



การเคลือบข้าวสารสีจากพืชสมุนไพรอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

โดย

รัฐศักดิ์ พรหมมาศ
ณิชภา มินาบูลย์

สนับสนุนงบประมาณโดย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2561

The coated rice color from herbs using microwave drying

By

Ratthasak Prommas

Nichapha Minaboon

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2018

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัย การเคลือบข้าวสารสีจากพืชสมุนไพรอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ นี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีนั้น

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การส่งเสริมและสนับสนุนการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อใช้ประกอบการวิจัยด้วยดีเสมอมา

คณะผู้จัดทำ
มีนาคม 2562



บทคัดย่อ

รหัสหลักสูตรโครงการ : เลขที่สัญญา A 31 /2561

ชื่อโครงการ : การเคลือบข้าวสารสีจากพืชสมุนไพรอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ชื่อนักวิจัย : ผศ. ดร. รัฐศักดิ์ พรหมมาศ และนางสาวณิชาภา มินาบุลย์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองข้าวซุบสีสมุนไพรอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าข้าวสารและเพิ่มความหลากหลายแก่ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าว เนื่องจากประเทศไทยมีการทำอาชีพเกษตรกรรมเพาะปลูกข้าวเป็นส่วนใหญ่ อีกทั้งคนไทยส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักและผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมสมุนไพรซึ่งมีคุณประโยชน์และเกี่ยวข้องกับคนไทยมาโดยตลอด ซึ่งข้าวซุบสีสมุนไพรจะเป็นทางเลือกอีกหนึ่งทางเลือกให้ผู้บริโภค ในการศึกษาทำข้าวซุบสีสมุนไพรได้ใช้สมุนไพรทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ สีมันชัน สีอัญชัน และสีกระเจี๊ยบแดง การทำข้าวสารซุบสีสมุนไพรทำโดยการนำข้าวสารขาวผ่านน้ำสีสมุนไพรและการแช่น้ำสีสมุนไพรใช้เวลา 1, 3 และ 5 min ข้าวสารที่ผ่านการซุบสีสมุนไพรมีความชื้นเปลี่ยนไปอยู่ในช่วงระหว่าง 18-22 %wb แล้วทำการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟเพื่อลดความชื้นข้าวสารที่ผ่านการซุบสีสมุนไพร อบแห้งโดยใช้กำลังไมโครเวฟที่ 80, 240 และที่ กำลัง 400 W ใช้เวลาการอบแห้ง 10, 6 และ 5 min เมื่อผ่านการอบแห้งที่ กำลังไมโครเวฟ 80 W ความชื้นสุดท้ายของข้าวซุบสีสมุนไพรหลังการอบอยู่ในช่วง 9-13 %wb อบแห้งที่ กำลังไมโครเวฟ 240 W ความชื้นสุดท้ายของข้าวซุบสีสมุนไพรหลังการอบอยู่ในช่วง 7-11 %wb อบแห้งที่ กำลังไมโครเวฟ 400 W ความชื้นสุดท้ายของข้าวซุบสีสมุนไพรหลังการอบอยู่ในช่วง 4-8 %wb สำหรับการหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะพบว่าการอบแห้งที่ กำลังไมโครเวฟ 80, 240 และ 400 W มีค่า 83.81, 35.67 และ 35.24 MJ/kg ของน้ำระเหย ตามลำดับ

คำสำคัญ : สีสมุนไพร, ข้าวสมุนไพร, การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

E-mail Address : ratthasak.pro@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม พ.ศ. 2560 – มีนาคม พ.ศ. 2562

Abstract

Code of Project : A 31 /2561
Project name : The coated rice color from herbs using microwave drying
Researcher name : Assist. Prof Dr.Ratthasak Prommas and Mss Nichapha Minaboon

This paper presents the experimental study of drying rice soaking in Thai herb with microwave. The purpose is to increase the value of rice and the variety of products made from rice because. Thailand is a rice farmer. Most Thai people prefer to consume rice as the main food, and most consumers prefer herbs that are beneficial and associated with the Thai people for a long time, where herbal rice is another choice for consumers. In the experiment, herb color 3 type were Turmeric color (yellow), Butterfly pea color (blue) and Rosella color (red). The rice was dipped in herbal juice and soaked in water for 1, 3 and 5 min. The moisture content was changed between 18-22 %wb. Then microwave drying was performed to reduce the moisture content of the treated rice. Drying with microwave power at 80, 240 and 400 W. Drying time was 10, 6 and 5 min. after 80 W microwave drying. The final moisture content of the treated rice was 9-13 %wb, microwave oven 240 W. the final moisture content of rice after baking was 7-11 %wb, microwave oven 400 W. the final moisture content of rice after drying was 4-8 %wb. for the specific energy consumption 80, 240 and 400 W microwave drying were 83.81, 35.67 and 35.24 MJ/kg of water evap., respectively.

Keywords: Herb color, Rice herb, Microwave Drying

E-mail Address : ratthasak.pro@rmutr.ac.th
Period of project : September 2017 – March 2019

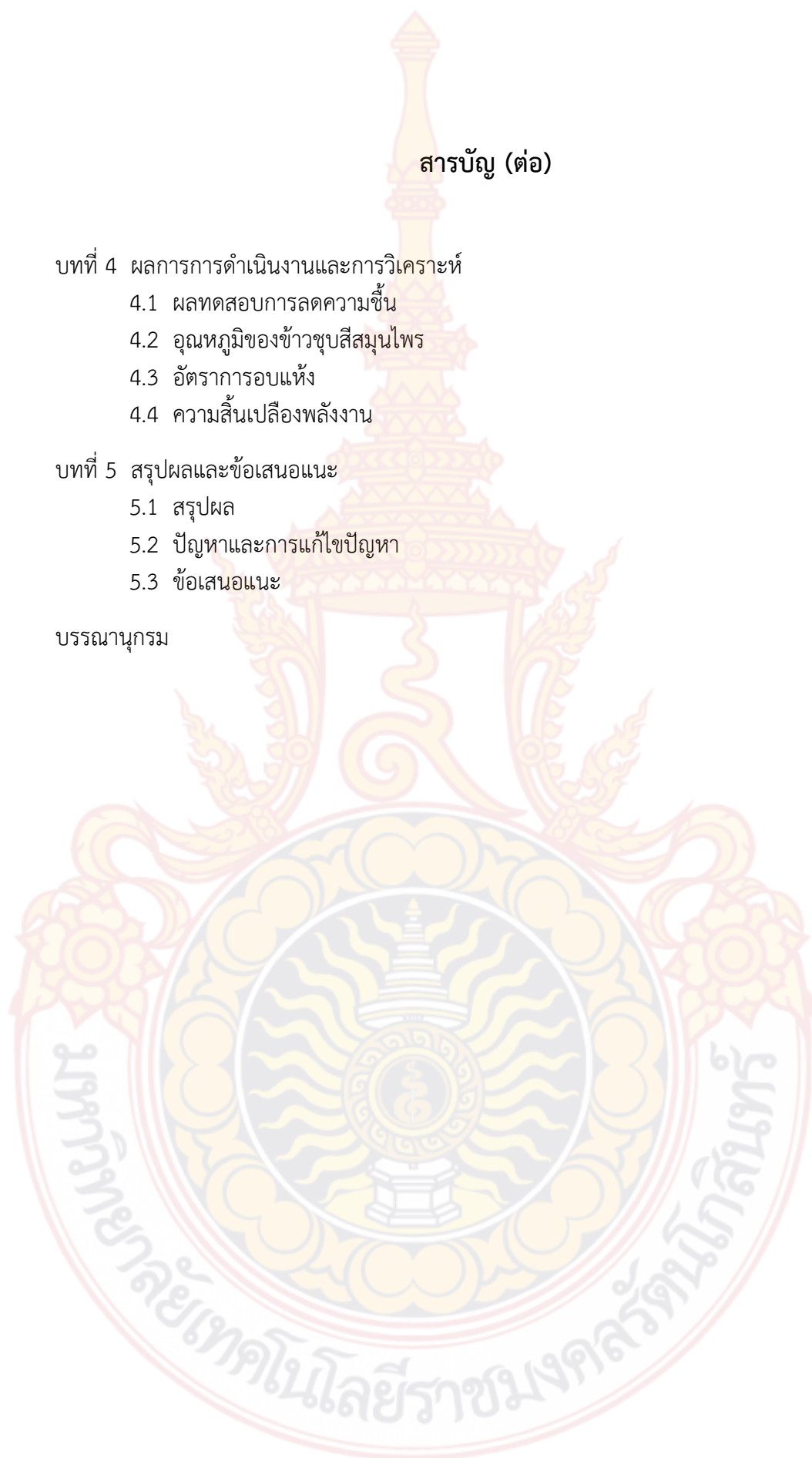
สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนการดำเนินการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว	4
2.2 สมุนไพร	6
2.3 การแช่เมล็ดหรือการแช่ข้าว	7
2.4 ความรู้พื้นฐานการทำแห้ง	8
2.5 ความชื้น	11
2.6 การถ่ายเทความร้อนและมวล	12
2.7 การอบแห้งข้าว	12
2.8 เครื่องอบไมโครเวฟ	13
2.9 การประเมินสมรรถนะการอบแห้งข้าวสารหุงสุกสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟ	18
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	22
3.1 วัสดุ	23
3.2 อุปกรณ์	23
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	31
4.1 ผลทดสอบการลดความชื้น	31
4.2 อุณหภูมิของข้าวซูปสีสมุนไพรร	47
4.3 อัตราการอบแห้ง	48
4.4 ความสิ้นเปลืองพลังงาน	50
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผล	57
5.2 ปัญหาและการแก้ไขปัญหา	58
5.3 ข้อเสนอแนะ	58
บรรณานุกรม	59



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	แผนการดำเนินการ	3
4-1	การเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ	50
4-2	กรณีศึกษาการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบข้าวซุบสีสมุนไพรโดยการใช้ชามน้ำสีสมุนไพร	52
4-3	กรณีศึกษาการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบข้าวซุบสีสมุนไพรโดยการใช้ชามน้ำสีสมุนไพร 1 min	53
4-4	กรณีศึกษาการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบข้าวซุบสีสมุนไพรโดยการใช้ชามน้ำสีสมุนไพร 3 min	54
4-5	กรณีศึกษาการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบข้าวซุบสีสมุนไพรโดยการใช้ชามน้ำสีสมุนไพร 5 min	55



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว	4
2-2 การเคลื่อนของความชื้นออกจากชั้นอาหารระหว่างการทำแห้ง	8
2-3 คาบเวลาของกระบวนการอบแห้งและกลไกที่ควบคุมการถ่ายเทมวลสาร	9
2-4 การหมุนตัวของสารที่มีประจุเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟ	14
2-5 วัตถุที่มีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกและการให้ความร้อนแบบเดิม	14
2-6 การเคลื่อนที่ของคลื่นไมโครเวฟผ่านตัวกลาง	18
3-1 ขั้นตอนการดำเนินการ	22
3-2 สีสมุนไพรมงสำเร็จรูป ยี่ห้อสมุนไพรรักษาพระจันทร์	23
3-3 เต้าอบไมโครเวฟ	24
3-4 ตู้อบลมร้อน	24
3-5 ถาดวางข้าวซุบสีสมุนไพรมองสำเร็จรูปในการอบด้วยเต้าไมโครเวฟ	25
3-6 ถ้วยผสมสีสมุนไพรมองสำเร็จรูป	25
3-7 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล	26
3-8 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (moisture analysis)	26
3-9 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด (infrared thermometer)	27
3-10 แคลมป์มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล	27
3-11 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิข้าวซุบสีสมุนไพรมองสำเร็จรูป	29
4-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรมองสำเร็จรูปด้วยลมร้อน	32
4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีซึ่มชื้นที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ	33
4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีอัญชันที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ	35
4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีกระเจี๊ยบที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ	36
4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรมองสำเร็จรูป โดยการซาว อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ	38
4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรมองสำเร็จรูป โดยการแช่ 1 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ	40
4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรมองสำเร็จรูป โดยการแช่ 3 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ	43
4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรมองสำเร็จรูป โดยการแช่ 5 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ	45

4-9 ข้าวชุบสีสมุนไพรมะพร้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ



สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และคำย่อ

M_w	ความชื้นมาตรฐานเปียก, %wb
M_d	ความชื้นมาตรฐานแห้ง, %db
W	พลังงานไฟฟ้า, kWh
P	กำลังไฟฟ้า, kW
t	เวลา
w	มวลเปียกของวัสดุ
d	มวลแห้งของวัสดุ
w_i	น้ำหนักวัสดุก่อนอบ
w_f	น้ำหนักวัสดุหลังอบ
$\tan \delta$	Loss tangent
ϵ'	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก
ϵ''	แฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กตริก



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวประมาณ 64.57 ล้านไร่ พันธุ์ข้าวที่เกษตรกรปลูกมากที่สุด ในฤดูนาปีคือข้าวขาวดอกมะลิ 105 หรือข้าวหอมมะลิ เพราะพื้นที่เพาะปลูกข้าวของไทยส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่น้ำฝนไม่มีชลประทานโดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและข้าวหอมมะลิเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศทำให้มีราคาสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ พื้นที่เพาะปลูกข้าวหอมมะลิในปี 2554 มีประมาณ 24.19 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 34.54 ของพื้นที่ปลูกข้าวในฤดูนาปี แต่เมื่อมองในแง่การผลิตจะพบว่าผลผลิตข้าวทั้งหมดในฤดูนาปีรวม 25.74 ล้านตัน เป็นผลผลิตข้าวหอมมะลิ 7.72 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 29.99 ของผลผลิตข้าวทั้งประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) ผู้บริโภคส่วนใหญ่ในประเทศไทยบริโภคข้าวหอมมะลิเป็นอาหารหลัก เนื่องจากมีความหอมนุ่ม รสชาติอร่อยและเป็นอาหารหลักที่คนไทยส่วนใหญ่บริโภคเป็นประจำ

นอกจากการรับประทานข้าวหอมมะลิโดยตรงแล้วยังมีการใช้ประโยชน์จากการแปรรูปผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าของข้าวหอมมะลิ ซึ่งมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น การผลิตแป้งข้าวกล้องหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบและนึ่ง สำหรับประเทศไทยยังมีความพยายามที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากข้าวทั้งนี้เพื่อเพิ่มมูลค่าของข้าว สามารถสร้างรายได้ให้กับกลุ่มผู้ที่สนใจหรือทำเป็นอุตสาหกรรมชุมชนเสริมสร้างรายได้ และเนื่องด้วยประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสมุนไพรท้องถิ่นหลากหลาย ส่วนใหญ่สามารถหาได้ง่าย ตามท้องตลาดทั่วไปก็มีผลิตภัณฑ์สมุนไพรหลายชนิด จึงนำสมุนไพรสามัญของไทยหลายชนิดมาแต่งเติมในด้านสีกลิ่นของข้าวหอมมะลิเพิ่มความน่ารับประทานของข้าวหอมมะลิ จะเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยเพิ่มมูลค่าตลอดจนเพิ่มความหลากหลายแก่ผลิตภัณฑ์ และข้าวสีสมุนไพรจะเป็นทางเลือกหนึ่งให้แก่ผู้บริโภค

ในการทดลองการทำข้าวสีสมุนไพร ได้นำเอาน้ำสีจากสมุนไพร 3 ชนิด มาใช้ในขั้นตอนการชุบสีข้าวหอมมะลิ แล้วนำข้าวที่ชุบสีสมุนไพรแล้วมาอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งคลื่นไมโครเวฟ จึงต้องศึกษาหาความเหมาะสมของแต่ละปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทดลอง เพื่อที่จะหาความเหมาะสมในการทำข้าวสีสมุนไพร

1.2 วัตถุประสงค์

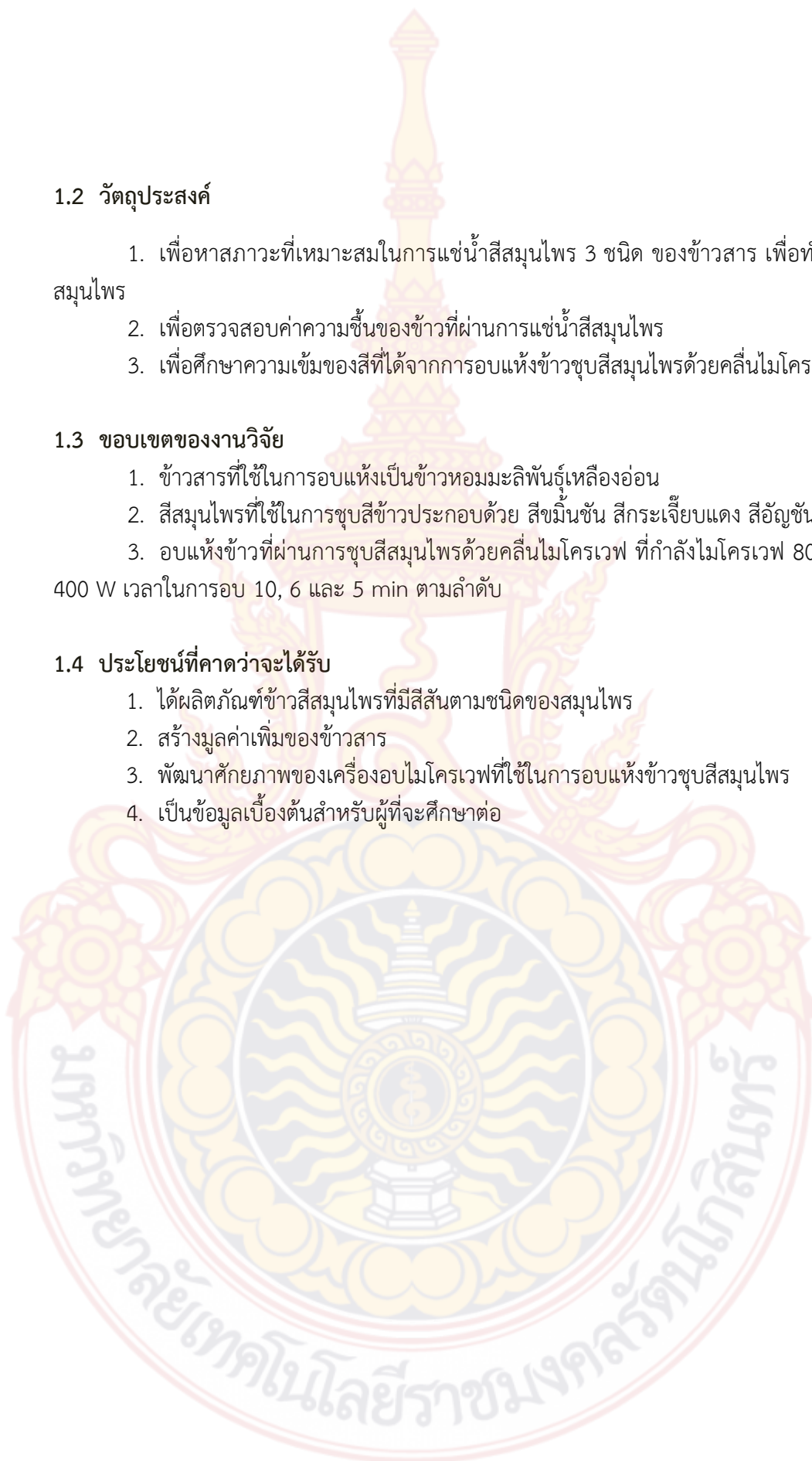
1. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการแช่น้ำสีสมุนไพร 3 ชนิด ของข้าวสาร เพื่อทำเป็นข้าวสีสมุนไพร
2. เพื่อตรวจสอบค่าความชื้นของข้าวที่ผ่านการแช่น้ำสีสมุนไพร
3. เพื่อศึกษาความเข้มของสีที่ได้จากการอบแห้งข้าวชุปสีสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ข้าวสารที่ใช้ในการอบแห้งเป็นข้าวหอมมะลิพันธุ์เหลืองอ่อน
2. สีสมุนไพรที่ใช้ในการชุบข้าวประกอบด้วย สีขมิ้นชัน สีกระเจี๊ยบแดง สีอัญชัน
3. อบแห้งข้าวที่ผ่านการชุบสีสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟ ที่กำลังไมโครเวฟ 80, 240 และ 400 W เวลาในการอบ 10, 6 และ 5 min ตามลำดับ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวสีสมุนไพรที่มีสีสันทตามชนิดของสมุนไพร
2. สร้างมูลค่าเพิ่มของข้าวสาร
3. พัฒนาศักยภาพของเครื่องอบไมโครเวฟที่ใช้ในการอบแห้งข้าวชุปสีสมุนไพร
4. เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับผู้ที่จะศึกษาต่อ



1.5 แผนการดำเนินการ


โครงการวิศวกรรมนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองในการอบแห้งข้าวชุปสีผสมไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟมีระยะการดำเนินงานเริ่มต้นเดือนตุลาคม 2560 ถึงเดือนกันยายน 2561 ซึ่งมีแผนการดำเนินการดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2560		2561										
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. ศึกษาทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำข้าวชุปสีผสมไพร													
2. เตรียมวัสดุและอุปกรณ์													
3. ตรวจสอบการทำงาน													
4. ทำการทดลอง													
5. ปรับปรุงและแก้ไข													
6. สรุปและเขียนรายงานผลการวิจัย													

หมายเหตุ

 แผนการดำเนินงาน

 การดำเนินงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิศวกรรมนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองในการอบแห้งข้าวหุบสีสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อลดความชื้นให้กับข้าวที่ผ่านการหุบสีสมุนไพรร ต้องอาศัยหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการทำข้าวหุบสีสมุนไพรรโดยประกอบด้วยทฤษฎีและหลักการต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

2.1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าวเปลือก

ข้าวเป็นพืชในตระกูล Gramineae มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Oryza sativa*.L. เป็นอาหารหลักสำคัญของชาวเอเชีย เมล็ดข้าวหรือข้าวเปลือก (Round rice or Raddy) เป็นส่วนผลของต้นข้าวอาจจำแนกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้



ภาพที่ 2-1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว (กองวิจัยและพัฒนาข้าว, 2559)

2.2.1.1 เปลือกนอกหรือแกลบ

เปลือกนอกหรือแกลบ (Hull) เป็นส่วนที่หุ้มอยู่ภายนอก ช่วยป้องกันเมล็ดจากการทำลายภายนอกเนื่องจากการอัดตัวระหว่างเปลือกกับส่วนที่อยู่ภายใน

2.2.1.2 ส่วนที่บริโภคได้หรือข้าวกล้อง

ส่วนที่บริโภคได้หรือข้าวกล้อง (Caryopsis, Brown rice, Dehulled rice, Husked rice, Orcargo rice) แบ่งออกเป็นชั้นต่างๆ ดังนี้

1. เยื่อหุ้มผล (Pericarp) เป็นส่วนผิวนอกของข้าวกล้องที่พัฒนามาจากรังไข่ของดอกข้าว มีความหนาประมาณ 10 μm และมีท่ออาหารอยู่ทางด้านหลังของเมล็ด (dorsal) อาจมีสารสีอยู่ เช่น ข้าวแดง หรือข้าวเหนียวดำ

2. เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed coat or Tegmen) เป็นเซลล์ชั้นเดียว หนาประมาณ 0.5 μm ส่วนนี้อุดมด้วยโปรตีน ไขมัน เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) สารสีที่เกิดกับข้าวกล้องจะอยู่ในส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดเช่นกัน

3. ชั้นออลูโรน (Aleurone layer) ประกอบด้วยเซลล์ 1-7 ชั้น ข้าวเมล็ดสั้นและป้อมมักมีจำนวนชั้นของออลูโรนมากกว่าข้าวเมล็ดเรียวยาว และภายในเมล็ดเดียวกันด้านหลังของเมล็ด (Dorsal) ที่อยู่ตรงข้ามกับคัพภะ (Embryo) มักมีจำนวนชั้นออลูโรนมากกว่าด้านท้องของเมล็ด (Ventral) ภายในเซลล์ออลูโรนอุดมไปด้วยโปรตีนและไขมัน ผนังเซลล์ประกอบด้วยโปรตีนเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสดังนี้ เมื่อบริโภคข้าวกล้องจึงรู้สึกสากระด้างกว่าข้าวสาร

4. คัพภะ (Embryo) คัพภะของข้าวมีขนาดเล็กมากอยู่ตรงปลายของเมล็ดด้านท้อง ส่วนนี้จะเจริญเป็นต้นอ่อนต่อไป ภายในคัพภะอุดมไปด้วยโปรตีน ไขมัน นอกจากนี้ส่วนเยื่อออลูโรนและคัพภะยังอุดมไปด้วยวิตามินเช่น B1 (Thiamine) B2 (Riboflavin) และไนอาซิน (Niacin) ซึ่งวิตามินส่วนนี้จะถูกขัดออกไปเมื่อผ่านกระบวนการสีข้าว และคงเหลืออยู่ในข้าวสารน้อยมาก

5. เอนโดสเปิร์ม (Endosperms) คือส่วนที่เป็นข้าวสาร ในส่วนของเอนโดสเปิร์มนี้มีแบ่งเป็นองค์ประกอบหลัก แบ่งข้าวมีรูปร่างเป็นทรงผลึกหลายเหลี่ยม (Polygonal) ขนาด 2-10 μm อยู่รวมกันเป็นกลุ่มแป้ง (Starch compound) กลุ่มแป้งหลายๆ กลุ่มจะอยู่รวมกันในเซลล์โดยมีกลุ่มโปรตีน (Protein body) แทรกอยู่ กลุ่มโปรตีนเหล่านี้มีขนาด 1-4 μm และมีอยู่หนาแน่นตรงบริเวณผิวของเมล็ดข้าวสาร ภายในเมล็ดข้าวสารมีแป้งอยู่ประมาณ 84-93% โดยน้ำหนักแป้งและโปรตีนประมาณ 5-14% แป้งข้าวประกอบด้วย

ก. อมิโลเปคติน (Amylopectin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลกลูโคส (Glucose) จำนวนมาก และมีโครงสร้างเชื่อมต่อกันแบบเป็นกิ่งก้านสาขา (Branched chain) เมื่อย้อมสีด้วยน้ำยาไอโอดีนจะเป็นสีน้ำตาลแดง (Red brown) เมื่อทำให้สุก (Gelatinized) ในน้ำเดือดค่อนข้างคงสภาพเดิมได้นานและเป็นส่วนที่ทำให้ข้าวสุกติดกัน

ข. อมิโลส (Amylose) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคสจำนวนมาก แต่มีโครงสร้างต่อกันเป็นแนวยาว (Linear chain) เมื่อย้อมสีด้วยน้ำยาไอโอดีนจะมีสีน้ำเงินเมื่อทำให้สุกในน้ำเดือดและทำให้เย็นจะเกิดกระบวนการคืนตัวเป็นของแข็ง (Retrogradation) ขึ้นทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลง และมีผลให้ข้าวสุกร่วนและแข็งกระด้างมากขึ้น ในแป้งข้าวจะมีอมิโลสเป็นส่วนรอง โดยจะอยู่ปะปนกับอมิโลเปคติน

2.1.2 ข้าวหอมมะลิไทย

ข้าวหอมมะลิไทย หมายถึง “ข้าวกล้องและข้าวขาวที่แปรรูปมาจากข้าวเปลือกเจ้าพันธุ์ข้าวหอม ข้าวหอมที่ผลิตในประเทศไทย ซึ่งกรมวิชาการเกษตรและสหกรณ์ ประกาศรับรอง เช่น พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 พันธุ์ กข 15 พันธุ์คลองหลวง 1 ที่มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติขึ้นอยู่กับว่าเป็นข้าวใหม่หรือข้าวเก่า เมื่อหุงเป็นข้าวสุกแล้ว เมล็ดข้าวจะอ่อนนุ่ม” (กรมวิชาการเกษตร, 2544)

ก. ลักษณะของขนาดและเมล็ดข้าวหอมมะลิไทยต้องมีลักษณะและขนาดดังนี้

1. ความยาวเฉลี่ยของข้าวเต็มเมล็ด ที่ไม่มีส่วนใดหักต้องไม่ต่ำกว่า 7.0 mm
2. อัตราส่วนความยาวเฉลี่ยต่อความกว้างของข้าวเต็มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหักต้องไม่ต่ำกว่า

3.2:1

ข. สมบัติทางเคมี

1. ข้าวหอมมะลิไทยต้องมีปริมาณอมิโลส 12.0-19.0 % ที่ระดับความชื้น 14.0 %

2.2 สมุนไพร

สมุนไพรตามพระราชบัญญัติยาหมายถึง ยาที่ได้จากพืช สัตว์ หรือแร่ ซึ่งยังไม่ได้ผสมปรุงหรือเปลี่ยนแปลง เช่น พืชก็ยังเป็นส่วนของราก ลำต้น ใบ ดอก ผล ฯลฯ ซึ่งยังไม่ได้ผ่านขั้นตอนการแปรรูปใดๆ พืชสมุนไพรหมายถึงพันธุ์ไม้ต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้ปรุงหรือประกอบเป็นยารักษาโรคต่างๆ ใช้ในการส่งเสริมสุขภาพร่างกายได้

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกสมุนไพร 3 ชนิดที่หาง่าย นิยมใช้ทั่วไป ให้สีที่แตกต่างกัน มาใช้ในการปรุงแต่งสีข้าว ได้แก่

2.2.1 ขมิ้นชัน (Turmeric : *Curcuma longa* L.)

ลักษณะ : ไม้ล้มลุก อายุหลายปี สูง 30-90 cm เหง้าใต้ดินรูปไข่มีแขนงรูปทรงกระบอกแตกออกด้านข้าง 2 ด้าน ตรงกันข้ามเนื้อในเหง้าสีเหลืองส้ม มีกลิ่นเฉพาะ ใบ เดี่ยว แฉกออกมาเหง้าเรียงเป็นวงซ้อนทับกันรูปใบหอก กว้าง 12-15 cm ยาว 30-40 cm ดอก ช่อ แทงออกจากเหง้า แทรกขึ้นมาระหว่างก้านใบ รูปทรงกระบอก กลีบดอกสีเหลืองอ่อน ใบประดับสีเขียวอ่อนหรือสีนวล บานครั้งละ 3-4 ดอก ผล รูปกลมมี 3 ส่วน

ประโยชน์ทางสมุนไพร : ตำรายาไทยใช้เหง้ารักษาโรคผิวหนังผื่นคัน โดยทำเป็นผงผสมน้ำหรือเหง้าสด ฝนทาน้ำ มีรายงานว่าพบน้ำมันหอมระเหยและสาร Curcumin ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อหนองได้ดี จากการทดลองหาการรักษาโรคผิวหนังพุพองในเด็กพบว่าให้ผลเท่ายาปฏิชีวนะ นอกจากนี้ยังใช้เหง้ารักษาโรคท้องอืด ท้องเฟ้อและแผลในกระเพาะอาหาร โดยใช้ขนาด 250 mg กินครั้งละ 2 เม็ด วันละ 4 ครั้งหลังอาหารและก่อนนอน ฤทธิ์แก้ท้องอืดน่าจะเกิดน้ำมันหอมระเหย ส่วนการเพิ่มน้ำย่อยและขับน้ำดีเกิดจาก ฤทธิ์ของ Curcumin และ P-Tolylcarbinol ทำให้การย่อยอาหารดีขึ้น อาการจุกเสียดลดลง Curcumin ยังสามารถยับยั้งการเกิดก๊าซที่สร้างโดยเชื้อโรคที่ทำให้ท้องเสีย (*Escherichia coli*) แต่ไม่ได้ฆ่าเชื้อ นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์กระตุ้นการหลั่งเมือกในทางเดินอาหาร จึงใช้รักษาแผลในกระเพาะอาหารได้ แต่มีข้อควรระวังคือ Curcumin ในขนาดที่สูงกว่าขนาด

รักษา 2 เท่า ทำให้เกิดแผลในกระเพาะอาหาร (คณะเภสัชศาสตร์ ภาควิชาเภสัชพฤกษศาสตร์, 2535)

2.2.2 กระเจี๊ยบแดง (Roselle : *Hibicus sabdariffa* Linn.)

อยู่ในวงศ์ Malvaceae กลีบรองดอกมีสารสีแดงพวก Anthocyanin จึงทำให้มีสีม่วงแดงเช่น สาร Cyaniding Delphinidin และมีกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น Ascorbic acid, Citric acid, Malic acid และ Tartaric acid กรดเหล่านี้ทำให้กระเจี๊ยบมีรสเปรี้ยว และยังพบวิตามินเอ Pectin และแร่ธาตุชนิดอื่นๆ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม เป็นต้น ใบและยอดอ่อนมีวิตามินเอแคลเซียม และฟอสฟอรัสในปริมาณสูง สรรพคุณทางยา ลดความดันโลหิต ฤทธิ์ไขมันในเลือด ต้านการเกิดพิษต่อตับ ในสาระสำคัญของกลุ่ม Anthocyanins และ Protocatechuic acid ของกระเจี๊ยบสามารถลดความดันเป็นพิษต่อตับของสารพิษได้หลายชนิด ต้านการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2559)

2.2.3 อัญชัน (Butterfly pea : *Clitoria ternatea* Linn.)

อยู่ในวงศ์ Leguminosae มีดอกสีครามแก่ ขาวและม่วงอ่อน ซึ่งจะให้สีจากดอกนิยมใช้ทำเป็นสีผสมอาหาร สีน้ำเงินจากกลีบดอกอัญชันเป็นสีที่ละลายน้ำได้ แต่ไม่คงตัวในสารละลายที่เป็นกรด ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนจะให้สีม่วงแดง การทำให้สารละลายเป็นกรดอ่อนก็ทำได้โดยกรดธรรมชาติที่มี Ascorbic acid ลงไป ด้วยเหตุนี้เองจึงสามารถนำสีน้ำเงินจากดอกอัญชันมาแต่งสีของขนมหรืออาหารตามที่ต้องการ สีน้ำเงินจากดอกอัญชัน จัดเป็นสารกลุ่ม Anthocyanins ประกอบด้วยส่วนของ Aglycon เรียกว่า Delphinidin และส่วนของน้ำตาลที่เป็นน้ำตาล D-glucose ผลของการสร้างพันธะของน้ำตาลที่ตำแหน่งกลุ่ม -OH ต่างกันของ Delphinidin และผลจากการเติม Side chain เช่น Malonyl group และ P-coumaryl group ส่งผลให้สาร Anthocyanins ในสีจากดอกอัญชันมีความหลากหลาย นักวิจัยชาวญี่ปุ่นได้แยกสารเคมีออกจากดอกอัญชันพบว่าสารเคมีที่พบในดอกอ่อนจะมีความหลากหลายมากกว่าในดอกแก่ สารเคมีที่มีรายงานว่าพบในดอกของอัญชัน ได้แก่ Ternatins และ Preternatins สารเคมีจากดอกอัญชันมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่หลายโมเลกุล มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี และสีจากดอกอัญชันเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะเป็น กรด-ด่าง ขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่างไอออนของสารที่ปรากฏอยู่ในสารละลาย ดอกอัญชันเป็นยาบำรุงรักษาดวงตา แก้อาการตาฟาง ตามัว และยังมีคุณสมบัติในการขับปัสสาวะ (จุไรทิพย์, 2559)

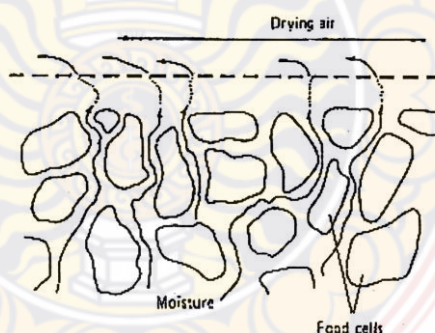
2.3 การแช่เมล็ดหรือการแช่ข้าว

การแช่เมล็ดหรือการแช่ข้าว คือวิธีการแช่เมล็ดในน้ำหรือสารเคมีบางชนิดที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมหลังจากนั้นแล้วลดระดับความชื้นของเมล็ดพันธุ์ลงให้เท่ากับความชื้นตั้งต้นก่อนการแช่เมล็ด การแช่เมล็ดมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์การงอก ความเร็วและความสม่ำเสมอในการงอก การแช่เมล็ดจะสัมพันธ์กับรูปแบบการดูดของน้ำของเมล็ด ซึ่งในเมล็ดพืชทุกชนิดซึ่งในเมล็ดพืชทุกชนิดจะเป็น 3 ระยะคือ ระยะที่ 1 เมล็ดพืชมีการดูดน้ำอย่างรวดเร็ว ลักษณะการดูดน้ำแบบนี้สามารถ

เกิดได้กับเมล็ดต่างๆ ไป ทั้งในเมล็ดที่ตายแล้วหรือเมล็ดที่มีการพักตัว ระยะนี้เมล็ดจะมีการจัดเรียงตัว และซ่อมแซมผนังเมมเบรนของอวัยวะต่างๆ และที่ปลายระยะนี้จะมีการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ระยะที่ 2 เป็นระยะที่เมล็ดจะดูดน้ำอย่างช้าๆ ใช้เวลานานกว่าระยะที่ 1 มีกระบวนการ เมตาบอลิซึมเกิดขึ้น โดยส่วนใหญ่จะเป็นการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิกและเอนไซม์ต่างๆ มีการย่อยสลายของสารโมเลกุลใหญ่และสังเคราะห์ organelle ต่างๆ เพื่อเตรียมการงอก ที่ปลายระยะนี้จะมีการเคลื่อนย้ายสารไปยังจุดเจริญ เพื่อเตรียมพร้อมให้คัพภะงอกทะลุผ่านเปลือกหุ้มเมล็ดได้ ซึ่งเมื่อรากอ่อนแทงทะลุเยื่อหุ้มเมล็ดออกมา จะถือว่ากระบวนการงอกได้สิ้นสุดลง ส่วนระยะที่ 3 ของการดูดน้ำ ถือเป็นระยะระยะการเจริญเติบโตของต้นกล้า ซึ่งในการแช่เมล็ดนั้นจะทำให้เมล็ดมีการดูดน้ำเพียงระยะที่ 1 และ 2 เท่านั้น (Copeland and McDonald, 1995)

2.4 ความรู้พื้นฐานการทำแห้ง

การทำแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นวัสดุ จนถึงระดับที่ระงับหรือชะลอจุลินทรีย์ให้ไม่สามารถเจริญได้เพื่อให้ได้วัสดุรูปทรงที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ด้วยการถ่ายเทความร้อนและมวลสารไปพร้อมๆ กัน การอบแห้งวัสดุโดยทั่วๆ ไปมักจะใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการพาความชื้นออกไปจากวัสดุ (สมชาติ, 2540) ดังนั้นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำแห้งจึง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการไหลของอากาศ สำหรับปรากฏการณ์หลักที่เกิดขึ้นในการทำแห้งอาหารคือ เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศจะถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ดังรูปที่ 2-2



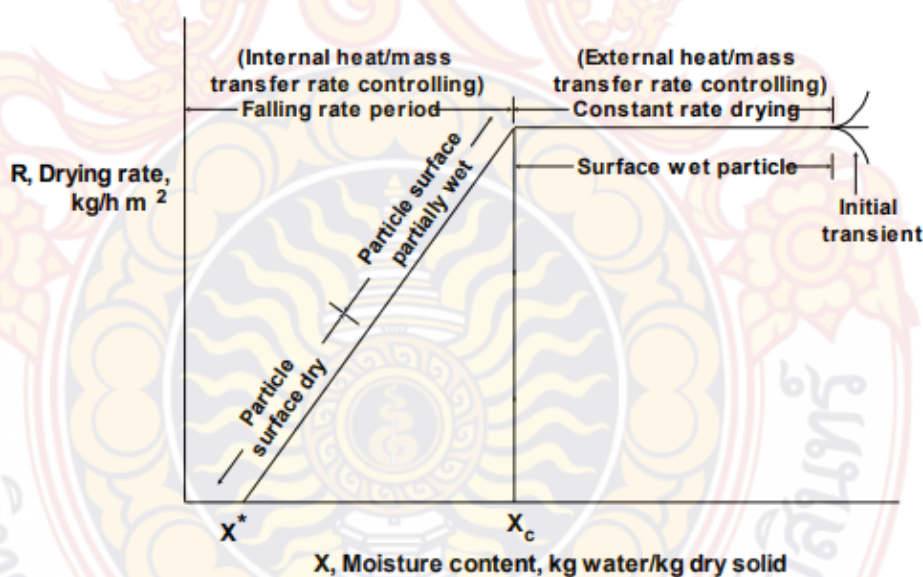
ภาพที่ 2-2 การเคลื่อนของความชื้นออกจากชั้นอาหารระหว่างการทำแห้ง (วิไล, 2543)

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอน้ำที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหารเป็นผลทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูง และค่อยๆ ลดต่ำลงเมื่อ

ชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้งความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันไอน้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้

1. การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลลารี (Capillary)
2. การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่างๆ
3. การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร
4. การแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหารซึ่งเกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำ

การทำแห้งจะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหารเพื่อให้ น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วระเหยออกจากอาหาร การใช้เครื่องอบจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารของอาหารได้อย่างรวดเร็ว โดยการให้กระแสน้ำร้อนเคลื่อนที่ผ่านอาหารการถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า การพาความร้อน ถ้าใช้กำลังงานจากแสงแดดเรียกว่าการตากแห้ง แต่ถ้าใช้พลังงานไฟฟ้า ก๊าซหรือไอน้ำจะเรียกว่าการอบแห้ง การทำแห้งมีประโยชน์หลายด้าน เช่น ป้องกันการเน่าเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์ เก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องใช้ตู้เย็น ทำให้มีใช้ในยามขาดแคลน ลดขนาดและน้ำหนักอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุ เก็บรักษาและขนส่งได้ และความสะดวกในการใช้ (สุคนธ์ชื่น, 2539)



ภาพที่ 2-3 คาบเวลาของกระบวนการอบแห้งและกลไกที่ควบคุมการถ่ายเทมวลสาร (ผดุงศักดิ์, 2551)

กระบวนการอบแห้งสามารถแบ่งออกเป็นสองคาบเวลาหลัก คือ คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Period) อัตราการระเหยของไอน้ำที่ผิวหน้าจะเท่ากับอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำ (ของเหลว) ภายในวัสดุพอรุนที่เต็มเต็มที่ผิวหน้า ช่วงปลายของคาบเวลานี้ความชื้นภายในวัสดุเข้าใกล้ค่าความชื้นวิกฤติ (Critical Moisture Content) โดยค่าความชื้นวิกฤติขึ้นอยู่กับชนิดของ

โครงสร้างและการเกาะตัวของความชื้นในวัสดุ เมื่อความชื้นในวัสดุมีค่าน้อยกว่าค่าความชื้นวิกฤติ กระบวนการอบแห้งจะเข้าสู่คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) โดยปกติคาบเวลานี้กินระยะเวลามากกว่าคาบเวลาที่อัตราการอบแห้งคงที่เมื่ออัตราการอบแห้งมีค่าลดลงเข้าใกล้ศูนย์จะมีความชื้นคงเหลืออยู่ค่าหนึ่ง (มีค่าน้อยมาก) ภายใต้สภาวะการอบแห้ง ค่าความชื้นนี้เรียกว่าค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content) อย่างไรก็ตามจุดสำคัญในภาพที่ 2-3 สามารถอธิบายได้เป็นข้อๆ ดังนี้

1. คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Period) โดยปกติเมื่อวัสดุมีความชื้นสูงมากๆ อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยอิทธิพลภายนอกซึ่งมีผลต่อวัสดุที่นำมาอบแห้ง เช่น อุณหภูมิ ความเร็วของก๊าซ ความดันรวม และความดันย่อยของไอ หากอิทธิพลภายนอกถูกควบคุมให้คงที่ อัตราการระเหยของไอน้ำที่ผิวหน้าจะเท่ากับอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำภายในวัสดุพรมที่มาเติมเต็มของผิวหน้าทำให้มีฟิล์มของเหลวปกคลุมที่ผิวหน้าวัสดุตลอดเวลา ตัวแปรที่ควบคุมกระบวนการอบแห้งในคาบเวลานี้ คือ พลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับตัววัสดุหรือการถ่ายเทมวลสารออกจากวัสดุ

การถ่ายเทมวลสารในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่นี้เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายตัวของความชื้นสู่ผิววัสดุ (Surface Diffusion) เป็นหลัก เป็นที่ทราบกันว่าหากความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำซึ่งถ่ายเทมาจากลมร้อน อุณหภูมิผิวหน้าของวัสดุสามารถประมาณได้ด้วยอุณหภูมิกระเปาะเปียกการคำนวณอัตราการอบแห้งในคาบเวลานี้สามารถทำได้ง่าย โดยปกติการถ่ายเทความร้อนโดยการพา (Force Convection) จะใช้คาบเวลาดังกล่าวในการวิเคราะห์

2. คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period) เมื่อกระบวนการการอบแห้งดำเนินต่อไปเรื่อยๆ จนความชื้นเข้าสู่ความชื้นวิกฤติ (ค่าความชื้นวิกฤตินี้ขึ้นกับความสามารถในการเคลื่อนตัวของความชื้นภายในโครงสร้างวัสดุเป็นสำคัญ) ความชื้นในวัสดุที่เคลื่อนตัวไปยังผิวหน้าภายใต้อิทธิพลการแพร่กระจายตัวของความชื้นสู่ผิววัสดุเริ่มมีไม่เพียงพอต่อปริมาณความชื้นที่ระเหยออกไป ทำให้ฟิล์มของเหลวที่บริเวณผิวหน้าวัสดุเกิดการแยกตัวและเกิดชั้นความแห้งในบางจุด

หลังจากกระบวนการอบแห้งเข้าสู่ค่าความชื้นวิกฤติ กระบวนการอบแห้งก็เข้าสู่คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลงอย่างสมบูรณ์ ในช่วงต้นของในคาบเวลานี้อัตราการอบแห้งโดยรวมเริ่มลดลง บางครั้งเรียกช่วงเวลานี้ว่าคาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะแรก (First Falling Rate Period) เมื่อกระบวนการอบแห้งดำเนินต่อไปจนชั้นของความแห้งก่อตัวขึ้นอย่างสมบูรณ์ที่ผิวของวัสดุและเคลื่อนตัวเข้าสู่เนื้อวัสดุ ช่วงนี้เรียกว่าคาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลงระยะที่สอง (Second Falling Rate Period) การระเหยความชื้นในช่วงนี้เกิดขึ้นที่บริเวณผิวรอยต่อระหว่างชั้นวัสดุแห้ง (ความชื้นในบริเวณนี้ระเหยออกหมด) กับชั้นวัสดุเปียก (เนื้อวัสดุบริเวณที่ยังมีความชื้นอยู่) ซึ่งเรียกว่าผิวการระเหย (Evaporation Front) หรือผิวการอบแห้ง (Drying Front) หรือขอบเขตของการเคลื่อนที่ (Moving Boundary) โดยที่ผิวการระเหยจะเคลื่อนที่ตลอดคาบเวลาของการอบแห้ง การระเหยตัวของความชื้นที่ผิวของการระเหย ณ ตำแหน่งต่างๆ สามารถคำนวณได้จากกฎของเคลวิน (Kelvin's Law)

ในช่วงเวลานี้อัตราการเคลื่อนตัวของมวลสารหรือความชื้นภายในเป็นตัวแปรสำคัญในการควบคุมกระบวนการ คาบเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลงนี้อาจสังเกตได้จากการลดลงอย่างรวดเร็วของ

อัตราการถ่ายเทมวลสารและความดันที่ผิววัสดุอย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติคาบเวลานี้สังเกตได้ยากจากการทดลองเนื่องจากความซับซ้อนของปรากฏการณ์

ช่วงปลายของคาบเวลาอัตราการอบแห้งลดลงระยะที่สองสังเกตได้ว่าความชื้นภายในวัสดุเหลืออยู่เพียงเล็กน้อยและกระจายตัวในช่องว่างหรือรูพรุนขนาดเล็ก ช่วงสุดท้ายของกระบวนการนี้ อัตราการอบแห้งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งในกรณีนี้ความชื้นที่เหลืออยู่เรียกว่าค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content)

2.5 ความชื้น

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเปรียบเทียบกับมวลของวัสดุขึ้นหรือแห้ง ความชื้นของวัสดุสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet-basis)

$$M_w(\%wb) = \frac{(w-d)}{w} \times 100 \quad (2-1)$$

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry-basis)

$$M_d(\%db) = \frac{(w-d)}{d} \times 100 \quad (2-2)$$

เมื่อ

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, %wb, wet basis

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, %db, dry basis

w คือ มวลเปียกของวัสดุ, g

d คือ มวลแห้งของวัสดุ, g

ความชื้นมาตรฐานแห้งเป็นความชื้นที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะช่วยในการคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นผลเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง (สมชาติ, 2535) กล่าวว่าการทดสอบความชื้นผลผลิตทางการเกษตรแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

1. วิธีโดยตรง

การใช้ตู้อบ โดยวิธีอบด้วยลมร้อน (Hot Air method) กรณีแรกเมล็ดพืชจะถูกอบให้ละเอียดอบที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 1-2 hr กรณีที่สอง เมล็ดพืชไม่มีการถูกอบ อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72-96 hr เวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของเมล็ดพืชและมาตรฐานที่ใช้วัด เช่น มาตรฐานของ Association of official Agricultural Chemists (AOAC) หรืออาจใช้ตู้อบสุญญากาศ ซึ่งจะใช้เวลา

ในการอบแห้งหาความชื้นลดลง นอกจากนี้ยังใช้วิธีการกลั่น โดยวิธีการกลั่นที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปคือ วิธีการกลั่นแบบ Brown-Duvel

2. วิธีอ้อม

การหาค่าความชื้นของวัสดุอาจทำได้โดยการวัดคุณสมบัติบางอย่างซึ่งขึ้นอยู่กับความชื้น ได้แก่ ความต้านทานทางไฟฟ้า หรือคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริก (Dielectric) วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถทำได้รวดเร็ว อาจใช้เวลาเพียง 1 min เท่านั้น ข้อเสียคือความชื้นที่หาได้นั้นอาจไม่แม่นยำเท่าที่ควร นอกจากนี้คุณสมบัติเหล่านี้ยังแปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ และความหนาแน่นของการบรรจุได้อีกด้วย เครื่องมือเหล่านี้ควรได้รับการตรวจสอบที่ถูกต้องเป็นครั้งคราว

2.6 การถ่ายเทความร้อนและมวล (Heat and mass transfer)

การกำจัดความชื้นออกจากวัสดุจะมีการถ่ายเทความร้อนและมวลเกิดขึ้นพร้อมกัน การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นภายในภายในโครงสร้างวัสดุและเกี่ยวข้องกับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวของวัสดุและผิวบางจุดภายในวัสดุขณะที่ให้ปริมาณความร้อนจำนวนหนึ่ง ซึ่งเพียงพอต่อการทำให้น้ำระเหยไอที่เกิดขึ้นจะถูกส่งออกจากน้ำภายในวัสดุ ความแตกต่างที่ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของไอน้ำคือความดันไอที่ผิวหน้าเปรียบเทียบกับความดันไอของอากาศที่ผิววัสดุ การถ่ายเทความร้อนและมวลภายในโครงสร้างวัสดุจะเกิดในระดับโมเลกุล โดยที่การถ่ายเทความร้อนจะถูกจำกัดด้วยสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของโครงสร้างวัสดุ และการถ่ายเทมวลเป็นส่วนกับการแพร่กระจายโมเลกุลของไอน้ำในอากาศที่ผิวของวัสดุ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นพร้อมกันและควบคุมด้วยกระบวนการพา การขนถ่ายไอน้ำจากผิววัสดุไปยังอากาศและการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังผิววัสดุจะขึ้นอยู่กับความดันไอน้ำที่มีอยู่ และความแตกต่างของอุณหภูมิตามลำดับ ในวัสดุส่วนใหญ่การถ่ายเทความร้อนและมวลภายในโครงสร้างวัสดุจะเป็นกระบวนการที่ขึ้นอยู่กับระยะเวลา

2.7 การอบแห้งซ้ำ

การแบ่งประเภทตามการอบแห้งตามวิธีการให้ความร้อน สามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้ (สุทธิศักดิ์ , 2543)

1. การให้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากวัสดุ เป็นวิธีการอบแห้งแบบพาความร้อน (Convection drying) เครื่องอบแห้งส่วนมากจะใช้วิธีนี้ เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่สูง ใช้งานง่ายและค่าใช้จ่ายไม่สูงเกินไป

2. การกระจายวัสดุออกเป็นชั้นบางบนพื้นผิวที่ให้ความร้อนเป็นวิธีการอบแห้งแบบการนำความร้อน (Conduction) ไอน้ำจะกระจายตัวสู่บรรยากาศแวดล้อมได้ดี วัสดุแห้งในระยะเวลาอันสั้น แต่การสัมผัสความร้อนโดยตรงอาจทำให้วัสดุเกิดความเสียหายได้

3. วิธีการอบแห้งแบบแผ่รังสี (Radiation drying) เป็นการให้ความร้อนบริเวณรอบห้องอบแห้งโดยวัสดุไม่สัมผัสกับแหล่งความร้อนบางครั้งอาจใช้ระบบดูดไอน้ำออกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพหรือใช้สุญญากาศลดความดัน เพื่อประหยัดพลังงานและความร้อนได้

4. การปรับสภาพความดันละอุนหภูมิ เมื่อให้น้ำในวัสดุเปลี่ยนเป็นของแข็งที่ระดับต่ำกว่าจุดร่วมสถานะ (Triple point) แล้วให้พลังงานความร้อนหรือลดความดันลงจนกระทั่งเกิดการระเหิด น้ำที่เปลี่ยนจากของแข็งกลายเป็นไอโดยตรง เรียกว่า การอบแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze drying) วิธีการนี้จะช่วยรักษาสภาพ และการคืนตัวของวัสดุได้ดีมาก แต่ค่าใช้จ่ายสูงตามไปด้วย

5. การใช้ความดันออสโมซิส ลดปริมาณน้ำในวัสดุ (Osmosis dehydration) ในการแช่วัสดุลงในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า น้ำจะซึมผ่านเมมเบรน (Membrane) ออกมาความเข้มข้นของสารละลายเจือจางลง จนกระทั่งสองด้านเท่ากัน

2.8 เครื่องอบไมโครเวฟ (Microwave dryer)

เทคโนโลยีไมโครเวฟเป็นเทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น งานด้านการสื่อสารคมนาคม ด้านอุตสาหกรรม และใช้งานในครัวเรือน โดยในแต่ละด้านมีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น การสื่อสารคมนาคมจะใช้งานในส่วนของการส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟไปยังเครื่องรับในระบบต่างๆ ที่ความถี่ต่างกัน เช่น สัญญาณวิทยุ สัญญาณโทรทัศน์ สัญญาณโทรศัพท์ เป็นต้น ส่วนในด้านอุตสาหกรรมใช้คลื่นไมโครเวฟในการผลิตความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร อาทิ ธัญพืช ผลไม้ ไม้ดอกไม้ประดับ สมุนไพร การอบแห้งเซรามิก การอบแห้งกระดาษ การอบแห้งพลาสติก ฯลฯ เป็นต้น ส่วนการประยุกต์ใช้งานในครัวเรือนคือการผลิตความร้อนสำหรับการประกอบอาหาร ซึ่งในงานวิจัยการทำข้าวซุบสีสมุนไพรได้ใช้เครื่องอบไมโครเวฟอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นเมล็ดข้าวที่ผ่านกระบวนการซุบสีสมุนไพร ความรู้พื้นฐานทางด้านไมโครเวฟมีดังนี้

2.8.1 การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

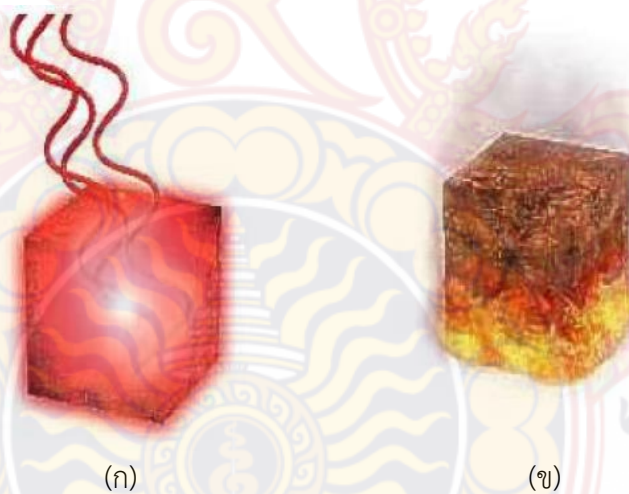
2.8.1.1 หลักการทำงาน

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกทำงานโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ส่งผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ สนามของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนอิสระในสารละลายซึ่งเกิดการเสียดสีกันของไอออนเหล่านี้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นนอกจากนี้ยังทำให้สารประกอบที่มีขั้ว เช่น น้ำเกิดการเรียงตัวตามการหมุนกลับไปกลับมาอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุลน้ำ ทำให้เกิดความร้อนขึ้น (Mujumdar, 2000; สายสนม, 2543) และเป็น การเกิดความร้อนขึ้นกันพร้อมกันทั้งปริมาตร (Volumetric heating) (Raghavan et al., 2005) วัสดุที่สามารถใช้การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกได้จะต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับวัสดุที่ไม่ตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น อากาศ เทฟลอน หรือแก้ว จะไม่สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นได้ โดยคลื่นจะผ่านทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุโดยไม่เกิดความร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงใดๆ ส่วนวัสดุที่เป็นโลหะจะมีคุณสมบัติสะท้อนคลื่นจึงไม่สามารถเกิดความร้อนได้เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกเป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากการถ่ายเทพลังงานเป็นความร้อนเกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุโดยตรง ทำให้เกิดการระเหยของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างรวดเร็วและมีการกระจายตัวของอุณหภูมิสม่ำเสมอ สามารถลดการเกิดรอยร้าวและรอยไหม้ของผลิตภัณฑ์ได้ (นพวรรณและคณะ, 2549) ซึ่งแตกต่างจากการให้ความร้อนแบบเดิมที่

ใช้เชื้อเพลิงหรือขดลวดไฟฟ้าให้ความร้อนกับอากาศ ที่การถ่ายเทความร้อนจะอาศัยการพาของอากาศร้อนหรือการแผ่รังสีจากแหล่งความร้อนเป็นหลัก ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปที่ผิวของวัสดุ ก่อน จากนั้นจึงจะค่อยเกิดการนำความร้อนจากผิวนอกของวัสดุเข้าไปสู่ภายใน (Mujumdar, 2000) (ภาพที่ 2-5)



ภาพที่ 2-4 การหมุนตัวของสารที่มีประจุเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟ (ยุทธพงศ์และคณะ, 2548)



ภาพที่ 2-5 วัสดุที่มี (ก) การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกและ (ข) การให้ความร้อนแบบเดิม (ผดุงศักดิ์, 2551)

2.8.1.2 สมบัติไดอิเล็กตริกของอาหาร (สายสนม, 2543)

องค์ประกอบของอาหารเป็นปัจจัยที่ทำให้อาหารแทบทุกชนิดมีสมบัติเป็นไดอิเล็กตริก แต่จะดูดซับไมโครเวฟได้แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อไปนี้คือ

1. องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร พบว่าปริมาณน้ำและเกลือแร่รวมถึงรูปแบบของน้ำที่เป็นส่วนประกอบในอาหารนั้นจะมีความสำคัญต่อการดูดซับคลื่นไมโครเวฟ น้ำที่อยู่ในรูปอิสระ (Free water) จะทำให้ดูดซับได้ดีกว่าน้ำที่อยู่กับสารประกอบอื่น เช่น โปรตีน หรือคาร์โบไฮเดรต เช่นเดียวกับเกลือแร่ถ้าอยู่ในรูปที่แตกตัว (Dissociated) จะทำให้อาหารนั้นดูดซับไมโครเวฟได้ดีกว่าเกลือที่อยู่ในรูปรวมตัวกับสารอื่น (Associated)

2. ลักษณะทางกายภาพของอาหาร เมื่อขึ้นอาหารถูกทำให้ร้อนอาหารที่มีขนาดเหมือนกันหรือใกล้เคียงกันจะร้อนขึ้นอย่างสม่ำเสมอและขนาดของขึ้นอาหารที่เล็กกว่าจะต้อง การพลังงานที่น้อยกว่าขนาดที่ใหญ่กว่า นอกจากนี้รูปร่างหรือลักษณะสัณฐานของอาหารก็มีความสำคัญ โดยการให้ความร้อนมากเกินไปสามารถเกิดขึ้นได้ในอาหารที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ส่วนอาหารที่มีรูปร่างกลมมนมีแนวโน้มที่จะร้อนขึ้นอย่างสม่ำเสมอมากกว่าขึ้นอาหารที่มีมุมแหลมหรือมีทั้งส่วนที่หนาและบาง อย่างไรก็ตามทรงกลมหรือผิวที่โค้งคล้ายกับทรงกลม อาจจะมีส่วนตรงกลางที่ร้อนกว่า แต่การให้ความร้อนที่มากเกินไป ไม่สามารถสังเกตได้ในขึ้นอาหารที่มีรัศมีเกิน 0 – 50 mm นอกจากนี้แล้วความหนาแน่นหรือความเป็นเนื้อเดียวกันยังมีผลต่อวิธีที่อาหารเหล่านี้ร้อนขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสม่ำเสมอ อาหารที่แน่นกว่ามีแนวโน้มที่จะใช้เวลานานกว่าอาหารที่มีองค์ประกอบที่เปื้อนและเป็นรูพรุนมากกว่า

3. อุณหภูมิของอาหาร เมื่ออาหารได้รับความร้อนจากไมโครเวฟการเพิ่มของอุณหภูมิจะขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอาหารหลายอย่าง อุณหภูมิเริ่มต้นของอาหารเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดอัตราและเวลาการให้ความร้อน โดยทั่วไปแล้วการให้ความร้อนใดๆ ก็ตาม ถ้าอุณหภูมิเริ่มต้นยิ่งสูงอาหารก็จะยิ่งสุกเร็วขึ้นซึ่งการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟก็เช่นกัน ส่วนปัจจัยสำคัญอื่นๆ ที่มีผลต่ออุณหภูมิคือความร้อนแฝง เช่น น้ำแข็งในอาหารแช่แข็งที่เปลี่ยนไปเป็นน้ำจะต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นปัจจัยทางไดอิเล็กตริก ปัจจัยทางความร้อนของอาหาร

4. ระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ โดยทั่วไปแล้วความถี่ของไมโครเวฟที่ใช้ยิ่งต่ำยิ่งความสามารถในการทะลุทะลวงยิ่งมาก เช่น พลังงานไมโครเวฟที่ความถี่ 915 MHz จะทะลุทะลวงได้ลึกกว่าพลังงานไมโครเวฟที่ความถี่ 2,450 MHz เนื่องจากมีความยาวคลื่นมากกว่า นอกจากนี้ อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 0 C หรืออุณหภูมิต่ำ ความสามารถในการทะลุทะลวงยิ่งสูงขึ้นเมื่อใช้ความถี่เดียวกัน

ซึ่งสมบัติไดอิเล็กตริกของอาหารต่างๆ สามารถแสดงเป็นค่าตัวเลขที่มีความเกี่ยวข้องกับค่าต่างๆ อยู่ 3 ค่าคือ

1. ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant, ϵ') คือ ค่าที่แสดงถึงความสามารถของสารประกอบที่กักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ได้เมื่อนำสารประกอบนั้นไปวางไว้ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ สารใดมีค่านี้สูงก็จะสามารถกักเก็บพลังงานได้สูง ค่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ และปริมาณความชื้นของอาหารนั้นๆ

2. แฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor, ϵ'') คือ ค่าของพลังงานที่สูญเสียไปหรือที่แพร่กระจายไปในสารไดอิเล็กตริก เมื่อนำไปวางไว้ในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าจะสูญเสียไปเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้นในขึ้นของอาหารนั้นๆ ถ้าค่าคงที่นี้สูงแสดงว่าจะเกิดความร้อนขึ้นสูง แต่พลังงานก็จะถูกดูดซับไปอย่างรวดเร็วเมื่อคลื่นไมโครเวฟผ่านเข้าไปในขึ้นอาหารนั้นเพียงระยะสั้นๆ แล้วความร้อนนั้นจะลดลงโดยกระบวนการนำและการพาความร้อนเข้าสู่ภายในขึ้นอาหารร่วมด้วย ดังนั้นอาหารที่มีความหนาและขนาดใหญ่มากๆ การดูดซับไมโครเวฟจะเกิดขึ้นได้เฉพาะผิวหน้าและความร้อนจะเข้าสู่ขึ้นอาหารได้ทั่วถึงก็จะเป็นไปได้ด้วยการนำหรือการพาซึ่งจะต่อใช้เวลานานกว่าอาหารที่มีขนาดเล็กและบาง (สายสนม, 2540)

3. Loss tangent ($\tan \delta$ หรือ Dissipation factor) หมายถึง ลักษณะของการสูญเสียพลังงานของสารนั้นซึ่งคิดออกมาใน รูปของมุมที่แตกต่างไปจาก 90 องศา ในสภาพปกติทั่วไปของ กระแสไฟฟ้า (สายสนม, 2540) ค่านี้จะมีส่วนสัมพันธ์กับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและแฟกเตอร์การสูญเสีย ไดอิเล็กตริก คือ

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (2-3)$$

เมื่อ

$\tan \delta$ คือ Loss tangent

ϵ' คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

ϵ'' คือ แฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กตริก

ในการให้ความร้อนแก่อาหารจะทำให้คลื่นสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไป เราใช้คำว่า loss factor หรือ loss tangent เป็นตัวการชี้บอกการสูญเสียพลังงานไมโครเวฟในการเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปใน อาหารหรือบอกว่าคุณถูกดูดซับไว้ทั้งหมด วัสดุที่ดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้มาก คือ วัสดุที่มีการ เคลื่อนที่ภายในโมเลกุลมากกว่าวัสดุอีกชนิดหนึ่งเรียกลักษณะดังกล่าวว่า ความหลวม (Lossy) ระดับ ความหลวมนี้จะแปรผันกับคลื่นความถี่ อุณหภูมิและคุณลักษณะของวัสดุ ถ้าวัสดุมีความหลวมมาก วัสดุจะดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มาก วัสดุจะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นตามกำลังไมโครเวฟ (วีไล, 2543)

เมื่อไมโครเวฟเคลื่อนที่ผ่านวัสดุไดอิเล็กตริก วัสดุจะถูกดูดซับพลังงานและเปลี่ยนเป็น พลังงานความร้อน พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นเรียกว่าการผลิตปริมาณความร้อนเชิงปริมาตร (local volumetric heat generations) Q ซึ่งปริมาณความร้อนเชิงปริมาตรจะสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าและ สนามแม่เหล็กภายในวัสดุไดอิเล็กตริกดังสมการต่อไปนี้

$$Q = \omega \epsilon_0 \epsilon_r'' |E|^2 + \omega \mu_0 \mu_r'' |H|^2 \quad (2-4)$$

เมื่อ E คือสนามไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง H คือสนามแม่เหล็กเนื่องจากวัสดุ ไดอิเล็กตริกไม่มีสภาพเชิงขั้วทางแม่เหล็ก จึงไม่มีการดูดซับพลังงานจากสนามแม่เหล็ก ดังนั้นสามารถ เขียนสมการใหม่ได้เป็นสมการต่อไปนี้

$$Q = \sigma |E|^2 = \omega \epsilon_0 \epsilon_r'' |E|^2 \quad (2-5)$$

ในระหว่างการแผ่รังสีไมโครเวฟ การเปลี่ยนแปลงเฟสของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วย เวลาจะเร็วมาก ดังนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยรากที่สอง (Root mean square value) ของความเข้ม สนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อประมาณค่าการดูดซับพลังงานไมโครเวฟของวัสดุไดอิเล็กตริก เมื่อสมมติให้ไม่ มีการสูญเสียสนามแม่เหล็กค่าการผลิตปริมาณความร้อนเชิงปริมาตร (Local volumetric heat generations) สามารถแสดงได้ในรูปสมการต่อไปนี้ (ผดุงศักดิ์, 2551)

$$Q = \omega \varepsilon_0 \varepsilon_r'' E^2 = 2\pi \cdot f \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r'' (\tan \delta) E^2 \quad (2-6)$$

จากสมการ (3) ค่าการผลิตปริมาณความร้อนเชิงปริมาตรจะแปรผันตรงกับความถี่ของสนามไฟฟ้า ค่าไดอิเล็กตริกของสเปกเตอร์และค่าสนามไฟฟ้ากำลังสอง นอกจากนั้นยังแปรผันตรงกับค่าไดอิเล็กตริกคอนแสตนท์และค่าประสิทธิภาพการสูญเสียของวัสดุอีกด้วย อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนอุณหภูมิของวัสดุที่เกิดขึ้นยังมีผลจากปัจจัยอื่นๆ อีกเช่น ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Specific heat) และขนาดของวัสดุทดสอบ เป็นต้น

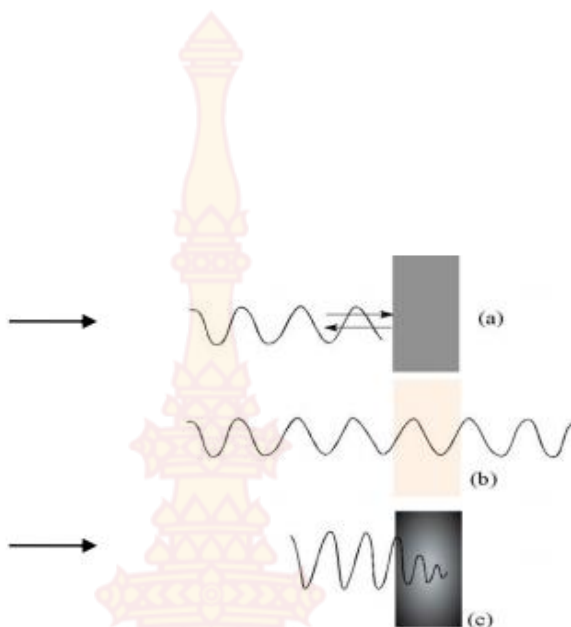
2.8.2 ความถี่ของไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ในช่วง 300 MHz ถึง 300 GHz และมีความยาวคลื่นในช่วง 75 cm ถึง 3 mm ความถี่ช่วงคลื่นดังกล่าวใกล้เคียงกับคลื่นวิทยุและบางส่วนจะเข้าไปคาบเกี่ยวในคลื่นความถี่ของเรดาร์ จึงอาจไปรบกวนเครือข่ายของการติดต่อโทรคมนาคม จึงมีการจัดตั้งสถาบันระหว่างชาติขึ้นมาเป็นผู้ดูแลควบคุมการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ให้เป็นไปอย่างมีระเบียบไม่ก้าวก่ายรบกวนซึ่งกันและกัน สถาบันดังกล่าวคือ International Telecommunication Union (ITU) ได้กำหนดระดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะใช้ประโยชน์ด้านเครื่องมือในงานอุตสาหกรรม งานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และการแพทย์ซึ่งเรียกรวมกันว่า ISM frequencies ซึ่งได้กำหนดระดับความถี่ไว้ที่ 915±25 MHz 2,450±50 MHz 5,000±75 MHz 22,125±125 MHz และได้กำหนดให้ใช้ความถี่ไมโครเวฟ 915 และ 2,450 MHz สำหรับงานให้พลังงานความร้อนในระบบอุตสาหกรรมและการใช้ในครัวเรือน ส่วนความถี่ระดับที่เหลือสงวนไว้ใช้ในการวิจัยและงานอื่น (สายสนม, 2543)

2.8.3 ลักษณะเด่นของคลื่นไมโครเวฟ

เมื่อผ่านคลื่นไมโครเวฟแก้วตฤติบจะเกิดปรากฏการณ์ขึ้น 1 ใน 3 อย่างต่อไปนี้คือ (ชวน, 2546)

1. การสะท้อนกลับ (Reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อไปกระทบกับภาชนะที่เป็นโลหะหรือมีส่วนผสมของโลหะ คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านภาชนะดังกล่าวได้ จะสะท้อนกลับหมด ดังนั้นอาหารที่ใส่ในภาชนะโลหะจะไม่สุก
2. การส่งผ่าน (Transmission) คลื่นไมโครเวฟสามารถจะทะลุผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระดาษ ไม้ เซรามิกและพลาสติกได้ เพราะภาชนะดังกล่าวไม่มีส่วนผสมของโลหะ จึงเป็นภาชนะที่ใช้ได้ดีในเตาไมโครเวฟ
3. การดูดซับ (Absorption) ปกติอาหารโดยทั่วไปจะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำในอาหาร ซึ่งจะดูดซับคลื่นไมโครเวฟ ทำให้อาหารร้อนอย่างรวดเร็วและอีกในหนึ่งเมื่อโมเลกุลของน้ำดูดซับคลื่นไมโครเวฟแล้วจะสลายตัวทันทีไม่สะสมในอาหาร



ภาพที่ 2-6 การเคลื่อนที่ของคลื่นไมโครเวฟผ่านตัวกลางที่ (a) สะท้อนคลื่นไมโครเวฟ (b) ยอมให้คลื่นไมโครเวฟทะลุผ่านโดยไม่ดูดกลืน และ (c) ดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อนในตัวกลาง (ยุทธพงศ์และคณะ, 2548)

2.8.4 ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ

แมกนีตรอน (Magnetron) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากของเครื่องไมโครเวฟเกือบทุกชนิด เพราะเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งไปกระตุ้นให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้น อุปกรณ์ดังกล่าวมีโครงสร้างที่ทำด้วยแม่เหล็กหุ้มห่อขั้วไฟฟ้า (Electrode) ไว้ 2 อันประกอบด้วยแท่งแอโนด (Anode) รูปทรงกระบอกทำด้วยทองแดงที่มีความสามารถเป็นตัวนำที่ดีซึ่งจะทำหน้าที่กำหนดวงจรของไมโครเวฟและแคโทด (Cathode) หรือ Filament ซึ่งจะทำหน้าที่ปลดปล่อย Thermionic electron โดยวางอยู่ตรงกลางล้อมด้วยแท่งแอโนด ซึ่งระหว่างแท่งแคโทดและแอโนดนั้น จะมีช่องว่างอยู่ซึ่งเรียกว่า Resonant cavity ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการประสานความสัมพันธ์กัน เกิดเป็นกลุ่มก้อนของอิเล็กตรอนที่หมุนตัวได้ โดยเกิดขึ้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังแท่งแคโทดทำให้ร้อนขึ้น และปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่มีประจุลบออกมาวนเวียนอยู่รอบๆ แท่งแอโนดในสถานะที่ยังไม่มีสนามแม่เหล็ก แต่ในสถานะที่มีสนามเหล็กเกิดขึ้นในแนวขนานกับแกนของท่ออิเล็กตรอน จะทำให้อิเล็กตรอนดังกล่าวเคลื่อนที่หมุนเป็นวง (Orbital) มากกว่าเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงและจะหมุนตัวกระโดดจากแคโทดไปที่แอโนดภายใต้แรงดันไฟฟ้า 4,000-6,000 V เป็นผลทำให้เกิดคลื่นไมโครเวฟขึ้นโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่ส่วนบนของท่อแมกนีตรอนเป็นตัวจับคลื่นไมโครเวฟที่เกิดขึ้นแล้วส่งผ่านท่อนำคลื่น (Wave guide) ผ่าน Stirrer เพื่อช่วยกระจายคลื่นไมโครเวฟให้สัมผัสกับอาหารได้ทั่วถึงภายในตู้ใส่อาหาร (สายสนม, 2543)

2.9 การประเมินสมรรถนะการอบแห้งข้าวสารซูบสีสมุนไพรรด้วยคลื่นไมโครเวฟ

สมรรถนะของการอบแห้งข้าวสารซูบสีสมุนไพรรด้วยคลื่นไมโครเวฟ สามารถบอกได้ทั้งในด้านความสามารถในการอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

2.9.1 ความสามารถในการอบแห้ง

ความสามารถในการอบแห้ง (Capacity of drying) ของการอบแห้งข้าวสารชุบสีผสมไพรรด้วยคลื่นไมโครเวฟ คำนวณโดยใช้การนำน้ำหนักข้าวก่อนอบ น้ำหนักข้าวหลังอบและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมาหาอัตราการอบแห้งวัสดุ (Drying Rate, DR) (สมชาติ, 2540) สามารถแสดงได้ด้วยสมการดังนี้

$$DR = \frac{w_i - w_f}{t} \quad (2-7)$$

เมื่อ

w_i คือ น้ำหนักข้าวก่อนอบ, g

w_f คือ น้ำหนักข้าวหลังอบ, g

t คือ เวลาอบแห้ง, min

2.9.2 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของการอบแห้งข้าวสารชุบสีผสมไพรรด้วยคลื่นไมโครเวฟ สามารถแสดงได้ด้วยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ดังนี้ (Tirawanichakul, 2008)

$$SEC = \frac{3.6W}{w_i - w_f} \quad (2-8)$$

เมื่อ

W คือ พลังงานไฟฟ้า, kWh

3.6 คือ ค่าแฟกเตอร์การแปลงหน่วยไฟฟ้าให้เป็น MJ

w_i คือ น้ำหนักข้าวก่อนอบ, kg

w_f คือ น้ำหนักข้าวหลังอบ, kg

โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (W) ในการอบแห้งสามารถคิดออกมาเป็นหน่วย kWh โดยเขียนสมการออกมาได้ดังนี้

$$W = P \times t \quad (2-9)$$

เมื่อ

W คือ พลังงานไฟฟ้า, kWh

P คือ กำลังไฟฟ้า, kW

t คือ เวลา, hr

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยการอบแห้งข้าวสารหุงสุมนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาปรับใช้และดำเนินงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

2.10.1 การทำข้าวเคลือบสีสมุนไพรมะพร้าว

ศึกษาอิทธิพลของสภาวะแห้งในสารละลายสมุนไพรมะพร้าว 4 ชนิดต่อคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องงอก 4 พันธุ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อสภาวะที่เหมาะสมในการแห้งในสารละลายสมุนไพรมะพร้าว 4 ชนิด (เตย อัญชัน ฝางและกระเจี๊ยบ) ในข้าวกล้องงอก 4 พันธุ์ (พันธุ์ปทุมธานี1 กข31 สุพรรณบุรี 1 และพิษณุโลก 2) เพื่อทำเป็นข้าวกล้องงอก และตรวจสอบคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่น้ำสมุนไพรมะพร้าวเปรียบเทียบกับแช่น้ำประปา แห้งในสารละลายสมุนไพรมะพร้าว 4 ชนิด ในด้านวัดความพึงพอใจของผู้บริโภค ปรากฏว่า ข้าวกล้องงอกด้วยน้ำประปา ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายอัญชันเป็นที่ยอมรับในด้านสี ส่วนที่แช่ด้วยสารละลายเตยเป็นที่ยอมรับทั้งด้านกลิ่น รสชาติและเนื้อสัมผัส โดยเฉพาะในพันธุ์ปทุมธานี1 ที่ผ่านการแช่ด้วยสมุนไพรมะพร้าวทั้งหมดได้รับการยอมรับในด้านสีและกลิ่นมากกว่าไม่ผ่านการแช่ (สุชมภรณ์, 2555)

2.10.2 การอบแห้ง

ศึกษาการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบอัตโนมัติ การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟจะใช้ระยะเวลาสั้นกว่าและข้าวที่ผ่านการลดความชื้นมีคุณภาพที่ดีกว่า ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบในสภาวะนี้เป็นเวลา 360 s จะมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเทียบเท่ากับ ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบด้วยลมร้อน 45 °C เป็นเวลา 18 hr และข้าวเปลือกที่ผ่านการผึ่งแดดปกติเป็นเวลา 15 hr (ธนาภรณ์ และคณะ, 2560)

ศึกษาการอบแห้งดักแด่ใหม่ด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังของไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่มีผลต่อจลนศาสตร์การอบแห้งดักแด่ใหม่ จากการทดลองพบว่าการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟสูงขึ้นมีอัตราการอบแห้งมากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวสำหรับความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งดักแด่ใหม่ที่ดีที่สุด คือ สภาวะการอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 323 W ระยะเวลาและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งลดลงร้อยละ 98.74 และ 98.11 เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 60 °C เพียงอย่างเดียว (มงคลชัย, 2557)

ศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งของสาหร่ายเตาด้วยคลื่นไมโครเวฟ งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งสาหร่ายเตาในระหว่างการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ ที่ระดับกำลังงานไมโครเวฟที่ 752.04±14.77, 465.15±9.08, 231.18±5.83 และ 164.34±3.81 W ตามลำดับ จากความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 15.5142±0.4408 จนเหลือความชื้นที่ 0.1043±0.0907 g/g dry matter โดยใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 25, 49, 91 และ 165 min ตามลำดับ (ฤทธิชัย, 2549)

ศึกษาการประยุกต์ใช้ไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศในการอบแห้งฟักทองแผ่น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบเครื่องอบแห้งสุญญากาศต้นแบบและศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อระดับกำลังไมโครเวฟสูงขึ้น

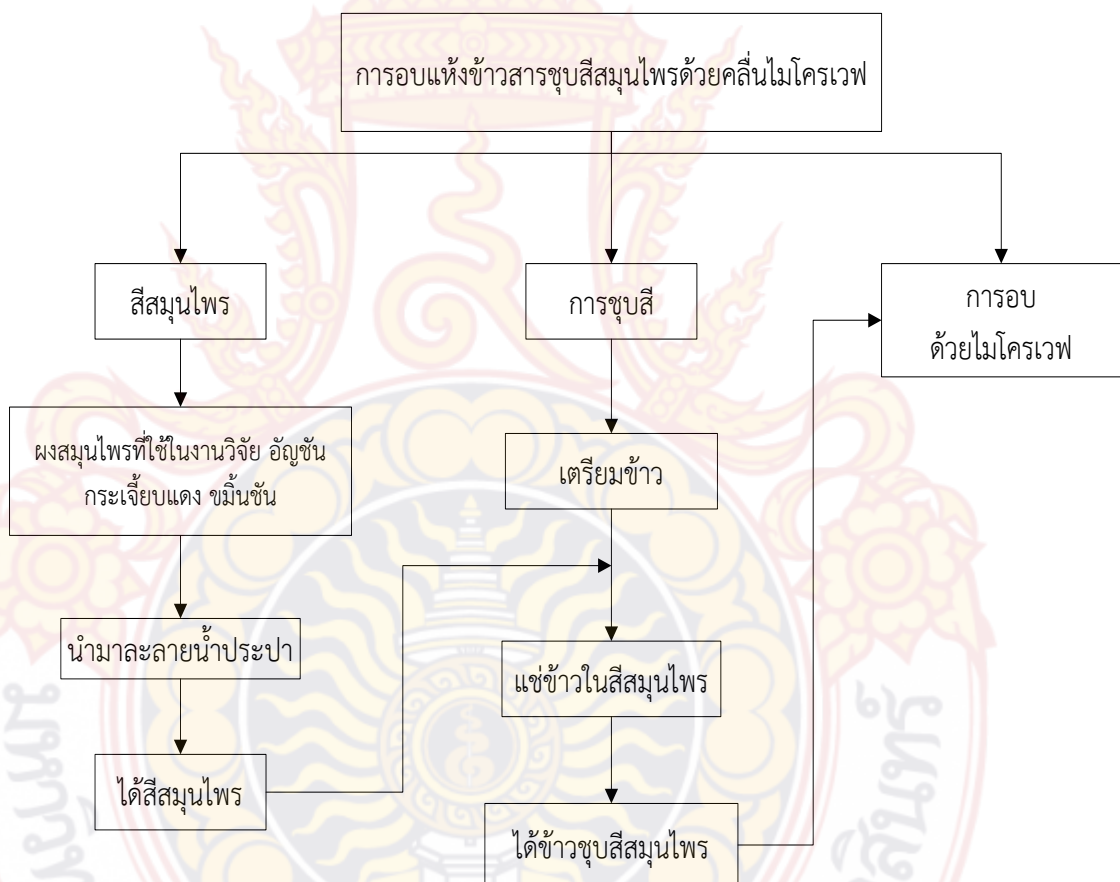
จะส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญและส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ (รวมพร, 2549)

ศึกษาการอบขนมปังด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรดแบบต่อเนื่อง วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาหา สภาวะที่เหมาะสมในการใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรดแบบต่อเนื่องในการอบขนมปัง กำลังไมโครเวฟที่ใช้ในการทดลองมี 3 ระดับ คือ 400, 600 และ 800 W อุณหภูมิอินฟราเรดที่ใช้มี 3 ระดับ คือ 140, 160 และ 180^oc เวลาที่ใช้ในการทดลองมี 3 ระดับคือ 3, 4 และ 5 min เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบขนมปังด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรดแบบต่อเนื่อง และ เปรียบเทียบความแตกต่างของขนมปังที่อบด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรดแบบต่อเนื่องกับขนมปังที่ (มาลีณี, 2558)



บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยการอบแห้งข้าวสารชุบสีสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นการศึกษาเชิงการทดลองเพื่อให้สีสมุนไพรเคลือบเมล็ดข้าวสาร โดยสีสมุนไพรเป็นสีสมุนไพรที่ได้จากสมุนไพร 3 ชนิดคือ สีเหลืองจากขมิ้นชัน สีแดงจากกระเจี๊ยบแดง และสีน้ำเงินจากอัญชัน ในการทดลองนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ การเตรียมสีสมุนไพร การแช่ข้าวในสีสมุนไพรและการอบแห้ง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังในรูปที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการอบแห้งข้าวสารชุบสีสมุนไพรอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

3.1 วัสดุ

1. ข้าวสาร

เมล็ดข้าวสารพันธุ์เหลืองอ่อนที่ได้รับการอนุเคราะห์จากนาของ นายณัฐพล ไสรดสง ที่ อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี

2. ผงสีสมุนไพร

สีสมุนไพรผงสำเร็จรูป (สมุนไพรท่าพระจันทร์) 3 สี ได้แก่ สีขมิ้นชัน สีกระเจี๊ยบแดง สีอัญชัน



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 3-2 สีสมุนไพรผงสำเร็จรูป ยี่ห้อสมุนไพรท่าพระจันทร์ (ก) ผงสมุนไพรขมิ้นชัน (ข) ผงสมุนไพรกระเจี๊ยบแดง (ค) ผงสมุนไพรอัญชัน

3.2 อุปกรณ์

ในงานวิจัยการอบแห้งข้าวสารชุบสีสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟมีอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการดำเนินการทดลอง ดังนี้

1. เตาไมโครเวฟ

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เตาอบไมโครเวฟ TOSHIBA รุ่น ER-G23SC ความถี่คลื่น 2,450 MHz ซึ่งมีขนาดภายนอก 460 mm x 275 mm x 385 mm และมีขนาดภายในห้องอบแห้ง 319 mm x 211 mm x 336 mm ในการเลือกใช้เตาอบไมโครเวฟสำหรับการทดลองนี้ เพราะเป็นเตาอบไมโครเวฟที่วางจำหน่ายโดยทั่วไปซึ่งหาซื้อได้ง่ายและสะดวกต่อการดำเนินงานทดลอง



ภาพที่ 3-3 เตาไมโครเวฟ



ภาพที่ 3-4 ตู้อบลมร้อน

2. ตู้อบลมร้อน

ตู้อบลมร้อน BINDER รุ่น red LINE ที่ใช้จะมีระบบแพร่กระจายความร้อนด้วยการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) ทำให้ความร้อนกระจายได้ทั่วถึงตลอดทั้งตู้โครงสร้างภายในทำด้วยสแตนเลสและจะมีชั้นวางของทำด้วยโลหะชุบโครเมียม จำนวนอย่างละ 2 ชั้น โดยสามารถใส่ชั้นวางได้ทั้งหมด 4 ชั้น (ชั้นวางเป็นอุปกรณ์ประกอบที่ซื้อเพิ่มเติม) ควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบ Microprocessor พร้อมแสดงค่าอุณหภูมิด้วยตัวเลขไฟฟ้าขนาดใหญ่ (Large Digital Display) สามารถปรับอุณหภูมิได้ต่ำสุด 7°C และปรับอุณหภูมิได้สูงสุดที่ 220°C ที่มีค่าแปรปรวนของอุณหภูมิ (Temperature Fluctuation) ที่ 150°C ไม่เกิน $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ สามารถตั้งเวลาการทำงานของตู้ได้ตั้งแต่ 0-9999 min หรือสามารถทำงานต่อเนื่องได้จะมีท่อปล่อยควันเสีย (Exhaust duct) อยู่ด้านหลังของตู้ สามารถเปิด/ปิดได้ความจุภายในตู้ไม่น้อยกว่า 53 ลิตร ขนาดภายในตู้ (กว้าง×สูง×ลึก) 401 × 401

× 330 mm ขนาดภายนอกตู้ (กว้าง×สูง×ลึก) 600 × 680 × 620 mm ใช้แรงดันไฟฟ้า 230 V ความถี่ 50/60 Hz กำลังไฟฟ้า 840 W

3. ถาดกลม

ถาดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 272 mm เป็นภาชนะสำหรับรองข้าวซูปสีสมุนไพรมื่อนำเข้าอบแห้งในไมโครเวฟ



ภาพที่ 3-5 ถาดวางข้าวซูปสีสมุนไพรมื่อนการอบด้วยเตาไมโครเวฟ

4. ถ้วยแก้วใส

ถ้วยแก้วใสขนาด 7 นิ้ว เป็นภาชนะสำหรับผสมผงสมุนไพรมื่อนน้ำเพื่อให้ไดน้ำสีสมุนไพรมื่อนและเป็นภาชนะที่นำข้าวสารมาใส่เพื่อซูปสีสมุนไพรมื่อน



ภาพที่ 3-6 ถ้วยผสมสีสมุนไพรมื่อน

5. เครื่องชั่งน้ำหนัก

เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลค่าความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง อ่านค่าละเอียดไม่น้อยกว่า 0.01 g สำหรับชั่งน้ำหนักผงสีสมุนไพรมที่ใช่ละลายน้ำเป็นสีสมุนไพรม และข้าวชุปสีสมุนไพรมที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดระยะเวลาการอบ



ภาพที่ 3-7 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล



ภาพที่ 3-8 เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Moisture Analysis)

6. เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Moisture Analysis)

เครื่องชั่งแบบวิเคราะห์ความชื้น Moisture Analyzer AND รุ่น MX-50 ใช้สำหรับหาค่าความชื้นเริ่มต้นของข้าวสารที่ยังไม่ผ่านการชุปน้ำสีสมุนไพรม ให้ความร้อนด้วยหลอด Halogen ควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง 50 ถึง 200°C



ภาพที่ 3-9 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด (Infrared thermometer)

7. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด (Infrared thermometer)

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบ Infrared thermometer tecto รุ่น 830-T1 ช่วงการวัดอุณหภูมิ - 30 °C ถึง 400 °C ค่าความละเอียด 0.1 °C มีแสงเลเซอร์แสดงตำแหน่งในการวัด 1จุด ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิข้าวซุบสีสมุนไพรรที่อบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ



ภาพที่ 3-10 แคลมป์มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล

8. แคลมป์มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล

แคลมป์มิเตอร์แบบดิจิตอล Digital Clamp Meter หรือ แคลมป์มิเตอร์แบบตัวเลข FLUKE รุ่น 325 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้า (Current Measurement) โดยที่เราไม่ต้องตัดต่อสายไฟเพื่อวัดค่ากระแสโดย Clamp Meter สามารถอ่านค่ากระแสไฟฟ้าได้เลยโดยไม่ต้องเสียเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ายึดถูกปิดรอบสองตัวนำไฟฟ้าถือสายเคเบิลไปยังอุปกรณ์การไหลของกระแสเดียวกันลงหนึ่งตัวนำและอื่นๆ ขึ้นกับปัจจุบันสฤทธิของศูนย์ แคลมป์มิเตอร์มักจะขายพร้อมกับอุปกรณ์ที่เสียบในระหว่างปลั๊กไฟและอุปกรณ์ที่จะได้รับการทดสอบ อุปกรณ์เป็นหลักสายไฟต่อสั้นๆ กับสองตัวนำแยกเพื่อให้ยึดสามารถวางอยู่รอบเพียงหนึ่งตัวนำ

9. ผ้าขาวบาง ผ้าขาวบางนำมาใช้ในการกรองและสะเด็ดข้าวสารชุบสีสุมนไพรจากน้ำสีสุมนไพร

10. ปีกเกอร์ (Beaker) ปีกเกอร์ใช้เป็นภาชนะวัดตวงปริมาณน้ำเพื่อนำไปละลายผงสีสุมนไพรทำเป็นน้ำสีสุมนไพร

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยการอบแห้งข้าวสารชุบสีสุมนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟ มีขั้นตอนในการดำเนินงานแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ การเตรียมน้ำสุมนไพร การเตรียมข้าวชุบสีสุมนไพร และการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 หาความชื้นข้าวสารเริ่มต้น

หาความชื้นของข้าวสารที่ยังไม่ผ่านการชุบสีสุมนไพรโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความชื้น รุ่น MX-50 ยี่ห้อ AND โดยใช้อุณหภูมิ 130°C ในโหมดการวัดเลือกโหมดมาตรฐาน สำหรับค่าความถูกต้อง (Accuracy) เลือก HI จากนั้นใช้ข้าวน้ำหนัก 10 g ในการวิเคราะห์ความชื้น โดยผ่านเครื่องวิเคราะห์ค่าความชื้นทำการวางข้าวสารที่ได้น้ำหนัก 10 g ลงบนถาดอะลูมิเนียมฟอยด์ ในเครื่องวิเคราะห์ความชื้น ปิดฝาและกดปุ่ม Start รอเครื่องทำงานจนเสร็จ ทำซ้ำ 3 ครั้ง เก็บผลจากเครื่องนำค่าความชื้นเริ่มต้นของขม้นชั้นที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ความชื้นเริ่มต้นของข้าวสารที่ไม่ผ่านการชุบสีสุมนไพรอยู่ที่ 11.92 %wb.

3.1.2 การเตรียมน้ำสีสุมนไพร

การทำน้ำสีสุมนไพรขม้นชั้น กระเจี๊ยบแดง อัญชัน ทำโดยการนำผงสุมนไพรสำเร็จรูปขม้นชั้น กระเจี๊ยบแดง อัญชัน ละลายในน้ำอัตราส่วน 5 g ต่อน้ำ 400 ml คิดเป็นความเข้มข้น 1.23 % โดยมวล

3.1.3 การเตรียมข้าวชุบสีสุมนไพร

ข้าวชุบสีสุมนไพร ทำโดยการนำน้ำสีสุมนไพรที่เตรียมไว้จากข้อ 3.1.1 แล้วนำข้าวสารน้ำหนัก 100 g มาขาวผ่านน้ำสีสุมนไพรแล้วนำขึ้นทันที และแช่ในน้ำสีสุมนไพรเป็นเวลา 1, 3 และ 5 min กรองข้าวสารจากน้ำสีสุมนไพรและสะเด็ดน้ำด้วยผ้าขาวบาง

3.1.4 กระบวนการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

หลังจากได้ข้าวสารที่ผ่านการชุบสีสุมนไพรนำข้าวชุบสีสุมนไพรที่ได้ชั่งหาน้ำหนักก่อนการอบแห้ง จากนั้นอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไมโครเวฟ 400 W ระยะเวลาการอบแห้ง 5 min กำลังไมโครเวฟ 240 W ระยะเวลาการอบแห้ง 6 min และที่กำลังไมโครเวฟ 80 W ระยะเวลาการอบแห้ง 10 min โดยการนำเอาข้าวที่ผ่านชุบสีสุมนไพรมาวางบนจานกลมโดยเกลี่ยข้าวชุบสีสุมนไพรให้กระจายเต็มจานและเป็นชั้นบางจากนั้นนำเข้าอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ ทำการชั่งน้ำหนักข้าวสารทุกๆ 1 min เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของข้าวชุบสีสุมนไพรตลอดระยะเวลาการอบแห้ง

จากนั้นหาค่าความชื้นหลังกระบวนการอบแห้ง ความชื้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet-basis, M_w) และความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry-basis, M_d) ซึ่งการทำข้าวชุปสีสมุนไพรมีได้ใช้ความชื้นมาตรฐานเปียกคำนวณได้ดังสมการที่ 3-1

$$M_w = \frac{(w-d)}{w} \times 100 \quad (3-1)$$

เมื่อ

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, % wb ,wet-basis

w คือ มวลเปียกของวัสดุ, g

d คือ มวลแห้งของวัสดุ, g

3.1.5 วัดอุณหภูมิข้าวสารชุบสีสมุนไพรมี

เมื่อได้ข้าวสารที่ผ่านกระบวนการชุบสีสมุนไพรมีและนำเข้าอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ ทำการวัดอุณหภูมิของข้าวชุปสีสมุนไพรมีที่อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ โดยวัดอุณหภูมิ 5 จุด วัดอุณหภูมิของข้าวชุปสีสมุนไพรมีทุกๆ 1 min โดยวัดอุณหภูมิของข้าวชุปสีสมุนไพรมี 5 จุด ดังภาพ 3-11 จากนั้นนำอุณหภูมิที่วัดได้มาหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของข้าวชุปสีสมุนไพรมีในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้ง



ภาพที่ 3-11 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิข้าวชุปสีสมุนไพรมี

3.1.6 การประเมินสมรรถนะการอบแห้งข้าวสารชุบสีสมุนไพรมีด้วยคลื่นไมโครเวฟ

สมรรถนะของการอบแห้งข้าวสารชุบสีสมุนไพรมีด้วยคลื่นไมโครเวฟ สามารถบอกได้ทั้งในด้านความสามารถในการอบแห้งและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ดังนี้

3.1.6.1 ความสามารถในการอบแห้ง

ความสามารถในการอบแห้ง (Capacity of drying) ของการอบแห้งข้าวสารชุบสีผสมไพโรด้วยคลื่นไมโครเวฟ คำนวณโดยใช้การนำน้ำหนักข้าวก่อนอบ น้ำหนักข้าวหลังอบและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง มาหาอัตราการอบแห้งวัสดุ (Drying Rate, DR) (สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540) สามารถแสดงได้ด้วยสมการที่ 3-3

$$DR = \frac{w_i - w_f}{t} \quad (3-3)$$

เมื่อ

w_i คือ น้ำหนักข้าวก่อนอบ, g

w_f คือ น้ำหนักข้าวหลังอบ, g

t คือ เวลาอบแห้ง, min

3.1.6.2 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของการอบแห้งข้าวสารชุบสีผสมไพโรด้วยคลื่นไมโครเวฟ สามารถแสดงได้ด้วยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ดังนี้ (Tirawanichakul, 2008)

$$SEC = \frac{3.6 W}{w_i - w_f} \quad (3-4)$$

เมื่อ

W คือ พลังงานไฟฟ้า, kWh

3.6 คือ ค่าแฟกเตอร์การแปลงหน่วยไฟฟ้าให้เป็น MJ

w_i คือ น้ำหนักข้าวก่อนอบ, kg

w_f คือ น้ำหนักข้าวหลังอบ, kg

โดยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ W ในการอบแห้งสามารถคิดออกมาเป็นหน่วย kWh โดยเขียนสมการออกมาได้ดังนี้

$$W = P \times t \quad (3-5)$$

เมื่อ

W คือ พลังงานไฟฟ้า, kWh

P คือ กำลังไฟฟ้า, kW

t คือ เวลา, hr

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

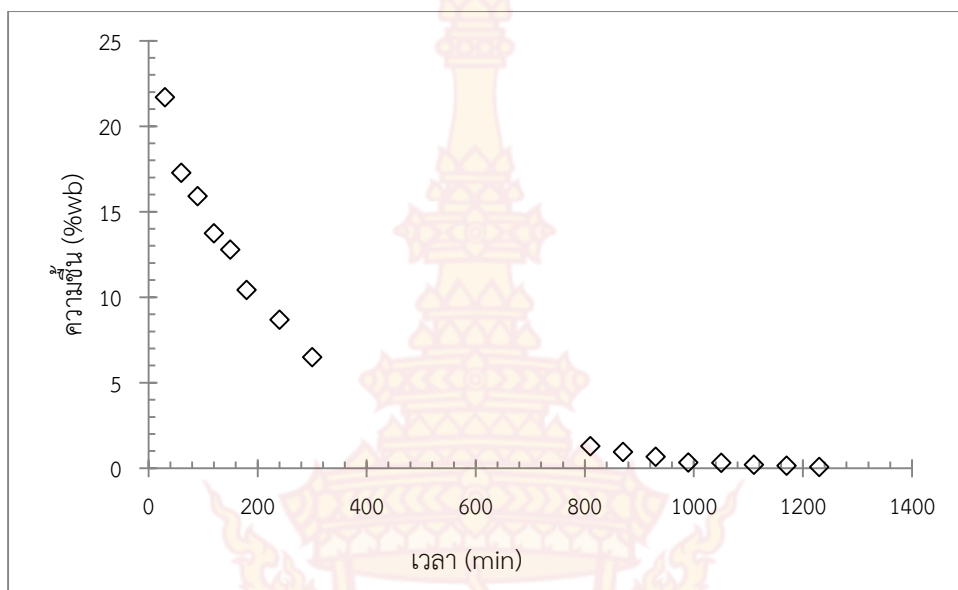
การดำเนินงานวิจัยการอบแห้งข้าวสารชุปสีสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟ ได้นำข้าวสารที่ผ่านการชุปสีสมุนไพรสีต่างๆ และนำมาอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อลดความชื้นออกจากเมล็ดข้าวสาร มีผลการศึกษาดังนี้

4.1 ผลทดสอบการลดความชื้น

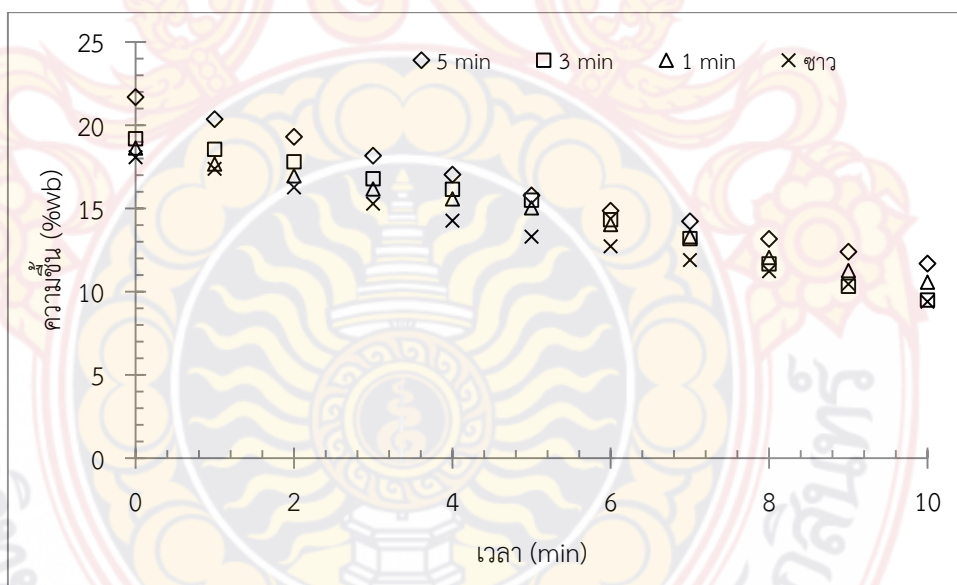
จากการทำข้าวชุปสีสมุนไพรโดยการชุปสีข้าวผ่านน้ำแล้วนำขึ้นทันทีและการแช่ในน้ำสีสมุนไพรเป็นเวลา 1, 3 และ 5 min ความชื้นข้าวหลังการชุปสีสมุนไพรอยู่ที่ 18, 18.6, 19.2 และ 21.5 %wb ตามลำดับ

จากนั้นลดความชื้นข้าวสารที่ผ่านการชุปสีสมุนไพร 3 สี ได้แก่ ขมิ้นชัน อัญชัน และกระเจี๊ยบแดง ด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W ใช้เวลาการอบแห้ง 5 min กำลังไมโครเวฟ 240 W ใช้เวลาการอบแห้ง 6 min และกำลังไมโครเวฟ 80 W ใช้เวลาการอบแห้ง 10 min และทำการวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวสารชุปสีสมุนไพรขณะอบแห้งทุกๆ 1 min โดยชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวจากเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลค่าละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่งและวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด โดยวัดอุณหภูมิของข้าวชุปสีสมุนไพร 5 จุด จากนั้นนำอุณหภูมิที่วัดได้มาหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของข้าวชุปสีสมุนไพรในแต่ละช่วงเวลาของการอบแห้ง

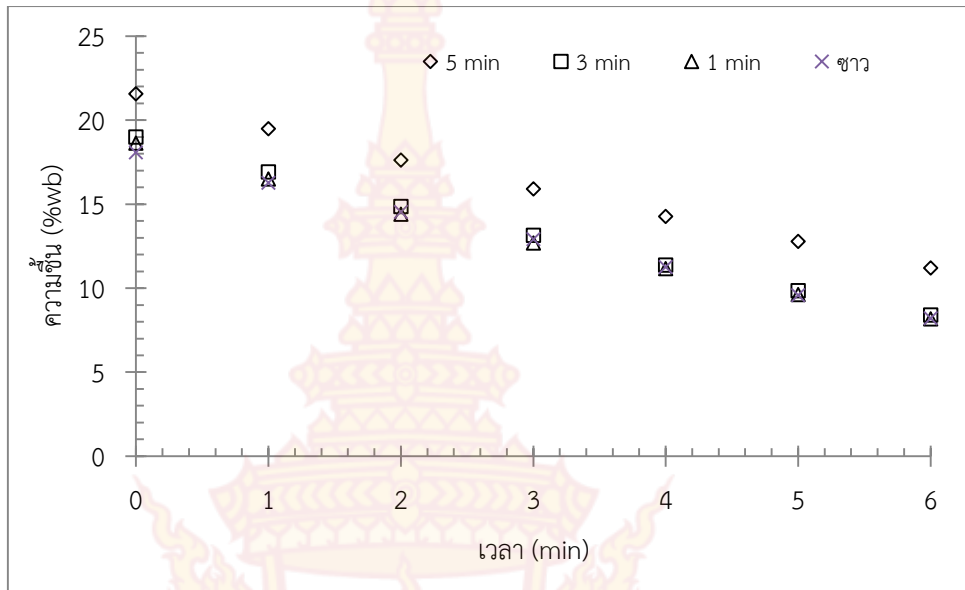
ภาพที่ 4-1 เป็นการอบแห้งเพื่อลดความชื้นของข้าวชุปสีสมุนไพรซึ่งอบแห้งด้วยลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิของลมร้อน 70°C ในการอบแห้ง การใช้ลมร้อนในการอบแห้งจะเห็นได้ว่าใช้เวลาในการอบแห้งมากกว่าการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ เพราะการอบแห้งด้วยลมร้อน ความร้อนที่มาจากแหล่งพลังงานความร้อนเคลื่อนมาผิวของข้าว เมื่อความร้อนผิวของข้าวสูงขึ้นเรื่อยๆ จนมีสถานะสมดุลความร้อนกับบริเวณรอบๆ ข้าวความร้อนจึงถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนจากบริเวณที่ผิวของข้าวเข้าสู่ข้างในเมล็ดข้าวทำให้เมล็ดข้าวไม่ได้รับพลังงานความร้อนอย่างสม่ำเสมอทั่วกัน ทำให้บริเวณที่สัมผัสความร้อนสูงอาจเกิดรอยไหม้ โดยที่ภายในเนื้อวัสดุยังไม่ได้รับความร้อนเพียงพอที่จะทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกมาจากวัสดุในวัสดุจึงอาจเกิดความเสียหายได้



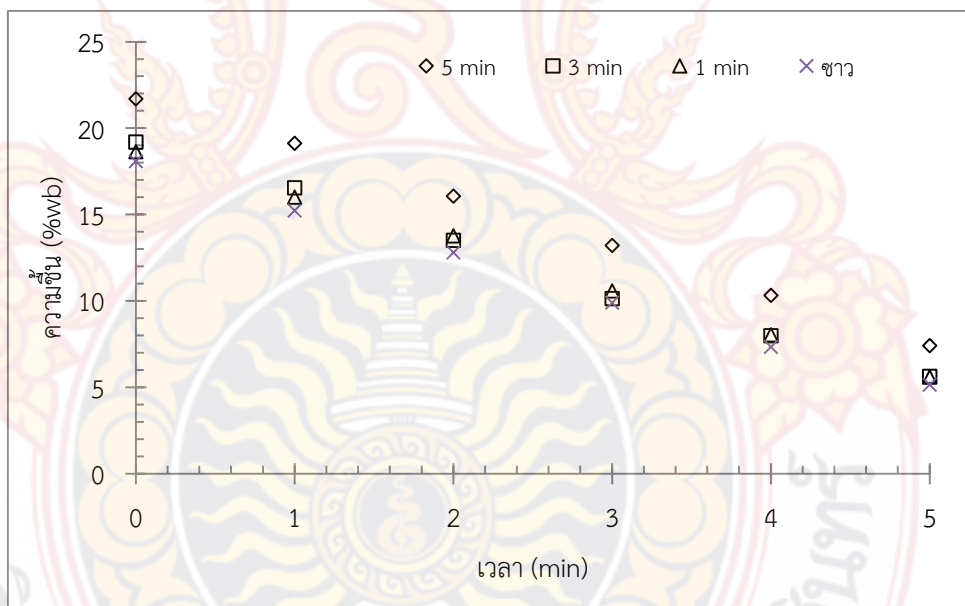
ภาพที่ 4-1 ความความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวชุปสีสมุนไพรอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C



(ก)



(ข)

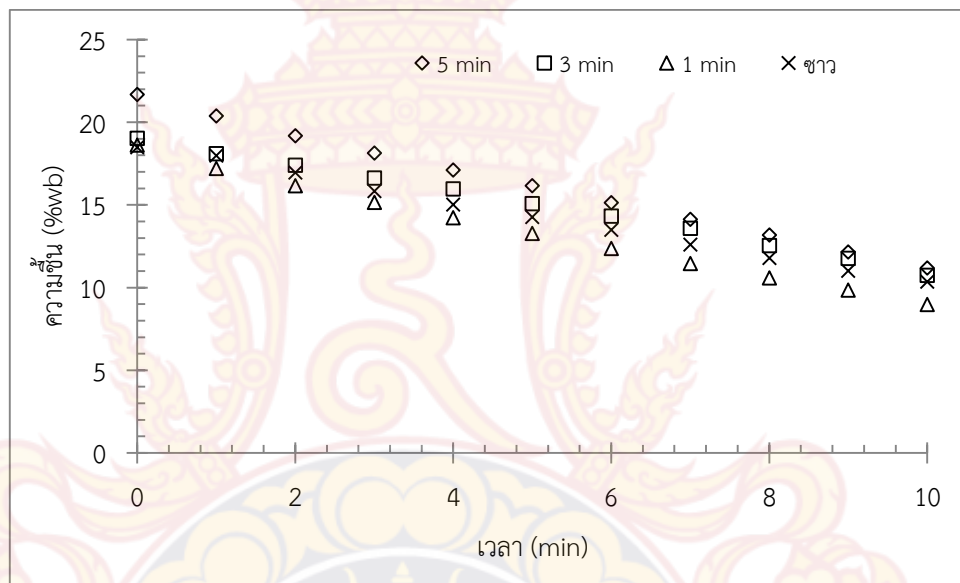


(ค)

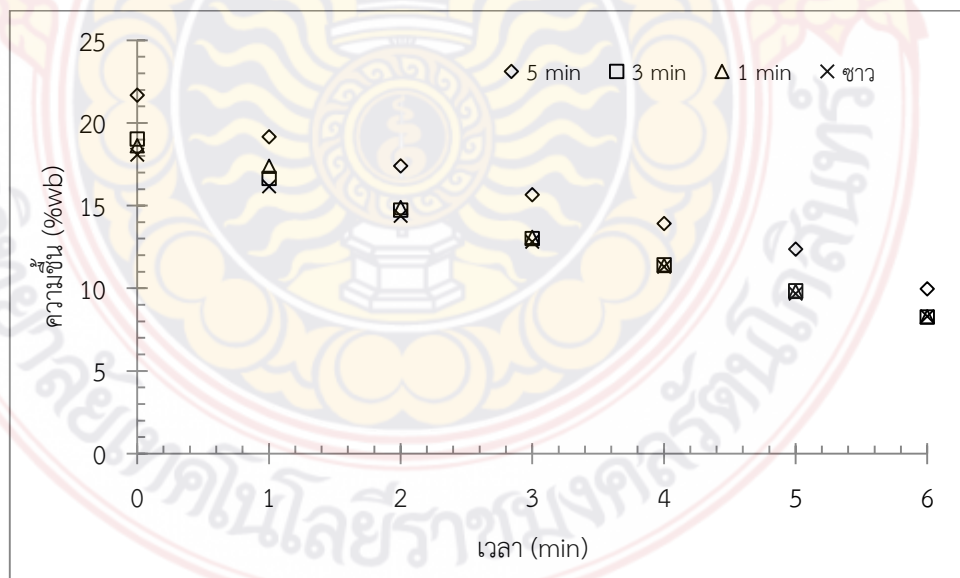
ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซูปสียมันชั้นที่กำลังไมโครเวฟ (ก) 80 W (ข) 240 W (ค) 400 W

ภาพที่ 4-2 ผลการทดลองการอบแห้งข้าวซูปสียสมุนไพรชั้นอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W, 240 W และ 400 W จากภาพที่ 4-2 (ก) เมื่อข้าวซูปสียสมุนไพรชั้นผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W ระยะเวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นลดลงจนระดับความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 12-9 %wb ภาพที่ 4-2 (ข) ผลการอบแห้งข้าวซูปสียสมุนไพรชั้นที่กำลังไมโครเวฟ 240 W ระยะเวลาใน

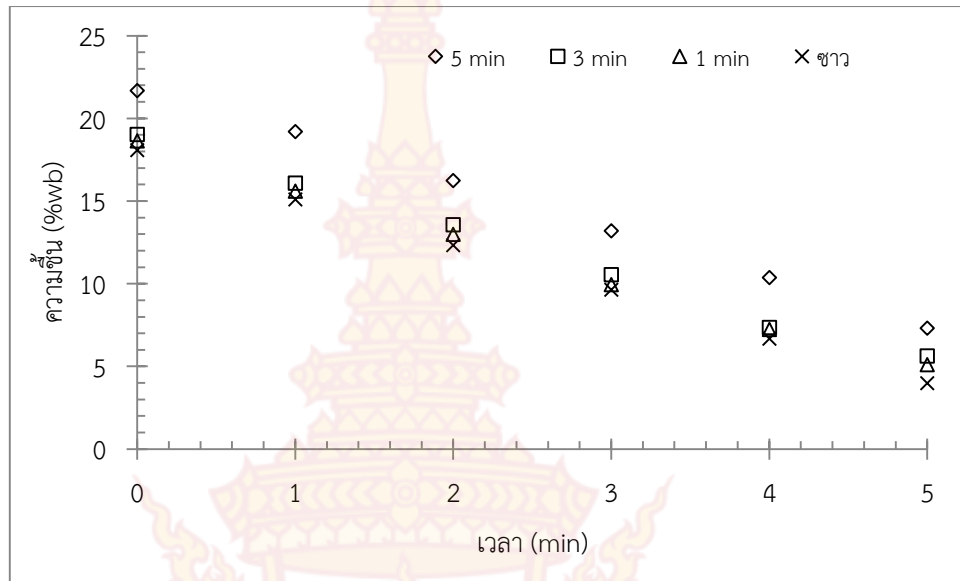
การอบแห้ง 6 min ความชื้นลดลงจนมีระดับความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 11-8 %wb ภาพที่ 4-2 (ค) ผลการอบแห้งข้าวซูปส์สมุนไพรมันชั้นที่กำลังไมโครเวฟ 400 W ระยะเวลาในการอบแห้ง 5 min ความชื้นลดลงจนมีระดับความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 8-5 %wb เนื่องจากข้าวซูปส์สมุนไพรมันชั้นที่ผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟต่างๆ ได้ดูดซับพลังงานไมโครเวฟตามคุณสมบัติไดอิเล็กตริก จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นความร้อนภายในเมล็ดข้าวทำให้เกิดความดันไอของความชื้นเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิวด้านนอก ระเหยสู่สภาวะอากาศรอบๆ จึงทำให้ความชื้นของข้าวซูปส์สมุนไพรมันชั้นค่อยๆ ลดลง และกำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นสามารถไล่ความชื้นได้เร็วกว่ากำลังไมโครเวฟต่ำ



(ก)



(ข)



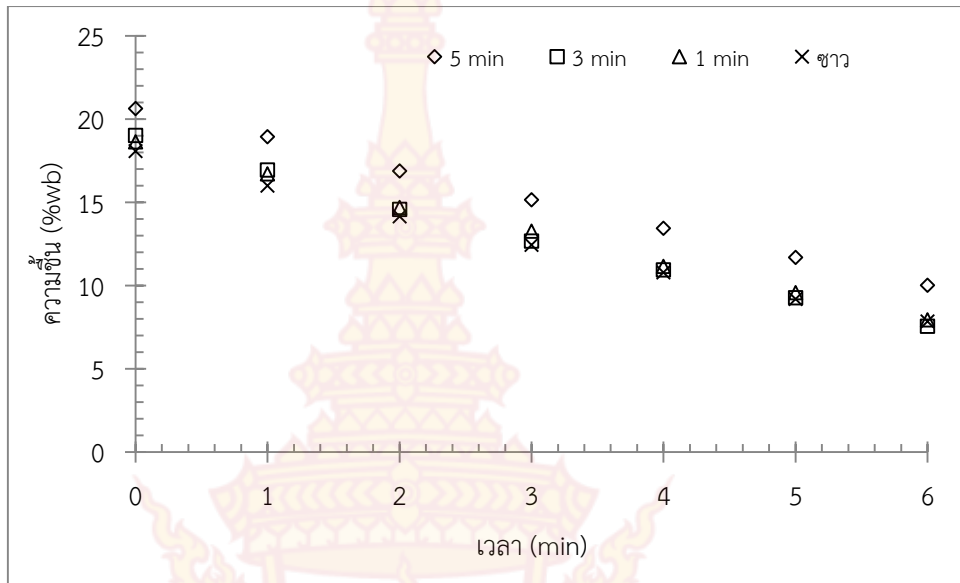
(ค)

ภาพที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวชุปสีอัญชันที่กำลังไมโครเวฟ (ก) 80 W (ข) 240 W (ค) 400 W

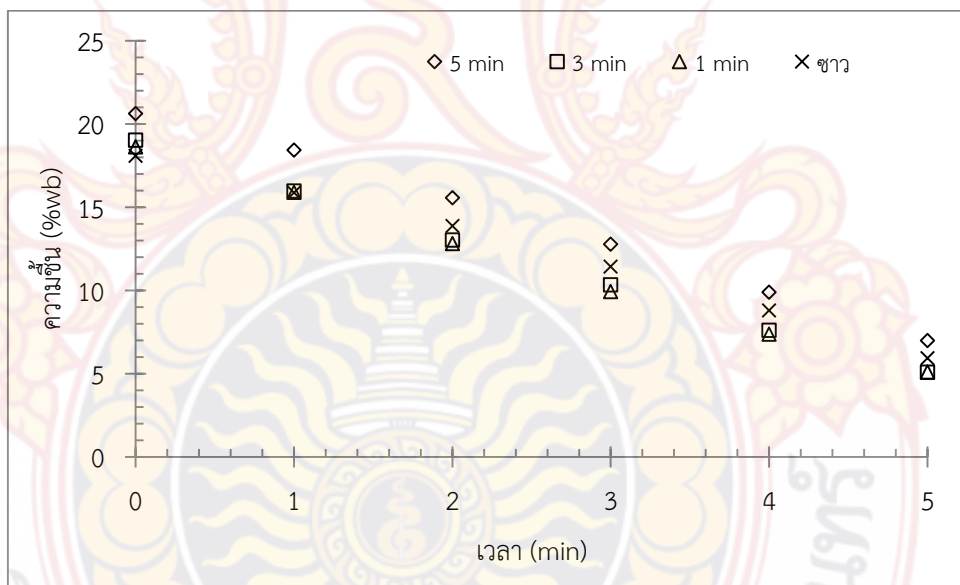
จากภาพที่ 4-3 (ก) เมื่อข้าวชุปสีสมุนไพรอัญชันผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W ระยะเวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นลดลงจนระดับความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 12-10 %wb ภาพที่ 4-3 (ข) ผลการอบแห้งข้าวชุปสีสมุนไพรอัญชันที่กำลังไมโครเวฟ 240 W ระยะเวลาในการอบแห้ง 6 min ความชื้นลดลงจนมีระดับความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 10-8 %wb ภาพที่ 4-3 (ค) ผลการอบแห้งข้าวชุปสีสมุนไพรอัญชันที่กำลังไมโครเวฟ 400 W ระยะเวลาในการอบแห้ง 5 min ความชื้นลดลงจนมีระดับความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 7-4 %wb เนื่องจากข้าวชุปสีสมุนไพรอัญชันที่ผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟต่างๆ ได้ดูดซับพลังงานไมโครเวฟตามคุณสมบัติไดอิเล็กตริก จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นความร้อนภายในเมล็ดข้าวทำให้เกิดความดันไอของความชื้นเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิวด้านนอก ระเหยสู่สภาวะอากาศรอบๆ จึงทำให้ความชื้นของข้าวชุปสีสมุนไพรอัญชันค่อยๆ ลดลง และกำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นสามารถไล่ความชื้นได้เร็วกว่ากำลังไมโครเวฟต่ำ



(ก)



(ข)

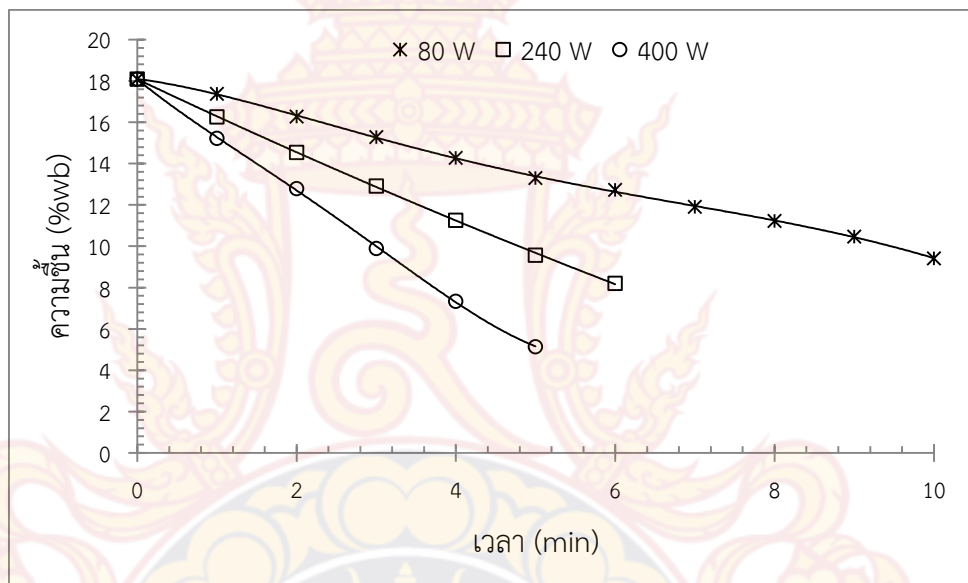


(ค)

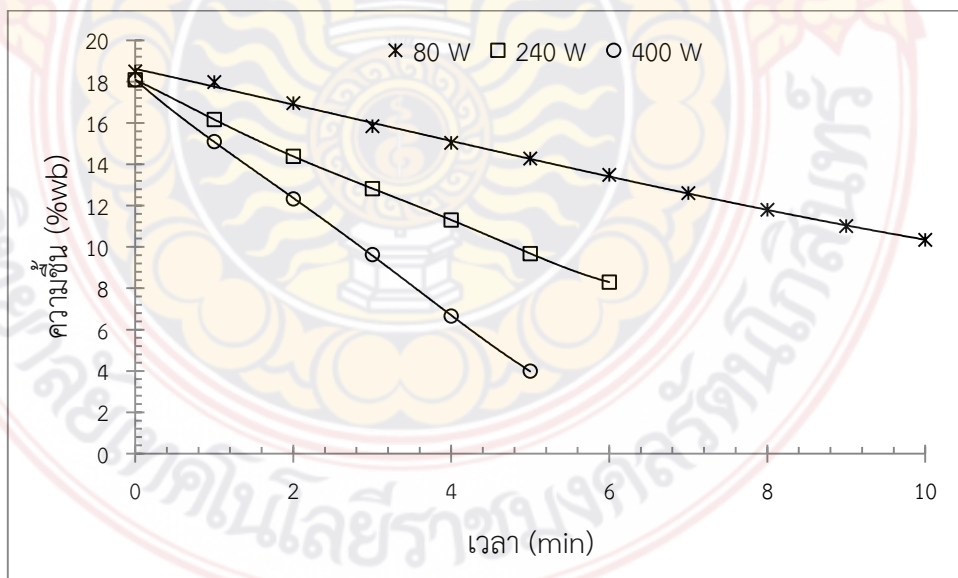
ภาพที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวชุปสีกระเจี๊ยบที่กำลังไมโครเวฟ (ก) 80 W (ข) 240 W (ค) 400 W

