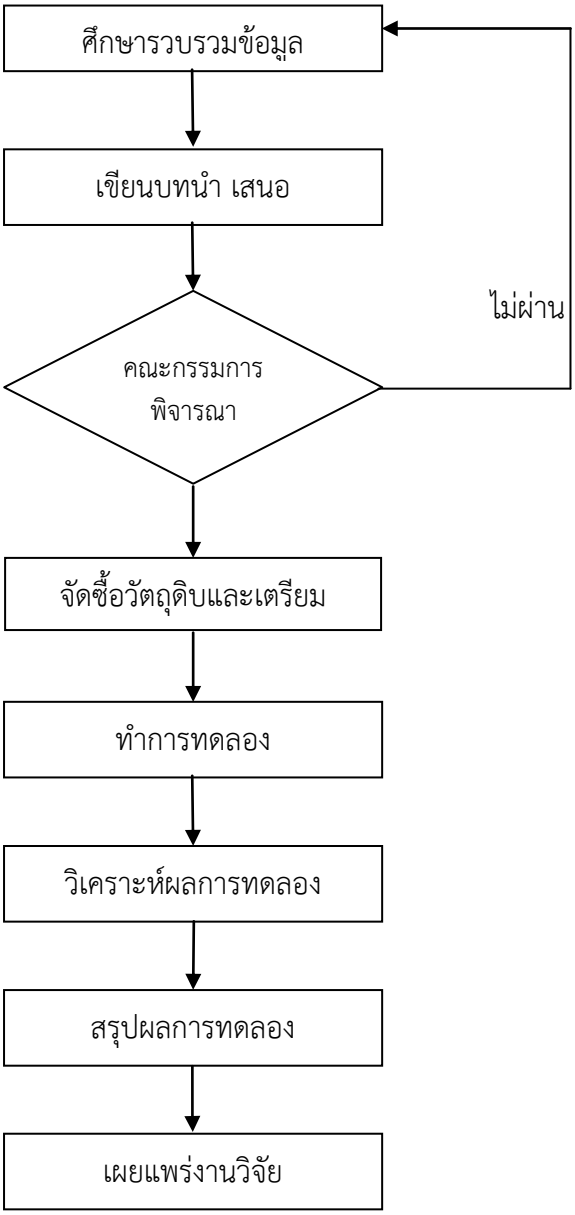
บทที่ 3
วิธีการดำเนิน

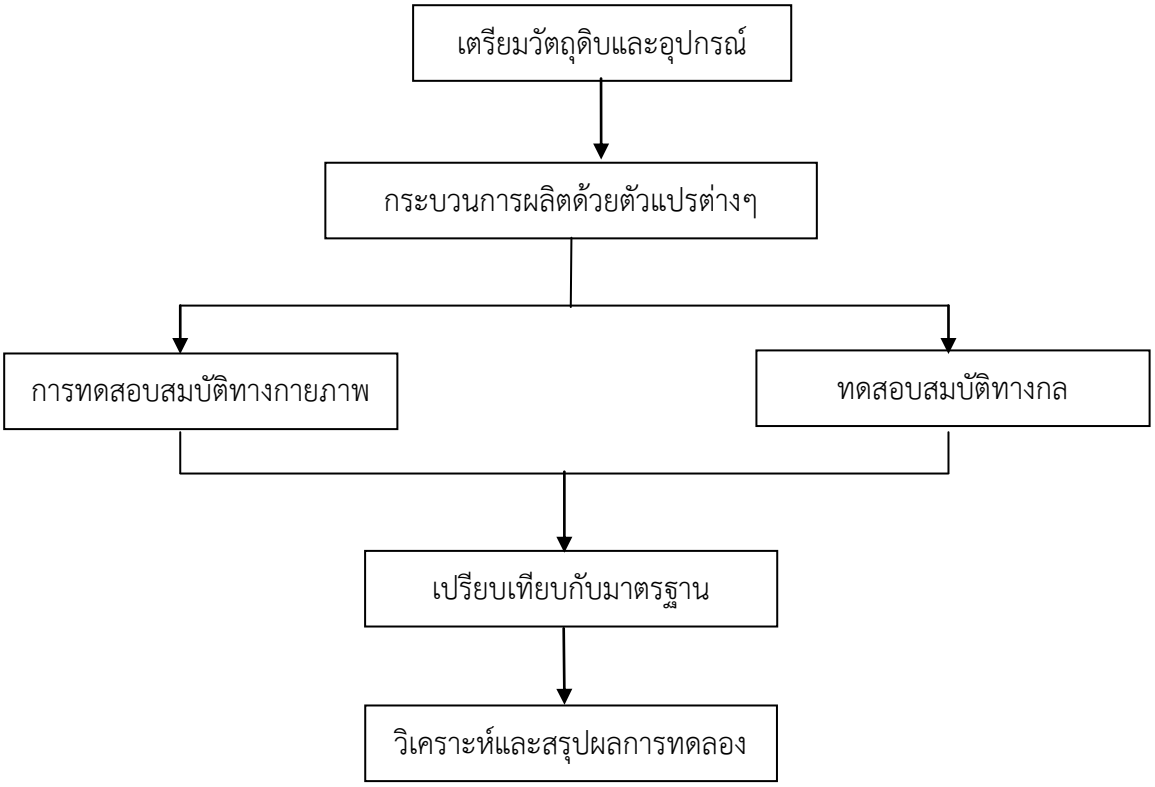
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟโดยมีแผนการดำเนินงานวิจัยและรายละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการไหลของกระบวนการในการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยอะลูมิเนียมต่อสมบัติของอิฐทนไฟโดยสามารถแบ่งขั้นตอนการปฏิบัติการ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพการไหลของขั้นตอนการทดลอง

