

บทที่ 3

การออกแบบเครื่องอบแห้งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

เครื่องอบแห้งลำไยที่ใช้ในห้องปฏิบัติการวิจัยนี้เป็นเครื่องต้นแบบ และใช้ในการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรต่างๆ โดยใช้ฮีตเตอร์เป็นตัวให้ความร้อนและพัดลมในเป่าลมร้อน

3.1 เงื่อนไขในการออกแบบเครื่องอบแห้ง

การออกแบบเครื่องอบแห้งที่ใช้ในห้องปฏิบัติการจะมีการเคลื่อนที่ของลมร้อนจากด้านล่างสู่ด้านบน โดยข้อกำหนดเพื่อการออกแบบมีดังนี้ คือ ใช้ลำไยเป็นวัสดุอ้างอิงในการออกแบบปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ซอบแห้งมีความหนาไม่เกิน 60cm ใยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 cm ปริมาณลำไยที่ใช้ในการออกแบบไม่เกิน 60 kg อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 25 °C อากาศร้อนก่อนเข้าสู่อบแห้งสามารถที่อุณหภูมิได้ถึง 75 °C และความเร็วสามารถทำได้ถึง 0.7 m/s และสามารถควบคุมทั้งอุณหภูมิและความเร็วลมได้ตามต้องการ อบแห้งลำไยให้เหลือความชื้นสุดท้าย 13% d.b. ลำไยมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 280 % d.b.

3.2 การคำนวณหาขนาดของห้องอบแห้ง

การคำนวณหาขนาดของห้องอบแห้งจะต้องทราบปริมาตรของลำไย ซึ่งหาได้จากสมการความหนาแน่นปรากฏ ณัฐวุฒิ คหวัฒน์ธรางกูร และธีรฉัตร คุปต์รัตน์ (2534) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของลำไยกับความหนาแน่นปรากฏได้ดังนี้

$$\rho = 167.38M + 224.33 \quad (3.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นปรากฏของลำไย, kg/m^3

M คือ ความชื้นของลำไย, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

ตามสมการ 3.1 แทนค่าความชื้นเริ่มต้นของลำไยเท่ากับ 280 %d.b สามารถคำนวณหาความหนาแน่นปรากฏของลำไยได้ดังนี้

$$\rho = 167.38(2.8) + 224.33 = 692.99 \text{ kg/m}^3$$

ปริมาตรของลำไยจำนวน 60 kg ที่ใช้ในการออกแบบจะมีปริมาตรทั้งหมดเท่ากับ

$$\frac{60}{692.99} = 0.0865 \text{ m}^3$$

ลำไยมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 2.5 cm ดังนั้นเมล็ดลำไยมีปริมาตรเท่ากับ

$$= \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$= 8.177 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

โดยจะได้จำนวนลำไยทั้งหมด

$$= \frac{0.0865}{8.177 \times 10^{-6}}$$

10578 ลูก

กำหนดให้ตะกร้ามีความกว้าง 0.4 m ยาว 0.4 m สูง 0.6 m การวางลำไยสามารถวางซ้อนทับกันได้เลย โดยปริมาตรของตะกร้าจะมีค่าเท่ากับ 0.096 m^3 ดังนั้นจะสามารถใส่ลำไยได้ทั้งหมด 13892 ลูก

การคำนวณหาขนาดของตู้อบแห้ง

- จำนวนลำไย 1 ตะกร้า
- ปริมาตรตะกร้า 0.096 m^3
- ระยะห่างจากพื้นห้องถึงตะกร้า 10 cm
- ระยะห่างจากเพดานห้องถึงตะกร้า 10 cm
- ระยะช่องว่างจากผนังทั้งสองด้านของห้องอบถึงตะกร้า 5 cm

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{ความสูงภายในของห้องอบ} &= 10 + 10 + 60 \\ &= 80 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความยาวภายในของห้องอบ} &= 5 + 40 + 5 \\ &= 50 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความกว้างภายในของห้องอบ} &= 5 + 40 + 5 \\ &= 50 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของตู้อบแห้ง (ภายใน)} &= 0.5 \times 0.5 \times 0.8 \\ &= 0.2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

