บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งจะได้ทำการทดลองอบแห้งพริกไทยด้วยเครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนขนาดห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดลองอบแห้งพริกไทย เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งพริกไทย แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมของการอบแห้งชั้นบางพริกไทยที่อุณหภูมิต่าง ๆ หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของพริกไทยตามสมการของฟิกส์ (Fick's Law) และทำการศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิของการอบแห้งที่มีผลต่อการอบแห้งพริกไทย ซึ่งการดำเนินการวิจัยนี้ มีเงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนเท่ากับ 120 140 และ 160°C ความเร็วของตัวกลาง 1.0 m/s โดยมีรายละเอียดของการศึกษาดังนี้

วัตถุดิบ

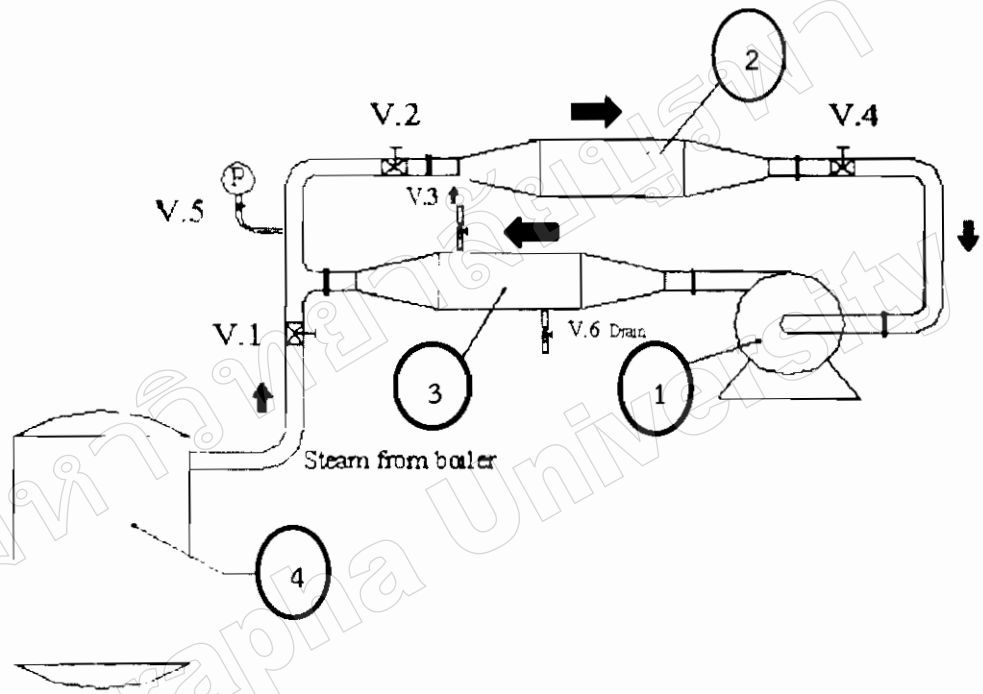
พริกไทยสด ดังภาพที่ 3 – 1 จำนวน 2 kg แหล่งวัตถุดิบจากตลาดหนองมน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

ภาพที่ 3 – 1 พริกไทย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. การอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนในการทดลอง ใช้เครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เป็นห้องอบแห้งแบบงวด (Batch Dryer) โดยลักษณะของระบบเครื่องอบแห้งไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ซึ่งมีอุปกรณ์หลัก ๆ ตามรูปที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 3 – 1 (ศิริวัฒ สินประเสริฐ, 2548) ดังนี้



ภาพที่ 3 – 2 ระบบอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

จากภาพที่ 3 – 2 แสดงระบบเครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ ดังนี้

หมายเลข 1 คือ พัดลม (Blower) เป็นแบบแรงเหวี่ยงใบพัดโค้งหลัง ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ซึ่งสูงกว่าบรรยากาศเล็กน้อย

หมายเลข 2 คือ อุปกรณ์ให้ความร้อน (Super Heater) ขนาด 13.5 kW และควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องควบคุมแบบ PID ที่มีค่าความถูกต้อง ±1°C