3.2 เครื่องมือและขั้นตอนการดำเนินการ

3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

นำเถ้าลอยอะลูมิเนียม ประมาณ 100 กิโลกรัม โดยใช้เป็นวัตถุดิบหลักในงานวิจัยครั้งนี้

- เครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์
- เตาอบชิ้นงาน
- ตะแกรงร่อนขนาดของ Mesh No. 30, 40, 50 และ100
- การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ
- ทำการสุ่มตัวอย่างตามวิธีการสุ่มตัวอย่าง
- นำตัวอย่างมาร่อนผ่านตะแกรงร่อน Mesh No.40, 50 และ100
- นำตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรงไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110 ^{0}C เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Desiccators)
- ทำการอัดตัวอย่างที่อบแห้งแล้วลงในแผ่นอลูมิเนียมบนช่องบรรจุ (Holder) และปาดผิวหน้าให้เรียบแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย เครื่องทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบ (X-Ray Diffracto Meter) จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์
- นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับการ์ดมาตรฐาน JCPDS ของตัวอย่างที่ทำการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.3 เถ้าลอยอะลูมิเนียม (Aluminum Dross)

รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบวิเคราะห์โครงสร้างและสารประกอบ (X-Ray Diffractrometer)

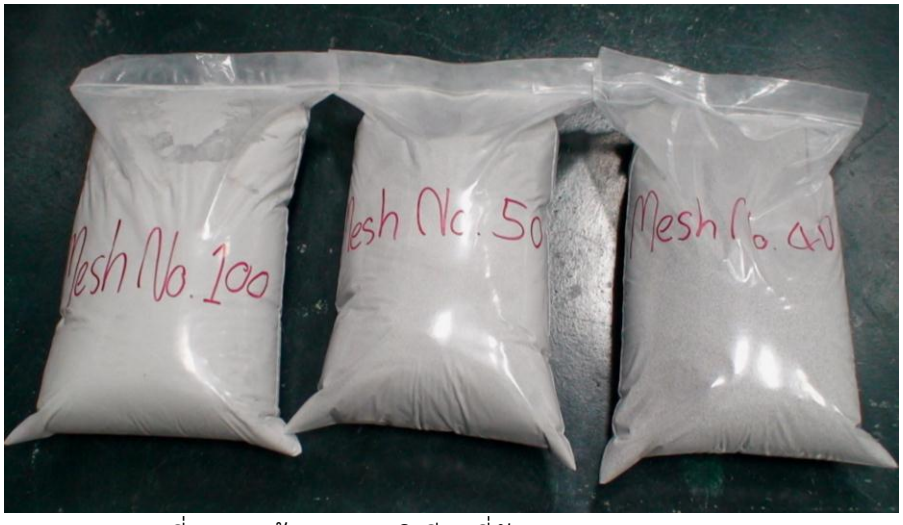
3.2.2 การคัดขนาดของอนุภาคของเถ้าลอยอะลูมิเนียม (Aluminum Dross)

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 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบของอัตราส่วนผสมในแต่ละช่วงที่มีขนาดของอนุภาคที่ต่างกันจากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล เพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของอนุภาคในแต่ละช่วงซึ่งอาจมีค่าที่ต่างกันจากผลการทดลอง ดังนั้นเมื่อได้ค่าที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป โดยกำหนดขนาดของ Mesh No. ดังต่อไปนี้

- Mesh No.40 ช่องเปิดของขนาดอนุภาคอยู่ที่ 425 μm กำหนดขนาดความละเอียดของช่องเปิดรูตะแกรงร่อนเป็นช่วง คือ ระหว่าง 425-300 μm
- Mesh No.50 ช่องเปิดของขนาดอนุภาคอยู่ที่ 300 μm กำหนดขนาดความละเอียดของช่องเปิดรูตะแกรงร่อนเป็นช่วง คือ ระหว่าง 300-150 μm

- Mesh No.100 ช่องเปิดของขนาดอนุภาคอยู่ที่ 150 μm กำหนดขนาดความละเอียดของช่องเปิดรูตะแกรงร่อนเป็นช่วง คือ ระหว่าง 150-0.1 μm ดังแสดงในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบหาการกระจายตัว (Test Sieve Analysis)



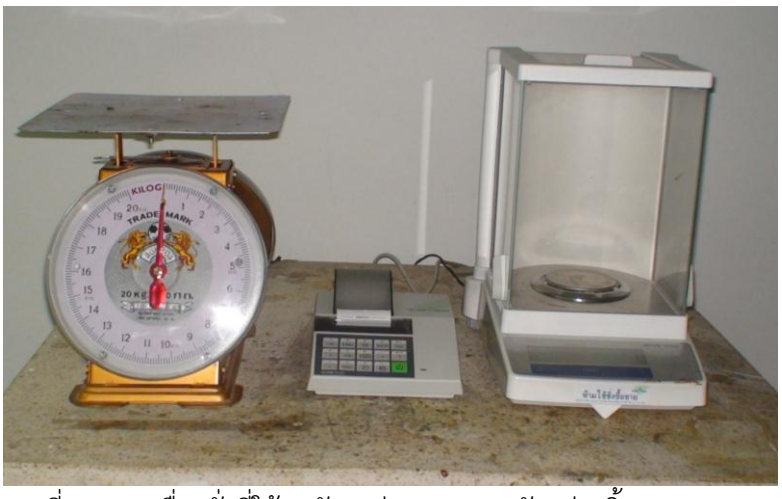
รูปที่ 3.6 เถ้าลอยอะลูมิเนียมที่คัดแยกขนาดของอนุภาค

