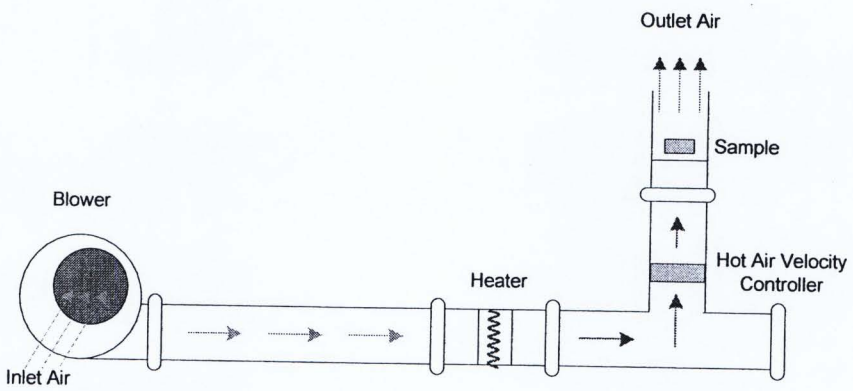
บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาการวิเคราะห์พฤติกรรมการอบแห้งของกระเบื้องดินเผาและพอร์ซเลนเซรามิก ได้ทำการอบแห้งแล้วนำมาวิเคราะห์หาเส้นกราฟการอบแห้งมาตรฐาน การประเมินการสิ้นเปลืองพลังงาน สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม และค่าคงที่ของการอบแห้ง จากรูปแบบสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งทางทฤษฎี กึ่งทฤษฎี และเอมไพริคัล โดยมีรายละเอียดดังนี้

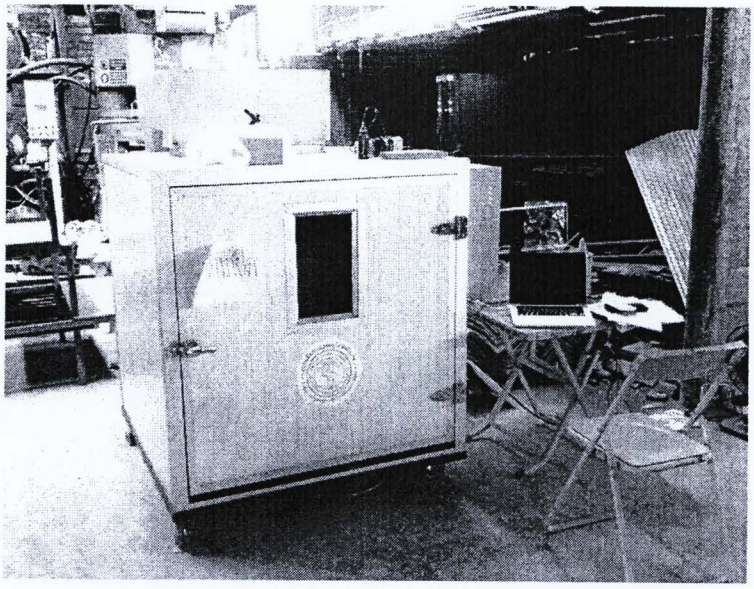
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอบแห้งชั้นบาง แบบใช้ลมร้อน ดังรูปที่ 3.1 หรือ ก-1



รูปที่ 3.1 เครื่องอบแห้งชั้นบาง แบบใช้ลมร้อน

2. เครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน 4,000 W ขนาดความจุ 1 m^3 ดังรูปที่ 3.2
3. ตู้อบลมร้อน 1,500 W สำหรับใช้หาความชื้นชิ้นทดสอบ ดังรูปที่ ก-3
4. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ Kane-May รุ่น KM330 (Type K) ดังรูปที่ ก-4
5. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด ±0.001 g ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP323S ดังรูปที่ ก-5
6. เครื่องมือวัดความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ Testo รุ่น 445 ดังรูปที่ ก-6
7. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ยี่ห้อ Testo รุ่น 450 ดังรูปที่ ก-7
8. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด ±0.1 g ยี่ห้อ Zapper รุ่น EPS-3001 ดังรูปที่ ก-8
9. kWh มิเตอร์ ยี่ห้อ FUJI ขนาด 30A ดังรูปที่ ก-9
10. Data Logger ยี่ห้อ YOGOGAWA รุ่น DR 130 ดังรูปที่ ก-10



รูปที่ 3.2 เครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน 4,000 W ขนาดความจุ 1 m^3

3.2 การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมของสมการ การอบแห้งทางทฤษฎี ค่าคงที่การอบแห้งของสมการ การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี และแบบเอมไพริคัล

