บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับการดำเนินโครงการวิจัยนี้ได้ใช้ เครื่องมือ อุปกรณ์และวัสดุสำหรับการวัด และทดสอบมีรายการดังต่อไปนี้

1. เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่ทำดำเนินการออกแบบและสร้างขึ้น ดังมีรายละเอียดแสดงในหัวข้อวิธีการ

2. ตู้อบหาความชื้นแบบลมร้อน (Hot air oven) ใช้สำหรับอบชิ้นตัวอย่างเพื่อหาความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้าย

3. เครื่องหาความชื้นแบบอินฟราเรด

4. อุปกรณ์วัดความเร็วลม (Hot wire anemometer) ยี่ห้อ Dwyer รุ่น 471 ใช้สำหรับวัดความเร็วลมของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งและความเร็วในท่อ Bypass

5. เครื่องวัดอุณหภูมิใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศอบแห้งที่ตำแหน่งต่างๆ รวมทั้งอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์อบแห้งและระบบปั๊มความร้อน

6. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ความละเอียด 0.01 กรัมสำหรับชั่งน้ำหนักวัสดุอบแห้ง

7. อุปกรณ์วัดความดัน (Pressure gage) ใช้สำหรับวัดความดันของสารทำความเย็นในระบบปั๊มความร้อน

8. คลิปแอมป์ (Clip amp) ยี่ห้อ ITT Instrument รุ่น MX 200 ใช้สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่เครื่องอัดไอ

9. อุปกรณ์วัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour meter) ใช้วัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองอบแห้ง

10. นาฬิกาจับเวลา

11. แครอท หอมสับ และข้าวโพดหวานใช้เป็นวัสดุตัวอย่างในการอบแห้ง

3.2 วิธีการ

3.2.1 การออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน

เนื่องจากเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนประกอบไปด้วยส่วนประกอบสองส่วนหลักคือ ส่วนของห้องอบแห้งและส่วนระบบปั๊มความร้อนที่สัมพันธ์กัน การออกแบบดำเนินการดังนี้

1. ขนาดห้องอบแห้ง

การออกแบบเครื่องอบแห้งได้กระทำบนขอบเขตของงานวิจัยที่กำหนดไว้ว่าปริมาตรส่วนของห้องอบแห้งมีขนาด 400 ลิตรหรือ $0.4\ m^3$ ซึ่งจากข้อกำหนดดังกล่าว ได้นำมาเป็นเงื่อนไขในการออกแบบขนาดห้องอบแห้งโดยเริ่มการคำนวณจาก การกำหนดขนาดของถาดใส่วัสดุขนาด 50 cm × 60 cm เพื่อให้ผู้ปฏิบัติการทดสอบสามารถทำงานได้สะดวก

จากความกว้างและลึกของถาดได้ทำการเผื่อระยะห่างระหว่างผนังด้านข้างออกจากส่วนที่วางชั้นถาดข้างละ 10 cm และเผื่อระยะด้านหน้าและด้านท้ายอีกข้างละ 5 cm ดังนั้นในส่วนของห้องอบแห้งจึงมีขนาด กว้าง × ลึก คือ 70 cm × 70 cm ดังนั้นจึงสามารถหาส่วนสูงของห้องอบแห้งได้ดังนี้

$$H(m) = \frac{V}{A} = \frac{0.4\ m^3}{0.7\ m \times 0.7\ m} = 0.816\ m$$

เลือกใช้ความสูงของห้องอบ 85 cm

ดังนั้นห้องอบแห้งมีขนาด กว้าง × ลึก × สูง คือ 70 cm × 70 cm × 85 cm

2. *ออกแบบชั้นถาดวางวัสดุ*

จำนวนถาดที่ใส่ผลิตภัณฑ์อบแห้งหาได้จากข้อกำหนดเบื้องต้นดังนี้

1. กำหนดให้ถาดเป็นแบบมีขอบสูง 1 cm และระยะห่างจากของถึงก้นถาดชั้นถัดไป 5 cm ดังนั้น ระยะห่างรวมระหว่างคือ 6 cm

2. จากความสูงของห้องอบแห้ง เผื่อระยะจากถาดชั้นบนสุดถึงผนังด้านบนห้องอบแห้งไว้ 15 cm และจากก้นถาดด้านล่างถึงผนังด้านล่างห้องอบแห้ง 10 cm

ดังนั้นจำนวนชั้นถาดหาได้ดังนี้

กำหนดให้ n คือ จำนวนช่องว่างระหว่างชั้นถาด

x คือระยะห่างระหว่างชั้นถาด (cm)

t คือระยะห่างจากถาดชั้นบนถึงผนังด้านบนของห้องอบแห้ง (cm)

b คือระยะห่างจากก้นถาดชั้นล่างถึงผนังด้านล่างของห้องอบแห้ง (cm)

h คือความสูงของห้องอบแห้ง (cm)