เมื่อได้ขนาดของอนุภาคเถ้าลอยอะลูมิเนียมตามที่กำหนดนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 ^{0}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อทำการไล่ความชื้นออก เพื่อไม่ให้ผงของเถ้าลอยอะลูมิเนียมเกาะกันเป็นก้อน ก่อนที่จะนำไปผสมในสัดส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 เตาอบชิ้นงาน

3.2.3 อัตราส่วนผสมของอิฐทนไฟ

วัตถุดิบที่สำคัญที่ใช้ในส่วนผสมของการผลิตอิฐทนไฟ (Refractory Brick) โดยทั่วไปซึ่งประกอบด้วย 1. อะลูมินา (Alumina) 2. ซิลิกา (Silica) 3. เหล็กออกไซด์ (Iron Oxide) เป็นต้น เริ่มแรกทำการผสมของ อะลูมินา (Alumina) 50-52%, ซิลิกา (Silica) 44-46%, เหล็กออกไซด์ (Iron Oxide) 1.5% ตามลำดับ โดยกำหนดปริมาณของอัตราส่วนไว้คงที่ (ในอัตราส่วนผสมโดยอ้างอิงมาตรฐานอิฐทนไฟอะลูมินาสูงKB-50 เป็นหลัก) ผสมคุกเคล้าให้เข้าด้วยจนเป็นเนื้อเดียวกัน งานวิจัยนี้ได้ใช้เป็นส่วนผสมกับวัตถุดิบหลัก คือ เถ้าลอยอะลูมิเนียม ขั้นตอนการผสมในสัดส่วนที่ต่างกัน คือ ลดปริมาณของเถ้าลอยอะลูมิเนียมลงในอัตราส่วนผสมที่สัดส่วนต่างกัน โดยเครื่องชั่งใช้ชั่งน้ำหนักหาสัดส่วนต่างๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.8 การผลิตอิฐทนไฟโดยใช้การทดสอบของอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่แตกต่างกันทั้งหมด 5 สัดส่วน ซึ่งได้ข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยใช้วัตถุดิบหลักต่างกันอัตราส่วนผสมในสัดส่วนต่างๆได้มีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมเพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของแต่ละสัดส่วนว่ามีสมบัติที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป โดยกำหนดอัตราส่วนผสมในสัดส่วนที่ต่างกันทั้งหมด 5 สัดส่วน ได้แก่

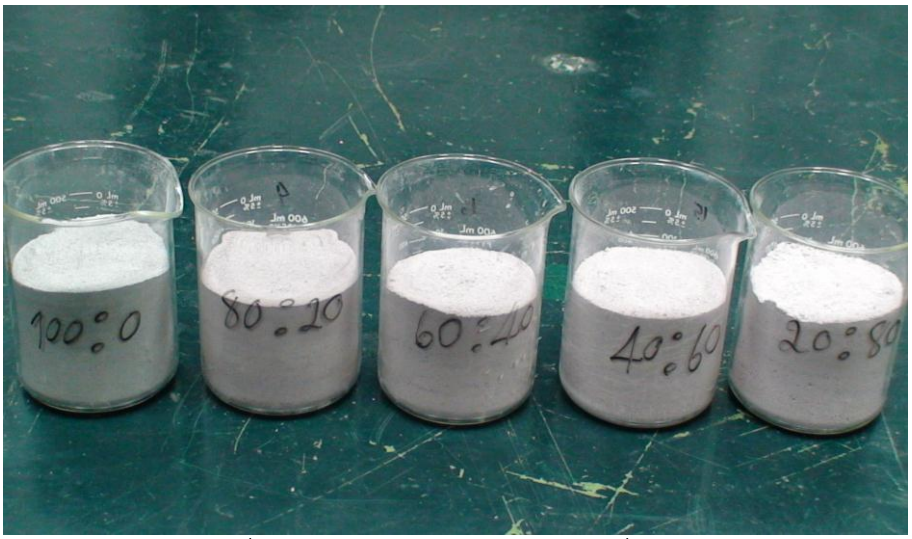


รูปที่ 3.8 เครื่องชั่งที่ใช้หาอัตราส่วนผสมของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

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]

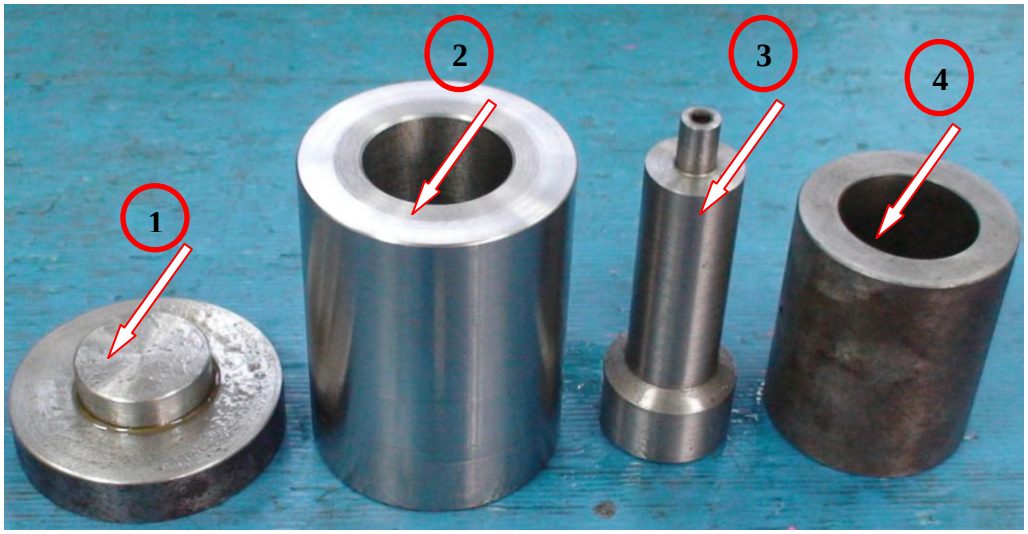
การออกแบบอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน อ้างอิงจากชิ้นงานมาตรฐานรูปทรงกระบอกขนาด 51x51 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM Designation: C 20-97 ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ทำจากเหล็ก SCM4 จากมาตรฐาน JIS ซึ่งมีส่วนผสมของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง มีโครเมียมและโมลิบัมผสมทำให้มีค่าความเหนียวทนต่อแรงดึงกดสูงที่ 100 kgf/mm^2 ซึ่งสามารถทนรับแรงอัด จากเครื่องทดสอบแรงกด โดยที่อุปกรณ์จับยึดและตัวอย่างชิ้นงานทดสอบไม่แตกเสียหาย แบบอัดขึ้นรูป มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก โดยประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆทั้งหมด 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ฐานรองรับแท่งบรรจุชิ้นงาน