หมายเลข 3 คือ ห้องอบแห้งแบบงวด (Batch Dryer) ขนาด $10 \times 20 \times 10\ cm^3$

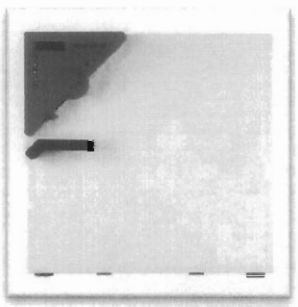
หมายเลข 4 คือ เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) ขนาด 20 kW และประกอบด้วยอุปกรณ์อื่น ๆ อีก เช่น มาตรวัดความดันและวาล์วควบคุม

การทำงานของระบบเริ่มต้นด้วยการอุ่นระบบโดยใช้พัดลมป้อนอากาศไปยังอุปกรณ์ให้ความร้อน (Super Heater) จนได้อุณหภูมิที่ต้องการในการอบแห้ง จากนั้นจึงปล่อยไอน้ำอิ่มตัวจากเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) ให้ไหลผ่านอุปกรณ์ให้ความร้อน เพื่อทำให้ไอน้ำอิ่มตัวเปลี่ยนสภาพเป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยควบคุมความดันภายในระบบอบแห้งให้คงที่ (ความดันในการอบแห้งสูงกว่าความดันบรรยากาศเล็กน้อย) หลังจากนั้นไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะไหลผ่านห้องอบแห้งในแนวนอนกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง โดยปริมาณไอน้ำทั้งหมดจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Sartorius รุ่น TE3102S ขนาด 3,100 g ความละเอียด ± 0.01 g ดังภาพที่ 3 – 3

ภาพที่ 3 – 3 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

3. ตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Binder สำหรับหามวลแห้ง ดังภาพที่ 3 – 4



ภาพที่ 3 – 4 ตู้อบไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. ถ้วยอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can) ดังภาพที่ 3 – 5

ภาพที่ 3 – 5 ถ้วยอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น

วิธีดำเนินการวิจัย

มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. ศึกษา และค้นคว้าที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการอบแห้ง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชั้นบาง สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล และการอบแห้งพริกไทย

1.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งชั้นบางด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน

1.3 ศึกษาวิธีการวิจัยจากเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ

2. ดำเนินการทดลองและเก็บข้อมูล

จากภาพที่ 3 – 2 แสดงวิธีการอบแห้งพริกไทยในงานวิจัยนี้ จะทำการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 120 140 และ 160°C โดยใช้พริกไทยสดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง

2.1. การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

1. เปิดวาล์วตัวที่ 1 (V.1) เพื่อให้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเข้าสู่ระบบ เปิดวาล์ว V.2, V.4 และอุปกรณ์ให้ความร้อนทำงานจนกระทั่งไอน้ำออกจากวาล์ว V.3 และวาล์ว V.6 ระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้ไอน้ำไล่อากาศที่ค้างอยู่ในระบบออกไป

2. ปิดวาล์ว V.3 และ V.6

3. เดินพัดลมที่ใช้ในการหมุนเวียนไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยใช้ความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งเท่ากับ 1 m/s

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

4. ปรับเครื่องให้ความร้อน โดยอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งเท่ากับ 120°C

5. ชั่งน้ำหนักตะแกรง และน้ำหนักพริกไทยพร้อมตะแกรงก่อนการอบแห้ง

6. ปิดวาล์ว V.2 และ V.4 เปิดห้องอบแห้งแบบตู้ นำพริกไทยพร้อมตะแกรงเข้าห้องอบแห้งเปิดวาล์ว V.2 V.4 และปิดวาล์ว V.3 และ V.6 เพื่อทำการอบแห้ง

7. ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์พร้อมตะแกรงทุก ๆ 10 นาที โดยการเปิดวาล์ว V.3 และ V.6 แล้วจึงปิดวาล์ว V.2 และ V.4 แล้วจึงเปิดห้องอบแห้งและนำพริกไทยออกมาชั่ง จนกระทั่งน้ำหนักพริกไทยคงที่