สามารถสร้างสมการเพื่อใช้ในการคำนวณหาจำนวนชั้นถาดได้ดังนี้

$$xn + t + b = h$$

แทนค่าตัวแปรที่รู้ค่าจะได้

$$6n + 15 + 10 = 85$$

$$6n = 60$$

$$n = 10$$

นั่นคือจำนวนช่องว่างระหว่างชั้นถาด คือ 10 ช่อง หรือมีจำนวนชั้นถาด 11 ชั้น แต่เนื่องจากชั้นถาดมีความหนาและต้องสร้างครีบเพื่อวางชั้นถาดด้วย จึงเลือกใช้ถาดจำนวน 10 ชั้น

3. ปริมาณตัวอย่างที่ใช้สำหรับทดลองอบแห้ง

ได้ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาค่า bulk density ของ แครอท สดพบว่าที่ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 88 %wb. มีค่า bilk density 410 kg/m^3 และหอมสดสับที่ความชื้น 95 %wb. มีค่า bulk density คือ 205 kg/m^3 หากกำหนดให้การอบแห้งเป็นแบบชั้นบาง โดยให้ความหนาของการบรรจุ

ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีความสูง 0.8 เท่าของความสูงขอบถาดจะสามารถหาปริมาณของผลิตภัณฑ์สดที่จะนำมาอบแห้งได้ดังนี้

สำหรับแครอท

ปริมาณแครอทใน 1 ถาด $= 410\frac{kg}{m^3} \times 0.5\,m \times 0.6\,m \times 0.008\,m$

$= 0.984$ kg

ดังนั้น 10 ถาดใช้แครอท $= 0.984kg \times 10$

$= 9.84$ kg

นั่นคือใช้ตัวอย่างแครอทสดหั่นประมาณ 10 กิโลกรัมในการทดลองอบแห้ง 1 ครั้ง

สำหรับหอมสับ

ปริมาณหอมสับใน 1 ถาด $= 205\frac{kg}{m^3} \times 0.5m \times 0.6m \times 0.008m$

$= 0.492$ kg

ดังนั้น 10 ถาดใช้ตัวอย่างหอมสับ $= 4.92$ kg

นั่นคือในการทดลองอบแห้ง 1 ครั้งใช้ตัวอย่างหอมสับประมาณ 5 กิโลกรัม

4. *ออกแบบระบบปั๊มความร้อน*

เนื่องจากแครอทมีลักษณะโครงสร้างในการถ่ายเทความชื้นออกจากตัววัสดุที่ยากกว่าใบหอมสับดังนั้นในการออกแบบจึงเลือกใช้แครอทเป็นผลิตภัณฑ์หลักในการคำนวณออกแบบขนาดของชุดระบบปั๊มความร้อน โดยพิจารณาการอบแห้งแครอทภายได้เงื่อนไขดังนี้

ความชื้นเริ่มต้น	88 %wb. หรือ 733.33 %db.
ปริมาณเริ่มต้น	10 kg
ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ	14 %db

ดังนั้นต้องระเหยน้ำออกจากแครอท หาได้จากสมการ

$$m_w = m_d(M_{di} - M_{df})$$

เมื่อ m_w คือปริมาณน้ำที่ระเหย (kg_{water})

m_d คือปริมาณมวลแห้งปราศจากน้ำ ($kg_{dry\ solid}$)

M_{di} คือความชื้นเริ่มต้น (decimal, $kg_{water}/kg_{dry\ solid}$)

M_{df} คือความชื้นสุดท้าย (decimal, $kg_{water}/kg_{dry\ solid}$)

แทนค่าต่างๆ ลงในสมการ จะได้

$$m_w = \frac{10\ kg}{1+7.33}(7.33-0.14) = 8.63\ kg$$

หากใช้เวลาในการระเหยน้ำอิสระ 4 ชั่วโมง จะได้อัตราการอบแห้งคือ 2.1575 kg/h ซึ่งจากอัตราการระเหยน้ำนี้นำไปหาอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งโดยวิธีการทางไซโครเมตริก โดยมีกระบวนการต่างๆ ดังนี้

1. กระบวนการเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศ โดยกำหนดให้อากาศขาเข้าเริ่มต้นคือ 32 °C, 80%rh (สภาวะอากาศเฉลี่ยของนครราชสีมา) เป็น 50°C

