รายงานการวิจัย

การศึกษาทดลองผลิตมังคุดอบแห้งด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน เพื่อเป็นต้นแบบให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกมังคุดชุมชนลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช

Experimental study of dried mangosteen production from a combination drying technique of hot-air and microwave using as a prototype for mangosteen farmers in Lanska Nakhonsithammarat

ผู้วิจัย

นายสุรัตน์ บุญพึ่ง

RMUTK - CARIT

3 2000 00099219 0

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณเงินรายได้ ปี พ.ศ. 2555

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทคัดย่อ

งานวิจัยโครงการนี้เป็นการศึกษาการผลิตมังคุดอบแห้งจากเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ได้แก่ การอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบอบไมโครเวฟช่วงต้น (MBH) และการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบอบไมโครเวฟช่วงปลาย (HBM) ได้มีการออกแบบการทดลองทั้งสิ้น 10 การทดลอง โดยใช้มังคุด 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก และอุณหภูมิลมร้อน 2 อุณหภูมิ ได้แก่ 45 และ 75 องศาเซลเซียส จากการศึกษาพบว่าในกระบวนการการทดลองทั้งหมด ขนาดไม่มีผลต่อการระยะเวลาในการอบแห้งแต่ส่งผลกับน้ำหนักสุดท้าย ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจะช่วยทำให้ระยะเวลาในการอบลดลง โดยการอบแบบ MBM ที่ 45 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการอบ 20 ชั่วโมง 42 นาทีและการอบแบบ MBH ที่ 75 องศาเซลเซียสใช้เวลา 9 ชั่วโมง 44 นาทีทั้ง 2 ขนาด ส่วนการอบแบบ HBM ที่ 45 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการอบ 12 ชั่วโมง 6 นาทีทั้ง 2 ขนาดและการอบแบบ HBM ที่ 75 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการอบคือ 5 ชั่วโมง 6 นาทีและ 5 ชั่วโมงสำหรับขนาดเล็กและขนาดใหญ่ตามลำดับ การหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตมังคุดอบแห้งพบว่า การแบบ MBH ที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส โดยมีเปอร์เซ็นต์การเลือกวิธีอบแห้งที่ดีที่สุดคือ 80%

ABSTRACT

This project is to study dried mangosteen production from a combination drying technique of hot-air and microwave namely microwave before hot-air (MBH) drying process and hot-air before microwave (HBM) drying process. The experiments were designed 10 runs in the drying process with 2 sizes of mangoesteen (large and small) and 2 temperatures of hot air (45 and 75 $^{\circ}$C). The results showed that sizes had no effect on the drying time, but the final weight. The increase of temperature lessens the drying time in all runs. Drying time of MBM at 45 °C was 20 hours 42 minutes and MBH at 75 °C was 9 hours 44 minutes for both sizes. Drying time of HBM at 45 °C was is 12 hours 6 minutes for both sizes and HBM at 75 °C was 5 hours 6 minutes and 5 hours for small and large sizes, respectively. The optimum condition for the production of dried mangosteen was found in MBH process at hot-air temperature 75 °C with 80 percentage of the best selection method.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญตาราง	ค
สารบัญภาพ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	4
2.1 มังคุด	4
2.1.1 ความสำคัญของมังคุด	4
2.1.2 ลักษณะทางพฤกษาศาสตร์	5
2.1.3 ถิ่นกำเนิด การเพาะปลูก และสายพันธุ์ของมังคุด	6
2.1.4 คุณค่าทางโภชนาการของมังคุด	11
2.1.5 ประโยชน์ของมังคุด	12
2.1.6 สรรพคุณทางยา	13
2.1.7 การเก็บรักษา	13
2.2 การอบแห้ง	14
2.2.1 ความหมาย	14
2.2.2 กราฟการอบแห้ง	15
2.2.3 กราฟอัตราการอบแห้ง	16
2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง	17
2.2.5 ผลของการอบแห้งในด้านต่าง ๆ	18
2.3 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน	19
2.4 เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟ	20
2.4.1 การให้ความร้อนกับวัสดุ	21
2.4.2 แมกนีตรอน	23
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการทำโครงงาน	26
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	26
3.1.1 วัตถุดิบ	26
3.1.2 เครื่องมือ	26
3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ทางเคมี	26
3.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ทางกายภาพ	26
3.2 วิธีการทดลอง	27
3.2.1 ศึกษาลักษณะของมังคุดสดก่อนการอบแห้ง	27
3.2.2 ศึกษาผลของกระบวนการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	29
3.2.3 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง	31
บทที่ 4 ผลการทำโครงงานและการอภิปรายผล	32
4.1 ผลการศึกษาการอบแห้งมังคุดด้วยกระบวนการต่าง ๆ	32
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสี	37
4.3 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส	41
4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้	42
4.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส	44
4.6 การเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งมังคุด	44
บทที่ 5 สรุปผลการทำโครงงานและข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุปผลการทำโครงงาน	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวก	50
ภาคผนวก ก รูปเครื่องมือและผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง	51
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สมบัติอาหาร	58
ภาคผนวก ค ข้อมูลจากการทดลองเพิ่มเติม	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สารอาหารที่มีในน้ำมังคุด 100 มิลลิลิตร	11
3.1 เงื่อนไขค่าที่เปลี่ยนแปลงของปัจจัยในกระบวนการอบ	30
3.2 ปัจจัยของกระบวนการอบในแต่ละรอบการทดลอง	30
4.1 แสดงค่าการเลือกภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งมังคุด	45
ค.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของมังคุดสดก่อนการอบแห้ง	60
ค.2 แสดงผลการอบมังคุดกลีบเล็กด้วยไมโครเวฟ (MBH, S, 45 °C)	62
ค.3 แสดงผลการอบมังคุดกลีบเล็กด้วยเครื่องอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (MBH, S, 45 °C)	62
ค.4 แสดงผลการอบมังคุดกลีบใหญ่ด้วยไมโครเวฟ (MBH, L, 45 °C)	63
ค.5 แสดงผลการอบมังคุดกลีบใหญ่ด้วยเครื่องอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (MBH, L, 45 °C)	63
ค.6 แสดงผลการอบมังคุดกลีบเล็กด้วยไมโครเวฟ (MBH, S, 75 °C)	64
ค.7 แสดงผลการอบมังคุดกลีบเล็กด้วยเครื่องอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (MBH, S, 75 °C)	64
ค.8 แสดงผลการอบมังคุดกลีบใหญ่ด้วยไมโครเวฟ (MBH, L, 75 °C)	65
ค.9 แสดงผลการอบมังคุดกลีบใหญ่ด้วยเครื่องอบลมร้อน (MBH, L, 75 °C)	65
ค.10 แสดงผลการอบมังคุดกลีบเล็กด้วยเครื่องอบลมร้อน (HBM, S, 45 °C)	66
ค.11 แสดงผลการอบมังคุดกลีบเล็กด้วยไมโครเวฟ (HBM, S, 45 °C)	66
ค.12 แสดงผลการอบมังคุดกลีบใหญ่ด้วยเครื่องอบลมร้อน	
ค.13 แสดงผลการอบมังคุดกลีบใหญ่ด้วยไมโครเวฟ (HBM, L, 45 °C)	67
ค.14 แสดงผลการอบมังคุดกลีบเล็กด้วยเครื่องอบลมร้อน (HBM, S, 75 °C)	68
ค.15 แสดงผลการอบมังคุดกลีบเล็กด้วยไมโครเวฟ (HBM, S, 75 °C)	68
ค.16 แสดงผลการอบมังคุดกลีบใหญ่ด้วยเครื่องอบลมร้อน (HBM, L, 45 °C)	69
ค.17 แสดงผลการอบมังคุดกลีบใหญ่ด้วยไมโครเวฟ (HBM, L, 45 °C)	69
ค.18 แสดงผลการอบมังคุดกลีบเล็กด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว (Microwave)	70
ค.19 แสดงผลการอบมังคุดกลีบเล็กด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (Hot air dryer)	70
ค.20 ผลการศึกษาลักษณะทางเคมี	71
ค.21 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ	72
ค.22 ผลการตอบรับจากแบบสอบถาม	78

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 รูปมังคุด	4
2.2 แสดงระยะการเจริญเติบโตของดอกมังคุด	5
2.3 การแบ่งระยะของผลมังคุดตามระดับสีของเปลือกมังคุด	9
2.4 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการอบแห้ง	14
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาการอบแห้ง	15
2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับปริมาณความชื้นต่าง ๆ	17
2.7 องค์ประกอบเครื่องอบแห้งแบบลม	20
2.8 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน	20
2.9 เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟ	21
2.10 แสดงสเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	21
2.11 แสดงการตอบสนองของโมเลกุลน้ำเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ	22
2.12 แมกนีตรอน	23
2.13 โครงสร้างภายในของแมกนีตรอน	24
4.1 ผลของการอบไมโครเวฟของการอบแบบ MBH	33
4.2 ผลของการอบลมร้อนของการอบแบบ MBH	33
4.3 ผลของการอบลมร้อนของการอบแบบ HBM	35
4.4 ผลของการอบไมโครเวฟของการอบแบบ HBM	35
4.5 ผลการอบไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว	36
4.6 ผลการอบลมร้อนเพียงอย่างเดียว	36
4.7 ค่าสีของมังคุดสดก่อนการอบแห้ง	37
4.8 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแบบ MBH ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	38
4.9 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแบบ MBH ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส	38
4.10 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส	39
4.11 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส	40
4.12 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบลมร้อนและไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว	40
4.13 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความแน่นเนื้อของทุกกระบวนการอบ	42
4.14 ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของทุกกระบวนการอบ	43
4.15 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของทุกกระบวนการอบ	44
ที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส (MBH, L, 75 ^{o}C)	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก.12 ไมโครเวฟ Samsung รุ่น MW71B	55
ก.13 เครื่องวัดการละลายของแข็ง แบบปากกา EUTECH รุ่น PCSTeste35	56
ก.14 เครื่องปั่นน้ำผลไม้ Imarflex IF-315	56
ก.15 The Munsell Book of Color	57
ก.16 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร Texture Analyzer รุ่น TA.XT.plus	57
ค.1 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดสดกลีบเล็ก (size S)	61
ค.2 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดสดกลีบใหญ่ (size L)	61
ค.3 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบเล็กที่ผ่านกระบวนการอบแบบ MBH ที่อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส (MBH, S, 45 °C)	73
ค.4 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่ที่ผ่านกระบวนการอบแบบ MBH ที่อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส (MBH, L, 45 °C)	73
ค.5 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบเล็กที่ผ่านกระบวนการอบแบบ MBH ที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส (MBH, S, 75 °C)	74
ค.6 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่ที่ผ่านกระบวนการอบแบบ MBH ที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส (MBH, L, 75 °C)	74
ค.7 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบเล็กที่ผ่านกระบวนการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส (HBM, S, 45 °C)	75
ค.8 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่ที่ผ่านกระบวนการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส (HBM, L, 45 °C)	75
ค.9 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบเล็กที่ผ่านกระบวนการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส (HBM, S, 75 °C)	76
ค.10 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่ที่ผ่านกระบวนการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส (HBM, L, 75 °C)	76
ค.11 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบเล็ก ที่ผ่านกระบวนการอบไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว (Microwave)	77
ค.12 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบเล็กที่ผ่านกระบวนการอบลมร้อน เพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส (Hot air dryer)	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มังคุด มีชื่อภาษาอังกฤษ mangosteen มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Garcinia mangostana Linn.* (วิกิพีเดีย, 2011) และได้รับการกล่าวขานว่าเป็นราชินีแห่งผลไม้ เพราะรสชาติที่อร่อยหอมหวาน กลมกล่อม อุดมไปด้วยคุณประโยชน์มากมาย มังคุดเป็นผลไม้ที่เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและมีความชื้นสูง ผลมีลักษณะค่อนข้างกลม เปลือกหนาประมาณ 0.8 – 1.0 เซนติเมตร จะเริ่มเก็บเกี่ยวได้เมื่อผิวเปลือกมีสีเขียวสว่างออกเหลืองร่วมกับมีจุดสีชมพู เมื่อถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยวมังคุดจะถูกบ่มให้สุกโดยธรรมชาติ หลังจากนั้นเปลือกของมังคุดจะเริ่มมีสีแดงอมม่วง ทันทีที่มังคุดมีสีม่วงเข้มจึงจะพร้อมขาย และสีของมังคุดจะเปลี่ยนเมื่อมีการเก็บจากต้นแล้วเท่านั้น มังคุดเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคกันแพร่หลายทั้งภายในและนอกประเทศ มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอินโดนีเซีย สามารถเจริญเติบโตได้ดีในแถบประเทศมาเลเซีย พม่า เขมร เวียดนามและหมู่เกาะซุนดารวมทั้งประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อนและอุดมสมบูรณ์ไปด้วยผลไม้นานาชนิดตลอดทั้งปี อีกทั้งยังเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของโลก อันเนื่องมาจากความหลากหลายของภูมิอากาศและภูมิประเทศในแต่ละภาคจึงทำให้ประเทศไทยมีผลไม้โดดเด่นขึ้นชื่อจากทุกภูมิภาค มังคุดเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่จัดได้มีศักยภาพในการส่งออกสูงทั้งในรูปผลสดและแช่แข็ง จากข้อมูลของศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรและกรมการค้าภายในพบว่าในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (2547-2551) ราคาส่งออกเอฟ.โอ.บี ของทั้งมังคุดผลสดและมังคุดแช่แข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 0.41 ต่อปี โดยการส่งออกมังคุดสดและผลิตภัณฑ์ในปี พ.ศ. 2552 เพิ่มขึ้นร้อยละ 15 หรือปริมาณ 53,000 ตัน โดยแยกเป็นมังคุดสด 50,000 ตัน มังคุดแช่แข็ง 3,000 ตัน จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นมังคุดมีความต้องการในการบริโภคเพิ่มขึ้นทั้งในประเทศและต่างประเทศ สร้างรายได้เข้าประเทศปีละหลายสิบล้านบาท จึงอาจกล่าวได้ว่ามังคุดเป็นไม้ผลที่สร้างรายได้และมีศักยภาพสูงในเชิงเศรษฐกิจของประเทศไทย (Phatchara et al., 2011, หทัยวรรณ์, 2553 และหนังสือพิมพ์ไทยรัฐ, 2553)

นอกจากมังคุดจะเป็นผลไม้ส่งออกที่สำคัญของประเทศแล้ว มังคุดยังมีสรรพคุณอีกมากมาย ในสมัยโบราณคนไทยจะนำมังคุดมาแปรรูปเป็นยาสมุนไพรเพื่อรักษาโรค ไม่ว่าจะเป็นเปลือกมังคุดใช้ฝนกับน้ำปูนใสเพื่อทาแผลให้หายเร็วขึ้น และช่วยรักษาโรคน้ำกัดเท้า หรือถ้านำไปต้มก็สามารถดื่มแก้อาการท้องร่วง ขณะที่เนื้อมังคุดมีกากใยช่วยเรื่องขับถ่าย โดยผลจากการศึกษาของศูนย์วิจัยและพัฒนามังคุดไทย ได้ทำการวิจัยเรื่อคุณประโยชน์ของมังคุดนานกว่า 3 ทศวรรษได้พบว่า มังคุดเป็นผลไม้ที่มีประโยชน์สูงมากในเชิงสุขภาพโดยสามารถปรับระดับภูมิคุ้มกันให้สมดุล ด้วยการลดการหลั่ง *Interleukin I* และ *Tumor Necrosis Factor* ซึ่งตามหลักวิชาของศาสตร์ภูมิคุ้มกัน จะช่วยลดอาการที่เกี่ยวกับการแพ้ภูมิตนเอง และการอักเสบที่พบในผู้ป่วยโรคเบาหวาน ตับเสื่อม ไตวาย ข้อเข่าอักเสบ ความดันโลหิต โรคพาร์กินสัน ไทรอยด์เป็นพิษ และความผิดปกติของสมอง ขณะเดียวกัน

มังคุดก็สามารถเพิ่มการหลั่งสาร *Interleukin II* ของเม็ดเลือดขาวช่วยให้ร่างกายสามารถต่อต้านสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย เช่น ไวรัส เชื้อรา แบคทีเรีย หรือ เซลล์มะเร็ง ด้วยเหตุดังกล่าว มังคุดจึงถูกนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภททั้งมังคุดอบแห้ง น้ำมังคุด ไวน์มังคุด อาหารเสริมจากมังคุด ยาสระผมมังคุด ครีมนวดผม สบู่ โลชั่น เป็นต้น

สำหรับพื้นที่ 5 จังหวัดของภาคใต้ คือ นครศรีธรรมราช ตรัง พัทลุง สงขลา และสตูล จัดว่าเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกมังคุดเพื่อการส่งออก เพราะมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นมีฝนตกชุกส่งผลให้พื้นที่ปลูกรวมใน 5 จังหวัดดังกล่าวมีประมาณ 100,000 ไร่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจังหวัดนครศรีธรรมราชซึ่งมีพื้นที่ปลูกมากที่สุด ได้มีนโยบายขยายการเป็นศูนย์รวบรวมผลผลิตมังคุดเพื่อการส่งออกเนื่องจากได้รับงบประมาณ จากจังหวัดในปี 2548 เพื่อเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับก่อสร้างโรงเรือน จัดซื้ออุปกรณ์ต่างๆ ในการจัดทำโครงการการพัฒนาการผลิตมังคุดเพื่อการส่งออกรวมทั้ง เพื่อเสริมสร้างศักยภาพการแข่งขัน โดยมีเป้าการเพิ่มปริมาณมังคุดที่มีคุณภาพเหมาะต่อการส่งออกให้มากขึ้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20 ของผลผลิตรวม (ข่าวสั้นทั่วไทย, 2550)

อย่างไรก็ตาม ในในช่วงฤดูกาลผลไม้ออกสู่ตลาดในระหว่างเดือนพฤษภาคม - สิงหาคมของทุกปี เกษตรกรจะประสบกับปัญหาผลไม้ในฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีปริมาณมากจนเกิดภาวะล้นตลาดโดยเฉพาะผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น ลำไย และมังคุด เป็นต้น ถึงแม้จะมีการจำหน่ายในรูปของผลผลิตสดทั้งภายในและนอกประเทศก็ตาม ก็ยังไม่สามารถระบายผลผลิตออกสู่ตลาดได้หมด โดยเฉพาะในฤดูผลผลิตปี 2550 ราคามังคุดตกต่ำจนเกษตรกรไม่สามารถจะจ้างแรงงานเก็บผลผลิตออกมาจำหน่ายได้ ราคาจำหน่ายในสวนอยู่ระหว่าง 1-5 บาท ต่อกิโลกรัม ดังนั้นเกษตรกรจำต้องปล่อยให้ร่วงหล่นอยู่โคนต้นอย่างน่าเสียดาย ทำให้เกษตรกรประสบภาวะขาดทุน ได้รับความเดือดร้อนไม่ว่าจะเป็นเกษตรกรทางภาคตะวันออกและภาคใต้

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ถ้าหากสามารถแปรรูปมังคุดได้ในรูปแบบหลากหลายมากกว่าปัจจุบัน เช่น ไวน์มังคุด มังคุดกวน (ซึ่งมีผู้บริโภคไม่มากนัก) ก็จะเป็นหนทางหนึ่งในการช่วยเหลือเกษตรกร การแปรรูปผลผลิตโดยเฉพาะการอบแห้ง ถือเป็นหนึ่งในกระบวนการที่มีศักยภาพสูงในการแก้ปัญหาราคาผลผลิตตกต่ำ เนื่องจากผลิตภัณฑ์อบแห้งสามารถเก็บไว้จำหน่ายได้ทุกฤดูกาล เป็นการช่วยพยุงราคาผลผลิตและทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปมังคุดเป็นมังคุดอบแห้งด้วยวิธี Freeze-Dry แต่มังคุด Freeze-Dry มีราคาสูง เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูง เพราะใช้เครื่องมือที่มีเทคโนโลยีสูง ไม่สามารถเผยแพร่สู่กลุ่มเกษตรกรได้อย่างแพร่หลายและตลาดค่อนข้างแคบ ต่อมากรมวิชาการเกษตรศึกษาเทคโนโลยีการอบแห้งมังคุดด้วยลมร้อน แบบใช้อุณหภูมิในการอบ 2 ช่วง คือช่วงแรกใช้อุณหภูมิสูง เนื่องจากเนื้อมังคุดมีความชื้นสูง และใช้อุณหภูมิต่ำลง

ในช่วงที่สอง พบว่าได้ผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งคุณภาพเป็นที่น่าพอใจ แต่ต้องใช้เวลานานถึง 10 ชั่วโมงในการอบ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการทำมังคุดอบแห้ง ด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งที่ถูกสุขลักษณะ มีอายุการเก็บรักษานาน ซึ่งจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยประหยัดเวลาและพลังงานในการอบ เพิ่มมูลค่าและเพิ่มช่องทางการจำหน่ายและส่งออกของมังคุดที่มีอยู่ในท้องถิ่น อีกทั้งยังสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ภาคประชาชนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในกลุ่มชุมชนของตนเอง สอดคล้องกับปรัชญาการวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่นแบบยั่งยืนและเศรษฐกิจแบบพึ่งตนเองของประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาทดลองทำมังคุดอบแห้ง ด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อเป็นต้นแบบและเป็นข้อมูลในการเลือกแนวทางใหม่ของการทำผลิตภัณฑ์จากมังคุดให้แก่ชุมชนเกษตรกรผู้ปลูกมังคุดชุมชนลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช และเกษตรกรทั่วไป

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ศึกษาคุณลักษณะทางด้านกายภาพของเนื้อมังคุดก่อนการอบ

1.3.2 ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบต่างๆที่มีต่อประสิทธิภาพการอบแห้ง ได้แก่ การใช้ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแบบให้ความร้อนในช่วงต้น, การใช้ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแบบให้ความร้อนช่วงท้าย

1.3.3 ศึกษาผลของอุณหภูมิและพื้นที่ผิวที่มีต่อคุณภาพด้านสี เนื้อสัมผัส การสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง

1.3.4 ศึกษาผลตอบการรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบคุณลักษณะทางด้านกายภาพของเนื้อมังคุดก่อนการอบ

1.4.2 ทราบอิทธิพลของกระบวนการอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบต่างๆที่มีต่อประสิทธิภาพการอบแห้ง ได้แก่ การใช้ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแบบให้ความร้อนในช่วงต้น, การใช้ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแบบให้ความร้อนช่วงท้าย

1.4.3 ทราบผลของอุณหภูมิและพื้นที่ผิวที่มีต่อคุณภาพด้านสี เนื้อสัมผัส การสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง

1.4.4 ทราบผลตอบการรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง

1.4.5 เพื่อเป็นต้นแบบและเป็นข้อมูลในการเลือกแนวทางใหม่ของการทำผลิตภัณฑ์จากมังคุด

1.4.6 ลดปัญหาการเก็บรักษา และการขนส่ง และเพิ่มโอกาสและความเป็นไปได้ในการขยายตลาดของผลิตภัณฑ์จากพืชท้องถิ่นมังคุด

1.4.7 สามารถนำความรู้ไปเผยแพร่/ถ่ายทอดให้แก่ชุมชนเกษตรกร ผู้ปลูกมังคุดและผู้สนใจ

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 มังคุด

2.1.1 ความสำคัญของมังคุด

มังคุดมีได้รับการขนานนามว่า “ราชินีแห่งผลไม้ : the queen of fruits” มีฉายาในแถบ French Caribian ว่า “อาหารของพระเจ้า : the food of Gods” คนไทยรู้จักมังคุดเป็นอย่างดี รู้ว่ามังคุดเป็นยาเย็น หรือตามการแพทย์จีนเรียกว่า มีฤทธิ์เย็น “หยิน” หลังจากกินทุเรียนที่มีรสร้อน หรือมีฤทธิ์เป็น “หยาง” แล้วต้องกินมังคุดตามเพื่อให้ร่างกายเกิดความสมดุล ที่สำคัญมังคุดเป็นผลไม้ที่อร่อย มีรสหวานอมเปรี้ยว กลิ่นหอม สีม่วงอมดำ ดังรูปที่ 2.1 โดยเฉพาะมังคุดของประเทศไทยที่มีรสชาติดีกว่า หวานกว่า เนื้อมาก เมล็ดน้อย และเปลือกบาง ดังนั้นมังคุดจึงเป็นสินค้าส่งออกของประเทศไทยอย่างดีมาก ซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างยิ่ง (สายชล, 2552)

รูปที่ 2.1 รูปมังคุด (ที่มา: นวพันธุ์ฟาร์ม, 2555)

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษาศาสตร์

ชื่อทางวิทยาศาสตร์	*Garcinia Mangostana Linn.*
ชื่อวงศ์	*Guttiferae*
ชื่ออังกฤษ	Mangosteen

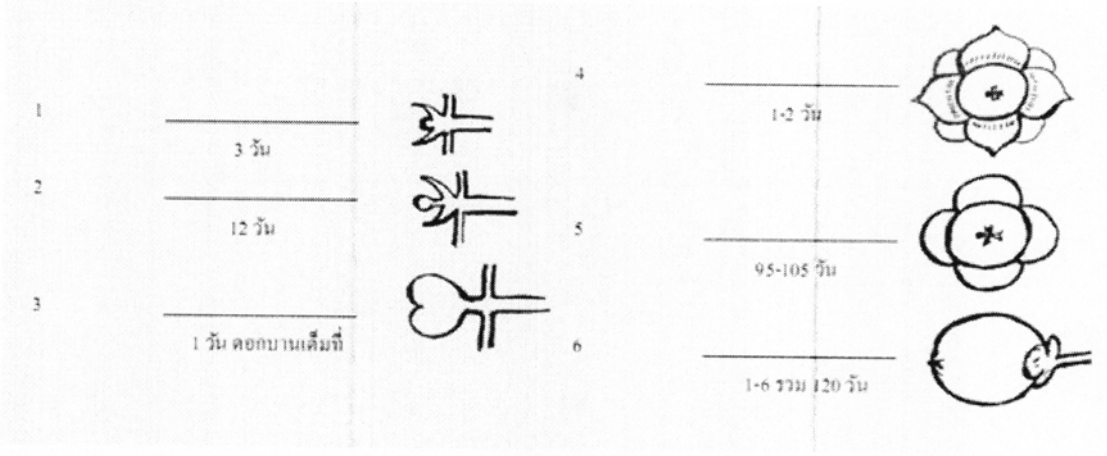
มังคุดเป็นไม้ยืนต้น ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

2.1.2.1 รากแก้ว มีจำนวนรากแขนงไม่มากและที่บริเวณปลายรากมีขนรากน้อย

2.1.2.2 ลำต้นตรง เปลือกภายนอกมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ ภายในเปลือกประกอบไปด้วยท่อน้ำยางมีลักษณะสีเหลือง

2.1.2.3 ใบมีลักษณะยาว มีความยาวประมาณ 9-25 เซนติเมตร กว้างประมาณ 4.5-10 เซนติเมตร ด้านบนมีลักษณะเป็นมันสีเขียวเข้ม ส่วนด้านล่างสีเขียวปนเหลือง แผ่นใบโค้งเล็กน้อย มีตาข้างอยู่บริเวณซอกใบ และมีตายอดอยู่บริเวณซอกใบคู่สุดท้าย

2.1.2.4 ดอกเป็นแบบเดี่ยวและแบบกลุ่มเป็นส่วนน้อย ซึ่งดอกจะปรากฏที่บริเวณปลายยอดของกิ่งแขนง ที่มีช่อดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกันดอกจัดเป็นดอกสมบูรณ์เพศ แต่เกสรตัวผู้จะเป็นหมัน ดอกมังคุดประกอบด้วยกลีบเลี้ยง 4 กลีบ มีกลีบดอกค่อนข้างหนา 4 กลีบ ดอก เกสรอยู่ที่ฐานรอบ ๆ รังไข่ (ศูนย์วิจัยพืชยืนต้นและไม้ผลเมืองร้อน, 2555) โดยต้นมังคุดจะใช้ระยะเวลาการเจริญเติบโตจากดอกเป็นผลจะใช้ระยะเวลาประมาณ 120 วัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงระยะการเจริญเติบโตของดอกมังคุด (ที่มา: หทัยวรรณ์, 2553)

2.1.2.5 ผลเป็นแบบเบอรี่ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.4-7.5 เซนติเมตร มีเปลือกหนา 6-10 เซนติเมตร เนื้อสีขาวขุ่น ลักษณะของผลอ่อน เปลือกนอกจะมีสีเขียวปนเหลือง มียางสีเหลืองอยู่ภายใน ในหนึ่งผลจะมีเมล็ดอยู่ประมาณ 1-6 เมล็ด มีความยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร และกว้างประมาณ 1.6 เซนติเมตร (ศูนย์วิจัยพืชยืนต้นและไม้ผลเมืองร้อน, 2555)

2.1.3 ถิ่นกำเนิด การพาะปลูก และสายพันธุ์ของมังคุด

2.1.3.1 ถิ่นกำเนิดของมังคุดมีอยู่ที่หมู่เกาะซุนดาและหมู่เกาะโมลุกกะ แพร่กระจายพันธุ์ไปสู่หมู่เกาะอินดีสตะวันตกเมื่อราวพุทธศตวรรษที่ 24 แล้วจึงไปสู่ กัวเตมาลา ