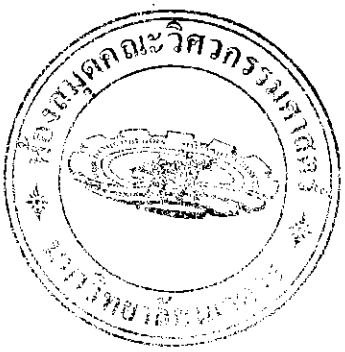


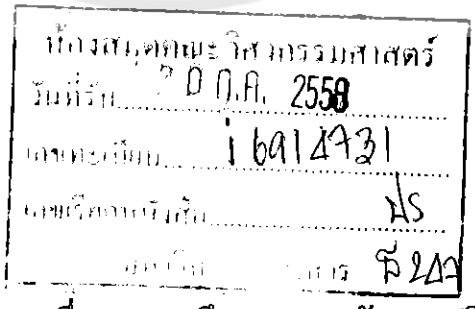
การอบแห้งกล้วยไข่ และสับปะรดด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนขนาดเล็ก

Kluay Kai and pineapple drying by using a small-scaled microwave hot-air hybrid dryer

นายธนาโรจน์ โรจนโรวรรณ รหัสนิสิต 53362013

นายนนทกาล ช่างปืน รหัสนิสิต 53362044

นายนราพล แดนป่ากลาง รหัสนิสิต 53362051



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2556

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน : การอบแห้งกล้วยไข่ และสับปะรดด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนขนาดเล็ก

ผู้ดำเนินโครงงาน : นายธนาโรจน์ โรจนโรวรรณ รหัส 53362013
: นายนนทกาล ช่างปืน รหัส 53362044
: นายนราพล แดนป่ากลาง รหัส 53362051

ที่ปรึกษาโครงงาน : รองศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2556

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

.....กรรมการ
(ดร. นินนาท ราชประดิษฐ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	: การอบแห้งกล้วยไข่ และสับปะรดด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนขนาดเล็ก
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายธนาโรจน์ โรจนโรวรรณ รหัส 53362013
	: นายนนทกาล ช่างปืน รหัส 53362044
	: นายนราพล แดนป่ากลาง รหัส 53362051
ที่ปรึกษาโครงงาน	: รองศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล
สาขาวิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	: 2556

.....

บทคัดย่อ

โครงงานเล่มนี้เป็นโครงงานการอบแห้งกล้วยไข่ และสับปะรดโดยใช้เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนขนาดเล็ก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความเหมาะสมเกี่ยวกับอุณหภูมิลมร้อน ระดับของไมโครเวฟ และขนาดของวัตถุดิบ ซึ่งได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ 1.การอบแห้งกล้วยไข่ 2.การอบแห้งสับปะรด ใน 1 การทดลองจะแบ่งการทดลองย่อยๆ เป็น 81 การทดลอง กล่าวคือในการอบจะใช้อุณหภูมิลมร้อน 3 อุณหภูมิ คือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ระดับไมโครเวฟ 3 ระดับ คือ Defrost Medium และ High ขนาดของวัตถุดิบ 3 ขนาด โดยกล้วยจะใช้แบบ หั่นแว่น ครึ่งลูก และเต็มลูก ส่วนสับปะรดจะใช้แบบ 1 2 และ 3 เซนติเมตร ซึ่งจะทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ดังนั้นจึงมีการทดลองย่อยๆทั้งหมด 162 การทดลอง และใช้ความเร็วลม 3 เมตร/วินาที

ผลการทดลองในการอบแห้งกล้วยไข่ อุณหภูมิลมร้อนและขนาดของกล้วยไข่จะมีผลต่อการอบแห้งน้อยมาก แต่ระดับไมโครเวฟมีผลต่อการอบแห้งมากที่สุดโดยระดับไมโครเวฟ High จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบแห้งมากที่สุด อย่างไรก็ตามลักษณะของกล้วยหลังการอบมีลักษณะไหม้ทุกการทดลอง แต่ระดับไมโครเวฟ High เริ่มไหม้เร็วที่สุด รองลงมาคือ Medium และ Defrost โดยเริ่มไหม้ที่ความชื้นประมาณ 55 45 และ 43 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ตามลำดับ

ผลการทดลองในการอบแห้งสับปะรด อุณหภูมิลมร้อนจะมีผลต่อการอบแห้งน้อยมาก แต่ขนาดของสับปะรดและระดับไมโครเวฟมีผลต่อการอบแห้ง โดยขนาด 3 เซนติเมตร จะใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุด รองลงมาคือ 2 และ 1 เซนติเมตร ผลของระดับไมโครเวฟเป็นเช่นเดียวกับการอบแห้งกล้วยไข่ และลักษณะของสับปะรดหลังการอบจะมีลักษณะไหม้ทุกการทดลองเช่นเดียวกัน ซึ่งระดับไมโครเวฟ High เริ่มไหม้เร็วที่สุด รองลงมาคือ Medium และ Defrost โดยเริ่มไหม้ที่ความชื้นประมาณ 42 40 และ 38 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ตามลำดับ

Project title	: Kluay Kai and pineapple drying by using a small-scaled microwave hot-air hybrid dryer
Name	: Mr.Thanarod Rojanarowan ID. 53362013
	: Mr.Nonthakan Changpuen ID. 53362044
	: Mr.Naraphon Danpaklang ID. 53362051
Project advisor	: Assoc. Prof. Dr.Patomsok Wilaipon
Major	: Mechanical Engineering
Department	: Mechanical Engineering
Academic year	: 2013

Abstract

This project was Kluy Kai and pineapple drying by using a small-scaled microwave hot-air hybrid dryer. The objective was to investigate the effects of drying condition viz. hot-air temperatures, microwave's power levels, and sizes of material on drying time. The experiment was divided into 2 parts; Kluy Kai drying and pineapple drying respectively. For each part of the experiment, 27 sub-experiments with 3 replications were carried out. With regard to the drying conditions, the hot-air temperature at 3 levels (60, 70 and 80 degree Celsius), the microwave's power at 3 levels (defrost, medium and high) were used as input parameters. For the case of Kluy Kai, 3 sizes of material were sliced banana, a half of banana and a whole banana was utilized. Three different thickness levels of pineapple viz. 1, 2 and 3 cm, were used. The hot-air velocity was set to be at 3 m/s for all experiments.

For the case of Kluy Kai drying, it showed that the hot-air temperatures and the sizes of banana had less effect on the drying time as compared to the effect of the microwave's power levels. At high microwave level, the drying time was the shortest and the longest was reported for the case of defrost power level. It also was

found that the all products obtained from all microwave levels were burnt. With regard to visual inspection, the burning of products started at 55, 45 and 43 percentage of wet basis moisture content for the case of high, medium and defrost microwave levels respectively.

It was found that the hot air temperatures had less effect on drying time as compared to the sizes of pineapple and the microwave levels. With regard to the sizes, the shortest drying time was 3-cm pineapple and the longest time was 1-cm case. The effects of the microwave levels were similar to case of Kluy Kai. The burning of products started at 42, 40 and 38 percentage of wet basis moisture content for the case of high, medium and defrost microwave levels respectively.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ได้ให้คำเสนอแนะ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอดจนโครงงานเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ และผู้ปกครอง ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ รวมทั้งสนับสุนนและให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำอาคารปฏิบัติการเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาเรื่องเครื่องมือวัดและเครื่องมือการช่างตลอดการทดลอง

สุดท้ายนี้ขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ช่วยให้คำแนะนำดีๆ และร่วมมือกันทำโครงงานนี้ จนทำให้โครงงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน	4
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
1.6 แผนการดำเนินงาน	5
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 กล้วยไข่	6
2.2 สับปะรด	7
2.3 ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง	9
2.4 การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ	14
2.5 การอบแห้งด้วยลมร้อน	18
2.6 การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	18
2.7 มาตรฐานความชื้น	19
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	23
3.2 ขั้นตอนการทดลอง	27
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผล	
4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนในการอบกล้วย	34
4.2 อิทธิพลของขนาดของกล้วยไข่	44

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 อิทธิพลของระดับไมโครเวฟในการอบกล้วยไข่	53
4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนในการอบสับปะรด	64
4.5 อิทธิพลของขนาดของสับปะรด	73
4.6 อิทธิพลของระดับไมโครเวฟในการอบสับปะรด	84
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	94
5.2 ข้อเสนอแนะ	96
เอกสารอ้างอิง	97
ภาคผนวก ก	99
ภาคผนวก ข	103
ประวัติผู้จัดทำ	116

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินงาน	5
ตารางที่ 1.2 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ	5
ตารางที่ 2.1 ระดับความชื้นที่ปลอดภัยสูงสุดสำหรับอาหารอบแห้งบางชนิด	19
ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอบ อัตราการอบแห้งสูงสุด และลักษณะของกล้วยอบที่สภาวะควบคุมต่างๆ	94
ตารางที่ 5.2 ตารางเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอบ อัตราการอบแห้งสูงสุด และลักษณะของสับปะรดหลังการอบที่สภาวะควบคุมต่างๆ	95
ตารางภาคผนวก ข-1 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 1.	104
ตารางภาคผนวก ข-2 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 16.	104
ตารางภาคผนวก ข-3 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 19.	105
ตารางภาคผนวก ข-4 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 4.	105
ตารางภาคผนวก ข-5 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 13.	106
ตารางภาคผนวก ข-6 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 22.	106
ตารางภาคผนวก ข-7 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 8.	107
ตารางภาคผนวก ข-8 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 11.	107
ตารางภาคผนวก ข-9 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 2.	108
ตารางภาคผนวก ข-10 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 12.	108
ตารางภาคผนวก ข-11 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 23.	109
ตารางภาคผนวก ข-12 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 32.	109
ตารางภาคผนวก ข-13 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 40.	110
ตารางภาคผนวก ข-14 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 50.	110
ตารางภาคผนวก ข-15 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 70.	111
ตารางภาคผนวก ข-16 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 81.	111

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 กล้วยไข่ 6
รูปที่ 2.2 สับปะรด 7
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาตามหลักทฤษฎี 10
รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นตามหลักทฤษฎี 11
รูปที่ 2.5 ลักษณะทั่วไปและส่วนประกอบของภายในเตาอบไมโครเวฟ 15
รูปที่ 2.6 กลไกการสร้างคลื่นไมโครเวฟ 15
รูปที่ 2.7 ลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลอาหาร ก่อนและหลังการหุงต้ม 16
รูปที่ 2.8 เครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในการทดสอบการอบพริก 19
รูปที่ 3.1 เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 23
รูปที่ 3.2 เตาอบไมโครเวฟ 24
รูปที่ 3.3 ฮีตเตอร์(heater) 24
รูปที่ 3.4 โบลเวอร์ (Blower) 25
รูปที่ 3.5 โหลดเซลล์ 25
รูปที่ 3.6 Load cell Indicator 26
รูปที่ 3.7 ตัวควบคุมอุณหภูมิ 26
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์รองรับและจานเซรามิกซ์เครือบสารอะคริลิค 27
รูปที่ 3.9 ตู้อบที่ใช้อบกล้วยไข่ และสับปะรด 27
รูปที่ 3.10 ลักษณะกล้วยไข่แบบหั่นแว่น 28
รูปที่ 3.11 ลักษณะกล้วยไข่แบบครึ่งลูก 29
รูปที่ 3.12 ลักษณะกล้วยไข่แบบเต็มลูก 29
รูปที่ 3.13 สับปะรดที่ใช้ในการทดลอง และขนาดสับปะรด 1/8 ของทั้งลูก 30
รูปที่ 3.14 ลักษณะของสับปะรดขนาด 1 cm 31
รูปที่ 3.15 ลักษณะของสับปะรดขนาด 2 cm 31
รูปที่ 3.16 ลักษณะของสับปะรดขนาด 3 cm 31
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงตัวอย่างในการเลือกเส้นกราฟ 33
รูปที่ 4.1.1-4.1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยไข่เปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาดหั่นแว่น (4.1.1) Defrost, (4.1.2) Medium, (4.1.3) High 35

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1.4-4.1.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยไข่เปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาดครึ่งลูก (4.1.4) Defrost, (4.1.5) Medium, (4.1.6) High 37

รูปที่ 4.1.7-4.1.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาดเต็มลูก (4.1.7) Defrost, (4.1.8) Medium, (4.1.9) High 39

รูปที่ 4.1.10-4.1.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาดหั่นแว่น (4.1.10) Defrost, (4.1.11) Medium, (4.1.12) High 40

รูปที่ 4.1.13-4.1.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาดครึ่งลูก (4.1.13) Defrost, (4.1.14) Medium, (4.1.15) High 41

รูปที่ 4.1.16-4.1.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาดเต็มลูก (4.1.16) Defrost, (4.1.17) Medium, (4.1.18) High 42

รูปที่ 4.2.1-4.2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 60°C (4.2.1) Defrost, (4.2.2) Medium, (4.2.3) High 45

รูปที่ 4.2.4-4.2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 70°C (4.2.4) Defrost, (4.2.5) Medium, (4.2.6) High 47

รูปที่ 4.2.7-4.2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 80°C (4.2.7) Defrost, (4.2.8) Medium, (4.2.9) High 49

รูปที่ 4.2.10-4.2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 60°C (4.2.10) Defrost, (4.2.11) Medium, (4.2.12) High 50

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.2.13-4.2.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 70°C (4.2.13) Defrost, (4.2.14) Medium, (4.2.15) High 51

รูปที่ 4.2.16-4.2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 80°C (4.2.16) Defrost, (4.2.17) Medium, (4.2.18) High 52

รูปที่ 4.3.1-4.3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 60°C (4.3.1)หั่นแว่น, (4.3.2)ครึ่งลูก, (4.3.3)เต็มลูก 55

รูปที่ 4.3.4-4.3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 70°C (4.3.4) หั่นแว่น, (4.3.5) ครึ่งลูก, (4.3.6) เต็มลูก 57

รูปที่ 4.3.7-4.3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 80°C (4.3.7) หั่นแว่น, (4.3.8) ครึ่งลูก, (4.3.9) เต็มลูก 59

รูปที่ 4.3.10-4.3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 60°C (4.3.10) หั่นแว่น, (4.3.11) ครึ่งลูก, (4.3.12) เต็มลูก 60

รูปที่ 4.3.13-4.3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 70°C (4.3.13) หั่นแว่น, (4.3.14) ครึ่งลูก, (4.3.15) เต็มลูก 61

รูปที่ 4.3.16-4.3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 80°C (4.3.16) หั่นแว่น, (4.3.17) ครึ่งลูก, (4.3.18) เต็มลูก 62

รูปที่ 4.4.1-4.4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาด 1 cm (4.4.1) Defrost, (4.4.2) Medium, (4.4.3) High 65

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.4.4-4.4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาด 2 cm (4.4.4) Defrost, (4.4.5) Medium, (4.4.6) High 67

รูปที่ 4.4.7-4.4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาด 3 cm (4.4.7) Defrost, (4.4.8) Medium, (4.4.9) High 69

รูปที่ 4.4.10-4.4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบสับปะรดเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาด 1 cm (4.4.10) Defrost, (4.4.11) Medium, (4.4.12) High 70

รูปที่ 4.4.13-4.4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบสับปะรดเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาด 2 cm (4.4.13) Defrost, (4.4.14) Medium, (4.4.15) High 71

รูปที่ 4.4.16-4.4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบสับปะรดเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาด 3 cm (4.4.16) Defrost, (4.4.17) Medium, (4.4.18) High 72

รูปที่ 4.5.1-4.5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 60°C (4.5.1) Defrost, (4.5.2) Medium, (4.5.3) High 75

รูปที่ 4.5.4-4.5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 70°C (4.5.4) Defrost, (4.5.5) Medium, (4.5.6) High 77

รูปที่ 4.5.7-4.5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 80°C (4.5.7) Defrost, (4.5.8) Medium, (4.5.9) High 79

รูปที่ 4.5.10-4.5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบสับปะรดเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 60°C (4.5.10) Defrost, (4.5.11) Medium, (4.5.12) High 80

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5.13-4.5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบสับปะรดเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 70°C (4.5.13) Defrost, (4.5.14) Medium, (4.5.15) High 81

รูปที่ 4.5.16-4.5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบสับปะรดเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 80°C (4.5.16) Defrost, (4.5.17) Medium, (4.5.18) High 82

รูปที่ 4.6.1-4.6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 60°C (4.6.1)1 cm, (4.6.2) 2 cm, (4.6.3) 3 cm 85

รูปที่ 4.6.4-4.4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 70°C (4.6.4) 1 cm, (4.6.5) 2 cm, (4.6.6) 3 cm 87

รูปที่ 4.6.7-4.6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 80°C (4.6.7) 1 cm, (4.6.8) 2 cm, (4.6.9) 3 cm 89

รูปที่ 4.6.10-4.6.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นฐานเปียกในการอบสับปะรดเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 60°C (4.6.10) 1 cm, (4.6.11) 2 cm, (4.6.12) 3 cm 90

รูปที่4.6.13-4.6.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นฐานเปียกในการอบสับปะรดเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 70°C (4.6.13) 1 cm, (4.6.14) 2 cm, (4.6.15) 3 cm 91

รูปที่ 4.6.16-4.6.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นฐานเปียกในการอบสับปะรดเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 80°C (4.6.16) 1 cm, (4.6.17) 2 cm, (4.6.18) 3 cm 92

รูปภาคผนวก ก-1 กล้วยไข่ก่อนอบแบบหั่นแว่น ครึ่งลูก และเต็มลูก 100

รูปภาคผนวก ก-2 กล้วยไข่อบโดยใช้ ขนาด-หั่นแว่น ไมโครเวฟระดับ-Defrost, Medium, High 100

รูปภาคผนวก ก-3 กล้วยอบขนาดครึ่งลูกและเต็มลูก 101

รูปภาคผนวก ก-4 ลักษณะของกล้วยไข่และสับปะรดที่นำมาใช้ในการทดลอง 101

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปภาคผนวก ก-5 สับปะรดก่อนอบขนาด 1 2 และ 3 cm	102
รูปภาคผนวก ก-6 สับปะรดอบแห้งและลักษณะของการไหม้ของสับปะรด	102
รูปภาคผนวก ข-1 เตาอบไมโครเวฟ Panasonic รุ่น NN-SM332M	112
รูปภาคผนวก ข-2 โบลเวอร์ (Blower)Sirocco รุ่น SC-124	113
รูปภาคผนวก ข-3 คุณสมบัติของ Load cell Indicator ยี่ห่อ ไพรมัสรุ่น cm-013	114
รูปภาคผนวก ข-4 Digital Temperature Controller MTB-48	115

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากในปัจจุบันเศรษฐกิจนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญในการส่งผลต่อการค้าขาย ผักและผลไม้เป็นอย่างมาก ในสภาวะเศรษฐกิจปัจจุบันนี้ส่งผลกระทบให้ผักและผลไม้บางชนิดล้นตลาด ซึ่งผักและผลไม้หลายชนิดมีอายุขัยน้อยเกิดการเน่าเสียง่าย จึงมีการนำวิธีการถนอมอาหารเข้ามาช่วยเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แบบใหม่ โดยเป็นการช่วยลดการเน่าเสีย การยืดอายุ และการเพิ่มรูปแบบของอาหารซึ่งยังคงคุณค่าและคุณภาพที่ดีไว้ และวิธีการถนอมผัก ผลไม้ที่นิยมและได้ผลมากที่สุดนั่นคือการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ การทำให้น้ำระเหยออกจากอาหารให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ โดยการให้ความชื้นเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย จนจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้โดยการนำไปตากแดด หรืออบในตู้อบความร้อน ซึ่งการอบแห้งนั้นสามารถทำได้หลายรูปแบบเช่น

1. การอบแห้งด้วยเครื่องอบร้อนที่ใช้ลมร้อนแบบต่อเนื่อง โดยมีหลักการคือการทำให้ลมร้อนผ่านอาหารและดึงเอาน้ำออกจากอาหารข้อด้อยของการอบแห้งแบบลมร้อนมีหลายประการ คือ ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงซึ่งได้แก่ สี กลิ่น คุณค่าทางอาหาร ความหนาแน่น และการคืนรูป เพราะการอบแห้งแบบลมร้อนใช้อุณหภูมิและเวลาที่ยาวนาน และข้อด้อยอีกอย่างของการอบแห้งแบบลมร้อนคือ ประสิทธิภาพในการใช้กำลังงานต่ำทำให้สิ้นเปลืองกำลังงานจึงมีการค้นคว้าหาวิธีการอบแห้งแบบอื่นๆ หรือนำการอบแห้งแบบอื่นๆมาใช้ร่วมกับระบบลมร้อนเช่น การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน เพื่อให้กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน

2. การอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ โดยมีหลักการคือการใช้คลื่นไมโครเวฟไปทำให้โมเลกุลของอาหารสั่นและเกิดความร้อนขึ้น ข้อดีของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟใช้กำลังงานภาพอย่างมีประสิทธิภาพสูง ใช้เวลาในการอบน้อยกว่าและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนและการอบแห้งแบบไมโครเวฟจะช่วยกำจัดความชื้นของผลิตภัณฑ์โดยไม่ทำให้ผิวหน้าของ

ผลิตภัณฑ์แห้ง แต่ข้อด้อยของการอบแห้งแบบคลื่นไมโครเวฟคือ การกระจายของคลื่นไมโครเวฟบนผลิตภัณฑ์มีน้อย โดยเฉพาะที่จุดอับต่างๆ เช่น มุม รู และซอกเล็กๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีอันตรายที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟอีกด้วย

การที่เรานำการอบแห้งแบบไมโครเวฟใช้งานร่วมกับลมร้อนในการอบแห้งฟักทองนั้นสามารถลดเวลาในการอบแห้งช่วงสุดท้ายที่การอบแห้งแบบลมร้อนมีอัตราการอบแห้งลดลง จึงทำให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนคงเหลือในฟักทองอบแห้งมากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว และส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงสีเมื่อเปรียบเทียบกับสีฟักทองก่อนการอบแห้งลดลง นอกจากนี้การให้ความร้อนอย่างรวดเร็วโดยไมโครเวฟ ทำให้เกิดแรงดันไอสูง และความเป็นรูพรุน ส่งผลให้การอัตราการคืนตัวเพิ่มขึ้น การใช้ไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพิ่มความแตกต่างของความดันทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุนมากขึ้น และมีอัตราการคืนตัวสูงที่สุด [1]

กล้วยไข่

กล้วยไข่ เป็นกล้วยที่มีลำต้นสูงบาง สีใบและก้านใบสีเหลืองอ่อนไม่มีเปลือกบาง เมื่อสุกมีสีเหลืองเข้ม เนื้อแน่นสีเหลืองรสหวาน เจริญเติบโตได้ดีในที่ร่ม ต้านทานโรคตายพราย แต่อ่อนแอต่อโรคใบจุด

ผลผลิตกล้วยไข่

ผลผลิตกล้วยไข่ เริ่มออกสู่ตลาดตั้งแต่เดือน กรกฎาคม เป็นต้นไป และออกสู่ตลาดมากที่สุดในเดือนกันยายน – ตุลาคม กล้วยไข่ของจังหวัดกำแพงเพชรจะเป็นกล้วยที่มีคุณภาพและ “อร่อยที่สุด” เข้าใจว่าเป็นเพราะมีสภาพดิน และอากาศที่เหมาะสม ก่อนที่กล้วยไข่จะแก่จัดและตัดเครือได้ จะมีการสั่งจองกล้วยไข่ระหว่างพ่อค้าหรือ นายหน้า กับเกษตรกรเจ้าของสวน โดยมีการตกลงในเรื่องของปริมาณกล้วยไข่และนัดวันตัดกล้วยไข่ ลักษณะกล้วยไข่ ที่ตลาดต้องการ จะเป็นกล้วยผลใหญ่ สวย ผิวดี รสชาติหวาน อร่อย เนื้อแน่นไม่แข็งจนเกินไป การซื้อขายกล้วยไข่จะเป็นกล้วยไข่ดิบทั้งเครือ ซึ่งจำหน่ายเป็นตั้ง คือ กล้วย 1 ตั้ง จะประกอบไปด้วยกล้วยที่สมบูรณ์ 6 หวี และใน 1 หวี จะต้องมีกล้วยสมบูรณ์ไม่ต่ำกว่า 12 ผล ถ้าในเครือมีกล้วยสมบูรณ์ไม่ครบ 6 หวี ก็จะนับจำนวนหวีรวมกับกล้วยสุดท้ายของเครืออื่น ถ้าหวีหนึ่งมีผลแตกเกิน 2 ผล หรือหวีผลน้อยกว่า 12 ผล หรือกล้วยสุดท้ายของเครือที่มีผลขนาดเล็กหรือลีบ ก็จะถือว่าเป็นกล้วยไม่สมบูรณ์ เกษตรกรจะแถมฟรี ให้แก่พ่อค้าเป็นกล้วยเหมา และจะชำแหละกล้วยออกเป็นหวีและนำกล้วยขึ้นรถ แล้วนำไปขายส่งให้กับตลาดท้องถิ่นในจังหวัดต่าง ๆ และตลาดขายสี่มุมเมือง ตลาดไท เพื่อจำหน่ายปลีกแก่ผู้บริโภค โดยจำหน่ายเป็นหวี ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. กล้วยใหญ่ มีขนาดผลใหญ่ และ 1 หวี มี 12 ผล

2. กล้วยกลางหรือกล้วยควบ ขนาดเล็กกว่าประเภทแรกเล็กน้อย แต่จำนวนผล 1 หวี มี 12 ผลเช่นกัน

3. กล้วยเล็กหรือกล้วยหมอน ขนาดเล็กลงจากกล้วยกลางและจำนวนผลน้อยลง

4. กล้วยเข่งหรือกล้วยตีนเต่าหรือกล้วยก้อย เป็นกล้วยหวีสุดท้ายของเครือ ซึ่งมีผลเล็กและไม่สมบูรณ์ ซื้อขายเหมากันเป็นเข่ง [2]

สับปะรด

สับปะรด เป็นพืชล้มลุกชนิดหนึ่งที่มีต้นกำเนิดมาจากบริเวณทวีปอเมริกาใต้ ลำต้นมีขนาดสูงประมาณ 80-100 เซนติเมตร การปลูกสามารถปลูกได้ง่ายโดยการฝังกลบหน่อหรือส่วนยอดของผลที่เรียกว่า จุก เปลือกของผลสับปะรดภายนอกมีลักษณะคล้ายตาล้อมรอบผล

ผลผลิตสับปะรดของภาคเหนือมีเนื้อที่ปลูกสับปะรดค่อนข้างน้อย 4 จังหวัด คือ จังหวัดอุทัยธานี ลำปาง พิษณุโลก และจังหวัดอุตรดิตถ์ จำนวน 115,626 ไร่หรือประมาณร้อยละ 19.07 ของพื้นที่ปลูกสับปะรดทั้งประเทศ มีผลผลิตรวม 435,931 ตัน/ปี ประจำปี 2556 [3]

จากสาเหตุข้างต้นทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมการลมร้อนขนาดเล็ก โดยผักผลไม้ที่จะทำการศึกษาครั้งนี้คือ กล้วยไข่ และสับปะรด ซึ่งผักผลไม้นี้เป็น พืชเศรษฐกิจที่นิยมหาง่ายและมีผลผลิตตลอดทั้งปีซึ่งกล้วยไข่หากอยู่ในช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคม สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไปแต่หากไม่ใช่ก็สามารถไปหาซื้อได้ที่จังหวัดกำแพงเพชร ส่วนสับปะรดสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดตลอดทั้งปี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อน ระดับของไมโครเวฟ และขนาดของวัตถุดิบในการทำงานของไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนขนาดเล็กในการอบแห้ง สำหรับวัตถุดิบ 2 ตัวอย่าง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้รู้ถึงอุณหภูมิของลมร้อนที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง

1.3.2 ได้รู้ถึงกำลังวัตต์ของไมโครเวฟที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง

1.3.3 ได้รู้ถึงขนาดของวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง

1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.4.1 ทดสอบการอบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนขนาดเล็ก

1.4.2 วัตถุดิบตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือ กล้วยไข่ และสับปะรด

1.4.3 ทดสอบโดยกำหนดขนาดของวัตถุดิบอย่างละ 3 ขนาด

1.4.4 ทดสอบการใช้อุณหภูมิลมร้อน 3 ระดับ

1.4.5 ทดสอบการอบแห้งโดยระดับไมโครเวฟ 3 ระดับ

1.4.6 ใช้ความเร็วลม 3 m/s

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

1.5.2 เตรียมและปรับปรุงเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

1.5.3 หาแหล่งจำหน่ายวัตถุดิบที่จะใช้ให้การทดสอบ

1.5.4 ทำการทดสอบการอบแห้งและเก็บข้อมูล

1.5.5 สรุปผลการทดสอบการอบแห้งและทำการประเมินผล

1.5.6 จัดทำรูปเล่มโครงงาน

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

รายละเอียดการปฏิบัติงาน	พ.ศ.2556								
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1.ศึกษาและรวบรวมข้อมูล									
2.เตรียมและปรับปรุงเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน									
3.หาแหล่งจำหน่ายวัตถุดิบที่จะใช้ในการทดสอบ									
4.ทำการทดสอบการอบแห้งและเก็บข้อมูล									
5.สรุปผลการทดสอบการอบแห้งและทำการประเมินผล									
6.จัดทำรูปเล่มโครงงาน									
7.สอบปลายภาค									

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

ตารางที่ 1.2 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

รายการค่าใช่จ่าย	จำนวนเงิน (บาท)
ค่าวัตถุดิบ	2000
ค่าจัดทำเอกสาร	1000
รวม	3000

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 กล้วยไข่

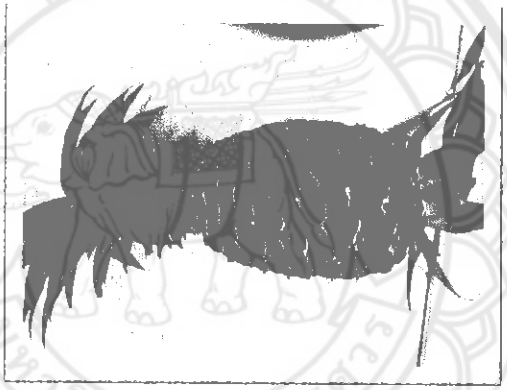
รูปที่ 2.1 กล้วยไข่

กล้วยไข่ (ชื่อวิทยาศาสตร์ : Musa (AA group) "KluaiKhai") กล้วยไข่เป็นผลไม้ที่นิยมผู้บริโภคกันทั่วไป เนื่องจากมีรสชาติดี ลักษณะการเรียงตัวของผลและสีผลสวยสะดุดตา ปัจจุบันส่งออกจำหน่ายต่างประเทศมากขึ้น ตลาดที่สำคัญคือ จีน และฮ่องกง กล้วยไข่เป็นพืชที่สามารถปลูกได้แทบทุกภาคของประเทศ ในพื้นที่ปลูกที่มีการจัดการการผลิตเพื่อให้ได้ทั้งปริมาณ และผลผลิตตรงตามมาตรฐานคุณภาพ ตลาดต้องการ ปัญหาสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของผลผลิตคือ การปนเปื้อนของสารป้องกันกำจัดศัตรูพืช ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาต่อสุขอนามัยของผู้บริโภค ตลอดจนการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมในระยะยาว ดังนั้นกระบวนการผลิตจึงต้องมีการปฏิบัติอย่างถูกต้องและเหมาะสม

ลักษณะทั่วไปลำต้นสูง 2. 5 - 3 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 16 - 20 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกสีเขียวปนเหลือง มีประสีน้ำตาลอ่อน ด้านในสีชมพูอมแดงก้านใบสีเขียวอมเหลือง มีร่องกว้าง โคนก้านมีครีบสีชมพู ก้านช่อดอก มีขนอ่อน ปลีรูปไข่ ม้วนงอขึ้น ปลายแหลม ด้านนอกสีแดงอมม่วง ด้านในที่โคนกลีบสีซีดเครือหนึ่งมี 6 - 7 หวี หวีหนึ่งมีประมาณ 14 ผล ผลค่อนข้างเล็ก ก้านผลสั้น เปลือกผลบางเมื่อสุก มีสีเหลืองสดใส บางครั้งมีจุดดำเล็ก ๆ ประปราย เนื้อสีครีม อมส้ม รสหวาน

คุณค่าทางอาหารของกล้วยไข่ มีวิตามินอี บี2 บี6 เกลือแร่ เบต้าแคโรทีน และวิตามินซี ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง หรือทำให้เกิดการอักเสบ การทำลายเนื้อเยื่อ รวมทั้งโรคตาต้อกระจกได้ ผลการวิจัยพบว่าในกล้วยไข่ 1 ผล ซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 40 กรัม มีเบต้าแคโรทีน108 ไมโครกรัม มีวิตามินอี 0.19 มิลลิกรัม วิตามินซี 4 มิลลิกรัม และให้พลังงาน 44 กิโลแคลอรี่ ในการกินนั้น แนะนำให้กินกล้วยไข่แทนข้าวได้ 2 ผล เด็กกินได้ 1-2 ผล จะต้องลดปริมาณข้าวลง เพราะกล้วยไข่ 2 ผลเท่ากับข้าว 1 ทัพพี [4]

2.2 สับปะรด



รูปที่ 2.2 สับปะรด

สับปะรด (ชื่อทางวิทยาศาสตร์: Ananascomosus) เป็นพืชล้มลุกชนิดหนึ่งที่มีต้นกำเนิดมาจากบริเวณทวีปอเมริกาใต้ ลำต้นมีขนาดสูงประมาณ 80-100 เซนติเมตร การปลูกสามารถปลูกได้ง่าย โดยการฝังกลบหน่อหรือส่วนยอดของผลที่เรียกว่า จุก เปลือกของผลสับปะรดภายนอกมีลักษณะคล้ายตาล้อมรอบผล

ลักษณะทั่วไปเป็นไม้ล้มลุกอายุหลายปี สูง 90-100 ซม. มีลำต้นอยู่ใต้ดิน ใบเดี่ยวเรียงสลับซ้อนกันถี่มากรอบต้น กว้าง 6.5 ซม. ยาวได้ถึง 1 เมตร ไม่มีก้านใบ ดอกช่อออกจากกลางต้น มีดอกย่อยจำนวนมาก ผลเป็นผลรวม รูปทรงกระบอก มีใบเป็นกระจุกที่ปลาย สับปะรดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เมื่อเจริญเป็นผลแล้วจะเจริญต่อไปโดยตาที่ลำต้นจะเติบโตเป็นต้นใหม่ได้อีก และสามารถดัดแปลงเป็นไม้ประดับได้อีกด้วย สับปะรดแบ่งออกตามลักษณะความเป็นอยู่ได้ 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือพวกที่มีระบบรากหาอาหารอยู่ในดิน หรือเรียกว่าไม้ดิน, พวกอาศัยอยู่ตามคาคบไม้หรือลำต้นไม้ใหญ่ ได้แก่ ไม้อากาศต่างๆ ที่ไม่แย่งอาหารจากต้นไม้ที่มันเกาะอาศัยอยู่ พวกนี้ส่วนใหญ่จะเป็นไม้ประดับ, และพวกที่เจริญเติบโตบนผาหินหรือโขดหิน ส่วนสับปะรดที่เราใช้บริโภคจัดเป็นไม้ดิน แต่ยังมีลักษณะบางประการของไม้

อากาศเอาไว้ คือ สามารถเก็บน้ำไว้ตามซอกใบได้เล็กน้อยมีเซลล์พิเศษสำหรับเก็บน้ำเอาไว้ในใบ ทำให้ทนทานในช่วงแล้งได้

ประโยชน์และสรรพคุณของสับปะรด

1. ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันแข็งแรง รับประทานสับปะรดวันละหนึ่งชิ้นก็จะช่วยให้ร่างกายได้รับวิตามินซี ที่สำคัญคือวิตามินช่วยในการทำงานของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และยังช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันแข็งแรง เพื่อป้องกันไม่ให้ร่างกายติดเชื้อและต่อสู้กับเชื้อโรคต่างๆ การรับประทานสับปะรดวันละหนึ่งชิ้นจึงเป็นการเพิ่มแรงต้านทานโรคให้แก่ร่างกายแต่ในผู้ที่มีเลือดจางไม่ควรกินมาก

2. ช่วยในการย่อยอาหาร สับปะรดมีกากใยอาหารอาหารมากซึ่งมีความสำคัญกับการย่อยอาหาร ซึ่งกากใยอาหารช่วยลดคอเลสเตอรอล ควบคุมน้ำตาลในเส้นเลือดและช่วยลดความเสี่ยงของมะเร็งเพราะในสับปะรดมีเอนไซม์ตามธรรมชาติที่มีชื่อว่า “บรอมีเลน” สามารถช่วยย่อยอาหารได้ทั้งในสภาวะเป็นกรดและด่าง จึงเหมาะมากที่จะพาไปช่วยย่อยในกระเพาะซึ่งเป็นกรดหากกินสับปะรดหลังอาหารเป็นประจำ จะช่วยในเรื่องของระบบขับถ่ายได้

3. ช่วยให้เลือดลมไหลเวียนดี สับปะรดมีสารแอนตีออกซิแดนท์ เช่น วิตามินซี เบต้าแคโรทีน และแมงกานีสที่จะช่วยป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระที่จะทำลายโครงสร้างของเซลล์และอาจทำให้เป็นโรคหัวใจและอัมพฤกษ์ อัมพาต นอกจากนี้ สารแอนตีออกซิแดนท์ยังมีความสำคัญต่อระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายอีกด้วย

4. ป้องกันความเสี่ยงจากโรคมะเร็ง การรับประทานผักและผลไม้เป็นประจำและลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็ง โดยเฉพาะมะเร็งกระเพาะอาหาร และมะเร็งเต้านม เพราะสับปะรด มีสารแอนตีออกซิแดนท์ที่ช่วยป้องกันการเติบโตของเซลล์ร้ายในปอด ป้องกันมะเร็งรังไข่

5. ช่วยป้องกันโรคต่างๆ การรับประทานผักและผลไม้ให้ได้วันละ 5 กำมือจะช่วยลดการเสียชีวิตด้วยโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น อัมพฤกษ์ อัมพาต หรือมะเร็งได้ถึง 20% อีกทั้งยังเสริมสร้างการดูดซึมอาหาร เพราะสับปะรดมีกรด และวิตามินหลายชนิด

6. ช่วยให้เหงือกแข็งแรง สับปะรดช่วยให้สุขภาพในช่องปากแข็งแรง เนื่องจากสับปะรดมีวิตามินสูงที่จะช่วยป้องกันความเสี่ยงจากโรคเหงือกได้

7. ช่วยยับยั้งการอักเสบ เอนไซม์ Brome lain ในสับปะรดจะช่วยยับยั้งการอักเสบ ทั้งนี้ ชาวอเมริกาใต้โบราณใช้สับปะรดเป็นยารักษาโรคผิวหนังและรักษาบาดแผล [5]

2.3 ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง

การอบแห้งคือกระบวนการลดความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยว ทำให้เก็บรักษาไม่ได้นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญๆ และต้องทำการอบแห้งได้แก่ ธัญพืชชนิดต่างๆ เช่น ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่อิ่มต่างๆ เช่น สับปะรดแช่อิ่ม มะละกอแช่อิ่ม มะม่วงแช่อิ่ม เป็นต้น [6]

ชนิดของน้ำที่อยู่ในอาหารจะมี 2 ส่วน คือ

1. น้ำอิสระ (Free water) เป็นน้ำที่มีสารอื่นๆละลายอยู่หรือแขวนลอยอยู่ น้ำชนิดนี้จะอยู่รอบๆเซลล์หรืออยู่ภายในเป็นส่วนใหญ่ที่พบในอาหารและสามารถแยกออกจากองค์ประกอบอื่นๆของอาหารได้ง่าย เช่น การระเหยจากการอบแห้งการสกัดหรือคั้นออกจากอาหารได้ง่ายน้ำชนิดนี้มีผลต่อความสดของอาหารพวกผักและผลไม้ และมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร

2. น้ำเกาะติด (Bound water) เป็นน้ำที่จับ เกาะหรือยึดอยู่กับโครงสร้างของสารอาหารอื่นแยกออกจากอาหารได้ยาก เกาะจับสารอื่นด้วยพันธะทางเคมีที่แข็งแรง เช่น เป็นน้ำในผลึก เป็นต้น น้ำชนิดนี้ไม่สามารถเป็นตัวทำละลายของสารอาหารอื่น และมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำอิสระ ซึ่งปริมาณความชื้น (Moisture Content) เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอาหารคือ รวมทั้งสองส่วนดังกล่าวแล้ว [7]

2.3.1 การหาความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_w = \frac{w-d}{w} \times 100$$

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \frac{w-d}{d} \times 100$$

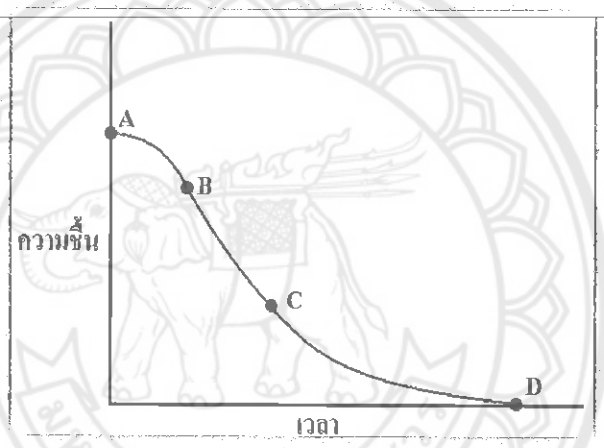
เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก

w คือ มวลของวัสดุ (kg)

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (kg)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

ในการหาความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาจะได้เป็นกราฟอัตราการอบแห้ง ซึ่งหาได้จากผลต่างความชื้นในแต่ละช่วงเวลาหารด้วยผลต่างของเวลาในช่วงนั้น จึงได้ดังกราฟรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาตามหลักทฤษฎี [8]

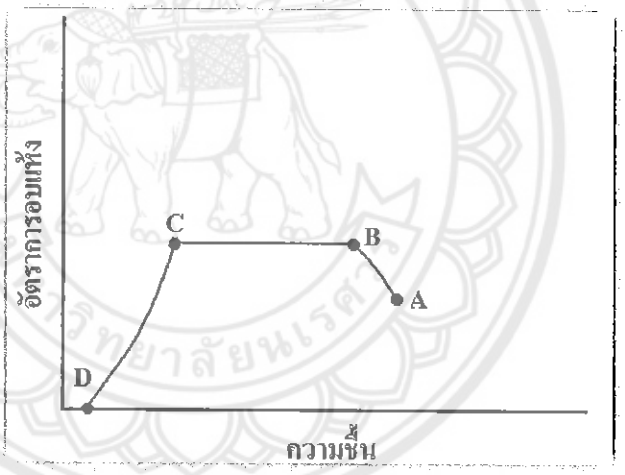
2.3.2 อัตราการอบแห้ง (Drying Rate)

อัตราเร็วหรือความสามารถในการระเหยของน้ำต่อหน่วยเวลาหรือต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในระหว่างการอบแห้งแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ

1. ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (A-B) หรือInitial adjustment period เป็นช่วงเริ่มต้นที่อาหารที่ใช้ในการอบแห้ง มีความชื้นเริ่มต้น (A) ของอาหารยังสูงอยู่ ผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมากเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหาร ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวอาหาร มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) ของกระแสลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลาง อัตราการทำแห้งค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงอัตราทำแห้งคงที่ (Constant rate)

2. ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (B-C)หรือ Constant rate periodเป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า พลังงานความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากของวัสดุอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง จุดสุดท้ายของช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่ อัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง ความชื้นของวัสดุ ณ เวลานี้ เรียกว่าความชื้นวิกฤต (Critical moisture content)

3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (C-D) Falling rate period เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้งทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารสูงขึ้นเรื่อยๆ อัตราการอบแห้งจะลดลงความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content, XE) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุด ภายใต้สภาวะที่ใช้อยู่ในขณะนั้น ที่ความชื้นนี้อัตราการทำแห้งเป็นศูนย์ น้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก [8]



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นตามหลักทฤษฎี [8]

2.3.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

อัตราเร็วของการทำแห้งอาหารขึ้นอยู่กับ

1. ลักษณะธรรมชาติของอาหารอาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความพรุน (porosity) มากจะมีอัตราการอบแห้งเร็วเนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากอัตราการอบแห้งสามารถเกิดได้เร็วเช่นกันทั้งนี้ก็เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นมากนั่นเอง

2. ขนาดรูปร่างปริมาตรและพื้นที่ผิวของอาหารเป็นสมบัติทางกายภาพของอาหารที่มีผลต่อการทำแห้งอาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมากจะมีอัตราการทำแห้งเร็วขึ้นดังนั้นการอาหารที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่หนาน้อยกว่าเนื่องจากอัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

3. ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้งอาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากๆจะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าเนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึงจึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้จึงทำให้อัตราอบแห้งช้าลง

4. ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (specific humidity) ของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมากการระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

5. ความดันเกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่ความดันต่ำๆ ลงมาน้ำก็จะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลงดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

6. ความเร็วของอากาศร้อนอากาศร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกดังนั้นเมื่อความเร็วอากาศร้อนเพิ่มขึ้นการเคลื่อนย้ายไอน้ำก็จะเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเครื่องอบแห้งอากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดี การเคลื่อนย้ายไอน้ำเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตร/นาที [8]

2.3.4 ผลของการอบแห้งที่มีผลต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ

การอบแห้งมีผลต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ ดังนี้

1. คุณค่าอาหาร การอบแห้งจะระเหยความชื้นหรือน้ำออกจากอาหาร และเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหาร เช่น แป้ง ไขมัน โปรตีน การถนอมอาหารโดยวิธีอบแห้งจะทำให้คุณภาพลดลงโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายน้ำจะสูญเสียไปกับน้ำจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และถ้ามีการอบแห้งโดยวิธีการตากแดดจะต่างจากการใช้เครื่องอบแห้งคือ ไม่สามารถควบคุมความชื้นอากาศแสงแดด อุณหภูมิได้

2. โปรตีน จะเสียคุณค่าไปมากหรือน้อยเพียงขึ้นกับวิธีการอบแห้งอาหาร ถ้าใช้เวลานานเกินไปโปรตีนจะเปลี่ยนสภาพและคุณค่าทางโภชนาการจะลดลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำทำให้อาหารแห้งโปรตีนจะใช้ทำประโยชน์มากกว่าแต่จะขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีนด้วย

3. คาร์โบไฮเดรต การเปลี่ยนสีของผลไม้ตากแห้งเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์ (Nonenzymaticbrowning reaction) เกิดโดยกรดอะมิโนในผลไม้รวมกับน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ทำให้เกิดสีน้ำตาลสามารถป้องกันโดยการใช้สารเคมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) หรือโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

4. ไขมัน อุณหภูมิในการอบแห้งสูงจะทำให้อาหารที่อบแห้งเหม็นหืน ดังนั้นจึงควรใช้อุณหภูมิต่ำหรือใช้สารกันหืน (Antioxidants) ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น BHT (Butyrate hydroxyl toluene)

5. เอนไซม์จะหยุดกิจกรรมเมื่อใช้ความร้อนถึง 100 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที แต่ถ้าใช้ความร้อนในการอบแห้งปฏิกิริยาของเอนไซม์จะทนทานดังนั้นการอบแห้งจึงต้องลวกน้ำร้อนหรือใช้สารเคมีเพื่อหยุดยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ก่อนที่จะนำไปอบ

6. จุลินทรีย์ เป็นสาเหตุของการทำให้อาหารเสียหายหรือเน่า การลดความชื้นในอาหารให้เหลือน้อยที่สุดก็จะทำให้อาหารไม่เสียหายและเก็บไว้ได้นาน ถ้าเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ เชื้อราจะเจริญได้ ส่วนแบคทีเรียและยีสต์จะเจริญเติบโตได้ดีถ้าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ การอบแห้งนิยมใส่เกลือแกงลงในอาหารที่จะอบแห้งเพื่อควบคุมจุลินทรีย์เมื่ออบแห้งแล้วต้องเก็บใส่หีบห่อให้ดีไม่เก็บในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตเร็ว

7. เม็ดสีในอาหาร อาหารอบแห้งจะมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีเปลี่ยนไปสีของอาหารจะเปลี่ยนไปเม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานิน(Anthocyanin) จะซีดจางลงถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานาน หรือใช้สารเคมีบาชนิดในการอบแห้งเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ เช่น รมควันด้วยกำมะถันจะฟอกสีอาหารให้จางลง ดังนั้นพวกผักและผลไม้จึงมีการ fixed สีก่อนอบแห้งโดยการลวกน้ำร้อนหรือแช่สารเคมี เช่น สารละลายด่างอ่อนจะทำให้สีผักผลไม้ไม่ซีดจางลงเป็นสีน้ำตาล แต่อาจจะทำให้อาหารแข็งกระด้าง [9]

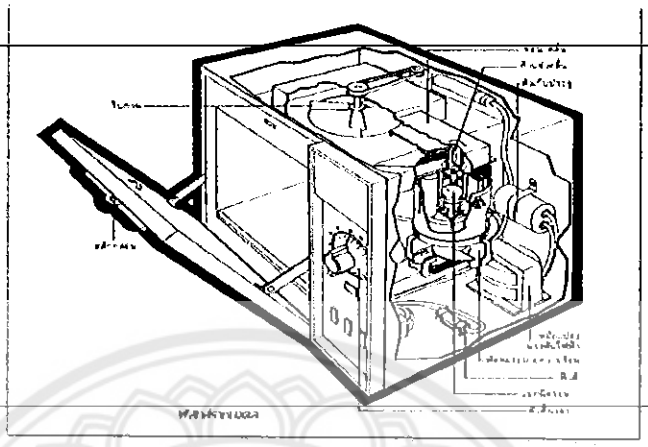
2.4 การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ

2.4.1 ความรู้เกี่ยวกับคลื่นไมโครเวฟ

เตาอบไมโครเวฟใช้คลื่นความถี่สูง จะแตกต่างจากเตาหุงต้มอาหารชนิดที่ใช้แก๊สหรือใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงหรือพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนนี้จึงถ่ายเทสู่อาหารต่อไป ส่วนเตาอบไมโครเวฟจะสร้างคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ของคลื่นสูงกว่าความถี่ของคลื่นวิทยุธรรมดามาก คือประมาณใกล้เคียงกับความถี่ของคลื่นแสง คลื่นไมโครเวฟจะกระตุ้นโมเลกุลของอาหารให้มีการเคลื่อนไหวได้ด้วยอำนาจแม่เหล็กทำให้อาหารร้อนขึ้นได้เร็วกว่าเมื่อใช้เตาอบธรรมดา และเนื่องจากความร้อนซึ่งเกิดจากการกระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟจะเกิดขึ้นลึกลงไปจากผิวหน้าของอาหารประมาณ ¾ นิ้วเท่านั้น ดังนั้น หลังจากที่นำอาหารออกจากเตาอบไมโครเวฟแล้วจะต้องวางทิ้งไว้สักครู่เพื่อให้ความร้อนที่ยังคงมีอยู่ภายในตัวอาหารกระจายไปทั่วๆ ทำให้อาหารสุกเสมอกัน และในบางกรณี ถ้าต้องการทำให้ผิวหน้าของอาหารมีลักษณะเกรียมก็จำเป็นที่จะต้องใช้การทำให้เกรียมด้วยวิธีการหุงต้มแบบเดิม และเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟอาจทำลายเนื้อเยื่อผิวหนังของคนได้ ดังนั้น การใช้งานเตาอบไมโครเวฟจึงต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด

2.4.2 ส่วนประกอบภายในเตาอบไมโครเวฟ

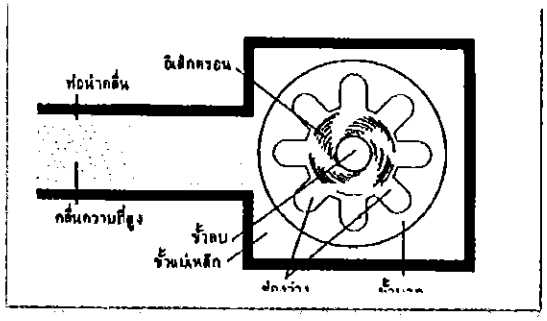
เตาอบไมโครเวฟ จะมีตัวตั้งเวลาติดตั้งไว้ด้วยเพื่อควบคุมการทำงานของเตาอบซึ่งจะเริ่มทำงานได้ก็ต่อเมื่อประตูเตาปิดสนิทและถูกลงสลักกลอนไว้อย่างปลอดภัยแล้วเท่านั้น กระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำที่ป้อนเข้าสู่ตัวเตาจะถูกแปลงให้มีแรงดันสูงขึ้นจากเดิมประมาณ 30 เท่าด้วยหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า แล้วจึงผ่านไปยังตัวเก็บประจุซึ่งจะทำงานร่วมกับอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ เพื่อทำการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงและป้อนเข้าสู่ “แมกนีตรอน”ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวสร้างคลื่นไมโครเวฟขึ้นมา คลื่นจะออกจากแมกนีตรอนผ่านเข้าไปในท่อนำคลื่น (มีลักษณะเป็นท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า) เพื่อป้อนเข้าสู่ห้องอบต่อไป ที่ปากทางเข้าสู่ห้องอบจะมีอุปกรณ์กลไกคล้ายๆพัดลมเรียกว่า “ใบกวน” ทำหน้าที่กวนให้คลื่นสะท้อนไปมาลงสู่ห้องอบ และอาหารภายในเตาก็จะดูดกลืนคลื่นเข้าไปทำให้ตัวมันเองสุกได้พัดลมระบายความร้อนและสวิตช์ควบคุมอุณหภูมิจะป้องกันแมกนีตรอนมิให้มีอุณหภูมิสูงเกินขนาด และฟิวส์จะป้องกันสภาวะการรับภาระเกินกำลังตามรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะทั่วไปและส่วนประกอบของภายในเตาอบไมโครเวฟ [10]

2.4.3 การสร้างคลื่นไมโครเวฟ

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่ขั้วลบของแมกนีตรอน ก็จะปล่อยอนุภาคไฟฟ้าหรืออิเล็กตรอนออกมา อิเล็กตรอนจะวิ่งเข้าหาทรงกระบอกกลวงซึ่งภายในเซาะเป็นร่องยาวไว้ ทรงกระบอกนี้ล้อมอยู่รอบขั้วลบ และทำหน้าที่เป็นขั้วบวก ขณะเดียวกันสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก ประกอบกับลักษณะช่องว่างเป็นร่องยาวจะส่งผลให้เกิดแรงผลักดันอิเล็กตรอนให้วิ่งเป็นวงกลมรอบขั้วลบ เกิดสภาพเหมือนกับมีกระแสไฟฟ้าไหลกลับไปกลับมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งผลที่ได้ก็คือจะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (เส้นที่มีลักษณะเป็นคลื่น) ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาเท่ากันจากนั้นก้านส่งคลื่นก็จะส่งคลื่นเข้าสู่ท่อนำคลื่นต่อไป (ทิศทางตามลูกศร) ตามรูปที่ 2.6



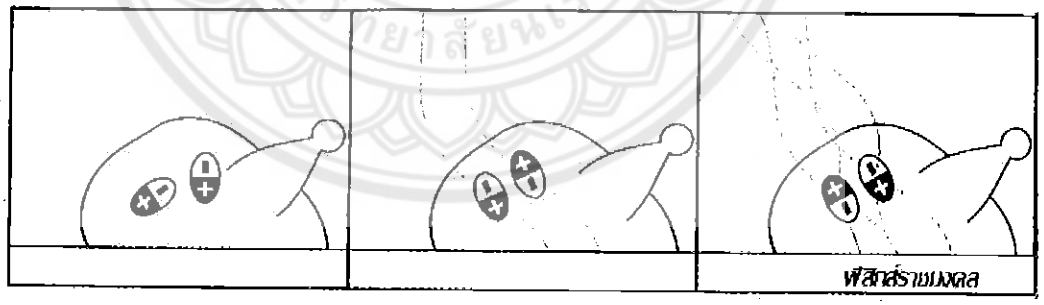
รูปที่ 2.6 กลไกการสร้างคลื่นไมโครเวฟ [10]

2.4.4 วิธีการที่คลื่นไมโครเวฟทำให้อาหารร้อน

1. ก่อนที่จะทำการอบนั้น โมเลกุลของอาหารจะเรียงตัวแบบไม่มีแบบแผนโดยปกติ ลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลของอาหาร (รูปวงรีสีขาว- ดำ ครึ่งซีก) จะไม่มีแบบแผน อย่างไรก็ตาม โมเลกุลเหล่านี้จะมีประจุไฟฟ้าบวกและลบอยู่ภายในตัว ซึ่งประจุเหล่านี้จะมีปฏิกิริยาตอบสนองกับสภาวะแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ มีผลทำให้โมเลกุลหมุนตัวไปมาเสียดสีกันเกิดเป็นความร้อนขึ้นได้

2. การเรียงโมเลกุลให้เป็นระเบียบ เมื่อเตาอบไมโครเวฟทำงาน ประจุไฟฟ้าบวกและลบในตัวโมเลกุลของอาหารจะสนองตอบกับสภาวะแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟในลักษณะเดียวกับที่ผงตะไบเหล็กจัดเรียงตัวตามสนามแม่เหล็กของแท่งแม่เหล็ก โมเลกุลของอาหารจะจัดระเบียบเรียงตัวกันในลักษณะที่ประจุไฟฟ้าภายในตัวโมเลกุลนั้นๆ เรียงตัวขนานกันกับเส้นแนวแรงในสนามแม่เหล็ก (เส้นที่มีลักษณะเป็นคลื่น)

3. การหมุนโมเลกุลไปรอบๆ ในขณะที่สนามแม่เหล็กของคลื่นไมโครเวฟเปลี่ยนทิศทาง (เส้นเต็มและเส้นประที่มีลักษณะเป็นคลื่น) โมเลกุลของอาหารก็จะเกิดการหมุนเคลื่อนที่ตามไปด้วย ทั้งนี้เพื่อพยายามเรียงตัวมันให้อยู่ในแนวขนานกับสนามแม่เหล็กให้ได้เสมอ และเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟมีการเปลี่ยนทิศทางในอัตราสูงถึง 4.9 พันล้านครั้งต่อวินาที จึงมีผลให้โมเลกุลของอาหารซึ่งจะสั่นสะเทือนด้วยอัตราความถี่เท่ากันนี้เสียดสีกันเกิดความร้อน



รูปที่ 2.7 ลักษณะการเรียงตัวของโมเลกุลอาหาร ก่อนและหลังการหุงต้ม [10]

2.4.5 การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ

การให้ความร้อนโดยใช้เครื่องไมโครเวฟเกิดจากการเปลี่ยนรูปของกำลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นกำลังงานความร้อนโดยอาศัยโมเลกุลที่มีขั้วของวัตถุดิบนั้น มีลักษณะพิเศษที่สำคัญคือเป็นการให้ความร้อนแบบ (Mullin, 1995) คือ การที่วัตถุดิบสามารถดูดซับกำลังงานไมโครเวฟได้โดยตรงและเข้าสู่ภายในวัตถุดิบและเปลี่ยนเป็นความร้อนได้ ซึ่งแตกต่างจากการอบแห้งแบบลมร้อนที่อาศัยการพาความร้อนต่อด้วยการนำความร้อนโดยความร้อนจะแพร่จากผิวหน้าของวัตถุดิบเข้าไปในวัตถุ ในการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟ ความร้อนจะเกิดขึ้นในวัตถุดิบตลอดเวลาทำให้มีอัตราการอบแห้งที่เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อนที่ความร้อนจะแพร่จากผิวหน้าเข้าสู่วัตถุดิบ การอบแห้งด้วยไมโครเวฟเกิดจากความดันที่แตกต่างกันระหว่างภายในกับบริเวณผิวหนาของวัตถุดิบทำให้เป็นแรงผลักดันทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากวัตถุดิบข้อดีของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ คือ การอบแห้งด้วยไมโครเวฟใช้กำลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูง ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน การอบแห้งด้วยไมโครเวฟช่วยในการกำจัดความชื้นของผลิตภัณฑ์โดยไม่เกิดปัญหาผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แห้ง การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนลดเวลาในการอบแห้งของวัตถุดิบที่เป็นพืชลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อนโดยคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายไว้ได้ดี การอบแห้งด้วยไมโครเวฟใช้พื้นที่ในกระบวนการผลิตน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อนเนื่องจากเพิ่มอัตราการผลิตสามารถทำได้โดยการแบบเครื่องมือให้ใช้วัตถุดิบที่มากและหนาแน่นขึ้นในพื้นที่น้อยได้โดยไม่ต้องเพิ่มพื้นที่ในการอบให้มากขึ้นได้ ในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟต้นทุนการผลิตจะต่ำเพราะในการอบแห้งจะไม่มีการสูญเสียกำลังงานให้แก่ผนังของเครื่องไมโครเวฟและสิ่งแวดล้อม ความร้อนที่เกิดจากไมโครเวฟเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ไม่ได้เกิดขึ้นจากผนังหรือเกิดจากอากาศรอบผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงมีการสูญเสียกำลังงานต่ำมากส่งผลให้กระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีอุณหภูมิรอบๆผลิตภัณฑ์ไม่สูง อีกทั้งยังสามารถควบคุมการเปิดและปิดได้อย่างรวดเร็วและมีความแม่นยำในการให้ความร้อน ข้อดีอื่นๆของหารอบแห้งด้วยไมโครเวฟคือการยับยั้งอุณหภูมิบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ไม่ให้สูงยับยั้งการหายใจของผลิตภัณฑ์ มีอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ต่ำเมื่อใช้ร่วมกับเทคนิคสุญญากาศลดการสูญเสียความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบและประหยัดกำลังงานการอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อผลิตภัณฑ์มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ จึงควรใช้การอบแห้งด้วยไมโครเวฟในช่วง falling rate หรือในผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำจนเสร็จสิ้นการอบแห้ง การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟกับการอบแห้งด้วยวิธีอื่นเช่น Freeze drying, ratio frequency drying การอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีอัตราการอบแห้งที่เร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่นสูง มีสี กลิ่นที่ดี คงคุณค่าทางอาหาร มีความคงทนต่อเชื้อจุลินทรีย์ มีการยับยั้งเอนไซม์ต่างๆ มีการคืนรูปที่ดี ผลิตภัณฑ์ที่ได้กรอบและดูสดมากกว่าการอบแห้งแบบอื่นๆ [9]

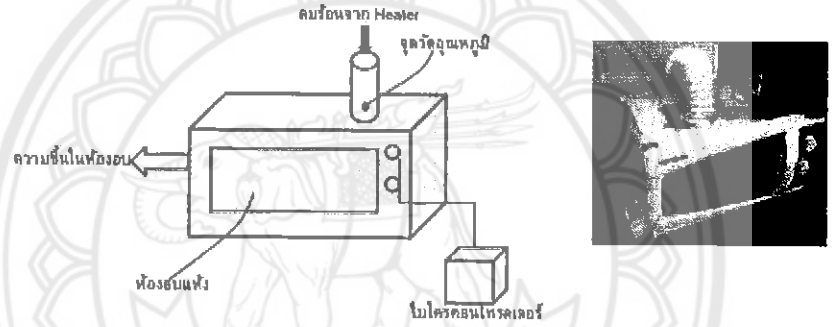
2.5 การอบแห้งด้วยลมร้อน

เครื่องอบแห้งถูกพัฒนาขึ้นมาใช้เนื่องจากการตากแห้งมีข้อด้อยหลายด้าน เช่น กำลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้อุณหภูมิที่ไม่สูงนักและกระแสลมธรรมชาติไม่แรงพอ ทำให้ใช้เวลานาน ใช้พื้นที่มากและมักทำในที่เปิดโล่ง ซึ่งทำให้มีโอกาสปนเปื้อน เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนเป็นวิธีการอบแห้งแบบดั้งเดิมสำหรับการเก็บรักษาอาหารและมีความสำคัญมากในกระบวนการผลิตอาหาร การอบแห้งแบบลมร้อนเป็นกระบวนการที่เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในเวลาเดียวกันรวมทั้งเป็นการดำเนินการทำให้ปริมาณของน้ำต่ำลงโดยการระเหยไปยังไอน้ำที่ไม่อิ่มตัว วัตถุประสงค์หลักของการอบแห้งของผลิตภัณฑ์อาหาร คือการกำจัดน้ำออกจากของแข็งเพื่อให้ถึงระดับที่ไม่ให้เกิดสปอร์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นเหตุผลหลักที่เป็นที่นิยมของการอบแห้งอาหารเก็บรักษาอาหารที่ยาวนานขึ้นรวมถึงปริมาตรที่ลดลงของผลิตภัณฑ์การอบแห้งแบบลมร้อนผลิตภัณฑ์จะแห้งที่อุณหภูมิสูงและเวลาในการอบแห้งนานข้อเสียของการอบแห้งแบบลมร้อนคือ ความเสียหายของผลิตภัณฑ์ที่ ได้จากการอบแห้งที่เกิดจากการอบแห้งแบบลมร้อนคือ อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง การอบแห้งแบบลมร้อนใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่ยาวนานเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงซึ่งได้แก่ สี กลิ่น คุณค่าทางอาหาร ความหนาแน่น และการคืนรูป การแข็งตัวของเปลือกก็เป็นปัญหาพื้นฐานของการอบแห้งผักและผลไม้ ซึ่งเกิดจากการอบแห้งอย่างรวดเร็วโดยเกิดขึ้นเพราะในกระบวนการอบแห้งอัตราการระเหยของน้ำมีค่าสูงกว่าการเคลื่อนที่ของน้ำบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แห้ง ข้อเสียอื่นๆของการอบแห้งแบบลมร้อนคือ ประสิทธิภาพในการใช้กำลังงานต่ำทำให้สิ้นเปลืองกำลังงาน ดังนั้นจึงมีการค้นคว้าหาวิธีการอบแห้งแบบอื่นๆเพื่อให้ได้กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนซึ่งการอบแห้งแบบอื่นๆสามารถแก้ไขปัญหาของการอบแห้งแบบลมร้อนได้ [9]

2.6 การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ในการศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะ การทำงานที่เหมาะสมของเตาอบแหงและศึกษาต้นทุนในกระบวนการผลิต ซึ่งทดลองอบแห้งแบบ 3 วิธี คือ 1. อบแห้งด้วยไมโครเวฟ 2. อบแห้งด้วยลมร้อน 3. อบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจากการทดสอบพบว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน มีการลดลงของความชื้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วค่าความชื้นลดลงจาก 71.80 ถึง 8.61 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในเวลา 150 นาที จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนหรือไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นการให้ความร้อน

จากภายนอกสู่ภายใน เกิดการระเหยน้ำจากภายนอกผิวเป็นอันดับแรก เมื่อเวลาผ่านไปผิวนอกจะเกิดการหดตัวเป็นสาเหตุให้น้ำระเหยออกยากจึงต้องใช้เวลามากในการอบแห้ง ส่วนการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนั้นเกิดขึ้นในเซลล์พริกที่มีความชื้น สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟจนทำให้เป็นไอน้ำลอยตัวออกมานอกผิวของพริก การอบแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟอย่างเดียว น้ำจะระเหยออกจากเซลล์พริกได้ยาก หรืออาจมีความเสียหายเนื่องจากความร้อนได้ (Heat Injury) และต้องใช้เวลามากในการอบแห้ง ดังนั้นเมื่อมีการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในการอบแห้งพริกจะสามารถแก้ไขการหดตัวของผิวพริกแห้งที่เกิดจากลมร้อนและ การเกิดการชุ่มน้ำที่ผิวของพริกที่เกิดจากการระเหยของน้ำภายในเซลล์พริกได้อย่างสมดุล ทำให้ลดระยะเวลาในการอบแห้งและสามารถผลิตพริกแห้งที่มีคุณภาพสูงได้ [11]



รูปที่ 2.8 เครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในการทดสอบการอบพริก [11]

2.7 มาตรฐานความชื้น

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554

ตารางที่ 2.1 ระดับความชื้นที่ปลอดภัยสูงสุดสำหรับอาหารอบแห้งบางชนิด [12]

อาหาร/ผลไม้	ความชื้นมาตรฐานเปียก (%)
ผลไม้แห้ง	18
ดอกเก๊กฮวยแห้ง	14
เก๊กฮวยสำเร็จรูป	1.5
ข้าวเกรียบกึ่งสำเร็จรูป	12
ข้าวเกรียบสำเร็จรูป	3
พริกแห้ง	13
พริกป่น	11
ชาใบ (ชาจีน)	7
ชาผง (ชาฝรั่ง)	7

ตารางที่ 2.1 ระดับความชื้นที่ปลอดภัยสูงสุดสำหรับอาหารอบแห้งบางชนิด(ต่อ)

อาหาร/ผลไม้	ความชื้นมาตรฐานเปียก (%)
ขิงแห้ง	12
ขิงผงสำเร็จสำเร็จรูป	2.5
กล้วยอบ	21
กาแฟ	14
กาแฟสำเร็จรูป	4.5
กาแฟคั่ว	5
เนื้อมะพร้าวอบแห้ง	3
นมผง	5
เมล็ดพริกไทย ชั้น 1	12
เมล็ดพริกไทย ชั้น 2	14
พริกไทยป่น	12
เนื้อมะพร้าวอบแห้ง ชั้น 1	5
เนื้อมะพร้าวอบแห้ง ชั้น 2	6
เนื้อมะพร้าวอบแห้ง ชั้น 3	7
ลูกกวาด	3

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยตู้อบลมร้อนร่วมไมโครเวฟสำหรับอบกล้วยเล็บมือนางซึ่งเป็นการศึกษาการให้ความร้อน 3 ระบบ 1. ระบบลมร้อน 2. ระบบไมโครเวฟ 3. ระบบลมร้อนร่วมไมโครเวฟ โดยใช้ความเร็วลมเฉลี่ย 3 เมตรต่อวินาที แกนเพลาสำหรับหมุนมีความเร็วรอบ 10 รอบต่อนาที พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส มีความชื้นฐานแห้งเฉลี่ยร้อยละ 20.99ซึ่งใกล้เคียงกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 112/2546 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) คือร้อยละ 25 เวลาที่ใช้ในการอบเฉลี่ย 8 ชั่วโมง และการอบแบบระบบลมร้อนร่วมไมโครเวฟให้ผลดีที่สุด [13]

ในการอบแห้งผลไม้ตัดชิ้น เช่น แอปเปิล แอปปริคอทพีชแพร์ และสับปะรด เป็นต้น ผลไม้มักมีสีอ่อน ดังนั้นจึงต้องรมควันซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือแช่ในสารละลายไบซัลไฟต์ เช่นโซเดียมไบซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้นประมาณ 1-2% มิฉะนั้นผลไม้ตัดชิ้นจะมีสีหมองคล้ำ นอกจากการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของผลไม้ตัดชิ้นแล้ว ยังอาจป้องกันแมลงระหว่างการเก็บรักษาได้ หากว่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์สูงพอ อย่างไรก็ตามปริมาณซัลเฟอร์ที่ตกค้างต้องไม่สูงเกินค่ามาตรฐานที่ใช้กัน ในการ

อบแห้งสับปะรดตัดชิ้น มักใช้อุณหภูมิลมร้อนประมาณ 66 องศาเซลเซียส โดยมักเตรียมผลิตภัณฑ์โดยการปอกเปลือกสับปะรด ทะลวงเอาแหนกลางออก แล้วจึงตัดเป็นชิ้นบางๆ จากนั้นจึงรมควันซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก่อนนำเข้าเครื่องอบแห้งในการศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้า มะละกอแช่อิ่ม และสับปะรดแช่อิ่มในตู้อบแห้งตามลำดับ โดยทำการทดลองและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ในการศึกษาหาเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมที่สุด สรุปได้ว่า หากต้องการผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งที่มีคุณภาพสูง คือ มีสีสวย ไม่คล้ำ ผิวไม่เหี่ยวย่น และไม่แข็งภายนอก ควรใช้อุณหภูมิของอากาศอบแห้งประมาณ 65 องศาเซลเซียส ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้า อัตราการไหลประมาณ 10 kg/h.kg dry matter และสัดส่วนของอากาศเวียนกลับประมาณ 85%สำหรับมะละกอแช่อิ่มทรงลูกบาศก์ขนาด 0.5 เซนติเมตร ควรใช้อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ 35 kg/h.kg dry matterอัตราส่วนอากาศเวียนกลับ 65% อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส สำหรับสับปะรดแช่อิ่มทรงวงแหวน ขนาดความหนา 1 เซนติเมตร ควรใช้อัตราการไหลจำเพาะอากาศ 11 kg/h.kg dry matter อัตราส่วนอากาศเวียนกลับ 75% อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส [6]

ในงานวิจัยการอบแห้งพริกจินดาด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบต่อเนื่อง โดยใช้ความเร็วลมจาก Blower ที่ความเร็ว 4, 5 และ 6 m/s อุณหภูมิที่ใช้ 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส พริกจินดามีความชื้นเริ่มต้นที่ 72.98% ฐานเปียก ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 5 m/s เหมาะสมที่สุดซึ่งใช้เวลาในการอบ 3 ชั่วโมง หลังจากการอบพริกยังคงมีสีแดงสด กรอบ เงางามและไม่มีกลิ่นไหม้ ความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 7.54% ฐานเปียก [14]

ในการอบแห้งฟักทองชิ้นด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยแบ่งการทดลองเป็น 3 แบบ คือ 1. อบแห้งด้วยไมโครเวฟ 2. อบแห้งด้วยลมร้อน 3. อบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ซึ่งสภาวะที่อบคือ กำลังวัตต์ไมโครเวฟ 160 และ 350 วัตต์ อุณหภูมิลมร้อน 50 และ 75 องศาเซลเซียส ควบคุมโดย Thermostat ความเร็วลม 1 m/s น้ำหนักเริ่มต้น 50 gและกำหนดความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 7-10% ฐานแห้งผลการทดลองพบว่าการอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนดีที่สุดและที่กำลังวัตต์ 350 วัตต์ อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้เวลาอบ31นาที พลังงานที่สิ้นเปลืองไป 0.29 kW.h [15]

ในการอบแห้งขนุนด้วยพลังงานความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟ และลมร้อน : จลนพลศาสตร์ คุณภาพและการทดสอบประสาทสัมผัสงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยของสภาวะในการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์ และคุณภาพของขนุนแห้งสายพันธุ์ทองประเสริฐ ด้วยสภาวะการทดลองอบแห้งที่แตกต่างกัน 4 เงื่อนไข ได้แก่ การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด การอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างรังสีอินฟราเรดและลมร้อน การอบแห้งแบบสองขั้นตอนด้วยไมโครเวฟและลมร้อน และสุดท้ายคือการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว โดยในทุกการทดลองที่

อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจะใช้กำลังเท่ากับ 1,000 W และกำลังของไมโครเวฟที่ 90 W (โดยใช้เวลาอบแห้ง3 นาที) สำหรับกรณีที่ใช้ลมร้อนจะใช้ความเร็วของอากาศเท่ากับ 1.1 m/s และทุกเงื่อนไขของการอบแห้ง จะทดลองอบแห้งขนุนในช่วงอุณหภูมิ 40-60°C โดยมีค่าความชื้นเริ่มต้นของขนุนอยู่ในช่วง 300-400% dry-basis และอบแห้งจนค่าความชื้นสุดท้ายของขนุนอยู่ในช่วง 12-19% dry-basis จากผลการทดลอง พบว่า อัตราการอบแห้งขนุนขึ้นกับอุณหภูมิอบแห้งอย่างมากเมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้นของ ตัวอย่าง สำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์ ของการอบแห้งชั้นบางของขนุน พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการอบแห้งขนุน แบบชั้นบางโดยใช้สมการแบบ Logarithmic, Approximation of Diffusion และ Modified Page สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมการอบแห้งขนุนด้วยรังสีอินฟราเรด การอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนด้วยคลื่นไมโครเวฟกับลมร้อนได้เป็นอย่างดี ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแหล่งพลังงานที่ใช้ พบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานอื่นๆ นอกจากนี้ พบว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอบแห้งที่สูงจะมี ความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่ากรณีการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การหดตัว สี และความยอมรับในการบริโภค นอกจากนี้ การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิมและความยอมรับได้ในการบริโภคในแต่ละสภาวะอบแห้ง พบว่าขนุนอบแห้งทุกเงื่อนไขการทดลองไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิอบแห้ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) และร้อยละของการหดตัวของผลิตภัณฑ์ [16]

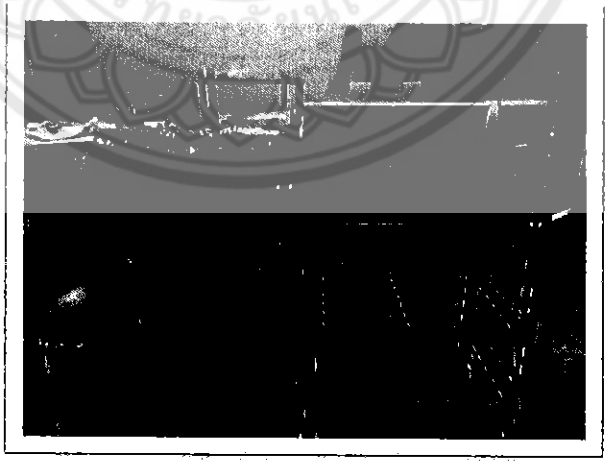
บทที่ 3

อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

ในการทำการทดลองอบแห้งกล้วยไข่ และสับปะรด โดยระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนนั้นมีรายละเอียดของอุปกรณ์ และขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

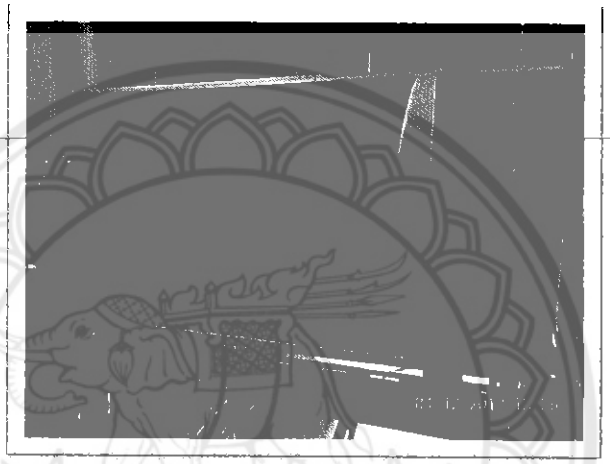
1. เตาอบไมโครเวฟ ยี่ห้อ Panasonic รุ่น NN-SM332M (รูปภาคผนวก ข-1)
2. ฮีตเตอร์ (heater) ยี่ห้อ Hi-den รุ่น HDH/FU (ภาคผนวก ข)
3. โบลเวอร์ (Blower) Sirocco รุ่น SC-124 (รูปภาคผนวก ข-2)
4. โหลดเซลล์รับโหลดได้ 1 kg
5. Load cell Indicator ยี่ห่อ ไพรมัสรุ่น cm-013 (รูปภาคผนวก ข-3)
6. Temperature Controller ยี่ห้อ Maxwell รุ่น MTB-48 (รูปภาคผนวก ข-4)
7. อุปกรณ์รองรับและจานเซรามิกซ์เครือบสารอะคริลิค



รูปที่ 3.1 เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

3.1.1 เตาอบไมโครเวฟ

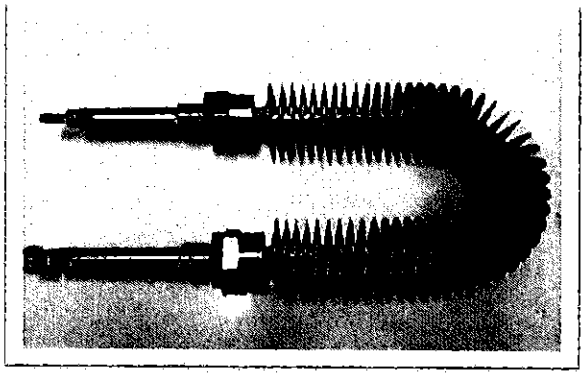
เตาอบไมโครเวฟที่ได้ทำการใช้อบผลิตภัณฑ์นั้นเป็นเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือนทั่วไป โดยมีขนาดความจุ 25 ลิตร ตัวเตาอบไมโครเวฟได้มีการดัดแปลงโดยการเจาะรูบริเวณด้านข้างและด้านหลังของเตาอบไมโครเวฟเพื่อต่อท่อให้เป็นทางสำหรับให้ลมร้อนเข้า และออก ทั้งนี้ที่ท่อที่ต่อออกมาจากเตาได้มีการใช้ตะแกรงเหล็กปิดเพื่อไม่ให้คลื่นไมโครเวฟรั่วออกมาได้



รูปที่ 3.2 เตาอบไมโครเวฟ

3.1.2 ฮีตเตอร์ (heater)

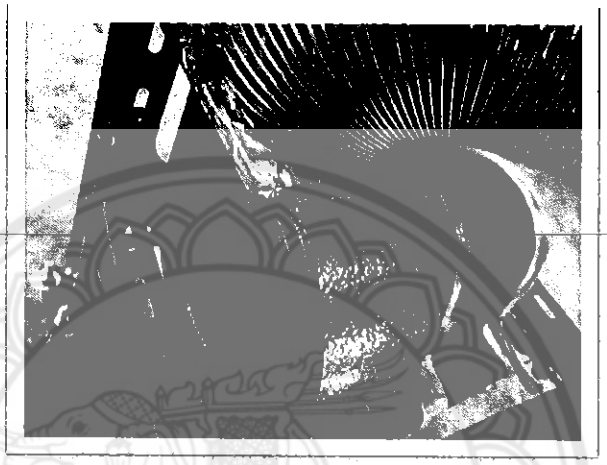
ฮีตเตอร์ที่ใช้เป็นฮีตเตอร์แบบครีบ ลักษณะเป็นรูปตัวยู ใช้สำหรับทำความร้อนเมื่อมีลมไหลผ่านฮีตเตอร์ ลมก็จะพาความร้อนที่ออกมาจากฮีตเตอร์ไหลไปด้วยจึงกลายเป็นลมร้อน



รูปที่ 3.3 ฮีตเตอร์ (heater)

3.1.3 โบลเวอร์ (Blower)

โบลเวอร์ (Blower) มีหน้าที่ในการสร้างลมขึ้นมาเพื่อให้ไหลไปตามท่อ และผ่านฮีตเตอร์เพื่อทำให้เกิดลมร้อนในระบบ



รูปที่ 3.4 โบลเวอร์ (Blower)

3.1.4 โหลดเซลล์

โหลดเซลล์มีหน้าที่คล้ายกับตาชั่งสปริง ซึ่งใช้สายไฟฟ้าเชื่อมต่อกับตัวแปลงสัญญาณ ทำให้เมื่อมีน้ำหนักมากระทำกับตัวโหลดเซลล์ จะเกิดการโก่งตัว และความโก่งตัวนั้นจะแสดงออกมาเป็นค่าตัวเลขจากเครื่องแปลงสัญญาณ

รูปที่ 3.5 โหลดเซลล์

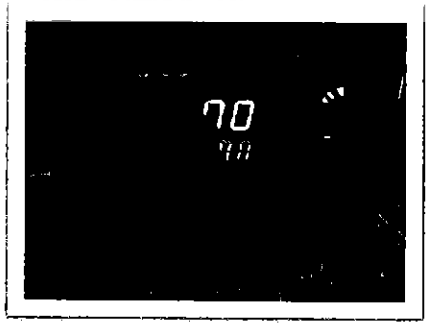
3.1.5 Load cell Indicator

เครื่องแปลงสัญญาณนั้นจะได้รับค่าความโก่งตัวของโหลดเซลล์ และได้แปลงสัญญาณที่ได้รับออกมาเป็นค่าตัวเลขโดยแสดงทางหน้าจอแสดงค่า

รูปที่ 3.6 Load cell Indicator

3.1.6 ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller)

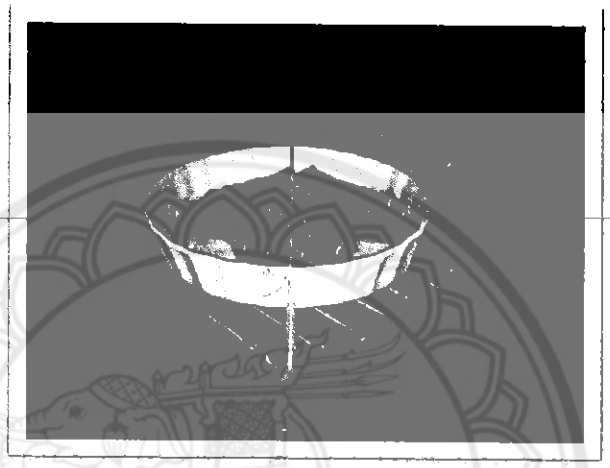
เครื่องควบคุมอุณหภูมิเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามค่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้โดยจะนำมาใช้ในการสั่งการให้กับฮีตเตอร์ทำงานตามที่ได้ตั้งค่าอุณหภูมิไว้ และจะมีหัววัดอุณหภูมิ (thermocouple) เป็นตัววัดค่าอุณหภูมิ



รูปที่ 3.7 ตัวควบคุมอุณหภูมิ

3.1.7 อุปกรณ์รองรับและจานเซรามิกซ์เครือบสารอะคริลิค

เป็นอุปกรณ์ที่ทำมาจากตะแกรงสแตนเลสผูกด้วยสายเอ็นทั้ง 3 มุม และผูกต่อกับโหลดเซลล์เพื่อนรองรับจานเซรามิกซ์ซึ่งใช้สายยางซิลิโคนเป็นตัวเชื่อมระหว่างตะแกรงสแตนเลสกับสายเอ็นเพื่อไม่ทำให้สายเอ็นละลายหากสัมผัสกับตะแกรงโดยตรง



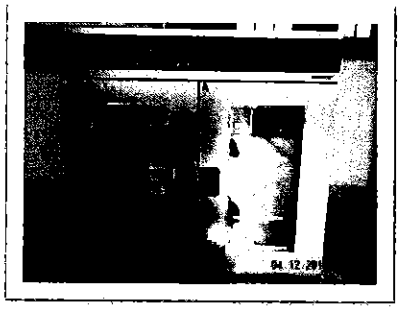
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์รองรับและจานเซรามิกซ์เครือบสารอะคริลิค

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

เริ่มจากการหาน้ำหนักสุดท้ายโดยการนำกล้วยไข่หั่นแว่น สับปะรดหั่นเป็นชิ้น 2 cm ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นมาตรฐานเปียกเท่ากับ 0% และสามารถหาความชื้นเริ่มต้นได้ โดยมีน้ำหนักก่อนอบกับหลังอบเป็นดังนี้

กล้วยไข่ : ก่อนอบ 100 กรัม หลังอบ 24 กรัม

สับปะรด : ก่อนอบ 70 กรัม หลังอบ 10 กรัม



รูปที่ 3.9 ตู้อบที่ใช้อบกล้วยไข่ และสับปะรด

การทดลองอบแห้งกล้วยไข่ และสับปะรด กับเครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนได้กำหนดขอบเขตการทดลองดังนี้

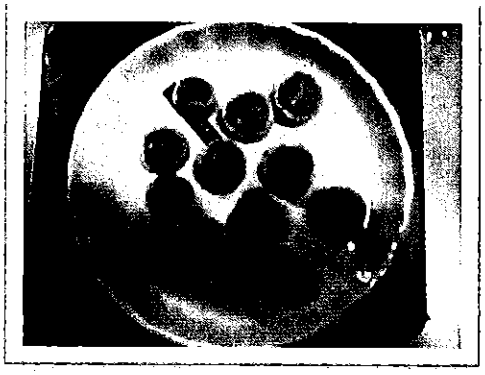
1. ทดลองกับอุณหภูมิ 3 อุณหภูมิ คือ 60°C 70°C และ 80°C
2. ทดลองกับวัตถุดิบ 3 ขนาด
3. ทดลองโดยใช้ระดับไมโครเวฟ 3 ระดับ ในที่นี้คือ Defrost Medium และ High
4. ทำการทดลองขอบเขตข้อที่ 1-3 ซ้ำ 3 ครั้งโดยใช้ความเร็วลมร้อน เท่ากับ 3 m/s

หมายเหตุ ระดับไมโครเวฟ: Defrost มีกำลังไฟเท่ากับ 373.33 วัตต์
ระดับไมโครเวฟ: Medium มีกำลังไฟเท่ากับ 453.33 วัตต์
ระดับไมโครเวฟ: High มีกำลังไฟเท่ากับ 800 วัตต์

3.2.1 การทดลองอบแห้งกล้วยไข่

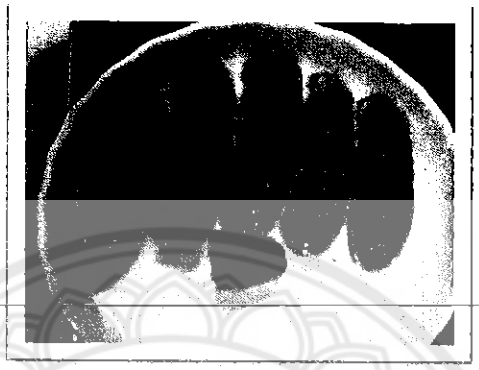
เริ่มจากการเตรียมกล้วยไข่สุกที่ไว้ใช้ในการทดลองอบแห้ง โดยการทดลองอบแห้งนี้จะใช้กล้วยไข่ 3 ขนาน คือ หั่นแว่น ครึ่งลูก และเต็มลูก ซึ่งได้กำหนดน้ำหนักก่อนการเริ่มอบเท่ากับ 100 กรัม และน้ำหนัก 30 กรัมเป็นน้ำหนักที่สิ้นสุดการทดลองเพราะ กล้วยไข่น้ำหนัก 100 กรัม ทำการอบแห้งจนน้ำหนักเหลือ 30 กรัม นั้นจะมีค่าความชื้นมาตรฐานเปียกอยู่ที่ 20% ซึ่งไม่เกินค่าความชื้นมาตรฐานเปียกของกล้วยอบที่ทางสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554 กำหนดไว้ที่ 21% ถ้ามีความชื้นมาตรฐานเปียกเกิน 21% จะเป็นความชื้นมาตรฐานเปียกที่ไม่ปลอดภัยเพราะจะเกิดเชื้อราขึ้นได้การวางวัตถุดิบลงบนจานจะวางวัตถุดิบไว้ชิดข้างใดข้างหนึ่งเสมอ (รูปที่ 3.11) ซึ่งมีรายละเอียดการทดลองในแต่ละขนาดดังต่อไปนี้ (ทดลองโดยการปลอกเปลือกกล้วยไข่)

- หั่นแว่นแต่ละชิ้นมีขนาดประมาณ 1 cm



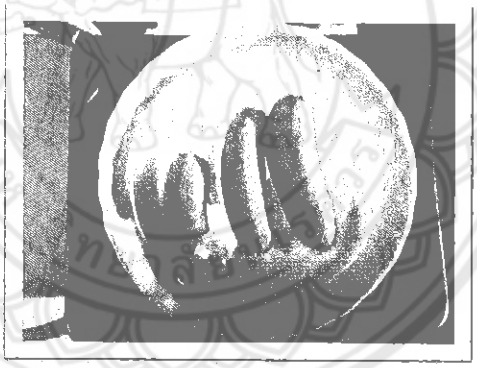
รูปที่ 3.10 ลักษณะกล้วยไข่แบบหั่นแว่น

- ครึ่งลูกหั่นตามแนวยาว



รูปที่ 3.11 ลักษณะกล้วยไข่แบบครึ่งลูก

- เต็มลูก



รูปที่ 3.12 ลักษณะกล้วยไข่แบบเต็มลูก

- ระดับไมโครเวฟที่ใช้

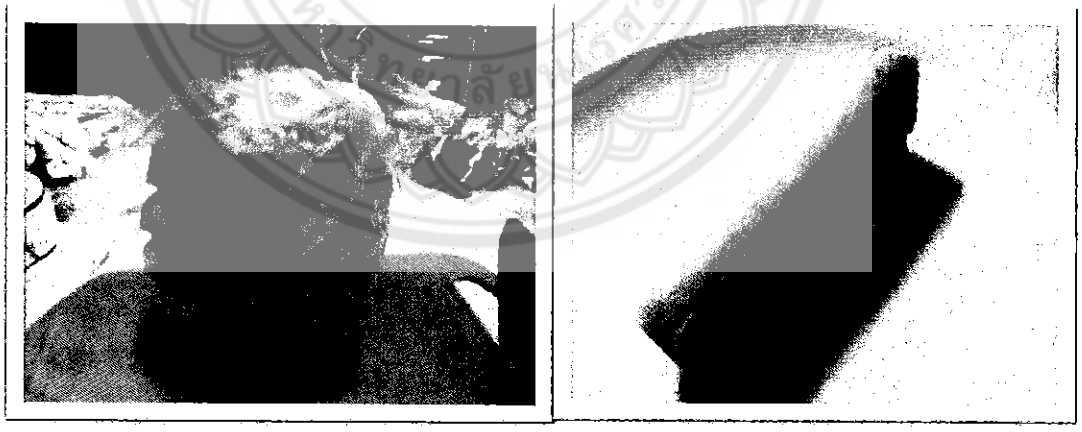
Defrost : ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 ˚C จำนวน 3 ครั้ง 70 ˚C จำนวน 3 ครั้งและ 80 ˚C จำนวน 3 ครั้ง โดยทำการจับเวลาจดค่าน้ำหนักทุกทุก 3 นาทีเมื่อเริ่มอบ เพื่อที่จะนำค่าน้ำหนักที่ได้ในเวลานั้นๆมาคำนวณหา ความชื้นฐานเปียก

Medium : ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60˚C จำนวน 3 ครั้ง 70˚C จำนวน 3 ครั้งและ 80 ˚C จำนวน 3 ครั้ง โดยทำการจับเวลาจดค่าน้ำหนักทุกทุก 3 นาทีเมื่อเริ่มอบเพื่อที่จะนำค่าน้ำหนักที่ได้ในเวลานั้นๆมาคำนวณหา ความชื้นฐานเปียก

High : ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60˚C จำนวน 3 ครั้ง 70˚C จำนวน 3 ครั้งและ 80 ˚C จำนวน 3 ครั้ง โดยทำการจับเวลาจดค่าน้ำหนักทุกทุก 2 นาทีเมื่อเริ่มอบเพื่อที่จะนำค่าน้ำหนักที่ได้ในเวลานั้นๆมาคำนวณหา ความชื้นฐานเปียก

3.2.2 การทดลองอบแห้งสับปะรด

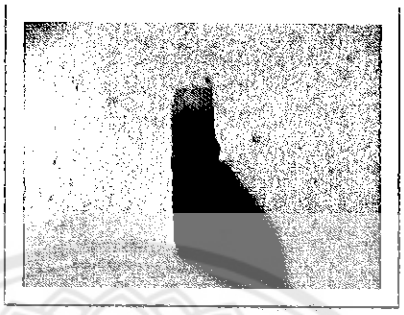
เริ่มจากการเตรียมสับปะรดที่ไว้ใช้ในการทดลองอบแห้ง โดยการทดลองอบแห้งนี้จะใช้สับปะรด 3 ขนาน คือ 1 2 และ 3 cm โดยก่อนที่จะหั่นสับปะรดให้มีขนาน 1 2 และ 3 cm นั้นต้องแบ่งสับปะรดให้เป็น 1 ส่วน 8 ของสับปะรดทั้งลูกก่อน ซึ่งได้กำหนดน้ำหนักก่อนการเริ่มอบเท่ากับ 70 กรัม และน้ำหนัก 12 กรัม เป็นน้ำหนักที่สิ้นสุดการทดลองเพราะ สับปะรดน้ำหนัก 70 กรัมทำการอบแห้งจนน้ำหนักเหลือ 12 กรัม นั้นจะมีค่าความชื้นมาตรฐานเปียกอยู่ที่ 16.67% ซึ่งไม่เกินค่าความชื้นมาตรฐานเปียกของผลไม้แห้งที่ทางสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554 กำหนดไว้ที่ 18% ถ้ามีความชื้นมาตรฐานเปียกเกิน 18% จะเป็นความชื้นมาตรฐานเปียกที่ไม่ปลอดภัยเพราะจะเกิดเชื้อราขึ้นได้



รูปที่ 3.13 สับปะรดที่ใช้ในการทดลอง และขนาดสับปะรด 1/8 ของทั้งลูก

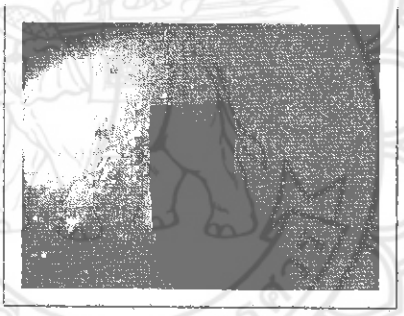
รายละเอียดการทดลองในแต่ละขนาดดังต่อไปนี้

- ขนาด 1 cm (วัดขนาด 1 cm จากแกนกลางของสับปะรด)



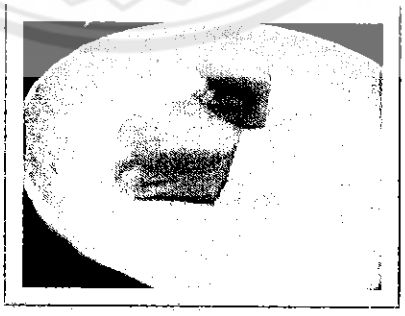
รูปที่ 3.14 ลักษณะของสับปะรดขนาด 1 cm

- ขนาด 2 cm (วัดขนาด 2 cm จากแกนกลางของสับปะรด)



รูปที่ 3.15 ลักษณะของสับปะรดขนาด 2 cm

- ขนาด 3 cm (วัดขนาด 3 cm จากแกนกลางของสับปะรด)



รูปที่ 3.16 ลักษณะของสับปะรดขนาด 3 cm

- ระดับไมโครเวฟที่ใช้

Defrost : ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60 ˚C จำนวน 3 ครั้ง 70 ˚C จำนวน 3 ครั้งและ 80 ˚C จำนวน 3 ครั้ง โดยทำการจับเวลาจดค่าน้ำหนักทุกทุก 5 นาทีเมื่อเริ่มอบ เพื่อที่จะนำค่าน้ำหนักที่ได้ในเวลานั้นๆมาคำนวณหา ความชื้นฐานเปียก

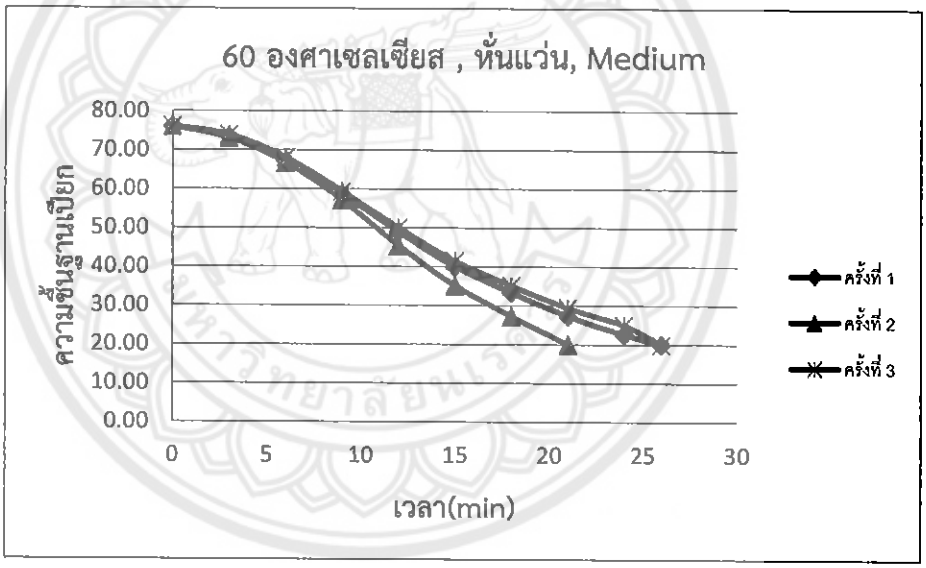
Medium : ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60˚C จำนวน 3 ครั้ง 70˚C จำนวน 3 ครั้งและ 80˚C จำนวน 3 ครั้ง โดยทำการจับเวลาจดค่าน้ำหนักทุกทุก 3 นาทีเมื่อเริ่มอบเพื่อที่จะนำค่าน้ำหนักที่ได้ในเวลานั้นๆมาคำนวณหา ความชื้นฐานเปียก

High : ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60˚C จำนวน 3 ครั้ง 70˚C จำนวน 3 ครั้งและ 80˚C จำนวน 3 ครั้ง โดยทำการจับเวลาจดค่าน้ำหนักทุกทุก 2 นาทีเมื่อเริ่มอบเพื่อที่จะนำค่าน้ำหนักที่ได้ในเวลานั้นๆมาคำนวณหา ความชื้นฐานเปียก

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผล

เนื่องจากการทดลองทั้งหมดทำซ้ำ 3 ครั้ง ดังนั้นเราจึงพิจารณาเลือก**ครั้งที่เส้นกราฟมีแนวโน้มเฉลี่ยทั้งหมดของทั้ง 3 ครั้ง แต่หากบางกราฟที่มี 1 เส้นที่ต่างออกไปก็จะไม่นำมาพิจารณาร่วมด้วย** ตัวอย่างเช่น



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงตัวอย่างในการเลือกเส้นกราฟ

จากกราฟจะเห็นว่าทั้ง 3 เส้นมีความชันในแต่ละช่วงไม่เท่ากัน ดังนั้นเราจึงเลือกกราฟที่มีแนวโน้มเฉลี่ยของทั้ง 3 เส้น มาเป็นตัวแทนเพื่อนำไปพิจารณาต่อไป นั่นคือกราฟครั้งที่ 1. และเป็นเช่นเดียวกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นฐานเปียก

4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนในการอบกล้วย

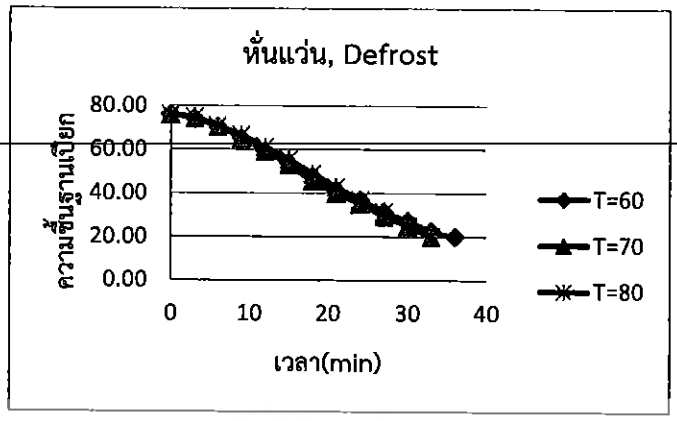
4.1.1 ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.1.1 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 80 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากันซึ่งเท่ากับ 33 นาที และการใช้อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบช้าที่สุดโดยใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 36 นาที นอกจากนี้คุณภาพของกล้วยหลังการอบแห้งจะเห็นว่ามีลักษณะใกล้เคียงกันหมดทั้ง 3 อุณหภูมิ คือ กล้วยอบมีลักษณะไหม้เป็นส่วนมาก และจะเริ่มไหม้ที่ความชื้นประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

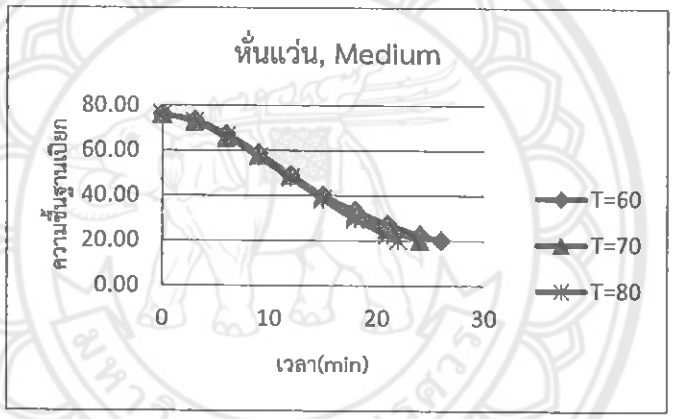
จากรูปที่ 4.1.2 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 22 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 24 นาที และอุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 26 นาที และกล้วยอบจะเริ่มไหม้ที่ความชื้นประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

จากรูปที่ 4.1.3 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 11 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 13 นาที และอุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 15 นาที และกล้วยอบจะเริ่มไหม้ที่ความชื้นประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

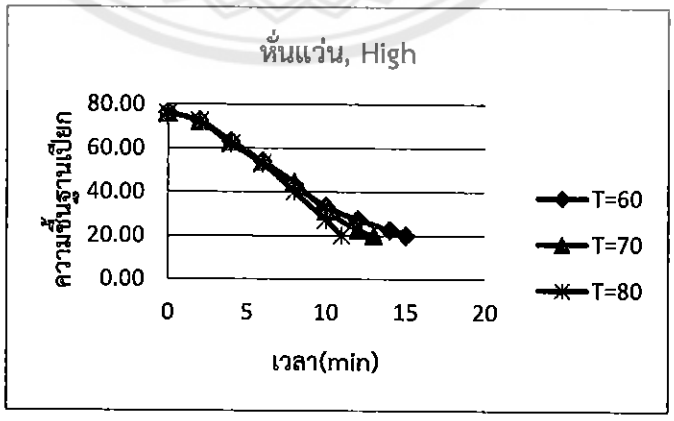
จากรูปที่ 4.1.1 กราฟของอุณหภูมิ 60 องศา ความชันของช่วงเวลา 0-9 นาที มีความชันเท่ากับ -1.198 จากนั้นช่วงเวลา 9-30 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -1.807 และสุดท้ายช่วงเวลา 30-33 นาที มีความชันเท่ากับ -1.212 และมีแนวโน้มว่าความชันจะน้อยลงเรื่อยๆ นั่นคือ เมื่อเริ่มอบความชื้นจะลดลงอย่างช้าๆจนถึงนาทีที่ 9 เมื่ออบไปเรื่อยๆ ความชื้นจะลดลงเร็วกว่าเดิมแต่จะลดลงแบบต่อเนื่องเป็นแบบเส้นตรง จนกระทั่งนาทีที่ 30 ความชื้นก็จะเริ่มลดลงอย่างช้าๆจนกล้วยอบมีความชื้นเท่ากับศูนย์ ซึ่งกราฟอุณหภูมิ 70 และ 80 มีแนวโน้มเช่นเดียวกับ 60 องศาเซลเซียส นอกจากนี้กราฟของรูปที่ 4.1.2 และ 4.1.3 ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.1.1



รูปที่ 4.1.2



รูปที่ 4.1.3

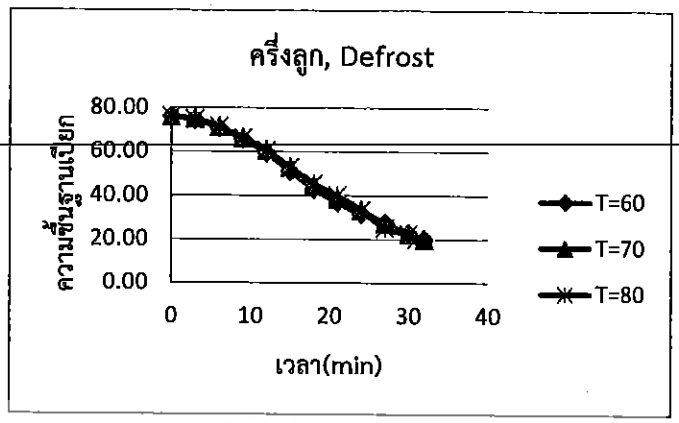
รูปที่ 4.1.1-4.1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยไข่เปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาดหั่นแว่น (4.1.1) Defrost, (4.1.2) Medium, (4.1.3) High

จากรูปที่ 4.1.4 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 31 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 และ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบท่ากันคือ 32 นาที แต่กราฟทั้ง 3 อุณหภูมิ มีค่าความชื้น ณ เวลาใดๆใกล้เคียงกันมาก และกล้วยอบจะเริ่มไหม้ที่ความชื้นประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

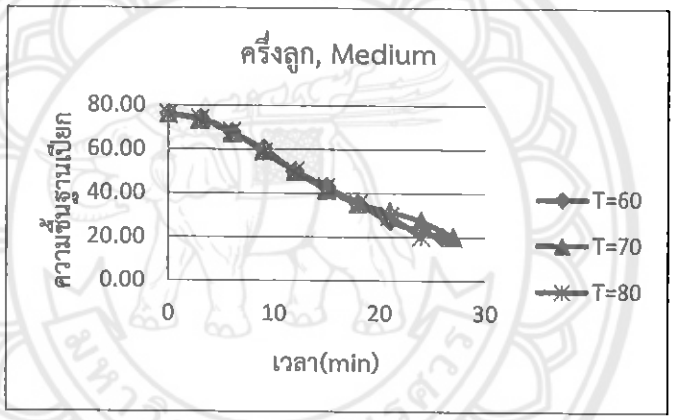
จากรูปที่ 4.1.5 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 24 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 26 นาที และอุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 27 นาที และกล้วยอบจะเริ่มไหม้ที่ความชื้นประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

จากรูปที่ 4.1.6 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 11 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเท่ากันคือ 13 นาที แต่นาทีที่ 13 ความชื้นของอุณหภูมิ 70 มีค่าน้อยกว่า 80 องศาเซลเซียส และกล้วยอบจะเริ่มไหม้ที่ความชื้นประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

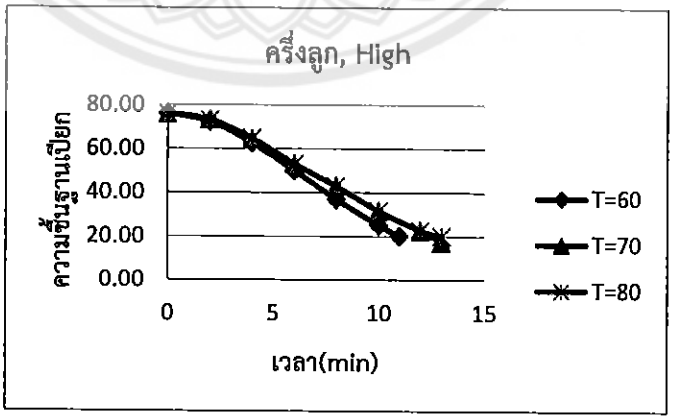
จากรูปที่ 4.1.4 กราฟของอุณหภูมิ 60 องศา ความชันของช่วงเวลา 0-9 นาที มีความชันเท่ากับ -1.143 จากนั้นช่วงเวลา 9-27 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.136 และสุดท้ายช่วงเวลา 27-32 นาที มีความชันเท่ากับ -1.454 และมีแนวโน้มว่าความชันจะน้อยลงเรื่อยๆ นั่นคือ เมื่อเริ่มอบความชื้นจะลดลงอย่างช้าๆจนถึงนาทีที่ 9 เมื่ออบไปเรื่อยๆ ความชื้นจะลดลงเร็วกว่าเดิมแต่จะลดลงแบบต่อเนื่องเป็นแบบเส้นตรง จนกระทั่งนาทีที่ 27 ความชื้นก็จะเริ่มลดลงอย่างช้าๆจนกล้วยอบมีความชื้นเท่ากับศูนย์ ซึ่งกราฟอุณหภูมิ 70 และ 80 มีแนวโน้มเช่นเดียวกับ 60 องศาเซลเซียส นอกจากนี้กราฟของรูปที่ 4.1.5 ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน ส่วนกราฟรูปที่ 4.1.6 ความชันช่วงสุดท้ายของกราฟยังไม่มีแนวโน้มที่จะลดลงดังนั้นถ้าอบต่อไปเรื่อยๆ ความชื้นจะสามารถลดลงได้อีกอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.1.4



รูปที่ 4.1.5



รูปที่ 4.1.6

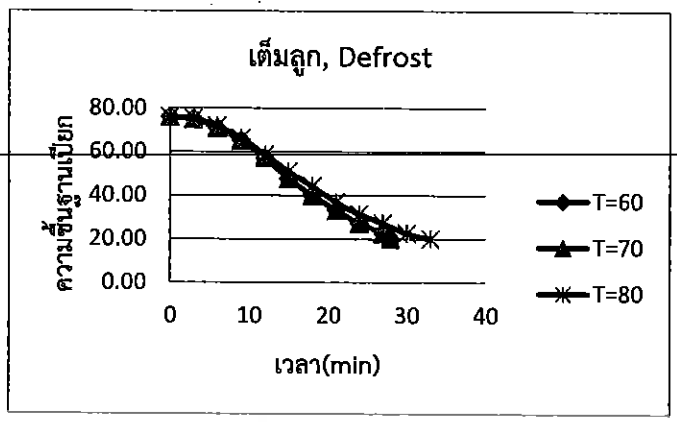
รูปที่ 4.1.4-4.1.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยไข่เปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาดครึ่งลูก (4.1.4) Defrost, (4.1.5) Medium, (4.1.6) High

จากรูปที่ 4.1.7 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 28 นาที และอุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 33 นาที ซึ่งกราฟ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้น ณ เวลาใดๆใกล้เคียงกันมาก และกล้วยอบจะเริ่มไหม้ที่ความชื้นประมาณ 43 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

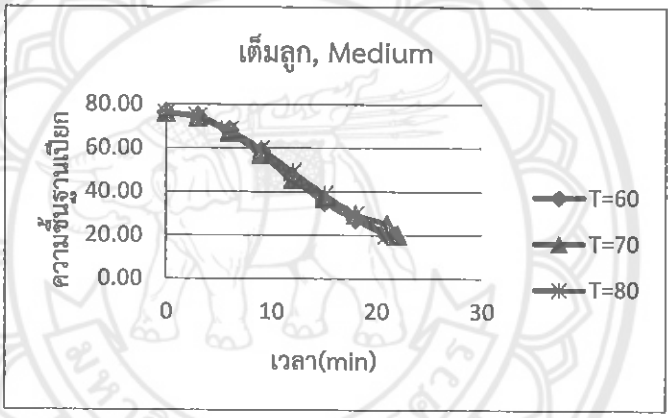
จากรูปที่ 4.1.8 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 60 และ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 21 นาที และอุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 22 นาที แต่จะเห็นว่ากราฟของอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความชื้นลดลงช้ากว่า 60 และ 80 องศาเซลเซียสเพียงช่วงท้ายเท่านั้น แต่ส่วนมากแล้วกราฟทั้ง 3 อุณหภูมิ มีค่าความชื้น ณ เวลาใดๆใกล้เคียงกันมาก และกล้วยอบจะเริ่มไหม้ที่ความชื้นประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

จากรูปที่ 4.1.9 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 10 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 11 นาที และอุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 14 นาที และกล้วยอบจะเริ่มไหม้ที่ความชื้นประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

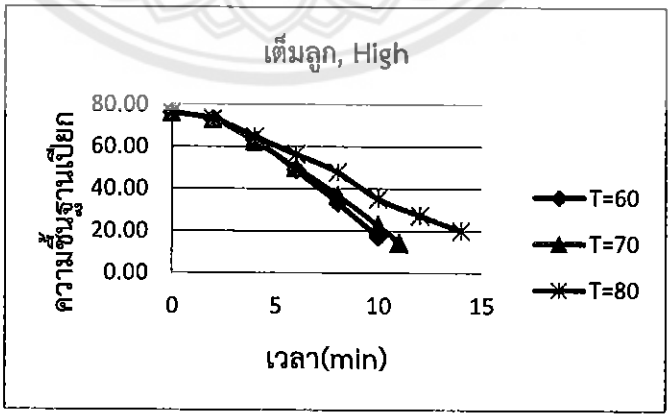
จากรูปที่ 4.1.7 กราฟของอุณหภูมิ 60 องศา ความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีความชันเท่ากับ -0.878 จากนั้นช่วงเวลา 6-21 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.493 และสุดท้ายช่วงเวลา 21-28 นาที มีความชันเท่ากับ -1.904 และมีแนวโน้มว่าความชันจะน้อยลงเรื่อยๆ นั่นคือ เมื่อเริ่มอบความชื้นจะลดลงอย่างช้าๆจนถึงนาทีที่ 6 เมื่ออบไปเรื่อยๆ ความชื้นจะลดลงเร็วกว่าเดิมแต่จะลดลงแบบต่อเนื่องเป็นแบบเส้นตรง จนกระทั่งนาทีที่ 21 ความชื้นก็จะเริ่มลดลงอย่างช้าๆจนกล้วยอบมีความชื้นเท่ากับศูนย์ ซึ่งกราฟอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มเช่นเดียวกับ 60 องศาเซลเซียสแต่กราฟอุณหภูมิ 80 ช่วงท้ายของกราฟจะมีความชันน้อยกว่า 60 และ 70 องศาเซลเซียส นอกจากนี้กราฟของรูปที่ 4.1.8 ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน ส่วนกราฟรูปที่ 4.1.9 ความชันช่วงสุดท้ายของกราฟมีแนวโน้มที่ค่าความชันจะเพิ่มขึ้นได้อีก



รูปที่ 4.1.7

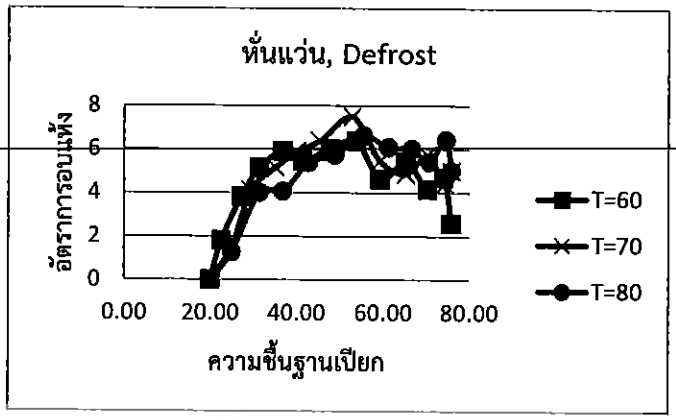


รูปที่ 4.1.8

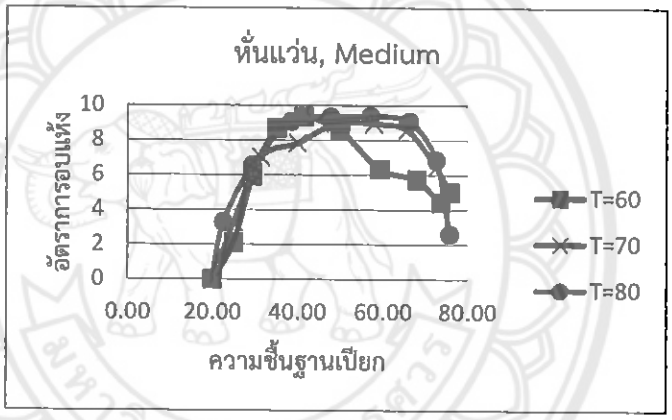


รูปที่ 4.1.9

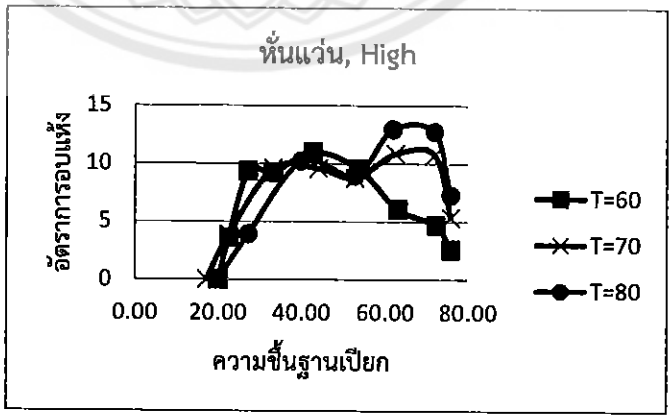
รูปที่ 4.1.7-4.1.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาดเต็มลูก (4.1.7) Defrost, (4.1.8) Medium, (4.1.9) High



รูปที่ 4.1.10

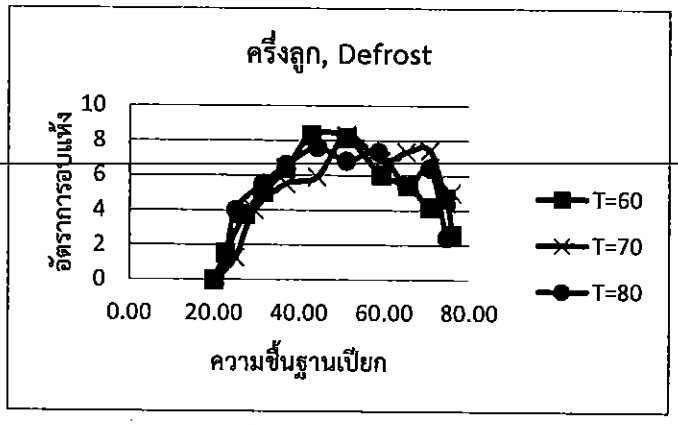


รูปที่ 4.1.11

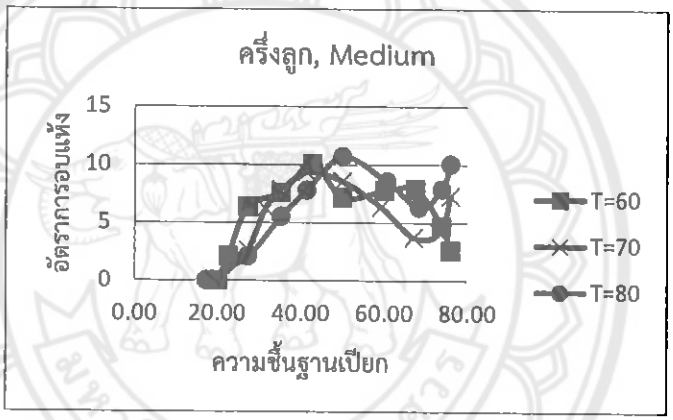


รูปที่ 4.1.12

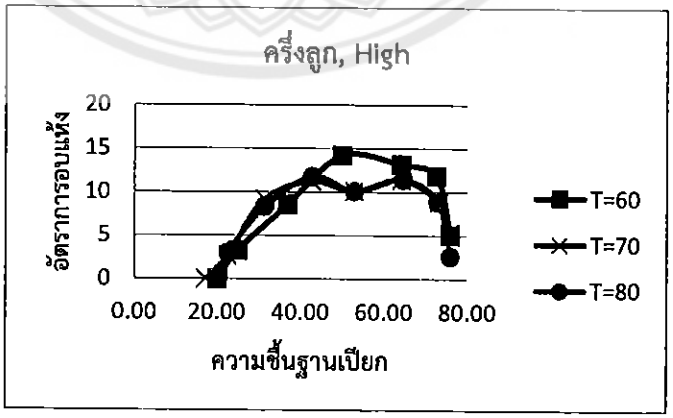
รูปที่ 4.1.10-4.1.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาดหั่นแว่น (4.1.10) Defrost, (4.1.11) Medium, (4.1.12) High



รูปที่ 4.1.13

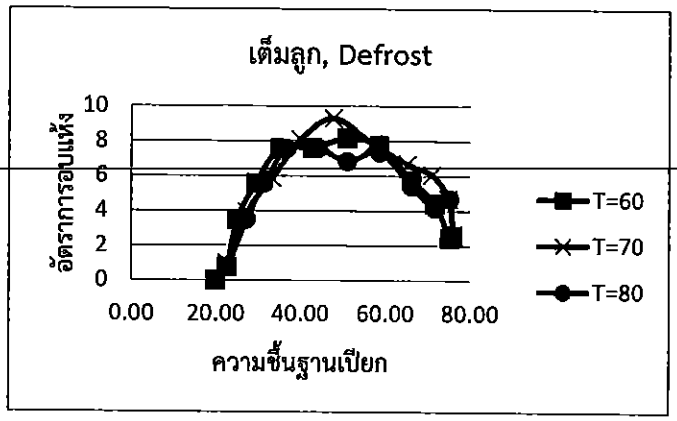


รูปที่ 4.1.14

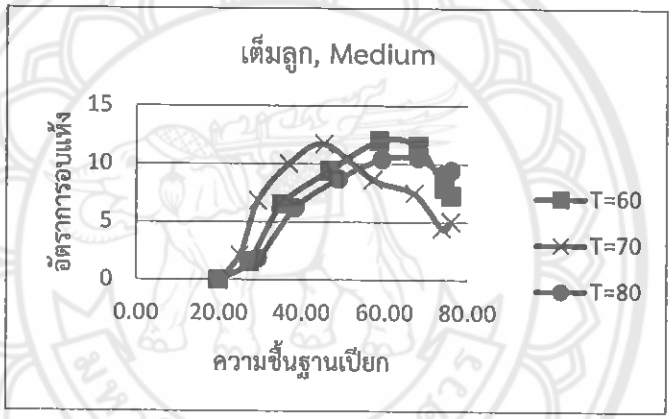


รูปที่ 4.1.15

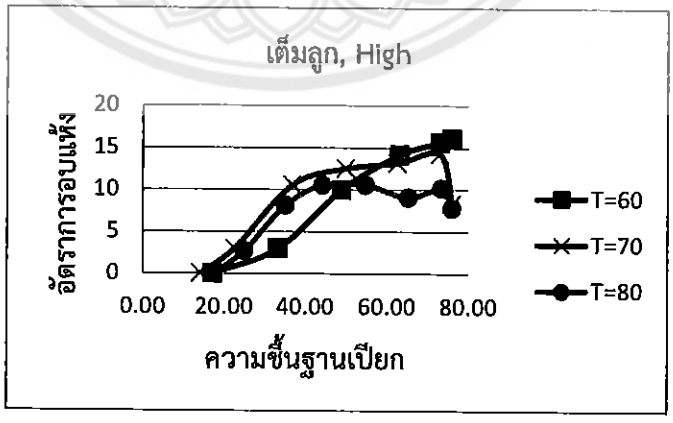
รูปที่ 4.1.13-4.1.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาดครึ่งลูก (4.1.13) Defrost, (4.1.14) Medium, (4.1.15) High



รูปที่ 4.1.16



รูปที่ 4.1.17



รูปที่ 4.1.18

รูปที่ 4.1.16-4.1.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาดเต็มลูก (4.1.16) Defrost, (4.1.17) Medium, (4.1.18) High

4.1.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.1.1-4.1.9 จะเห็นว่าเมื่อเราอบกล้วยถึงแม้จะเปลี่ยนขนาดของกล้วยหรือเปลี่ยนระดับไมโครเวฟในการอบ แล้วดูผลของอุณหภูมิลมร้อนทั้ง 3 อุณหภูมิคือ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งผลออกมาคืออุณหภูมิของลมร้อนมีผลต่อการอบแห้งกล้วยน้อยมาก ซึ่งดูได้จากความชันในแต่ละช่วงของกราฟทั้ง 3 อุณหภูมิ จะเห็นว่าความชันของกราฟทั้ง 3 อุณหภูมิ ในแต่ละช่วงเวลามีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่จะมีบางการทดลองที่ช่วงสุดท้ายของกราฟมีความชันไม่เท่ากัน ซึ่งอาจจะเกิดจากความคลาดเคลื่อนโดย 1. การวางกล้วยบนภาชนะเพราะว่าการตกของคลื่นไมโครเวฟไม่สม่ำเสมอทั้งห้องอบเพราะเมื่อสังเกตจะเห็นว่ามีกล้วยอบบางที่เกิดการไหม้เร็วกว่า (ดูรูปภาคผนวก ก-2) ถ้าหากเราวางไม่เหมือนกันทุกครั้งเวลาในการอบแห้งก็จะต่างกัน 2. ภาชะไม่ใช่ภาชนะแบบหมุนซึ่งเช่นเดียวกับข้อ 1. เพราะว่าหากภาชนะเป็นแบบหมุนได้ก็อาจจะสามารถช่วยให้กล้วยรับคลื่นไมโครเวฟได้อย่างทั่วถึงกว่า ดังนั้นปัจจัยดังกล่าวนี้อาจจะทำให้เวลาในการอบกล้วยไม่เท่ากันทุกครั้ง

แนวโน้มในการอบกล้วยเราสามารถดูได้จากความชันในแต่ละช่วงเวลาในที่นี้เราจะยกตัวอย่างมาเพียง 1 ตัวอย่าง เพราะว่ากราฟในรูปอื่นๆ ก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันทั้งหมด นั่นคือรูปที่ 4.1.1 ช่วงแรกของกราฟมีความชันเท่ากับ -1.198 ช่วงที่สองมีความชันเท่ากับ -1.807 และช่วงสุดท้ายมีความชันเท่ากับ -1.212 เราจะเห็นว่าช่วงเริ่มต้นอบนั้นการลดลงของความชื้นจะค่อยๆลด จากนั้นเมื่ออบถึงนาทีที่ 9 ความชื้นของกล้วยจะลดลงเร็วกว่าเดิมและอย่างต่อเนื่องแบบเส้นตรง และช่วงสุดท้ายความชื้นของกล้วยก็จะลดลงอย่างช้าๆจนกระทั่งกล้วยอบมีความชื้นฐานเปียกเท่ากับศูนย์

จากรูปที่ 4.1.10-4.1.18 เนื่องจากอุณหภูมิลมร้อนมีผลต่อการอบแห้งกล้วยน้อยมาก ดังนั้นจะเห็นว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในแต่ละอุณหภูมิก็ไม่แตกต่างกันมากเช่นกัน ซึ่งเราสามารถแบ่งกราฟได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้ 1. ช่วงเริ่มต้น เราจะเห็นว่าช่วงเริ่มต้นนี้ความชื้นจะลดลงอย่างช้าๆและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้อัตราการอบแห้งค่อยๆเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน จนถึงช่วงๆหนึ่งคือ 2. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ช่วงนี้จะทำให้ความชื้นของกล้วยลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นแบบเส้นตรง จนถึงช่วงที่อัตราการอบแห้งลดลงจะเป็นช่วงที่ 3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ความชื้นจะค่อยๆลดลงจนค่าความชื้นของกล้วยเป็นศูนย์ เพราะอัตราการอบแห้งจะค่อยๆลดลงจนทีค่าเป็นศูนย์เช่นเดียวกัน นอกจากนี้เราจะเห็นว่าบางกราฟจะมีช่วงอัตราการอบแห้งคงที่น้อย นั่นคือถ้ามีช่วงอัตราการอบแห้งคงที่น้อยจะส่งผลให้ช่วงที่สองของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาเป็นช่วงที่สั้นๆ ด้วยเช่นกัน

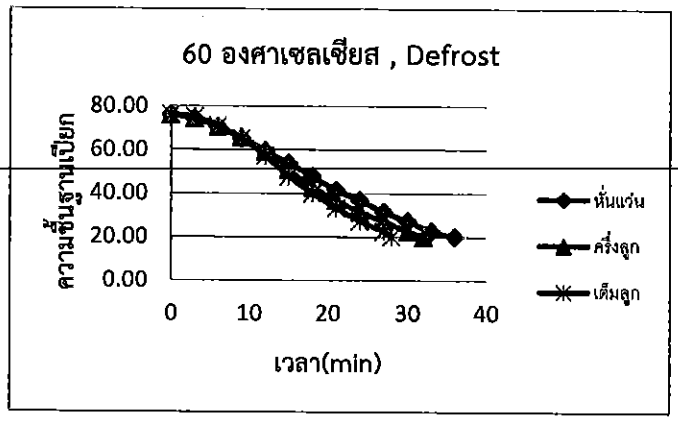
4.2 อิทธิพลของขนาดของกล้วยไข่

4.2.1 ผลการทดลอง

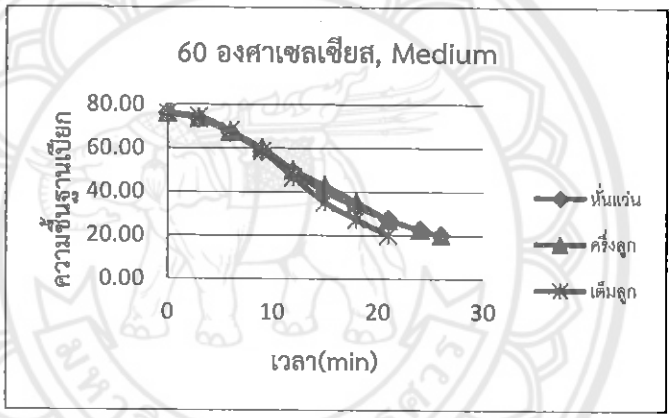
จากรูปที่ 4.2.1 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยขนาดแบบเต็มลูก ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 28 นาที รองลงมาคือครึ่งลูก ใช้เวลาอบเฉลี่ย 32 นาทีและ ขนาดแบบหั่นแว่นใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 36 นาที จากกราฟขนาดแบบหั่นแว่น ค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีความชันเท่ากับ -0.938 จากนั้นช่วงเวลา 6-33 นาที มีความชันมากกว่าซึ่งเท่ากับ -1.796 และสุดท้ายช่วงเวลา 33-36 นาที มีความชันเท่ากับ -1.212 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-6 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 ขนาดมีค่าเท่ากัน แต่ช่วงกลางและช่วงท้ายมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งกราฟของขนาดแบบเต็มลูกมีค่าความชันมากที่สุด รองลงมาคือแบบครึ่งลูก และแบบหั่นแว่นตามลำดับ

จากรูปที่ 4.2.2 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยขนาดแบบเต็มลูก ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 21 นาที รองลงมาคือครึ่งลูก และ หั่นแว่น ใช้เวลาอบเฉลี่ยเท่ากันคือ 26 นาที จากกราฟขนาดแบบหั่นแว่น ค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีความชันเท่ากับ -0.89 จากนั้นช่วงเวลา 3-18 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.667 และสุดท้ายช่วงเวลา 18-26 นาที มีความชันเท่ากับ -1.666 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-6 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 ขนาดมีค่าเท่ากัน และช่วงกลางและช่วงท้าย แบบหั่นแว่นและครึ่งลูกมีค่าความชันใกล้เคียงกัน แต่แบบเต็มลูกจะมีค่าความชันสูงกว่า

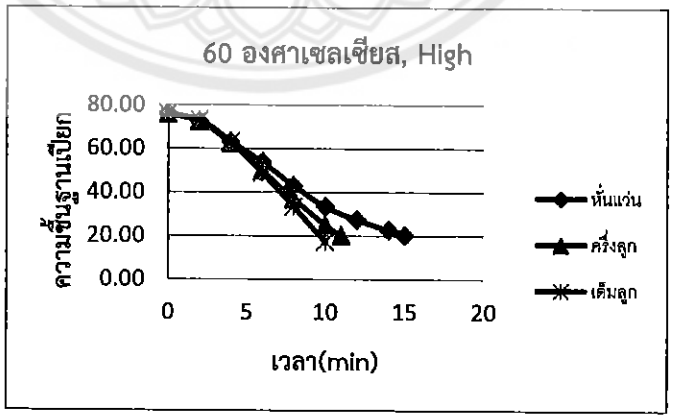
จากรูปที่ 4.2.3 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยขนาดแบบเต็มลูก ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 10 นาที รองลงมาคือครึ่งลูก ใช้เวลาอบเฉลี่ย 11 นาทีและ ขนาดแบบหั่นแว่นใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 15 นาที จากกราฟขนาดแบบหั่นแว่น ค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีความชันเท่ากับ -1.795 จากนั้นช่วงเวลา 2-10 นาที มีความชันมากกว่าซึ่งเท่ากับ -4.885 และสุดท้ายช่วงเวลา 10-15 นาที มีความชันเท่ากับ -2.667 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-2 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 ขนาดมีค่าเท่ากัน แต่ช่วงกลางและช่วงท้ายมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งกราฟของขนาดแบบเต็มลูกมีค่าความชันมากที่สุด รองลงมาคือแบบครึ่งลูก และแบบหั่นแว่นตามลำดับ



รูปที่ 4.2.1



รูปที่ 4.2.2



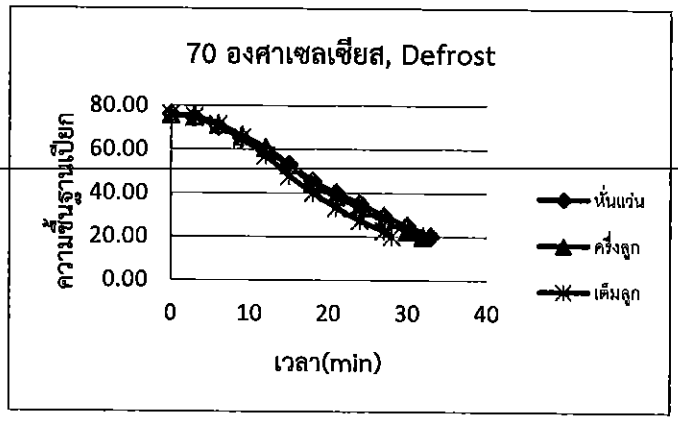
รูปที่ 4.2.3

รูปที่ 4.2.1-4.2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 60°C (4.2.1) Defrost, (4.2.2) Medium, (4.2.3) High

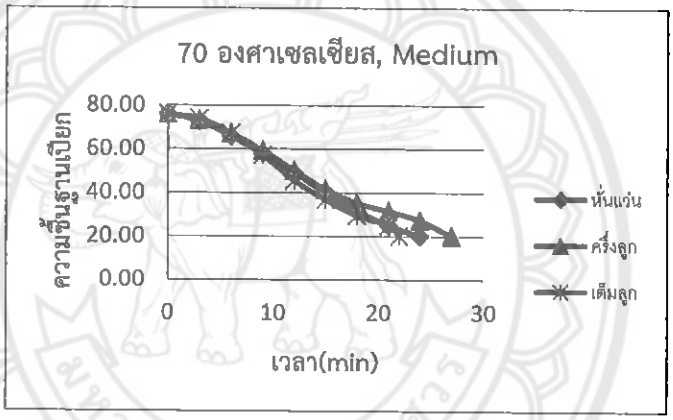
จากรูปที่ 4.2.4 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยขนาดแบบเต็มลูก ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 28 นาที รองลงมาคือครึ่งลูก ใช้เวลาอบเฉลี่ย 32 นาทีและ ขนาดแบบหั่นแว่นใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 33 นาที จากกราฟขนาดแบบหั่นแว่น ค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีความชันเท่ากับ -0.938 จากนั้นช่วงเวลา 6-18 นาที มีความชันมากกว่าซึ่งเท่ากับ -2.077 และสุดท้ายช่วงเวลา 18-33 นาที มีความชันเท่ากับ -1.697 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-6 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 ขนาดมีค่าเท่ากัน และกราฟของหั่นแว่นและครึ่งลูกมีค่าความชันใกล้เคียงกันทุกช่วง แต่ช่วงกลางและช่วงท้ายของกราฟเต็มลูกมีค่าไม่เท่ากับหั่นแว่นและครึ่งลูก ซึ่งกราฟของขนาดแบบเต็มลูกมีค่าความชันมากที่สุด

จากรูปที่ 4.2.5 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยขนาดแบบเต็มลูก ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 22 นาที รองลงมาคือหั่นแว่น ใช้เวลาอบเฉลี่ย 24 นาทีและ ขนาดแบบครึ่งลูกใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 27 นาที จากกราฟขนาดแบบหั่นแว่น ค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีความชันเท่ากับ -1.09 จากนั้นช่วงเวลา 3-18 นาที มีความชันมากกว่าซึ่งเท่ากับ -2.753 และสุดท้ายช่วงเวลา 18-24 นาที มีความชันเท่ากับ -1.905 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-3 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 ขนาดมีค่าเท่ากัน และกราฟของหั่นแว่นและเต็มลูกมีค่าความชันใกล้เคียงกันทุกช่วง แต่ช่วงกลางและช่วงท้ายของกราฟครึ่งลูกมีค่าไม่เท่ากับหั่นแว่นและเต็มลูก

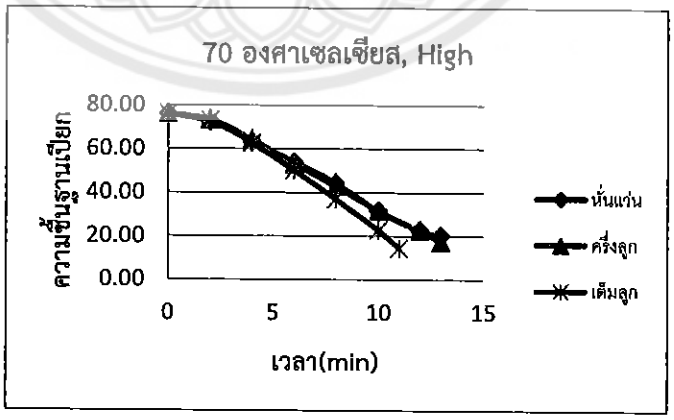
จากรูปที่ 4.2.6 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยขนาดแบบเต็มลูก ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 11 นาที รองลงมาคือหั่นแว่นและครึ่งลูก ใช้เวลาอบเฉลี่ย 13 นาทีและจากกราฟขนาดแบบหั่นแว่น ค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีความชันเท่ากับ -1.795 จากนั้นช่วงเวลา 2-20 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -4.765 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-2 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 ขนาดมีค่าเท่ากัน และกราฟของหั่นแว่นและครึ่งลูกมีค่าความชันใกล้เคียงกันทุกช่วง แต่ช่วงกลางและช่วงท้ายของกราฟเต็มลูกมีค่าไม่เท่ากับหั่นแว่นและครึ่งลูก ซึ่งกราฟของขนาดแบบเต็มลูกมีค่าความชันมากที่สุด



รูปที่ 4.2.4



รูปที่ 4.2.5



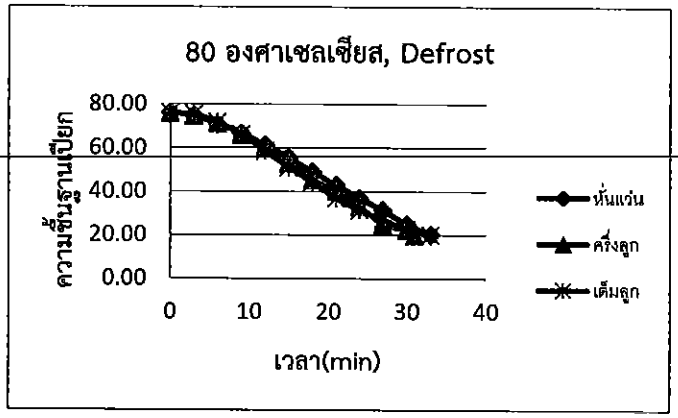
รูปที่ 4.2.6

รูปที่ 4.2.4-4.2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 70°C (4.2.4) Defrost, (4.2.5) Medium, (4.2.6) High

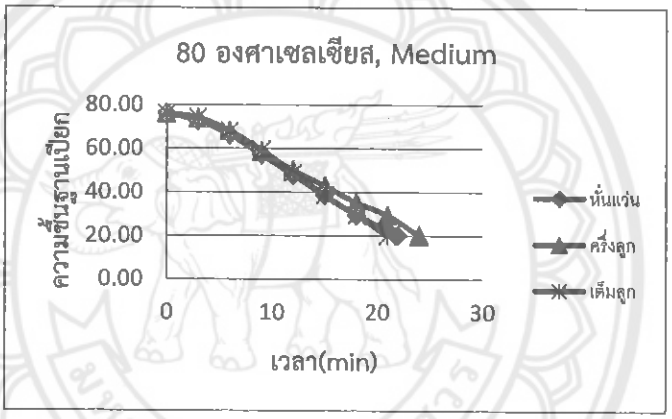
จากรูปที่ 4.2.7 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยขนาดแบบครึ่งลูก ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 31 นาที รองลงมาคือหั่นแว่นและเต็มลูก ใช้เวลาอบเฉลี่ย 33 นาที และจากกราฟขนาดแบบหั่นแว่น ค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีความชันเท่ากับ -0.878 จากนั้นช่วงเวลา 6-33 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -4.765 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-6 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 ขนาดมีค่าเท่ากัน จากนั้นกราฟครึ่งลูกและเต็มลูกจะมีความชันใกล้เคียงกันและมากกว่าหั่นแว่น แต่กราฟมีแนวโน้มเช่นเดียวกันทั้งหมด

จากรูปที่ 4.2.8 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยขนาดแบบเต็มลูก ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 21 นาที รองลงมาคือหั่นแว่น ใช้เวลาอบเฉลี่ย 22 นาทีและ ขนาดแบบครึ่งลูกใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 24 นาที จากกราฟขนาดแบบหั่นแว่น ค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีความชันเท่ากับ -1.09 จากนั้นช่วงเวลา 3-22 นาที มีความชันมากกว่าซึ่งเท่ากับ -2.775 และ จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-3 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 ขนาดมีค่าเท่ากัน และกราฟของหั่นแว่นและเต็มลูกมีค่าความชันใกล้เคียงกันทุกช่วง แต่ช่วงกลางและช่วงท้ายของกราฟครึ่งลูกมีค่าไม่เท่ากับหั่นแว่นและเต็มลูกโดยมีค่าความชันน้อยที่สุด

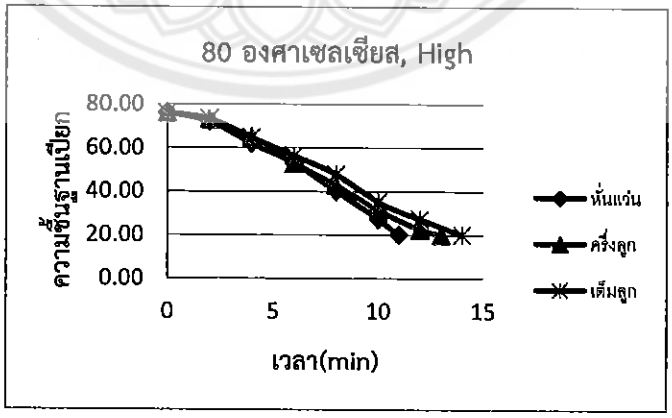
จากรูปที่ 4.2.9 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยขนาดแบบหั่นแว่น ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 11 นาที รองลงมาคือครึ่งลูก ใช้เวลาอบเฉลี่ย 13 นาทีและ ขนาดแบบเต็มลูกใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 14 นาที จากกราฟขนาดแบบหั่นแว่น ค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีความชันเท่ากับ -1.955 จากนั้นช่วงเวลา 2-11 นาที มีความชันมากกว่าซึ่งเท่ากับ -5.788 และ จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-2 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 ขนาดมีค่าเท่ากัน แต่ช่วงกลางและช่วงท้ายมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งกราฟของขนาดแบบหั่นแว่นมีค่าความชันมากที่สุด รองลงมาคือแบบครึ่งลูก และแบบเต็มลูกตามลำดับ



รูปที่ 4.2.7

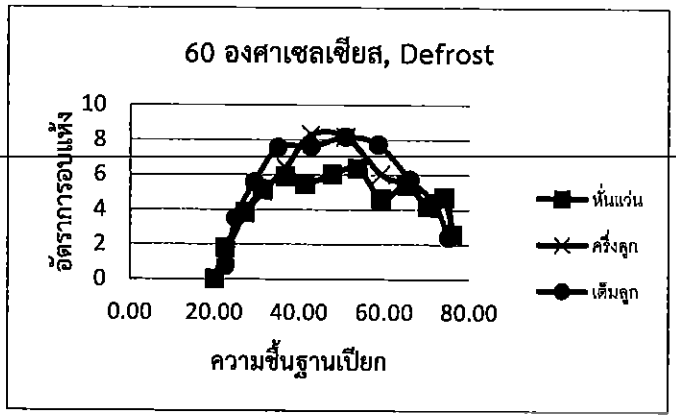


รูปที่ 4.2.8

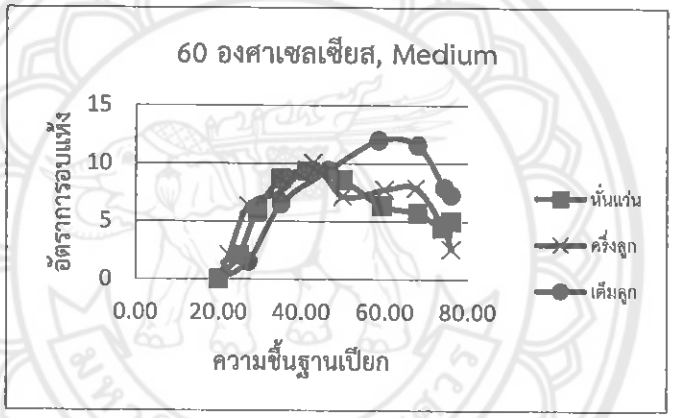


รูปที่ 4.2.9

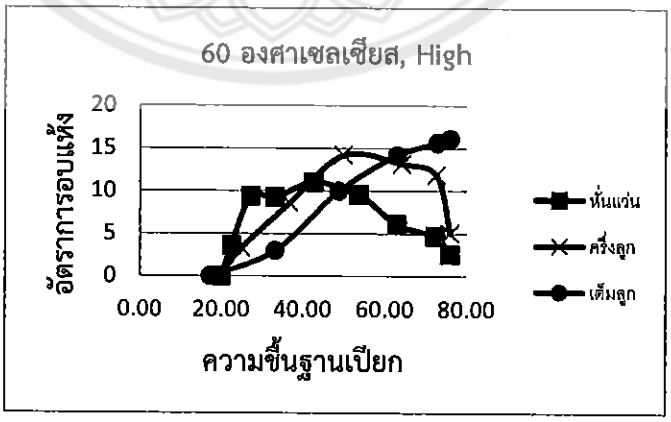
รูปที่ 4.2.7-4.2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 80°C (4.2.7) Defrost, (4.2.8) Medium, (4.2.9) High



รูปที่ 4.2.10

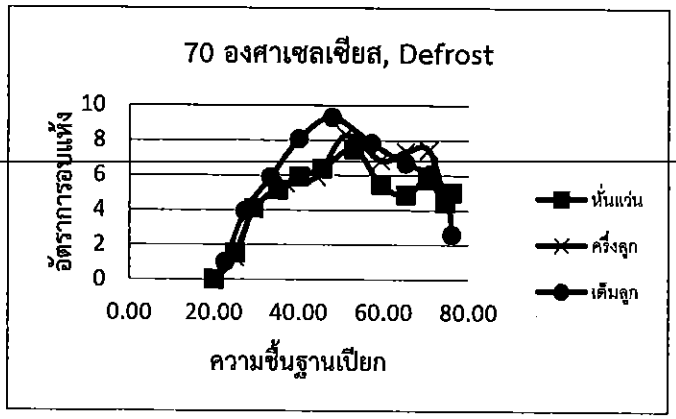


รูปที่ 4.2.11

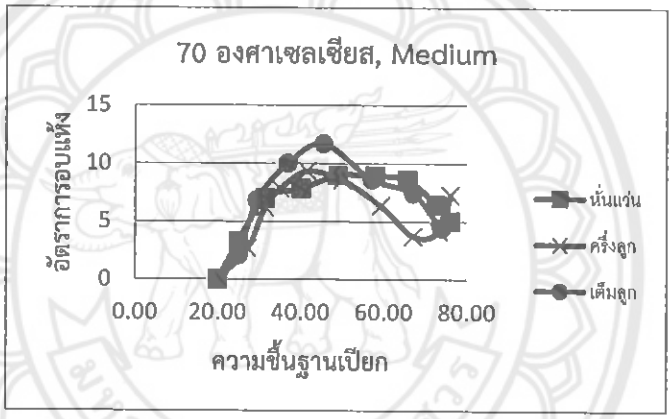


รูปที่ 4.2.12

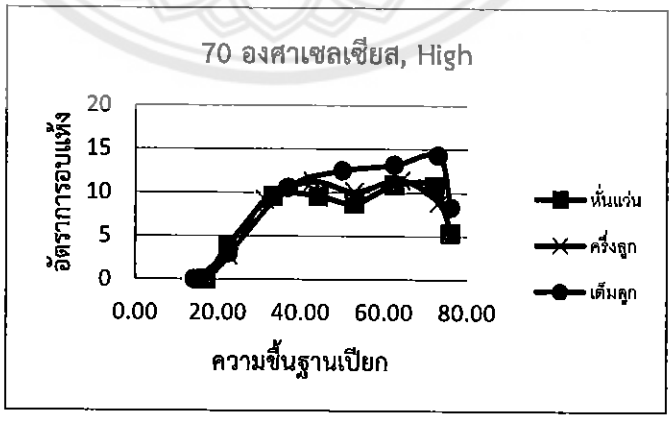
รูปที่ 4.2.10-4.2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 60°C (4.2.10) Defrost, (4.2.11) Medium, (4.2.12) High