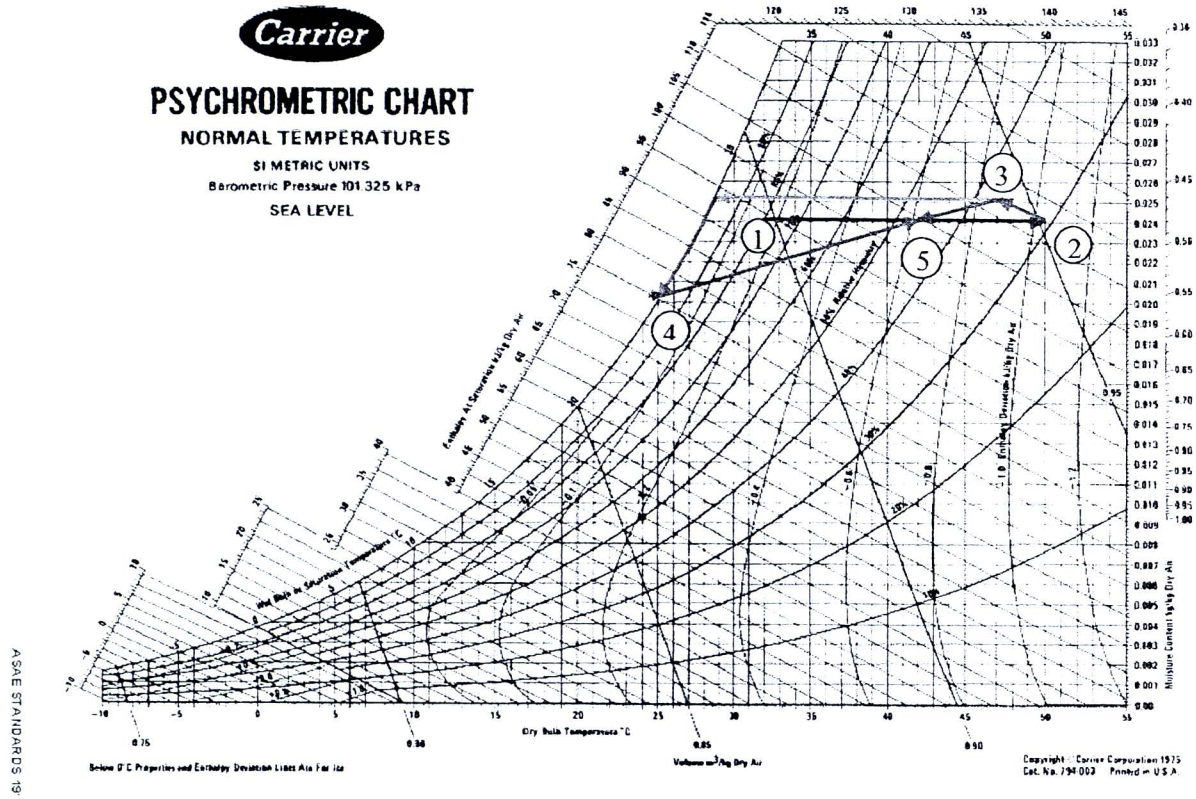
2. กระบวนการอบแห้ง โดยกำหนดให้อากาศอบแห้งออกจากเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิ 47 °C

3. กระบวนการลดความชื้นอากาศโดยอากาศขาออกจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 นำมาลดความชื้นที่เครื่องทำระเหย โดยกำหนดให้อุณหภูมิของอากาศที่ออกจาเครื่องทำระเหยมีค่า 25 °C

4. กระบวนการผสมอากาศอากาศส่วนที่ 1 ซึ่งผ่านการลดความชื้นแล้วจะถูกนำมาผสมกับอากาศขาออกจากห้องอบแห้งส่วนที่เหลือ

5. กระบวนการเพิ่มอุณหภูมิอากาศ สภาวะอากาศผสมเป็นอากาศอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C

กระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นแสดงได้ด้วยภาพที่ 3.1



<u>ภาพที่ 3.1</u> กระบวนการบนไซโครเมตริกซ์ เพื่อใช้ในการออกแบบระบบการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

- จากแผนภาพไซโครเมตริกซ์ ที่สภาวะ 32 °C , 80% rh จะหาค่าอัตราส่วนความชื้นได้ 0.0241 $kg_{water}/kg_{fry\ air}$
- อัตราส่วนความชื้นอากาศขาออกจากห้องอบแห้ง 0.0252 $kg_{water}/kg_{fry\ air}$
- หากต้องการอัตราการระเหยน้ำ 2.16 kg_{water}/h จะได้ว่า

$$2.16\frac{kg_{water}}{h} = \dot{m}_a(0.0252-0.0241)\frac{kg_{water}}{kg_{dryair}}$$

$$\dot{m}_a = 1{,}963.64\frac{kg_{dryair}}{h} = 0.545\frac{kg_{dryair}}{s}$$

สมยศและเทวรัตน์ (2546) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาอัตราส่วนอากาศ ข้ามเครื่องทำระเหย (bypass air) ที่เหมาะสมพบว่า อัตราส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหยะ 80% จะให้

ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดดังนั้นในการออกแบบครั้งนี้จึงใช้สภาวะอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80%

ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศผ่านเครื่องทำระเหยมีค่า ดังนี้

$$\dot{m}_{a,evap} = 0.545 \frac{kg_{dryair}}{s}(1-0.8) = 0.109 \frac{kg_{dryair}}{s}$$

