



โครงการวิจัย เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ถั่วลอยอลูมิเนียมเป็นส่วนผสมในอิฐทนไฟ
Feasibility Study of Aluminum Dross as Alloying component
of Refractory Brick

โดย

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

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
งบประมาณประจำปี 2555

ผู้วิจัย : ปราโมทย์ พูนนายม
ผศ.ไพบุลย์ แยมเผื่อน
ผศ.ดร. กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
ชื่องานวิจัย : การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ถ่านลอยอะลูมิเนียมเป็นส่วนผสมในอิฐทนไฟ
หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

การผลิตอิฐทนไฟได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามแนวโน้มความต้องการของตลาดที่เพิ่มขึ้น มีการพัฒนาการผลิตโดยใช้วัตถุดิบเหลือใช้เป็นส่วนผสม เช่น ในอุตสาหกรรมหล่อโลหะมีเศษถ่านลอยอะลูมิเนียมเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตจำนวนมากที่ถูกทิ้งอย่างไร้ประโยชน์และก่อให้เกิดมลพิษ ทั้งที่กากเหลือเหล่านี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่ยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐทนไฟได้ การใช้เศษถ่านลอยอะลูมิเนียมเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐทนไฟจึงเป็นแนวคิดในการผลิตอิฐทนไฟแบบใหม่ซึ่งมีสมบัติค่าความทนไฟสูงขึ้น มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนการผลิตลดปริมาณของเสีย ลดมลพิษและรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมด้วย

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

ผลการทดลองครั้งนี้โดยสรุป คือ ตัวอย่างขึ้นงาน B1M50C300X คัดแยกขนาดอนุภาคของถ่านลอยอะลูมิเนียมที่ 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 และยังพบว่าค่าสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีที่สุดของตัวแปรในการผลิตอิฐทนไฟของตัวอย่างขึ้นงาน B5M100C350X คัดแยกขนาดอนุภาคของถ่านลอยอะลูมิเนียมที่ 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 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดลอง ทำให้การทดลองสามารถดำเนินการไปได้อย่างราบรื่น

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอน จนทำให้คณะผู้วิจัยมีโอกาสในการทำวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับการงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ปราโมทย์ พูนนายม
ไพบุลย์ แยมเพื่อน
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 สมบัติทั่วไปของวัตถุทนไฟ	5
2.3 วัสดุที่ใช้ในการผลิตวัสดุทนไฟ	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 การทดสอบกำลังต้านแรงบีบคั้นเมื่อเย็น	39
3.5 ค่าความทนไฟ	41
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์	42
4.1 ผลการทดสอบของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	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

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง

75

ภาคผนวก

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	ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิการเผาบัลค์เด่นชัดกับความพรุนตัวของวัสดุดิบ 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	ตะแกรงแบบสั่นสำหรับหาปริมาณกากข้างตะแกรง	16
2.2	เครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test Instron SATEC Series.)	17
2.3	เตาเผาชิ้นงาน	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	ถ้ำลอยอะลูมิเนียม (Aluminum Dross)	26
3.4	เครื่องทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบ (X-Ray Diffractometer)	26
3.5	เครื่องทดสอบหาการกระจายตัว (Test Sieve Analysis)	27
3.6	ถ้ำลอยอะลูมิเนียมที่คัดแยกขนาดของอนุภาค	27
3.7	เตาอบชิ้นงาน	28
3.8	เครื่องชั่งที่ใช้หาอัตราส่วนผสมของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	28
3.9	วัตถุดิบและส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ	29
3.10	อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน	29
3.11	อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Fixture) ในการอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	30
3.12	เครื่องทดสอบแรงกด	31
3.13	การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	31
3.14	ผลการทดสอบของโปรแกรมที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	32
3.15	การดันตัวอย่างชิ้นงานทดสอบออกจากอุปกรณ์จับยึด	32
3.16	ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากการขึ้นรูป	32
3.17	การอบไล่ความชื้นของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	33
3.18	เครื่องตัดชิ้นงาน (Cut-Off Machine MARUMOTO VELNUT)	33
3.19	การตัดชิ้นงาน	34
3.20	ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการตัด	34
3.21	เตาเผา (Naber Therm รุ่น N60/H Maximum 1340 °C)	35
3.22	ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากการเผา	35
3.23	เตาอบตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	36
3.24	ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Divaricator)	37
3.25	การชั่งน้ำหนักตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	37
3.26	การต้มตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	38
3.27	การชั่งน้ำหนักในน้ำ (ก) เครื่องชั่งน้ำหนักในน้ำ และ (ข) แสดงการชั่งชิ้นงานในน้ำ	38
3.28	เครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test Instron SATEC Series.)	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.29	การกดตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	40
3.30	จอภาพแสดงกราฟและผลทดสอบแรงต้านทานบีบดเมื่อเย็น	40
3.31	ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่เสียหายหลังการทดสอบ	41
4.1	การกระจายตัวของเส้นลวยอะลูมิเนียม อะลูมินา ซิลิกา และเหล็กออกไซด์	43
4.2	ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังการอัดขึ้นรูป	44
4.3	ตัวอย่างชิ้นงานของเส้นลวยอะลูมิเนียมหลังการเผาอุณหภูมิที่ 1,200 °C	44
4.4	ตัวอย่างชิ้นงานที่เสียหายหลังการเผาอุณหภูมิที่ 1,300 °C (ก) ตัวอย่างชิ้นงานบิตบวม (ข) ตัวอย่างชิ้นงานหดตัว และ (ค) ตัวอย่างชิ้นงานที่แตกร้าว	45
4.5	ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอัดขึ้นรูปด้วยความดันที่ 300 kg/cm ² ของ Mesh No.40: (ก) ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่เสียหาย แตกร้าวบริเวณผิวหน้าตัดของชิ้นงาน และ (ข) การพังทลายของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ	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	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	49
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	49
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	50
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	51
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบดเมื่อเย็นกับตัวอย่างชิ้นงานที่สัดส่วนต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	52
4.12	ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบดเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ 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	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ²	55
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ 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	ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างขึ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.50 ความดันในการขึ้นรูปที่ 350 kg/cm ² อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันและการเผาโดยใช้ 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	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100และความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	62
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกัน ขนาดอนุภาคที่Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่300 kg/cm ²	63
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	64
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นกับตัวอย่างขึ้นงานที่สัดส่วนต่างกัน ขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 และความดันในการอัดขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ²	64
4.26	ลักษณะความเสียหายของตัวอย่างขึ้นงานของการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบีบเมื่อเย็นของขนาดอนุภาคที่ Mesh No.100 ความดันในการขึ้นรูปที่ 300 kg/cm ² อัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน 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	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนปรากฏกับตัวอย่างขึ้นงานทดสอบในสัดส่วนที่ต่างกันขนาดอนุภาคที่Mesh 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