การคำนวณหาน้ำหนักของลำไยหลังการอบแห้งจากสมมติฐานการอบแห้งและเงื่อนไขในการอบแห้งลำไยมีความชื้นประมาณ 280 %d.b. และมีน้ำหนักก่อนการอบแห้ง 60 kg สามารถคำนวณหามวลแห้งของลำไยได้จากสมการ 3.2

$$M_d = (W_i - d) / d \quad (3.2)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นเริ่มต้นมาตราแห้ง, เศษส่วน
 W_i คือ มวลของวัสดุ, kg
 d คือ มวลแห้งวัสดุแห้ง, kg

จากสมการ 3.2 แทนค่าของ $M_d = 280\% \text{d.b.}$ และ $W_i = 60 \text{ kg}$ จะได้มวลแห้งของลำไย ขณะที่ไม่มี ความชื้น 15.789 kg จากสมมติฐานในการอบแห้งได้กำหนดความชื้นสุดท้ายได้ ออกแบบให้มีความชื้นของลำไยอยู่ที่ 13 % d.b. สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำหนักรสุดท้ายของลำไยได้ 20.52 kg ดังนั้นสามารถคำนวณหาปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากลำไยทั้งหมดได้จากการนำน้ำหนัก ก่อนอบแห้งลบกับน้ำหนักสุดท้ายของการอบแห้งที่ 13 % d.b. จะได้ 39.47 kg

3.3 การคำนวณหาขนาดของขดลวดความร้อน

ในการคำนวณหาขนาดของขดลวดความร้อนของการวิจัยครั้งนี้จะใช้แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ของการอบแห้งลำไยทั้งลูกของ วีรศักดิ์ วงศาสุราฤทธิ์ (2546) ซึ่งแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์เป็นแบบใกล้เคียงสมดุล ซึ่งมีสมมติฐานของแบบจำลองดังนี้ มีสมดุลทางความร้อน ระหว่างอากาศชื้นกับวัสดุ ไม่สมดุลทางความชื้นระหว่างอากาศชื้นกับวัสดุ มีการหุ้มฉนวนอย่างดี ไม่มีการอัดตัวของอากาศ และอุณหภูมิเริ่มต้นของลำไยเท่ากับอุณหภูมิอากาศมาพัฒนาเงื่อนไขบาง ประการให้สอดคล้องกับการทดลอง

3.4.1 พารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการปรับปรุงการจำลองสภาพการอบแห้งของการวิจัยมีดังนี้