เมื่อต้องการให้อุณหภูมิอากาศผ่านเครื่องทำระเหยมีอุณหภูมิ 25 °C ซึ่งมีคุณสมบัติของอากาศดังนี้ ค่าอัตราส่วนความชื้น 0.0201 kg_{water}/kg_{dryair} ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง (C_a) คือ 1.0069 kJ/(kg_{dryair}°C) และ ค่าความจุความร้อนของไอน้ำ (C_v) คือ 1.5524 kJ/(kg_{water}°C) แล้วจะได้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องทำระเหยคือ

$$Q_e = \dot{m}_{a,evap}\left[(Ca + C_v H_f)T_{ei} + H_f h_{fg}\right] - \dot{m}_{a.evap}\left[(C_a + C_v H_{eo})T_{eo} + H_{eo} h_{fg}\right]$$

$$= 0.109 \frac{kg_{dryair}}{s}\left[\left(1.0069 \frac{kJ}{kg_{dryair}{}^{o}C} + (1.5524 \frac{kJ}{kg_{water}{}^{o}C})(0.0252 \frac{kg_{water}}{kg_{dryair}})\right)47^{o}C + (0.0252 \frac{kg_{water}}{kg_{dryair}})(2388.5 \frac{kJ}{kg_{water}})\right]$$

$$- 0.109 \frac{kg_{dryair}}{s}\left[\left(1.0069 \frac{kJ}{kg_{dryair}{}^{o}C} + (1.5524 \frac{kJ}{kg_{water}{}^{o}C})(0.0201 \frac{kg_{water}}{kg_{dryair}})\right)45^{o}C + (0.0201 \frac{kg_{water}}{kg_{dryair}})(2443.19 \frac{kJ}{kg_{water}})\right]$$

= 3.74 kW

เพื่อให้เหมาะสมกับเครื่องอัดไอที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ จึงเลือกเครื่องทำระเหยที่มีขนาด 4.07 kW (13900 BTU/h) ซึ่งใช้กับเครื่องอัดไอแบบลูกสูบสำหรับสารทำความเย็น R-22 ขนาด 1.25 hp

สำหรับการคำนวณหาขนาดของเครื่องควบแน่น (Condenser) สามารถหาได้จากสมการ

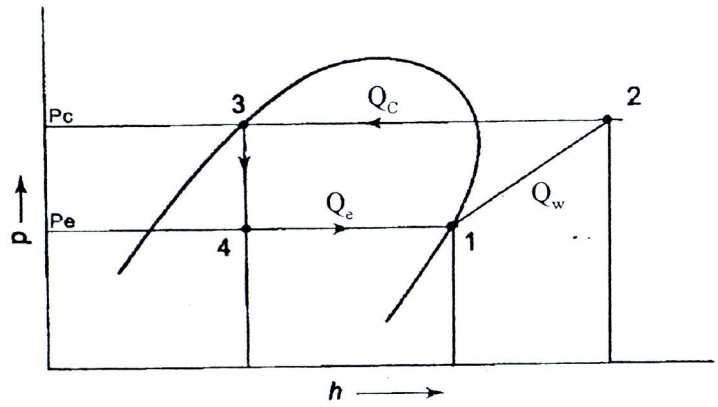
$$Q_C = \dot{m}_{a.cond}\left[C_a + C_v H_{mix}\right](T_{co} - T_{ci})$$

$$= 0.545 \frac{kg_{dryair}}{s}\left[1.0069 \frac{kJ}{kg_{dryair}{}^{o}C} + (1.5524 \frac{kJ}{kg_{water}{}^{o}C})(0.0241 \frac{kg_{water}}{kg_{dryair}})\right](50-42)^{o}C$$

$= 4.55$ kW

ซึ่งจากขนาดของเครื่องทำระเหย เครื่องควบแน่นและเครื่องอัดไอ เมื่อพิจารณา แผนภาพ p-h ของระบบการทำความเย็นแบบอัดไอดังแสดงในภาพที่ 3. 2 จะได้ว่าเมื่อระบบอยู่ในภาวะสมดุลจะได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Q_c) มีค่าเท่ากับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องทำระเหย (Q_e) รวมกับกำลังที่ต้องป้อนให้เครื่องอัดไอ (Q_w) เขียนเป็นสมการ (3.1) คือ

$$Q_c = Q_e + Q_w \tag{3.1}$$



ภาพที่ 3.2 วัฏจักรการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอบน p-h ไดอะแกรม

