



โครงการวิจัย เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าลอยอลูมิเนียมเป็นส่วนผสมในอิฐทนไฟ

Feasibility Study of Aluminum Dross as Alloying component
of Refractory Brick

โดย

นายปราโมทย์	พูนนายม
ผศ.ไพบุลย์	แย้มเพื่อน
ผศ.ดร.กิตติพงษ์	กิมะพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี 2555

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ถั่วลยอกมูลิเนียมเป็นส่วนผสมในอิฐทนไฟ

งบประมาณประจำปี 2555





โครงการวิจัย เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าลอยอลูมิเนียมเป็นส่วนผสมในอิฐทนไฟ

Feasibility Study of Aluminum Dross as Alloying component
of Refractory Brick

โดย

นายปราโมทย์ พูนนายม
ผศ.ไพบุลย์ แยมเผื่อน
ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี 2555

ผู้วิจัย : ปราโมทย์ พูนนายม
ผศ.ไพบุลย์ แยมเผื่อน
ผศ.ดร. กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
ชื่องานวิจัย : การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าลอยอะลูมิเนียมเป็นส่วนผสมในอิฐทนไฟ
หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

การผลิตอิฐทนไฟได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามแนวโน้มความต้องการของตลาดที่เพิ่มขึ้น มีการพัฒนาการผลิตโดยใช้วัตถุดิบเหลือใช้เป็นส่วนผสม เช่น ในอุตสาหกรรมหล่อโลหะมีเศษเถ้าลอยอะลูมิเนียมเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตจำนวนมากที่ถูกทิ้งอย่างไร้ประโยชน์และก่อให้เกิดมลพิษ ทั้งๆที่กากเหลือเหล่านี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่ยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐทนไฟได้ การใช้เศษเถ้าลอยอะลูมิเนียมเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐทนไฟจึงเป็นแนวคิดในการผลิตอิฐทนไฟแบบใหม่ซึ่งมีสมบัติค่าความทนไฟสูงขึ้น มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนการผลิตลดปริมาณของเสีย ลดมลพิษและรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมด้วย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาส่วนผสมและอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการผลิตอิฐทนไฟของเถ้าลอยอะลูมิเนียม โดยออกแบบการทดลองให้มีตัวแปรซึ่งประกอบด้วย ขนาดของ Mesh No.40 ถึง 100 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันที่ 100:00 ถึง 20:80 แรงดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 ถึง 350 kg/cm^2 และอุณหภูมิในการเผาขึ้นงานที่ $1,200^\circ\text{C}$ ถึง $1,300^\circ\text{C}$ แล้วนำตัวอย่างชิ้นงานไปทดสอบสมบัติทางกายภาพซึ่งประกอบด้วยค่าความหนาแน่น, ค่าความพรุนปรากฏ, ค่าการดูดซึมน้ำ, ค่าความถ่วงจำเพาะ, และสมบัติทางกลประกอบด้วย ค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็น จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐานของอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB-50

ผลการทดลองครั้งนี้โดยสรุป คือ ตัวอย่างชิ้นงาน B1M50C300X คัดแยกขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ Mesh No. 50 ในอัตราส่วนผสม 100:00 อัดขึ้นรูปด้วยแรงดัน 300 kg/cm^2 และเผาที่อุณหภูมิ $1,200^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลพบว่า มีค่าความหนาแน่น 1.41 g/cm^3 , ค่าความพรุนปรากฏ 56.37%, ค่าการดูดซึมน้ำ 3.24%, ค่าความถ่วงจำเพาะ 39.95, ค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็น 6.11 MPa และยังพบว่าค่าสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีที่สุดของตัวแปรในการผลิตอิฐทนไฟของตัวอย่างชิ้นงาน B5M100C350X คัดแยกขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ Mesh No.100 ในอัตราส่วนผสม 20:80 อัดขึ้นรูปด้วยแรงดัน 350 kg/cm^2 และเผาที่อุณหภูมิ $1,200^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลพบว่า มีค่าความหนาแน่น 1.96 g/cm^3 , ค่าความพรุนปรากฏ 36%, ค่าการดูดซึมน้ำ 3.07%, ค่าความถ่วงจำเพาะ 18.30, และค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็น 54.08 MPa จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานของอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB-50 โดยผลทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลพบว่า ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2.30 g/cm^3 มีค่าน้อยกว่า 0.34 g/cm^3 , ส่วนค่าความพรุนปรากฏ เท่ากับ 22 % มีค่ามากกว่า 14 %, และค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็น เท่ากับ 45 MPa ซึ่งมีค่ามากกว่า 9.08 MPa.

คำสำคัญ : อะลูมิเนียม, เหล็กกล้าคาร์บอน, น้ำหนักที่สูญเสีย และอัตราการกัดกร่อน

Name : Mr.Pramote Poonnayam
Assist. Prof. Paiboon Yaemporn
Assist. Prof. Kittipong Kimapong, Ph.D.
Research : Feasibility Study of Aluminum Dross as Alloying component of
Title Refractory Brick
หน่วยงาน : Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

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 KB-50 brick standard.

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/cm³, 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/cm³ lower, the porosity 14% higher and the compressive strength is 9.08 MPa higher than standard values.

Keywords: refractory brick, aluminum dross, alumina, cold crushing strength

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2555 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดลอง ทำให้การทดลองสามารถดำเนินการไปได้อย่างราบรื่น

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสนำงานวิจัยชิ้นนี้ นอกจากนั้นขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับการวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ปราโมทย์ พูนนายม
ไพบุลย์ แยมเผื่อน
กิตติพงษ์ กิมะพงศ์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 สมบัติทั่วไปของวัสดุทนไฟ	5
2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตวัสดุทนไฟ	8
2.4 ชนิดของอิฐทนไฟ	9
2.5 การทดสอบสมบัติของอิฐทนไฟ	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	24
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย	24
3.2 เครื่องมือและขั้นตอนการดำเนินการ	25
3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของตัวอย่างชิ้นงานอิฐทนไฟ	36
3.4 การทดสอบกำลังต้านแรงบีบดเมื่อเย็น	39
3.5 ค่าความทนไฟ	41
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์	42
4.1 ผลการทดสอบของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	42
4.2 ขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ	42
4.3 การผสมของอัตราส่วนผสมในส่วนที่ต่างกันของการผลิตอิฐทนไฟ	43
4.4 ความดันในการอัดขึ้นรูปของการผลิตอิฐทนไฟ	43
4.5 การเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของการผลิตอิฐทนไฟ	44
4.6 ผลการศึกษาอิทธิพลตัวแปรของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ	45
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	74
5.1 สรุปผล	74
5.2 ข้อเสนอแนะ	74

เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	77

75

77



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติทางกายภาพของอะลูมิเนียม	5
2.2	สมบัติทางกลของอะลูมิเนียม	5
2.3	สมบัติทางกายภาพและทางกลของอะลูมินา	6
2.4	สมบัติทางกายภาพและทางกลของอะลูมินาและเซอร์โคเนียม	9
2.5	สมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐแมกนีไซต์	12
2.6	ผลการวิเคราะห์ของอิฐทนไฟชนิดโครม	13
2.7	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการเผาบัลก์เดนซิทีกับความพรุนตัวของวัตถุดิบ A และ B	14
2.8	สมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟโดโลไมต์	14
2.9	การปรับปรุงขนาดอนุภาคของอิฐทนไฟโดโลไมต์	15
2.10	โมดูลัสการยืดหยุ่นของโลหะบางชนิด	23
2.11	ความแข็งแรงครากและ ความแข็งแรงสูงสุดของโลหะบางชนิด	23



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตะแกรงแบบสั่นสำหรับหาปริมาณกากค้างตะแกรง	16
2.2 เครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test Instron SATEC Series.)	17
2.3 เตาเผาขึ้นงาน	18
2.4 ตัวอย่างรูปแบบของแรงกด	20
2.5 ลักษณะการเกิดความเค้นและความเครียด	21
2.6 การทดสอบแรงกด (a) การให้แรงแก่ชิ้นงาน (b) เครื่องทดสอบแรงกด	22
2.7 เส้นโค้งการทดสอบแรงกด	22
3.1 แผนภาพการไหลของกระบวนการในการดำเนินงานวิจัย	24
3.2 แผนภาพการไหลของขั้นตอนการทดลอง	25
3.3 แก๊ลลี่ยอะลูมิเนียม (Aluminum Dross)	26
3.4 เครื่องทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบ (X-Ray Diffractometer)	26
3.5 เครื่องทดสอบหาการกระจายตัว (Test Sieve Analysis)	27
3.6 แก๊ลลี่ยอะลูมิเนียมที่คัดแยกขนาดของอนุภาค	27
3.7 เตาอบขึ้นงาน	28
3.8 เครื่องชั่งที่ใช้หาอัตราส่วนผสมของตัวอย่างขึ้นงานทดสอบ	28
3.9 วัตถุดิบและส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ	29
3.10 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน	29
3.11 อุปกรณ์จับยึดขึ้นงาน (Fixture) ในการอัดขึ้นรูปตัวอย่างขึ้นงานทดสอบ	30
3.12 เครื่องทดสอบแรงกด	31
3.13 การอัดขึ้นรูปตัวอย่างขึ้นงานทดสอบ	31
3.14 ผลการทดสอบของโปรแกรมที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปตัวอย่างขึ้นงานทดสอบ	32
3.15 การดันตัวอย่างขึ้นงานทดสอบออกจากอุปกรณ์จับยึด	32
3.16 ตัวอย่างขึ้นงานทดสอบหลังจากการขึ้นรูป	32
3.17 การอบไล่ความชื้นของตัวอย่างขึ้นงานทดสอบ	33
3.18 เครื่องตัดขึ้นงาน (Cut-Off Machine MARUMOTO VELNUT)	33
3.19 การตัดขึ้นงาน	34
3.20 ตัวอย่างขึ้นงานทดสอบที่ผ่านการตัด	34
3.21 เตาเผา (Naber Therm รุ่น N60/H Maximum 1340 °C)	35
3.22 ตัวอย่างขึ้นงานทดสอบหลังจากการเผา	35
3.23 เตาอบตัวอย่างขึ้นงานทดสอบ	36
3.24 ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Divaricator)	37
3.25 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างขึ้นงานทดสอบ	37
3.26 การต้มตัวอย่างขึ้นงานทดสอบ	38
3.27 การชั่งน้ำหนักในน้ำ (ก) เครื่องชั่งน้ำหนักในน้ำ และ (ข) แสดงการชั่งขึ้นงานในน้ำ	38
3.28 เครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test Instron SATEC Series.)	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.29	การกดตัวอย่างขึ้นงานทดสอบ	40
3.30	จอภาพแสดงกราฟและผลทดสอบแรงต้านทานบีบดเมื่อเย็น	40
3.31	ตัวอย่างขึ้นงานทดสอบที่เสียหายหลังการทดสอบ	41
4.1	การกระจายตัวของเส้นลอยอะลูมิเนียม อะลูมินา ซิลิกา และเหล็กออกไซด์	43
4.2	ตัวอย่างขึ้นงานทดสอบหลังการอัดขึ้นรูป	44
4.3	ตัวอย่างขึ้นงานของเส้นลอยอะลูมิเนียมหลังการเผาอุณหภูมิที่ 1,200 °C	44
4.4	ตัวอย่างขึ้นงานที่เสียหายหลังการเผาอุณหภูมิที่ 1,300 °C (ก) ตัวอย่างขึ้นงานบิตบวม (ข) ตัวอย่างขึ้นงานหดตัว และ (ค) ตัวอย่างขึ้นงานที่แตกร้าว	45
4.5	ตัวอย่างขึ้นงานทดสอบที่ผ่านการอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 300 kg/cm ² ของ Mesh No.40: (ก) ตัวอย่างขึ้นงานทดสอบที่เสียหาย แตกร้าวบริเวณผิวหน้าตัดของขึ้นงาน และ (ข) การพังทลายของตัวอย่างขึ้นงานทดสอบ	47
4.6	ผิวหน้าตัดของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ² และการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °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	48
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	49
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	49
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	50
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	51
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบดเมื่อเย็นกับตัวอย่างขึ้นงานที่สัดส่วนต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	52
4.12	ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างขึ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบดเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ² อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °C	53
4.13	ผิวหน้าตัดของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ² อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้อุณหภูมิที่ 1,200 °C	54
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	55
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	56
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	57
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นกับตัวอย่างขึ้นงานที่สัดส่วนต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	58
4.19	ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างขึ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็น ของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ² อัตราส่วน ผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °C	59
4.20	ผิวหน้าตัดของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ² และการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °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	60
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	61
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	62
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่300 kg/cm ²	63
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบสัดส่วนที่ต่างกันขนาด อนุภาคที่Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	64
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นกับตัวอย่างขึ้นงานที่สัดส่วนต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	64
4.26	ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างขึ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็น ของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ² อัตรา ส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน และการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °C	65
4.27	ผิวหน้าตัดของขนาดอนุภาค Mesh No.100 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ² และการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 °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	67
4.28	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	68
4.29	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ ต่างกันขนาดอนุภาคที่Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.30	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2	69
4.31	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2	70
4.32	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นกับตัวอย่างชิ้นงานที่สัดส่วนต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2	70
4.33	ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้อุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$	71
4.34	ความสัมพันธ์ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบอิฐทนไฟกับอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB-50	72



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อิฐทนไฟเป็นวัสดุทนไฟชนิดหนึ่งซึ่งเป็นผลผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมเซรามิกที่ใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะแต่ในงานอุตสาหกรรมเซรามิกเท่านั้น หากยังใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่ต้องใช้ความร้อนสูงในการผลิต เช่น เตาหลอมโลหะในอุตสาหกรรมเหล็ก เตาเผาผลิตไอน้ำเพื่อผลิต กระแสไฟฟ้าและอุตสาหกรรมอื่นๆ การใช้อิฐทนไฟส่วนใหญ่ใช้ในงานก่อสร้างเตาเผาชนิดต่างๆ รูปลักษณะและขนาดของอิฐจึงมีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน [1] ความหมายของอิฐทนไฟ คือ อิฐที่มีความสามารถในการทนความร้อนได้สูง มีความต้านทานแรง แตกร้าวสูงในแนวขวาง นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อการยุบตัวของแรงเฉือนสูง วัสดุที่ใช้ทำมัก ประกอบด้วย ดินทนไฟ (Fire Clay) ดินเหนียว (Plastic Clay) ดินขาว (White Clay) หรือดินเกาลิน (Kaolin) และวัสดุอื่นๆ ตามแต่ละชนิดและการนำไปใช้งาน ซึ่งอิฐทนไฟสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ใหญ่ๆ คือ อิฐทนไฟไฟล์เคลย์ (Fri Clay Brick) อิฐทนไฟอะลูมินาสูง (High Alumina Brick) อิฐทนไฟ เชิงต่าง (Basic Brick) และอิฐทนไฟฉนวน (Insulator Brick) [2]

ปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมเพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี เช่น ในอุตสาหกรรมงานหล่อ ส่งผลถึง สภาพสิ่งแวดล้อมเนื่องจากฝุ่นละอองและมลพิษที่มีต่อระบบทางเดินหายใจได้ การกำจัดเถ้าลอย อะลูมิเนียม ในปัจจุบันใช้การฝังกลบเป็นส่วนใหญ่ โดยการขนส่งไปยังจุดฝังกลบทำให้เกิดรายจ่าย เพิ่มขึ้นตามมา คือ ค่าแรงงาน ค่ายานพาหนะ และค่าเชื้อเพลิงเป็นต้นด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิด และสมมติฐานและทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิตอิฐทนไฟเพื่อให้ได้ตัวแปรที่ เหมาะสมเพื่อเป็นการเตรียมข้อมูลพื้นฐานเพื่อประยุกต์ใช้ในอนาคตต่อไปและเป็นการลดต้นทุนของ วัสดุดิบลงได้โดยมีความน่าสนใจในสัดส่วนปริมาณของแร่ธาตุต่างๆ ของโครงสร้างและสารประกอบที่อยู่ ในเถ้าลอยอะลูมิเนียมซึ่งน่าจะมีอิทธิพลไม่มากนักน้อยในกระบวนการผลิตอิฐทนไฟ

การผลิตอิฐทนไฟนั้นคือ การนำเถ้าลอยอะลูมิเนียมซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอิฐทนไฟผสม กับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟประกอบด้วย อะลูมินา ซิลิกา และเหล็กออกไซด์ ด้วยอัตราส่วนผสม อ้างอิงจากส่วนผสมของอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB 50 เป็นหลัก โดยทำการลดปริมาณของเถ้าลอย อะลูมิเนียมลงตามสัดส่วนที่กำหนด การใช้ส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟประกอบด้วย อะลูมินา 50-52% ซิลิกา 44-46% และเหล็กออกไซด์ 1.5% เพื่อให้สมบัติของค่าความหนาแน่น ค่าความพรุน ปากฏ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าต้านแรงบดเมื่อเย็น เพิ่มสูงขึ้น [3]

ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเถ้าลอยอะลูมิเนียมเข้ามาทดแทนอะลูมินาบริสุทธิ์และ ผสมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟแล้วทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรการผลิตอิฐทนไฟ เพื่อให้ตัว แปรที่เหมาะสมที่ให้ค่าสมบัติทางกายภาพและทางกลสูงสุด เพื่อเป็นการเตรียมข้อมูลเพื่อประยุกต์ใช้ใน อนาคตต่อไป

1.2 จุดประสงค์การวิจัย

1.2.1 ศึกษาอิทธิพลตัวแปรของการผลิตอิฐทนไฟต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของเถ้าลอย อะลูมิเนียมผสมเข้ากับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ

1.2.2 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB-50

1.3 ขอบเขตของการศึกษาการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการคัสดขนาดของอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมโดยเครื่องทดสอบหาการกระจายตัวโดยการกระจายตัวขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วงที่กำหนด 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

1.3.6 ศึกษาการทดสอบสมบัติทางกลโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM Designation: C 113-97 ประกอบด้วย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นองค์ประกอบความรู้ในการวิจัยต่อไป โดยมีเป้าหมาย คือ ภาควิชาอุตสาหกรรมเพิ่มศักยภาพการวิจัยและพัฒนาของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ

1.4.2 นำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์โดยการนำเสนอกรรมวิธีกระบวนการผลิตอิฐทนไฟโดยใช้เถ้าลอยอะลูมิเนียมเป็นส่วนผสมเป็นพื้นฐานในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

1.4.3 ลดปริมาณของเสียของภาควิชาอุตสาหกรรมและรักษาสภาพสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 สาโรจน์ ขาวดี [1] ได้อธิบายถึงกระบวนการผลิตอิฐทนไฟ (Refractory Brick) วัตถุดิบที่นำเข้ามาใช้ในการผลิตอิฐทนไฟ คือ หินทรายจากแหล่งเขาน้อย ต.หันคา จ.ชัยนาท วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติพื้นฐานนำทรายหาอัตราส่วนในการขึ้นรูปอิฐทนไฟ ตามมาตรฐาน ASTM และเปรียบเทียบสมบัติพื้นฐานของอิฐทนไฟกับทฤษฎีอิฐทนไฟในท้องตลาด ผลการทดสอบที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติพื้นฐานอิฐฉนวนทนความร้อนที่ผลิตจากบริษัทสยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟจำกัด และบริษัทบางกอกแสงไทยจำกัด จากการศึกษาสมบัติพื้นฐานทรายชัยนาท พบว่า ผลการทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์มีค่าสูงกว่าทั้งสองบริษัท ส่วนสมบัติทางกลมีค่าต่ำกว่าทั้งสองบริษัท

2.1.2 บุญเลิศ ยี่เต็ง และ รุจโรจน์ อ่อนสะอาด [2] ศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการผลิตอิฐทนไฟภายในประเทศรวมถึงการนำตัวอย่างอิฐทนไฟมาทำการศึกษาคูณภาพ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและลดปริมาณการนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีมูลค่าสูง ปัญหาที่สำคัญคือ การวางแผนการผลิตในแต่ละปี จำนวนการสั่งผลิตอิฐทนไฟของลูกค้าไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งปี รวมถึงปัญหาของแรงงาน วัตถุดิบ เครื่องจักรและปัจจัยด้านอื่นๆและในด้านการยอมรับในคุณภาพของอิฐทนไฟภายในประเทศ ตลาดโดยรวมยังไม่มีเชื่อมั่นในมาตรฐานการผลิตและการควบคุมคุณภาพ จึงได้นำอิฐทนไฟที่ได้ผลิตจากโรงงานทั้งหมด 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 ซึ่งเป็นอิฐทนไฟที่มีการผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศไทยประมาณครึ่งศตวรรษมานี้โดยหน่วยงานของทางราชการ การใช้งานยังจำกัดอยู่ในวงแคบเฉพาะแต่ของราชการเท่านั้น คุณภาพยังไม่ดีเท่าที่ควร เพราะแหล่งวัตถุดิบจำกัดและกรรมวิธียังไม่ทันสมัยจนถึงปี พ.ศ. 2505 จึงได้มีบริษัทวัสดุก่อสร้างเริ่มกิจการผลิตอิฐทนไฟไฟร์เคลย์พร้อมทั้งพัฒนากรรมวิธีการผลิตควบคู่ไปกับการพัฒนาคุณภาพ จึงทำให้อิฐที่ผลิตได้ในปัจจุบันมีคุณภาพดี โดยเริ่มจากดินทนไฟที่มีความเหนียวเป็นตัวประสานและดินเชื้อ(Chayote) เป็นโครงสร้างของอิฐ ทั้งดินทนไฟและดินเชื้อ ต้องมีอุณหภูมิหรือผลรวมของอุณหภูมิของวัตถุทั้งสองจะต้องสูงกว่าผลรวมของซิลิกา มิฉะนั้นอิฐที่ผลิตได้จะมีความทนไฟต่ำ กรมวิทยาศาสตร์บริการได้พิจารณาเห็นว่าการผลิตอิฐทนไฟขึ้นใช้ภายในประเทศเป็นสิ่งจำเป็นจึงได้จัดเป็นโครงการศึกษาวิจัยสำรวจแหล่งวัตถุดิบพบว่าดินทนไฟหนองใหญ่ จ.ปราจีนบุรี มีความทนไฟสูง และดิสก์โคต (Diskette) จ.นครนายก มีสัดส่วนของ ซิลิกาและอะลูมินาเหมาะที่จะใช้ทำวัสดุทนไฟได้ จึงได้ทดลองใช้ผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ โดยผสมในเครื่องผสมแบบถังผสม (Duipanmixer) หมักด้วยน้ำเพื่อให้เกิดความพอดีในการอัดขึ้นรูป ริดผ่านเครื่องริด (Extruder) ให้ได้รูปร่างอิฐ ผึ่งลมให้แห้งจนแข็ง จึงนำมาอัดด้วยเครื่องอัดใช้แรงอัด 5 ตัน/จังหวะเป็นอย่างน้อย ผลการทดสอบพบว่า ได้สูตรของการทำอิฐทนไฟ รวมทั้งเทคโนโลยีการผลิตและการเผา เพื่อให้ได้อิฐที่มีคุณภาพดี การเผานั้นจะต้องเผาที่อุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึกมัลไลต์ ซึ่งจะเริ่มเกิดที่อุณหภูมิ 1,200 °C และเกิดมากที่สุดที่อุณหภูมิ 1,400 °C ขึ้นไป ถ้าใช้อุณหภูมิการเผาที่ต่ำเกินไป ปริมาณการใช้งานและการทนทานต่อการรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูงจะน้อยลงไปด้วย

2.1.4 ปารวีร์ เชาวโน และ ศิริพร ลาภเกียรติถาวร [4] ได้กล่าวถึง ลักษณะความพรุนตัวของอะลูมินาที่เตรียมด้วยวิธีการอัดขึ้นรูป ขึ้นงานอะลูมินาถูกเตรียมให้มีความเป็นรูพรุน โดยการผสมผงอะลูมินากับสาร

โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ในปริมาณ 10% และ 20 % ทำการผสมสารทั้งสองให้เข้ากันจากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปโดยวิธีการอัดให้เป็นเม็ดโดยใช้แรงอัดที่ 1,000 และ 1,500 kg/cm² นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,400 , 1,450 และ 1,500 °C รักษาอุณหภูมิสูงสุทธนาน 2 ชั่วโมง ซึ่งงานที่ได้หลังการเผาจะนำไปวิเคราะห์ ค่าความหนาแน่น ค่าความพรุนตัว ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าการดูดซึมน้ำด้วยวิธีอะคิมีดิสและศึกษาลักษณะของโครงสร้างระดับคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ผลการทดสอบพบว่า ปริมาณโพลีไวนิลแอลกอฮอล์มีผลต่อความพรุนตัวของชิ้นงานมากกว่าแรงอัดขึ้นรูปและความแตกต่างของความพรุนตัวจะแสดงความชัดเจนมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผา การลดแรงอัดไม่แสดงการเพิ่มของความพรุนตัว

2.1.5 สุรเชษฐ์ จิงเกษมโชคชัย วราภรณ์ คุณวานากิจ ลดา พันธุ์สุขุมธนา วรรณมา ต.แสงจันทร์ และพิมพ์วิมล วัฒนโภาส [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 และทดลองเพิ่มกำลังแรงอัด โดยเติมทรายละเอียดลงในส่วนผสมแปรเปลี่ยนปริมาณทรายในช่วงร้อยละ 5-35 โดยผลการทดลองมีค่าความหนาแน่นลดเหลืออยู่ในช่วง 0.54-0.70 g/cm³ และค่ากำลังรับแรงอัด 32-52 kg/cm² ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานในการก่อสร้างได้

2.2 สมบัติทั่วไปของวัตถุนไฟ

2.2.1 ซิลิกา (Quartz) [7]

ควอตซ์ หรือ ซิลิกา คือ องค์ประกอบหลักการเนื้อทรายที่พบเห็นกันทั่วไป สูตรทางเคมี SiO₂ มี Si 46.7% และ O₂ 53.3% มีความเสถียรคงทนต่อการกัดกร่อนสูงมาก มีองค์ประกอบทางเคมีที่บริสุทธิ์และสมบัติทางฟิสิกส์ที่คงที่ แร่อื่นๆที่อาจพบได้ คือ ลิเทียม โวเดียม โปรแตสเซียม อลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส และไททาเนียม ควอตซ์มีรูปผลึกเฮกซะโกนาล เกิดเป็นแท่งยาวปลายแหลมทั้งหัวท้าย บางครั้งเกิดผลึกแฝด มีเนื้อสีเทาเข้ม มีความแข็งแรงความถ่วงจำเพาะ 2.65 รอยแตกแว้ว วาวคล้ายแก้ว หรือเทียนไข มีสีขาว หรือสีอื่นๆขึ้นอยู่กับมลทิน เช่น เหล็กให้สีม่วงถึงเหลือง ไททาเนียมให้สีชมพู เป็นต้น เนื้อควอตซ์โปร่งใสถึงโปร่งแสง ควอตซ์จึงมีมากมายหลายชนิดรวมทั้งที่เป็นผลึกหยาบ และพวกที่เป็นผลึกละเอียดหรือเนียนละเอียดมองตาเปล่าไม่เห็น ซึ่งมีเนื้อเป็นแบบเส้นใย (Fibrous) และแบบมวลเมล็ด (Granular) ควอตซ์เป็นส่วนประกอบของหินอัคนี เช่น แกรนิต ไรโอไลต์ และเบกมาไทต์ แล้วสะสมตัวเป็นหินทรายและอื่นๆ เมื่อหินอัคนีผุพังไปโดยทั่วไป จะพบควอตซ์ อยู่ร่วมกับเฟลด์สปาร์เป็นสายแร่ และพบควอตซ์ ตามลำธารท้องน้ำฝั่งทะเลส่วนประกอบของดินในรูปของทราย ควอตซ์ ใช้เป็นรัตนชาติ หินประดับ หรือนำไปใช้งานในลักษณะอื่น เช่น เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ เครื่องมือทางแสง ทำเลนส์และปริซึม ควอตซ์ในรูปของทรายเป็นส่วนประกอบหลักในงานคอนกรีต งานก่อสร้างทุกชนิด เป็นผง (Flux) ทำวัสดุขัดสีเป็นวัสดุหลักในอุตสาหกรรมแก้วและกระจก เป็นส่วนผสมในเนื้อผลิตภัณฑ์เซรามิก เครื่องเคลือบ (Porcelain) ทำเนื้อกระดาษทรายและเป็นวัสดุเติม (Filler)

2.2.2 อะลูมิเนียม (Aluminum) [7]

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของอะลูมิเนียม [7]

สมบัติทางกายภาพ	หน่วย
เลขอะตอม	13
น้ำหนักอะตอม	26.9815 cm^3/mol
โครงสร้าง	FCC
สี	ขาวเงิน
รัศมีอะตอม	1.82 $^{\circ}$
ความหนาแน่น	293 g/cm^3
จุดหลอมเหลว	660.37 $^{\circ}\text{C}$
จุดเดือด	2,519 $^{\circ}\text{C}$
ความร้อนจำเพาะ	0.90 J/kg
ความร้อนในการหลอมละลาย	10.790 kJ/mol
ความร้อนกลายเป็นไอ	293.40 kJ/mol
การนำความร้อน	2.37 W/cmK
อัตราการหดตัวจากสภาพการหลอมเหลว	6.60 %

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

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 Al_2O_3 พบในธรรมชาติในรูปของแร่คอร์ันดัม (Corundum) โดยปกติจะมีสีขาวหรือไม่มีสี แต่หากมีสิ่งเจือปนในโครงสร้าง ของอะลูมินา เล็กน้อย จะทำให้เกิดสีต่าง ๆ ทำให้มีความสวยงามมากขึ้น กลายเป็นแร่ที่มีค่า เช่น สีแดงของทับทิมเกิดจาก มีธาตุโครเมียมอยู่ในเนื้ออะลูมินา เป็นต้น อะลูมินาที่ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตขึ้นจากแร่บ็อกไซต์โดย กระบวนการที่มีชื่อว่า กระบวนการของเบเยอร์ เพื่อเป็นการกำจัดสิ่งเจือปนและเปลี่ยนอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ให้เป็นอะลูมินา ที่ผลิตได้ส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 90) ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตโลหะอะลูมิเนียม ส่วนที่ เหลืออีกประมาณร้อยละ 10 นำไปใช้ในรูปของอะลูมินาโดยตรง มีโครงสร้างผลึกแบบเฟสอัลฟา (Alpha Phase) เป็นเฟสที่มีเป็นตัวที่มีค่าเสถียรมากที่สุดที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากผลึกมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ มีค่าความหนาแน่นสูง อะลูมินามักพบในรูปของแข็ง (Hydrate) คือ ผลึกของอะลูมินามีการรวมตัวทางเคมีกับ น้ำ เช่น หินบักไซต์ (Bauxite) ซึ่งประกอบด้วยแร่ที่สำคัญ 3 ชนิด คือ จิบไซต์ ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) มีความแข็งแรงสูง ที่สุด โดยเฉพาะ (Hexagonal Alpha H_2O) โคเอสปอร์ ไบท์ไมท์ จุดหลอมเหลวสูง ($2,050^\circ\text{C}$) อะลูมินา เป็นวัสดุที่มีความทนไฟสูง มีความทนต่อการกัดกร่อน จากสารเคมี และมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีด้วย สมบัตินี้เอง อะลูมินาจึงถูกนำมาใช้ในการผลิตวัตถุทนไฟ เตาหลอม หัวเทียน และแผ่นรองวงจรไฟฟ้า ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านเตาเผาได้รุดหน้าไปมากสามารถผลิตอะลูมินาที่หลอมตัวเป็นเนื้อแก้ว มีความโปร่งแสงได้ดี ซึ่งใช้ประกอบกับอุปกรณ์ทำโคมไฟและได้มีการนำอะลูมินามาผสมในเนื้อดินใช้ในการผลิตถ้วยชาม (Tableware) ด้วยอย่างไรก็ตามการนำอะลูมินามาใช้ ก็มีผลเสียในบางกรณี เช่น อัตราการขยายตัวของดินต่ำ ไม่เท่ากับอัตราการขยายตัวของเคลือบ เพราะเมื่อผลึกอะลูมินา เมื่อเผาผ่านความร้อนไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง รูปผลึกซับซ้อนเหมือนซิลิกานอกจากนี้ อะลูมินาเป็นวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะหนักถึง 3.95 ถ้าใช้ผสม เนื้อดินปริมาณ 35 % จะทำให้เนื้อดินหลังการเผา มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นถึง 20% และอะลูมินามีค่าความแข็งแรงถึง 90 HRC ซึ่งรองจากเพชร ทำให้การบดย่อย ให้เป็นผงละเอียดทำได้และค่อนข้างยาก ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอะลูมินา [10]

Fine ceramics		Zirconium			
Properties Eigenschaften	Units	Polycrystalline Ruby $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3$	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 เป็นวัตถุดิบทนไฟสูง และมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าซิลิกา จึงบดให้ละเอียดได้ยาก และทนต่อการต้านทานอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงฉับพลันกะทันหัน (Thermal Shock) วัตถุดิบเซอร์โคเนียมถูกนำมาใช้ในการเตรียม น้ำเคลือบสีขาวทึบ ใช้ทำอุปกรณ์ทนไฟในเตาเผา และนำมาใช้พ่นแผ่นรองเตาเผา เมื่อนำมาบดละเอียด โดยผสมกับดินขาวในปริมาณ 10% เซอร์โคเนียมมีจุดหลอมเหลวสูงถึง 2,550 °C รูปผลึกเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้ามียอดปิรามิดด้านบนและล่าง ประโยชน์ของเซอร์โคเนียมใช้พ่นบุผนังเตาหลอมอะลูมิเนียม และทำแม่พิมพ์หล่ออะลูมิเนียม เนื่องจากเซอร์โคเนียมเป็นวัตถุที่ไม่เปียกอะลูมิเนียมใช้ทำเซอร์คอนปอร์เลนโดยใช้เซอร์โคเนียมในปริมาณ 60-70% ของเนื้อดินหลังการเผามีความแข็งแรงสูงและมีน้ำหนักมากเนื่องจากเซอร์โคเนียมมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง สามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีใช้ในการทำอุปกรณ์ให้องค์ปฏิบัติการเคมี ผลึกของเซอร์โคเนียมเป็นอัญมณีมีค่าชนิด ซึ่งเรียกชื่อไทยว่า เพทาย

2.2.5 อะลูมินาและเซอร์โคเนียม (Zirconium Toughened Aluminum ZTP) [10]

เป็นวัตถุดิบที่ประกอบด้วย อะลูมินา ที่มีความแข็งแรง และมีสมบัติทนต่อการสึกหรอ กับเซอร์โคเนียมที่มีความเหนียว และความแข็งแรงดัด ซึ่งเมื่อรวมตัวกันจะทำให้เกิดโครงสร้างภายในแบบทรงสี่เหลี่ยม (Cubic) ซึ่งเซอร์โคเนียมเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นแบบทรงสี่เหลี่ยม ZTP มีการปกคลุมถึงสามชั้นเพิ่มขึ้นในบริเวณที่เป็นส่วนโค้ง มีความบริสุทธิ์ (99.99%) สูงกว่า อะลูมินาและเซอร์โคเนียม 2 เท่าดังแสดงในตารางที่ 2.4

2.2.6 แร่เหล็กออกไซด์ (Iron Oxides) [8]

แร่นี้ปรากฏอยู่ในดินและมีอิทธิพลที่ทำให้เกิดสีต่างๆขึ้นในดิน โดยเฉพาะสีน้ำตาล เหลือง และแดง และอาจเกิดในลักษณะจุดประจุดในดินด้วย ประกอบด้วยแร่ต่อไปนี้คือวัตถุดิบจะได้แก่ เฮมาไทต์ (Iron Ore) แร่เหล็ก ถ่านหิน และหินปูนอากาศร้อนจะถูกเป่าเข้าไปในเตาเผาเพื่อจะทำให้ถ่านหินติดไฟและสร้างคาร์บอนไดออกไซด์และปล่อยพลังงานความร้อนอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ มีปฏิกิริยากับถ่านหินทำให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์จะช่วยลดปริมาณของออกไซด์ของเหล็กในแร่เหล็กที่กำลังละลาย ซึ่งจะไหลผ่านส่วนล่างของเตาเผา คาร์บอนมอนอกไซด์นี้จะถูกออกไซด์ไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้ออกซิเจนเพิ่มขึ้นในเหล็กออกไซด์ หินปูนจะช่วยดึงสิ่งเจือปนที่เป็นกรดออกจากแร่และทำให้เป็นเศษกากของสารละลาย ซึ่งจะล่อออกไปที่ส่วนผิวหน้าของเหล็กละลายคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกกำจัดทิ้งรวมทั้งคาร์บอนมอนอกไซด์จะลอยผ่านออกไปตอนบนของเหล็กหรือเหล็กกล้าได้ถูกใช้กว้าง เนื่องจากมีความแข็งแรงและราคาถูกแต่สามารถเกิดสนิมได้ง่าย การเกิดสนิมสามารถป้องกันได้โดยต่อเหล็กเข้ากับสารที่มีปฏิกิริยาสูงกว่าอะทิกเซน สังกะสีหรือแมกนีเซียม ยิ่งสารที่มีปฏิกิริยาเป็นสนิมก็จะเกิดสนิมแทนเหล็ก เรียกว่า สคริฟเฟียลโปรเทคชั่น ปกติจะใช้ในการทำรั้วหรือทำทองเรือดินศิลาแลง เหล็กออกไซด์ การวิเคราะห์ปริมาณ ชนิด และหน้าตัดดิน ผลการศึกษาปริมาณเหล็กออกไซด์ชนิดที่มีผลึกและเหล็กออกไซด์สัณฐานจากตัวอย่างดิน โดยเก็บจากบริเวณบ้านผืน (P1) หนองแก (P2) จังหวัดอุดรธานี บริเวณท่าแร่ (P3) บ้านนาโพธิ์ (P4) และบ้านโนนอุดม (P5) จังหวัดสกลนคร พบว่า ปริมาณเหล็กออกไซด์ในรูปผลึก และสัณฐานของดินศิลาแลงมีค่าอยู่ในพิสัย 0.61 - 11.57 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ (P5) มีปริมาณเหล็กออกไซด์ทั้งในรูปผลึก และสัณฐานรวมกัน > P3 > P2 > P1 > P4 และในทุกหน้าตัดดินเหล็กออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึกจนถึงชั้นที่มีการสะสมกรวดศิลาแลงจึงจะมีค่าลดลงในชั้นดินตอนล่างปริมาณเหล็กออกไซด์ในรูปผลึกของดินศิลาแลงมีค่าอยู่ในพิสัย 0.07 - 0.64 เปอร์เซ็นต์ P3 > P4 > P5 > P1 > P2 ปริมาณเหล็กออกไซด์

ในรูปที่มีผลึกมีปริมาณสูงกว่าในรูปเหล็กออกไซด์สัณฐานทั้งในดินศิลาแลง และในอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินศิลาแลง จากการศึกษาพบว่าเหล็กออกไซด์สัณฐานส่วนใหญ่มักพบในอนุภาคขนาดดินเหนียวในปริมาณที่สูงกว่าในดินศิลาแลงจากการหาความสัมพันธ์ทางสถิติของเหล็กในรูปต่าง ๆ พบว่า ค่าสัดส่วนของ Fed/Fete และค่า Fed- Forfeit ของหน้าตัดดิน (P4) มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 กับหน้าตัดดิน (P1)(P2) และ(P3) ศิลาแลงเกิดขึ้นได้ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ฝนตกมาก แต่แล้งนานด้วยในฤดูฝน น้ำใต้ดินมีระดับสูงทำให้ท่วมตอนบนของชั้นดิน (ซึ่งต่อไปกลายเป็นศิลาแลง) ระหว่างนั้น น้ำฝนจะละลายเอาสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์เอาไว้เมื่อถึงหน้าแล้งน้ำใต้ดินลดระดับต่ำลง ก็พาเอาสารประกอบอะลูมิเนียมลงไปสู่ที่ต่ำ เวลานานเข้า วัสดุบริเวณด้านบนจึงมีสารประกอบเหล็กออกไซด์มาก ขึ้น และมักรวมกันเป็นกลุ่มจึงเกิดเป็นโพรงว่างเป็นทางให้น้ำใต้ดินซึมขึ้นลงได้ง่ายขึ้น และชะสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์ออกไปเร็วด้วยทำให้ศิลาแลงมีลักษณะเด่น คือ มีรูพรุนทั่วไป 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] กล่าวไว้ว่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตวัสดุทนไฟได้มาจากสินแร่ตามธรรมชาติโดยตรง เช่น ดินแบบต่างๆ (Clay) หินฟันม้า (Feldspar) หินควอตซ์ (Quartz) และทรายทะเลนอกจากนี้วัสดุอย่างได้จากการสกัดจากสินแร่ 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

ก. ดินทนไฟที่ผสมธาตุเดี่ยว (Single Oxide) เป็นดินที่แสดงถึงคุณสมบัติการทนไฟได้มากน้อยเพียงใด ดินชนิดนี้ที่สำคัญและนิยมนำมาใช้กันมากได้แก่ ดินอะลูมินา (Al_2O_3) หรือแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เป็นส่วนประกอบในการผลิตวัสดุทนไฟ

ข. ดินทนไฟผสมออกไซด์ (Mixed Oxide) เป็นดินที่มีออกไซด์ผสมอยู่มาก แต่ที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ มุลไลต์ ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) คอร์ไดไรท์ ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)

ค. ดินทนไฟไม่ผสมออกไซด์ (Non Oxide) ดินประเภทนี้เป็นส่วนประกอบที่ไม่มีออกไซด์ปนอยู่ได้แก่ ซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ดินประเภทไม่ค่อยนิยมใช้มากนักเพราะมีราคาแพงดินทนไฟที่มีความเหนียวพบอยู่ทั่วไปบางครั้งพบในรูปดินดำและดินขาวเหนียว หรือถ้ามีเปอร์เซ็นต์ของเหล็กออกไซด์ปนอยู่สูง จะมีเหลืองไปจนถึงแดง ดินทนไฟที่นิยมนำมาใช้ส่วนใหญ่่นำมาจากจังหวัดลำปาง ระนอง สุราษฎร์ธานี ชลบุรี และปราจีนบุรี

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอะลูมินาและเซอร์โคเนียม [10]

Fine ceramics			Zirconium	
Properties Eigenschaft	Units	Zirconium	Zirconium Alumina (80%ZrO ₂ +20%Al ₂ O ₃)	ESD Zirconium Zr ₃ +Doping
Density Dichtes	g/cm ³	6	5.5	6
Cooler Farbe	-	Black	White	Anthracite
Flexural Strength Biegefestigkeit	MPa	1000	2200	-
Compressive strength Druckfestigkeit	MPa	1850	-	-
Hardness Härte	HV1	1400	1500	1100
Grain Size Korngröße	μm	<0.5	<0.5	-
Characteristics Eigenschaften	-	-	-	Electrostatic Dissipative 10 cm ²

2.3.2 ดินเชื้อ (Grog) [10]

ดินเชื้อเป็นดินประเภทเดียวกับดินทนไฟ นำมาใช้ผสมกับอิฐทนไฟได้ แต่ต้องนำไปเผาให้ร้อนประมาณ 1,000 °C เสียก่อน ทั้งนี้เพื่อไล่ไอน้ำที่อยู่ในดินออก ดินเชื้อจะแข็งตัวเป็นก้อนแล้วนำมาบดให้ละเอียดใช้ผสมกับดินทนไฟ (ดินที่ไม่ได้เผา) เข้าด้วยกัน การที่ต้องผสมเข้าด้วยกันเช่นนี้เพราะการผลิตอิฐทนไฟมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมตันจะมีการหดตัวสูง และจะมีการแตกเสียหายเนื่องจากการหดตัว

2.3.3 หินสบู (Pyrophyllite) [10]

หินสบูใช้ผสมเนื้อดินเพื่อให้ความทนไฟสูงขึ้น ก่อนนำไปใช้ต้องทำการเผาเสียก่อน เพื่อไล่ไอน้ำออก บดให้ละเอียดใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นอีกชนิดหนึ่งโดยปกติหากไม่ใช้ดินทนไฟชนิดที่มีคุณภาพดีสามารถทนความร้อนได้สูงแล้ว จะไม่ใช้หินสบูผสมด้วยก็ได้ หินสบูที่นำมาใช้ส่วนใหญ่มาจากจังหวัดนครนายก เชียงราย และสระบุรี

2.3.4 แร่ไคยาไนท์ (Al₂O₃.SiO₂) [10]

แร่ไคยาไนท์ใช้ผสมในเนื้อดินเพื่อผลิตอิฐทนไฟที่ต้องการคุณสมบัติในการทนความร้อนสูงกว่าอิฐทนไฟชนิดธรรมดา แต่ไคยาไนท์ก่อนนำมาใช้ต้องทำการเผาเสียก่อน ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิ 1,350 °C แร่ไคยาไนท์จะเปลี่ยนสภาพเป็นมุลไลต์ (Mullite) ซึ่งทนความร้อนได้สูงขึ้น

2.4 ชนิดของอิฐทนไฟ

Clancy and Benson [11] ได้กล่าวไว้ว่าอิฐทนไฟที่ใช้ทั่วไปมีอยู่หลายประเภทแต่สามารถจำแนกประเภทใหญ่ๆได้ 4 ชนิด คือ อิฐทนไฟไฟร์เคลย์ (Fire Clay Brick) อิฐทนไฟอะลูมินาสูง (High Alumina Refractory Brick) อิฐทนไฟเบสิก (Basic Refractory Brick) และอิฐทนไฟฉนวน (Insulating Fire Brick)

2.4.1 อิฐทนไฟไฟรเคลย์ (Fire Clay Brick) [12]

Par Melee [12] ได้บอกไว้ว่าอิฐทนไฟไฟรเคลย์ หมายถึง อิฐที่มีปริมาณของอะลูมินาอยู่ไม่เกิน 47.5% สามารถทนความร้อนได้ไม่ต่ำกว่า 1,430 °C อิฐทนไฟไฟรเคลย์ แบ่งได้เป็น 5 ชนิด ประกอบด้วย

- ก. ชนิดอิฐทนไฟสูงพิเศษ (Super Duty) ใช้สัญลักษณ์ SD
- ข. ชนิดอิฐทนไฟสูง (High Duty) ใช้สัญลักษณ์ HD
- ค. ชนิดอิฐทนไฟกึ่งซิลิกา (Semi-Silica) ใช้สัญลักษณ์ SS
- ง. ชนิดอิฐทนไฟปานกลาง (Medium Duty) ใช้สัญลักษณ์ MD
- จ. ชนิดอิฐทนไฟต่ำ (Low Duty) ใช้สัญลักษณ์ LD

วัสดุที่ผสมมีดินทนไฟ (Fire Clay) ดินเหนียว (Plastic Clay) ดินขาวหรือดินเกาลิน (Kaolin) และวัสดุอื่นๆ เช่น ดิกโคต (Docket) ซิลลิมาไนต์ (Solemnity) โคยานไนต์ (Khanate) บอกไซด์ (Bauxite) มุลไลต์ (Mullet) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างผสมกัน แล้วแต่ความเหมาะสม ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องเสร็จแล้วเอาออกจากแบบ 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 °C อิฐทนไฟอะลูมินาสูงแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิด ตามมาตรฐาน มอก. 547-2541 ดังนี้

- ก. อ 50 (มีอะลูมินาร้อยละ 50)
- ข. อ 60 (มีอะลูมินาร้อยละ 60)
- ค. อ 70 (มีอะลูมินาร้อยละ 70)
- ง. อ 80 (มีอะลูมินาร้อยละ 80)
- จ. อ 85 (มีอะลูมินาร้อยละ 85)
- ฉ. อ 90 (มีอะลูมินาร้อยละ 90)
- ช. อ 99 (มีอะลูมินาร้อยละ 99)

วัสดุที่ผสมมีดินทนไฟ (Fire Clay) ดินเหนียว (Plastic Clay) ดินขาวหรือดินเกาลิน (Kaolin) และวัสดุอื่นๆ เช่น ดิกโคต (Docket) ซิลลิมาไนต์ (Similarity) โคยานไนต์ (Khanate) บอกไซด์ (Bauxite) มุลไลต์ (Mullet) อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างผสมกัน แล้วแต่ความเหมาะสม ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องแล้วเอาออกจากแบบผึ่งให้แห้ง นำไปเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสม

2.4.3 อิฐทนไฟเชิงต่าง (Basic Refractory Brick) [13]

Grim [13] อธิบายว่าสามารถแบ่งอิฐทนไฟเชิงต่างได้ 4 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

- ก. อิฐแมกนีไซต์ (Magnetite Bick)

อิฐที่ผลิตจากแมกนีไซต์ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง เกิดมาแล้วประมาณ 100 ปี เกิดในอุตสาหกรรมถลุงโลหะ เนื่องจากอิฐชนิดนี้มีความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะและซัลฟิวที่อุณหภูมิสูงได้ดี ต้น ค.ศ. 1930 มีการนำอิฐที่ผลิตโดยใช้สารเคมีช่วยในการเกาะยึดมาใช้กันมากขึ้น และปัจจุบันก็ยังใช้กันอยู่ เมื่อเกิดกระบวนการ Line-Dimwits (LD) หรือกระบวนการถลุงโลหะโดยใช้ออกซิเจนในกระบวนการ (Basic Oxygen Furnaces Process) BOFP ได้มีการผลิตและบล็อกแมกนีไซต์ โดยใช้น้ำมันดิน (Tar-Funded) เป็นตัวยึดเกาะนี้สำหรับกรุเตาเหล่านั่น การบดและการคัดขนาดแรกๆทำโดยอาศัยการบดเปียกในแพนมิลล์

(Pan Mill) ปัจจุบันการบดใช้การบดแห้ง แล้วคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนและควบคุมการผสมให้ได้คุณภาพสม่ำเสมอ จะใช้ขนาด 3 หรือ 4 ช่วงในการผสมเพื่อให้ได้ตรงตามความประสงค์ เช่น ต้องการบดเค้นหินสูงหรือต้องการให้มีความต้านทานต่อการกระทำของความร้อน(Thermal-Shock-Resistance) การบดอาจบดด้วยโคนครัชเซอร์ (Cone Crusher) คัดขนาดเป็น 3 ช่วง ส่วนละเอียดได้จากการใช้บอลล์มิลล์ บดบางส่วนที่ได้จากการบดด้วยโคนครัชเซอร์ วัตถุดิบแต่ละขนาดเก็บไว้แยกกันในที่เก็บ ซึ่งต้องออกแบบให้ดีกับการไหลเหไปทางใดทางหนึ่ง (Segregation) ซึ่งส่วนต่างๆผสมกันตามส่วนผสมที่ต้องการให้ได้ตามวัตถุประสงค์เฉพาะที่ต้องการตัวเติมแต่งส่วนผสม (Addition) หลายๆส่วนผสมอาจใช้น้ำเพียงอย่างเดียว แต่มีการเติมซิลไฟต์ โลส ซึ่งจะเป็นผลพลอยได้จากโรงงานกระดาษเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของก้อนอิฐก่อนเผา อิฐที่ผ่านการเผา มักใช้แมกนีเซียมซิลเฟต หรือกรดซัลฟิวริกเติมลงไป นอกจากนี้ก็มีการใช้ฟอสเฟตเป็นตัวยึดเกาะเช่นเดียวกันกับการผลิตอิฐทนไฟชนิดมีอะลูมินาสูง บางครั้งมีการเติมออกไซด์เหล็กเพื่อการการขึ้นเตอร (Sinter) ซึ่งทำให้อิฐมีความพรุนตัวต่ำ มีการเติมอะลูมินา 6% ทำให้อิฐมีความต้านต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อนได้ดี เซาริง (Souring) สมัยแรกๆการผสมส่วนผสมของอิฐกับน้ำแล้วทิ้งไว้ระยะหนึ่งเป็นวิธีที่สำคัญมากในการผลิตอิฐชนิดแมกนีไซต์ แต่ปัจจุบันการใช้แมกนีไซต์ที่เผามาอย่างดีและมีโลม และต่างอื่นๆผสมกันอยู่ปริมาณเล็กน้อยบดผสมด้วยปริมาณเล็กน้อยบดผสมกับน้ำประมาณ 5% แล้วนำไปเข้าเครื่องอัดอิฐเป็นวิธีการที่ใช้ได้ดี อย่างไรก็ตามแมกนีเซียมมีวัสดุที่ผสมอยู่และเมื่อเผาจะให้วัสดุที่อ่อนนุ่ม หรือมีโลมผสมอยู่มาก ตัวอย่างเช่น วัตถุดิบที่มาจากโดโลไมต์ ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$) อาจต้องการเซาริงในบางรูปแบบปกติอาจเลือกวิธีการปล่อยให้ส่วนผสมกองทิ้งไว้บนพื้นเย็นๆ หรือพื้นร้อน และอาจจะต้องอบด้วยไอน้ำร้อนแต่การกระทำต้องระมัดระวังไม่ให้รวมตัวกับน้ำมากเกินไป ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ข. อิฐโครม [15, 16]

James ได้กล่าวความหมายของอิฐโครมไว้ว่า คืออิฐทนไฟที่ทำขึ้นมาจากส่วนผสมของแร่โครมเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ หรือทั้งหมดความพรุนตัวประมาณ 25% ความหนาแน่นรวมประมาณ 2.29 %

Ramming ได้กล่าวถึงว่าเป็นอิฐที่มี Direct-Bonded หมายความว่า อิฐที่มีเนื้อพันธะระหว่าง Periclase-Spinel และ Perclases อิฐชนิดนี้มีคุณลักษณะเฉพาะ ได้แก่ มีความแข็งแรงแม้ใช้งานที่อุณหภูมิสูง ความต้านทานที่ถูกล้างดี และไม่เปลี่ยนแปลงขนาดแม้ใช้งานที่อุณหภูมิ $1,800^\circ C$ ส่วนผสมของอิฐควรมีปริมาณ SiO_2 น้อย และการเผาอิฐควรเผาที่อุณหภูมิสูงจะสามารถทำให้เกิด Direct-Bonded มากขึ้นในปี 1927 ได้ร่วมมือกับบริษัทที่ผลิตอิฐทนไฟ ได้ผลิตวัตถุนไฟโดยการหลอมสินแร่หรือออกไซด์ ซึ่งเป็นส่วนผสมของวัตถุนไฟแล้วเทของเหลวลงในแบบ (Electro-Casting) เป็นเทคนิคที่ยาก เพราะว่าต้องใช้ อุณหภูมิสูงมาก อุณหภูมิที่ใช้ระหว่าง $1,800 - 2,500^\circ C$ วัตถุนไฟชนิดแรกที่ผลิตโดยวิธีนี้ ได้แก่ มูลโลต ซึ่งมีการใช้งานในบางส่วนของผนังเตาหลอมแก้วและต่อมาได้มีการเติม ZrO_2 เพื่อทำให้จุดหลอมเหลวต่ำลงแต่มีความต้านทานต่อซัลฟัดได้มากขึ้น ในปี 1952 จึงเกิดผลิตภัณฑ์แมกนีไซต์-โครม ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้าแบบที่สร้างขึ้นสำหรับรับรองของเหลวผลิตด้วยวัตถุนไฟที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง หรือผลิตด้วยแกรไฟต์หลังจากเทแบบเสร็จในระยะเวลาสั้นๆต้องรับนำผลผลิตที่ได้ไปชุกไว้ในกองวัสดุฉนวนเพื่อลดแรงกระทำเนื่องจากความร้อนระหว่างการปล่อยให้เย็นตัว โครไมต์เป็นที่มีแร่โครมเป็นส่วนประกอบโดยมีสูตรทั่วไป $(Mg, Fe^{2+})O \cdot (Cr, Al, Fe^{3+})_2O_3 \cdot MgO \cdot Al_2O_3$ เป็นอัญมณีและมีโครงสร้างเป็น สปิเนล ถือเป็นต้นแบบสินแร่โครมเกิดจากการแทนที่บางส่วนของ $MgFe^{2+}$ และการแทนที่ Al ด้วย Cr^{3+} หรือ Fe^{3+} มีการใช้สินแร่โครมในอุตสาหกรรมเหล็กกล้าในปี ค.ศ 1880 โดยใช้เป็นวัสดุคั่นกลางระหว่างวัตถุนไฟชนิดต่างและกรด เช่น คั่นกลางระหว่าง Mg O กับ SiO_2 วัตถุนไฟชนิดโครม-แมกนีไซต์ เกิดจากการผสม Mg O ลงไปในโคร

ไมต์โดยที่มีโครมมากกว่า 50% และสำหรับแมกนีไซต์-โครม เป็นวัตถุดิบไฟที่มีโครมน้อยกว่า 50% อัฐชนิดนี้มีความแข็งแรงสูงที่อุณหภูมิสูงและสามารถใช้เป็นหลังคาเตาถลุงโลหะแทนอัฐชนิด SiO_2 ได้ เนื่องจากอัฐชนิดนี้มีความทนไฟสูง และต้านทานซึ่ล่งได้ดี สามารถใช้ได้กับเตาโอเพน-เฮาท์ ที่ใช้ออกซิเจนเป็นตัวเผาไหม้ และการขจัดคาร์บอน

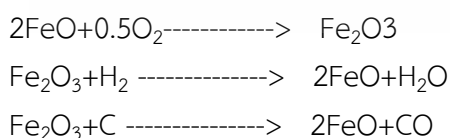
ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอัฐแมกนีไซต์ [13]

Code Type Test procedure	M1 Standard sea-water Magnesia BSI	M2 Low-flux sea-water Magnesia BSI	M3 Standard BSI	M4 Low-boron sea-water Magnesia BSI	M5 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

ประเทศที่มีการผลิตสินแร่โครมปริมาณมาก ได้แก่ รัสเซีย แอฟริกาใต้ ฟิlipปีนส์และตุรกี สินแร่โครมไม่จำเป็นต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงก่อนที่จะนำไปใช้ ซึ่งต่างไปจากวัตถุดิบไฟชนิดแมกนีไซต์แต่สำหรับการมุ่งหวังเฉพาะและสำหรับสินแร่เฉพาะเท่านั้นจึงจะมีการเผาก่อนเพื่อให้ผลที่ได้รับการปรับปรุงสมบัติที่ดีขึ้น เพราะการเผาเป็นสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายฉะนั้นจะทำก็ต่อเมื่อเห็นผลประโยชน์ที่ชัดเจน การเผาสินแร่โครมจะทำให้แร่อื่นๆที่ประกอบอยู่เกิดปฏิกิริยาดังเช่นการเผาแร่ที่มีเซอเพนไทน์ $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 + 1\text{H}_2\text{O}$ ประกอบอยู่



$2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ คือ ฟอสเฟสไรต์ในสินแร่ที่มี Fe O เมื่อมีการเผาออกซิเจน และรีดักชันปฏิกิริยาได้ดังนี้



การเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ไม่ว่าในขณะการผลิตหรือขณะการใช้งาน จะทำให้เกิดผลผลิตร่วนยุ่ย ปฏิกิริยานี้มักเกิดขึ้นกับสินแร่ที่มีปริมาณเหล็กสูงในสินแร่ โดยเฉพาะที่มีแนวโน้มเกิดการร่วนยุ่ยในบรรยากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงเราสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ โดยการผสมแมกนีไซต์ลงไปในส่วนผสมโครมแล้วเผาในเตา ชนิด โรตารี หลังจากนั้นนำผลผลิตที่ได้ไปบดและใช้ผสมทำอัฐต่อไป การผลิตอัฐทนไฟชนิดโครมเริ่มแรก ผลิตโดยการบดสินแร่โครมกับน้ำ และอาจใส่ตัวช่วยเกาะยึดเล็กน้อย ขึ้นรูปอัฐ การอบแห้ง

และการเผาอิฐ เริ่มแรกใช้การคั่นกลางระหว่างวัสดุที่มีฤทธิ์เป็นด่างเช่น บริเวณซี้ดลึง ปัจจุบันอิฐที่ผลิตแบบนี้ใช้น้อยมากได้ผสม MgO ลงในส่วนผสมประมาณ 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

ค. อิฐชนิดโครม-แมกนีไซต์และแมกนีไซต์-โครม [17]

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

ง. อิฐโดโลไมต์ (Dolomite Brick) [18]

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



เพราะถ้าไม่เผาสมบูร์ณผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไวต่อปฏิกิริยาและความพรุนตัวสูง ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า การเผาต้องเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ $1,700^{\circ}\text{C}$ จนความพรุนตัวประมาณ 15% ผลิตภัณฑ์นี้จะเก็บไว้ได้นานหลายสัปดาห์โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงขนาดอนุภาคของอิฐทนไฟโดโลไมต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการเผากับบล็อกเดนซิตี และความพรุนตัวของวัตถุดิบ A และ B ซึ่งมีสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟโดโลไมต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.8 และการปรับปรุงขนาดอนุภาคของอิฐทนไฟโดโลไมต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการเผาบล็อกเดนซิตีกับความพรุนตัวของวัตถุดิบ A และ B [18]

	A	B
Silica SiO_2 %	0.46	3.68
Mixed Oxide R_2O_2 %	0.52	0.81
CaCO_3 %	54.25	51.21
MgCO_3 %	44.75	43.39
	99.75	99.09

จ. อิฐทนไฟผนวน (Insulating Fire Brick) [19] Medvedovski อธิบายไว้ว่า อิฐทนไฟผนวน คือ อิฐที่การนำความร้อนความจุความร้อนต่ำ ซึ่งมีความหนาแน่นรวมและการเปลี่ยนแปลงโดยการเผาต่ำลง

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ [7] บอกไว้ในสมัยแรกๆการผลิตที่ได้มีคุณภาพที่ต่ำ คือใช้ได้ในอุณหภูมิต่ำประมาณปี ค.ศ.1930 จึงสามารถพัฒนาใช้กับอุณหภูมิสูงมีส่วนผสมจากดินทนไฟที่มีความพรุนตัวสูง ดินขาวดินที่มีอะลูมินาสูงรูปพรุนผลิต โดยการผสมขึ้นเลยลงไปในส่วนผสมหลังจากการเผาอิฐแล้วขึ้นเลยจะถูกขจัดออกไปคงเหลือรูปพรุนในอิฐทนไฟ

ตารางที่ 2.8 สมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟโดโลไมต์ [18]

Code Type	D1 Semi stable	D2 Semi stable	D3 Semi stable	D4 Semi stable
Apparent porosity. %	18-20	23	22	25
Bulk density. g/ml	2.73	2.52	2.58	2.53
lb/ft ³	171	157	161	158
kg/m ³	2,730	2,520	2,580	2,530
Cold-crushing strength lb/in ²	8,500+	3,700	8,000+	5,000
kg/cm ²	600+	260	560+	350
mn/m ²	58.6+	25.5	55.2+	34.5

2.5 การทดสอบสมบัติของอิฐทนไฟ

2.5.1 การทดสอบหาการกระจาย [9]

วิธีการหาปริมาณกากค้างตะแกรง

สำหรับการหาปริมาณกากค้างตะแกรงของวัตถุดิบเซรามิกด้วยตะแกรงร่อนแบบเปียกเครื่องมือวัสดุและอุปกรณ์ประกอบด้วย

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

ก. เครื่องกวนแบบที่มี 3 ใบกวน ขนาดของใบกวน 2 นิ้ว ความเร็วรอบในการกวนประมาณ 1,700 รอบต่อนาที

ข. ตะแกรงร่อน (Sieve) Mesh No. 35 (500 μ m), Mesh No. 40 (425 μ m) Mesh No.50 (300 μ m) และ Mesh No.100 (150 μ m)

ค. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 0.01 กรัม

ง. ภาชนะความจุอย่างน้อย 2 ลิตร

จ. เตาอบอุณหภูมิ 110 °C

ฉ. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Desiccators)

วิธีการทดสอบ

ก. ทำการสุ่มตัวอย่างตามวิธีการสุ่มตัวอย่าง

ข. อบตัวอย่างที่เตรียมจากข้อที่ 7) ในเตาที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Desiccators)

ค. นำตัวอย่างที่อบแล้วจากข้อที่ 2.5.1.8 ชั่งน้ำหนัก 100 กรัม ใส่ลงภาชนะแล้วเติมน้ำ 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง เพื่อให้ดินเกิดการแตกตัว ถ้าน้ำดินที่ได้มีความหนืดเกินไปให้เติมน้ำอีก 500 มิลลิลิตร

ถ้าไม่แน่ใจว่าน้ำดินแตกตัวดีหรือไม่ให้ใช้เครื่องกวน กวนน้ำดินเพื่อให้ดินเกิดการแตกตัวมากขึ้น เป็นเวลานาน 30 นาที

ง. 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 ฉีดน้ำเพื่อช่วยให้อนุภาคดินที่ละเอียดผ่านตะแกรงจนหมด โดยสังเกตเห็นน้ำที่ผ่านตะแกรงใส ค่อยๆใช้น้ำไล่สิ่งที่ยังค้างอยู่บนตะแกรงทุกตะแกรง ลงในภาชนะ แล้วนำภาชนะไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 $^{\circ}\text{C}$ จนกากที่ยังค้างบนตะแกรงแห้ง

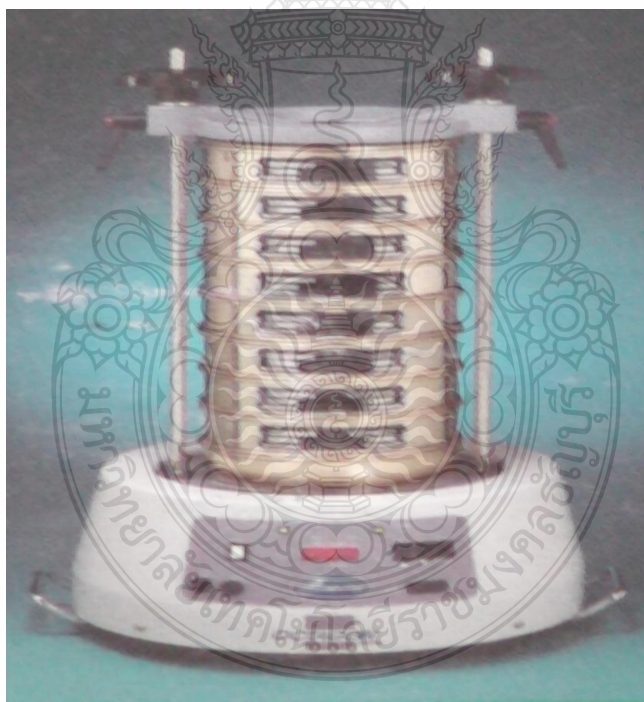
จ. นำกากที่ยังค้างบนตะแกรงหลังอบแห้งแล้วไปชั่ง (หักกลบน้ำหนักภาชนะออก) แล้วจดบันทึกน้ำหนักกากที่ยังค้างอยู่บนตะแกรงของแต่ละตะแกรง จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณปริมาณกากค้างตะแกรงตามสมการที่ 2.1

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

เมื่อ

A = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างก่อนทดสอบปริมาณกากค้างตะแกรง

B = น้ำหนักแห้งของสิ่งที่ยังค้างอยู่บนตะแกรง



รูปที่ 2.1 ตะแกรงแบบสั่นสำหรับหาปริมาณกากค้างตะแกรง [9]

2.5.2 การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ [21]

การอัดขึ้นรูปอิฐทนไฟ (Mounding) ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปอิฐโดยวิธีการอัดอยู่ระหว่าง 10,000-20,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว จะทำให้ได้อิฐที่มีความหนาแน่นมากกว่าอิฐที่ขึ้นรูปด้วยมือ หรือความดันที่น้อยกว่าที่กล่าวมา การใช้ความดันสูงจะช่วยทำให้การหดตัวของอิฐหลังจากการเผาอ่อนลง การอบแห้ง (Drying) การแตกของอิฐในช่วงการอบแห้งมีสาเหตุมาจากการใช้วัตถุดิบที่เมื่อเผาจะมีการอ่อนตัวใช้วัตถุดิบที่มีความละเอียดปริมาณมากเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับน้ำในอัตราเร็วที่มากกว่าวัตถุดิบขนาดหยาบ

การใช้อุณหภูมิในห้องอบสูงมากเกินไป การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบควรใช้แรงอัดที่เหมาะสมกับวัสดุ โดยทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องทดสอบแรงกด แรงดึง แรงเฉือน เพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ เช่นค่าความต้านทานแรงดึง ความยืดตัว ความเหนียว ความเปราะและลักษณะการแตกหักของวัสดุนั้นนับว่าเป็นประโยชน์ในการออกแบบ การเลือกวัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไป



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 หรือจะให้ดีควรเผาที่ 1,800 °C อิฐที่ต้องการความต้านทานสูงต่อซัลฟูรได้ดีสามารถทำได้ด้วยการทำให้อิฐที่อัดตัวด้วยทาร์หรือ พิตช์ผลิตภัณฑ์แมกนีไซต์ โดยสามารถใช้วิธีการเทแบบการขึ้นรูปด้วยใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวกลางความละเอียดของวัตถุดิบ 50% ละเอียดเป็นไมคอนหลังจากการเผาผลิตภัณฑ์ที่ 1,450 °C สามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่น 95% แมกนีไซต์ที่มีความหนาแน่นสูง หรือปราศจากความพรุน สามารถผลิตได้โดยวิธีขึ้นรูปร้อน (Hot Pressing) เป็นมินิเอร์ไลเซอร์ (Mineralize) ใช้อุณหภูมิที่ 1,300 °C จะระเหยออกไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติโปร่งแสง เตาที่ใช้ในการเผาอิฐทนไฟ ที่นิยมโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ 1. เตาแบบยกประตูขึ้นลงได้ (Shuttle Kiln) ใช้สำหรับเผาอิฐทนไฟที่มีขนาดใหญ่มีลักษณะการเรียงตัวของอิฐคล้ายกับเตาอุโมงค์ รถเตา

สามารถหมุนเวียนใช้ได้หัวพันจะอยู่ด้านข้างของเตาและอยู่ในระดับต่ำ ในส่วนกลางของรตเตาจะมีช่องลมร้อน ข้อดีของเตาชนิดนี้ คือ การเรียงและนำชิ้นงานออกจากเตาได้ง่าย 2. เตาอุโมงค์ (Tunnel Kiln) การใช้ในการเผาอิฐทนไฟเป็นที่นิยมมากกว่าการใช้เตาแบบยกประตูขึ้นลงได้ เพราะจะได้อิฐที่มีคุณภาพและมีต้นทุนต่ำกว่าแต่เตาแบบยกประตูขึ้นลงได้สามารถเผาอิฐที่มีขนาดใหญ่หรือมีรูปร่างสลับซับซ้อนในกรณีที่มีการเผาแตกต่างไปจากมาตรฐาน ในการเผาอิฐทนไฟต้องมีความระมัดระวังเป็นอย่างมาก เนื่องจากชนิดและขนาดของอิฐทนไฟซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน นอกจากนี้อิฐทนไฟในแต่ละชนิดยังใช้อุณหภูมิในการเผาที่ต่างกันเพื่อให้ได้อิฐที่มีคุณภาพตามความต้องการ ดังนั้นการเลือกใช้เตาเผาและการควบคุมการเผาจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง



รูปที่ 2.3 เตาเผาชิ้นงาน

2.5.4 การทดสอบทางสมบัติทางกายภาพ [9]

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

ก. ค่าน้ำหนักแห้ง (Dry Weight: D) นำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการเผาแล้วจำนวน 5 ชิ้น/ตัวอย่าง ไปในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 150°C (Oven Dry) 24 ชั่วโมง ปลอ่ยให้เย็นตัวในตู้เก็บกักความชื้น แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักหน่วยเป็นกรัม ความละเอียดอย่างน้อย 0.1 กรัม ได้ ค่าน้ำหนักแห้ง การหาค่า D อาจจะทำก่อนหรือหลังค่าน้ำหนักในน้ำ ก็ได้แต่ควรที่จะทำการหาค่าน้ำหนักในน้ำ เพราะว่าชิ้นงานตัวอย่างทดสอบถ้าทำหลังจากการหาค่าน้ำหนักในน้ำอาจทำให้ชิ้นทดสอบแตกหักได้

ข. ค่าน้ำหนักอิมตัว (Suspended Weight: S) นำชิ้นงานทดสอบวางจุ่มลงในน้ำที่ต้มที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ระหว่างต้มอย่าให้ชิ้นทดสอบติดพื้นภาชนะที่ใส่ต้มหลังจากต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วควรปลอ่ยไว้ในภาชนะทิ้งไว้ให้เย็น ตามอุณหภูมิห้องอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ก่อนจะนำไปหาค่าน้ำหนักในน้ำ การหาค่า S โดยชั่งชิ้นงานทดสอบในน้ำ ที่ต้มแล้วหลังปลอ่ยทิ้งไว้ 12 ชั่วโมงโดยใช้อุปกรณ์รองรับชิ้นงาน

ทดสอบนำไปชั่งกับตาชั่งแบบดิจิตอลความละเอียด 0.1 กรัม วัดชั่งน้ำหนักกับตาชั่ง แบบดิจิตอลความละเอียด 0.1 กรัม แล้วอ่านค่าได้ค่าน้ำหนักอิมมิตัว

ค. ค่าน้ำหนักในน้ำ (Saturated Weight: W) หลังจากหาค่า ค่าน้ำหนักในน้ำ แล้วนำชิ้นงานทดสอบที่ชั่งเสร็จแล้วขึ้นมาเช็ดเบาๆ ให้แห้งวางบนผ้าไม่ให้น้ำมาติดเกาะแล้วนำไปชั่งหาค่าน้ำหนักในน้ำด้วยตาชั่ง แบบดิจิตอลความละเอียด 0.1 กรัม

ง. 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: = ปริมาตรของชิ้นงาน

V

(โดยสมมติที่ $1, \text{cm}^3 = 1$ กรัม ที่อุณหภูมิของน้ำตามอุณหภูมิห้อง)

W = ค่าน้ำหนักในน้ำ

S = ค่าน้ำหนักอิมมิตัว

สูตรคำนวณหาสมบัติต่างๆ (Volumes of Open Pore and Impervious Portions) คำนวณได้จากสูตร

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

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

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

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

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

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

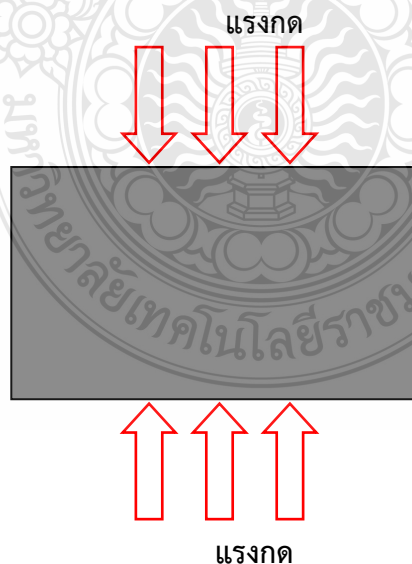
T = ค่าความถ่วงจำเพาะ
S = ค่าน้ำหนักอิ่มตัว
D = ค่าน้ำหนักแห้ง

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



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างรูปแบบของแรงกด [20]

สมบัติทางกลของวัสดุเป็นหนึ่งในคุณลักษณะสำคัญในการออกแบบโครงสร้างต่างๆ เพื่อนำไปทำการรับแรงในการทำงานจริง สมบัติทางกลของวัสดุกล่าวได้ในภาพรวม คือ ความสามารถของวัสดุที่ต้านทาน

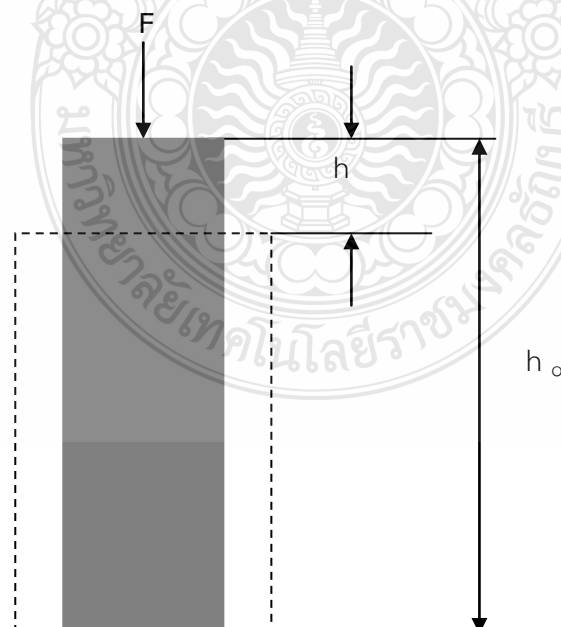
แรงกระทำกับตัวมันเองเพื่อที่จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ หากพิจารณาตามรูปแบบของแรงกระทำต่อวัสดุในการกระทำได้ดังนี้

ก. ความเค้นและความเครียดแรงกด เพื่อความเข้าใจให้พิจารณา ดังแสดงในรูปที่ 2.5-2.7 เมื่อชิ้นงานทรงกระบอกถูกแรงกดเข้าไปชิ้นงานจะหดตัวลง วัสดุจะเกิดแรงต้านเล็กๆในเนื้อวัสดุลักษณะนี้เรียกว่าความเค้น (Stress) สามารถหาค่าได้โดยหาอัตราส่วนระหว่างแรงพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่ตั้งฉากกับแนวแรงดังสมการที่ 2.9 ขณะที่ความเครียด (Strain) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวที่หดเข้าเปรียบเทียบกับความยาวเริ่มต้นของชิ้นงานดังสมการที่ 2.0 ค่าความสัมพันธ์และ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

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

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

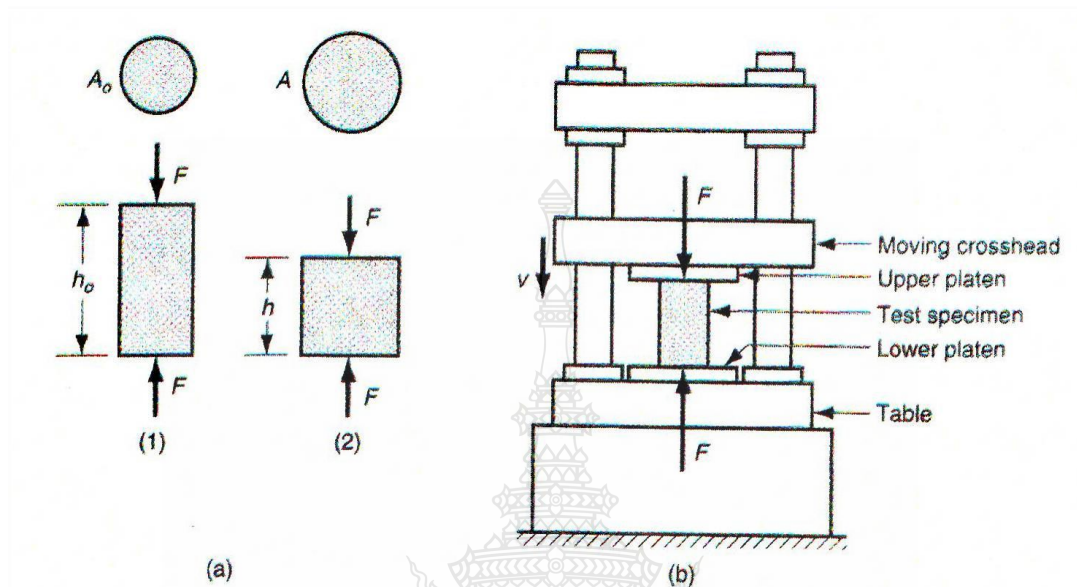
เมื่อ	σ_e	=	ความเค้น
	F	=	แรงกระทำ
	A_0	=	พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น
	e	=	ความเครียด
	h	=	ความยาวสุดท้าย
	h_o	=	ความยาวเริ่มต้น



รูปที่ 2.5 ลักษณะการเกิดความเค้นและความเครียด

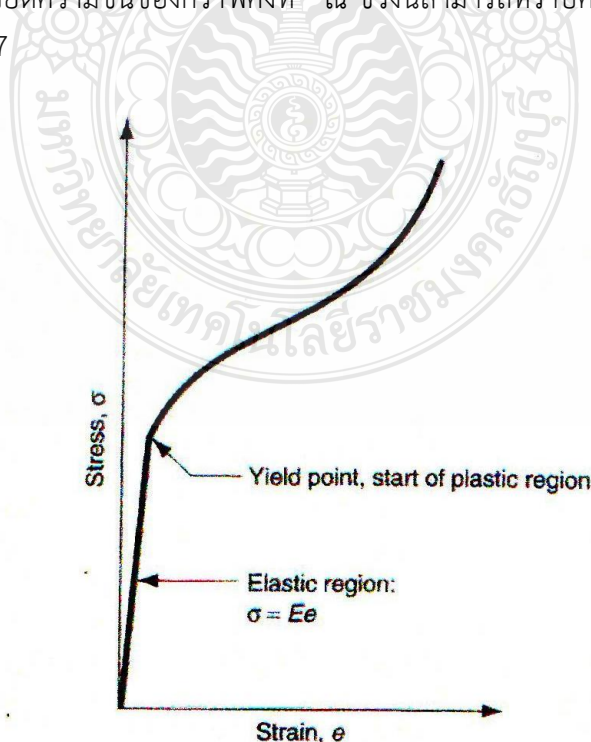
ในกรณีของการทดสอบแรงกดสามารถหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบชิ้นงาน 2 ค่า คือ ค่าเพอร์เซ็นต์การยืดตัว (Yield Point) และเพอร์เซ็นต์การหดตัว (Elastic Region)

รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในการทดสอบแรงกดของวัสดุชนิดหนึ่ง พบส่วนประกอบต่างๆที่สำคัญดังนี้



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

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



รูปที่ 2.7 เส้นโค้งการทดสอบแรงกด [20]

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

- ช่วงเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Region) เป็นช่วงที่ต่อเนื่องมาจากช่วงยืดหยุ่น หากทำการเพิ่มแรงในการกดวัสดุจะเปลี่ยนรูปถาวร เมื่อปล่อยแรงกดออกวัสดุไม่ยืดออกกลับไปสู่ความยาวของตำแหน่งเริ่มต้นวัสดุจะแสดงความต้านทานแรงกดสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อถึงจุดหนึ่งจะได้ค่าแรงต้านทานแรงกดสูงสุด 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 ความแข็งแรงครากและ ความแข็งแรงสูงสุดของโลหะบางชนิด [20]

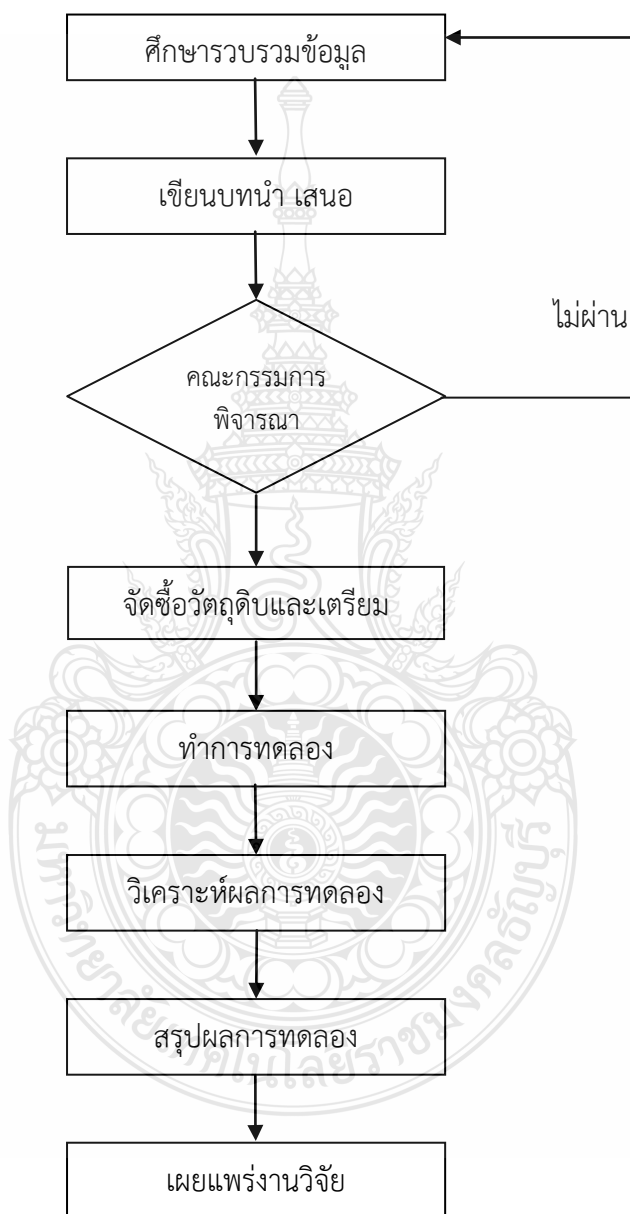
โลหะ	ความแข็งแรงคราก (MPa)	ความแข็งแรงสูงสุด (MPa)
อะลูมิเนียมผสม	175	350
เหล็กหล่อ	275	275
ทองแดงผสม	205	410
แมกนีเซียมทองแดง	175	275

ข. ค่าความทนไฟ (Refractoriness) การทดสอบค่าความทนไฟ หมายถึงการนำตัวอย่างชิ้นงานมาทำการทดสอบหาค่าความทนไฟ โดยการเผาตัวอย่างชิ้นงานเพื่อเปรียบเทียบกับไพโรเมตริกโคนมาตรฐาน (Standard Parametric Cone) หมายถึง โคนพีริมิฐานสามเหลี่ยมที่มีรูปร่างและขนาดตามที่กำหนดและจะต้องมีการปักโคนที่ฐานรองรับให้ด้านหน้าของโคนที่จะโค้งงอทำมุมกับแนวราบ 82 องศาเซลเซียส ทำจากวัตถุดิบทางเซรามิก เมื่อนำไปเผาภายใต้สภาวะที่กำหนดจะอ่อนตัวและปลายโคนจะงอโค้งลงจากพื้นที่โคนตั้งอยู่เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนด ไพโรเมตริกโคนนี้จัดทำขึ้นโดยมีหมายเลขกำกับการเรียงตามลำดับ ซึ่งเป็นเครื่องบ่งชี้ค่าของอุณหภูมิที่ทำการทดสอบหรือค่าหมายเลขสมมูลไพโรเมตริกโคน (Parametric Cone Equivalent-PCE) ซึ่งเป็นค่าความทนไฟที่ได้จากการทดสอบ

บทที่ 3 วิธีการดำเนิน

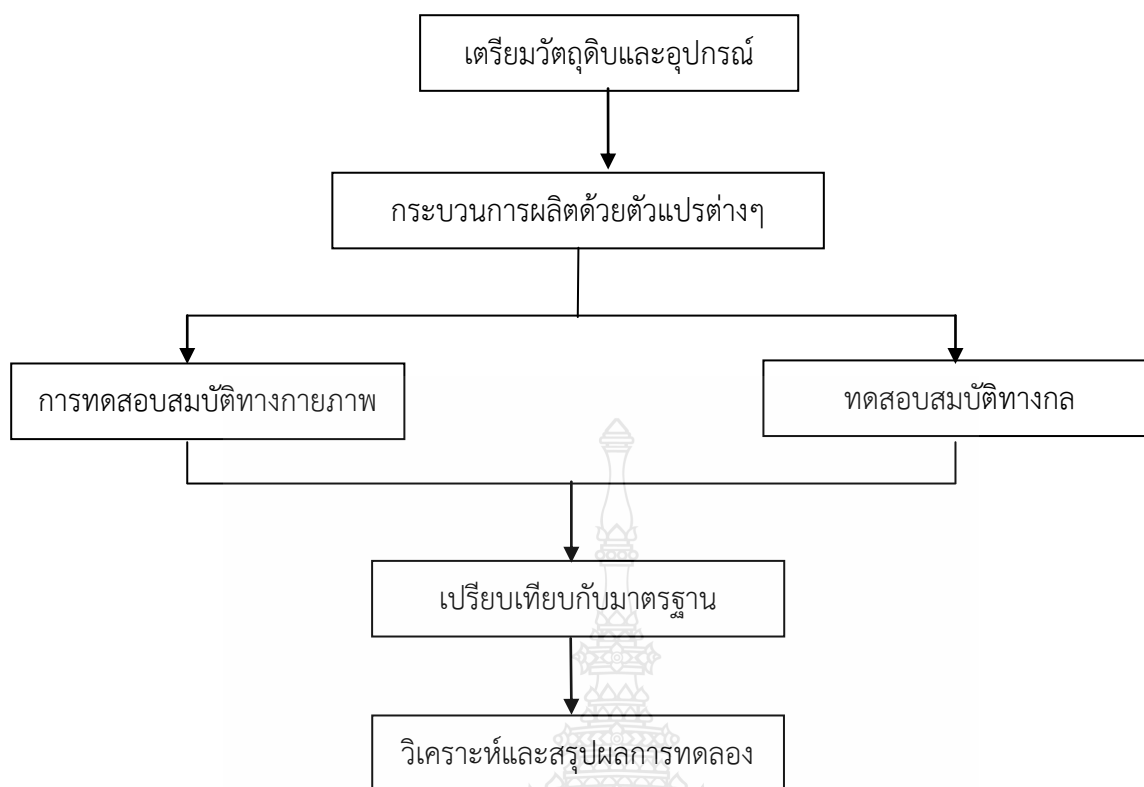
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเก้าอี้ลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟโดยมีแผนการดำเนินงานวิจัยและรายละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการไหลของกระบวนการในการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเก้าอี้ลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟโดยสามารถแบ่งขั้นตอนการปฏิบัติการ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพการไหลของขั้นตอนการทดลอง

3.2 เครื่องมือและขั้นตอนการดำเนินการ

3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

นำถั่วลยอะลูมิเนียม ประมาณ 100 กิโลกรัม โดยใช้เป็นวัตถุดิบหลักในงานวิจัยครั้งนี้

- เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์
- เตาอบขึ้นงาน
- ตะแกรงร่อนขนาดของ Mesh No. 30, 40, 50 และ 100
- การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ
- ทำการสุมตัวอย่างตามวิธีการสุมตัวอย่าง
- นำตัวอย่างมาร้อนผ่านตะแกรงร่อน Mesh No. 40, 50 และ 100
- นำตัวอย่างที่ร้อนผ่านตะแกรงไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง แล้ว

ปล่อยให้เย็นตัวในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Desiccators)

- ทำการอัดตัวอย่างที่อบแห้งแล้วลงในแผ่นอลูมิเนียมบนช่องบรรจุ (Holder) และปาดผิวหน้าให้เรียบแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย เครื่องทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบ (X-Ray Diffractometer) จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

- นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน JCPDS ของตัวอย่างที่ทำการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 เถ้าลอยอะลูมิเนียม (Aluminum Dross)



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบ (X-Ray Diffractometer)

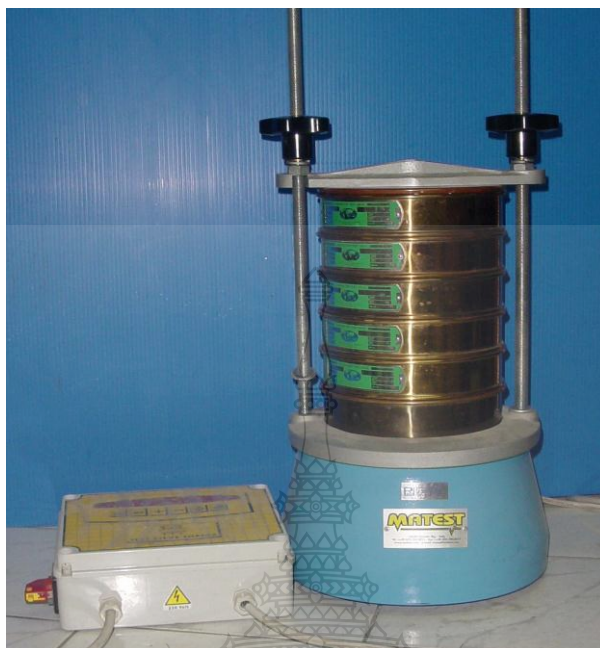
3.2.2 การคัดขนาดของอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียม (Aluminum Dross)

โดยใช้เครื่องทดสอบหาการกระจายตัว (Test Sieve Analysis) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งประกอบด้วยตะแกรงร่อน (Vibrating Screen) ใช้ในการกระจายขนาดของอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียม โดยทำการเรียงตะแกรงร่อนเป็นชั้นๆตามลำดับความหยาบถึงความละเอียดของช่องเปิดคือ Mesh No. 40, 50 และ 100 ซึ่งขนาดของ Mesh No. แต่ละชนิดมีขนาดความละเอียดของช่องเปิดต่างกันเป็นช่วง คือ 150 μm ดังนั้นการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเถ้าลอยอะลูมิเนียมก็ต่างกันด้วย สามารถกำหนดขนาดความละเอียดของช่องเปิดเป็นช่วงๆประกอบด้วยทั้งหมด 3 ช่วง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบของอัตราส่วนผสมในแต่ละช่วงที่มีขนาดของอนุภาคที่ต่างกันจากการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล เพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของอนุภาคในแต่ละช่วงซึ่งอาจมีค่าที่ต่างกันจากการทดลอง ดังนั้นเมื่อได้ค่าที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป โดยกำหนดขนาดของ Mesh No. ดังต่อไปนี้

- Mesh No.40 ช่องเปิดของขนาดอนุภาคอยู่ที่ 425 μm กำหนดขนาดความละเอียดของช่องเปิดตะแกรงร่อนเป็นช่วง คือ ระหว่าง 425-300 μm

- Mesh No.50 ช่องเปิดของขนาดอนุภาคอยู่ที่ 300 μm กำหนดขนาดความละเอียดของช่องเปิดตะแกรงร่อนเป็นช่วง คือ ระหว่าง 300-150 μm

- Mesh No.100 ช่องเปิดของขนาดอนุภาคอยู่ที่ $150\ \mu\text{m}$ กำหนดขนาดความละเอียดของช่องเปิดรูตะแกรงร่อนเป็นช่วง คือ ระหว่าง $150\text{--}0.1\ \mu\text{m}$ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบการกระจายตัว (Test Sieve Analysis)



รูปที่ 3.6 ถ้ำล่อยอะลูมิเนียมที่คัดแยกขนาดของอนุภาค

เมื่อได้ขนาดของอนุภาคถ้ำล่อยอะลูมิเนียมตามที่กำหนดนำไปอบที่อุณหภูมิ $110\ ^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อทำการไล่ความชื้นออก เพื่อไม่ให้ผงของถ้ำล่อยอะลูมิเนียมเกาะกันเป็นก้อน 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 (ในอัตราส่วนผสมโดยอ้างอิงมาตรฐานอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB-50 เป็นหลัก) ผสมคุกกะล่ำให้เข้าด้วยจนเป็นเนื้อเดียวกัน งานวิจัยนี้ได้ใช้เป็นส่วนผสมกับวัตถุดิบหลักคือ เถ้าลอยอะลูมิเนียม ขั้นตอนการผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน คือ ลดปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมลงในอัตราส่วนผสมที่สัดส่วนต่างกัน โดยเครื่องชั่งใช้ชั่งน้ำหนักหาสัดส่วนต่างๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.8 การผลิตอิฐทนไฟโดยใช้การทดสอบของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่แตกต่างกันทั้งหมด 5 สัดส่วน ซึ่งได้ข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยใช้วัตถุดิบหลักต่างกันอัตราส่วนผสมในสัดส่วนต่างๆ ได้มีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมเพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของแต่ละสัดส่วนว่ามีสมบัติที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป โดยกำหนดอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันทั้งหมด 5 สัดส่วน ได้แก่



รูปที่ 3.8 เครื่องชั่งที่ใช้หาอัตราส่วนผสมของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.9 วัตถุดิบและส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ

- สัดส่วนที่ 100:00 ประกอบด้วย เถ้าลอยอะลูมิเนียมล้วนๆ 100% ใช้สัญลักษณ์ คือ B1
- สัดส่วนที่ 80: 20 ประกอบด้วย เถ้าลอยอะลูมิเนียม 80% กับ ส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ 20% ใช้สัญลักษณ์ คือ B2
- สัดส่วนที่ 60: 40 ประกอบด้วย เถ้าลอยอะลูมิเนียม 60% กับ ส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ 40% ใช้สัญลักษณ์ คือ B3
- สัดส่วนที่ 40: 60 ประกอบด้วย เถ้าลอยอะลูมิเนียม 40% กับ ส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ 60% ใช้สัญลักษณ์ คือ B4
- 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 3.10 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 มีโครเมียมและโมลิบดีนัมผสมทำให้มีค่าความเหนียวทนต่อแรงดึงกดสูงถึง 100 kgf/mm^2 ซึ่งสามารถทนรับแรงอัด จากเครื่องทดสอบแรงกด โดยที่อุปกรณ์จับยึดและตัวอย่างชิ้นงานทดสอบไม่แตกเสียหาย แบบอัดขึ้นรูป มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก โดยประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆทั้งหมด 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ฐานรองรับแท่งบรรจุชิ้นงาน

1) ส่วนที่ 2 แท่งบรรจุชิ้นงานมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกมีลักษณะเป็นรูกลวง ขนาดรูใน 51.2 มิลลิเมตร ขนาดความดันนอก 150 มิลลิเมตร และขนาดความสูง 20 มิลลิเมตร

2) ส่วนที่ 3 ชุดหัวกดซึ่งใช้จับยึดกับชุดกดของเครื่องทดสอบแรงกดที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

3) ส่วนที่ 4 ชุดรองรับการดันชิ้นงานออกจากแท่งบรรจุตัวอย่างชิ้นงาน



รูปที่ 3.11 อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Fixture) ในการอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

3.2.6 การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

นำวัตถุดิบที่ได้ทำการผสมในสัดส่วนต่างๆคลุกเคล้ากับน้ำสะอาด 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

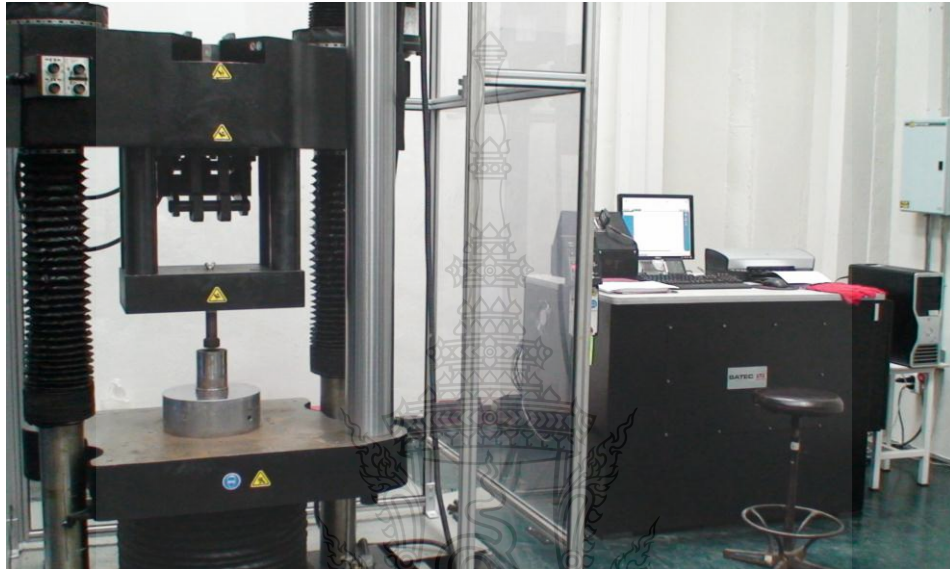
1) การป้อนความดัน (Load) ที่ต้องการ คือ 300 และ 350 kg/cm^2 หรือ 61.25 KN และ 71.47 KN จากการแปลงค่าหน่วยสำหรับใช้กับเครื่องทดสอบแรงกด

2) ป้อนค่าแรงอัดราคาซึ่งด้วยแรงดันที่ 50 KN /Min

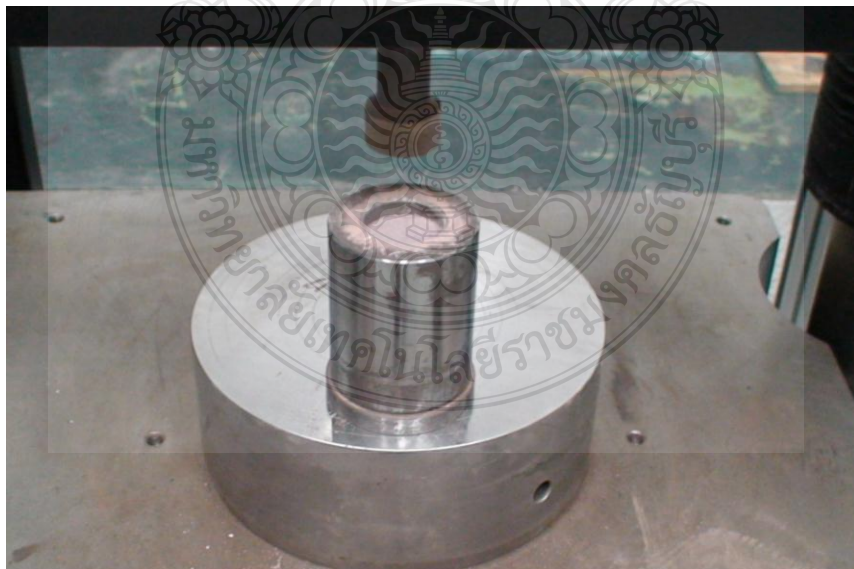
3) เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นถึงแรงตามที่กำหนดไว้ คือ 61.25 KN และ 71.47 KN ทำการป้อนค่าแรงดันไว้คงที่ (Hole Load) เวลา 1 นาที

4) จบโปรแกรมการทำงาน

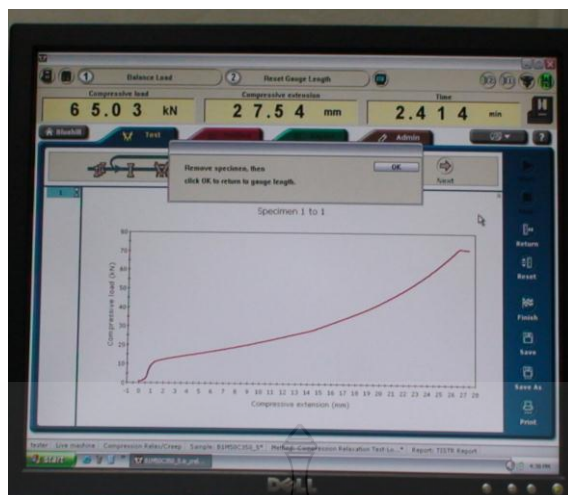
ค่าที่แสดงผลออกมาประกอบด้วยแรงดัน (Load) ที่ 350 kg/cm^2 หรือ 71.47 KN ระยะการยุบตัวเท่ากับ 27.54 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเท่ากับ 2.42 นาทีต่อตัว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ในกระบวนการอัดขึ้นรูปแบบนี้ทำให้ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบทุกตัวจึงมีแรงอัดที่เท่ากันทุกก้อนด้วย แรงกดของเครื่องทดสอบแรงกดเนื่องจากการใช้โปรแกรมควบคุม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



รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบแรงกด



รูปที่ 3.13 การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.14 ผลการทดสอบของโปรแกรมที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.15 การดันตัวอย่างชิ้นงานทดสอบออกจากอุปกรณ์จับยึด



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากการขึ้นรูป

3.2.7 การเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

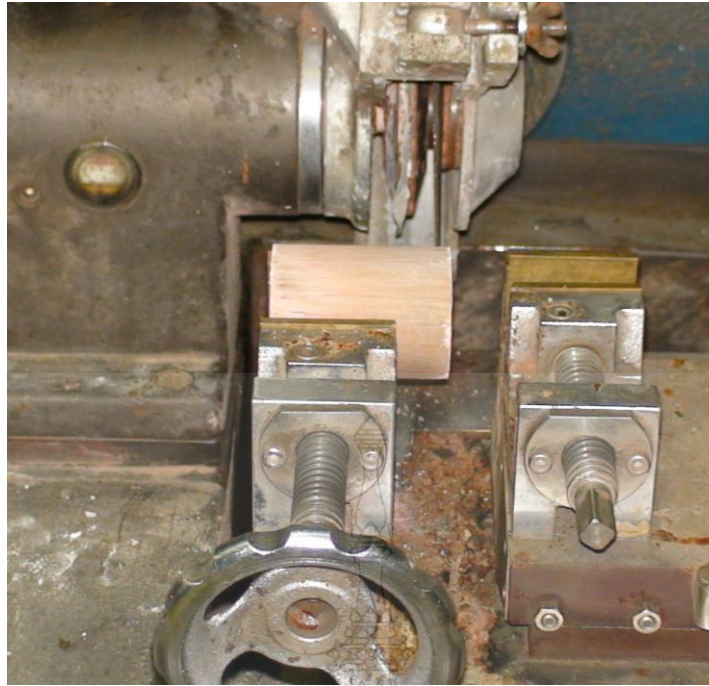
หลังจากการอัดขึ้นรูปแล้วนำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบไปอบที่อุณหภูมิ 110°C เพื่อทำการไล่ความชื้นออกเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยเตาอบดังแสดงในรูปที่ 3.17 เสร็จแล้วนำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบไปตัดออกให้ได้ขนาดตามมาตรฐานที่กำหนดคือ 51×51 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM Designation: C 20-97 [9] ด้วยเครื่องตัด Cut-Off Machine MARUMOTO 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 °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 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากการเผา

รูปที่ 3.22 คือ ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากเผาอุณหภูมิที่ $1,200^{\circ}\text{C}$ จากนั้นนำไปทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล

3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของตัวอย่างชิ้นงานอิฐทนไฟ [9]

การทดสอบสมบัติทางกายภาพหลังจากผ่านกระบวนการเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแล้วทำการทดสอบเพื่อหาค่าน้ำหนักต่างๆ ประกอบด้วย

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

โดยประกอบด้วยขั้นตอนวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

3.3.1 เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ ในการทดสอบ

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) ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Divaricator)
- 7) ผ้าฝ้ายหรือผ้าลินิน

3.3.2 ค่าน้ำหนักแห้ง (Dry Weight: D) [9]

1) นำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการเผาแล้วจำนวน 5 ชิ้น/ตัวอย่าง ไปในเตาอบ ที่อุณหภูมิ 150 °C (Oven Dry) 24 ชั่วโมง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.23 การหาค่าน้ำหนักแห้ง อาจจะทำก่อนหรือหลัง การหาค่าน้ำหนักอิ่มตัว ก็ได้ แต่ควรที่จะทำก่อน เพราะว่าตัวอย่างชิ้นงานตัวอย่างทดสอบยังมีสภาพสมบูรณ์ ถ้าทำหลังจากการหาค่าน้ำหนักแห้งอาจทำให้ตัวอย่างชิ้นแตกหัก



รูปที่ 3.23 เตาอบตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

- 1) ปล่อยให้เย็นตัวในตัวเก็บกักความชื้น (Divaricator) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.24

2) ใช้อุปกรณ์รองรับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบนำไปชั่งกับตาชั่ง แบบดิจิตอลความละเอียด 0.1 กรัม อ่านค่าน้ำหนักแห้ง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.25 บันทึกค่าน้ำหนักแห้ง (Dry Weight: D)



รูปที่ 3.24 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Divaricator)



รูปที่ 3.25 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

3.3.3 ค่าน้ำหนักอิ่มตัว (Saturation Weight: W) [9]

1) นำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบวางจุ่มลงในน้ำจนจุ่มน้ำให้ท่วมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบเพื่อที่น้ำจะได้เข้าไปแทนที่อากาศภายในตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

2) การต้มใช้เวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 150°C โดยเตาต้ม (Stereo) ข้อควรระวังอย่าให้น้ำแห้งระหว่างการต้มต้องเติมน้ำเป็นระยะ

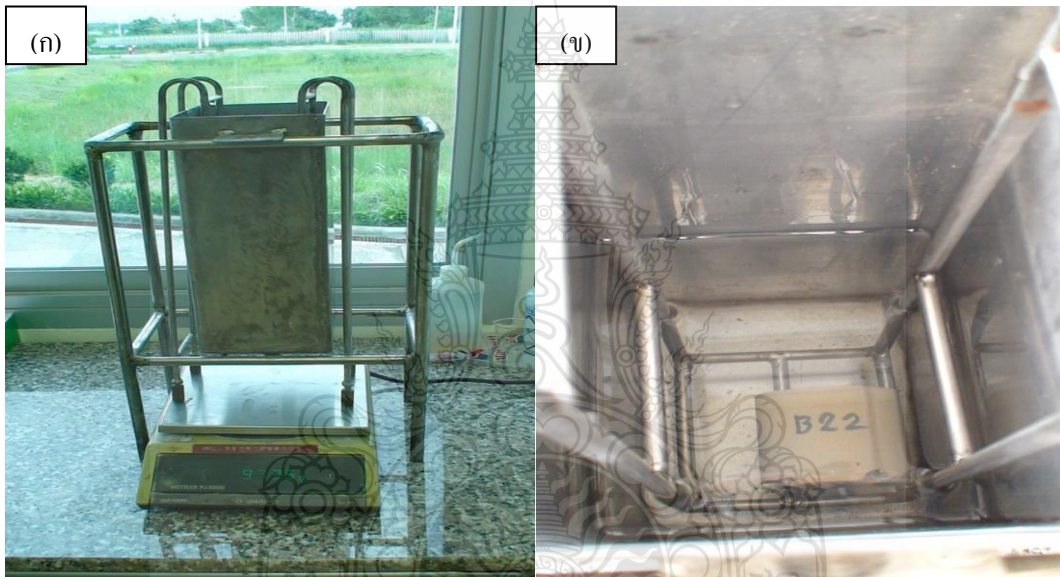
3) หลังจากต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วควรปล่อยให้ในภาชนะทิ้งไว้ให้เย็นภายในอุณหภูมิห้องอย่างน้อย 12 ชั่วโมง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.27

4) ใช้อุปกรณ์ใช้รองรับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบนำไปชั่งกับเครื่องชั่งแบบดิจิตอลที่ความละเอียด 0.1 กรัม แล้วอ่านค่าน้ำหนักอิ่มตัว (Saturation) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.27

5) บันทึกค่าน้ำหนักหลังการต้ม



รูปที่ 3.26 การต้มตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



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

3.3.4 ค่าชั่งน้ำหนักในน้ำ (Suspended Weight: S) [9]

- 1) หาค่าชั่งน้ำหนักในน้ำ โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ต้มแล้วหลังปล่อยให้แห้ง 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)

3.3.5 การคำนวณค่าสมบัติทางกายภาพและวิเคราะห์ผลการทดสอบ [9]

เมื่อได้ผลการทดสอบของค่าน้ำหนักแห้ง ค่าน้ำหนักอิมเมอร์ และค่าน้ำหนักในน้ำ นำไปคำนวณหาค่าสมบัติทางกายภาพดังต่อไปนี้

- 1) ความหนาแน่น

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

ผลการคำนวณหาค่าสมบัติทางกายภาพทั้งหมดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

3.4 การทดสอบกำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็น (Cold Crushing Strength) [9]

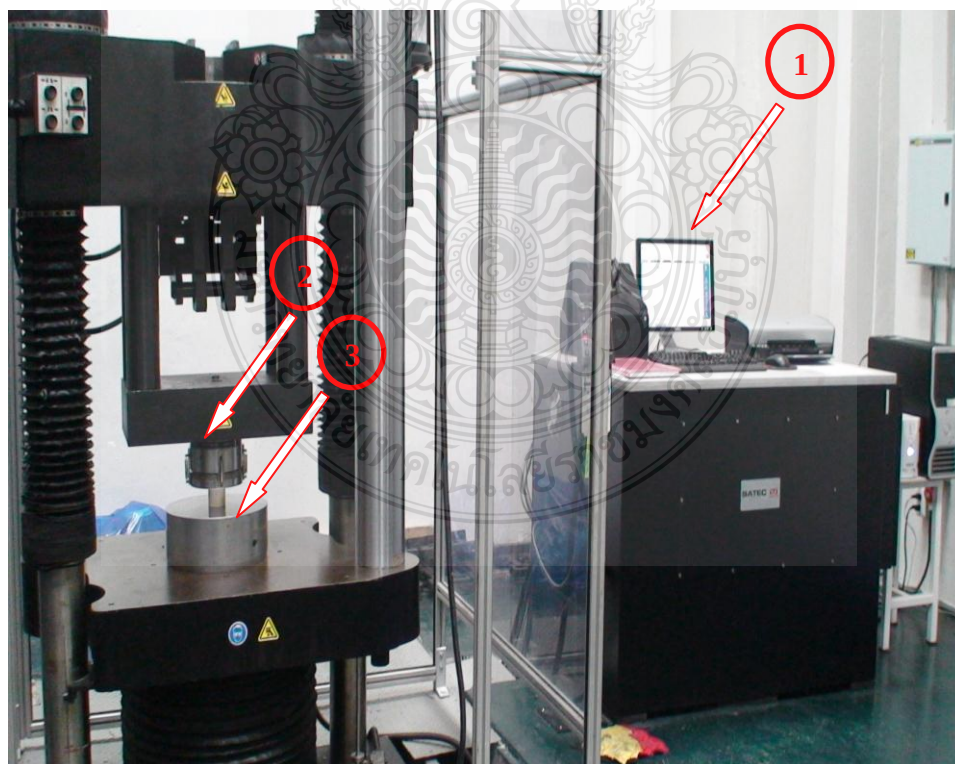
โดยวิธีการทดสอบ อ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM Designation: C 133-97 [9]

3.4.1 นำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากการทดสอบสมบัติทางกายภาพจำนวน 5 ชิ้นต่อตัวอย่างทำการทดสอบหาค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นในงานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแบบทรงกระบอก (Cylinder) คือ เป็นรูปทรงกระบอกพื้นที่หน้าตัด ขนาด 51×51 มิลลิเมตร

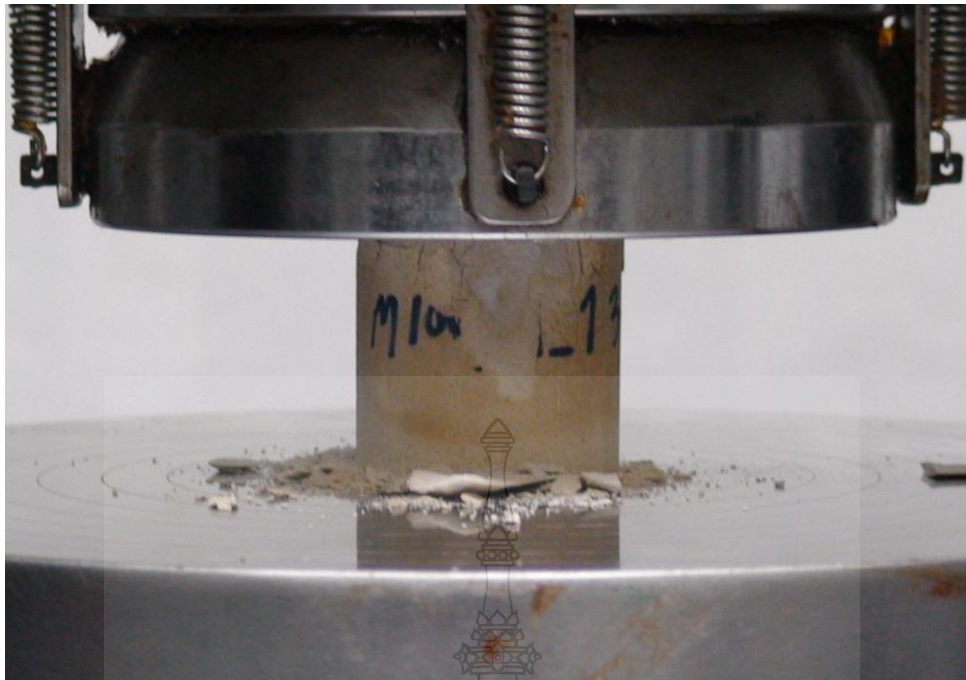
3.4.2 อบตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ที่อุณหภูมิ 110°C ใช้เวลา 3 ชั่วโมง โดยให้น้ำหนักใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักหลังการเผา (Dry Weight) และต้องทำการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็น (Cold Crushing Strength) ภายใน 2 ชั่วโมง เพื่อไม่ให้เม็ดเกรนทำการเซตตัวในเวลาทดสอบ

3.4.3 การทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นโดยเครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test Instron SATEC Series)

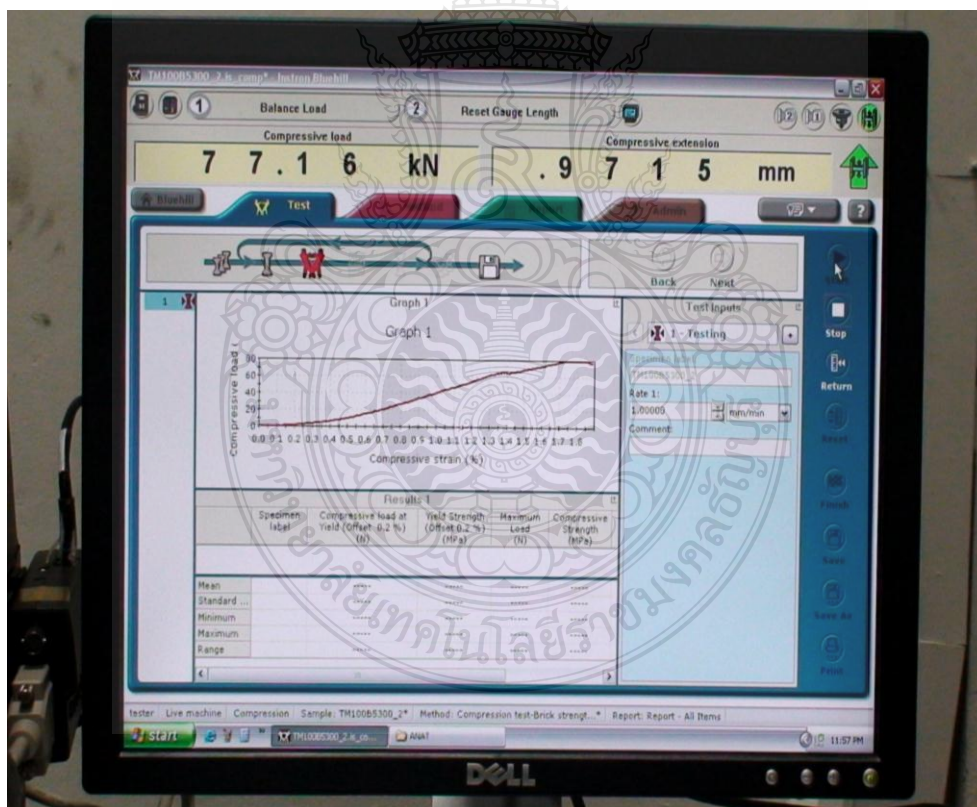
3.4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการจับยึดชิ้นงานในการทดสอบ ประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ (1) โปรแกรมการทดสอบ (2) ชุดหัวกด (Bearing Block) และ (3) ชุดแท่นรองรับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 เครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test Instron SATEC Series.)



รูปที่ 3.29 การกดตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.30 จอภาพแสดงกราฟและผลทดสอบแรงต้านทานบีบอัดเมื่อเย็น

วางตัวอย่างชิ้นงานทดสอบบนแท่นรองรับแล้วปรับตำแหน่งชิ้นงานให้ตรงกลางของชุดหัวกด (Bearing Block)

3.4.6 การทดสอบโดยการเขียนโปรแกรมจากเครื่องทดสอบมีขั้นตอนการป้อนคำสั่งต่างๆตามที่กำหนด ประกอบด้วย

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

2) การป้อนค่าแรงกดโดยกำหนดค่าแรงกดสูงสุดต่อความเสียหายของชิ้นงานที่ไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ ถ้าความเสียหายเกินจากค่าที่กำหนดทำการสั่งเครื่องให้หยุดการทำงานทันที

3) จบโปรแกรมการทดสอบ

3.4.7 บันทึกค่ากำลังต้านแรงบีบดเมื่อเย็น (Cold Crushing Strength) ผลการทดสอบที่ได้จากโปรแกรม ประกอบด้วย ค่าแรงสูงสุดของค่ากำลังต้านแรงบีบดเมื่อเย็นเวลาในการทดสอบ, ระยะการยุบตัว, เวลาที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.30 และสภาพความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานหลังจากการผ่านการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบดเมื่อเย็น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่เสียหายหลังการทดสอบ

3.5 ค่าความทนไฟ (Refractoriness)

วิธีการทดสอบค่าความทนไฟ อ้างอิงจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 548-2541 [9] การทดสอบค่าความทนไฟคือ การเปรียบเทียบกับไพโรเมตริกโคนมาตรฐาน (Standard Parametric Cone) หมายถึงโคนพีริมิฐานสามเหลี่ยมที่มีรูปร่างและขนาดตามที่กำหนด และจะต้องมีการปักโคนที่ฐานรองรับให้ด้านหน้าของโคนที่จะโค้งงอทำมุมกับแนวราบ 82 องศาเซลเซียส ทำจากวัสดุดิบทางเซรามิก เมื่อนำไปเผาภายใต้สภาวะที่กำหนดจะอ่อนตัว และปลายโคนจะงอโค้งลงจากพื้นที่โคนตั้งอยู่เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนด 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, ค่าความทนไฟและค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็น 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 - AlO₂O₃ [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

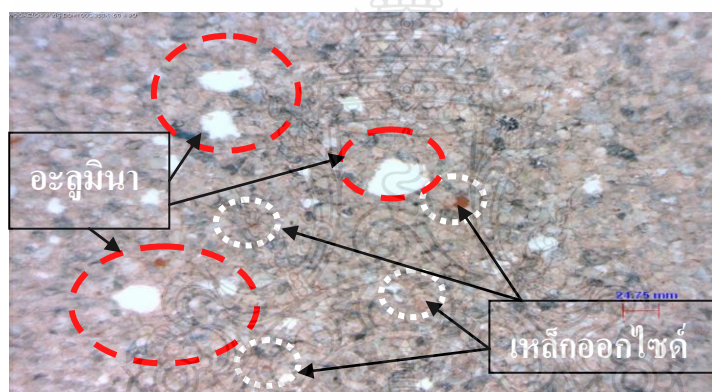
4.2.3 ขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อน Mesh No. 100 ผ่านลงไปทั้งหมดกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 150-0.1 μm

การวิเคราะห์ทดสอบของขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียม โดยใช้เครื่องทดสอบหาการกระจายตัว (Test Sieve Analysis) ดังแสดงไว้ในหัวข้อ 3.2.2 รูปที่ 3.5 โดยมีขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันเป็นช่วงๆ ซึ่งกำหนดไว้ 3 ช่วง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบของอัตราส่วนผสมในแต่ละช่วงที่มีขนาดของอนุภาคที่ต่างกัน จาก

ผลการทดสอบทางกายภาพและทางกล เพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆของอนุภาคในแต่ละช่วงซึ่งอาจมีค่าที่ต่างกันจากการทดลอง

4.3 การผสมของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันของการผลิตอิฐทนไฟ

ตัวแปรของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันที่ทำการศึกษาในการทดลองนี้คืออัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐทนไฟกับวัตถุดิบหลักนั้นต้องทำการผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันจนให้เป็นเนื้อเดียวกัน [1] การผลิตอิฐทนไฟโดยใช้อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันแบ่งออกเป็น 5 สัดส่วน ประกอบด้วย 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 ที่อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของเถ้าลอยอะลูมิเนียม อะลูมินา ซิลิกา และเหล็กออกไซด์

4.4 ความดันในการอัดขึ้นรูปของการผลิตอิฐทนไฟ

ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ประกอบด้วย 300 และ 350 kg/cm² พร้อมกับ อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน 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

4.5 การเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของการผลิตอิฐทนไฟ

การเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบนี้ใช้อัตราการเผาที่อุณหภูมิที่ 5 องศาต่ออนาที 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 ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของวัตถุดิบที่แตกต่างกันไปแต่ส่วนผสมทางเคมีใกล้เคียงกันโดยมีปริมาณส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟเมื่อเปรียบเทียบกับกันแล้ว เทคโนโลยีการผลิตและการเผาเพื่อให้ได้อิฐทนไฟที่มีคุณภาพดี การเผานั้นจะต้องเผาที่อุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึกมัลไลต์ (Mullite) เป็นสารประกอบของอะลูมินา และซิลิกา ซึ่งจะเริ่มเกิดที่อุณหภูมิ 1,200 °C และจะเกิดมากที่สุดที่ อุณหภูมิ 1,400 °C ถ้าอุณหภูมิการเผาอิฐทนไฟต่ำเกินไปปริมาณการใช้งานและการทนต่อการรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูงจะด้อยไปด้วย [3] จากผลของการเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบพบว่า การเผาตัวอย่างชิ้นงานที่ 1,200 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังการอัดขึ้นรูป



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างชิ้นงานของเถ้าลอยอะลูมิเนียมหลังการเผาอุณหภูมิที่ 1,200 °C

ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบมีสภาพสมบูรณ์ดีมีการแตกร้าวบ้างเป็นบางส่วน และมีสีน้ำตาลเข้มคล้ายกับรอยไหม้บริเวณผิวรอบนอกของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของ B2, B3, B4 และ B5 ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้

ของเหล็กออกไซด์ที่เกาะอยู่บริเวณรอบของผิวตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ หรืออาจเป็นธาตุอื่นๆที่ทำปฏิกิริยากับความร้อนจึงเกิดเป็นรอยไหม้ เมื่อทำการเผาของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นที่ $1,300^{\circ}\text{C}$ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 พบว่า หลังการเผา ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบมีความเสียหายลักษณะของรูปทรงและขนาดที่เปลี่ยนแปลงไป คือ หด บวม บิด และแตกร้าว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 (ก)-(ข)-(ค) อย่างไรก็ตามการตรวจสอบอุณหภูมิในการเผาตัวอย่างชิ้นงานที่เกิดขึ้นนี้ ควรมีการศึกษาต่อไปเพื่อให้ทราบว่าอุณหภูมิเท่าใดจึงไม่ทำให้ตัวอย่างชิ้นงานเกิดการเสียหาย



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างชิ้นงานที่เสียหายหลังการเผาอุณหภูมิที่ $1,300^{\circ}\text{C}$ (ก) ตัวอย่างชิ้นงานบิดบวม (ข) ตัวอย่างชิ้นงานหดตัว และ (ค) ตัวอย่างชิ้นงานที่แตกร้าว

4.6 ผลการศึกษาอิทธิพลตัวแปรของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ

การศึกษาอิทธิพลตัวแปรของเถ้าลอยอะลูมิเนียม มีผลต่อการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟของอัตราส่วนผสมในส่วนที่แตกต่างกัน

การทดสอบสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย

- ค่าความหนาแน่น
- ค่าความพรุนปรากฏ
- ค่าความถ่วงจำเพาะ
- ค่าการดูดซึมน้ำ

การทดสอบสมบัติทางกลประกอบด้วย

- ค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็น
- ค่าความทนไฟ

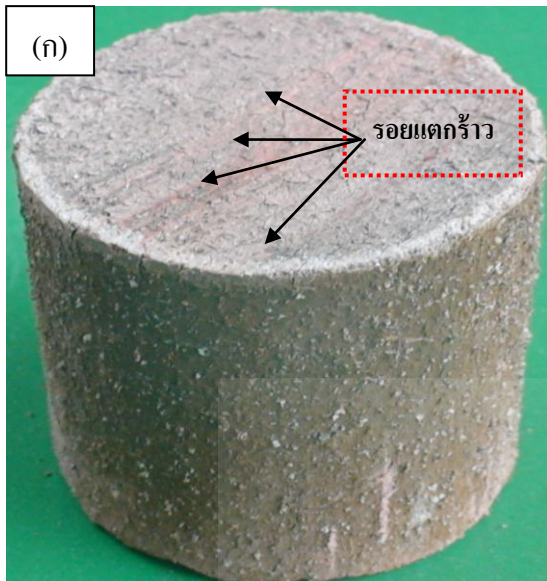
การทดสอบและวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางกลของกลุ่มตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ซึ่งได้ใช้ขนาดของ Mesh No. 40, 50 และ 100 ตัวอย่าง ประกอบด้วย S1M50C300X, S2M50C350X, S3M100C300X, และ S4M100C350X ของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันที่ 100:00 (B1), 80: 20 (B2), 60: 40 (B3), 40: 60 (B4) และ 20: 80 (B5) การอัดขึ้นรูปที่ความดันที่ 300 และ 350 kg/cm² การเผาโดยใช้อุณหภูมิที่ต่างกันที่ 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) อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันที่ 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 เกิดจุดบกพร่องพรอยแตกร้าวหลังการอัดขึ้นรูปขึ้นงานแล้ว รูปที่ 4.5 (ก) แสดงการแตกร้าวบริเวณผิวหน้าตัดของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ โดยมีขนาดของอนุภาคเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ Mesh No.40 ขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนซึ่งกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 425-300 μ m การอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 300 kg/cm² แล้วนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นออกที่อุณหภูมิที่ 110 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นพบว่า เกิดมีรอยแตกร้าวทั่วบริเวณผิวหน้าตัดของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ เมื่อปล่อยให้ประมาณ 24 ชั่วโมง ชิ้นงานก็มีรอยแตกมากขึ้นจนแตกละเอียดพังทลายลงเป็นกองดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ข) เนื่องด้วยขนาดของอนุภาคเถ้าลอยอะลูมิเนียมของ Mesh No.40 ซึ่งมีขนาดใหญ่เกินไปการเกาะยึดตัวของเม็ดเกรนไม่ดี และการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบทำให้ตัวอย่างชิ้นงานเกิดการเสียหาย อย่างไรก็ตามการคัดแยกขนาดของอนุภาคเถ้าลอยอะลูมิเนียมและการตรวจสอบขนาดของอนุภาคเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปของการผลิตอิฐทนไฟ ควรมีการศึกษาวิจัยต่อไปเพื่อเป็นการตรวจสอบตามสมมติฐานที่กล่าวไว้ว่า ขนาดของอนุภาคเถ้าใดจึงใช้ในการอัดขึ้นรูปได้โดยที่ไม่มีการเสียหายต่อไป



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

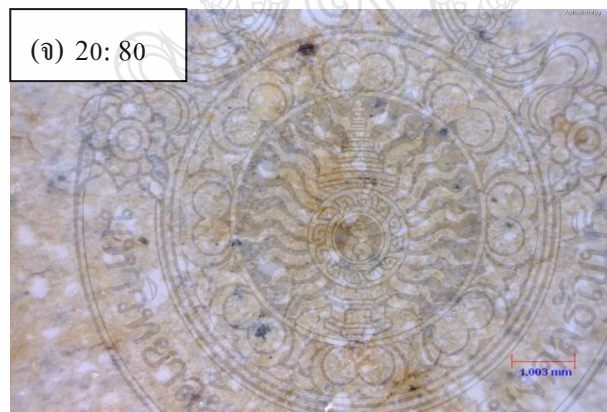
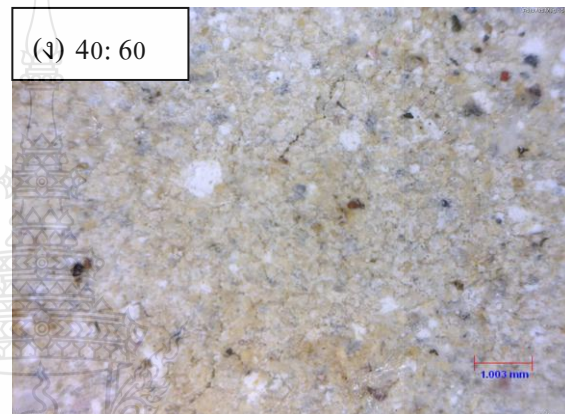
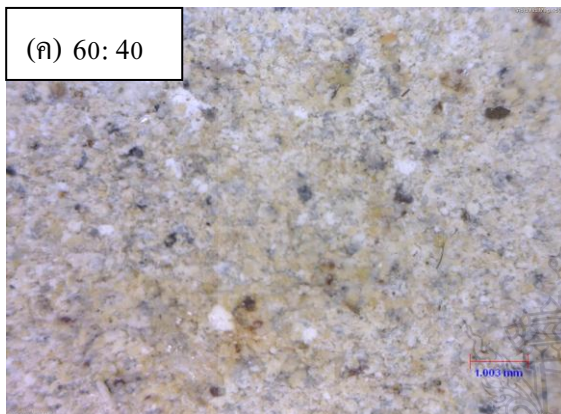
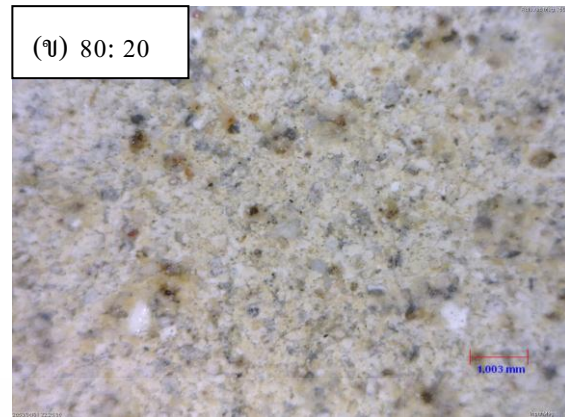
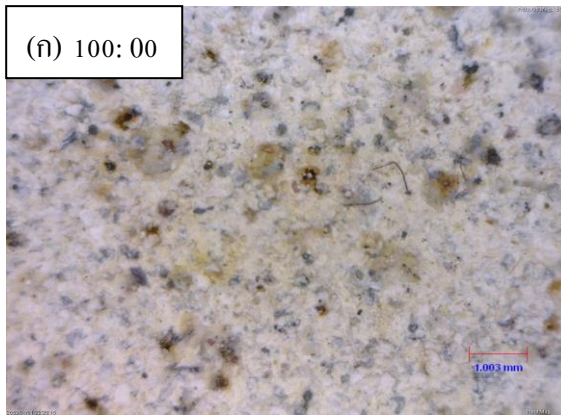
4.6.2 อิทธิพลขนาดอนุภาคของ Mesh No. 50 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 และการเผาอุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$ ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐทนไฟ

ตัวแปรการผลิตที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย

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

รูปที่ 4.6 แสดงผิวหน้าตัดของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 300 kg/cm^2 และการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$ โดยใช้อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันทั้งหมด 5 สัดส่วน ประกอบด้วยส่วนผสมในสัดส่วนที่ 100:00 (B1), 80: 20 (B2), 60: 40 (B3), 40: 60 (B4) และ 20: 80 (B5) จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงที่ขนาดกำลังขยาย 50 เท่า และยังพบว่ามี การกระจายตัวของอะลูมินาที่ไม่สม่ำเสมอกล่าวคือ ได้ทำการจับตัวรวมกันเป็นก้อนเม็ดเล็กๆสีขาวกระจายโดยทั่ว บริเวณผิวของชิ้นงานทดสอบ พิจารณาจากจุดบกพร่องของการกระจายตัวของอะลูมินาทั่วบริเวณผิวหน้าตัด และส่วนบริเวณส่วนอื่นๆของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ สันนิษฐานจากขั้นตอนในกระบวนการผสมของตัวอย่าง ชิ้นงานทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.10 คาดว่าอุณหภูมิและความชื้นซึ่งมีส่วนทำให้เม็ดของอะลูมินาเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนเล็กๆกระจายทั่วบริเวณผิวของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบด้วยปริมาณพื้นที่ของการกระจายตัวของ อะลูมินาที่ไม่สม่ำเสมอเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนกับพื้นที่ทั้งหมดของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบมีปริมาณเพียง เล็กน้อย

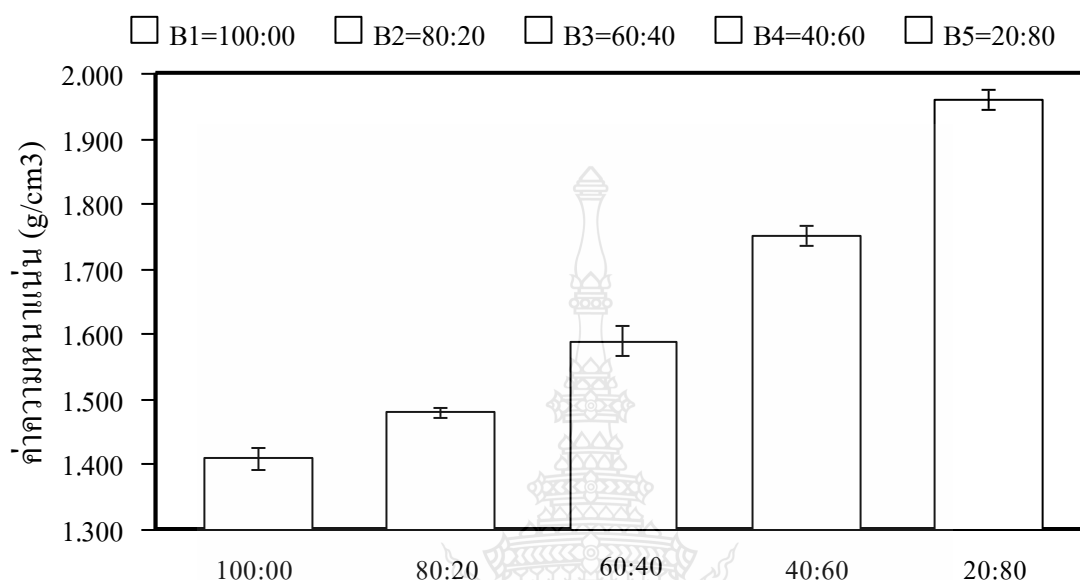
รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่มีปริมาณสัดส่วนของเถ้า ลอยอะลูมิเนียมแตกต่างกันด้วยขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 300 kg/cm^2 และการเผาที่อุณหภูมิ $1,200^\circ\text{C}$ พบว่า แนวโน้มค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ กล่าวคือ มีค่า ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟในสัดส่วนต่างๆของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ค่าความหนาแน่นสูงสุด คือ 1.96 g/cm^3 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 เนื่องจากปริมาณ สัดส่วนเถ้าลอยอะลูมิเนียมลดลงแต่กลับกันปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มมากขึ้น



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

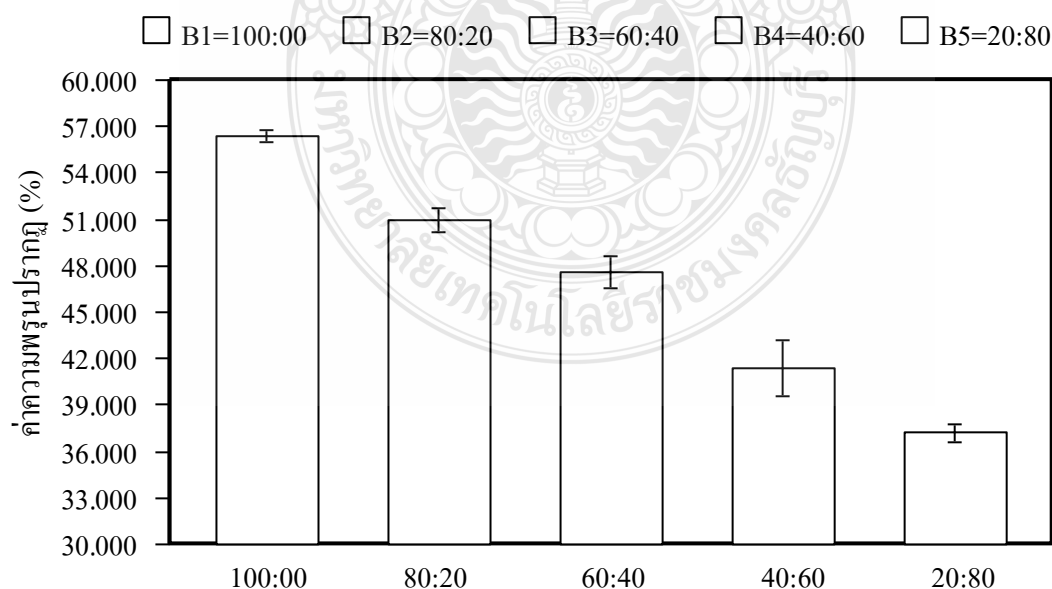
ขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นสูงสุด การเพิ่มค่าความหนาแน่นของชิ้นงานเมื่อปริมาณเถ้าลอยอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้นคาดว่า เกิดจากการเรียงตัวของเม็ดเกรนยึดเกาะแน่นอย่างเป็นระเบียบมากขึ้นส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีอยู่ 80% ดังแสดงในรูปที่ 4.6(จ) สัดส่วนนี้มีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร้อนที่ $45 \mu\text{m}$ คาดว่าทำให้ขนาดอนุภาคที่เล็กสามารถเข้าไปแทรกตัวในระหว่างช่องว่างของเม็ดเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่มีขนาดใหญ่กว่า ทำให้มีการเรียงตัวของเม็ดเกรนเป็นไปอย่างมีระเบียบเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างชิ้นงาน

ทดสอบ B4 B3 และ B2 มีค่าความหนาแน่นลดลงตามลำดับ ค่าความหนาแน่นต่ำสุด คือ 1.41 g/cm^3 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 สาเหตุคาดว่าส่วนผสมของ B1 มีปริมาณของสัดส่วนของเถ้าลอยอะลูมิเนียม 100% ซึ่งเถ้าลอยอะลูมิเนียม Mesh No.50 ที่ขนาดอนุภาคที่ใหญ่มีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง $300\text{-}150 \text{ }\mu\text{m}$



% สัดส่วนเถ้าลอยอะลูมิเนียมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ

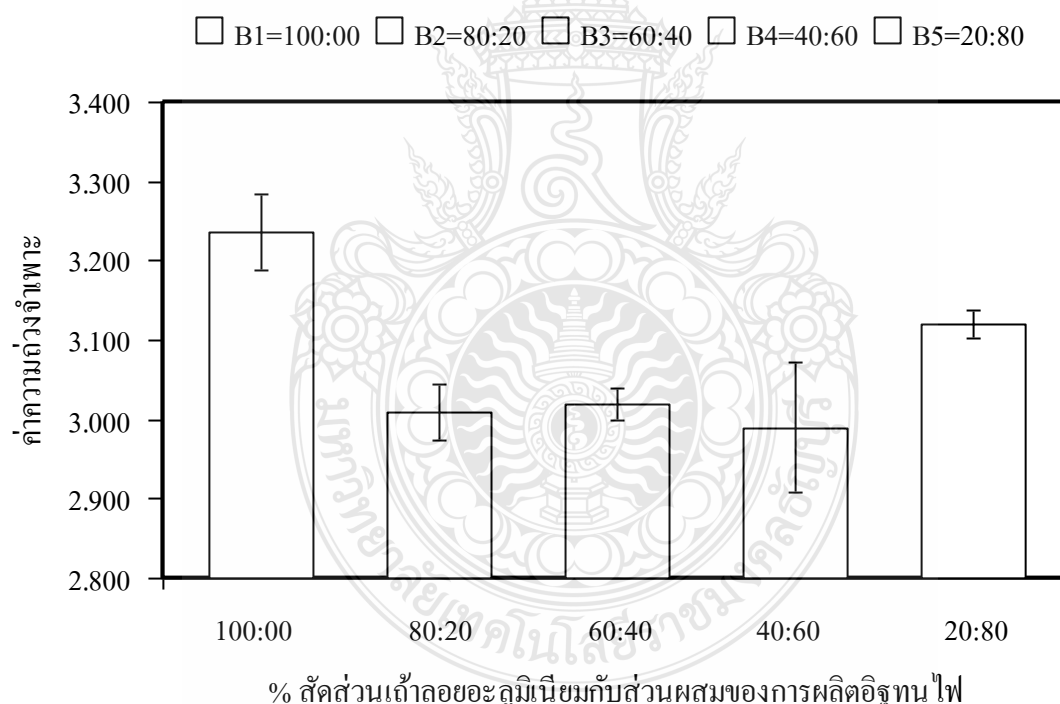
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2



% สัดส่วนเถ้าลอยอะลูมิเนียมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2

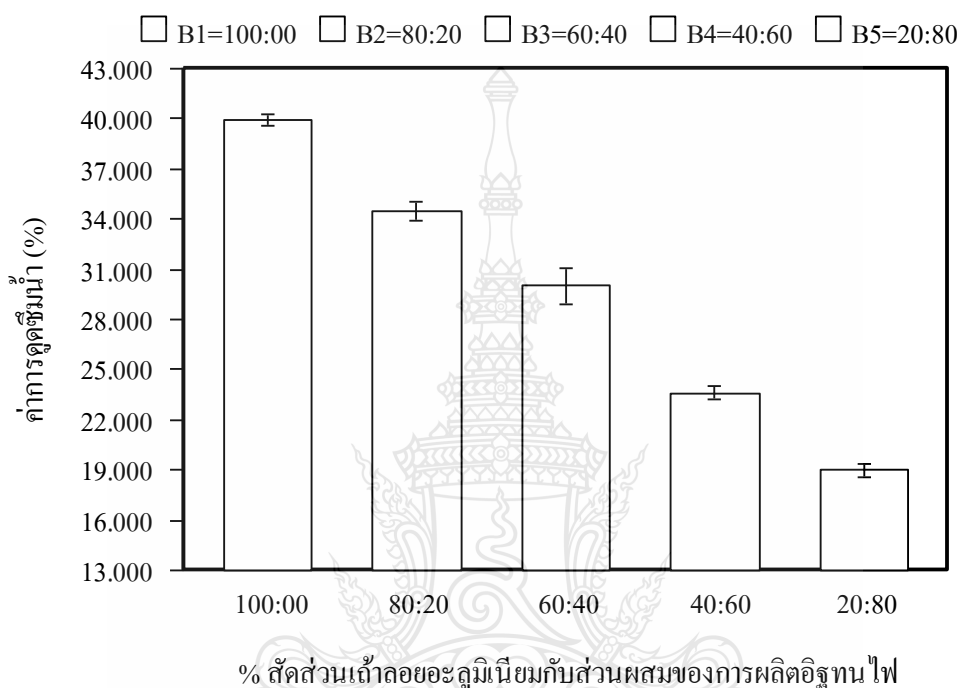
รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบของค่าความพรุนปรากฏพบว่า ค่าความพรุนปรากฏมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสัดส่วนของเถ้าลอยอะลูมิเนียม ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 มีค่าความพรุนปรากฏสูงสุด คือ 56.37% กล่าวคือ ปริมาณสัดส่วนมีแต่เถ้าลอยอะลูมิเนียม 100% เนื่องด้วยขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ Mesh No.50 ซึ่งมีขนาดของอนุภาคที่เล็กและใหญ่ไม่เท่ากันปะปนอยู่ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเม็ดแกรนดังแสดงในรูปที่ 4.6 (จ) โดยมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm และการอัดขึ้นรูปด้วยแรงดันต่ำที่ 300 kg/cm^2 ทำให้เกิดความพรุนสูงที่สุด ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2, B3, B4 และ B5 พบว่า มีค่าความพรุนปรากฏลดลงตามลำดับคาดว่า 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/cm^2

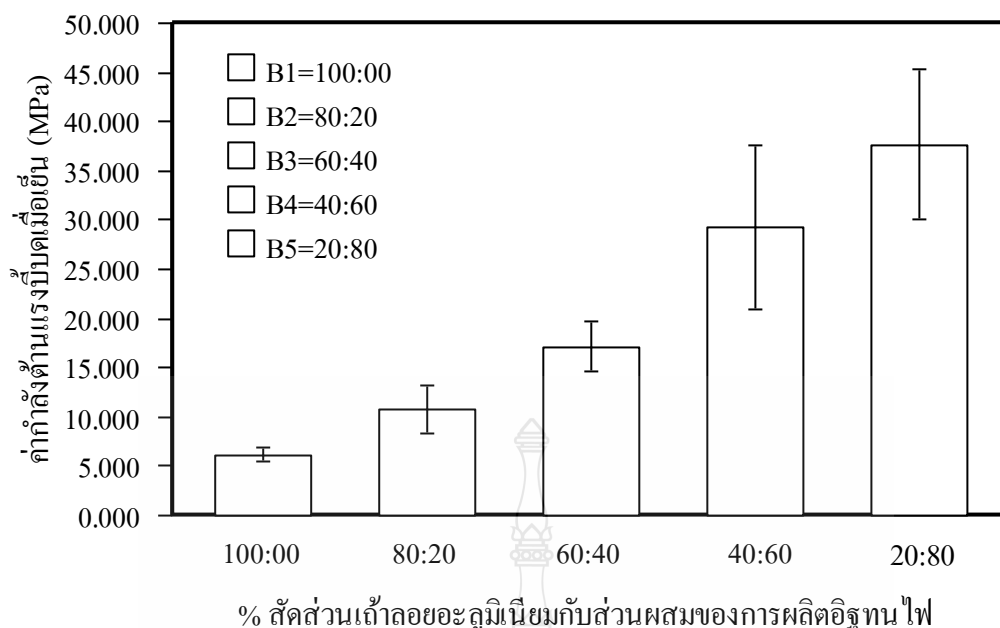
รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบของค่าความถ่วงจำเพาะที่ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 พบว่า มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่าความถ่วงจำเพาะที่ไม่สม่ำเสมอ คาดว่า เกิดจากคุณสมบัติการหลอมเหลวที่ไม่สมบูรณ์ของธาตุต่างๆบริเวณภายในเนื้อของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบโดยเวลาที่ใช้ในการเผาชิ้นงานและปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมสัดส่วนที่ต่างกันทำให้เกิดค่าความหนาแน่นตกค้างภายในเนื้อของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ [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

รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบของค่าการดูดซึมน้ำพบว่า ค่าการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณอัตราส่วนผสมในสัดส่วนต่างๆของชิ้นทดสอบกล่าวคือ เมื่อค่าของความพรุนปรากฏมีค่าสูงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าสูงตามไปด้วยเนื่องจาก น้ำสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างของรูพรุนได้มากขึ้น [9] และแสดงค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดที่ 39.95% พบได้ที่ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1ในสัดส่วน 100:00 ซึ่งมีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียม 100% กล่าวคือ เถ้าลอยอะลูมิเนียม Mesh No.50 ที่ขนาดอนุภาคที่ใหญ่และมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ก) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของ B2, B3, B4 และ B5 พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลงตามปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมแต่ปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟมากขึ้น ทำให้มีค่าความหนาแน่นสูงทำให้น้ำสามารถไหลซึมผ่านเข้ามาแทนที่ได้ไม่ดี [9] พบว่า มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอการเรียงตัวของเม็ดเกรนที่เป็นระเบียบมากขึ้นเนื่องด้วยอัตราส่วนผสมที่สัดส่วนต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ข)-(ค)-(ง) และได้แสดงค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด คือ 18.97% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (จ)

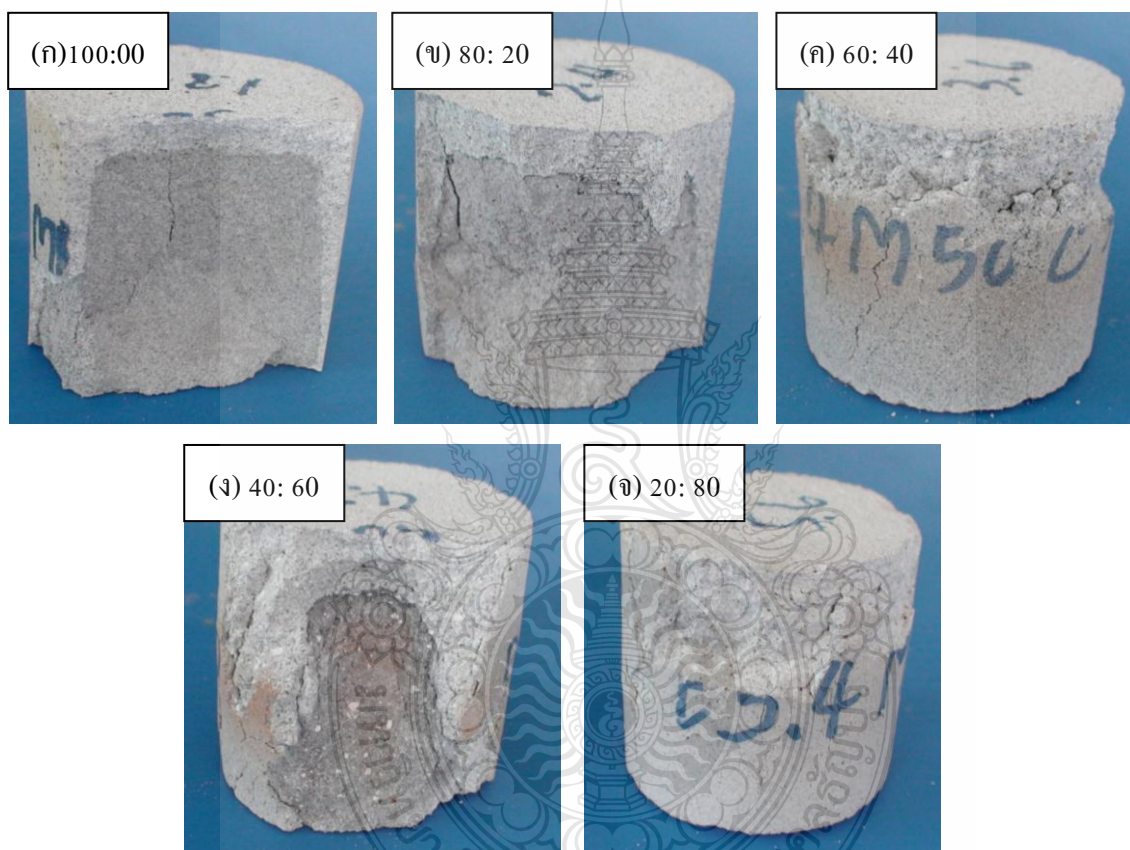


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นกับตัวอย่างชิ้นงานที่สัดส่วนต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm²

ผลการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่า แนวโน้มของค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นมีรูปแบบลักษณะเดียวกันกับ ค่าความหนาแน่น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 กล่าวคือ เมื่อค่าความหนาแน่นสูงค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นก็สูงตามไปด้วย [9] จากผลทดสอบพบว่า ปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนที่ต่างกันทำให้ค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นสูงขึ้นตามลำดับด้วย โดยแสดงค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นสูงสุด คือ 31.40 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 ขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.50 ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm เนื่องด้วยปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีอยู่ 80% โดยมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนที่ 45 μm ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กสามารถเข้าไปแทรกตัวในระหว่างช่องว่างของเม็ดเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่มีขนาดใหญ่ที่มีอยู่เพียง 20% ดังนั้นการเรียงตัวของเม็ดเกรนเป็นระเบียบสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นทำให้ค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นมีค่าสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (จ) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 และ B1 ในสัดส่วน 40:60, 60:40, 80:20 และ 100:00 ตามลำดับ มีค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นลดลงต่อเนื่องตามปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟการอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ง)-(ค)-(ข)-(ก) และแสดงค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นต่ำสุด คือ 6.11 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 สัดส่วนที่ 100:00 พบว่า มีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียม 100% กล่าวคือ ด้วยขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ของ Mesh No.50 ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm การเรียงตัวของเม็ดเถ้าลอยอะลูมิเนียมจึงไม่สม่ำเสมอและการใช้ความดันในการอัดขึ้นรูปต่ำที่ 300 kg/cm² ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ก) ทำให้เถ้าลอยอะลูมิเนียมมีค่าความเป็นรูปทรงสูง ค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้นด้วยแต่ค่าความหนาแน่นต่ำส่งผลให้ค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นต่ำลง [9]

สภาพความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานหลังการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm² อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้อุณหภูมิที่ 1,200 °C ดังแสดงในรูปที่ 4.12 พบว่า ความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในแต่ละสัดส่วนแตกต่างกันออกไป คือ รูปที่ 4.12 (ก) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 เกิดการ

เสียหายจากการยุบตัวบริเวณรอบๆพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบซึ่งใช้แรงกดที่น้อยมาก เนื่องจากตัวอย่างชิ้นงานมีขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.50 ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm 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 มีการเสียหายของชิ้นงานแบ่งออกเป็นสองเฟสกล่าวคือ ปริมาณอัตราส่วนผสมในสัดส่วนใกล้เคียงกันที่ 60:40 ซึ่งมีเถ้าลอยอะลูมิเนียมผสมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟรอยแตกเริ่มจากการยุบตัวเนื่องจาก การรับแรงกดโดยบริเวณผิวรอบนอกเริ่มมีรอยแตกก่อนถึงเนื้อภายในชิ้นงาน

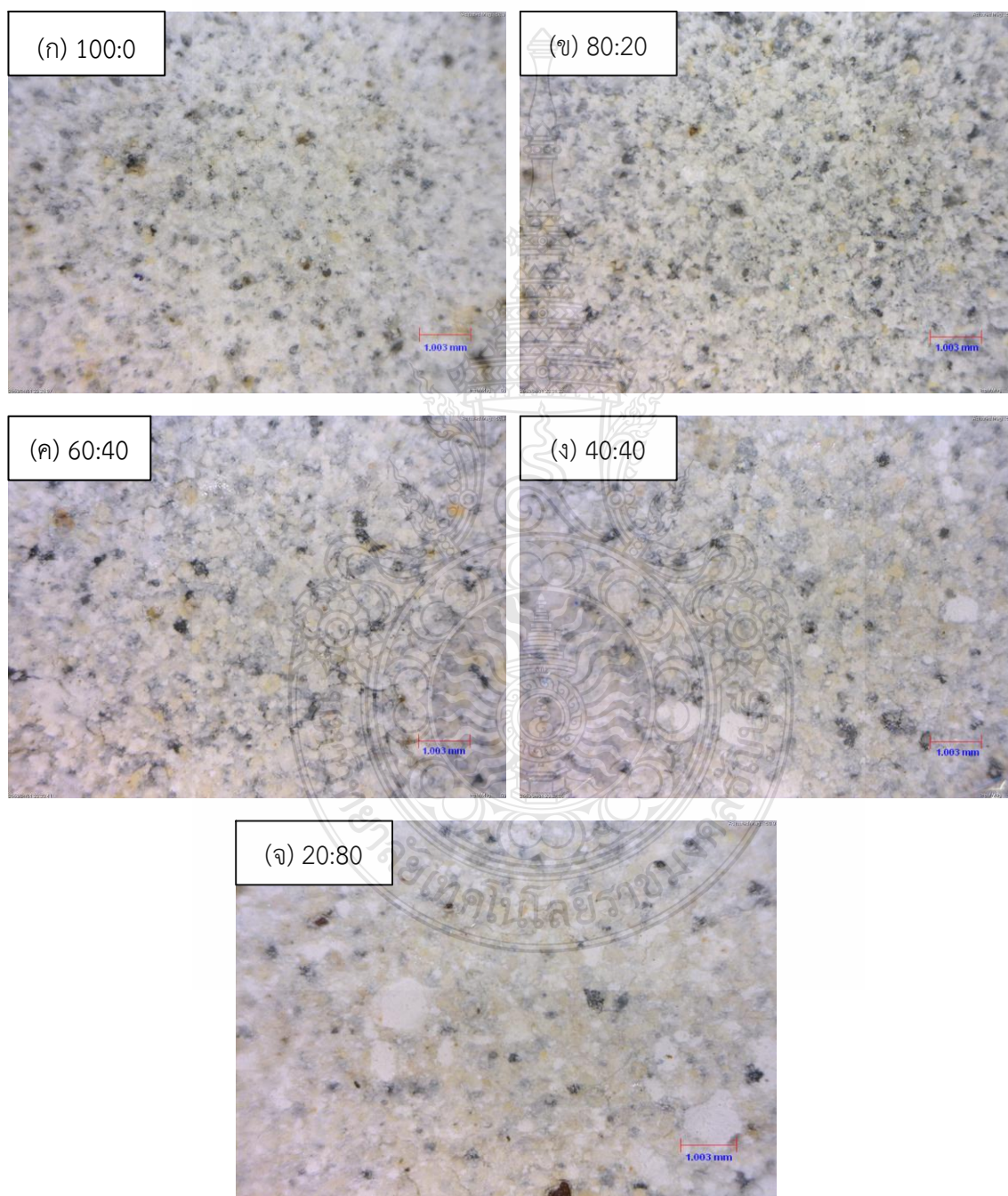


รูปที่ 4.12 ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ 1,200 $^{\circ}\text{C}$

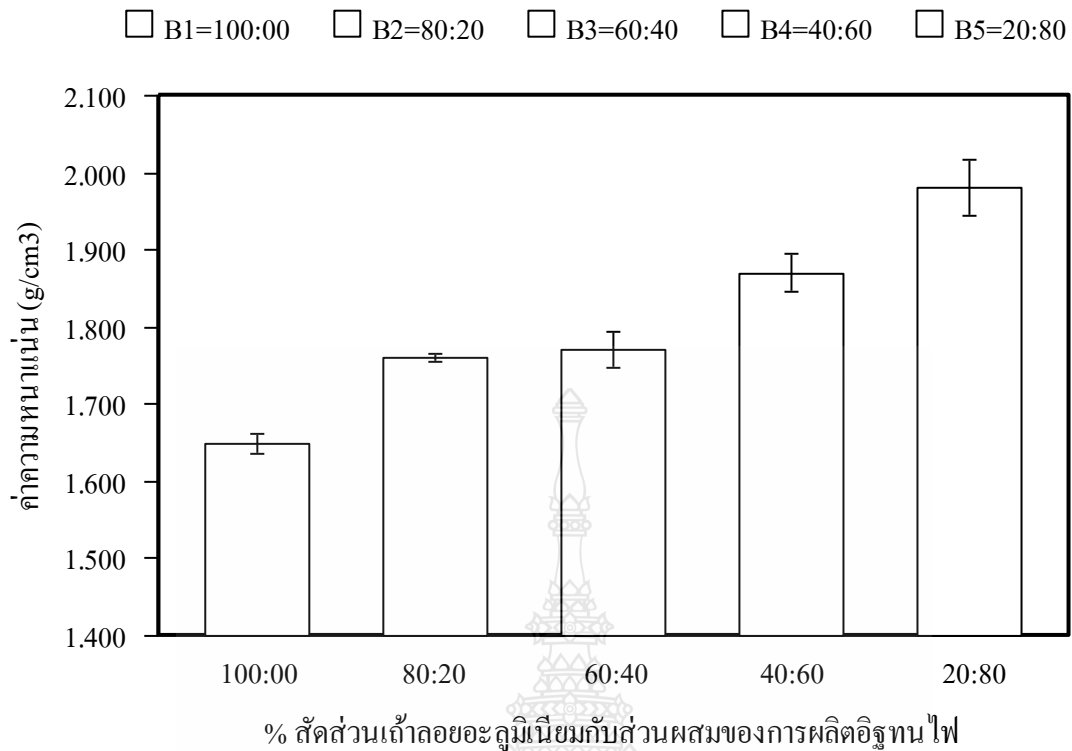
รูปที่ 4.12 (ง) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 ในสัดส่วน 40:60 พบว่า จากปริมาณอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันซึ่งมีเถ้าลอยอะลูมิเนียมน้อยกว่าผสมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ ภายในเนื้อของชิ้นงานแบ่งออกเป็นสองเฟสโดยชัดเจนสังเกตพบเนื้อชิ้นงานแบ่งเป็นสองชั้นเกิดจากหลอมเหลวของธาตุต่างๆ ที่จุดหลอมเหลวต่างกัน [3] การเสียหายพบรอยแตกจากบริเวณผิวชั้นนอกก่อนแล้วจึงเข้าถึงผิวชั้นในการรับแรงกดจึงมีอยู่สองช่วงทำให้มีค่าแรงกดเพิ่มที่สูงขึ้น รูปที่ 4.12 (จ) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 พบว่า ตัวอย่างชิ้นงานมีค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นสูงสุดกล่าวคือ ด้วยปริมาณของอัตราส่วนผสมประกอบด้วย เถ้าลอยอะลูมิเนียมน้อยสุดที่ 20% ผสมส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มากที่สุดถึง 80%

พบรอยแตกไม่มีการแยกของเฟสเกิดขึ้นการเสียหายหายเริ่มจากการยุบตัวของชิ้นงานพบว่า มีการยุบตัวของชิ้นงานน้อยมากสังเกตพบว่าเมื่อชิ้นงานเริ่มต้านแรงกดไม่ได้จะมีเสียงของการแตกดังขึ้นและพบรอยแตกเป็นร่องยาวผ่าจากผิวชั้นนอกถึงผิวชั้นในเกิดจากตัวอย่างชิ้นงานทดสอบมีค่าความหนาแน่นสูงกล่าวคือ การเพิ่มปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟมากขึ้นค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นยิ่งเพิ่มสูงขึ้น

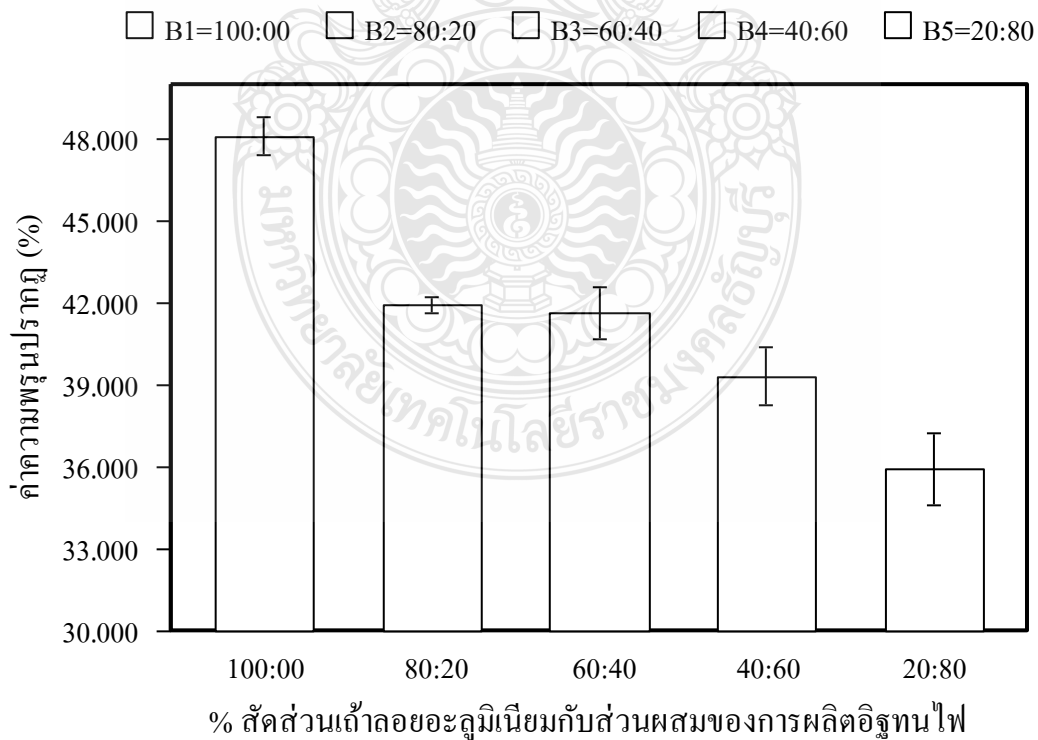
4.6.3 อิทธิพลขนาดอนุภาคของ Mesh No. 50 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 และการเผาอุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$ ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐทนไฟ



รูปที่ 4.13 ผิวหน้าตัดของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้อุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2

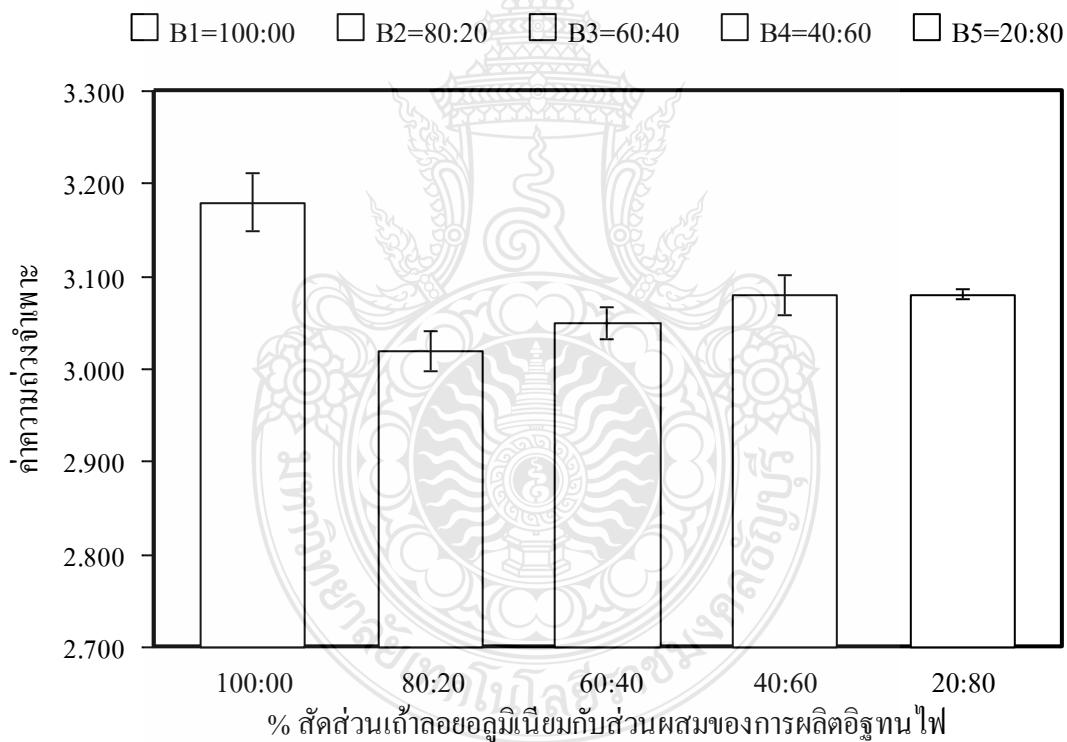


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2

ตัวแปรการผลิตที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย

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

รูปที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบค่าความหนาแน่นที่อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาค Mesh No.50 ผ่านการอัดขึ้นรูปความดันที่ 350 kg/cm^2 และการเผาโดยใช้อุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$ ในรูปที่ 4.13 ได้นำชิ้นงานทั้งหมดมาทำการเตรียมการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นพบว่า แนวโน้มค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าลอยอะลูมิเนียมลดลง กล่าวคือ มีค่าความดันเพิ่มขึ้นของการอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 350 kg/cm^2 และการเพิ่มของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟตามปริมาณของสัดส่วนต่างๆของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบทำให้ค่าความหนาแน่นสูงขึ้นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 และB5 โดยค่าความหนาแน่นสูงสุด คือ 1.98 g/cm^3 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วนที่ 20:80 เนื่องด้วยปริมาณสัดส่วนของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ลดลงแต่กลับกันปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นสูงสุด

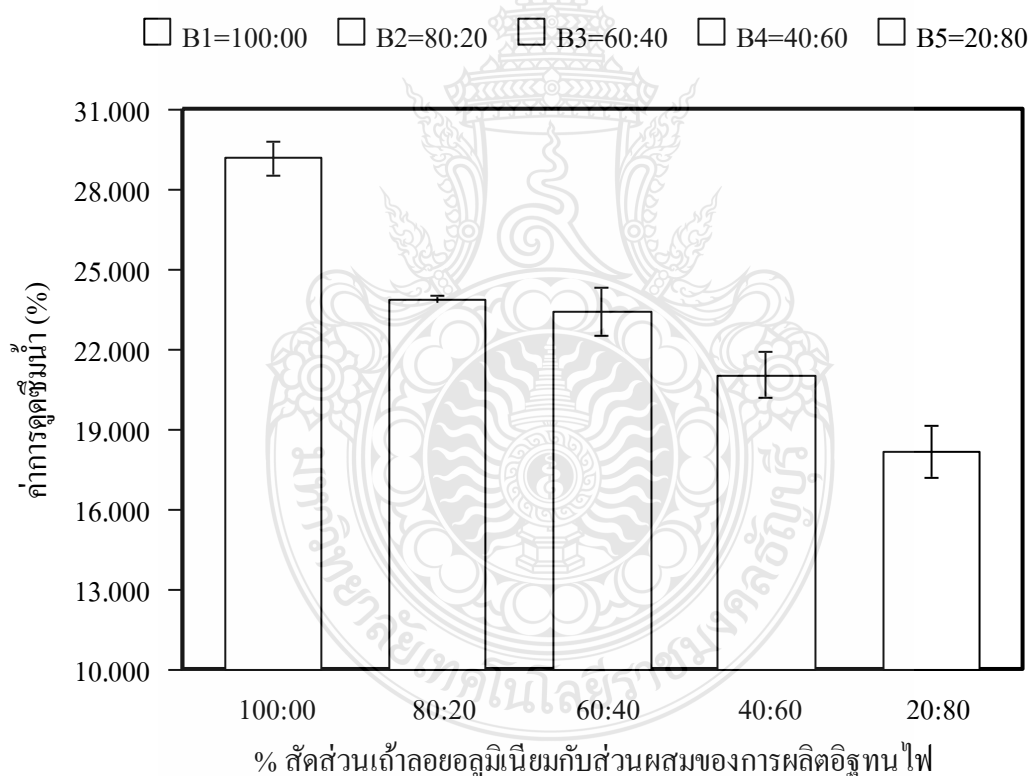


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2

เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมในสัดส่วนของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 300 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (จ) ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 และB1 พบว่า มีค่าความหนาแน่นลดลงตามลำดับคล้ายกับค่าความหนาแน่นดังรูปที่ 4.7 พบค่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น กล่าวคือ การใช้ความดันที่สูงและปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่น้อยลงค่าความหนาแน่นลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ง)-(ค)-(ข)-(ก) และได้แสดงค่าความหนาแน่น

ต่ำสุด คือ 1.65 g/cm^3 ที่ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของ B1 ในสัดส่วน 100:00 เนื่องด้วยมีปริมาณของสัดส่วนของเถ้าลอยอะลูมิเนียม 100% ซึ่งเถ้าลอยอะลูมิเนียม Mesh No.50 ที่ขนาดอนุภาคที่ใหญ่ การเรียงตัวของเม็ดเถ้าลอยอะลูมิเนียมไม่สม่ำเสมอเป็นระเบียบทำให้มีค่าความหนาแน่นต่ำสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก)

ผลการทดสอบค่าความพรุนปรากฏ ดังแสดงในรูปที่ 4.15 พบว่า แนวโน้มของค่าความพรุนปรากฏลดลงมากกว่าความพรุนปรากฏในรูปที่ 4.8 กล่าวคือ การใช้แรงดันในการอัดขึ้นรูปที่สูงขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นแต่ค่าความพรุนปรากฏลดน้อยลง [9] ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 และ B5 และแสดงค่าความพรุนปรากฏสูงสุด คือ 48.13% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 ซึ่งมีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก) เมื่อปริมาณเถ้าลอยอะลูมิเนียมลดลงตามสัดส่วนต่างๆทำให้ค่าความพรุนปรากฏของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2 และ B5 ลดลง โดยมีการกระจายตัวของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่สม่ำเสมอด้วยปริมาณส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก)-(ค)-(ง)-(จ) ค่าความพรุนปรากฏต่ำสุด คือ 35.90% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 พบว่า มีปริมาณสัดส่วนของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่มีเพียง 20% และความดันในการอัดขึ้นรูปสูงที่ 350 kg/cm^2 ทำให้ค่าความพรุนปรากฏลดลง

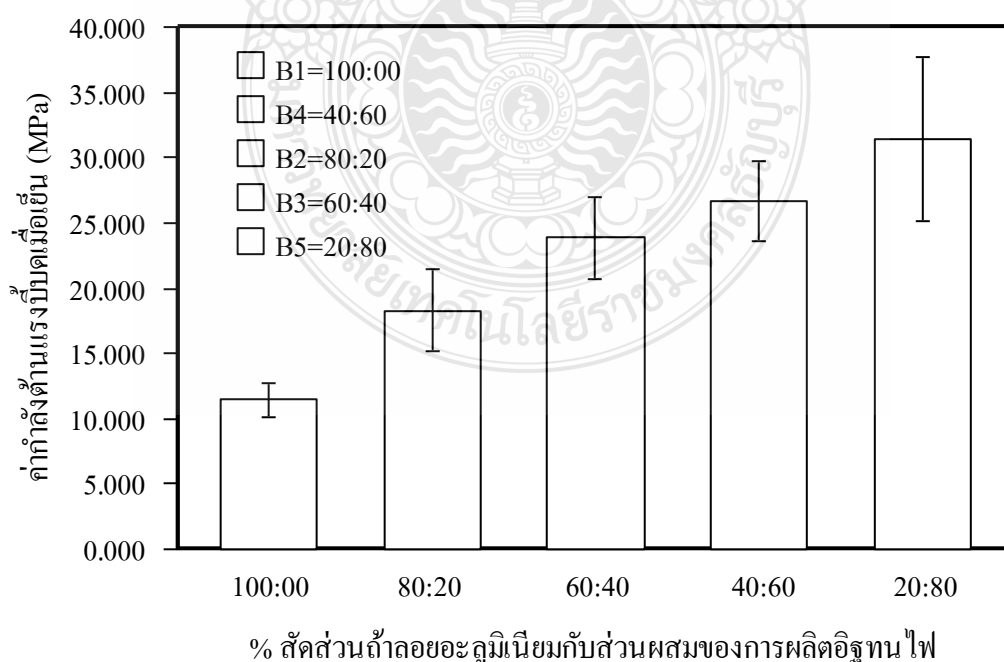


รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2

รูปที่ 4.16 แสดงผลการทดสอบของค่าความถ่วงจำเพาะพบว่า มีค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความถ่วงจำเพาะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.9 ที่แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปด้วยแรงกด 300 kg/cm^2 กล่าวคือ การใช้ความดันของการอัดขึ้นรูปสูงที่ 350 kg/cm^2 ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะลดลงของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 และ B5 โดยค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุด คือ 3.18 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

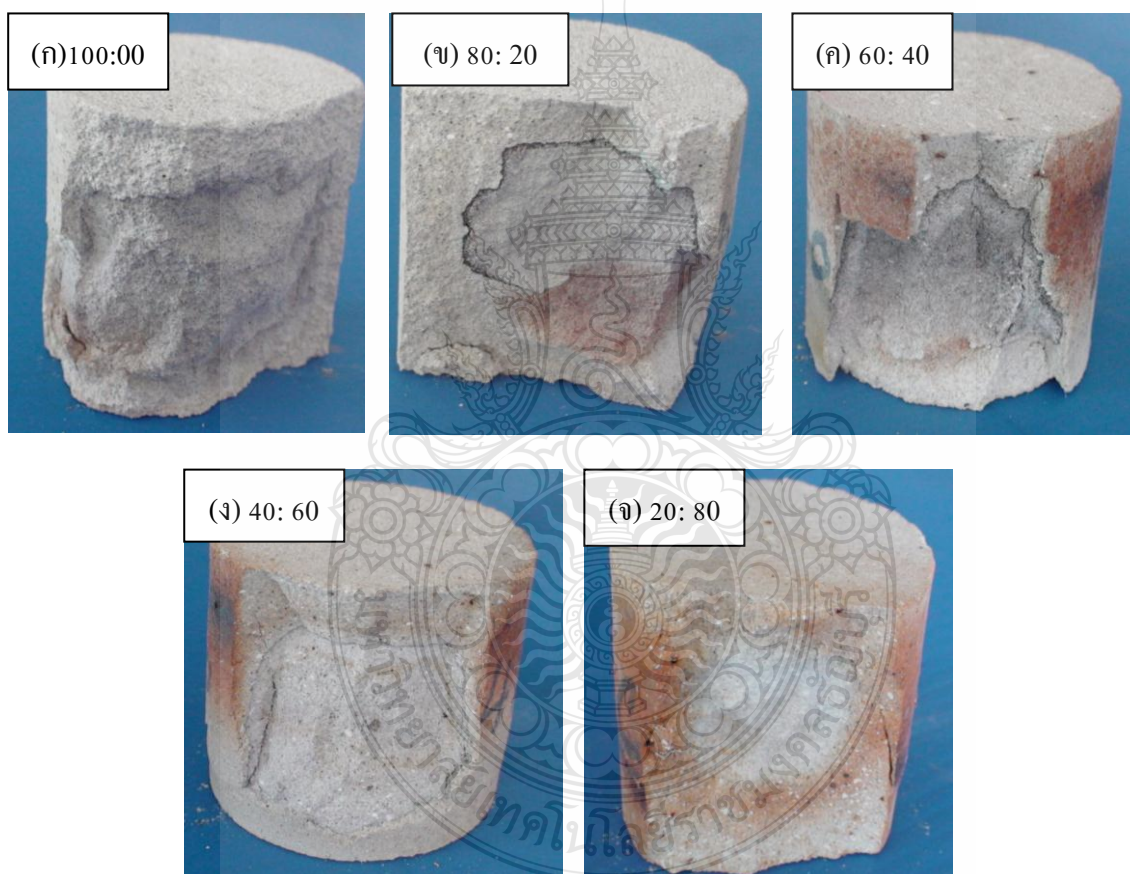
B1 ในสัดส่วน 100:00 กล่าวคือ B1 มีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมทั้งหมด 100% มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดและความเป็นรูปทรงสูงทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะสูงขึ้น [9] ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของ B3, B4 และ B5 มีค่าความถ่วงจำเพาะลดลงที่ค่าแตกต่างกันพบว่า มีอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันของปริมาณเถ้าลอยอะลูมิเนียมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ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

รูปที่ 4.17 แสดงผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำพบว่า แนวโน้มของค่าการดูดซึมน้ำมีรูปแบบลักษณะเดียวกันกับค่าของการดูดซึมน้ำของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 แต่ค่าการดูดซึมน้ำของความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 นั้นมีแนวโน้มการลดลงมากกว่ากล่าวคือด้วยขนาดอนุภาคที่ใหญ่มีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm ค่าความดันของการอัดขึ้นรูปที่สูงทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นค่าการดูดซึมน้ำลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ข)-(ค)-(ง)-(จ) และแสดงค่าการดูดซึมน้ำสูงสุด คือ 29.17% ที่ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 ซึ่งมีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียม 100% และเนื่องจากเถ้าลอยอะลูมิเนียมมีความหนาแน่นต่ำและมีค่าความเป็นรูปทรงสูง ทำให้น้ำสามารถไหลซึมผ่านเข้ามาแทนที่ได้ง่าย [9] ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก) ค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด คือ 18.17% อยู่ที่ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 พบว่า ขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.50 ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 300-150 μm เนื่องด้วยปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีอยู่ 80% โดยมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนที่ 45 μm ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กสามารถเข้าไปแทรกตัวในระหว่างช่องว่างของเม็ดเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่มีขนาดใหญ่ที่มีอยู่เพียง 20% ดังนั้นการเรียงตัวของเม็ดเกรนเป็นระเบียบสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (จ) และการอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่สูงขึ้นทำให้เกิดค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำลง [9]



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

รูปที่ 4.18 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นพบว่า แนวโน้มของค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นมีรูปแบบลักษณะเดียวกันกับชิ้นงานใช้ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.12 แต่ค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นของการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเกิดจากการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นก็สูงตามไปด้วย [9] จากผลการทดสอบพบว่า ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 และ B5 ที่ปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มขึ้นตามส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและความดันของการอัดขึ้นรูปที่สูงที่ 350 kg/cm^2 ขึ้นทำให้ค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นสูงขึ้นตามสัดส่วนต่างๆ และได้แสดงค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นต่ำสุด คือ 11.44 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วนที่ 100:00 และแสดงค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นสูงสุด คือ 31.40 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 ด้วยขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 และการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$

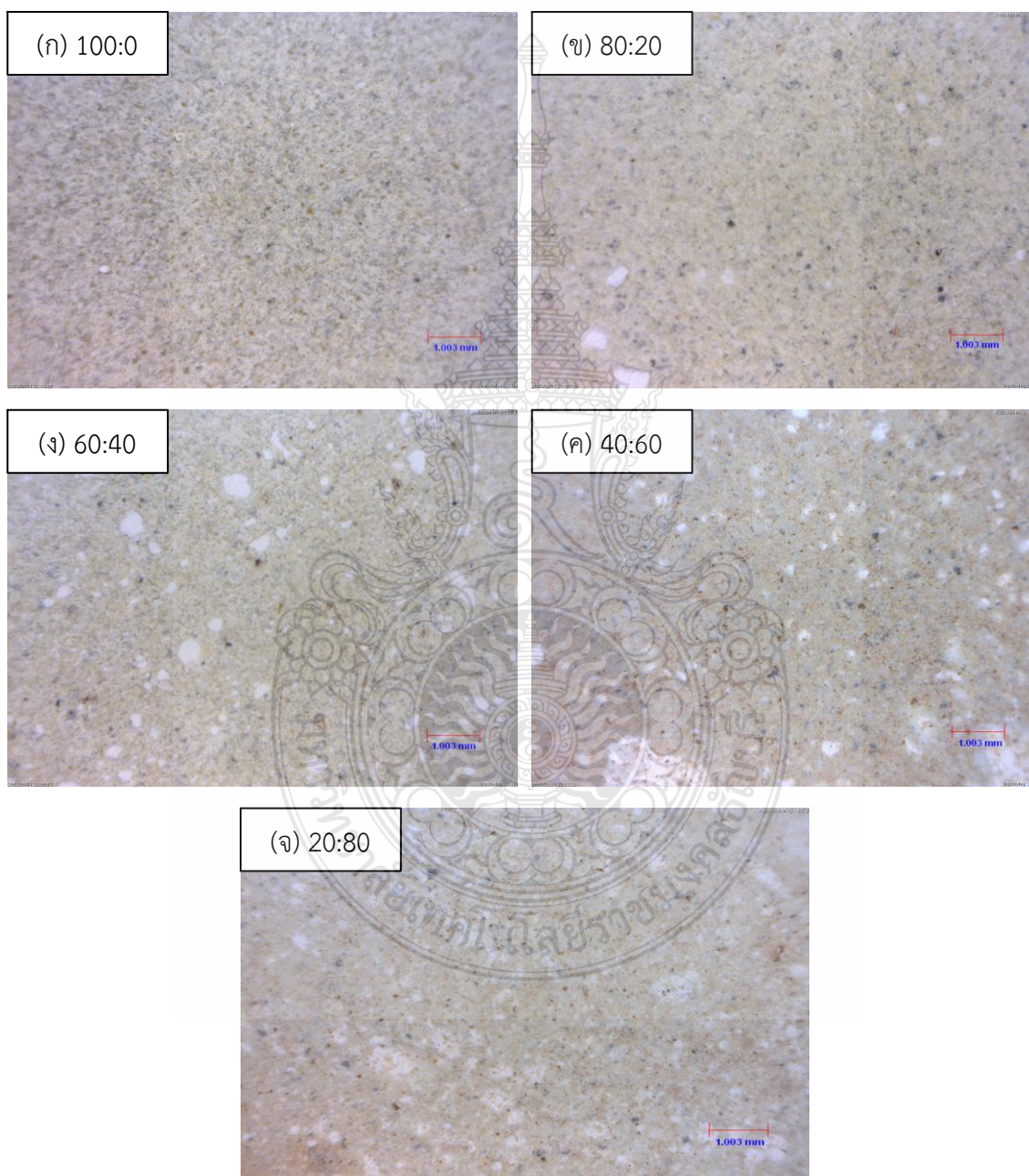


รูปที่ 4.19 ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$

ผลการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นจากรูปที่ 4.19 พบว่า ความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในแต่ละสัดส่วนแตกต่างกันมีลักษณะคล้ายกับความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบดังรูปที่ 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 เกิดการเสียหายโดยแบ่งออกเป็นเฟสเดียวประกอบด้วยอัตราส่วนผสมในสัดส่วนใกล้เคียงกันจากผลการทดสอบพบมี

ลักษณะการเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานเป็นเนื้อเดียวกันการแตกเริ่มจากการยุบตัวและแตกตามบริเวณขอบด้านข้างของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ กลุ่มที่ 2 ในรูปที่ 4.19 (ค)และ(ง) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B3 และB4 ในสัดส่วนที่ 60:40 และ40:60 พบว่า มีความเสียหายของการแตกแบ่งออกเป็นสองเฟสลักษณะเป็นสองชั้น มีสีแตกต่างกันและมีการรวมตัวยึดเกาะกันเป็นสองส่วนคือส่วนภายนอกกับส่วนภายใน

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

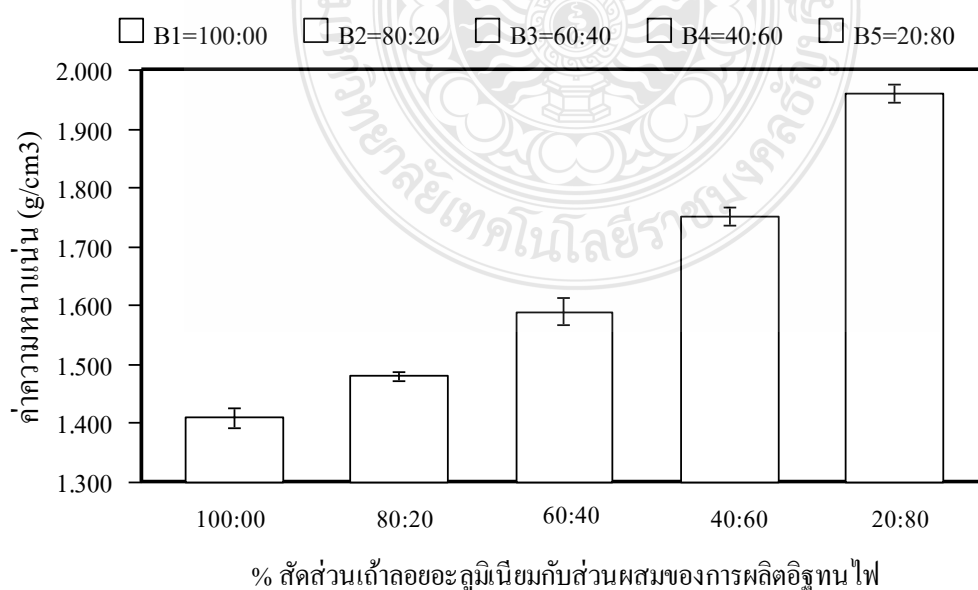


รูปที่ 4.20 ผิวหน้าตัดของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 และการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$ โดยใช้อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน ทั้งหมด 5 สัดส่วน ได้แก่ 100:00(B1), 80: 20(B2), 60: 40(B3), 40: 60 (B4) และ 20: 80(B5) จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงด้วยกำลังขยาย 50 เท่า

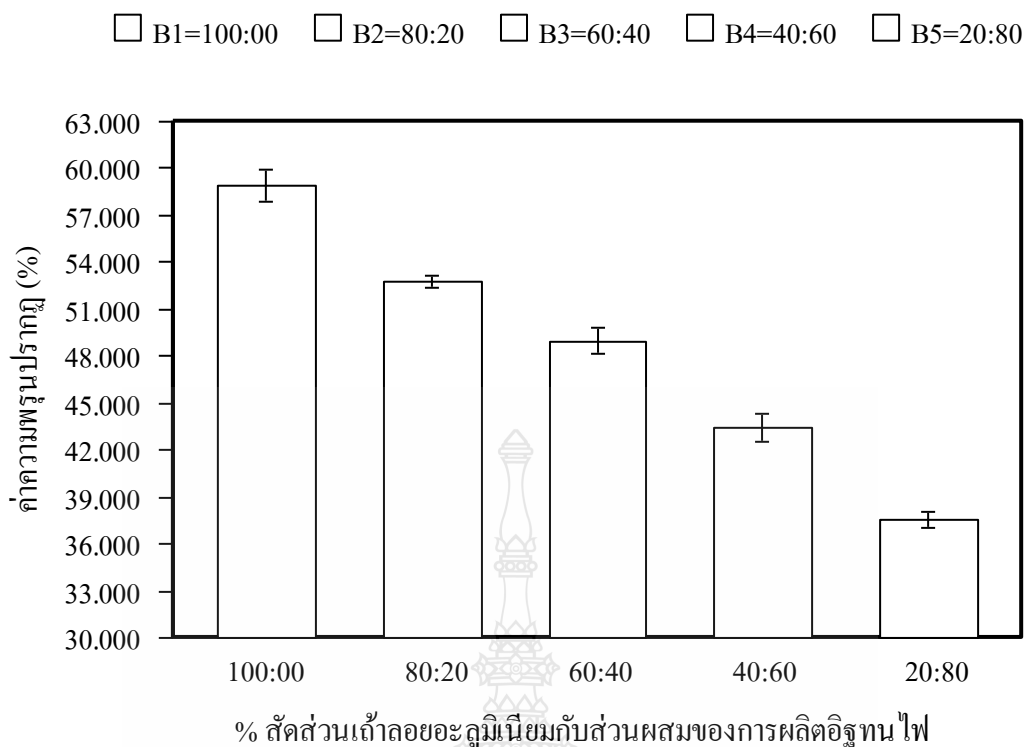
ตัวแปรการผลิตที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย

- 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 โดยมีค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงเล็กน้อยกล่าวคือ 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 กล่าวคือด้วยปริมาณสัดส่วนของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ลดลงแต่ปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นลดลงกว่าการใช้ขนาดของอนุภาคที่ 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



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2

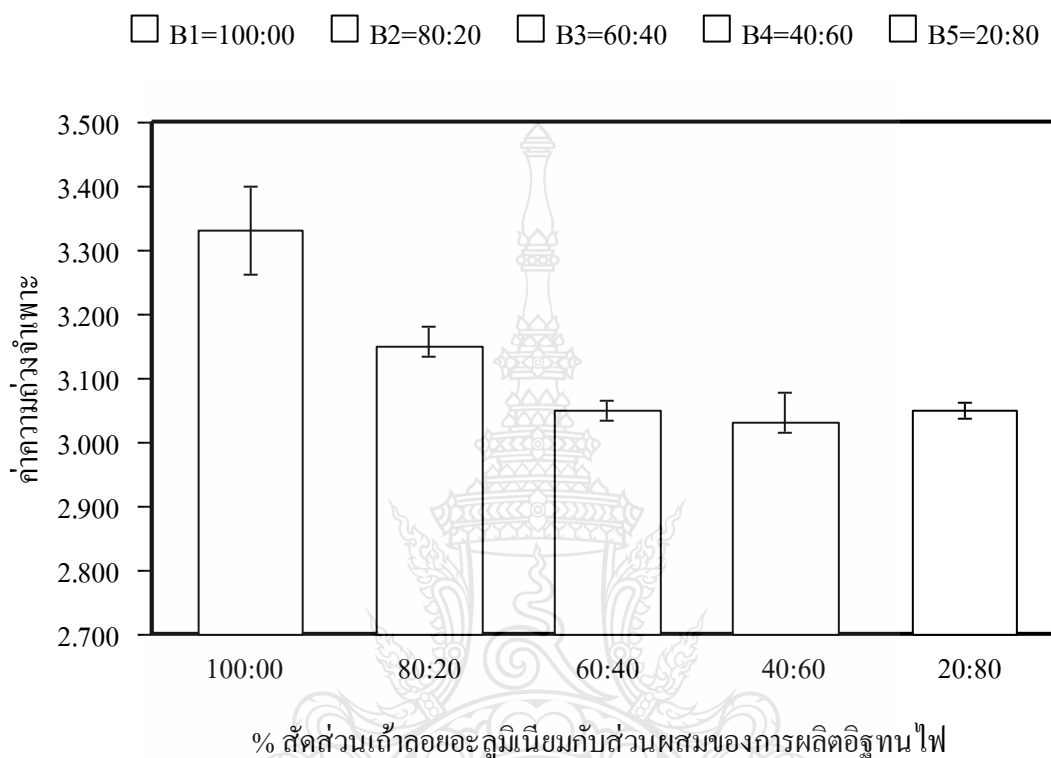


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm²

ข้อมูลผลการทดสอบค่าความพรุนปรากฏ ดังแสดงในรูปที่ 4.22 พบว่า แนวโน้มมีค่าความพรุนปรากฏลดลงคล้ายกับค่าความพรุนปรากฏที่ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm² ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และแสดงค่าความพรุนปรากฏสูงสุด คือ 58.86% ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 โดยมีค่าความพรุนปรากฏสูงเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ด้วยขนาดอนุภาคของแฉะล่อยอะลูมิเนียมที่ 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 ซึ่งมีปริมาณมากพอที่เข้าไปแทนที่ระหว่างช่องว่างของเม็ดแฉะล่อยอะลูมิเนียมที่มีเพียง 20% ซึ่งมีขนาดของอนุภาคที่ใหญ่กว่าโดยมีการรวมตัวยึดเกาะกันระหว่างเม็ดเกรนสม่ำเสมออย่างเป็นระเบียบส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น แต่ค่าความพรุนปรากฏลดลงต่ำสุด [9] ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (จ)

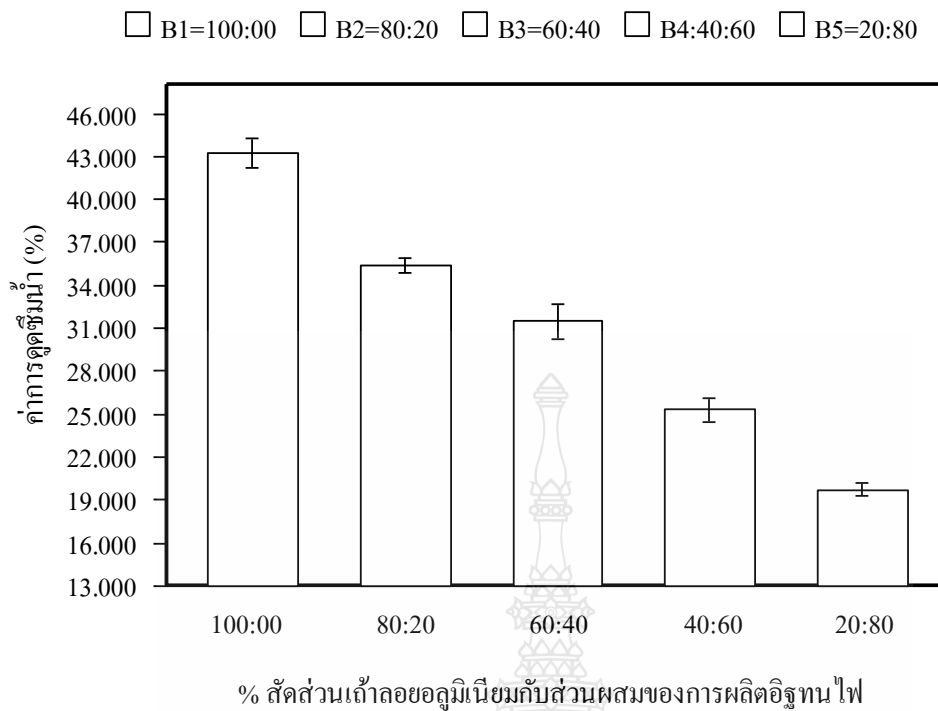
รูปที่ 4.23 แสดงผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะพบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะลดลงที่ค่าต่างกันคล้ายกับค่าความถ่วงจำเพาะขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm² ดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยแสดงค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุด คือ 3.31 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1ในสัดส่วนที่ 100:00 กล่าวคือ ด้วยมีปริมาณของแฉะล่อยอะลูมิเนียม 100% ขนาดอนุภาคของแฉะล่อยอะลูมิเนียมที่ Mesh No.100 โดยมีขนาดของอนุภาคที่เล็กทำให้มีค่าของความหนาแน่นต่ำแต่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูง [9] เมื่อทำการเพิ่มปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟทำให้ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2, B3, B4 และ B5 มีค่าความถ่วงจำเพาะลดลงที่ค่าต่างกันในแต่ละสัดส่วน โดยที่มีปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ

ที่แตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 4.23 ค่าความถ่วงจำเพาะต่ำสุด คือ 3.03 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 ในสัดส่วน 40:60 พบว่า ด้วยมีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ 40% และมีปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีอยู่ถึง 60% ซึ่งมีปริมาณสัดส่วนอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันของอัตราส่วนผสมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ช่วงเวลาในการเผาและปริมาณสัดส่วนที่ต่างกันทำให้ ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ง)

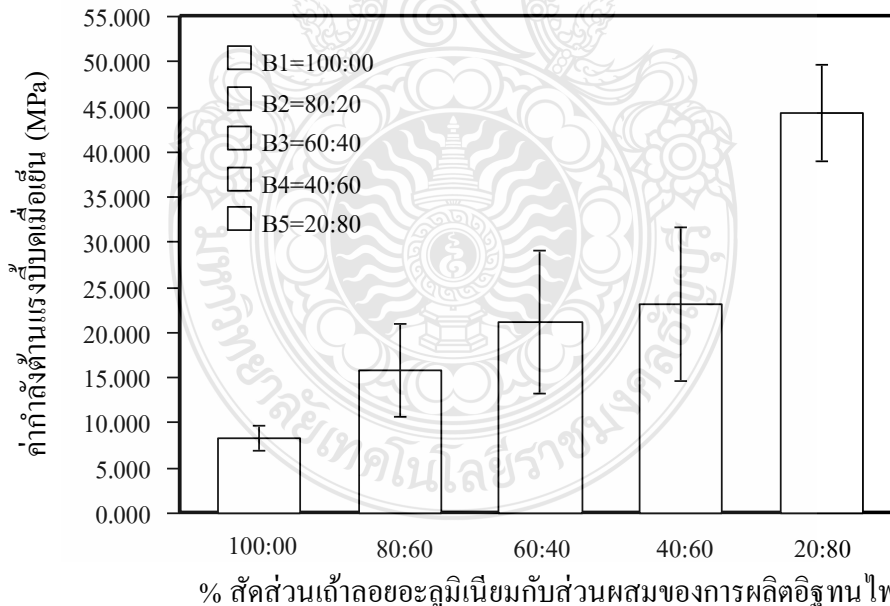


รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2

รูปที่ 4.24 แสดงผลของการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำพบมีแนวโน้มของค่าการดูดซึมน้ำมีรูปแบบลักษณะเดียวกันกับค่าการดูดซึมน้ำที่ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ใช้ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 โดยมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าด้วยขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ 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 และ B5 และได้แสดงค่าการดูดซึมน้ำสูงสุด คือ 43.24% ที่ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วนที่ 100:00 และค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด คือ 19.74% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วนที่ 20:80 การอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 300 kg/cm^2



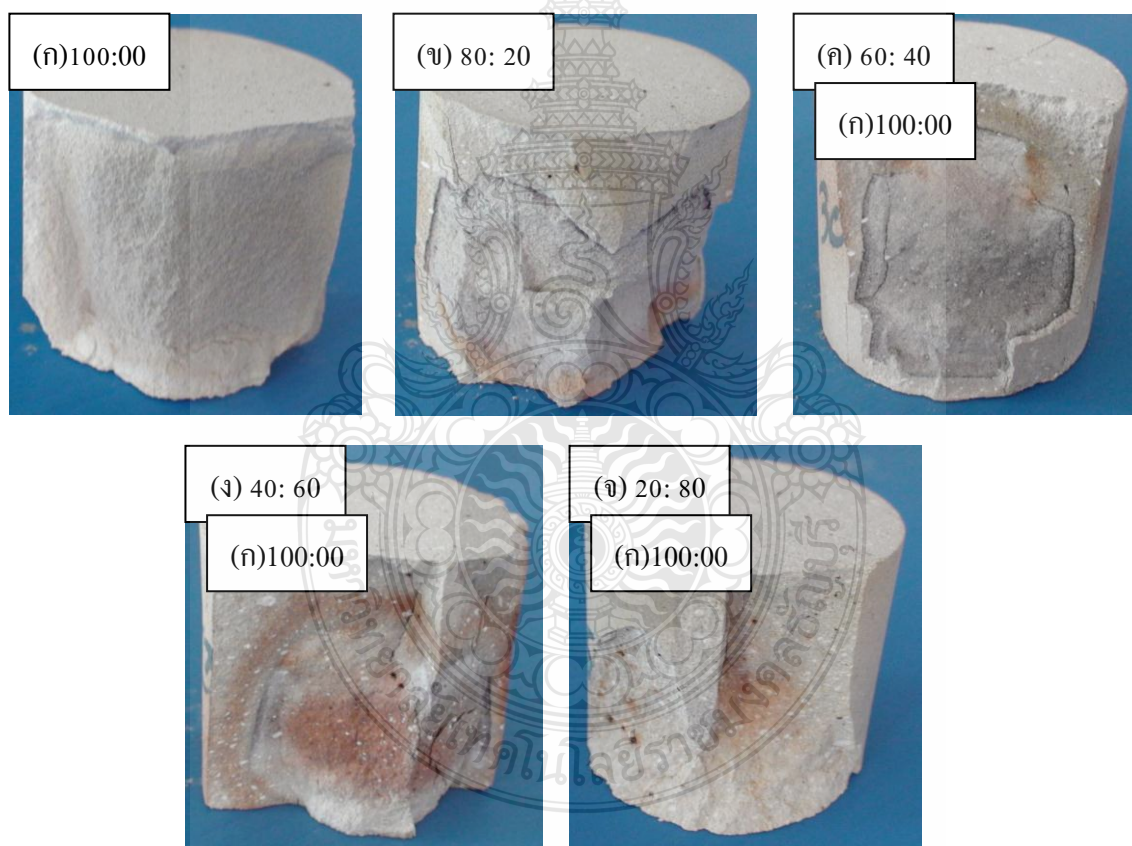
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2



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

ผลการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นพบว่า แนวโน้มของค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นมีรูปแบบลักษณะเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.19 โดยมีค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นเพิ่มสูงขึ้นกล่าวคือ ด้วยขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันและความดันของการอัดขึ้นรูปต่างกันทำให้มีความหนาแน่นสูงค่ากำลัง

ด้านแรงบีบเมื่อเย็นก็สูงตามไปด้วย [9] โดยค่ากำลังด้านแรงบีบเมื่อเย็นสูงสุด คือ 44.32 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80 โดยที่ขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.100 ซึ่งมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนกำหนดเป็นช่วงระหว่าง 150-0.1 μm เนื่องด้วยปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีอยู่ 80% โดยมีขนาดช่องเปิดของรูตะแกรงร่อนที่ 45 μm ซึ่งมีขนาดของอนุภาคที่เล็กสามารถเข้าไปแทรกตัวในระหว่างช่องว่างของเม็ดเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่มีขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ที่มีอยู่เพียง 20% ดังนั้นจึงทำให้การเรียงตัวของเม็ดเกรนอย่างเป็นระเบียบสม่ำเสมอเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ก)-(ข)-(ค)-(ง)และ(จ) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 และB1 มีค่ากำลังด้านแรงบีบเมื่อเย็นลดลงใกล้เคียงกับค่ากำลังด้านแรงบีบเมื่อเย็น ดังแสดงในรูปที่ 4.12 กล่าวคือ ด้วยขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.ต่างกันความดันของการอัดขึ้นรูปเท่ากันที่ 300 kg/cm^2 ส่วนค่ากำลังด้านแรงบีบเมื่อเย็นต่ำสุด คือ 8.32 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วนที่ 100:00 พบว่ามีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมอยู่ 100% มีขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็กละเอียดทำให้เถ้าลอยอะลูมิเนียมมีค่าหนาแน่นต่ำทำให้ค่ากำลังด้านแรงบีบเมื่อเย็นต่ำลงด้วย [9] ดังแสดงในรูปที่ 4.26



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

รูปที่ 4.26 ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของค่ากำลังด้านแรงบีบเมื่อเย็นพบว่า ความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในแต่ละสัดส่วนแตกต่างกันออกไปลักษณะคล้ายกับความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.18 กล่าวคือ ได้แบ่งความเสียหายออกเป็น 2 กลุ่มพบว่า เถ้าลอยอะลูมิเนียม

ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กทำให้การกระจายตัวของเม็ดเกรนสม่ำเสมอเป็นระเบียบมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.20 (ก) และมีปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่สูงตามสัดส่วนทำให้ตัวอย่างชิ้นงานมีความหนาแน่นสูงจากความดันในการขึ้นรูปที่สูงจึงสามารถรับน้ำหนักได้ดี [9]

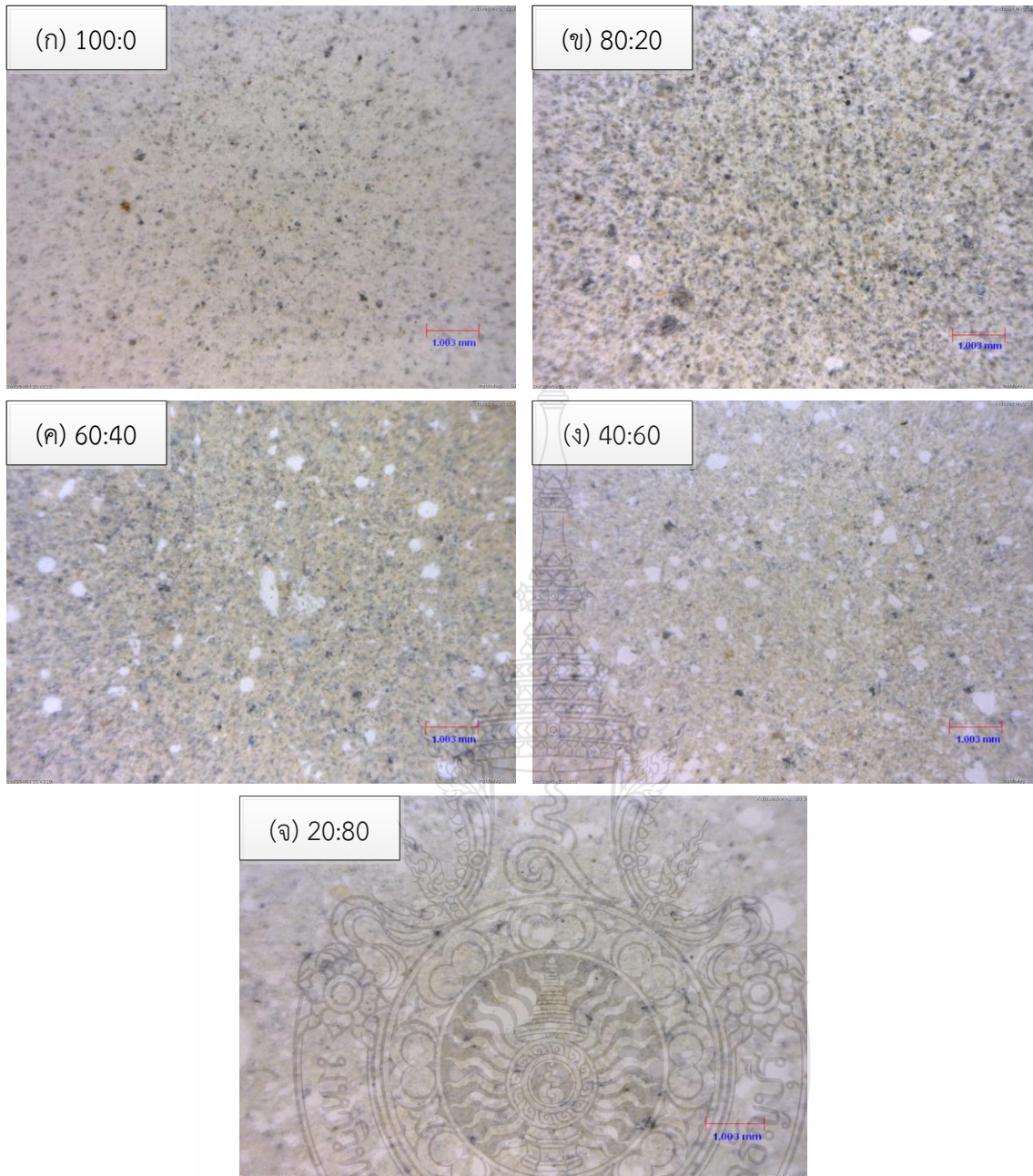
4.6.5 อิทธิพลขนาดอนุภาคของ Mesh No. 100 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 และการเผาอุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$ ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐทนไฟ

ตัวแปรการผลิตที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย

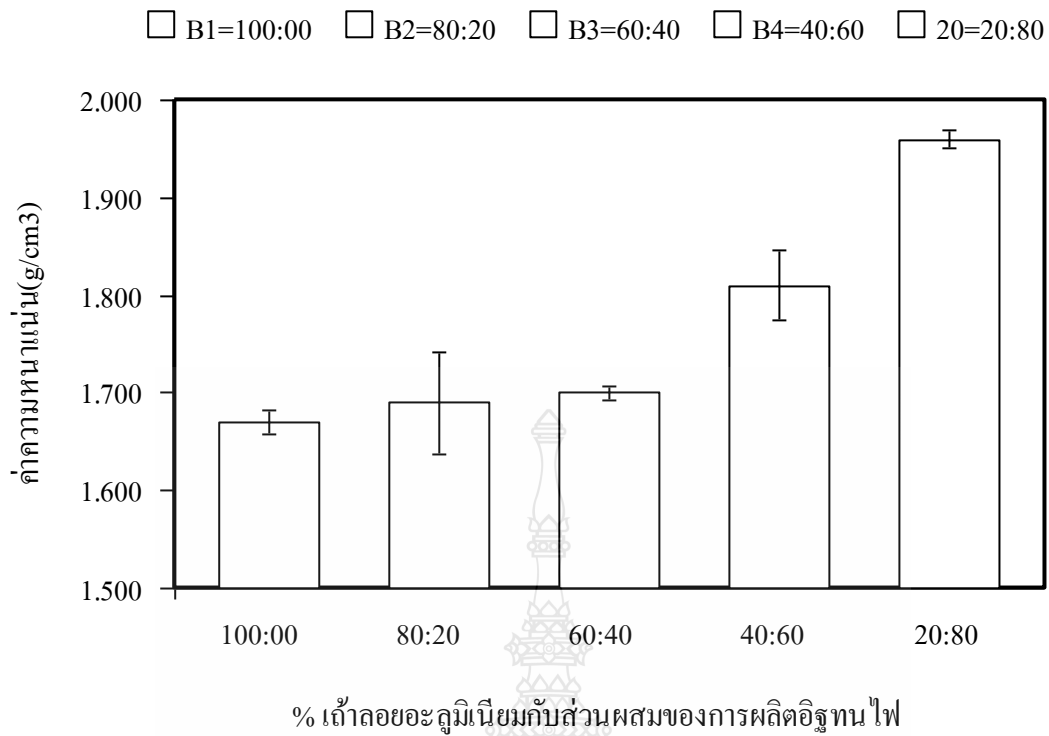
- 1) อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันที่ 100:00, 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80
- 2) ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2
- 3) การเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$

ขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.100 ด้วยอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันผ่านการอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 350 kg/cm^2 และการเผาโดยใช้อุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$ ในรูปที่ 4.28 นำมาทำการเตรียมทดสอบสมบัติทางกายภาพได้ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นพบว่า แนวโน้มของค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นลักษณะเดียวกันกับค่าความหนาแน่นที่ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.14 เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่า ที่ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 มีค่าความหนาแน่นลดลง ด้วยขนาดของอนุภาคที่ Mesh No.100 ที่มีขนาดเล็กกว่าการเกาะยึดที่ดีกว่าและใช้ค่าความดันเท่าเดิมที่ 350 kg/cm^2 การเพิ่มขึ้นของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟตามปริมาณของสัดส่วนต่างๆของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.27 (ก)-(ข)-(ค)-(ง)และ(จ) และแสดงค่าความหนาแน่นสูงสุด คือ 1.96 g/cm^3 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วนที่ 20:80 กล่าวคือ ปริมาณสัดส่วนของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ลดลงแต่ปริมาณสัดส่วนของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น [9] ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B4 และB1 พบมีค่าความหนาแน่นลดลงคาดว่าเนื่องจากส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่มีปริมาณลดลง โดยแสดงค่าความหนาแน่นต่ำสุด คือ 1.67 g/cm^3 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบB1ในสัดส่วนที่ 100:00 เนื่องจากมีปริมาณสัดส่วนของเถ้าลอยอะลูมิเนียมทั้งหมด 100% ทำให้มีค่าความหนาแน่นลดลง

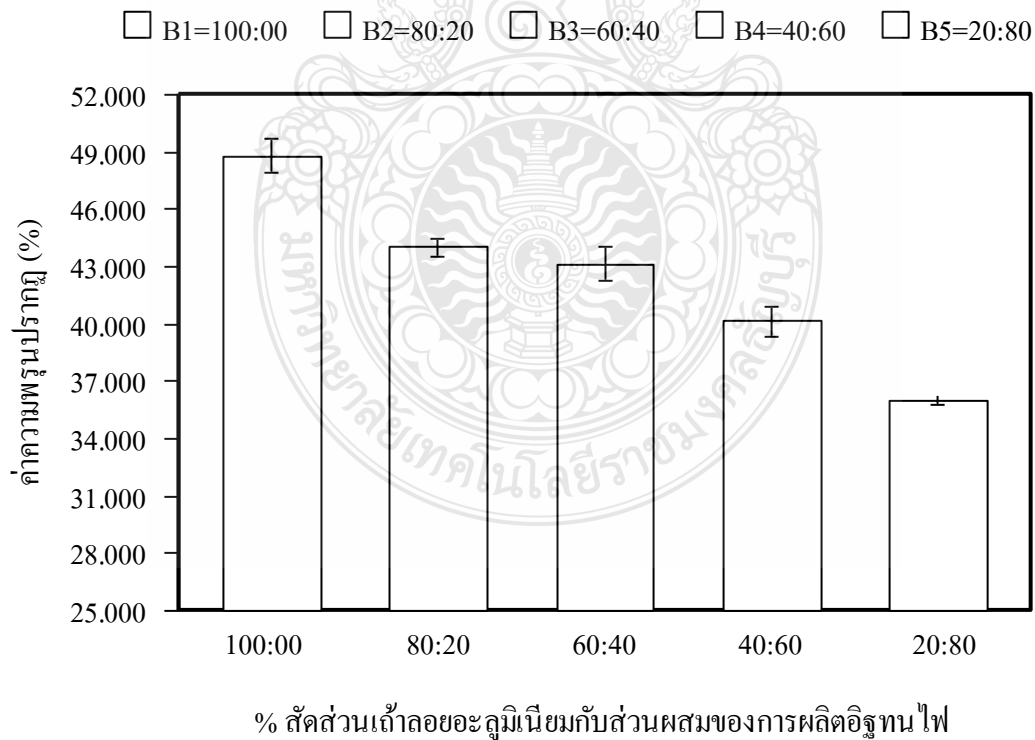
รูปที่ 4.29 แสดงผลการทดสอบค่าความพรุนปรากฏของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 พบว่า แนวโน้มของค่าความพรุนปรากฏลดลงใกล้เคียงกับค่าความพรุนปรากฏขนาดอนุภาคที่Mesh No.50 และการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 ดังแสดงในรูปที่ 4.15 พบว่า มีค่าความพรุนปรากฏที่เพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย กล่าวคือ ด้วยขนาดของอนุภาคที่เล็กกว่าการอัดขึ้นรูปที่ใช้ความดันเท่ากัน และแสดงค่าความพรุนปรากฏสูงสุด คือ 48.80 % ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วน 100:00 เมื่อปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2 และB5 พบว่า มีค่าความพรุนปรากฏลดลง กล่าวคือ ด้วยขนาดของอนุภาคที่เล็กของเถ้าลอยอะลูมิเนียมผสมกับปริมาณของส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.27 (ก)-(ข)-(ค)-(ง)และ(จ) ทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้นแต่ค่าความพรุนปรากฏลดลง [9] และค่าความพรุนปรากฏต่ำสุดคือ 36% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วน 20:80



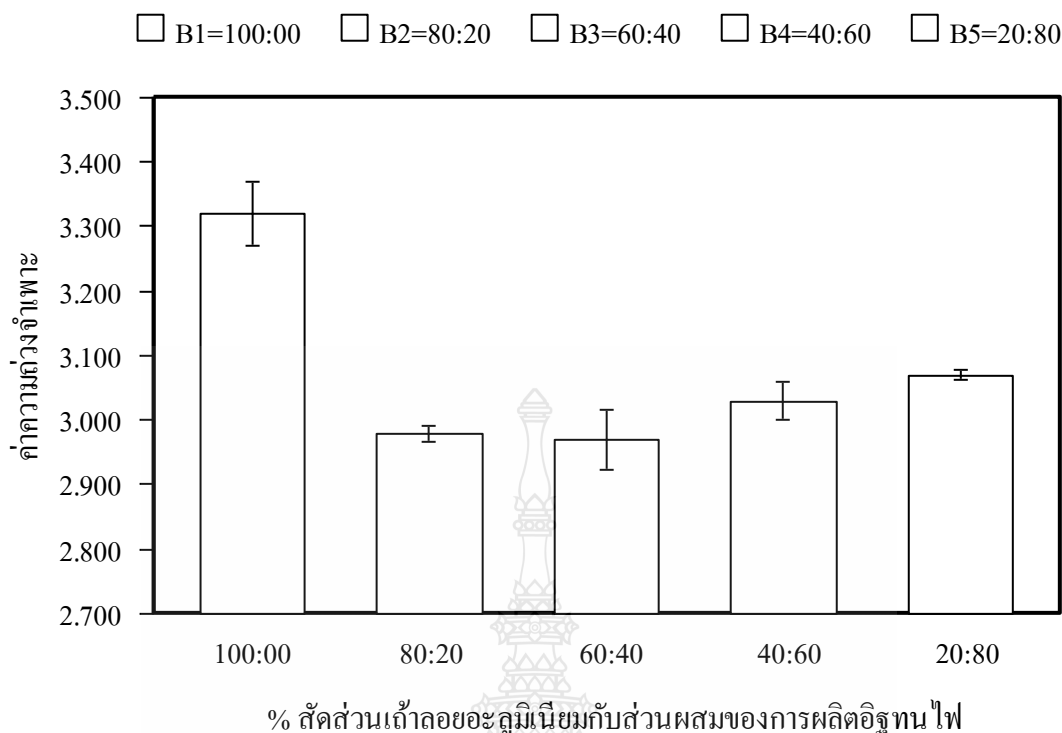
รูปที่ 4.27 ผิวหน้าตัดของขนาดอนุภาค Mesh No.100 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 และการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$ โดยใช้อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันทั้งหมด 5 สัดส่วน ได้แก่ 100:00 (B1), 80: 20 (B2), 60: 40 (B3), 40: 60 (B4) และ 20: 80 (B5) จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงด้วยกำลังขยาย 50 เท่า



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



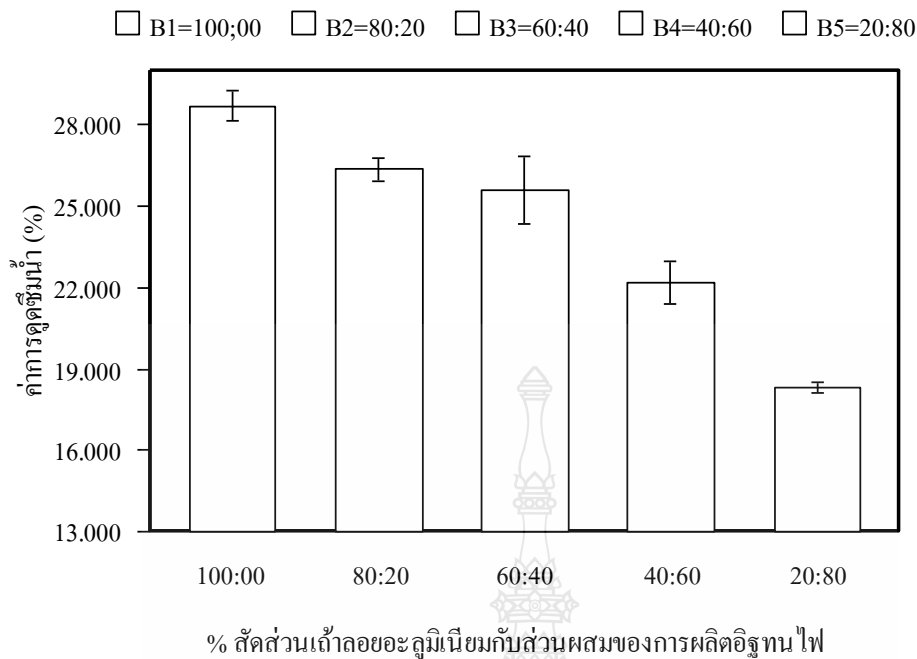
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm²



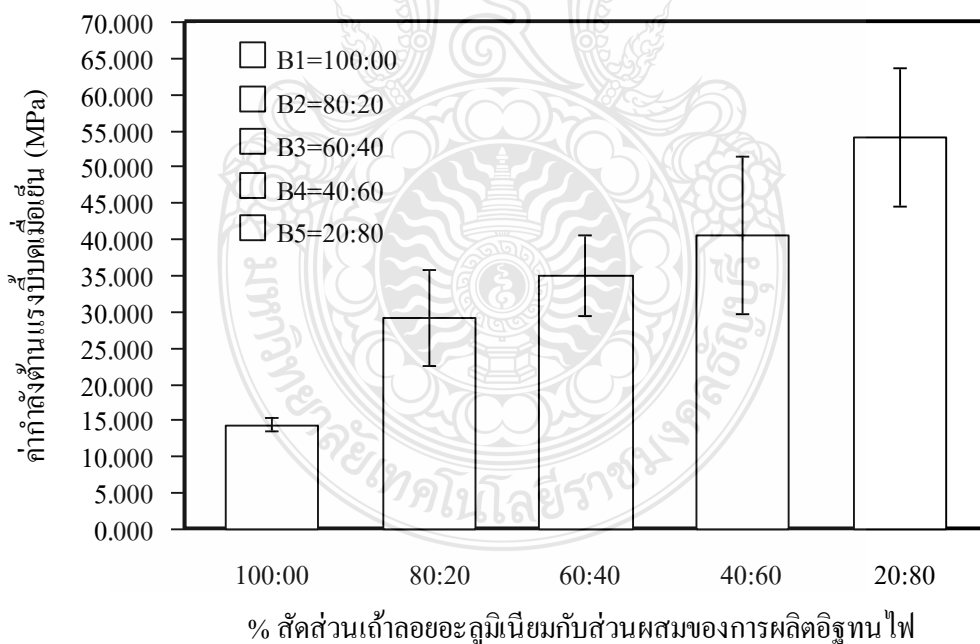
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm²

ข้อมูลผลการทดสอบของค่าความถ่วงจำเพาะดังแสดงในรูปที่ 4.30 พบว่า มีค่าความถ่วงจำเพาะคล้ายกันกับค่าความถ่วงจำเพาะที่ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm² ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และแสดงค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุด คือ 3.31 ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 สัดส่วนที่ 100:00 กล่าวคือ ด้วยขนาดของอนุภาคที่ต่างกันแต่ความดันในการอัดขึ้นรูปที่เท่ากันจึงทำให้มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.27 (ก) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2, B3, B4 และ B5 พบว่า มีค่าความถ่วงจำเพาะลดลงที่ค่าแตกต่างกันคาดว่าเวลาที่ใช้ในการเผาทำให้การหลอมเหลวที่ไม่สม่ำเสมอของอัตราส่วนผสมของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในแต่ละสัดส่วน โดยที่มีปริมาณสัดส่วนของแกลบย่อยละเอียดผสมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่ต่างกันออกไป 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)

ผลจากการทดสอบของค่าการดูดซึมน้ำพบว่า แนวโน้มของค่าการดูดซึมน้ำมีรูปแบบลักษณะใกล้เคียงกันกับค่าการดูดซึมน้ำของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm² ดังแสดงในรูปที่ 4.17 พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าค่าตัว ด้วยขนาดอนุภาคของแกลบย่อยละเอียดที่ขนาดอนุภาคที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.27 แต่ใช้การอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่เท่ากัน ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน และแสดงค่าการดูดซึมน้ำสูงสุด คือ 28.72% ที่ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วนที่ 100:00 จากการลดปริมาณลงตามสัดส่วนที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.27 (ก)-(ข)-(ค)-(ง) และ (จ) ทำให้ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B2 และ B5 มีค่าการดูดซึมน้ำลดลงต่อเนื่องตามลำดับ โดยค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุด คือ 18.30% ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วนที่ 20:80 ดังแสดงในรูปที่ 4.31



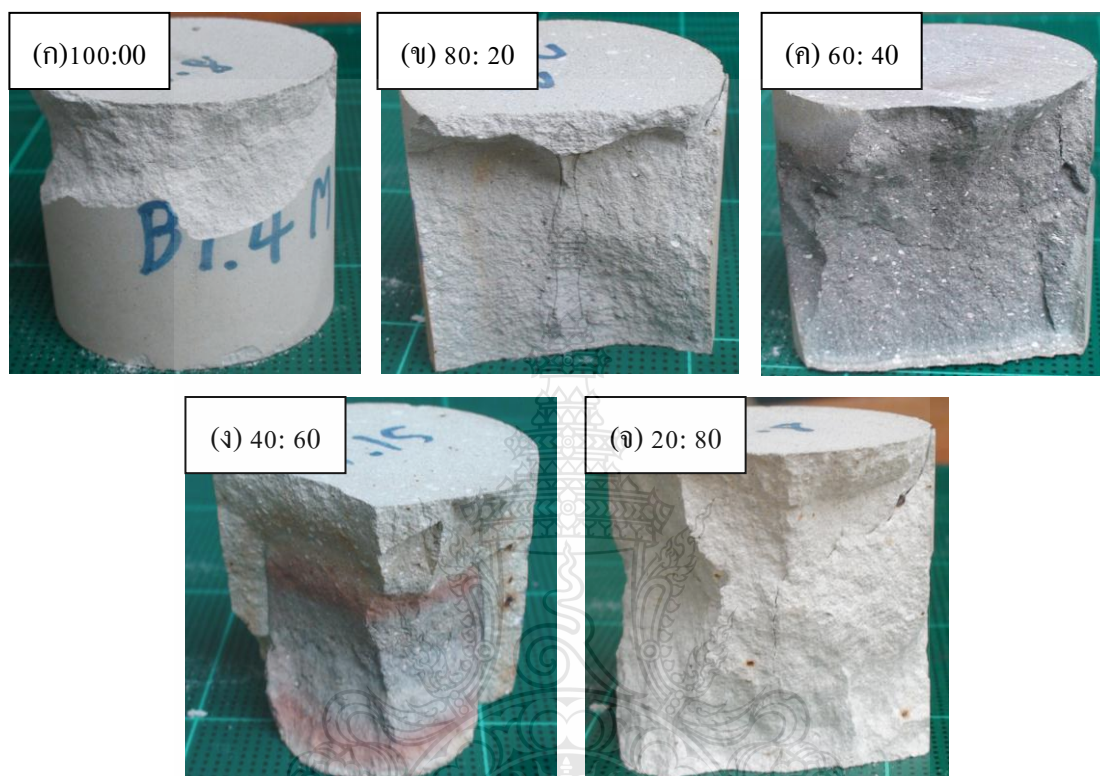
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบดเมื่อเย็นกับตัวอย่างชิ้นงานที่สัดส่วนต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2

รูปที่ 4.32 แสดงผลการทดสอบของค่ากำลังต้านแรงบีบดเมื่อเย็นขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 พบว่า แนวโน้มของค่ากำลังต้านแรงบีบดเมื่อเย็นมีค่าสูงขึ้นต่อเนื่องตามลำดับของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบมีลักษณะของค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.25 โดยมีค่ากำลังต้าน

แรงบีบอัดเมื่อเย็นสูงสุดกล่าวคือ ด้วยขนาดของอนุภาคที่มีความละเอียดสูงและการอัดขึ้นรูปความดันสูงที่ 350 kg/cm^2 การเรียงตัวเม็ดเกรนเป็นระเบียบเกิดค่าความหนาแน่นสูงทำให้ค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นสูงตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.27 และรูปที่ 4.33 โดยแสดงค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นสูงสุด คือ 54.08 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 ในสัดส่วนที่ 20:80 และค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นต่ำสุดคือ 14.43 MPa ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1 ในสัดส่วนที่ 100:00 ความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2

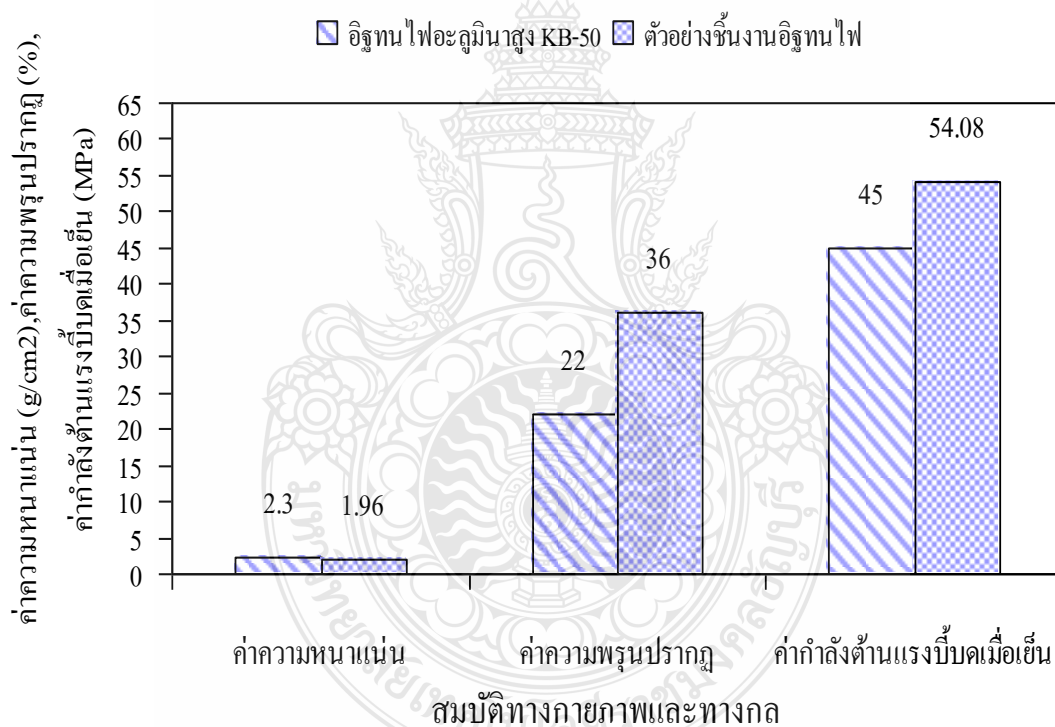


รูปที่ 4.33 ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็น ของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$

รูปที่ 4.33 โดยได้แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นกับผิวของตัวอย่างชิ้นงานซึ่งผ่านการทดสอบมาแล้วซึ่งมีค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นที่สูงสุดพบว่า ความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในแต่ละสัดส่วนแตกต่างกันออกเป็น 2 ลักษณะ คือ รูปที่ 4.33 (ก) และ(ข) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B1, B2 และB5 เกิดการเสียหายมีลักษณะเป็นเฟสเดียวหรือเป็นเนื้อเดียวกันพบการยุบตัวของชิ้นงานบริเวณขอบด้านบนและมีการแตกออกด้านข้างเนื่องด้วยส่วนพื้นที่ตรงกึ่งกลางตัวอย่างชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นด้วยขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ที่มีขนาดที่เล็กและละเอียด รูปที่ 4.33 (ค) และ(ง) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B3 และB4 พบมีการเสียหายของชิ้นงานแบ่งออกเป็นสองเฟสเนื่องจากปริมาณอัตราส่วนผสมในสัดส่วนใกล้เคียงกันที่ 60:40 และ40:60 ซึ่งมีเถ้าลอยอะลูมิเนียมผสมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟพบว่า รอยแตกของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบเริ่มจากบริเวณผิวรอบๆภายนอกก่อนที่จะแตกกว้างถึงผิวภายในของเนื้อชิ้นงาน

ปริมาณอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันนั้นมีปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมมากหรือน้อยกว่าผสมเข้ากับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟพบว่าภายในเนื้อของชิ้นงานแบ่งออกเป็นสองเฟสโดยชัดเจน โดย

สังเกตจากภายในเนื้อชิ้นงานมีการแบ่งเป็นสองชั้นเกิดจากหลอมเหลวของธาตุต่างๆที่มีจุดหลอมเหลวที่ต่างกันทำให้มีการยึดเกาะรวมตัวกันแล้วแบ่งออกเป็นสองเฟส [2] การเสียหายพร้อยแตกจากบริเวณผิวชั้นนอกก่อนแล้วจึงเข้าถึงผิวชั้นในการรับแรงกดจึงมีอยู่สองช่วงดังนั้นทำให้ได้แรงกดที่มีค่าสูงขึ้น จากรูปที่ 4.33 (จ) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 คือตัวอย่างชิ้นงานที่มีค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นสูงสุดปริมาณอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ 20:80 ซึ่งมีเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่ำสุดที่ 20% ผสมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟที่ 80% ความดันในการอัดขึ้นรูปสูงที่ 350 kg/cm^2 การเผาไหม้ที่เหมาะสมอุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$ จึงไม่มีการแยกของเฟสเกิดขึ้นผลจากการทดสอบพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟมากขึ้น ทำให้ค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นยิ่งเพิ่มสูงขึ้น การเสียหายเริ่มเกิดจากการยุบตัวบริเวณผิวหน้าตัดของชิ้นงานซึ่งพบการยุบตัวน้อยมากและสังเกตพบว่า พื้นที่ของหน้าตัดและบริเวณพื้นที่ทั้งหมดของชิ้นงานช่วยรับแรงกดโดยตรง ดังนั้นเมื่อชิ้นงานเริ่มต้านแรงกดไม่ได้ จะได้ยินเสียงของการแตกดังขึ้นพร้อมรอยแตกกว้างเป็นร่องยาวผ่าจากบริเวณผิวชั้นนอกถึงบริเวณผิวชั้นในเกิดจากตัวอย่างชิ้นงานมีความค่าหนาแน่นสูง ดังแสดงในรูปที่ 4.33 (จ)



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบอิฐทนไฟกับอิฐทนไฟอะลูมินาสูง KB-50

การศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ ในการเพิ่มสมบัติทางกายภาพและทางกลให้สูงขึ้น โดยใช้เถ้าลอยอะลูมิเนียมเป็นวัตถุดิบผสมกับส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟตัวแปรในการผลิตอิฐทนไฟที่ทำให้เกิดผลการทดลองที่ดีที่สุด คือ ขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ Mesh No.100 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ 20:80 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm^2 และการเผาโดยใช้ อุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$

รูปที่ 4.34 ได้แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบอิฐทนไฟกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของอิฐทนไฟอะลูมินาสูงKB-50 โดยแสดงค่าที่มีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีที่สุด

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

4.6.6 ผลการวิเคราะห์การทดสอบค่าความทนไฟของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในอัตราส่วนผสมที่สัดส่วนต่างกัน

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

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟจากการทดลองของงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟ ซึ่งได้มีการศึกษาตัวแปรของกระบวนการผลิตอิฐทนไฟประกอบด้วย การคัดแยกขนาดของอนุภาคเถ้าลอยอะลูมิเนียม, การผสมที่สัดส่วนแตกต่างกัน, การอัดขึ้นรูปที่แรงดันต่างกัน, การเผาที่อุณหภูมิต่างกันและการทดสอบหาสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตอิฐทนไฟโดยมีการสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา และการนำไปใช้ประโยชน์ประกอบการทางพาณิชย์หรือการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตอิฐทนไฟให้ประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- 5.1.1 ขนาดอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียมที่ Mesh No.100 มีขนาดความละเอียด 150-0.1 μm ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กโดยมีการเรียงตัวของเม็ดเกรนภายในตัวอย่างชิ้นงานทดสอบอย่างสม่ำเสมอเป็นระเบียบเพิ่มขึ้นทำให้มีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น
- 5.1.2 อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่มีปริมาณของอะลูมินา, ซิลิกา และเหล็กออกไซด์ เพิ่มขึ้นทำให้มีค่าสมบัติทางกลสูงสุด
- 5.1.3 การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบด้วยความดันสูงที่ 350 kg/cm^2 ทำให้มีค่าความหนาแน่นสูงและค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นสูงขึ้น
- 5.1.4 การเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิ 1,200 $^{\circ}\text{C}$ ส่งผลต่อการหลอมละลายโดยทั่วทำให้เกิดการประสานยึดเกาะตัวของธาตุต่างๆ ดีขึ้น
- 5.1.5 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ B5 Mesh No.100 อัตราส่วนผสมที่สัดส่วน 20:80 การอัดขึ้นรูป ด้วยความดันที่ 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 และค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็น 54.08 MP

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ส่งเสริมการศึกษาการวิจัยหาวัตถุดิบใหม่ๆ ในการผลิตอิฐทนไฟ
- 5.2.2 การศึกษาประเมินอายุการใช้งานของอิฐทนไฟ
- 5.2.3 การพัฒนาการศึกษาการวิจัยการผสมตัวประสาน (Binder) หลากๆ ตัวอย่างให้มากกว่านี้เพื่อให้มีการพัฒนาปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางกลของอิฐทนไฟให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] สารโวจน์ ขาวดี, 2544, การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพของอิฐทนไฟโดยใช้ทรายชัยนาทเป็นวัตถุดิบหลัก, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี บัณฑิตวิทยาลัย.
- [2] บุญเลิศ ยี่เต็ง, รุจโรจน์ อ่อนสะอาด, การเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตอิฐทนไฟ, ก่อสร้างและงานไม้ (เทคโนโลยีโยธา) สถาบันพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [3] กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กรม.อิฐทนไฟไฟล์เคลย์ แต่งโดย เชษฐ เอี่ยมจิตกุล. กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก, ม.ป.ป. 6.
- [4] ปารวีร์ เชาวและ ศิริพร ลากเกียดถาวร, ลักษณะความพรุนตัวของอะลูมินาที่เตรียมด้วยวิธีอัดขึ้นรูป, ฝ่ายเทคโนโลยีวัสดุ, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- [5] สุรเชษฐ์ จิงเกษมโชคชัย วราภรณ์ คุณวานากิจ ลดา พันธุ์สุขุมธนา วรรณา ต.แสงจันทร์ และพิมพ์วัลค์ 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 หน้า 490-495.
- [8] จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540, วัสดุทนความร้อน, วารสารเซรามิกส์, ปีที่3, ฉบับที่6-9, หน้า52-62.
- [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] Zoglmeir, 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 Crompton Co., Ltd. 40 Moo 4 Chaokhuntaan Rd. Klongsamprawat Latkrabang BKK 10520. Tel. 0-2737-6480-8 [E-Mail : tcc@thaicrompton.co.th](mailto:tcc@thaicrompton.co.th), [www. thaicrompton.co.th](http://www.thaicrompton.co.th)



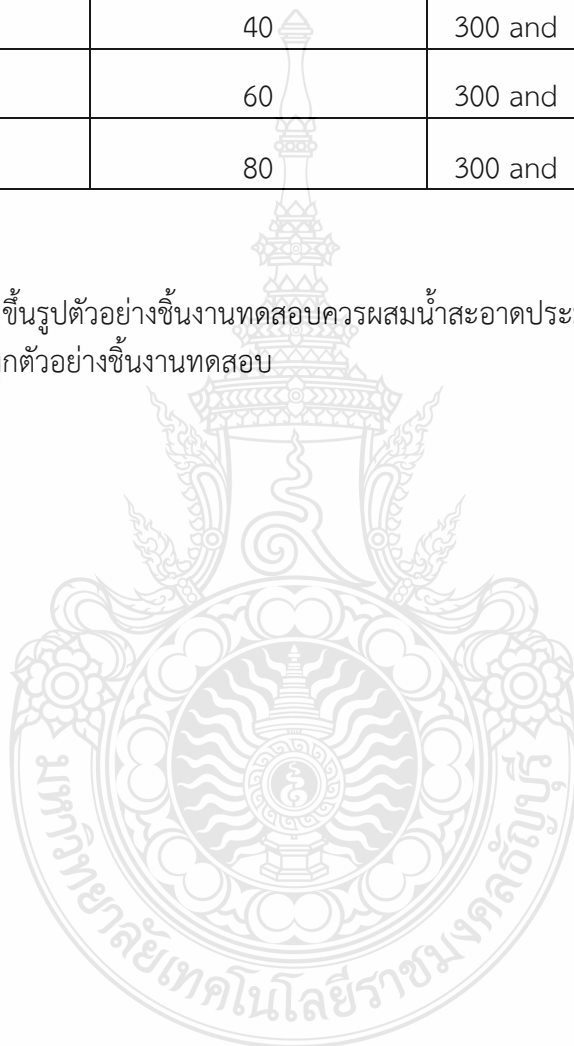
ภาคผนวก ก

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

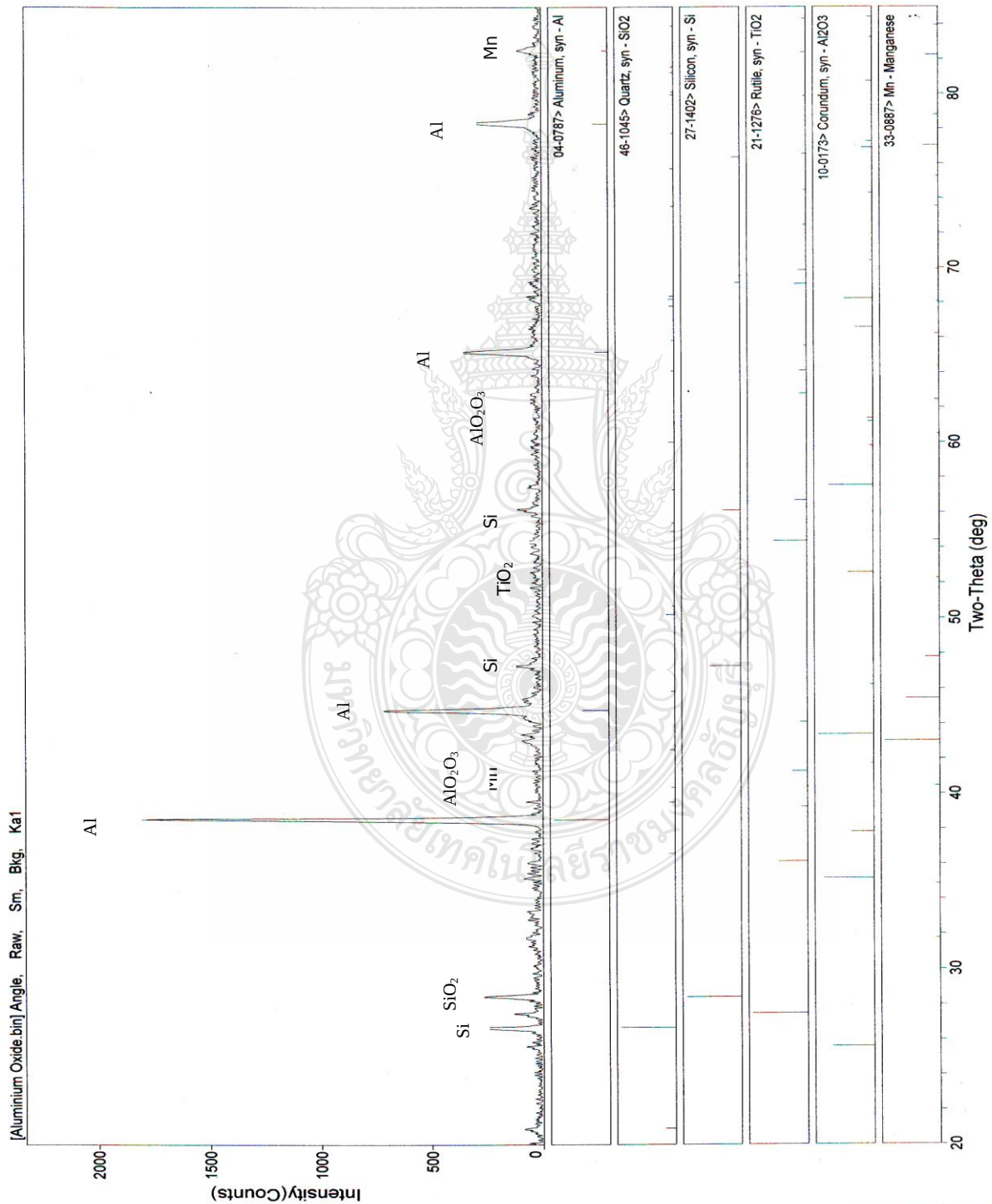
หมายเหตุ : การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบควรผสมน้ำสะอาดประมาณ 15-20 % ของน้ำหนักทุกตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



ภาคผนวก ข

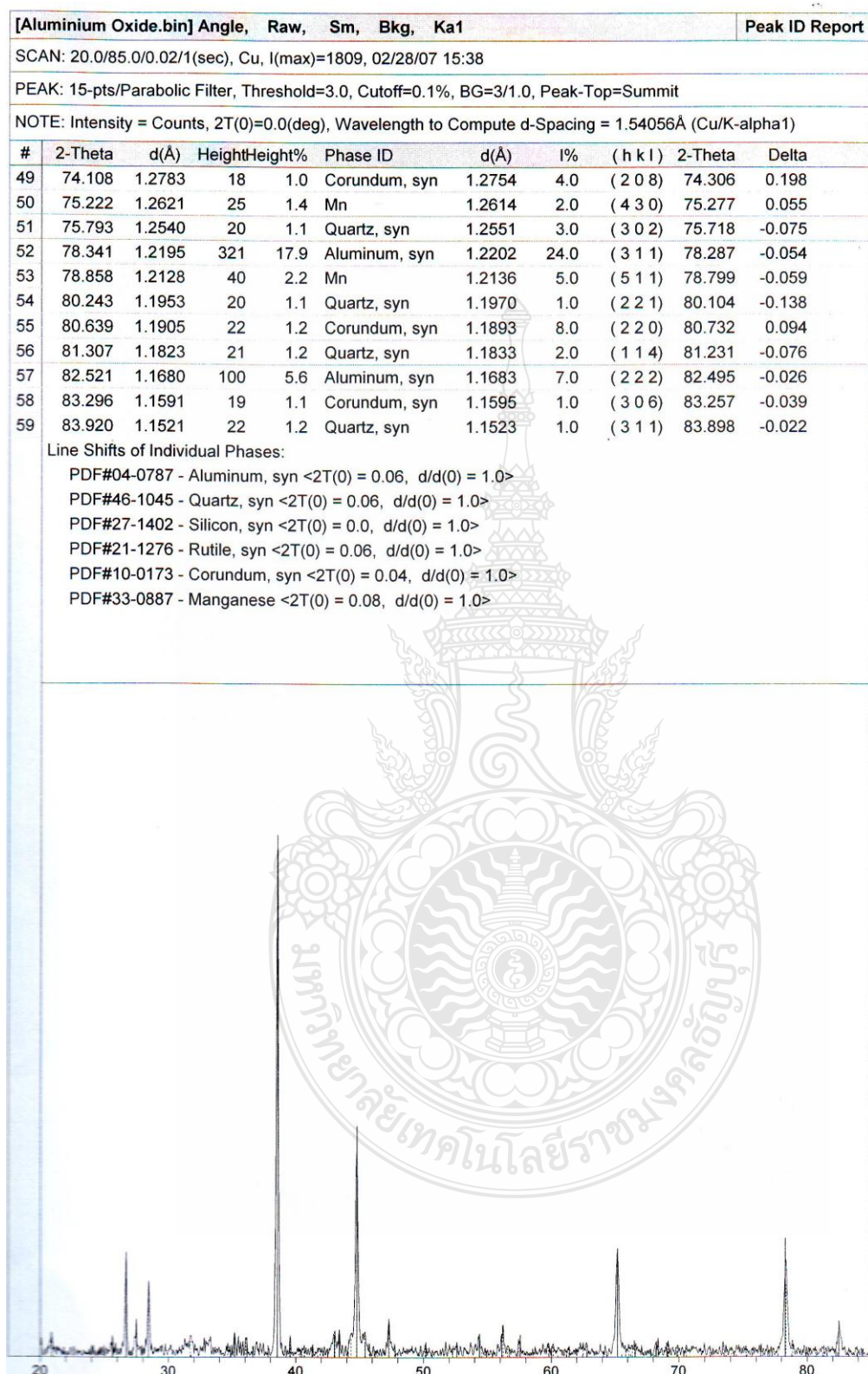
ตารางแสดงเฟสและตารางแสดงของสารประกอบของเก้าลอยอะลูมิเนียม

ในการวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบด้วยเครื่อง X-ray Diffract meter จำเป็นจะต้องวินิจฉัย Peak โดยการเปรียบเทียบค่าชุด D-Spacing ดังแสดงไว้ในตาราง Peak ID Report ของ Phase ต่างๆ ใน System ของถ้ำลอยอะลูมิเนียมดังที่กล่าวมาแล้ว ว่าตัวอย่างถ้ำลอยอะลูมิเนียมที่ถูกอัดให้แข็งตัวในสภาวะแห้งจะเกิดเป็น Phase ที่มีองค์ประกอบต่างๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด เช่น ชนิดของวัตถุดิบ ระยะเวลา และสภาวะ อาทิการอบด้วยความร้อน ณ ระดับอุณหภูมิต่างกันเป็นต้น ในรูปแสดงค่า Peak สูงสุด คือ Aluminums(Al), Quart(SiO_2), Silicon(Si), Rutile(TiO_2), Corundum (AlO_2O_3), และ Manganese (Mn) รองลงมาตามลำดับ



[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 ของแก๊สออกไซด์นิยมน (ต่อ)



ภาคผนวก ค

ตารางผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 300 kg/cm² และการผาอุณหภูมิที่ 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 ค.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 350 kg/cm^2 และการเผาอุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$

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 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.100 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 300 kg/cm^2 และการเผาอุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$

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)%
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 ค.4 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.100 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 350 kg/cm^2 และการเผาอุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$

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)%
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
ตารางผลการทดสอบค่าต้านแรงบิดเมื่อเย็นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



ตารางที่ ง.1 ผลการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน 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 กำลังต้านแรงบีบอัดเมื่อเย็นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของอัตราส่วนผสมในส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.50 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 350 kg/cm^2 และการเผาอุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$

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 ผลการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของอัตราส่วนผสมใน สัดส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.100 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 300 kg/cm^2 และการเผาอุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$

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 ผลการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบของอัตราส่วนผสมใน สัดส่วนที่ต่างกัน ด้วย Mesh No.100 การอัดขึ้นรูปความดันที่ 350 kg/cm^2 และการเผาอุณหภูมิที่ $1,200^\circ\text{C}$

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 %
ค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็น(Cold Crushing)	45 MPa
ค่าความทนไฟ(Refractoriness)	35 KS , (1,780 °C)
การต้านทานอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงฉับพลันกะทันหัน (Resistance to Thermal Shock)	สูงมาก
ความเปลี่ยนแปลงความยาวถาวร 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 1,400 °C (Permant Linear Change 2 hour 1,400 °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									
α -Al ₂ O ₃					2 θ	Int	h	k	l
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.: CuK α 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.: R $\bar{3}c$ (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
$\epsilon\alpha$: 1.7604 $\eta\beta$: 1.7686 $\epsilon\gamma$: Sign: - 2V:					84.356	3	2	2	3
Ref: Ibid.					85.140	<1	1	3	1
					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.



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

ตารางที่ จ.3 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบของ ซิลิกา

Wavelength= 1.54056 *									
46-1045									
SiO ₂					2 θ	Int	h	k	l
Silicon Oxide					20.860	16	1	0	0
					26.639	100	1	0	1
					36.543	9	1	1	0
Quartz, syn					39.464	8	1	0	2
Rad.: CuK α λ : 1.540598 Filter: Ge Mono d-sp: Diff.					40.299	4	1	1	1
Cut off: Int.: Diffract. I/Icor.: 3.41					42.449	6	2	0	0
Ref: Kern, A. Eysel, W., Mineralogisch-Petrograph. Inst., Univ. Heidelberg, Germany, ICDD Grant-in-Aid, (1993)					45.792	4	2	0	1
					50.138	13	1	1	2
					50.621	<1	0	0	3
					54.873	4	2	0	2
Sys.: Hexagonal S.G.: P3 ₂ 21 (154)					55.323	2	1	0	3
a: 4.91344(4) b: c: 5.40524(8) A: C: 1.1001					57.234	<1	2	1	0
α : β : γ : Z: 3 mp:					59.958	9	2	1	1
Ref: Ibid.					64.034	2	1	1	3
					65.764	<1	3	0	0
					67.742	6	2	1	2
					68.142	7	2	0	3
					68.316	5	3	0	1
Dx: 2.649 Dm: 2.660 SS/FOM: F ₃₀ = 539(.0018, 31)					73.466	2	1	0	4
					75.658	3	3	0	2
$\epsilon\alpha$: $\eta\beta$: 1.544 $\epsilon\gamma$: 1.553 Sign: + 2V:					77.673	1	2	2	0
Ref: Swanson, Fuyat, Natl. Bur. Stand. (U.S.), Circ. 539, 3, 24 (1954)					79.882	2	2	1	3
					80.044	<1	2	2	1
					81.171	2	1	1	4
					81.489	2	3	1	0
					83.838	1	3	1	1
Color: White					84.955	<1	2	0	4
Integrated intensities. Pattern taken at 23(1) C. Low temperature quartz. 2 θ determination based on profile fit method.					87.437	<1	3	0	3
02 Si type. Quartz group. Silicon used as an internal stand. PSC: hP9. To replace 33-1161. Mwt: 60.08. Volume[CD]: 113.01.					90.828	2	3	1	2



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

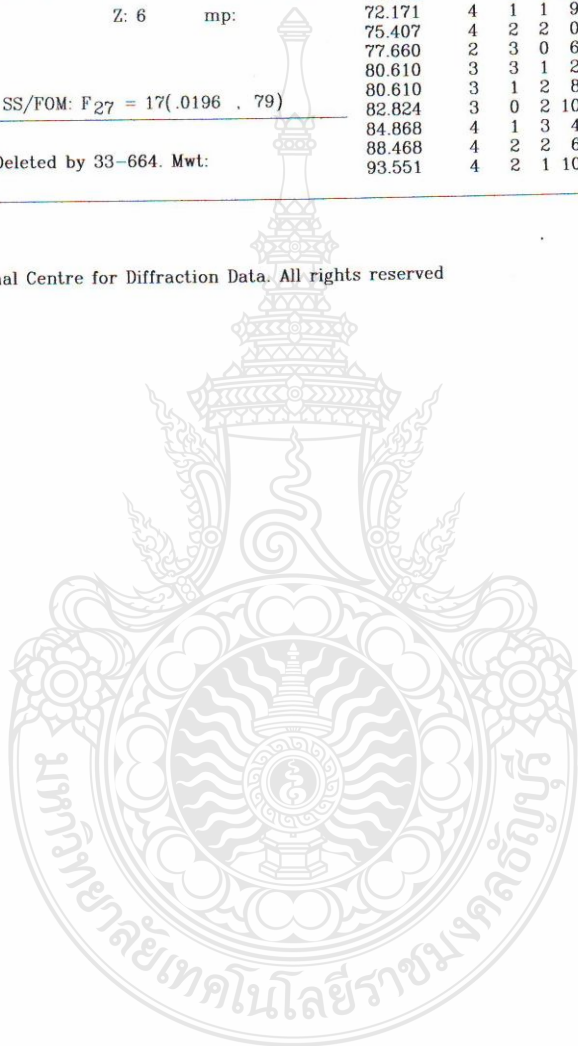
ตารางที่ จ.4 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบของ เหล็กออกไซด์

24-0072		Wavelength= 1.54056					C				
Fe2O3		2θ	Int	h	k	l	2θ	Int	h	k	l
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
		43.472	2	2	0	2	131.508	2	1	2	14
Rad.: CuKα1 λ: 1.54050 Filter: d-sp: Calculated		49.416	31	0	2	4	131.508	2	0	5	4
Cut off: Int.: Calculated I/Icor.:		54.003	36	1	1	6					
Ref: Smith et al., ICDD Grant-in-Aid, (1973)		57.506	8	1	2	2					
		57.506	8	0	1	8					
		62.384	22	2	1	4					
		63.965	21	3	0	0					
		69.499	2	2	0	8					
		71.821	7	1	0	10					
		72.171	4	1	1	9					
		75.407	4	2	2	0					
		77.660	2	3	0	6					
		80.610	3	3	1	2					
Dx: 5.256 Dm: SS/FOM: F ₂₇ = 17(.0196 , 79)		80.610	3	1	2	8					
		82.824	3	0	2	10					
		84.868	4	1	3	4					
Integrated intensities. PSC: hr10. Deleted by 33-664. Mwt: 159.69. Volume[CD]: 302.72.		88.468	4	2	2	6					
		93.551	4	2	1	10					

Integrated intensities. PSC: hr10. Deleted by 33-664. Mwt: 159.69. Volume[CD]: 302.72.



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



ภาคผนวก ฉ
ผลงานตีพิมพ์



การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าลอยอลูมิเนียมเป็นส่วนผสมในอิฐทนไฟ

Feasibility Study of Aluminum Dross as Alloying Component of Refractory Brick

ปราโมทย์ พูนนาค * ไพบุลย์ แยมเพื่อน ศาตราชัย เตียะตาช้าง เจษฎา แก้ววิชิต และกิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต – นครนายก ตำบลคลองหก
อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 E-mail: Pramote.p@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาเถ้าลอยอลูมิเนียมมาใช้เป็นส่วนประกอบของอิฐทนไฟ และศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยอลูมิเนียมที่มีผลต่อสมบัติของอิฐทนไฟ ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ สถานะการทดลองที่ให้สมบัติทางกายภาพและทางกลดีที่สุด คือ อิฐทนไฟที่มีขนาดเมชเถ้าลอยอลูมิเนียม 50 ใน อัตราส่วนผสม 20:80 อัดขึ้นรูปด้วยแรงดัน 300 kg/cm^2 เผาที่อุณหภูมิ $1,200^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยแสดงค่าผลการทดสอบสมบัติ คือ ความหนาแน่น 1.97 kg/cm^3 ค่าความพรุนปรากฏ 18% ค่าการดูดซึมน้ำ 18% และค่ากำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น 38 MPa เปรียบเทียบกับมาตรฐานของอิฐทนไฟอลูมินาสูง KB-50 พบว่าอิฐทนไฟที่ประกอบด้วยเถ้าลอยอลูมิเนียมมีสมบัติต่างๆต่ำกว่ามาตรฐานของอิฐทนไฟอลูมินาสูง KB-50

คำสำคัญ: อิฐทนไฟ เถ้าลอยอลูมิเนียม อลูมินา ซิลิกา เหล็กออกไซด์

Abstract

This research aimed to study the feasibility of aluminum dross as alloying component of refractory brick and the effect of aluminum dross quantity on refractory brick properties. The experimental results were as follows: the optimal parameter in this research was the brick formed by the mesh no. 50, the composition ratio of 20:80, the formation pressure of 300 kg/cm^2 , and the heating temperature of $1,200^\circ\text{C}$ for 1 hr. The physical properties of the optimum process consisted of the density of 1.97 g/cm^3 , the apparent porosity of 18%, the water absorption of 18% and the cold compressive strength of 38 MPa. However, comparison between the tested properties and the KB-50 refractory brick standard showed that all of the tested properties were lowered than that of the KB-50 refractory brick standard.

Keywords: refractory brick, aluminum dross, alumina, silica, iron oxide

1. บทนำ

อิฐทนไฟมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรมที่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น เตาหลอมโลหะในอุตสาหกรรมเหล็ก เตาเผาผลิตไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและอุตสาหกรรมอื่นๆ การใช้อิฐทนไฟส่วนใหญ่ใช้ในงานก่อสร้างเตาเผาชนิดต่างๆ รูปลักษณะและขนาดของอิฐจึงมีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน (สาริโรจน์ ขาวดี, 2544) วัสดุที่ใช้ทำมักประกอบด้วย ดินทนไฟ (Fire Clay) ดินเหนียว (Plastic Clay) ดินขาว (White Clay) หรือดินเกาลิน (Kaolin) และวัสดุอื่นๆ ตามแต่ละชนิดและการนำไปใช้งาน ซึ่งอิฐทนไฟสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดใหญ่ๆ คือ อิฐทนไฟไฟล์เคลย์ (Fri Clay Brick) อิฐทนไฟอลูมินาสูง (High Alumina Brick) อิฐทนไฟเชิงด่าง (Basic Brick) และอิฐทนไฟฉนวน (Insulator Brick) (สาริโรจน์ ขาวดี, 2544; Clancy และ Benson, 1989) โดยหากพิจารณาส่วนผสมหลักแล้ว ส่วนผสมของอิฐทนไฟประกอบไปด้วย อลูมินา ซิลิกา และเหล็กออกไซด์ (เชษฐ เอี่ยมจิตกุล, 2537 และ ปรีดา พิมพ์ขาว, 2539)

ในอุตสาหกรรมที่มีการนำเอาอิฐทนไฟไปใช้งาน เช่น อุตสาหกรรมงานหล่อ มีของเสียที่เกิดจากการกระบวนการหล่อที่น่าสนใจ คือ ขี้ตะกรันอลูมิเนียม (Aluminum Dross) หรือเถ้าลอยอลูมิเนียมซึ่งเป็นของเสียจากการหล่อ และเป็นของเสียที่มีปริมาณสูงเพิ่มขึ้นตลอดเวลา การกำจัดเถ้าลอยอลูมิเนียมในปัจจุบันใช้การฝังกลบเป็นส่วนใหญ่ โดยการขนส่งไปยังจุดฝังกลบทำให้เกิดรายจ่ายเพิ่มขึ้นตามมา คือ ค่าแรงงาน ค่าขนพาหนะ และค่าเชื้อเพลิงเป็นต้น

ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดและสมมติฐานในการนำเอาเถ้าลอยอลูมิเนียมมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐทนไฟและทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิตอิฐทนไฟเพื่อให้

ได้ตัวแปรที่เหมาะสมเพื่อเป็นการเตรียมข้อมูลพื้นฐานเพื่อประยุกต์ใช้ในอนาคตต่อไป นอกจากนั้นอาจทำให้เกิดการลดต้นทุนของวัตถุดิบลงได้

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าลอยอลูมิเนียมเป็นส่วนผสมในอิฐทนไฟ
2. ศึกษาส่วนผสมและอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการผลิตอิฐทนไฟของเถ้าลอยอลูมิเนียมที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล

3. อุปกรณ์และวิธีการ

เถ้าลอยอลูมิเนียมที่นำมาทำการศึกษานี้ได้จากโรงหล่ออลูมิเนียมแห่งหนึ่ง ในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา นำมาทำการคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน ดังแสดงในรูปที่ 1 มีขนาดเมชเฉลี่ย No. 40, 50 และ 100 เบื้องต้นในการทดลองนี้เลือกใช้ขนาดเมช 50 จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อทำการไล่ความชื้นออกเพื่อไม่ให้ผงของเถ้าลอยอลูมิเนียมเกาะกันเป็นก้อน ก่อนที่จะนำไปผสมในสัดส่วนต่างๆ



รูปที่ 1 เครื่องทดสอบหาการกระจายตัว



รูปที่ 2 เถ้าลอยอลูมินาที่คัดแยกขนาดของอนุภาค

ส่วนผสมของอิฐทนไฟในการทดลองนี้ ประกอบด้วยเถ้าลอยอลูมินา และส่วนผสมของอิฐทนไฟอื่นๆ ที่ประกอบไปด้วยอลูมินา (Al_2O_3) (Bra, 1998) ร้อยละ 52 ซิลิกา (Si_2O_3) ร้อยละ 46 เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540) ร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก การทดลองนี้ได้ออกแบบส่วนผสมเป็น 5 ตัวอย่าง ดังนี้

- สัดส่วน B1 ประกอบด้วยเถ้าลอยอลูมินา ร้อยละ 100 และส่วนผสมอื่นๆ ร้อยละ 0
- สัดส่วน B2 ประกอบด้วยเถ้าลอยอลูมินา ร้อยละ 80 และส่วนผสมอื่นๆ ร้อยละ 20
- สัดส่วน B3 ประกอบด้วยเถ้าลอยอลูมินา ร้อยละ 60 และส่วนผสมอื่นๆ ร้อยละ 40
- สัดส่วน B4 ประกอบด้วยเถ้าลอยอลูมินา ร้อยละ 40 และส่วนผสมอื่นๆ ร้อยละ 60
- สัดส่วน B5 ประกอบด้วยเถ้าลอยอลูมินา ร้อยละ 20 และส่วนผสมอื่นๆ ร้อยละ 80

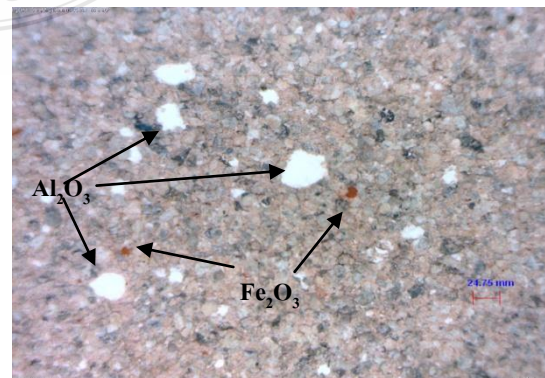
ส่วนผสมที่กำหนดถูกผสมเข้าด้วยกันด้วยวิธีการทางกล และไปทำการผสมในสัดส่วนต่างๆ คลุกเคล้ากับน้ำสะอาด 15% ของน้ำหนัก จนเป็นเนื้อเดียวกัน การอัดขึ้นรูปใช้ที่ความดันที่ 300 และ 350 kg/cm^2 ของหน้าตัด ชิ้นงานทดสอบ โดยอุปกรณ์ขึ้นรูปอ้างอิงจากชิ้นงานมาตรฐานรูปทรงกระบอกขนาด 51x51 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM Designation: C 20-97 ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 อุปกรณ์ขึ้นรูปอ้างอิงจากชิ้นงานมาตรฐานรูปทรงกระบอกขนาด 51x51 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM Designation: C 20-97 (American Society of Testing and Material, 2000)

หลังจากการอัดขึ้นรูปแล้วนำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบไปอบที่อุณหภูมิ 110°C เพื่อทำการไล่ความชื้นออกเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เสร็จแล้วนำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบไปตัดออกให้ได้ขนาดตามมาตรฐานที่กำหนดคือ 51x51 มิลลิเมตร จากนั้นทำการเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,300°C การทดสอบสมบัติหลังจากผ่านกระบวนการเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบประกอบด้วย การหาค่าความหนาแน่น (Density) ค่าความพรุนปรากฏ (Apparent Pores) ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ค่าการทดสอบกำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น (Cold Crushing Strength) ค่าความทนไฟ (Refractoriness) (สารโจน ขาวดี, 2544; เศษฐ เอี่ยมจิตกุล, 2537 และ ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2539)

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์



รูปที่ 4 แสดงภาพถ่ายจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (Scanning Electron Micrograph) ของชิ้นทดสอบตัดส่วน B1 ที่ผ่านการอัดขึ้นรูปด้วยแรงดันที่กำหนด พบการกระจายตัวของเฟสอลูมินา (พื้นที่สีขาว) (Bra, 1998) ที่มีขนาดอนุภาคที่แตกต่าง และเหล็กออกไซด์ (พื้นที่น้ำตาลแดง) ขนาดเล็กกระจายตัวบนพื้นหลักเฟสอลูมินา

ชิ้นงานที่ผ่านการอัดขึ้นรูปเหล่านี้เมื่อนำไปทำการเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิ 1,200 และ 1,300°C ตามลำดับ พบสิ่งที่น่าสนใจ คือ ชิ้นงานบางส่วนผสม เช่น B3 และ B4 ที่เผาที่อุณหภูมิ 1,300°C นั้นเกิดการเสียรูป เนื่องจากการขยายตัวเนื่องจากความร้อน และเกิดการแตกร้าวในชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 5 สาเหตุของการเกิดการเสียรูปและการแตกร้าวไม่ได้ทำให้การศึกษาหาสาเหตุในการศึกษาครั้งนี้แต่คาดว่าเกิดจากการขยายตัวของส่วนผสมเฟสอลูมินาที่อุณหภูมิสูงที่แตกต่างกันทำให้เกิดการปรากฏการณ์ขึ้นจึงควรมีการศึกษาหาสาเหตุต่อไป

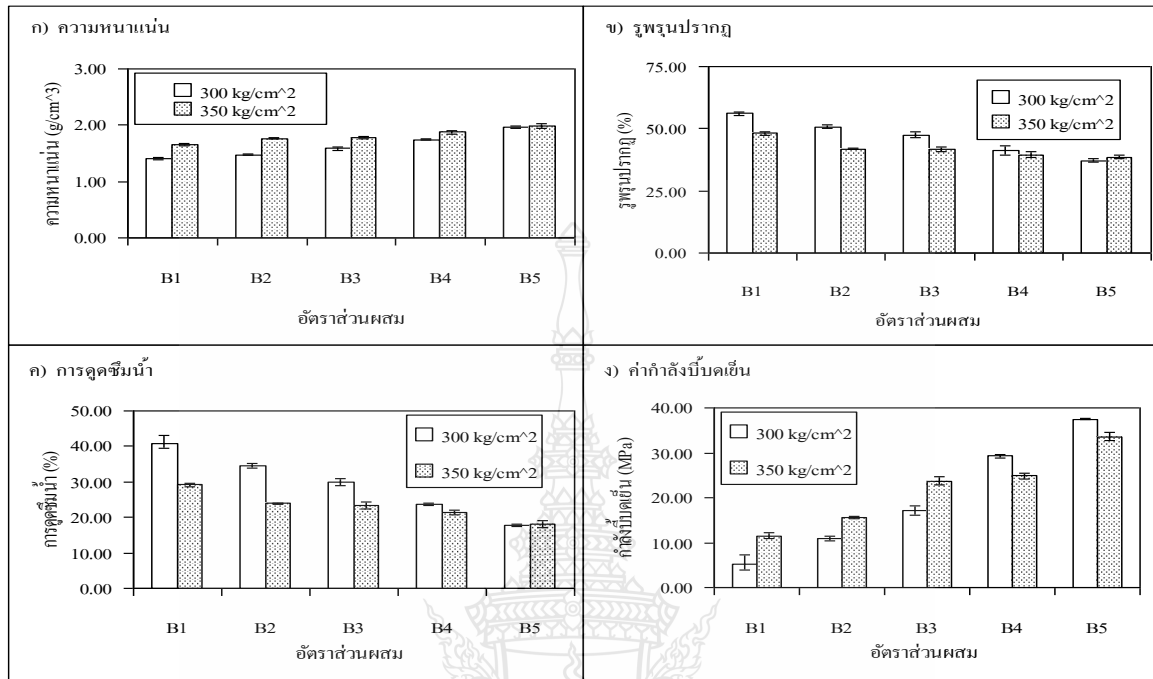


รูปที่ 5 ชิ้นงาน B3 เกิดการเสียรูปและแตกร้าว

รูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบสมบัติของอิฐทนไฟที่ใช้เฟสอลูมินาขนาดเมช 50 เป็นส่วนผสมที่ขึ้นรูปด้วยแรงอัด 300 และ 350 kg/cm² พบว่าความหนาแน่นของอิฐทนไฟมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเฟสอลูมินามีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) ค่าที่ได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่ารุกรานปรากฏในชิ้นทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 6 (ข) ที่มีค่าลดลงเมื่อปริมาณเฟสอลูมินามีค่าลดลง และความหนาแน่นที่มีค่าเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่าความหนาแน่นและลดลงของค่ารุกรานปรากฏนี้คาดว่าเกิดจากขนาดเมชของเฟสอลูมินาที่มีขนาดโตทำให้รวมเข้ากันได้ดีแต่เกิดช่องว่างระหว่างเฟสอลูมินาเพิ่มขึ้น

ค่ารุกรานที่ปรากฏที่มีปริมาณลดลง เนื่องจากปริมาณของเฟสอลูมินาที่เพิ่มขึ้นในอิฐทนไฟนั้นส่งผลทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำในอิฐทนไฟมีค่าลดลงตามไปด้วยดังแสดงในรูปที่ 6 (ค) นอกจากนั้นปริมาณรุกรานที่ลดลงนั้นทำให้พื้นที่ในการรับแรงของอิฐทนไฟเพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้ค่าต้านทานการบีบอัดของอิฐทนไฟมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเฟสอลูมินาในอิฐทนไฟลดลง

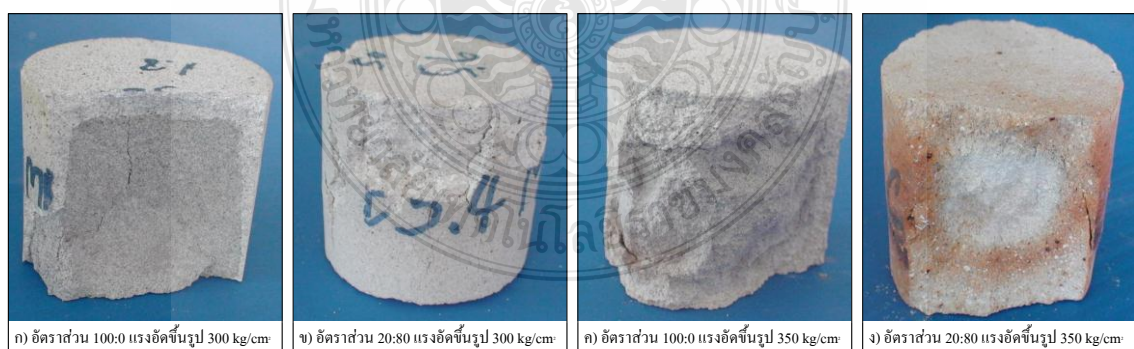
ลักษณะการพังทลายของชิ้นทดสอบการบีบอัดเย็นพบการพังทลายที่แตกต่างตามอัตราส่วนผสมดังแสดงในรูปที่ 7 หากชิ้นทดสอบใช้เฟสอลูมินาทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 7 (ก) และ (ค) การพังทลายเกิดขึ้นกับทั้งชิ้นงาน ส่วนของชิ้นทดสอบเกิดการแตกออกมากกว่าครึ่งหนึ่ง ขณะที่ชิ้นงานที่มีความต้านทานการบีบอัดสูงของการใช้แรงอัดขึ้นรูป 300 และ 350 kg/cm²



รูปที่ 6 สมบัติของอิฐทนไฟที่ผสมเถ้าลอยอลูมิเนียมขนาดเมช 50

ดังแสดงในรูปที่ 7 (ข) และ (ค) ชิ้นงานเกิดการเข้ากับส่วนผสมอื่นๆ ของอิฐทนไฟได้ต่ำ ดังนั้นการใช้การปริแตกเฉพาะผิวด้านนอกของชิ้นทดสอบเท่านั้น ปริมาณของเถ้าลอยอลูมิเนียมมากเกินไปอาจไม่ก่อให้เกิดประโยชน์กับอิฐทนไฟ

ลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานที่ใช้เถ้าลอยอลูมิเนียมขนาดเมช 50 นั้น มีความสามารถในการขัดเหนียวและ



รูปที่ 7 การพังทลายของชิ้นทดสอบการบีบอัด

ในการศึกษาครั้งนี้สภาวะตัวแปรการผลิตที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วนผสม 20:80 แรงดันขึ้นรูป 300 kg/cm² อุณหภูมิการเผาขึ้นงาน 1,200°C ที่แสดงค่าความต้านทานการบีบอัด 38 MPa การดูดซึมน้ำร้อยละ 18

รูปพรุนปรากฏร้อยละ 18 และความหนาแน่น 1.97 g/cm³ เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบอิฐทนไฟกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของอิฐทนไฟอลูมินาสูง KB-50 ที่มีสมบัติ คือ ค่าความ

หนาแน่นเท่ากับ 2.30 g/cm^3 ค่าความพรุนปรากฏร้อยละ 22 และค่ากำลังต้านแรงบีบอัดเท่ากับ 45 MPa (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2541) พบว่าค่าทดสอบสมบัติที่ได้ปัจจุบันมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของอิฐทนไฟฟลูมินาสสูง KB-50 อย่างไรก็ตามค่าที่ได้นี้เป็นเพียงค่าที่สามารถตอบคำถามได้ว่าการนำเถ้าลอยอลูมิเนียมมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐทนไฟฟลูมินาสสูง KB-50 นั้นมีความเป็นไปได้ และต้องมีการศึกษาสภาวะตัวแปรการผลิตต่างๆ เพื่อให้ได้สมบัติที่ดีกว่าต่อไป

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าลอยอลูมิเนียมเป็นส่วนผสมในอิฐทนไฟ โดยทำการศึกษาส่วนผสมและอิทธิพลของตัวแปรในกระบวนการผลิตอิฐทนไฟสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้คือ

1. เถ้าลอยอลูมิเนียมสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐทนไฟฟลูมินาสสูงได้
2. สภาวะตัวแปรการผลิตที่ดีที่สุด คือ อัตราส่วนผสม 20:80 แรงดันขึ้นรูป 300 kg/cm^2 อุณหภูมิการเผาขึ้นงาน 1200°C ที่แสดงค่าความต้านทานการบีบอัดเป็น 38 MPa การดูดซึมน้ำร้อยละ 18 รุพรุนปรากฏร้อยละ 18 และความหนาแน่น 1.97 g/cm^3
3. ปริมาณเถ้าลอยอลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นส่งผลในการลดความแน่น เพิ่มรูพรุน เพิ่มการดูดซึมน้ำ และลดความต้านทานการบีบอัด

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยที่ได้ให้การช่วยเหลือและสิ่งที่อำนวยความสะดวกระหว่างการปฏิบัติงานวิจัยในแต่ละขั้นตอนของงานวิจัยเป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2541). มาตรฐานของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐทนไฟฟลูมินาสสูง, vd. 547-2541, วารสารกระทรวงอุตสาหกรรม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2540). วัสดุทนความร้อน. วารสารเชรามิกส์ ปีที่ 3, ฉบับที่ 6-9, หน้า 52-6.
- เชษฐ เอี่ยมจิตกุล. (2537). วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. ปี 42 ฉบับที่ 136 กันยายน 2537. 11, 24-25.
- ปรีดา พิมพ์ขาว. (2539). วัสดุทนไฟ. วารสารเชรามิกส์, พิมพ์ครั้งที่ 4, หน้า 409-495.
- สาโรจน์ ขาวดี. (2544). การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพของอิฐทนไฟโดยใช้ทรายชั้นนาเป็นวัตถุดิบหลัก. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี บัณฑิตวิทยาลัย.
- American Society of Testing and Material. (2000). ASTM Designation C 20-97, ASTM Designation C133-97, ASTM Designation C201-93, ASTM Designation C135-97: General Product, Chemical Specialties Chemical Specialties Use Product Refractoriness, Annual Book of ASTM Standard. Vol.04.01, Philadelphia, ASTM, pp.149-162.
- Bra wall, M. (1998). Refractory. pp.55-58.
- Clancy, T.A. and Benson, D.J. (1989). Ceramic Engineering and Science Process ding. pp. 210-218.