



การศึกษาการอบแห้งส้มจี๊ดด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด
The study of kumquat drying process using fluidized bed dryer

ปฐวิภาณ ถิ่นพระบาท
ณทพร จินดาประเสริฐ
ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณกองทุนเพื่อการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2567
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง การศึกษาการอบแห้งสั้จัดด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด
ผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท อาจารย์ ดร.ณทพร จินดาประเสริฐ
และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
พ.ศ. 2567

บทคัดย่อ

ปัจจุบันสั้จัดเป็นที่ต้องการของตลาดสูงมาก เนื่องจากมีข้อมูลผลการวิจัยกล่าวว่าสั้จัดสามารถช่วยต้านหวัด แก้ไอ ขับเสมหะ แก้เจ็บคอ แก้โรคมุมิแพ้ทางลำคอ แก้ท้องอืด ท้องเฟ้อ และช่วยในการย่อยอาหาร วิตามินเอ มีวิตามินซีสูง สามารถช่วยบำรุงผิวพรรณ เปลือกและกากสั้จัดอุดมไปด้วยเส้นใยอาหาร โดยมีปริมาณใยอาหารรวมร้อยละ 84.25 แบ่งเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 48.49 และที่ละลายน้ำร้อยละ 35.76 ในช่วงเวลาที่มะนาวมีราคาแพง สิ่งที่ร้านอาหารนำมาใช้ทดแทนความเปรี้ยวของมะนาวนอกจากมะขามแล้วก็เป็น สั้จัด ซึ่งมีความเปรี้ยว ความหอม ในการปรุงรสของอาหารไม่แพ้มะนาว การปลูกก็ง่าย การดูแลรักษาก็ง่าย ปัจจุบันการเพาะปลูกสั้จัดที่จังหวัดจันทบุรีและจังหวัดระยองมีพื้นที่ปลูกสั้จัดประมาณ 50 ถึง 100 ไร่ ได้ผลผลิตต่อปีละประมาณ 50 ถึง 70 ตันต่อปี เกษตรกรสามารถขายสั้จัดได้ในกิโลกรัมละ 55 ถึง 70 บาท ผลผลิตสั้จัดมีปริมาณมากเกษตรกรจึงต้องนำสั้จัดมาเป็นวัตถุดิบในการแปรรูป และการแปรรูปสั้จัดสามารถเก็บไว้บริโภคได้นาน การแปรรูปสั้จัดเป็นผลิตภัณฑ์มี 7 รูปแบบ ได้แก่ น้ำสั้จัดพร้อมดื่ม แยมสั้จัด มาร์มาเลดสั้จัด เยลลี่สั้จัด สั้จัดแช่อิ่มอบแห้ง ไอศกรีมเชอร์เบทสั้จัด และเค้กสั้จัด ดังนั้นโครงการนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการนำสั้จัดมาอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่จะทำการศึกษามีอุปกรณ์ประกอบด้วย ชุดพัดลมโบลเวอร์ เป่าลมผ่านฮีตเตอร์ทำความร้อน เกิดลมร้อนไปยังถังอบ และมีตะแกรงสแตนเลสที่ใส่สั้จัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm สูง 65 cm ในการทดลองนี้ได้กำหนดน้ำหนักสั้จัดในการอบแห้ง 1,000 g ทดลองสั้จัดที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C จะบันทึกข้อมูลการทดลองทุก 15 นาที เพื่อหาความชื้นที่ลดลงต่อช่วงเวลา ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งสั้จัดที่อุณหภูมิ 55 °C ใช้เวลาในการอบแห้ง 225 นาที นำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ 50 % เป็นอุณหภูมิอบแห้งสั้จัดที่ดีที่สุด

Title The study of kumquat drying process using fluidized bed dryer

By Asst.Prof. Dr.Padipan Tinprabath Dr.Nataporn Chindaprasert
and Asst.Prof. Dr.Prasert Wirotcheewan
Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

Year 2024

Abstract

Kumquats are currently in high demand on the market as a result of studies and research indicating that they can aid in digestion and treat digestive problems as well as colds, coughs, sore throats, and allergies of the throat. Additionally, it is abundant in vitamins A and C, which can nourish the epidermis. Peel and fiber are rich in dietary fiber. The total dietary fiber content is 84.25%, divided into 48.49% insoluble fiber and 35.76% soluble fiber. During the time when lime is expensive, what restaurants use to replace the sourness of lime, besides tamarind, is kumquat, which has a sourness and aroma in the seasoning of the food like a lime. It is easy to grow and easy to take care. Currently, kumquat cultivation in Chanthaburi and Rayong provinces has about 50-100 rai of kumquat planting areas, yielding approximately 50-70 tons per year. Farmers can sell kumquats at 55-70 baht per kilogram. The production of kumquats is large, so farmers have to use kumquats as raw materials for processing and kumquat processing can be stored for consumption for a long time. There are seven forms of kumquat processing into products: kumquat juice, kumquat jam, kumquat marmalade, kumquat jelly, dried kumquat, kumquat sorbet ice cream and kumquat cake. Therefore, this project was interested in studying the drying of kumquat juice by using a fluidized bed dryer. The fluidized bed dryer to be studied consisted of a blower to blow air through the heater. Hot air would be generated to the drying tank and there would be a stainless steel sieve that holds kumquat with a diameter of 30 cm, 65 cm height. In this experiment, kumquat drying weight was 1,000 g. Kumquat was tested at 55 °C, 60 °C and 65 °C. The experimental data were recorded every 15 minutes to determine the decrease in moisture per time period. The results showed that kumquat drying at 55 °C took a drying time of 225 minutes and 50% reused heat was the best drying temperature for kumquat.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ กองทุนเพื่อการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ นายโอภาส เย็นประยูร และ นายเหมราช กิจผดุง นักศึกษาสาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ช่วยดำเนินการปรับปรุงเครื่อง และช่วยทดสอบ งานวิจัยนี้สำเร็จไปด้วยดี

ปฏิภาณ ถิ่นพระบาท
ณทพร จินดาประเสริฐ
ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 สัมจิต	3
2.2 การอบแห้ง	5
2.3 ตู้อบแบบฟลูอิดไดซ์เบด	10
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน	11
2.5 ทฤษฎีคุณสมบัติของของไหล	13
2.6 ทฤษฎีความร้อน	15
2.7 ทฤษฎีไฟฟ้า	17

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	21
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	21
3.2 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	22
3.3 วิธีการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	22
3.4 การจัดทำตะแกรงเพื่อใช้ออบ	29
บทที่ 4 ผลการศึกษา	30
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้การทดลอง	30
4.2 ขั้นตอนหลังจากการใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	30
4.3 วัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	31
4.4 ข้อมูลและผลการอบแห้ง	31
4.5 อัตราส่วนความชื้น	37
4.6 อัตราการอบแห้ง	37
4.7 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ	38
4.8 การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ	38
4.9 ผลการหาค่าไฟฟ้า	39
4.10 ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง	40
4.11 สรุปผลการทดลอง	40

บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัย	41
5.1 ผลการศึกษา	41
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	41
5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา	41
บรรณานุกรม	42
ประวัติผู้วิจัย	45
ภาคผนวก ก. การเผยแพร่งานวิจัย	48

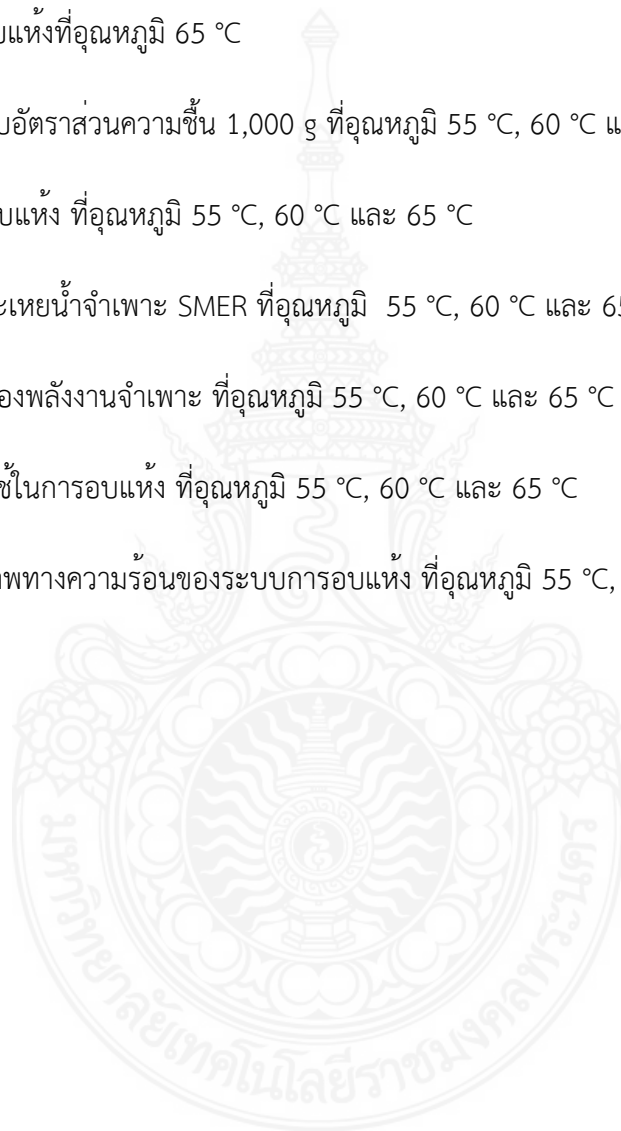


สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สัมผัส	3
2.2 การเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบ	5
2.3 เสนักกราฟอัตราเร็วในการอบในช่วงอัตราเร็วลดลง	8
2.4 ตู้อบ Fluidized bed dryer	11
2.5 การก่อสร้างของไหล	12
2.6 ลักษณะการไหลแบบราบเรียบ	12
2.7 ลักษณะการไหลแบบแปรปรวน	14
2.8 การพาความร้อนถูกบังคับและการพาความร้อนธรรมชาติ	16
2.9 การถ่ายโอนการพาความร้อนจากแท่งวัสดุผิวร้อน	16
2.10 มอเตอร์ไฟฟ้า	18
2.11 กระแสในขณะสตาร์ทของมอเตอร์	18
2.12 โบลเวอร์	19
2.13 ลักษณะของการต่อฟิวส์ในวงจรมอเตอร์	19
2.14 ลักษณะของโอเวอร์โหลด	19
3.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน	21
3.2 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	22
3.3 ปลอกเปลือกสัมผัสและนำมาไว้ในบนภาชนะ	23

3.4 นำส้จืดมาทำการชั่งน้ำหนัก	23
3.5 ทำการชั่งตวงน้ำตาลทราย	24
3.6 นำส้จืดที่แกะมาต้มในน้ำร้อน	24
3.7 ต้มส้จืดในน้ำร้อน	25
3.8 ตั้งเวลาต้มส้จืด 3 นาที	25
3.9 นำส้จืดที่ต้มมาไว้ในกระชอน	26
3.10 จับเวลา 5 นาที เพื่อให้ให้น้ำหยดหมด	26
3.11 นำส้จืดมาใส่ในตะแกรงที่จะทำการอบ	27
3.12 นำส้จืดมาใส่ในถังอบ	27
3.13 ทำการตั้งเครื่องอบแห้งและส้จืด	27
3.14 เปิดสวิตซ์เพื่อให้มอเตอร์ทำงาน	28
3.15 เปิดฮีตเตอร์และปรับอุณหภูมิที่จะทำการอบ	28
3.16 จับเวลาในการอบ 15 นาที	29
3.17 ตะแกรงสแตนเลสขนาด 30*65 เซนติเมตร	29
4.1 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 1,000 g ที่อุณหภูมิ 55 °C	31
4.2 ส้จืดก่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C	32
4.3 ส้จืดหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C	32
4.4 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 1,000 g ที่อุณหภูมิ 60°C	33
4.5 ส้จืดก่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C	34

4.6 สัมผัสจัดหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C	34
4.7 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 1,000 g ที่อุณหภูมิ 65 °C	35
4.8 สัมผัสจัดก่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C	36
4.9 สัมผัสจัดหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C	36
4.10 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น 1,000 g ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C	37
4.11 อัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C	37
4.12 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ SMER ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C	38
4.13 การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C	38
4.14 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C	39
4.15 ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C	39



บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันส้มจี๊ดเป็นที่ต้องการของตลาดสูงมาก เนื่องจากมีข้อมูลผลการวิจัยกล่าวว่าส้มจี๊ดสามารถช่วยต้านหวัด แก้ไอ ขับเสมหะ แก้เจ็บคอ แก้โรคมะเร็งทางลำคอ แก้ท้องอืด ท้องเฟ้อ และช่วยในการย่อยอาหาร วิตามินเอ มีวิตามินซีสูง สามารถช่วยบำรุงผิวพรรณ เปลือกและกากส้มอุดมไปด้วยเส้นใยอาหาร โดยมีปริมาณใยอาหารรวมร้อยละ 84.25 แบ่งเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 48.49 และที่ละลายน้ำร้อยละ 35.76 [1] ในช่วงเวลาที่มะนาวมีราคาแพง สิ่งที่ร้านอาหารต่าง ๆ นิยมนำมาใช้ทดแทนความเปรี้ยวของมะนาวนอกจากมะขามแล้วก็เป็น ส้มจี๊ด ซึ่งมีความเปรี้ยว ความหอม ในการปรุงรสของอาหารไม่แพ้มะนาว โดยส่วนมากจังหวัดในแถบภาคใต้ นิยมนำมาใช้ปรุงรสอาหารมากที่สุด การปลูกก็ง่าย การดูแลรักษาก็ง่าย และที่สำคัญราคาถูกกว่ามะนาว [2] ซึ่งในปัจจุบันการเพาะปลูกส้มจี๊ดที่จังหวัดจันทบุรีและจังหวัดระยองมีพื้นที่ปลูกส้มจี๊ดประมาณ 50-100 ไร่ ได้ผลผลิตต่อปีละประมาณ 50-70 ตันต่อปี เกษตรกรสามารถขายส้มจี๊ดได้ในกิโลกรัมละ 55-70 บาท ผลผลิตส้มจี๊ดมีปริมาณมากเกษตรกรจึงต้องนำส้มจี๊ดมาเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าของส้มจี๊ด และการแปรรูปส้มจี๊ดสามารถเก็บไว้บริโภคได้นาน [3] การแปรรูปส้มจี๊ดเป็นผลิตภัณฑ์มี 7 รูปแบบ ได้แก่ น้ำส้มจี๊ดพร้อมดื่ม แยมส้มจี๊ด มาร์มาเลดส้มจี๊ด เยลลี่ส้มจี๊ด ส้มจี๊ดแช่อิ่มอบแห้ง ไอศกรีมเชอร์เบตส้มจี๊ด และเค้กส้มจี๊ด

การอบแห้ง คือ การนำน้ำออกจากวัสดุที่ต้องการทำให้ปริมาณน้ำในวัสดุนั้นน้อยลง (ความชื้นลดลง) จนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็ง วัสดุที่พึงพากระบวนการอบแห้งนั้นมีตั้งแต่จำพวกที่มีรูปร่างและสัดส่วนชัดเจน คือ วัสดุไม้ ไปจนถึงวัสดุอื่น ๆ เช่น วัสดุที่มีสภาพเป็นเม็ดผงที่มีความชื้นหรือกระทั่งมีสภาพเป็นของเหลว ซึ่งในปัจจุบันได้นำวิธีการอบแห้งมาเป็นวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามความต้องการของตลาดที่หลากหลายอีกด้วย [4] การอบแห้งมีหลายรูปแบบ แต่มีหนึ่งรูปแบบที่สามารถอบแห้งได้ไวคือ การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งความหมายคือ การใช้วิธีเป่าลมร้อนเข้าไปด้านล่างของชั้น วัตถุดิบที่เป็นผงวางบนแผ่นที่มีรูพรุน เพื่อให้ผงวัตถุดิบลอยขึ้นไป ผ่านท่อทางเข้าเพื่อเก็บผงของการอบแห้งไว้ ไม่ให้ลอยหายไปในอากาศ เพื่อไม่ให้เสียประสิทธิภาพของการทำงาน มีการเคลื่อนไหวของผงเสมือนตัวมันเป็นของไหล ซึ่งข้อดีของการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด คือการใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งด้วยวิธีอื่น ๆ ได้วัตถุดิบที่ได้รับความร้อนสม่ำเสมอ [5]

ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการอบแห้งสัสมัจฉิตด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้ เทคนิคการอบแห้งใช้วิธีการเป่าลมร้อนจากเครื่องอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่สามารถทำความชื้นได้อย่างรวดเร็ว เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการผลิตสัสมัจฉิตอบแห้งและเพิ่มมูลค่าสินค้าให้กับเกษตรกร

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาการอบแห้งสัสมัจฉิตด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด
- 2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งสัสมัจฉิตด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 3.1 ใช้ฮีตเตอร์มาเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ระบบ
- 3.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 55, 60 และ 65 องศาเซลเซียส
- 3.3 ใช้โบลเวอร์มาเป็นอุปกรณ์ผลิตลม
- 3.4 ใช้สัสมัจฉิตในการอบแห้งครั้งละไม่เกิน 1 กิโลกรัม
- 3.5 ตัวแปรที่พิจารณาอื่น ๆ ได้แก่ เวลาในการอบแห้ง น้ำหนัก ความชื้นและการใช้พลังงาน
- 3.6 ใช้ความเร็วลมในการเป่า 10 ถึง 20 m/s

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 4.1 ได้รับความรู้เรื่องการอบแห้งสัสมัจฉิตด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด
- 4.2 ได้ทราบตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งสัสมัจฉิตด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในบทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ทำการทบทวน ศึกษา ตำรา เอกสาร งานวิจัย ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อจะได้นำข้อมูลมาเป็นพื้นฐานในเบื้องต้น ประกอบด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับ ส้มจี๊ด การอบแห้ง ทฤษฎีการอบแห้ง ตู้อบแบบฟลูอิดไดซ์เบด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด ทฤษฎีคุณสมบัติของของไหล ทฤษฎีความร้อน ทฤษฎีไฟฟ้า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ส้มจี๊ด [1]



รูปที่ 2.1 ส้มจี๊ด [1]