จากสมการ (3.1) เมื่อแทนค่าขนาดของเครื่องทำระเหยและเครื่องอัดไอที่เลือกไว้ จะได้

$$Q_c = 4.07 \text{ kW} + 0.93 \text{ kW}$$

$$= 5 \text{ kW}$$

เนื่องจากค่าความร้อนที่ต้องการในระบบมีค่าน้อยกว่าปริมาณความร้อนที่ต้อระบายออกจากเครื่องควบแน่นดังนั้นจึงต้องมีเครื่องควบแน่นตัวนอกมาช่วยในการระบายความร้อนส่วนเกินออกจากเครื่องควบแน่นตัวในโดยขนาดของเครื่องควบแน่นตัวนอกหาได้ดังนี้

$$Q_{c,ext} = Q_c - Q_{c.in} \tag{3.2}$$

$$= 5\,\text{kW} - 4.55\,\text{kW}$$

$$= 0.45 \quad \text{kW}$$

เมื่อ $Q_{c,ext}$ คืออัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นตัวนอก (kW)

$Q_{c,in}$ คืออัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่นตัวใน (kW)

5. ขนาดพัดลมในระบบ

การคำนวณหาขนาดพัดลม สามารถหาได้จากการพิจารณาความดันสูญเสียและอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ ดังนี้

$$W_f = \frac{\dot{m}\Delta P}{\eta_f \eta_m} \tag{3.3}$$

เมื่อ W_f คือกำลังที่ให้กับพัดลม (W)

ΔP คือความดันลดในระบบ (Pa)

$\dot{m}$ คืออัตราการไหลของอากาศอบแห้ง (m^3/s)

η_f คือประสิทธิภาพของพัดลม

η_m คือประสิทธิภาพมอเตอร์

ดังนั้นจากการคำนวณความดันลดของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนในภาคผนวก ก จะได้ค่าความดันลดในระบบรวม 666 Pa และอัตราการไหลที่ต้องการคือ 0.51 m^3/s ดังนั้น กำลังที่ให้กับพัดลมสำหรับเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนนี้คือ

$$W_f = \frac{(0.51\,\text{m}^3/\text{s})(666\,\text{Pa})}{(0.65)(0.80)}$$

$$= 653.2\,\text{W}$$

ดังนั้นจึงสามารถเลือกซื้อพัดลมที่มีขายในเชิงพาณิชย์ ที่มีขนาดพิกัดมอเตอร์ 350 W จำนวน 2 ตัว

เมื่อได้ขนาดอุปกรณ์ของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนทั้งหมดแล้วจึงดำเนินการสร้างเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนดังแสดงในภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.3 เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่สร้างขึ้น

3.2.2 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน

การทดสอบการอบแห้งเพื่อประเมินสมรรถนะการอบแห้งของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่สร้างขึ้นจะใช้วัสดุในการอบแห้งเป็น แครอท และหอมสับ เนื่องจากวัสดุทั้งสองชนิดเป็นวัสดุที่มีลักษณะสีที่ปรากฏดึงดูดต่อผู้บริโภค และยังเป็นผักที่นิยมใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปโดยทั่วไปด้วย

<u>การทดลองอบแห้งแครอท</u>

สำหรับการทดลองอบแห้งแครอทจะทำการอบแห้งแครอทสดที่ผ่านกระบวนการปอกเปลือกและหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 1 x 1 x 0.5 cm^3 จำนวนครั้งละ 10 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิการอบแห้ง 45 50 และ 55 °C โดยทำการอบแห้งที่อุณหภูมิละ 3 ซ้ำ ในระหว่างทำการ

อบแห้งจะบันทึกข้อมูลทุกๆ 60 นาที และ อบแห้งจนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 12 %wb ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1. นำหัวแครอทสดมาทำการปอกเปลือกทำความสะอาด แล้วหั่นเป็นชิ้นสี่เหลี่ยม ขนาด กว้าง x ยาว x หนา เฉลี่ยโดยประมาณคือ 1 cm. x 1 cm. x 0.5 cm

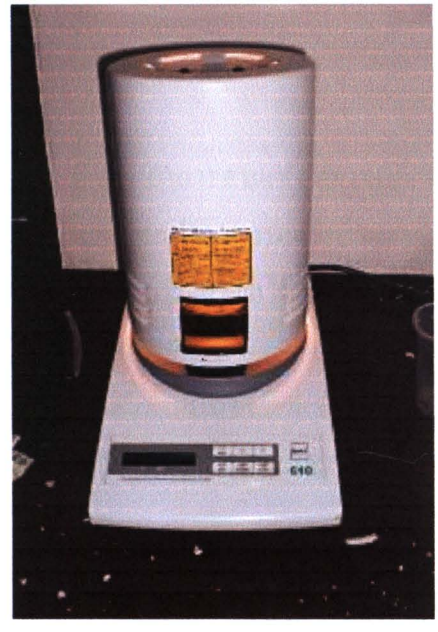
2. นำแครอทที่ผ่านกระบวนการหั่นแล้วมาเรียงใส่ถาดทั้ง 10 ถาด ให้มีลักษณะการอบแห้งเป็นแบบชั้นบาง

3. สุ่มหยิบตัวอย่างแครอทไปทำการหาความชื้นเริ่มต้นด้วย hot air oven ที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนำตัวอย่างอีกส่วนหนึ่งไปหาความชื้นเริ่มต้นด้วยเครื่องหาความชื้นแบบอินฟราเรด (ภาพที่ 3.4) นำค่าทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนความชื้นเริ่มต้นของแครอททั้งหมด

4. นำแครอทส่วนหนึ่งมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้น และบรรจุในถุงผ้าตาข่ายจำนวน 5 ใบเพื่อติดตามการลดลงของความชื้นแครอทในระหว่างการอบแห้ง

5. นำแครอททั้ง 10 ถาดเข้าห้องอบแห้ง พร้อมทั้งนำถุงผ้าตาข่ายที่บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นแล้วทั้ง 5 ใบ วางบนถาดแครอทในลักษณะถาดเว้นถาด (ภาพที่ 3.5)

6. ทำการเก็บข้อมูลการอบแห้งทุก ๆ 60 นาที จนได้ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการจึงทำการยุติการทดลอง



ภาพที่ 3.4 เครื่องหาความชื้นแบบอินฟราเรด

ภาพที่ 3.5 ลักษณะการจัดเรียงแครอทและถุงผ้าตาข่าย

<u>การทดลองอบแห้งหอมสับ</u>

ในการทดลองอบแห้งหอมสับจะทำการอบแห้งหอมแบ่งสับจำนวนครั้งละ 5 กิโลกรัมที่อุณหภูมิการอบแห้ง 45 50 และ 55 °C โดยทำการอบแห้งที่อุณหภูมิละ 3 ซ้ำ ในระหว่างทำการอบแห้งจะบันทึกข้อมูลทุกๆ 60 นาที และ อบแห้งจนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 12 %wb ซึ่งเป็นความชื้นที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยมีขั้นตอนในการทดลองดังนี้

1. ทำความสะอาดต้นหอมสด แล้วหั่นเป็นชิ้นตามยาว เฉลี่ยโดยประมาณ 0.5 cm.

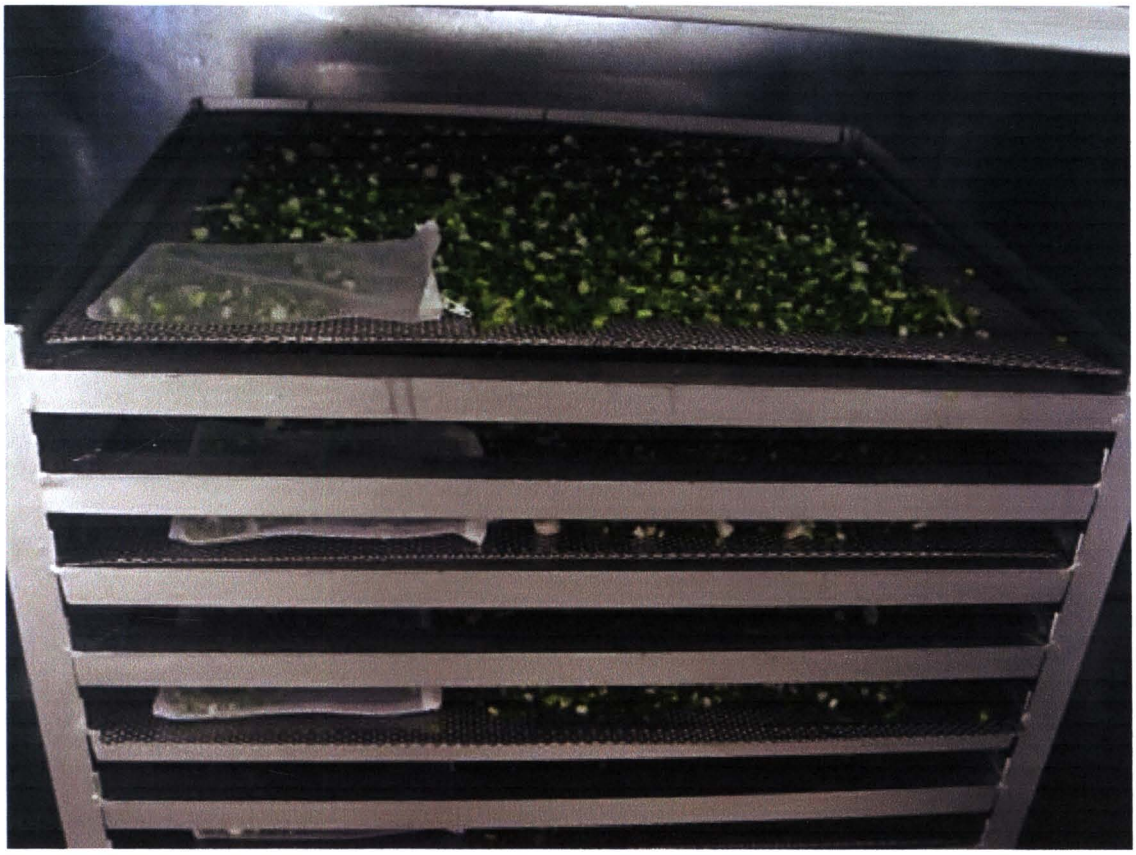
2. นำหอมสดที่ผ่านกระบวนการหั่นแล้วมาเรียงใส่ถาดทั้ง 10 ถาด ให้มีลักษณะการอบแห้งเป็นแบบชั้นบาง

3. สุ่มหยิบตัวอย่างหอมสับไปทำการหาความชื้นเริ่มต้นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนำตัวอย่างอีกส่วนหนึ่งไปหาความชื้นเริ่มต้นด้วยเครื่องหาความชื้นแบบอินฟราเรด นำค่าทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนความชื้นเริ่มต้นของหอมสับ

4. นำหอมสับอีกส่วนหนึ่งมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้น และบรรจุในถุงผ้าตาข่ายจำนวน 5 ใบเพื่อติดตามการลดลงของความชื้นหอมสับในระหว่างการอบแห้ง

5. นำหอมสับทั้ง 10 ถาดเข้าห้องอบแห้ง พร้อมทั้งนำถุงผ้าตาข่ายที่บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นแล้วทั้ง 5 ใบ วางบนถาดหอมสับในลักษณะถาดเว้นถาด (ภาพที่ 3.6)

6. ทำการเก็บข้อมูลการอบแห้งทุก ๆ 60 นาที จนได้ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการจึงทำการยุติการทดลอง



ภาพที่ 3.6 ลักษณะการจัดเรียงหอมสับและถุงผ้าตาข่าย

<u>การทดลองอบแห้งข้าวโพดหวาน</u>

ในการทดลองอบแห้งข้าวโพดหวานได้แบ่งข้าวโพดออกเป็น 2 กลุ่มคือข้าวโพดหวานที่ผ่านการทำให้สุกโดยการนึ่ง และข้าวโพดหวานดิบ โดยในการทดสอบอบแห้งข้าวโพดหวานได้ทำการทดสอบที่อุณหภูมิอบแห้งที่ 50 °C โดยทำการทดลองที่สภาวะละ 3 ซ้ำ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำข้าวโพดหวานที่ผ่านการนึ่งให้สุกมาผ่านเอาเฉพาะเมล็ด โดยการผ่านจะทำให้ติดกับแกนซังมากที่สุด โดยเตรียมตัวอย่างให้ได้จำนวน 10 กิโลกรัมในการทดลองแต่ละครั้ง

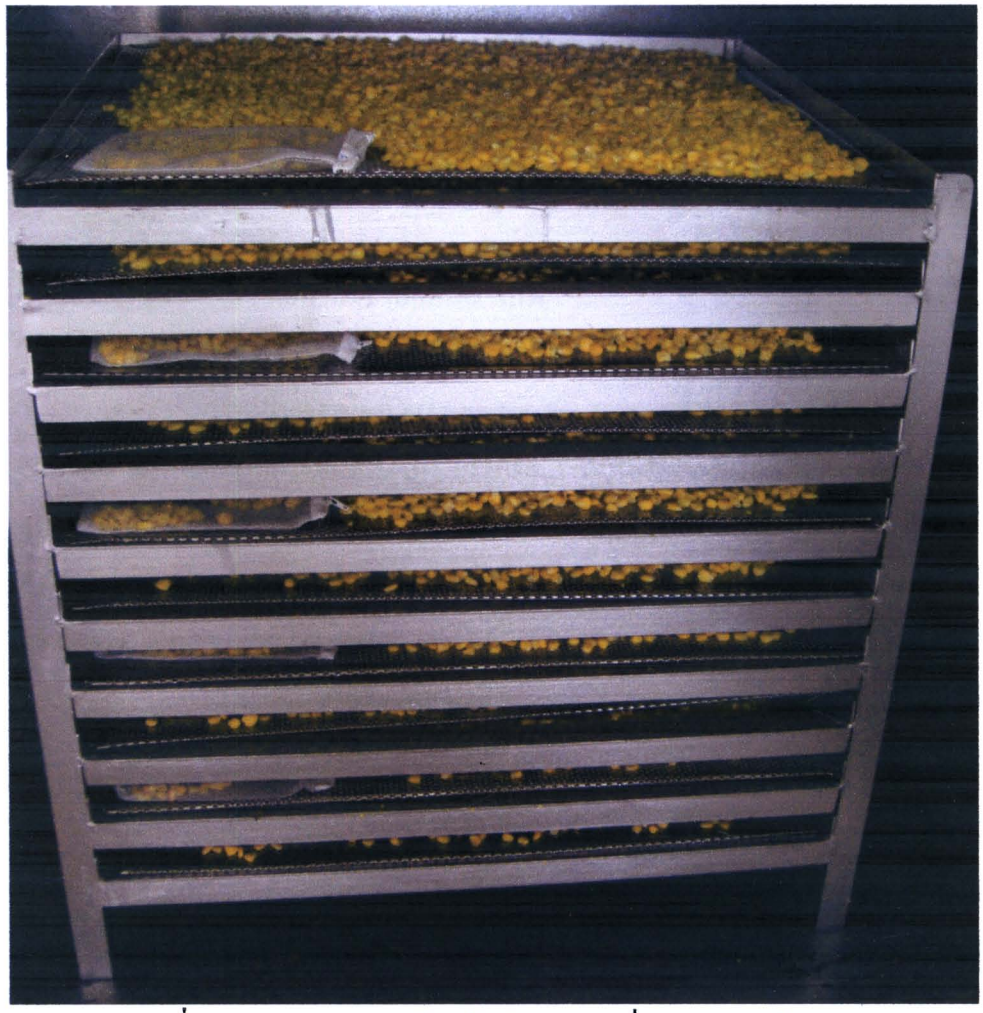
2. นำเมล็ดข้าวโพดหวานที่ได้จากข้อ 1. แล้วมาเรียงใส่ถาดทั้ง 10 ถาด ให้มีลักษณะการอบแห้งเป็นแบบชั้นบาง