1. แบบจำลองตู้อบแห้งเอนกประสงค์ในห้องปฏิบัติการมีขนาดของห้อง

อบแห้ง $0.5 \times 0.5 \times 0.8 \text{ m}$

2. สมการความดันลดของชั้นลำไย Klongpanich (1991) ดังสมการ 3.2

$$\Delta P = 105.95V^{0.794} \quad (3.3)$$

เมื่อ ΔP คือ ความดันลดของชั้นลำไย, Pa

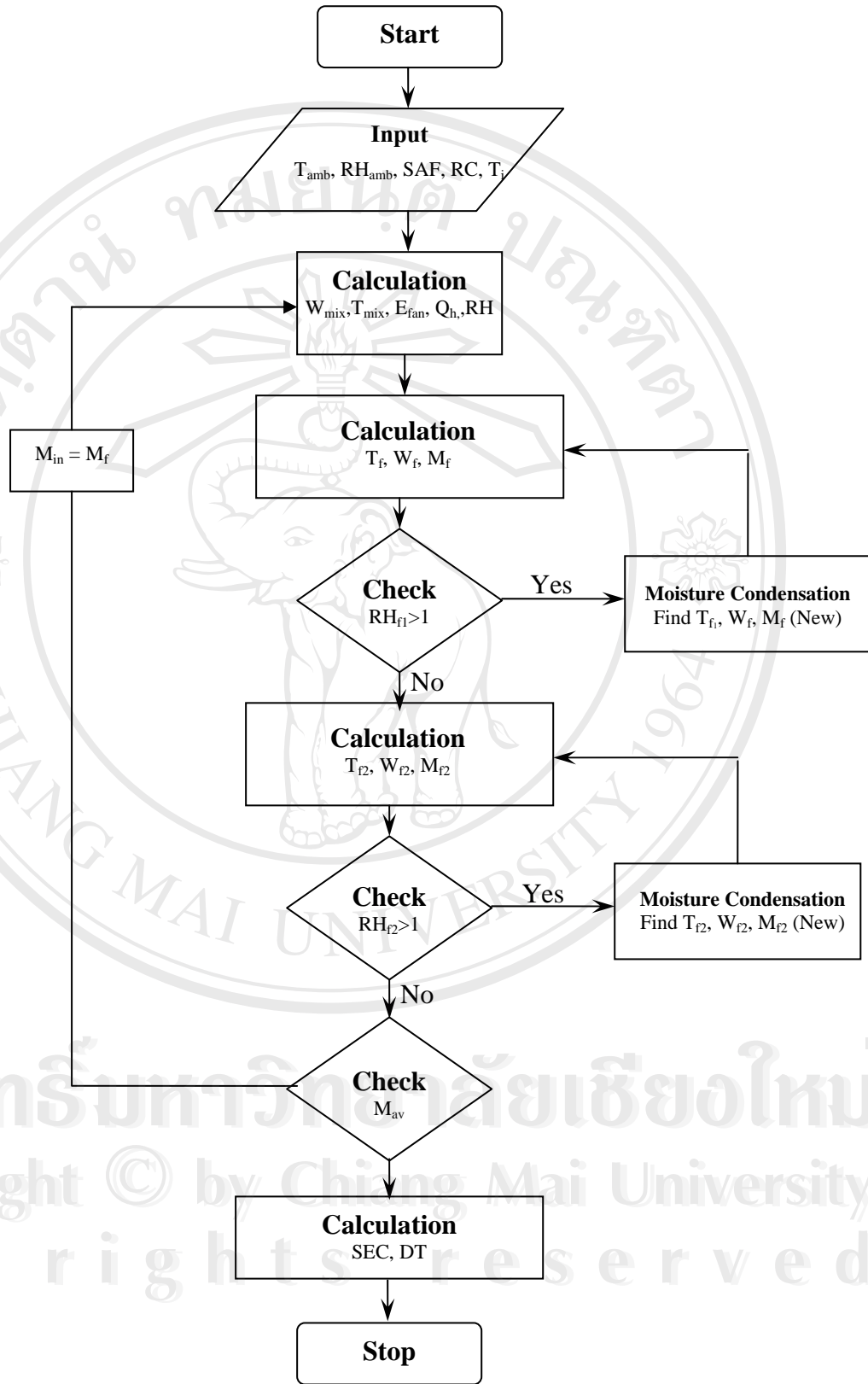
V คือ ความเร็วลม, m/s

3.4.2 รายละเอียดของขั้นตอนการคำนวณของแบบจำลองสภาพการอบแห้ง

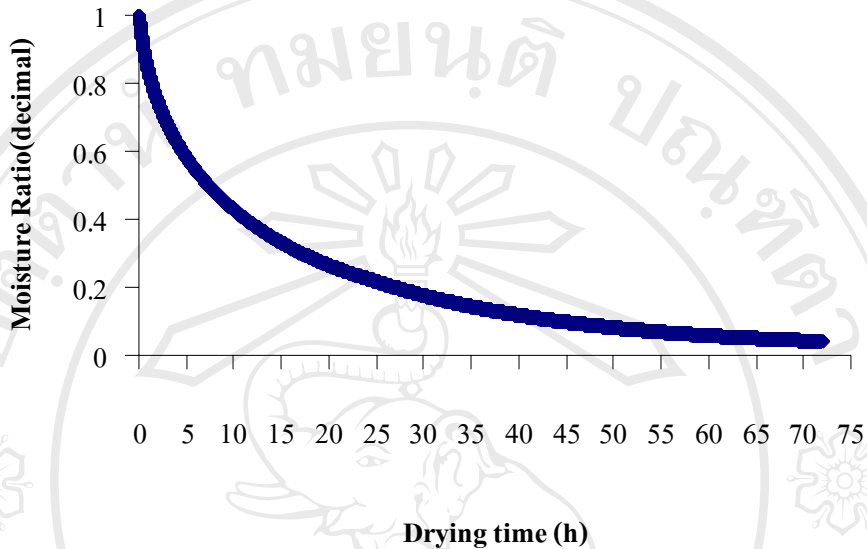
เริ่มจากการป้อนค่าตัวแปรที่ทราบค่าได้แก่ $SAF, T_p, RC, T_{amb}, RH_{amb}$ คำนวณหาค่า $T_{mix}, W_{mix}, E_{fan}, RH$ และ Q_h หลังจากนั้นคำนวณหาค่าของ T_p, W_p และ M_p แล้วตรวจสอบหาค่า RH ดู ว่ามีค่าเกิน 1 หรือเปล่าถ้ามีค่าเกินให้ทำ Moisture Condensation หา T_p, W_p และ M_p ใหม่หลังจากนั้นก็ จะได้ค่าของ T_p, W_p และ M_p ใหม่แล้วก็ทำการคำนวณหาค่าของ T_{22}, W_{22} และ M_{22} แล้วตรวจสอบดูว่าค่า