1) ส่วนที่ 2 แท่งบรรจุชิ้นงานมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกมีลักษณะเป็นรูกลวง ขนาดรูใน 51.2 มิลลิเมตร ขนาดความโตนอก 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 และ350 kg/cm^2 ของหน้าตัดชิ้นงานทดสอบ [9] โดยอ้างอิงมาตรฐาน ASTM Designation: C 20-97 การอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test) ดังแสดงในรูปที่ 3.12 การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยการเขียนโปรแกรมจากเครื่องทดสอบ ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมประกอบไปด้วย การป้อนคำสั่งต่างๆตามที่กำหนดดังนี้

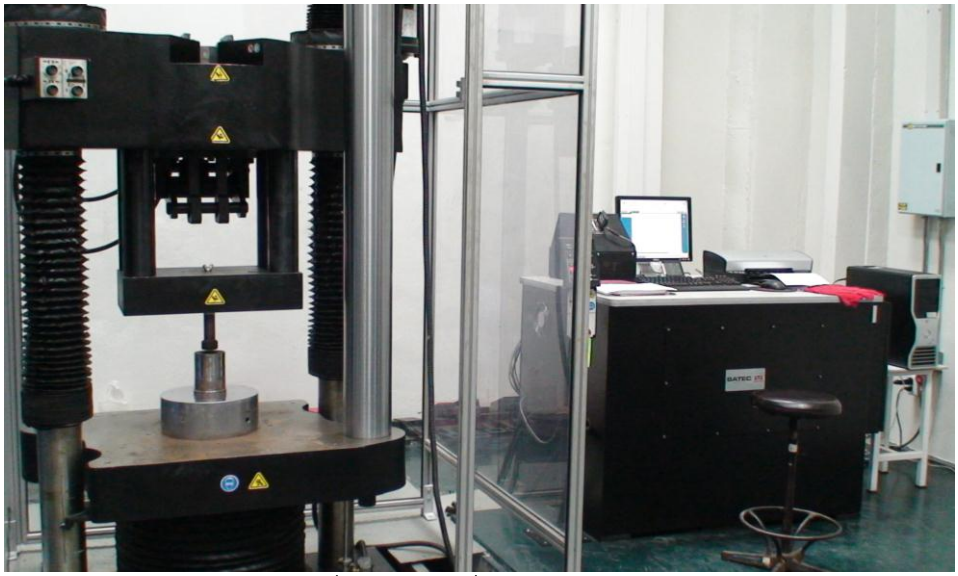
1) การป้อนความดัน (Load) ที่ต้องการ คือ 300 และ 350 kg/cm^2 หรือ 61.25 KN และ 71.47 KN จากการแปลงค่าหน่วยสำหรับใช้กับเครื่องทดสอบแรงกด

2) ป้อนค่าแรงอัตราคงที่ด้วยแรงดันที่ 50 KN /Min

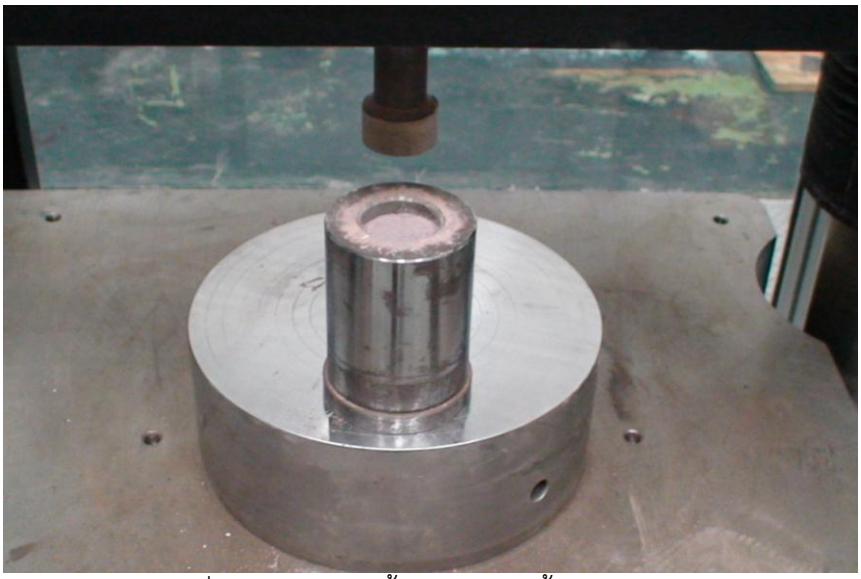
3) เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นถึงแรงตามที่กำหนดไว้ คือ 61.25 KN และ71.47 KN ทำการป้อนค่าแรงดันไว้คงที่ (Hole Load) เวลา 1 นาที