ส้มจี๊ดหรือเรียกกันอีกชื่อว่า ส้มมะปี้ด มีชื่อวิทยาศาสตร์ Citrus japonica thunb. จัดอยู่ในวงศ์ ส้ม (RUTACEAE) ซึ่งก็คือพืชในตระกูลมะนาว ส้มโอ ส้มเขียวหวาน ส้มจี๊ดมีชื่อภาษาอังกฤษที่นานาชาติรู้จักกันในชื่อ “Kumquats หรือ Cumquats” ซึ่งมีรากศัพท์มาจากภาษาจีนกวางตุ้ง น่าจะออกเสียงว่า “ก่าควิด หรือ ก่าควอท” หมายถึงส้มแมนดารินที่มีสีทอง ส้มจี๊ดมีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศจีน ซึ่งมีบันทึกถึงการใช้อย่างแพร่หลายในประวัติศาสตร์ของจีนมาตั้งแต่ศตวรรษที่ 12 และพบการปลูกมา

อย่างยาวนานในแถบเอเชียตะวันออก (ประเทศญี่ปุ่นและไต้หวัน) เอเชียใต้ (อินเดีย) และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟิลิปปินส์) ตามประวัติศาสตร์มีผู้นำส้มจี๊ดเข้าสู่ยุโรปในปี พ.ศ. 2389 โดยโรเบิร์ต ฟอรัจ (Robert fortune) หลังจากนั้นไม่นานก็มี การนำเข้าไปปลูกในอเมริกาเหนือ เหตุที่ส้มจี๊ดแพร่พันธุ์เป็นที่นิยมนั้น น่าจะมาจาการรสชาติที่นำมาทำของกินได้หลากหลายรูปทรงต้นเป็นไม้ประดับสวยงาม และดอกสีขาว กลิ่นหอมแรง แม้ว่าตามกิ่งมีหนามแหลมคม ยาวประมาณ 1 ถึง 3 เซนติเมตร ส้มจี๊ดจัดเป็นไม้พุ่มปลูกในกระถางได้พอสมควรหรือลงดินก็มีความสูงได้ประมาณ 1.5 ถึง 3 เมตร และขึ้นได้ทั่วไปปลูกไม่ยากแต่ส้มจี๊ดมีความผันแปร ทางพันธุกรรมมาก ทำให้มีหลายลักษณะจึงมีบันทึกต่างกันไว้ 4 ลักษณะ คือ

2.1.1 ส้มจี๊ดผลกลม (Round kumquat)

ผลค่อนข้างกลมขนาดเล็ก เนื้อส้มรสหวาน แต่มเปรี้ยวบริเวณใกล้แกนกลางผลกินสดหรือนำมาประกอบเป็นอาหารประเภทต่างๆ เช่น มาร์มาเลด (คล้ายแยมแต่จะใสเปลือก ผิว พร้อมเนื้อผลไม้ หรือเรียกแยมผิวส้ม) เยลลี่ และสเปรด (คล้ายแยมเช่นกัน แต่ส่วนผสมมากกว่าครึ่งใช้เนื้อผลไม้แท้ผสมกับน้ำผลไม้เข้มข้น ไม่ใส่น้ำตาล) และอาหารอื่น ๆ ต้นส้มจี๊ดผลกลมนำมาทำบอนไซได้ หรือปลูกเป็นต้นเล็กๆ ในกระถางซึ่งในประเทศจีนและประเทศในเอเชียถือว่าเป็นพืชมงคล ให้ความโชคดี ร่ำรวยแก่ผู้ปลูก

2.1.2 ส้มจี๊ดผลรูปไข่ (Oval kumquat)

ผลรูปไข่กินได้ทั้งผล (เนื้อและเปลือก) เนื้อมีรสเปรี้ยวแต่เปลือกมีรสหวานต้นที่อยู่ในธรรมชาติมีขนาดเล็กจึงเหมาะที่จะปลูกในกระถางหรือนำมาทำบอนไซ

2.1.3 ส้มจี๊ดเหมยฮวา (Meiwa kumquat) นำจากจีนเข้าไปปลูกในญี่ปุ่นตอนปลายศตวรรษที่ 19 ซึ่งมีลักษณะผลกลมมีเมล็ด ใบหนากินได้ทั้งเปลือกและเนื้อผล ส้มจี๊ดเหมยฮวานี้ยังมีชนิดย่อยๆ อีกคือชนิดฮ่องกง (Hong kong kumquat) ผลมีขนาดเล็กเท่าเมล็ดถั่ว รสขมและเปรี้ยวจัด มีเนื้อน้อยมาก และมีเมล็ดขนาดใหญ่ มักปลูกเป็นไม้ประดับแต่นับเป็นสายพันธุ์ที่เก่าแก่ที่สุดตามธรรมชาติพบได้ที่ประเทศจีนตอนใต้ และชนิดย่อยอีกชนิด คือ ชนิดเจียงซูหรือฟูกูซู (Jiangsu kumquat หรือ Fukushu kumquat) ผลรูปกลมหรือรูปประฆัง เมื่อสุกเต็มที่จะมีสีเหลืองสดใส แตกต่างจากส้มจี๊ดชนิดอื่นๆ ตรงที่มีใบกลมและมีความแตกต่างจากส้มจี๊ดผลกลมทั่วไป คือ สามารถเจริญเติบโตได้ในที่มีอุณหภูมิหนาวเย็น

2.1.4 ส้มจี๊ดมลายัน (Malayan kumquat)

เป็นสายพันธุ์ลูกผสมเช่นกัน แต่มีเปลือกบางและขนาดของผลจะใหญ่กว่าชนิดอื่นๆ ชนิดนี้เป็นสายพันธุ์ที่ปลูกเท่านั้นไม่ได้เกิดเองตามธรรมชาติ การใช้ประโยชน์ทางยาสมุนไพร ในทางสรรพคุณยาจีนกล่าวว่า ผลส้มจี๊ดที่มีรสเปรี้ยวนั้นจะให้พลังเย็นคนไข้ที่มีอาการปอดชื้นสังเกตได้จากมักเป็นหวัดบ่อยๆ และเป็นๆ หายๆ หรือหายากและมักมีเสมหะมาก แนะนำให้ซังชาส้มจี๊ดช่วยบรรเทาได้ โดยนำเปลือกมาชงกับน้ำร้อนและแต่งรสด้วยน้ำตาลกรวด (ชาวจีนนิยมใช้เพราะจัดเป็นการแต่งรสหวานที่ไม่เพิ่มฤทธิ์ร้อนกับร่างกาย และรสชาติหวานกลมกล่อม) หรือจะใช้น้ำตาลทรายทั่วไปก็ได้ เปลือกผลดิบกินสดๆ จะช่วยขับลม แก้อืดท้องเฟ้อ กินชาส้มจี๊ดยังช่วยแก้ท้องอืด ขับลมในท้อง แก่

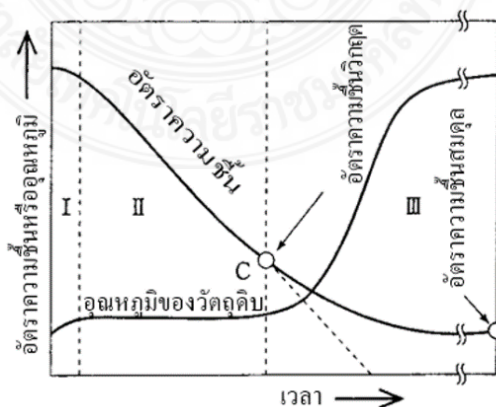
คลิ่นใส่อาเจียน ช่วยย่อยอาหารด้วย เมื่อไม่นานมานี้ อาจารย์ท่านหนึ่งที่ช่วยงานวิชาการให้กับมูลนิธิสุขภาพไทยได้ลงพื้นที่เยี่ยมชมการดำเนินงานของสำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพที่สนับสนุนกลุ่มวิสาหกิจชุมชนพัฒนาทรัพยากรชีวภาพ ที่ชุมชนบ้านวันยาว อำเภอลำลูกเกด จังหวัดจันทบุรี พบว่าชาวบ้านกลุ่มนี้เข้มแข็งได้ทำการศึกษาพันธุ์ส้มจี๊ดรอบพื้นที่ประชุมระดมความคิดเห็นจนได้ข้อมูลที่น่าสนใจว่า คนพื้นถิ่นจันทบุรีเรียกส้มจี๊ดว่า “ส้มมะปี้ด” และพบว่าอยู่ในสังคมวัฒนธรรมของชาวจังหวัดจันทบุรีมาไม่น้อยกว่า 200 ปี เนื่องจากบริเวณนี้เป็นดินเค็มปลูกมะนาว ไม่ค่อยได้คนจันทบุรีแต่อดีตจึงใช้ส้มปี้ดแทนมะนาวมาตลอด เรียกว่าปรุงและประกอบอาหารทุกชนิดจะใช้ส้มมะปี้ด

2.2 การอบแห้ง (Drying) [8]

การอบแห้ง (Drying) คือ การเอาน้ำออกจากวัสดุที่ต้องการทำให้ปริมาณน้ำในวัสดุนั้นลดลง (ความชื้นลดลง) โดยส่วนใหญ่วัสดุนั้นจะอยู่ในสถานะของแข็ง น้ำที่ระเหยออกจากวัสดุนั้นอาจจะไม่ต้องระเหยที่จุดเดือดแต่ใช้อากาศพัดผ่านวัสดุนั้นเพื่อดึงน้ำออกมา วัสดุจะแห้งได้มาก-น้อยจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของมันด้วย ในการอบ เมื่อทำให้ของเหลวในวัตถุดิบระเหยเป็นไอ จะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีสัดส่วนของของเหลวต่ำลง ซึ่งนอกจากจะมีกรณีที่วัตถุดิบมีสภาพเป็นของแข็งที่เปื่อยขึ้นยังมีกรณีที่อบของเหลวข้น (Slurry) หรือของเหลวใสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงอีกด้วย

เครื่องอบโดยมากมักจะเป็นส่วนสุดท้ายของกระบวนการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่อบแล้วจะกลายเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จทันที ดังนั้น การอบไม่สม่ำเสมอ เช่น ไม่แห้งหรือแห้งเกินไป และรูปร่างของผลิตภัณฑ์ เช่น วัตถุดิบเป็นก้อน รวมทั้งปริมาณผลได้ (Yield) จึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสนใจ นอกจากนี้ ความร้อนแฝงของการระเหยของของเหลวจะมีค่าสูง การอบจึงสิ้นเปลืองพลังงานมาก การจัดการพลังงานความร้อนจึงเป็นปัญหาที่สำคัญ

อัตราเร็วในการอบกับเส้นกราฟแสดงสมบัติการอบเมื่อนำวัตถุดิบที่จะอบซึ่งเปื่อยขึ้นอย่างเพียงพอถึงผิวหน้ามาแขวนไว้ในกระแสร้อนแล้วติดตามตรวจวัดอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบนั้น โดยทั่วไปจะได้ผลลัพธ์ดังรูปซึ่งกลไกการอบสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะที่มีลักษณะแตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบ [3]

2.2.1 ช่วงอุ่นวัตถุดิบ [5]

ในช่วง I เป็นช่วงที่อุณหภูมิของวัตถุดิบจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิตั้งต้น (อุณหภูมิห้อง) จนถึงอุณหภูมิสมดุลที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการอบ เรียกว่า ช่วงอุ่นวัตถุดิบ ในกรณีที่วัตถุดิบได้รับความร้อนด้วยการพาความร้อนโดยลมร้อน อุณหภูมิสมดุลนี้จะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมร้อน

2.2.2 ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ [5]

ในช่วง II วัตถุดิบจะมีอุณหภูมิคงที่ ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้รับจะถูกนำไปใช้ในการระเหยความชื้นเท่านั้น ขั้นตอนของการระเหยจะเกิดที่ผิวหน้าของวัตถุดิบโดยอัตราเร็วในการอบจะมีค่าคงที่ ช่วงนี้เรียกว่า ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งจะดำเนินไปตราบเท่าที่จะมีความชื้นอิสระให้ระเหยอยู่ที่ผิวหน้าของวัตถุดิบ โดยอัตราความชื้นของวัตถุดิบจะลดลงด้วยอัตราเร็วคงที่

2.2.3 ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง [5]

เมื่ออบไปเรื่อย ๆ จนปริมาณความชื้นที่ผิวหน้าวัตถุดิบแห้งลง และความชื้นภายในเนื้อวัตถุดิบเริ่มลดลง ความชื้นอิสระภายในตัววัตถุดิบจะซึมขึ้นมาทดแทน ให้ทันกับอัตราเร็วในการระเหยที่ผิวหน้า จึงเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ III ได้แก่ ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง ขั้นตอนของการระเหยจะค่อย ๆ เลื่อนลงลึกเข้าไปในเนื้อวัตถุดิบ อุณหภูมิของวัตถุดิบจะเริ่มเข้าใกล้อุณหภูมิของลมร้อนจากบริเวณพื้นผิวในการอบความร้อนจะต้องเข้าไปถึงภายในเนื้อวัตถุดิบ นอกจากนี้ความร้อนส่วนหนึ่งยังต้องใช้ไปในการให้ความร้อนตัววัตถุดิบเองอีกด้วย อัตราเร็วในการอบจึงค่อย ๆ ลดลงตามเวลาที่ผ่านไป

ความสามารถในการดูดซับความชื้นของวัสดุขึ้นกับกลไกการเคลื่อนที่สภาพของความชื้นที่มีอยู่ภายในวัตถุดิบขึ้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อกลไกการเคลื่อนที่ของความชื้นในวัตถุดิบ เบี่ยงนอกจากจะมีความชื้นในรูปน้ำอิสระแล้ว ยังมีน้ำ Adsorption water ที่เกาะติดกับพื้นผิวของแข็ง ความชื้น Bonding water และไอน้ำในช่องว่างอีกด้วย

2.2.4 การคำนวณหาความชื้นมาตรฐานแห้ง [6]

ความชื้นมาตรฐานแห้งนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในการวิเคราะห์ของกระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง เหตุที่เกือบจะคงที่เป็นเพราะว่าผลผลิตทางเกษตรเป็นสิ่งมีชีวิตมีการหายใจ ดังนั้นสามารถหาความชื้นมาตรฐานแห้งได้ตามสมการที่มีการเผาผลาญสารอาหาร ทำให้มวลแห้งมีโอกาสลดลงได้ ส่วนใหญ่แล้วมวลแห้งจะลดลงเล็กน้อย ดังสมการที่ 2.1

$$M_d = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100 \quad (2.1)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (d.b.)

m_w คือ มวลของผลผลิตขึ้น (kg)

m_d คือ มวลของผลผลิตแห้ง (kg)

2.2.5 การคำนวณหาความชื้นมาตรฐานเปียก [6]

การบอกค่าความชื้นก็คือการบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ สามารถบอกได้เป็นความชื้นมาตรฐานเปียก ดังสมการที่ 2.2

$$M_w = \frac{m_w - m_d}{m_w} \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (w.b.)

m_w คือ มวลของผลผลิตชื้น (kg)

m_d คือ มวลของผลผลิตแห้ง (kg)

2.2.6 การคำนวณหาความชื้นสุดท้ายของวัตถุดิบ [6]

ค่าความชื้นสุดท้ายคือปริมาณน้ำที่อยู่ในวัตถุดิบน้อยที่สุดของวัสดุแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน โดยจะต้องคำนึงถึงความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ สามารถคำนวณหาได้ ดังสมการที่ 2.3

$$M_f = M_s - M_1 \quad (2.3)$$

เมื่อ M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของวัตถุดิบ

M_s คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ

M_1 คือ ความชื้นที่หายไป

หมายเหตุ ค่าความชื้นที่ใช้ในสูตรต้องใช้ความชื้นมาตรฐานชนิดเดียวกัน

2.2.7 สูตรการคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio) [6]

ค่าอัตราส่วนความชื้นเป็นค่าที่นิยมนำมาใช้ในการเขียนกราฟ เพื่อแสดงผลการทดลองที่มีค่าสูงสุดเท่ากันทุกชนิด จึงเหมาะกับการเปรียบเทียบผลการทดลอง ดังสมการที่ 2.4

$$M_R = \frac{M_t}{M_s} \quad (2.4)$$

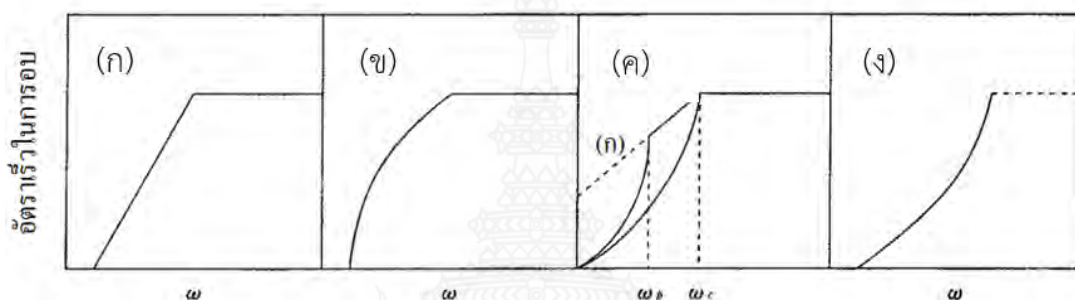
เมื่อ M_R คือ อัตราส่วนความชื้น

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ

M_s คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ

2.2.8 อัตราเร็วในการอบด้วยอัตราเร็วลดลง [5]

อัตราเร็วในการอบวัตถุดิบที่เป็นของแข็ง จะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัตถุดิบและเงื่อนไข การออกแบบรูปร่างของเส้นกราฟคุณลักษณะการอบในช่วงอัตราเร็วลดลงนี้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขภายใน ได้แก่ ลักษณะของวัตถุดิบ สมบัติของความชื้นภายในวัตถุที่มีอยู่ ฯลฯ มากกว่าเงื่อนไขการอบภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วของลมร้อน ฯลฯ เมื่อทำการวัดเส้นกราฟอัตราเร็วในช่วงอัตราเร็วลดลงของวัสดุต่าง ๆ จะแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เส้นกราฟอัตราเร็วในการอบในช่วงอัตราเร็วลดลง [6]