8. เปลี่ยนอุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็น 140 และ 160°C ตามลำดับ และดำเนินการทดลองซ้ำตั้งแต่ 6 – 8

2.2. **การอบแห้งด้วยอากาศร้อน**

1. ปิดวาล์วตัวที่ 1 (V.1) เพื่อใช้อากาศในระบบสำหรับการอบแห้ง

2. ปิดวาล์ว V.3 และ V.6

3. เดินพัดลมที่ใช้ในการหมุนเวียนอากาศร้อน โดยใช้ความเร็วของอากาศร้อนเท่ากับ 1 m/s

4. ปรับเครื่องให้ความร้อน ให้อุณหภูมิของอากาศร้อนเท่ากับ 120°C

5. ชั่งน้ำหนักตะแกรง และน้ำหนักพริกไทยพร้อมตะแกรงก่อนการอบแห้ง

6. นำพริกไทยพร้อมตะแกรงเข้าห้องอบแห้ง

7. ชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์พร้อมตะแกรงทุก ๆ 10 นาที จนกระทั่งน้ำหนักพริกไทยคงที่

8. เปลี่ยนอุณหภูมิอากาศร้อนเป็น 140 และ 160°C ตามลำดับ และดำเนินการทดลองซ้ำตั้งแต่ 4 – 8

2.3. **การหาน้ำหนักแห้ง**

นำพริกไทยที่ผ่านในแต่ละช่วงออกมา ทำการชั่งน้ำหนัก และนำมาอบแห้งใหม่เพื่อหามวลแห้งของพริกไทย โดยทำการอบแห้งด้วยอากาศร้อนด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 h (AOAC, 1990) และชั่งน้ำหนักอีกครั้งและนำไปหาความชื้นต่อไป

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3. รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

3.1 การวิเคราะห์เพื่อหาค่าความชื้นและอัตราส่วนความชื้น

นำข้อมูลน้ำหนักของตัวอย่าง (w) ที่เวลาต่าง ๆ และน้ำหนักแห้ง (d) มาคำนวณหาความชื้นตัวอย่างดังสมการที่ 2 – 2 และคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นดังสมการที่ 2 – 5

3.2 การพัฒนาสมการอบแห้ง

สมการอบแห้งแบบทฤษฎี

วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของพริกไทย โดยใช้สมการการแพร่ความชื้นตามกฎข้อที่สองของฟิกส์ (Fick's Second Law of Diffusion) ดังสมการที่ 2 – 3 เพื่อใช้ในการทำนายการเคลื่อนที่ของความชื้น

ผลเฉลยทั่วไปของสมการสำหรับการแพร่ความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ ดังสมการที่ 3 – 1 ภายใต้สมมติฐานที่ว่าผลิตภัณฑ์ มีรูปทรงเป็นทรงกลมสม่ำเสมอและกำหนดให้การแพร่ความชื้นเกิดขึ้นเฉพาะในแนวรัศมีเท่านั้น ในขณะทำการอบแห้ง อุณหภูมิและสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลมีค่าคงที่และไม่เกิดการหดตัวของผลิตภัณฑ์

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} = \frac{6}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{1}{n^2}\right)\exp\left(-\frac{n^2 D_{eff}\pi^2 t}{r_0^2}\right) \qquad (3-1)$$

เมื่อใช้เวลาในการอบแห้งนานพอ สามารถพิจารณาเฉพาะพจน์ (n=1) ของผลเฉลยจากสมการที่ 3 – 1 ได้ดังนี้

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} = \frac{6}{\pi^2}\exp\left(-\frac{n^2 D_{eff}\pi^2 t}{r_0^2}\right) \qquad (3-2)$$

จากสมการที่ 3 – 2 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของลอการิทึมธรรมชาติได้เป็น

