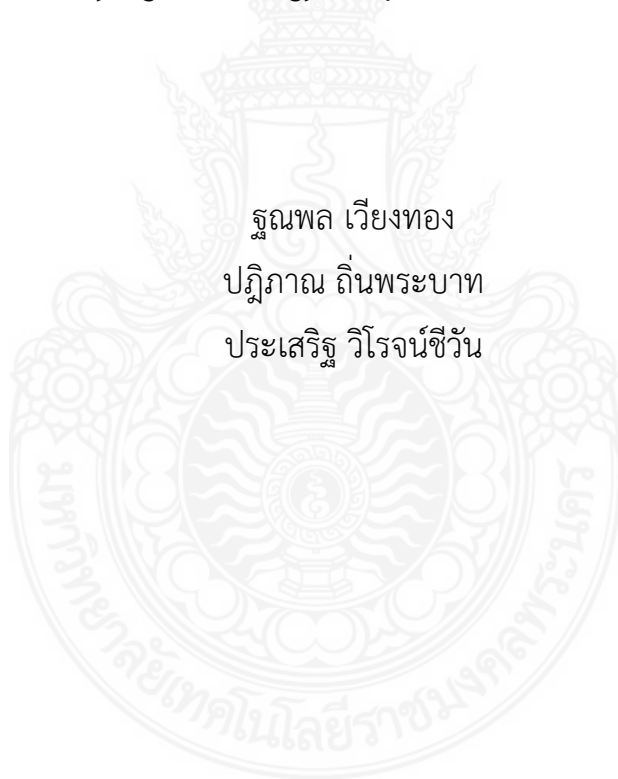




การศึกษาการอบแห้งใบกระท่อมด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด
Study on Drying of Mitragyna speciosa with Fluidized Bed

ฐณพล เวียงทอง
ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท
ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน



งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณกองทุนเพื่อการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2568
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง การศึกษาการอบแห้งใบกระท่อมด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด
 ผู้วิจัย อาจารย์ ดร.ธณพล เวียงทอง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน
 คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 พ.ศ. 2568

บทคัดย่อ

ใบกระท่อมเป็นพืชชนิดหนึ่งที่พบได้มากในเขตร้อนชื้นแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยในสมัยโบราณมีการใช้ใบกระท่อมในการรักษาอาการติดเชื้ในลำไส้ แก้อท้องเสีย ท้องร่วง บรรเทาอาการปวดกล้ามเนื้อ ลดไข้ บรรเทาอาการไอ ทำให้นอนหลับ โดยใช้ใบสดหรือใบแห้งนำมาเคี้ยว สุกหรือชงเป็นน้ำชา ในปี 2565 หลังจากมีการยกเลิกประกาศกระทรวงสาธารณสุขที่ห้ามใช้พืชกระท่อมเป็นส่วนผสมของอาหาร ดังนั้นปัจจุบันจึงสามารถใช้พืชกระท่อมในการประกอบอาหารหรือต้มน้ำกระท่อมในเชิงอุตสาหกรรมได้ โดยนอกจากการซื้อขายใบสดแล้วนั้น ได้มีการแปรรูปใบกระท่อมนั้นอีกด้วยกันหลายชนิดทั้งการใส่แคปซูลเป็นสารสกัดเข้มข้น รวมถึงประเภทใบแห้ง และ ชนิดผง ซึ่งนำไปใช้เป็นส่วนประกอบเช่นเครื่องดื่มผสมใบกระท่อม กระท่อมบรรจุถุงชาพร้อมชง เป็นต้น ดังนั้นโครงการนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการนำใบกระท่อมมาอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่จะทำการศึกษามีอุปกรณ์ประกอบด้วย ชุดพัดลมโบลเวอร์ เป่าลมผ่านฮีตเตอร์ทำความร้อน เกิดลมร้อนไปยังถังอบ ในการทดลองนี้ได้กำหนดน้ำหนักใบกระท่อมในการอบแห้ง 1 กิโลกรัม, 2 กิโลกรัม และ 3 กิโลกรัม ทดลองอบใบกระท่อมที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C จะบันทึกข้อมูลการทดลองทุก 10 นาที เพื่อหาความชื้นที่ลดลงในแต่ละช่วงเวลา ผลการทดลองพบว่า การอบแห้งใบกระท่อมที่อุณหภูมิ 55 °C ใช้เวลาในการอบแห้ง 150 นาที เป็นอุณหภูมิอบแห้งใบกระท่อมที่ดีที่สุด

Title Study on Drying of *Mitragyna speciosa* with Fluidized Bed

By Dr.Thanaphon Wiangthong
 Asst.Prof Dr.Padipan Tinprabath
 Asst.Prof. Dr.Prasert Wirotcheewan
 Faculty of Engineering
 Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

Year 2025

Abstract

Mitragyna speciosa or Kratom is a type of plant and abundantly found in the humid tropical zone of Southeast Asia. In ancient times, *Mitragyna speciosa* were used to treat symptoms of intestinal infection, cure diarrhea and acute diarrhea, alleviate states of muscular pain, reduce fever, relieve coughing, induce sleep by using fresh leaves or dried leaves to chew, smoke, or brew into tea. In the year 2022, after the Ministry of Public Health announcement banning the use of *Mitragyna speciosa* as a food ingredient was canceled. *Mitragyna speciosa* can now be used in cooking or boiling *Mitragyna speciosa* juice industrially. In addition to trading in fresh leaves, *Mitragyna speciosa* can be processed into several forms, not only as encased in capsules, as concentrated extract, but also as dried leaf type and powder type which are used as an ingredient in mixed drinks, or contained in tea bags ready for brewing. Therefore, this project is interested in studying the dehydration of *Mitragyna speciosa* using a fluidized bed dryer, whereby the fluidized bed dryer being studied is an equipment comprised of a blower fan set, blowing air past a heater generating hotness, creating hot air onto the drum dryer. In this experiment, the specified weights of the *Mitragyna speciosa* leaves for dehydration were 1 kilogram, 2 kilograms and 3 kilograms. The experimental temperatures for drying *Mitragyna speciosa* leaves were at 50°C, 55°C, and 60°C. The experimental data was recorded every 10 minutes to determine the reduction in humidity at each time period. The results found that dehydrating *Mitragyna speciosa* at the temperature of 55°C for 150 minutes was the best drying temperature for *Mitragyna speciosa*.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ กองทุนเพื่อการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย และขอขอบคุณนายขจรพงษ์ พวนอ่ำ นายปณิธาน ประทุมฝาง และนายศุภณัฐ ฉ่อยทะนงค์ ที่ช่วยเหลือในการทดลอง

ธუნพล เวียงทอง
ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท
ประเสริฐ วิโรจน์ชีวัน



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	2
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 ใบกระท่อม	5
2.3 ทฤษฎีการอบแห้ง	6
2.4 ตู้อบแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed dryer)	12
3. ขั้นตอนดำเนินการ	
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	14
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	15
3.3 วิธีการอบแห้งใบกระท่อมด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด	15
3.4 การคำนวณความชื้นเริ่มต้น	21

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4. การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 ขั้นตอนการใช้งานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	23
4.2 ขั้นตอนหลังจากการใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	24
4.3 วัตถุประสงค์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	24
4.4 ข้อมูลและผลการอบแห้ง 1 กิโลกรัม	24
4.5 ข้อมูลและผลการอบแห้ง 2 กิโลกรัม	32
4.6 ข้อมูลและผลการอบแห้ง 3 กิโลกรัม	39
4.7 สรุปผลการทดลอง	46
5. สรุปผลโครงการและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการอบแห้งด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด	48
5.2 อุปสรรคในการทดลองเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	49
5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา	49
บรรณานุกรม	50
ภาคผนวก	52
ประวัติผู้วิจัย	64

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ใบกระท่อม	5
2.2 การอบแห้ง	6
2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบ	7
2.4 เส้นกราฟอัตราเร็วในการอบในช่วงอัตราเร็วลดลง	10
2.5 ตู้อบ Fluidized bed dryer	13
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	14
3.2 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	15
3.3 การรูดก้านใบกระท่อม	16
3.4 การตัดแต่งใบกระท่อม	16
3.5 ใบกระท่อมที่ทำการตัดแต่งเรียบร้อยแล้ว	17
3.6 นำใบกระท่อมเข้าเครื่องอบแห้ง	17
3.7 ทำการชั่งน้ำหนักใบกระท่อม และ น้ำหนักเครื่อง	18
3.8 ทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ	18
3.9 เปิดสวิตช์เพื่อให้มอเตอร์ทำงาน	19
3.10 เปิดฮีตเตอร์และปรับอุณหภูมิที่จะทำการอบ	19
3.11 ทำการจับเวลาในการอบ 10 นาที	20
3.12 ทำการจดบันทึกน้ำหนัก มิเตอร์ และอุณหภูมิทุกๆ 10 นาที	20
3.13 เครื่องอบ Nabertherm Oven TR60	21
3.14 น้ำหนักใบกระท่อมก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบ	21
4.1 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C	25
4.2 ใบกระท่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 50 °C	25
4.3 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 55 °C	26
4.4 ใบกระท่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 55 °C	27
4.5 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 60 °C	28
4.6 ใบกระท่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 60 °C	28
4.7 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น 1 กก. ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C	29
4.8 อัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C	30
4.10 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C	31
4.11 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C	31
4.12 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C	32
4.13 ไบกระท่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 50 °C	33
4.14 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 55 °C	34
4.15 ไบกระท่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 55 °C	34
4.16 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 60 °C	35
4.17 ไบกระท่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 60 °C	36
4.18 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น 2 กิโลกรัมที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C	36
4.19 อัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C	37
4.20 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C	37
4.21 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C	38
4.22 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C	38
4.23 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C	39
4.24 ไบกระท่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 50 °C	40
4.25 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 55 °C	41
4.26 ไบกระท่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 55 °C	41
4.27 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 60 °C	42
4.28 ไบกระท่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 60 °C	43
4.29 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น 3 กิโลกรัมที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C	43
4.30 อัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C	44
4.31 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C	44
4.32 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C	45
4.33 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C	45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ใบกระท่อมเป็นพืชชนิดหนึ่งที่พบได้มากในเขตร้อนชื้นแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อีกทั้งในสมัยโบราณมีการใช้ใบกระท่อมในการรักษาอาการติดเชื่อในลำไส้ แก้กท้องเสีย ท้องร่วง บรรเทาอาการปวดกล้ามเนื้อ ลดไข้ บรรเทาอาการไอ ทำให้อ่อนหลับ โดยใช้ใบสดหรือใบแห้งนำมาเคี้ยว สูบ หรือชงเป็นน้ำชา กลุ่มผู้ใช้แรงงานและเกษตรกรบริโภคใบกระท่อมเพื่อกดความรู้สึกเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้า ทำให้ทำงานได้ยาวนานขึ้น สำหรับชาวบ้านในภาคใต้ใช้ใบกระท่อมในการรักษาอาการป่วยที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว รวมทั้งรักษาโรคเรื้อรัง เช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง ปี 2565 หลังจากมีการยกเลิกประกาศกระทรวงสาธารณสุขที่ห้ามใช้พืชกระท่อมเป็นส่วนผสมของอาหาร และส่งผลทำให้ในปัจจุบันปัจจุบันจึงสามารถใช้พืชกระท่อมในการประกอบอาหาร หรือ ต้มน้ำกระท่อมในเชิงอุตสาหกรรมได้ ส่งผลทำให้ในหลายจังหวัดภาคใต้ รวมถึงในพื้นที่ภาคกลางเริ่มมีการปลูกใบกระท่อมเป็นพืชเศรษฐกิจจำนวนมาก โดยราคาใบสดในพื้นที่จังหวัดภาคใต้ตอนล่างในปี 2565 เฉลี่ยอยู่ที่ 250 ถึง 300 บาท ต่อกิโลกรัม [2]

โดยนอกจากการซื้อขายใบสดแล้วนั้น ได้มีการแปรรูปใบกระท่อมนั้นมีด้วยกันหลายชนิดทั้งการใส่แคปซูล เป็นสารสกัดเข้มข้น รวมถึงประเภทใบแห้ง และ ชนิดผง ซึ่งนำไปใช้เป็นส่วนประกอบเช่นเครื่องดื่มผสมใบกระท่อม กระท่อมบรรจุถุงชาพร้อมชง เป็นต้น โดยปกติวิธีการแปรรูปแบบอบแห้งใบกระท่อมนั้นมีอีกหลายรูปแบบและวิธีการ และการอบรูปแบบหนึ่งที่ยังไม่มีการทดลองคือ การอบแห้งใบกระท่อมด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด หรือ การใช้ลมร้อนเป่าผ่านชั้นวัสดุ เพื่อทำให้วัสดุลอยตัวเป็นอิสระ เกิดการคลุกเคล้าและสัมผัสกับลมร้อนอย่างสม่ำเสมอ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสูง สามารถลดความชื้นของวัสดุลงได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งข้อดีของการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดคือการใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งด้วยวิธีอื่น ๆ และได้วัตถุดิบที่ได้รับความร้อนสม่ำเสมอ

ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยใช้เทคนิคการอบแห้งใช้วิธีการเป่าลมร้อนจากเครื่องอบแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่สามารถทำลดความชื้นได้อย่างรวดเร็วเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการผลิตใบกระท่อมอบแห้งและเพิ่มมูลค่าสินค้าให้กับเกษตรกรต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด
- 1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ใช้ฮีตเตอร์มาเป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ระบบ
- 1.3.2 เวลาที่ใช้ในการอบแห้งไม่เกิน 60 นาที
- 1.3.3 ใช้โบลเวอร์มาเป็นอุปกรณ์ผลิตลม
- 1.3.4 ใช้ตัวแปรที่พิจารณาได้แก่ เวลาการอบแห้ง น้ำหนัก ความชื้น และการใช้พลังงานในการอบแห้ง
- 1.3.5 ทำการทดลองอบครั้งละ 1 กิโลกรัม, 2 กิโลกรัม และ 3 กิโลกรัม
- 1.3.6 ทดสอบในอุณหภูมิ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากโครงการ

- 1.4.1 ได้รับความรู้เรื่องการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด
- 1.4.2 ได้ทราบตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนาธิป แซ่หลี่ และคณะ [3] ศึกษาการนำฟ้าทะลายโจรมาอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งเครื่องอบแห้งชนิดนี้สามารถลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว โดยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ที่จะทำให้การศึกษามีอุปกรณ์ประกอบด้วย ชุดพัดลมโบลเวอร์ 2 แรงม้า ที่ความเร็วรอบสูงสุด 2,950 รอบต่อนาที เป่าลมผ่านฮีตเตอร์ทำความร้อนขนาด 6,000 วัตต์ เกิดลมร้อนไปยังถังอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 33 เซนติเมตร สูง 150 เซนติเมตร ในการทดลองนี้ได้กำหนดน้ำหนักฟ้าทะลายโจรในการอบครั้งละ 500 กรัม, 1,000 กรัม, และ 2,000 กรัม ทดลองฟ้าทะลายโจรที่น้ำหนักละ 2 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 40 °C และ 50 °C ความเร็วลมร้อน ที่ผ่านถังอบ 1.5 เมตรต่อวินาที โดยจะบันทึกข้อมูลการทดลองทุก 15 นาที เพื่อหาความชื้นที่ลดลงต่อช่วงเวลา ผลการทดลองพบว่าที่น้ำหนักฟ้าทะลายโจร 2,000 กรัม อุณหภูมิ 40 °C ใช้เวลาในการอบแห้ง 105 นาที และอุณหภูมิ 50 °C ใช้เวลาในการอบแห้ง 60 นาที ที่อุณหภูมิเท่ากันเมื่อเพิ่มน้ำหนักฟ้าทะลายโจร ทำให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งจาก 40 °C เป็น 50 °C ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงและพบว่า การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงเนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่ 50 °C น้อยกว่า 40 °C

พัชรินทร์ ตาดวง [4] ได้ศึกษาการอบแห้งเมล็ดงาโดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับปั๊มความร้อน โดยการศึกษาแบ่ง ออกเป็น 2 การทดลองคือ การทดลองที่หนึ่งทำการอบแห้งเมล็ดงาโดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบด ร่วมกับปั๊มความร้อนแบบระบบเปิด (Open system) การทดลองที่สองทำการอบแห้งเมล็ดงาโดยใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับปั๊มความร้อนแบบระบบปิด (Close system) โดยมีเงื่อนไขการทดลองคือ ใช้หลอดทดลองอะคริลิกใส มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร และความสูง 1,600 มิลลิเมตร ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดงา 30 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการทดลองพบว่า ความเร็วของอากาศอบแห้งสำหรับทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศอบแห้งและความหนาเบด โดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบด ร่วมกับปั๊มความร้อนแบบระบบเปิด (Open system) มีอัตราการอบแห้งที่น้อยกว่าและใช้พลังงานจำเพาะมากกว่าเครื่องอบแห้งที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับปั๊มความร้อนแบบระบบปิด (Close system)