RH_p มีค่าเกิน 1 หรือไม่ถ้าเกินก็ทำ Moisture Condensation ใหม่ถ้าไม่เกินแล้วตรวจสอบค่า M_{av} ว่าเป็นค่าที่คำนวณได้มีค่าความชื้นมากกว่าค่าที่ต้องการหรือไม่ ถ้าใช่ให้ค่าของ M_{in} ของชั้นใด ๆ มีค่าเท่ากับ M_p ของชั้นนั้น ๆ ที่คำนวณได้ก่อนหน้านี้อันแล้วเริ่มคำนวณใหม่ตั้งแต่เริ่มต้นคำนวณ แต่ถ้าตรวจสอบแล้วค่า M_{av} มีความชื้นตามต้องการก็คำนวณค่า SEC และ DT ตามลำดับแล้วโปรแกรมก็จะคำนวณไปเรื่อยๆจนได้ความชื้นที่ต้องการ

หลังจากได้ค่าต่างที่ต้องการแล้วก็ป้อนค่าเพื่อหาขนาดของขดลวดความร้อนโดยป้อนค่าอากาศแวดล้อมที่ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70% อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ 40.18 $kg_{dry\ air}/h \cdot kg_{solid}$ น้ำหนักเริ่มต้น 58.91 kg อุณหภูมิอบแห้งที่ 75 °C สัดส่วนการนำอากาศกลับมาใช้ใหม่ที่ 90% ความเร็วลมที่ 0.7 m/s พื้นที่หน้าตัดที่ 0.16 m^2 ความชื้นเริ่มต้นที่ 280% d.b. ความชื้นสุดท้ายที่ 13% d.b.



รูป 3.1 แผนผังการจำลองสภาพของการอบแห้ง



รูป 3.2 ความชื้นของลำไยที่ลูกลูกที่เวลาใดๆจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อุณหภูมิก่อนเข้าห้องอบแห้ง 75 °C ความเร็วลมก่อนเข้าห้องอบแห้ง 0.7m/s และสัดส่วนนำอากาศมาใช้ใหม่ที่ 90%

