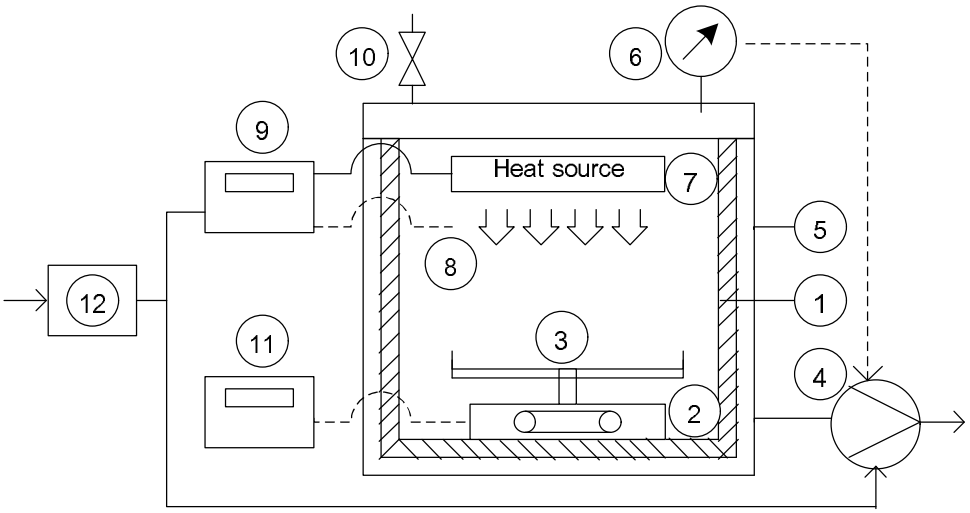
บทที่ 3
อุปกรณ์และการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์ และขั้นตอนวิธีการทดลองดังนี้

3.1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด

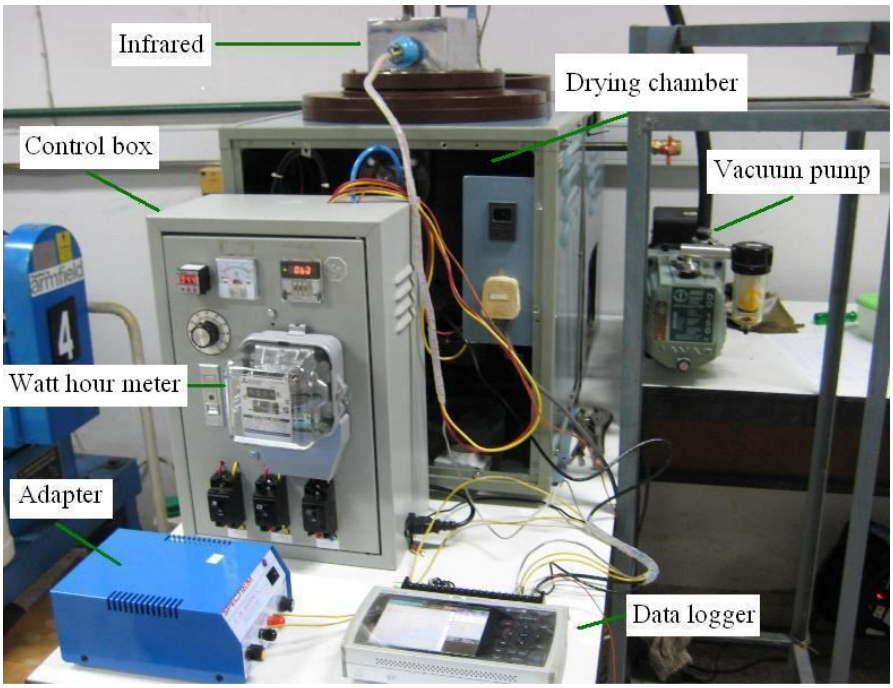


ภาพที่ 3.1 แบบจำลองเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด 1) ห้องอบแห้ง 2) เครื่องชั่งน้ำหนัก 3) ถาดรองผลิตภัณฑ์ 4) ปั๊มสุญญากาศ 5) ฉนวนความร้อน 6) ชุดควบคุมความดัน 7) หลอดรังสีอินฟราเรด 8) หัววัดอุณหภูมิ 9) ชุดควบคุมอุณหภูมิ 10) วาล์วปรับความดัน 11) ชุดบันทึกน้ำหนัก 12) กิโลวัตต์เอาว์-มิเตอร์