3.2.1 ข้อกำหนดในการทดลอง

1. พอร์ซเลนเซรามิก ขนาด 70 x 70 x 2 mm^3 (กว้าง x ยาว x หนา) หนา 2, 4 และ 6 mm
2. อบแห้งที่อุณหภูมิในช่วง 40 – 80 °C และความเร็วลมร้อน 0.7 – 2.4 m/s
3. เครื่องอบแห้งชั้นบาง แบบใช้ลมร้อน

3.2.2 การเตรียมชิ้นงาน

ใช้น้ำดินพอร์ซเลนเซรามิกสำเร็จรูปของบริษัท คอมพาวด์เคลย์ จำกัด เทลงในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ขนาด 70 x 70 x 2 mm^3 แล้วทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง น้ำดินจะเกาะตัวเป็นชิ้นงาน จากนั้นแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ จำนวน 3 ชิ้น

3.2.3 การทดลอง

1. เดินเครื่องอบแห้งชั้นบางจนได้อุณหภูมิลมร้อน 40 ± 2 °C และความเร็วลมร้อนในห้องอบแห้ง 0.7 m/s

2. นำชิ้นงานหนา 2 mm ที่ได้จากข้อ 3.2.2 ใส่ในเครื่องอบแห้งชั้นบาง โดยวางในแนวตั้งฉากกับลมร้อน ดังรูปที่ 3.1 ทำการบันทึกค่าน้ำหนักของตัวอย่างโดยการนำออกมาชั่งกับ

เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด ±0.001 g บันทึกอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกในห้องอบแห้งและอากาศแวดล้อมทุกๆ 5 นาทีในช่วง 1 ชั่วโมงแรก และทุกๆ 10 นาทีในเวลาถัดมา

3. ทำการทดลองในรูปแบบเดียวกับข้อ 1 และ 2 แต่เปลี่ยนความหนาของชิ้นงานเป็น 4 และ 6 mm อุณหภูมิลมร้อนเป็น 60 และ 80 °C และเปลี่ยนค่าความเร็วลมเป็น 1.4 และ 2.4 m/s โดยแต่ละกระบวนการทำ 3 ซ้ำ รวมทั้งหมด 27 การทดลอง

3.3 การสร้างกราฟมาตรฐานการอบแห้งพอร์ซเลนเซรามิก

3.3.1 ข้อกำหนดในการทดลอง

1. ผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนเซรามิกประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะชนิดที่ไม่จำเป็นต้องเผาบิสกิตของ โรงงานแสงชัยเซรามิก จำกัด อ.เมือง จ.ลำปาง
2. อบแห้งที่อุณหภูมิในช่วง 50 – 70 °C และความเร็วลมร้อน 1.4 m/s
3. ใช้เครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน 4,000 W ขนาดความจุ 1 m^3
4. ทิศทางลมร้อนเคลื่อนที่จากด้านล่างสู้ด้านบน แล้ววนกลับในทิศทางเดิม

3.3.2 การเตรียมชิ้นงาน

ใช้น้ำดินพอร์ซเลนเซรามิกของโรงงานแสงชัยเซรามิก จำกัด เทลงในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ แล้วทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที น้ำดินจะเกาะตัวเป็นชิ้นงาน จากนั้นแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

3.3.3 การทดลอง

1. นำชิ้นงานพอร์ซเลนเซรามิก บรรจุลงในตู้อบแห้งจนเต็มความจุ จำนวน 55 ชิ้น (36.3 kg) ดังรูปที่ 3.3
2. ปิดประตูตู้อบและปล่อยชิ้นงานทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานที่จะทำการสุ่มวัดค่า พร้อมทั้งบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง ของแวดล้อมและในห้องอบแห้ง
4. เดินเครื่องอบแห้งที่ความเร็วลมคงที่ 1.4 m/s และอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักชิ้นงานทุกๆ 20 นาที โดยนำชิ้นงานออกมาชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด ±0.1 g พร้อมบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง ของแวดล้อมและในห้องอบแห้ง
5. ปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 60 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักชิ้นงานทุกๆ 30 นาที พร้อมบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง ของแวดล้อมและในห้องอบแห้ง

6. ปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 70 °C ชั่งน้ำหนักชิ้นงานทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกว่าจะเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 1% dry-basis พร้อมบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง ของแวดล้อมและในห้องอบแห้ง

7. กรณีชิ้นงานไม่เกิดความเสียหาย ให้ลดระยะเวลาการอบให้สั้นลงกว่าเดิม แต่ถ้าชิ้นงานเกิดความเสียหาย ให้ยืดเวลาการอบแห้งให้นานขึ้น จนกว่าจะได้จุดที่สามารถอบชิ้นงานได้เร็วที่สุด โดยไม่เกิดความเสียหาย

8. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และสร้างเส้นกราฟมาตรฐานการอบแห้ง