รูปที่ 4.2.13

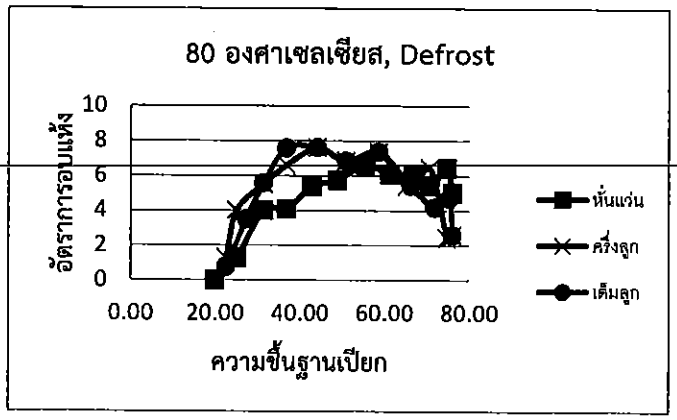


รูปที่ 4.2.14

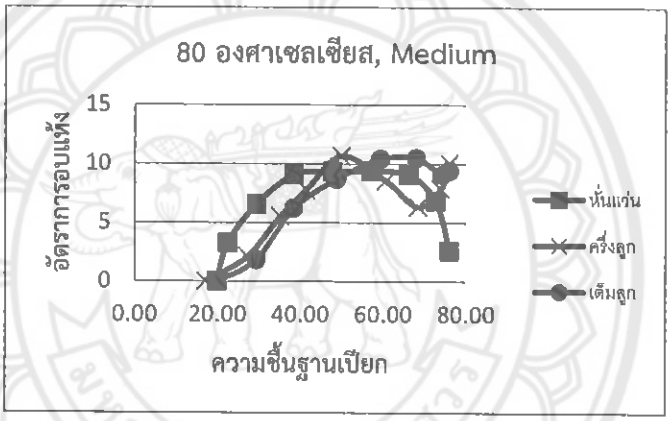


รูปที่ 4.2.15

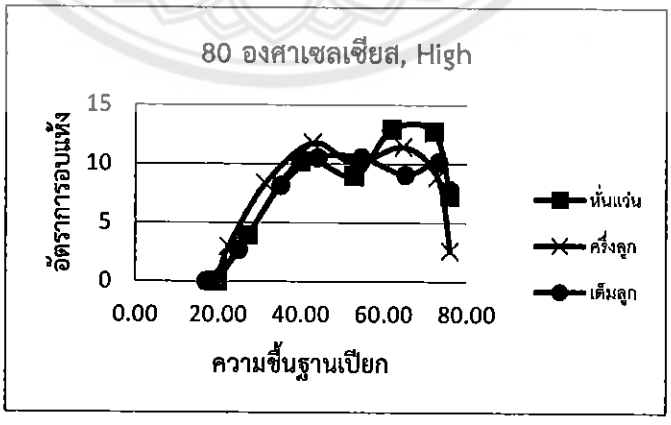
รูปที่ 4.2.13-4.2.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 70°C (4.2.13) Defrost, (4.2.14) Medium, (4.2.15) High



รูปที่ 4.2.16



รูปที่ 4.2.17



รูปที่ 4.2.18

รูปที่ 4.2.16-4.2.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 80°C (4.2.16) Defrost, (4.2.17) Medium, (4.2.18) High

4.2.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.2.1-4.2.9 จะเห็นว่าเมื่อเราอบกล้วยถึงแม้จะเปลี่ยนอุณหภูมิของลมร้อนหรือเปลี่ยนระดับไมโครเวฟในการอบ แล้วดูผลของขนาดของกล้วยทั้ง 3 ขนาด คือ หั่นแว่น ครึ่งลูก และ เต็มลูก และผลออกมาคือขนาดของกล้วยมีผลต่อการอบแห้งกล้วยน้อยมากเช่นกัน ซึ่งเราสามารถดูได้จากความชันในแต่ละช่วงเวลาของกราฟจะเห็นว่าค่าความชันและเวลาที่ใช้ในการอบไม่แตกต่างกันมาก ตามหลักทฤษฎีแล้วถ้าวัตถุดิบมีพื้นที่สัมผัสกับอากาศมากก็จะใช้เวลาในการอบน้อยที่สุด แต่เนื่องจากกลุ่มของพวกเราได้ใช้กล้วยไข่ที่สุกค่อนข้างงอมจึงทำให้เมื่ออบกล้วยขนาดครึ่งลูกหรือเต็มลูกมีการแตกออก(ดูรูปภาคผนวก ก-3) ส่งผลให้พื้นที่สัมผัสของกล้วยเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นทำให้ขนาดของกล้วยที่ใช้อบไม่มีผลต่อการอบแห้งหรืออาจจะมีผลน้อยมาก นอกจากนี้ยังรวมไปถึงกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความชื้นกับความชื้นด้วย และแนวโน้มของกราฟเป็นเช่นเดียวกับข้อ 4.1

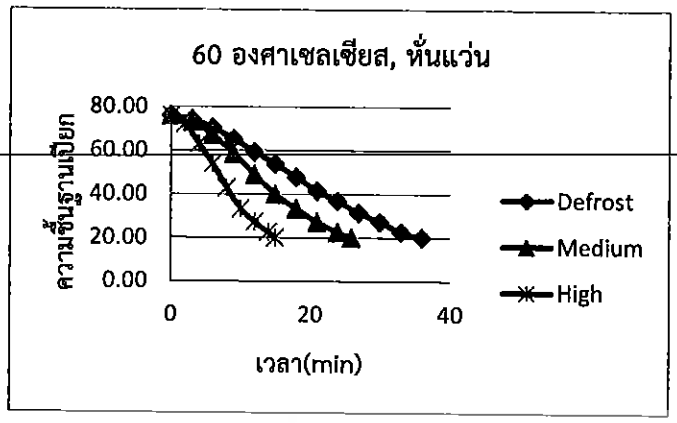
4.3 อิทธิพลของระดับไมโครเวฟในการอบกล้วยไข่

4.3.1 ผลการทดลอง

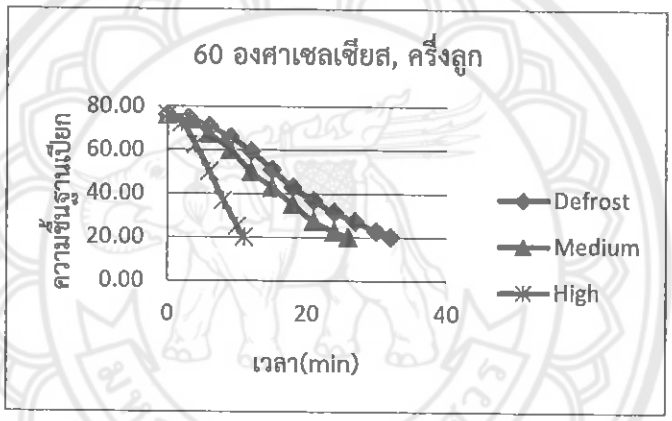
จากรูปที่ 4.3.1 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 15 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 26 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 36 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -0.938 จากนั้นช่วงเวลา 6-30 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -1.796 และสุดท้ายช่วงเวลา 30-36 นาที มีความชันเท่ากับ -1.212 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -0.89 จากนั้นช่วงเวลา 3-15 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.778 และสุดท้ายช่วงเวลา 15-26 นาที มีความชันเท่ากับ -1.818 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.795 จากนั้นช่วงเวลา 2-10 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -4.885 และสุดท้ายช่วงเวลา 10-15 นาที มีความชันเท่ากับ -2.666

จากรูปที่ 4.3.2 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 11 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 26 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 32 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -0.878 จากนั้นช่วงเวลา 6-21 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.259 และสุดท้ายช่วงเวลา 21-32 นาที มีความชันเท่ากับ -1.531 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -0.697 จากนั้นช่วงเวลา 3-21 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.591 และสุดท้ายช่วงเวลา 21-26 นาที มีความชันเท่ากับ -1.454 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.795 จากนั้นช่วงเวลา 2-11 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -5.823

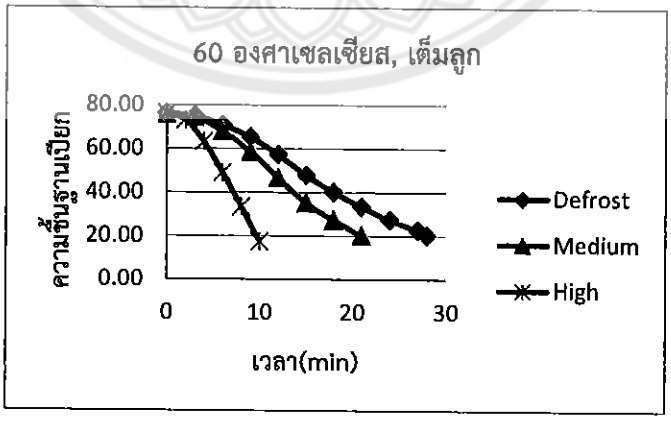
จากรูปที่ 4.3.3 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 10 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 21 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 28 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -0.878 จากนั้นช่วงเวลา 6-18 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.561 และสุดท้ายช่วงเวลา 18-28 นาที มีความชันเท่ากับ -2 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -0.51 จากนั้นช่วงเวลา 3-15 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -3.278 และสุดท้ายช่วงเวลา 15-21 นาที มีความชันเท่ากับ -2.523 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.485 จากนั้นช่วงเวลา 2-10 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -6.974



รูปที่ 4.3.1



รูปที่ 4.3.2



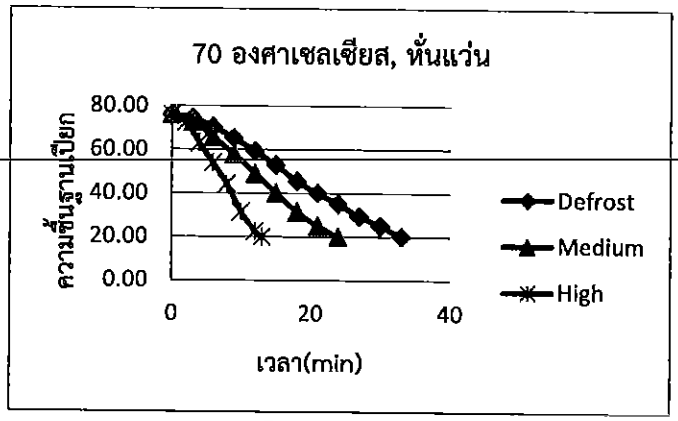
รูปที่ 4.3.3

รูปที่ 4.3.1-4.3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 60°C (4.3.1) หั่นแว่น, (4.3.2) ครึ่งลูก, (4.3.3) เต็มลูก

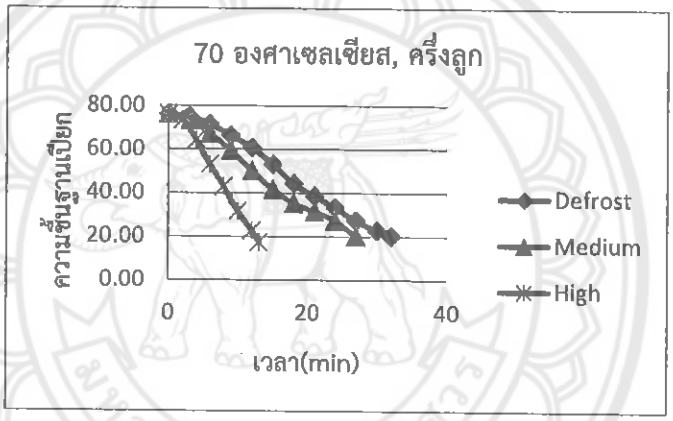
จากรูปที่ 4.3.4 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 13 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 24 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 33 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -0.938 จากนั้นช่วงเวลา 6-18 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.077 และสุดท้ายช่วงเวลา 18-33 นาที มีความชันเท่ากับ -1.697 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -1.09 จากนั้นช่วงเวลา 3-18 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.753 และสุดท้ายช่วงเวลา 18-24 นาที มีความชันเท่ากับ -1.905 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.795 จากนั้นช่วงเวลา 2-10 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -5.123 และสุดท้ายช่วงเวลา 10-13 นาที มีความชันเท่ากับ -3.81

จากรูปที่ 4.3.5 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 13 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 27 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 32 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -0.762 จากนั้นช่วงเวลา 6-18 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.27 และสุดท้ายช่วงเวลา 18-32 นาที มีความชันเท่ากับ -1.728 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -0.89 จากนั้นช่วงเวลา 3-18 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.546 และสุดท้ายช่วงเวลา 18-27 นาที มีความชันเท่ากับ -1.682 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.335 จากนั้นช่วงเวลา 2-13 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -5.099

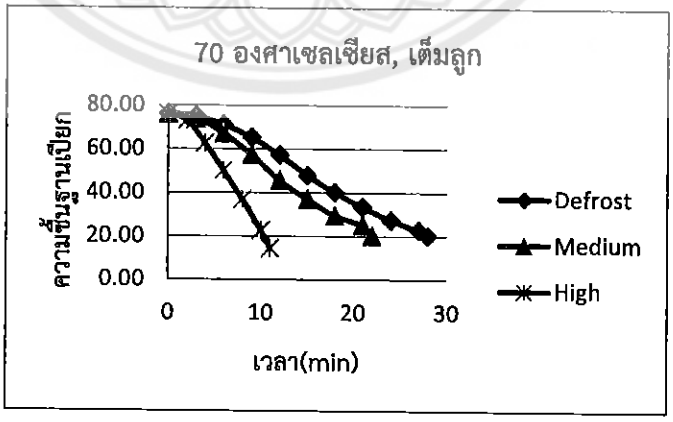
จากรูปที่ 4.3.6 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 11 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 22 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 28 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -0.82 จากนั้นช่วงเวลา 6-18 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.59 และสุดท้ายช่วงเวลา 18-28 นาที มีความชันเท่ากับ -2 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -0.697 จากนั้นช่วงเวลา 3-15 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -3.089 และสุดท้ายช่วงเวลา 15-22 นาที มีความชันเท่ากับ -2.406 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.485 จากนั้นช่วงเวลา 2-11 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -6.527



รูปที่ 4.3.4



รูปที่ 4.3.5



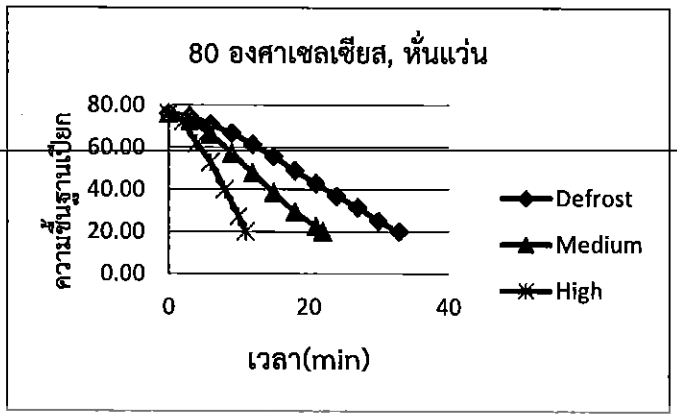
รูปที่ 4.3.6

รูปที่ 4.3.4-4.3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 70°C (4.3.4) หั่นแว่น, (4.3.5) ครึ่งลูก, (4.3.6) เต็มลูก

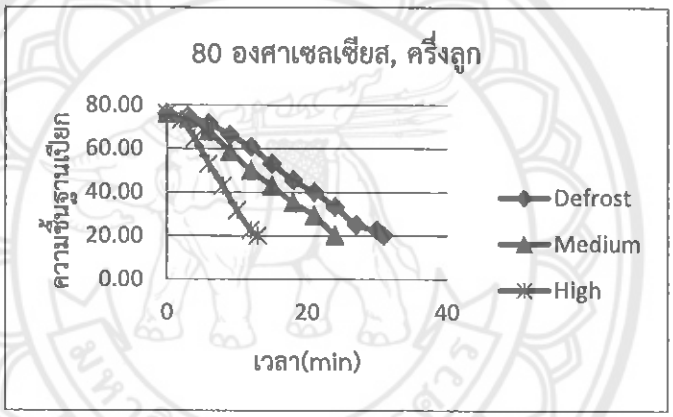
จากรูปที่ 4.3.7 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 11 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 22 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 33 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -0.878 และสุดท้ายช่วงเวลา 6-33 นาที มีความชันเท่ากับ -1.879 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -1.09 จากนั้นช่วงเวลา 3-18 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.888 และสุดท้ายช่วงเวลา 18-22 นาที มีความชันเท่ากับ -2.353 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.955 จากนั้นช่วงเวลา 2-11 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -5.788

จากรูปที่ 4.3.8 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 13 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 24 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 31 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -0.762 จากนั้นช่วงเวลา 6-27 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.211 และสุดท้ายช่วงเวลา 27-31 นาที มีความชันเท่ากับ -1.25 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -0.697 และสุดท้ายช่วงเวลา 3-24 นาที มีความชันเท่ากับ -2.567 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.485 จากนั้นช่วงเวลา 2-13 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -4.821

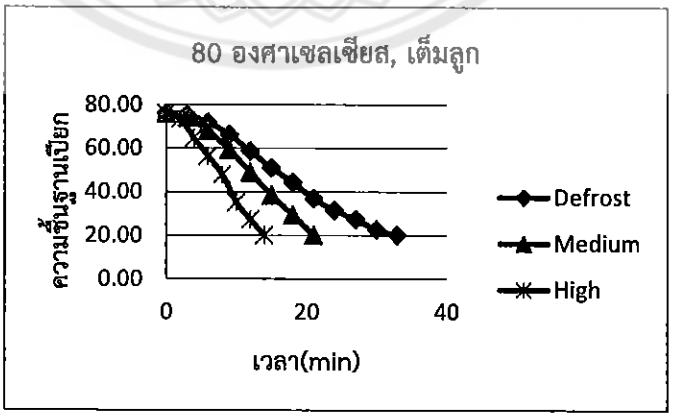
จากรูปที่ 4.3.9 จะเห็นว่าในการอบกล้วยด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 14 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 21 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 33 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -0.707 จากนั้นช่วงเวลา 6-21 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -2.328 และสุดท้ายช่วงเวลา 21-33 นาที มีความชันเท่ากับ -1.403 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -0.603 และสุดท้ายช่วงเวลา 3-21 นาที มีความชันเท่ากับ -3.011 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.335 จากนั้นช่วงเวลา 2-14 นาที มีความชันมากกว่า ซึ่งเท่ากับ -4.444



รูปที่ 4.3.7

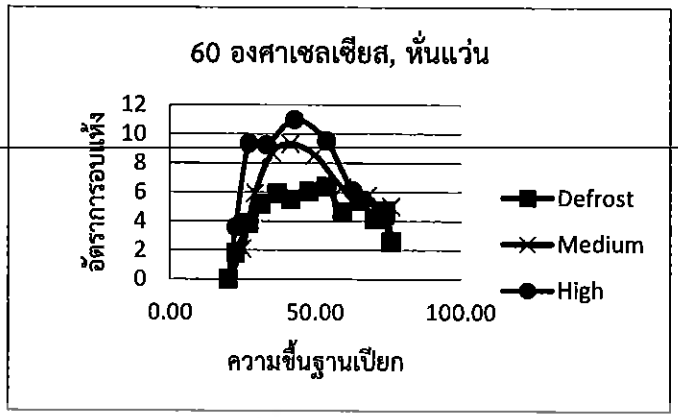


รูปที่ 4.3.8

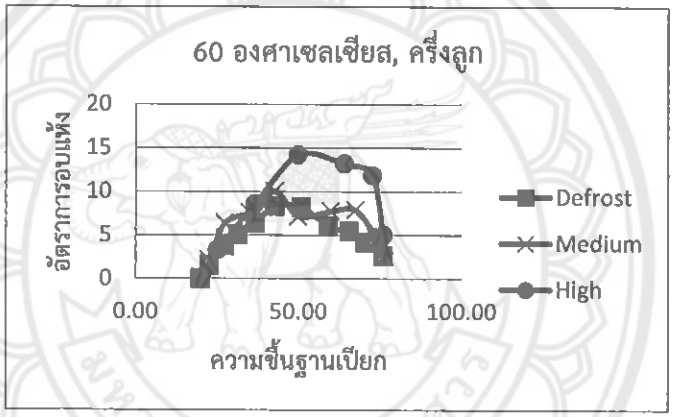


รูปที่ 4.3.9

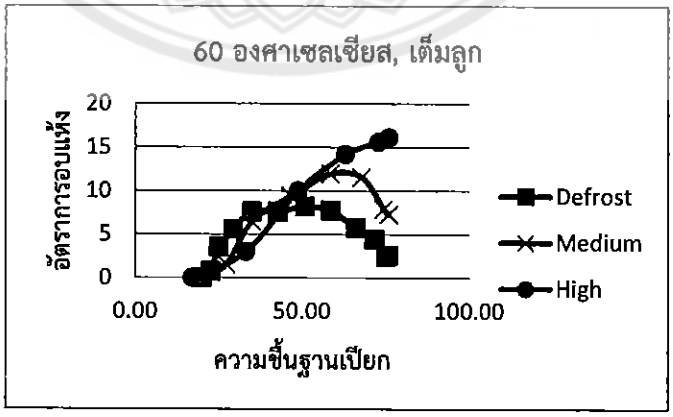
รูปที่ 4.3.7-4.3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบกล้วยเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 80°C (4.3.7) หั่นแว่น, (4.3.8) ครึ่งลูก, (4.3.9) เต็มลูก



รูปที่ 4.3.10

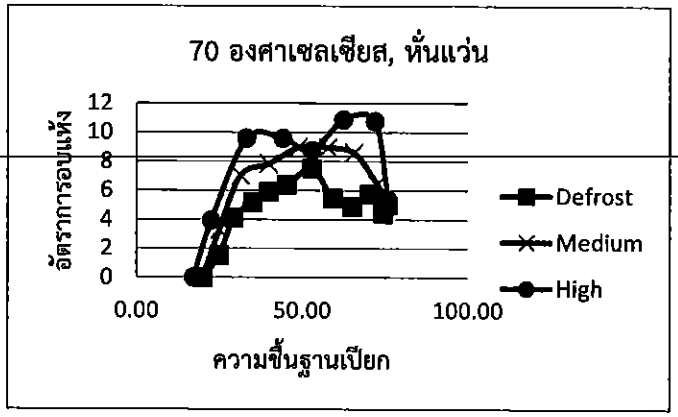


รูปที่ 4.3.11

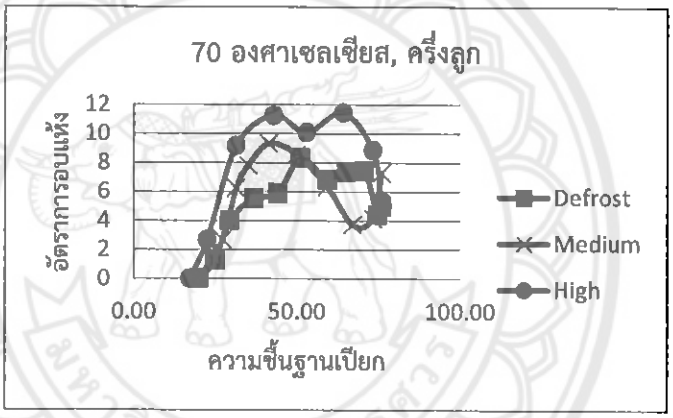


รูปที่ 4.3.12

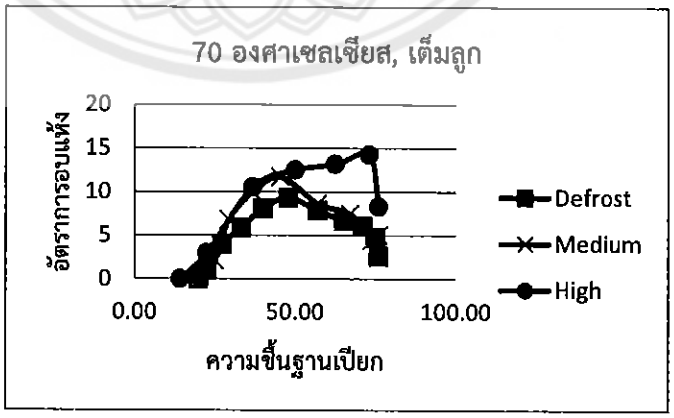
รูปที่ 4.3.10-4.3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 60°C (4.3.10) หั่นแว่น, (4.3.11) ครึ่งลูก, (4.3.12) เต็มลูก



รูปที่ 4.3.13

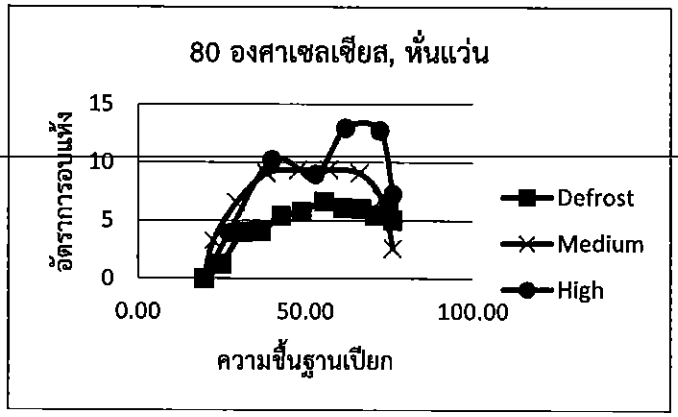


รูปที่ 4.3.14

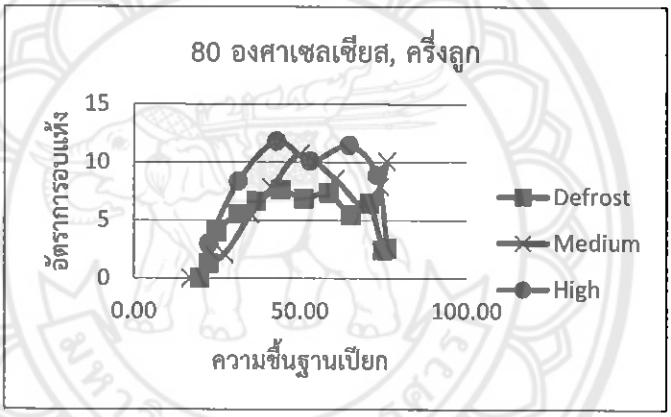


รูปที่ 4.3.15

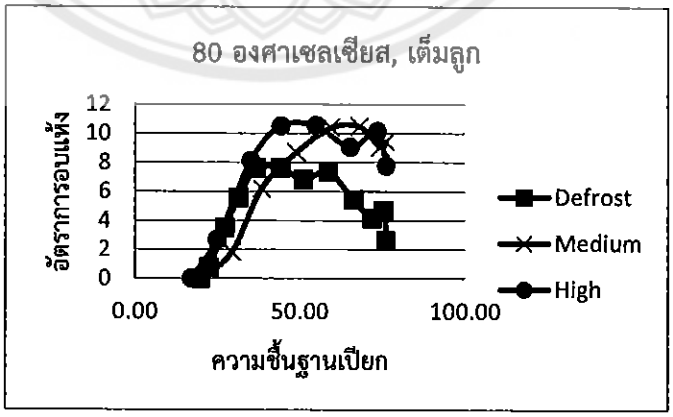
รูปที่ 4.3.13-4.3.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 70°C (4.3.13) หั่นแว่น, (4.3.14) ครึ่งลูก, (4.3.15) เต็มลูก



รูปที่ 4.3.16



รูปที่ 4.3.17



รูปที่ 4.3.18

รูปที่ 4.3.16-4.3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบกล้วยเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 80°C (4.3.16) หั่นแว่น, (4.3.17) ครึ่งลูก, (4.3.18) เต็มลูก

4.3.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.3.1-4.3.9 เมื่อเราเปลี่ยนระดับไมโครเวฟระหว่าง Defrost Medium และ High แล้วเปรียบเทียบดูการลดลงของความชื้นของกล้วยอบ จะเห็นว่าผลของการเปลี่ยนแปลงระดับไมโครเวฟมีผลต่อการอบแห้งอย่างมาก ซึ่งสามารถดูได้จากความชันของกราฟในแต่ละช่วงเวลา จะเห็นว่าค่าความชันต่างกันอย่างเห็นได้ชัด และเวลาที่ใช้ในการอบก็ตากต่างกันเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณากราฟของระดับไมโครเวฟระดับ Defrost แบ่งความชันได้ 3 ช่วงเวลา เช่น รูปที่ 4.3.1 เมื่อเราเริ่มอบกล้วยความชื้นจะค่อยๆลดลงอย่างช้าจะเห็นว่าช่วงเวลา 0-6 นาที จึงมีความชันน้อยที่สุดซึ่งเท่ากับ -0.938 จากนั้นความชื้นก็จะลดลงอย่างรวดเร็วจะเห็นว่าช่วงที่สองจะมีความชันมากที่สุดและมีความชันเท่ากับ -1.796 และช่วงสุดท้ายความชื้นก็จะลดลงอย่างช้าๆเช่นกันและจะลดลงจนกล้วยอบมีความชื้นเท่ากับศูนย์ ความชันช่วงสุดท้ายมีค่าเท่ากับ -1.212 นอกจากนี้เมื่อเราลองเทียบค่าความชันของช่วงที่สองระหว่างระดับไมโครเวฟทั้ง 3 ระดับโดยจะยกตัวอย่างเพียง 1 ตัวอย่าง คือรูปที่ 7a จะได้ว่า ระดับ Defrost มีค่าความชันช่วงที่สองเท่ากับ -1.796 ระดับ Medium มีค่าความชันเท่ากับ -2.778 ระดับ High มีค่าความชันเท่ากับ -4.885 จากค่าความชันของทั้ง 3 ระดับไมโครเวฟจะเห็นว่าการใช้ระดับไมโครเวฟระดับ High จะใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุด รองลงมาคือระดับ Medium และช้าที่สุดคือระดับ Defrost

จากรูปที่ 4.3.10- 4.3.18 จะเห็นว่าการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟระดับ High จะมีอัตราการอบแห้งสูงสุด รองลงมาคือระดับ Medium และ Defrost ตามลำดับ เนื่องจากการใช้ไมโครเวฟระดับ High ใช้เวลาในการอบเร็วที่สุดจึงส่งผลให้อัตราการอบแห้งสูงสุดเช่นกัน และสามารถแบ่งกราฟได้เป็น 3 ช่วงดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ซึ่งจะเห็นว่ากราฟส่วนใหญ่จะให้ผลออกมาว่าการใช้ไมโครเวฟระดับ Defrost มีช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ที่ยาวที่สุดนั่นเป็นเพราะว่าเมื่อระดับไมโครเวฟต่ำจะต้องใช้เวลามากในการอบแห้งซึ่งส่งผลให้ช่วงของอัตราการอบแห้งคงที่ยาวนานด้วยเช่นกัน

คุณภาพของกล้วยไข่หลังการอบนั้นการใช้ไมโครเวฟระดับ High จะส่งผลให้กล้วยไข่ไหม้เร็วกว่าและไหม้มากกว่าทุกระดับไมโครเวฟ โดยลักษณะการไหม้ของกล้วยไข่จะค่อยๆเริ่มจากผิวด้านในและแตกออกในลักษณะตามยาว(รูปภาคผนวก ก-10)และจะค่อยๆไหม้สู่ภายนอก โดยที่น้ำอิสระในกล้วยไข่จะเปลี่ยนเป็นไอ น้ำระเหยออกมาจากกล้วยไข่อย่างรวดเร็วและยังมีลมร้อนช่วยนำน้ำที่ระเหยจากกล้วยไข่ออกไปด้วย จึงทำให้น้ำอิสระในกล้วยไข่แห้งน้อยลงและส่งผลให้กล้วยไข่หดตัวอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามกล้วยไข่หลังการอบโดยใช้ไมโครเวฟระดับต่างๆ ก็มีลักษณะไหม้เช่นเดียวกัน

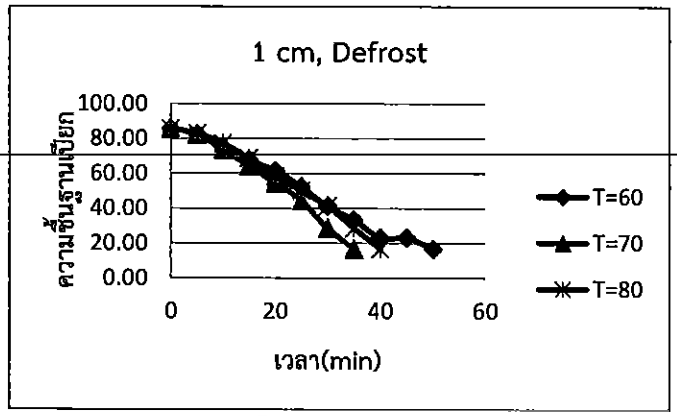
4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนในการอบสับปะรด

4.4.1 การทดลอง

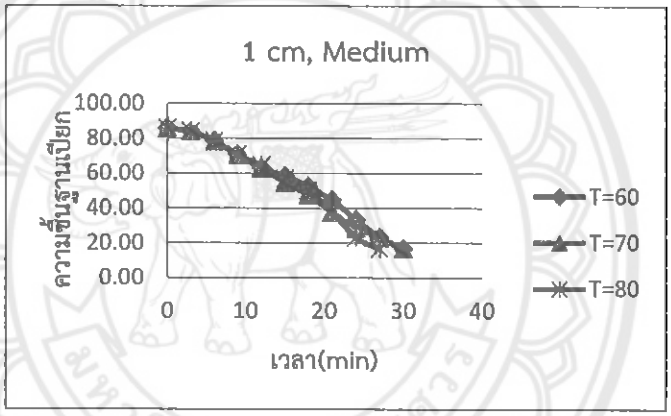
จากรูปที่ 4.4.1 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากันซึ่งเท่ากับ 35 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 40 นาทีและการใช้อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบช้าที่สุดโดยใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 50 นาที นอกจากนี้คุณภาพของสับปะรดหลังการอบแห้งจะเห็นว่ามีลักษณะใกล้เคียงกันหมดทั้ง 3 อุณหภูมิ คือ สับปะรดอบมีลักษณะไหม้เป็นส่วนมาก และจะเริ่มไหม้ที่ความชื้นประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก จากกราฟ 60 องศาเซลเซียส ค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีความชันเท่ากับ -0.65 จากนั้นช่วงเวลา 5-25 นาที มีความชันเท่ากับ -1.504 จากนั้นช่วงเวลา 25-40 นาที มีความชันเท่ากับ -1.953 และสุดท้ายช่วงเวลา 40-50 นาที มีความชันเท่ากับ -0.641 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-5 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าเท่ากัน และช่วงกลางและช่วงท้าย 60 และ 80 องศาเซลเซียส มีค่าความชันใกล้เคียงกัน ส่วน 70 องศาเซลเซียสจะมีค่าความชันสูงกว่า แต่มีแนวโน้มเหมือนกันทั้งหมด

จากรูปที่ 4.4.2 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากันซึ่งเท่ากับ 27 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเท่ากันคือ 30 นาที จากกราฟ 70 องศาเซลเซียส ค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีความชันเท่ากับ -0.613 จากนั้นช่วงเวลา 3-24 นาที มีความชันเท่ากับ -2.633 และสุดท้ายช่วงเวลา 24-30 นาที มีความชันเท่ากับ -1.983 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-3 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าเท่ากัน และกราฟมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งหมด

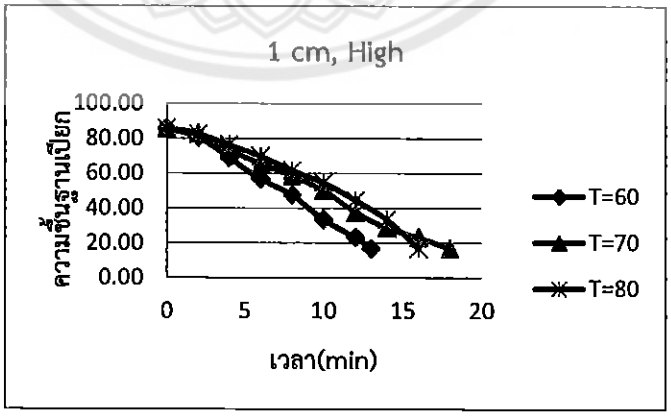
จากรูปที่ 4.4.3 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากันซึ่งเท่ากับ 13 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 16 นาทีและการใช้อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบช้าที่สุดโดยใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 18 นาที จากกราฟ 70 องศาเซลเซียส ค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีความชันเท่ากับ -2.66 จากนั้นช่วงเวลา 2-13 นาที มีความชันเท่ากับ -5.793 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-2 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าเท่ากัน และช่วงกลางและช่วงท้าย 70 และ 80 องศาเซลเซียส มีค่าความชันใกล้เคียงกัน ส่วน 60 องศาเซลเซียสจะมีค่าความชันสูงกว่า



รูปที่ 4.4.1



รูปที่ 4.4.2



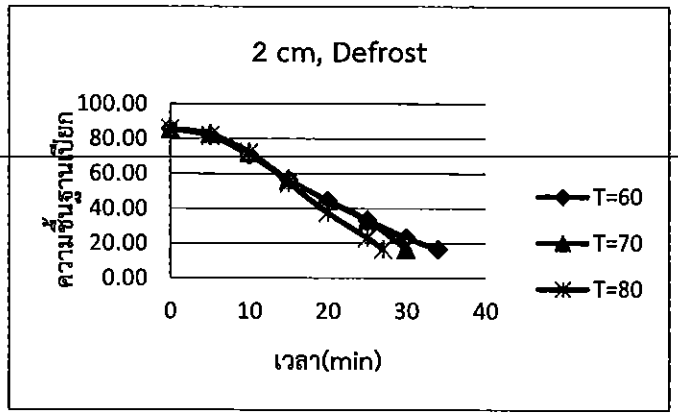
รูปที่ 4.4.3

รูปที่ 4.4.1-4.4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาด 1 cm (4.4.1) Defrost, (4.4.2) Medium, (4.4.3) High

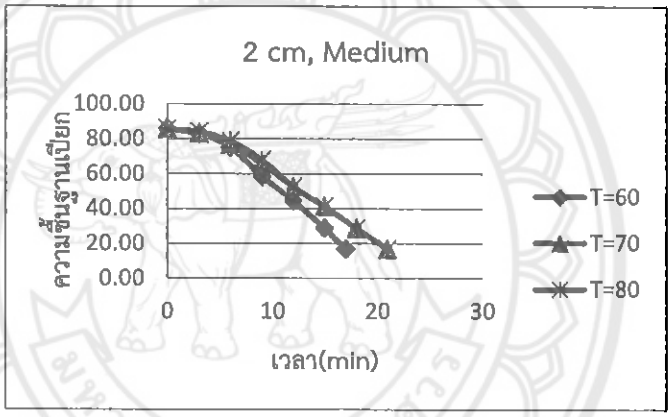
จากรูปที่ 4.4.4 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากันซึ่งเท่ากับ 27 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 30 นาทีและการใช้อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบช้าที่สุดโดยใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 34 นาที จากกราฟ 60 องศาเซลเซียส ค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีความชันเท่ากับ -0.778 จากนั้นช่วงเวลา 5-20 นาที มีความชันเท่ากับ -2.492 และสุดท้ายช่วงเวลา 20-34 มีความชันเท่ากับ -1.984 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-5 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าเท่ากัน และช่วงกลางและช่วงท้าย 70 และ 80 องศาเซลเซียส มีค่าความชันใกล้เคียงกัน และกราฟมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งหมด