จากภาพที่ 3.1 แบบจำลองเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด โดยออกแบบให้ใช้หลอดรังสีอินฟราเรดขนาด 500 วัตต์ จำนวน 1 หลอด เป็นแหล่งความร้อน ติดไว้ด้านบนของถาดวางผลิตภัณฑ์ โดยมีชุดบันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ชุดวัดค่าความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า และชุดควบคุมสภาวะห้องอบแห้งให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

3.2 รายละเอียดอุปกรณ์และเครื่องมือวัด

ในการทดลองอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด มีเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ควบคุมสภาวะการอบแห้งให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด และทำการบันทึกข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์และวิจารณ์ผลการอบแห้ง ภาพที่ 3.2 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด มีอุปกรณ์และเครื่องมือหลักดังนี้



ภาพที่ 3.2 เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด

3.2.1 ห้องอบแห้ง (drying chamber) รูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 32 เซนติเมตร สูง 32 เซนติเมตร

3.2.2 ถาดวางผลิตภัณฑ์ (tray) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร

3.2.3 ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) ยี่ห้อ VACVA (double stage pump, 150 liter/min, 220-240 volt, 550 watt)

3.2.4 หลอดอินฟราเรด (infrared heater) ยี่ห้อ INFRAFARA, รุ่น D1-500, 500 Watt

3.2.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ TSCALE รุ่น NHB-3000 ความละเอียด 0.1 กรัม

3.2.6 เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ยี่ห้อ GRAPHTEC รุ่น GL800 (setting accuracy ±0.2% of full scale)

3.2.7 Load cell ยี่ห้อ TRANSCELL รุ่น FAD-5 (rate capacity 5 kg.)

3.2.8 หัววัดอุณหภูมิ (thermocouples) Type K (diameter 1 mm.)

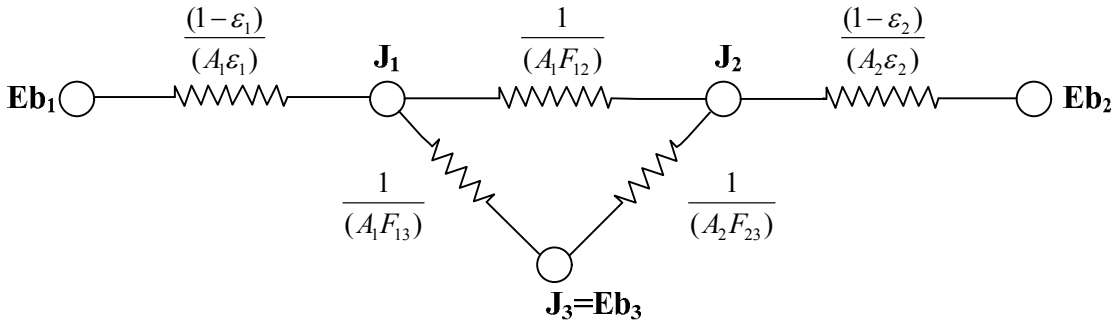
3.2.9 อุปกรณ์วัดและควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ HANYOUNG รุ่น DF4 (setting accuracy ±5% of full scale)

3.2.10 อุปกรณ์วัดและควบคุมความดัน ยี่ห้อ COPAL ELECTRONICS รุ่น PG-30, (gauge pressure type, rate pressure range -100~100 kPa, setting accuracy ±1% of full scale)

3.2.11 อุปกรณ์วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า (watt hour meter) ยี่ห้อ Mitsubishi Electric, 1,200 rev/kWh ความละเอียด 0.01 kWh

3.3 การคำนวณขนาดหลอดรังสีอินฟราเรด

การคำนวณหาขนาดหลอดรังสีอินฟราเรด มีข้อสมมติฐานคือ ห้องอบแห้งเปรียบเสมือน enclosure และมีพื้นผิวในการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี 3 พื้นผิว คือ แท่งรังสีอินฟราเรด 1 พื้นผิว วัสดุอบแห้ง 1 พื้นผิว และพื้นผิวห้องอบแห้ง 1 พื้นผิว สามารถเขียนแทนด้วยวงจรต้านทานการไหลของความร้อน แสดงดังภาพที่ 3.3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการแผ่รังสี ได้แก่ พลังงานจากการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว (emissive power, Eb_i) พลังงานรังสีที่ออกจากพื้นผิว (surface radiosity, J_i) ค่าการแผ่รังสี (emissivity, ε_i) และ shape factor (F_{ij}) โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนสุทธิที่ออกจากพื้นผิวหลอดรังสีอินฟราเรด มีค่าเท่ากับผลรวมของการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนระหว่างพื้นผิววัสดุอบแห้ง และพื้นผิวห้องอบแห้ง ข้อมูลการออกแบบมีดังนี้



ภาพที่ 3.3 วงจรต้านทานการไหลของความร้อน

พื้นผิวที่ 1 หลอดรังสีอินฟราเรด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่แผ่รังสี 0.125 m มีพื้นที่ (A_1) เท่ากับ 0.0123 m^2 ความยาวช่วงแผ่รังสี (projection) 0.5 m อุณหภูมิ T_1= 460^{o}C (733K) และค่าการแผ่รังสีความร้อน $\varepsilon_1 = 0.9$ (จากบริษัทผู้ผลิต)

พื้นผิวที่ 2 พื้นที่รับรังสีอินฟราเรด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 m มีพื้นที่ (A_2) เท่ากับ 0.0707 m^2 อุณหภูมิของวัสดุอบแห้ง กำหนดเป็นช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง T_1= 30 ^{o}C (303K) ค่าการแผ่รังสีความร้อน $\varepsilon_2 = 0.95$

พื้นผิวที่ 3 ห้องอบแห้งซึ่งสมมติให้เป็น enclosure รับความร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรด กำหนดอุณหภูมิห้องอบแห้ง T_1= 60 ^{o}C (333K)

จากคุณสมบัติและสมมติฐานดังกล่าว สามารถคำนวณขนาดหลอดรังสีอินฟราเรดได้ดังนี้

คำนวณหาค่า Shape factor (F_{ij}) เมื่อกำหนดระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับวัสดุอบแห้ง L=0.15 เมตร รัศมีพื้นที่แผ่รังสีอินฟราเรด R_1=0.0625 เมตร และรัศมีพื้นที่ถาดวางผลิตภัณฑ์ R_2=0.15 เมตร

$$\frac{R_2}{L} = \frac{0.15}{0.15} = 1 \tag{3.1}$$

$$\frac{L}{R_1} = \frac{0.15}{0.0625} = 2.4 \tag{3.2}$$

จากสมการที่ (3.1) และ (3.2) อ่านค่า Shape factor (F_{12}) ของพื้นที่ผิวที่ 1 ไปพื้นที่ผิวที่ 2 จากกราฟ Shape factor for coaxial parallel disks (Frank, 1990) ได้ค่าดังนี้

$$F_{12} = 0.47 \tag{3.3}$$

เมื่อ F_{11}= 0 จะได้ความสัมพันธ์ของค่า Shape factor (F_{13}) ของพื้นที่ผิวที่ 1 ไปพื้นที่ผิวที่ 3 ดังนี้

$$F_{13} = 1 - F_{12} \tag{3.4}$$

$$= 0.53$$

ความสัมพันธ์ของค่า Shape factor (F_{21}) ของพื้นที่ผิวที่ 2 ไปพื้นที่ผิวที่ 1 มีค่าดังนี้

