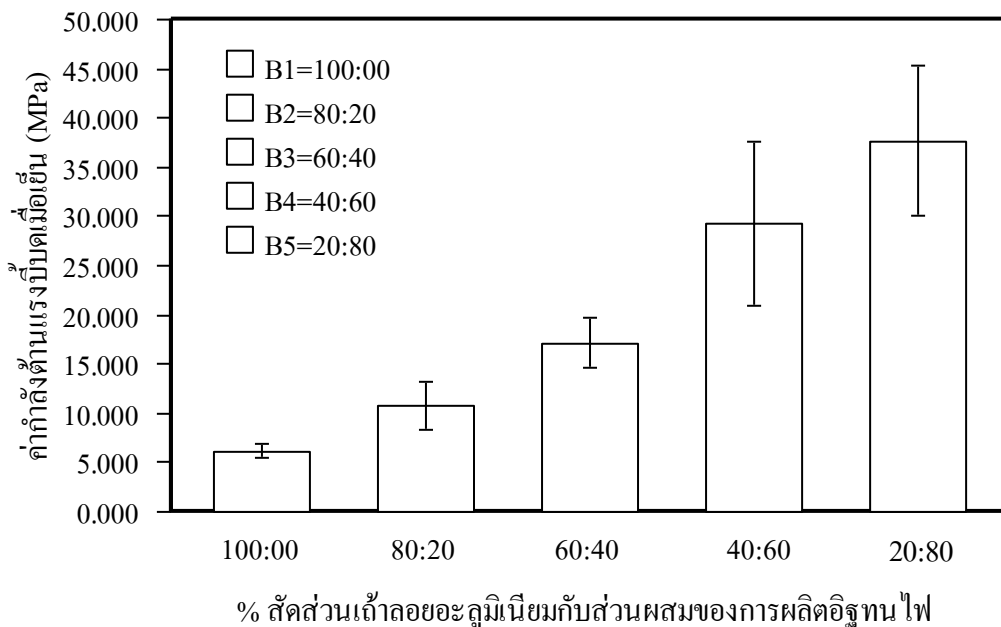


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm²

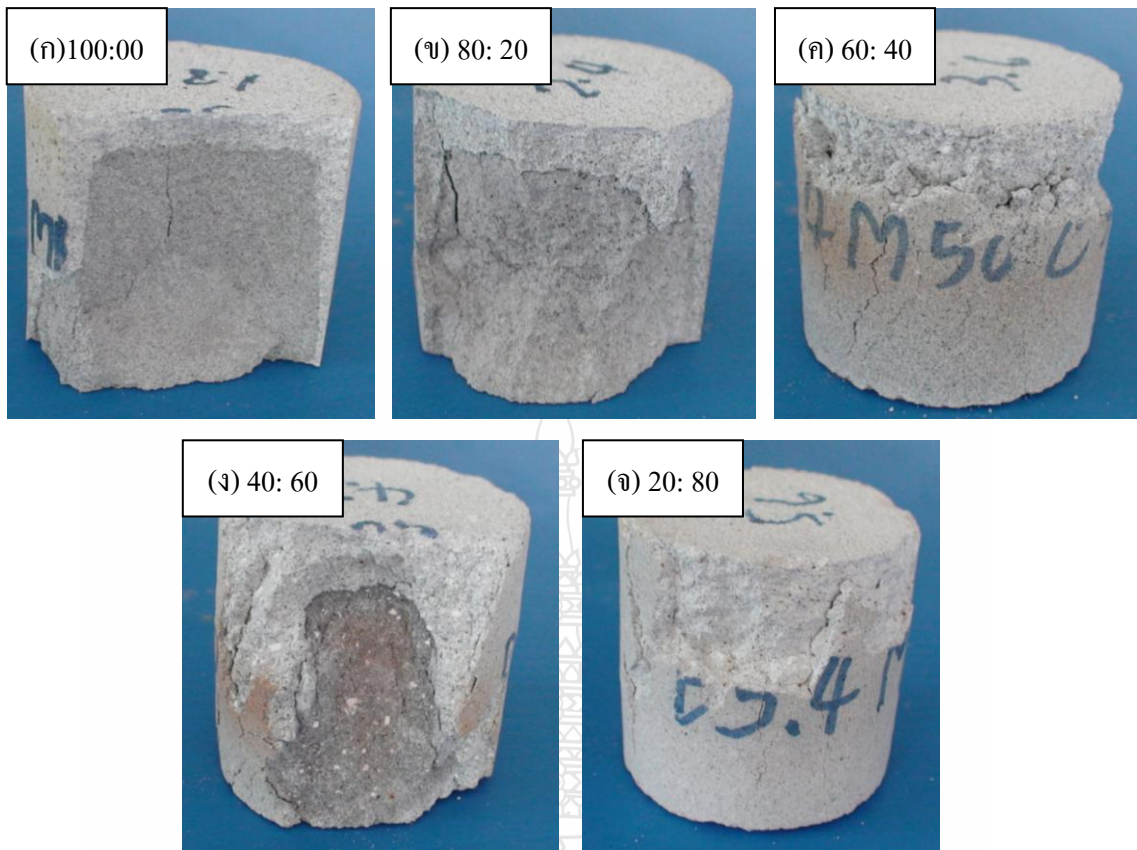
จากรูปที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบของค่าการดูดซึมน้ำพบว่า ค่าการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณอัตราส่วนผสมในสัดส่วนต่างๆของชิ้น ทดสอบกล่าวคือ เมื่อค่าของความพรุนปรากฏมีค่าสูงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าสูงตามไปด้วยเนื่องจาก น้ำสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างของรูพรุนได้มากขึ้น [9] และแสดงค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดที่ 39.95% พบได้ที่ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 ซึ่งมีปริมาณของถั่วลยอะลูมิเนียม 100% กล่าวคือ ถั่วลยอะลูมิเนียม Mesh No.50 ที่ขนาดอนุภาคที่ใหญ่และมีขนาดช่องเปิดของรูกระรอนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ก) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของ B2, B3, B4 และ B5 พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลงตามปริมาณของถั่วลยอะลูมิเนียมแต่ปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟมากขึ้น ทำให้มีค่าความหนาแน่นสูงทำให้น้ำสามารถไหลซึมผ่านเข้ามาแทนที่ได้ไม่ดี [9] พบว่า มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอการเรียงตัวของเม็ดเกรนที่เป็นระเบียบมากขึ้นเนื่องด้วยอัตราส่วนผสมที่สัดส่วนต่างกั ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ข)-(ค)-(ง) และได้แสดงค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด คือ 18.97% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (จ)

ผลการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคเมื่อเย็นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนต่างกั ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่า แนวโน้มของค่ากำลังต้านแรงบีบคเมื่อเย็นมีรูปแบบลักษณะเดียวกันกับ ค่าความหนาแน่น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 กล่าวคือ เมื่อค่าความหนาแน่นสูงค่ากำลังต้านแรง

บีดเมื่อเย็นก็สูงตามไปด้วย [9] จากผลทดสอบพบว่า ปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนที่ต่างกันทำให้ค่ากำลังต้านแรงบีดเมื่อเย็นสูงขึ้นตามลำดับด้วย โดยแสดงค่ากำลังต้านแรงบีดเมื่อเย็นสูงสุด คือ 31.40 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 ขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.50 ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm เนื่องด้วยปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีอยู่ 80% โดยมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนที่ 45 μm ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กสามารถเข้าไปแทรกตัวในระหว่างช่องว่างของเม็ดเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่มีขนาดใหญ่ที่มีอยู่เพียง 20% ดังนั้นการเรียงตัวของเม็ดเกรนเป็นระเบียบสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นทำให้ค่ากำลังต้านแรงบีดเมื่อเย็นมีค่าสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (จ) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 และ B1 ในสัดส่วน 40:60, 60:40, 80:20 และ 100:00 ตามลำดับ มีค่ากำลังต้านแรงบีดเมื่อเย็นลดลงต่อเนื่องตามปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟการอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ง)-(ค)-(ข)-(ก) และแสดงค่ากำลังต้านแรงบีดเมื่อเย็นต่ำสุด คือ 6.11 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 สัดส่วนที่ 100:00 พบว่า มีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียม 100% กล่าวคือ ด้วยขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ของ Mesh No.50 ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm การเรียงตัวของเม็ดเถ้าลอยอะลูมิเนียมจึงไม่สม่ำเสมอและการใช้ความดันในการอัดขึ้นรูปต่ำที่ 300 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ก) ทำให้เถ้าลอยอะลูมิเนียมมีค่าความเป็นรูพรุนสูง ค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้นด้วยแต่ค่าความหนาแน่นต่ำส่งผลให้ค่ากำลังต้านแรงบีดเมื่อเย็นต่ำลง [9]



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีดเมื่อเย็นกับตัวอย่างชิ้นงานที่สัดส่วนต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2



รูปที่ 4.12 ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^\circ\text{C}$

สภาพความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานหลังการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้อุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^\circ\text{C}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 พบว่า ความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในแต่ละสัดส่วนแตกต่างกันออกไป คือ รูปที่ 4.12 (ก) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 เกิดการเสียหายจากการยุบตัวบริเวณรอบๆพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ซึ่งใช้แรงกดที่น้อยมาก เนื่องจากตัวอย่างชิ้นงานมีขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.50 ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง $300\text{-}150 \text{ }\mu\text{m}$ มีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมทั้งหมด 100% รูปที่ 4.12 (ข) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2 ในสัดส่วน 80:20 พบว่า รอยความเสียหายเกิดขึ้นบริเวณขอบด้านบนเหมือนเดิม แต่การแตกมีการยุบตัวน้อยลง เริ่มมีการแตกออกด้านข้างเนื่องด้วยมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจากปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่ผสมเข้าไป รูปที่ 4.12 (ค) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B3 ในสัดส่วน 60:40 พบว่า มีการเสียหายของชิ้นงานแบ่งออกเป็นสองเฟส กล่าวคือ ปริมาณอัตราส่วนผสมในสัดส่วนใกล้เคียงกันที่ 60:40 ซึ่งมีเถ้าลอยอะลูมิเนียมผสมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟรอยแตกเริ่มจากการยุบตัวเนื่องจาก การรับแรงกดโดยบริเวณผิวรอบ

นอกเริ่มมีรอยแตกก่อนถึงเนื้อภายในชิ้นงาน รูปที่ 4.12 (ง) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 ในสัดส่วน 40:60 พบว่า จากปริมาณอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันซึ่งมีเถ้าลอยอะลูมิเนียมน้อยกว่าผสมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ ภายในเนื้อของชิ้นงานแบ่งออกเป็นสองเฟสโดยชัดเจน สังเกตพบเนื้อชิ้นงานแบ่งเป็นสองชั้นเกิดจากหลอมเหลวของธาตุต่างๆที่จุดหลอมเหลวต่างกัน [3] การเสียหายพบรอยแตกจากบริเวณผิวชั้นนอกก่อนแล้วจึงเข้าถึงผิวชั้นในการรับแรงกดจึงมีอยู่สองช่วงทำให้มีค่าแรงกดเพิ่มที่สูงขึ้น รูปที่ 4.12 (จ) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 พบว่า ตัวอย่างชิ้นงานมีค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นสูงสุดกล่าวคือ ด้วยปริมาณของอัตราส่วนผสมประกอบด้วย เถ้าลอยอะลูมิเนียมร้อยละ 20% ผสมส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มากที่สุดถึง 80% พบรอยแตกไม่มีการแยกของเฟสเกิดขึ้นการเสียหายเริ่มจากการยุบตัวของชิ้นงานพบว่า มีการยุบตัวของชิ้นงานน้อยมากสังเกตพบว่าเมื่อชิ้นงานเริ่มต้านแรงกดไม่ได้จะมีเสียงของการแตกดังขึ้นและพบรอยแตกเป็นร่องยาวผ่าจากผิวชั้นนอกถึงผิวชั้นในเกิดจากตัวอย่างชิ้นงานทดสอบมีค่าความหนาแน่นสูงกล่าวคือ การเพิ่มปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟมากขึ้นค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นยิ่งเพิ่มสูงขึ้น

4.6.3 อิทธิพลขนาดอนุภาคของ Mesh No. 50 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 และการเผาอุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^\circ\text{C}$ ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐทนไฟ ตัวแปรการผลิตที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย

- 1) อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันที่ 100: 00, 80: 20, 60: 40, 40: 60 และ 20: 80
- 2) ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2
- 3) การเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^\circ\text{C}$

รูปที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบค่าความหนาแน่นที่อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัขนาดอนุภาค Mesh No.50 ผ่านการอัดขึ้นรูปความดันที่ 350 kg/cm^2 และการเผาโดยใช้อุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^\circ\text{C}$ ในรูปที่ 4.13 ได้นำชิ้นงานทั้งหมดมาทำการเตรียมการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นพบว่า แนวโน้มค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าลอยอะลูมิเนียมลดลง กล่าวคือ มีค่าความดันเพิ่มขึ้นของการอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 350 kg/cm^2 และการเพิ่มของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟตามปริมาณของสัดส่วนต่างๆของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบทำให้ค่าความหนาแน่นสูงขึ้นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 และ B5 โดยค่าความหนาแน่นสูงสุด คือ 1.98 g/cm^3 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วนที่ 20:80 เนื่องด้วยปริมาณสัดส่วนของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ลดลงแต่กลับกันปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมในสัดส่วนของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 300 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (จ) ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 และ B1 พบว่า มีค่าความหนาแน่นลดลงตามลำดับคล้ายกับค่าความหนาแน่นดังรูปที่ 4.7 พบค่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น กล่าวคือ การใช้

ความดันที่สูงและปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่น้อยลงค่าความหนาแน่นลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ง)-(ค)-(ข)-(ก) และได้แสดงค่าความหนาแน่นต่ำสุด คือ 1.65 g/cm^3 ที่ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของ B1 ในสัดส่วน 100:00 เนื่องจากมีปริมาณของสัดส่วนของถ้ำลอยอะลูมิเนียม 100% ซึ่งถ้ำลอยอะลูมิเนียม Mesh No.50 ที่ขนาดอนุภาคที่ใหญ่ การเรียงตัวของเม็ดถ้ำลอยอะลูมิเนียมไม่สม่ำเสมอเป็นระเบียบทำให้มีค่าความหนาแน่นต่ำสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก)

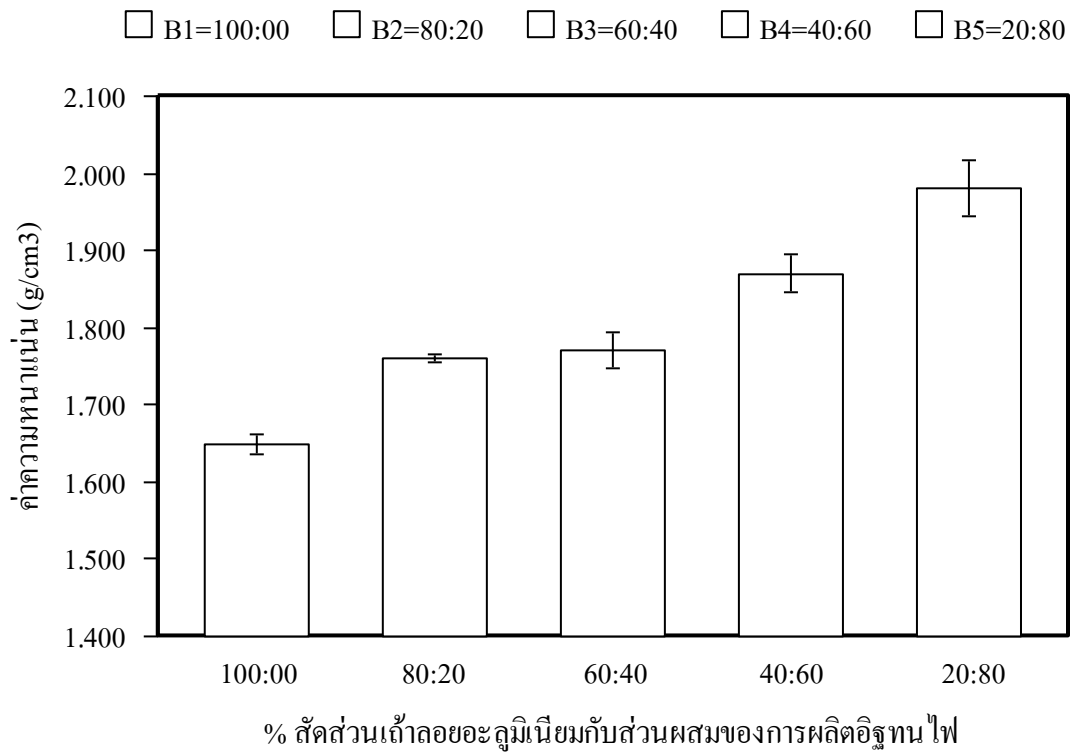


B4M50C350

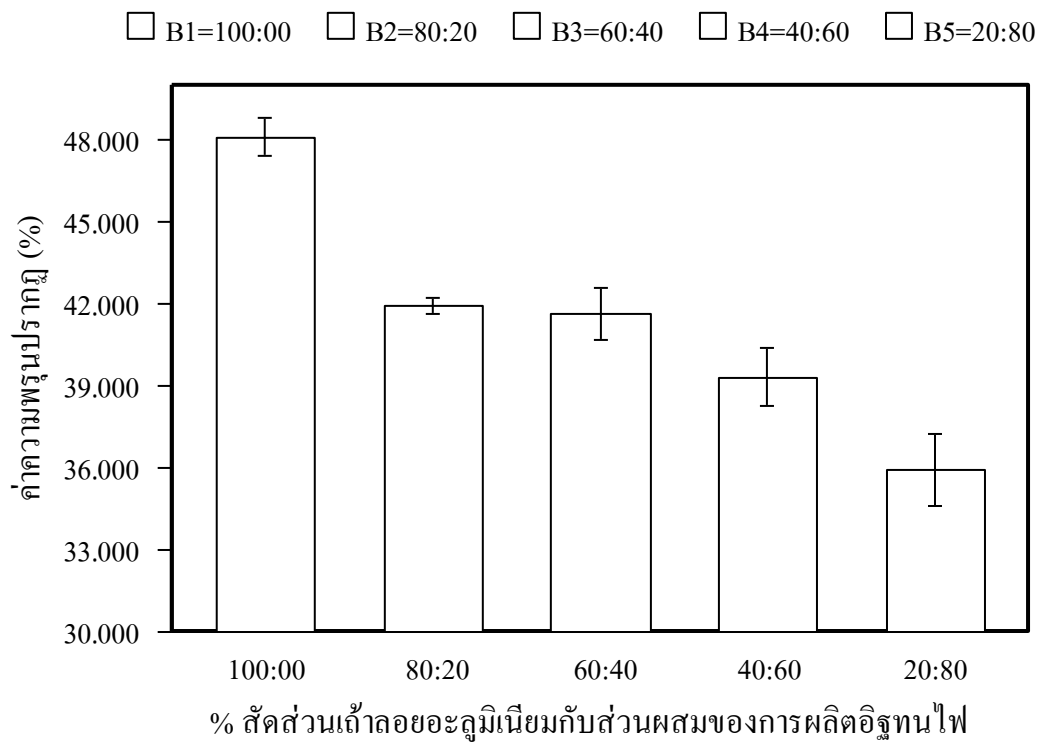


B4M50C350



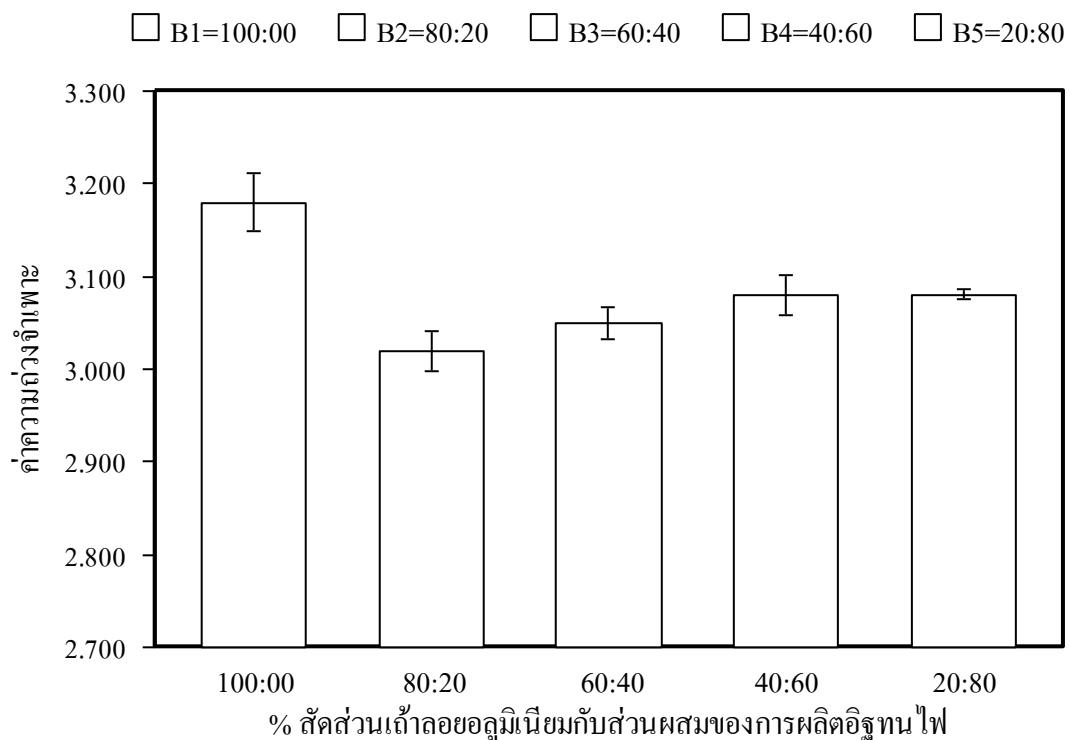


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm²



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm²

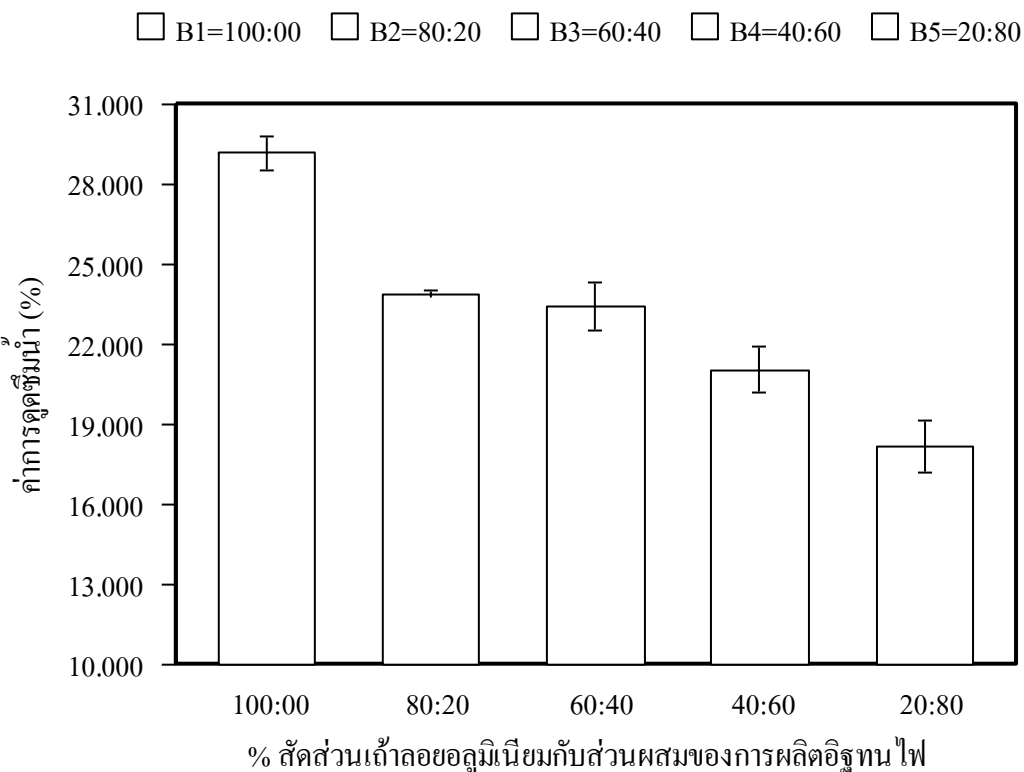
ผลการทดสอบค่าความพรุนปรากฏ ดังแสดงในรูปที่ 4.15 พบว่า แนวโน้มของค่าความพรุนปรากฏลดลงมากกว่าความพรุนปรากฏในรูปที่ 4.8 กล่าวคือ การใช้แรงดันในการอัดขึ้นรูปที่สูงขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นแต่ค่าความพรุนปรากฏลดน้อยลง [9] ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1และB5 และแสดงค่าความพรุนปรากฏสูงสุด คือ 48.13% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 ซึ่งมีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก) เมื่อปริมาณเถ้าลอยอะลูมิเนียมลดลงตามสัดส่วนต่างๆทำให้ค่าความพรุนปรากฏของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2 และB5 ลดลง โดยมีการกระจายตัวของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่สม่ำเสมอด้วยปริมาณส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก)-(ค)-(ง)-(จ) ค่าความพรุนปรากฏต่ำสุด คือ 35.90% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 พบว่า มีปริมาณสัดส่วนของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่มีเพียง 20% และความดันในการอัดขึ้นรูปสูงที่ 350 kg/cm² ทำให้ค่าความพรุนปรากฏลดลง



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm²

จากรูปที่ 4.16 แสดงผลการทดสอบของค่าความถ่วงจำเพาะพบว่า มีค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความถ่วงจำเพาะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.9 ที่แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปด้วยแรงกด 300 kg/cm² กล่าวคือ การใช้ความดันของการอัดขึ้นรูปสูงที่ 350 kg/cm² ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะลดลงของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1และB5 โดยค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุด คือ 3.18

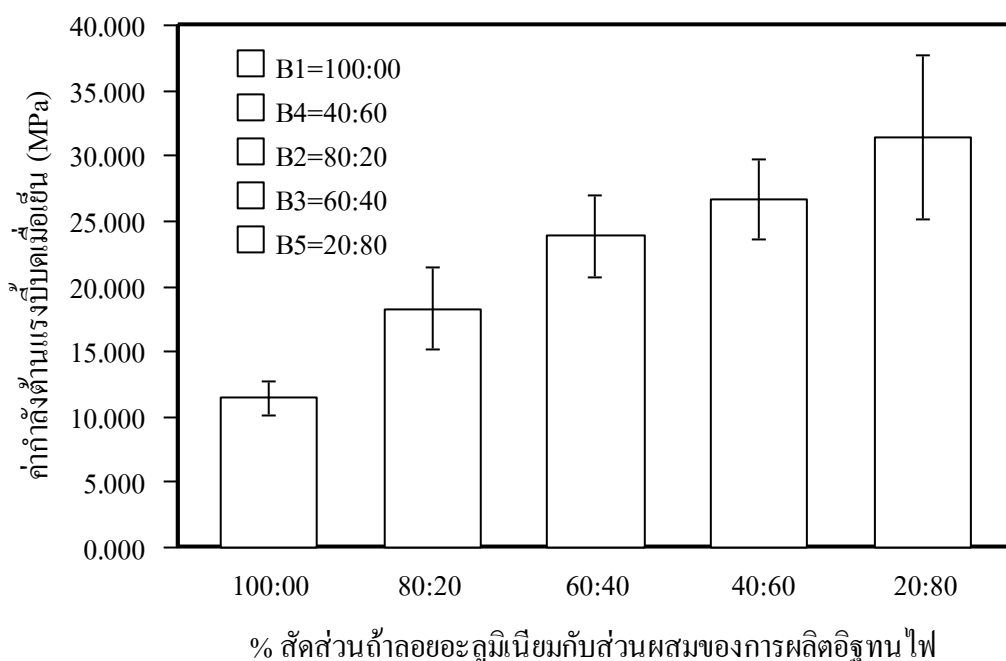
ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 กล่าวคือ B1 มีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมทั้งหมด 100% มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดและความเป็นรูพรุนสูงทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะสูงขึ้น [9] ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของ B3, B4 และ B5 มีค่าความถ่วงจำเพาะลดลงที่ค่าแตกต่างกันพบว่า มีอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันของปริมาณเถ้าลอยอะลูมิเนียมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ข)-(ค)-(ง)-(จ) และแสดงค่าความถ่วงจำเพาะต่ำสุด คือ 3.02 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2 ในสัดส่วน 80:20 ทำให้ได้มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำสุด



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm²

จากรูปที่ 4.17 แสดงผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำพบว่า แนวโน้มของค่าการดูดซึมน้ำมีรูปแบบลักษณะเดียวกันกับค่าของการดูดซึมน้ำของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm² ดังแสดงในรูปที่ 4.10 แต่ค่าการดูดซึมน้ำของความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm² นั้นมีแนวโน้มการลดลงมากกว่ากล่าวคือด้วยขนาดอนุภาคที่ใหญ่มีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm ค่าความดันของการอัดขึ้นรูปที่สูงทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ข)-(ค)-(ง)-(จ) และแสดงค่าการดูดซึมน้ำสูงสุด คือ 29.17% ที่ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 ซึ่งมีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียม 100% และเนื่องจากเถ้าลอยอะลูมิเนียมมีความหนาแน่นต่ำและมีค่าความเป็นรูพรุนสูง ทำให้น้ำสามารถไหล

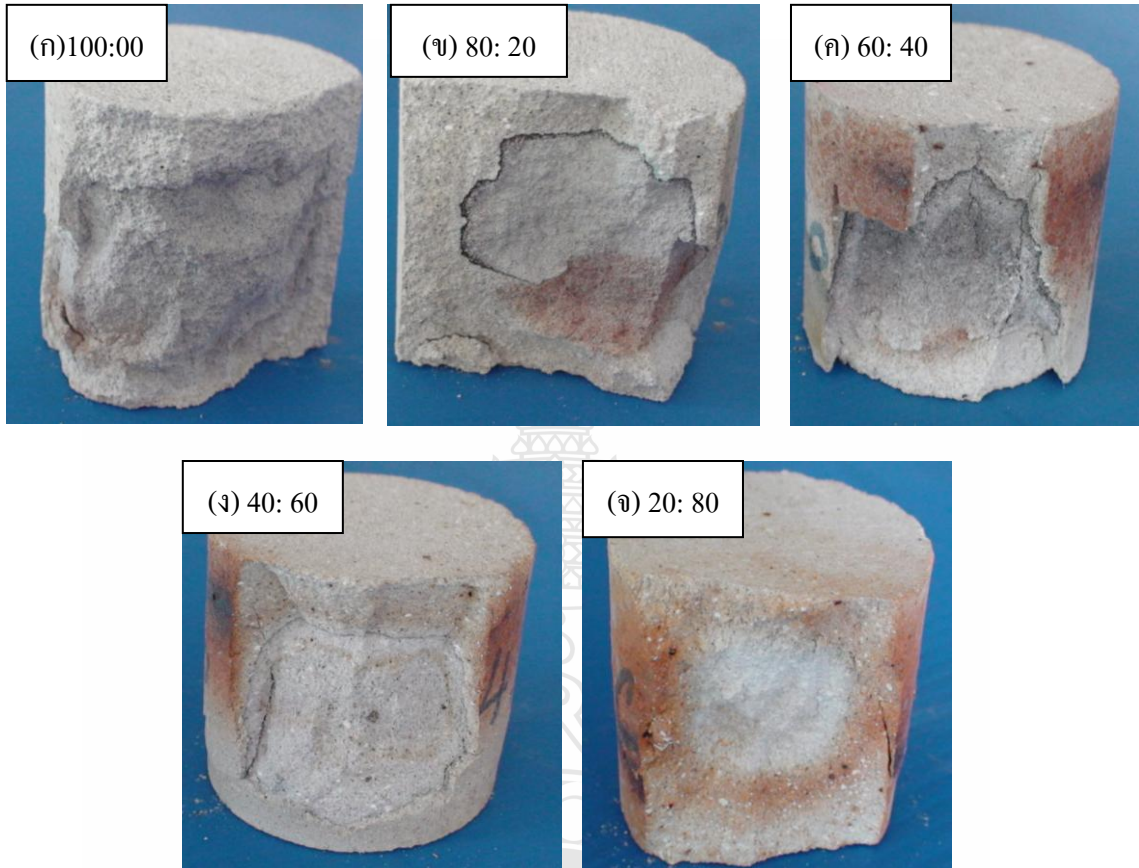
ซึมผ่านเข้ามาแทนที่ได้ง่าย [9] ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก) ค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด คือ 18.17% อยู่ที่ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 พบว่า ขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.50 ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm เนื่องจาก ปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีอยู่ 80% โดยมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนที่ 45 μm ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กสามารถเข้าไปแทรกตัวในระหว่างช่องว่างของเม็ดถ่านล้อยอะลูมิเนียมที่มีขนาดใหญ่ที่มีอยู่เพียง 20% ดังนั้นการเรียงตัวของเม็ดเกรนเป็นระเบียบสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (จ) และการอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่สูงขึ้นทำให้เกิดค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำลง [9]



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นกับตัวอย่างชิ้นงานที่สัดส่วนต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2

จากรูปที่ 4.18 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นพบว่า แนวโน้มของค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นมีรูปแบบลักษณะเดียวกันกับชิ้นงานใช้ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.12 แต่ค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นของการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เกิดจากการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นคาดว่า เมื่อเพิ่มความดันของการอัดขึ้นรูปที่สูงขึ้น ทำให้มีความหนาแน่นสูงค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นก็สูงตามไปด้วย [9] จากผลการทดสอบพบว่า ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 และ B5 ที่ปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มขึ้นตามส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและความดันของการอัดขึ้นรูปที่สูงที่ 350 kg/cm^2 ขึ้นทำให้ค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นสูงขึ้นตามสัดส่วนต่างๆ และได้แสดงค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นต่ำสุด คือ

11.44 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วนที่ 100:00 และแสดงค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อ
เย็นสูงสุด คือ 31.40 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 ด้วยขนาดของอนุภาคที่
Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 และการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4.19 ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น
ของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 อัตราส่วนผสม
ในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^{\circ}\text{C}$

ผลการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นจากรูปที่ 4.19 พบว่า ความเสียหายของ
ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในแต่ละสัดส่วนแตกต่างกันมีลักษณะคล้ายกับความเสียหายของตัวอย่าง
ชิ้นงานทดสอบดังรูปที่ 4.11 โดยสามารถแบ่งความเสียหายของชิ้นงานออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ 1
ในรูปที่ 4.19 (ก)-(ข) และ(จ) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1, B2 และ B5 ในสัดส่วนที่ 100:00, 80:20
และ 20:80 ตามลำดับ กล่าวคือ เกิดการเสียหายโดยแบ่งออกเป็นเฟสเดียวประกอบด้วยอัตรา
ส่วนผสมในสัดส่วนใกล้เคียงกันจากผลการทดสอบพบมีลักษณะการเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานเป็น
เนื้อเดียวกันการแตกเริ่มจากการยุบตัวและแตกตามบริเวณขอบด้านข้างของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ
กลุ่มที่ 2 ในรูปที่ 4.19 (ค)และ(ง) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B3 และ B4 ในสัดส่วนที่ 60:40 และ 40:60

พบว่า มีความเสียหายของการแตกแบ่งออกเป็นสองเฟสลักษณะเป็นสองชั้นมีสีแตกต่างกันและมีการรวมตัวยึดเกาะกันเป็นสองส่วนคือส่วนภายนอกกับส่วนภายใน การแตกของชิ้นงานจะเริ่มจากส่วนภายนอกก่อนเสมอ ค่าความแข็งแรงขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟในสัดส่วนต่างๆ

4.6.4 อิทธิพลขนาดอนุภาคของ Mesh No. 100 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 และการเผาอุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$ ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐทนไฟ ตัวแปรการผลิตที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย

- 1) อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันที่ 100:00, 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80
- 2) ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2
- 3) การเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$

ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ด้วยอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันที่ผ่านการอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 300 kg/cm^2 และการเผาโดยใช้อุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.20 นำมาทำการเตรียมทดสอบสมบัติทางกายภาพ ดังแสดงในรูปที่ 4.21 แสดงผลการทดสอบค่าความหนาแน่นพบว่า แนวโน้มของค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นคล้ายกับค่าความหนาแน่นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.7 โดยมีค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงเล็กน้อย กล่าวคือ การใช้เถ้าลอยอะลูมิเนียมขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.100 มีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง $150-0.1 \mu\text{m}$ การอัดขึ้นรูปเท่ากันด้วยความดันที่ 300 kg/cm^2 และการเพิ่มของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟตามปริมาณของสัดส่วนต่างๆของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ก)-(ข)-(ค)-(ง)และ(จ) โดยแสดงค่าความหนาแน่นสูงสุด คือ 1.90 g/cm^3 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 กล่าวคือ ด้วยปริมาณสัดส่วนของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ลดลงแต่ปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นลดลงกว่าการใช้ขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.50 ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง $300-150 \mu\text{m}$ กล่าวคือ ขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.100 ซึ่งมีขนาดของอนุภาคค่าความละเอียดมากขึ้นทำให้การยึดเกาะตัวไม่ดีเท่ากับขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.50 ที่มีขนาดของอนุภาคความละเอียดน้อยกว่าดังแสดงในรูปที่ 4.20 (จ) จากปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่ลดลงตามปริมาณสัดส่วนต่างๆทำให้ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 และ B1 พบมีค่าความหนาแน่นลดลง โดยมีค่าความหนาแน่นลดลงเล็กน้อยเนื่องด้วยขนาดของอนุภาคที่ใช้และปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่น้อยลงทำให้ค่าความหนาแน่นลดลงด้วย โดยมีค่าความหนาแน่นต่ำสุด คือ 1.36 g/cm^3 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00

(η) 100: 00

B4M50C350

(υ) 80: 20

B4M50C350

(η) 60: 40

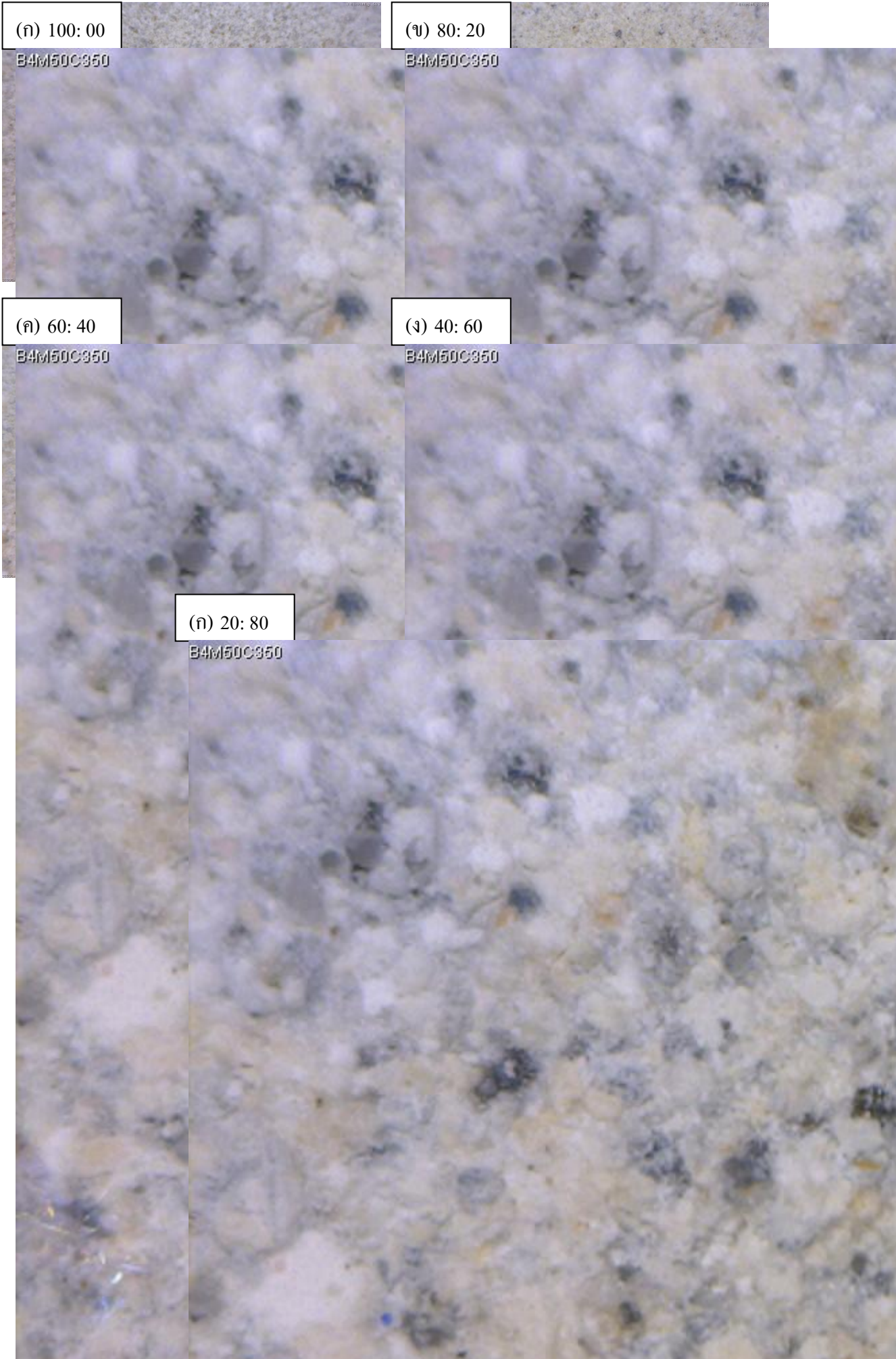
B4M50C350

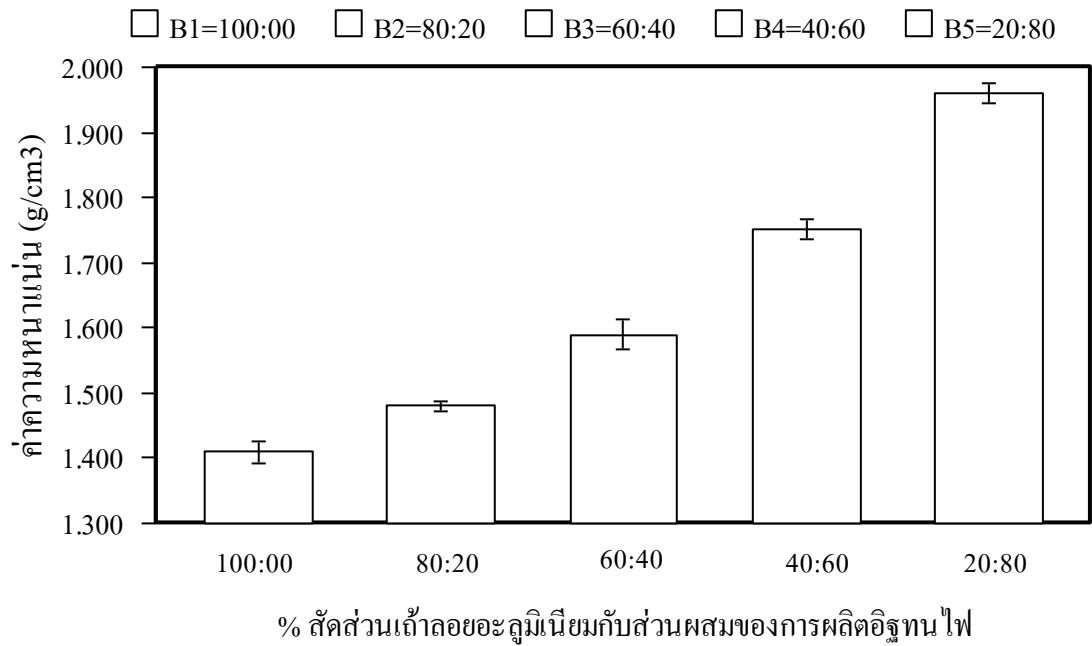
(ζ) 40: 60

B4M50C350

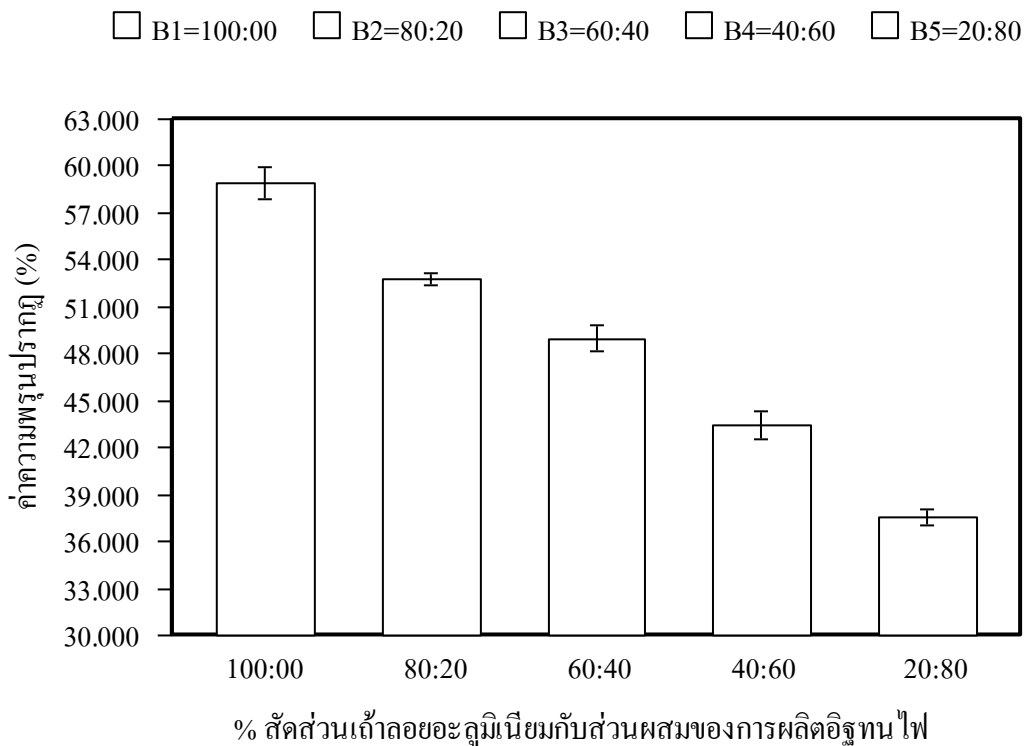
(η) 20: 80

B4M50C350



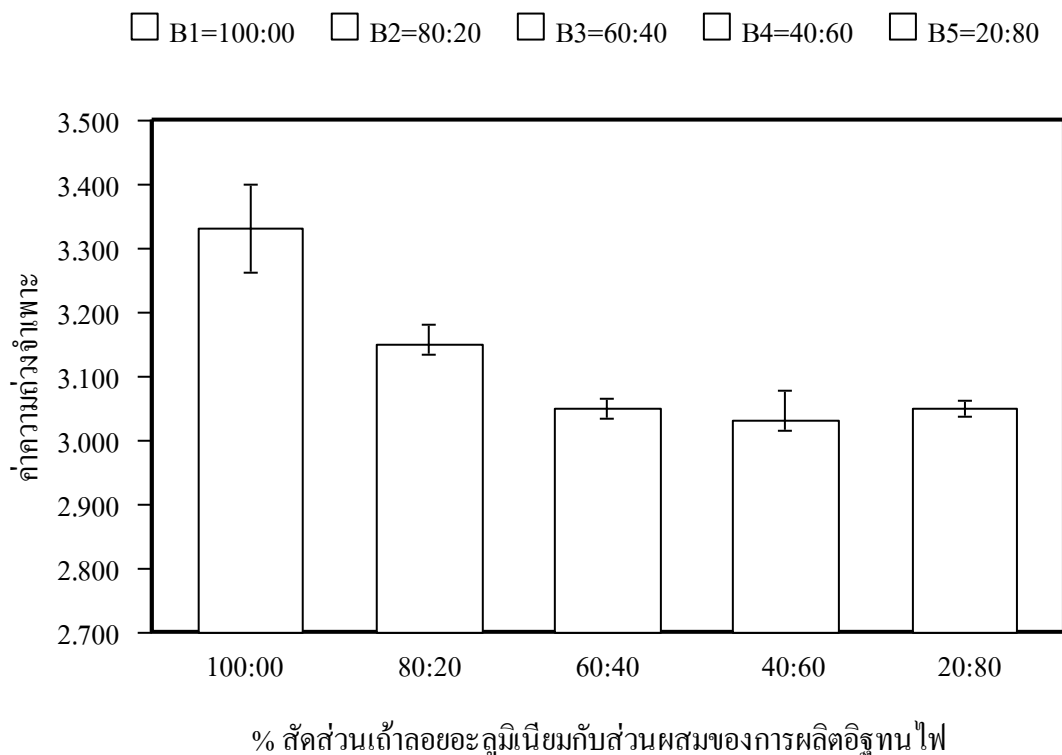


รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm²



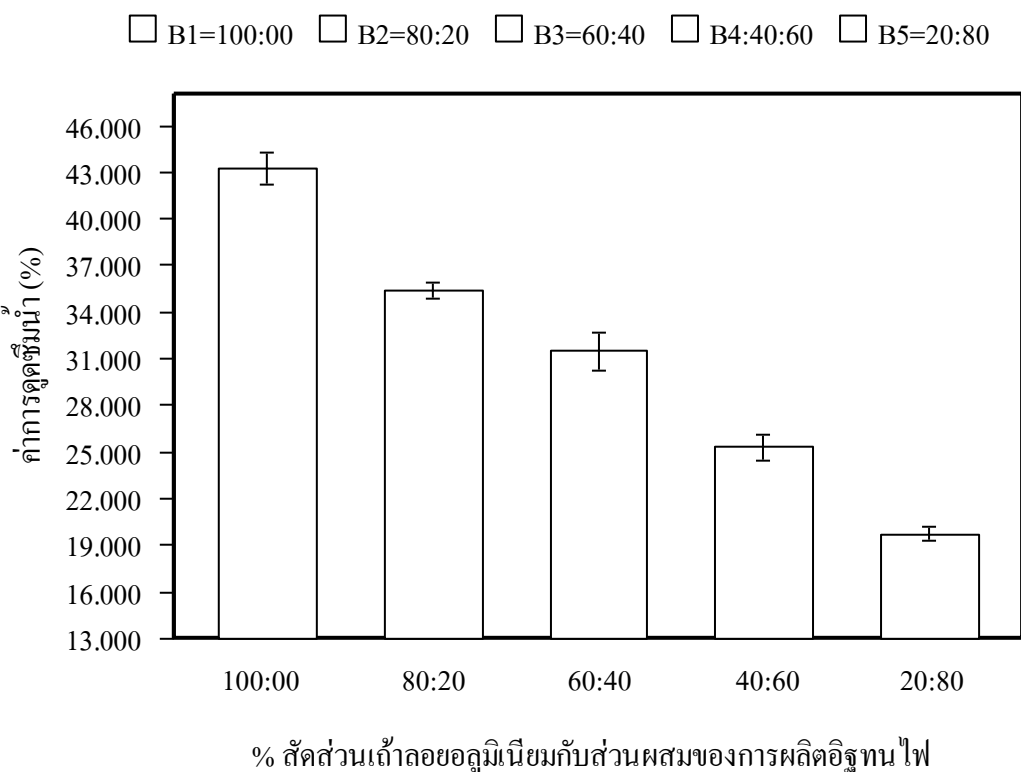
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm²

ข้อมูลผลการทดสอบค่าความพรุนปรากฏ ดังแสดงในรูปที่ 4.22 พบว่า แนวนอนมีค่าความพรุนปรากฏลดลงคล้ายกับค่าความพรุนปรากฏที่ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm² ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และแสดงค่าความพรุนปรากฏสูงสุด คือ 58.86% ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 โดยมีค่าความพรุนปรากฏสูงเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ด้วยขนาดอนุภาคของเม็ดล้อยอะลูมิเนียมที่ Mesh No.100 ซึ่งมีขนาดของอนุภาคที่เล็กและการใช้ความดันของการอัดขึ้นรูปต่ำที่ 300 kg/cm² ทำให้ค่าความหนาแน่นต่ำส่งผลให้ค่าความพรุนปรากฏสูงสุด [9] ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ก) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2 และ B5 มีค่าความพรุนปรากฏลดลงตามปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ข)-(ค)-(ง) และ (จ) ค่าความพรุนปรากฏต่ำสุด คือ 37.54% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 พบว่ามีปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีอยู่ถึง 80% มีขนาดอนุภาคที่เล็ก โดยมีขนาดของช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนคือ 45 μm ซึ่งมีปริมาณมากพอที่เข้าไปแทนที่ระหว่างช่องว่างของเม็ดล้อยอะลูมิเนียมที่มีเพียง 20% ซึ่งมีขนาดของอนุภาคที่ใหญ่กว่าโดยมีการรวมตัวยึดเกาะกันระหว่างเม็ดแกรนสมาเสมออย่างเป็นระเบียบส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น แต่ค่าความพรุนปรากฏลดลงต่ำสุด [9] ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (จ)



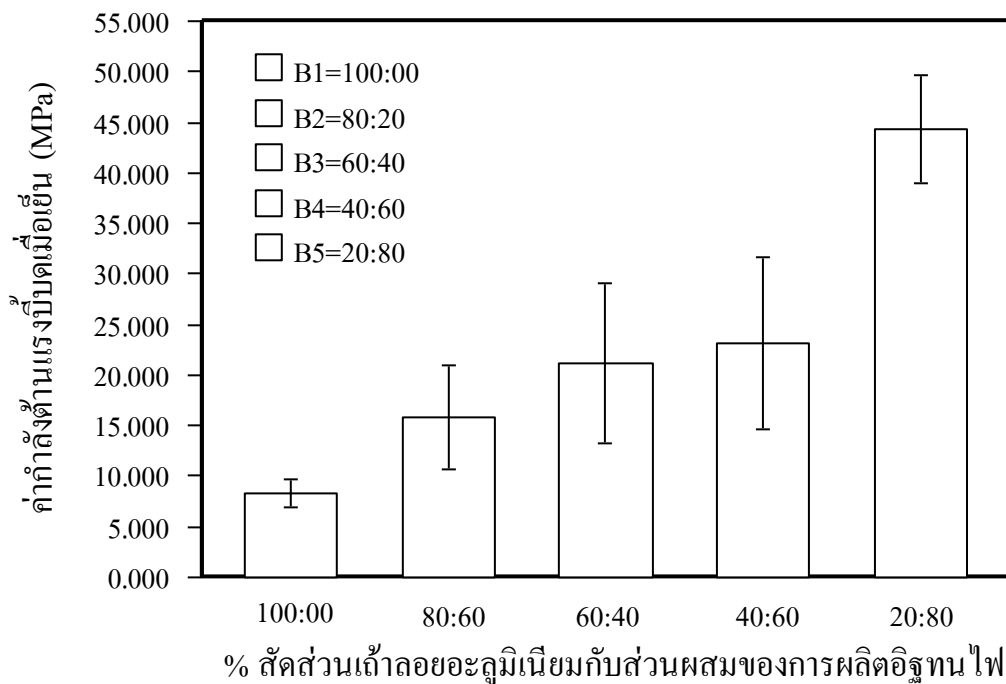
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm²

จากรูปที่ 4.23 แสดงผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะพบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะลดลงที่ค่าต่างกันคล้ายกับค่าความถ่วงจำเพาะขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm² ดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยแสดงค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุด คือ 3.31 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วนที่ 100:00 กล่าวคือ ด้วยมีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียม 100% ขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ Mesh No.100 โดยมีขนาดของอนุภาคที่เล็กทำให้มีค่าของความหนาแน่นต่ำ แต่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูง [9] เมื่อทำการเพิ่มปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟทำให้ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2, B3, B4 และ B5 มีค่าความถ่วงจำเพาะลดลงที่ค่าต่างกันในแต่ละสัดส่วน โดยที่มีปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่แตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 4.23 ค่าความถ่วงจำเพาะต่ำสุด คือ 3.03 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 ในสัดส่วน 40:60 พบว่า ด้วยมีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ 40% และมีปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีอยู่ถึง 60% ซึ่งมีปริมาณสัดส่วนอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันของอัตราส่วนผสมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ช่วงเวลาในการเผาและปริมาณสัดส่วนที่ต่างกันทำให้ ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ง)



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูซึมน้ำกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm²

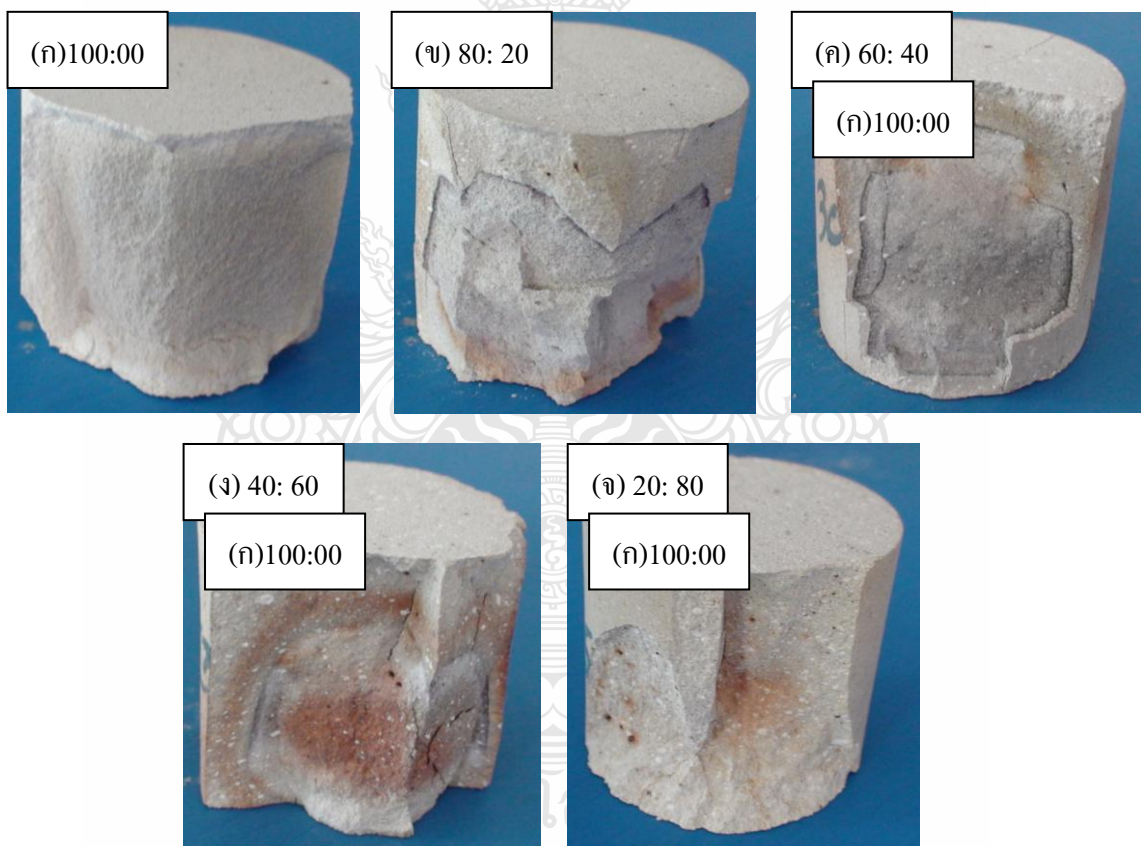
จากรูปที่ 4.24 แสดงผลของการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำพบมีแนวโน้มของค่าการดูดซึมน้ำมีรูปแบบลักษณะเดียวกันกับค่าการดูดซึมน้ำที่ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ใช้ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าด้วยขนาดอนุภาคของถ้ำลอยอะลูมิเนียมที่ Mesh No.100 ซึ่งมีขนาดของอนุภาคที่เล็กมาก โดยมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง $150-0.1 \mu\text{m}$ การอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 300 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ก)-(ข)-(ค)-(ง)และ(จ) ทำให้เกิดค่าความพรุนปรากฏสูงสุดโดยที่มีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดเช่นกัน [9] เมื่อเพิ่มปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟเพิ่มสูงขึ้นตามสัดส่วนต่างๆพบว่า ทำให้เกิดค่าการดูดซึมน้ำต่ำลงของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2 และB5 และได้แสดงค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดคือ 43.24% ที่ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1ในสัดส่วนที่ 100:00 และค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุดคือ 19.74% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วนที่ 20:80 การอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 300 kg/cm^2



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นกับตัวอย่างชิ้นงานที่สัดส่วนต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2

ผลการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นพบว่า แนวโน้มของค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นมีรูปแบบลักษณะเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.19 โดยมีค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นเพิ่มสูงขึ้นกล่าวคือ ด้วยขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันและความดันของการอัดขึ้นรูปต่างกันทำให้มีความหนาแน่นสูงค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นก็สูงตามไปด้วย [9] โดยค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นสูงสุดคือ 44.32 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 โดยที่ขนาดของอนุภาคที่

Mesh No.100 ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 150-0.1 μm เนื่องจากด้วยปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีอยู่ 80% โดยมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนที่ 45 μm ซึ่งมีขนาดของอนุภาคที่เล็กสามารถเข้าไปแทรกตัวในระหว่างช่องว่างของเม็ดเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่มีขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ที่มีอยู่เพียง 20% ดังนั้นจึงทำให้การเรียงตัวของเม็ดเกรนอย่างเป็นระเบียบสม่ำเสมอเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ก)-(ข)-(ค)-(ง)และ(จ) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 และB1 มีค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นลดลงใกล้เคียงกับค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น ดังแสดงในรูปที่ 4.12 กล่าวคือ ด้วยขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.ต่างกันความดันของการอัดขึ้นรูปเท่ากันที่ 300 kg/cm^2 ส่วนค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นต่ำสุด คือ 8.32 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วนที่ 100:00 พบว่ามีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมอยู่100% มีขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็กละเอียดทำให้เถ้าลอยอะลูมิเนียมมีค่าหนาแน่นต่ำทำให้ค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นต่ำลงด้วย [9] ดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน และการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 $^{\circ}\text{C}$

จากรูปที่ 4.26 ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของค่ากำลังด้านแรงบีบคั้นเมื่อเห็นพบว่า ความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในแต่ละสัดส่วนแตกต่างกันออกไปลักษณะคล้ายกับความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm² ดังแสดงในรูปที่ 4.18 กล่าวคือ ได้แบ่งความเสียหายออกเป็น 2 กลุ่มพบว่า ถ้าลดยอะลูมิเนียมขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กทำให้การกระจายตัวของเม็ดเกรนสม่ำเสมอเป็นระเบียบมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ก) และมีปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่สูงตามสัดส่วนทำให้ตัวอย่างชิ้นงานมีความหนาแน่นสูงจากความดันในการขึ้นรูปที่สูงด้วยจึงสามารถรับน้ำหนักได้ดี [9]

4.6.5 อิทธิพลขนาดอนุภาคของ Mesh No. 100 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm² และการเผาอุณหภูมิที่ 1,200 °C ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐทนไฟตัวแปรการผลิตที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย

- 1) อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันที่ 100: 00, 80: 20, 60: 40, 40: 60 และ 20: 80
- 2) ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm²
- 3) การเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °C

ขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.100 ด้วยอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันผ่านการอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 350 kg/cm² และการเผาโดยใช้อุณหภูมิที่ 1,200 °C ในรูปที่ 4.28 นำมาทำการเตรียมทดสอบสมบัติทางกายภาพได้ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นพบว่า แนวโน้มของค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นลักษณะเดียวกันกับค่าความหนาแน่นที่ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm² ดังแสดงในรูปที่ 4.14 เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่า ที่ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm² มีค่าความหนาแน่นลดลง ด้วยขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.100 ที่มีขนาดเล็กกว่าการเกาะยึดที่ดีกว่าและใช้ค่าความดันเท่าเดิมที่ 350 kg/cm² การเพิ่มขึ้นของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟตามปริมาณของสัดส่วนต่างๆของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.27 (ก)-(ข)-(ค)-(ง)และ(จ) และแสดงค่าความหนาแน่นสูงสุด คือ 1.96 g/cm³ ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วนที่ 20:80 กล่าวคือ ปริมาณสัดส่วนของแกลลยอะลูมิเนียมที่ลดลงแต่ปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น [9] ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 และB1 พบมีค่าความหนาแน่นลดลงคาดว่าเนื่องจากส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีปริมาณลดลง โดยแสดงค่าความหนาแน่นต่ำสุด คือ 1.67 g/cm³ ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบB1ในสัดส่วนที่ 100:00 เนื่องจากมีปริมาณสัดส่วนของแกลลยอะลูมิเนียมทั้งหมด 100% ทำให้มีค่าความหนาแน่นลดลง

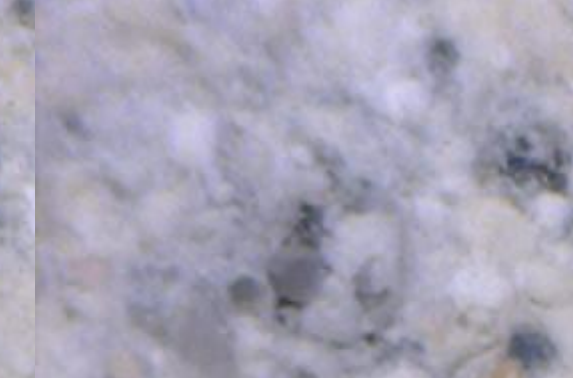
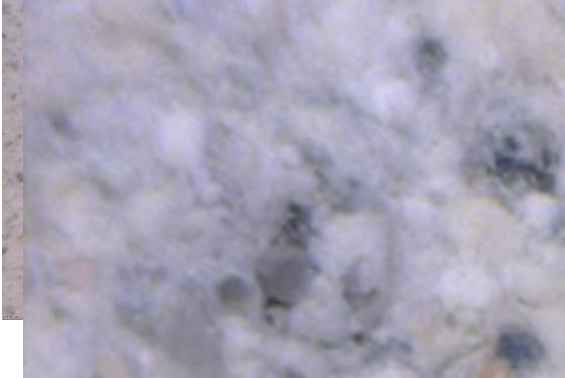
(n) 100: 00

(v) 80: 20



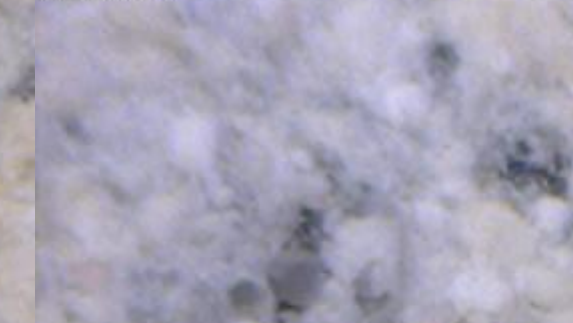
B4M50C350

B4M50C350



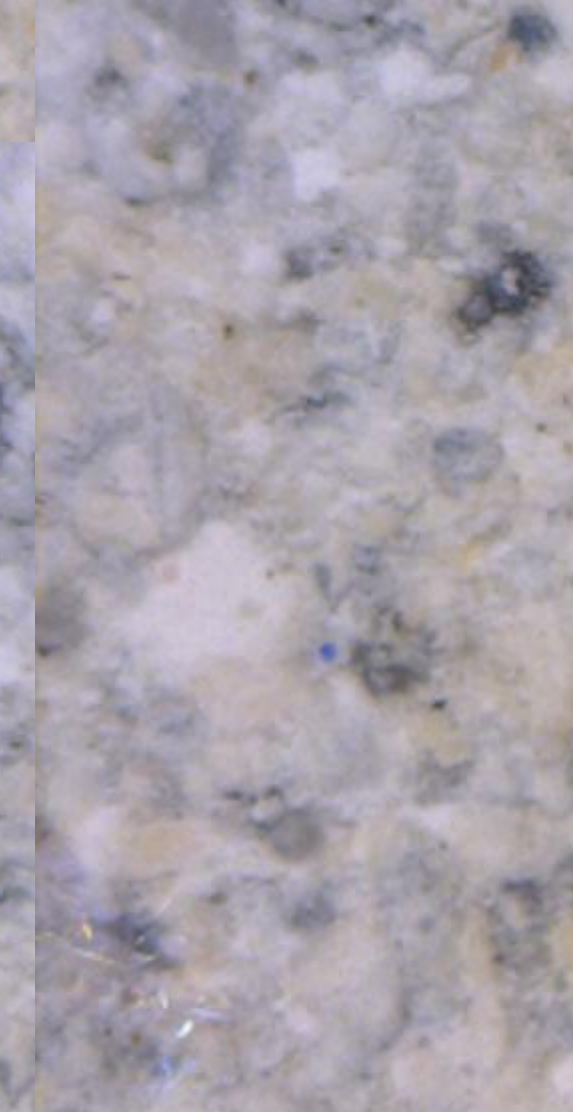
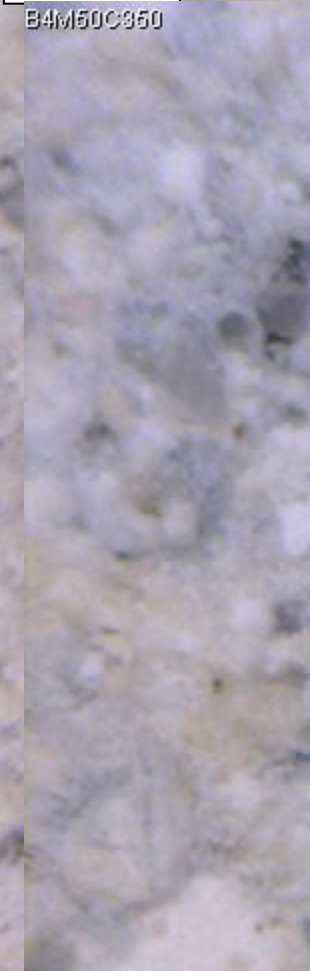
(j) 40: 60

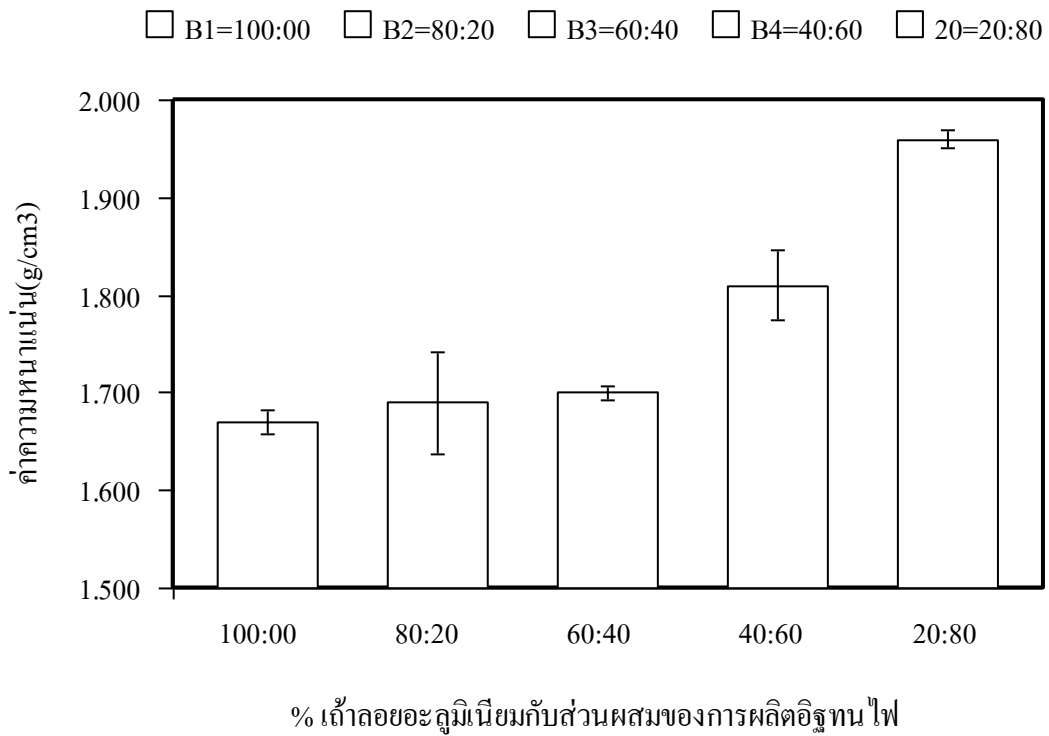
B4M50C350



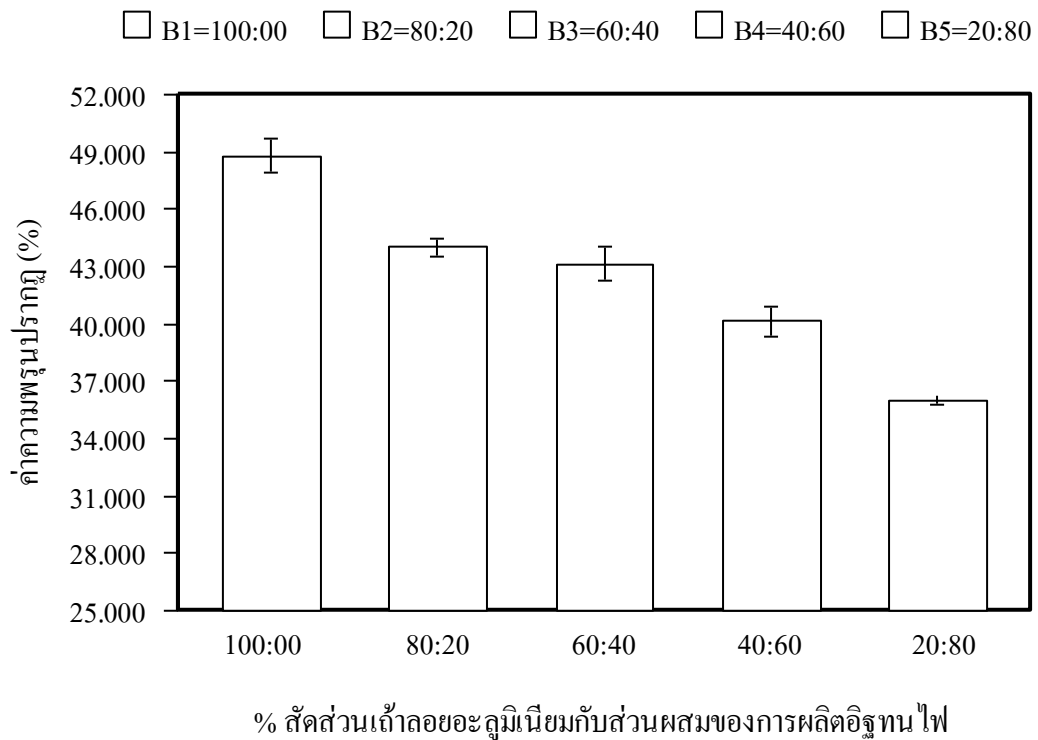
(i) 20: 80

B4M50C350



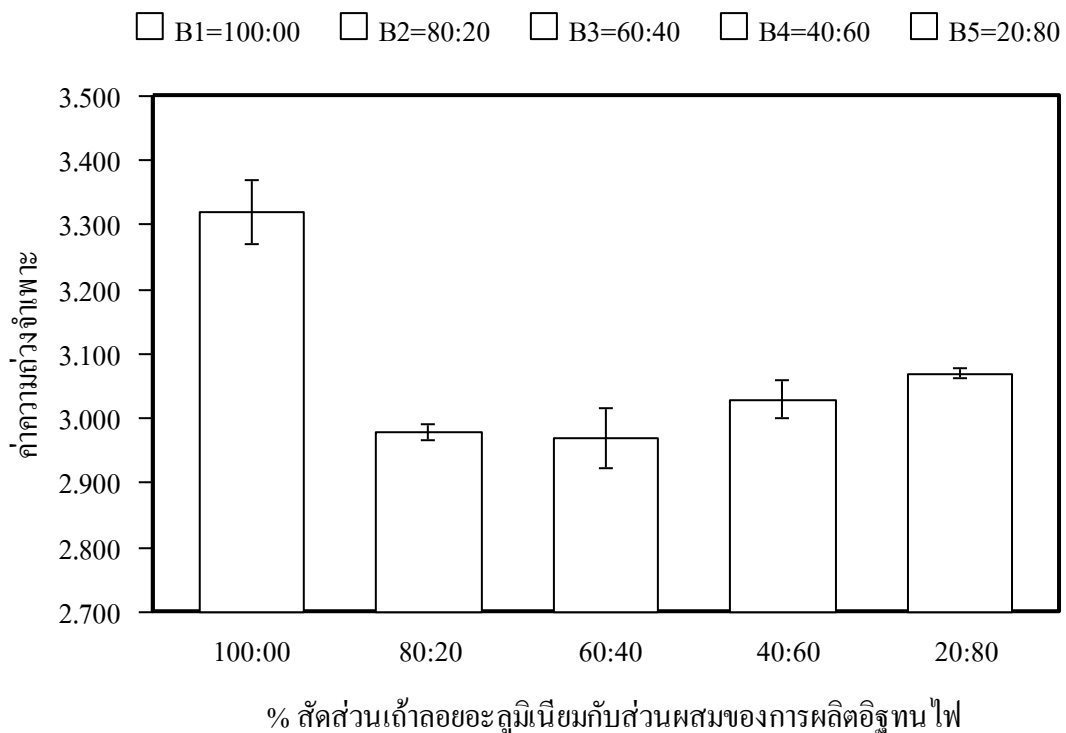


รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm²



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm²

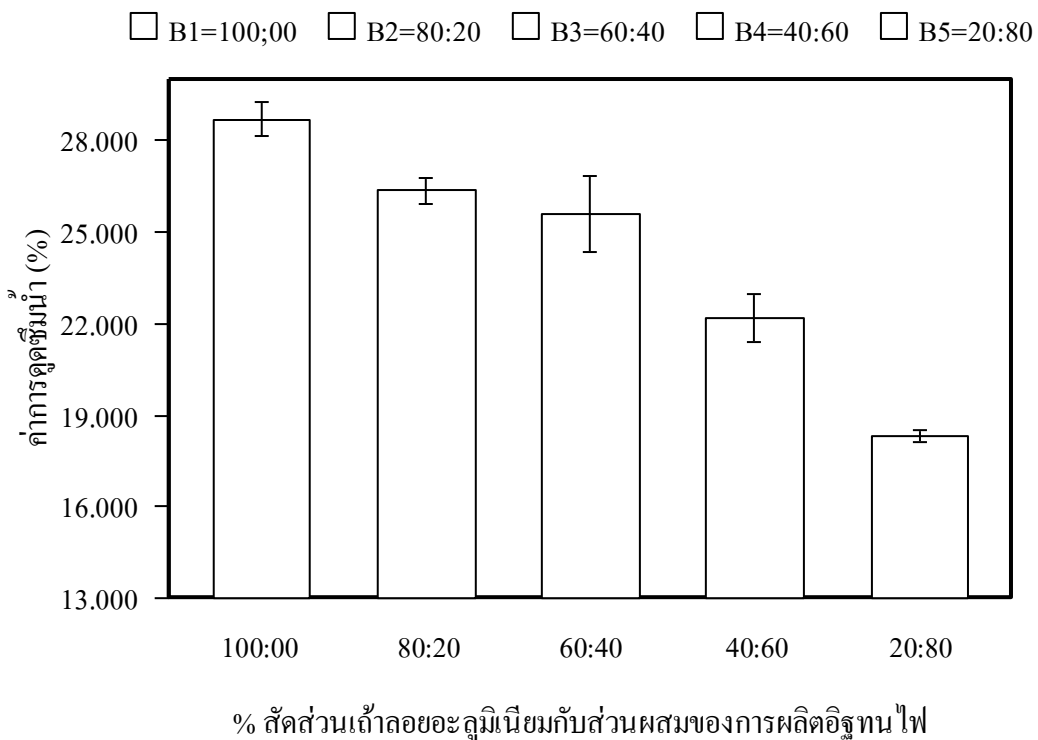
จากรูปที่ 4.29 แสดงผลการทดสอบค่าความพรุนปรากฏของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 พบว่า แนวโน้มของค่าความพรุนปรากฏลดลงใกล้เคียงกับค่าความพรุนปรากฏขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.15 พบว่า มีค่าความพรุนปรากฏที่เพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย กล่าวคือ ด้วยขนาดของอนุภาคที่เล็กกว่า การอัดขึ้นรูปที่ใช้ความดันเท่ากัน และแสดงค่าความพรุนปรากฏสูงสุด คือ 48.80% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 เมื่อปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2 และ B5 พบว่า มีค่าความพรุนปรากฏลดลง กล่าวคือ ด้วยขนาดของอนุภาคที่เล็กของเถ้าลอยอะลูมิเนียมผสมกับปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.27 (ก)-(ข)-(ค)-(ง)และ(จ) ทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้นแต่ค่าความพรุนปรากฏลดลง [9] และค่าความพรุนปรากฏต่ำสุดคือ 36% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2

ข้อมูลผลการทดสอบของค่าความถ่วงจำเพาะดังแสดงในรูปที่ 4.30 พบว่า มีค่าความถ่วงจำเพาะคล้ายกันกับค่าความถ่วงจำเพาะที่ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และแสดงค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุด คือ 3.31 ของตัวอย่าง

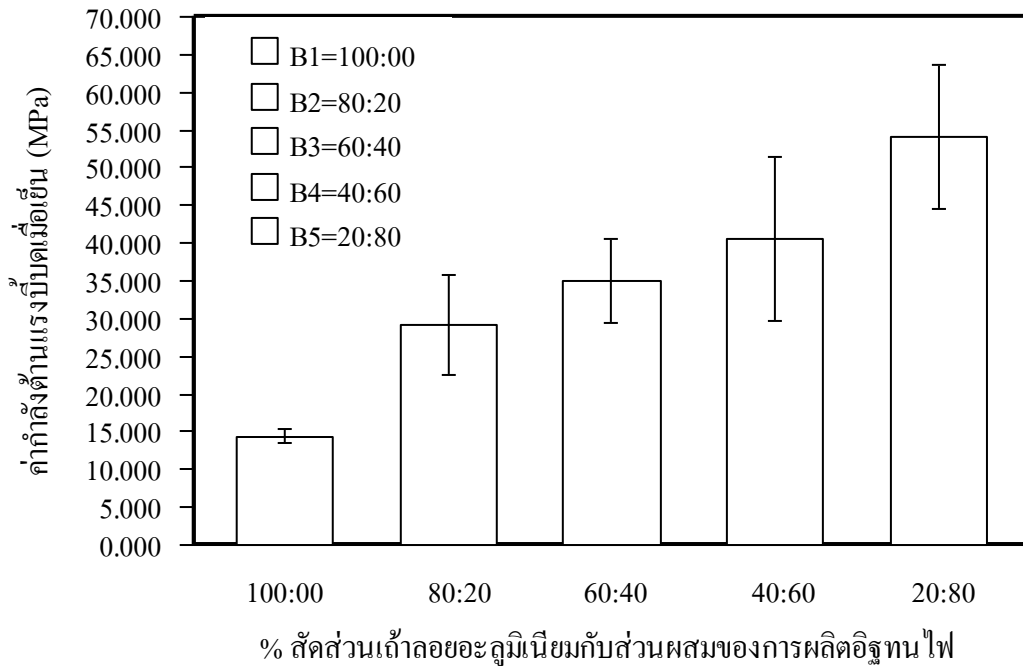
ชิ้นงานทดสอบ B1 สัดส่วนที่ 100:00 กล่าวคือ ด้วยขนาดของอนุภาคที่ต่างกันแต่ความดันในการอัดขึ้นรูปที่เท่ากันจึงทำให้มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.27 (ก) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2, B3, B4 และ B5 พบว่า มีค่าความถ่วงจำเพาะลดลงที่ค่าแตกต่างกันคาดว่าเวลาที่ใช้ในการเผาทำให้การหลอมเหลวที่ไม่สม่ำเสมอของอัตราส่วนผสมของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในแต่ละสัดส่วน โดยที่มีปริมาณสัดส่วนของเถ้าลอยอะลูมิเนียมผสมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่ต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 4.32 (ก)-(ข)-(ค)-(ง) และ(จ) แสดงค่าความถ่วงจำเพาะต่ำสุด คือ 2.97 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B3 ในสัดส่วน 60:40 พบว่า มีปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีอยู่ถึง 40% ซึ่งมีปริมาณอยู่ในช่วงกึ่งกลางของส่วนผสมในแต่ละสัดส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4.27 (ค)



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2

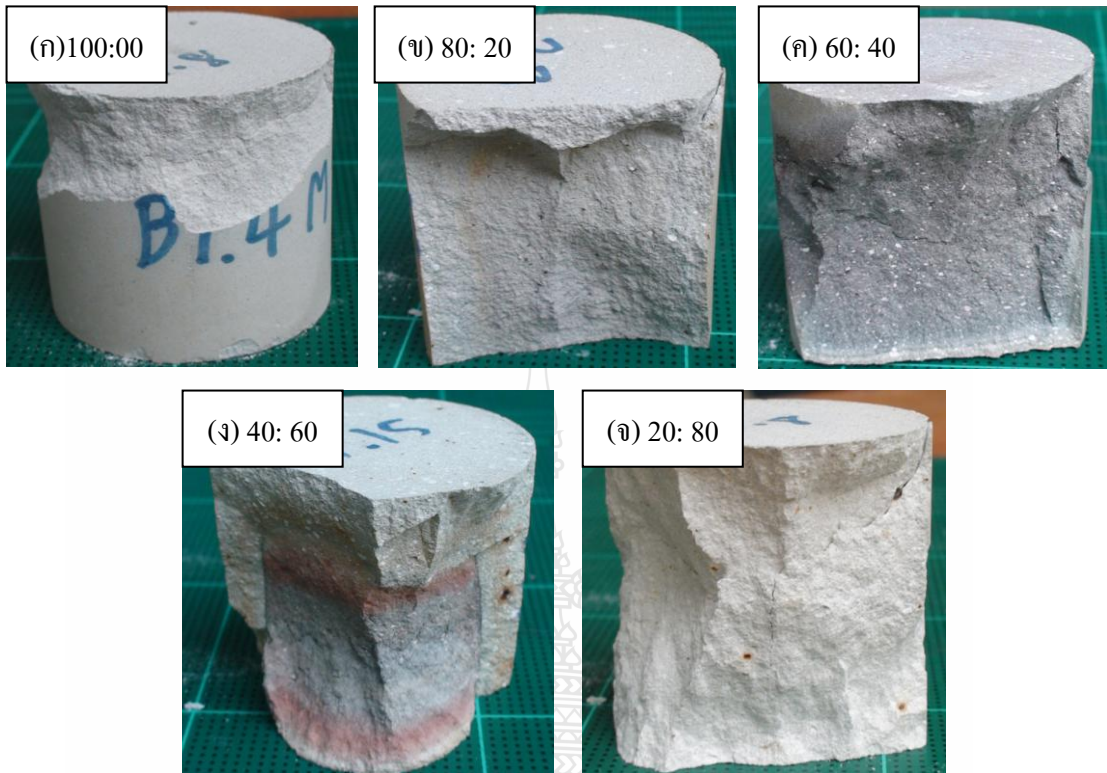
ผลจากการทดสอบของค่าการดูดซึมน้ำพบว่า แนวโน้มของค่าการดูดซึมน้ำมีรูปแบบลักษณะใกล้เคียงกันกับค่าการดูดซึมน้ำของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.17 พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าคาดว่า ด้วยขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ขนาดอนุภาคที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.27 แต่ใช้การอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่เท่ากัน ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน และแสดงค่าการดูดซึมน้ำสูงสุด คือ 28.72% ที่ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ใน

สัดส่วนที่ 100:00 จากการลดปริมาณลงตามสัดส่วนที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.27 (ก)-(ข)-(ค)-(ง) และ(จ) ทำให้ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2 และB5 มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงต่อเนื่องตามลำดับ โดยค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด คือ 18.30% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วนที่ 20:80 ดังแสดงในรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นกับตัวอย่างชิ้นงานที่สัดส่วนต่างกันในขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm²

จากรูปที่ 4.32 แสดงผลการทดสอบของค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm² พบว่า แนวโน้มของค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นมีค่าสูงขึ้นต่อเนื่องตามลำดับของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบมีลักษณะของค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.25 โดยมีค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นสูงที่สุดกล่าวคือ ด้วยขนาดของอนุภาคที่มีความละเอียดสูงและการอัดขึ้นรูปความดันสูงที่ 350 kg/cm² การเรียงตัวเม็ดเกรนเป็นระเบียบเกิดค่าความหนาแน่นสูงทำให้ค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นสูงตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.27 และรูปที่ 4.33 โดยแสดงค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นสูงสุด คือ 54.08 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วนที่ 20:80 และค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นต่ำสุดคือ 14.43 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วนที่ 100:00 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm²



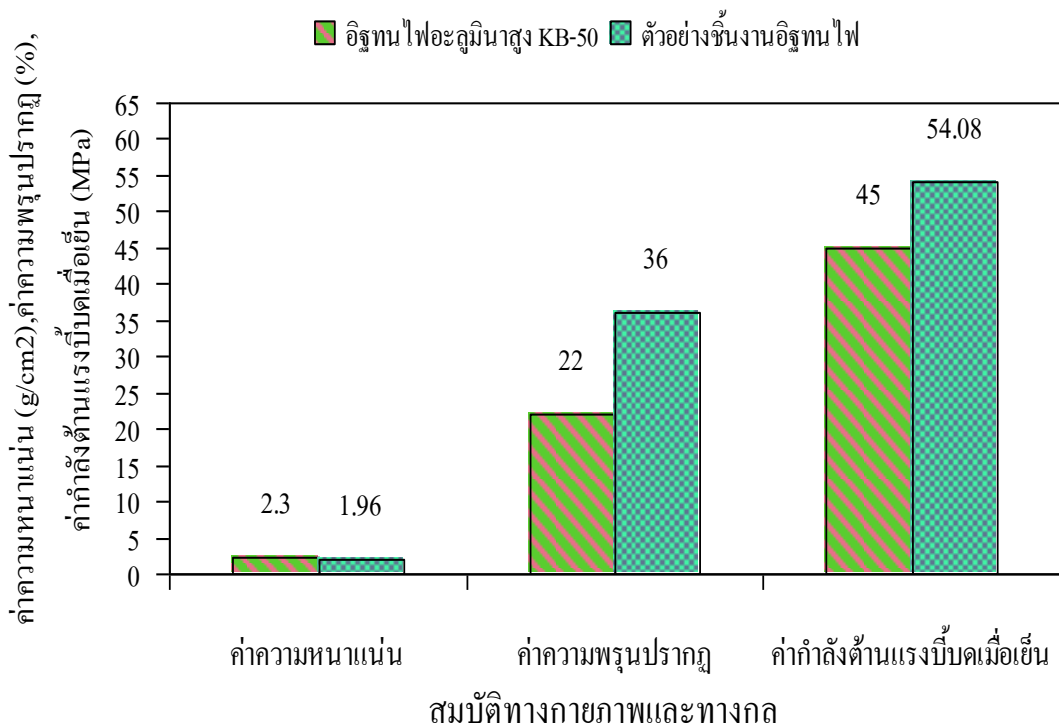
รูปที่ 4.33 ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^{\circ}\text{C}$

จากรูปที่ 4.33 โดยได้แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่ากำลังต้านแรงบีบคเมื่อเย็นกับผิวของตัวอย่างชิ้นงานซึ่งผ่านการทดสอบมาแล้วซึ่งมีค่ากำลังต้านแรงบีบคเมื่อเย็นที่สูงสุดพบว่า ความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในแต่ละสัดส่วนแตกต่างกันออกเป็น 2 ลักษณะ คือ รูปที่ 4.33 (ก) และ(ข) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1, B2 และB5 เกิดการเสียหายมีลักษณะเป็นฟอสเดียวหรือเป็นเนื้อเดียวกันพบการหลุดของผิวของชิ้นงานบริเวณขอบด้านบนและมีการแตกออกด้านข้างเนื่องด้วยส่วนพื้นที่ตรงกึ่งกลางตัวอย่างชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นด้วยขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ที่มีขนาดเล็กและละเอียด รูปที่ 4.33 (ค) และ(ง) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B3 และB4 พบมีการเสียหายของชิ้นงานแบ่งออกเป็นสองเฟสเนื่องจากปริมาณอัตราส่วนผสมในสัดส่วนใกล้เคียงกันที่ 60:40 และ 40:60 ซึ่งมีเม็ดลอยอะลูมิเนียมผสมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟพบว่า รอยแตกของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบเริ่มจากบริเวณผิวรอบๆภายนอกก่อนที่จะแตกร้าวถึงผิวภายในของเนื้อชิ้นงาน

จากปริมาณอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันนั้นมีปริมาณของเม็ดลอยอะลูมิเนียมมากหรือน้อยกว่าผสมเข้ากับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟพบว่าภายในเนื้อของชิ้นงานแบ่งออกเป็นสองเฟสโดยชัดเจน โดยสังเกตจากภายในเนื้อชิ้นงานมีการแบ่งเป็นสองชั้นเกิดจาก

หลอมเหลวของธาตุต่างๆที่มีจุดหลอมเหลวที่ต่างกันทำให้มีการยึดเกาะรวมตัวกันแล้วแบ่งออกเป็นสองเฟส [2] การเสียหายพบรอยแตกจากบริเวณผิวชั้นนอกก่อนแล้วจึงเข้าถึงผิวชั้นในการรับแรงกดจึงมีอยู่สองช่วงดังนั้นทำให้ได้แรงกดที่มีค่าสูงขึ้น จากรูปที่ 4.33 (จ) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 คือตัวอย่างชิ้นงานที่มีค่ากำลังด้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นสูงสุดปริมาณอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ 20:80 ซึ่งมีเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ 20% ผสมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่ 80% ความดันในการอัดขึ้นรูปสูงที่ 350 kg/cm² การเผาไหม้ที่เหมาะสมอุณหภูมิที่ 1,200 °C จึงไม่มีการแยกของเฟสเกิดขึ้นผลจากการทดสอบพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟมากขึ้น ทำให้ค่ากำลังด้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นยิ่งเพิ่มสูงขึ้น การเสียหายเริ่มเกิดจากการยุบตัวบริเวณผิวหน้าตัดของชิ้นงานซึ่งพบการยุบตัวน้อยมากและสังเกตพบว่า พื้นที่ของหน้าตัดและบริเวณพื้นที่ทั้งหมดของชิ้นงานช่วยรับแรงกดโดยตรง ดังนั้นเมื่อชิ้นงานเริ่มด้านแรงกดไม่ได้ จะได้ยินเสียงของการแตกดังขึ้นพร้อมรอยแตกร้าวเป็นร่องยาวผ่าจากบริเวณผิวชั้นนอกถึงบริเวณผิวชั้นในเกิดจากตัวอย่างชิ้นงานมีความค่าหนาแน่นสูง ดังแสดงในรูปที่ 4.33 (จ)

การศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ ในการเพิ่มสมบัติทางกายภาพและทางกลให้สูงขึ้น โดยใช้เถ้าลอยอะลูมิเนียมเป็นวัตถุดิบผสมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟตัวแปรในการผลิตอิฐทนไฟที่ทำให้เกิดผลการทดลองที่ดีที่สุด คือ ขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ Mesh No.100 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ 20:80 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm² และการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °C



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบอิฐทนไฟกับอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB-50

จากรูปที่ 4.34 ได้แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบอิฐทนไฟกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของอิฐทนไฟอะลูมินาสูงKB-50 โดยแสดงค่าที่มีสมบัติทางกายภาพและทางกลดีที่สุด คือตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 Mesh No.100 อัตราส่วนผสมที่สัดส่วน 20:80 การอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 350 kg/cm^2 และการเผาด้วยอุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่มีสภาวะที่เหมาะสม โดยแสดงสมบัติทางกายภาพและทางกลซึ่งประกอบด้วย ค่าความหนาแน่น 1.96 g/cm^3 , ค่าความพรุนปรากฏ 36 %, ค่าการดูดซึมน้ำ 18.30 %, ค่าความถ่วงจำเพาะ 3.07 และค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น 54.08 MPa จากผลการทดลองพบว่า ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับพบว่า ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.96 g/cm^3 มีค่าน้อยกว่า 0.34 g/cm^3 ส่วนค่าความพรุน ปรากฏเท่ากับ 36 % มีค่ามากกว่า 14 % และค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น เท่ากับ 54.08 MPa ซึ่งมีค่ามากกว่า 9.08 MPa .

4.6.6 ผลการวิเคราะห์การทดสอบค่าความทนไฟของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในอัตราส่วนผสมที่สัดส่วนต่างกัน

งานวิจัยครั้งนี้ไม่มีผลการทดสอบค่าความทนไฟของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบโดยครบถ้วน เนื่องจากประสิทธิภาพของเตาเผาที่มีอัตราการควบคุมของอุณหภูมิไม่เพียงพอต่อการทดสอบค่าความทนไฟ อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยได้มีการนำตัวอย่างชิ้นงานไปทดสอบเพื่อวิเคราะห์ค่าแนวโน้มของค่าความทนไฟพบว่า ที่ Mesh No. 100 สัดส่วน 20:80 ความดันในการอัดขึ้นรูปสูงที่ 300 kg/cm^2 การเผาอุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ 20% ผสมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่ 80% มีค่าความทนไฟ $>1,763$ องศาเซลเซียส หรือ 34 เอสเค ซึ่งยังมีค่าความทนไฟเพิ่มขึ้นได้อีกแต่เนื่องจากอัตราการควบคุมของอุณหภูมิไม่เพียงพอต่อการทดสอบ คาดว่าในสัดส่วนที่ได้ทำการทดสอบมีค่าความทนไฟเพิ่มสูงขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษากาธิพผลของถ้ำลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟจากการทดลองของงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษากาธิพผลของถ้ำลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ ซึ่งได้มีการศึกษาตัวแปรของกระบวนการผลิตอิฐทนไฟประกอบด้วย การคัดแยกขนาดของอนุภาคถ้ำลอยอะลูมิเนียม, การผสมที่สัดส่วนแตกต่างกัน, การอัดขึ้นรูปที่แรงดันต่างกัน, การเผาที่อุณหภูมิต่างกันและการทดสอบหาสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตอิฐทนไฟโดยมีการสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา และการนำไปใช้ประโยชน์ประกอบการทางพาณิชย์หรือการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตอิฐทนไฟให้ประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ขนาดอนุภาคของถ้ำลอยอะลูมิเนียมที่ Mesh No.100 มีขนาดความละเอียด 150-0.1 μm ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กโดยมีการเรียงตัวของเม็ดเกรนภายในตัวอย่างชิ้นงานทดสอบอย่างสม่ำเสมอเป็นระเบียบเพิ่มขึ้นทำให้มีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

5.1.2 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่มีปริมาณของอะลูมินา, ซิลิกา และเหล็กออกไซด์ เพิ่มมากขึ้นทำให้มีค่าสมบัติทางกลสูงสุด

5.1.3 การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบด้วยความดันสูงที่ 350 kg/cm^2 ทำให้มีค่าความหนาแน่นสูงและค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นสูงขึ้น

5.1.4 การเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิ 1,200 $^{\circ}\text{C}$ ส่งผลต่อการหลอมละลายโดยทั่วทำให้เกิดการประสานยึดเกาะตัวของธาตุต่างๆ ดีขึ้น

5.1.5 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 Mesh No.100 อัตราส่วนผสมที่สัดส่วน 20:80 การอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 350 kg/cm^2 และการเผาด้วยอุณหภูมิที่ 1,200 $^{\circ}\text{C}$ เป็นตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่มีสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งประกอบด้วย ค่าความหนาแน่น 1.96 g/cm^3 , ค่าความพรุนปรากฏ 36%, ค่าการดูดซึมน้ำ 18.30%, ค่าความถ่วงจำเพาะ 3.07 และค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น 54.08 MP

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ส่งเสริมการศึกษาการวิจัยหาวัตถุดิบใหม่ๆ ในการผลิตอิฐทนไฟ

5.2.2 การศึกษาประเมินอายุการใช้งานของอิฐทนไฟ

5.2.3 การพัฒนาการศึกษาการวิจัยการผสมตัวประสาน (Binder) หลายๆ ตัวอย่างให้มากกว่านี้ เพื่อให้มีการพัฒนาปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟให้ดียิ่งขึ้น

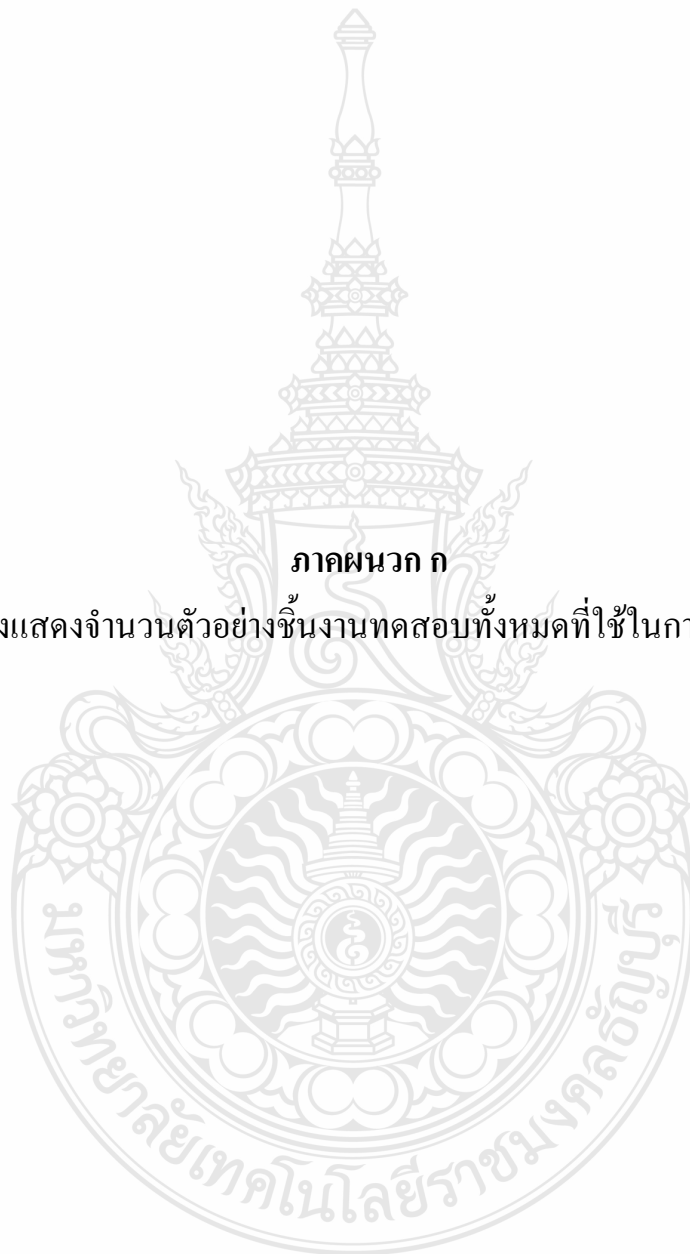
เอกสารอ้างอิง

- [1] สาโรจน์ ขาวดี, 2544, การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพของอิฐทนไฟโดยใช้ทรายชันนาท เป็นวัตถุดิบหลัก, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี บัณฑิตวิทยาลัย.
- [2] บุญเลิศ ยี่เต็ง, รุจโรจน์ อ่อนสะอาด, การเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตอิฐทนไฟ, ก่อสร้างและงานไม้ (เทคโนโลยีโยธา) สถาบันพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [3] กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กรม.อิฐทนไฟไฟล์เคลย์ แต่งโดย เศรษฐ เยี่ยมจิตกุลศล. กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก, ม.ป.ป. 6.
- [4] ปารวีร์ เชาว์และ ศิริพร ลากเกียดถาวร, ลักษณะความพรุนตัวของอะลูมินาที่เตรียมด้วยวิธีอัดขึ้นรูป, ฝ่ายเทคโนโลยีวัสดุ, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- [5] สุรเชษฐ์ จิงเกษมโชคชัย วราภรณ์ คุณาวานากิจ ลดา พันธุ์สุขุมธนา วรรณาด.แสงจันทร์ และพิมพ์วัลย์ วัฒนภาส ,อิฐมวลเบาจากเถ้าลอยลิกไนต์, วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 53 ฉบับที่ 167 มกราคม 2548.
- [6] กระทรวงอุตสาหกรรม, 2541, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐทนไฟอะลูมินาสูง, มอก. 547-2541, วารสารกระทรวงอุตสาหกรรม.
- [7] ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539, วัสดุทนไฟ, วารสารเซรามิกส์, พิมพ์ครั้งที่ 4 หน้าที่ 490-495.
- [8] จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540, วัสดุทนความร้อน, วารสารเซรามิกส์, ปีที่3, ฉบับที่6-9, หน้าที่ 52-62.
- [9] American Society for Testing and Material, 2000, ASTM Designation C 20-97, ASTM Designation C133-97, ASTM Designation C201-93, ASTM Designation C135- 97: General Product, ChemicalSpecialtieUseProductRefractoriness, Annual Book of ASTM Standard, Vol.04.01, Philadelphian, ASTM, pp.149-162.
- [10] Bra wall, M, 1998, Refractory, pp.55-58.
- [11] Clancy, T.A. and Benson, D.J., 1989, Ceramic Engineering and Science Process ding, pp. 210- 218.
- [12] Parmelee, C.W.1975, Ceramic Glazes, 3rd ed., Massachusettes, CBI Publishing, pp175-177.
- [13] Grim, R.E.1981, Apply Clay Mineralogy, Me Graw-Hill, pp.132-139.
- [14] Nandi, D.N., 1987, Handbook on Refractory, New Delhi, Mc Graw-Hill, pp30-31.
- [15] James, S.R.1986, Introduction to the Principle of Ceramic Processing, Singapore, Mc Graw-Hill, pp 41-42.
- [16] Ramming, 1989, Technology Manual Refractory, USA, pp.70-71.

- [17] Lyman and Rees, 1980, Handbook on Chrome-Magnesite and Magnetite- Chrome Brick, pp. 95-101.
- [18] Zoglmeyr, G., Romei, D. and Brescia, F., 1991, Update Dolomite Brick for Secondary Steel Metallurgy Interceram, pp.92-94.
- [19] Medvedovski, E., 1996, Low-Temperature Sintering of Ceramic for the Production of Low-Voltage Insulator, pp.85-87.
- [20] Groover, M.P. 2002. Fundamentals of Modern Materials, Processes, and Systems Manufacturing. 2nd edition. New York. John Wiley and Sons, Inc.
- [21] Rhodes, Daniel. Clay and glazes for the potter. 2nd ed. Philadelphia. Chilton Book Co.1972.219.
- [22] Singer, Felix and Singer, Sonja S. Industrial ceramics. London: university Press Cambridge, 1979. 1455p.
- [23] Nandi, D.N., 1987, Handbook on Refractory, New Delhi, Mc Graw-Hill, pp30-31.
- [24] Norton, F.H. Fine ceramics; technology and application. New York: McGraw -Hill, 1970.507.
- [25] Thai Cripton Co., Ltd. 40 Moo 4 Chaokhuntahan Rd. Klongsamprawet Latkrabang BKK 10520. Tel. 0-2737-6480-8 E-Mail : tcc@thaicripton.co.th, www.thaicripton.co.th



ภาคผนวก ก
ตารางแสดงจำนวนตัวอย่างชิ้นงานทดสอบทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง



ตารางที่ ก.1 แสดงจำนวนตัวอย่างชิ้นงานทดสอบทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง

Specimen No.	Aluminum Dross (%by weight)	Alumina,Silica,Iron oxide (%by weight)	Pressing (kg/cm ²)	Total Pcs.
B1	100	0	300 and 350	40
B2	80	20	300 and 350	40
B3	60	40	300 and 350	40
B4	40	60	300 and 350	40
B5	20	80	300 and 350	40

หมายเหตุ : การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบควรผสมน้ำสะอาดประมาณ 15-20 % ของน้ำหนักทุกตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

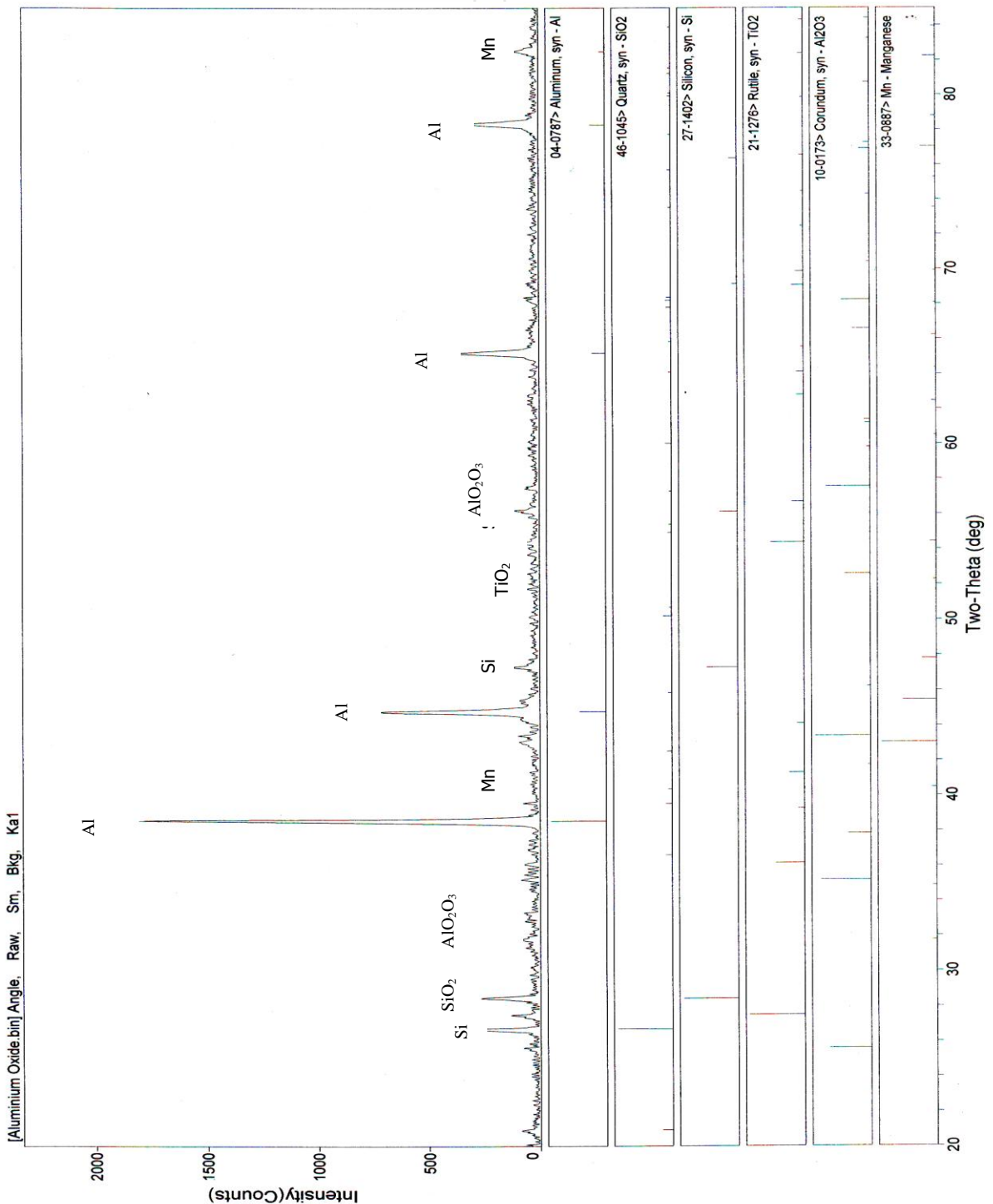




ภาคผนวก ข

ตารางแสดงเฟสและตารางแสดงของสารประกอบของถ้ำลอยอะลูมิเนียม

ในการวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบด้วยเครื่อง X-ray Diffract meter จำเป็นจะต้องวินิจฉัย Peak โดยการเปรียบเทียบค่าชุด D-Spacing ดังแสดงไว้ในตาราง Peak ID Report ของ Phase ต่างๆ ใน System ของแก้วลอยอะลูมิเนียมดังที่กล่าวมาแล้ว ว่าตัวอย่างแก้วลอยอะลูมิเนียมที่ถูกอัดให้แข็งตัวในสภาวะแห้งจะเกิดเป็น Phase ที่มีองค์ประกอบต่างๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด เช่น ชนิดของวัตถุดิบ ระยะเวลาและสภาวะ อาทการอบด้วยความร้อน ณ ระดับอุณหภูมิต่างกัน เป็นต้น ในรูปแสดงค่า Peak สูงสุดคือ Aluminum (Al), Quartz (SiO₂), Silicon (Si), Rutile (TiO₂), Corundum (Al₂O₃), และ Manganese (Mn) รองลงมาตามลำดับ