จากรูปที่ 4.4.5 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากันซึ่งเท่ากับ 17 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเท่ากันคือ 21 นาที จากกราฟ 70 องศาเซลเซียส ค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีความชันเท่ากับ -1.495 จากนั้นช่วงเวลา 6-21 นาที มีความชันเท่ากับ -4.005 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-6 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าเท่ากัน ช่วงกลางและช่วงท้าย 70 และ 80 องศาเซลเซียส มีค่าความชันใกล้เคียงกัน ส่วน 60 องศาเซลเซียสจะมีค่าความชันสูงกว่าแต่กราฟมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งหมด

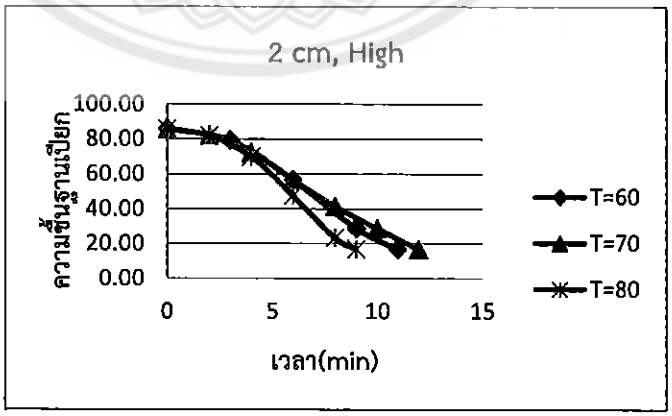
จากรูปที่ 4.4.6 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากันซึ่งเท่ากับ 9 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 11 นาที และการใช้อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบช้าที่สุดโดยใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 12 นาที จากกราฟ 60 องศาเซลเซียส ค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีความชันเท่ากับ -2.18 จากนั้นช่วงเวลา 3-9 นาที มีความชันเท่ากับ -8.433 และสุดท้ายช่วงเวลา 9-11 มีความชันเท่ากับ -5.95 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-3 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าเท่ากัน และกราฟมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งหมด



รูปที่ 4.4.4



รูปที่ 4.4.5



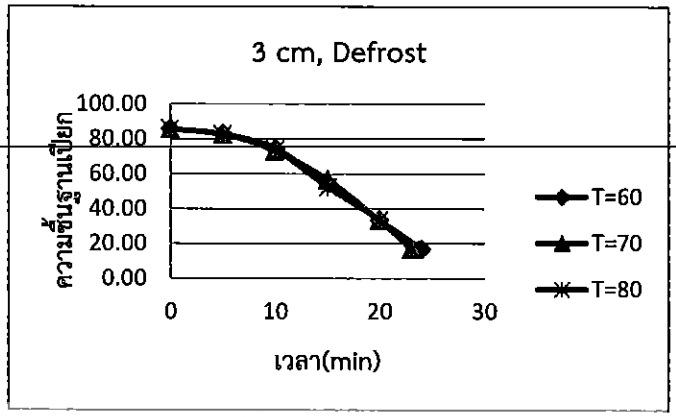
รูปที่ 4.4.6

รูปที่ 4.4.4-4.4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาด 2 cm (4.4.4) Defrost, (4.4.5) Medium, (4.4.6) High

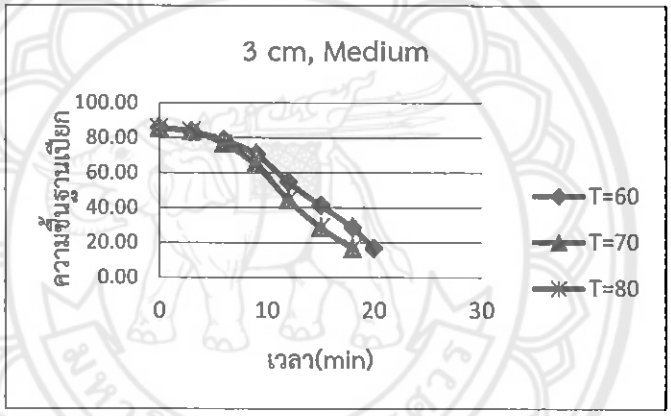
จากรูปที่ 4.4.7 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากันซึ่งเท่ากับ 23 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 24 นาที จากกราฟ 60 องศาเซลเซียส ค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีความชันเท่ากับ -0.59 จากนั้นช่วงเวลา 5-10 นาที มีความชันเท่ากับ -1.68 และสุดท้ายช่วงเวลา 10-24 มีความชันเท่ากับ -4.121 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-5 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าเท่ากัน และกราฟมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งหมด

จากรูปที่ 4.4.8 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากันซึ่งเท่ากับ 18 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 20 นาที จากกราฟ 70 องศาเซลเซียส ค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีความชันเท่ากับ -1.495 จากนั้นช่วงเวลา 6-12 นาที มีความชันเท่ากับ -5.383 และสุดท้ายช่วงเวลา 12-18 มีความชันเท่ากับ -4.628 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-6 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าเท่ากัน ซึ่งกราฟ 70 และ 80 องศาเซลเซียส มีค่าความชันใกล้เคียงกันทุกช่วง และกราฟมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งหมด

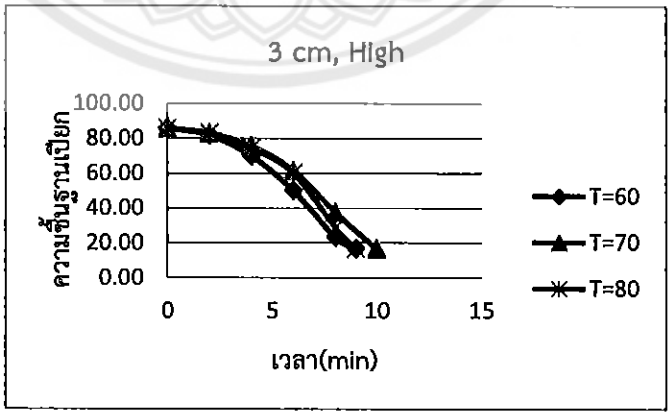
จากรูปที่ 4.4.9 จะเห็นว่าในการใช้ลมร้อนอุณหภูมิเท่ากับ 60 และ 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากันซึ่งเท่ากับ 9 นาที รองลงมาคืออุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบเฉลี่ย 10 นาที จากกราฟ 60 องศาเซลเซียส ค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีความชันเท่ากับ –1.945 จากนั้นช่วงเวลา 2-6 นาที มีความชันเท่ากับ -7.955 จากนั้นช่วงเวลา 6-8 มีความชันเท่ากับ -13.46 และสุดท้ายช่วงเวลา 8-9 มีความชันเท่ากับ -6.41 จะเห็นว่าช่วงเวลา 0-2 นาที ความชันของกราฟทั้ง 3 อุณหภูมิมีค่าเท่ากัน และกราฟมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งหมด



รูปที่ 4.4.7

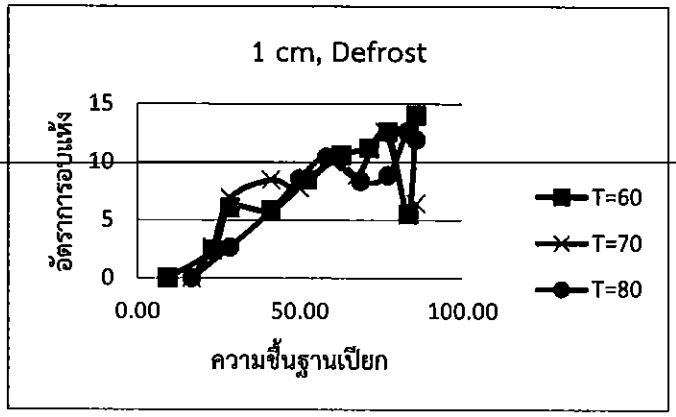


รูปที่ 4.4.8

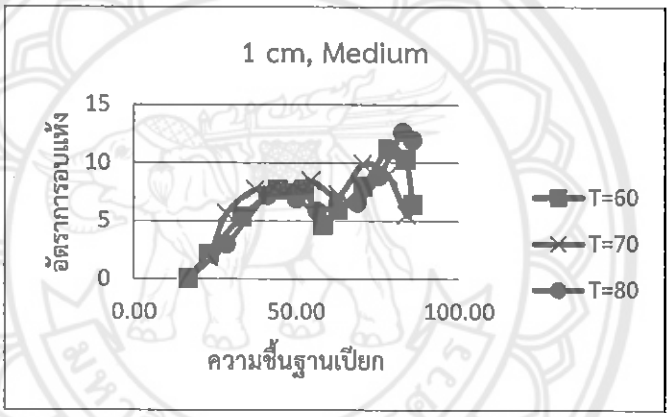


รูปที่ 4.4.9

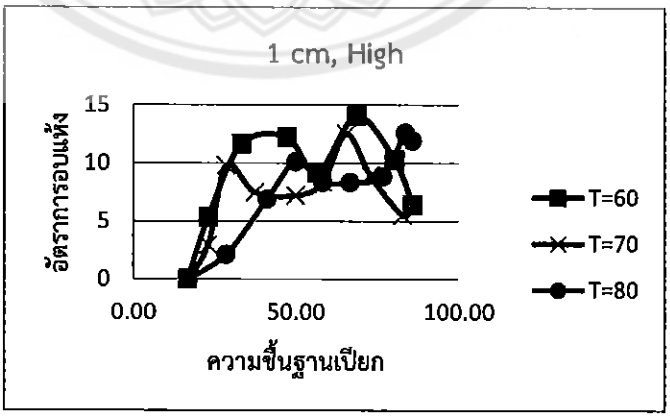
รูปที่ 4.4.7-4.4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาด 3 cm (4.4.7) Defrost, (4.4.8) Medium, (4.4.9) High



รูปที่ 4.4.10

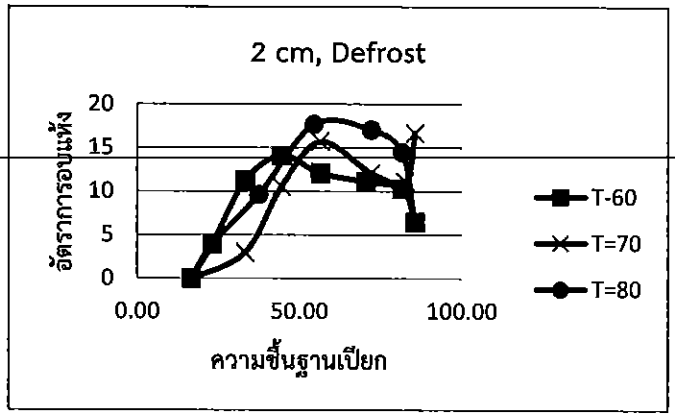


รูปที่ 4.4.11

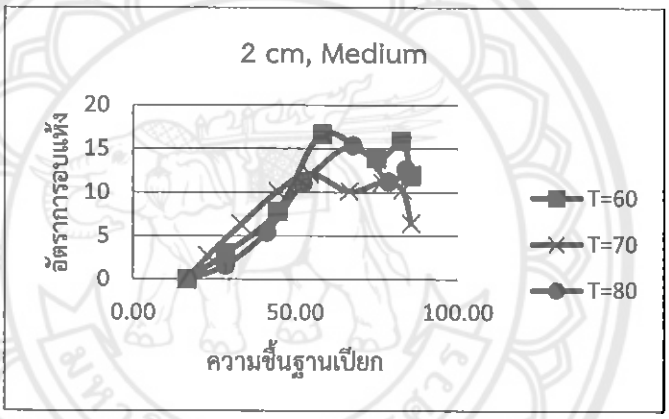


รูปที่ 4.4.12

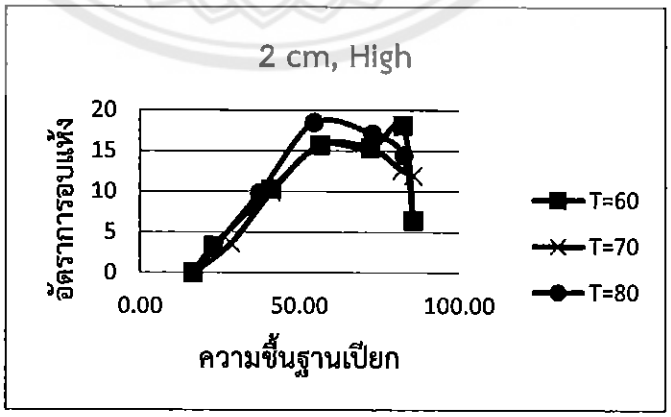
รูปที่ 4.4.10-4.4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบสับปะรดเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาด 1 cm (4.4.10) Defrost, (4.4.11) Medium, (4.4.12) High



รูปที่ 4.4.13

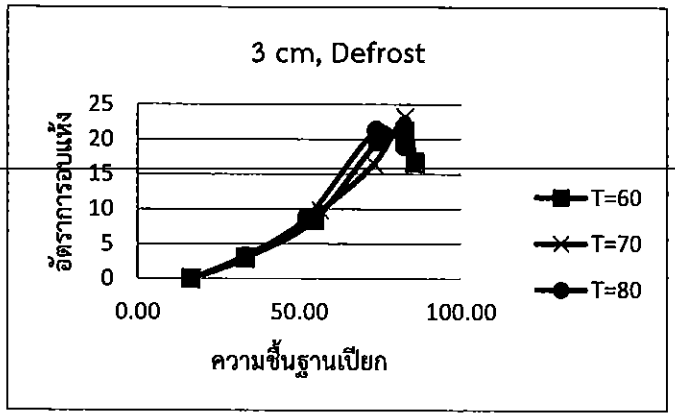


รูปที่ 4.4.14

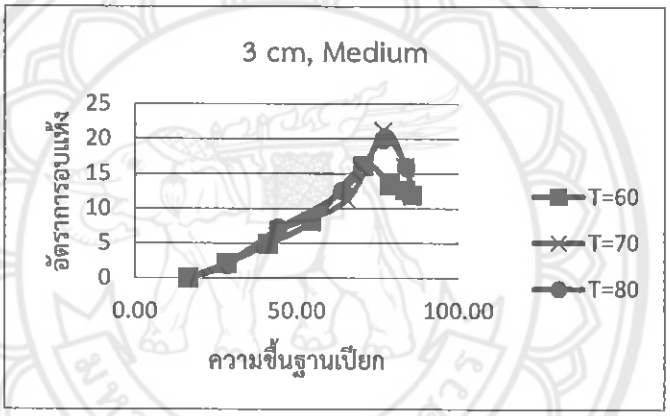


รูปที่ 4.4.15

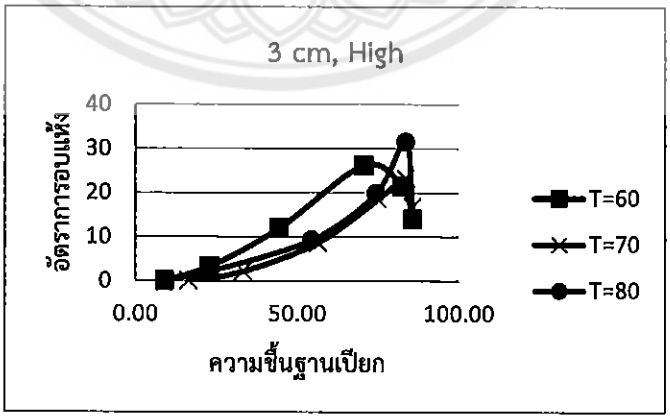
รูปที่ 4.4.13-4.4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบสับปะรดเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาด 2 cm (4.4.13) Defrost, (4.4.14) Medium, (4.4.15) High



รูปที่ 4.4.16



รูปที่ 4.4.17



รูปที่ 4.4.18

รูปที่ 4.4.16-4.4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบสับปะรดเปรียบเทียบอุณหภูมิลม ขนาด 3 cm (4.4.16) Defrost, (4.4.17) Medium, (4.4.18) High

4.4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.4.1-4.4.9 เราจะเห็นว่าอุณหภูมิมีผลต่อการอบแห้งสับปะรดน้อยมาก เช่นเดียวกับการอบกล้วย โดยเราสามารถดูได้จากค่าความชันในแต่ละช่วงเวลาซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมากเช่นรูปที่ 4.4.1 และมีแนวโน้มเหมือนกันทั้งหมดนั่นคือความชันสามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วงคือ ช่วงแรกจะมีค่าความชันน้อยที่สุด จากนั้นกราฟจะเริ่มมีความค่าความชันมากขึ้น และจะกลับมามีความชันน้อยลงจนค่าความชื้นของสับปะรดมีค่าเป็นศูนย์ รวมไปถึงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นฐานเปียกด้วยเช่นกัน แต่ในการอบสับปะรดจะมีช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่สั้นกว่าการอบแห้งกล้วยไข่นั่นเพราะว่าสับปะรดมีเนื้อเยื่อที่บางกว่าจึงทำให้น้ำที่อยู่ในสับปะรดสามารถออกมาได้ง่ายกว่ากล้วยไข่ดังนั้นจึงมีช่วงที่อัตราการอบแห้งคงที่สั้นกว่า

4.5 อิทธิพลของขนาดของสับปะรด

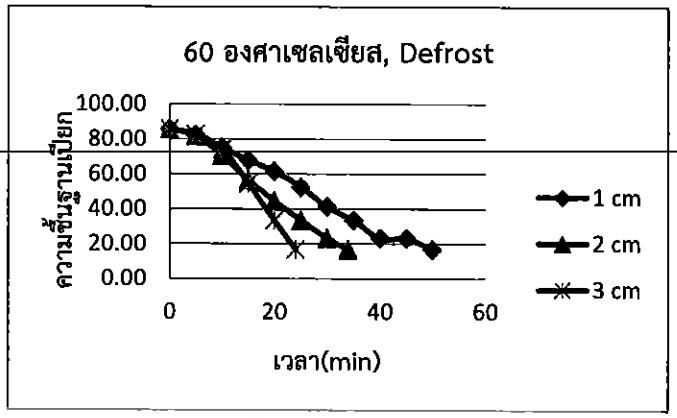
4.5.1 ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.5.1 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยขนาด 3 cm ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 24 นาที รองลงมาคือ 2 cm ใช้เวลาอบเฉลี่ย 34 นาที และขนาด 1 cm ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 50 นาที จากกราฟขนาด 3 cm ค่าความชันของช่วงเวลา 0-10 นาที มีความชันเท่ากับ -1.135 จากนั้นช่วงเวลา 10-24 นาที มีความชันเท่ากับ -4.121 จากกราฟขนาด 2 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีค่าเท่ากับ -0.778 จากนั้นช่วงเวลา 5-20 นาที มีความชันเท่ากับ -2.492 และสุดท้ายช่วงเวลา 20-34 นาที มีความชันเท่ากับ -1.984 จากกราฟ 1 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีค่าเท่ากับ -0.65 จากนั้นช่วงเวลา 5-20 นาที มีความชันเท่ากับ -1.395 ช่วงเวลา 20-40 นาที มีความชันเท่ากับ -1.923 และสุดท้ายช่วงเวลา 40-50 นาที มีความชันเท่ากับ -0.641

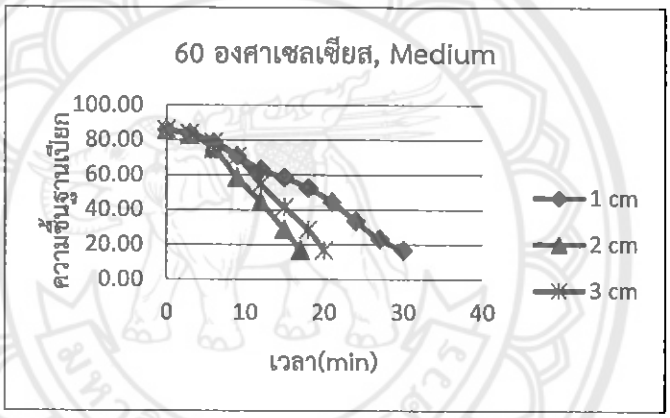
จากรูปที่ 4.5.2 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยขนาด 2 cm ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 17 นาที รองลงมาคือ 3 cm ใช้เวลาอบเฉลี่ย 20 นาที และขนาด 1 cm ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 30 นาที จากกราฟขนาด 1 cm ค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีความชันเท่ากับ -1.242 จากนั้นช่วงเวลา 6-21 นาที มีความชันเท่ากับ -2.255 ช่วงเวลา 21-27 มีความชันเท่ากับ -3.56 และสุดท้ายช่วงเวลา 27-30 มีความชันเท่ากับ -2.137 จากกราฟขนาด 2 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -1.785 จากนั้นช่วงเวลา 6-17 นาที

มีความชันเท่ากับ -5.303 จากกราฟ 3 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -1.165 จากนั้นช่วงเวลา 6-20 นาที มีความชันเท่ากับ -4.432

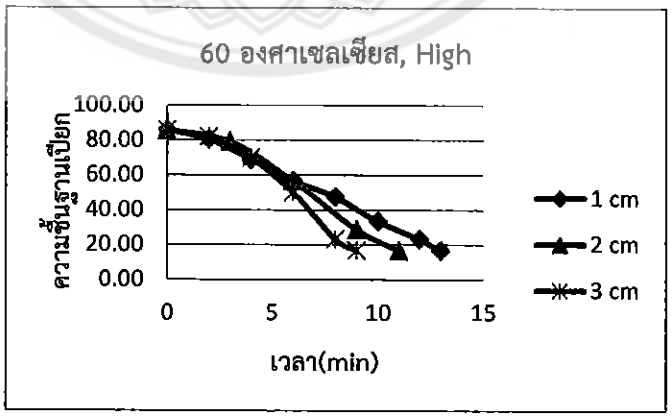
จากรูปที่ 4.5.3 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยขนาด 3 cm ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 9 นาที รองลงมาคือ 2 cm ใช้เวลาอบเฉลี่ย 11 นาที และขนาด 1 cm ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 13 นาที จากกราฟขนาด 1 cm ค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีความชันเท่ากับ-2.66 จากนั้นช่วงเวลา 2-13 นาที มีความชันเท่ากับ -5.793 จากกราฟขนาด 2 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -2.18 จากนั้นช่วงเวลา 3-9 นาที มีความชันเท่ากับ -8.433 และสุดท้ายช่วงเวลา 9-11 นาที มีความชันเท่ากับ -5.95 จากกราฟ 3 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.945 จากนั้นช่วงเวลา 2-6 นาที มีความชันเท่ากับ -7.955 ช่วงเวลา 6-8 นาที มีความชันเท่ากับ -13.46 และสุดท้ายช่วงเวลา 8-9 นาที มีความชันเท่ากับ -6.41



รูปที่ 4.5.1



รูปที่ 4.5.2



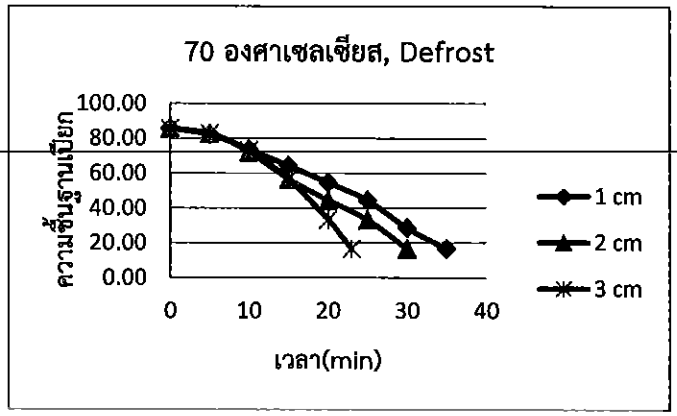
รูปที่ 4.5.3

รูปที่ 4.5.1-4.5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 60°C (4.5.1) Defrost, (4.5.2) Medium, (4.5.3) High

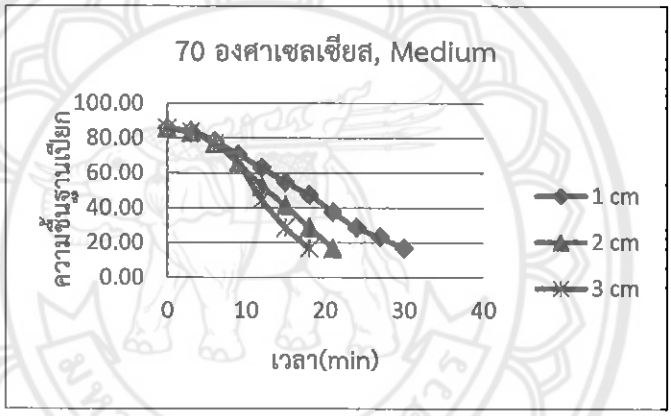
จากรูปที่ 4.5.4 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยขนาด 3 cm ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 23 นาที รองลงมาคือ 2 cm ใช้เวลาอบเฉลี่ย 30 นาที และขนาด 1 cm ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 35 นาที จากกราฟขนาด 1 cm ค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีความชันเท่ากับ -0.714 จากนั้นช่วงเวลา 5-25 นาที มีความชันเท่ากับ -1.885 และสุดท้ายช่วงเวลา 25-35 นาที มีความชันเท่ากับ -2.777 จากกราฟขนาด 2 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีค่าเท่ากับ -0.59 จากนั้นช่วงเวลา 5-15 นาที มีความชันเท่ากับ -2.624 ช่วงเวลา 15-25 นาที มีความชันเท่ากับ -2.319 และสุดท้ายช่วงเวลา 25-30 นาที มีความชันเท่ากับ -3.332 จากกราฟ 3 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีค่าเท่ากับ -0.59 จากนั้นช่วงเวลา 5-15 นาที มีความชันเท่ากับ -2.624 และสุดท้ายช่วงเวลา 15-23 นาที มีความชันเท่ากับ -4.981

จากรูปที่ 4.5.5 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยขนาด 3 cm ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 18 นาที รองลงมาคือ 2 cm ใช้เวลาอบเฉลี่ย 21 นาที และขนาด 1 cm ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 30 นาที จากกราฟขนาด 1 cm ค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีความชันเท่ากับ -0.613 และสุดท้ายช่วงเวลา 3-30 นาที มีความชันเท่ากับ -2.489 จากกราฟขนาด 2 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -1.495 จากนั้นช่วงเวลา 6-21 นาที มีความชันเท่ากับ -4.005 จากกราฟ 3 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -1.495 จากนั้นช่วงเวลา 6-12 นาที มีความชันเท่ากับ -5.383 และสุดท้ายช่วงเวลา 12-18 นาที มีความชันเท่ากับ -4.628

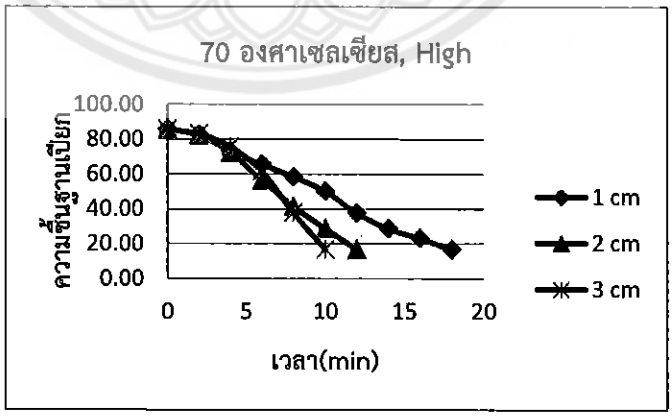
จากรูปที่ 4.5.6 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยขนาด 3 cm ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 10 นาที รองลงมาคือ 2 cm ใช้เวลาอบเฉลี่ย 12 นาที และขนาด 1 cm ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 18 นาที จากกราฟขนาด 1 cm ค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีความชันเท่ากับ -1.475 ช่วงเวลา 2-10 นาที มีความชันเท่ากับ -4.095 ช่วงเวลา 10-14 นาที มีความชันเท่ากับ -5.358 และสุดท้ายช่วงเวลา 14-18 นาที มีความชันเท่ากับ -2.975 จากกราฟขนาด 2 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.785 จากนั้นช่วงเวลา 2-12 นาที มีความชันเท่ากับ -6.547 จากกราฟ 3 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.33 จากนั้นช่วงเวลา 2-6 นาที มีความชันเท่ากับ -5.378 และสุดท้ายช่วงเวลา 6-10 นาที มีความชันเท่ากับ -11.218



รูปที่ 4.5.4



รูปที่ 4.5.5



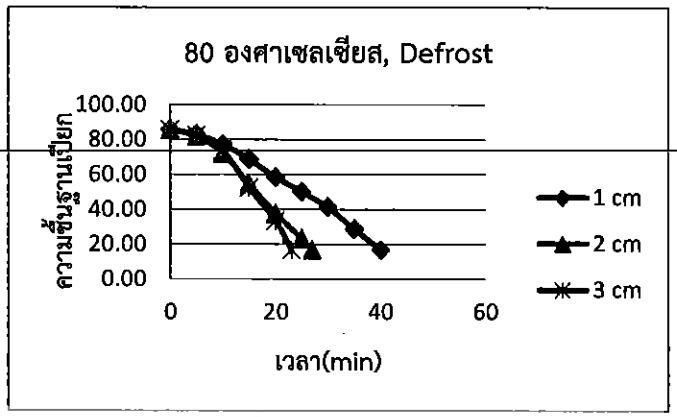
รูปที่ 4.5.6

รูปที่ 4.5.4-4.5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรด เปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 70°C (4.5.4) Defrost, (4.5.5) Medium, (4.5.6) High

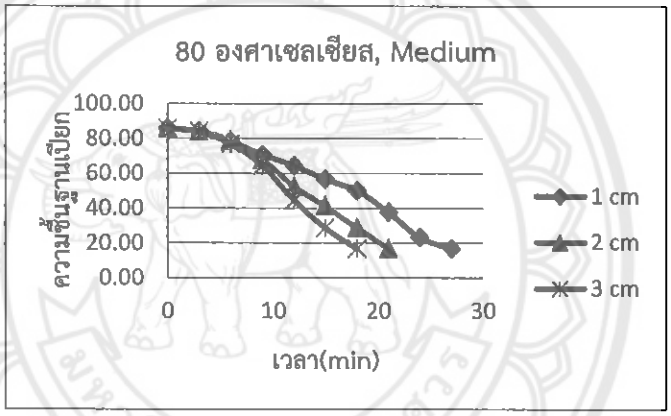
จากรูปที่ 4.5.7 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยขนาด 3 cm ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 23 นาที รองลงมาคือ 2 cm ใช้เวลาอบเฉลี่ย 27 นาที และขนาด 1 cm ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 40 นาที จากกราฟขนาด 1 cm ค่าความชันของช่วงเวลา 0-10 นาที มีความชันเท่ากับ -0.844 ช่วงเวลา 10-30 นาที มีความชันเท่ากับ -1.805 และสุดท้ายช่วงเวลา 30-40 นาที มีความชันเท่ากับ -2.451 จากกราฟขนาด 2 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีค่าเท่ากับ -0.778 จากนั้นช่วงเวลา 5-10 นาที มีความชันเท่ากับ -1.92 และสุดท้ายช่วงเวลา 10-27 นาที มีความชันเท่ากับ -3.268 จากกราฟ 3 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีค่าเท่ากับ -0.65 จากนั้นช่วงเวลา 5-10 นาที มีความชันเท่ากับ -1.756 ช่วงเวลา 10-20 นาที มีความชันเท่ากับ -4.035 และสุดท้ายช่วงเวลา 20-23 นาที มีความชันเท่ากับ -5.553

จากรูปที่ 4.5.8 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยขนาด 3 cm ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 18 นาที รองลงมาคือ 2 cm ใช้เวลาอบเฉลี่ย 21 นาที และขนาด 1 cm ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 27 นาที จากกราฟขนาด 1 cm ค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีความชันเท่ากับ -0.613 ช่วงเวลา 3-18 นาที มีความชันเท่ากับ -2.258 ช่วงเวลา 18-24 นาที มีความชันเท่ากับ -4.487 และสุดท้ายช่วงเวลา 24-27 นาที มีความชันเท่ากับ -2.137 จากกราฟขนาด 2 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -0.527 จากนั้นช่วงเวลา 3-9 นาที มีความชันเท่ากับ -2.732 และสุดท้ายช่วงเวลา 9-21 นาที มีความชันเท่ากับ -4.256 จากกราฟ 3 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -0.613 จากนั้นช่วงเวลา 3-9 นาที มีความชันเท่ากับ -3.263 ช่วงเวลา 9-12 นาที มีความชันเท่ากับ -6.617 และสุดท้ายช่วงเวลา 12-18 นาที มีความชันเท่ากับ -4.628

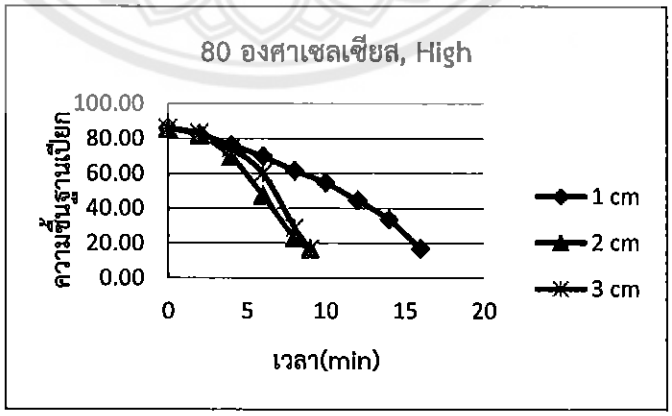
จากรูปที่ 4.5.9 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยขนาด 3 และ 2 cm ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 9 นาที และขนาด 1 cm ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 16 นาที จากกราฟขนาด 1 cm ค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีความชันเท่ากับ -1.625 ช่วงเวลา 2-10 นาที มีความชันเท่ากับ -3.489 ช่วงเวลา 10-14 นาที มีความชันเท่ากับ -5.305 และสุดท้ายช่วงเวลา 14-16 นาที มีความชันเท่ากับ -8.33 จากกราฟขนาด 2 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.945 จากนั้นช่วงเวลา 2-4 นาที มีความชันเท่ากับ -6.06 ช่วงเวลา 4-8 นาที มีความชันเท่ากับ -11.655 และสุดท้ายช่วงเวลา 8-9 นาที มีความชันเท่ากับ -6.41 จากกราฟ 3 cm มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.33 จากนั้นช่วงเวลา 2-6 นาที มีความชันเท่ากับ -5.763 ช่วงเวลา 6-8 นาที มีความชันเท่ากับ -15.715 และสุดท้ายช่วงเวลา 8-9 นาที มีความชันเท่ากับ -11.9



รูปที่ 4.5.7

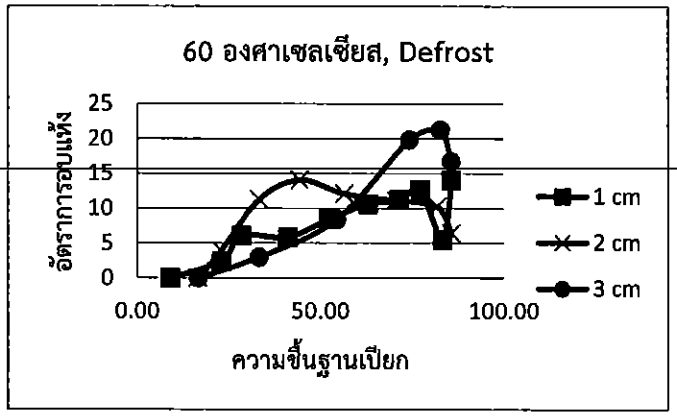


รูปที่ 4.5.8

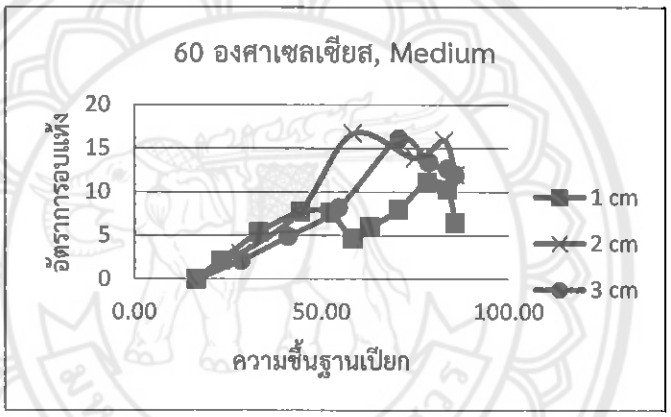


รูปที่ 4.5.9

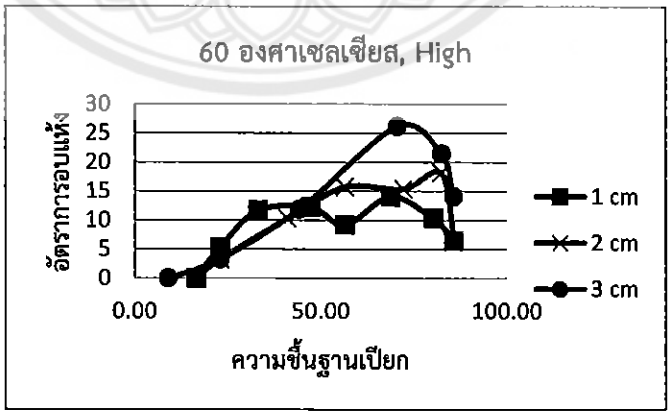
รูปที่ 4.5.7-4.5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรด เปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 80°C (4.5.7) Defrost, (4.5.8) Medium, (4.5.9) High