$$F_{21} = \frac{A_1 F_{12}}{A_2} \tag{3.5}$$

$$= 0.08$$

เมื่อ F_{22}= 0 จะได้ความสัมพันธ์ของค่า Shape factor (F_{23}) ของพื้นที่ผิวที่ 2 ไปพื้นที่ผิวที่ 3 ดังนี้

$$F_{23} = 1 - F_{21} \tag{3.6}$$

$$= 0.92$$

คำนวณค่าพลังงานการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวหลอดอินฟราเรด (Eb_1) ที่อุณหภูมิ T_1=733K

$$Eb_1 = \sigma T_1^4 \tag{3.7}$$

$$= 5.67x10^{-8} x733^4$$

$$= 16,368.13 \ W/m^2$$

คำนวณค่าพลังงานการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิววัสดุอบแห้ง (Eb_2) ที่อุณหภูมิ T_1=303K

$$Eb_2 = \sigma T_2^4 \tag{3.8}$$

$$= 5.67x10^{-8} x303^4$$

$$= 477.92 \ W/m^2$$

คำนวณค่าพลังงานการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวห้องอบแห้ง (Eb_3) ที่อุณหภูมิ T_1=333K

$$Eb_3 = \sigma T_3^4 \tag{3.9}$$

$$= 5.67x10^{-8} x333^4$$

$$= 697.20 \ W/m^2$$

คำนวณหาค่าพลังงานรังสีที่ออกจากพื้นผิว (surface radiosity, J_i) โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิว จากวงจรต้านทานการไหลของความร้อน

ที่ node J_1 ได้สมการ

$$\frac{Eb_1 - J_1}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1}} + \frac{J_2 - J_1}{\frac{1}{F_{12}A_1}} + \frac{Eb_3 - J_1}{\frac{1}{F_{13}A_1}} = 0 \tag{3.10}$$

แทนค่าต่างๆ ในสมการ (3.10) จะได้

$$\frac{16,368.12 - J_1}{9.03} + \frac{J_2 - J_1}{172.98} + \frac{697.20 - J_1}{153.40} = 0$$

$$J_2 - 21.2837J_1 + 314,335.79 = 0 \tag{3.11}$$

ที่ node J_2 ได้สมการ

$$\frac{J_1 - J_2}{\frac{1}{F_{12}A_1}} + \frac{Eb_3 - J_2}{\frac{1}{F_{23}A_2}} + \frac{Eb_2 - J_2}{\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2 A_2}} = 0 \tag{3.12}$$

แทนค่าต่างๆ ในสมการ (3.12) จะได้

$$\frac{J_1 - J_2}{172.98} + \frac{697.20 - J_2}{15.37} + \frac{477.92 - J_2}{0.74} = 0$$

$$-246.0111J_2 + J_1 + 119,563.78 = 0 \qquad (3.13)$$

จากสมการ (3.11) และ (3.13) สามารถแก้สมการได้ค่าพลังงานรังสีที่ออกจากพื้นผิวดังนี้

$$J_1 = 14,794.51 \ \ W/m^2$$

$$J_2 = 546.15 \ \ W/m^2$$

คำนวณขนาดหลอดรังสีอินฟราเรด (Q_1)

$$Q_1 = \frac{Eb_1 - J_1}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1 A_1}} \qquad (3.14)$$

$$= 174.2 \ \ W$$

คำนวณความร้อนที่แผ่ออกจากหลอดรังสีอินฟราเรดไปยังวัสดุอบแห้ง (Q_{12})

$$Q_{12} = \frac{J_1 - J_2}{\frac{1}{F_{12} A_1}} \qquad (3.15)$$

$$= 82.37 \ \ W$$

คำนวณความร้อนที่แผ่ออกจากหลอดรังสีอินฟราเรดไปยังผนังห้องอบแห้ง (Q_{13})

$$Q_{13} = \frac{J_1 - Eb_3}{\frac{1}{F_{13}A_1}} \tag{3.16}$$

$$= 91.9 \ W$$

จากขนาดของหลอดรังสีอินฟราเรดที่คำนวณได้เท่ากับ 174.2 W เลือกหลอดรังสีอินฟราเรดที่มีขายเชิงพาณิชย์ ขนาด 500 W ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่แผ่รังสี 0.125 m ช่วงการแผ่รังสี (projection) 0.5 m