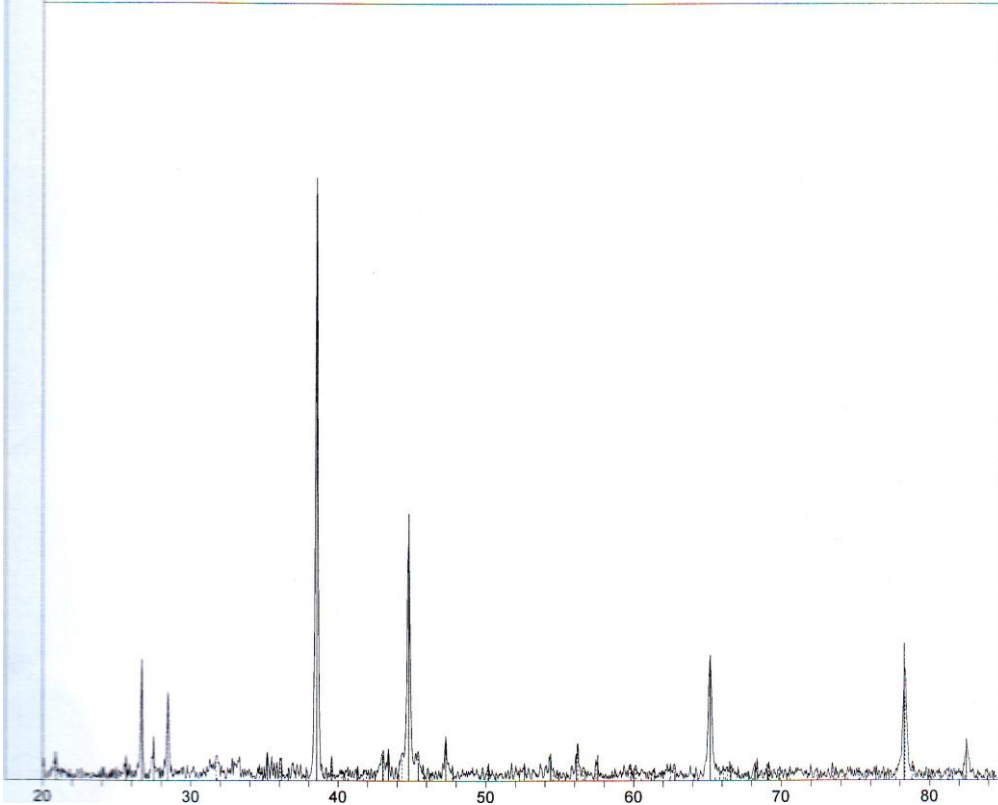


ตารางแสดงค่า Peak ID Report ของ Phase ต่างๆ ใน System ของแก้วลอยอะลูมิเนียม

[Aluminium Oxide.bin] Angle, Raw, Sm, Bkg, Ka1									Peak ID Report	
SCAN: 20.0/85.0/0.02/1(sec), Cu, I(max)=1809, 02/28/07 15:38										
PEAK: 15-pts/Parabolic Filter, Threshold=3.0, Cutoff=0.1%, BG=3/1.0, Peak-Top=Summit										
NOTE: Intensity = Counts, 2T(0)=0.0(deg), Wavelength to Compute d-Spacing = 1.54056Å (Cu/K-alpha1)										
#	2-Theta	d(Å)	Height	Height%	Phase ID	d(Å)	I%	(h k l)	2-Theta	Delta
1	20.899	4.2471	73	4.1	Quartz, syn	4.2429	16.0	(1 0 0)	20.919	0.021
2	25.625	3.4735	58	3.2	Corundum, syn	3.4737	75.0	(0 1 2)	25.624	-0.002
3	26.682	3.3382	338	18.8	Quartz, syn	3.3361	100.0	(1 0 1)	26.699	0.017
4	27.495	3.2413	109	6.1	Rutile, syn	3.2401	100.0	(1 1 0)	27.506	0.011
5	28.461	3.1335	252	14.0	Silicon, syn	3.1355	100.0	(1 1 1)	28.442	-0.019
6	31.722	2.8184	61	3.4	Mn	2.8161	5.0	(2 1 0)	31.749	0.027
7	34.650	2.5866	33	1.8	Mn	2.5713	5.0	(2 1 1)	34.864	0.213
8	35.182	2.5488	67	3.7	Corundum, syn	2.5492	90.0	(1 0 4)	35.176	-0.006
9	36.062	2.4885	49	2.7	Rutile, syn	2.4830	50.0	(1 0 1)	36.145	0.083
10	38.540	2.3340	1796	100.0	Aluminum, syn	2.3345	100.0	(1 1 1)	38.532	-0.008
11	39.561	2.2761	62	3.5	Quartz, syn	2.2782	8.0	(1 0 2)	39.524	-0.037
12	40.245	2.2390	20	1.1	Quartz, syn	2.2329	4.0	(1 1 1)	40.359	0.113
13	40.655	2.2173	29	1.6	Mn	2.2268	7.0	(2 2 0)	40.476	-0.180
14	41.324	2.1830	30	1.7	Rutile, syn	2.1850	25.0	(1 1 1)	41.285	-0.038
15	41.914	2.1536	21	1.2	Corundum, syn	2.1630	1.0	(0 0 6)	41.723	-0.190
16	43.058	2.0990	78	4.3	Mn	2.1003	100.0	(2 2 1)	43.031	-0.028
17	43.419	2.0824	80	4.5	Corundum, syn	2.0832	100.0	(1 1 3)	43.402	-0.017
18	44.341	2.0412	73	4.1	Rutile, syn	2.0513	10.0	(2 1 0)	44.110	-0.230
19	44.780	2.0222	706	39.3	Aluminum, syn	2.0214	47.0	(2 0 0)	44.798	0.018
20	45.440	1.9944	74	4.1	Mn	1.9937	60.0	(3 1 0)	45.457	0.017
21	45.777	1.9805	37	2.1	Quartz, syn	1.9774	4.0	(2 0 1)	45.852	0.075
22	46.400	1.9553	15	0.8	Corundum, syn	1.9624	2.0	(2 0 2)	46.223	-0.177
23	47.317	1.9195	112	6.2	Silicon, syn	1.9201	55.0	(2 2 0)	47.302	-0.015
24	47.757	1.9029	36	2.0	Mn	1.9010	25.0	(3 1 1)	47.807	0.050
25	50.143	1.8178	32	1.8	Quartz, syn	1.8159	13.0	(1 1 2)	50.198	0.055
26	54.377	1.6858	62	3.5	Rutile, syn	1.6857	60.0	(2 1 1)	54.382	0.004
27	54.575	1.6801	24	1.3	Mn	1.6849	9.0	(3 2 1)	54.409	-0.167
28	54.827	1.6730	20	1.1	Quartz, syn	1.6700	4.0	(2 0 2)	54.933	0.106
29	56.203	1.6353	99	5.5	Silicon, syn	1.6375	30.0	(3 1 1)	56.121	-0.082
30	56.581	1.6253	30	1.7	Rutile, syn	1.6221	20.0	(2 2 0)	56.700	0.119
31	57.442	1.6029	52	2.9	Corundum, syn	1.6000	80.0	(1 1 6)	57.558	0.115
32	59.782	1.5456	29	1.6	Corundum, syn	1.5451	4.0	(2 1 1)	59.807	0.025
33	60.140	1.5373	26	1.4	Quartz, syn	1.5401	9.0	(2 1 1)	60.018	-0.122
34	61.401	1.5087	19	1.1	Corundum, syn	1.5091	8.0	(0 1 8)	61.384	-0.017
35	62.501	1.4848	36	2.0	Mn	1.4857	6.0	(3 3 0)	62.459	-0.042
36	62.778	1.4789	31	1.7	Rutile, syn	1.4784	10.0	(0 0 2)	62.800	0.022
37	65.180	1.4301	347	19.3	Aluminum, syn	1.4298	22.0	(2 2 0)	65.193	0.013
38	66.082	1.4127	21	1.2	Quartz, syn	1.4173	1.0	(3 0 0)	65.844	-0.238
39	66.358	1.4075	20	1.1	Mn	1.4100	5.0	(4 2 0)	66.227	-0.131
40	66.540	1.4041	34	1.9	Corundum, syn	1.4033	30.0	(2 1 4)	66.586	0.047
41	68.238	1.3733	37	2.1	Corundum, syn	1.3733	50.0	(3 0 0)	68.236	-0.002
42	68.376	1.3708	48	2.7	Quartz, syn	1.3708	5.0	(3 0 1)	68.376	0.000
43	69.183	1.3568	36	2.0	Silicon, syn	1.3577	6.0	(4 0 0)	69.130	-0.053
44	69.920	1.3443	26	1.4	Mn	1.3444	3.0	(3 3 2)	69.916	-0.005
45	70.611	1.3328	23	1.3	Corundum, syn	1.3363	2.0	(1 2 5)	70.397	-0.214
46	72.433	1.3037	25	1.4	Rutile, syn	1.3032	2.0	(3 1 1)	72.468	0.035
47	73.447	1.2882	37	2.1	Quartz, syn	1.2870	2.0	(1 0 4)	73.526	0.079
48	73.681	1.2847	27	1.5	Mn	1.2868	3.0	(4 2 2)	73.540	-0.141

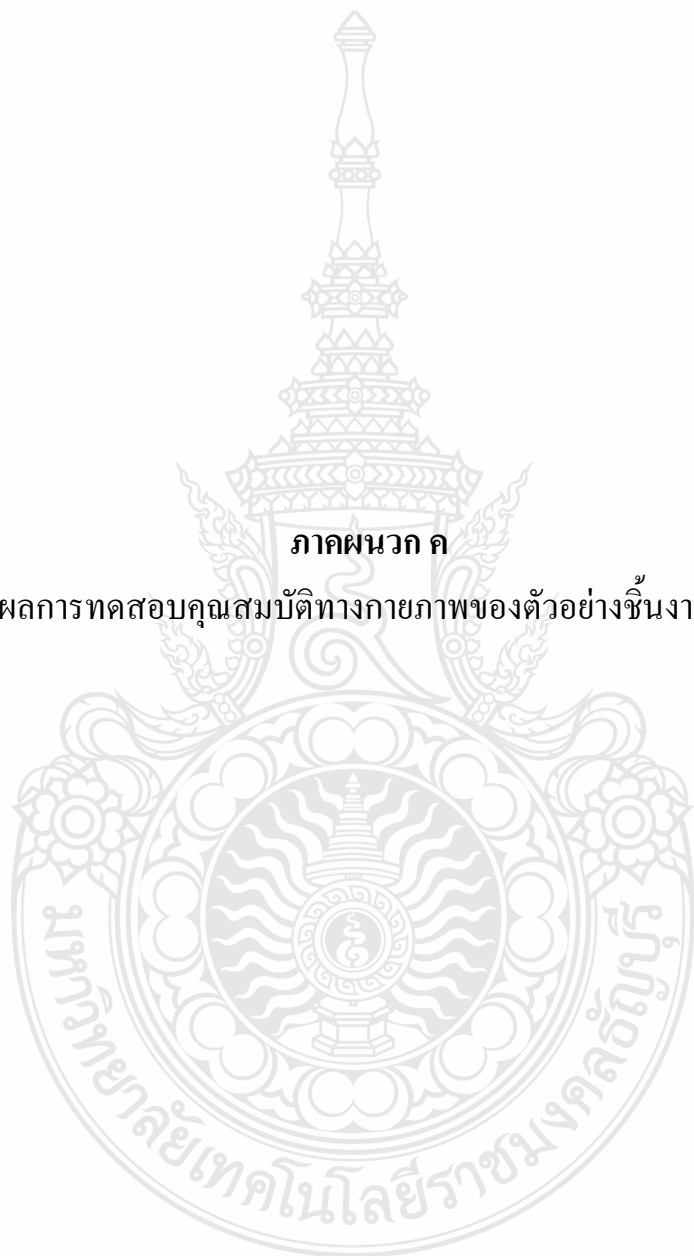
ตารางแสดงค่า Peak ID Report ของ Phase ต่างๆ ใน System ของแก้วลอยอะลูมิเนียม (ต่อ)

[Aluminium Oxide.bin] Angle, Raw, Sm, Bkg, Ka1										Peak ID Report
SCAN: 20.0/85.0/0.02/1(sec), Cu, I(max)=1809, 02/28/07 15:38										
PEAK: 15-pts/Parabolic Filter, Threshold=3.0, Cutoff=0.1%, BG=3/1.0, Peak-Top=Summit										
NOTE: Intensity = Counts, 2T(0)=0.0(deg), Wavelength to Compute d-Spacing = 1.54056Å (Cu/K-alpha1)										
#	2-Theta	d(Å)	Height	Height%	Phase ID	d(Å)	I%	(h k l)	2-Theta	Delta
49	74.108	1.2783	18	1.0	Corundum, syn	1.2754	4.0	(2 0 8)	74.306	0.198
50	75.222	1.2621	25	1.4	Mn	1.2614	2.0	(4 3 0)	75.277	0.055
51	75.793	1.2540	20	1.1	Quartz, syn	1.2551	3.0	(3 0 2)	75.718	-0.075
52	78.341	1.2195	321	17.9	Aluminum, syn	1.2202	24.0	(3 1 1)	78.287	-0.054
53	78.858	1.2128	40	2.2	Mn	1.2136	5.0	(5 1 1)	78.799	-0.059
54	80.243	1.1953	20	1.1	Quartz, syn	1.1970	1.0	(2 2 1)	80.104	-0.138
55	80.639	1.1905	22	1.2	Corundum, syn	1.1893	8.0	(2 2 0)	80.732	0.094
56	81.307	1.1823	21	1.2	Quartz, syn	1.1833	2.0	(1 1 4)	81.231	-0.076
57	82.521	1.1680	100	5.6	Aluminum, syn	1.1683	7.0	(2 2 2)	82.495	-0.026
58	83.296	1.1591	19	1.1	Corundum, syn	1.1595	1.0	(3 0 6)	83.257	-0.039
59	83.920	1.1521	22	1.2	Quartz, syn	1.1523	1.0	(3 1 1)	83.898	-0.022
Line Shifts of Individual Phases:										
PDF#04-0787 - Aluminum, syn <2T(0) = 0.06, d/d(0) = 1.0>										
PDF#46-1045 - Quartz, syn <2T(0) = 0.06, d/d(0) = 1.0>										
PDF#27-1402 - Silicon, syn <2T(0) = 0.0, d/d(0) = 1.0>										
PDF#21-1276 - Rutile, syn <2T(0) = 0.06, d/d(0) = 1.0>										
PDF#10-0173 - Corundum, syn <2T(0) = 0.04, d/d(0) = 1.0>										
PDF#33-0887 - Manganese <2T(0) = 0.08, d/d(0) = 1.0>										



ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนผสมใน
สัดส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 300 kg/cm² และการเผา
อุณหภูมิที่ 1,200 °C

Specimen (No.)	Dry Weight(D)	Saturated Weight(W)	Imam Weight(S)	Bulk Density (B)(g/cm ²)	Apparent porosity (P) %	Apparent Density (T)	Water Absorption (A)%
B11M50C300X	151.70	211.62	105.93	1.44	56.69	3.31	39.50
B12M50C300X	152.51	213.24	104.49	1.40	55.84	3.18	39.82
B13M50C300X	150.88	211.13	103.88	1.41	56.18	3.21	39.93
B14M50C300X	149.58	209.80	103.49	1.41	56.65	3.25	40.26
B15M50C300X	150.14	210.53	103.65	1.40	56.50	3.23	40.22
Average	150.96	211.26	104.29	1.41	56.37	3.24	39.95
B21M50C300X	156.24	211.56	104.97	1.47	51.90	3.05	35.41
B22M50C300X	158.94	213.58	106.19	1.48	50.88	3.01	34.38
B23M50C300X	157.79	211.72	105.34	1.48	50.70	3.01	34.18
B24M50C300X	160.66	214.50	106.41	1.49	49.81	2.96	35.51
B25M50C300X	155.85	210.23	104.51	1.47	51.44	3.04	34.89
Average	157.90	212.32	105.48	1.48	50.94	3.01	34.47
B31M50C300X	170.74	220.35	114.02	1.61	46.66	3.01	29.06
B32M50C300X	173.37	223.02	115.67	1.61	46.25	3.00	28.64
B33M50C300X	168.76	221.20	113.51	1.57	48.70	3.05	31.07
B34M50C300X	170.39	222.42	113.78	1.57	47.89	3.01	30.54
B35M50C300X	170.16	222.38	114.08	1.57	48.22	3.03	30.69
Average	170.68	221.87	114.21	1.59	47.54	3.02	30.00
B41M50C300X	181.70	224.99	122.42	1.77	42.21	3.07	23.82
B42M50C300X	184.04	225.67	121.08	1.76	39.80	2.92	22.62
B43M50C300X	183.53	225.64	121.30	1.76	40.36	2.95	22.94
B44M50C300X	179.35	225.25	121.29	1.73	44.15	3.09	25.59
B45M50C300X	181.66	223.60	119.69	1.75	40.36	2.93	23.09
Average	182.06	225.03	121.16	1.75	41.38	2.99	23.61
B51M50C300X	194.61	230.79	132.68	1.98	36.88	3.14	18.59
B52M50C300X	193.42	229.31	130.97	1.97	36.50	3.10	18.56
B53M50C300X	190.63	227.78	129.88	1.95	37.95	3.14	19.49
B54M50C300X	193.64	230.50	131.45	1.95	37.21	3.11	19.04
B55M50C300X	192.89	229.91	131.12	1.95	37.47	3.12	19.19
Average	193.04	229.66	131.22	1.96	37.20	3.12	18.97

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนผสมใน
 สัดส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 350 kg/cm^2 และการเผาที่
 อุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^\circ\text{C}$

Specimen (No.)	Dry Weight(D)	Saturated Weight(W)	Imam Weight(S)	Bulk Density (B)(g/cm ²)	Apparent porosity (P) %	Apparent Density (T)	Water Absorption (A)%
B11M50C350X	176.99	227.63	121.29	1.66	47.62	3.18	28.61
B12M50C350X	176.41	227.47	121.15	1.66	48.02	3.19	28.94
B13M50C350X	176.29	226.86	119.93	1.65	47.29	3.13	28.69
B14M50C350X	175.49	227.23	120.66	1.64	48.63	3.20	29.48
B15M50C350X	174.69	227.29	120.25	1.63	49.08	3.21	30.11
Average	175.97	227.30	120.66	1.65	48.13	3.18	29.17
B21M50C350X	186.56	230.90	124.26	1.75	41.58	2.99	23.77
B22M50C350X	186.35	230.85	124.92	1.76	42.0	3.03	23.88
B23M50C350X	186.93	231.95	125.62	1.76	42.34	3.05	24.08
B24M50C350X	186.83	231.23	125.01	1.76	41.80	3.02	23.76
B25M50C350X	186.21	230.69	124.52	1.75	41.90	3.02	23.89
Average	186.58	231.12	124.87	1.76	41.92	3.02	23.88
B31M50C350X	188.27	233.04	125.80	1.76	41.75	3.02	23.79
B32M50C350X	196.92	242.26	132.07	1.79	41.15	3.04	23.02
B33M50C350X	196.02	242.06	131.97	1.78	41.82	3.06	23.49
B34M50C350X	196.48	242.53	132.31	1.78	41.78	3.06	23.44
B35M50C350X	184.42	231.07	124.18	1.73	43.64	3.06	25.30
Average	192.42	238.19	129.27	1.77	41.63	3.05	23.41
B41M50C350X	195.83	238.49	132.10	1.84	40.10	3.07	21.78
B42M50C350X	201.69	242.0	136.05	1.90	38.05	3.07	19.99
B43M50C350X	202.18	243.24	136.30	1.89	38.40	3.07	20.31
B44M50C350X	197.30	239.41	133.11	1.86	39.61	3.07	21.34
B45M50C350X	197.72	240.84	134.43	1.86	40.52	3.12	21.81
Average	198.94	240.80	134.40	1.87	39.34	3.08	21.05
B51M50C350X	201.96	241.62	136.64	1.93	37.81	3.09	19.64
B52M50C350X	202.96	239.09	136.99	1.99	35.39	3.08	17.80
B53M50C350X	205.58	240.32	138.81	2.03	34.22	3.08	16.90
B54M50C350X	202.11	239.41	136.78	1.97	36.34	3.09	18.46
B55M50C350X	200.80	237.06	135.63	1.98	35.75	3.08	18.06
Average	202.68	239.50	136.97	1.98	35.90	3.08	18.17

ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนผสมใน
สัดส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.100 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 300 kg/cm² และการเผา
อุณหภูมิที่ 1,200 °C

Specimen (No.)	Dry Weight(D)	Saturated Weight(W)	Imam Weight(S)	Bulk Density (B)(g/cm ²)	Apparent porosity (P) %	Apparent Density (T)	Water Absorption (A)%
B11M100C300X	143.81	205.80	101.64	1.38	59.51	3.41	43.11
B12M100C300X	143.09	203.60	100.07	1.38	58.45	3.33	42.29
B13M100C300X	139.74	199.84	96.23	1.35	58.01	2.31	43.01
B14M100C300X	138.97	201.52	97.82	1.34	60.32	3.38	45.01
B15M100C300X	140.02	199.94	96.62	1.36	57.99	3.23	42.79
Average	141.11	202.14	98.48	1.36	58.86	3.31	43.24
B21M100C300X	157.00	211.93	107.56	1.50	52.63	3.18	34.99
B22M100C300X	155.45	209.79	105.67	1.49	52.19	3.12	34.96
B23M100C300X	157.51	212.99	107.89	1.50	52.79	3.17	35.22
B24M100C300X	156.36	211.75	107.22	1.50	52.99	3.18	35.42
B25M100C300X	151.07	205.91	102.60	1.46	53.08	3.12	36.30
Average	155.48	210.47	106.19	1.49	52.74	3.15	35.38
B31M100C300X	160.38	209.79	108.16	1.58	48.62	3.07	30.81
B32M100C300X	158.21	209.31	106.17	1.53	49.54	3.04	32.30
B33M100C300X	159.03	210.52	106.94	1.54	49.71	3.05	32.38
B34M100C300X	158.75	209.96	106.41	1.53	49.45	3.03	32.26
B35M100C300X	164.91	213.94	111.04	1.60	47.65	3.06	29.73
Average	160.26	210.70	107.74	1.56	48.99	3.05	31.49
B41M100C300X	168.41	211.29	112.82	1.71	43.55	3.03	25.46
B42M100C300X	168.34	212.50	112.35	1.68	44.09	3.01	26.23
B43M100C300X	170.22	213.61	113.36	1.70	43.28	2.99	25.49
B44M100C300X	170.29	213.44	115.56	1.74	44.08	3.11	25.34
B45M100C300X	175.84	217.96	117.41	1.75	41.89	3.01	23.95
Average	170.62	213.76	114.30	1.72	43.38	3.03	25.30
B51M100C300X	181.81	217.88	121.87	1.89	37.55	3.03	19.84
B52M100C300X	181.76	217.18	121.91	1.91	37.18	3.04	19.49
B53M100C300X	179.85	216.15	121.08	1.89	38.18	3.06	20.18
B54M100C300X	180.21	216.47	121.13	1.89	38.03	3.05	20.12
B55M100C300X	187.07	222.76	126.03	1.93	36.90	3.06	19.08
Average	182.14	218.09	122.40	1.90	37.57	3.05	19.74

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนผสมใน
สัดส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.100 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 350 kg/cm² และการเผา
อุณหภูมิที่ 1,200 °C

Specimen (No.)	Dry Weight(D)	Saturated Weight(W)	Imam Weight(S)	Bulk Density (B)(g/cm ²)	Apparent porosity (P) %	Apparent Density (T)	Water Absorption (A)%
B11M100C350X	181.64	234.56	127.70	1.70	49.52	3.37	29.13
B12M100C350X	181.56	234.76	127.42	1.69	49.58	3.35	29.30
B13M100C350X	182.0	234.60	127.57	1.70	49.15	3.34	28.90
B14M100C350X	180.29	231.47	125.03	1.70	48.08	3.26	28.39
B15M100C350X	181.67	232.30	126.19	1.71	47.71	3.27	27.87
Average	181.43	233.54	126.78	1.70	48.80	3.32	28.72
B21M100C350X	176.39	223.74	117.0	1.65	44.36	2.97	26.84
B22M100C350X	179.49	225.96	119.02	1.68	43.45	2.97	25.89
B23M100C350X	178.92	225.58	118.95	1.68	43.76	2.98	26.08
B24M100C350X	178.46	225.30	118.62	1.67	43.91	2.98	26.25
B25M100C350X	178.15	225.83	118.92	1.67	44.60	3.0	26.76
Average	178.28	225.28	118.50	1.67	44.02	2.98	26.36
B31M100C350X	186.02	230.91	124.47	1.75	42.17	3.02	24.13
B32M100C350X	185.68	230.93	124.11	1.74	42.36	3.02	24.37
B33M100C350X	175.95	222.50	116.10	1.65	43.75	2.94	26.46
B34M100C350X	175.24	220.96	115.35	1.66	43.29	2.93	26.09
B35M100C350X	173.36	220.03	114.35	1.64	44.16	2.94	26.92
Average	179.25	225.07	118.88	1.69	43.15	2.97	25.59
B41M100C350X	190.97	232.94	126.97	1.80	39.61	2.98	21.98
B42M100C350X	192.22	232.50	129.44	1.87	39.08	3.06	20.96
B43M100C350X	185.24	226.71	124.12	1.81	40.42	3.03	22.39
B44M100C350X	184.22	226.29	123.23	1.79	40.82	3.02	22.84
B45M100C350X	184.76	226.92	123.36	1.78	40.71	3.01	22.82
Average	187.48	229.07	125.42	1.81	40.13	3.03	22.20
B51M100C350X	199.06	235.80	134.22	1.96	36.17	3.07	18.46
B52M100C350X	198.67	235.23	134.09	1.96	36.15	3.08	18.40
B53M100C350X	199.75	236.12	134.77	1.97	35.89	3.07	18.21
B54M100C350X	199.83	235.89	134.61	1.97	35.60	3.06	18.05
B55M100C350X	198.0	234.72	133.30	1.95	36.21	3.06	18.55
Average	199.06	235.55	134.20	1.96	36.0	3.07	18.30

ภาคผนวก ง

ตารางผลการทดสอบค่าต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



ตารางที่ ง.1 ผลการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปความดันที่300kg/cm² และการเผาอุณหภูมิที่ 1,200 °C

Specimen (No.)	Weight (g)	Dimension (mm)		Max -Load (N)	Compressive Strength (MPa)
		Diameter	Height		
B11M50C300X	151.59	51.89	51.59	11,311.27	5.54
B12M50C300X	153.30	51.98	51.15	14,957.08	7.32
B13M50C300X	150.99	51.96	51.17	12,362.50	6.05
B14M50C300X	149.32	52.03	51.24	12,227.14	5.99
B15M50C300X	148.38	52.12	51.21	11,525.44	5.64
Average	150.72	52.00	51.27	12,476.79	6.11
B21M50C300X	158.07	51.72	51.29	26,263.92	12.86
B22M50C300X	161.72	51.67	51.45	26,130.18	12.79
B23M50C300X	161.78	51.71	51.24	18,862.99	9.23
B24M50C300X	166.40	51.66	51.25	15,260.69	7.47
B25M50C300X	155.23	51.69	51.02	23,430.27	11.47
Average	160.64	51.69	51.25	21,989.61	10.76
B31M50C300X	181.37	51.86	51.31	32,037.82	15.68
B32M50C300X	184.83	51.83	51.26	43,691.40	21.39
B33M50C300X	171.32	51.78	51.46	33,816.48	16.55
B34M50C300X	176.78	51.85	51.54	35,437.79	17.35
B35M50C300X	174.27	51.89	51.50	30,196.86	14.78
Average	177.71	51.84	51.41	35,036.07	17.15
B41M50C300X	181.99	51.07	50.89	65,693.85	32.16
B42M50C300X	196.00	51.26	51.02	70,954.93	34.73
B43M50C300X	195.31	51.23	51.12	77,701.95	38.04
B44M50C300X	184.97	51.10	50.61	36,158.77	17.70
B45M50C300X	196.04	51.15	51.01	49,068.14	24.02
Average	190.86	51.16	50.93	59,915.53	29.33
B51M50C300X	194.87	50.45	50.19	97,055.70	47.51
B52M50C300X	193.67	50.32	50.10	88,026.41	43.09
B53M50C300X	190.91	50.39	50.17	61,085.63	29.90
B54M50C300X	193.91	50.54	50.48	62,725.95	30.71
B55M50C300X	193.18	50.44	50.23	75,936.98	37.17
Average	193.31	50.43	50.23	76,966.13	37.68

ตารางที่ ง.2 ผลการทดสอบค่า กำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของอัตรา
 ส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 350 kg/cm²
 และการเผาอุณหภูมิที่ 1,200 °C

Specimen (No.)	Weight (g)	Dimension (mm)		Max -Load (N)	Compressive Strength (MPa)
		Diameter	Height		
B11M50C350X	176.99	51.74	51.01	26,038.56	12.75
B12M50C350X	176.41	51.75	50.96	24,110.70	11.80
B13M50C350X	176.29	51.81	51.02	18,888.02	9.25
B14M50C350X	175.49	52.84	50.95	24,282.42	11.89
B15M50C350X	174.69	52.82	51.0	23,485.53	11.50
Average	175.97	52.19	50.99	23,361.05	11.44
B21M50C350X	186.56	52.18	50.94	27,667.02	13.54
B22M50C350X	186.35	52.48	51.46	42,598.14	20.85
B23M50C350X	186.93	52.44	51.49	41,475.42	20.30
B24M50C350X	186.83	52.46	51.64	42,734.56	20.92
B25M50C350X	186.21	52.0	51.0	32,318.29	15.82
Average	186.58	52.31	51.31	37,358.69	18.29
B31M50C350X	188.27	51.85	50.97	40,259.10	19.71
B32M50C350X	196.92	51.60	51.16	55,437.70	27.14
B33M50C350X	196.02	51.67	51.44	54,287.74	26.57
B34M50C350X	196.48	51.85	50.01	44,245.94	21.66
B35M50C350X	184.42	51.76	51.01	50,251.75	24.60
Average	192.42	51.75	50.92	48,896.45	23.94
B41M50C350X	195.83	51.67	51.01	57,079.56	27.94
B42M50C350X	201.69	51.72	50.96	58,679.19	28.72
B43M50C350X	202.18	51.77	51	60,676.33	29.75
B44M50C350X	197.30	51.6	51	47,310.89	23.16
B45M50C350X	197.72	51.64	51.01	47,974.96	23.48
Average	198.94	51.68	51	54,344.19	26.61
B51M50C350X	201.96	50.98	50.78	56,677.07	27.74
B52M50C350X	202.96	51.01	50.87	65,639.43	32.13
B53M50C350X	205.58	50.98	50.79	74,330.84	36.39
B54M50C350X	202.11	51.05	50.69	46,372.24	22.70
B55M50C350X	200.80	50.98	50.04	77,685.29	38.03
Average	202.68	50.85	50.63	64,140.97	31.40

ตารางที่ ง.3 ผลการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.100 การอัดขึ้นรูปความดันที่300 kg/cm² และการเผาอุณหภูมิที่ 1,200 °C

Specimen (No.)	Weight (g)	Dimension (mm)		Max -Load (N)	Compressive Strength (MPa)
		Diameter	Height		
B11M100C300X	151.70	51.79	51.49	17,469.27	8.55
B12M100C300X	152.51	51.58	51.15	21,704.61	10.62
B13M100C300X	150.88	51.36	51.17	15,605.21	7.64
B14M100C300X	149.58	52.19	51.64	15,298.97	7.49
B15M100C300X	150.14	52.11	51.51	14,957.08	7.32
Average	150.96	51.81	51.39	17,007.02	8.32
B21M100C300X	156.24	51.12	51.79	26,263.92	12.86
B22M100C300X	158.94	51.67	51.45	22,859.65	11.19
B23M100C300X	157.79	51.51	51.54	27,457.76	13.44
B24M100C300X	160.66	51.36	51.15	35,838.82	17.54
B25M100C300X	155.85	51.49	51.22	48,849.48	23.91
Average	157.90	51.43	51.43	32,253.93	15.79
B31M100C300X	170.74	51.66	51.41	32,037.82	15.68
B32M100C300X	173.37	51.53	51.16	30,663.13	15.01
B33M100C300X	168.76	51.48	51.36	32,400.59	15.86
B34M100C300X	170.39	51.75	51.54	64,651.86	31.65
B35M100C300X	170.16	51.39	51.20	56,334.86	27.58
Average	170.68	51.56	51.33	43,199.58	21.16
B41M100C300X	181.70	51.07	51.29	27,990.34	13.70
B42M100C300X	184.04	51.16	51.42	37,300.89	17.86
B43M100C300X	183.53	51.33	51.82	62,134.85	31.12
B44M100C300X	179.35	51.10	51.61	40,224.11	19.69
B45M100C300X	181.66	51.65	51.76	67,356.27	32.97
Average	182.06	51.26	51.58	47,001.29	23.07
B51M100C300X	194.61	50.75	50.79	82,620.95	40.44
B52M100C300X	193.42	50.52	50.60	79,383.74	39.08
B53M100C300X	190.63	50.89	50.87	100,007.43	48.96
B54M100C300X	193.64	50.74	50.78	85,651.48	41.93
B55M100C300X	192.89	50.84	50.83	104,543.55	51.18
Average	193.04	50.75	50.77	90,441.43	44.32

ตารางที่ ง.4 ผลการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.100 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 350 kg/cm^2 และการเผาอุณหภูมิที่ $1,200 \text{ }^\circ\text{C}$

Specimen (No.)	Weight (g)	Dimension (mm)		Max -Load (N)	Compressive Strength (MPa)
		Diameter	Height		
B11M100C350X	181.64	51.58	51.05	29,770.48	14.57
B12M100C350X	181.56	51.75	51.10	28,722.17	14.06
B13M100C350X	182.0	51.63	51.17	25,815.43	12.64
B14M100C350X	180.29	52.68	51.06	32,643.58	15.98
B15M100C350X	181.67	51.56	50.90	30,409.78	14.89
Average	181.43	51.84	51.06	29,472.29	14.43
B21M100C350X	176.39	51.72	50.96	36,492.56	17.86
B22M100C350X	179.49	51.67	50.95	70,145.91	34.34
B23M100C350X	178.92	51.71	50.96	60,897.66	29.81
B24M100C350X	178.46	51.66	50.97	61,484.44	30.10
B25M100C350X	178.15	51.69	50.91	68,738.44	33.65
Average	178.28	51.69	50.95	59,551.81	29.15
B31M100C350X	186.02	51.55	51.16	68,617.47	33.59
B32M100C350X	185.68	51.56	51.10	66,911.34	32.75
B33M100C350X	175.95	51.57	51.16	63,442.67	31.06
B34M100C350X	175.24	51.46	50.80	91,159.55	44.62
B35M100C350X	173.36	51.50	50.75	67,473.14	33.03
Average	178.28	51.49	50.99	71,520.83	35.01
B41M100C350X	190.97	51.44	51.02	85,456.78	41.83
B42M100C350X	192.22	51.04	50.79	118,251.88	57.89
B43M100C350X	185.24	50.97	50.51	78,043.70	38.20
B44M100C350X	184.22	50.98	50.56	72,618.43	35.55
B45M100C350X	184.76	51.05	50.97	55,775.96	28.77
Average	187.48	51.10	50.78	82,029.35	40.45
B51M100C350X	199.06	50.75	50.33	109,735.05	53.72
B52M100C350X	198.67	50.73	50.13	141,495.61	69.25
B53M100C350X	199.75	50.78	50.47	111,084.66	54.38
B54M100C350X	199.83	50.61	50.48	102,335.76	50.10
B55M100C350X	198.0	50.68	50.35	87,769.36	42.96
Average	199.06	50.71	50.35	110,484.09	54.08

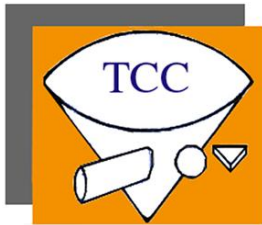


ภาคผนวก จ

ตารางแสดงผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ของอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB-50
และผลการวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบของ อะลูมินา, ซิลิกา,
และเหล็กออกไซด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ จ.1 แสดงผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ของอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB-50

สมบัติทางกายภาพและทางกล	หน่วย
ค่าความหนาแน่น (Bulk Density)	2.30 kg/cm ³
ค่าความพรุนปรากฏ(Apparent Porosity)	18-22 %
ค่ากำลังต้านแรงบีบค้อนเย็น(Cold Crushing)	45 MPa
ค่าความทนไฟ(Refractoriness)	35 KS , (1,780 ⁰ C)
การต้านทานอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงฉับพลันกะทันหัน (Resistance to Thermal Shock)	สูงมาก
ความเปลี่ยนแปลงความยาวถาวร 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 1,400 ⁰ C (Permant Linear Change 2 hour 1,400 ⁰ C)	-1.0 %
ค่าความทนไฟภายใต้น้ำหนักบรรทุก (Refractoriness Under Load)	1,520 Ton 1,580 Ton
ส่วนประกอบทางเคมี	
Al ₂ O ₃	50-52 %
SiO ₂	44-46 %
Fe ₂ O ₃	1.50 %



บริษัท ไทยคริปตอน จำกัด

THAI CRIPTON CO., LTD.

40 CHAOKHUNTAHAN RD., KLONGSAMPRAWET, LATKRABANG, BANGKOK 10520

TEL. 0-2737-6480-8 FAX. 0-2737-6489-90

ข้อมูลทางเคมี

ชื่อทางการค้า : **WHITE ALUMINIUM OXIDE (WA#1000)**

สี : สีขาว

การใช้งาน : ใช้ในขบวนการขัดผิวโลหะ

Chemical Composition (Typical)

Chemical Composition	Cas No.	Rang of Grit Size	
		#12-90	#100-1000
Al ₂ O ₃	1344-28-1	> 98.5	> 98.5
Na ₂ O	12401-86-4	< 0.5	< 0.7
Crystal color		White	White
Moths Hardness		9	9
Bulk Density		1.57~1.85	1.57~1.64
Density		> 3.90 g/cm ³	> 3.90 g/cm ³

เวลาในการขัด : ขึ้นอยู่กับขนาดเครื่องและลักษณะของชิ้นงาน

ลักษณะสำคัญ : เป็นผงสีขาวเหมาะสำหรับการขัดผิวโลหะ

การปล่อยของเสียทิ้ง : บำบัดตามกฎหมายกำหนด

จำนวนบรรจุ : 25 กิโลกรัม/ถุง

ตารางที่ จ.2 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบของ อะลูมินา

						Wavelength= 1.54056 *				
46-1212						2θ	Int	h	k	l
α-Al ₂ O ₃										
Aluminum Oxide						25.578	45	0	1	2
						35.152	100	1	0	4
						37.776	21	1	1	0
Corundum, syn						41.675	2	0	0	6
						43.355	66	1	1	3
Rad.: CuKα1 λ: 1.540562 Filter: d-sp: Diff.						46.175	1	2	0	2
Cut off: 4.4 Int.: Diffract. I/Icor.:						52.549	34	0	2	4
Ref: Huang, T et al., Adv. X-Ray Anal., 33, 295 (1990)						57.496	89	1	1	6
						59.739	1	2	1	1
						61.117	2	1	2	2
						61.298	14	0	1	8
Sys.: Rhombohedral S.G.: R3c (167)						66.519	23	2	1	4
a: 4.7587(1) b: c: 12.9929(3) A: C: 2.7303						68.212	27	3	0	0
α: β: γ: Z: 6 mp:						70.418	1	1	2	5
Ref: Ibid.						74.297	2	2	0	8
						76.869	29	1	0	10
						77.224	12	1	1	9
						80.419	1	2	1	7
Dx: 3.987 Dm: SS/FOM: F ₂₅ = 358(.0028 . 25)						80.698	2	2	2	0
						83.215	1	3	0	6
						84.356	3	2	2	3
εα: 1.7604 ηβ: 1.7686 εγ: Sign: - 2V:						85.140	<1	1	3	1
Ref: Ibid.						86.360	2	3	1	2
						86.501	3	1	2	8
						88.994	9	0	2	10

The sample is an alumina plate as received from ICDD. Unit cell computed from dobs. Al₂O₃ type. Corundum group. corundum subgroup. PSC: hR10. Mwt: 101.96. Volume[CD]: 254.81.

ICDD © 1998 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 2.01



ตารางที่ จ.3 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบของ ซิลิกา

46-1045		Wavelength= 1.54056 *								
SiO2	2θ	Int	h	k	l	2θ	Int	h	k	l
Silicon Oxide	20.860	16	1	0	0	92.785	<1	4	0	0
	26.639	100	1	0	1	94.648	1	1	0	5
	36.543	9	1	1	0	95.115	<1	4	0	1
Quartz, syn	39.464	8	1	0	2	96.235	1	2	1	4
	40.299	4	1	1	1	98.747	1	2	2	3
Rad.: CuKα1 λ: 1.540598 Filter: Ge Mono d-sp: Diff.	42.449	6	2	0	0	102.228	<1	1	1	5
Cut off: Int.: Diffract. I/Icor.: 3.41	45.792	4	2	0	1	102.564	<1	3	1	3
Ref: Kern, A., Eysel, W., Mineralogisch-Petrograph. Inst., Univ. Heidelberg, Germany, ICDD Grant-in-Aid, (1993)	50.138	13	1	1	2	103.873	<1	3	0	4
	50.621	<1	0	0	3	104.199	<1	3	2	0
	54.873	4	2	0	2	106.589	<1	3	2	1
	55.323	2	1	0	3	112.110	<1	4	1	0
Sys.: Hexagonal S.G.: P3 ₂ 21 (154)	57.234	<1	2	1	0	114.057	<1	3	2	2
a: 4.91344(4) b: c: 5.40524(8) A: C: 1.1001	59.958	9	2	1	1	114.463	2	4	0	3
α: β: γ: Z: 3 mp:	64.034	2	1	1	3	114.635	2	4	1	1
Ref: Ibid.	65.784	<1	3	0	0	115.881	<1	2	2	4
	67.742	6	2	1	2	117.532	<1	0	0	6
	68.142	7	2	0	3	118.308	<1	2	1	5
	68.316	5	3	0	1	120.119	1	3	1	4
	73.466	2	1	0	4	121.848	<1	1	0	6
Dx: 2.649 Dm: 2.660 SS/FOM: F ₃₀ = 539(.0018 . 31)	75.658	3	3	0	2	122.600	<1	4	1	2
	77.673	1	2	2	0	127.245	<1	3	0	5
α: ηβ: 1.544 εγ: 1.553 Sign: + 2V:	79.882	2	2	1	3	131.197	<1	1	1	6
Ref: Swanson, Fuyat, Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, 3, 24 (1954)	80.044	<1	2	2	1	132.750	<1	5	0	1
	81.171	2	1	1	4	134.286	<1	4	0	4
	81.489	2	3	1	0	136.417	1	2	0	6
Color: White	83.838	1	3	1	1	137.888	2	4	1	3
Integrated intensities. Pattern taken at 23(1) C. Low	84.955	<1	2	0	4	140.310	<1	3	3	0
temperature quartz. 2θ determination based on profile fit method.	87.437	<1	3	0	3	143.242	3	5	0	2
02 Si type. Quartz group. Silicon used as an internal stand. PSC:	90.828	2	3	1	2	144.110	<1	3	3	1
hP9. To replace 33-1161. Mwt: 60.08. Volume[CD]: 113.01.										