3. สุ่มหยิบตัวอย่างข้าวโพดหวานนึ่งสุกไปทำการหาความชื้นเริ่มต้นด้วย hot air oven ที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนำตัวอย่างอีกส่วนหนึ่งไปหาความชื้นเริ่มต้นด้วยเครื่องหาความชื้นแบบอินฟราเรด นำค่าทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนความชื้นเริ่มต้นของข้าวโพดหวานนึ่งสุก

4. นำข้าวโพดหวานอีกส่วนหนึ่งมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้น และบรรจุในถุงผ้าตาข่ายจำนวน 5 ใบ เพื่อติดตามการลดลงของความชื้นข้าวโพดหวานในระหว่างการอบแห้ง

5. ข้าวโพดหวานที่จัดเรียงไว้ทั้ง 10 ถาดเข้าห้องอบแห้ง พร้อมทั้งนำถุงผ้าตาข่ายที่บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นแล้วทั้ง 5 ใบ วางบนถาดข้าวโพดหวานในลักษณะถาดเว้นถาด (ภาพที่ 3.7)

6. ทำการเก็บข้อมูลการอบแห้งทุก ๆ 60 นาที จนได้ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการจึงทำการยุติการทดลอง



ภาพที่ 3.7 ลักษณะการจัดเรียงข้าวโพดหวานนึ่งสุกและถุงผ้าตาข่าย

7. สำหรับกรณีของข้าวโพดหวานดิบกระทำเช่นเดียวกับขั้นตอน 1-6

3.2.3 การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์

<u>การตรวจสอบคุณภาพด้านสี</u>

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สดและผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน ได้ถูกนำไปตรวจสอบคุณภาพสีโดยแบ่งออกเป็นการตรวจสอบคุณภาพสีของแครอทและหอมสับอบแห้ง กระทำโดยการส่งตัวอย่างไปตรวจด้วยเครื่อง HunterLab Spectrophotometer ColorQuest XE ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งการส่งตัวอย่างตรวจสอบจะต้องเสียค่าบริการ ส่วนผลิตภัณฑ์ข้าวโพดหวานได้ทำการตรวจสอบด้วยเครื่องวัดสี Minota cr300 เนื่องจากไม่เสียค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องและตรวจสอบ

ข้อมูลด้านสีของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้จะถูกนำมาคำนวณ ค่าความแตกต่างสีสุทธิ (ΔE) จากผลิตภัณฑ์สด เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงสีจากการอบแห้งดังนี้

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \qquad (3.4)$$

เมื่อ ตัวห้อย "0" คือค่าสีของผลิตภัณฑ์สด

<u>**การตรวจสอบอัตราส่วนการคืนตัว (Rehydration Ratio, RR)**</u>

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งได้นำมาทำการทดสอบการคืนตัวดังนี้

1. นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์อบแห้งมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้น

2. นำตัวอย่างที่ผ่านการชั่งน้ำหนักเริ่มต้นแล้วแช่ลงในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 $^{\circ}$C ซึ่งควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องให้ความร้อน (hot plate)

3. ทุกๆ ช่วงเวลา 2 นาทีตัวอย่างจะถูกนำขึ้นจากน้ำร้อน ทำการซับน้ำส่วนเกินให้แห้ง แล้วทำการชั่งน้ำหนัก เป็นเวลา 10 นาที

4. คำนวณหาค่าอัตราส่วนการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ จากสมาการ 3.5 (ภารดรและคณะ, 2552)

$$RR = \frac{m_f}{m_i} \qquad \text{..... (3.5)}$$

เมื่อ m_i คือน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ก่อนการคืนตัว (g)

m_f คือน้ำหนักของผลิตภัณฑ์หลังการคืนตัว (g)