ภาพที่ 4-4 ผลการทดลองการอบแห้งข้าวชุปสีสมุนไพรกระเจี๊ยบอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W, 240 W และ 400 W จากภาพที่ 4-4 (ก) เมื่อข้าวชุปสีสมุนไพรอยู่ชั้นผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W ระยะเวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นลดลงจนระดับความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 12-9 %wb ภาพที่ 4-4 (ข) ผลการอบแห้งข้าวชุปสีสมุนไพรกระเจี๊ยบที่กำลังไมโครเวฟ 240 W ระยะเวลาในการอบแห้ง 6 min ความชื้นลดลงจนมีระดับความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 10-8 %wb

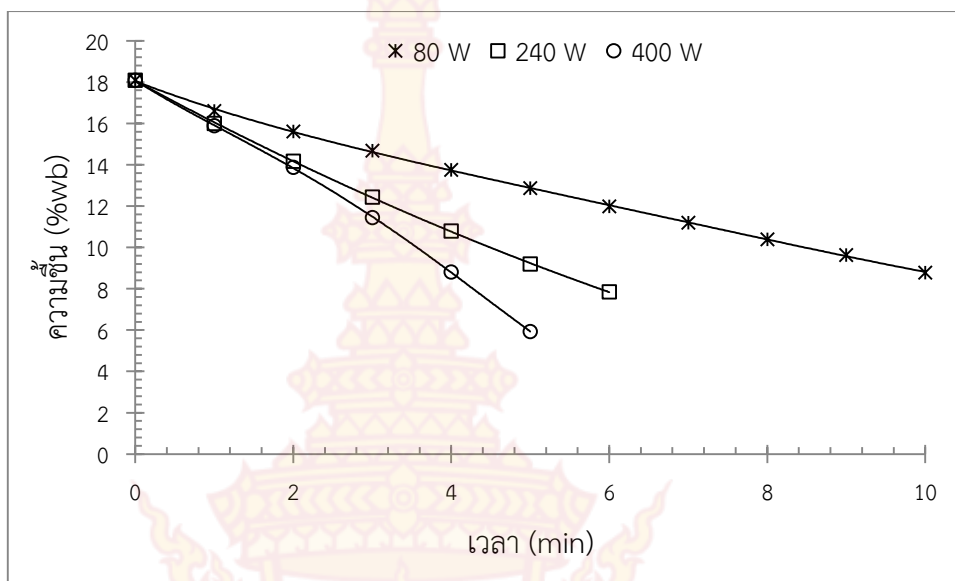
ภาพที่ 4-4 (ค) ผลการอบแห้งข้าวชุปสีสมุนไพรกระเจียวที่กำลังไมโครเวฟ 400 W ระยะเวลาในการอบแห้ง 5 min ความชื้นลดลงจนมีระดับความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 7-6 %wb เนื่องจากข้าวชุปสีสมุนไพรที่ผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟต่างๆ ได้ดูดซับพลังงานไมโครเวฟตามคุณสมบัติไดอิเล็กตริก จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นความร้อนภายในเมล็ดข้าวทำให้เกิดความดันไอของความชื้นเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิวด้านนอก ระบายสู่สภาวะอากาศรอบๆ จึงทำให้ความชื้นของข้าวชุปสีสมุนไพรค่อยๆ ลดลง และกำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นสามารถไล่ความชื้นได้เร็วกว่ากำลังไมโครเวฟต่ำ



(ก)



(ข)

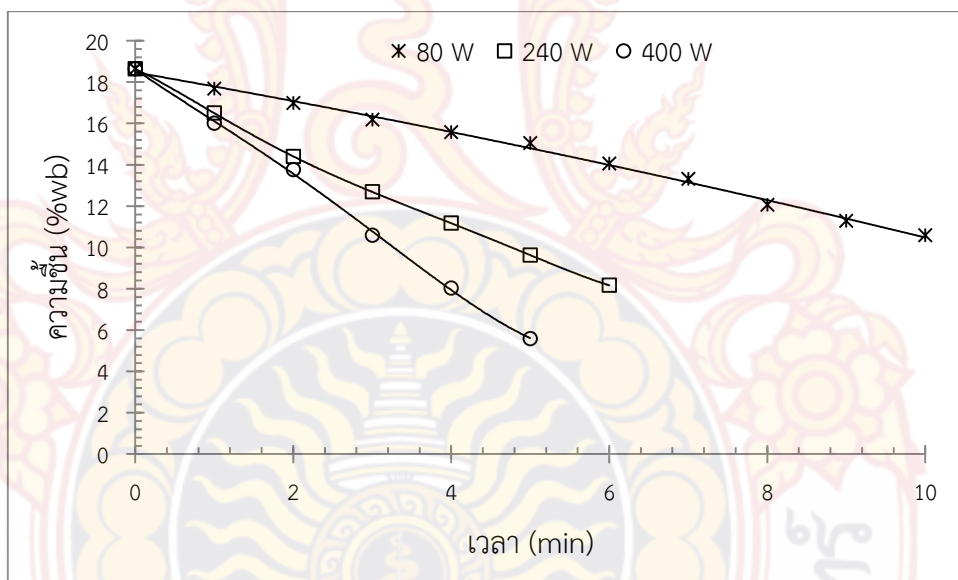


(ค)

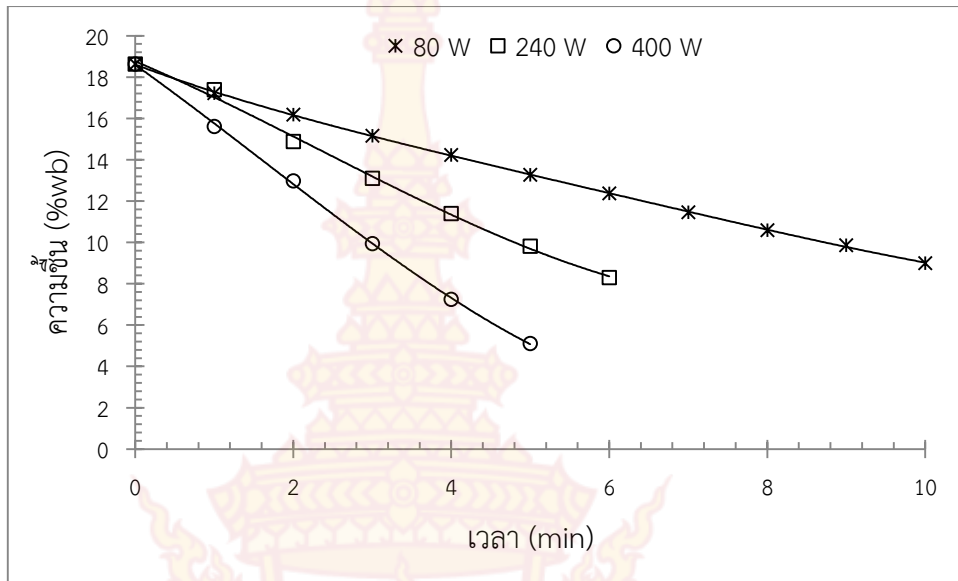
ภาพที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซูปส์สมุนไพโรยการซาบอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ (ก) สีขมิ้นชัน (ข) สีอัญชัน (ค) สีกระเจียว

จากการทดลองลดความชื้นของข้าวสารที่ผ่านการซูปส์สมุนไพโรยการซาบผ่านน้ำสีสมุนไพรรทั้ง 3 สี (ภาพที่ 4-5) ความชื้นหลังนำข้าวสารซูปส์สมุนไพโรยการซาบผ่านน้ำสีสมุนไพรรอยู่ที่ 18 %wb แล้วเข้าอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นที่กำลังไมโครเวฟ 80, 240 และ 400 W นำผลการทดลองการลดความชื้นข้าวซูปส์สมุนไพรรมาวิเคราะห์ด้วยเส้นแนวโน้มสมการพหุนามเมียด จากภาพที่ 4-5 (ก) ข้าวซูปส์สมุนไพรรขมิ้นชันอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 9.42 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0001t^5 - 0.0052t^4 + 0.065t^3 - 0.299t^2 - 0.5044t + 18.095$ ค่า $R^2 = 0.9997$ ข้าวซูปส์สมุนไพรรขมิ้นชันอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบแห้ง 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 8.21 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0285t^2 - 1.8238t + 18.083$ ค่า $R^2 = 0.9998$ ข้าวซูปส์สมุนไพรรขมิ้นชันอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบแห้ง 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 5.15 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0198t^4 - 0.1784t^3 + 0.5105t^2 - 3.1534t + 18.077$ ค่า $R^2 = 0.9998$ ภาพที่ 4-5 (ข) ข้าวซูปส์สมุนไพรรอัญชันอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 10.35 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0014t^3 - 0.0117t^2 - 0.8477t + 18.618$ ค่า $R^2 = 0.9985$ ข้าวซูปส์สมุนไพรรอัญชันอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบแห้ง 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 8.3 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0425t^2 - 1.8761t + 18.041$ ค่า $R^2 = 0.9997$ ข้าวซูปส์สมุนไพรรอัญชันอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบแห้ง 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 4 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0141t^4 - 0.1473t^3 + 0.4935t^2 - 3.371t + 18.092$ ค่า $R^2 = 1$ ภาพที่ 4-5 (ค) ข้าวซูปส์สมุนไพรรกระเจียวอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 8.78 %wb เส้นแนวโน้ม

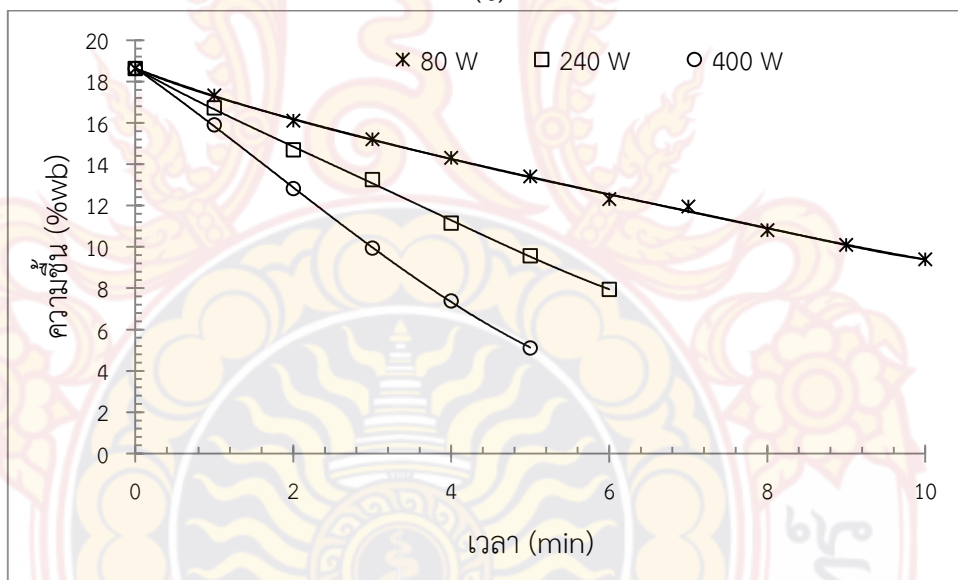
มีค่า $M_w = 0.0006t^4 - 0.0154t^3 + 0.1481t^2 - 1.4644t + 18.042$ ค่า $R^2 = 0.9997$ ข้าวชุปสี
 สมุนไพรกระเจี๊ยบอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบแห้ง 6 min ความชื้นสุดท้ายหลัง
 การอบ 7.85 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0599t^2 - 2.0628t + 18.055$ ค่า $R^2 = 0.9999$ ข้าว
 ชุปสีสมุนไพรกระเจี๊ยบอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบแห้ง 5 min ความชื้นสุดท้าย
 หลังการอบแห้ง 5.93 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0123t^4 - 0.1369t^3 + 0.3766t^2 - 2.4287t +$
 18.083 ค่า $R^2 = 1$ จะเห็นได้ว่าเมื่อข้าวสารชุบสีสมุนไพรได้ผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟแต่ละ
 ระดับทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความชื้นที่ลดลงและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแตกต่างกัน โดย
 กำลังไมโครเวฟสูงขึ้นส่งผลให้ข้าวชุปสีสมุนไพรสามารถดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มากและ
 เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้มากกว่าการใช้กำลังไมโครเวฟที่ต่ำกว่า ส่งผลให้กำลังไมโครเวฟสูง
 สามารถไล่ความชื้นได้รวดเร็วกว่าการใช้กำลังไมโครเวฟที่ต่ำกว่า จากนั้นใช้สมการโพลีโนเมียลที่ได้
 จากกราฟไปทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง
 ข้าวชุปสีสมุนไพร



(ก)



(ข)

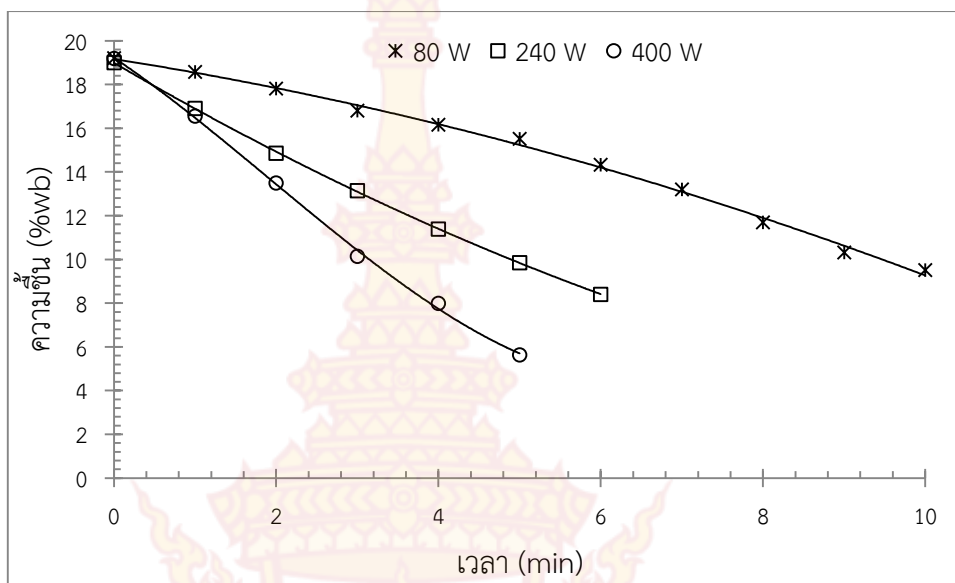


(ค)

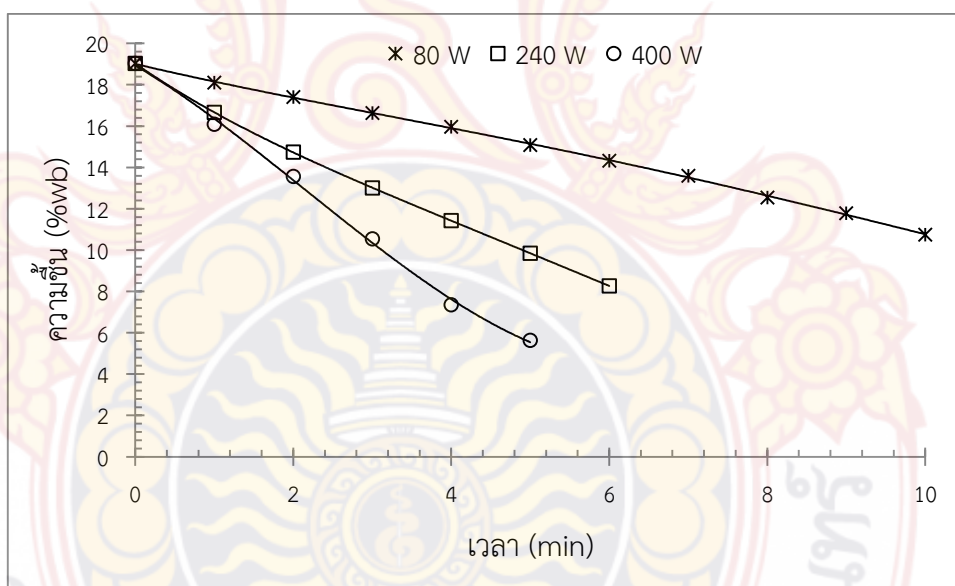
ภาพที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวชุปสีผสมไพโรโดยการแช่ 1 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ (ก) สีขมิ้นชัน (ข) สีอัญชัน (ค) สีกระเจียว

ภาพที่ 4-6 เป็นผลการลดความชื้นของข้าวที่ผ่านชุปสีผสมไพโรโดยแช่ในน้ำสีผสมไพโรเป็นเวลา 1 min ความชื้นหลังนำข้าวชุปสีผสมไพโรโดยการแช่ข้าวในน้ำสีผสมไพโรเป็นเวลา 1 min อยู่ที่ 18.6 %wb แล้วนำเข้าอบแห้ง นำผลการทดลองการลดความชื้นข้าวชุปสีผสมไพโรมาวิเคราะห์ด้วยเส้นแนวโน้มสมการโพลิโนเมียล จากภาพที่ 4-6 (ก) ข้าวชุปสีผสมไพโรขมิ้นชันที่อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 10.58 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = -0.0129t^2 - 0.6695t + 18.4698$ ค่า $R^2 = 0.9965$ ข้าวชุปสีผสมไพโรขมิ้นชันที่อบแห้งที่กำลัง

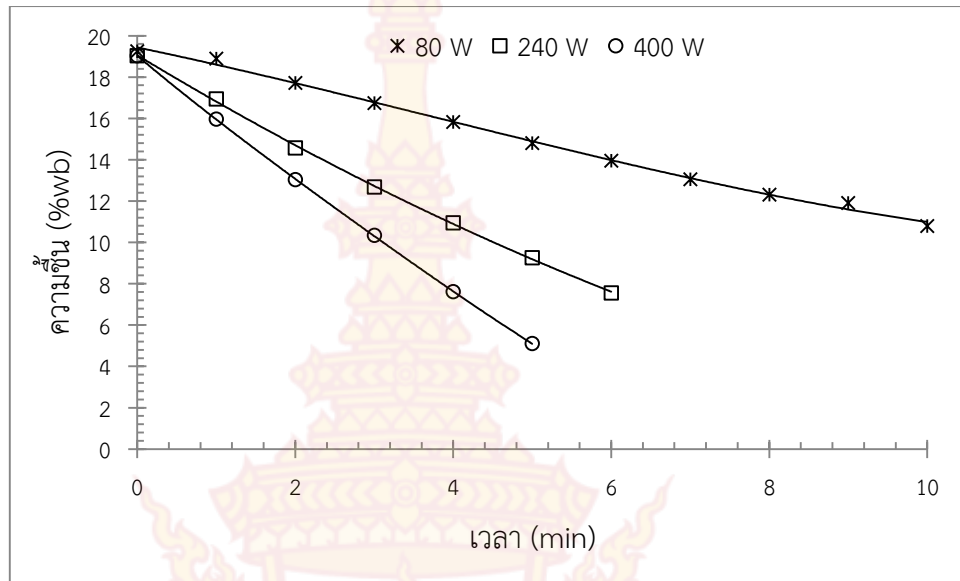
ไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบแห้ง 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 8.16 %wb เส้นแนวโน้มนมีค่า $M_w = -0.0101t^3 + 0.1683t^2 - 2.3952t + 18.658$ ค่า $R^2 = 0.9999$ ข้าวซุบสีสมุนไพรชั้นที่อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบ 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 5.59 %wb เส้นแนวโน้มน มีค่า $M_w = 0.0159t^4 - 0.1287t^3 + 0.2542t^2 - 2.6462t + 18.613$ ค่า $R^2 = 0.9992$ ภาพที่ 4-6 (ข) ข้าวซุบสีสมุนไพรชั้นอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 9 %wb เส้นแนวโน้มนมีค่า $M_w = 0.0006t^4 - 0.0143t^3 + 0.1296t^2 - 1.4303t + 18.604$ ค่า $R^2 = 0.9998$ ข้าวซุบสีสมุนไพรชั้นอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบแห้ง 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 8.29 %wb เส้นแนวโน้มนมีค่า $M_w = 0.0199t^3 - 0.1386t^2 - 1.6196t + 18.76$ ค่า $R^2 = 0.9973$ ข้าวซุบสีสมุนไพรชั้นอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบแห้ง 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 5.1 %wb เส้นแนวโน้มนมีค่า $M_w = 0.0281t^3 - 0.1365t^2 - 2.722t + 18.587$ ค่า $R^2 = 0.9996$ ภาพที่ 4-6 (ค) ข้าวซุบสีสมุนไพรกระเจียบอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 9.40 %wb เส้นแนวโน้มนมีค่า $M_w = 0.0005t^4 - 0.0138t^3 + 0.1359t^2 - 1.4529t + 18.635$ ค่า $R^2 = 0.9985$ ข้าวซุบสีสมุนไพรกระเจียบอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบแห้ง 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 7.94 %wb เส้นแนวโน้มนมีค่า $M_w = 0.0042t^4 - 0.0508t^3 + 0.2153t^2 - 2.1588t + 18.644$ ค่า $R^2 = 0.9991$ ข้าวซุบสีสมุนไพรกระเจียบอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบแห้ง 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 5.11 %wb เส้นแนวโน้มนของข้าวซุบสีสมุนไพรกระเจียบที่อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W มีค่า $M_w = 0.0324t^3 - 0.1648t^2 - 2.6901t + 18.655$ ค่า $R^2 = 0.9999$ จะเห็นได้ว่าเมื่อข้าวสารซุบสีสมุนไพรได้ผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความชื้นที่ลดลงและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแตกต่างกัน ซึ่งกำลังไมโครเวฟสูงขึ้นส่งผลให้ข้าวซุบสีสมุนไพรสามารถดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มากและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้มากกว่าการใช้กำลังไมโครเวฟที่ต่ำกว่า ส่งผลให้กำลังไมโครเวฟสูงสามารถไล่ความชื้นได้รวดเร็วกว่าการใช้กำลังไมโครเวฟที่ต่ำกว่า จากนั้นใช้สมการโพลีโนเมียลที่ได้จากกราฟไปทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพร



(ก)



(ข)

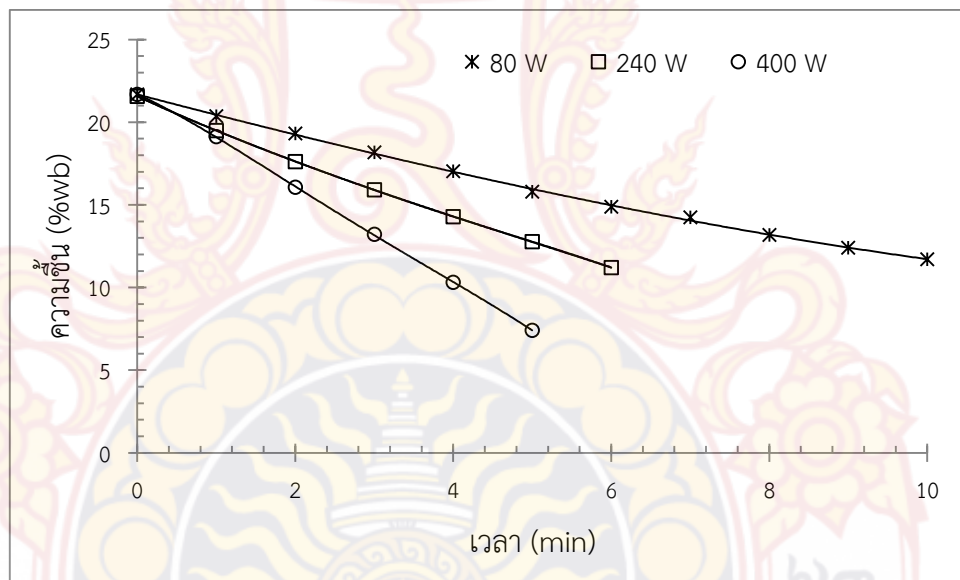


(ค)

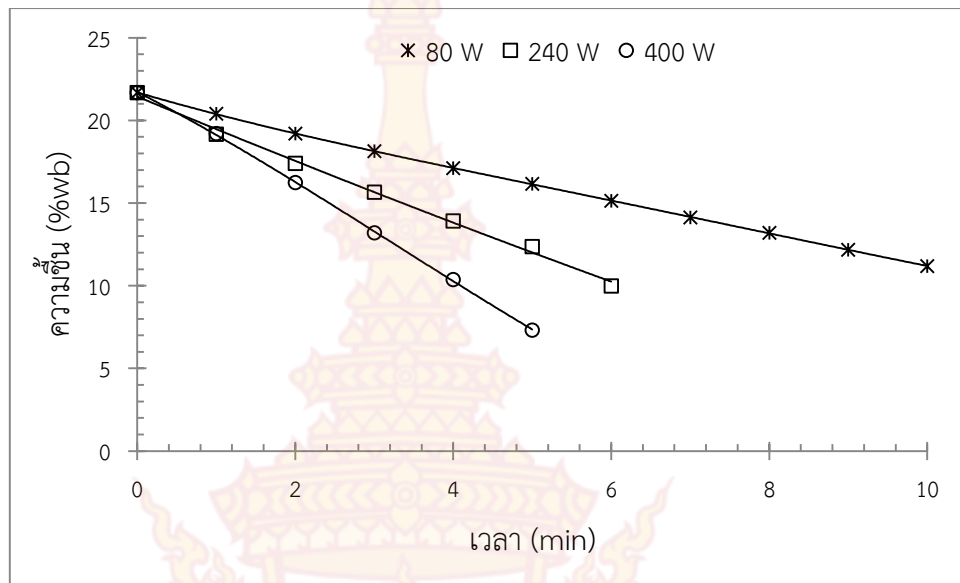
ภาพที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซูปสีสมนไพรโดยการแช่ 3 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ (ก) สีขมิ้นชัน (ข) สีอัญชัน (ค) สีกระเจี๊ยบ