4) จบโปรแกรมการทำงาน

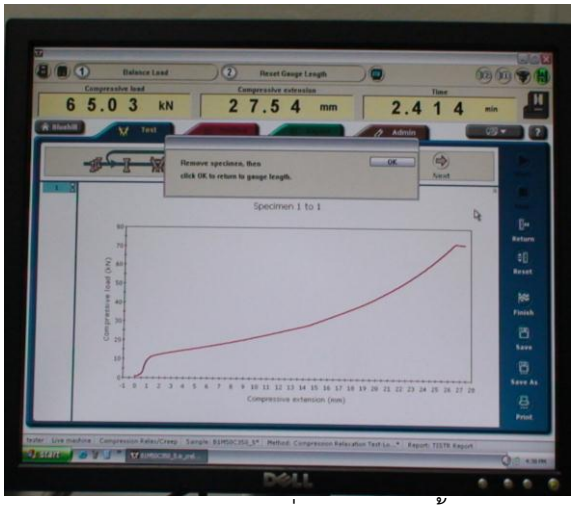
ค่าที่แสดงผลออกมาประกอบด้วยแรงดัน (Load) ที่ 350 kg/cm^2 หรือ 71.47 KN ระยะการยุบตัวเท่ากับ 27.54 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเท่ากับ 2.42 นาทีต่อตัว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ในกระบวนการอัดขึ้นรูปแบบนี้ทำให้ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบทุกตัวจึงมีแรงอัดที่เท่ากันทุกก้อนด้วย แรงกดของเครื่องทดสอบแรงกดเนื่องจากการใช้โปรแกรมควบคุม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



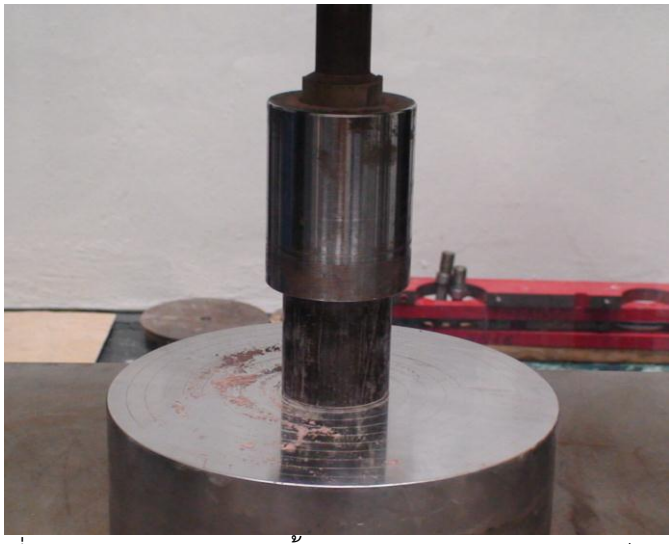
รูปที่ 3.12 เครื่องทดสอบแรงกด



รูปที่ 3.13 การอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.14 ผลการทดสอบของโปรแกรมที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.15 การดันตัวอย่างชิ้นงานทดสอบออกจากอุปกรณ์จับยึด

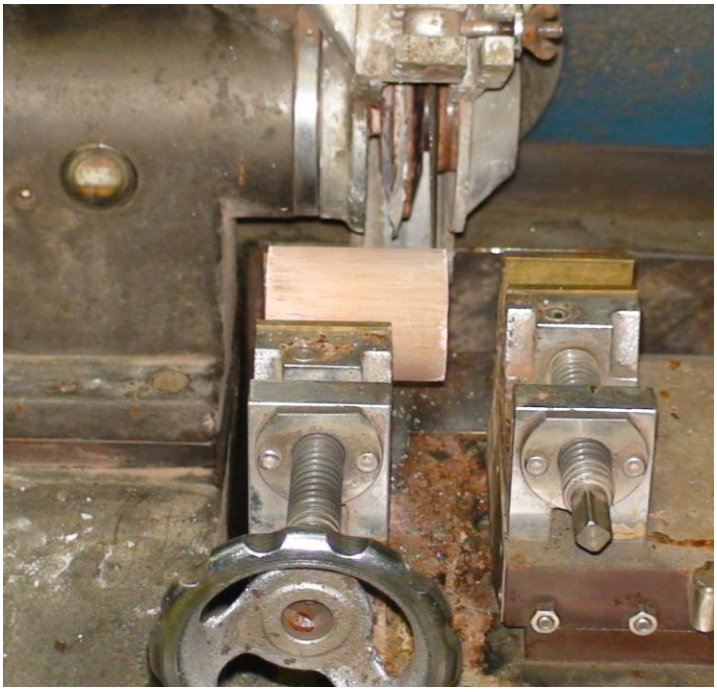
รูปที่ 3.16 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากการขึ้นรูป

3.2.7 การเผาตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

หลังจากการอัดขึ้นรูปแล้วนำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบไปอบที่อุณหภูมิ 110 ^{0}C เพื่อทำการไล่ความชื้นออกเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ด้วยเตาอบดังแสดงในรูปที่ 3.17 เสร็จแล้วนำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบไปตัดออกให้ได้ขนาดตามมาตรฐานที่กำหนดคือ 51x51 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 Maximum1340 ^{0}C ที่อุณหภูมิ 1,200 และ1,300 ^{0}C ดังแสดงในรูปที่ 3.21 โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนในการเผา ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

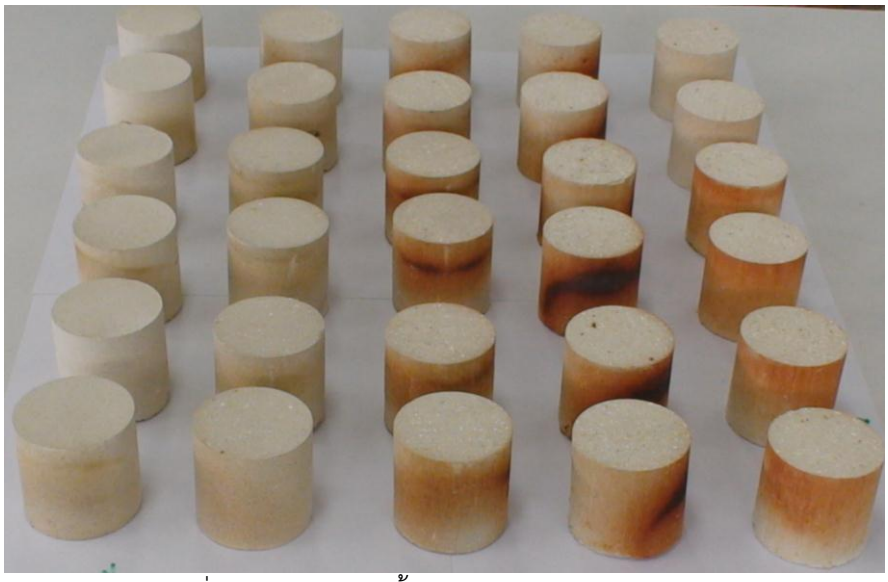
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการตัด

1) ขั้นตอนที่ 1 ทำการป้อนค่าอุณหภูมิที่อัตรา 5 องศาต่อนาที จากอุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิที่ 1,200 ^{0}C ใช้เวลา 4 ชั่วโมง เพื่อทำการเผาไล่ความชื้นออกจากตัวอย่างชิ้นงานทดสอบและให้เวลาการเซทตัวภายในเนื้อของชิ้นงาน

2) ขั้นตอนที่ 2 เมื่อค่าอุณหภูมิถึงที่ 1,200 ^{0}C แล้วทำการคงค่าอุณหภูมิไว้คงที่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เนื้อภายในตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลอมเหลวเนื้อของวัสดุทำการประสานยึดเกาะกัน

3) ขั้นตอนที่ 3 ทำการลดค่าอุณหภูมิที่ 1,200 ^{0}C ลงถึงค่าอุณหภูมิห้องโดยใช้ค่าอุณหภูมิอัตราที่ 5 องศาต่อนาที ใช้เวลา 4 ชั่วโมง จบขั้นตอนในการเผา จากนั้นปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวภายในเตาโดยใช้เวลาในการเย็นตัวประมาณ 12 ชั่วโมง

รูปที่ 3.21 เตาเผา (Naber Therm รุ่น N60/H Maximum 1340 ^{0}C)



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากการเผา

รูปที่ 3.22 คือ ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากเผาอุณหภูมิที่ 1,200 ^{0}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 ^{0}C
3) อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานที่มีรูปทรงและขนาดที่สามารถรองรับชิ้นงานได้ขณะที่มีการชั่งน้ำหนักในน้ำ
4) เตาสำหรับต้มน้ำ (Hot Plate)
5) จานรองสำหรับขณะต้มชิ้นงาน
6) ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Divaricator)
7) ผ้าฝ้ายหรือผ้าลินิน

3.3.2 ค่าน้ำหนักแห้ง (Dry Weight: D) [9]

1) นำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการเผาแล้วจำนวน 5 ชิ้น/ตัวอย่าง ไปในเตาอบ ที่อุณหภูมิ150 ^{0}C (Oven Dry) 24 ชั่วโมง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.23 การหาค่าน้ำหนักแห้ง อาจจะทำก่อนหรือหลัง การหาค่าค่าน้ำหนักอิ่มตัว ก็ได้ แต่ควรที่จะทำก่อน เพราะว่าตัวอย่างชิ้นงานตัวอย่างทดสอบยังมีสภาพสมบูรณ์ ถ้าทำหลังจากการหาค่าน้ำหนักแห้งอาจทำให้ตัวอย่างชิ้นแตกหัก

รูปที่ 3.23 เตาอบตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

1) ปล่อยให้เย็นตัวในตู้เก็บกักความชื้น (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) นำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบวางจุ่มลงน้ำควรใส่น้ำให้ท่วมตัวอย่างชิ้นงานทดสอบเพื่อที่น้ำจะได้เข้าไปแทนที่อากาศภายในตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ

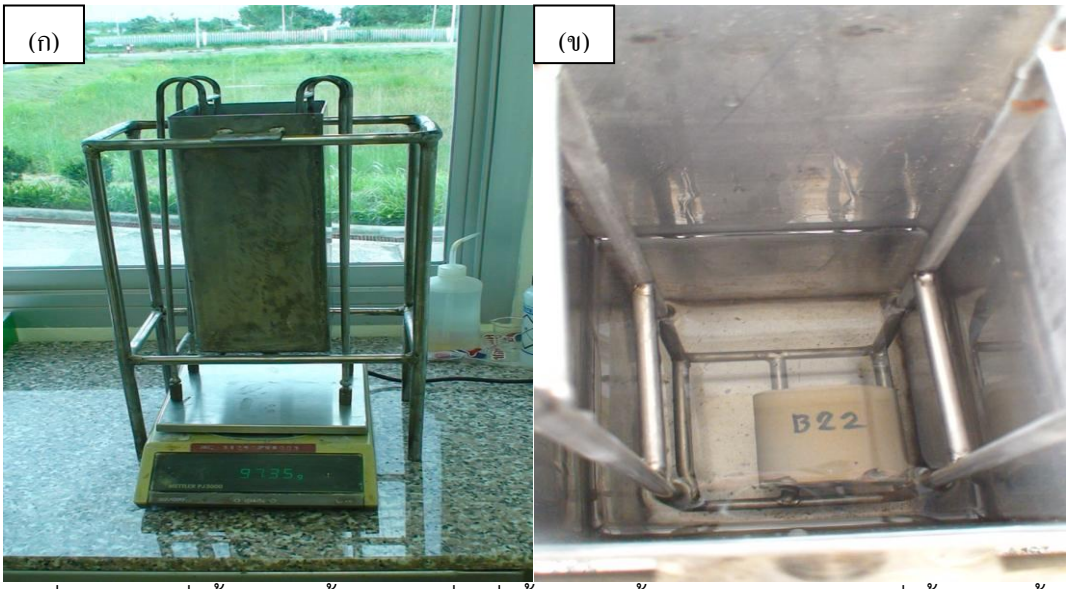
2) การต้มใช้เวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 150 ^{0}C โดยเตาต้ม (Stereo) ข้อควรระวังอย่าให้น้ำแห้งระหว่างการต้มต้องเติมน้ำเป็นระยะ