รูปที่ 3.3 การวางชิ้นงานพอร์ซเลนเซรามิกในตู้อบแห้ง

3.4 การสร้างกราฟมาตรฐานการอบแห้งกระเบื้องดินเผา

3.4.1 ข้อกำหนดในการทดลอง

1. ผลิตภัณฑ์กระเบื้องดินเผาของโรงงานโอมเซรามิกรูฟ จำกัด อ.สารภี จ.เชียงใหม่
2. อบแห้งที่อุณหภูมิในช่วง 50 – 70 °C และความเร็วลมร้อน 1.4 m/s
3. ใช้เครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อน 4,000 W ขนาดความจุ 1 m^3
4. ทิศทางลมร้อนเคลื่อนที่จากด้านล่างสู้ด้านบน แล้ววนกลับในทิศทางเดิม

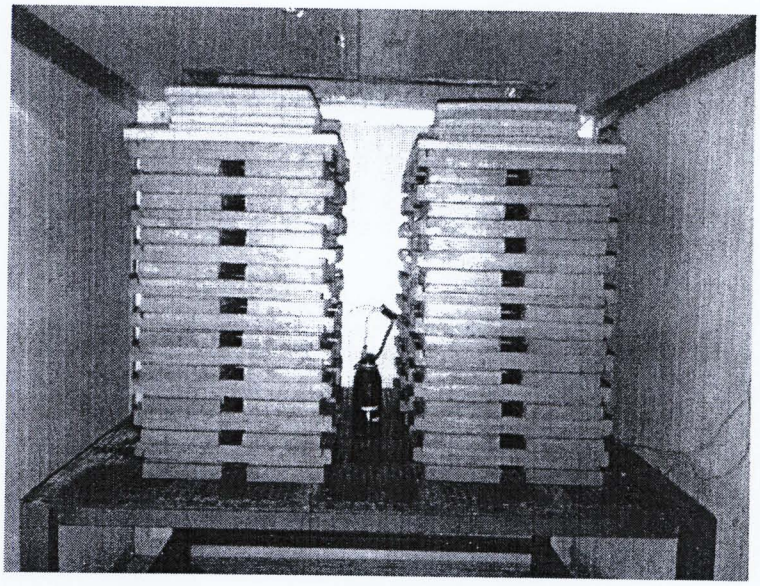
3.4.2 การเตรียมชิ้นงาน

ผสมดินผงกับน้ำแล้วหมักทิ้งไว้ จากนั้นนำมาขึ้นรูปด้วยการอัดรีด (Extrude) ออกมาเป็นแผ่น แล้วทำการตัดให้เป็นกระเบื้องแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 4 x 10 x 0.5 นิ้ว^3

3.4.3 การทดลอง

1. นำกระเบื้องดินเผา 2 แผ่นมาประกบกัน แล้ววางเรียงซ้อนทับกันเป็นชั้นๆ จนมีความสูงประมาณ 50 cm โดยแต่ละชั้นประกอบด้วยกระเบื้อง 4 ชิ้น และใช้น้ำหนักกดทับชั้นบนสุดประมาณ 5 kg

2. บรรจุกระเบื้องจำนวน 4 กองในตู้ โดยแต่ละกองวางห่างกัน 15 cm มีความหนาแน่นในการวางเท่ากับ 1,084.2 kg/m^3 ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การวางชิ้นงานกระเบื้องดินเผาในตู้อบแห้ง

3. ปิดประตูตู้อบและปล่อยชิ้นงานทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 ชั่วโมง

4. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานที่จะทำการสุ่มวัดค่า พร้อมทั้งบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง ของแวดล้อมและในห้องอบแห้ง

5. เดินเครื่องอบแห้งที่ความเร็วลมคงที่ 1.4 m/s และอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักชิ้นงานทุกๆ 1 ชั่วโมง พร้อมบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง ของแวดล้อมและในห้องอบแห้ง

6. ปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 60 °C เป็นเวลา 15 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักชิ้นงานทุกๆ 2 ชั่วโมง พร้อมบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง ของแวดล้อมและในห้องอบแห้ง

7. ปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 70 °C ชั่งน้ำหนักชิ้นงานทุกๆ 3 ชั่วโมง จนกว่าจะเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 3% dry-basis พร้อมบันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้ง ของแวดล้อมและในห้องอบแห้ง

8. กรณีชิ้นงานไม่เกิดความเสียหาย ให้ลดระยะเวลาการอบให้สั้นลงกว่าเดิม แต่ถ้าชิ้นงานเกิดความเสียหาย ให้ยืดเวลาการอบแห้งให้นานขึ้น จนกว่าจะได้จุดที่สามารถอบชิ้นงานได้เร็วที่สุด โดยไม่เกิดความเสียหาย

9. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และสร้างเส้นกราฟมาตรฐานการอบแห้ง