ในการพิจารณาคำนวณหาขนาดของขดลวดความร้อนมีเงื่อนไขของการอบแห้งที่ความเร็วลมก่อนเข้าห้องอบแห้งที่ 0.7m/s อุณหภูมิก่อนเข้าห้องอบแห้งที่ต้องการสูงที่สุดที่ 75 °C อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 25 °C พื้นที่หน้าตัดห้องอบแห้ง 0.16m² ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 70 % ความหนาแน่นของอากาศที่ 1.007 kg/m³ และสัดส่วนนำอากาศมาใช้ใหม่ที่ 90% ขนาดของขดลวดความร้อนจะได้ขนาดเท่ากับ 9.39 kW หลังจากนั้นก็เลือกขนาดของขดลวดความร้อนที่มีขายอยู่ในเชิงพาณิชย์แบบมีครีบบระบายความร้อนขนาด 13 kW

3.4 การคำนวณหาความดันสูญเสียของชิ้นส่วนต่างๆเครื่องอบแห้ง

การสูญเสียความดันหลัก (Major losses)

ASHRAE (2001) ในขณะที่อากาศไหลในท่อตรงความดันที่สูญเสียส่วนใหญ่มาจากความเสียดทานซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการของ Darcy-Weisbach

$$\Delta P_f = \frac{f L \rho v^2}{2D_h} \quad (3.4)$$

เมื่อ ΔP_f คือ การสูญเสียความดันหลัก, Pa

f	คือ	Friction factor
D_h	คือ	Hydraulic diameter, m ในกรณีที่ไม่กลม = $4A/P$
A	คือ	พื้นที่หน้าตัด, m^2
L	คือ	ความยาวท่อ, m
v	คือ	ความเร็วของไหล, m/s
ρ	คือ	ความหนาแน่น, kg/m^3

หากว่าการไหลเป็นแบบราบเรียบ (ตัวเลขเรย์โนลด์ส์, Re มีค่าน้อยกว่า 2000) จะสามารถคำนวณค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานได้จาก

$$f_D = \frac{64}{Re} \quad (3.5)$$

สมการสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนเบอร์ซุส Blasius ให้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (3.6)$$

เมื่อ $Re \leq 10^5$

สำหรับสมการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายใช้สมการของ Colebrook คำนวณหาแฟคเตอร์ความเสียดทานสมการดังกล่าวจะได้ว่า

$$\frac{1}{f_D^{1/2}} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re f_D^{1/2}} \right] \quad (3.7)$$

เมื่อ ε คือ แฟคเตอร์ความขรุขระของผิวท่อ, mm

การสูญเสียความดันรอง (Minor losses)

ASHRAE (2001) การสูญเสียความดันในข้องอหรือท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่คงที่ ทำให้ของไหลเกิดการแยกตัวโดยคำนวณได้จาก

$$\Delta P_j = C P_v \quad (3.8)$$

เมื่อ ΔP_j คือ การสูญเสียความดัน, Pa

C คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความดัน

P_v คือ ความดันไดนามิก, Pa

$$\text{โดย } P_v = \frac{\rho v^2}{2} \quad (3.9)$$

เมื่อ v คือ ความเร็ว, m/s

ρ คือ ความหนาแน่น, kg/m^3

ค่าความดันสูญเสียที่คำนวณได้ดังแสดงในส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอบแห้งและรายละเอียดการคำนวณได้ในภาคผนวก ข.

- ท่อเหลี่ยมหลังออกจากพัดลม (26.128 Pa)
- ข้องอ 90° (7.165 Pa)
- ท่อขยายสี่เหลี่ยมก่อนเข้าห้องอบแห้ง (8.119 Pa)
- ห้องอบแห้ง (105.9 Pa)
- ท่อลมสี่เหลี่ยมออกจากห้องอบแห้ง (8.119 Pa)
- Butterfly Damper จำนวน 1 ใบ (92.13 Pa)
- ท่อลมแยก 3 ทาง (21.035 Pa)
- ข้องอ 45° (7.15 Pa)
- ท่อกลมตรงของอากาศเวียนกลับ (33.04 Pa)
- ข้องอ 45° (7.15 Pa)
- ท่อตรงกลม (4.16 Pa)
- ท่อกลมตรงของอากาศเวียนกลับ (16.41 Pa)
- ท่อกลมตรงของอากาศเวียนกลับ (8.62 Pa)