3.4 การทดลองและการเก็บข้อมูล

3.4.1 การเตรียมวัสดุอบแห้ง

3.4.1.1 กรณีอบแห้งขิง ขิงที่ใช้ในการทดลองมีอายุประมาณ 10 เดือน โดยนำมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร และใช้เครื่องหั่นตามขวางให้ได้ความหนาประมาณ 0.2 เซนติเมตร ทำการอบแห้งที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 990-1020 % d.b. อบจนกระทั่งน้ำหนักของขิงคงที่

3.4.1.2 กรณีอบแห้งหญ้าปักกิ่ง หญ้าปักกิ่งที่ใช้ในการทดลองมีอายุประมาณ 2-3 เดือน นำมาล้างทำความสะอาด แล้วตัดให้ได้ขนาดความยาว 1 เซนติเมตร ทำการอบแห้งที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 1200 % d.b. อบจนกระทั่งน้ำหนักของหญ้าปักกิ่งคงที่

3.4.1.3 กรณีอบแห้งบอระเพ็ด โดยเลือกส่วนเถาบอระเพ็ดเฉพาะส่วนกลางเถาที่มีสีน้ำตาลอมเขียว เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร นำมาล้างด้วยน้ำสะอาด และหั่นตามขวางให้มีความหนา 3 มิลลิเมตร แล้วทำการอบแห้งบอระเพ็ดที่มีความชื้นเริ่มต้น 450-500 % d.b. ทำการอบจนกระทั่งน้ำหนักของบอระเพ็ดคงที่

3.4.2 วิธีการทดลองและการเก็บข้อมูล

3.4.2.1 สภาวะการอบแห้ง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้ง ได้แก่ ผลของอุณหภูมิห้องอบแห้ง ผลของความดันสุญญากาศ

3.4.2.2 การหาค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์

การหาความชื้นของผลิตภัณฑ์ทำได้โดยเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ก่อนอบและหลังอบแห้งมาชั่งน้ำหนัก และนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103 ºC โดยใช้ระยะเวลาอบ 72 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำออกจากตู้อบและใส่ไว้ในเดสิเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมาชั่งอีกครั้ง นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความชื้น

3.4.2.3 ขั้นตอนการอบแห้ง มีขั้นตอนดังนี้

(1) ทำความสะอาดห้องอบแห้ง และตรวจสอบความพร้อมของเครื่องและอุปกณ์เครื่องมือวัด

(2) นำวัสดุอบแห้งที่เตรียมไว้ มาชั่งน้ำหนักเริ่มต้น และวางเรียงในถาดอบแห้งโดยไม่ให้ซ้อนทับกัน

(3) ตั้งค่าอุณหภูมิห้องอบแห้งที่ 40 ºC และตั้งค่าการบันทึกน้ำหนักวัสดุอบแห้งทุก 1 นาที

(4) เปิดสวิทช์ปั๊มสุญญากาศ และปรับความดันที่ 15 kPa

(5) เปิดสวิทช์หลอดรังสีอินฟราเรด

(6) ทำการอบแห้งจนกระทั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์คงที่ แล้วหยุดการทำงานเครื่องอบแห้ง

(7) บันทึกน้ำหนักหลังอบแห้งด้วยเครื่องชั่ง และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งจากกิโลวัตต์เอาว์มิเตอร์

(8) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

(9) ทำการทดลองในลักษณะเดิม ที่สภาวะห้องอบแห้งอื่นต่อไป