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง

3.5.1 การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม

นำข้อมูลการลดลงของความชื้นขณะอบแห้งที่ได้จากการทดลองในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงมาทำการวิเคราะห์ด้วยรูปแบบสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งทางทฤษฎี ดังนี้

1. คำนวณหาอัตราส่วนความชื้น โดยสมมุติว่าค่าความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความชื้นของกระดาษสา สามารถตัดทิ้งได้ ดังสมการ

$$MR = \frac{M}{M_{in}}$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น

M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น (เศษส่วนมาตรฐานแห้ง)

2. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ โดยนำค่าอัตราส่วนความชื้นจากผลการทดลองในช่วงการอบแห้งลดลง มาวิเคราะห์สมการถดถอยโดยใช้สมการจลนศาสตร์การอบแห้งทางทฤษฎีสมการ (2.5) จำนวน 11 เทอม (การพิจารณาใช้จำนวนเทอมในการวิเคราะห์ ที่จำนวน 11 เทอมให้ค่า MR = 0.983, จำนวน 15 เทอมให้ค่า MR = 0.986 และจำนวน 20 เทอมให้ค่า MR = 0.990)

3. นำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมที่ได้จากการคำนวณมาทำการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างโดยใช้ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อดูว่าความเร็วลมร้อน และอุณหภูมิลมร้อนเป็นตัวแปรที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม

4. จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมที่คำนวณได้ในแต่ละการทดลองมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมกับตัวแปรที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม ในรูปแบบสมการของ Arrhenius ด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอย

3.5.2 การวิเคราะห์หาค่าคงที่ของสมการ การอบแห้งกึ่งทฤษฎี

นำข้อมูลการลดลงของความชื้นขณะอบแห้งที่ได้จากการทดลองในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงมาทำการวิเคราะห์ด้วยรูปแบบสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งกึ่งทฤษฎี ดังนี้

1. คำนวณหาอัตราส่วนความชื้น

2. คำนวณหาคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ โดยนำค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาจากผลการทดลองในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง มาวิเคราะห์สมการถดถอยโดยใช้สมการจลนศาสตร์การอบแห้งกึ่งทฤษฎีสมการ (2.12) ซึ่งจะได้ค่าคงที่การอบแห้ง 1 ค่าที่แต่ละการทดลอง

3. นำค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณมาทำการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างโดยใช้ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อดูว่าความเร็วลมร้อน และอุณหภูมิลมร้อนเป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎี

4. จากนั้นนำค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีที่คำนวณได้ในแต่ละการทดลอง มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีกับตัวแปรที่มีผลต่อค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีในรูปแบบสมการเอ็กโพเนนเชียล ด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอย

3.5.3 การวิเคราะห์หาค่าคงที่ของสมการ การอบแห้งเอมไพริคัล

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงมาทำการวิเคราะห์ด้วยรูปแบบสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้งกึ่งทฤษฎี ดังนี้

1. คำนวณหาอัตราส่วนความชื้น

2. คำนวณหาค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัลที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ โดยนำค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาจากผลการทดลองในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง มาวิเคราะห์สมการถดถอยโดยใช้สมการจลนศาสตร์การอบแห้งเอมไพริคัล สมการของ Henderson & Pabis (1969) สมการ (2.17) ซึ่งจะได้ค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัลและค่าคงที่ออกมา 1 ชุดที่แต่ละการทดลอง

3. นำค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัลที่ได้จากการคำนวณมาทำการวิเคราะห์ ค่าความแตกต่างโดยใช้ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อดูว่าความเร็วลมร้อน และอุณหภูมิลมร้อน เป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัล

4. จากนั้นนำค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัลที่คำนวณได้ในแต่ละการทดลอง มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัลกับตัวแปรที่มีผลต่อค่าคงที่การอบแห้งเอมไพริคัล ในรูปแบบสมการ เอ็กโพเนนเชียล ด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอย

3.5.4 การวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงาน

เป็นข้อมูลการใช้พลังงานที่ได้จากการทดลองในอุตสาหกรรม มาทำการวิเคราะห์ประเมินอัตราการใช้พลังงานและสมดุลพลังงาน ดังนี้

1. บันทึกอัตราการใช้พลังงานพร้อมกับทุกๆ ครั้งที่ทำการบันทึกน้ำหนักชิ้นงาน โดยใช้ kWh มิเตอร์

2. นำข้อมูลการใช้พลังงานที่ได้มาทำการวิเคราะห์ ประเมินอัตราการใช้พลังงานและสมดุลพลังงาน

3. คำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้ในระบบ สมการ (2.22)

4. นำค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งมาวิเคราะห์หาพลังงานที่ใช้ประโยชน์ สมการ (2.23) และพลังงานที่สูญเสีย สมการ (2.24)

5. ประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง สมการ (2.25)