3) หลังจากต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วควรปล่อยไว้ในภาชนะทิ้งไว้ให้เย็นภายในอุณหภูมิห้องอย่างน้อย 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 โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่ต้มแล้วหลังปล่อยทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง ใช้ผ้าฝ้ายหรือผ้าลินินซับตัวอย่างชิ้นงานทดสอบให้แห้ง

2) โดยใช้อุปกรณ์รองรับตัวชิ้นงานนำไปชั่งกับเครื่องชั่งแบบดิจิตอลที่ค่าที่ความละเอียด 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 ค่าน้ำหนักอิ่มตัว และค่าน้ำหนักในน้ำ นำไปคำนวณหาค่าสมบัติทางกายภาพดังต่อไปนี้

1) ความหนาแน่น

2) ค่าความพรุนปรากฏ

3) ค่าความถ่วงจำเพาะ

4) ค่าการดูดซึมน้ำ

ผลการคำนวณหาค่าสมบัติทางกายภาพทั้งหมดได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

3.4 การทดสอบกำลังต้านแรงบี้บดเมื่อเย็น (Cold Crushing Strength) [9]

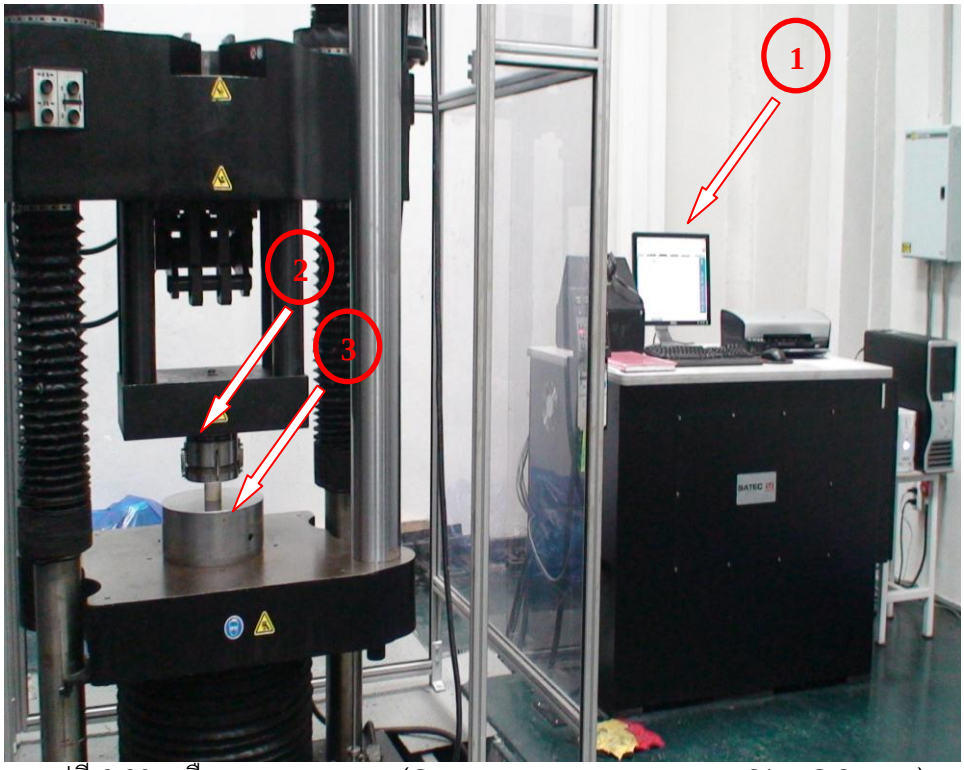
โดยวิธีการทดสอบ อ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM Designation: C 133-97 [9]

3.4.1 นำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบหลังจากการทดสอบสมบัติทางกายภาพจำวนวน 5 ชิ้นต่อตัวอย่างทำการทดสอบหาค่ากำลังต้านแรงบี้บดเมื่อเย็นในงานวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแบบทรงกระบอก (Cylinder) คือ เป็นรูปทรงกระบอกพื้นที่หน้าตัด ขนาด 51 x 51 มิลลิเมตร