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

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เมื่อกำหนดให้ F_0 คือ Fourier number มีค่าเป็น

$$F_0 = \frac{D_{eff}\, t}{r^2} \qquad (3-4)$$

ดังนั้นจากสมการที่ 3 - 4 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$F_0 = -0.1012 \ln(MR) - 0.0504 \qquad (3-5)$$

และ $$D_{eff} = \frac{F_0}{(t/r^2)} \qquad (3-6)$$

เมื่อ D_{eff} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล, m^2/min

r คือ รัศมีของพริกไทย, cm

t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, min

สมการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี

ค่าคงที่ของการอบแห้ง (k) ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่ได้จากสมการการอบแห้งชั้นบางแบบกึ่งทฤษฎีดังสมการที่ 2 – 9 โดยนำข้อมูลอัตราส่วนความชื้น (MR) ที่วิเคราะห์ได้จากหัวข้อ 3.1 กับเวลาอบแห้ง (t) มาเขียนกราฟการลดลงของความชื้น และทำการวิเคราะห์ค่าคงที่ของการอบแห้งด้วยวิธีการกำลังสองถดถอยน้อยที่สุด

สมการอบแห้งแบบเอมไพริคัล

การวิเคราะห์ค่าคงที่ของการอบแห้งที่เกิดจากการวิเคราะห์ด้วยสมการอบแห้งแบบเอมไพริคัลนั้นจะพิจารณาแบบจำลองการการอบแห้งชั้นบางตามตารางที่ 2 – 1 โดยนำข้อมูลอัตราส่วนความชื้น (MR) ที่วิเคราะห์ได้จากหัวข้อ 3.1 กับเวลาอบแห้ง (t) และทำการวิเคราะห์ค่าคงที่ของการอบแห้งด้วยวิธีการกำลังสองถดถอยน้อยที่สุด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3.3 การพัฒนาสมการสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล

การพัฒนาสมการสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล โดยเป็นการพัฒนาค่าดังกล่าวให้มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของตัวกลางตามรูปแบบของสมการของ Arrhenius ดังสมการที่ 3 – 1 และมีความสัมพันธ์กับความชื้นของวัสดุดังสมการที่ 3 – 7

$$D_{eff} = aM^3 + bM^2 + cM + d \qquad (3-7)$$

เมื่อ M คือ ความชื้นของพริกไทยที่เวลาใด ๆ, %(d.b.)

a, b, c, d คือ ค่าคงที่ใด ๆ

จากสมการที่ 3 – 7 สามารถหาค่าคงที่ a, b ,c และ d ได้โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติและพิจารณาความถูกต้องจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ รูปแบบของแบบจำลองการอบแห้งชั้นบาง ดังตารางที่ 2 – 1 เพื่อใช้ทำนายผลข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะเหมาะสมกับแบบจำลองใดมากที่สุด พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เฉลี่ย (Mean Relative Percent Error, %P) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) และค่าไคสแควร์ (reduced chi-square, χ^2) แสดงดังสมการที่ 3 – 8 ถึงสมการที่ 3 – 11 ตามลำดับ โดยแบบจำลองที่ดีกว่าจะต้องให้ค่า R^2 สูงและให้ค่า %P RMSE และ χ^2 ต่ำกว่าแบบจำลองอื่น ๆ (สุเนตร คิลานเภสัช, 2554)

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{N} MR_{exp} \times MR_{pre}\right)^2}{\left(\sum_{i=1}^{N} MR_{exp}^2\right)\left(\sum_{i=1}^{N} MR_{pre}^2\right)} \qquad (3-8)$$

$$P = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N} \frac{\left|MR_{exp} - MR_{pre}\right|}{MR_{exp}} \qquad (3-9)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(MR_{exp} - MR_{pre})^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (3-10)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(MR_{exp} - MR_{pre})^2}{N-n} \quad (3-11)$$

เมื่อ MR_{exp} คือ อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง

MR_{pre} คือ อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทำนาย

N คือ จำนวนข้อมูลที่ทำการทดลอง

n คือ จำนวนค่าคงที่ของแต่ละแบบจำลอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University