ความดันสูญเสียทั้งหมดในระบบ (ΔP) = 345 Pa

3.5 การเลือกขนาดของพัดลม

จากการคำนวณหาอัตราการไหลที่ห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งคำนวณได้จากสมการ

$$Q = VA \times 3600 \quad (3.10)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหล, kg/h
 V คือ ความเร็ว, m/s
 A คือ พื้นที่หน้าตัด, m²

โดยพื้นที่หน้าตัดมีขนาด 0.25 m² และที่ความเร็วลม 0.7 m/s จะมีอัตราการไหลที่ 630 kg/h และความดันรวมของระบบที่ 345 Pa หลังจากนั้นก็ไปเลือกหาขนาดของพัดลมจากกราฟโดยจะได้พัดลมแบบแรงเหวี่ยงใบพัดโค้งหน้าที่มีขนาดของใบพัดลม 25 cm และรอบการทำงานของมอเตอร์อยู่ที่ประมาณ 1300-1400 rpm

3.6 การคำนวณหาคำลังงานของเครื่องอบแห้ง

การคำนวณโดยใช้อัตราการไหลโดยมวลของอากาศในห้องอบแห้งโดยมีพื้นที่หน้าตัด 0.16 m^2 และให้มีความเร็วลมที่ 0.7 m/s จะได้ อัตราการไหลโดยมวลของอากาศ $0.175 \text{ m}^3/\text{s}$ และใช้ค่า Safety factor = 1.1 ดังนั้น

$$\begin{aligned}\dot{m}_a &= 0.16 \times 1.007 \times 0.7 \times 1.1 \\ &= 0.1756 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

หาขนาดของมอเตอร์

$$P_m = \frac{\Delta P \times \dot{m}_a}{\rho_a \eta_r \eta_n} \quad (3.11)$$

เมื่อ	ΔP	คือ	ความดันสูญเสียรวม, Pa
	\dot{m}_a	คือ	อัตราการไหลโดยมวลของอากาศ, kg/s
	ρ_a	คือ	ความหนาแน่นอากาศ, kg/m^3
	η_r	คือ	ประสิทธิภาพพัดลม
	η_n	คือ	ประสิทธิภาพมอเตอร์

จากงานวิจัยที่ผ่านมาการกำหนดประสิทธิภาพพัดลมและมอเตอร์ไฟฟ้าที่เหมาะสมมีดังนี้

- ประสิทธิภาพพัดลม = 60%
- ประสิทธิภาพมอเตอร์ = 80%

$$\text{จะได้ } P_m = \frac{345.576 \times 0.1756}{0.998 \times 0.6 \times 0.8}$$

$$= 197.955 \text{ W}$$

$$\text{มอเตอร์จะมีขนาด} = 197.955/746$$

$$= 0.265 \text{ HP}$$

ควรเลือกใช้ต้นกำลังที่มีกำลังไม่ต่ำกว่า 0.265 HP แต่เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการซื้อ

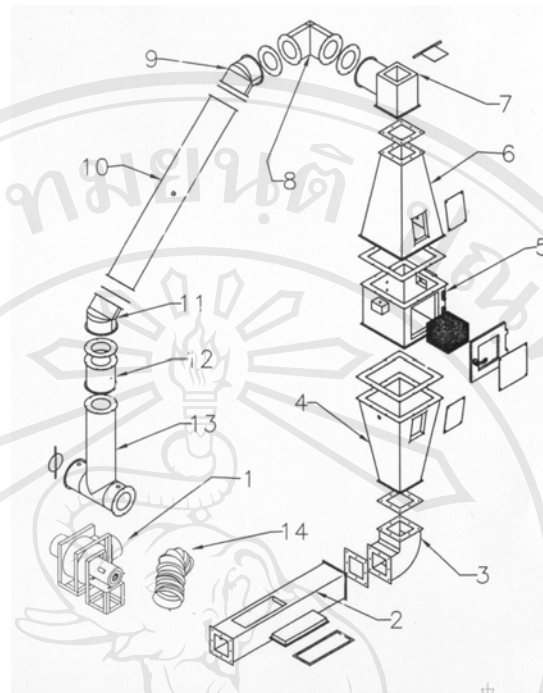
จึงเลือกมอเตอร์ขนาด 0.50 HP (ซึ่งมีขายในเชิงพาณิชย์)