ภาพที่ 4-7 ผลการลดความชื้นของข้าวที่ผ่านซูปสีสมนไพรโดยแช่ในน้ำสีสมนไพรเป็นเวลา 3 min ความชื้นหลังนำข้าวซูปสีสมนไพรโดยการแช่ข้าวในน้ำสีสมนไพรเป็นเวลา 3 min อยู่ที่ 19.2 %wb แล้วนำเข้าอบแห้ง นำผลการทดลองการลดความชื้นข้าวซูปสีสมนไพรมาวิเคราะห์ด้วยเส้นแนวโน้มสมการพหุนามเมียด จากภาพที่ 4-7 (ก) ข้าวซูปสีสมนไพรขมิ้นชันที่อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 9.51 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = -0.0408t^2 - 0.5817t + 19.162$ ค่า $R^2 = 0.9967$ ข้าวซูปสีสมนไพรขมิ้นชันที่อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบแห้ง 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 8.40 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0676t^2 - 2.169t + 18.993$ ค่า $R^2 = 0.9999$ ข้าวซูปสีสมนไพรขมิ้นชันที่อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบแห้ง 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 5.63 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0517t^3 - 0.2991t^2 - 2.5023t + 19.223$ ค่า $R^2 = 0.9988$ ภาพที่ 4-7 (ข) ข้าวซูปสีสมนไพรอัญชันอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 10.75 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0003t^4 - 0.0085t^3 + 0.0612t^2 - 0.9057t + 19.007$ ค่า $R^2 = 0.9996$ ข้าวซูปสีสมนไพรอัญชันอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบแห้ง 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 8.26 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0021t^4 - 0.0428t^3 + 0.3227t^2 - 2.6414t + 19.026$ ค่า $R^2 = 1$ ข้าวซูปสีสมนไพรอัญชันอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบแห้ง 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 5.63 %wb เส้นแนวโน้ม มีค่า $M_w = 0.0583t^3 - 0.3758t^2 - 2.2584t + 18.937$ ค่า $R^2 = 0.9982$ ภาพที่ 4-7 (ค) ข้าวซูปสีสมนไพรกระเจี๊ยบอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 10.79 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0034t^3 - 0.0388t^2 - 0.8t + 19.436$ ค่า R^2

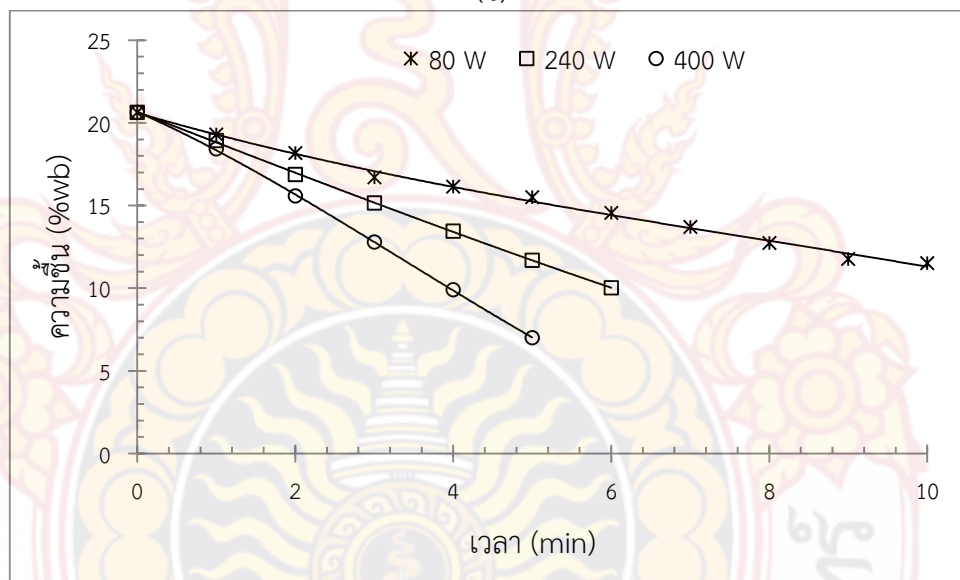
= 0.9968 ข้าวชุปสีสมุนไพรรักษาเจ็บบอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบแห้ง 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 7.56 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0673t^2 - 2.3109t + 19.057$ ค่า $R^2 = 0.9995$ ข้าวชุปสีสมุนไพรรักษาเจ็บบอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 5.1 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0032t^4 - 0.035t^3 + 0.1856t^2 - 3.2364t + 19.032$ ค่า $R^2 = 1$ จะเห็นได้ว่าเมื่อข้าวสารชุปสีสมุนไพรรักษาเจ็บผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความชื้นที่ลดลงและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแตกต่างกัน ซึ่งกำลังไมโครเวฟสูงขึ้นส่งผลให้ข้าวชุปสีสมุนไพรรักษาเจ็บสามารถดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มากและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้มากกว่าการใช้กำลังไมโครเวฟที่ต่ำกว่า ส่งผลให้กำลังไมโครเวฟสูงสามารถไล่ความชื้นได้รวดเร็วกว่าการใช้กำลังไมโครเวฟที่ต่ำกว่า จากนั้นใช้สมการโพลีโนเมียลที่ได้จากกราฟไปทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งข้าวชุปสีสมุนไพรรักษาเจ็บ



(ก)



(ข)



(ค)

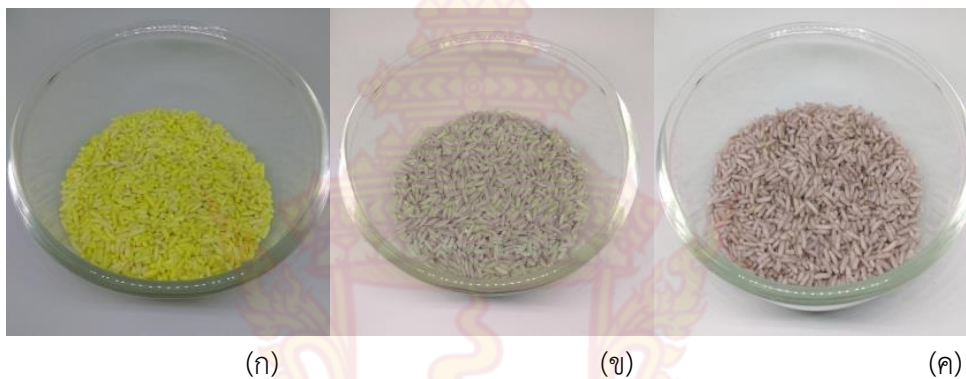
ภาพที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวชุปสีผสมไพโรโดยการแช่ 5 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ (ก) สีขมิ้นชัน (ข) สีอัญชัน (ค) สีกระเจี๊ยบ

ภาพที่ 4-8 ผลการลดความชื้นของข้าวที่ผ่านชุปสีผสมไพโรโดยแช่ในน้ำสีผสมไพโรเป็นเวลา 5 min ความชื้นหลังนำข้าวชุปสีผสมไพโรโดยการแช่ข้าวในน้ำสีผสมไพโรเป็นเวลา 5 min อยู่ที่ 21.5 %wb แล้วนำเข้าอบแห้ง นำผลการทดลองการลดความชื้นข้าวชุปสีผสมไพโรมาวิเคราะห์ด้วยเส้นแนวโน้มสมการพหุนามเมียด จากภาพที่ 4-8 (ก) ข้าวชุปสีผสมไพโรขมิ้นชันที่อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 11.7 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0007t^3 + 0.0184t^2 - 1.2546t + 21.679$ ค่า $R^2 = 0.9992$ ข้าวชุปสีผสมไพโรขมิ้นชันที่อบแห้งที่

กำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบแห้ง 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 11.2 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = -0.0083t^3 + 0.1282t^2 - 2.196t + 21.693$ ค่า $R^2 = 1$ ข้าวซูปส์สมุนไพรมันชั้นที่อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบแห้ง 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 7.4 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0149t^3 - 0.1303t^2 - 2.5793t + 21.717$ ค่า $R^2 = 0.9999$ ภาพที่ 4-8 (ข) ข้าวซูปส์สมุนไพรอัญชันอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 11.19 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0004t^4 - 0.0106t^3 + 0.1021t^2 - 1.4069t + 21.694$ ค่า $R^2 = 1$ ข้าวซูปส์สมุนไพรอัญชันอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบแห้ง 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 9.98 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0203t^2 - 1.987t + 21.439$ ค่า $R^2 = 0.9961$ ข้าวซูปส์สมุนไพรอัญชันอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบแห้ง 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 7.32 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.0188t^3 - 0.1813t^2 - 2.4357t + 21.717$ คือ $R^2 = 0.9998$ ภาพที่ 4-8 (ค) ข้าวซูปส์สมุนไพรระเจียบอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบแห้ง 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 11.52 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = -0.0033t^3 + 0.0776t^2 - 1.3758t + 20.597$ ค่า $R^2 = 0.9956$ ข้าวซูปส์สมุนไพรระเจียบอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบแห้ง 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 10 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.002t^3 + 0.0011t^2 - 1.8536t + 20.67$ ค่า $R^2 = 0.9997$ ข้าวซูปส์สมุนไพรระเจียบอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบแห้ง 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง 7 %wb เส้นแนวโน้มมีค่า $M_w = 0.025t^3 - 0.2529t^2 - 2.0883t + 20.658$ ค่า $R^2 = 0.9998$ จะเห็นได้ว่าเมื่อข้าวสารซูปส์สมุนไพรมันชั้นผ่านการอบแห้งที่ กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความชื้นที่ลดลงและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแตกต่างกัน ซึ่งกำลังไมโครเวฟสูงขึ้นส่งผลให้ข้าวซูปส์สมุนไพรมันชั้นสามารถดูดซับพลังงาน ไมโครเวฟได้มากและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้มากกว่าการใช้กำลังไมโครเวฟที่ต่ำกว่า ส่งผลให้ กำลังไมโครเวฟสูงสามารถไล่ความชื้นได้รวดเร็วกว่าการใช้กำลังไมโครเวฟที่ต่ำกว่า จากนั้นใช้สมการ โพลีโนเมียลที่ได้จากกราฟไปทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซูปส์สมุนไพรมันชั้น

จากการทดลองทำให้ข้าวสารซูปส์สมุนไพรมันชั้น 3 สีโดยการชานน้ำสีสมุนไพรมันชั้นและการแช่ข้าวในน้ำสีสมุนไพรมันชั้นเป็นเวลา 1, 3 และ 5 min เมื่อผ่านการซูปส์สมุนไพรมันชั้นเมล็ดข้าวสารมีการดูดซับน้ำสีสมุนไพรมันชั้นทำให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการซูปส์สมุนไพรมันชั้น จากนั้นทำการอบแห้งข้าวสารที่ผ่านการซูปส์สมุนไพรมันชั้นเพื่อให้เมล็ดข้าวสารมีระดับความชื้นลดลง โดยการนำไปอบแห้งที่ กำลังไมโครเวฟ 80, 240 และ 400 W ใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 10, 6 และ 5 min เมื่อข้าวซูปส์สมุนไพรมันชั้นผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W ใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 5 min ระดับความชื้นสุดท้ายหลังอบแห้งอยู่ในช่วง 4-8 %wb ข้าวซูปส์สมุนไพรมันชั้นที่ผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W ใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 6 min ระดับความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้งอยู่ในช่วง 7-11 %wb แล้ว ข้าวซูปส์สมุนไพรมันชั้นที่ผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W ใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 10 min ระดับความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้งอยู่ในช่วง 9-13 %wb เมื่อพิจารณาความชื้นของข้าวซูปส์สมุนไพรมันชั้นที่ผ่านการอบแห้งโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ กำลังไมโครเวฟ 80, 240 และ 400 W ช่วงระยะแรกของการอบแห้งข้าวซูปส์สมุนไพรมันชั้น ข้าวได้ดูดซับพลังงานไมโครเวฟและเปลี่ยนเป็นพลังงาน

ความร้อนด้วยคุณสมบัติไดอิเล็กทริกจึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างรวดเร็ว และพบว่าการใช้กำลังไมโครเวฟที่ 400 W สามารถไล่ความชื้นภายในเมล็ดข้าวได้มากกว่าการใช้กำลังไมโครเวฟที่ 80 W และ 240 W เนื่องจากการใช้กำลังไมโครเวฟสูงส่งผลให้น้ำในข้าวดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มากและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนมากกว่าการใช้กำลังไมโครเวฟต่ำ ทำให้น้ำที่ซึมอยู่ในข้าวออกมาสู่ผิวและระเหยไปสู่สภาวะภายนอกได้รวดเร็วกว่าส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า

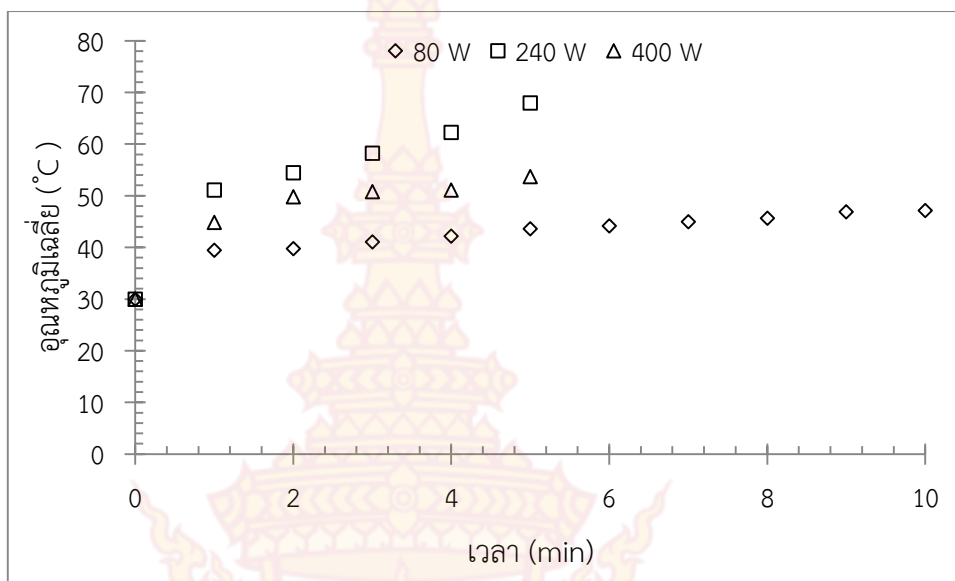


ภาพที่ 4-9 ข้าวซูปส์สมุนไพรมันที่ผ่านการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ (ก) ข้าวซูปส์สมุนไพรมันชั้น (ข) ข้าวซูปส์สมุนไพรร้อยชั้น (ค) ข้าวซูปส์สมุนไพรระเหยียบแดง

คณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองเพิ่มความเข้มข้นของน้ำสีสมุนไพรมันโดยใช้อัตราส่วนผงสีสมุนไพรมัน 10 g ต่อ น้ำ 400 ml คิดเป็นความเข้มข้นร้อยละ 2.44 %โดยมวล จากการประเมินด้วยสายตาของคณะผู้จัดทำพบว่าสีข้าวซูปส์สมุนไพรมันที่ซูปน้ำสีสมุนไพรมันที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.44 %โดยมวล สีที่เคลือบเมล็ดข้าวมีความเข้มกว่าสีข้าวซูปส์สมุนไพรมันที่ซูปน้ำสีสมุนไพรมันที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.23 %โดยมวล แต่ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.44 %โดยมวล มีผงตะกอนของสีสมุนไพรมันเกาะที่เมล็ดข้าว

4.2 อุณหภูมิของข้าวซูปส์สมุนไพรมัน

จากการอบแห้งข้าวซูปส์สมุนไพรมันที่กำลังไมโครเวฟ 80, 240 และ 400 W วัดอุณหภูมิข้าวซูปส์สมุนไพรมันทุกๆ 1 min พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของข้าวซูปส์สมุนไพรมันที่อบแห้งที่ระดับกำลังไมโครเวฟต่างๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยที่กำลังไมโครเวฟ 400 W อุณหภูมิเฉลี่ยของข้าวซูปส์สมุนไพรมันอยู่ระหว่าง 50°C และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนอุณหภูมิเฉลี่ยสุดท้ายของการอบแห้งอยู่ที่ 67°C ที่กำลังไมโครเวฟ 240 W อุณหภูมิเฉลี่ยของข้าวซูปส์สมุนไพรมันอยู่ระหว่าง 45-55°C และที่กำลังไมโครเวฟ 80 W อุณหภูมิเฉลี่ยของข้าวซูปส์สมุนไพรมันอยู่ระหว่าง 39-47°C



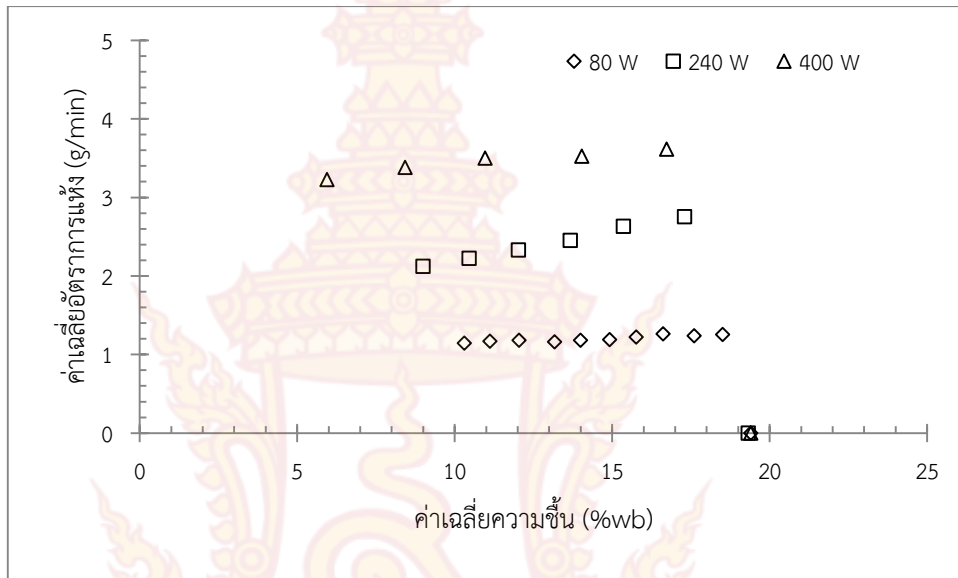
ภาพที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของข้าวที่ซุบสีสมุนไพรรอบที่ระดับกำลังไมโครเวฟต่างๆ และเวลาในการอบ

การให้ความร้อนที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับส่งผลให้อุณหภูมิของข้าวซุบสีสมุนไพรรอบแห้งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและการใช้กำลังไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของข้าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องเนื่องจากน้ำในข้าวดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟส่งผลให้อุณหภูมิของข้าวจึงสูงตามพลังงานไมโครเวฟที่ข้าวดูดซับไว้ เมื่ออบแห้งที่กำลังไมโครเวฟสูง (400 W) ข้าวดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มากทำให้ความร้อนในข้าวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจึงทำให้สามารถลดความชื้นข้าวได้มากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กำลังไมโครเวฟต่ำ แต่การใช้กำลังไมโครเวฟที่มากเกินไปอาจทำให้ข้าวซุบสีสมุนไพรรอบบางส่วนพองและปริแตกทำให้เมล็ดข้าวได้รับความเสียหาย

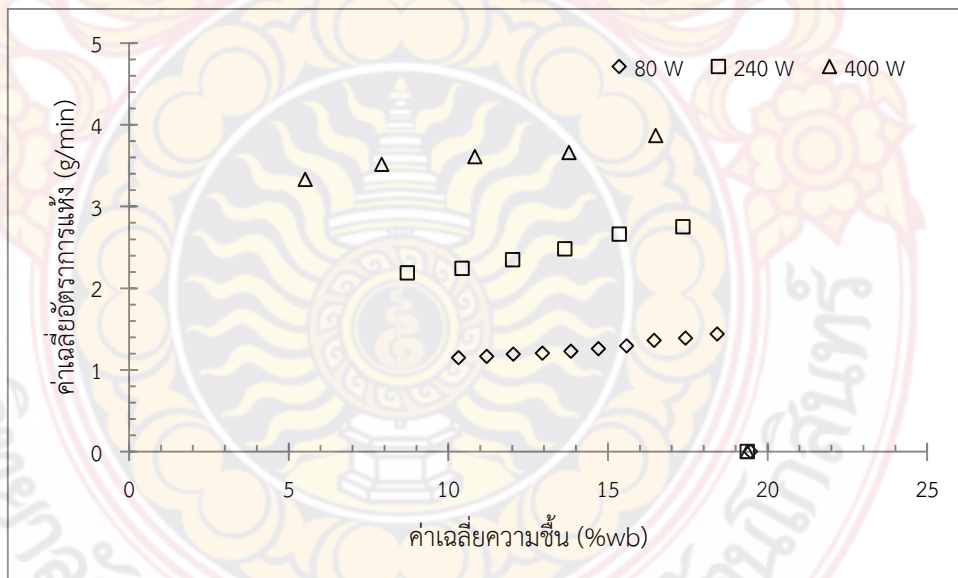
4.3 อัตราการอบแห้ง

จากการทดลองการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรรอบได้นำปริมาณน้ำที่ถูกนำออกไปจากเมล็ดข้าวมาทำการหาอัตราการอบแห้ง จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการอบแห้งที่กำลังคลื่นไมโครเวฟ 400, 240 และ 80 W จะเห็นได้ว่ามีค่าเฉลี่ยอัตราการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นตามกำลังของไมโครเวฟสำหรับอัตราการอบแห้งเฉลี่ยของกำลังคลื่นไมโครเวฟที่กำลัง 400, 240 และ 80 W มีค่า 2.79, 2.12 และ 1.04 g/min ตามลำดับ แต่ค่อนข้างมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยอัตราการอบแห้งของทั้งกำลังไมโครเวฟ 400, 240 และ 80 W แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกมีอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเนื่องจากข้าวซุบสีสมุนไพรรอบดูดซับพลังงานไมโครเวฟแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อนภายในอย่างรวดเร็วทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิวและระเหยสู่สภาวะภายนอก โดยที่ กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นในช่วง 1 นาทีแรก และเข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (ภาพที่ 4-11) จะเห็นได้ว่าเมื่อกำลังไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นข้าวซุบสีสมุนไพรรอบสามารถดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มากขึ้นตามทำให้ความชื้นเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิวของข้าวได้มากขึ้น เมื่อน้ำในข้าวซุบสีสมุนไพรรอบระเหยออกมาสู่

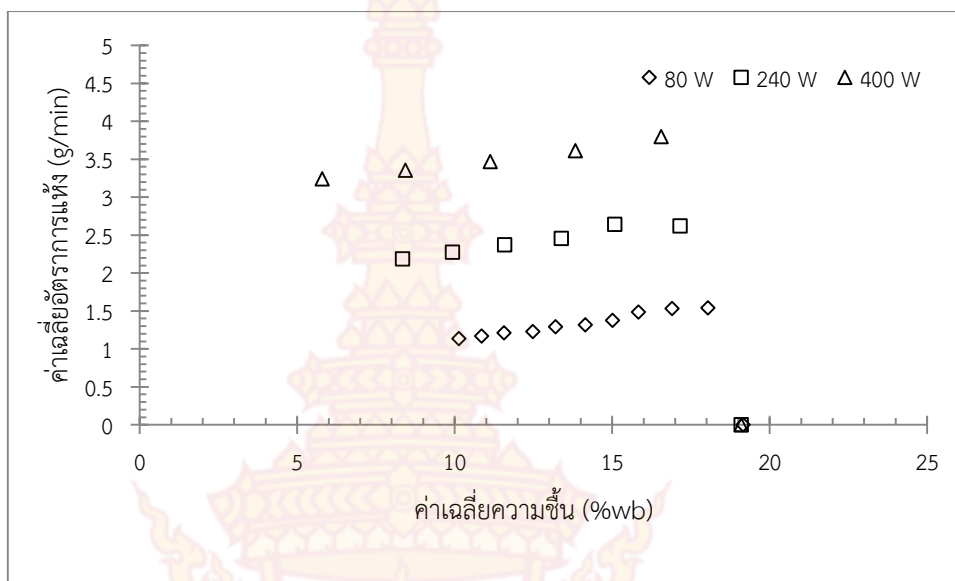
ภายนอกทำให้ความชื้นในวัสดุค่อยๆ ลดลง น้ำภายในเมล็ดข้าวจึงดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้น้อยลง ส่งผลให้น้ำในเมล็ดข้าวเคลื่อนที่ออกมาสู่บริเวณผิวได้ไม่ต่อเนื่องทำให้ผิวเมล็ดข้าวเริ่มแห้งตัว อุณหภูมิของข้าวซุบสีสมุนไพรจึงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ภาพที่ 4-10)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งเฉลี่ยกับความชื้นเฉลี่ย (ก) ข้าวชุปสีสมุนไพรมันชั้น (ข) ข้าวชุปสีสมุนไพรอัญชัน (ค) ข้าวชุปสีสมุนไพรระเจียบ

