



การพัฒนาระบบอบแห้งดีปลีด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

DEVELOPMENT OF LONG PEPPER DRYING SYSTEM

USING A COMBINED ROTARY DRYER AND INFRARED RADIATION

ปวิวัติ คมวชิรกุล

กฤษณ์ อภิญญาวิศิษฐ์

สุวิทย์ แพงกันยา

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งตีป्लीที่มีความชื้นสูง ด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารี ร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด การทดลองจะกระทำโดยใช้อุณหภูมิอากาศร้อน 80 90 และ 100 °C กำลังของรังสีอินฟราเรด 500 W ความเร็วอากาศร้อน 2.5 m/s และความเร็วรอบของถังหมุนที่ 3 6 และ 9 rpm ในการศึกษานี้ได้แบ่งการอบแห้งไว้ 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) การอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อน และ 2) การอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด โดยผลกระทบของปัจจัยข้างต้นที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ได้ถูกประเมิน จากการศึกษาพบว่า การอบแห้งที่ใช้อากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งแบบอากาศร้อน โดยค่า SEC มีค่าต่ำสุดคือ 26.77 MJ/kg_{water} เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิอากาศร้อน 80 °C กำลังของรังสีอินฟราเรด 500 W ความเร็วอากาศร้อน 2.5 m/s และความเร็วรอบของถังหมุน 3 rpm

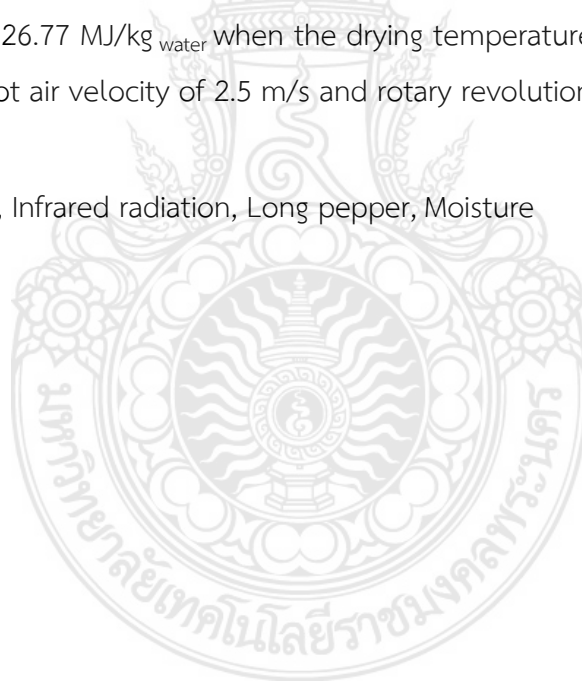
คำสำคัญ: อบแห้ง รังสีอินฟราเรด ตีป्ली ความชื้น



Abstract

The objective of this research was to study of rotary drying of high-moisture long pepper by using a combined hot air and infrared radiation. The experiment was carried out at the drying temperatures of 80, 90 and 100 °C, infrared power level of 500 W, hot air velocity of 2.5 m/s and rotary revolution of 3, 6 and 9 rpm. In this study, two patterns were examined by the different drying conditions, namely 1) hot air drying and 2) combined hot air and infrared radiation drying. The effects of above drying parameters on the change in moisture content of long pepper and specific energy consumption (SEC) of the drying system, were investigated. The results showed that the combined hot air and infrared radiation drying was shorter drying time than hot air drying. The lowest total SEC during drying process of 26.77 MJ/kg_{water} when the drying temperatures of 80 °C, infrared power level of 500 W, hot air velocity of 2.5 m/s and rotary revolution of 3 rpm were used.

Keywords: Drying, Infrared radiation, Long pepper, Moisture



กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบอบแห้งดีปลีด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ในการทำวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่มอบทุนวิจัยจนเกิดความสำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่คอยส่งเสริมและสนับสนุนด้านองค์ความรู้ และทรัพยากรต่างๆ แก่คณะผู้วิจัยมาโดยตลอด ประโยชน์ใดที่พึงมีจากการศึกษาค้นคว้านี้ขอมอบแต่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการดำเนินการวิจัยฉบับนี้ทุกท่าน

ปวิวัติ	คมวชิรกุล
กฤษณ์	อภิญญาวิศิษฐ์
สุวิทย์	แพงกันยา
	ผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์ย่อ	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง	4
2.2 เครื่องอบแห้งแบบถังหมุน	9
2.3 ทฤษฎีอินฟราเรด	10
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3. วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	13
3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	15
3.3 วิธีการทดลอง	15
4. ผลการวิจัย	
4.1 ผลของการอบแห้ง	17
4.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ	23
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	26
5.2 ข้อเสนอแนะ	27
บรรณานุกรม	28
ภาคผนวก ก รูปเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด	30
ประวัติย่อผู้วิจัย	35

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 เงื่อนไขการทดลองการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อน	16
3.2 เงื่อนไขการทดลองการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อน รวมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด	16
4.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ	24



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบ	6
2.2 เครื่องอบแห้งแบบโรตารี (Rotary dryer)	9
2.3 การอบแห้งวัสดุขึ้นด้วยการแผ่รังสี	11
3.1 แผนผังเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด	14
3.2 ภาพตัดถัดถังหมุนและการแผ่รังสีอินฟราเรด	14
3.3 ดีป्लीที่ใช้ในการทดลอง	15
4.1 ผลกระทบของอุณหภูมิอากาศร้อนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดีป्लीที่ ความเร็วรอบของถังหมุนที่ 3 6 และ 9 rpm และความเร็วอากาศร้อนที่ 2.5 m/s	18
4.2 ผลกระทบของความเร็วรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนความชื้นของดีป्ली ที่อุณหภูมิอากาศร้อน 80 90 และ 100 °C และความเร็วอากาศ ร้อนที่ 2.5 m/s	19
4.3 ผลกระทบของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดีป्ली ที่อุณหภูมิอากาศร้อน 80 90 และ 100 °C ความเร็วรอบของถังหมุนที่ 3 rpm และความเร็ว อากาศร้อนที่ 2.5 m/s	20
4.4 ผลกระทบของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดีป्ली ที่อุณหภูมิอากาศร้อน 80 90 และ 100 °C ความเร็วรอบของถังหมุนที่ 6 rpm และความเร็ว อากาศร้อนที่ 2.5 m/s	21
4.5 ผลกระทบของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดีป्ली ที่อุณหภูมิอากาศร้อน 80 90 และ 100 °C ความเร็วรอบของถังหมุนที่ 9 rpm และความเร็ว อากาศร้อนที่ 2.5 m/s	22
ก1 เครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด	31
ก2 ภาพ 3 มิติ เครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด	32
ก3 ขนาดเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

ก4 ขนาดห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

34



คำอธิบายสัญลักษณ์ย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ	ความหมาย	หน่วย
M_d	ความชื้นมาตรฐานแห้ง	% d.b.
M_w	ความชื้นมาตรฐานเปียก	% w.b.
M_i	ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ	%
M_f	ความชื้นสุดท้ายของวัสดุ	%
M_t	ความชื้นที่เวลาใดๆ	%
E_p	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	kWh
W_d	มวลวัสดุแห้ง	kg
W_w	มวลวัสดุเปียก	kg
SEC	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ	MJ/kg _{water}



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ดีป्लीเป็นสมุนไพรที่มีสรรพคุณช่วยลดอาการท้องอืดท้องเฟ้อแน่นจุกเสียด บำรุงธาตุไฟ แก้คลื่นไส้ อาเจียน แก่ตับพิการ แก่ไอ ใช้เป็นยาแก้โรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ และเป็นยาระงับอาการนอนไม่หลับ เป็นต้น [1] แต่อย่างไรก็ตามหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต ดีป्लीจะมีความชื้นสูงซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายจากเชื้อราในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องลดความชื้นหรือทำการอบแห้ง การอบแห้งเป็นกระบวนการทางด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีความสำคัญยิ่งต่อการรักษาคุณภาพ ลดความสูญเสีย และยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตรมีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น เทคนิคการอบแห้งมีด้วยกันหลายวิธีขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของวัสดุที่นำมาอบแห้ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งดีป्ली ลักษณะของเครื่องอบแห้งควรทำให้การเคลื่อนตัวของดีป्लीที่นำมาอบแห้งให้เป็นไปอย่างนิ่มนวล (ไม่เกิดการชน หรือกระแทกกันอย่างรุนแรง) มีการกระจายอุณหภูมิของอากาศในการอบแห้งอย่างสม่ำเสมอ และมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานในเกณฑ์สูง โดยเครื่องอบแห้งที่มีคุณลักษณะดังกล่าวได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบโรตารี (Rotary Dryer) เครื่องอบแห้งชนิดนี้ถูกนำมาใช้อบแห้งวัสดุในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมเหมืองแร่ อุตสาหกรรมยาสูบ หรือแม้กระทั่งอุตสาหกรรมอาหาร [2]

จากงานวิจัยที่ผ่านมา การอบแห้งวัสดุโดยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง เพราะสามารถทำการลดความชื้นให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามการอบแห้งแบบลมร้อนจะใช้หลักการถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศไปยังผลิตภัณฑ์เพื่อให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ระเหยออกไป ส่งผลให้มีการใช้พลังงานสูงในส่วนของงานให้ความร้อนกับอากาศทำให้มีการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ และใช้เวลาในการอบแห้งนาน ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเร่งกระบวนการอบแห้งวัสดุด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีให้เร็วขึ้น เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการใช้พลังงาน (ประหยัดพลังงาน) โดยวิธีการหนึ่งที่มีความน่าสนใจในการนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวคือ การใช้พลังงานความร้อนเสริมจากการแผ่รังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation) ซึ่งถือเป็นแหล่งความร้อนเสริมที่มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้ในกระบวนการอบแห้ง [3]

ความร้อนจากการแผ่รังสีอินฟราเรด ถือเป็นแหล่งพลังงานที่น่าสนใจ สมบัติที่สำคัญคือ สามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุเข้าไปทำให้โมเลกุลของวัตถุเกิดการสั่นสะเทือนมีผลทำให้วัตถุนั้นร้อนขึ้น ดังนั้นน้ำที่อยู่

ภายในวัสดุซึ่งได้รับความร้อนก็จะเคลื่อนที่มายังผิวของวัสดุและระเหยออกไป ด้วยเหตุที่รังสีอินฟราเรดสามารถทะลุทะลวงเข้าสู่ภายในเนื้อวัสดุได้โดยตรง พลังงานที่วัสดุได้รับจากรังสีอินฟราเรดจึงมีการสูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการพาความร้อนด้วยอากาศร้อน ดังนั้นการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดจึงใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการอบแห้งวิธีอื่นค่อนข้างมาก รวมถึงใช้พลังงานน้อยกว่าด้วย นอกจากนี้ ความร้อนจากการแผ่รังสีอินฟราเรดยังตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาวะการอบแห้งได้อย่างรวดเร็ว และใช้พื้นที่ติดตั้งน้อย มีผลการศึกษายืนยันอย่างชัดเจนว่าเมื่อนำการแผ่รังสีอินฟราเรดมาใช้ร่วมกับวิธีการอบแห้งรูปแบบต่างๆ ระยะเวลาการอบแห้งสามารถลดลงได้มาก รวมถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้งยังเพิ่มสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดยังมีคุณภาพสูง [4-7]

เมื่อรวมข้อดีของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีและการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดเข้าด้วยกัน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง (Drying Kinetics) ของดีปลี และประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้ง คาดว่าข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษาในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบกระบวนการอบแห้งดีปลีที่เหมาะสมได้ เพื่อให้การใช้พลังงานของกระบวนการมีค่าต่ำที่สุด รวมถึงสามารถนำไปขยายผลเพื่อใช้ในการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรชนิดอื่นได้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบอบแห้งดีปลีด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งดีปลีและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบอบแห้งที่ได้พัฒนาขึ้น

1.2.3 เพื่อหาเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมในการอบแห้งดีปลีด้วยระบบการอบแห้งที่ได้พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 พัฒนาต้นแบบระบบอบแห้งดีปลีด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดในระดับห้องปฏิบัติการ

1.3.2 ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิอบแห้งของอากาศร้อน กำลังของหลอดอินฟราเรด และความเร็วรอบเครื่องอบแห้งแบบโรตารี ที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งดีปลีและการใช้พลังงานของระบบอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

1.3.3 หาเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมในการอบแห้งดีป्लीด้วยระบบการอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาและทบทวนวรรณกรรม

1.4.2 วางแผนและกำหนดแนวทางการทำวิจัย

1.4.3 สร้างเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดในระดับห้องปฏิบัติการ

1.4.4 ทดลองตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

1.4.5 รวบรวมข้อมูลการทำงานวิจัย การดำเนินการ ผลการทดลอง สรุปผลการดำเนินการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ต้นแบบระบบอบแห้งดีป्लीด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดในระดับห้องปฏิบัติการ

1.5.2 ได้ทราบอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งดีป्लीและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

1.5.3 ได้ทราบเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมในการอบแห้งดีป्लीด้วยระบบการอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดีปลีชื่อสามัญ Long Pepper, Indian Long Pepper, Javanese Long Pepper ดีปลี ชื่อวิทยาศาสตร์ *Piper retrofractum* Vahl (ชื่อพ้องวิทยาศาสตร์ *Chavica Officinarum* Miq., *Piper Chaba* Hunter, *Piper Officinarum* (Miq.) C. DC.) แต่บางข้อมูลระบุว่า เป็นชนิดที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Piper Longum* L. จัดอยู่ในวงศ์พริกไทย (PIPERACEAE) สมุนไพรดีปลี มีสรรพคุณช่วยบำรุงธาตุไฟในการย่อยอาหาร เหมือนๆกันแต่ดีปลีจะดีกว่าในเรื่องของลมเบ่งของมดลูกหรือลมที่ค้างในลำไส้ รวมไปถึงอาการกำเริบของเสมหะและลมปอดส่วนพริกไทยนั้นจะดีกับลมที่ขับปัสสาวะ [1]

ลักษณะของดีปลี ดอกดีปลีหรือผลดีปลี ผลสดมีสีเขียว เมื่อสุกแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีแดง ลักษณะของผลอัดกันแน่นเป็นช่อรูปทรงกระบอก โคนใหญ่กว่าปลายไม่มาก ปลายเล็กมน ผลมีความยาวประมาณ 2.5 ถึง 7.5 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 ถึง 8 เซนติเมตร ผิวของ ผลค่อนข้างหยาบ และมีเกสรตัวเมียติดอยู่ ผลย่อยมีเมล็ดเดี่ยว โดยเมล็ดมีขนาดเล็กมาก ลักษณะกลมและแข็ง ผงของผลมีสีน้ำตาล มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว มีรสเผ็ดร้อน ขมปร่า นิยมเก็บผลมาใช้เมื่อ ผลเริ่มเป็นสีน้ำตาล แล้วนำมาตากแดดให้แห้ง

2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้งมีความสำคัญในรักษาผลิตภัณฑ์ ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่มีความชื้นค่อนข้างสูง การเก็บรักษาทำให้เก็บได้ไม่นานนัก การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรเป็นกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่มีความสำคัญต่อการรักษาคุณภาพ การลดความชื้นและยืดระยะเวลาการเก็บรักษา เทคโนโลยีการอบแห้งไม่ซับซ้อน แต่ต้องมีการวางแผนการดำเนินการอบแห้งภายใต้สภาวะและเงื่อนไขที่กำหนด การรู้จักชนิดของเครื่องอบแห้ง และการเลือกใช้ชนิดของเครื่องอบแห้งให้ตรงกับคุณสมบัติจำเพาะของวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นเรื่องจำเป็น ขนาดของเครื่องอบและเวลาที่ใช้ในการอบ จะส่งผลต่อปริมาณไฟฟ้า หรือปริมาณไอน้ำที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการ เมื่อโรงงานนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานมาใช้ ผู้ปฏิบัติงานจึงจำเป็นต้องรู้พื้นฐานของการอบแห้งและตู้อบแห้งเสียก่อน จึงจะสามารถนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานมาใช้ให้ได้ประโยชน์สูงสุด

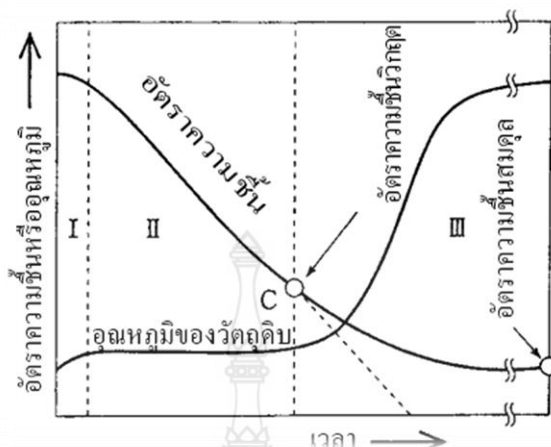
การอบแห้ง (Drying) คือ การเอาน้ำออกจากวัสดุที่ต้องการทำให้ปริมาณน้ำในวัสดุนั้นลดลง (ความชื้นลดลง) โดยส่วนใหญ่วัสดุนั้นจะอยู่ในสถานะของแข็ง น้ำที่ระเหยออกจากวัสดุนั้นอาจจะไม่ต้องระเหยที่จุดเดือดแต่ใช้อากาศพัดผ่านวัสดุนั้นเพื่อดึงน้ำออกมา วัสดุจะแห้งได้มาก-น้อยจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของมันด้วย ในการอบเมื่อทำให้ของเหลวในวัตถุดิบระเหยเป็นไอ จะได้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่มีสัดส่วนของของเหลวต่ำลง ซึ่งนอกจากจะมีกรณีที่วัตถุดิบมีสภาพเป็นของแข็งที่เปียกชื้นแล้ว ยังมีกรณีที่อบของเหลวข้น (slurry) หรือของเหลวใสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงอีกด้วย เครื่องอบโดยมากมักจะเป็นส่วนสุดท้ายของกระบวนการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่อบแล้วจะกลายเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จทันที ดังนั้นการอบไม่สม่ำเสมอ เช่น ไม่แห้งหรือแห้งเกินไป และรูปร่างของผลิตภัณฑ์ เช่น วัตถุดิบเป็นก้อน รวมทั้งปริมาณผลได้ (yield) จึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสนใจ นอกจากนี้ความร้อนแฝงของการระเหยของของเหลวจะมีค่าสูง การอบจึงสิ้นเปลืองพลังงานมาก การจัดการพลังงานความร้อนจึงเป็นปัญหาที่สำคัญ

2.1.1 อัตราความชื้นในการแสดงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัตถุดิบ จะสามารถแสดงได้ด้วยปริมาณน้ำต่อปริมาณมวลรวมเปียก (ค่า wet base) หรือปริมาณน้ำต่อปริมาณวัตถุดิบแห้ง (ค่า dry base) ในขณะที่อบมวลรวมจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย เมื่อคำนวณความชื้นแบบ wet basis จะทำให้ค่าความชื้นเปลี่ยนแปลงอย่างไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นในการคำนวณทางอุตสาหกรรม จะใช้ค่าความชื้น ที่คำนวณแบบ dry basis ซึ่งมวลแห้งเป็นฐานในการคำนวณ เนื่องจากมวลแห้งนี้มีค่าคงที่ตลอดการอบ จึงมีความสะดวกมากกว่า ถ้าให้ความชื้นที่ wet basis เท่ากับ W_w และให้ความชื้นที่ dry basis เท่ากับ W_d แล้ว ค่าทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กันดังต่อไปนี้

$$W_w = [\text{kg-น้ำ} / \text{Kg-วัตถุดิบเปียก}] \quad (2.1)$$

$$W_d = [\text{kg-น้ำ} / \text{Kg-วัตถุดิบแห้ง}] \quad (2.2)$$

อัตราเร็วในการอบกับเส้นกราฟแสดงสมบัติการอบ เมื่อนำวัตถุดิบที่จะอบซึ่งเปียกชื้นอย่างเพียงพอถึงผิวหน้ามาแขวนไว้ในกระแสมร้อน แล้วติดตามตรวจวัดอัตราความชื้นกับอุณหภูมิของวัตถุดิบนั้น โดยทั่วไปจะได้ผลลัพธ์ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของอัตราความขึ้นกับอุณหภูมิของวัตถุติด [8]

ซึ่งกลไกการอบสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะเวลาที่มีลักษณะแตกต่างกัน กล่าวคือ (1) ช่วงอุ่นวัตถุติด (2) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ (3) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง

1) ช่วงอุ่นวัตถุติด เป็นช่วงที่ อุณหภูมิของวัตถุติดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิตั้งต้น (อุณหภูมิห้อง) จนถึงอุณหภูมิสมดุลที่ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการอบ เรียกว่า ช่วงอุ่นวัตถุติด ในกรณีนี้วัตถุติดได้รับความร้อนด้วยการพาความร้อนโดยลมร้อน อุณหภูมิสมดุลนี้จะมีค่าเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของลมร้อนนั้น

2) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ วัตถุติดจะมีอุณหภูมิคงที่ ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้รับจะถูกใช้ไปในการระเหยความชื้นเท่านั้น ขั้นตอนของการระเหยจะเกิดที่ผิวหน้าของวัตถุติดโดยอัตราเร็วในการอบจะมีค่าคงที่ ช่วงนี้เรียกว่า ช่วงอบด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งจะดำเนินไปตราบเท่าที่มีความชื้นอิสระให้ระเหยอยู่ที่ผิวหน้าของวัตถุติด โดยอัตราความขึ้นของวัตถุติดจะลดลงด้วยอัตราเร็วคงที่

3) ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลงเมื่ออบไปเรื่อย ๆ จนปริมาณความชื้นที่ผิวหน้าวัตถุติดแห้งลงและความชื้นภายในเนื้อวัตถุติดเริ่มลดลง ความชื้นอิสระภายในตัววัตถุติดจะซึมขึ้นมาทดแทนให้ทันกับอัตราเร็วในการระเหยที่ผิวหน้า จึงเริ่มเข้าสู่ช่วงที่ 3 ได้แก่ ช่วงอบด้วยอัตราเร็วลดลง ขั้นตอนของการระเหยจะค่อย ๆ เลื่อนลงลึกเข้าไปในเนื้อวัตถุติด อุณหภูมิของวัตถุติด อุณหภูมิของวัตถุติดจะเริ่มเข้าใกล้อุณหภูมิของลมร้อนจากบริเวณพื้นผิว ในการอบความร้อนจะต้องเข้าไปถึงภายในเนื้อวัตถุติด นอกจากนี้ ความร้อนส่วนหนึ่งยังต้องใช้ไปในการให้ความร้อนตัววัตถุติดเองอีกด้วย อัตราเร็วในการอบจึงค่อย ๆ ลดลงตามเวลาที่ผ่านไป

2.1.2 การคำนวณหาความชื้นผลผลิตทางการเกษตร

การวัดความชื้นเป็นวิธีการที่มักนำไปใช้ในการหาปริมาณน้ำที่แทรกตัว หรือผสมอยู่ในของแข็งแล้ววัด ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณความชื้น ส่วนการวัดความชื้นทางการเกษตรใช้เพื่อควบคุมคุณภาพของผลผลิตพืชต่างๆ เช่น ข้าวเปลือก ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และถั่วเหลือง เป็นต้น โดยเฉพาะการควบคุมความชื้นในข้าวเปลือกซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งมีวิธีการวัดความชื้นจากการชั่งน้ำหนักผลผลิตแล้ว นำไปวัดความชื้นและคำนวณหาปริมาณเปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยหน่วยของการวัดความชื้นจะแสดงผลออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้น

2.1.2.1 การคำนวณหาความชื้นมาตรฐานเปียก [9]

เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน มักบอกเป็นเปอร์เซ็นต์

$$M_w = \left(\frac{w - d}{w} \right) \times 100 \quad (2.3)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (%w.b.)

w คือ มวลของวัสดุเปียก (kg)

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (kg)

2.1.2.2 การคำนวณหาความชื้นมาตรฐานแห้ง

เป็นค่าที่ใช้กันในการวิเคราะห์ของกระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เนื่องจากมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง

$$M_d = \left(\frac{w - d}{d} \right) \times 100 \quad (2.4)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%d.b.)

w คือ มวลของวัสดุเปียก (kg)

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (kg)

2.1.2.3 อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) คือ ค่าที่บ่งบอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงมวลน้ำในวัสดุเทียบกับ ความชื้นเริ่มต้นเมื่อเวลาการอบแห้งดำเนินไปเป็นเวลาใดๆ เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$M_R = \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} \quad (2.5)$$

เมื่อถือว่า ค่าความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมากเทียบกับค่าความชื้นเริ่มต้น ($M_{eq} < M_0$) และความชื้นที่เวลาใดๆ ($M_{eq} < M_t$) ทำให้สามารถเขียนสมการได้ใหม่ ดังนี้

$$M_R = \frac{M_t}{M_i} \quad (2.6)$$

เมื่อ M_R คือ อัตราส่วนความชื้น

M_i คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (%)

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล (%)

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (%)

2.1.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) ของกระบวนการอบแห้งเป็นพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุระหว่างการอบแห้ง

$$SEC = \frac{3.6E_p}{(M_i - M_f)W_d} \quad (2.7)$$

เมื่อ E_p คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (kW-h)

M_i คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (%)

M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุ (%)

W_d คือ น้ำหนักแห้ง (kg)

2.2 เครื่องอบแห้งแบบถังหมุน (Rotary dryer)

เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีหลายชนิดแต่นิยมใช้สำหรับอบแห้งเชื้อเพลิงชีวะมวลจะมีลักษณะเป็นแบบช่องเดียวที่รับสัมผัสความร้อนโดยตรงดังแสดงใน รูปที่ 2.2 โดยหลักการทางานจะใช้ลมร้อนสัมผัสกับผิววัสดุที่อบโดยตรงภายในตัวถังที่หมุน การหมุนของตัวถังทรงกระบอกจะอาศัยใบพาช่วยโรยวัสดุอบผ่านกระแสอากาศร้อนเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัสดุอบแห้งกับกระแสอากาศเพื่อเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการลดความชื้นที่อุณหภูมิจะต่อตรงเข้าไปในเครื่องอบแห้ง โดยตรงและอีกด้านหนึ่งจะติดตั้งหัวเผาหรือเครื่องทำความร้อนหลักการทางานของเครื่องอบแห้งชนิดนี้คือ ตัวเครื่องอบแห้งจะทำด้วยถังทรงกระบอกหมุนวางเอียงกับแนวราบเล็กน้อยวัสดุไหลเข้าทางปลายด้านสูงแล้วไหลออกที่ปลายด้านต่ำของถัง ภายในตัวถังทรงกระบอกจะมีแผ่นครีบทำหน้าที่ทำด้วยวัสดุจากด้านล่างของถังขึ้นสู่ด้านบนแล้วไหลตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงพร้อม ๆ กับการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าในขณะเดียวกันลมร้อนจะไหลเข้ามาในถังทรงกระบอกเพื่อทำหน้าทีลดความชื้นจากตัววัสดุในขณะที่วัสดุไหลตกลงมาทำให้ การถ่ายเทความร้อนและความชื้นเป็นอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.2 เครื่องอบแห้งแบบโรตารี (Rotary dryer) [6]

ลักษณะการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีมีลักษณะผสมกันระหว่างเครื่องอบแห้งแบบรวดเร็ว (Flash dryer) คือส่วนที่วัสดุอบแห้งแขวนลอยอยู่ในอากาศกับเครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer) คือส่วนที่ไม่ถูกตัวตักตกขึ้นไปเวลาที่วัสดุอยู่ภายในเครื่องอบแห้ง (Residence time) โดยเครื่องอบแห้งแบบหมุน

จะมีค่าอยู่ระหว่าง 5 นาทีถึง 2 ชั่วโมงโดยเครื่องอบแห้งนี้จะสามารถรับวัสดุอบแห้งได้ประมาณ 5 ถึง 15 %ของปริมาตรถัง

สำหรับลักษณะการไหลของอากาศอบแห้งนั้นสามารถแบ่งออกเป็นสองแบบคือ แบบไหลตาม (Co-current flow) โดยวัสดุและอากาศจะไหลไปในทิศทางเดียวกันและแบบไหลสวนทาง (Counter-current flow) อากาศอบแห้งจะไหลสวนทิศกับการไหลของวัสดุการเลือกใช้ ลักษณะการไหลของอากาศแบบใด นั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุโดยวัสดุที่ไวต่อความเสียหาย เนื่องจากความร้อนควรจะเลือกใช้การไหลแบบตาม แต่หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในเชิงความร้อนการอบแห้งแบบไหลสวนทางจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า

การไหลแบบตามกัน (Co-current flow) อากาศร้อนทางเข้าจะสัมผัสกับตัววัสดุอบแห้งที่เปียก ดังนั้นอุณหภูมิของวัสดุยังคงอยู่ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศซึ่งเป็นระยะเวลาที่วัสดุยังมีความชื้นสูงอยู่และเมื่อเวลาผ่านไปความชื้นของวัสดุจะเริ่มลดลง

การไหลแบบสวนทางกัน (Counter-current flow) วัสดุที่อบแห้งจะสัมผัสกับอากาศ ร้อนที่ทางออกการไหลแบบ นี้จะมีประโยชน์ถ้าต้องการให้วัสดุอบแห้งมีอุณหภูมิสูง แต่จะต้องไม่สูงเกินไปที่จะทำให้วัสดุแห้งเปลี่ยนคุณสมบัติ

ข้อดีของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี

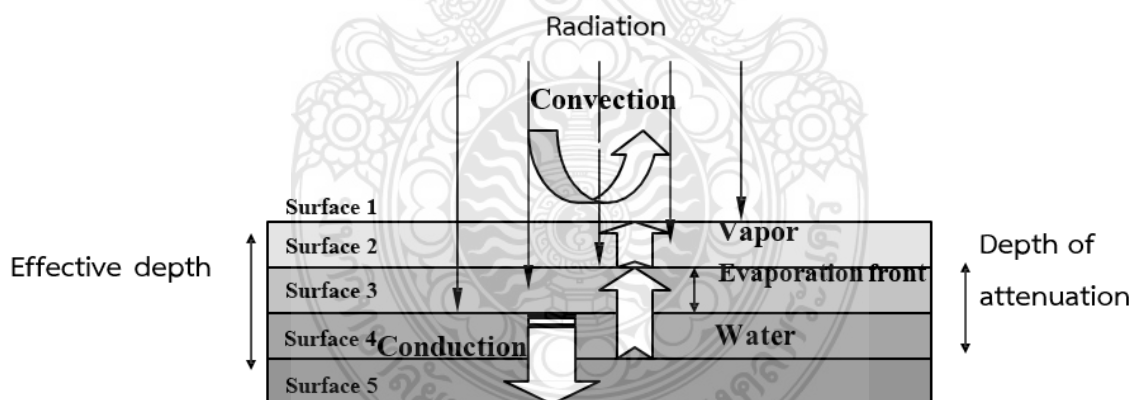
- การขยายขนาดจากห้องทดลองหรือจากข้อมูลทำได้ง่ายและเป็นเครื่องอบแห้งที่เสียยาก
- สามารถลดความชื้นของวัสดุได้ตามต้องการเพราะเราสามารถเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการอบได้ราคาต้นทุนไม่สูงมากนัก
- สามารถควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งได้ใกล้เคียงกับที่ต้องการแต่จะควบคุมได้ไม่ดีเท่ากับเครื่องอบแห้งแบบ Fluidized-bed
- สามารถใช้ไคท์ทั้งอบแห้งและเผาในเครื่องเดียวกัน
- สามารถเลือกระบบการไหลของอากาศได้ทั้งแบบไหลตาม หรือแบบไหลสวน ทางขึ้นกับว่าแบบ ไหนจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่ากัน [9]

2.3 ทฤษฎีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด (Infrared) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.75-100 μm โดยที่ Sandu ได้แบ่งช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดเป็น 3 ระดับคือ รังสีอินฟราเรดใกล้ (Near infrared, NIR) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 0.75-3 μm , รังสีอินฟราเรดกลาง (Middle infrared, Mid-IR) มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 3-25 μm และรังสีอินฟราเรดไกล (Far infrared, FIR) มี

ความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 25-100 μm จากงานวิจัยของ Sandu พบว่า รังสีอินฟราเรดไกลมีประสิทธิภาพมากที่สุด ในการอบแห้งอาหารต่างๆ เช่น เมล็ดพืช ผลไม้ ผัก เนื้อสัตว์ เป็นต้น เนื่องจาก มีความยาวคลื่นสูงทำให้สามารถทะลุผ่านเข้าไปในอาหารได้มาก และอาหารต่างๆ มีส่วนประกอบ หลักคือน้ำ แป้ง และโปรตีน ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้จะดูดซับพลังงาน

การแผ่รังสีของรังสีอินฟราเรดไกลได้ดีการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลคือ การแผ่รังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานความร้อนมาตกกระทบลงบนผิววัสดุ รังสีอินฟราเรดไกลจะทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ โดยที่พลังงานการทะลุผ่านของรังสีอินฟราเรดไกลจะลดลงในรูปแบบเอกโพเนนเชียล (Exponential) ตามระยะความหนาจากผิววัสดุ ซึ่งมีการดูดซับพลังงานรังสีอินฟราเรดในเนื้อวัสดุ ทำให้โมเลกุลในเนื้อวัสดุเกิดการสั่นสะเทือนแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน จนถึงระยะความหนาวัสดุที่รังสีอินฟราเรดไกลไม่สามารถทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้จะมีการนำความร้อนในเนื้อวัสดุชั้นต่อไป ดังนั้นเมื่อน้ำที่อยู่ในโมเลกุลวัสดุได้รับความร้อนจะเกิดการแพร่ออกไปยังผิววัสดุทำให้วัสดุชั้นนั้นแห้งลง ข้อดีของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลคือ รังสีอินฟราเรดไกลมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูง ทำให้สามารถลดเวลาและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งลง



รูปที่ 2.3 การอบแห้งวัสดุขึ้นด้วยการแผ่รังสี [10]

จากรูปที่ 2.3 อธิบายถึงผลการตกกระทบของรังสีบนผิววัสดุ โดยจะมีพลังงานบางส่วนที่วัสดุดูดซับเอาไว้ ในขณะที่บางส่วนถูกสะท้อนกลับออกไปตั้งแต่ที่ผิว และบางส่วนทะลุผ่านวัสดุไปโดยพุ่งตรงไปในแนวทิศทางเดิม หรือมีการหักเหของรังสี และจากงานวิจัยของ Sandu ได้กล่าวถึงกลไกการเปลี่ยนแปลง

รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนภายในตัววัสดุ โดยจำลองการแผ่รังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิห้องเพื่ออบแห้งวัสดุขึ้น (Moist solid plate)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิเชียร ดวงสีเสน [11] ได้ทำการศึกษการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน โดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ทดสอบเป็นเครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุนขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 80 cm ยาว 120 cm ขนาดรูตะแกรง 3 mm ขนาดความจุ 0.5 m³ ใช้ GAS BURNER เป็น แหล่งความร้อน โดยมี LPG เป็นเชื้อเพลิงในการศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งและ ความเร็วรอบในการหมุนที่เหมาะสมในการอบแห้งอุณหภูมิในการอบแห้ง (100 °C และ 120 °C) และความเร็วรอบในการหมุน (2 RPM, 4RPM และ 6RPM) ในการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งจะวิเคราะห์จาก ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการระเหยน้ำ (Specific Energy Consumption, SEC) และ ระยะเวลาในการอบแห้ง พบว่าที่ความเร็วรอบ 6 rpm และความร้อน 100 °C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการระเหย น้ำ น้อยกว่าที่สภาวะอื่น คือ 5.65 MJ/kg-water และ ใช้เวลาในการอบแห้ง 1.5 ชั่วโมง อัตราการอบ แห้ง 7.68 kg/hr. กากมันสำปะหลังที่ได้มีสองส่วนคือส่วนที่ร่วงผ่านรูตะแกรงของถังอบทรง กระบอก 48.14 % ความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 110.97 %d.b. และส่วนที่ค้างภายในตะแกรงของถังอบ ทรงกระบอก 51.83 % ความชื้นเฉลี่ยเท่ากับ 13.90 %d.b. [7]

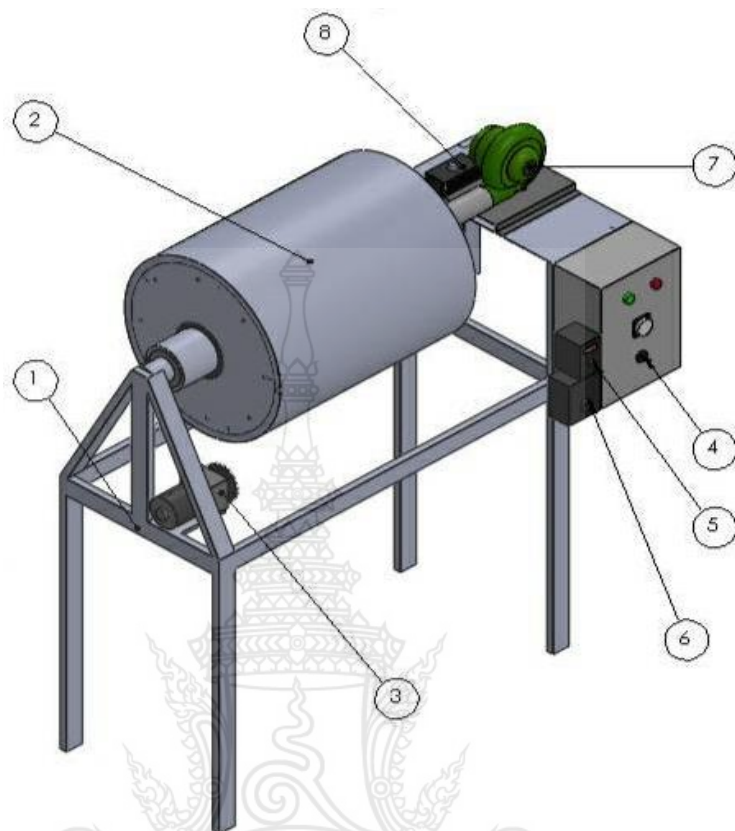
อัศวิน ยอดรักษ์ และ ฉัตรชัย นิยมล [12] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีสำหรับอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูง ด้วยการใช้อากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดเป็นตัวกลางในกระบวนการอบแห้ง จากการศึกษาพบว่า ถ้าพิจารณาในแง่ของเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง การอบแห้งที่ใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ที่อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 120°C และความเร็วรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีเท่ากับ 6 rpm ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด แต่หากพิจารณาในแง่ของประสิทธิภาพการใช้พลังงานซึ่งแสดงในเทอมของการใช้พลังงานจำเพาะ จะพบว่า การอบแห้งที่ใช้อากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรดเท่ากับ 4 kW/m² อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 80°C และความเร็วรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีเท่ากับ 6 rpm จะให้ค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่ำที่สุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

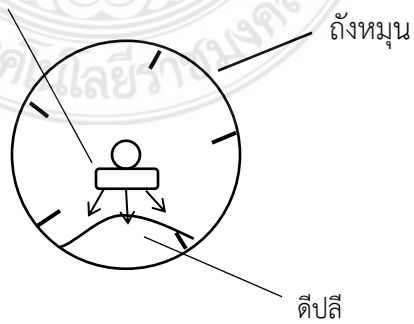
รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังรูปเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก ดังนี้ 1) โครงสร้างเครื่องอบแห้งแบบถ้งหมุน 2) ถ้งหมุนทำมาจาก Zinc Alloy หนา 1.5 mm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 490 mm และยาว 614 mm โดยถ้งหมุนเป็นบริเวณที่เกิดการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสาร ซึ่งภายในจะติดตั้งใบกวาดตามแนวยาวของถ้งหมุนจำนวน 5 ใบ หนา 1.5 mm ขนาด 20 x 610 mm ทำหน้าที่ในการคลุกเคล้าวัสดุที่อบแห้ง นอกจากนี้ยังติดตั้งหลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด (Infrared Radiator: IR) ไว้ภายใน ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 650 W ขนาด 580 mm ทำหน้าที่ป้อนพลังงานความร้อนให้แก่วัสดุที่นำมาอบแห้ง 3) ระบบขับเคลื่อนถ้งหมุนขนาด 40 W โดยกำลังขับเคลื่อนจากมอเตอร์ขับเคลื่อนผ่านโซ่ และรอบการหมุนจะถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ 4) ตู้ควบคุมเปิด-ปิดของเครื่องอบแห้ง และควบคุมอุณหภูมิอบแห้งซึ่งมีความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 5) อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ 6) อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของหลอดอินฟราเรด (Infrared Radiator Controller) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอดอินฟราเรด 7) พัดลม (Blower) โดยทำหน้าที่ป้อนอากาศเข้าสู่ระบบเพื่อเป็นตัวกลางในการพาความร้อน 8) ชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้ง



รูปที่ 3.1 แผนผังเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

- 1) โครงสร้าง 2) ห้องอบแห้ง 3) มอเตอร์ขับเคลื่อนถึงหมუნ 4) ตู้ควบคุม 5) อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ 6) อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของหลอดอินฟราเรด 7) พัดลม 8) ชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า

หลอดกำเนิดรังสีอินฟราเรด



ถึงหมุน

ดีปลี

รูปที่ 3.2 ภาพตัดถึงหมุนและการแผ่รังสีอินฟราเรด

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ใช้ดีปลีเป็นวัสดุในการทดลอง ดังรูปที่ 3.3 ดีปลีตัวอย่างมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 410 ถึง 420 % (d.b)



รูปที่ 3.3 ดีปลีที่ใช้ในการทดลอง

3.3 วิธีการทดลอง

ในขั้นแรกดีปลีที่เก็บในตู้แช่ มวล 1 kg นำมาล้างทำความสะอาด แล้วพักไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที โดยก่อนการทดลองทุกเงื่อนไขการทดลอง เครื่องอบแห้งจะถูกเปิดทำงาน 30 นาทีเพื่อให้ภายในห้องอบแห้งมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ หลังจากนั้นนำดีปลีที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 410 ถึง 420 % d.b. ป้อนเข้าสู่ระบบอบแห้งตามเงื่อนไขต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 ในระหว่างการทดลองจะทำการชั่งน้ำหนักดีปลี และจดบันทึกการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดีปลีทุกๆ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งความชื้นของดีปลีไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งการหาค่าความชื้นจะกระทำโดยการนำดีปลีไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 h [13]

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการอบแห้งไว้ 2 แบบ ได้แก่

- การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อน
- การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดลองการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อน

การทดลอง ครั้งที่	อุณหภูมิอากาศร้อน (°C)	ความเร็วอากาศร้อน (m/s)	ความเร็วรอบถังหมุน (rpm)
1	80	2.5	3
2			6
3			9
4	90	2.5	3
5			6
6			9
7	100	2.5	3
8			6
9			9

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการทดลองการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อน
ร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

การทดลอง ครั้งที่	อุณหภูมิอากาศร้อน (°C)	ความเร็วอากาศร้อน (m/s)	กำลังอินฟราเรด (W)	ความเร็วรอบถังหมุน (rpm)
1	80	2.5	500	3
2				6
3				9
4	90	2.5	500	3
5				6
6				9
7	100	2.5	500	3
8				6
9				9

บทที่ 4

ผลการวิจัย

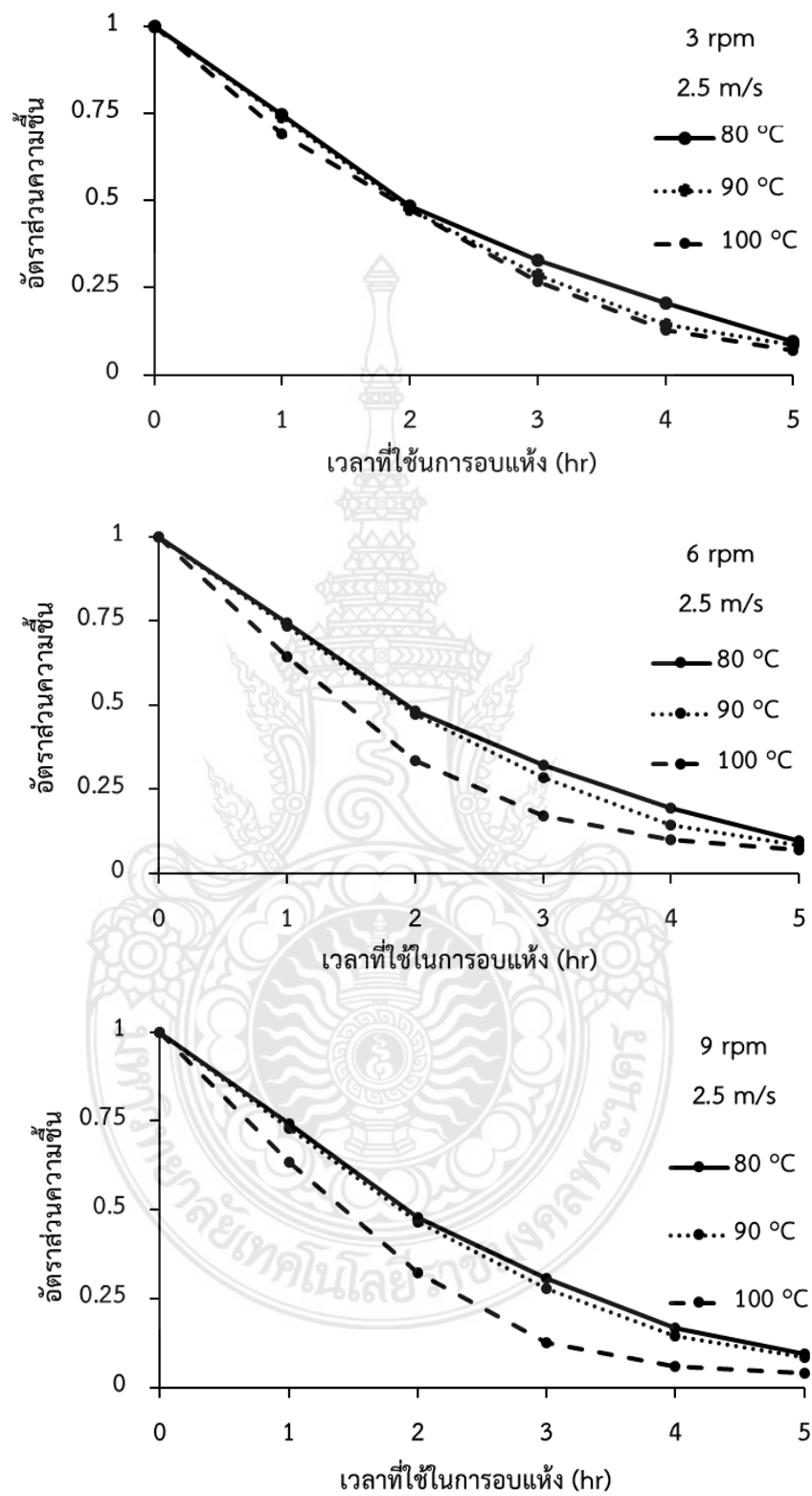
บทนี้จะแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิของอากาศร้อน ความเร็วรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี ความเร็วของอากาศร้อน และกำลังอินฟราเรดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดีปลี และการใช้พลังงานในการอบแห้งดีปลี

4.1 ผลของการอบแห้ง

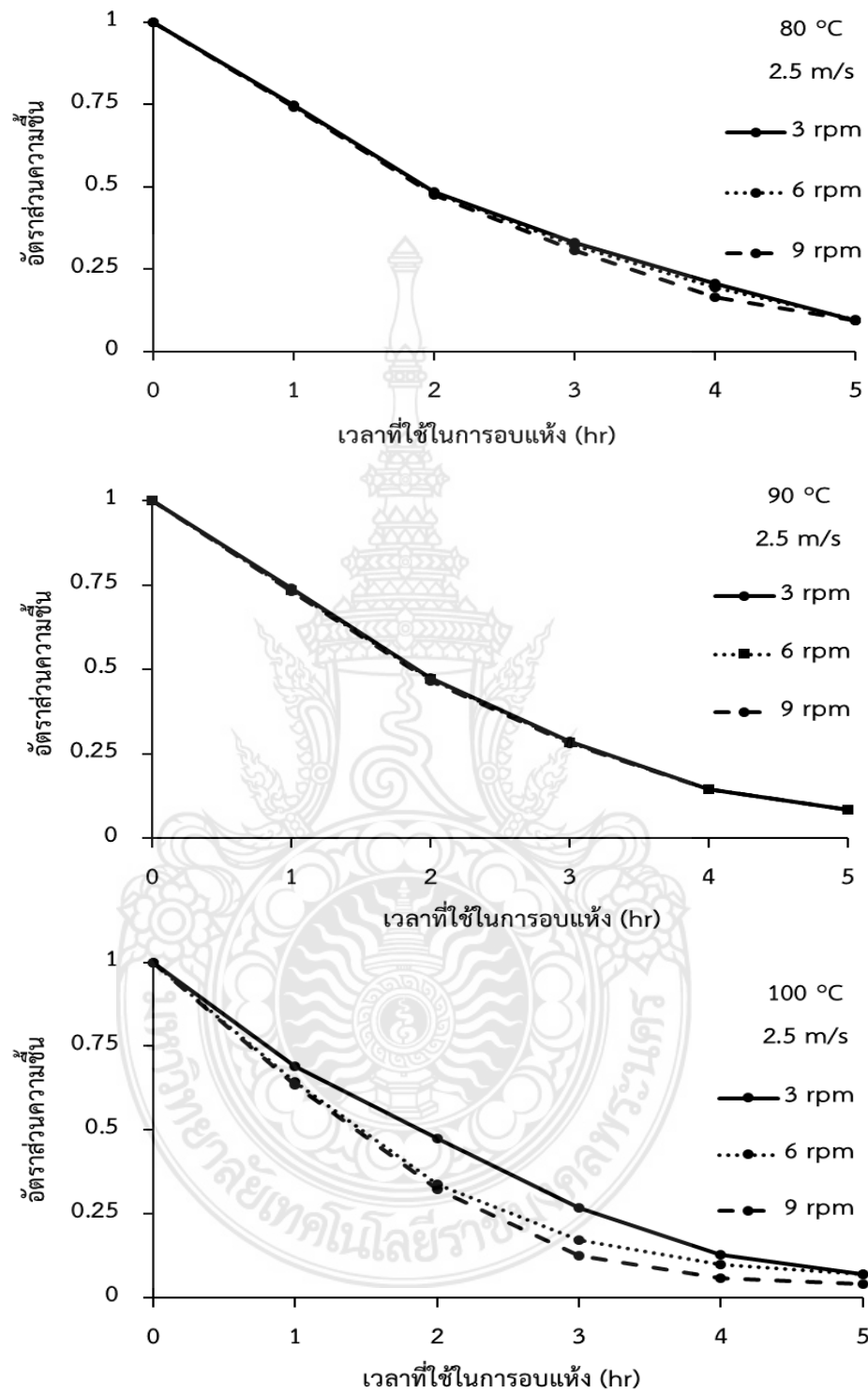
4.1.1 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อน

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศร้อนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดีปลี แสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่า เมื่ออุณหภูมิของอากาศอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้ความชื้นของดีปลีลดลงเร็วมากขึ้น สาเหตุที่ทำให้เป็นเช่นนี้ เนื่องจากการที่อุณหภูมิอากาศอบแห้งมีค่าสูงขึ้นส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศอบแห้งกับอุณหภูมิพื้นผิวของดีปลีมีค่าเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิอบแห้ง พบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง 80 และ 90 °C ที่ทุกความเร็วรอบของเครื่องอบแห้ง มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นใกล้เคียงกัน ในขณะที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 °C มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นได้มากที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นทำให้ความชื้นที่ผิวของดีปลีจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงความชื้นที่อุณหภูมิอบแห้ง 100 °C สามารถลดความชื้นได้ดีกว่า

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเร็วรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดีปลี แสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นของดีปลีไม่แตกต่างกันที่อุณหภูมิอบแห้ง 80 และ 90 °C แต่ที่อุณหภูมิ 100 °C เมื่อความเร็วรอบของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้น พบว่าการลดความชื้นของดีปลีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศอบแห้งกับอุณหภูมิพื้นผิวของดีปลีที่มากขึ้น ประกอบกับความเร็วยรอบของถังหมุนที่มากกว่า ส่งผลให้ดีปลีที่อยู่ในถังหมุนสัมผัสกับอากาศร้อนที่อยู่ในระบบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ระเหยมีค่ามากขึ้น โดยเงื่อนไขที่อุณหภูมิอากาศร้อน 100 °C ความเร็วรอบของถังหมุน 9 rpm มีการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นได้มากที่สุด

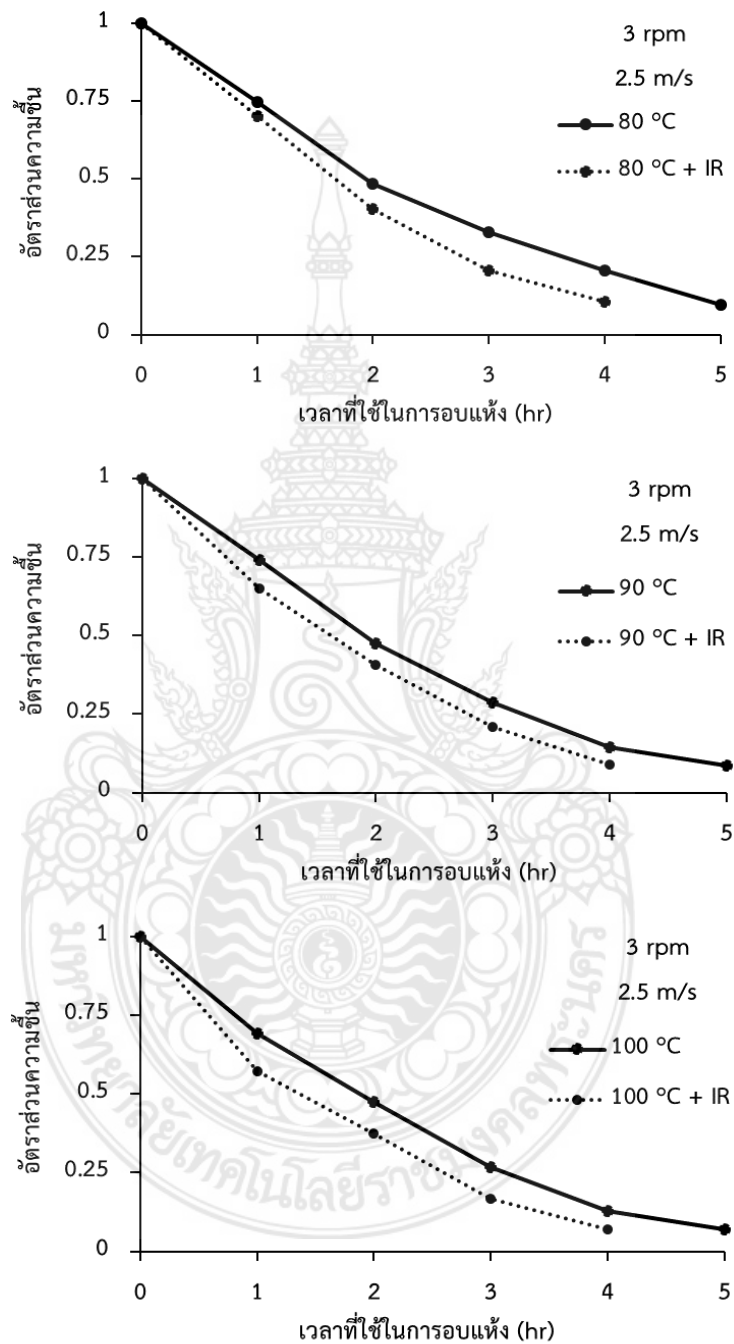


รูปที่ 4.1 ผลกระทบของอุณหภูมิอากาศร้อนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดีป्लीที่ความเร็วรอบของถังหมุนที่ 3 6 และ 9 rpm และความเร็วอากาศร้อนที่ 2.5 m/s

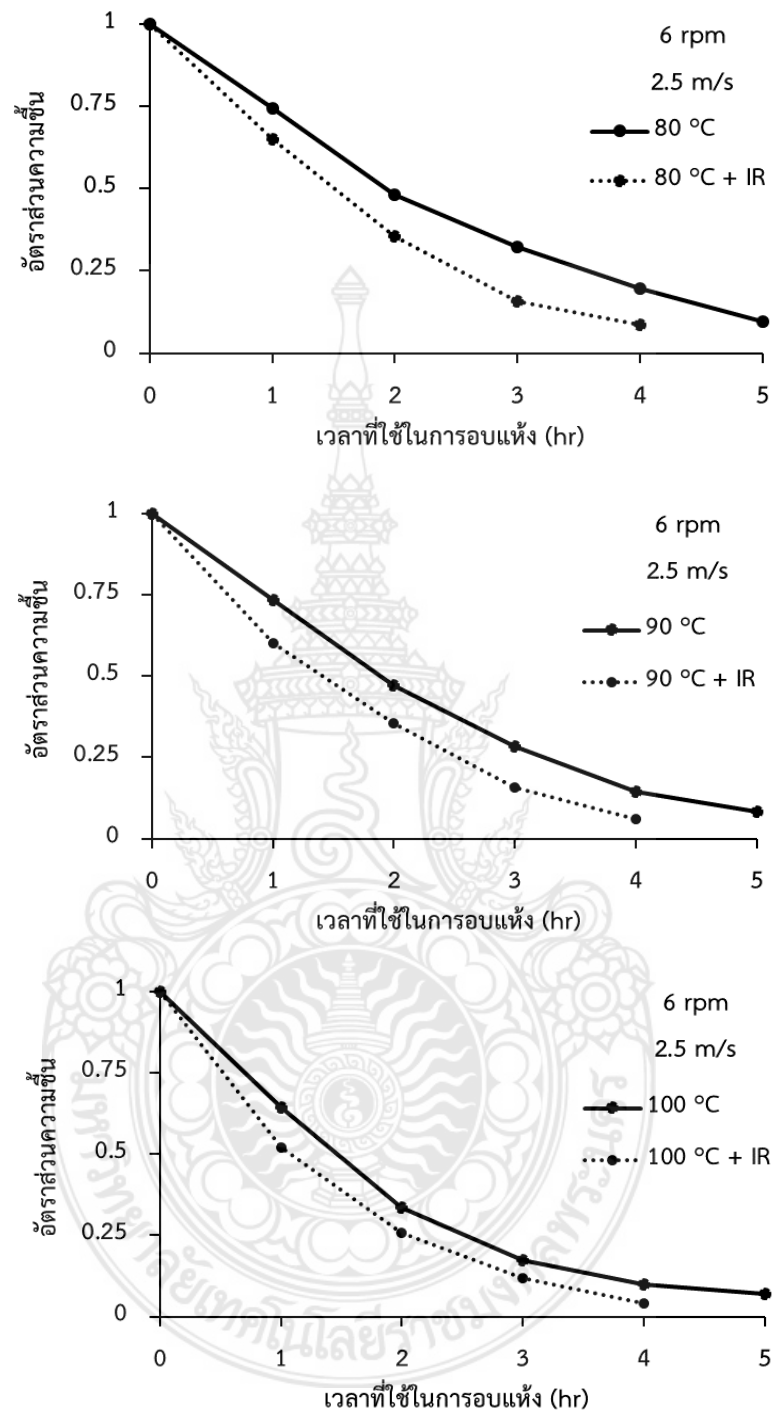


รูปที่ 4.2 ผลกระทบของความเร็วรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดีปรี ที่อุณหภูมิอากาศร้อน 80 90 และ 100 °C และความเร็วอากาศร้อนที่ 2.5 m/s

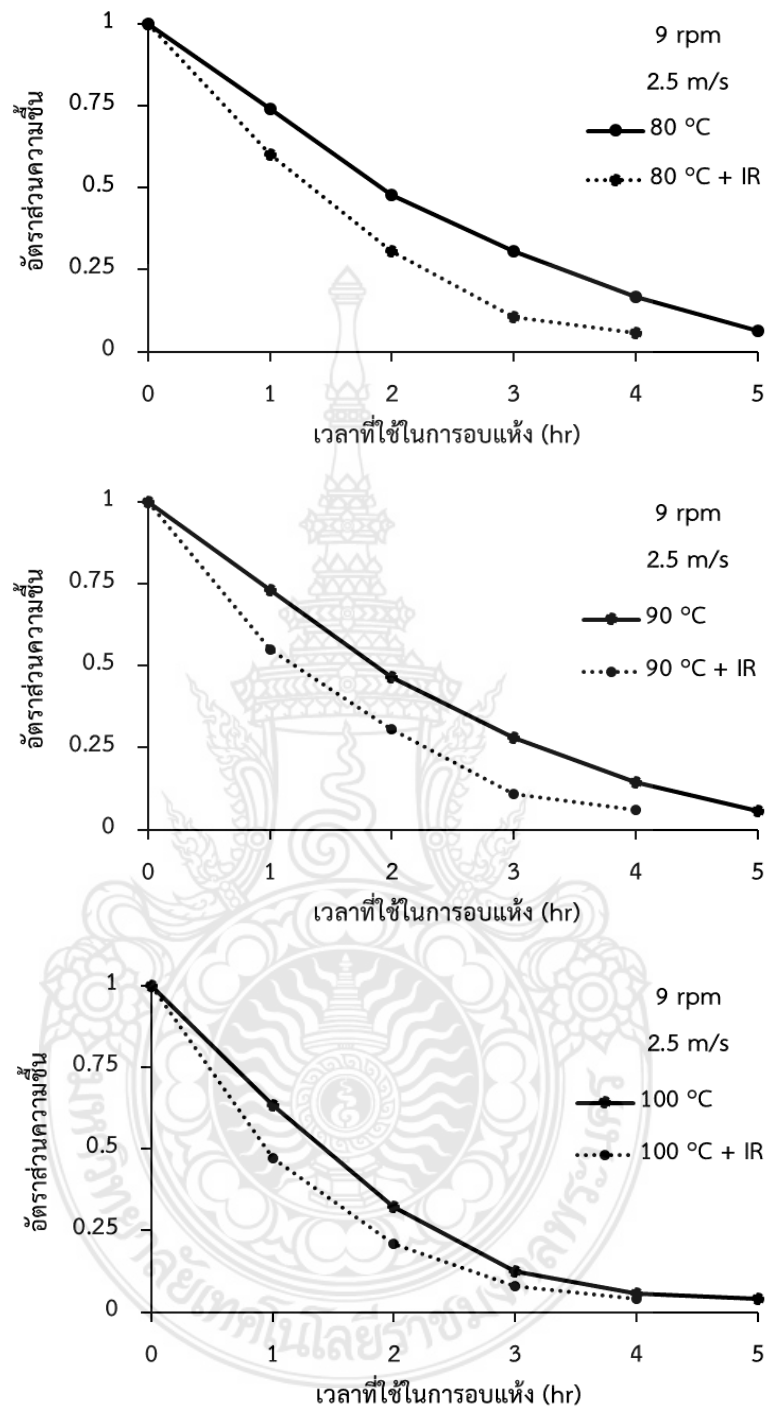
4.1.2 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด



รูปที่ 4.3 ผลกระทบของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดีป्ली ที่อุณหภูมิอากาศร้อน 80 90 และ 100 °C ความเร็วรอบของถังหมุนที่ 3 rpm และความเร็วกาศร้อนที่ 2.5 m/s



รูปที่ 4.4 ผลกระทบของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดีปรี ที่อุณหภูมิอากาศร้อน 80 90 และ 100 °C ความเร็วรอบของถังหมุนที่ 6 rpm และความเร็วอากาศร้อนที่ 2.5 m/s



รูปที่ 4.5 ผลกระทบของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดีปลี ที่อุณหภูมิอากาศร้อน 80 90 และ 100 °C ความเร็วรอบของถังหมุนที่ 9 rpm และความเร็วอากาศร้อนที่ 2.5 m/s

ผลกระทบของการแผ่รังสีอินฟราเรดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดีปลี แสดงดังรูปที่ 4.3 4.4 และ 4.5 เมื่อทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของดีปลีระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อนและการอบแห้งที่ใช้อากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด พบว่าการอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดสามารถลดความชื้นของดีปลีได้เร็วกว่า ทั้งนี้เนื่องจากรังสีอินฟราเรดจะทะลุผ่านเข้าสู่ภายในเนื้อวัสดุ พลังงานบางส่วนจากรังสีอินฟราเรดที่ทะลุเข้าสู่เนื้อวัสดุจะถูกดูดกลืนไว้ซึ่งมีผลทำให้โมเลกุลของน้ำในวัสดุเกิดการสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนของโมเลกุลน้ำจะทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นภายในวัสดุ ดังนั้น น้ำที่อยู่ภายในวัสดุซึ่งได้รับความร้อนก็จะเคลื่อนที่มายังผิวของวัสดุ ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ระเหยมีค่ามากขึ้น

4.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสำหรับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อนและการอบแห้งที่ใช้อากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด แสดงดังตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศร้อนของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อนที่มีต่อความสิ้นเปลืองพลังงาน พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มลดลง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้ใช้กำลังไฟในการทำงานมากขึ้น (ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากขึ้น) แต่การเพิ่มอุณหภูมิก็ทำให้ปริมาณน้ำที่ระเหยมากขึ้นเช่นกัน (ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลง) นั่นแสดงว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่ระเหยส่งผลต่อการลดลงของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่า

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเร็รรอบถังหมุนของเครื่องอบแห้งแบบโรตารี พบว่าเมื่อความเร็วรอบของถังหมุนเพิ่มขึ้น ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากที่ความเร็วรอบของถังหมุนที่สูงขึ้นทำให้ใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณน้ำที่ระเหยมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก จึงส่งผลให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพิ่มสูงขึ้น

ตาราง 4.1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

วิธีการทดลอง	เงื่อนไขการทดลอง				ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg _{water})
	อุณหภูมิอากาศร้อน (°C)	ความเร็วรอบถังหมุน (rpm)	ความเร็วอากาศร้อน (m/s)	กำลังอินฟราเรด (W)	
อบแห้งด้วยอากาศร้อน	80	3	2.5	-	36.58
	90	3			38.43
	100	3			39.52
	80	6			39.75
	90	6			40.86
	100	6			42.32
	80	9			41.63
	90	9			43.85
	100	9			44.39
อบแห้งด้วยอากาศร้อนร่วมกับ การแผ่รังสีอินฟราเรด	80	3	2.5	500	26.77
	90	3			28.21
	100	3			29.95
	80	6			28.64
	90	6			30.72
	100	6			33.89
	80	9			33.56
	90	9			34.98
	100	9			36.12

เมื่อพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อนและการอบแห้งที่ใช้อากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดพบว่า การอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อน มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ในช่วง 36.58-44.39 MJ/kg_{water} ขณะที่การอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ในช่วง 26.77-36.12 MJ/kg_{water} ซึ่งน้อยกว่าการอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อน อยู่ที่ 22.89 % ถึง 36.64 % ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากผลของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ทำให้น้ำที่ระเหยมีค่ามากขึ้น จึงส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลง โดยที่อุณหภูมิอากาศร้อน 80 °C ความเร็วรอบของถังหมุน 3 rpm ความเร็วอากาศร้อน 2.5 m/s และระดับกำลังอินฟราเรด 500 W ให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุด



บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการลดความชื้นและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งตีปลีด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ การอบแห้งตีปลีด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อนและใช้ความร้อนจากอากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด จากการศึกษาพบว่า ในกรณีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนทำให้ปริมาณน้ำที่ระเหยมีค่าเพิ่มมากขึ้น ขณะที่อิทธิพลของความเร็รรอบของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของตีปลีที่อุณหภูมิมอบแห้ง 80 และ 90 °C แต่ที่อุณหภูมิ 100 °C เมื่อความเร็รรอบของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้น พบว่าการลดความชื้นของตีปลีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยที่การอบแห้งตีปลีด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อน มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นสูงสุดที่อุณหภูมิมอบแห้งเท่ากับ 100°C และความเร็วกาศร้อนเท่ากับ 2.5 m/s ความเร็รรอบของถังหมุน 9 rpm สำหรับความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 36.58 MJ/kg_{water} ที่อุณหภูมิมอบแห้งเท่ากับ 80°C ความเร็วกาศร้อนเท่ากับ 2.5 m/s และความเร็รรอบของถังหมุน 3 rpm

การอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นสูงสุดที่อุณหภูมิมอบแห้งเท่ากับ 100°C ความเร็วกาศร้อนเท่ากับ 2.5 m/s ความเร็รรอบของถังหมุน 9 rpm และกำลังโหลดอินฟราเรด 500 W โดยที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุดเท่ากับ 26.77 MJ/kg_{water} ที่อุณหภูมิมอบแห้งเท่ากับ 80°C ความเร็วกาศร้อนเท่ากับ 2.5 m/s และความเร็รรอบของถังหมุน 3 rpm ซึ่งความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด มีค่าน้อยกว่าการอบแห้งแบบโรตารีที่ใช้ความร้อนจากอากาศร้อนอยู่ที่ 22.89 % ถึง 36.64 %

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการเตรียมวัสดุที่ใช้ทดลองให้มีระยะเวลาเหมาะสมกับการทดลองเนื่องจากตีป्लीหากเก็บไว้เป็นเวลานานจะทำให้ผลตีป्लीเกิดการสุกและเสียได้ง่าย

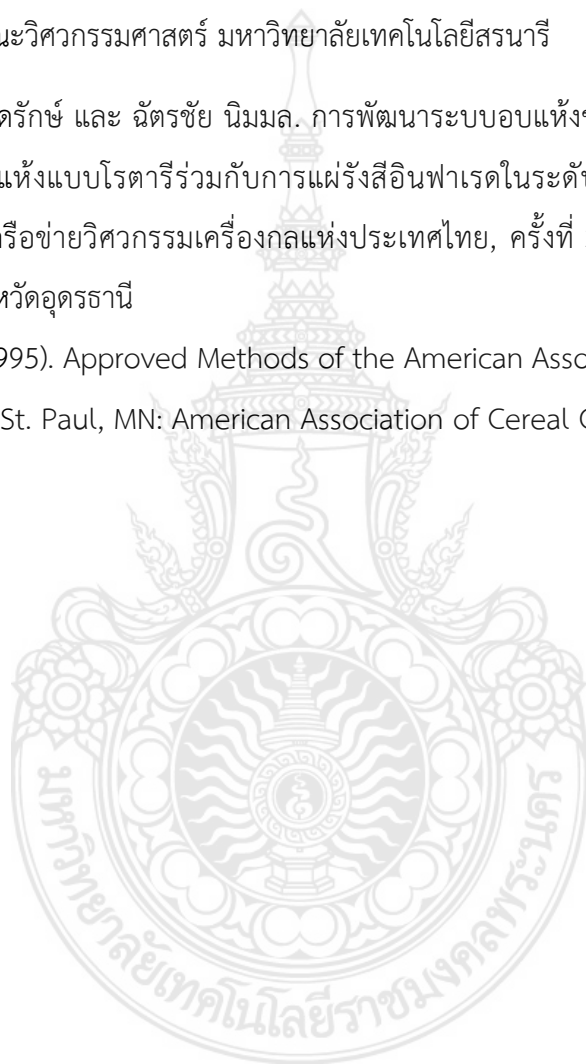


บรรณานุกรม

- [1] ปิยมาศ โสมภีร์ และ วิรุพห์ คำวงศ์. (2558). ระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของดีปลีเพื่อให้ได้ผลผลิตตามมาตรฐานตำรายาสมุนไพรไทย. วารสารวิชาการเกษตร, 33(2), 132-143.
- [2] Revol, D. et., (2001). The design of flights in rotary dryers. Powder Technology, (121), 230–238.
- [3] Firouzi, S. et., (2017). Energy consumption and rice milling quality upon drying paddy with a newly-designed horizontal rotary dryer. Energy, (119), 629–636.
- [4] Ginzburg, A.S. (1969). Application of infrared radiation in food processing: Chemical and Process Engineering Series. Leonard Hill, London.
- [5] Meeso, N. et., (2004). Influence of FIR irradiation on paddy moisture reduction and milling quality after fluidized bed drying. Journal of Food Engineering, (65), 293–301.
- [6] Ratti, C. and Mujumdar, A.S. (1995). Infrared drying. Handbook of Industrial Drying (567-588): Mujumdar, A.S. (Ed.), Marcel Dekker, New York.
- [7] Sandu, C. (1986). Infrared radiative drying in food engineering: A process analysis. Biotechnology Progress, (2), 109–119.
- [8] Hajime, T. et., (2548). เทคโนโลยีการอบแห้งในอุตสาหกรรมอาหาร, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)
- [9] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท, กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [10] ภูมิใจ สอาดโณม (2548). การจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยหอมทองด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไหล, ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] วิเชียร ดวงสีเสน (2555). การศึกษาการอบแห้งกากมันสำปะหลังโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบตะแกรงหมุน, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [12] อัศวิน ยอดรักษ์ และ ฉัตรชัย นิยมล. การพัฒนาระบบอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดในระดับห้องปฏิบัติการ ,การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 33, วันที่ 2-5 กรกฎาคม พ.ศ. 2562, จังหวัดอุดรธานี
- [13] AACC. (1995). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists (9th ed.). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, Inc.



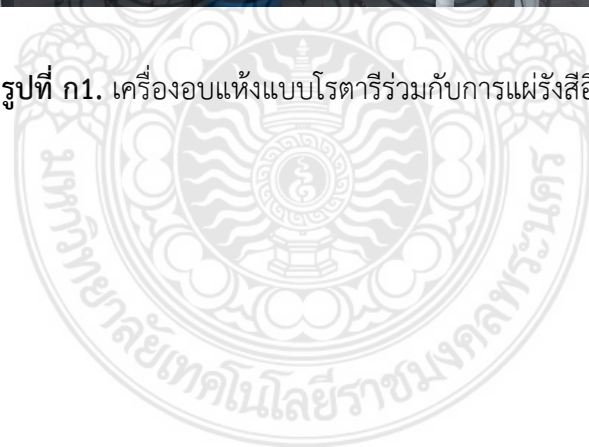
ภาคผนวก ก

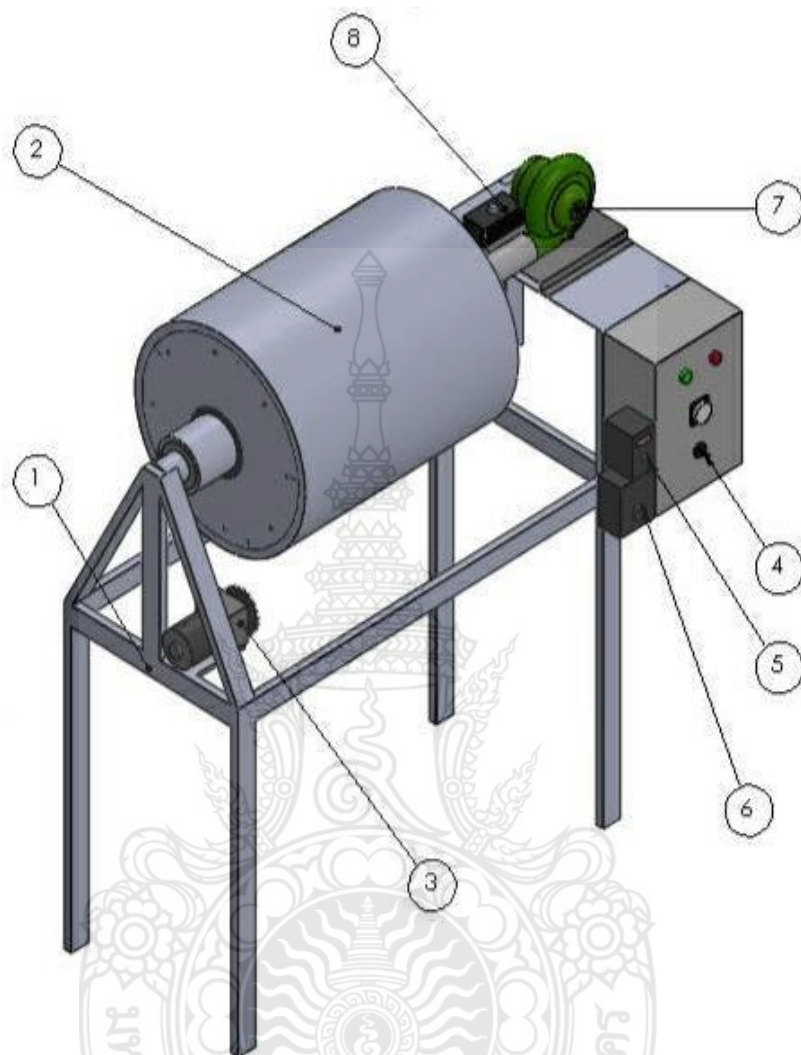
รูปเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด





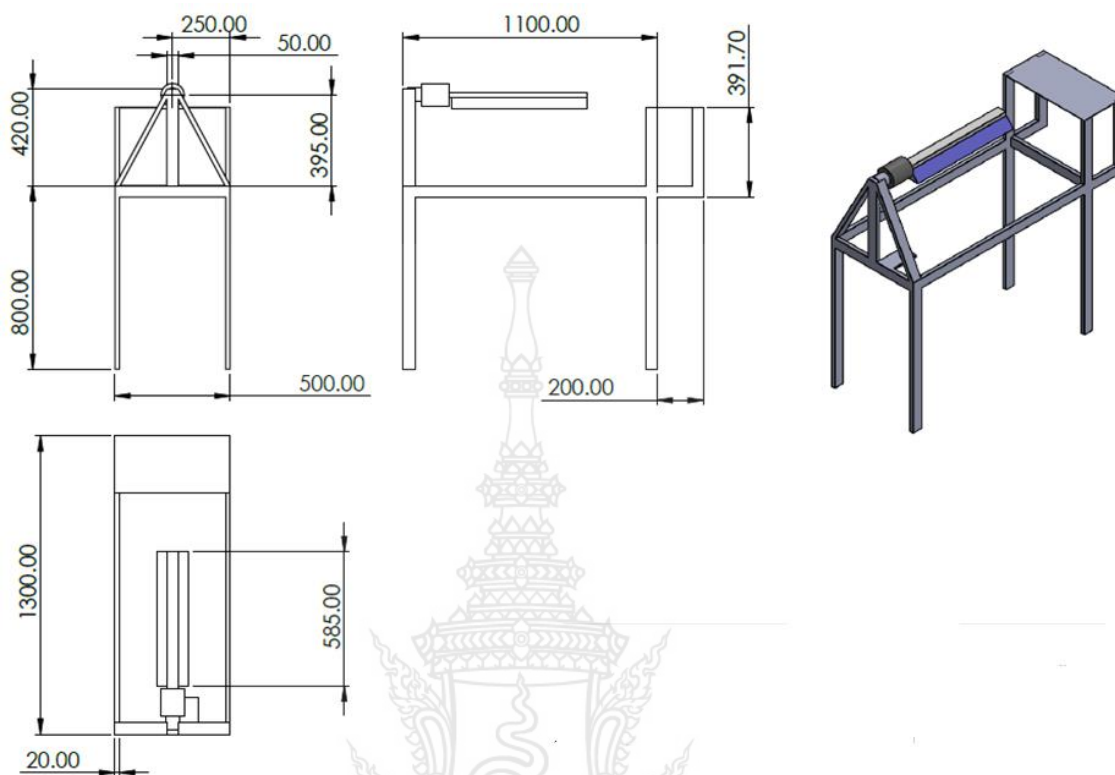
รูปที่ ก1. เครื่องอบแห้งแบบโรตารีรวมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด





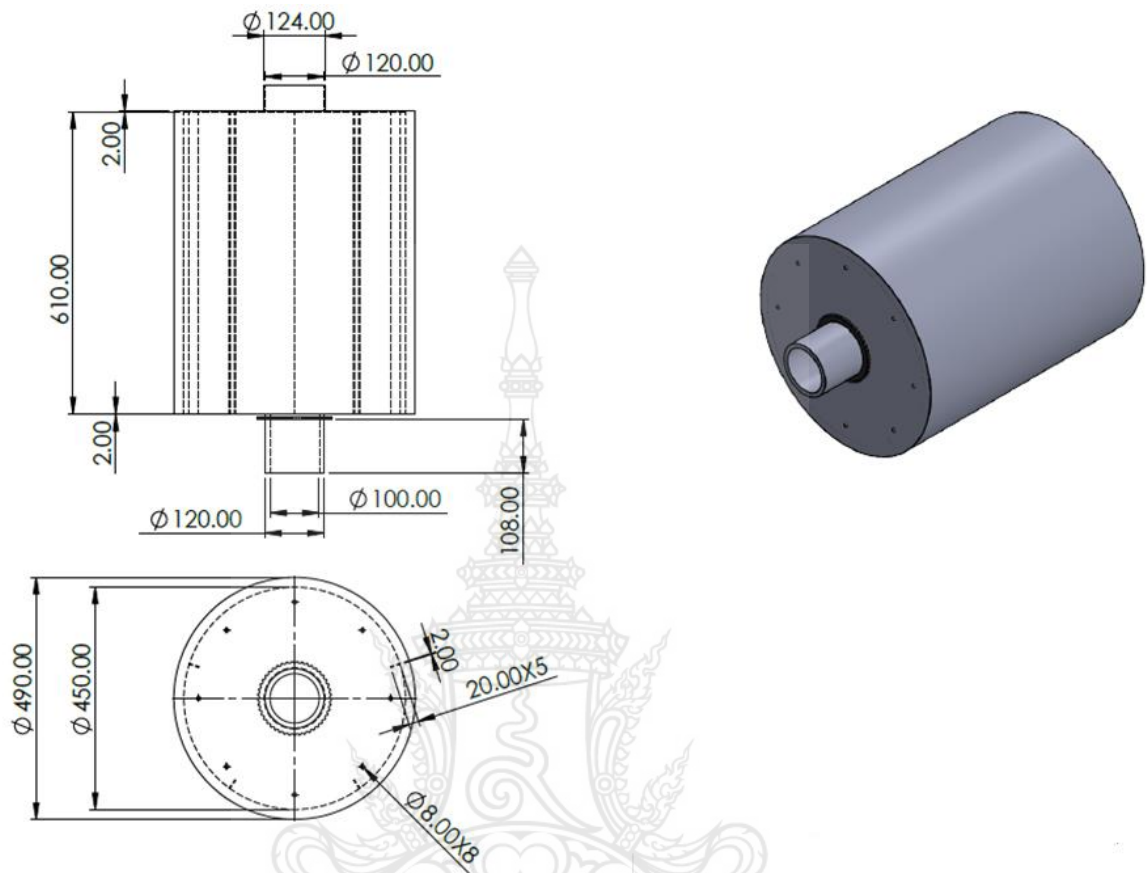
รูปที่ ก2. ภาพ 3 มิติ เครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

- 1) โครงสร้าง 2) ห้องอบแห้ง 3) มอเตอร์ขับเคลื่อนถึงหมุน 4) ตู้ควบคุม 5) อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ 6) อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของหลอดอินฟราเรด 7) พัดลม 8) ชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า



รูปที่ ก3. ขนาดเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด





รูปที่ ก4. ขนาดห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบโรตารีร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด

ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายปฏิวัติ คมวชิรกุล
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Patiwat Khomwachirakul
เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 331130014■■■■
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381ถนนประชากราษฎร์ สาย 1
แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 140
e-mail: patiwat.k@rmutp.ac.th

ประวัติการศึกษา

- ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม
(การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม)
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- ปริญญาเอก ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
- การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ
 - การใช้โปรแกรมช่วยออกแบบ และ โปรแกรมในเชิงวิศวกรรม(CAD/CAE)
 - การวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD)

ประสบการณ์งานวิจัย

การประชุมทางวิชาการ

1. กิตติ สถาพรประสาธน์ และ ปฎิวัติ คมวชิรกุล, 2554, “การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสนร่วมกับการอบแห้งแบบพาหะลม”, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 7, 3 - 5 พฤษภาคม, จังหวัดภูเก็ต
2. Khomwachirakul, P., Devahastin, S., Swasdisevi, T., Soponronnarit, S., 2015. Prediction of particle residence time in an impinging stream dryer via CFD-DEM model. Proceedings of the 8th TSAE International Conference, Bangkok, Thailand, March 17-19, 2015.
3. Khomwachirakul, P., Devahastin, S., Swasdisevi, T., Soponronnarit, S., 2016. CFD simulation of multi-stage drying of parboiled paddy kernels in an impinging stream dryer. Proceedings of the 9th TSAE International Conference, Bangkok, Thailand, September 8-10, 2016.
4. Khomwachirakul, P., Ritthong, W. Numerical study of high-moisture parboiled paddy drying in an impinging stream dryer. Proceeding of the 10th International conference on Sciences, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being, Vientiane, Lao PDR, July 11-13, 2018, pp. 328-333.
5. Ritthong, W., Pachittyen, W., Khomwachirakul, P., Singthuean N. A study performance of split type air-condition system using 5 plus technology. Proceeding of the 10th International conference on Sciences, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being, Vientiane, Lao PDR, July 11-13, 2018, pp. 338-341.

วารสารวิชาการ

1. Khomwachirakul, P., Devahastin, S., Swasdisevi, T., Soponronnarit, S., 2016. Simulation of flow and drying characteristics of high-moisture particles in an impinging stream dryer via CFD-DEM. Drying Technology, No. 4, Vol. 34, pp. 403-419.

2. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายกฤษณ์ อภิญญาวิศิษฐ์

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Krit Apinyavisit

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 19399001●●●●

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงาน สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถนนประชากรราษฎร์ สาย 1

แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800 โทรศัพท์ 02-836-3000 ต่อ 140

e-mail: krit.a@rmutp.ac.th

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปริญญาเอก ปรัชญาคุษฎีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- Drying technology
- Microwave
- Computational simulation

3. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายสุวิทย์ แพงกันยา
 ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Suwit Paengkanya
 เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 345020010■■■■
 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
 หน่วยงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถนนประชาราษฎร์ สาย 1
 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
 โทรศัพท์ 02-882-8543
 e-mail: suwit.p@rmutp.ac.th

ประวัติการศึกษา

- ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน
 มหาวิทยาลัยรามคำแหง
- ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ปริญญาเอก ปรัชญาดุสิตบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
- Drying technology
 - Application of microwave for drying of fruit and vegetable
 - Coating technology