ในจำนวนประเภทต่าง ๆ ข้างต้น รูป (ก) จะพบในกรณีที่อนุภาคของวัตถุดิบมีน้ำอยู่ในรูปที่ค่อนข้างเป็นอิสระ กล่าวคือ การอบหดยของเหลว เยื่อบาง อนุภาคขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 5 mm เป็นต้น รูป (ข) พบได้ในอนุภาคขนาดจืดที่มีคุณสมบัติ Non-hydrophilic หรือวัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นใยสั้น ๆ เป็นต้น ทั้งรูป (ก) และ (ข) เป็นวัสดุที่น้ำจะเคลื่อนที่สู่ผิวหน้าด้วยแรง Capillary ช่วงอัตราเร็วลดลงขั้นที่ 1 รูป (ง) โดยมากจะพบในการอบสารเนื้อเดียว เช่น สบู่ กาวเจลาติน ฯลฯ ซึ่งไม่มีช่วงอบด้วยอัตราคงที่ โดยอัตราความชื้นที่ผิวจะลดลงอย่างรวดเร็วจนเท่ากับอัตราความชื้นสมดุลกับลมร้อน หลังจากนั้นการแพร่ของน้ำภายในวัตถุดิบจะมีอิทธิพลเด่นชัดที่สุด การอบรูป (ค) วัตถุดิบมีสมบัติระหว่าง (ก), (ข) กับ (ง) โดยช่วงอัตราการอบแห้งลดลง จะมี 2 ช่วง คือหลังจากเกิดช่วงอัตราเร็วลดลงขั้นที่ 1 แล้วจะเข้าสู่ช่วงอัตราเร็วลดลงขั้นที่ 2 โดยกรณี (ก) จะพบในวัสดุที่มี Osmotic water เช่น ดินเหนียว และกรณี (ข) เป็นรูปที่ทั่วไปที่สุด พบได้ในประเภทวัสดุหล่อขึ้นตะกอน เป็นต้น

ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการอบโดยคร่าว ๆ สำหรับรูป (ก), (ข) จะแปรผันตามความหนาของวัสดุ ขณะที่รูป (ง) จะแปรผันตามความหนาของวัตถุดิบกำลังสอง ส่วนรูป (ค) จะอยู่ระหว่างทั้งสองแบบข้างต้น

2.2.9 การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง [7]

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Moisture content on dry basis) เป็นอัตราส่วนของมวลน้ำในวัสดุต่อมวลแห้งของวัสดุ อัตราการอบแห้ง (Drying rate) คำนวณได้จากสมการที่ 2.5

$$DR = \frac{m_i - m_f}{t} \quad (2.5)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (kgw/h)

t คือ เวลาในการอบแห้ง (h)

2.2.10 การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) [7]

การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เป็นอัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ในระบบอบแห้งต่อความชื้นที่ระเหยออกจากวัสดุในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ดังสมการที่ 2.6

$$SEC = \frac{E_t}{M_w} \quad (2.6)$$

เมื่อ SEC คือ การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg)

E_t คือ พลังทั้งหมดที่ใช้ในระบบอบแห้ง (MJ)

2.2.11 พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบอบแห้ง คำนวณได้จากสมการที่ 2.7 [12]

$$E_t = E_{\text{electric}} + E_{\text{thermal}} \quad (2.7)$$

เมื่อ E_{electric} คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (MJ)

E_{thermal} คือ ปริมาณพลังงานความร้อน (MJ)

2.2.12 ความชื้นในวัสดุที่ระเหยระหว่างกระบวนการอบแห้ง คำนวณได้จากสมการที่ 2.8

$$m_{\text{evap}} = m_i - m_f \quad (2.8)$$

เมื่อ M_i คือ มวลของวัสดุก่อนกระบวนการอบแห้ง (kg)

M_f คือ มวลของวัสดุหลังกระบวนการอบแห้ง (kg)

2.2.13 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน คำนวณได้จากสมการที่ 2.9

$$\eta_{th} = \frac{E_{evap}}{E_{input}} \times 100\% = \frac{m_{evap} h_{fg}}{E_t} \times 100\% \quad (2.9)$$

เมื่อ η_{th} คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง (%)

E_{evap} คือ พลังงานที่ใช้ในการระเหยความชื้น (Wh)

E_{input} คือ พลังงานที่ให้กับระบบการอบแห้ง (Wh)

E_t คือ พลังทั้งหมดที่ใช้ในระบบการอบแห้ง (Wh)

m_{evap} คือ ความชื้นที่ระเหยออกจากวัสดุในกระบวนการอบแห้ง (kg)

h_{fg} คือ พลังงานความร้อนแฝงของการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ (Wh/kg)

เท่ากับ 671.83 (Wh/kg) (2418.60 kJ/kg ที่อุณหภูมิทางออกของห้องอบแห้ง 35 °C ซึ่ง 1kWh = 3.6 MJ)

2.3 ตู้อบแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed dryer) [3]

วิธีเป่าลมร้อนเข้าไปจากด้านล่างของชั้นวัสดุที่เป็นผงที่วางบนแผ่นที่มีรูพรุน เพื่อให้ผงวัสดุปลิวลอยขึ้นและมีการเคลื่อนไหวเสมือนตัวมันเป็นของไหลตัวอย่างแสดงไว้ในตู้อบ

2.3.1 ตู้อบแบบนี้จะมีจุดเด่นดังต่อไปนี้ ดังรูปที่ 2.4

1) ผงวัสดุจะสัมผัสกับก๊าซอย่างรุนแรงจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงและเนื่องจากอัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรของผงวัสดุมีค่ามาก จึงมีการถ่ายเทความร้อนรวมได้มาก

2) อนุภาคแต่ละตัวจะกระทบกันอย่างรุนแรงในขณะที่ถูกกวไปมา ทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ

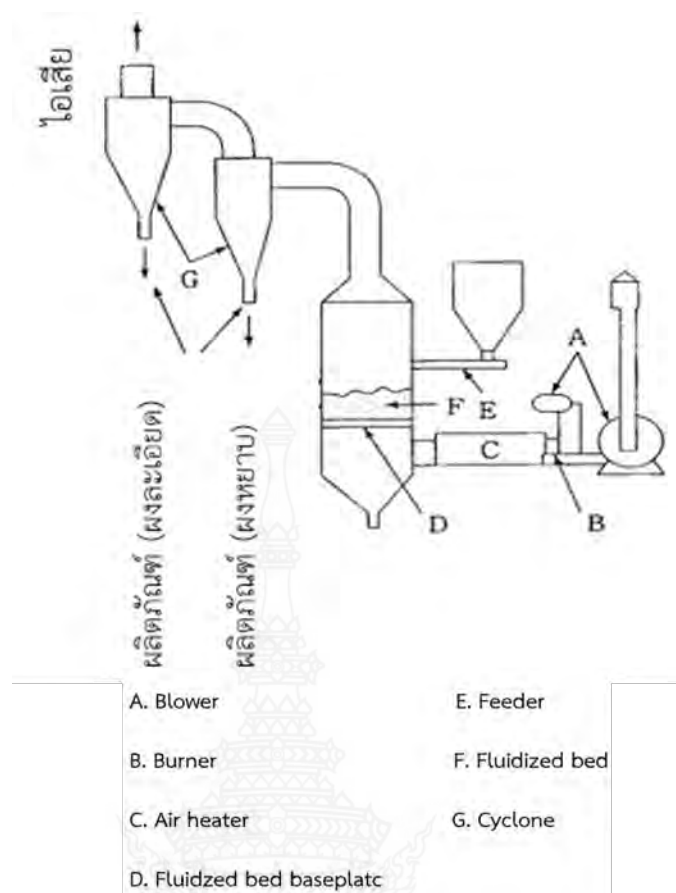
3) ระยะเวลาเฉลี่ยที่อยู่ในเครื่องอบสามารถปรับให้เป็นเท่าใดก็ได้จึงเหมาะกับวัสดุที่ต้องใช้เวลานานในการอบหรือผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราความชื้นต่ำ

2.3.2 ส่วนข้อเสียมีดังต่อไปนี้

1) ไม่สามารถใช้กับวัสดุที่มีความชื้นสูงและการเกาะตัว และรวมตัวสูงเพราะจะไม่สามารถทำให้เกิดสภาพ Fluidized bed ได้

2) อนุภาคจะกระเด็นออกมาพร้อมกับก๊าซได้ง่าย

3) แผ่นกระจายก๊าซและ Fluidized bed อาจจะทำให้เกิดความดันสูญเสียสูงจึงต้องใช้โบลเวอร์เพื่อเป่าอากาศที่มีกำลังสูง



รูปที่ 2.4 ตู้อบ Fluidized bed dryer [3]

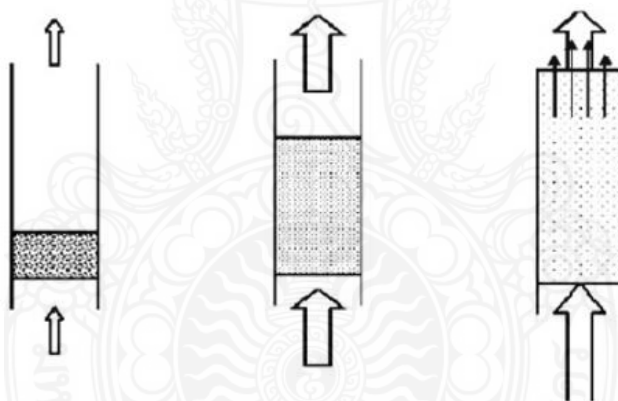
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน [9]

การก่อสภาพของไหล หรือ ฟลูอิดไดเซชัน (Fluidization) เป็นเทคนิคใหม่ที่ได้รับการสนใจในวงการอุตสาหกรรม เช่น การตากแห้ง

2.4.1 คำว่า การก่อสภาพของไหล เป็นนิยามที่ใช้อธิบายกระบวนการหรือวิธีการ ที่มีของแข็งลักษณะเป็นเม็ด สัมผัสกับของไหล เม็ดเหล่านี้จะถูกวางไว้บนตะแกรงในหอตลอดที่มีรูปร่าง เป็นทรงกระบอก แต่ในปัจจุบันมีการดัดแปลง ให้อยู่ในรูปร่างต่าง ๆ อยู่ในแนวนอนก็มีของไหล ที่ใช้ก็มีก๊าซ หรือของเหลว ปล่อยให้ผ่านมาทางด้านล่างของตะแกรงที่รองรับเม็ดของแข็ง ของไหลก็จะไหลผ่านชั้นเม็ดของแข็ง แล้วไหลออกทางส่วนบนของหอตลอด เมื่อเพิ่มความเร็วของไหลให้มากขึ้นเรื่อย ๆ จนในที่สุดจะเห็นเม็ดของแข็งขยับตัวและลอยตัวขึ้นเป็นอิสระไม่เกาะติดกัน ของแข็งที่อยู่ในลักษณะนี้จะมีสมบัติคล้ายของไหล กล่าวคือมีการไหลหมุนเวียนของเม็ดของแข็งภายในเบด (Bed) หรือภายในหอตลอดหรือระหว่างเบดต่อบेดก็ได้ เราจึงเรียกของแข็งในสถานะนี้ว่า การก่อสภาพของไหล

2.4.2 คำว่า เบด หมายถึง อาณาเขตในหอตลอดที่มีปริมาณเม็ดของแข็งบรรจุอยู่ ไม่ว่าเม็ดของแข็งนั้นจะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนไหวด้วยของไหลในหอตลอดจะมีระดับตั้งแต่แผ่นโลหะทำเป็นตะแกรงรองรับ หรือเป็นตัวกระจายของไหล (Distributor) จนถึงระดับสูงสุดคือผิวหน้าของเม็ดของแข็งที่อยู่ใน

หอยท่ดลอง เมื่อบรรจุเม็ดของแข็งเข้าไปในหอยท่ดลองเรียบร้อยตามความต้องการแล้ว เริ่มปล่อยของไหลเข้าทางด้านล่างของหอยท่ดลองอย่างช้า ๆ ในขณะที่ของไหลความเร็วยังน้อยอยู่ เม็ดของแข็งจะไม่ขยับตัวเลย ลักษณะของเบต เช่นนี้เรียกว่า เบตนิ่ง และเมื่อค่อย ๆ เพิ่มความเร็ว ของของไหลให้มากขึ้นทีละน้อยจนถึงความเร็วระดับหนึ่ง เม็ดของแข็งจะเริ่มขยับตัวและจัดตัวอย่างเป็นระเบียบ เมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเม็ดของแข็งจะหลุดออกจากกันลอยตัวเป็นอิสระ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า จุดเริ่มการก่อสภาพของไหลหลังจากจุดนี้ไปแล้วความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้นจะไปทำให้เบตขยายตัวขึ้นตามความเร็วของของไหลเม็ดของแข็งจะยังอยู่ติดกันมากดูเหมือนว่าเม็ดของแข็งยังจับกันเป็นกลุ่มก้อนเบตลักษณะนี้ เรียกว่า ฐานก่อสภาพของไหลแบบหนาแน่น ถ้าความเร็วของของไหลเพิ่มมากขึ้นอีก ของไหลก็จะเกือบพาเอาเม็ดของแข็งออกจากหอยท่ดลอง เบตลักษณะนี้เรียกว่า ฐานก่อสภาพของไหลแบบเจือจาง หลังจากนั้นเพิ่มความเร็วของไหลอีกเล็กน้อย เม็ดของแข็งก็จะหลุดลอยออกจากหอยท่ดลองไป ซึ่งในลักษณะนี้ใช้เป็นการขนส่งของแข็งจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ ถ้าใช้อากาศก็เป็นการขนส่งด้วยอากาศ (Pneumatics transport) เช่น การลำเลียงผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ ถ้าเป็นของเหลวก็เรียกว่า ขนส่งด้วยของเหลว (Hydraulics transport) เช่น การขนส่งเม็ดแร่ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การก่อสภาพของไหล [9]

2.4.3 ฐานก่อสภาพของไหลที่ของเหลวเป็นของเหลว การขยายตัวของเบตเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การลอยตัวและหมุนรอบตัวเองของเม็ดของแข็งเป็นไปอย่างช้า ๆ เรียกเบตนี้ว่า เบตสม่ำเสมอ หรือ เบตที่เป็นเนื้อเดียวกันฐานก่อสภาพของไหลที่ของไหลเป็นก๊าซ ลักษณะของเบต จะแตกต่างจากที่ใช้ของเหลวมาก เพราะว่าเมื่อความเร็วของก๊าซสูงกว่าความเร็วที่จะทำให้เกิดฐาน ก่อสภาพของไหลแล้ว ก๊าซส่วนหนึ่งยังทำหน้าที่ให้เกิดการลอยตัวของเม็ดของแข็งเหมือนเดิม แต่มีอีกส่วนหนึ่งรวมตัวกันแล้วก่อตัวกันเป็นฟองก๊าซเกิดขึ้น ฟองก๊าซจะแทรกตัวเองขึ้นมายังบนผิวหน้าของเบตและแตกตัวเองในที่สุด ขณะที่ฟองก๊าซลอยขึ้นมาจะทำให้เม็ดของแข็งไหลจากส่วนหลังคาของฟองก๊าซลงมายังส่วนล่าง พร้อมกันนั้นยังมีบางส่วนของเม็ดของแข็ง ลอยขึ้นติดตามฟองก๊าซขึ้นไปด้วย ภาย

ในเบตจะเห็นว่า การเคลื่อนของเม็ดของแข็งเป็นไปอย่างขุมนุ่นววย เบตนี้เรียกว่า ฐานก่อกสภาพของไหลแบบวุ่นววย หรือ เบตวุ่นววย

2.4.4 ประเภทของการก่อกสภาพของไหล

1) การก่อกสภาพของไหลสองสถานะ (Two-phase fluidization) หมายความว่า ในหอทดลองหรือเบตที่ใช้งาน จะประกอบด้วยของสองสถานะคือ ของแข็งกับของเหลว ของไหลนี้อาจจะเป็นก๊าซหรือของเหลวก็ได้ ดังนั้น การก่อกสภาพของไหลสองสถานะ ยังแบ่งออกได้อีก 2 ประเภท คือ

1.ก) ก๊าซการก่อกสภาพของไหล

1.ข) การก่อกสภาพของไหลของเหลว

2) การก่อกสภาพของไหลสามสถานะ (Three-phase fluidization) หมายความว่า ภายในหอทดลองหรือเบตจะประกอบไปด้วยของสามสถานะอยู่พร้อมกัน คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ สำหรับการก่อกสภาพของไหลสามสถานะนี้ เป็นกระบวนการที่พัฒนาไปจากการก่อกสภาพของไหลสองสถานะหอทดลองที่เป็นฟอง (Bubble column) และหอทดลองที่บรรจุด้วยของแข็ง (Packed bed)

2.4.5 การหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไลเซชัน

ในขณะที่เม็ดของแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระอยู่นั้นอาจกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าเม็ดของแข็งอยู่ในภาวะสมดุลของแรงสองแรงที่เกิดขึ้นบนเม็ดของแข็ง คือแรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักเม็ดของแข็งนั้นทำให้เม็ดของแข็งเองเกิดแรงพยุงจากการไหลหรือเกิดจากแรงเสียดทานจากแรงต้านของของไหล

2.5 ทฤษฎีคุณสมบัติของของไหล [15]

คุณสมบัติของของไหล (Properties Of Fluids) กลศาสตร์ของไหลเป็นวิทยาศาสตร์ของของเหลวและก๊าซ กลศาสตร์ของไหลนี้ใช้พื้นฐานแบบเดียวกันกับกลศาสตร์ของแข็ง แต่กลศาสตร์ของไหลนี้ยุ่งยากกว่า เพราะส่วนที่ประกอบกันเป็นก้อนของของไหลนั้นไม่สามารถแยกออกจากกันได้ แต่ในกลศาสตร์ของแข็งนั้น ส่วนต่างๆ สามารถแยกออกจากกันได้ และสามารถจับต้องได้และสามารถคำนวณหาอัตราการไหลภายในท่อได้

2.5.1 การจำแนกชนิดของการไหล

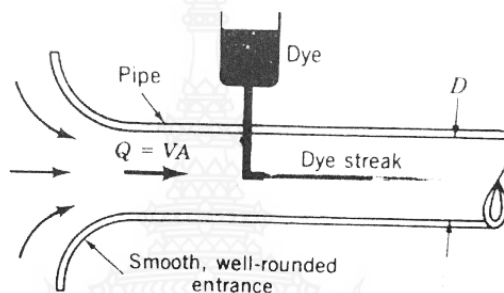
1) ชนิดของการไหล การจำแนกด้วยเกณฑ์ของการกำหนดตำแหน่ง (Space criterion) เทียบเกณฑ์ของเวลา (Time Criterion) ซึ่งจะกำหนดโดยการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวกับ ตำแหน่งเทียบกับเวลา โดยจะแบ่งชนิดการไหลออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1.ก) การไหลแบบคงที่ (Steady flow) หมายถึง การไหลของไหลชนิดที่มีความเร็วในการไหล ณ จุดใด ๆ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

1.ข) การไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady flow) หมายถึง การไหลของไหลชนิดที่มีความเร็วในการไหล ณ จุดใด ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาหรือมีการขาดช่วงใดช่วงหนึ่ง

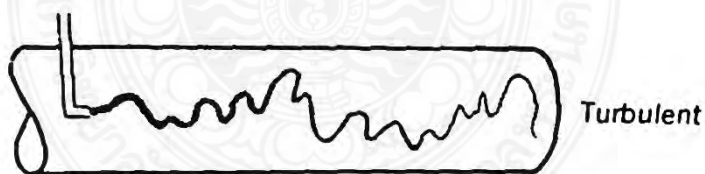
2) ประเภทของการไหล การจำแนกของการไหลของของไหล ก็ต้องคำนึงถึงชนิดของ การไหล ความเร็วของของไหล และการไหลของของไหลว่าเป็นการไหลแบบใด โดยพิจารณาการไหลภายในท่อซึ่งการไหลภายในมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ

2.ก) การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) เป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงขนานกันไปคล้ายกับการไหลเป็นชั้น ๆ (Laminar) ความเร็วของการไหลในชั้นที่อยู่ใกล้ ๆ กันมีค่าไม่เท่ากันแตกต่างกันไปบ้างเล็กน้อยการไหลแบบราบเรียบเป็นไปตามกฎของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Annular deformation ซึ่งก็คือผลคูณของความหนืดของของไหลกับความเร็ว ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะการไหลแบบราบเรียบ [15]

2.ข) การไหลแบบแปรปรวน (Turbulent flow) เป็นการไหลโดยที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ไปอย่างไม่เป็นระเบียบ ความเร็วของอนุภาคของของไหลแตกต่างกันทั้งขนาด และทิศทางความเค้นเฉือนสำหรับการไหลแบบแปรปรวน ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะการไหลแบบแปรปรวน [15]

ค่าวิกฤตของ เรย์โนลด์ นัมเบอร์ ที่บอกได้ว่าเป็นแบบราบเรียบหรือแบบแปรปรวน คือ $Re < 2,300$ การไหลแบบราบเรียบ $2,300 < Re < 3,000$ การไหลในช่วงทรานซิชัน $Re > 3,000$ การไหลแบบแปรปรวน

2.5.2 ความดันของของไหลเนื่องจากการไหล คือ ค่าความดันที่เกิดจากน้ำหนักของแท่งของของเหลว ความดันนี้จะบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลว

2.6 ทฤษฎีความร้อน [16]

การส่งถ่ายอุณหภูมิโดยที่ตัวกลางนั้นเคลื่อนที่ไปกับอุณหภูมิด้วย คือ ลมที่เป่าผ่านขดลวด มีอุณหภูมิถูกเป่าไหลผ่านท่อ ซึ่งลมจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่พาความร้อนไปกับลมเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน ส่วนอัตราการพาความร้อนขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิ ความเร็วของการไหลของลม และใช้เทคนิคทางด้านพลศาสตร์ของไหลสำหรับเปรียบเทียบการความเร็วการไหลของลมภายในห้องอบแห้งความร้อนเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่เปลี่ยนมาจากพลังงานรูปอื่น เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานกล (พลังงานศักย์และพลังงานจลน์) พลังงานเคมี พลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น พลังงานความร้อน มีหน่วยเป็นจูล(Joule, J) ในระบบเอสไอ (SI) แต่บางครั้งอาจบอกเป็นหน่วยอื่นได้ เช่น แคลอรี (Cal) และบีทียู (BTU)

2.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายโอนความร้อน

กระแสไฟฟ้าไหลได้เมื่อมีแรงขับเคลื่อน (Driving force) จากความต่างศักย์ไฟฟ้า หรือการไหลของของไหลเกิดจากความแตกต่างของความดัน ทำนองเดียวกันการถ่ายโอนความร้อน (Heat transfer) เกิดขึ้นจากตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังอุณหภูมิต่ำกว่าและมีทิศทางแน่นอน เรียกว่า เกรเดียนต์ของอุณหภูมิ (Temperature gradient) นิยมใช้ในทอมของอัตราการถ่ายโอนความร้อนเพื่อบอกถึงเวลาที่ต้องการให้ความร้อนแก่สสารหรือการทำให้สสารเย็น อัตราการถ่ายโอนความร้อนนำไปใช้เพื่อออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchangers) หม้อต้มไอน้ำ (Boiler) เครื่องควบแน่น (Condenser) เครื่องทำความร้อน (Heater) เตาเผา (Furnaces) ตู้เย็น และโซลาร์คอลเล็คเตอร์ (Solar collector) ดังนั้น จึงกำหนดนิยามต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

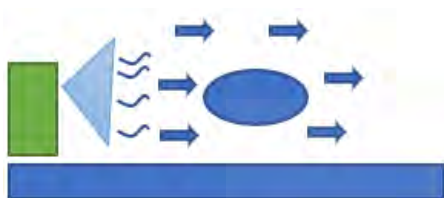
1) อัตราการถ่ายโอนความร้อน (Heat transfer rate) คือปริมาณความร้อนที่ถ่ายโอนต่อหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นจูลต่อวินาที (J/s) หรือวัตต์ (W) ใช้สัญลักษณ์ $\dot{Q}$ แทนปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการในช่วงเวลา t

2) ฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) คืออัตราการถ่ายโอนความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางของการถ่ายโอนความร้อนนั้นโดยที่อัตราการถ่ายโอนความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ A คือพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนของการถ่ายโอนความร้อนหน่วยอังกฤษคือบีทียูต่อตารางฟุตต่อชั่วโมง (Btu/ft²·h) หรือระบบหน่วยสากลคือวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m²)

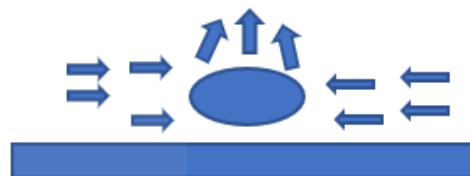
2.6.2 กลไกการถ่ายโอนการพาความร้อน

การพาความร้อน (Heat convection) คือการถ่ายโอนพลังงานที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของเหลวหรือก๊าซ พาความร้อนออกไปจากผิววัสดุของแข็ง การถ่ายโอนการพาความร้อนได้มากหรือน้อย ขึ้นกับความเร็วของของไหลว่าไหลเร็วหรือช้า เมื่อไม่มีการเคลื่อนที่ของก้อนของไหลใด ๆ จะไม่มีการพาความร้อนเกิดขึ้น แต่จะเป็นการนำความร้อนบริสุทธิ์ (Pure conduction) การพาความร้อนแบ่งเป็นการพาความร้อนถูกบังคับ (Forced convection) และการพาความร้อนธรรมชาติ (Natural convection) หรือการพาความร้อนอิสระ (Free convection) การพาความร้อนถูกบังคับเกิดขึ้นเมื่อมีเครื่องมือหรืออุปกรณ์พัดลม เครื่องสูบ บังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านผิววัสดุของแข็ง และ

พาความร้อนออกไปจากผิวหน้า การพาความร้อนธรรมชาติเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิว วัสดุของแข็งที่ร้อนกว่าและของไหลที่อยู่โดยรอบวัสดุ ทำให้ของไหลที่อยู่ใกล้ผิวร้อนมีความหนาแน่นน้อยกว่า เกิดแรงลอยตัวขึ้นมา และของไหลที่มีความหนาแน่นสูงกว่าเคลื่อนที่ไปแทนที่ ตัวอย่างการถ่ายโอนการพาความร้อนถูกบังคับและธรรมชาติ ดังรูป



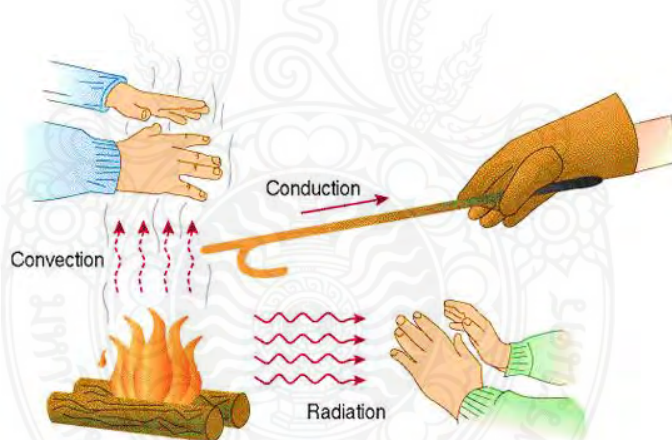
(ก) การพาความร้อนถูกบังคับ [16]



(ข) การพาความร้อนธรรมชาติ [16]

รูปที่ 2.8 การพาความร้อนถูกบังคับและการพาความร้อนธรรมชาติ

เมื่ออากาศเย็นไหลผ่านบนผิวของแท่งวัสดุร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนของแท่งวัสดุ พลังงานออกไปจากผิวได้ด้วยการพาความร้อน มีการเคลื่อนที่ของชั้นอากาศที่อยู่ติดกับผิวและอากาศเย็นกว่าไหลเข้ามาแทนที่ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การถ่ายโอนการพาความร้อนจากแท่งวัสดุผิวร้อน [16]

กระบวนการถ่ายโอนความร้อนที่มีการเปลี่ยนวัฏภาคของไหลเป็นการพาความร้อน เพราะว่ามี การเคลื่อนที่ของของไหลเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ ได้แก่ เกิดเป็นไอหรือเกิดการควบแน่นกฎการทำให้เย็นของนิวตัน (Newton's law of cooling) ใช้หาอัตราของการถ่ายโอนการพาความร้อน ได้มาจากการสังเกตว่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิ และพื้นที่ผิวของวัตถุโดยที่ h , A , T_∞ และ 10 คือสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนการพาความร้อน (Heat transfer coefficient) มีหน่วย $W/m^2 \cdot C$ หรือ $Btu/h \cdot ft^2 \cdot F$ พื้นที่การถ่ายโอนการพาความร้อน อุณหภูมิที่ผิวของแข็ง และอุณหภูมิของของไหลที่อยู่ไกล

เพียงพอกับผิวหน้า อุณหภูมิของไหลที่อยู่ใกล้ผิวมีค่าเท่ากับอุณหภูมิที่สัมผัสกับการถ่ายโอนการพาความร้อน h ได้จากการทดลองขึ้นกับตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพล เช่น รูปทรงของผิว การเคลื่อนที่ของของไหล คุณสมบัติของไหล และความเร็วของไหล

2.6.3 ชนิดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

- 1) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้กับตู้อบฟลูอิดไดซ์เบด
- 2) เครื่องทำความร้อน (Heater) จุดประสงค์ก็เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับของไหลให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น การออกแบบกระบวนการที่ต้องใช้ความร้อนในปริมาณค่อนข้างมาก มาตรการอนุรักษ์พลังงานของเครื่องอบจึงมีความสำคัญมาก ความร้อนสูญเสียที่สำคัญในเครื่องอบมีดังต่อไปนี้
 - 3) ความร้อนที่ออกไปกับอากาศที่ออกจากตู้อบ
 - 4) ความร้อนสูญเสียจากการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี จากเครื่องอบ ความร้อนสูญเสียจากการรั่วของอากาศร้อนจากช่องว่างต่างๆ ของเครื่องอบ
 - 5) การหาขนาดของฮีตเตอร์ ดังสมการที่ 2.10

$$Q = m_a C_p \Delta T \quad (2.10)$$

เมื่อ Q คือ พลังงานความร้อน (kW)

m_a คือ มวลของอากาศภายในตู้อบ (kg)

C_p คือ ค่าความจุความร้อนของอากาศ (1KJ/Kg-K)

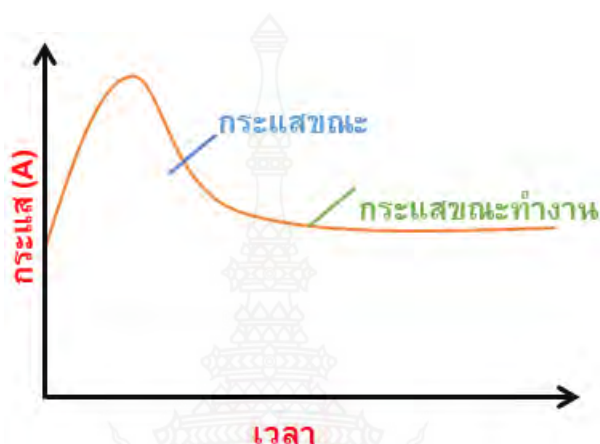
ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลง (K)

2.7 ทฤษฎีไฟฟ้า [19]

2.7.1 มอเตอร์ไฟฟ้า คืออุปกรณ์ที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ซึ่งจะใช้กระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเพื่อสร้างแรงบิดสำหรับหมุนโรเตอร์ เพื่อให้เกิดการทำงานเชิงกลขึ้นมอเตอร์จะถูกควบคุมโดยระบบคอมพิวเตอร์ เช่น การควบคุมเชิงตรรกะชนิด Solid-state หรือเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) เพื่อควบคุมและจัดการแรงบิด ความเร็ว งานหรือพลังงานที่ส่งออกมาขึ้นอยู่กับการใช้งานของมอเตอร์ ตัวควบคุมมอเตอร์อาจมีคุณสมบัติมากมายในการควบคุมมอเตอร์ซึ่งอาจรวมถึงแต่ไม่จำกัดเฉพาะการเริ่มทำงาน การหยุดทำงาน การป้องกันกระแสเกิน การป้องกันโหลดเกิน การหมุนกลับ การเปลี่ยนความเร็ว การปรับตำแหน่ง การหมุนกลับเฉียบพลัน หรือแม้แต่การควบคุมลำดับ โดยตัวควบคุมมอเตอร์นั้นมีตั้งแต่ชนิดพื้นฐานจนถึงซับซ้อนและสามารถควบคุมมอเตอร์เพียงตัวเดียวหรือเป็นกลุ่มก็ได้มอเตอร์แบ่งได้เป็น 2 ประเภทกว้าง ๆ คือ มอเตอร์กระแสสลับ และมอเตอร์กระแสตรง ดังรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 มอเตอร์ไฟฟ้า [19]



รูปที่ 2.11 กระแสในขณะสตาร์ทของมอเตอร์ [19]

2.7.2 โบลเวอร์ คือ อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนของอากาศด้วยความเร็ว และสามารถกำหนดทิศทางตามที่เรากำลังใช้งานจริง ๆ พัดลมและโบลเวอร์ลมที่จะคล้ายคลึงกันมาก แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ พัดลมที่มีแรงดันลมต่ำกว่า $1,000 \text{ mmH}_2\text{O}$ เรียกว่า พัดลม ในขณะที่พัดลมที่มีแรงดันลมตั้งแต่ $1,000 \text{ mmH}_2\text{O}$ แต่ไม่ถึง $10 \text{ mmH}_2\text{O}$ โดยจะเรียกว่าโบลเวอร์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม โบลเวอร์หอยโข่งจะให้ปริมาณลมได้มาก และให้ความดันลมได้สูงพอประมาณ จึงเป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด ตั้งแต่เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง จนถึงเครื่องส่งลักษณะพัดลม แร่งเหวี่ยง (Centrifugal Fan) ลมจะเกิดจากการหมุนของใบพัดที่ติดกับวงล้อโดยการหมุนของล้อจะเกิดจากต้นกำลังจากภายนอก ทั้งพลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้า แร่งพลังงานกลอื่น ๆ ที่ใช้เพื่อขับเคลื่อนให้เกิดการเคลื่อนที่และใบพัดหมุนได้ อากาศจากภายนอกจะถูกดึงเข้าสู่ตัวโบลเวอร์ในแนวแกนหมุน และถูกร่งให้มีความเร็วแรงขึ้น อากาศจะถูกเหวี่ยงออกไปปะทะกับตัวโครงที่มีลักษณะคล้ายกันหอยและไหลออกจากโบลเวอร์ในแนวรัศมีของใบพัด แนวนลมที่ออกจะตั้งฉากกับเพลาล้อของโบลเวอร์ที่มีใบพัดเป็นตัวตั้งลม พลังงานจลน์ของอากาศจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปของความดันที่ปากทางออกของพัดลมในแนวตั้งฉากกับเพลาล้อของโบลเวอร์ขนาดใหญ่ โบลเวอร์หอยโข่งมีชื่อมาจากลักษณะการทำงานของมัน เป็นโบลเวอร์ที่ทำงานตามทิศทางการไหลของอากาศผ่านโบลเวอร์ [17] ดังรูปที่ 12



รูปที่ 2.12 โบลเวอร์ [17]

2.7.3 สภาพการเกิดความบกพร่องในวงจรไฟฟ้า (Fault condition) วงจรไฟฟ้าทุก ๆ วงจรต้องการการป้องกันจากสภาพการเกิดความบกพร่องในวงจรไฟฟ้า โดยแบ่งสภาวะ 2 ประการ ดังนี้คือ

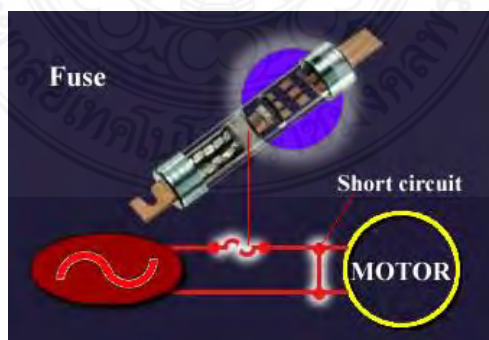
1) สภาวะโหลดเกิน (Overload) เป็นสภาวะของวงจรที่รับกระแสมากเกินไปกว่าสภาวะปกติของวงจรที่จะรับได้ เช่น การเสียบเต้าเสียบของอุปกรณ์ไฟฟ้าหลาย ๆ อย่างเข้าในเต้ารับอันเดียวกัน เป็นเหตุให้เต้ารับรับกระแสมากเกินไป แล้วทำให้อุปกรณ์ป้องกันวงจรตัดวงจรออกไป เนื่องจากโหลดเกินกว่าค่าโหลดเต็มพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันวงจร (Rated value) มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถเกิดการโอเวอร์โหลดขึ้นได้เมื่อมอเตอร์รับโหลดมากเกินไปกว่าค่าโหลดเต็มพิกัด

2) สภาวะกระแสเกิน (Over current) เป็นสภาวะที่เกิดขึ้นเนื่องจากเกิดการลัดวงจร ซึ่งเป็นสาเหตุให้มีกระแสไหลเข้าสู่จุดลัดวงจรจำนวนมาก และทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า และทรัพย์สินได้ สภาวะของการลัดวงจรนี้ อุปกรณ์ป้องกันวงจรจะต้องทำการตัดวงจรในทันทีทันใดได้

2.7.4 อุปกรณ์ป้องกันวงจรไฟฟ้า

ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อตัวนำหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ใช้เป็นหลักในการป้องกันคือ

1) ฟิวส์ (Fuse) ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อตัวนำหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า ลักษณะของการต่อฟิวส์ในวงจรมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักษณะของการต่อฟิวส์ในวงจรมอเตอร์ [19]

2) เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit breaker) เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปสามารถแบ่งตามประเภทการทำงานออกได้เป็น 2 แบบคือ

3) แบบทำงานด้วยความร้อน (Thermal circuit breaker) ใช้วัสดุไบเมทัลในการตัดวงจรของระบบไฟฟ้า

4) แบบทำงานด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Circuit Breaker) อาศัยแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสที่ไหลเกินสร้างสนามแม่เหล็กในการดึงดูดให้หน้าสัมผัสแยกออกจากกัน

2.7.5 โอเวอร์โวลต์ (Thermal overload relay) โอเวอร์โวลต์ประกอบด้วยขดลวดความร้อน (Heater) พันอยู่บนแผ่นไบเมทัล (Bimetal) ซึ่งทำจากโลหะ 2 ชนิดเชื่อมติดกัน โกงตัวได้ เมื่อเกิดความร้อนขึ้น ขดลวดความร้อนเป็นทางผ่าน ของกระแสจากแหล่งจ่ายไปยังมอเตอร์ เมื่อกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์มีค่าสูง ทำให้ขดลวด ลวดความร้อนเกิดความร้อนสูงขึ้น เป็นผลให้แผ่น ไบเมทัลร้อนและโก่งตัวดันให้หน้าสัมผัสปกติ ปิดของโอเวอร์โวลต์ที่ต่ออนุกรมอยู่กับวงจรควบคุมเปิดวงจร ตัดกระแสออกจากคอยล์แม่เหล็กของคอนแทกเตอร์ จึงทำให้หน้าสัมผัสหลัก (Main contact) ของคอนแทกเตอร์ปลดมอเตอร์ออก จากแหล่งจ่ายเป็นการป้องกันมอเตอร์จากความเสียหายได้โอเวอร์โวลต์มีทั้งแบบธรรมดา คือ เมื่อแผ่นไบเมทัลงอไปแล้วจะกลับมาอยู่ตำแหน่งเดิมเมื่อเย็นตัวลงเหมือนในเตารีด กับแบบที่มีรีเซ็ต(Reset) คือ เมื่อตัดวงจรไปแล้ว หน้าสัมผัสจะถูกล็อกเอาไว้ ถ้าต้องการจะให้วงจรทำงานอีกครั้ง ทำได้โดยกดที่ปุ่ม Reset ให้หน้าสัมผัสกลับมาต่อวงจรเหมือนเดิม ลักษณะเมื่อเกิดการโอเวอร์โวลต์หน้าสัมผัสจะเปิดออกและจะถูกล็อกเอาไว้ ถ้าต้องการให้ต่อวงจรต้องกดที่ปุ่ม Reset อีกครั้ง ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะของโอเวอร์โวลต์ [19]

บทที่ 3

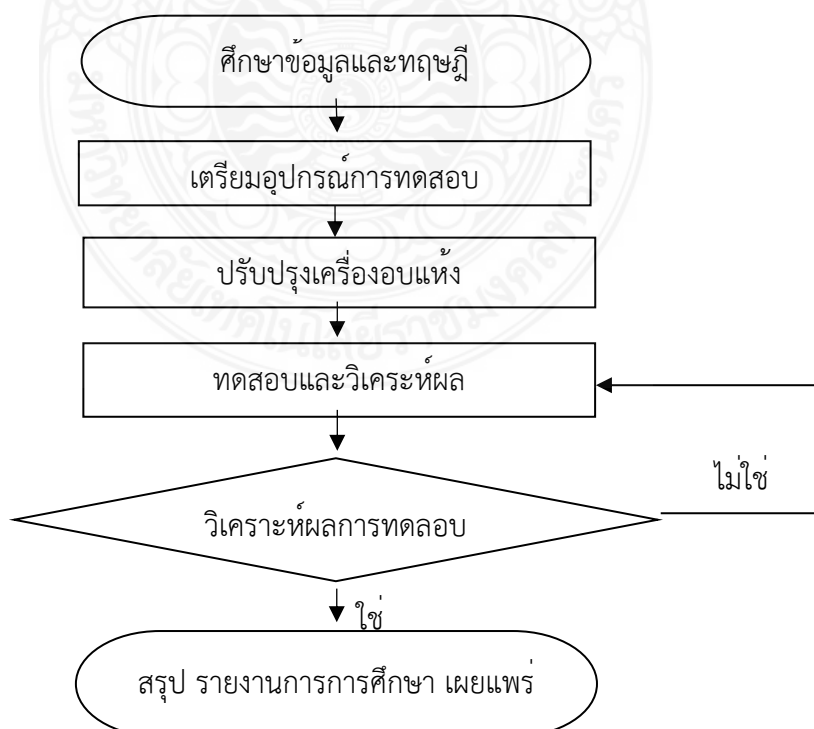
วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาการอบแห้งสั้มน้ำด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งสั้มน้ำด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด ข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ก่อนการลงมือปฏิบัติและทดลอง อีกทั้งเพื่อให้การทดลองมีประสิทธิภาพมากที่สุด

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการศึกษาประสิทธิภาพการอบแห้งสั้มน้ำด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์มีลำดับขั้นตอนดังนี้

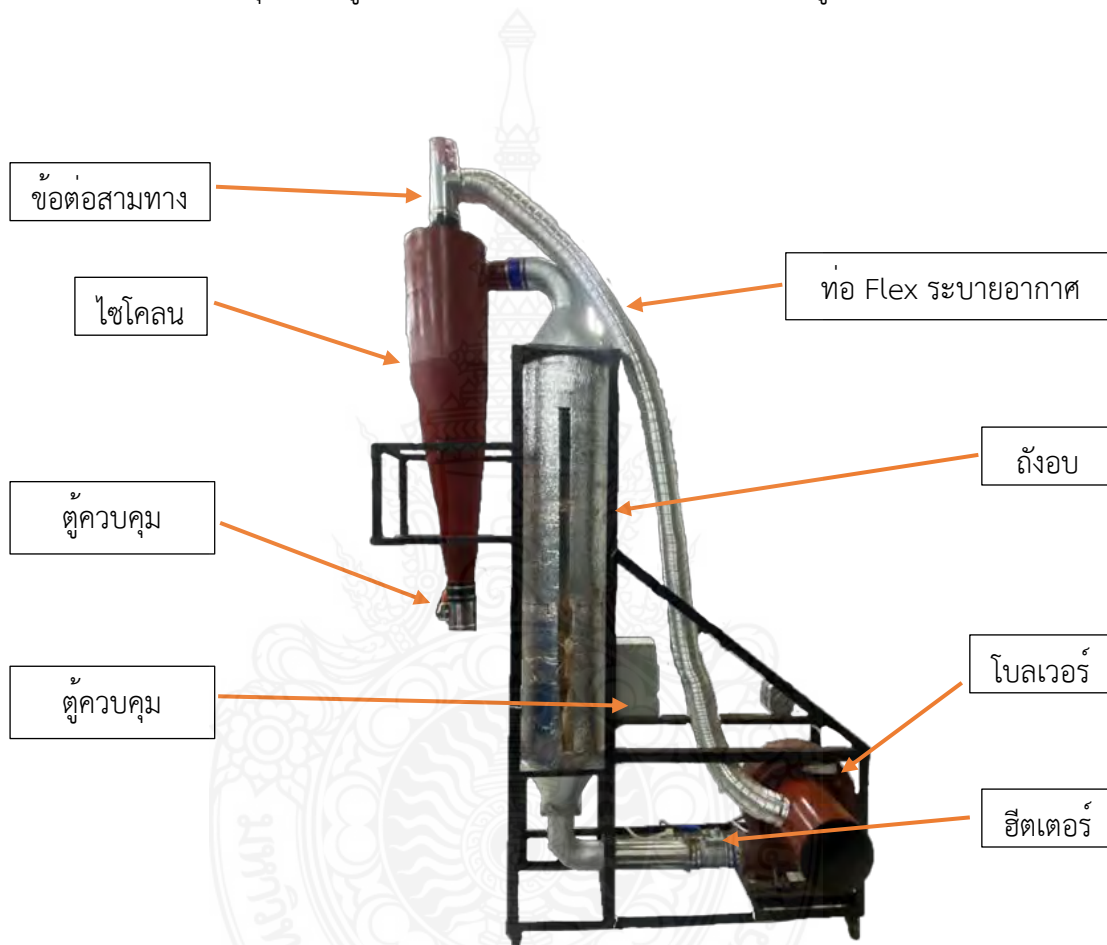
- 3.1.1 ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.2 ดำเนินการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง
- 3.1.3 ทำการทดสอบและวิเคราะห์ผล
- 3.1.4 ทดสอบซ้ำ/สรุป
- 3.1.5 รายงานผลการการศึกษา
- 3.1.6 การถ่ายทอดและเผยแพร่งานวิจัยลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

การศึกษาเครื่องอบแห้งสั้มน้ำแบบฟลูอิดไดซ์เบด และเพื่อศึกษาคุณสมบัติค่าความชื้นสั้มน้ำเพื่อหาสภาวะอุณหภูมิ ที่เหมาะสมในการอบแห้งสั้มน้ำ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดีจึง เป็นต้องศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ก่อนลงมือปฏิบัติและทดสอบเพื่อได้ผลทดสอบที่มีความคลาดเคลื่อนให้น้อยที่สุดดังนั้นผู้จัดทำโครงการมีขั้นตอนการดำเนินการดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

3.3 วิธีการอบแห้งสั้มน้ำด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

นำสั้มน้ำที่ซื้อมาไปลอกเปลือกออกให้หมดและฉีกสั้มน้ำออกเป็นกลีบ ๆ และนำมาใส่ภาชนะที่สะอาดเพื่อทำการชั่งเครื่องชั่งดิจิตอล



รูปที่ 3.3 ปลอกเปลือกส้มจี๊ดและนำมาไว้ในบนภาชนะ



รูปที่ 3.4 นำส้มจี๊ดมาทำการชั่งน้ำหนัก



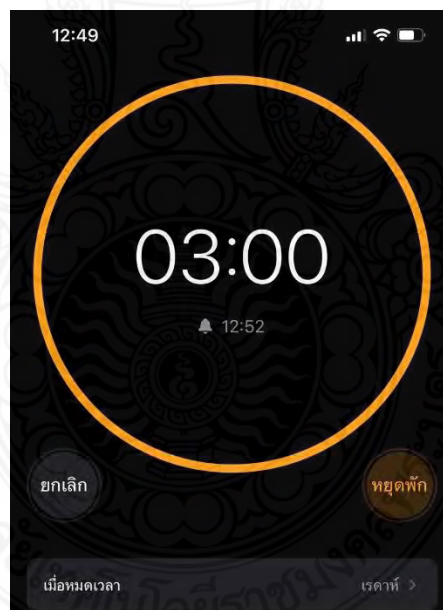
รูปที่ 3.5 ทำการชั่งตวงน้ำตาลทราย



รูปที่ 3.6 นำสั้จืดที่แกะมาต้มในน้ำร้อน



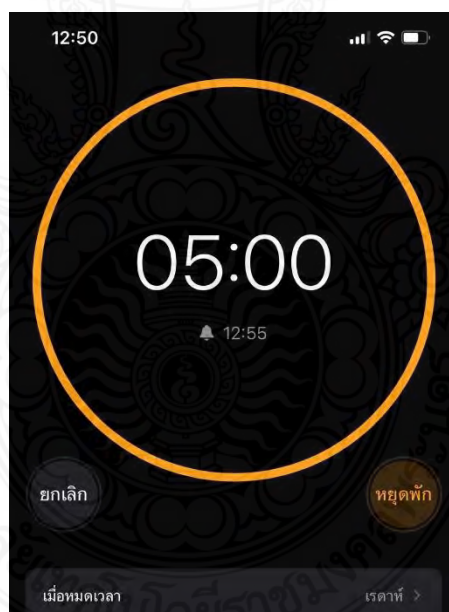
รูปที่ 3.7 ต้มส้มจืดในน้ำร้อน



รูปที่ 3.8 ตั้งเวลาต้มส้มจืด 3 นาที



รูปที่ 3.9 นำส้มจี๊ดที่ต้มมาไว้ในกระชอน



รูปที่ 3.10 จับเวลา 5 นาที เพื่อให้ให้น้ำหยดหมด



รูปที่ 3.11 นำสั้จี้ตมาใส่ในตะแกรงที่จะทำการรอบ



รูปที่ 3.12 นำสั้จี้ตมาใส่ในถังอบ



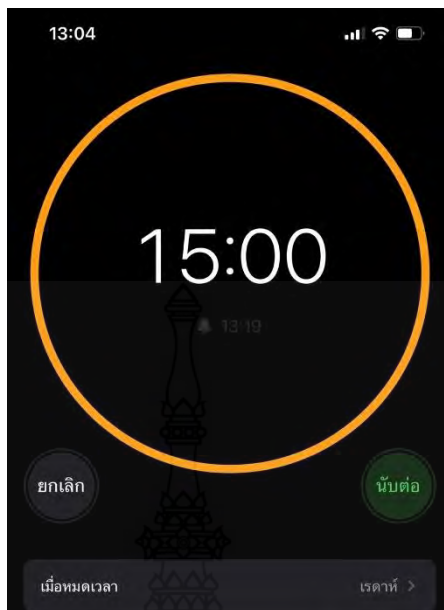
รูปที่ 3.13 ทำการชั่งเครื่องอบแห้งและสั้จี้ต



รูปที่ 3.14 เปิดสวิตช์เพื่อให้อุปกรณ์ทำงาน



รูปที่ 3.15 เปิดสวิตเตอร์และปรับอุณหภูมิที่จะทำการอบ



รูปที่ 3.16 จับเวลาในการอบ 15 นาที

3.4 การจัดทำตะแกรงเพื่อใช้ออบ

จากรูปที่ 3.2 พบว่าอาร์กอบส้มจี๊ด ยังไม่เหมาะต่อการใช้งานจึงได้จัดทำชุดตะแกรงสแตนเลส เพื่อใช้เป็นทึ่ใส่ ส้มจี๊ดที่จะใช้ออบแห้ง



รูปที่ 3.17 ตะแกรงสแตนเลสขนาด 30*65 เซนติเมตร

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การทดสอบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ทำการทดสอบโดยการเดินเครื่องในลักษณะทำงานจริง ทำการทดสอบกับวัตถุดิบส้มจี๊ด โดยกำหนดน้ำหนักวัตถุดิบในการอบครั้งละ 1,000 g ทดลองที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C โดยหาค่าความชื้นที่ลดลงต่อช่วงเวลา จนถึงค่าความชื้นที่ต้องการ

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้การทดลอง

4.1.1 ตรวจสอบสภาพโดยรวมของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

- 1) ตรวจสอบระบบไฟฟ้า
- 2) ตรวจสอบระบบลม
- 3) ตรวจสอบระบบความร้อน

4.1.2 ทำการวัดความเร็วลม

4.1.3 ทำการเตรียมส้มจี๊ดและอุปกรณ์ในการอบแห้ง

4.1.4 นำส้มจี๊ดที่เตรียมไว้ใส่ลงไปในถังอบแห้ง

4.1.5 เปิดเบรกเกอร์ เปิดสวิตช์ฉุกเฉิน

4.1.6 เปิดสวิตช์ฮีตเตอร์

4.1.7 เปิดสวิตช์โบลเวอร์

4.1.8 หมุนปรับตั้งอุณหภูมิในการอบ

4.1.9 จับเวลาในการอบ 15 min

4.1.10 สังเกตการทำงานโดยรวม

4.1.11 เมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนดกดปุ่มปิดสวิตช์หยุดการทำงาน

4.1.12 ปิดเบรกเกอร์

4.1.13 นำวัตถุดิบมาชั่งน้ำหนัก

4.1.14 บันทึกค่าปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ใช้

4.2 ขั้นตอนหลังจากการใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

4.2.1 ปิดเบรกเกอร์ และถอดปลั๊กออก

4.2.2 ทำความสะอาดภายในถังอบ

4.2.3 เก็บสายไฟให้เรียบร้อย

4.2.4 เก็บอุปกรณ์ที่ใช้ในการอบแห้ง

4.2.5 เก็บเครื่องอบแห้งให้เรียบร้อย

4.3 วัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.3.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

4.3.2 วัตถุดิบในการอบแห้งคือส้มจี๊ด

4.3.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก

4.3.4 โทรศัพท์มือถือในการจับเวลา

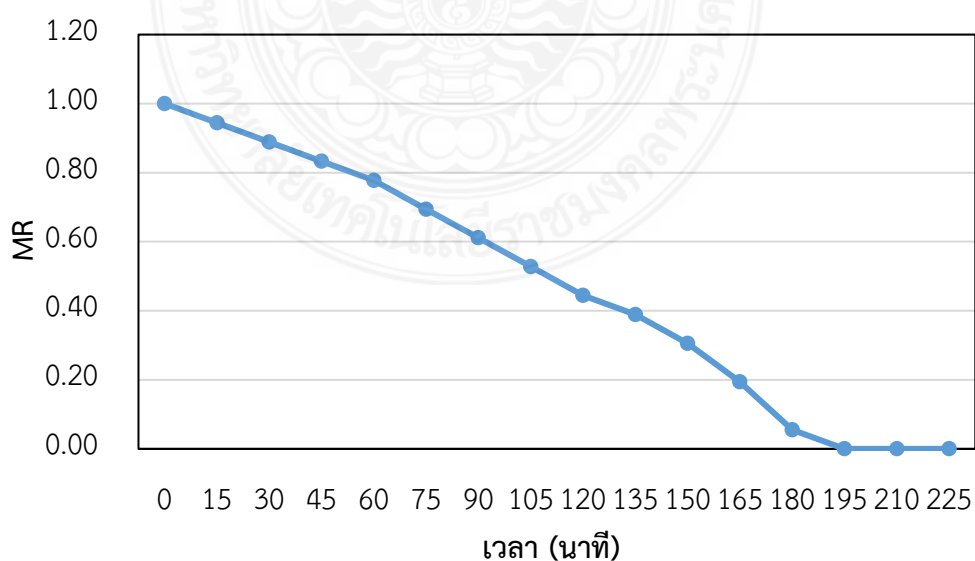
4.3.5 กล้องสำหรับใส่วัตถุดิบ

4.3.6 ผ้าสำหรับเช็ดทำความสะอาดเครื่อง

4.4 ข้อมูลและผลการอบแห้ง

4.4.1 ข้อมูลและผลการอบส้มจี๊ด

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	ส้มจี๊ด
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง	55 °C
น้ำหนักเริ่มต้น	1,000 g
น้ำหนักสุดท้าย	640 g
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	225 นาที



รูปที่ 4.1 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 1,000 g ที่อุณหภูมิ 55 °C

ค่าที่ได้จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการอบแห้งส้มจี๊ดด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 55 °C ในระยะเวลาของการอบแห้ง 225 นาที พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 แสดงดังรูปที่ 4.1 อบแห้งส้มจี๊ดที่อุณหภูมิ 55 °C



รูปที่ 4.2 ส้มจี๊ดก่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C

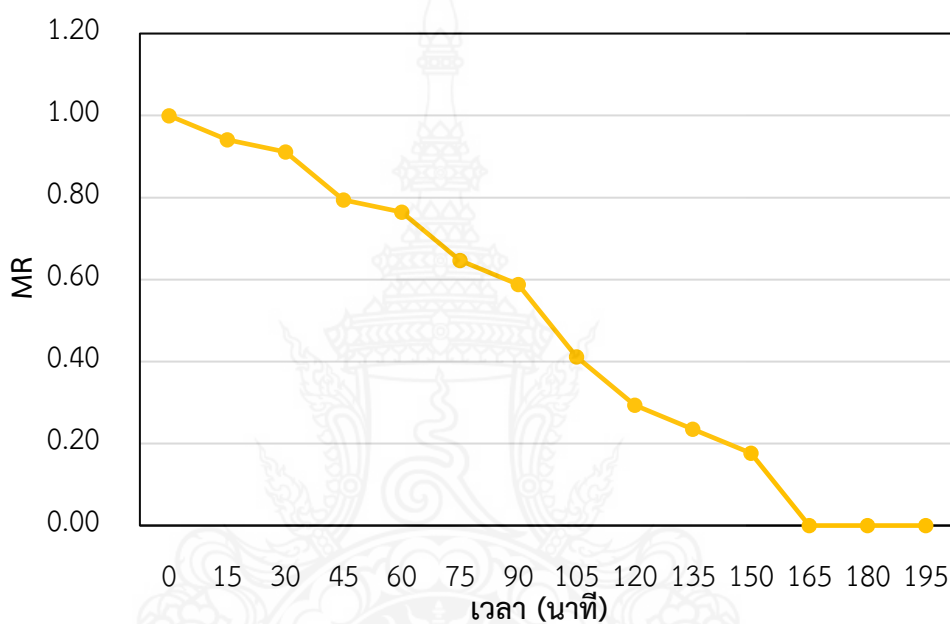


รูปที่ 4.3 ส้มจี๊ดหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C

ผลที่ได้จากการอบแห้งส้มจี๊ดด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 55 °C น้ำหนักก่อนอบแห้งส้มจี๊ด 1,000 g แสดงดังรูปที่ 4.3 ในระยะเวลาของการอบแห้ง 225 นาที น้ำหนักสุดท้ายของส้มจี๊ดหลังการอบแห้ง 640 g แสดงดังรูปที่ 4.4 น้ำหนักที่หายไป 360 g เป็นอุณหภูมิอบแห้งที่ดีที่สุดความชื้นในส้มแห้ง ผิวกลีบส้มแห้งกรอบ

4.4.2 ข้อมูลและผลการอบแห้งสัณจิต

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	สัณจิต
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง	60 °C
น้ำหนักเริ่มต้น	1,000 g
น้ำหนักสุดท้าย	660 g
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	195 นาที



รูปที่ 4.4 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 1,000 g ที่อุณหภูมิ 60°C

ค่าที่ได้จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการอบแห้งด้วยฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60 °C ในระยะเวลาของการอบแห้ง 195 นาที พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 แสดงดังรูปที่ 4.4 อบแห้งสัณจิตที่อุณหภูมิ 60 °C



รูปที่ 4.5 ส้มจี๊ดก่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C

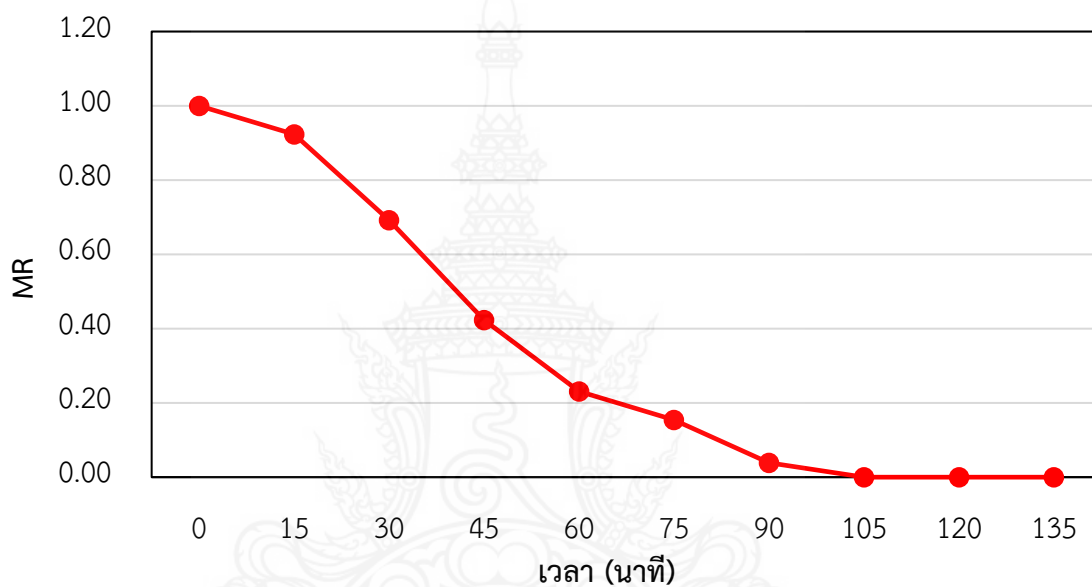


รูปที่ 4.6 ส้มจี๊ดหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C

ผลที่ได้จากการอบแห้งส้มจี๊ดด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60 °C น้ำหนักก่อนอบแห้งส้มจี๊ด 1,000 g แสดงดังรูปที่ 4.5 ในระยะเวลาของการอบแห้ง 195 นาที น้ำหนักสุดท้ายของส้มจี๊ดหลังการอบแห้ง 660 g แสดงดังรูปที่ 4.6 น้ำหนักที่หายไป 340 g เป็นอุณหภูมิอบแห้งที่ดี แต่ส้มจี๊ดที่อบแห้งจะยังมีความชื้นในผลส้มอยู่

4.4.3 ข้อมูลและผลการอบแห้งสั้จี้ด

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	สั้จี้ด
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง	65 °C
น้ำหนักเริ่มต้น	1,000 g
น้ำหนักสุดท้าย	480 g
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	135 นาที



รูปที่ 4.7 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 1,000 g ที่อุณหภูมิ 65 °C

ค่าที่ได้จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 65 °C ในระยะเวลาของการอบแห้ง 135 min พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 แสดงดังรูปที่ 4.7 อบแห้งสั้จี้ดที่อุณหภูมิ 65 °C



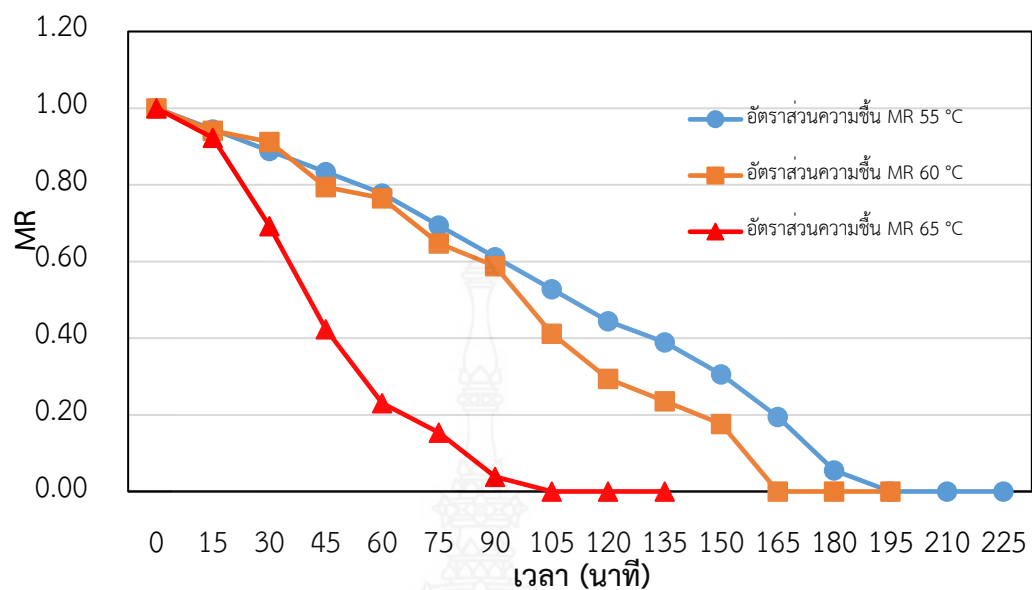
รูปที่ 4.8 ส้มจี๊ดก่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C



รูปที่ 4.9 ส้มจี๊ดหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C

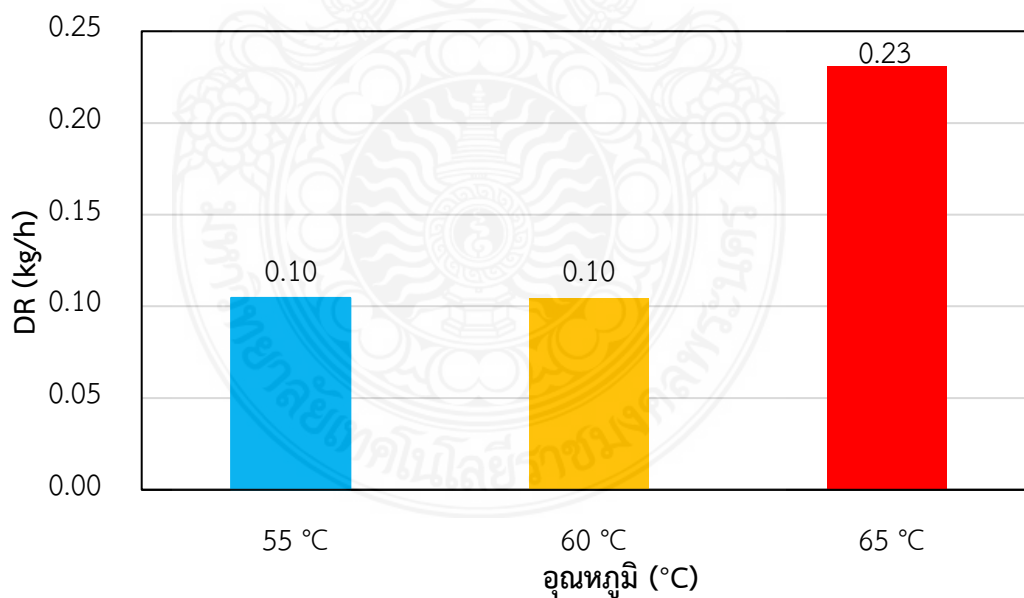
ผลที่ได้จากการอบแห้งส้มจี๊ดด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 65 °C น้ำหนักก่อนอบแห้งส้มจี๊ด 1,000 g แสดงดังรูปที่ 4.8 ในระยะเวลาของการอบแห้ง 135 นาที น้ำหนักสุดท้ายของส้มจี๊ดหลังการอบแห้ง 480 g แสดงดังรูปที่ 4.9 น้ำหนักที่หายไป 520 g เป็นอุณหภูมิอบแห้งที่สูงเกินไป ทำให้ส้มจี๊ดที่ทำการอบแห้งอยู่เกิดการไหม้

4.5 อัตราส่วนความชื้น



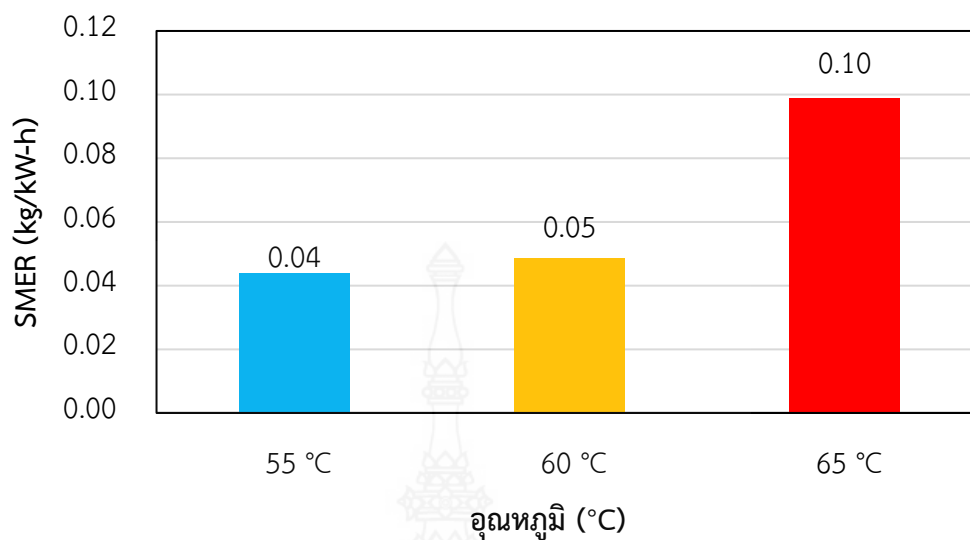
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น 1,000 g ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C

4.6 อัตราการอบแห้ง



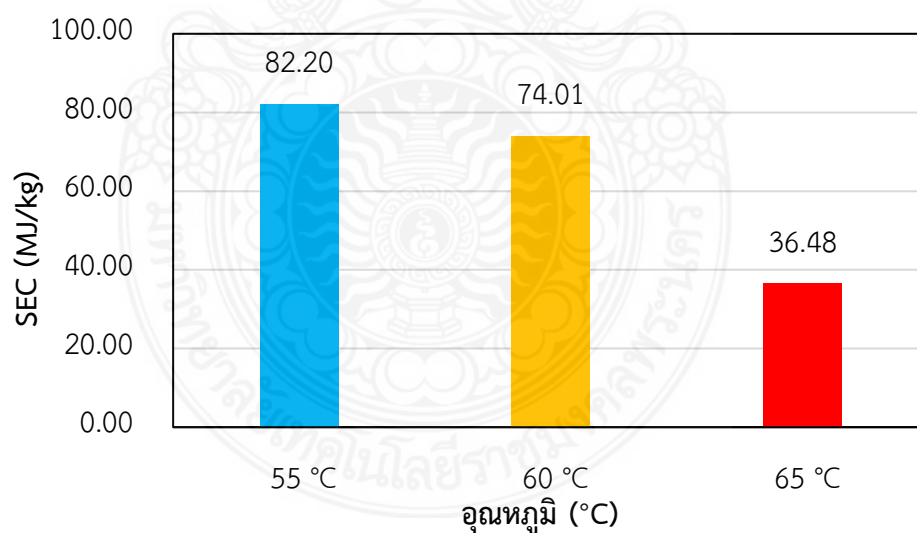
รูปที่ 4.11 อัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C

4.7 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ



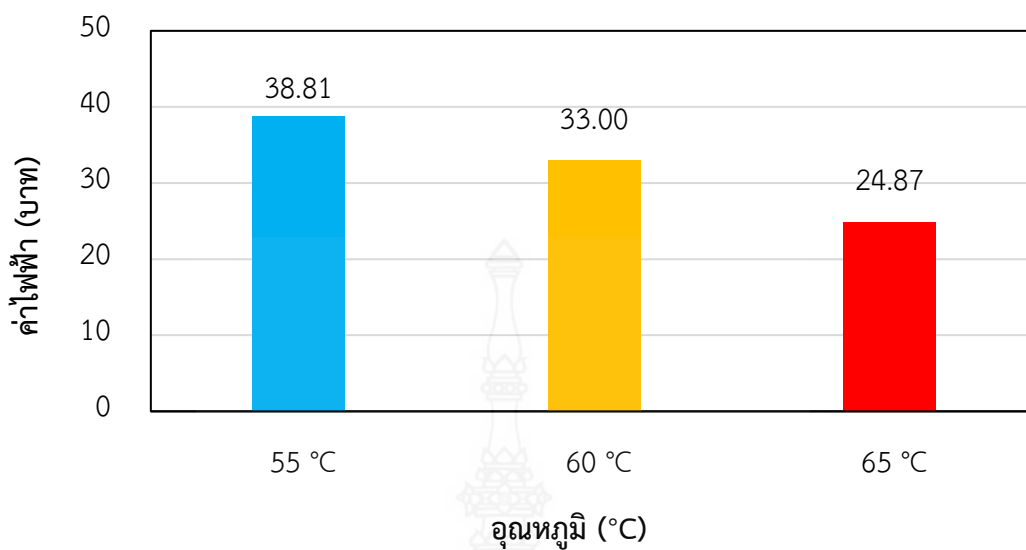
รูปที่ 4.12 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ SMER ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C

4.8 การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ



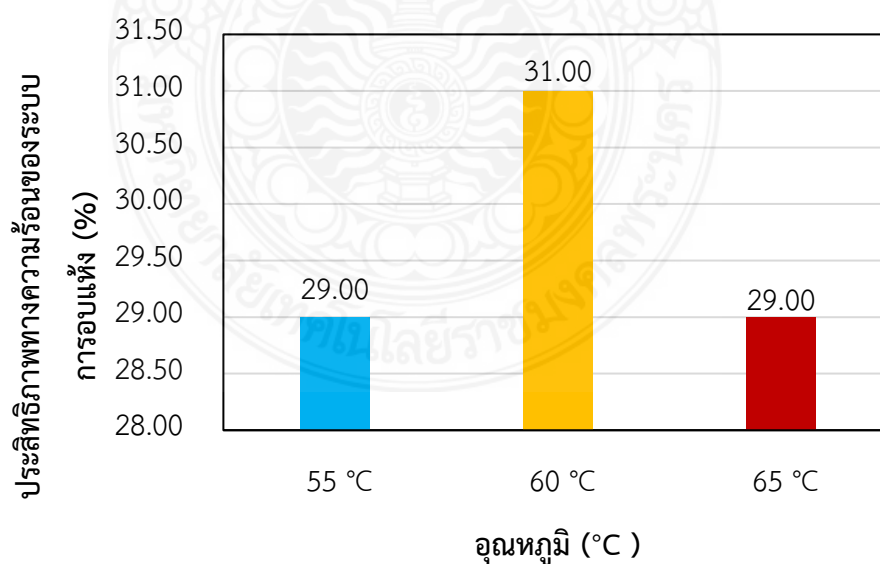
รูปที่ 4.13 การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C

4.9 ผลการหาค่าไฟฟ้า



รูปที่ 4.14 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C

4.10 ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง



รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C

หมายเหตุ อ้างอิงราคาอัตราค่าไฟฟ้าตามประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปี 2566

- อัตราค่าไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย อัตราปกติ ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน ประจำเดือน มกราคม พ.ศ. 2566 ค่าพลังงาน 4.72 บาทต่อหน่วย ไม่รวมค่าบริการ

4.11 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบการอบแห้งเนื้อส้มจี๊ด 1,000 g ที่อุณหภูมิ 55 °C นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ร้อยละ 50% ในระยะเวลาต่อรอบของการอบแห้งครั้งละ 15 min จากการทดลองเนื้อส้มจี๊ด 1,000 g ที่อุณหภูมิ 55 °C ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 225 min น้ำหนักเริ่มต้น 1,000 g น้ำหนักสุดท้ายอยู่ที่ 640 g อัตราส่วนความชื้น 1.00 (MR) อัตราส่วนความชื้นสุดท้าย 0.00 (MR) ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 225 min อัตราการอบแห้ง (DR) 0.10 kg/h อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) 0.04 kg/kW-h ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) 82.20 MJ/kg ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง 29 % เนื้อส้มจี๊ด 1,000 g ที่อุณหภูมิ 60 °C นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ร้อยละ 50 % ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 195 min น้ำหนักเริ่มต้น 1,000 g น้ำหนักสุดท้ายอยู่ที่ 660 g อัตราส่วนความชื้น 1.00 (MR) อัตราส่วนความชื้นสุดท้าย 0.00 (MR) อัตราการอบแห้ง (DR) 0.10 kg/h อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) 0.05 kg/kW-h ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) 74.01 MJ/kg ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง 31 % เนื้อส้มจี๊ด 1,000 g ที่อุณหภูมิ 65 °C นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ร้อยละ 50 % ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 135 min น้ำหนักเริ่มต้น 1,000 g น้ำหนักสุดท้ายอยู่ที่ 0.48 kg อัตราส่วนความชื้น 1.00 (MR) อัตราส่วนความชื้นสุดท้าย 0.00 (MR) อัตราการอบแห้ง (DR) 0.23 kg/h อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) 0.10 kg/kW-h ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) 36.48 MJ/kg ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง 29 %

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัย

การศึกษาการอบแห้งสัสมัจฉิตโดยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด จากการทดลองผลของการอบแห้งสัสมัจฉิตแบบฟลูอิดไดซ์เบด เป็นการใช้อากาศร้อนหรือลมร้อนพัดผ่านวัตถุดิบ โดยให้วัตถุดิบเกิดการยกตัวขึ้นทำให้ลมร้อนสัมผัสกับวัตถุดิบได้ทั่วทุกทิศทุกทางเท่า ๆ กัน ไม่อยู่ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง เมื่อวัตถุดิบถูกความร้อนในทุกทิศทุกทางแล้วจะทำให้ความชื้น ที่วัตถุดิบถูกกำจัดออกได้ทุกทิศทุกทางที่เท่า ๆ กัน มีผลทำให้วัตถุดิบมีการคลายความชื้น ได้ไวกว่าการอบแห้งแบบวิธีอื่น ๆ ไม่ทำให้เกิดการไหม้ข้างใดข้างหนึ่ง และยังสามารถกำจัดฝุ่นละอองที่ปะปนอยู่ในวัตถุดิบได้อีกด้วย

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการลดความชื้นของสัสมัจฉิตโดยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด และการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดรวมกับการนำความร้อนกลับมาใช้ 50% เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการศึกษาค่าอุณหภูมิที่ 55°C, 60 °C และ 65 °C หาค่าความร้อนและระยะเวลาที่ดีที่สุดในการอบแห้งสัสมัจฉิต โดยใช้สัสมัจฉิตน้ำหนัก 1,000 g โดยการนำความร้อนกลับมาใช้ 50 % ทุก ๆ อุณหภูมิที่กล่าวมาในข้างต้น

จากการทดลองการอบสัสมัจฉิตด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดผลที่ได้คือ สัสมัจฉิตน้ำหนัก 1,000 g อุณหภูมิที่ใช้ในการอบสัสมัจฉิต คือ 55 °C นำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ 50 % เป็นอุณหภูมิในการอบแห้งสัสมัจฉิตที่ดีที่สุด ใช้เวลาในการอบแห้งอบแห้งสัสมัจฉิตเป็นเวลา 225 นาที การอบแห้งที่ใช้เวลานานจะทำให้สัสมัจฉิตที่ทำการอบแห้งมีความชื้นที่น้อยลง และกลับผิวสัสมัจฉิตมีความกรอบและแห้ง

5.2 อุปสรรคในการทดลองเครื่องอบแห้งขุยมะพร้าวแบบฟลูอิดไดซ์เบด

5.2.1 เมื่อทำการทดลองอบเนื้อสัสมัจฉิต 1,000 g การนำวัตถุดิบเข้าห้องอบ ต้องเปิดฝาด้านบนห้องอบออกเพื่อไล่ตะแกรงบนजूวัตถุดิบ ซึ่งตะแกรงมีน้ำหนักมาก ทำให้ขนย้ายลำบาก

5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา

5.3.1 ควรทำประตู เปิด-ปิด ด้านข้างห้องอบเพื่อไล่ตะแกรงบรรจุสัสมัจฉิตได้สะดวก เพิ่มเติมขนาด 60 ถึง 80 เซนติเมตร เพื่อสะดวกในการอบวัตถุดิบ

บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- [1] โครงการสมุนไพรเพื่อการพึ่งตนเอง, 2564, สัมผัส ลดอาการปวดขึ้น แก้อา ขั้วเสมหะ แก้อา ภูมิแพ้, แหล่งที่มา: https://www.matichonweekly.com/column/article_389089 [11/02/2567]
- [2] สมบูรณ์ ศรีสุบัตติ, 2555, การดูแลสัมผัสให้มีผลตก ผิวมันหนาและออกผลผลิตได้ทุกฤดู, แหล่งที่มา: <https://www.rakbankerd.com/agriculture/page.php?id=4644&s=tblplant>
- [3] ชนาธิป แซ่หลี่ และคณะ, 2564, การอบแห้งฟ้าทะลายโจรด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด, ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะ วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [4] จุไรวัลย์ รัตนพิสิฐ, 2546, หนังสือการถ่ายโอนมวลและหลักปฏิบัติการเฉพาะหน่วยพื้นฐาน สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [5] กิตติ สถาพรประสาธน์และคณะ, 2563, การอบแห้งพริกไทยด้วยเทคนิคสเปาต์เต็ดเบด ทำงานร่วมกับฟลูอิดไดซ์เบด, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 15, ฉบับที่1 (วารสาร)
- [6] จิรเมธา สังข์เกษม, 2562, การศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิในฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้อบแห้ง เมล็ดข้าวโพดโดยใช้พลังงานจากฮีตปั้ม, กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต มหาวิทยาลัย เกษมบัณฑิต. (งานวิจัย)
- [7] พชรินทร์ ตาด้วง, 2555, การอบแห้งเมล็ดงาโดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับปั้ม ความร้อน, ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะ วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [8] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2561, การอบแห้ง [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://ienergyguru.com/2015/09/drying/>. [13/07/2567]
- [9] เกียรติยศ ทองเถื่อนและคณะ, 2563, การศึกษาประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งขุยมะพร้าวแบบ ฟลูอิดไดซ์เบด, ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะ วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [10] สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติ, 2553, การก่อกองของไหล(Fluidization),[ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://nkc.tint.or.th/nkc53/content/nstkc53065.html?fbclid=IwAR3pwm xzpf450CXULo62oe8REUYkrSRIYZ2OPhr8TdsgwPq_FqOUF63Jmoc. [13/07/2567]

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] กมลภัทร ศิริพงษ์มลและคณะ, 2557, การศึกษากรรมวิธีการแปรรูปและการใช้ประโยชน์จากส้มจี๊ด, การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเขตพื้นที่ภาคตะวันออก (งานวิจัย)
- [12] หฤทัย แก่นลา, 2558, วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตส้มจี๊ด (Citrus mitis Blanco.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกวิทยาเขตจันทบุรี
- [13] บ้านสวนเก็บตะวัน รีสอร์ท, 2564, วิธีการทำส้มจี๊ดอบแห้ง, <https://board.postjung.com>
- [14] สุทธิรักษ์ ผลเจริญ, 2559, หมู่บ้านแม่ข่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- [15] มนตรี พิรุณเกษตร, 2557, กลศาสตร์ของไหล, พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพฯ: บริษัทวิทยพัฒน์ จำกัด
- [16] ผ่องศรี ศิวราศักดิ์, 2554, การถ่ายโอนความร้อน, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ: ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น.
- [17] บริษัท ที เอ็น เวิลด์, 2557, โบลเวอร์เป่าเตา HSB SERIES, [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.venz.co.th/venz/th/product/blower/small-blower/โบลเวอร์เป่าเตา-hsb-series>. [4/08/2567]
- [18] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2561, การอบแห้ง [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://ienergyguru.com/2015/09/drying/>. [4/08/2567]
- [19] ส่ง สุขदानนท์, 2538, ไฟฟ้าเบื้องต้น, กรุงเทพฯ: ซี เอ็น ยูเค ชัน จำกัด (มหาชน).

ประวัติผู้วิจัย



ประวัติผู้วิจัย



ผศ.ดร.ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท

การศึกษา

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปริญญาเอก Docteur en Énergétique (Mechanical Engineering)
University of Orleans, France

ปัจจุบัน

บริหารการ ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



อาจารย์ ดร.นทพร จินดาประเสริฐ

การศึกษา

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปริญญาเอก Dr.-Ing. วิศวกรรมเครื่องกล จาก University of Rostock,
Germany

ปัจจุบัน

ตำแหน่ง อาจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติผู้วิจัย

ผศ.ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน



การศึกษา

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปริญญาเอก ปร.ด. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปัจจุบัน

รับราชการ ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



ภาคผนวก ก. การเผยแพร่งานวิจัย



การศึกษาการอบแห้งส้มจี๊ดด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

The study of kumquats drying using a fluidized bed dryer

ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท^{1*} ธนพล เวียงทอง¹ ณพร จินดาประเสริฐ¹ โอภาส เย็นประยูร¹ เหมราช กิจผดุง¹ และ ประเสริฐ
วิโรจน์ชีวัน¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

E-mail: padipan.t@rmutp.ac.th*

Padipan Tinprabath * Thanaphon Wiangthong¹ Nataporn Chindaprasert¹ Opart Yenprayoon¹ Hemaraj
Kijpadung¹ and Prasert Wirotcheewan¹

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

E-mail: padipan.t@rmutp.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันส้มจี๊ดเป็นที่ต้องการของตลาดสูงมาก เนื่องจากมีข้อมูลผลการวิจัยกล่าวว่าส้มจี๊ดสามารถช่วยต้านไข้หวัด
แก้ไอ ขับเสมหะ แก้เจ็บคอ แก่โรคมะเร็งทางลำคอ แก่ท้องอืด ท้องเฟ้อ และช่วยในการย่อยอาหาร วิตามินเอ มีวิตามินซี
สูง สามารถช่วยบำรุงผิวพรรณ เปลือกและกากส้มอุดมไปด้วยเส้นใยอาหาร อย่างไรก็ตามผลผลิตส้มจี๊ดมีปริมาณมาก
เกษตรกรจึงต้องนำส้มจี๊ดมาเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปและการแปรรูปส้มจี๊ดสามารถเก็บไว้บริโภคได้นาน ดังนั้นงานวิจัยนี้
จึงสนใจที่จะนำส้มจี๊ดมาอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้
ทำการศึกษามีอุปกรณ์ประกอบด้วย ชุดพัดลมโบลเวอร์เป่าลมผ่านเครื่องทำความร้อน เกิดลมร้อนไปยังถังอบ ในการ
ทดลองนี้ได้กำหนดน้ำหนักส้มจี๊ดในการอบแห้ง 1,000 g ทดลองอบส้มจี๊ดที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C บันทึก
ข้อมูลการทดลองทุก 15 นาที เพื่อหาความชื้นที่ลดลงต่อช่วงเวลา ผลการทดลองพบว่าการอบแห้งส้มจี๊ดที่อุณหภูมิ 60 °C
เป็นอุณหภูมิอบแห้งส้มจี๊ดที่ดีที่สุด ใช้เวลาในการอบแห้ง 195 นาที

คำสำคัญ: ส้มจี๊ด การอบแห้ง เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

Abstract

Currently, kumquats are highly sought after in the market due to research findings suggesting that kumquats can help fight colds, relieve coughs, expel phlegm, alleviate sore throats, relieve throat allergies, relieve bloating, and aid digestion. They are rich in vitamin E and high in vitamin C, which can help nourish the skin. Kumquats are also abundant in dietary fiber, found in their peel and pulp. However, due to the large quantity of kumquat production, farmers need to utilize kumquats as raw materials for processing. Processed kumquats can be stored and consumed for a long time. Therefore, this research aims to explore the drying of kumquats using a fluidized bed dryer. The fluidized bed dryer setup includes a blower, a heater to generate hot air, and a drying chamber. In this experiment, 1,000 g of kumquats were dried at temperatures of 55°C, 60°C, and 65°C. Data recording was conducted every 15 minutes to monitor the decrease in moisture content over time. The experimental results indicated that drying kumquats at 55 °C took 225 minutes, which was the most optimal drying temperature for kumquats.

Keywords: Kumquat Drying Fluidized bed dryer

1. บทนำ

ปัจจุบันส้มจี๊ดเป็นที่ต้องการของตลาดสูงมากเนื่องจากมีข้อมูลผลการวิจัยกล่าวว่าส้มจี๊ดสามารถช่วยต้านหวัด แก้ไอ ขับเสมหะ แก้อาการท้องอืด ท้องเฟ้อ แก้โรคมะเร็งลำคอ แก้เจ็บคอ และช่วยในการย่อยอาหาร มีวิตามินซี วิตามินเอสูง สามารถช่วยบำรุงผิวพรรณ เปลือกและกากส้มอุดมไปด้วยเส้นใยอาหาร โดยมีปริมาณใยอาหารรวมร้อยละ 84.25 แบ่งเป็นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 48.49 และที่ละลายน้ำร้อยละ 35.76 [1] ในช่วงเวลาที่มะนาวมีราคาแพง สิ่งที่ทำร้านอาหารต่าง ๆ นิยมนำมาใช้ทดแทนความเปรี้ยวของมะนาวนอกจากมะขามแล้วก็เป็น ส้มจี๊ด โดยส่วนมากจังหวัดในแถบภาคใต้ นิยมนำส้มจี๊ดมาใช้ปรุงรสอาหาร นอกจากนี้การปลูกส้มจี๊ดนั้นสามารถปลูกได้ง่าย และไม่ต้องมีการดูแลรักษามาก ที่สำคัญส้มจี๊ดนั้นยังมีราคาถูกกว่ามะนาว [2] ซึ่งในปัจจุบันที่จังหวัดจันทบุรีและระยองมีพื้นที่ปลูกส้มจี๊ดมากถึง 50 ถึง 100 ไร่ โดยได้ผลผลิตต่อปีประมาณ 50 ถึง 70 ตัน เกษตรกรสามารถขายส้มจี๊ดได้ในกิโลกรัมละ 55 ถึง 70 บาท เนื่องจากผลผลิตส้มจี๊ดมีปริมาณมากเกษตรกรจึงต้องนำส้มจี๊ดมาเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าของส้มจี๊ดและการแปรรูปส้มจี๊ดนั้นทำให้สามารถเก็บส้มจี๊ดไว้บริโภคนานมากขึ้น [3] การแปรรูปส้มจี๊ดเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปมี 7 รูปแบบได้แก่ แยมส้มจี๊ด น้ำส้มจี๊ดพร้อมดื่ม มาร์มาเลดส้มจี๊ด แยมส้มจี๊ด ส้มจี๊ดแช่อิ่มอบแห้ง เยลลี่ส้มจี๊ด และไอศกรีมเชอร์เบทส้มจี๊ด

การอบแห้ง คือ การนำน้ำออกจากวัสดุที่ต้องการทำให้ปริมาณความชื้นในวัสดุนั้นลดลง และจะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งหลังจากการอบแห้ง ปัจจุบันได้นำวิธีการอบแห้งมาเป็นวิธีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามความต้องการของตลาดที่หลากหลายอีกด้วย [4] การอบแห้งมีหลายรูปแบบแต่มีหนึ่งรูปแบบที่สามารถอบแห้งได้ไว คือ การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งความหมายคือการใช้วิธีเป่าลมร้อนเข้าไปด้านล่างของชั้นวัตถุดิบซึ่งวางอยู่บนแผ่นที่มีรูพรุนเพื่อให้วัตถุดิบนั้นลอยขึ้นไปผ่านท่อทางออกเพื่อเก็บวัตถุดิบแห้งโดยไม่ให้เปลี่ยนให้วัตถุดิบแห้งลอยหายไปสู่อากาศเพื่อไม่ให้

เสียประสิทธิภาพของการอบแห้ง การอบแห้งชนิดนี้มีการเคลื่อนไหวของวัตถุดิบเสมือนตัวมันเป็นของไหลซึ่งข้อดีของการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด คือการใช้เวลานั้นน้อยกว่าการอบแห้งด้วยวิธีอื่น ๆ วัตถุดิบได้รับความร้อนสม่ำเสมอ [5]

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการอบแห้งส้มจี๊ดด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้เทคนิคการอบแห้งใช้วิธีการเป่าลมร้อนจากเครื่องอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่สามารถลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการผลิตส้มจี๊ดอบแห้งและเพิ่มมูลค่าสินค้าให้กับเกษตรกร

2. ขอบเขตของการวิจัย

1. ใช้เครื่องทำความร้อนมาเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ระบบ
2. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ 55, 60 และ 65 °C
3. ใช้โบลเวอร์มาเป็นอุปกรณ์ผลิตลม
4. ใช้ส้มจี๊ดในการอบแห้งครั้งละ 1000 g
5. ตัวแปรที่พิจารณาอื่น ๆ ได้แก่ เวลาในการอบแห้ง น้ำหนักความชื้นและการใช้พลังงาน

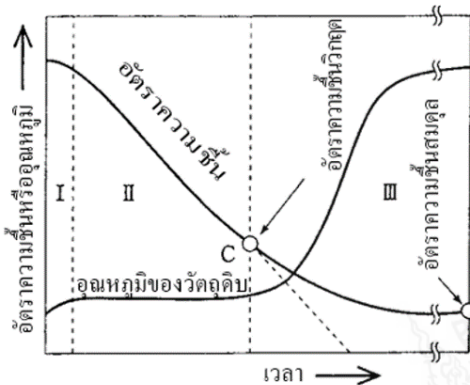
3. ทฤษฎี

3.1 การอบแห้ง (Drying) [6]

กระบวนการอบแห้ง (Drying) คือ การลดความชื้นในวัสดุโดยการเอาน้ำออกจากวัสดุนั้น เนื่องจากส่วนใหญ่ของวัสดุจะอยู่ในรูปของแข็ง น้ำจะระเหยออกจากวัสดุโดยอาจจะไม่จำเป็นต้องระเหยจากจุดเดือด แต่เป็นการใช้อากาศถ่ายเทผ่านวัสดุเพื่อพัดน้ำออกมา วัสดุที่ได้จะแห้งได้มากขึ้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ เมื่อน้ำในวัสดุระเหยเป็นไอ จะได้ผลผลิตที่มีค่าความชื้นต่ำลง

เครื่องอบโดยทั่วไปจะเป็นส่วนสุดท้ายของกระบวนการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบนั้นจะใช้งานได้ทันที ดังนั้น การควบคุมการอบให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญ นอกจากนี้ความร้อนแฝงที่เกิดขึ้นในการ

ระเหยของของเหลวอาจมีค่าสูง การอบจึงใช้พลังงานสิ้นเปลืองมาก และการจัดการพลังงานความร้อนจึงเป็นสิ่งสำคัญ อัตราเร็วในการอบกับเส้นกราฟแสดงสมบัติการอบดังแสดงรูปที่ 1 โดยกราฟดังกล่าวได้จาก การนำวัตถุดิบซึ่งเปียกชื้นอย่างเพียงพอ มาอบผ่านกระแสลมร้อนและตรวจวัดอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบนั้นตลอดการอบ โดยทั่วไปจะได้ผลลัพธ์ดังรูปซึ่งกลไกการอบสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบ [6]

3.1.1 ช่วงอุ่นวัตถุดิบ [6]

ช่วง I เป็นช่วงที่อุณหภูมิของวัตถุดิบจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มต้น (อุณหภูมิห้อง) จนถึงอุณหภูมิสมดุลซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการอบ เรียกว่า "ช่วงอุ่นวัตถุดิบ" ในกรณีที่วัตถุดิบได้รับความร้อนจากลมร้อนโดยการพาความร้อน อุณหภูมิสมดุลนี้จะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมร้อน

3.1.2 ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ [6]

ช่วงที่ II เป็นช่วงที่วัตถุดิบจะมีอุณหภูมิคงที่ ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่วัตถุดิบได้รับจะถูกนำไปใช้ในการระเหยความชื้นเท่านั้น ขั้นตอนการระเหยเกิดที่บริเวณผิวหน้าของวัตถุดิบ โดยอัตราเร็วในการอบจะคงที่ช่วงนี้เรียกว่า "ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่" ซึ่งช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ที่จะดำเนินต่อไปจนกว่าความชื้นอิสระที่อยู่ผิวหน้าของวัตถุดิบจะระเหยหมด หลังจากนั้นอัตราความชื้นของวัตถุดิบจะลดลงด้วยอัตราเร็วคงที่

3.1.3 ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง [6]

ช่วงที่ III คือ ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง เมื่อทำการอบวัตถุดิบไปเรื่อย ๆ จนปริมาณความชื้นที่ผิวหน้าวัตถุดิบระเหยหมดแล้ว ความชื้นภายในเนื้อวัตถุดิบเริ่มลดลง และความชื้นอิสระภายในตัววัตถุดิบจะซึมขึ้นมาทดแทน ให้เท่ากับอัตราเร็วในการระเหยที่ผิวหน้า การอบจึงเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ III การระเหยจะค่อย ๆ เลื่อนลงลึกเข้าไปในชั้นของเนื้อวัตถุดิบ และอุณหภูมิของวัตถุดิบจะเริ่มเข้าใกล้อุณหภูมิของลมร้อน ความร้อนส่วนหนึ่งยังถูกใช้ในการให้ความร้อนตัววัตถุดิบเองอีกด้วย อัตราเร็วในการอบจึงค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

3.1.4 ความชื้นมาตรฐานแห้ง [7]

ความชื้นมาตรฐานแห้งนี้เป็น ค่าความชื้นที่นิยมใช้กันมากในการวิเคราะห์ของกระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี ค่าดังกล่าวช่วยให้การคำนวณสะดวกมากขึ้น โดยเฉพาะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง ความชื้นมาตรฐานแห้งสามารถหาได้ตามสมการที่ (1)

$$M_d = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (d.b.)

m_w คือ มวลของผลผลิตชื้น (g)

m_d คือ มวลของผลผลิตแห้ง (g)

3.1.5 ความชื้นมาตรฐานเปียก [7]

ความชื้นมาตรฐานเปียก คือ การบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ สามารถหาได้จากสมการที่ (2)

$$M_w = \frac{m_w - m_d}{m_w} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (w.b.)

m_w คือ มวลของผลผลิตชื้น (g)

m_d คือ มวลของผลผลิตแห้ง (g)

3.1.6 ความชื้นสุดท้ายของวัตถุดิบ [6]

ค่าความชื้นสุดท้ายคือผลต่างของค่าความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบและความชื้นที่หายไประหว่างการอบแห้ง สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (3)

$$M_f = M_s - M_i \quad (3)$$

เมื่อ M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของวัตถุดิบ

M_s คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ

M_i คือ ความชื้นที่หายไป

หมายเหตุ ค่าความชื้นที่ใช้ในสูตรต้องใช้ความชื้นมาตรฐานชนิดเดียวกัน

3.1.7 อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio) [7]

ค่าอัตราส่วนความชื้นเป็นค่าที่นิยมนำมาใช้ในการเขียนกราฟ เพื่อแสดงผลการทดลอง ค่าอัตราส่วนความชื้นคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลของน้ำในวัตถุดิบเทียบกับความชื้นเริ่มต้น เมื่อเวลาการอบแห้งดำเนินไปเป็นเวลาต่าง ๆ ค่าดังกล่าวจึงเหมาะกับการนำมาเปรียบเทียบผลการทดลอง ค่าอัตราส่วนความชื้นสามารถหาได้จากสมการที่ 4

$$M_R = \frac{M_t}{M_s} \quad (4)$$

เมื่อ M_R คือ อัตราส่วนความชื้น

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ

M_s คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ

4.วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 วัสดุและอุปกรณ์

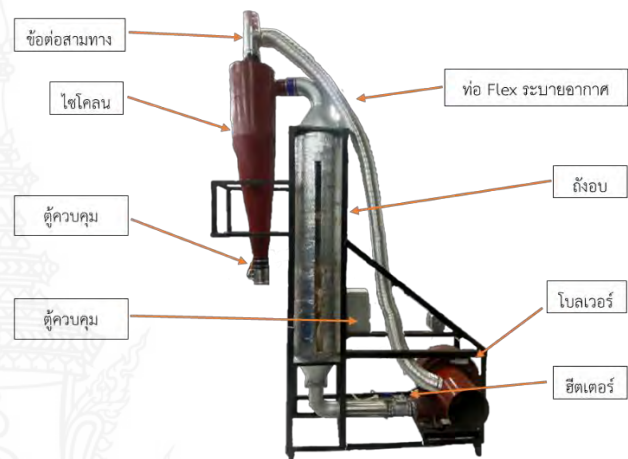
ในการทดลองนี้ใช้ส้อมจี้เป็นตัวอย่งในการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดลอง มีขั้นตอนดังนี้

1. ปอกเปลือกส้อมจี้และแกะส้อมจี้ออกเป็นกลีบ ซึ่งให้ได้ 1000 g
2. เตรียมน้ำตาลทราย 200 g และน้ำ 500 g จากนั้นต้มให้เดือด
3. เมื่อน้ำเดือดนำส้อมจี้ที่เตรียมไว้ลงต้มเป็นเวลา 3 นาที
4. หลังจาก 3 นาที นำส้อมจี้ตักขึ้นและพักให้สะเด็ดน้ำ ก่อนนำไปอบแห้งต่อไป

การอบแห้งใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ดังแสดงในรูปที่ 2

4.2 วิธีการทดลอง

การทดลองกำหนดน้ำหนักวัตถุดิบในการอบครั้งละ 1,000 g ทดลองที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C (ตามการแนะนำของ Master Chef [8] ผลไม้ควรอบแห้งที่อุณหภูมิ 57 °C - 63 °C) โดยหาค่าความชื้นที่ลดลงต่อช่วงเวลา จนถึงค่าความชื้นที่ต้องการ ระหว่างการทดลองจะบันทึกน้ำหนักทุก ๆ 15 นาที จนกว่าน้ำหนักของส้อมจี้ไม่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 2 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 น้ำหนักก่อนอบและหลังอบ

จากการทดลอง พบน้ำหนักก่อนอบและหลังอบแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 น้ำหนักก่อนอบและหลังอบแห้งของส้อมจี้ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง (°C)	55	60	65
น้ำหนักเริ่มต้น (g)	1000	1000	1000
น้ำหนักสุดท้าย (g)	640	660	480
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (นาที)	225	195	135

ผลที่ได้จากการอบแห้งส้อมจี้ที่อุณหภูมิ 55 °C น้ำหนักก่อนอบแห้งส้อมจี้ 1,000 g ในระยะเวลาของการอบแห้ง 225 นาที น้ำหนักสุดท้ายของส้อมจี้หลังการอบแห้ง 640 g น้ำหนักที่หายไป 360 g ดังแสดงในรูปที่ 3 เป็นอุณหภูมิอบแห้งที่ดี แต่ส้อมจี้ที่อบแห้งแล้วยังมีความชื้นในผลส้อมอยู่

ที่อุณหภูมิ 60 °C น้ำหนักก่อนอบแห้งสั้มน้ำ 1,000 g ในระยะเวลาของการอบแห้ง 195 นาที น้ำหนักสุดท้ายของสั้มน้ำหลังการอบแห้ง 660 g น้ำหนักที่หายไป 340 g ดังแสดงในรูปที่ 4 เป็นอุณหภูมิอบแห้งที่ดีที่สุด ความชื้นในสั้มน้ำ ผักกาดปลั้มน้ำแห้งกรอบ

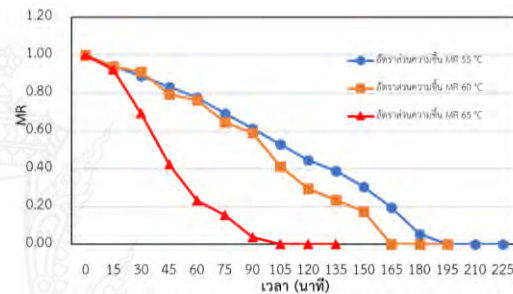
ที่อุณหภูมิ 65 °C น้ำหนักก่อนอบแห้งสั้มน้ำ 1,000 g 8 ในระยะเวลาของการอบแห้ง 135 นาที น้ำหนักสุดท้ายของสั้มน้ำหลังการอบแห้ง 480 g น้ำหนักที่หายไป 520 g ดังแสดงในรูปที่ 5 เป็นอุณหภูมิอบแห้งที่สูงเกินไป ทำให้สั้มน้ำที่ทำการอบแห้งอยู่เกิดการไหม้



รูปที่ 5 สั้มน้ำหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C

5.2 อัตราส่วนความชื้น

รูปที่ 6 แสดง อัตราส่วนความชื้น ณ เวลาต่าง ๆ ระหว่างการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 °C



รูปที่ 6 อัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 °C



รูปที่ 3 สั้มน้ำหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C

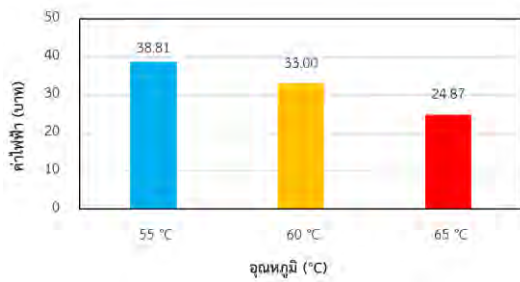


รูปที่ 4 สั้มน้ำหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C

ที่อุณหภูมิ 55 °C ในระยะเวลาของการอบแห้ง 225 นาที พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 ที่อุณหภูมิ 60 °C ในระยะเวลาของการอบแห้ง 195 นาที พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 ที่อุณหภูมิ 65 °C ในระยะเวลาของการอบแห้ง 135 นาที พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 จากผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 65 °C สามารถอบแห้งสั้มน้ำได้เร็วที่สุด และตามมด้วย ที่อุณหภูมิ 50 และ 55 °C ตามลำดับ

5.3 การใช้ไฟฟ้า

รูปที่ 7 แสดง ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งสั้มน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากรูปพบว่า ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง คือ 38.81, 33.00 และ 24.87 บาท (ค่าไฟฟ้า 1 หน่วย = 4.72 บาท) สำหรับอุณหภูมิการอบแห้ง 55, 60 และ 65 °C ตามลำดับ ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง เนื่องจากที่อุณหภูมิ 55 °C ใช้ระยะเวลาการอบแห้งนานที่สุดจึงสิ้นเปลืองพลังงานที่สุด



รูปที่ 7 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง

6. สรุป

จากการทดลองอบแห้งสั้มน้ำด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65 °C พบว่า อุณหภูมิ 60 °C เป็นอุณหภูมิอบแห้งที่ดีที่สุดเนื่องจาก ความชื้นในสั้มน้ำแห้ง ผิวกลีบสั้มน้ำแห้งกรอบ อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบอัตราส่วนความชื้นพบว่าที่อุณหภูมิ 65 °C เป็นอุณหภูมิอบแห้งที่ทำให้อัตราส่วนความชื้นลดลงเร็วที่สุดและใช้ค่าไฟฟ้าน้อยที่สุด แต่เป็นอุณหภูมิอบแห้งที่สูงเกินไป ทำให้สั้มน้ำที่ทำการอบแห้งอยู่เกิดการไหม้

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในการสนับสนุนเครื่องมือวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] โครงการสมุนไพรเพื่อการพึ่งตนเอง, สั้มน้ำ ลดอาการปอดชื้น แก้ไอ ขับเสมหะ แก้กุมิแพ้, ข้อมูลจาก https://www.matichonweekly.com/column/article_389089 (วันที่สืบค้นข้อมูล 30 มีนาคม 2567)
- [2] สุทธิรักษ์ ผลเจริญ, หมู่บ้านแม่ข่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2559.
- [3] สมบูรณ์ ศรีสุบัตติ, การดูแลสั้มน้ำให้มีผลตก ผิวมันหนาและออกผลผลิตได้ทุกฤดู, ข้อมูลจาก <https://www.rakbankerd.com/agriculture/page.php?id=4644&s=tblplant> (วันที่สืบค้นข้อมูล 30 มีนาคม 2567)

- [4] จุไรวัลย์ รัตนะพิสิฐ, “หนังสือการถ่ายโอนมวลและหลักปฏิบัติการเฉพาะหน่วยพื้นฐานสงขลา”, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2546.
- [5] กิตติ สถาพรประสาธน์, กรณ์รัฐ ทวีเจริญธรรม, กรวิชัย ตลับทอง, ฉัตรนิดา พรหมมาโอน, “การอบแห้งพริกไทยด้วยเทคนิคสเปาต์เด็ดเบดทำงานร่วมกับฟลูอิดไดซ์เบด”, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 15(1):2563, หน้า 1-11.
- [6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, การอบแห้ง, ข้อมูลจาก <https://ienergyguru.com/2015/09/drying/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 30 มีนาคม 2567)
- [7] พชรินทร์ ดาด้วง, “การอบแห้งเมล็ดงาโดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับปั๊มความร้อน”, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2555.
- [8] Master Chef, ตารางอุณหภูมิและเวลา : ตู้อบลมร้อน ไล่ความชื้นอาหาร, ข้อมูลจาก <https://www.master-shef.com/food-dehydrating-time-temperature-guide/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 30 มีนาคม 2567)