4.4 ค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

การอบแห้งข้าวชุปสีสมุนไพรรด้วยคลื่นไมโครเวฟได้เปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้กำลังไมโครเวฟระดับต่างๆ ในการอบแห้ง ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 กรณีศึกษาการเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ

กำลังไมโครเวฟ (W)	เวลาการอบ (min)	อัตราแห้งเฉลี่ย (g/min)	พลังงานที่ใช้ (kWh)	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg of water evaporated)
80	10	1.04	0.233	83.81
240	6	2.12	0.140	35.67
400	5	2.79	0.116	35.24

จากตารางที่ 4-1 การอบแห้งข้าวซูปสีสมนไพรที่คลื่นไมโครเวฟกำลัง 80 W ที่เวลาการอบ 10 min ใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าที่กำลังวัตต์ 240 และ 400 W แต่สามารถลดระดับความชื้นได้น้อยกว่าจึงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นในการทำให้ความชื้นหลังการอบแห้งอยู่ในระดับใกล้เคียงกันกับการใช้กำลังไมโครเวฟสูง เมื่อเปรียบเทียบที่กำลังไมโครเวฟ 240 และ 400 W ในการให้ความร้อนที่กำลัง 240 W สามารถลดความชื้นของข้าวซูปสีสมนไพรอยู่ในช่วง 7-11 %wb ซึ่งมีความชื้นใกล้เคียงกับความชื้นของข้าวสารที่ยังไม่ผ่านการซูปสีสมนไพรคือ 11.92 %wb แต่มีการใช้พลังงานในการอบแห้งมากกว่าการใช้กำลังไมโครเวฟ 400 W จะเห็นว่ากำลังไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นตามจึงทำให้ได้ความชื้นได้มากขึ้น ในการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟสูงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งจึงลดลงทำให้ใช้พลังงานในการอบน้อยลง แต่การอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W ข้าวซูปสีสมนไพรเกิดปริแตกบางส่วน ทำให้การอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W เหมาะสมในการอบแห้งข้าวซูปสีสมนไพร

เปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซูปสีสมนไพรแต่ละแบบ โดยใช้สมการ โพลีโนเมียลทำนายเวลาในการอบแห้งเมื่อให้ความชื้นสุดท้ายของข้าวซูปสีสมนไพรหลังการอบแห้ง (M_w) คือ 11 %wb

ข้าวซูปสีสมนไพรมันชั้นที่ผ่านการชาน้ำสีสมนไพรมันชั้นอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W. จาก $M_w = 0.0001t^5 - 0.0052t^4 + 0.065t^3 - 0.299t^2 - 0.5044t + 18.095$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 7.36 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W. จาก $M_w = 0.0285t^2 - 1.8238t + 18.083$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 4.15 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W. จาก $M_w = 0.0198t^4 - 0.1784t^3 + 0.5105t^2 - 3.1534t + 18.077$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 2.63 min

ข้าวซูปสีสมนไพรอัญชันที่ผ่านการชาน้ำสีสมนไพรอัญชันอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W. จาก $M_w = 0.0014x^3 - 0.0117x^2 - 0.8477x + 18.618$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 9.1 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W จาก $M_w = 0.0425t^2 - 1.8761t + 18.041$ จะได้เวลาการอบแห้ง (t) = 4.14 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 จาก $M_w = 0.0141t^4 - 0.1473t^3 + 0.4935t^2 - 3.371t + 18.092$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 2.50 min

ข้าวซูปสีสมนไพรกระเจี๊ยบที่ผ่านการชาน้ำสีสมนไพรกระเจี๊ยบอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W จาก $M_w = 0.0006t^4 - 0.0154t^3 + 0.1481t^2 - 1.4644t + 18.042$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 7.24 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W จาก $M_w = 0.0599t^2 - 2.0628t + 18.055$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 3.85 min อบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W จาก $M_w = 0.0123t^4 - 0.1369t^3 + 0.3766t^2 - 2.4287t + 18.083$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 3.19 นาที

เมื่อนำเวลาในการอบแห้งข้าวซูปสีสมนไพรที่ได้จากสมการโพลีโนเมียลมาคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งข้าวที่ผ่านซูปสีสมนไพรโดยการชาน้ำสีสมนไพร จะได้พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 กรณีศึกษาเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรโดยการชอน้ำสีสมุนไพร

สีสมุนไพร	กำลังไมโครเวฟ (W)	เวลาในการอบ (min)	พลังงานที่ใช้ (kWh)
1. สีขมิ้นชัน	80	7.36	0.171
	240	4.15	0.097
	400	2.63	0.061
2. สีอัญชัน	80	9.1	0.212
	240	4.14	0.096
	400	2.50	0.058
3. สีกระเจี๊ยบ	80	7.24	0.169
	240	3.85	0.090
	400	3.19	0.074

ข้าวซุบสีสมุนไพรขมิ้นชันที่ผ่านการชอน้ำสีสมุนไพรขมิ้นชัน 1 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W จาก $M_w = -0.0129t^2 - 0.6695t + 18.4698$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 9.44 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W จาก $M_w = -0.0101x^3 + 0.1683x^2 - 2.3952x + 18.658$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 4.08 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W จาก $M_w = 0.0159t^4 - 0.1287t^3 + 0.2542t^2 - 2.6462t + 18.613$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 2.92 min

ข้าวซุบสีสมุนไพรอัญชันที่ผ่านการชอน้ำสีสมุนไพรอัญชัน 1 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W จาก $M_w = 0.0006t^4 - 0.0143t^3 + 0.1296t^2 - 1.4303t + 18.604$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 7.54 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W จาก $M_w = 0.0199t^3 - 0.1386t^2 - 1.6196t + 18.76$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 4.19 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W จาก $M_w = 0.0281t^3 - 0.1365t^2 - 2.722t + 18.587$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 2.63 min

ข้าวซุบสีสมุนไพรกระเจี๊ยบที่ผ่านการชอน้ำสีสมุนไพรกระเจี๊ยบ 1 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W จาก $M_w = 0.0005t^4 - 0.0138t^3 + 0.1359t^2 - 1.4529t + 18.635$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 7.66 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W จาก $M_w = 0.0042t^4 - 0.0508t^3 + 0.2153t^2 - 2.1588t +$

18.644 จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 4.15 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W จาก $M_w = 0.0324t^3 - 0.1648t^2 - 2.6901t + 18.655$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 2.64 min

เมื่อนำเวลาในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรมันชั้นที่ได้จากสมการโพลีโนเมียลมาคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งข้าวที่ผ่านซุบสีสมุนไพรรโดยการแช่น้ำสีสมุนไพรร 1 min จะได้พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 กรณีศึกษาเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรรโดยการแช่น้ำสีสมุนไพรร 1 min

สีสมุนไพรร	กำลังไมโครเวฟ (W)	เวลาในการอบ (min)	พลังงานที่ใช้ (kWh)
1. สีขมิ้นชั้น	80	9.44	0.220
	240	4.08	0.095
	400	2.92	0.068
2. สีอัญชัน	80	7.54	0.176
	240	4.19	0.098
	400	2.63	0.061
3. สีกระเจียว	80	7.66	0.178
	240	4.15	0.097
	400	2.64	0.061

ข้าวซุบสีสมุนไพรรมันชั้นที่ผ่านการแช่น้ำสีสมุนไพรรมันชั้น 3 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W จาก $M_w = -0.0408x^2 - 0.5817x + 19.162$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 8.71 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W จาก $M_w = 0.0676t^2 - 2.169t + 18.993$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 4.25 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W จาก $M_w = 0.0517t^3 - 0.2991t^2 - 2.5023t + 19.223$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 2.80 min

ข้าวซุบสีสมุนไพรรอัญชันที่ผ่านการแช่น้ำสีสมุนไพรรอัญชัน 3 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W จาก $M_w = 0.0003t^4 - 0.0085t^3 + 0.0612t^2 - 0.9057t + 19.007$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 9.58 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W จาก $M_w = 0.0021t^4 - 0.0428t^3 + 0.3227t^2 - 2.6414t + 19.026$

จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 4.27 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W จาก $M_w = 0.0583t^3 - 0.3758t^2 - 2.2584t + 18.937$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 2.78 min

ข้าวซุบสีสมุนไพรรละเอียดที่ผ่านการแช่น้ำสีสมุนไพรรละเอียด 3 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W จาก $M_w = 0.0034t^3 - 0.0388t^2 - 0.8t + 19.436$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 9.92 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W จาก $M_w = 0.0673t^2 - 2.3109t + 19.057$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 3.94 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W จาก $M_w = 0.0032t^4 - 0.035t^3 + 0.1856t^2 - 3.2364t + 19.032$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 2.75 min

เมื่อนำเวลาในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรรที่ได้จากสมการโพลีโนเมียลมาคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งข้าวที่ผ่านซุบสีสมุนไพรรโดยการแช่น้ำสีสมุนไพรร 3 min จะได้พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 กรณศึกษาเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรรโดยการแช่น้ำสีสมุนไพรร 3 min

สีสมุนไพรร	กำลังไมโครเวฟ (W)	เวลาในการอบ (min)	พลังงานที่ใช้ (kWh)
1. สีขมิ้นชัน	80	8.71	0.203
	240	4.25	0.099
	400	2.80	0.065
2. สีอัญชัน	80	9.58	0.223
	240	4.27	0.099
	400	2.78	0.065
3. สีกระเจียว	80	9.92	0.231
	240	3.94	0.092
	400	2.75	0.064

ข้าวซุบสีสมุนไพรรขมิ้นชันที่ผ่านการแช่น้ำสีสมุนไพรรขมิ้นชัน 5 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W จาก $M_w = 0.0007t^3 + 0.0184t^2 - 1.2546t + 21.679$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 10.43 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W มีค่า $M_w = -0.0083t^3 + 0.1282t^2 - 2.196t + 21.693$ จะได้เวลาอบแห้ง

(t) = 6.18 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W มีค่า $M_w = 0.0149t^3 - 0.1303t^2 - 2.5793t + 21.717$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 3.53 min ข้าวซูปส์สมุนไพรอัญชันที่ผ่านการแช่น้ำสีสมุนไพรอัญชัน 5 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W จาก $M_w = 0.0004t^4 - 0.0106t^3 + 0.1021t^2 - 1.4069t + 21.694$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 10.25 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W จาก $M_w = 0.0203t^2 - 1.987t + 21.439$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 5.57 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W จาก $M_w = 0.0188t^3 - 0.1813t^2 - 2.4357t + 21.717$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 3.76 min ข้าวซูปส์สมุนไพรระเจียบที่ผ่านการแช่น้ำสีสมุนไพรระเจียบ 5 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W จาก $M_w = -0.0033t^3 + 0.0776t^2 - 1.3758t + 20.597$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 10.36 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W จาก $M_w = 0.002t^3 + 0.0011t^2 - 1.8536t + 20.67$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 5.40 min อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W จาก $M_w = 0.025t^3 - 0.2529t^2 - 2.0883t + 20.658$ จะได้เวลาอบแห้ง (t) = 3.60 min เมื่อนำเวลาในการอบแห้งข้าวซูปส์สมุนไพรรวที่ได้จากสมการโพลีโนเมียลมาคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งข้าวที่ผ่านซูปส์สมุนไพรรวโดยการแช่น้ำสีสมุนไพรรว 5 min จะได้พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 กรณีศึกษาเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซูปส์สมุนไพรรวโดยการแช่น้ำสีสมุนไพรรว 5 min

สีสมุนไพรรว	กำลังไมโครเวฟ (W)	เวลาในการอบ (min)	พลังงานที่ใช้ (kWh)
1. สีขมิ้นชัน	80	10.43	0.243
	240	6.18	0.144
	400	3.53	0.082
2. สีอัญชัน	80	10.25	0.239
	240	5.57	0.130
	400	3.76	0.088
3. สีกระเจียบ	80	10.36	0.241
	240	5.40	0.126
	400	3.60	0.084

พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซูปสึมุไพรโดยใช้สมการโพลีโนเมียลที่ได้จากเส้นแนวโน้มโพลีโนเมียลเทียบกับผลการทดลองมาทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซูปสึมุไพร นำเวลาที่ได้มาคิดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟสูงน้ำในเมล็ดข้าวสามารถดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มากขึ้น ส่งผลให้น้ำในเมล็ดข้าวเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิววัสดุและระเหยสู่ภายนอกได้มากขึ้นจึงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลงเมื่อเทียบกับกำลังไมโครเวฟที่ต่ำกว่า



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการอบแห้งข้าวสารชุบสีผสมไพโรด้วยคลื่นไมโครเวฟ เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าวสารที่ผ่านการชุบสีผสมไพโรต่างๆ แล้วนำมาอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อไล่ความชื้นซึ่งมีผลต่อการเสื่อมเสียของข้าว ทำให้ข้าวชุบสีผสมไพโรมีอายุการรักษานาน เพื่อส่งจำหน่ายในอนาคต

5.1 สรุปผล

ขั้นตอนการทำข้าวชุบสีผสมไพโรอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟเริ่มจากการทำน้ำสีผสมไพโรโดยละลายผงสีผสมไพโรทั้ง 3 สี คือ สีขมิ้นชัน สีอัญชัน และสีกระเจียวแดง ในน้ำประปา จากนั้นนำข้าวสารชุบสีผสมไพโรโดย การจุ่มข้าวสารลงในน้ำสีผสมไพโรแล้วนำขึ้น (การขาว) และการแช่ข้าวสารลงในน้ำสีผสมไพโรใช้เวลาแช่ 1, 3 และ 5 นาที จากนั้นอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อลดความชื้น

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้จากการอบแห้งข้าวสารที่ผ่านการชุบสีผสมไพโรที่ระดับกำลังไมโครเวฟ 3 ระดับ คือ 80, 240 และ 400 W โดยระดับกำลังของไมโครเวฟมีผลต่อการลดความชื้น โดยการอบแห้งที่ระดับกำลังไมโครเวฟสูงสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าระดับกำลังไมโครเวฟที่ต่ำ เพราะระดับกำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นทำให้น้ำเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณผิวของวัสดุเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่ลดลง เมื่อเทียบที่กำลังไมโครเวฟ 400 W ใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่กำลังไมโครเวฟ 240 W พบว่าข้าวมีการปริแตกที่บริเวณผิวเนื่องจากน้ำระเหยออกอย่างรวดเร็ว และอุณหภูมิของข้าวชุบสีผสมไพโรจะสูงตามกำลังไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้น แต่การชุบสีผสมไพโรเพื่อให้สีผสมไพโรเคลือบที่เมล็ดข้าวทั้ง 3 สี ได้แก่ ขมิ้นชัน อัญชัน กระเจียวแดง ด้วยการนำเมล็ดข้าวขาวผ่านน้ำสีผสมไพโร แช่ในน้ำผสมไพโรเป็นเวลา 1, 3 และ 5 min พบว่ามีความชื้นเพิ่มขึ้นหลังการชุบสีผสมไพโรไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะระยะเวลาการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวไม่แตกต่างกัน และสีผสมไพโรที่เคลือบเมล็ดข้าวค่อนข้างอ่อนเมื่อเทียบกับการชุบสีข้าวโดยใช้ความเข้มข้นของน้ำสีผสมไพโรที่เพิ่มขึ้น

การใช้กำลังไมโครเวฟสูงส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นตามกำลังไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลงจึงทำให้พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งลดลงตาม ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจึงลดลงตามกำลังไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้น

5.2 ปัญหาและการแก้ไขปัญหา

จากการดำเนินการทดลองอบแห้งข้าวชุปสีสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟ พบปัญหาที่ได้จากการทดลอง ดังนี้

5.2.1 สีของข้าวชุปสีสมุนไพรที่ได้หลังจากการอบแห้งมีสีที่เปลี่ยนไปอาจเกิดจากสีสมุนไพรถูกเมล็ดข้าวดูดซับเข้าสู่ข้างในอาจเปลี่ยนจากการแช่เป็นการพ่นเคลือบสี

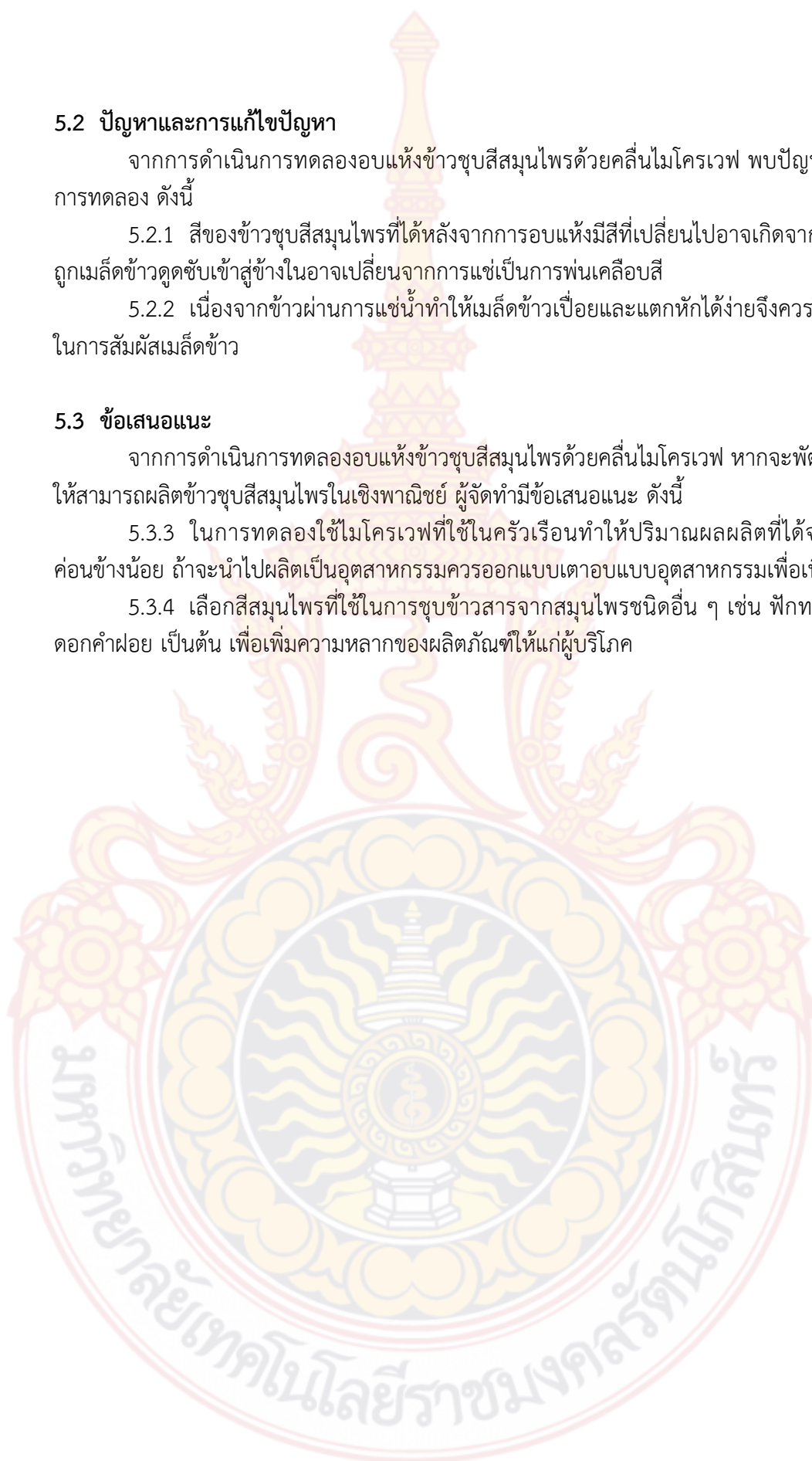
5.2.2 เนื่องจากข้าวผ่านการแช่น้ำทำให้เมล็ดข้าวเปียกและแตกหักได้ง่ายจึงควรใช้แรงน้อยในการสัมผัสเมล็ดข้าว

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการทดลองอบแห้งข้าวชุปสีสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟ หากจะพัฒนาเพื่อให้สามารถผลิตข้าวชุปสีสมุนไพรในเชิงพาณิชย์ ผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.3.3 ในการทดลองใช้ไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือนทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้จากการอบค่อนข้างน้อย ถ้านำไปผลิตเป็นอุตสาหกรรมควรออกแบบเตาอบแบบอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มผลผลิต

5.3.4 เลือกสีสมุนไพรที่ใช้ในการชุบข้าวสารจากสมุนไพรชนิดอื่น ๆ เช่น ฟักทอง ฟักข้าว ดอกคำฝอย เป็นต้น เพื่อเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ให้แก่ผู้บริโภค



บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร, (2544). การวิเคราะห์คุณภาพข้าวหอมมะลิทางเคมี, สถาบันวิจัยข้าว : ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี.
- กองวิจัยและพัฒนาข้าว. (2559). องค์ความรู้เรื่องข้าว, กรุงเทพฯ: กรมการข้าว
- คณะเภสัชศาสตร์ ภาควิชาเภสัชพฤกษศาสตร์. (2535).สมุนไพรสวนสิริรุกขชาติ, พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยมหิดล,
- จุไรทิพย์ หวังสินทวีกุล, สืบจากดอกอัญชัน. (ออนไลน์), (2559, 20 พฤษภาคม) : <http://drug.pharmacy.psu.ac.th>
- ชวน คล้ายปาน, (2546). เต้าอบไมโครเวฟ, กรมวิทยาศาสตร์บริการ, บทความวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- ธนาภรณ์ อุ่นพินิจ, วรินรำไพ เศรษฐ์ธมบุตร และคณะ, (2560). การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยคลื่นไมโครเวฟแบบอัตโนมัติ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น,
- นพวรรณ ดวงม, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช และคณะ, (2549, 18-20 ตุลาคม 2549). การอุ้นยงธรรมชาติด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยใช้ระบบไมโครเวฟชนิดที่นำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (MODE:TE10), การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20. นครราชสีมา
- ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, (2551).พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, มงคลชัย คำปากดี, ณัฐพล ภูมิสะอาด และคณะ. (2557). การอบแห้งผักแต่้ใหม่ด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน, ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและเครื่องจักรกลเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- มาลินี รังสี, (2558). การอบขนมปังด้วยเต้าอบไมโครเวฟร่วมกับอินฟราเรดแบบต่อเนื่อง, ปริญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
- ยุทธพงศ์ เพียรโรจน์, พันธุ์ศักดิ์ เกิดทองมี และคณะ, (2548). การพัฒนาระบบการให้ความร้อนเพื่อการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ, หน่วยวิจัยฟิสิกส์ทดลอง สำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1
- รวมพร เลี่ยมแก้ว, (2549). การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟร่วมกับระบบสุญญากาศในการอบแห้งฟักทองแผ่น, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ฤทธิชัย อัครราชันย์, ฉัตรชนก คงสิทธิ์ และคณะ, (2549). คุณลักษณะการอบแห้งของสาหร่ายเตาด้วยคลื่นไมโครเวฟ, คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- วิไล รังสาดทอง, (2543). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,
- สมชาติ โสภณธณฤทธิ, (2535). การอบแห้งเมล็ดพืช, พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ: คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บรรณานุกรม (ต่อ)

- สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท, พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สถาบันการแพทย์แผนไทย, (2559, 20 พฤษภาคม) กระเจี๊ยบแดง (ออนไลน์), สืบค้น : <http://ittm.dtam.moph.go.th>
- สายสนม ประดิษฐ์ดวง, (2540). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สายสนม ประดิษฐ์ดวง, (2543). การให้พลังงานความร้อนด้วยไมโครเวฟและการฉายรังสีอาหาร. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, (2554). พื้นที่เพาะปลูก ผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ข้าวหอมมะลิ แยกตามพันธุ์ข้าวสำคัญ, ศูนย์สารสนเทศ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร,
- สุขุมภรณ์ พุ่มพวง, (2555). อิทธิพลของสภาวะแช่ในสารละลายสมุนไพรรไทย 4 ชนิดต่อคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องงอก 4 พันธุ์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- สุคนธ์ชื่น ศรีงาม, กระบวนการทำแห้งอาหาร, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2539.
- สุทธิศักดิ์ ภัทรสถาพรกุล, (2543). การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบบีบความร้อน, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- Copeland, L.O and M.B. McDonald, (1995). Principles of Seed Science and Technology, 3th Edition, Burgess Publishing Company, New York
- Mujumdar, (2000). Drying technology in agriculture and food sciences, Science Publishers, Inc. Enfield(NH), U.S.A,
- Raghavan, G. S. V., T. J. Rennie, and et al., (2005). Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects, Brazilian Journal of Chemical Engineering.
- Tirawanichakul Y and Tirawanichakul S, (2008). Mathematical model of fixed-bed drying and strategies for crumb rubber producing STR20, Drying Technology.