3.7 รายละเอียดของเครื่องอบแห้งเอนกประสงค์ขนาดห้องปฏิบัติการ

เครื่องอบแห้งเอนกประสงค์ในห้องปฏิบัติการเพื่อทำการอบแห้งลำไยโดยมีส่วนประกอบดังนี้ (รูป 3.1)

1. พัดลมเป่าอากาศเป็นพัดลมแบบเหวี่ยงในพัดโค้งหน้าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าชนิด 3 เฟสขนาด 0.5HP ที่ 1410 rpm (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ.2)
2. ท่อฮีตเตอร์มีลักษณะเป็นท่อเหล็กมีขนาดความร้อนเป็นแบบ Electric heater แบบมีกริบระบายความร้อนและติดตั้งอยู่ในท่อลมก่อนเข้าสู่อบแห้งมีขนาด 13 kW (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ.2)
3. ช่องอ 90° (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ.5)
4. ท่อขยายก่อนเข้าห้องอบแห้งเป็นกรวยสี่เหลี่ยมช่วยในการกระจายลมเข้าสู่อบแห้ง (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ.6)
5. ตู้อบแห้ง ตัวตู้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดกว้าง 0.60 m ยาว 0.60 m และสูง 0.80 m มีการหุ้มฉนวนหนาด้านละ 0.05 m ภายในมีตะแกรงสี่เหลี่ยมมีขนาดกว้าง 0.40 m ยาว 0.40 m และสูง 0.60 m ทำด้วยตะแกรงสแตนเลสโปร่งทุกด้าน ด้านหน้าของตู้อบมีประตูเปิด สำหรับนำวัสดุทางการเกษตรเข้าและออกจากตู้อบแห้งและมีกระจกเพื่อสังเกตการณ์ทำงานภายในตู้อบแห้ง (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ.7)
6. ท่อลดขนาดที่ออกจากห้องอบแห้ง (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ.10)
7. ท่อสามทางนำอากาศมาใช้ใหม่มีลิ้นปรับความเร็วกระแสอากาศกลับมาใช้ใหม่ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ.11)
8. ช่องอ 90° นำอากาศกลับมาใช้ใหม่ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ.12)
9. ช่องอ 45° นำอากาศกลับมาใช้ใหม่ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ.13)
10. ท่อตรงนำอากาศมาใช้ใหม่ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ.14)
11. ช่องอ 45° นำอากาศกลับมาใช้ใหม่ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ.15)
12. ท่อตรงนำอากาศมาใช้ใหม่ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ.16)
13. ท่อสามทางนำอากาศมาใช้ใหม่ และนำอากาศแวดล้อมเข้าเครื่องอบแห้งมีลิ้นปรับความเร็วกระแสอากาศกลับมาใช้ใหม่ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ.17)
14. ท่อ duct (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ.18)

เครื่องควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมสแตทเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิวัดค่าได้ละเอียด $\pm 1^{\circ}\text{C}$ เครื่องปรับความเร็วรอบมอเตอร์ขนาด 0.50 HP ใช้ตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนพัดลมเพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศ



รูป 3.3 รายละเอียดของเครื่องอบแห้งเอนกประสงค์ในห้องปฏิบัติการ
 หลังจากมีรายละเอียดของเครื่องอบแห้งเอนกประสงค์ในห้องปฏิบัติการก็สร้างเครื่อง
 อบแห้งซึ่งได้แสดงดังรูป 3.4



รูป 3.4 เครื่องอบแห้งลมร้อนสำหรับห้องปฏิบัติการ