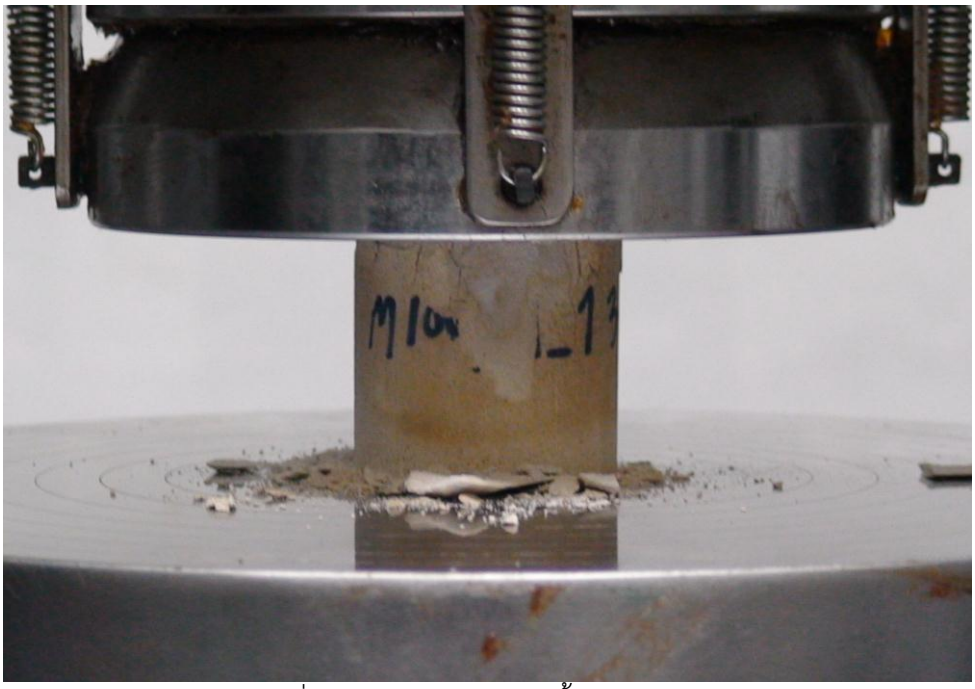
3.4.2 อบตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ ที่อุณหภูมิ 110 ^{0}C ใช้เวลา 3 ชั่วโมง โดยให้น้ำหนักใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักหลังการเผา (Dry Weight) และต้องทำการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบี้บดเมื่อเย็น (Cold Crushing Strength) ภายใน 2 ชั่วโมง เพื่อไม่ให้เม็ดเกรนทำการเซทตัวในเวลาทดสอบ

3.4.3 การทดสอบค่ากำลังต้านแรงบี้บดเมื่อเย็นโดยเครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test Instron SATEC Series)

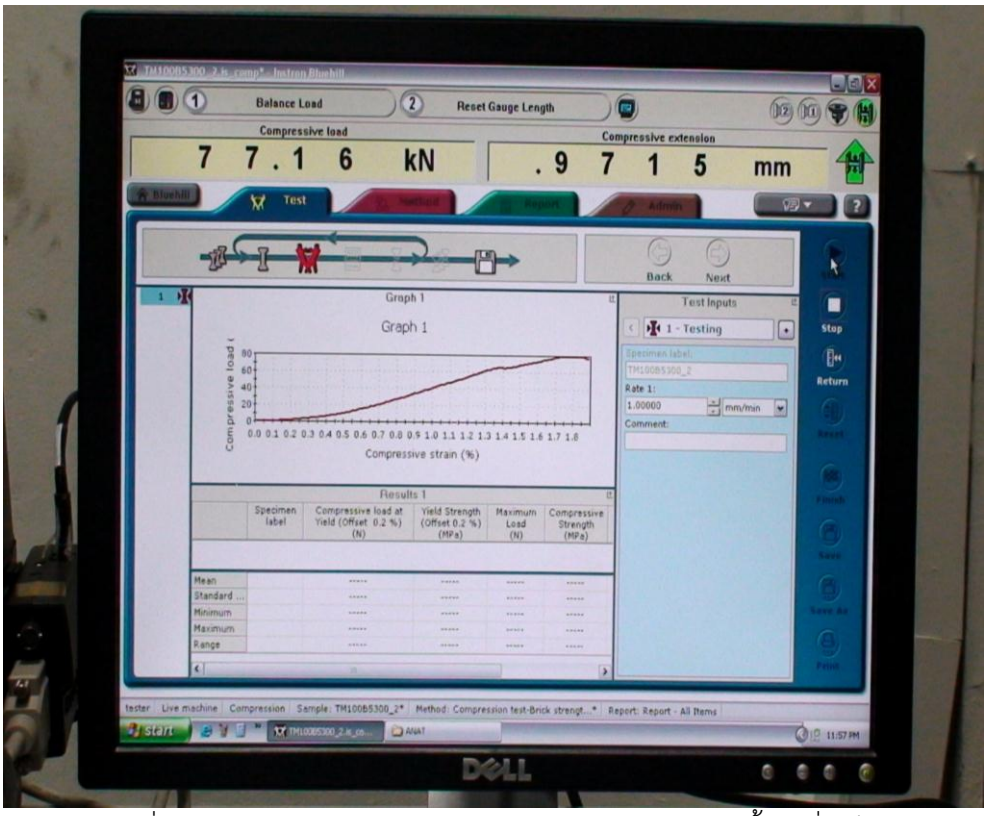
3.4.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการจับยึดชิ้นงานในการทดสอบ ประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ (1) โปรแกรมการทดสอบ (2) ชุดหัวกด (Bearing Block) และ (3) ชุดแท่นรองรับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 เครื่องทดสอบแรงกด (Compression Test Instron SATEC Series.)



รูปที่ 3.29 การกดตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.30 จอภาพแสดงกราฟและผลทดสอบแรงต้านทานปี้บดเมื่อเย็น

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 บันทึกค่ากำลังต้านแรงบี้บดเมื่อเย็น (Cold Crushing Strength) ผลการทดสอบที่ได้จากโปรแกรม ประกอบด้วย ค่าแรงสูงสุดของค่ากำลังต้านแรงบี้บดเมื่อเย็นเวลาในการทดสอบ, ระยะการยุบตัว, เวลาที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.30 และสภาพความเสียหายของตัวอย่างชิ้นงานหลังจากการผ่านการทดสอบค่ากำลังต้านแรงบี้บดเมื่อเย็น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.31

รูปที่ 3.31 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่เสียหายหลังการทดสอบ

3.5 ค่าความทนไฟ (Refractoriness)

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