รูปที่ 4.5.10

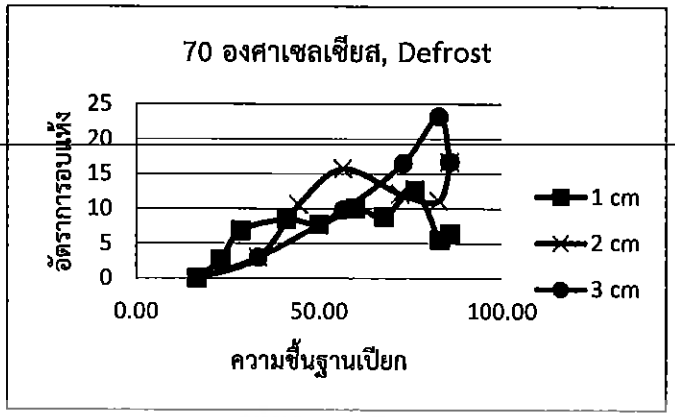


รูปที่ 4.5.11

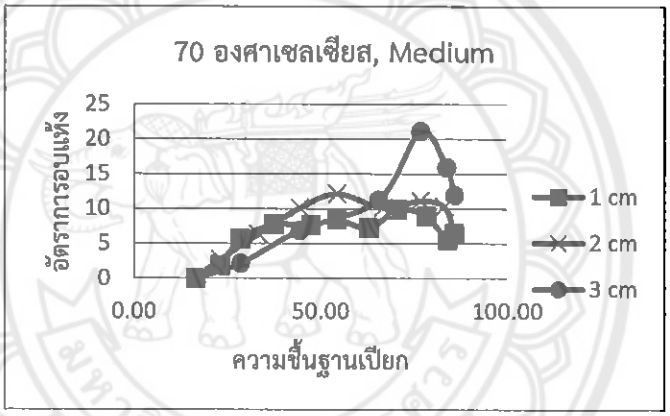


รูปที่ 4.5.12

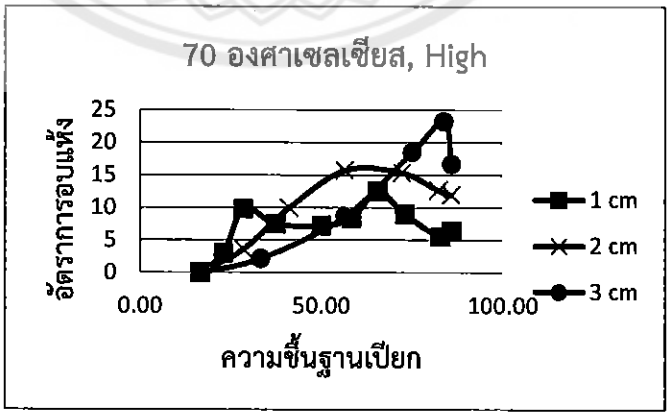
รูปที่ 4.5.10-4.5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบสับปะรดเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 60°C (4.5.10) Defrost, (4.5.11) Medium, (4.5.12) High



รูปที่ 4.5.13

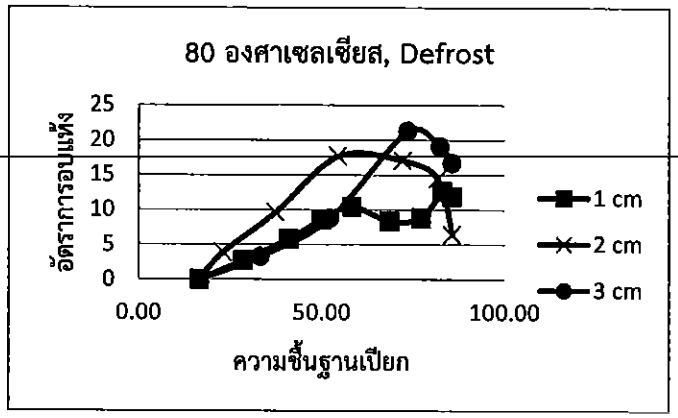


รูปที่ 4.5.14

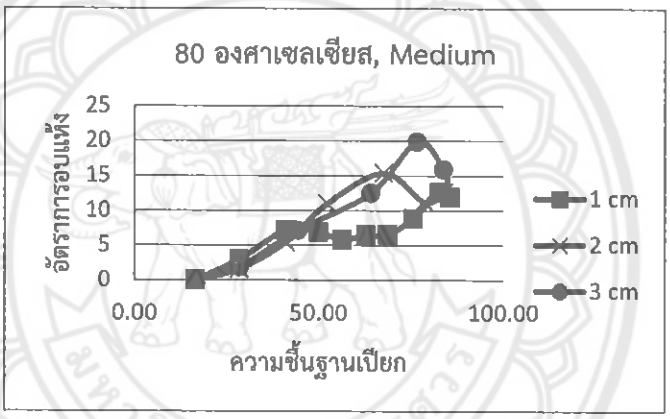


รูปที่ 4.5.15

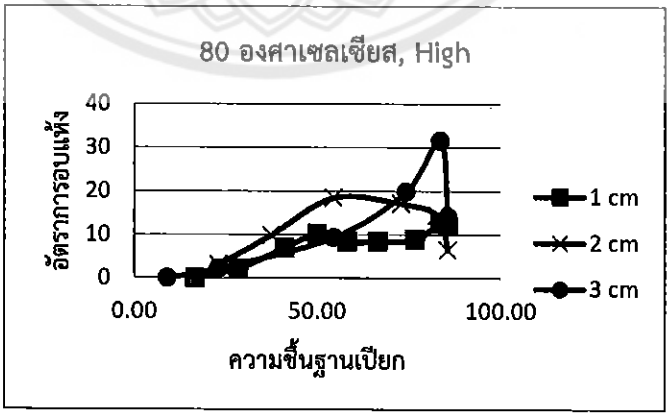
รูปที่ 4.5.13-4.5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบสับปะรดเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 70°C (4.5.13) Defrost, (4.5.14) Medium, (4.5.15) High



รูปที่ 4.5.16



รูปที่ 4.5.17



รูปที่ 4.5.18

รูปที่ 4.5.16-4.5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบสับปะรดเปรียบเทียบขนาด อุณหภูมิลม 80°C (4.5.16) Defrost, (4.5.17) Medium, (4.5.18) High

4.5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.5.1-4.5.9 จะเห็นว่าขนาดของสับปะรดมีผลต่อการอบแห้งสับปะรด โดยเราสามารถดูได้จากค่าความชันในแต่ละช่วงและเวลาในการอบแห้ง ซึ่งเราจะยกตัวอย่างของรูปที่ 4.5.1 พบว่าค่าความชันที่มากที่สุดของทั้ง 3 เส้นนั้น กราฟของขนาด 3 cm มีค่าความชันมากที่สุดคือ -4.121 รองลงมาคือขนาด 2 cm มีค่าความชันเท่ากับ -2.492 และขนาด 1 cm มีค่าความชันน้อยที่สุด เท่ากับ -1.923 นั่นคือในการอบสับปะรดโดยใช้ขนาด 3 cm ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุด รองลงมาคือ ขนาด 2 cm และสุดท้ายขนาด 1 cm ใช้เวลาในการอบมากที่สุด เนื่องจากสับปะรดที่มีขนาด 3 cm นั้นมีมวลเยอะที่สุด ระหว่างการอบแห้งคลื่นไมโครเวฟจะตกบนภาชนะแบบไม่สม่ำเสมอมีเพียงที่เดียวที่สัมผัสกับคลื่นไมโครเวฟอย่างมาก เราจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสับปะรดที่สัมผัสกับคลื่นไมโครเวฟมากที่สุดจะมีลักษณะไหม้เป็นถ่าน ด้วยเหตุผลนี้เองส่งผลให้ในการอบด้วยขนาด 3 cm มีการลดลงของความชื้นเร็วที่สุดและทำให้สับปะรดขนาด 3 cm ใช้เวลาอบแห้งเร็วที่สุด และจะเห็นว่ามีเพียง 2 รูปที่ กราฟของขนาด 2 cm มีค่าความชันในแต่ละช่วงเวลามากกว่ากราฟขนาด 3 cm นั่นคือรูปที่ 4.5.2 และ 4.5.9 ซึ่งอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการวางสับปะรดบนภาชนะให้ตรงกับตำแหน่งที่คลื่นไมโครเวฟตกมากที่สุดนั่นเอง จากรูปที่ 4.5.10-4.5.18 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยขนาด 3 cm นอกจากจะใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดแล้วยังมีอัตราการอบแห้งสูงที่สุดอีกด้วย

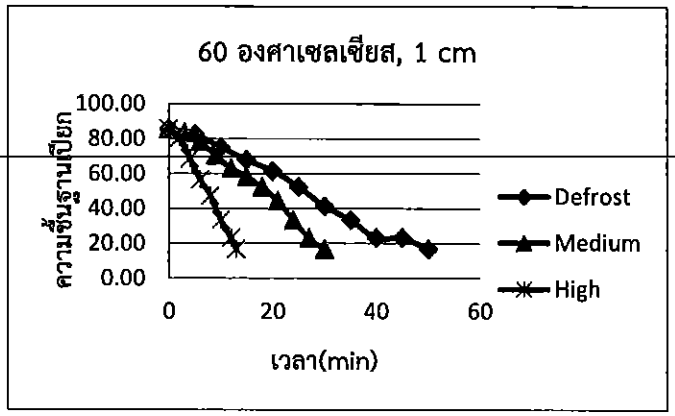
4.6 อิทธิพลของระดับไมโครเวฟในการอบสับปะรด

4.6.1 ผลการทดลอง

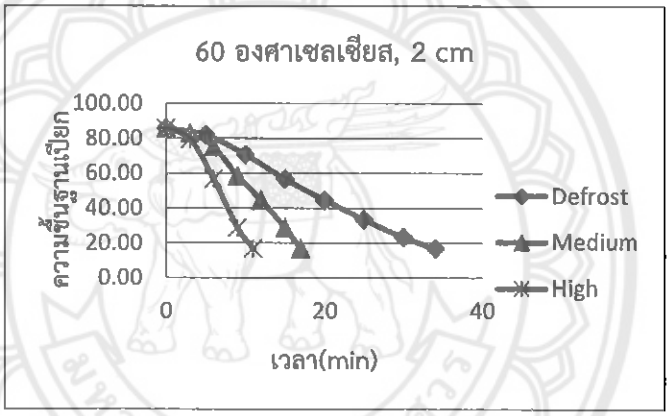
จากรูปที่ 4.6.1 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 13 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 30 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 50 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-10 นาที มีค่าเท่ากับ -1.071 จากนั้นช่วงเวลา 10-40 นาที มีความชันเท่ากับ -1.731 และสุดท้ายช่วงเวลา 40-50 นาที มีความชันเท่ากับ -0.641 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -0.7 จากนั้นช่วงเวลา 3-12 นาที มีความชันเท่ากับ -2.294 ช่วงเวลา 12-18 นาที มีความชันเท่ากับ -1.763 และสุดท้ายช่วงเวลา 18-30 นาที มีความชันเท่ากับ -2.976 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -2.66 จากนั้นช่วงเวลา 2-13 นาที มีความชันเท่ากับ -5.793

จากรูปที่ 4.6.2 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 11 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 17 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 34 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีค่าเท่ากับ -0.778 จากนั้นช่วงเวลา 5-25 นาที มีความชันเท่ากับ -2.425 และสุดท้ายช่วงเวลา 25-34 นาที มีความชันเท่ากับ -1.851 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -1.785 จากนั้นช่วงเวลา 6-17 นาที มีความชันเท่ากับ -5.303 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -2.18 จากนั้นช่วงเวลา 3-9 นาที มีความชัน เท่ากับ -8.433 และสุดท้ายช่วงเวลา 9-11 นาที มีความชันเท่ากับ -5.95

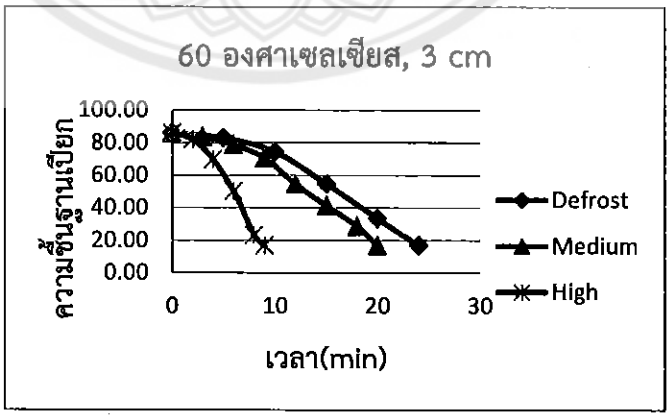
จากรูปที่ 4.6.3 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 9 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 20 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 24 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีค่าเท่ากับ -0.59 จากนั้นช่วงเวลา 5-10 นาที มีความชันเท่ากับ -1.68 และสุดท้ายช่วงเวลา 10-24 นาที มีความชันเท่ากับ -4.121 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -0.7 จากนั้นช่วงเวลา 3-9 นาที มีความชันเท่ากับ -2.17 ช่วงเวลา 9-20 นาที มีความชันเท่ากับ -4.902 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.945 จากนั้นช่วงเวลา 2-6 นาที มีความชันเท่ากับ -7.955 ช่วงเวลา 6-8 นาที มีความชันเท่ากับ -13.46 และสุดท้ายช่วงเวลา 8-9 นาที มีความชันเท่ากับ -6.41



รูปที่ 4.6.1



รูปที่ 4.6.2



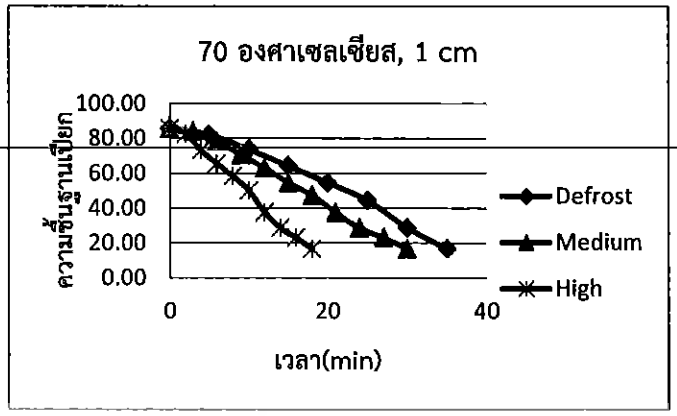
รูปที่ 4.6.3

รูปที่ 4.6.1-4.6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 60°C (4.6.1) 1 cm, (4.6.2) 2 cm, (4.6.3) 3 cm

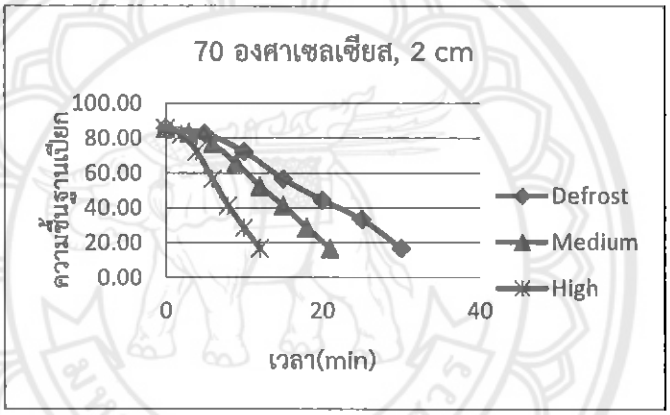
จากรูปที่ 4.6.4 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 18 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 30 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 35 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีค่าเท่ากับ -0.714 จากนั้นช่วงเวลา 5-25 นาที มีความชันเท่ากับ -1.885 และสุดท้ายช่วงเวลา 25-35 นาที มีความชันเท่ากับ -2.777 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -1.242 จากนั้นช่วงเวลา 6-24 นาที มีความชันเท่ากับ -2.761 และสุดท้ายช่วงเวลา 24-30 นาที มีความชันเท่ากับ -1.983 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.475 จากนั้นช่วงเวลา 2-10 นาที มีความชันเท่ากับ -4.095 ช่วงเวลา 10-14 นาที มีความชันเท่ากับ -5.358 และสุดท้ายช่วงเวลา 14-18 นาที มีความชันเท่ากับ -2.975

จากรูปที่ 4.6.5 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 12 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 21 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 30 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีค่าเท่ากับ -0.59 จากนั้นช่วงเวลา 5-20 นาที มีความชันเท่ากับ -2.555 ช่วงเวลา 20-25 นาที มีความชันเท่ากับ -2.222 และสุดท้ายช่วงเวลา 25-30 นาที มีความชันเท่ากับ -3.332 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -1.495 จากนั้นช่วงเวลา 6-21 นาที มีความชันเท่ากับ -4.005 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.785 จากนั้นช่วงเวลา 2-8 นาที มีความชันเท่ากับ -6.827 และสุดท้ายช่วงเวลา 8-12 นาที มีความชันเท่ากับ -6.128

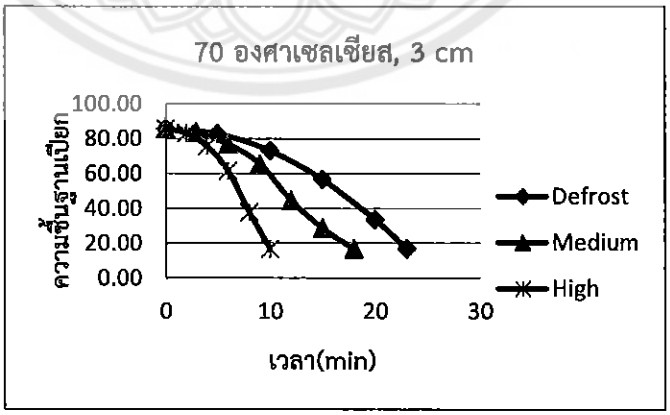
จากรูปที่ 4.6.6 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 10 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 18 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 23 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีค่าเท่ากับ -0.59 จากนั้นช่วงเวลา 5-10 นาที มีความชันเท่ากับ -1.958 ช่วงเวลา 10-15 นาที มีความชันเท่ากับ -3.29 และสุดท้ายช่วงเวลา 15-23 นาที มีความชันเท่ากับ -4.981 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -0.7 จากนั้นช่วงเวลา 3-9 นาที มีความชันเท่ากับ -3.015 ช่วงเวลา 9-12 นาที มีความชันเท่ากับ -7.027 และสุดท้ายช่วงเวลา 12-18 นาที มีความชันเท่ากับ -4.628 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.33 จากนั้นช่วงเวลา 2-4 นาที มีความชันเท่ากับ -3.72 ช่วงเวลา 4-6 นาที มีความชันเท่ากับ -7.035 และสุดท้ายช่วงเวลา 6-10 นาที มีความชันเท่ากับ -11.218



รูปที่ 4.6.4



รูปที่ 4.6.5



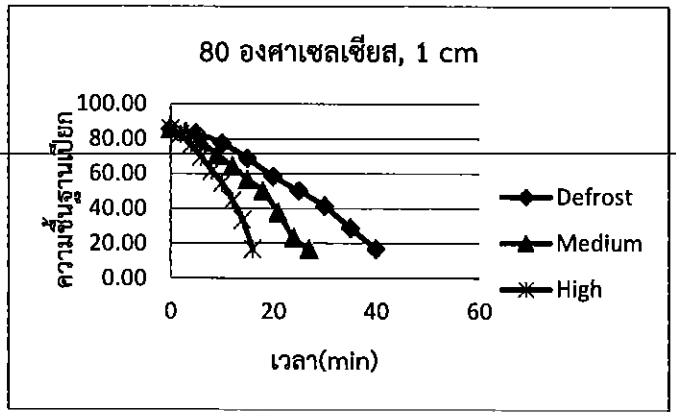
รูปที่ 4.6.6

รูปที่ 4.6.4-4.4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 70°C (4.6.4) 1 cm, (4.6.5) 2 cm, (4.6.6) 3 cm

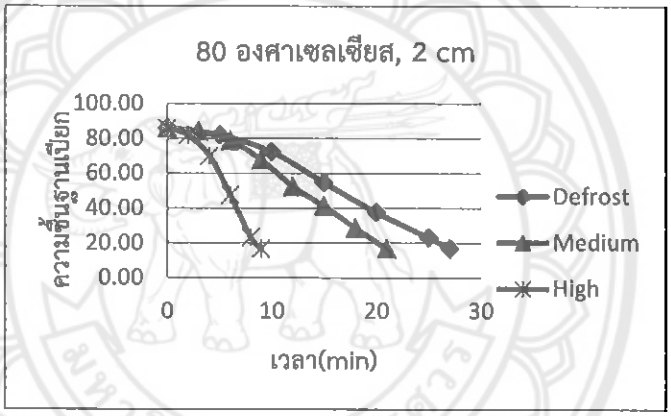
จากรูปที่ 4.6.7 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 16 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 27 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 40 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีค่าเท่ากับ -0.532 จากนั้นช่วงเวลา 5-30 นาที มีความชันเท่ากับ -1.675 และสุดท้ายช่วงเวลา 30-40 นาที มีความชันเท่ากับ -2.451 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -0.613 จากนั้นช่วงเวลา 3-18 นาที มีความชันเท่ากับ -2.258 ช่วงเวลา 18-24 นาที มีความชันเท่ากับ -4.487 และสุดท้ายช่วงเวลา 24-27 นาที มีความชันเท่ากับ -2.137 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.625 จากนั้นช่วงเวลา 2-10 นาที มีความชันเท่ากับ -3.489 ช่วงเวลา 10-14 นาที มีความชันเท่ากับ -5.305 และสุดท้ายช่วงเวลา 14-16 นาที มีความชันเท่ากับ -8.33

จากรูปที่ 4.6.8 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 9 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 21 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 27 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีค่าเท่ากับ -0.778 จากนั้นช่วงเวลา 5-10 นาที มีความชันเท่ากับ -1.92 ช่วงเวลา 10-15 นาที มีความชันเท่ากับ -3.534 และสุดท้ายช่วงเวลา 15-27 นาที มีความชันเท่ากับ -3.157 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-6 นาที มีค่าเท่ากับ -1.165 จากนั้นช่วงเวลา 6-12 นาที มีความชันเท่ากับ -4.39 และสุดท้ายช่วงเวลา 12-21 นาที มีความชันเท่ากับ -3.968 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.945 จากนั้นช่วงเวลา 2-4 นาที มีความชันเท่ากับ -6.06 ช่วงเวลา 4-8 นาที มีความชันเท่ากับ -11.655 และสุดท้ายช่วงเวลา 8-9 นาที ความชันเท่ากับ -6.41

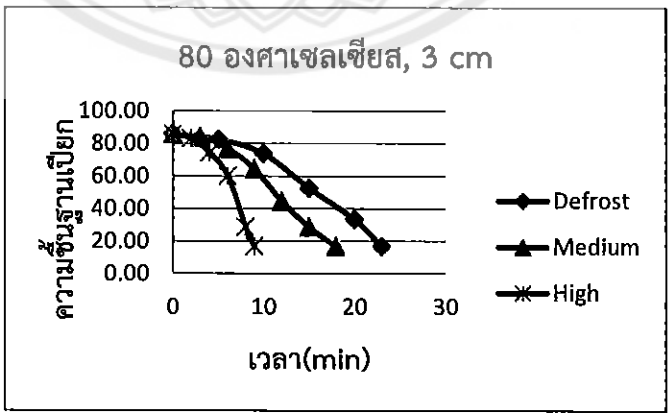
จากรูปที่ 4.6.9 จะเห็นว่าในการอบสับปะรดด้วยระดับไมโครเวฟ-High ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดใช้เวลาอบเฉลี่ย 9 นาที รองลงมาคือ Medium ใช้เวลาอบเฉลี่ย 18 นาที และระดับ Defrost ใช้เวลาในการอบช้าที่สุดคือ 23 นาที จากกราฟ Defrost มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-5 นาที มีค่าเท่ากับ -0.65 จากนั้นช่วงเวลา 5-10 นาที มีความชันเท่ากับ -1.756 ช่วงเวลา 10-20 นาที มีความชันเท่ากับ -4.035 และสุดท้ายช่วงเวลา 20-23 นาที มีความชันเท่ากับ -5.553 จากกราฟ Medium มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-3 นาที มีค่าเท่ากับ -0.613 จากนั้นช่วงเวลา 3-9 นาที มีความชันเท่ากับ -3.097 ช่วงเวลา 9-12 นาที มีความชันเท่ากับ -6.617 และสุดท้ายช่วงเวลา 12-18 นาที มีความชันเท่ากับ -4.628 จากกราฟ High มีค่าความชันของช่วงเวลา 0-2 นาที มีค่าเท่ากับ -1.33 จากนั้นช่วงเวลา 2-6 นาที มีความชันเท่ากับ -5.763 ช่วงเวลา 6-8 นาที มีความชันเท่ากับ -15.715 และสุดท้ายช่วงเวลา 8-9 นาที มีความชันเท่ากับ -11.9



รูปที่ 4.6.7

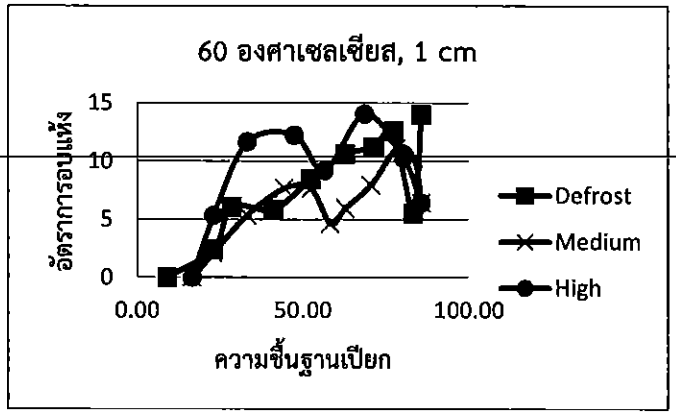


รูปที่ 4.6.8

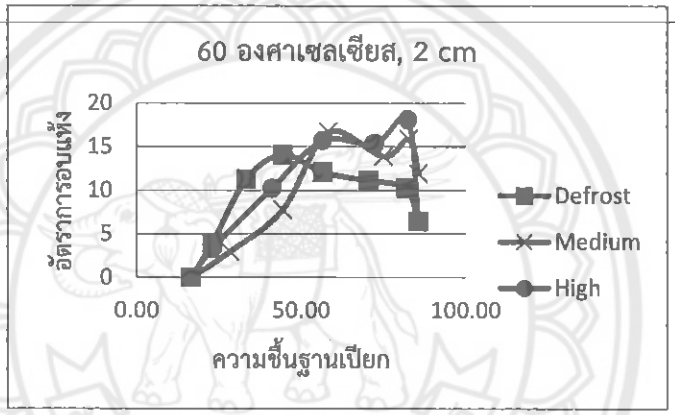


รูปที่ 4.6.9

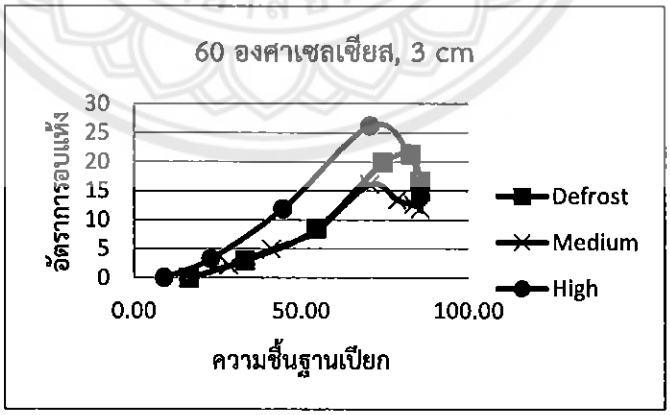
รูปที่ 4.6.7-4.6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานเปียกกับเวลาในการอบสับปะรดเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 80°C (4.6.7) 1 cm, (4.6.8) 2 cm, (4.6.9) 3 cm



รูปที่ 4.6.10

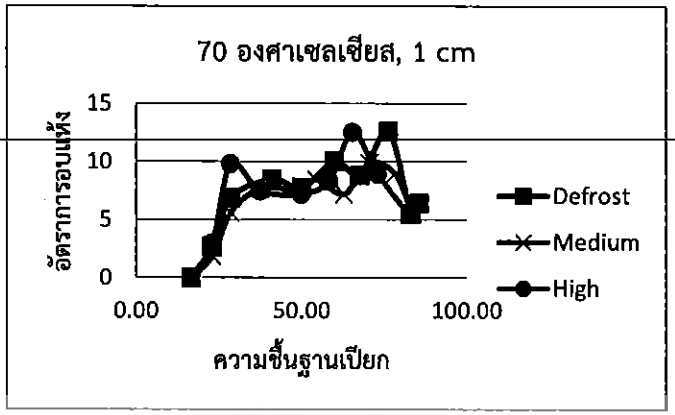


รูปที่ 4.6.11

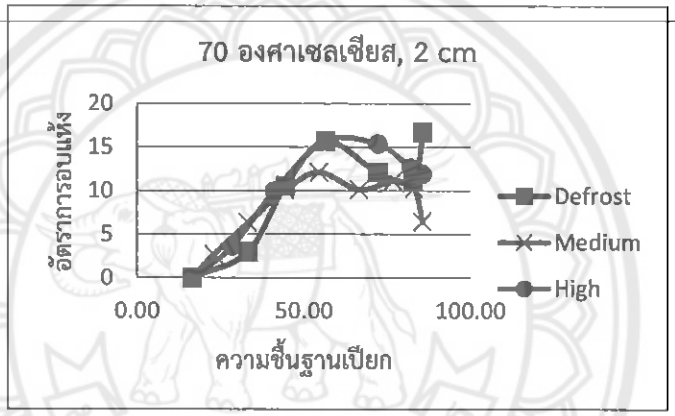


รูปที่ 4.6.12

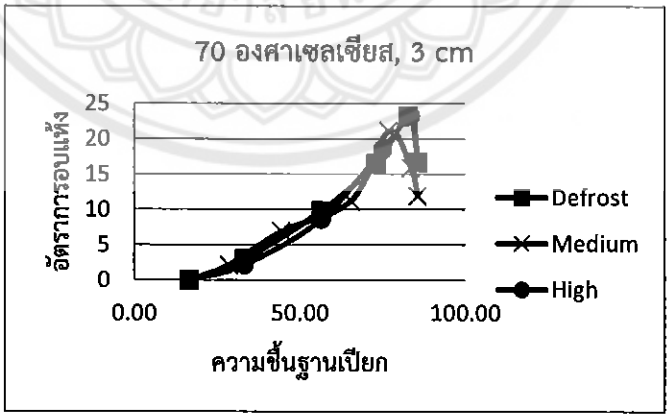
รูปที่ 4.6.10-4.6.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นฐานเปียกในการอบสับปะรดเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 60°C (4.6.10) 1 cm, (4.6.11) 2 cm,(4.6.12) 3 cm



รูปที่ 4.6.13

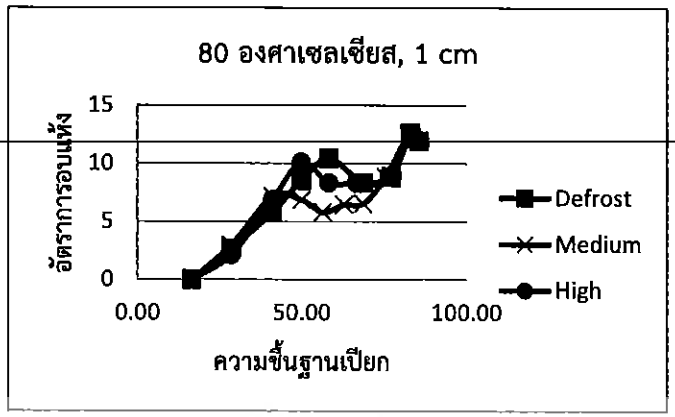


รูปที่ 4.6.14

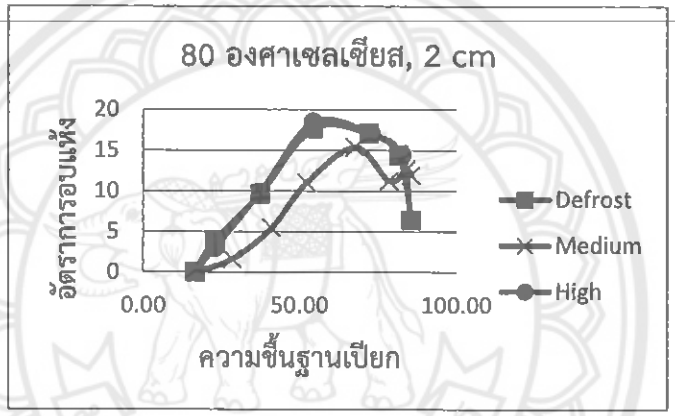


รูปที่ 4.6.15

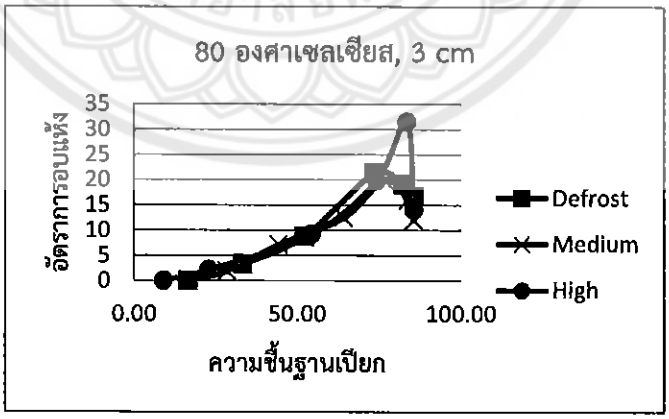
รูปที่ 4.6.13-4.6.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นฐานเปียกในการอบสับปะรดเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 70°C (4.6.13) 1 cm, (4.6.14) 2 cm, (4.6.15) 3 cm



รูปที่ 4.6.16



รูปที่ 4.6.17



รูปที่ 4.6.18

รูปที่ 4.6.16-4.6.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความชื้นฐานเปียกในการอบสับปะรดเปรียบเทียบระดับไมโครเวฟ อุณหภูมิลม 80°C (4.6.16) 1 cm, (4.6.17) 2 cm, (4.6.18) 3 cm

4.6.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.6.1-4.6.9 จะเห็นว่าระดับไมโครเวฟมีผลต่อการอบแห้งสับปะรดในทุกๆ กรณี โดยสามารถดูได้จากค่าความชันในแต่ละช่วงและเวลาที่ใช้ในการอบ ยกตัวอย่างเช่นรูปที่ 4.6.1 พบว่ากราฟของระดับไมโครเวฟทั้ง 3 เส้นมีค่าความชันในแต่ละช่วงไม่เท่ากันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งกราฟของไมโครเวฟระดับ High มีค่าความชันมากที่สุดเท่ากับ -5.793 รองลงมาคือกราฟของไมโครเวฟระดับ Medium มีค่าความชันเท่ากับ -2.294 และกราฟของไมโครเวฟระดับ Defrost มีค่าความชันน้อยที่สุดเท่ากับ -1.731 นั่นคือเมื่อเราใช้ไมโครเวฟระดับ High ในการอบแห้งจะใช้เวลาในการอบน้อยที่สุด รองลงมาคือระดับ Medium และช้าที่สุดคือไมโครเวฟระดับ Defrost

คุณภาพของสับปะรดหลังการอบนั้นการใช้ไมโครเวฟระดับ High จะส่งผลให้สับปะรดไหม้เร็วกว่าและไหม้มากกว่าทุกระดับไมโครเวฟ โดยลักษณะการไหม้ของสับปะรดจะค่อยๆ เริ่มจากผิวด้านในมีลักษณะเป็นเส้นตามรูปภาคผนวก ก-20 และจะค่อยๆไหม้สู่ภายนอก โดยที่น้ำอิสระในสับปะรดจะเปลี่ยนเป็นไอ น้ำระเหยออกมาจากสับปะรดอย่างรวดเร็วและยังมีลมร้อนช่วยนำน้ำที่ระเหยจากสับปะรดออกไปด้วย จึงทำให้น้ำอิสระในสับปะรดแห้งน้อยลงและส่งผลให้สับปะรดหดตัวอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามสับปะรดหลังการอบโดยใช้ไมโครเวฟระดับต่างๆ ก็มีลักษณะไหม้เช่นเดียวกัน แต่สับปะรดที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟระดับ High นั่นมีลักษณะไหม้ดำเป็นถ่านนั่นคือสับปะรดได้สูญเสียทั้งน้ำอิสระ และน้ำเกาะติด (Bound water) รวมไปถึงสารอาหารทั้งหมดที่มีอยู่ในสับปะรดด้วย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้งกล้วยไข่

จากผลการทดลองจะเห็นว่าในการอบกล้วยไข่นั้น อุณหภูมิลมร้อนมีผลน้อยมากต่อการอบแห้งกล้วยไข่ ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้อุณหภูมิลมร้อนได้ทั้ง 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส

5.1.2 อิทธิพลของขนาดของกล้วยไข่ในการอบแห้ง

จากการทดลองจะเห็นว่าในการอบกล้วยไข่นั้น ขนาดของกล้วยไข่หรือมีผลน้อยมากเกี่ยวกับเวลาต่อการอบแห้ง ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้ขนาดของกล้วยไข่ได้ทั้ง หั่นแว่นครึ่งลูกและเต็มลูก และเป็นส่วนของผู้อบที่ต้องการผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใด

5.1.3 อิทธิพลของระดับไมโครเวฟในการอบแห้งกล้วยไข่

เนื่องจากอุณหภูมิและขนาดของกล้วยมีผลต่อการอบแห้งน้อยมากโดยที่ระดับไมโครเวฟจะมีผลอย่างมากที่สุด ดังนั้นเราจึงสามารถสรุปการอบกล้วยไข่ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอบ อัตราการอบแห้งสูงสุดและลักษณะของกล้วยอบที่สภาวะควบคุมต่างๆ

สภาวะควบคุม	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (min)	อัตราการอบแห้งสูงสุด (%/min)	เริ่มไหม้ที่ความชื้นฐานเปียก	ลักษณะของกล้วยอบ
Defrost	28-36	8.30	43	ไหม้น้อย และช้า เนื้อกล้วยแตก
Medium	21-27	11.95	45	ไหม้ปานกลาง เนื้อกล้วยแตก
High	10-15	16.09	55	ไหม้มาก และเร็ว เนื้อกล้วยแตก

5.1.4 อิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้งสับปะรด

จากผลการทดลองจะเห็นว่าในการอบสับปะรดนั้น อุณหภูมิลมร้อนมีผลน้อยมากต่อการอบแห้งสับปะรด ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้อุณหภูมิลมร้อนได้ทั้ง 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส

5.1.5 อิทธิพลของขนาดของสับปะรดในการอบแห้ง

จากผลการทดลองจะเห็นว่าขนาดของสับปะรด 3 cm ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุด รองลงมาคือขนาด 2 cm และขนาด 1 cm ใช้เวลาอบช้าที่สุด สามารถดูได้จากตารางที่ 5.2

5.1.6 อิทธิพลของระดับไมโครเวฟในการอบแห้งสับปะรด

เนื่องจากอุณหภูมิไม่มีผลต่อการอบแห้งสับปะรดส่วนขนาดของสับปะรดและระดับไมโครเวฟมีผลต่อการอบแห้ง ดังนั้นเราจึงสามารถสรุปการอบสับปะรดได้ดังนี้

ตารางที่ 5.2 ตารางเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอบ อัตราการอบแห้งสูงสุดและลักษณะของสับปะรดหลังการอบที่สภาวะควบคุมต่างๆ

สภาวะควบคุม	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (min)	อัตราการอบแห้งสูงสุด (%/min)	เริ่มไหม้ที่ความชื้นฐานเปียก	ลักษณะของสับปะรด
1 cm, Defrost	40-50	13.99	38	ไหม้น้อย และช้า
1 cm, Medium	27-30	12.61	40	ไหม้มาก
1 cm, High	13-18	14.04	42	ไหม้เป็นถ่านและเร็ว
2 cm, Defrost	27-34	17.68	38	ไหม้น้อย และช้า
2 cm, Medium	17-21	16.67	40	ไหม้มาก
2 cm, High	9-12	18.43	42	ไหม้เป็นถ่านและเร็ว
3 cm, Defrost	23-24	23.19	38	ไหม้น้อย และช้า
3 cm, Medium	18-20	21.07	40	ไหม้มาก
3 cm, High	9-10	31.47	42	ไหม้เป็นถ่าน และเร็ว

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เราจะเห็นว่าทั้งกล้วยไข่แล้วสับปะรดเมื่ออบแห้งจนถึงความชื้นฐานเปียกตามมาตรฐานที่กำหนดแล้วมีลักษณะไหม้ทั้งหมด ดังนั้นเมื่อเราอบจนถึงความชื้นที่กล้วยไข่หรือสับปะรดใกล้จะไหม้จากนั้นเราสามารถปิดไมโครเวฟแล้วอบแห้งโดยใช้เฉพาะลมร้อนเพียงอย่างเดียว กล้วยไข่และสับปะรดที่ออกมาจะมีลักษณะไม่ไหม้ตามที่ต้องการ

5.2.2 ภาชนะรองรับวัตถุดิบควรเป็นแบบหมุนเพราะว่าคลื่นไมโครเวฟไม่กระจายทั่วทั้งห้องอบ

เอกสารอ้างอิง

1. ผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2556, จาก http://kucon.lib.ku.ac.th/Fulltext/KC4906015.pdf

2. จันทร์จีรา โยหงษ์. (15 สิงหาคม 2555). กล้วยไข่กำแพงเพชร. ภูมิปัญญาชาวบ้าน สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2556, จากhttp://202.29.15.9/rlocal/stories.php?story=12/08/15/4351350

3. ผลพยากรณ์การผลิตสับปะรด ปี 2556 รายจังหวัด. (มีนาคม 2556). สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 25556, จาก http://www2.oae.go.th/mis/Forecast/09_MAR2556/Thai/table/tbl_t_07.pdf

4. กล้วยไข่. สืบค้นเมื่อ 22 มิถุนายน 2556, จาก http://www.doae.go.th/library/html/detail/banana/page73.html

5. สับปะรด. สืบค้นเมื่อ 22 มิถุนายน 2556,จาก http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%9B%E0%B8%B0%E0%B8%A3%E0%B8%94

6. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). การอบแห้งผลไม้ในการอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

7. ดร.เหมือนหมาย อภินทนาพงศ์. (2007). การอบแห้ง. สืบค้นเมื่อ 4 ธันวาคม 2556, จาก http://www.slideshare.net/a_muanmai/chapter2-drying

8. ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์. Drying rate/อัตราการทำแห้ง.ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. สืบค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2556, จาก http://www.foodnetworksolution.com

9. ชนัตพลจินตปัญญา, ชัยยุทธ ปานหอม, สถาวร รัตนพันธ์. (2553). ปริญญานิพนธ์ การอบแห้งกล้วยด้วยใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน. ภาคสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรพิษณุโลก.

10. เตาอบไมโครเวฟ, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2556 , จากhttp://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/5/microwave/index.htm

11. ธราวุธ บุญน้อม, ณัฐพงษ์ ประภาการ, สาวิตรี คำหอม, วีรชัย อาจหาญ. (2555). การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในกระบวนการผลิตพริกแห้ง. นักศึกษาปริญญาโท ภาคสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา.

12. ฟารีดาสไปส์, หลักการอบแห้ง-แปรรูป ผักและผลไม้, สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2556 , จากhttp://www.fareedaspices.com/thai/main/content.php?page=sub&category=12&id=113

13. ณัฐพงศ์รัตนเดช, กิตติวุฒิ จั่นเปี่ยม, นิรัตศัย เข็มบุปผา, พนิดา ครรชิตชัยวาร. (2555). ตู้อบลมร้อนร่วมไมโครเวฟสำหรับอบกล้วยเล็บมือนาง. ภาคสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร.

14. SuparerkCharmongkolpradit, KittichaiTriratanasirichai, NarongSrihajong. (2010). Drying Characteristics of Chili Using Continuous Fluidized-Bed Dryer. American Journal of Applied Sciences 7 (10): 1300-1304.

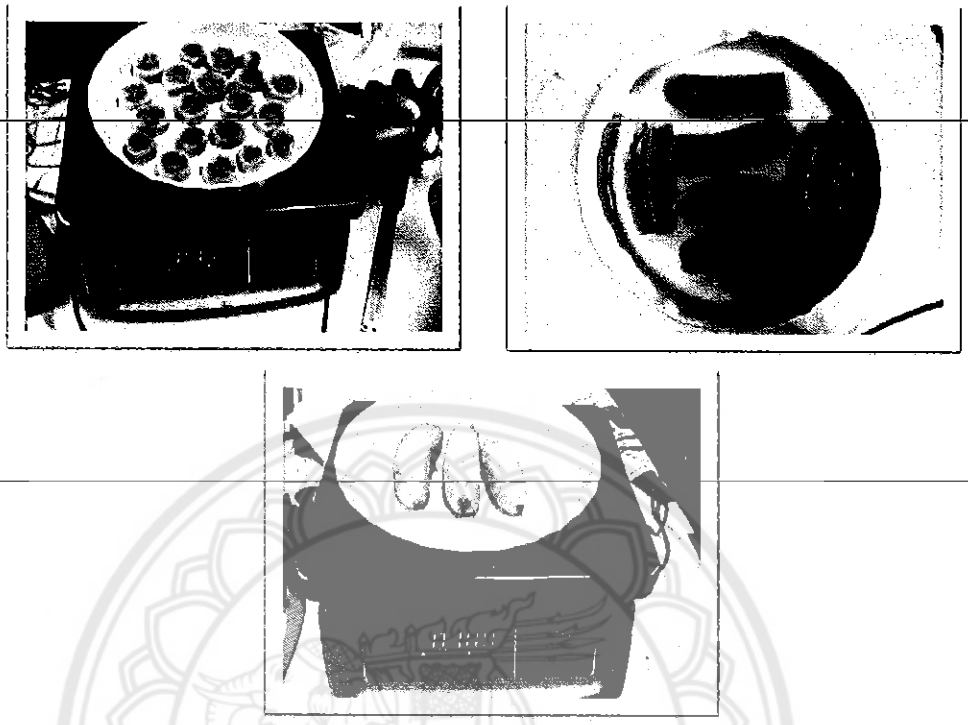
15. Alibas, I., (2007). Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices. LWT-Food Science and Technology, 40: 1445-1451.

16. สุภวรรณฎิระวณิชย์กุล, สากีนา ลาแมปะ, ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล. (2555). การอบแห้งขนุนด้วยพลังงานความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟ และลมร้อน: จลนพลศาสตร์ คุณภาพและการทดสอบประสาทสัมผัส. ภาคสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

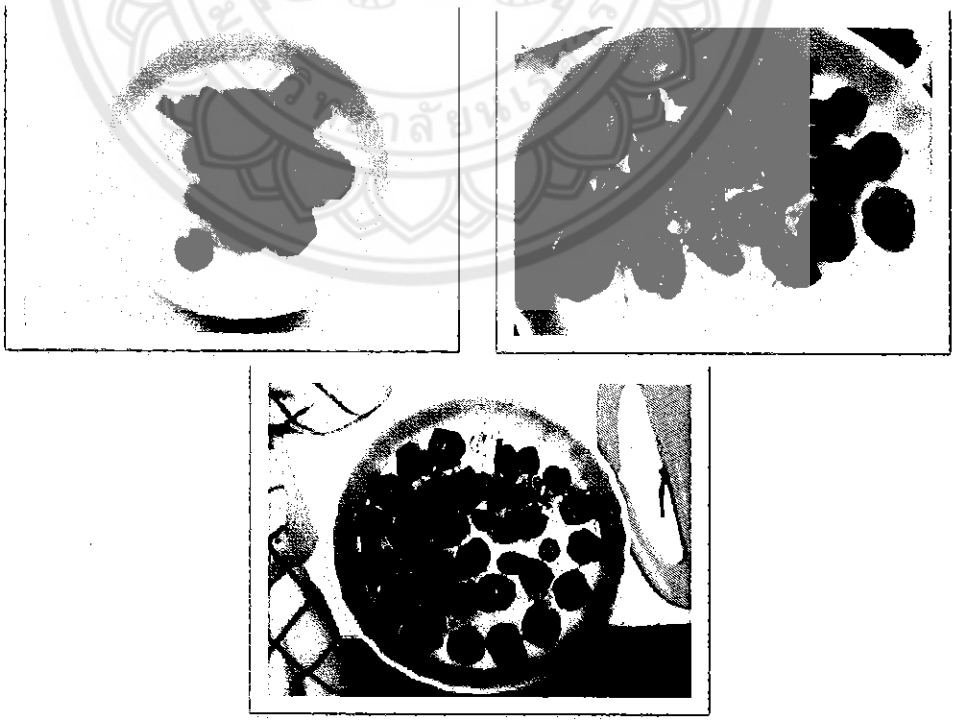
ภาคผนวก ก

รูปกล้วยไข่สด และกล้วยไข่อบแห้ง

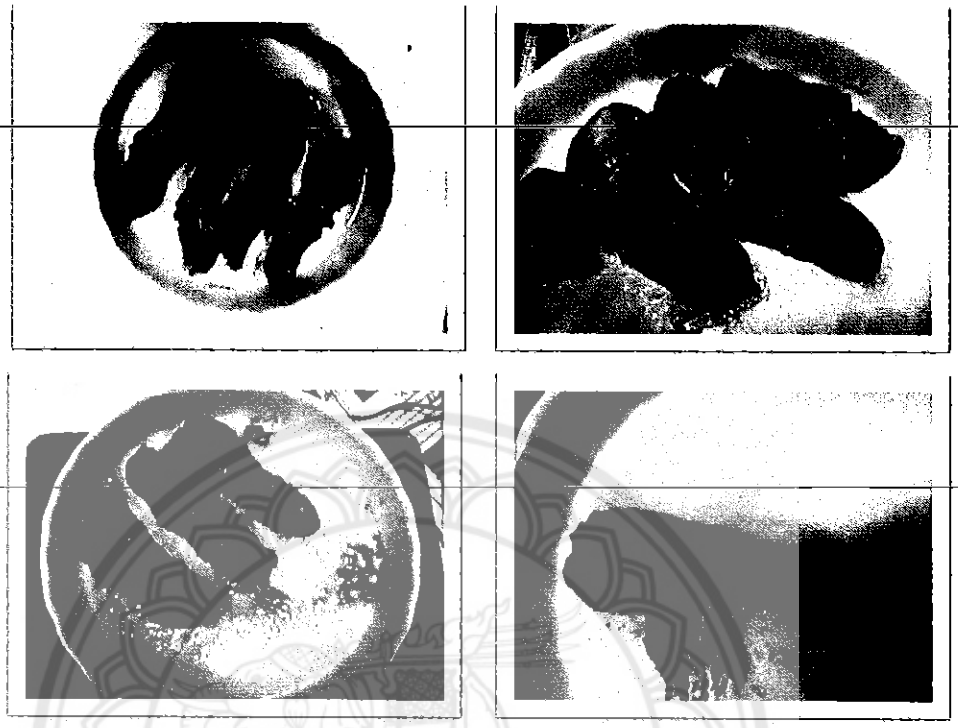
สับปะรดสด และสับปะรดอบแห้ง



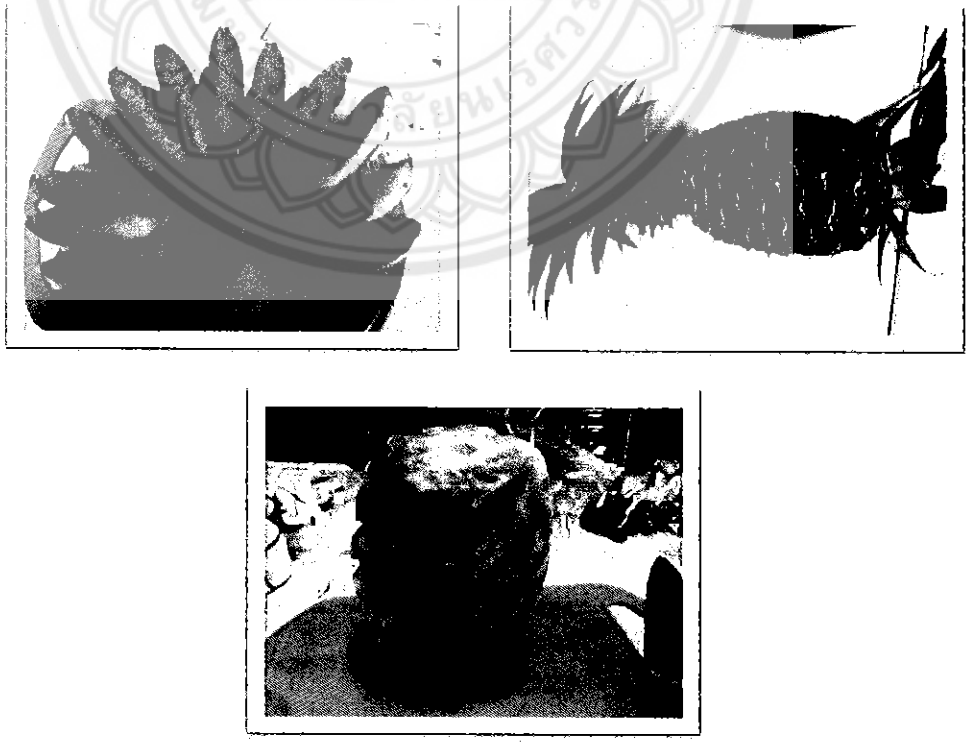
รูปภาคผนวก ก-1 กล้วยไข่ก่อนอบแบบหั่นแว่น ครึ่งลูก และเต็มลูก



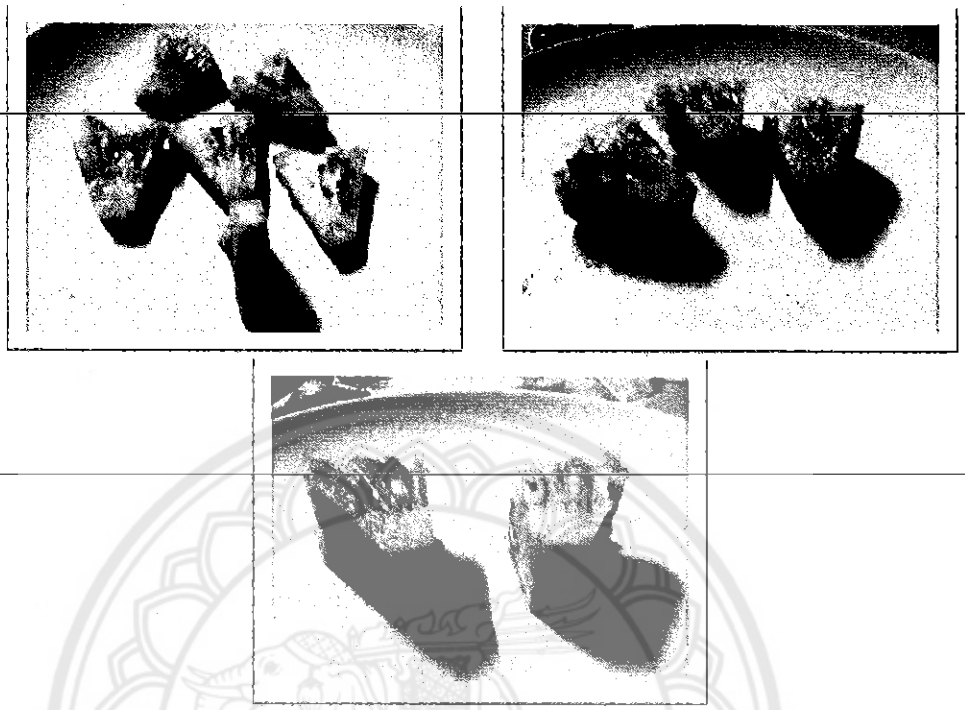
รูปภาคผนวก ก-2 กล้วยไข่อบโดยใช้ ขนาด-หั่นแว่น ไมโครเวฟระดับ-Defrost, Medium, High



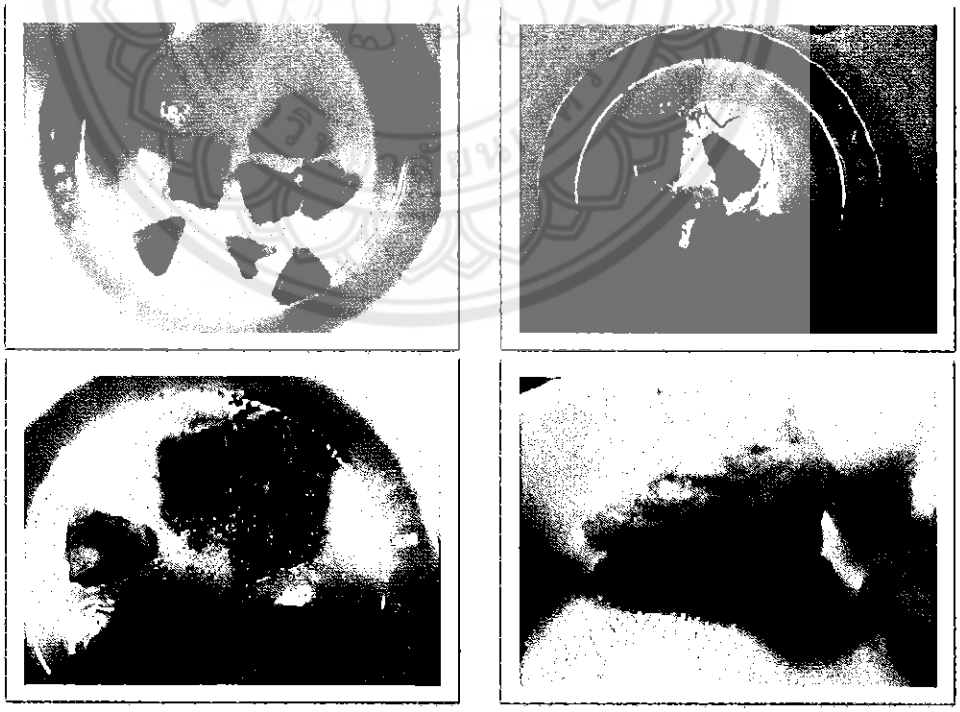
รูปภาคผนวก ก-3 กล้วยอบขนาดครึ่งลูกและเต็มลูก



รูปภาคผนวก ก-4 ลักษณะของกล้วยไข่และสับปะรดที่นำมาใช้ในการทดลอง



รูปภาคผนวก ก-5 สับปะรดก่อนอบขนาด 1 2 และ 3 cm



รูปภาคผนวก ก-6 สับปะรดอบแห้งและลักษณะของการไหม้ของสับปะรด

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างตารางผลการทดลอง

และคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้

ตารางภาคผนวก ข-1 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 1.

การทดลองที่ 1.					
การทดลองอบแห้ง กล้วยไข่ T= 60 , ขนาด หั่นแว่น , W= Defrost ครั้งที่ 1					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	100	0	24	76.00	0
2	93	3	24	74.19	1.81
3	81	6	24	70.37	3.82
4	69	9	24	65.22	5.15
5	59	12	24	59.32	5.90
6	52	15	24	53.85	5.48
7	47	18	24	48.94	4.91
8	43	21	24	44.19	4.75
9	39	24	24	38.46	5.72
10	36	27	24	33.33	5.13
11	33	30	24	27.27	6.06
12	32	33	24	25.00	2.27
13	31	36	24	22.58	2.42
14	30	39	24	20.00	2.58

ตารางภาคผนวก ข-2 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 16.

การทดลองที่ 16.					
การทดลองอบแห้ง กล้วยไข่ T= 60 , ขนาด หั่นแว่น , W= Medium ครั้งที่ 1					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	100	0	24	76.00	0
2	90	3	24	73.33	2.67
3	73	6	24	67.12	6.21
4	58	9	24	58.62	8.50
5	47	12	24	48.94	9.68
6	40	15	24	40.00	8.94
7	36	18	24	33.33	6.67
8	33	21	24	27.27	6.06
9	31	24	24	22.58	4.69
10	30	26	24	20.00	2.58

ตารางภาคผนวก ข-3 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 19.

การทดลองที่ 19.					
การทดลองอบแห้ง กล้วยไข่ T= 60 , ขนาด หั่นแว่น , W= High ครั้งที่ 1					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	100	0	24	76.00	0
2	87	2	24	72.41	3.59
3	65	4	24	63.08	9.34
4	53	6	24	54.72	8.36
5	45	8	24	46.67	8.05
6	38	10	24	36.84	9.82
7	35	12	24	31.43	5.41
8	33	14	24	27.27	4.16
9	31	16	24	22.58	4.69
10	30	17	24	20.00	2.58

ตารางภาคผนวก ข-4 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 4.

การทดลองที่ 4.					
การทดลองอบแห้ง กล้วยไข่ T= 70 , ขนาด หั่นแว่น , W= Defrost ครั้งที่ 1					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	100	0	24	76.00	0
2	94	3	24	74.47	1.53
3	80	6	24	70.00	4.47
4	66	9	24	63.64	6.36
5	54	12	24	55.56	8.08
6	46	15	24	47.83	7.73
7	41	18	24	41.46	6.36
8	38	21	24	36.84	4.62
9	35	24	24	31.43	5.41
10	33	27	24	27.27	4.16
11	31	30	24	22.58	4.69
12	29	33	24	17.24	5.34

ตารางภาคผนวก ข-5 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 13.

การทดลองที่ 13.					
การทดลองอบแห้ง กล้วยไข่ T= 70 , ขนาด หั่นแว่น , W= Medium ครั้งที่ 1					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	100	0	24	76.00	0
2	89	3	24	73.03	2.97
3	71	6	24	66.20	6.84
4	54	9	24	55.56	10.64
5	43	12	24	44.19	11.37
6	37	15	24	35.14	9.05
7	33	18	24	27.27	7.86
8	31	21	24	22.58	4.69
9	30	22	24	20.00	2.58

ตารางภาคผนวก ข-6 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 22.

การทดลองที่ 22.					
การทดลองอบแห้ง กล้วยไข่ T= 70 , ขนาด หั่นแว่น , W= High ครั้งที่ 1					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	100	0	24	76.00	0
2	86	2	24	72.09	3.91
3	64	4	24	62.50	9.59
4	51	6	24	52.94	9.56
5	43	8	24	44.19	8.76
6	36	10	24	33.33	10.85
7	31	12	24	22.58	10.75
8	29	13	24	17.24	5.34

ตารางภาคผนวก ข-7 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 8.

การทดลองที่ 8.					
การทดลองอบแห้ง กล้วยไข่ T= 80 , ขนาด หั่นแว่น , W= Defrost ครั้งที่ 2					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	100	0	24	76.00	0
2	95	3	24	74.74	1.26
3	83	6	24	71.08	3.65
4	71	9	24	66.20	4.89
5	60	12	24	60.00	6.20
6	52	15	24	53.85	6.15
7	45	18	24	46.67	7.18
8	40	21	24	40.00	6.67
9	36	24	24	33.33	6.67
10	34	27	24	29.41	3.92
11	32	30	24	25.00	4.41
12	30	33	24	20.00	5.00

ตารางภาคผนวก ข-8 การทดลองการอบกล้วยไข่ การทดลองที่ 11.

การทดลองที่ 11.					
การทดลองอบแห้ง กล้วยไข่ T= 80 , ขนาด หั่นแว่น , W= Medium ครั้งที่ 2					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	100	0	24	76.00	0
2	88	3	24	72.73	3.27
3	71	6	24	66.20	6.53
4	56	9	24	57.14	9.05
5	46	12	24	47.83	9.32
6	39	15	24	38.46	9.36
7	34	18	24	29.41	9.05
8	31	21	24	22.58	6.83
9	30	22	24	20.00	2.58

ตารางภาคผนวก ข-9 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 2.

การทดลองที่ 2.					
การทดลองอบแห้ง สับปะรด T= 60 , ขนาด 1 cm , W= Defrost ครั้งที่ 2					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	70	0	10	85.71	0.00
2	57	5	10	82.46	3.26
3	40	10	10	75.00	7.46
4	31	15	10	67.74	7.26
5	26	20	10	61.54	6.20
6	21	25	10	52.38	9.16
7	17	30	10	41.18	11.20
8	15	35	10	33.33	7.84
9	13	40	10	23.08	10.26
10	13	45	10	23.08	0.00
11	12	50	10	16.67	6.41

ตารางภาคผนวก ข-10 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 12.

การทดลองที่ 12.					
การทดลองอบแห้ง สับปะรด T= 60 , ขนาด 1 cm , W= Medium ครั้งที่ 1					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	70	0	10	85.71	0.00
2	62	3	10	83.87	1.84
3	49	6	10	79.59	4.28
4	38	9	10	73.68	5.91
5	30	12	10	66.67	7.02
6	25	15	10	60.00	6.67
7	22	18	10	54.55	5.45
8	19	21	10	47.37	7.18
9	16	24	10	37.50	9.87
10	14	27	10	28.57	8.93
11	13	30	10	23.08	5.49
12	12	33	10	16.67	6.41

ตารางภาคผนวก ข-11 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 23.

การทดลองที่ 23.					
การทดลองอบแห้ง สับปะรด T= 60 , ขนาด 1 cm , W= High ครั้งที่ 4					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	70	0	10	85.71	0.00
2	59	2	10	83.05	2.66
3	36	4	10	72.22	10.83
4	23	6	10	56.52	15.70
5	17	8	10	41.18	15.35
6	14	10	10	28.57	12.61
7	11	12	10	9.09	19.48

ตารางภาคผนวก ข-12 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 32.

การทดลองที่ 32.					
การทดลองอบแห้ง สับปะรด T= 70 , ขนาด 2 cm , W= Defrost ครั้งที่ 2					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	70	0	10	85.71	0
2	59	5	10	83.05	2.66
3	44	10	10	77.27	5.78
4	30	15	10	66.67	10.61
5	23	20	10	56.52	10.14
6	18	25	10	44.44	12.08
7	14	30	10	28.57	15.87
8	12	35	10	16.67	11.90

ตารางภาคผนวก ข-13 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 40.

การทดลองที่ 40.					
การทดลองอบแห้ง สับปะรด T= 70 , ขนาด 2 cm , W= Medium ครั้งที่ 1					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	70	0	10	85.71	0
2	60	3	10	83.33	2.38
3	40	6	10	75.00	8.33
4	25	9	10	60.00	15.00
5	18	12	10	44.44	15.56
6	15	15	10	33.33	11.11
7	12	18	10	16.67	16.67

ตารางภาคผนวก ข-14 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 50.

การทดลองที่ 50.					
การทดลองอบแห้ง สับปะรด T= 70 , ขนาด 2 cm , W= High ครั้งที่ 2					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	70	0	10	85.71	0
2	63	2	10	84.13	1.59
3	44	4	10	77.27	6.85
4	30	6	10	66.67	10.61
5	21	8	10	52.38	14.29
6	16	10	10	37.50	14.88
7	13	12	10	23.08	14.42
8	12	13	10	16.67	6.41

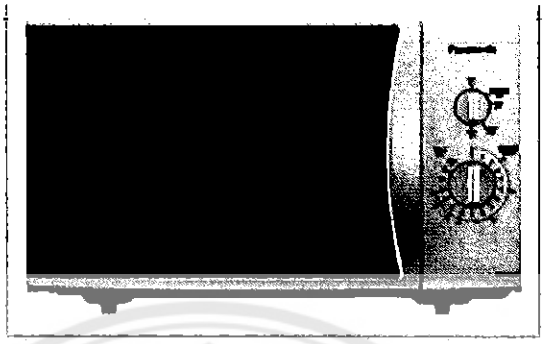
ตารางภาคผนวก ข-15 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 70.

การทดลองที่ 70.					
การทดลองอบแห้ง สับปะรด T= 80 , ขนาด 3 cm , W= Medium ครั้งที่ 1					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	70	0	10	85.71	0
2	61	3	10	83.61	2.11
3	44	6	10	77.27	6.33
4	29	9	10	65.52	11.76
5	19	12	10	47.37	18.15
6	16	15	10	37.50	9.87
7	13	18	10	23.08	14.42
8	12	19	10	16.67	6.41

ตารางภาคผนวก ข-16 การทดลองการอบสับปะรด การทดลองที่ 81.

การทดลองที่ 81.					
การทดลองอบแห้ง สับปะรด T= 80 , ขนาด 3 cm , W= High ครั้งที่ 3					
ครั้งที่	มวลวัสดุ ณ เวลาใดๆ	เวลา (min)	มวลวัตถุดิบสุดท้าย	ความชื้นฐานเปียก	อัตราการอบแห้ง
1	70	0	10	85.71	0
2	61	2	10	83.61	2.11
3	39	4	10	74.36	9.25
4	22	6	10	54.55	19.81
5	13	8	10	23.08	31.47
6	11	9	10	9.09	13.99

1. เตาอบไมโครเวฟ Panasonic รุ่น NN-SM332M



รูปภาคผนวก ข-1 เตาอบไมโครเวฟ Panasonic รุ่น NN-SM332M

คุณสมบัติ

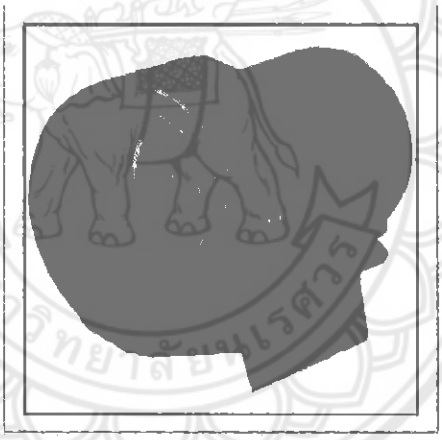
1. ไมโครเวฟ MANUAL
2. ควบคุมการทำงานด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์
3. โครงสร้างภายนอกผลิตจากพลาสติก ABS
4. ลูกบิดแบบ ANALOGUE เพิ่มความแม่นยำในการตั้งเวลาทำงาน
5. ปุ่มสัญญาณไฟแสดงการตั้งเวลาแบบ LIGHT-UP DIAL มองเห็นเวลาได้ชัดเจน
6. ระบบจานหมุนสัมพันธ์ ช่วยให้อาหารสุก ทั่วถึงทุกส่วน
7. ตั้งเวลาในการปรุงอาหารได้ตั้งแต่ 15 วินาที ไปจนถึง 30 นาที
8. เลือกระดับความร้อนได้ 5 ระดับ
9. ระบบละลายอาหารแช่แข็งแบบเทอร์โบละลายน้ำแข็งได้เร็วขึ้น
10. ขนาดความจุเตา: 25 ลิตร
11. ตั้งเวลาปรุงอาหารสูงสุดได้ 30 นาที
12. กำลังไฟ: 800 วัตต์
13. แรงดันไฟฟ้า : 220 โวลต์
14. ความถี่กระแสไฟฟ้า : 50 เฮิร์ซ
15. สี : ขาว
16. ขนาดสินค้า (กว้าง x สูง x ลึก) : 40.5 x 48.5 x 29.2 ซม. /เครื่อง
17. ขนาดสินค้าภายในเตาอบ (กว้าง x สูง x ลึก) : 34.9 x 31.5 x 22.7 ซม. /เครื่อง
18. น้ำหนักสินค้า : 12 กก. /เครื่อง

2. ฮีตเตอร์ (heater) ยี่ห้อ Hi-den รุ่น HDH/FU

คุณสมบัติ

1. ขนาด 8x200 mm
2. แรงดัน 220 v
3. กำลังไฟฟ้า 500 W
4. รูปแบบ Finned Heater U Shape
5. เกรียวแตนเลสขนาด M14

3. โบลเวอร์ (Blower) Sirocco รุ่น SC-124



รูปภาคผนวก ข-2 โบลเวอร์ (Blower) Sirocco รุ่น SC-124

คุณสมบัติ

1. มอเตอร์ 100W 2P 1Phase
2. ปริมาณลม: 6 CMM
3. Static Pressure: 25 mm wg.
4. สามารถปรับทิศทางของปล่องทางออกให้เป็นได้ทั้งแบบหมุนตามเข็มนาฬิกาและหมุนทวนเข็มนาฬิกา
5. สามารถใช้ได้ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง
6. ตัวโครงของ Blower ผลิตด้วย Carbon Steel
7. ใบพัดผลิตด้วย Gavanized steel with forward curved blades

4. Load cell Indicator ยี่ห่อ ไพรมัสรุ่น cm-013

PRIMUS® Digital panel meters
CM-013 Load cell Indicator

USER 'S MANUAL

SOFTWARE VERSION 1.00
HARDWARE VERSION 1.00

Specification

Digital Indicator รุ่น CM-013 รับสัญญาณจาก Pressure transmitter, Load cell ด้วยความละเอียดของ A/D สูงถึง 24 bits และประมวลผลสัญญาณแล้วภายใน 2 mSec สามารถแสดงค่าสัญญาณและตอบสนองเอาต์พุตได้อย่างรวดเร็ว ในส่วนของเอาต์พุตมีอะลามเอาต์พุตถึง 3 เอาต์พุต และมี Analog transfer 4-20 mA / 0-10 V สามารถแสดงค่า peak ได้โดยการกดปุ่มที่ด้านหน้าและรีเซทค่า peak, tare zero ได้ด้วยปุ่มกด หรือ digital input ที่ terminal ด้านหลัง

แรงดันไฟเลี้ยง	: 110 ถึง 220 VAC ±10%
แรงดันไฟเลี้ยงเซนเซอร์	: 5 VDC หรือ 10 VDC 120mA โดยการจัมเปอร์
ความไวในการตอบสนอง	: 2 mSec
ความละเอียด	: A/D 24 bit
อินพุต	: 1.5/2/2.5/3/3.3 mV/V (Strain-gauge)
หน้าจอแสดงผล	: 7 Segment ขนาด 0.56 นิ้ว จำนวน 6 หลัก : สามารถแสดงผลได้ตั้งแต่ -9999 ถึง 9999 : แสดงจุดด้านบนเมื่อสัญญาณสูงเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ : แสดงจุดด้านล่างเมื่อสัญญาณต่ำเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ : LED แสดงสถานะการทำงานของระบบ
เอาต์พุตรีเลย์	: 3 รีเลย์คอนแทค : NO 5A/250VAC : สามารถตั้งค่า Hysteresis, High limit, Low limit ได้
เอาต์พุตทรานเฟอร์	: 0-10 VDC, 0-20mA, 4-20mA (ระบุในการสั่งซื้อ)
ฟังก์ชั่นการใช้งาน	: Digital Input : Tare Zero : Display Hold : Reset Peak Memory : Linearize (ได้ 32 จุด)
อุณหภูมิการใช้งาน	: 0 ถึง 50°C
อุณหภูมิการเก็บรักษา	: -20 ถึง 70°C
ความชื้น %RH	: 20 ถึง 85 %RH
สื่อสารผ่านคอมพิวเตอร์	: RS-485 ,Modbus ,Baud rate 1200/2400/4800/9600/19200 bps

รูปภาคผนวก ข-3 คุณสมบัติของ Load cell Indicator ยี่ห่อ ไพรมัสรุ่น cm-013

5. Digital Temperature Controller MTB-96

รูปภาคผนวก ข-4 Digital Temperature Controller MTB-48

MTB-48 mold temperature controller Specifications:

Power Supply :90~260VAC/24DC
Power Consumption :5 VA(Maximum)
Display :Dual Line four digits.7 segments LED display
Input :Thermocouple(K,J,R,S,B,E,N,T,U,L,PLII,W5Re/W26Re), RTD(Pt100, JPT100)
Voltage and Current(0-5VDC,1-5VDC,0-20mADC,4-20mADC)
Control method :P,PID,PI, PD,ON/OFF(P=0)
Output :Relay(10A /220VAC)
SSR DRIVE(12VDC 50mA max)
Current output(4-20mA/0-10mA)
Auxiliary output :24VDC(48mm*48mm not available)
Measuring Accuracy : :0.5%F.S
Control Accuracy :+/- 1 Celsious
Alarm output :1 alarm or 2 alarms optional
Alarm mode :Deviation high
Deviation low
Deviation high/low
Band alarm
Process high
Process low
Proportional band(P) :0.1-999.9/1-9999(default 30)
Integral time(I) :1-3600S(default 240S)
Derivative times(D) :1-3600S(default 60S)
Control Time(T) :1-100S(default 20S for replay output, 2S for SSR drive and 4-20mA output)
Sampling time(T) :0.5 second

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ-ชื่อสกุล : นายธนาโรจน์ โรจนโรวรรณ

วัน เดือน ปี เกิด : 3 มีนาคม พ.ศ. 2535

ที่อยู่ปัจจุบัน : 122/2 ถนนคชเสนีย์ ตำบลหล่มสัก อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ 67110

ประวัติการศึกษา

2556 : วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยนเรศวร

2552 : มัธยมศึกษา โรงเรียนหล่มสักวิทยาคม จังหวัดเพชรบูรณ์

ชื่อ-ชื่อสกุล : นายนนทกาล ช่างปืน

วัน เดือน ปี เกิด : 15 มกราคม พ.ศ. 2535

ที่อยู่ปัจจุบัน : 196 หมู่15 ตำบลกลางดง อำเภอทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย 64150

ประวัติการศึกษา

2556 : วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยนเรศวร

2552 : มัธยมศึกษา โรงเรียนทุ่งเสลี่ยมชนูปถัมภ์ จังหวัดสุโขทัย

ชื่อ-ชื่อสกุล : นายนราพล แดนป่ากลาง

วัน เดือน ปี เกิด : 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2534

ที่อยู่ปัจจุบัน : 226/10 หมู่13 ตำบลวังทอง อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก 65130

ประวัติการศึกษา

2556 : วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยนเรศวร

2552 : มัธยมศึกษา โรงเรียนวังทองพิทยาคม จังหวัดพิษณุโลก