# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้ ทำการทดลองอบแห้งพริกไทยด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งของพริกไทย และใช้ข้อมูลจากการทดลองหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมของการอบแห้งชั้นบางพริกไทยที่อุณหภูมิต่าง ๆ และหาสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของพริกไทยตามสมการการแพร่ความชื้นของฟิกส์ (Fick's law) ซึ่งการดำเนินการวิจัยนี้ มีเงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิของลมร้อนเท่ากับ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วของลมร้อน 1.0 1.5 และ 2.0 เมตรต่อวินาที

## วัตถุดิบ

พริกไทยสด ดังภาพที่ 3-1 จำนวน 2 กิโลกรัม แหล่งวัตถุดิบจากตลาดหนองมน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

ภาพที่ 3-1 พริกไทยสด

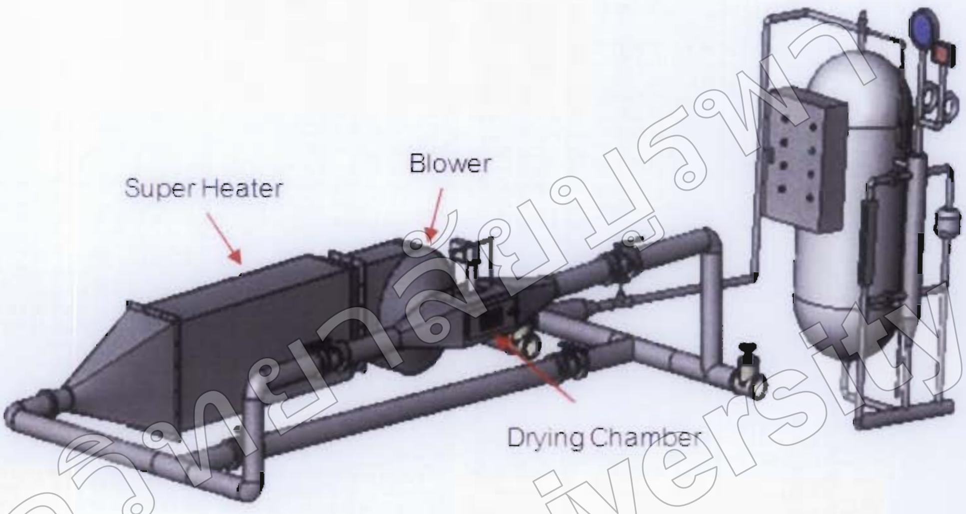
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131



## เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน ดังภาพที่ 3-2 ประกอบด้วยชุดให้ความร้อน (Super Heater) ขนาด 4.5 กิโลวัตต์ พัดลม (Blower) แบบแรงเหวี่ยงใบพัดโค้งหลัง มอเตอร์ขนาด 0.75 กิโลวัตต์ สามารถปรับความเร็วรอบได้




ภาพที่ 3-2 เครื่องอบแห้งลมร้อนระดับห้องปฏิบัติการ

2. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Sartorius รุ่น TE3102S ขนาด 3,100 กรัม ความละเอียด ± 0.01 กรัม ดังภาพที่ 3-3

ภาพที่ 3-3 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

323060

3. ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Binder สำหรับหามวลแห้ง ดังภาพที่ 3-4

ภาพที่ 3-4 ตู้อบไฟฟ้า

4. ถ้วยโลหะสำหรับหาความชื้น (Moisture can) ดังภาพที่ 3-5

ภาพที่ 3-5 ถ้วยโลหะสำหรับหาความชื้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

## วิธีดำเนินการวิจัย

มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. ศึกษา และค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล
3. รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

**1. ศึกษา และค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย**

1.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการอบแห้ง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบาง สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล และการอบแห้งพริกไทย

1.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งชั้นบางด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน

1.3 ศึกษาวิธีการวิจัยจากเอกสาร งานวิจัยต่าง ๆ

**2. ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล**

การอบแห้งแต่ละการทดลองจะใช้พริกไทยสดทีมีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 300 มาตรฐานแห้ง จำนวน 100 กรัม ก่อนทำการทดลองจะเปิดเครื่องเพื่อเป็นการอุ่นเครื่องประมาณ 30 นาที จากนั้นนำพริกไทยเข้าเครื่องอบแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิอบแห้งและความเร็วลมระดับต่าง ๆ โดยการเปลี่ยนแปลงความชื้นของพริกไทยขณะทำการอบแห้งจะชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลความละเอียด ± 0.01 กรัม ทุก ๆ 10 นาที ในชั่วโมงแรกและทุก ๆ 30 นาที จนสิ้นสุดการทดลอง หลังจากนั้นเพื่อหามวลแห้งจึงนำพริกไทยที่ได้อบแห้งด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

**3. รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล**

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาจลนพลศาสตร์การอบแห้งในงานวิจัยนี้ ทำการวิเคราะห์ตั้งแต่ความชื้นเริ่มต้นจนกระทั่งความชื้นสุดท้าย คำนวณโดยใช้สมการ (2-3) และสมการ (2-4) ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งพริกไทย ในรูปของอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) ดังสมการที่ (3-1)

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \qquad (3\text{-}1)$$

โดยที่ MR คือ อัตราส่วนความชื้น, ไร้หน่วย

$M_t$ คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ, มาตรฐานแห้ง

$M_i$ คือ ความชื้นเริ่มต้น, มาตรฐานแห้ง

$M_e$ คือ ความชื้นสมดุล, มาตรฐานแห้ง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อระยะเวลาการอบแห้งนานมาก สมการ (3-1) สามารถใช้คำตอบเฉพาะเทอมแรกเท่านั้น และอัตราส่วนความชื้น (MR) สามารถทำให้ง่ายขึ้นโดยให้เป็น $M_t/M_i$ เนื่องจาก $M_e$ มีค่าค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับ $M_t$ หรือ $M_i$

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสม โดยนำอัตราส่วนความชื้น (MR) และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ รูปแบบของแบบจำลองการอบแห้งชั้นบาง ดังตารางที่ 3-1 เพื่อใช้ทำนายผลข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะเหมาะสมกับแบบจำลองใดมากที่สุด พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination : $R^2$) ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (Mean Relative Percent Error : %P) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error : RMSE) และค่าไคสแคว (reduced chi-square : $\chi^2$) แสดงดังสมการที่ (3-2) ถึงสมการที่ (3-5) ตามลำดับ โดยแบบจำลองที่ดีกว่าจะต้องให้ค่า $R^2$ สูง และให้ค่า %P RMSE และ $\chi^2$ ต่ำกว่าแบบจำลองอื่น ๆ

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{N} MR_{exp,i} \times MR_{pre,i}\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^{N} MR_{exp,i}^2\right)\left(\sum_{i=1}^{N} MR_{pre,i}^2\right)} \qquad (3\text{-}2)$$

$$P = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{\left|MR_{exp,i} - MR_{pre,i}\right|}{MR_{exp,i}} \qquad (3\text{-}3)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{exp,i} - MR_{pre,i}\right)^2\right]^{1/2} \qquad (3\text{-}4)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{exp,i} - MR_{pre,i}\right)^2}{N - n} \qquad (3\text{-}5)$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อ $MR_{exp,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง

$MR_{pre,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทำนาย

N คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการทดลอง

n คือ จำนวนค่าคงที่ของแบบจำลอง

3.3 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของพริกไทย โดยใช้สมการการแพร่ความชื้นตามกฎข้อที่สองของฟิกส์ (Fick's Second Law of Diffusion) ดังสมการที่ (2-6) เพื่อใช้ในการทำนายการเคลื่อนที่ของความชื้น

ผลเฉลยทั่วไปของสมการสำหรับการแพร่ความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ ดังสมการที่ (3-6) ภายใต้สมมติฐานที่ว่าผลิตภัณฑ์ มีรูปทรงเป็นทรงกลมสม่ำเสมอและกำหนดให้การแพร่ความชื้นเกิดขึ้นเฉพาะในแนวรัศมีเท่านั้น ในขณะทำการอบแห้ง อุณหภูมิและสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลมีค่าคงที่และไม่เกิดการหดตัวของผลิตภัณฑ์

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left( -\frac{n^2 D_{eff} \pi^2 t}{r^2} \right) \qquad (3\text{-}6)$$

เมื่อใช้เวลาในการอบแห้งนานพอ สามารถพิจารณาเฉพาะพจน์ (n=1) ของผลเฉลยจากสมการที่ (3-6) ได้ดังนี้

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \exp\left( -\frac{n^2 D_{eff} \pi^2 t}{r^2} \right) \qquad (3\text{-}7)$$

จากสมการที่ (3-7) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของลอการิทึมธรรมชาติได้เป็น

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{6}{\pi^2}\right) - F_0 \pi^2 \qquad (3\text{-}8)$$

เมื่อกำหนดให้ $F_0$ คือ Fourier number มีค่าเป็น

$$F_0 = \frac{D_{eff} t}{r^2} \qquad (3\text{-}9)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (3-8) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$F_0 = -0.1012 \ln(MR) - 0.0504 \qquad (3\text{-}10)$$

และ
$$D_{eff} = \frac{F_0}{(t / r^2)} \qquad (3\text{-}11)$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อ $D_{eff}$ คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล, ตารางเมตรต่อวินาที

r คือ รัศมีของพริกไทย, เมตร

t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, วินาที

การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล โดยการแทนค่า $F_0$ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและค่ารัศมีของพริกไทยลงในสมการที่ (3-11) จะได้สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลที่ความชื้นและเวลาอบแห้งต่าง ๆ จากนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลที่ขึ้นกับความชื้นของพริกไทยในรูปของสมการกำลังสองได้ดังสมการที่ (3-12)

$$D_{eff} = aM^2 + bM + c \qquad (3\text{-}12)$$

เมื่อ M คือ ความชื้นของพริกไทยที่เวลาใด ๆ, ร้อยละมาตรฐานแห้ง

a, b, c คือ ค่าคงที่ใด ๆ

จากสมการที่ (3-12) สามารถหาค่าคงที่ a, b และ c ได้โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติและพิจารณาความถูกต้องจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 3-1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งชั้นบาง

| ที่ | ชื่อแบบจำลอง | ชนิดแบบจำลอง | อ้างอิง |
|---|---|---|---|
| 1 | Newton | $MR = \exp(-kt)$ | Ayensu (1997) |
| 2 | Page | $MR = \exp(-kt^{m})$ | Agrawal and Singh (1977) |
| 3 | Henderson and Pabis | $MR = a\exp(-kt)$ | Westerman et al. (1973) |
| 4 | Logarithmic | $MR = a\exp(-kt)+c$ | Yagcioglu et al. (1999) |
| 5 | Modified Page | $MR = \exp(-kt)^{n}$ | White et al. (1981) |
| 6 | Two term | $MR = a\exp(-k_0 t)+b\exp(-k_1 t)$ | Henderson (1974) |
| 7 | Two term exponential | $MR = a\exp(-kt)+(1-a)\exp(-kat)$ | Sharaf-Eldeen et al. (1980) |
| 8 | Wang and Singh | $MR = 1+at+bt^{2}$ | Wang and Singh (1978) |
| 9 | Approximation and diffusion | $MR = a\exp(-kt)+(1-a)\exp(-kbt)$ | Yaldiz and Ertekin (2001) |
| 10 | Midilli et al. | $MR = a\exp(-kt^{m})+bt$ | Midilli et al. (2002) |

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University