ICDD © 1998 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 2.01

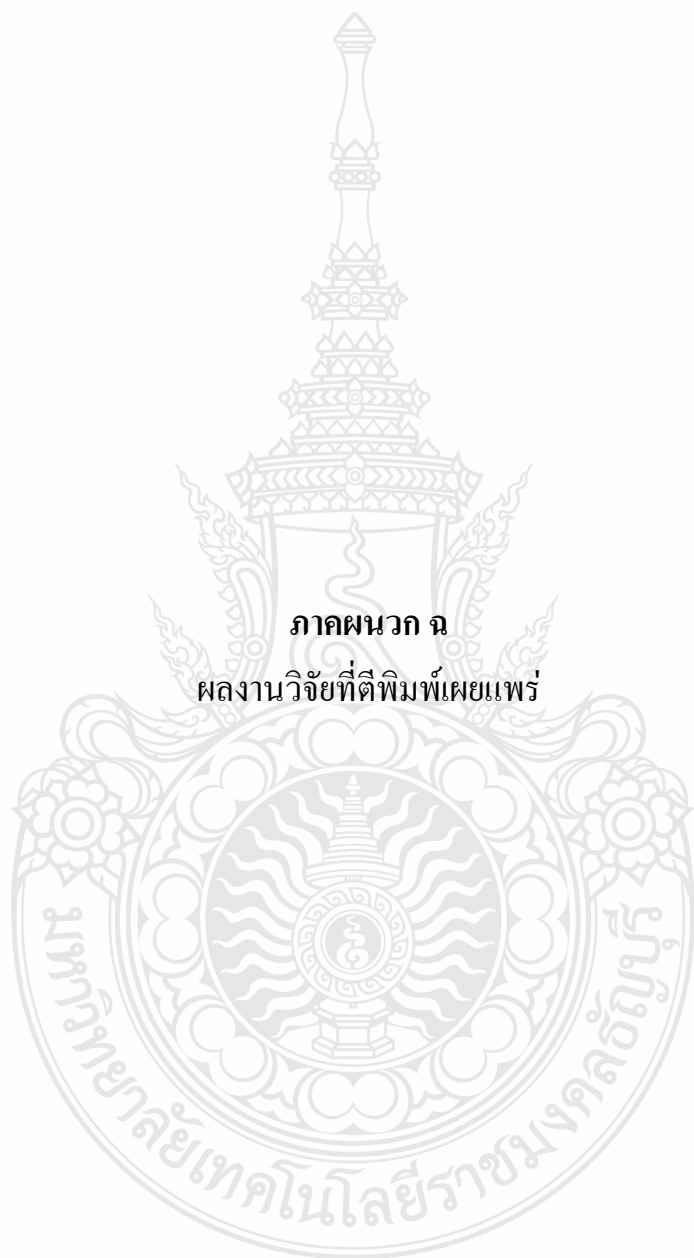


ตารางที่ จ.4 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบของ เหล็กออกไซด์

		Wavelength= 1.54056					C				
2θ	Int	h	k	l	2θ	Int	h	k	l		
Fe2O3											
Iron Oxide	24.125	33	0	1	2	106.539	3	3	2	4	
	33.114	100	1	0	4	106.779	3	0	1	14	
	35.611	70	1	1	0	108.003	2	4	1	0	
Hematite	39.222	2	0	0	6	115.858	2	1	3	10	
	40.835	17	1	1	3	122.307	2	4	1	6	
Rad.: CuKα1 λ: 1.54050 Filter: d-sp: Calculated	43.472	2	2	0	2	131.508	2	1	2	14	
Cut off: Int.: Calculated I/lor.:	49.416	31	0	2	4	131.508	2	0	5	4	
Ref: Smith et al., ICDD Grant-in-Aid, (1973)	54.003	36	1	1	6						
	57.506	8	1	2	2						
	57.506	8	0	1	8						
	62.384	22	2	1	4						
Sys.: Rhombohedral S.G.: R $\bar{3}$ (148)	63.965	21	3	0	0						
a: 5.038 b: c: 13.772 A: C: 2.7336	69.499	2	2	0	8						
α: β: γ: Z: 6 mp:	71.821	7	1	0	10						
Ref: Ibid.	72.171	4	1	1	9						
	75.407	4	2	2	0						
	77.660	2	3	0	6						
	80.610	3	3	1	2						
	80.610	3	1	2	8						
Dx: 5.256 Dm: SS/FOM: F ₂₇ = 17(.0196 , 79)	82.824	3	0	2	10						
	84.868	4	1	3	4						
	88.468	4	2	2	6						
Integrated intensities. PSC: hR10. Deleted by 33-664. Mwt: 159.69. Volume[CD]: 302.72.	93.551	4	2	1	10						

© 1998 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 2.01





ภาคผนวก ฉ
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

IE NET

Industrial Engineering Network Conference
2009

การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ปี 2552
Industrial Engineering Network Conference 2009

21-22 ตุลาคม 2552

โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชอาอคิด จังหวัดขอนแก่น



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ร่วมกับ





สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
P312: การเตรียมเส้นใยนาโนจากแร่โอชิน มณฑลไถ่ยรัชย์ กลั่นนุบผา กิตติพงษ์ กิมะพงค์ สรพงษ์ ภาสุปรีย์	1101
P318: การศึกษาความเป็นไปได้ของเก้าอี้ลอยอูมิเนียมต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของอิฐทนไฟ ศาสตราจารย์ เตี้ยะตาซัง สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล กิตติพงษ์ กิมะพงค์	1107
P323: การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวในการกลึงเหล็กทำแม่พิมพ์งานเป็น ฉัษฐกร แก้วอินทร์ศรวล สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล สันติรัฐ นันสะอาง	1112
P325: การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวในการกลึงเหล็กทำแม่พิมพ์งานร้อน DHA1 ด้วยมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวด้วยกระบวนการ PVD สุรพันธ์ รักษาพรหมณ์ สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล	1118
P326: การออกแบบและสร้างเครื่องตัดกึ่งไม้สำหรับติดตั้งบนรถปฏิบัติการบนที่สูง พิพิณนธ์ พูลสวัสดิ์ กิตติภักฎ รัตนจันทร์	1124
P328: การออกแบบเครื่องเชื่อมด้วยแรงเสียดทานขนาดเล็ก ประมุข เจนกิตติยนต์ กิตติภักฎ รัตนจันทร์	1131
P333: การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบความล้าแบบบิตเพื่อใช้ในห้องทดสอบ กิตติภักฎ รัตนจันทร์ ประมุข เจนกิตติยนต์	1137
P341: การพัฒนาการออกแบบโครงสร้างรถโดยสารบนพื้นฐานรูปแบบตัวแปร ฉัษฐพงษ์ มุสิกะ กุศล พิมพันธ์ศรี	1143
P380: ความสามารถในการรับแรงของเกลียวไนที่ขึ้นรูปด้วยวิธีขึ้นรูปต้นแบบอย่างรวดเร็ว สุรศิษฐ์ ไรจนันต์ อภิทาน ลี	1150
P391: กรณีศึกษากระบวนการ EDM ทั้งสแตนคาร์ไบด์โดยเติมผงโคบอลต์ผสมในสารไดอิเล็กทริก ภาณุวัฒน์ ชำมะเรียง อภิวัฒน์ มุตตามระ พิชัย จันทรมณี	1156
P394: การศึกษาสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ผสมจากยางธรรมชาติกับ พอลิไพรีนและยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง คมกฤต เล็กสกุล พงษ์สวัสดิ์ เปรมเพชร	1161



P318

การศึกษาความเป็นไปได้ของถ้ำลอยอลูมิเนียมต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของอิฐทนไฟ

ศาสตราจารย์ เตี่ยะดาซัง สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล กิตติพงษ์ กิมะพงศ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.ธัญบุรี

อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12110 โทร 02-5493554 โทรสาร 02-5493656

E-mail: sarthrachai@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ของถ้ำลอยอลูมิเนียมต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของอิฐทนไฟ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ คือ ถ้ำลอยอลูมิเนียมจากโรงหลอมอลูมิเนียมจากจังหวัดอุรุษยาซึ่งเป็นเศษกากคล้ายฝุ่นที่เหลือใช้แล้ว โดยนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักผสมเข้ากับวัตถุดิบอื่นที่ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในการผลิตอิฐทนไฟประกอบด้วย อลูมินา, ซิลิกา, เหล็กออกไซด์ แล้วนำทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานของอิฐทนไฟอลูมินาสูงและคุณสมบัติต่างๆ ผลการทดลองโดยสรุปคือการคัดแยกขนาดของอนุภาคถ้ำลอยอลูมิเนียมที่ Mesh No.100 ในอัตราส่วนผสมที่สัดส่วนที่ 20:80 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5M100C300 อัดขึ้นรูปด้วยแรงดันที่ 300 กก/ซม² แล้วทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ค่าทดสอบทางคุณสมบัติทางฟิสิกส์คือค่าความหนาแน่น คือ 1.90 กรัม/ลบ.ซม. ค่าความพรุนปรากฏอยู่ที่ 38% ค่ากำลังต้านแรงบีบดเมื่อเย็น เท่ากับ 827.04 กก./ตร. และค่าความทนไฟ คือ 1.7207 (W/mK)

คำสำคัญ อิฐทนไฟ, ถ้ำลอยอลูมิเนียม, อลูมินา, ซิลิกา, เหล็กออกไซด์

การศึกษาความเป็นไปได้ของถ้ำลอยอลูมิเนียมต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของอิฐทนไฟ

Feasibility study of aluminum dross physical on refractory brick properties

ศาสตราจารย์ เตียบะตาช้าง¹ สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล² กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต. ธัญบุรี อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12110 โทร 02-5493554 โทรสาร 02-5493656

E-mail: sarthrachai@hotmail.com¹

บทคัดย่อ

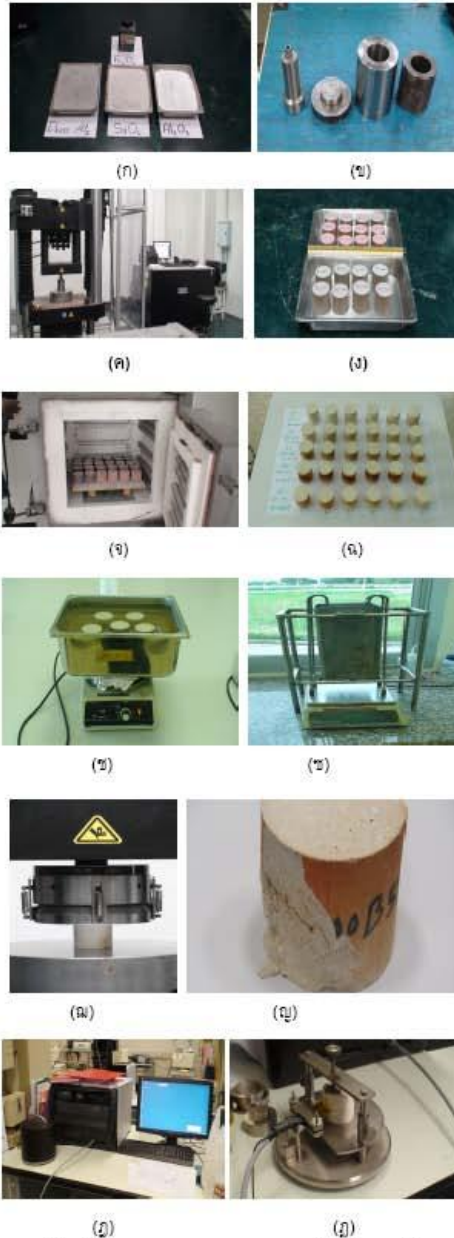
ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อ การศึกษาความเป็นไปได้ของถ้ำลอยอลูมิเนียมต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของอิฐทนไฟ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคือถ้ำลอยอลูมิเนียม จากโรงหลอมอลูมิเนียมจากจังหวัดอยุธยา ซึ่งเป็นเศษกากคล้ายฝุ่นที่เหลือใช้แล้ว โดยนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักผสมเข้ากับวัตถุดิบอื่นที่ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในการผลิตอิฐทนไฟประกอบด้วย อลูมินา, ซิลิกา, เหล็กออกไซด์ แล้วนำทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานของอิฐทนไฟอลูมินาสูงและคุณสมบัติต่างๆ ผลการทดลองโดยสรุปคือ การตัดแยกขนาดของอนุภาคถ้ำลอยอลูมิเนียมที่ Mesh No. 100 ในอัตราส่วนผสมที่สัดส่วนที่ 20:80 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5M100C300 อัตราขึ้นรูปด้วยแรงดันที่ 300 กก/ซม² แล้วทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ค่าทดสอบทางคุณสมบัติทางฟิสิกส์คือ ค่าความหนาแน่นคือ 1.90 กรัม/ลบ.ซม. ค่าความพรุนปรากฏอยู่ที่ 38 % ค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็น เท่ากับ 827.04 กก./ตร. และค่าความทนไฟ คือ 1.7207 (W/m K) **คำสำคัญ:** อิฐทนไฟ, ถ้ำลอยอลูมิเนียม, อลูมินา, ซิลิกา, เหล็กออกไซด์.

1.บทนำ

ในกระบวนการผลิตอิฐทนไฟ วัตถุดิบที่ใช้ส่วนใหญ่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้นำวัตถุดิบที่เหลือใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่คือ ถ้ำลอย

อลูมิเนียม(Aluminum Dross) ลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ คล้ายๆฝุ่น ซึ่งมีปริมาณมากขึ้นในแต่ละปีในถ้ำอลูมิเนียมมีธาตุและสารประกอบต่างๆ ที่สำคัญปะปนอยู่ในปริมาณสูง การที่ได้นำเข้ามาใช้เป็นส่วนผสม ในการผลิตอิฐทนไฟนั้น จะช่วยลดปริมาณการสูญเสียแร่ธาตุต่างๆของถ้ำลอยอลูมิเนียมประกอบด้วย Aluminum, Quartz, Silicon Retile, Corundum, Manganese เป็นต้น จากการวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบของถ้ำลอยอลูมิเนียมด้วย เครื่อง X-ray Diffract meter[1] [5] และยังช่วยอนุรักษ์ทรัพยากรแร่ และยังลดปัญหาสิ่งแวดล้อมเนื่องมาจากปริมาณของฝุ่นอีกด้วย กระบวนการผลิตอิฐทนไฟของงานวิจัยนี้ใช้ถ้ำลอยอลูมิเนียมเป็นวัตถุดิบหลัก โดยมีการกำหนดอัตราส่วนของวัตถุดิบอื่นที่ใช้ในการผลิตอิฐทนไฟไว้คงที่ด้วยการผสมคุกเค้ารวมให้เข้ากัน ประกอบด้วย Alumina 50-52%, Silica 44-46%, Iron Oxide 1.5% (ในอัตราส่วนผสมโดยอ้างอิงมาตรฐานอิฐทนไฟอลูมินาสูง KB-50 เป็นหลัก) โดยลดปริมาณของถ้ำลอยอลูมิเนียม ลงในสัดส่วนต่างๆ แล้วนำไปเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ของถ้ำลอยอลูมิเนียมต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของอิฐทนไฟ[1] [4] [6] ด้วยข้อมูลงานวิจัยข้างต้น.

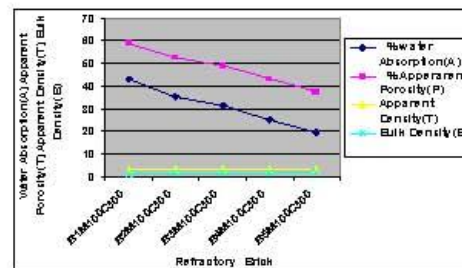
2. วิธีการทดลอง



รูปที่ 1. ขั้นตอนของกระบวนการผลิตอิฐทนไฟ (ก) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐทนไฟ (ข) Fixture ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป (ค) เครื่อง Tensile test ที่ใช้อัดขึ้นรูปชิ้นงาน (ง) ตัวอย่างชิ้นงานหลังจากอัดขึ้นรูปแล้ว (จ) เตาตัวอย่างเผา

ชิ้นงานทดสอบ (ฉ) ตัวอย่างชิ้นงานหลังการจากเผาแล้ว (ช) กระบวนการทดสอบหาค่าความหนาแน่น และการหาค่าความพรุนปรากฏของชิ้นงาน (ฌ) การทดสอบหาค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น (ญ) ชิ้นที่ผ่านการทดสอบหาค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็นแล้ว (ฎ) (ฏ) กระบวนการทดสอบและวิเคราะห์การทดสอบค่า Thermal Conductivity (K). วัตถุดิบที่ใช้คือ เถ้าลอยอลูมิเนียม ใช้เป็นวัตถุดิบหลัก โดยมีตัวแปรต่างๆ คือ กระบวนการคัดแยกขนาดของอนุภาคเถ้าลอยอลูมิเนียมที่ Mesh No.100 อยู่ในช่วงของช่องเปิดที่ 149-0.1 μm อัตราส่วนผสมที่สัดส่วน 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, และ 20:80 การอัดขึ้นรูปที่ความดันที่ 300 กก/ซม² (61.22 KN) ด้วยอัตราความดันคงที่ 50 KN/min และคงค่าความดันไว้ที่ 61.22 KN นาน 1 นาที นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 °C อัตราการเผาที่ 5 °C/min นาน 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวภายในเตา หลังจากนั้นนำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบไป ทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ประกอบด้วย ค่าความหนาแน่น, ค่าความพรุนปรากฏ, ค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น และค่าความทนไฟ [1] [6] [6].

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล



รูปที่ 2. แสดงผลของคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบประกอบด้วย ค่าค่าความหนาแน่น, ค่าความพรุนปรากฏ, ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าการดูดซึมน้ำ ที่อัดขึ้นรูปด้วยความดัน 300 กก/ซม² โดยผสม Dross Aluminum และ Alumina, Silica, Iron Oxide ที่สัดส่วน (B1)100:0, (B2) 80:20, (B3) 60:40, (B4) 40:60, (B5) 20:80.

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าค่า Apparent Porosity (P) มีแนวโน้มมากที่สุดที่อัตราส่วนผสมของสัดส่วนที่ (B1)

4.3 ค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นที่มีค่าสูงสุดคือ 827.04 กก./ตร. ที่อัตราส่วนผสมของสัดส่วนที่ (B5)20:80 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5M100C300

4.4 ค่าความทนไฟที่มีค่าสูงสุดคือ 1.7207 (W/m K) ที่อัตราส่วนผสมของสัดส่วน (B5)20:80 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5M100C300

ผลการทดสอบของคุณสมบัติทางฟิสิกส์ โดยรวม ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5M100C300 ที่อัตราส่วนผสม

ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5M100C300 ที่อัตราส่วนผสมของสัดส่วนที่ 20:80 โดยมี Dross Aluminum 20% ผสมกับ Alumina, Silica, Iron Oxide 80% ซึ่งเป็นชิ้นงานที่มีผลการทดสอบของคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่มีผลดีที่สุด จึงได้นำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานอิฐทนไฟอลูมินาสูง เคบี-50(ใช้อ้างอิงในการเปรียบเทียบกับงานวิจัย) ดังนี้ ค่าความหนาแน่นที่มีค่าสูงสุดคือ 2.30 กรัม/ลบ.ซม. ค่าความพรุนปรากฏที่มีค่าสูงสุดคือ 18-22% ค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นที่มีค่าสูงสุดคือ 450 กก. /ตร. ค่าความทนไฟที่มีค่าสูงสุดคือ 1,780 องศาเซลเซียส ส่วนประกอบทางเคมีประกอบด้วยประกอบด้วย Alumina 50-52%, Silica 44-46%, Iron Oxide 1.5% พบว่ามีคุณสมบัติค่าความพรุนปรากฏ และค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นที่มีค่าสูงกว่า ส่วนค่าความหนาแน่นกับค่าความทนไฟที่มีค่าน้อยกว่า.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกล้างไปได้ดีด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ ดร.สมศักดิ์ อิทธิโสภณกุล ดร. กิติพงศ์ กิมะพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งได้ให้คำแนะนำความรู้และข้อคิดเห็นรวมถึงปัญหาต่างๆ ต่องานวิจัยฉบับนี้ตลอดมา และขอกราบขอบพระคุณ

ทางผู้วิจัย ขอขอบคุณบุคคลที่เกี่ยวข้องที่ได้ให้การช่วยเหลือ และสิ่งอำนวยความสะดวกระหว่างการปฏิบัติงานวิจัย ในแต่ละขั้นตอนของงานวิจัยเป็นอย่างดี คือ นักวิชาการ ศูนย์พัฒนาวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ และนักวิชาการ ฝ่ายนวัตกรรมวัสดุ ของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับคุณบิดา-มารดา และบุคคลรอบข้างที่คอยให้กำลังใจช่วยเหลือเสมอมาไว้ ณ โอกาสนี้.

เอกสารอ้างอิง

- [1] สาโรจน์ ขาวดี, 2544, การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพของอิฐทนไฟโดยใช้ทรายซัยนาทเป็นวัตถุดิบหลัก, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี บัณฑิตวิทยาลัย
- [2] บุญเลิศ ยี่เต็ง, รุจโรจน์ อ่อนสะอาด, การเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตอิฐทนไฟ, ก่อสร้างและงานไม้ (เทคโนโลยีโยธา) สถาบันพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [3] กระทรวงอุตสาหกรรม, 2541 มาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐทนไฟอลูมินาสูง, มอก. 547-2541, วารสารกระทรวงอุตสาหกรรม
- [4] ปารวีร์ เซาร์, ศิริพร ลากเกียดถาวร, ลักษณะความพรุนตัวของอลูมินาที่เตรียมด้วยวิธีอัดขึ้นรูป, ฝ่ายเทคโนโลยีวัสดุ, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
- [5] เศรษฐ เอี่ยมจิตกุลส ปี42ฉบับที่136 กันยายน 2537 หน้า24-25 ต่อหน้า 11
- [6] ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539, วัสดุทนไฟ, วารสารเชรามิกส์, พิมพ์ครั้งที่ 4 หน้าที่ 409-495
- [7] จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540, วัสดุทนความร้อน, วารสารเชรามิกส์, ปีที่3, ฉบับที่6-9, หน้าที่52-6
- [8] American Society for Testing and Material, 2000, ASTM Designation C 20-97, ASTM Designation C133-97, ASTM Designation C201-93, ASTM DesignationC135-97:GeneralProduct, ChemicalSpecialtieChemicalSpecialtieUseProductRefractoriness, AnnualBookofASTMStandard, Vol.04.01, Philadelphai, ASTM, pp.149-162
- [9] Bra wall, M., 1998, Refractory, pp.55-58
- [10] Clancy, T.A. and Benson, D.J., 1989, Ceramic Engineering and Science Process ding, pp.210-218

- [11] Nandi, D.N., 1987, Handbook on Refractory, New Delhi, Mc Graw-Hill, pp30-31
- [12] Norton, F.H. Fine ceramics; technology and Application. New York: McGraw -Hill, 1970.507 pp.
- [13] Rhodes, Daniel. Clay and glazes for the potter. 2nded.Philadelphia.Chilton Book Co.1972.219 pp.
- [14] Singer, Felix and Singer, Sonja S. Industrial Ceramics. London: university Press Cambridge, 1979. 1455 pp.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายศาสตราจารย์ เตี้ยะตาซ่าง
วัน-เดือน-ปีเกิด	เกิดวันที่ 2 เมษายน 2517
ที่อยู่	28 หมู่ที่ 6 ต. คอนพุทรา อ. คอนตุม จ. นครปฐม 73150
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล เมื่อ พ.ศ. 2546
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2546- 2549	ตำแหน่ง วิศวกรการผลิต บริษัท เมคเคเลค จำกัด
พ.ศ. 2549-ปัจจุบัน	ตำแหน่งผู้ช่วยนักวิชาการ หน้าที่รับผิดชอบคือ ด้านการออกแบบ อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทดสอบ, การทดสอบการประเมินอายุการใช้งาน และการทดสอบความล้าของชิ้นงานศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติ ของวัสดุ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่

ศาสตราจารย์ เตี้ยะตาซ่าง และคณะ, “การศึกษาความเป็นไปได้ของถ้ำลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติทางฟิสิกส์ของอิฐทนไฟ” การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2552, 21-22 ตุลาคม 2552. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้าที่ 1107-1111.