จุมพล แซ่เอี่ยม [5] ได้ทำการวิจัยเรื่องการอบแห้งกากมะพร้าวด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน โดยทำการออกแบบและทดสอบเครื่อง เพื่อศึกษาหาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งของกากมะพร้าวด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน และเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายความชื้นของกากมะพร้าว จากการทดลองอบแห้งในเครื่องทดลองฟลูอิดไดซ์เบอร์ขนาด 20x20 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิอบแห้ง 80 °C, 105 °C และ 130 °C ความเร็วอากาศ 1.5 เมตรต่อวินาที, 2.0 เมตรต่อวินาที และ 2.5 เมตรต่อวินาที ที่ความชื้นเริ่มต้น กากมะพร้าว 55 ถึง 60 % มาตรฐานเปียก จนถึงความชื้นสุดท้าย 3 % มาตรฐานเปียก ผลการทดลองพบว่า ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเซชันที่ความชื้นกากมะพร้าวเริ่มต้น 55 %, 35 %, 20 % และ 3 % มาตรฐานเปียก มีค่าประมาณ 1.05 เมตรต่อวินาที, 1.0 เมตรต่อวินาที, 0.9 เมตรต่อวินาที และ 0.6 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ที่อุณหภูมิอากาศ 33 °C ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเบด และอัตราการไหลอากาศจำเพาะ (อัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของอากาศต่อมวลแห้งของกากมะพร้าว) ผลจากการศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งสามแบบพบว่าแบบจำลองรูปแบบสมการสามารถทำนายความชื้นได้ใกล้เคียงผลการทดลองที่สุด

2.2 ใบกระท่อม [1]

กระท่อมเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ปานกลาง มีแก่นเป็นไม้เนื้อแข็ง สูง 10 ถึง 15 เมตร อยู่ในตระกูล *Mitragyna speciosa* ใบคล้ายใบกระดังงา มีชนิดก้านใบแดงและใบเขียว ดอกกลมโตขนาดเท่าผลพุทรา ใบเป็นใบเดี่ยวสีเขียว เรียงตัวเป็นคู่ตรงข้าม แผ่นใบขนาดกว้างประมาณ 5 ถึง 10 เซนติเมตร ยาวประมาณ 8 ถึง 14 เซนติเมตร ดอกมีสีขาวอมเหลืองออกเป็นช่อตุ้มกลมขนาด 3 ถึง 5 เซนติเมตร โดยในบางจังหวัดของภาคกลาง เช่น ปทุมธานี แต่จะพบมากในป่าธรรมชาติบริเวณภาคใต้ เช่น สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ตรัง สตูล พัทลุง สงขลา ยะลา ปัตตานี นราธิวาส และตอนบนของประเทศมาเลเซีย



รูปที่ 2.1 ใบกระท่อม [1]

ในสมัยโบราณ กระท่อมเป็นพืชที่ใช้เข้าเป็นตัวยาในตำรับพวกรักษาแก้ท้องเสีย ในสูตรยาของหมอพื้นบ้านหรือหมอแผนโบราณ เช่น ตำรับยาประสะกระท่อม เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ไม้มีความจำเป็นต้องใช้ขนาดนี้แล้ว เพราะมียาแผนปัจจุบันและแผนโบราณให้ผลเท่าเทียมหรือดีกว่า อีกทั้งแม้ใบกระท่อมให้ผลการออกฤทธิ์ที่อาจมีประโยชน์ทางยาได้ แต่ทำให้เสพติดและมีผลเสียต่อสุขภาพ หากใช้ติดต่อกันนาน ๆ โดยแต่ดั้งเดิมนิยมการบริโภคแบบนำไปต้มเป็นน้ำชา และเคี้ยวใบสดมากกว่าการบริโภคสินค้าแปรรูป ซึ่งราคาซื้อขายในอดีตสูงถึง 1,500 บาทต่อกิโลกรัม หลังจากที่ได้รับอนุญาตให้มีการปลูกและบริโภคอย่างถูกกฎหมายได้ ราคาใบสดในพื้นที่จังหวัดภาคใต้ตอนล่างในปี พ.ศ. 2565 เฉลี่ยอยู่ที่ 250 ถึง 300 บาทต่อกิโลกรัม ในอนาคตเมื่อมีการปลูกกันมากขึ้น และมีการพัฒนาด้านการนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ อุตสาหกรรมอาหาร และมีการส่งออก คาดว่าราคาอาจจะลดลง ตามกลไกการตลาด นอกจากนั้นประเทศไทยมีการนำเข้ากระท่อมจากประเทศอินโดนีเซียในปี พ.ศ. 2562 จำนวน 4 ตัน และเพิ่มขึ้นเป็น 30 ตัน ในปี พ.ศ. 2563

2.3 ทฤษฎีการอบแห้ง [7]

การอบแห้ง (Drying) คือ การเอาน้ำออกจากวัสดุที่ต้องการทำให้ปริมาณน้ำในวัสดุนั้นลดลง (ความชื้นลดลง) โดยส่วนใหญ่วัสดุนั้นจะอยู่ในสถานะของแข็ง น้ำที่ระเหยออกจากวัสดุนั้นอาจจะไม่ต้องระเหยที่จุดเดือดแต่ใช้อากาศพัดผ่านวัสดุนั้นเพื่อดึงน้ำออกมาวัสดุจะแห้งได้มากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของมันด้วย ในการอบเมื่อทำให้ของเหลวในวัตถุดิบระเหยเป็นไอจะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีสัดส่วนของของเหลวต่ำลง ซึ่งนอกจากจะมีกรณีที่วัตถุดิบมีสภาพเป็นของแข็งที่เปียกชื้นแล้ว ยังมีกรณีที่อบของเหลวข้น (Slurry) หรือของเหลวใสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงอีกด้วย



รูปที่ 2.2 การอบแห้ง

เครื่องอบโดยมากมักจะเป็นส่วนสุดท้ายของกระบวนการผลิตโดยผลิตภัณฑ์ที่อบแล้ว จะกลายเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จทันทีที่ดังนั้นการอบไม่สม่ำเสมอ เช่น ไม่แห้งหรือแห้งเกินไป และรูปร่างของผลิตภัณฑ์ เช่น วัตถุดิบเป็นก้อน รวมทั้งปริมาณผลได้ (Yield) จึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสนใจ นอกจากนี้ความร้อนแฝงของการระเหยของของเหลวจะมีค่าสูง การอบจึงสิ้นเปลืองพลังงานมาก การจัดการพลังงานความร้อนจึงเป็นปัญหาที่สำคัญ

2.3.1 อัตราความชื้นในการแสดงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบ

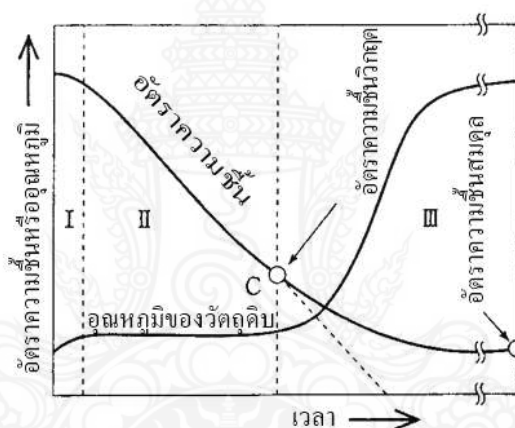
แสดงได้ด้วยปริมาณน้ำต่อปริมาณมวลรวมเปียก (ค่า Wet base) หรือปริมาณน้ำต่อปริมาณวัตถุดิบแห้ง (ค่า Dry base) ในขณะที่อบมวลรวมจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย เมื่อคำนวณความชื้นแบบ Wet basis จะทำให้ค่าความชื้นเปลี่ยนแปลงอย่างไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น ในการคำนวณทางอุตสาหกรรมจะใช้ค่าความชื้นที่คำนวณแบบ Dry basis ซึ่งมวลแห้งเป็นฐานในการคำนวณ เนื่องจากมวลแห้งนี้มีค่าคงที่ตลอดการอบ จึงมีความสะดวกมากกว่า ถ้าให้ความชื้นที่ Wet basis เท่ากับ W_w และให้ความชื้นที่ Dry basis เท่ากับ W_d แล้ว ค่าทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กัน ดังสมการที่ 2.1

$$W_d = \frac{W_w}{1+W_w} = \frac{W_d}{1+W_d} \quad (2.1)$$

เมื่อ W_d คือ วัตถุแห้ง (%d.b)

W_w คือ วัตถุเปียก (%d.b)

อัตราเร็วในการอบกับเส้นกราฟแสดงสมบัติการอบเมื่อนำวัตถุดิบที่จะอบซึ่งเปียกชื้นเป็นไปอย่างเพียงพอถึงผิวหน้ามาแขวนไว้ในกระแสลมร้อนแล้วติดตามตรวจวัดอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบนั้น โดยทั่วไปจะได้ผลลัพธ์ดังรูปซึ่งกลไกการอบสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะที่มีลักษณะแตกต่างกัน ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบ

1) ช่วงอุ่นวัตถุดิบ

ช่วงอุ่นวัตถุดิบเป็นช่วงที่อุณหภูมิของวัตถุดิบจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิตั้งต้น (อุณหภูมิห้อง) จนถึงอุณหภูมิสมดุลที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการอบ เรียกว่า ช่วงอุ่นวัตถุดิบ ในกรณีที่วัตถุดิบได้รับความร้อนด้วยการพาความร้อนโดยลมร้อน อุณหภูมิสมดุลนี้จะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมร้อนนั้น

2) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่

ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ที่วัตถุดิบจะมีอุณหภูมิคงที่ ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้รับจะถูกใช้ไปในการระเหยความชื้นเท่านั้น ขั้นตอนการระเหยจะเกิดที่ผิวหน้าของวัตถุดิบโดยอัตราเร็วในการอบจะมีค่าคงที่ ช่วงนี้เรียกว่า ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งจะดำเนินไปตราบเท่าที่ที่มีความชื้นอิสระให้ระเหยอยู่ที่ผิวหน้าของวัตถุดิบ โดยอัตราความชื้นของวัตถุดิบจะลดลงด้วยอัตราเร็วคงที่

3) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง

ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลงเมื่ออบไปเรื่อย ๆ จนปริมาณความชื้นที่ผิวหน้าวัตถุดิบแห้งลง และความชื้นภายในเนื้อวัตถุดิบเริ่มลดลง ความชื้นอิสระภายในตัววัตถุดิบจะซึมขึ้นมาทดแทนให้ทันกับอัตราเร็วในการระเหยที่ผิวหน้า จึงเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ 3 ได้แก่ ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง ซึ่งของการระเหยจะค่อย ๆ เลื่อนลงลึกเข้าไปในเนื้อวัตถุดิบ อุณหภูมิของวัตถุดิบจะเริ่มเข้าใกล้ อุณหภูมิของลมร้อนจากบริเวณพื้นผิวในการอบความร้อนจะต้องเข้าไปถึงภายในเนื้อวัตถุดิบ นอกจากนี้ความร้อนส่วนหนึ่งยังต้องใช้ในการให้ความร้อนตัววัตถุดิบเองอีกด้วย อัตราเร็วในการอบจึงค่อย ๆ ลดลงตามเวลาที่ผ่านมา

ความสามารถในการดูดซับความชื้นของวัสดุขึ้นกับกลไกการเคลื่อนที่สภาพของความชื้นที่มีอยู่ภายในวัตถุดิบขึ้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อกลไกการเคลื่อนที่ของความชื้นในวัตถุดิบเปียกนอกจากจะมีความชื้นในรูปน้ำอิสระแล้ว ยังมีน้ำ Adsorption water ที่เกาะติดกับพื้นผิวของแข็งความชื้น Bonding water และไอน้ำในช่องว่างอีกด้วย

2.3.2 การคำนวณหาความชื้นมาตรฐานแห้ง [6]

ความชื้นมาตรฐานแห้งเป็นที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์ของกระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะ ช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือ เกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง เหตุที่เกือบจะคงที่เป็นเพราะผลผลิตทางเกษตรเป็นสิ่งมีชีวิตมีการหายใจ ดังนั้นสามารถหาความชื้น มาตรฐานแห้งได้ตามสมการมีการเผาผลาญสารอาหาร ทำให้มวลแห้งมีโอกาสลดลงได้ ส่วนใหญ่แล้วมวล แห้งจะลดลงเล็กน้อย ดังสมการที่ 2.2

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

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% d.b.)

m_w คือ มวลของผลผลิตขึ้น (kg)

m_d คือ มวลของผลผลิตแห้ง (kg)

2.3.3 การคำนวณหาความชื้นมาตรฐานเปียก

การบอกค่าความชื้นก็คือการบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ สามารถบอกได้เป็นความชื้นมาตรฐานเปียก ดังสมการที่ 2.3

$$M_w = \frac{m_w - m_d}{m_w} \times 100 \quad (2.3)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (% w.b.)

m_w คือ มวลของผลผลิตขึ้น (kg)

m_d คือ มวลของผลผลิตแห้ง (kg)

2.3.4 การคำนวณหาความชื้นสุดท้ายของวัตถุดิบ

ค่าความชื้นสุดท้ายคือปริมาณน้ำที่อยู่ในวัตถุดิบน้อยที่สุดของวัสดุแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน โดยจะต้องคำนึงถึงความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ สามารถคำนวณหาได้ ดังสมการที่ 2.4

$$M_f = M_S - M_1 \quad (2.4)$$

เมื่อ M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของวัตถุดิบ (%d.b,%w.b.)

M_s คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (% w.b)

M_1 คือ ความชื้นที่หายไป (%d.b,%w.b.)

หมายเหตุ ค่าความชื้นในสูตรต้องใช้มาตรฐานเดียวกัน

2.3.5 การคำนวณหาความชื้นสุดท้ายของวัตถุดิบ

ค่าอัตราส่วนความชื้นเป็นค่าที่นิยมนำมาใช้ในการเขียนกราฟ เพื่อแสดงผลการทดลองที่ค่าสูงสุดเท่ากันทุกชนิด จึงเหมาะกับการเปรียบเทียบผลการทดลอง ดังสมการที่ 2.5

$$M_R = \frac{m_t}{m_s} \quad (2.5)$$

เมื่อ M_R คือ อัตราส่วนความชื้น

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ

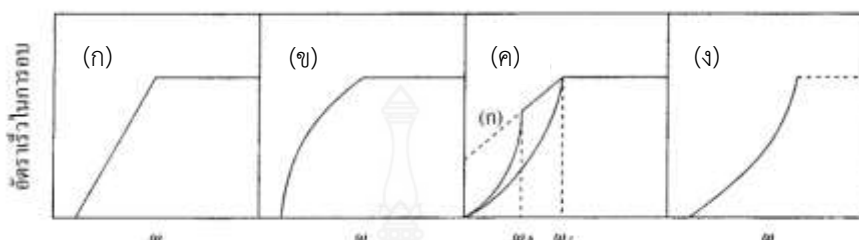
M_s คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ

หมายเหตุ ค่าความชื้นในสูตรต้องใช้มาตรฐานเดียวกัน

2.3.6 อัตราเร็วในการอบด้วยอัตราเร็วลดลง

อัตราเร็วในการอบวัตถุดิบของแข็ง จะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัตถุดิบและเงื่อนไขการอบ แต่รูปร่างของเส้นกราฟคุณลักษณะการอบในช่วงอัตราเร็วลดลงนี้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขภายใน ได้แก่ ลักษณะของวัตถุดิบ สมบัติของความชื้นภายในวัตถุที่มีอยู่ ฯลฯ มากกว่าเงื่อนไขการอบภายนอก

เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วของลมร้อน ฯลฯ เมื่อทำการวัดเส้นกราฟอัตราเร็วในช่วงอัตราเร็วลดลงของวัสดุต่าง ๆ จะแบ่งได้เป็น 4 ประเภทดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เส้นกราฟอัตราเร็วในการอบในช่วงอัตราเร็วลดลง

ในจำนวนประเภทต่าง ๆ ข้างต้น รูป (ก) จะพบได้ในกรณีที่อนุภาคของวัตถุดิบมีน้ำอยู่ในรูปที่ค่อนข้างเป็นอิสระ กล่าวคือ การอบหัดของเหลว เยื่อบาง อนุภาคขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 5 mm เป็นต้น รูป (ข) พบได้ในอนุภาคขนาดจืดที่มีสมบัติ non-hydrophilic หรือวัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นใยสั้น ๆ เป็นต้น ทั้งรูป (ก) และ (ข) เป็นวัสดุที่น้ำจะเคลื่อนที่สู่ผิวหน้าด้วยแรง capillary ช่วงอัตราเร็วลดลงขั้นที่ 1 รูป (ง) โดยมากจะพบในการอบสารเนื้อเดียว เช่น สบู่ กาว เจลาติน ฯลฯ ซึ่งไม่มีช่วงอบด้วยอัตราคงที่ โดยอัตราความชื้นที่ผิวจะลดลงอย่างรวดเร็วจนเท่ากับอัตราความชื้นสมดุลกับลมร้อน หลังจากนั้น การแพร่ของน้ำภายในวัตถุดิบจะมีอิทธิพลเด่นชัดที่สุด การอบรูป (ค) วัตถุดิบมีสมบัติระหว่าง (ก), (ข) กับ (ง) โดยช่วงอัตราการอบแห้งลดลง จะมี 2 ช่วง คือ หลังจากเกิดช่วงอัตราเร็วลดลงขั้นที่ 1 แล้วจะเข้าสู่ช่วงอัตราเร็วลดลงขั้นที่ 2 โดยกรณี (ก) จะพบในวัสดุที่มี osmotic water เช่น ดินเหนียว และกรณี (ข) เป็นรูปที่ทั่วไปที่สุด พบได้ในวัสดุหล่อขึ้นตะกอน เป็นต้น ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการอบโดยคร่าว ๆ สำหรับรูป (ก), (ข) จะแปรผันตามความหนาของวัสดุ ขณะที่รูป (ง) จะแปรผันตามความหนาของวัตถุดิบกำลังสอง ส่วนรูป (ค) จะอยู่ระหว่างทั้งสองแบบข้างต้น

2.3.7 การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Moisture content on dry basis) เป็นอัตราส่วนของมวลน้ำในวัสดุต่อมวลแห้งของวัสดุ อัตราการอบแห้ง (Drying rate) คำนวณได้จากสมการที่ 2.6

$$DR = \frac{m_i - m_f}{t} \quad (2.6)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (kgw/h)

M_i คือ มวลของวัสดุก่อนกระบวนการอบแห้ง (kg)

M_f คือ มวลของวัสดุหลังกระบวนการอบแห้ง (kg)

t คือ เวลาในการอบแห้ง (h)

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

การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เป็นอัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ในระบบอบแห้งต่อความชื้นที่ระเหยออกจากวัสดุในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ดังสมการที่ 2.7

$$SEC = \frac{E_t}{M_w} \quad (2.7)$$

เมื่อ SEC คือ การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg)

E_t คือ พลังทั้งหมดที่ใช้ในระบบอบแห้ง (MJ)

2.3.9 พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบอบแห้ง คำนวณได้จากสมการที่ 2.8 [12]

$$E_t = E_{\text{electric}} + E_{\text{thermal}} \quad (2.8)$$

เมื่อ E_{electric} คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (MJ)

E_{thermal} คือ ปริมาณพลังงานความร้อน (MJ)

2.3.10 ความชื้นในวัสดุที่ระเหยระหว่างกระบวนการอบแห้ง คำนวณได้จากสมการที่ 2.9

$$m_{\text{evap}} = m_i - m_f \quad (2.9)$$

เมื่อ M_i คือ มวลของวัสดุก่อนกระบวนการอบแห้ง (kg)

M_f คือ มวลของวัสดุหลังกระบวนการอบแห้ง (kg)

2.3.11 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน คำนวณได้จากสมการที่ 2.10

$$\eta_{\text{th}} = \frac{E_{\text{evap}}}{E_{\text{input}}} \times 100\% = \frac{m_{\text{evap}} h_{\text{fg}}}{E_t} \times 100\% \quad (2.10)$$

เมื่อ η_{th}	คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง (%)
E_{evap}	คือ พลังงานที่ใช้ในการระเหยความชื้น (Wh)
E_{input}	คือ พลังงานที่ให้กับระบบการอบแห้ง (Wh)
E_t	คือ พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบการอบแห้ง (Wh)
m_{evap}	คือ ความชื้นที่ระเหยออกจากวัสดุในกระบวนการอบแห้ง (kg)
h_{fg}	คือ พลังงานความร้อนแฝงของการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ (Wh/kg) เท่ากับ 671.83 (Wh/kg) (2,418.60 kJ/kg ที่อุณหภูมิทางออกของ ห้องอบแห้ง 35 °C ซึ่ง 1kWh = 3.6 MJ)

2.4 ตู้อบแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed dryer) [3]

ใช้วิธีเป่าลมร้อนเข้าไปจากด้านล่างของชั้นวัตถุดิบที่เป็นผงที่วางบนแผ่นที่มีรูพรุน เพื่อให้ผงวัตถุดิบลอยขึ้นและมีการเคลื่อนไหวเหมือนตัวมันเป็นของไหล ตัวอย่างแสดงไว้ในรูปที่ 2.5 ตู้อบแบบนี้จะมีจุดเด่นดังต่อไปนี้

2.4.1) ผงวัตถุดิบจะสัมผัสกับก๊าซอย่างรุนแรงจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงและเนื่องจากอัตราส่วนพื้นที่ต่อปริมาตรของผงวัตถุดิบมีค่ามาก จึงมีการถ่ายเทความร้อนรวมได้มาก

2.4.2) แต่ละอนุภาคจะกระทบกันอย่างรุนแรงในขณะที่ถูกกวาดไปมา ทำให้วัตถุดิบมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ

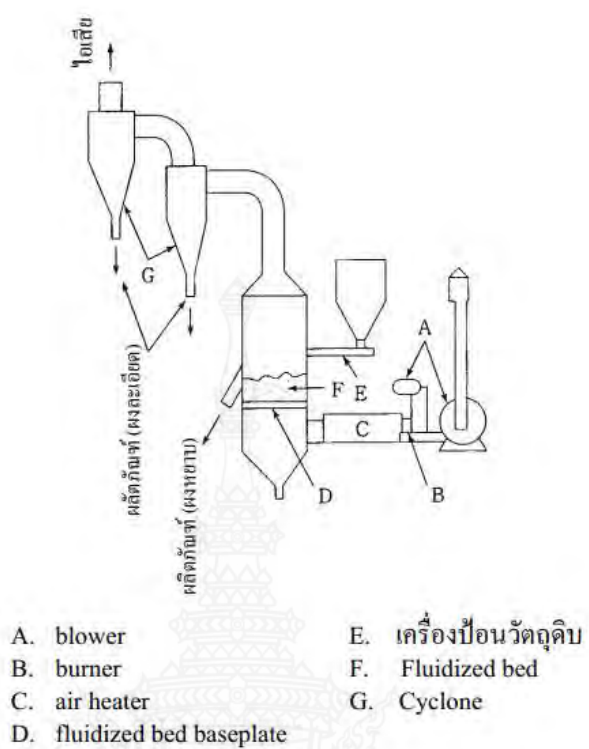
2.4.3) ระยะเวลาเฉลี่ยที่อยู่ในเครื่องอบสามารถปรับให้เป็นเท่าใดก็ได้ จึงเหมาะกับวัตถุดิบที่ต้องใช้เวลานานในการอบหรือผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราความชื้นต่ำ

ส่วนข้อเสียมีดังต่อไปนี้

2.4.4) ไม่สามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงและมีการเกาะตัวต่อการรวมตัวสูง เพราะจะไม่สามารถทำให้เกิดสภาพ fluidized ได้

2.4.5) อนุภาคจะกระเด็นออกมาพร้อมกับก๊าซได้ง่าย

2.4.6) แผ่นกระจายก๊าซและ fluidized bed ทำให้เกิดความดันสูญเสียสูงจึงต้องใช้ blower เพื่อเป่าอากาศที่มีกำลังสูง



รูปที่ 2.5 ตู้อบ Fluidized bed dryer [7]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในบทนี้ประกอบด้วยการวางแผนการศึกษาการอบแห้งใบกระท่อมด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด โดยลำดับขั้นตอนการดำเนินงานสามารถสรุปได้ดังนี้

3.1.1 การศึกษาค้นคว้าและทบทวนวรรณกรรม

ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางกายภาพและเคมีของใบกระท่อม ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด และศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและกำหนดตัวแปรทดลอง

3.1.2 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ทดลอง

จัดหาและเตรียมใบกระท่อมสดตามเกณฑ์ที่กำหนด (อายุใบ ความชื้นเริ่มต้น) เตรียมเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด รวมถึงเครื่องมือวัดต่าง ๆ เช่น เครื่องชั่งดิจิทัล, เครื่องวัดความชื้น, และอุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิ

3.1.3 การออกแบบการทดลอง

กำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง เช่น อุณหภูมิการอบ (เช่น 50, 60, 70 °C) และความเร็วลมฟลูอิดไดซ์ กำหนดตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ ค่าความชื้น (Moisture Content), เวลาในการอบแห้ง, และคุณภาพของใบ (สี, กลิ่น, ลักษณะทางกายภาพ)

3.1.4 การดำเนินการทดลอง

นำใบกระท่อมเข้าสู่กระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด ตามเงื่อนไขการทดลองที่กำหนด ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าความชื้นเป็นช่วงเวลา เพื่อติดตามพฤติกรรมของการอบแห้ง

3.1.5 การเก็บรวบรวมและบันทึกข้อมูล

บันทึกผลการทดลองในแต่ละเงื่อนไข ได้แก่ ค่าความชื้นที่เหลือ, เวลาอบแห้ง, และคุณลักษณะของใบกระท่อม บันทึกอุณหภูมิ ความเร็วลม และตัวแปรแวดล้อมอื่น ๆ ที่มีผลต่อการอบ

3.1.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

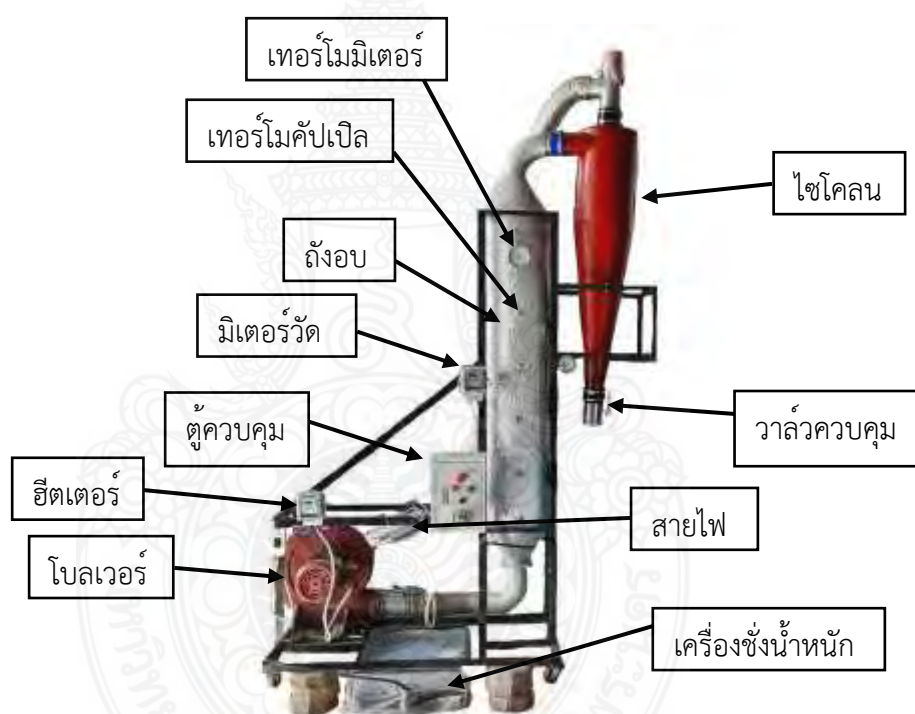
ประเมินอัตราการอบแห้ง ค่าคงที่การอบแห้ง และค่าความถูกต้องของแบบจำลองทางสถิติ (เช่น R^2 , RMSE, χ^2)

3.1.7 การสรุปผลและจัดทำรายงาน

สรุปผลการทดลองที่ได้จากการอบแห้งใบกระท่อมด้วยฟลูอิดไดซ์เบดบนนำเสนอผลการวิเคราะห์ และเขียนรายงานการวิจัย พร้อมข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดในโครงงานนี้แสดงดังรูป 3.2 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก ดังนี้



รูปที่ 3.2 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

3.3 วิธีการอบแห้งใบกระท่อมด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด

ในการทดลองการอบแห้ง ให้นำใบกระท่อมมาทำความสะอาด แล้วทำการตัดแต่งโดยรูดก้านออกและหั่นแบ่งออกเป็นชิ้นตามแนวขวาง และเริ่มดำเนินการชั่งน้ำหนักปริมาณใบกระท่อมที่จะเข้าทำการอบในเครื่องตามปริมาณที่กำหนด กล่าวคือ 1, 2, และ 3 กิโลกรัม จากนั้นจึงเริ่มให้ดำเนินการอบแห้งตามอุณหภูมิที่กำหนด กล่าวคือ 50, 55 และ 60 องศา หลังจากนั้นจึงเริ่มดำเนินการชั่ง

น้ำหนักปริมาณและหาค่าความชื้นในตัวของใบกระท่อมที่อบด้วยอุณหภูมิที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อการศึกษา น้ำหนัก ความชื้น และการใช้พลังงานในการอบแห้ง



รูปที่ 3.3 การรูดก้านใบกระท่อม



รูปที่ 3.4 การตัดแต่งใบกระท่อม



รูปที่ 3.5 ใบกระท่อมที่ทำการตัดแต่งเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 3.6 นำใบกระท่อมเข้าเครื่องอบแห้ง



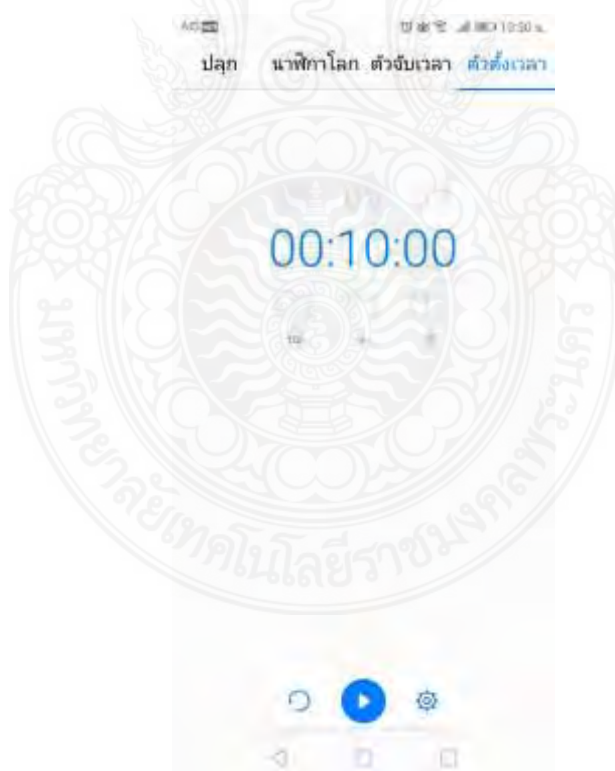
รูปที่ 3.7 ทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.8 เปิดสวิตช์เพื่อให้มอเตอร์ทำงาน



รูปที่ 3.9 เป็ดฮีตเตอร์และปรับอุณหภูมิที่จะทำการอบ



รูปที่ 3.10 ทำการจับเวลาในการอบ 10 นาที



รูปที่ 3.11 ทำการชั่งน้ำหนักใบกระท่อม และ น้ำหนักเครื่อง



รูปที่ 3.12 ทำการจดบันทึกน้ำหนัก มิเตอร์ และอุณหภูมิทุกๆ 10 นาที

3.4 วิธีการคำนวณความชื้นเริ่มต้น

ในการคำนวณหาอุณหภูมิความชื้นเริ่มต้นนั้นจะเริ่มจากการนำใบกระท่อมเข้าทำการทดลองอบด้วยเครื่องอบ Nabertherm Oven TR60 อุณหภูมิ 105 องศา ใช้ระยะเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.13 เครื่องอบ Nabertherm Oven TR60



รูปที่ 3.14 น้ำหนักใบกระท่อมก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบ

การคำนวณความชื้นมาตรฐานแห่งนั้นจะใช้สมการ

$$\begin{aligned}M_d &= \frac{m_w - m_d}{m_w} \times 100 \\&= \frac{0.098 \text{ kg} - 0.026 \text{ kg}}{0.098 \text{ kg}} \times 100 \\&= 73.47 \%\end{aligned}$$

ดังนั้น ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบนั้นอยู่ที่ 73.47 %d.b.



บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดสอบเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด และหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด จะทำการทดสอบโดยการเดินเครื่องในลักษณะทำงานจริง ทำการทดสอบกับวัตถุดิบใบกระเทียม โดยกำหนดน้ำหนักวัตถุดิบในการอบครั้งละ 1 kg, 2 kg, และ 3 kg ทดลองที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C โดยหาค่าความชื้นที่ลดลงต่อช่วงเวลา จนถึงค่าความชื้นที่ต้องการ

4.1 ขั้นตอนการใช้งานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

4.1.1 ตรวจสอบสภาพโดยรวมของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

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

4.1.2 ทำการวัดความเร็วลม

4.1.3 ทำการเตรียมใบกระเทียมและอุปกรณ์ในการอบแห้ง

4.1.4 นำใบกระเทียมที่เตรียมไว้ใส่ลงไปในถังอบแห้ง

4.1.5 เปิดเบรกเกอร์ เปิดสวิตช์ฉุกเฉิน

4.1.6 เปิดสวิตช์ฮีตเตอร์

4.1.7 เปิดสวิตช์โบลเวอร์

4.1.8 หมุนปรับตั้งอุณหภูมิในการอบ

4.1.9 จับเวลาในการอบ 10 นาที

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

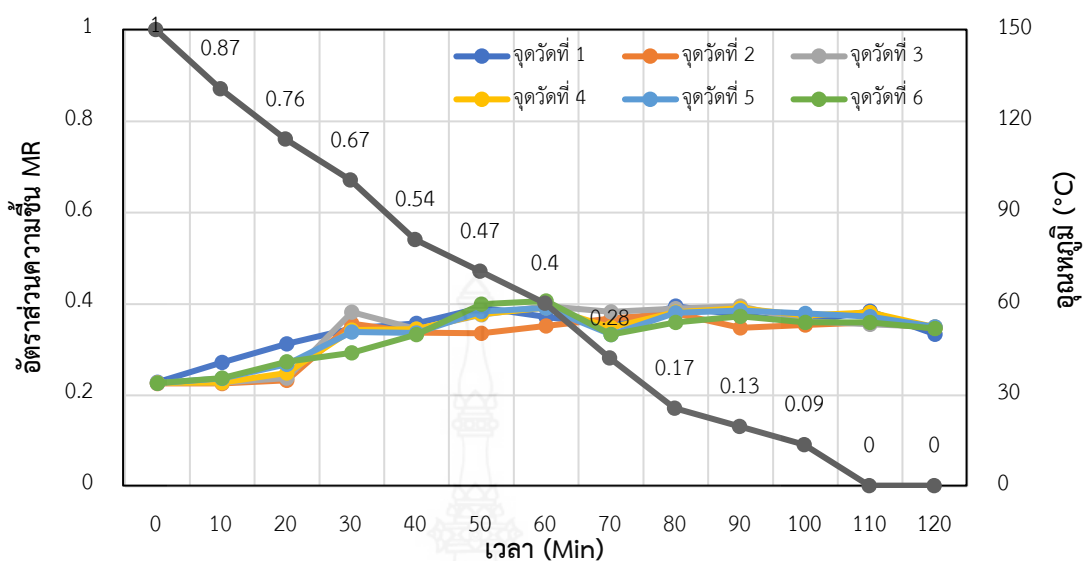
4.3 วัตถุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 4.3.1 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด
- 4.3.2 วัตถุดิบในการอบแห้งคือใบกระท่อม
- 4.3.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 4.3.4 โทรศัพท์มือถือในการจับเวลา
- 4.3.5 กล้องสำหรับใส่วัตถุดิบ
- 4.3.6 ผ้าสำหรับเช็ดทำความสะอาดเครื่อง

4.4 ข้อมูลและผลการอบแห้ง 1 กิโลกรัม

4.4.1 ข้อมูลและผลการอบแห้งใบกระท่อม

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	ใบกระท่อม
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง	50 °C
น้ำหนักเริ่มต้น	1 กิโลกรัม
น้ำหนักสุดท้าย	100 กรัม
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	120 นาที



รูปที่ 4.1 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C

ค่าที่ได้จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 50 °C พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 ในระยะเวลาของการอบแห้ง 120 นาที แสดงดังรูปที่ 4.1

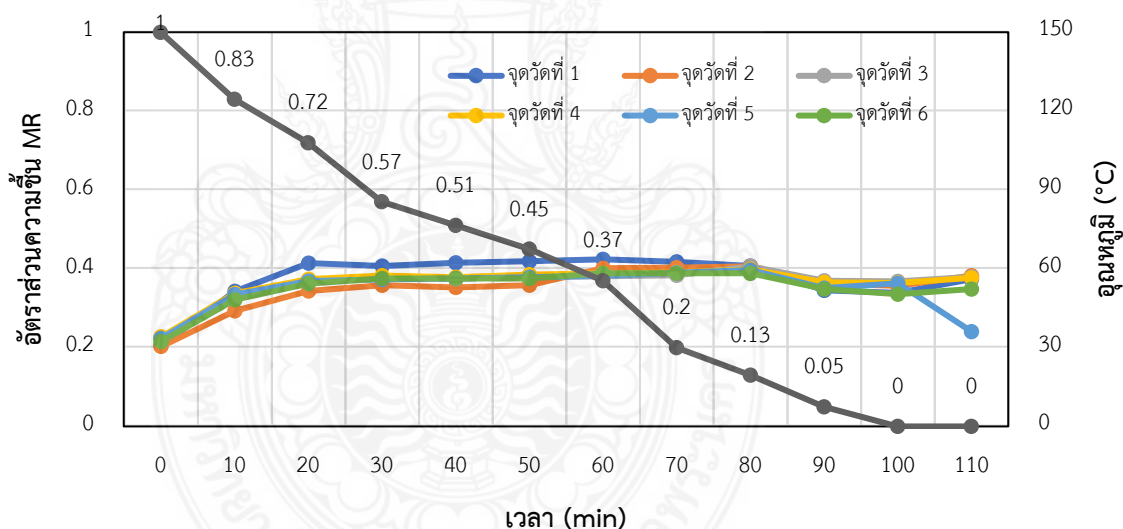


รูปที่ 4.2 ใบกระท่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 50 °C

ผลที่ได้จากการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 50 °C น้ำหนักก่อนอบแห้ง 1 กิโลกรัม ในระยะเวลาของการอบแห้ง 120 นาที น้ำหนักสุดท้ายของใบกระท่อมหลังการอบแห้ง 100 กรัม แสดงดังรูปที่ 4.2 น้ำหนักที่หายไป 900 กรัม ใบกระท่อมกรอบและแห้งดี ลักษณะของใบกระท่อมยังอยู่เป็นทรง แต่พบว่าใช้ระยะเวลาดค่อนข้างนานในการอบจนใบกระท่อมไม่มีความชื้น

4.4.2 ข้อมูลและผลการอบแห้งใบกระท่อม

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	ใบกระท่อม
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง	55 °C
น้ำหนักเริ่มต้น	1 กิโลกรัม
น้ำหนักสุดท้าย	100 กรัม
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	110 นาที



รูปที่ 4.3 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 55 °C

ค่าที่ได้จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 55 °C พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 ในระยะเวลาของการอบแห้ง 110 นาที แสดงดังรูปที่ 4.3

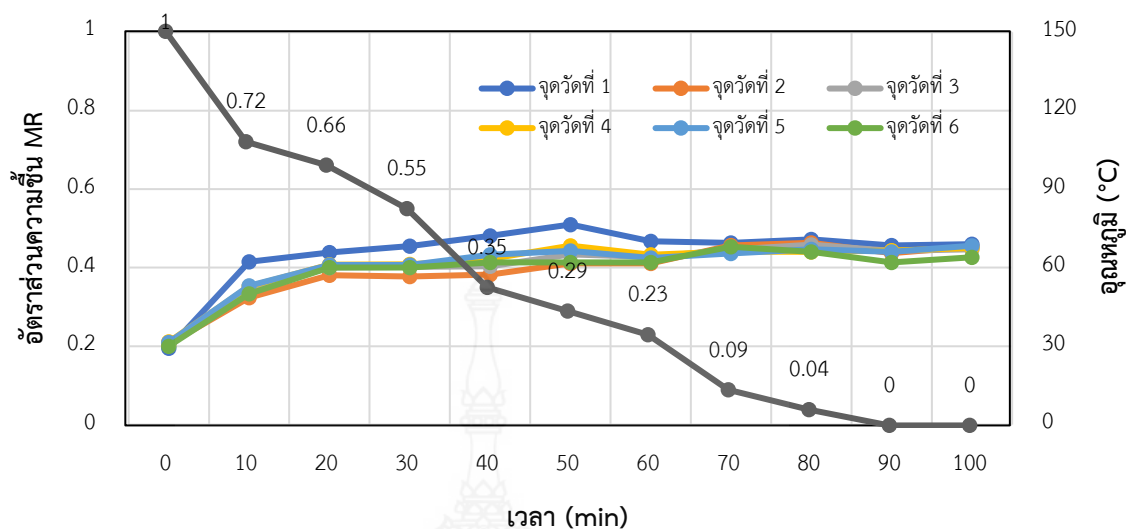


รูปที่ 4.4 ใบกระถ่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 55 °C

ผลที่ได้จากการอบแห้งใบกระถ่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 50 °C น้ำหนักก่อนอบแห้ง 1 กิโลกรัม ในระยะเวลาของการอบแห้ง 110 นาที น้ำหนักสุดท้ายของใบกระถ่อมหลังการอบแห้ง 100 กรัม แสดงดังรูปที่ 4.4 น้ำหนักที่หายไป 900 กรัม ผลจากการอบพบว่าใบกระถ่อมกรอบและแห้งดี ตัวใบยังอยู่เป็นทรง เป็นอุณหภูมิในการอบที่ดีที่สุด

4.4.3 ข้อมูลและผลการอบแห้งใบกระถ่อม

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	ใบกระถ่อม
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง	60 °C
น้ำหนักเริ่มต้น	1 กิโลกรัม
น้ำหนักสุดท้าย	180 กรัม
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	100 นาที



รูปที่ 4.5 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 60 °C

ค่าที่ได้จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60 °C พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 ในระยะเวลาของการอบแห้ง 100 นาที แสดงดังรูปที่ 4.5

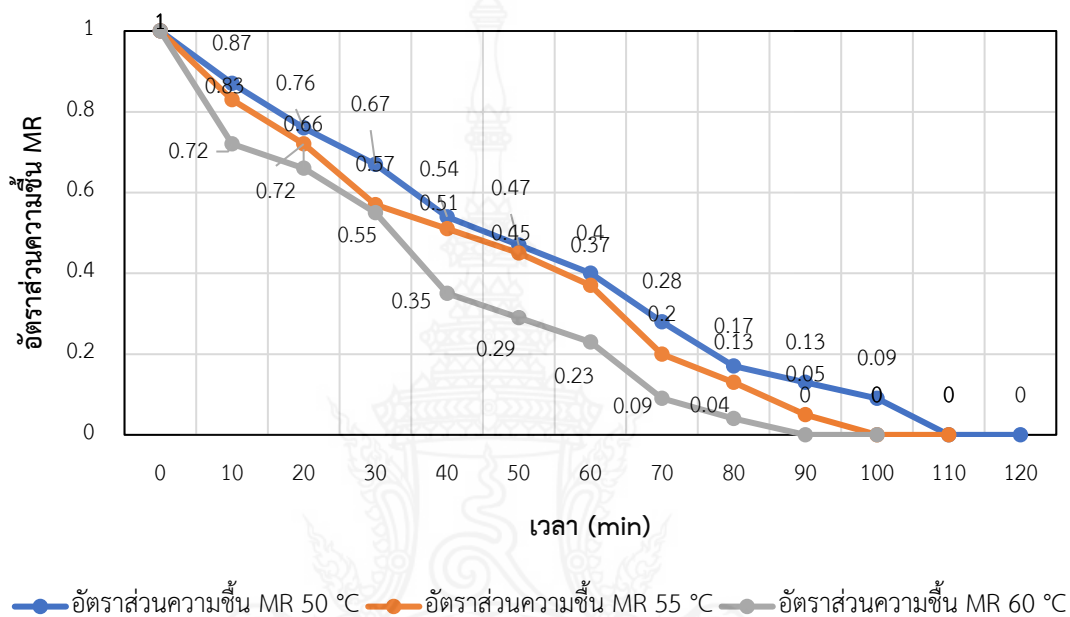


รูปที่ 4.6 ใบกระท่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 60 °C

ผลที่ได้จากการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60 °C น้ำหนักก่อนอบแห้ง 1 กิโลกรัม ในระยะเวลาของการอบแห้ง 100 นาที น้ำหนักสุดท้ายของ

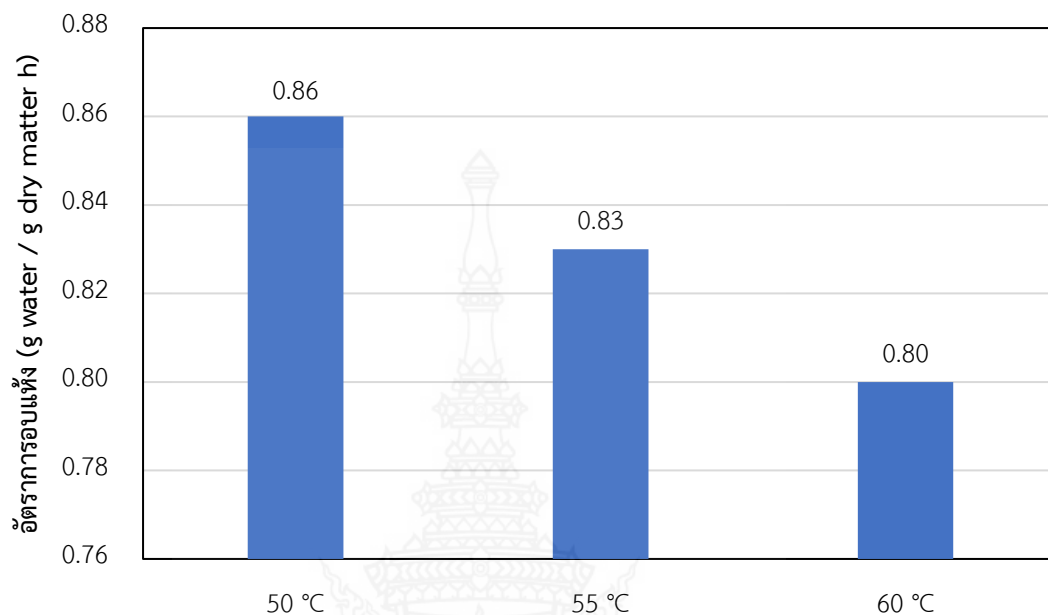
ใบกระท่อมหลังการอบแห้ง 180 กรัม แสดงดังรูปที่ 4.6 น้ำหนักที่หายไป 820 กรัม ผลจากการอบพบว่าใบกระท่อมกรอบและแห้งเป็นอย่างมาก ใบกระท่อมเริ่มเป็นสีคล้ำ และลักษณะใบเริ่มแตกตัว และบางส่วนกลายเป็นเศษผง

4.4.4 อัตราส่วนความชื้น 1 กิโลกรัม



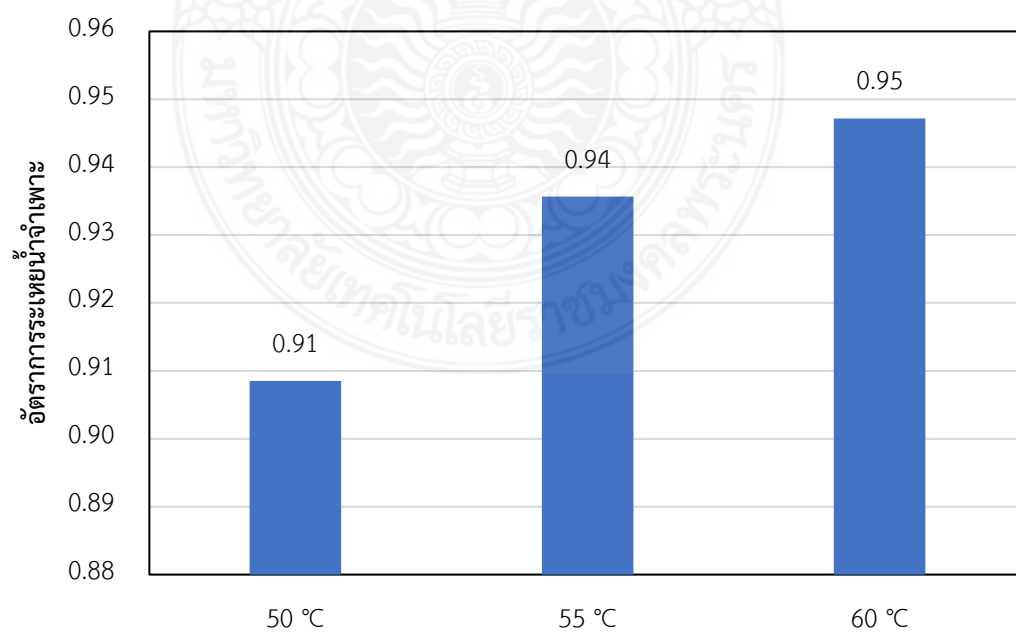
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น 1 กก. ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C

4.4.5 อัตราการอบแห้ง 1 กิโลกรัม



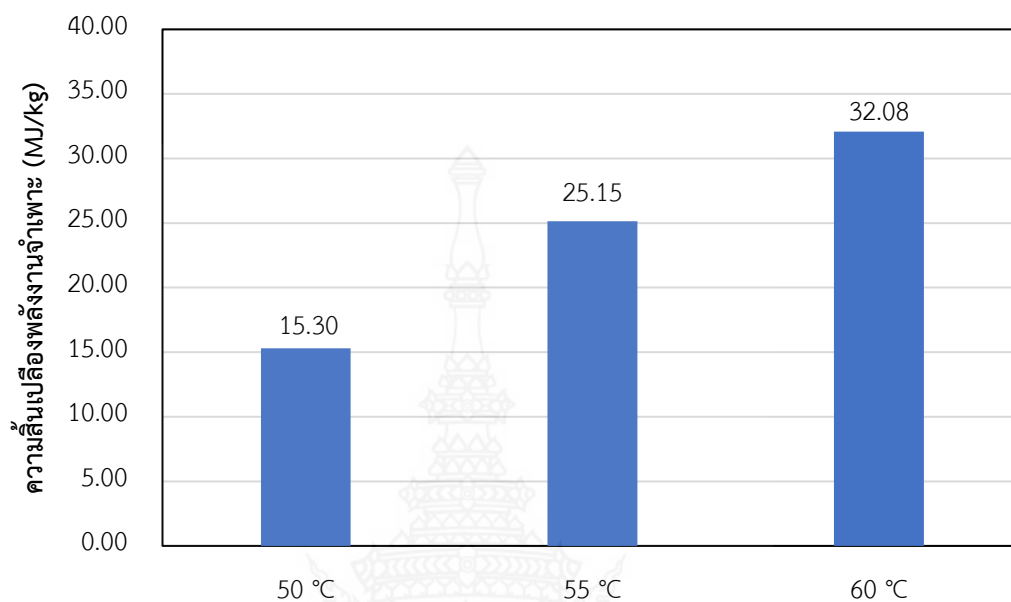
รูปที่ 4.8 อัตราการอบแห้ง 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C

4.4.6 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ 1 กิโลกรัม



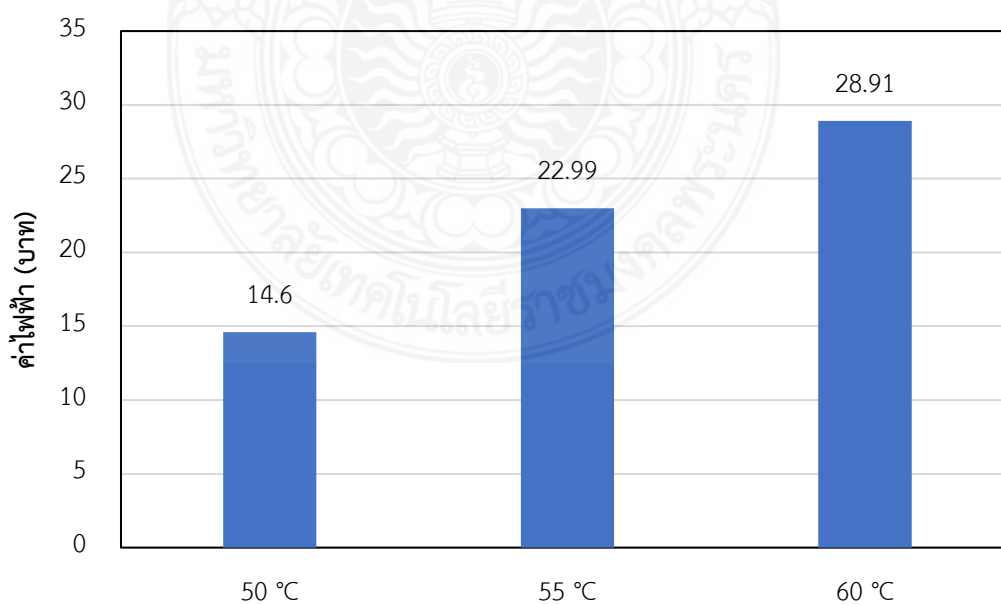
รูปที่ 4.9 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C

4.4.7 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 1 กิโลกรัม



รูปที่ 4.10 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C

4.4.8 ค่าไฟฟ้าจากการอบ 1 กิโลกรัม*

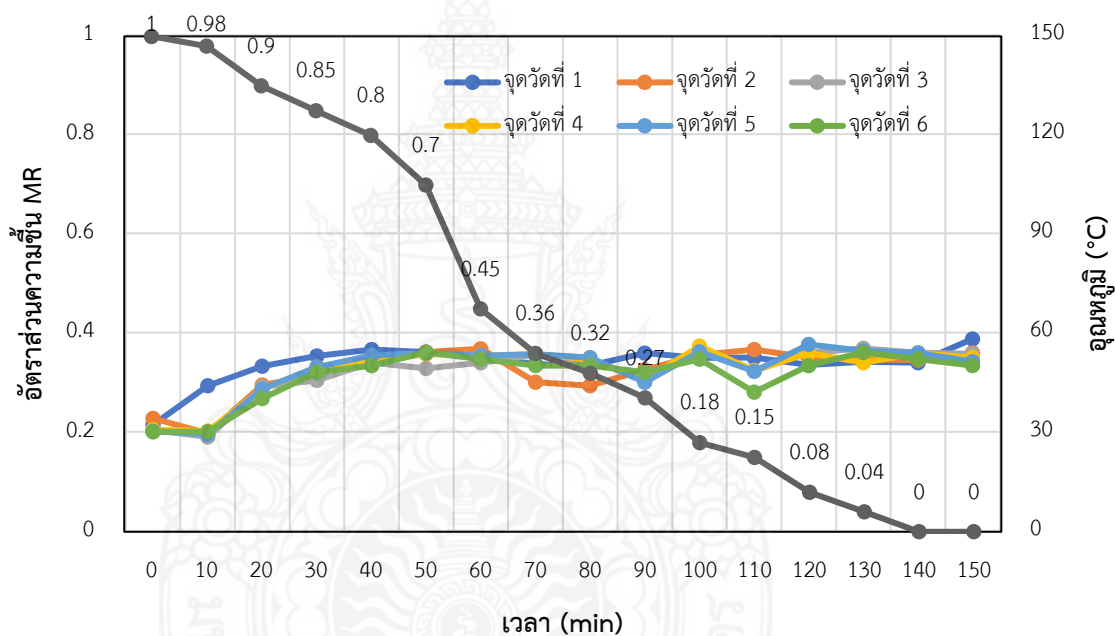


รูปที่ 4.11 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C

4.5 ข้อมูลและผลการอบแห้ง 2 กิโลกรัม

4.5.1 ข้อมูลและผลการอบแห้งใบกระท่อม

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	ใบกระท่อม
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง	50 °C
น้ำหนักเริ่มต้น	2 กิโลกรัม
น้ำหนักสุดท้าย	880 กรัม
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	150 นาที



รูปที่ 4.12 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C

ค่าที่ได้จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 50 °C พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 ในระยะเวลาของการอบแห้ง 150 นาที แสดงดังรูปที่ 4.12

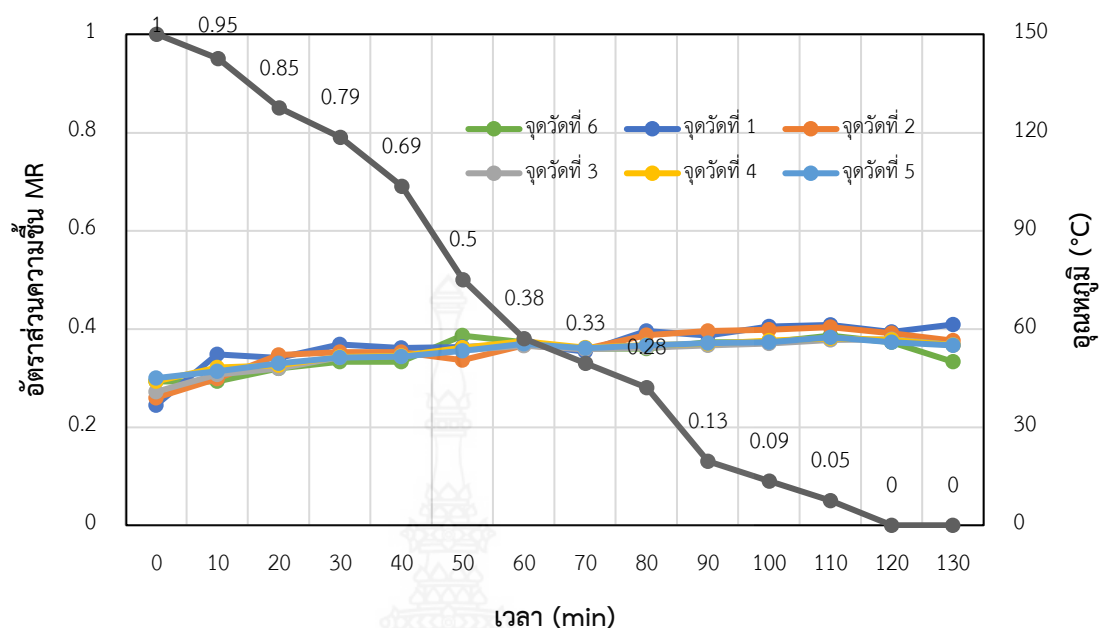


รูปที่ 4.13 ใบกระท่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 50 °C

ผลที่ได้จากการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 50 °C น้ำหนักก่อนอบแห้ง 2 กิโลกรัม ในระยะเวลาของการอบแห้ง 150 นาที น้ำหนักสุดท้ายของใบกระท่อมหลังการอบแห้ง 880 กรัม แสดงดังรูปที่ 4.13 น้ำหนักที่หายไป 1,120 กรัม ผลจากการอบพบว่าใบกระท่อมกรอบและแห้งดี ลักษณะของใบกระท่อมยังอยู่เป็นทรง แต่พบว่าใช้ระยะเวลาค่อนข้างนานในการอบจนใบกระท่อมไม่มีความชื้น

4.5.2 ข้อมูลและผลการอบแห้งใบกระท่อม

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	ใบกระท่อม
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง	55 °C
น้ำหนักเริ่มต้น	2 กิโลกรัม
น้ำหนักสุดท้าย	600 กรัม
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	130 นาที



รูปที่ 4.14 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 55 °C

ค่าที่ได้จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์ เบดที่อุณหภูมิ 55 °C พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 ในระยะเวลาของการอบแห้ง 110 นาที แสดงดังรูปที่ 4.14

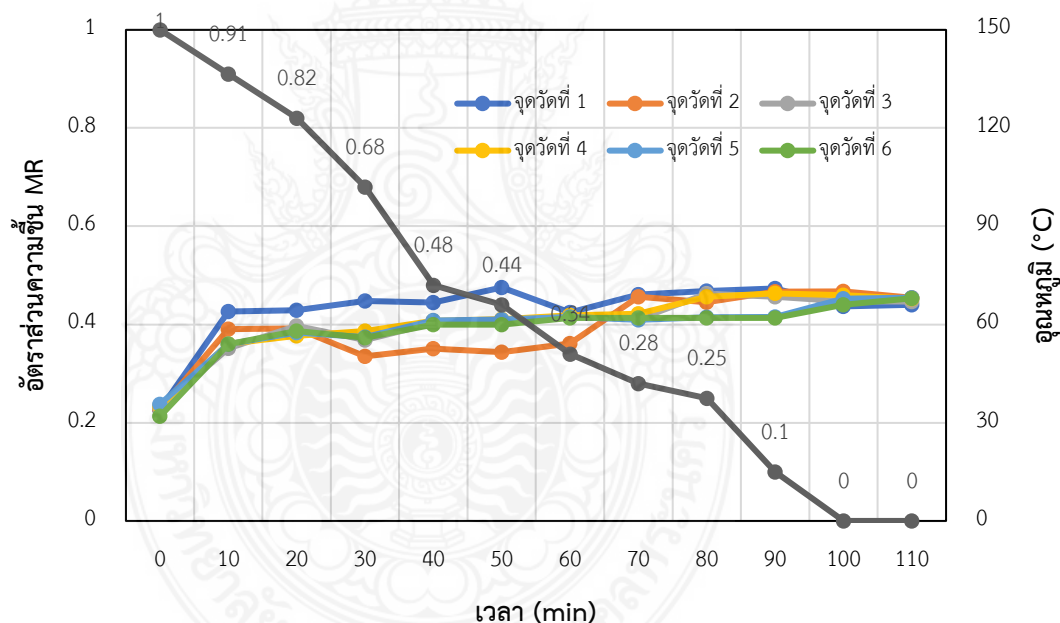


รูปที่ 4.15 ใบกระท่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 55 °C

ผลที่ได้จากการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 55 °C น้ำหนักก่อนอบแห้ง 2 กิโลกรัม ในระยะเวลาของการอบแห้ง 130 นาที น้ำหนักสุดท้ายของใบกระท่อมหลังการอบแห้ง 100 กรัม แสดงดังรูปที่ 4.15 น้ำหนักที่หายไป 600 กรัม ผลจากการอบพบว่าใบกระท่อมกรอบและแห้งดี ตัวใบยังอยู่เป็นทรง เป็นอุณหภูมิในการอบที่ดีที่สุด

4.5.3 ข้อมูลและผลการอบแห้งใบกระท่อม

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	ใบกระท่อม
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง	60 °C
น้ำหนักเริ่มต้น	2 กิโลกรัม
น้ำหนักสุดท้าย	400 กรัม
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	110 นาที



รูปที่ 4.16 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 60 °C

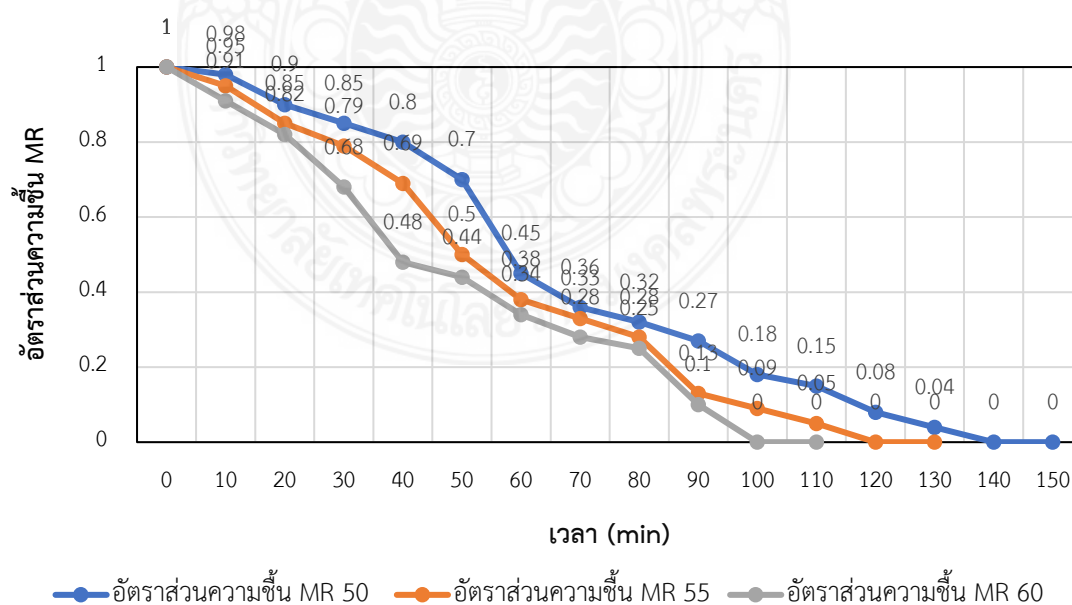
ค่าที่ได้จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60 °C พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 ในระยะเวลาของการอบแห้ง 100 นาที แสดงดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.17 ใบกระถอมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 60 °C

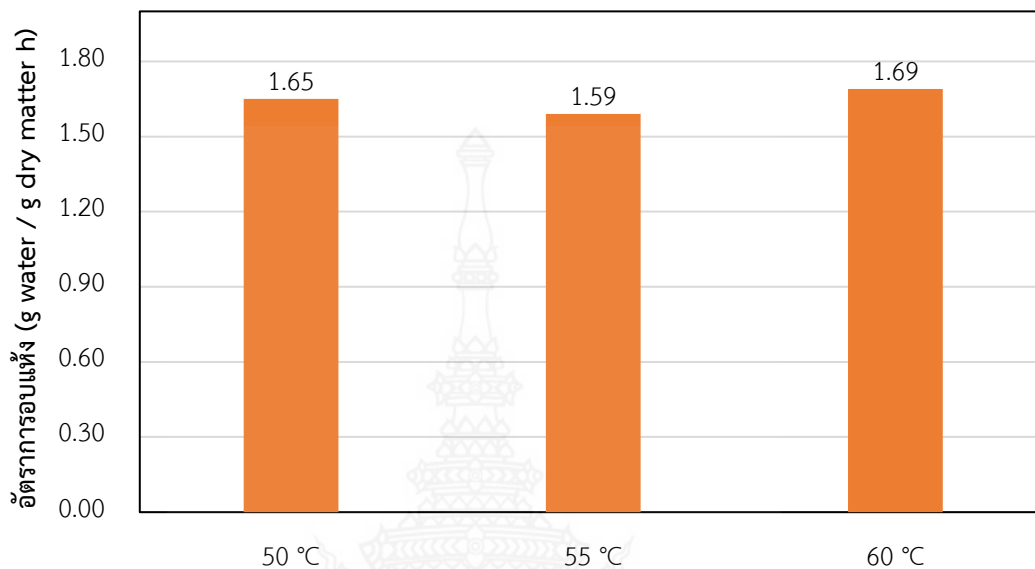
ผลที่ได้จากการอบแห้งใบกระถอมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60 °C น้ำหนักก่อนอบแห้ง 2 กิโลกรัม ในระยะเวลาของการอบแห้ง 110 นาที น้ำหนักสุดท้ายของใบกระถอมหลังการอบแห้ง 400 กรัม แสดงดังรูปที่ 4.17 น้ำหนักที่หายไป 1,600 กรัม ผลจากการอบพบว่าใบกระถอมกรอบและแห้งเป็นอย่างมาก ใบกระถอมเริ่มเป็นสีคล้ำ และลักษณะใบเริ่มแตกตัว และเป็นเศษผง

4.5.4 อัตราส่วนความชื้น 2 กิโลกรัม



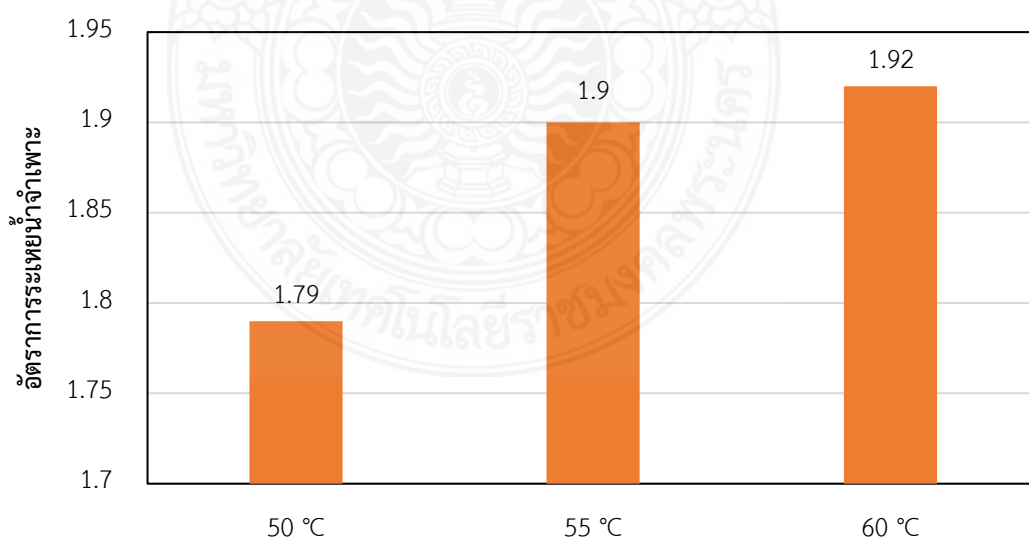
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น 2 กิโลกรัมที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C

4.5.5 อัตราการอบแห้ง 2 กิโลกรัม



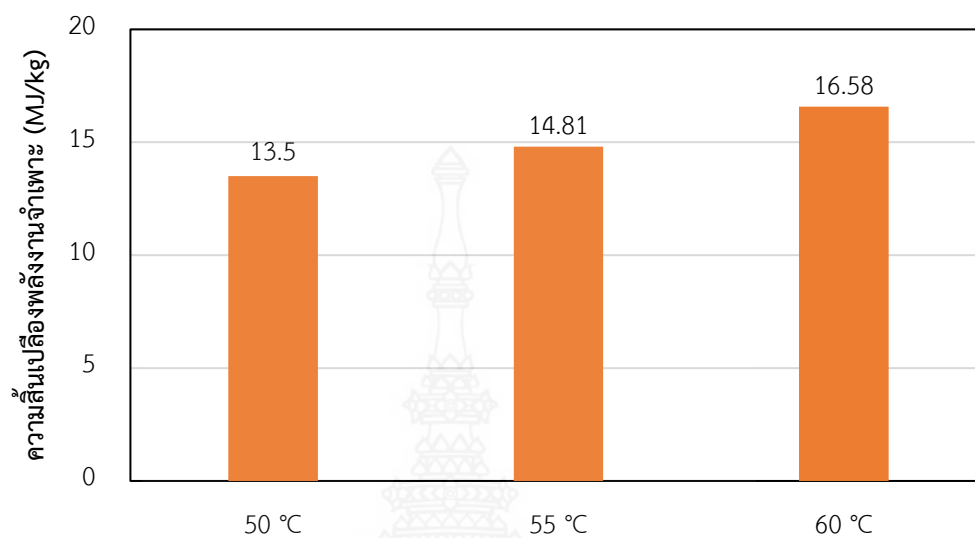
รูปที่ 4.19 อัตราการอบแห้ง 2 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C

4.5.6 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ 2 กิโลกรัม



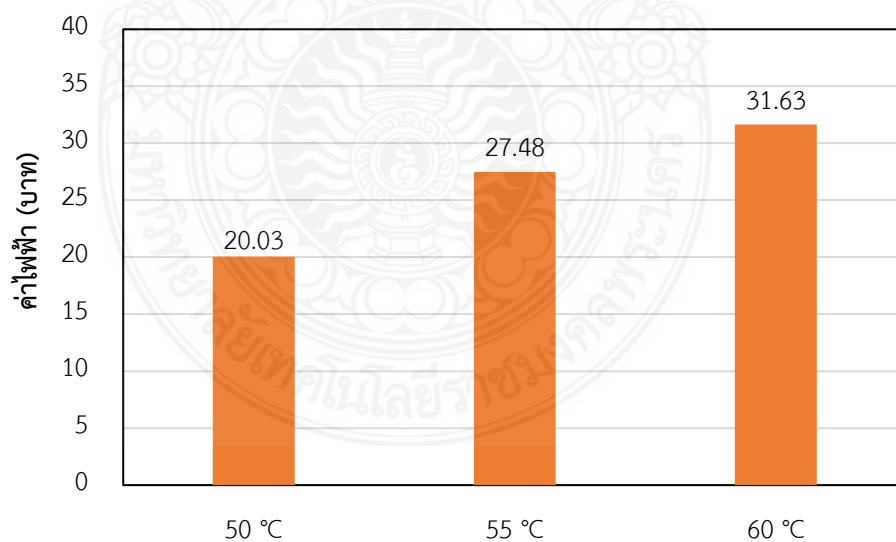
รูปที่ 4.20 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ 2 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C

4.5.7 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 2 กิโลกรัม



รูปที่ 4.21 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 2 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C, 55 °C และ 60 °C

4.5.8 ค่าไฟฟ้าจากการอบ 2 กิโลกรัม*

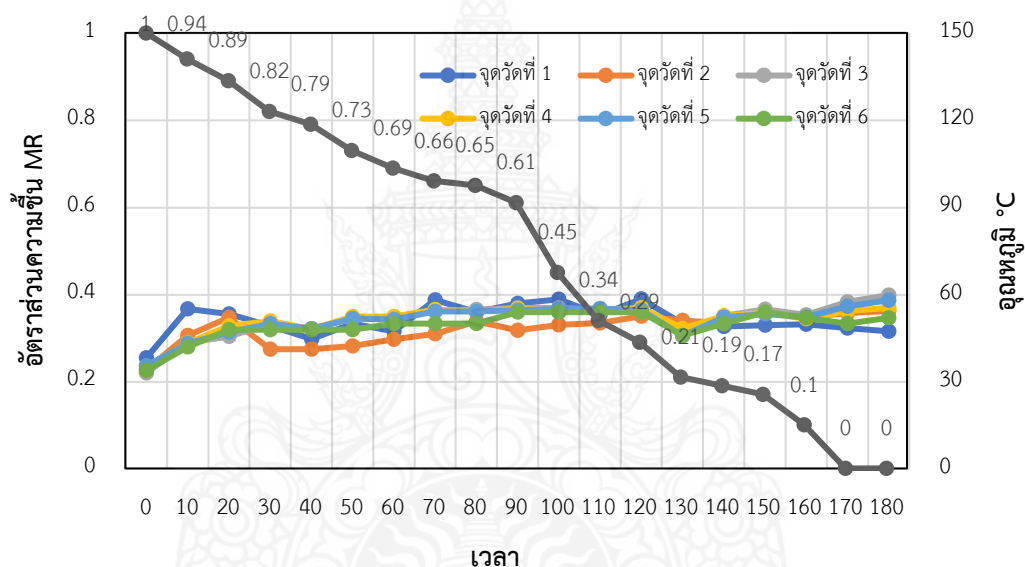


รูปที่ 4.22 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง 2 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C

4.6 ข้อมูลและผลการอบแห้ง 3 กิโลกรัม

4.6.1 ข้อมูลและผลการอบแห้งใบกระท่อม

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	ใบกระท่อม
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง	50 °C
น้ำหนักเริ่มต้น	3 กิโลกรัม
น้ำหนักสุดท้าย	1520 กรัม
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	180 นาที



รูปที่ 4.23 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C

ค่าที่ได้จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 50 °C พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 ในระยะเวลาของการอบแห้ง 180 นาที แสดงดังรูปที่ 4.23

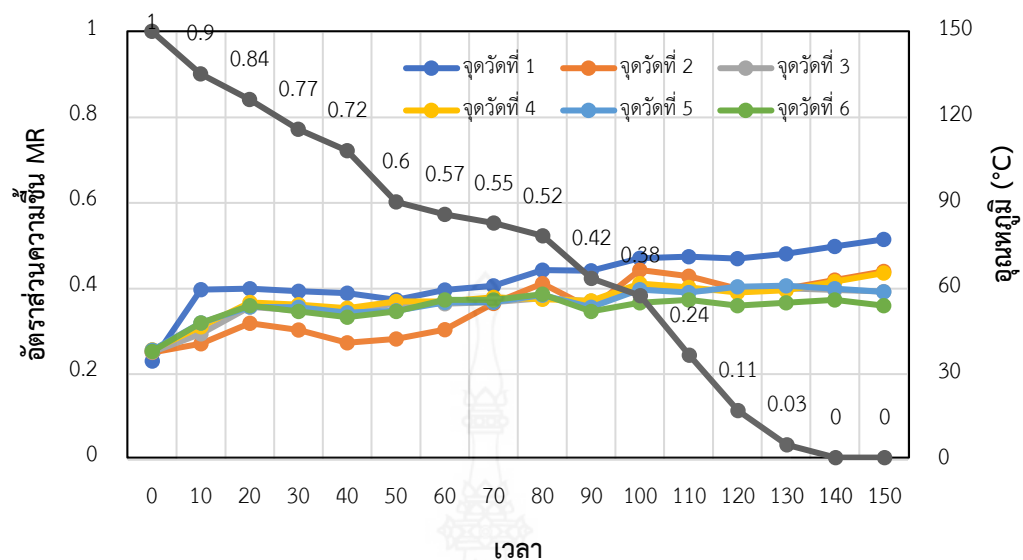


รูปที่ 4.24 ใบกระเทียมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 50 °C

ผลที่ได้จากการอบแห้งใบกระเทียมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 50 °C น้ำหนักก่อนอบแห้ง 2 กิโลกรัม ในระยะเวลาของการอบแห้ง 150 นาที น้ำหนักสุดท้ายของใบกระเทียมหลังการอบแห้ง 880 กรัม แสดงดังรูปที่ 4.24 น้ำหนักที่หายไป 1,120 กรัม ผลจากการอบพบว่าใบกระเทียมกรอบและแห้งดี ลักษณะของใบกระเทียมยังอยู่เป็นทรง แต่พบว่าใช้ระยะเวลาค่อนข้างนานในการอบจนใบกระเทียมไม่มีความชื้น

4.6.2 ข้อมูลและผลการอบแห้งใบกระเทียม

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	ใบกระเทียม
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง	55 °C
น้ำหนักเริ่มต้น	3 กิโลกรัม
น้ำหนักสุดท้าย	1,000 กรัม
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	150 นาที



รูปที่ 4.25 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 55 °C

ค่าที่ได้จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 55 °C พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 ในระยะเวลาของการอบแห้ง 110 นาที แสดงดังรูปที่ 4.25

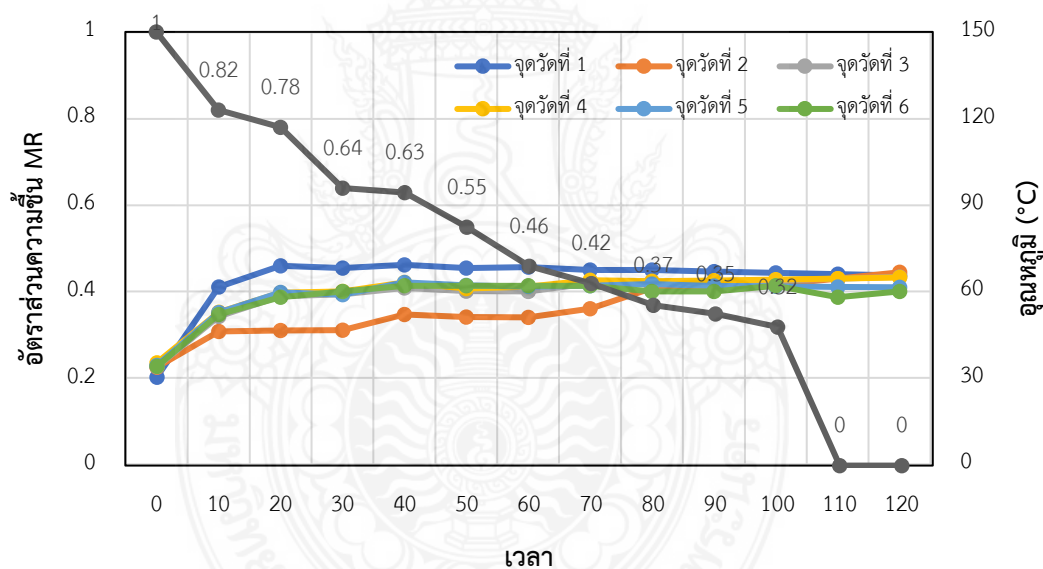


รูปที่ 4.26 ใบกระท่อมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 55 °C

ผลที่ได้จากการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 55 °C น้ำหนักก่อนอบแห้ง 2 กิโลกรัม ในระยะเวลาของการอบแห้ง 130 นาที น้ำหนักสุดท้ายของใบกระท่อมหลังการอบแห้ง 100 กรัม แสดงดังรูปที่ 4.26 น้ำหนักที่หายไป 600 กรัม ผลจากการอบพบว่าใบกระท่อมกรอบและแห้งดี ตัวใบยังอยู่เป็นทรง เป็นอุณหภูมิในการอบที่ดีที่สุด

4.6.3 ข้อมูลและผลการอบแห้งใบกระท่อม

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	ใบกระท่อม
อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง	60 °C
น้ำหนักเริ่มต้น	3 กิโลกรัม
น้ำหนักสุดท้าย	900 กรัม
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	120 นาที



รูปที่ 4.27 อัตราส่วนความชื้นที่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 60 °C

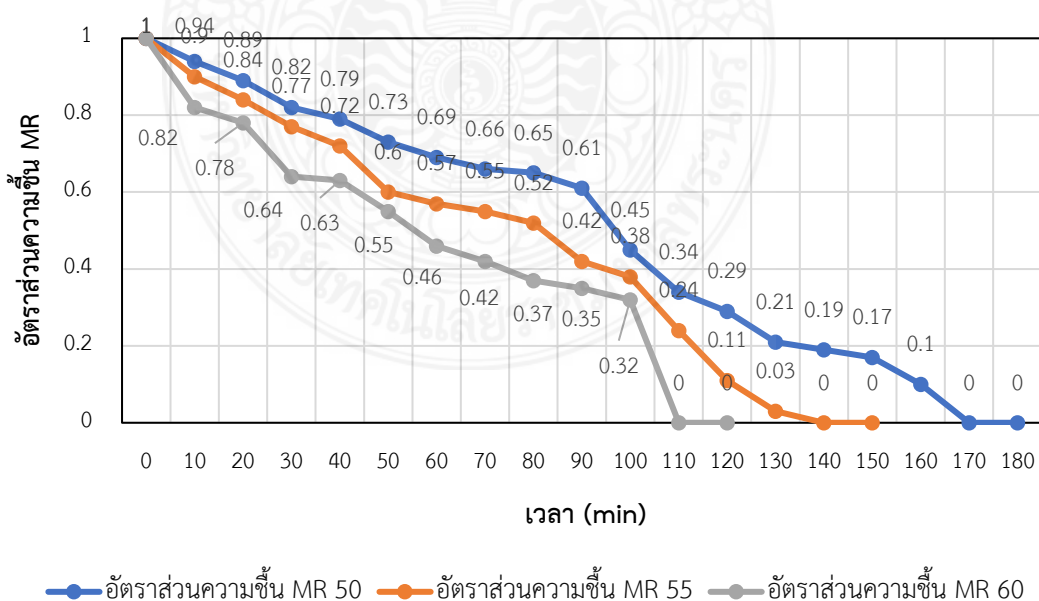
ค่าที่ได้จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการอบแห้งใบกระท่อมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60 °C พบว่าเส้นกราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) จาก 1.00 ลดลงเหลืออยู่ที่ 0.00 ในระยะเวลาของการอบแห้ง 100 นาที แสดงดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.28 ใบกระเทียมที่อบแห้งในอุณหภูมิ 60 °C

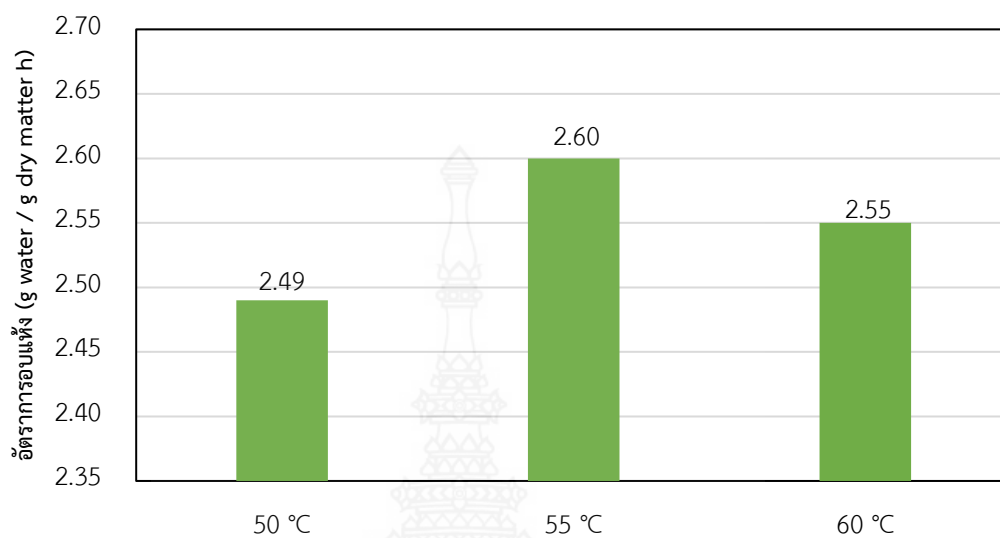
ผลที่ได้จากการอบแห้งใบกระเทียมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60 °C น้ำหนักก่อนอบแห้ง 2 กิโลกรัม ในระยะเวลาของการอบแห้ง 110 นาที น้ำหนักสุดท้ายของใบกระเทียมหลังการอบแห้ง 400 กรัม แสดงดังรูปที่ 4.28 น้ำหนักที่หายไป 1,600 กรัม ผลจากการอบพบว่าใบกระเทียมกรอบและแห้งเป็นอย่างมาก ใบกระเทียมเริ่มเป็นสีคล้ำ และลักษณะใบเริ่มแตกตัว และเป็นเศษผง

4.6.4 อัตราส่วนความชื้น 3 กิโลกรัม



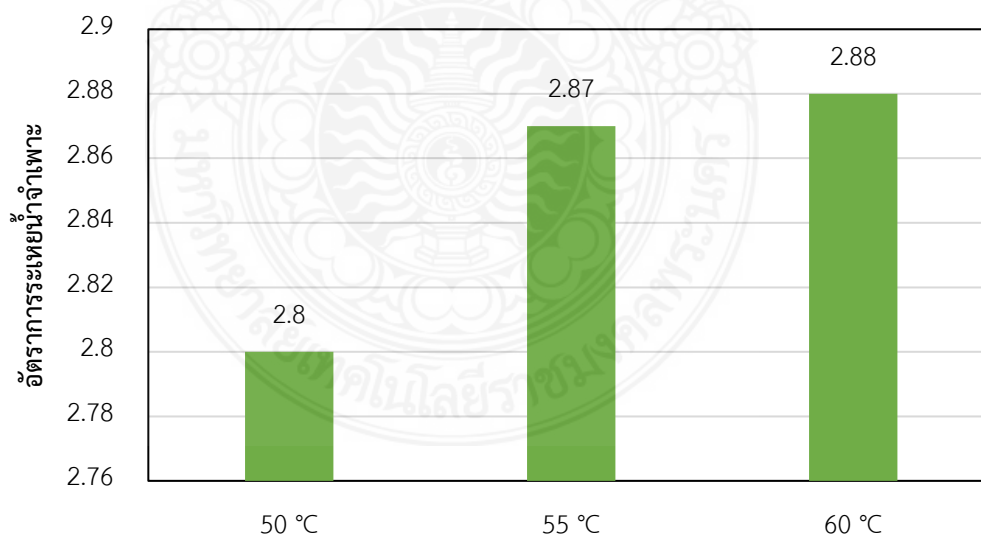
รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้น 3 กิโลกรัมที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65

4.6.5 อัตราการอบแห้ง 3 กิโลกรัม



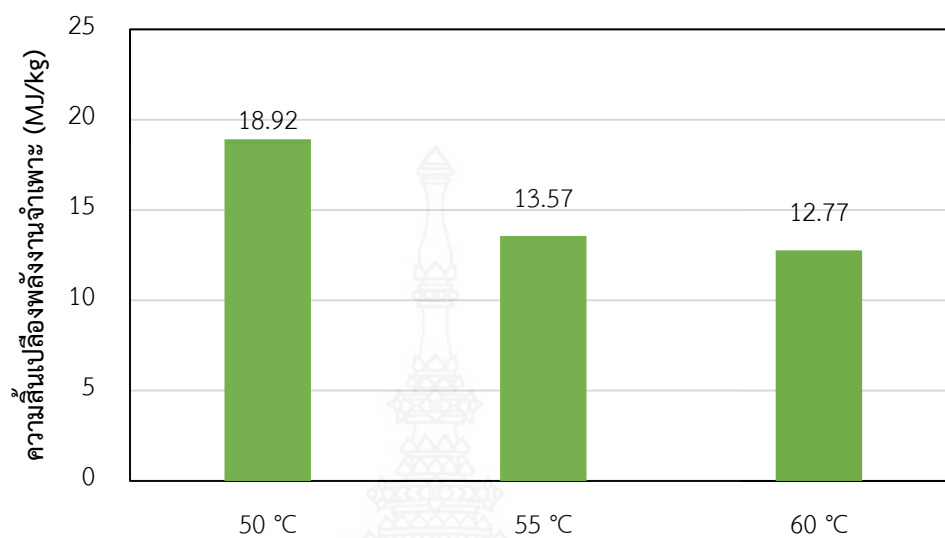
รูปที่ 4.30 อัตราการอบแห้ง 3 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C

4.6.6 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ 3 กิโลกรัม



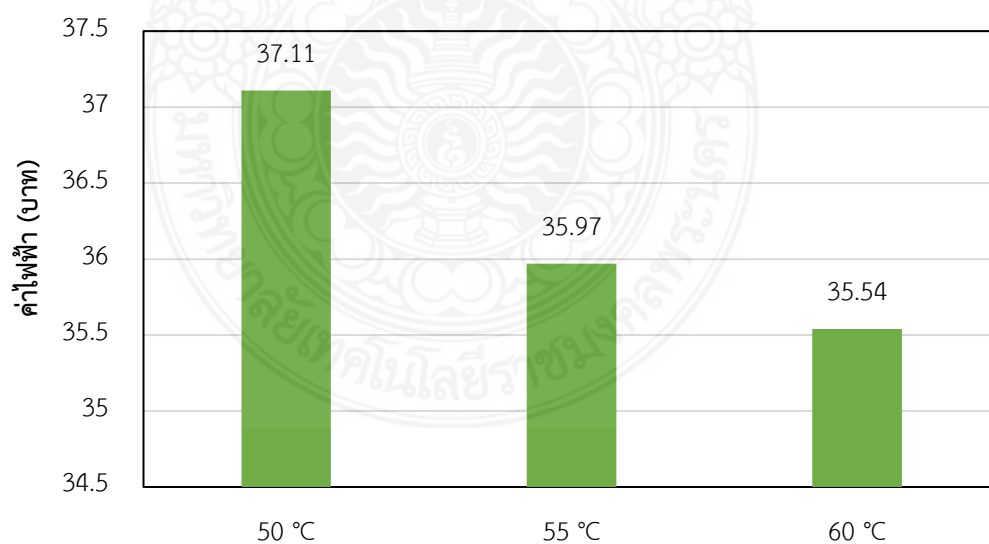
รูปที่ 4.31 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ 3 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C

4.6.7 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 3 กิโลกรัม



รูปที่ 4.32 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 3 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C

4.6.8 ค่าไฟฟ้าจากการอบ 3 กิโลกรัม*



รูปที่ 4.33 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง 3 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 55 °C, 60 °C และ 65 °C

*หมายเหตุ อ้างอิงราคาอัตราค่าไฟฟ้าตามประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปี 2566

- อัตราค่าไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย อัตราปกติ ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน ประจำเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2566 ค่าพลังงาน 4.77 บาทต่อหน่วย ไม่รวมค่าบริการ

4.7 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบการอบแห้งใบกระท่อมที่ 1 กิโลกรัม 2 กิโลกรัม และ 3 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 °C , 55 °C และ 60 °C ในระยะเวลาต่อการอบของการอบแห้งครั้งละ 10 นาที สามารถจำแนกออกได้ดังนี้

การอบใบกระท่อมที่อุณหภูมิ 50 °C น้ำหนักเริ่มต้น 1 กิโลกรัม น้ำหนักสุดท้าย 100 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 120 นาที อัตราส่วนความชื้น 1.00 (MR) อัตราส่วนความชื้นสุดท้าย 0.00 (MR) อัตราการอบแห้ง (DR) 0.95 kg/h อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) 0.97 kg/kW-h ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) 12.24 MJ/kg ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง 61.44 %

การอบใบกระท่อมที่อุณหภูมิ 55 °C น้ำหนักเริ่มต้น 1 กิโลกรัม น้ำหนักสุดท้าย 100 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 110 นาที อัตราส่วนความชื้น 1.00 (MR) อัตราส่วนความชื้นสุดท้าย 0.00 (MR) อัตราการอบแห้ง (DR) 0.92 kg/h อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) 0.98 kg/kW-h ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) 19.28 MJ/kg ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง 74.48 %

การอบใบกระท่อมที่อุณหภูมิ 60 °C น้ำหนักเริ่มต้น 1 กิโลกรัม น้ำหนักสุดท้าย 180 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 100 นาที อัตราส่วนความชื้น 1.00 (MR) อัตราส่วนความชื้นสุดท้าย 0.00 (MR) อัตราการอบแห้ง (DR) 0.89 kg/h อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) 0.99 kg/kW-h ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) 26.60 MJ/kg ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง 80.36 %

การอบใบกระท่อมที่อุณหภูมิ 50 °C น้ำหนักเริ่มต้น 2 กิโลกรัม น้ำหนักสุดท้าย 880 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 150 นาที อัตราส่วนความชื้น 1.00 (MR) อัตราส่วนความชื้นสุดท้าย 0.00 (MR) อัตราการอบแห้ง (DR) 1.65 kg/h อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) 1.79 kg/kW-h ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) 13.50 MJ/kg ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง 64.52 %

การอบใบกระท่อมที่อุณหภูมิ 55 °C น้ำหนักเริ่มต้น 2 กิโลกรัม น้ำหนักสุดท้าย 600 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 130 นาที อัตราส่วนความชื้น 1.00 (MR) อัตราส่วนความชื้นสุดท้าย

0.00 (MR) อัตราการอบแห้ง (DR) 1.72 kg/h อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) 1.9 kg/kW-h ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) 14.81 MJ/kg ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง 73.96 %

การอบใบกระท่อมที่อุณหภูมิ 60 °C น้ำหนักเริ่มต้น 2 กิโลกรัม น้ำหนักสุดท้าย 400 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 110 นาที อัตราส่วนความชื้น 1.00 (MR) อัตราส่วนความชื้นสุดท้าย 0.00 (MR) อัตราการอบแห้ง (DR) 1.78 kg/h อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) 1.94 kg/kW-h ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) 14.92 MJ/kg ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง 80.84 %

การอบใบกระท่อมที่อุณหภูมิ 50 °C น้ำหนักเริ่มต้น 3 กิโลกรัม น้ำหนักสุดท้าย 1,520 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 180 นาที อัตราส่วนความชื้น 1.00 (MR) อัตราส่วนความชื้นสุดท้าย 0.00 (MR) อัตราการอบแห้ง (DR) 2.49 kg/h อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) 2.8 kg/kW-h ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) 18.92 MJ/kg ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง 74.16 %

การอบใบกระท่อมที่อุณหภูมิ 55 °C น้ำหนักเริ่มต้น 3 กิโลกรัม น้ำหนักสุดท้าย 1,000 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 150 นาที อัตราส่วนความชื้น 1.00 (MR) อัตราส่วนความชื้นสุดท้าย 0.00 (MR) อัตราการอบแห้ง (DR) 2.6 kg/h อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) 2.87 kg/kW-h ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) 13.57 MJ/kg ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง 77.85 %

การอบใบกระท่อมที่อุณหภูมิ 60 °C น้ำหนักเริ่มต้น 3 กิโลกรัม น้ำหนักสุดท้าย 900 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 120 นาที อัตราส่วนความชื้น 1.00 (MR) อัตราส่วนความชื้นสุดท้าย 0.00 (MR) อัตราการอบแห้ง (DR) 2.55 kg/h อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) 2.88 kg/kW-h ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) 12.77 MJ/kg ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง 81.48 %

บทที่ 5

สรุปผลโครงการและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการอบแห้งด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการลดความชื้นของใบกระท่อมด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด และการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดรวมกับการนำความร้อนกลับมาวนใช้ 50 % เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการศึกษาค้นคว้าอุณหภูมิที่ 50°C, 55 °C และ 60 °C หาค่าความร้อนและระยะเวลาที่ดีที่สุดในการอบแห้ง โดยใช้ใบกระท่อมน้ำหนัก 1 กิโลกรัม 2 กิโลกรัม และ 3 กิโลกรัม โดยการนำความร้อนกลับมาวนใช้ 50 % ทุก ๆ อุณหภูมิที่กล่าวมาในข้างต้น

จากการทดลองการอบใบกระท่อมด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดผลที่ได้สามารถจำแนกได้ดังนี้

5.1.1 ผลจากการทดลองกับวัตถุดิบคือใบกระท่อมที่อุณหภูมิ 50°C, 55 °C และ 60 °C จะพบว่าใบกระท่อมมีการลดความชื้นได้มาก แต่ระยะเวลาของการอบแห้งจะมากขึ้นตามน้ำหนักของใบกระท่อม

5.1.2 จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด สามารถใช้งานได้ดีกับการอบแห้งวัตถุดิบลักษณะประเภทใบได้ แต่ประสิทธิภาพจะด้อยลงกว่าวัตถุดิบที่เป็นลักษณะกลม

5.1.3 จากการทดลองจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมีผลต่อการลดความชื้นของวัตถุดิบที่ลดลง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้วัตถุดิบนั้นคายความชื้นออกมาได้รวดเร็ว แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำจะทำให้วัตถุดิบนั้นคายความชื้นได้ช้า ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งนั้นนานขึ้นตาม จึงแนะนำให้คำนึงถึงความเหมาะสมในการให้ความร้อนกับวัตถุดิบ

5.1.4 จากการศึกษพบว่า การอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 55°C สามารถทำการอบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง กับการใช้พลังงานในการอบแห้งได้คุ้มค่ามากกว่าอุณหภูมิ 60°C ที่สามารถทำให้ใบกระท่อมแห้งได้ไวกว่า แต่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่า จึงไม่คุ้มค่ากับการเลือกใช้

5.1.5 ในการอบแห้งใบกระท่อมที่อุณหภูมิ 55°C ของใบกระท่อม 2 กิโลกรัม ใช้เวลาในการอบ 130 นาที มีประสิทธิภาพการอบแห้ง (η) 73.96 % ใช้พลังงานทั้งหมด (E_t) 4.82 kW/h และสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) 14.81 MJ/kg ซึ่งเมื่อเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C พบว่าความชื้นจะลดลงช้ากว่าและสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงกว่า

5.2 อุปสรรคในการทดลองเครื่องอบแห้งใบกระท่อมแบบฟลูอิดไดซ์เบด

5.2.1 เมื่อทำการทดลองอบใบกระท่อมพบว่า มีเศษมวลของใบกระท่อมที่แตกเป็นเศษชิ้นเล็ก รั่วไหลออกมาจากเครื่องอบ ซึ่งทำให้มีความสกปรก และอาจทำให้น้ำหนักจริงอาจไม่ตรงกับที่วัด

5.2.2 เมื่อทำการชั่งน้ำหนักเครื่องอบแห้งแล้วนั้น มีความอันตราย เนื่องจากการชั่งน้ำหนัก จะต้องใช้แม่แรงกลไก 2 ตัวในการยก และจะต้องใช้คน 1 คนทำการประคองเครื่องเพื่อยกวางบนเครื่องชั่ง ซึ่งอาจทำให้เครื่องอบนั้นล้ม และเกิดความเสียหายต่อเครื่องอบ และทำให้บาดเจ็บได้

5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนา

5.3.1 ควรปิดผนึกถังอบให้เรียบร้อย เพื่อไม่ให้มีมวลรั่วไหลออก

5.3.2 ควรจะมีเครื่องทุ่นแรงสำหรับการยกเครื่อง เพื่อให้มีความปลอดภัย และสามารถทำงานด้วยจำนวนคนที่น้อยลงได้



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- [1] กองควบคุมวัตถุเสพติด สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2566, **กระท่อม (Kratom)**, [ออนไลน์], แหล่งที่มา: mnfda.fda.moph.go.th/narcotic/?p=6063 [15/4/2566]
- [2] สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตร เขตที่ 8 และศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรในพื้นที่ภาคใต้ ตอนล่าง กรมวิชาการเกษตร, 2565, **กระท่อมตอนที่ 3 : ตลาด** [ออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.doa.go.th/oard8/?page_id=4440 [15/4/2566]
- [3] ชนาธิป แซ่หลี่และคณะ, 2564, **การอบแห้งฟ้าทะลายโจรด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด**, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [4] พชรินทร์ ตาด้วง, 2555, **การอบแห้งเมล็ดงาโดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบด ร่วมกับปั๊มความร้อน**, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [5] จุมพล แซ่เอี่ยม, 2547, **การอบแห้งกากมะพร้าวด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน**, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล และคณะ, 2548, **เทคโนโลยีอบแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร**, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น.
- [7] ienergyguru, 2558, **Drying การอบแห้ง** [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://ienergyguru.com/2015/09/drying/> [15/4/2566]

ภาคผนวก ก. การเผยแพร่งานวิจัย



ภาคผนวก ข
ตารางอนุภูมิในการอบแห้ง



ตารางที่ ข.1 อุณหภูมิการอบที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 50 °C

เวลา	จุดวัดอุณหภูมิที่ 1	จุดวัดอุณหภูมิที่ 2	จุดวัดอุณหภูมิที่ 3	จุดวัดอุณหภูมิที่ 4	จุดวัดอุณหภูมิที่ 5	จุดวัดอุณหภูมิที่ 6
0	34.3	33.9	34.1	34.1	34	34
10	40.8	33.9	34.2	34.2	35.5	36
20	46.9	34.9	35.7	37.3	40.2	41
30	52	53.5	57.3	51.4	50.8	44
40	53.6	50.6	51.7	51.7	50.5	50
50	58.8	50.4	56.5	56.7	57.5	60
60	55.7	52.8	59.3	58.8	58.7	61
70	52.9	55.2	57.4	52.3	50	50
80	59.3	56.9	58.5	57.3	57.1	54
90	56.3	52.2	59.3	58.6	57.8	56
100	54.2	53.1	54.4	56.3	56.9	54
110	57.6	54	53.3	57.2	55.9	54
120	50.1	52.1	52.5	52.4	52.5	52

ตารางที่ ข.2 อุณหภูมิการอบที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม อุณหภูมิ 50 °C

เวลา	จุดวัดอุณหภูมิที่ 1	จุดวัดอุณหภูมิที่ 2	จุดวัดอุณหภูมิที่ 3	จุดวัดอุณหภูมิที่ 4	จุดวัดอุณหภูมิที่ 5	จุดวัดอุณหภูมิที่ 6
0	32.1	34	30.5	30.6	30.2	30
10	43.9	29.5	28.4	30.2	29.2	30
20	49.8	44.1	43.5	42.8	42.9	40
30	52.9	47.1	45.6	49.5	49.5	48
40	54.9	50.5	50.9	51.3	53.1	50
50	54.1	54.1	49.1	53.5	53.8	54
60	52.6	55.1	50.9	52.9	53	52
70	50.4	45	53.2	53.6	53.4	50
80	50	43.9	51.3	51.8	52.4	50
90	53.8	48.8	46	45.7	45	48
100	52.3	53.2	55.1	55.9	54.2	52
110	52.4	54.9	48.5	48.6	48.3	42
120	50.2	52.4	53.9	53.8	56.4	50
130	51.2	51.9	55.2	50.9	54.5	54
140	50.9	51.7	53.9	53.7	53.8	52
150	58.1	53.9	53.6	52.4	51.2	50

ตารางที่ ข.3 อุณหภูมิการอบที่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม อุณหภูมิ 50 °C

เวลา	จุดวัดอุณหภูมิที่ 1	จุดวัดอุณหภูมิที่ 2	จุดวัดอุณหภูมิที่ 3	จุดวัดอุณหภูมิที่ 4	จุดวัดอุณหภูมิที่ 5	จุดวัดอุณหภูมิที่ 6
0	38.3	34.2	33.1	35.4	35.5	34
10	55.1	46	43.4	43.3	43.2	42
20	53.3	52.1	45.6	49.3	47.1	48
30	49.3	41.2	49.9	50.9	50.1	48
40	44.8	41.2	48.3	48.2	48.3	48
50	50	42.3	51.7	52.5	51.8	48
60	47.4	44.6	51.6	52.5	51.5	50
70	58.2	46.5	54.6	54.9	54.2	50
80	54	50.8	54.9	54.1	54.2	50
90	57	47.7	55.5	55.2	54.7	54
100	58.4	49.6	55.5	54.7	55.1	54
110	53	50.3	54.8	54.4	55.2	54
120	58.5	52.6	55.4	55.5	54.7	54
130	50.1	51.1	45.9	48.4	45.9	46
140	49	50.2	52.7	52.7	52.3	50
150	49.5	54.1	55	53.8	53.4	54

ตารางที่ ข.3 อุณหภูมิการอบที่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม อุณหภูมิ 50 °C (ต่อ)

เวลา	จุดวัดอุณหภูมิที่ 1	จุดวัดอุณหภูมิที่ 2	จุดวัดอุณหภูมิที่ 3	จุดวัดอุณหภูมิที่ 4	จุดวัดอุณหภูมิที่ 5	จุดวัดอุณหภูมิที่ 6
160	49.8	52.2	53	51.7	52.3	52
170	48.5	53.7	57.6	54.4	56.1	50
180	47.4	54.4	59.9	55.5	58.1	52

ตารางที่ ข.4 อุณหภูมิการอบที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 55 °C

เวลา	จุดวัดอุณหภูมิที่ 1	จุดวัดอุณหภูมิที่ 2	จุดวัดอุณหภูมิที่ 3	จุดวัดอุณหภูมิที่ 4	จุดวัดอุณหภูมิที่ 5	จุดวัดอุณหภูมิที่ 6
0	30.5	30.1	33.6	33.8	33.2	32
10	51.1	43.7	49.6	50.4	49.9	48
20	61.8	51.3	55.1	55.8	55	54
30	60.8	53.5	56.3	57.1	55.6	56
40	62	52.6	56	56.5	56	56
50	62.6	53.5	56.5	57.5	56.5	56
60	63.3	59.9	56.9	57.9	57	58
70	62.3	60.1	57.2	58.3	58.2	58
80	60.7	60.6	60.6	59.5	59.2	58
90	51.5	54.1	55.2	54.5	52.4	52
100	50.5	53.2	54.9	54.3	54.2	50
110	55.8	57.1	56.6	56.3	35.8	52

ตารางที่ ข.5 อุณหภูมิการอบที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม อุณหภูมิ 55 °C

เวลา	จุดวัดอุณหภูมิที่ 1	จุดวัดอุณหภูมิที่ 2	จุดวัดอุณหภูมิที่ 3	จุดวัดอุณหภูมิที่ 4	จุดวัดอุณหภูมิที่ 5	จุดวัดอุณหภูมิที่ 6
0	36.7	39	40.8	44	45	44
10	52.3	44.8	46.1	48.3	47.1	44
20	51.2	30.1	48	48.9	49.5	48
30	55.3	37	51.4	51.5	51.3	50
40	34.2	37	51.8	51.8	51.6	50
50	54.5	50.5	53.5	54.3	53.3	58
60	65.3	55	54.9	56.3	55.5	56
70	53.1	53.9	53.8	54.3	54.1	54
80	59.4	58.1	54.3	55.1	55	54
90	60	59.4	55	55.5	55.7	56
100	60.8	59.8	55.6	56.5	56	56
110	61.3	60.6	56.7	57.2	57.5	58
120	59.1	58.7	56.9	56.7	56	56
130	61.4	56.5	55.2	55.1	55	50

ตารางที่ ข.6 อุณหภูมิการอบที่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม อุณหภูมิ 55 °C

เวลา	จุดวัดอุณหภูมิที่ 1	จุดวัดอุณหภูมิที่ 2	จุดวัดอุณหภูมิที่ 3	จุดวัดอุณหภูมิที่ 4	จุดวัดอุณหภูมิที่ 5	จุดวัดอุณหภูมิที่ 6
0	34.6	37.6	37.7	38.5	38.4	38
10	59.6	40.7	44.1	46.6	48	48
20	59.9	47.8	53.6	55.1	53.6	54
30	59.1	45.5	52.3	54.3	53.4	52
40	58.4	41	52.3	53.1	51.5	50
50	56	42.4	54.7	55.5	52.2	52
60	59.5	45.6	54.7	55.5	55.1	56
70	61	54.8	55.2	56.9	55.2	56
80	66.4	61.7	56.6	56.3	57.7	58
90	66.2	53	55.6	55.7	53.4	52
100	70.6	66.5	60.9	61.7	59.6	55
110	71.2	64.3	59.2	60.4	58.6	56
120	70.5	59.9	59.7	58.6	60.6	54
130	72.2	60	60.1	59.4	61	55
140	74.7	63	59.5	62.4	59.9	56
150	77.2	66	58.9	65.4	58.8	54

ตารางที่ ข.7 อุณหภูมิการอบที่น้ำหนัก 1 กิโลกรัม อุณหภูมิ 60 °C

เวลา	จุดวัดอุณหภูมิที่ 1	จุดวัดอุณหภูมิที่ 2	จุดวัดอุณหภูมิที่ 3	จุดวัดอุณหภูมิที่ 4	จุดวัดอุณหภูมิที่ 5	จุดวัดอุณหภูมิที่ 6
0	29.2	30.8	31.4	31.6	31.4	30
10	62.2	48.6	51.4	52.8	53.1	50
20	65.8	57.1	60	61.1	61	60
30	68.3	56.6	60.3	61.3	61	60
40	72.2	57.3	60.6	63.3	65	62
50	76.5	61.7	65.1	68.4	66.4	62
60	70.1	61.7	64.1	65	63.7	62
70	69.5	68.5	66.9	66.2	65.4	68
80	70.8	69.5	68.8	66	67	66
90	68.5	65.5	66.4	66.5	66.1	62
100	69	68	67	67.5	68.4	64

ตารางที่ ข.8 อุณหภูมิการอบที่น้ำหนัก 2 กิโลกรัม อุณหภูมิ 60 °C

เวลา	จุดวัดอุณหภูมิที่ 1	จุดวัดอุณหภูมิที่ 2	จุดวัดอุณหภูมิที่ 3	จุดวัดอุณหภูมิที่ 4	จุดวัดอุณหภูมิที่ 5	จุดวัดอุณหภูมิที่ 6
0	34	34.2	34.7	35.2	35.7	32
10	64	58.6	52.7	54.1	54	54
20	64.4	58.8	59.6	56.5	57.5	58
30	67.2	50.3	55.3	58	56.2	56
40	66.7	52.6	60.5	61.1	61.2	60
50	71.3	51.6	60.8	61.6	61.5	60
60	63.7	54.2	62.8	62.8	62.3	62
70	69.1	68.5	61.6	63.3	61.4	62
80	70.2	66.8	69.4	68.5	62.2	62
90	71	70	68.5	69.5	62.3	62
100	65.5	70.1	67.1	68.9	67.9	66
110	66	68.2	67	67.9	68.2	68

ตารางที่ ข.9 อุณหภูมิการอบที่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม อุณหภูมิ 60 °C

เวลา	จุดวัดอุณหภูมิที่ 1	จุดวัดอุณหภูมิที่ 2	จุดวัดอุณหภูมิที่ 3	จุดวัดอุณหภูมิที่ 4	จุดวัดอุณหภูมิที่ 5	จุดวัดอุณหภูมิที่ 6
0	30.3	33.7	33.9	35.3	34.4	34
10	61.6	46.2	51.4	52.8	52.7	52
20	68.9	46.5	58.4	59.6	59.7	58
30	68.2	46.6	59.1	60.1	58.9	60
40	69.3	52	61.3	63.2	63.2	62
50	68.2	51.2	60.2	61	62.2	62
60	68.5	51	60.1	61.7	61.7	62
70	67.5	54.1	62.8	63.9	62	62
80	67.5	61.2	63	63.6	62.6	60
90	66.9	60.3	63.3	63.8	61.9	60
100	66.5	62.4	63.9	64.2	61.8	62
110	66.1	64.6	64.5	64.5	61.6	58
120	65.6	66.7	65.1	64.9	61.5	60

ประวัติผู้วิจัย





ประวัติผู้วิจัย

นายฐณพล เวียงทอง

การศึกษา

ปริญญาตรี Licence en Génie des Procédés - Energie
Université Grenoble-Alpes, France

ปริญญาโท Master en Génie des Procédés - Energie
Université Grenoble-Alpes, France

ปริญญาเอก Docteur en Génie des Procédés - Energie
Université de Montpellier, France

ปัจจุบัน

ตำแหน่ง อาจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

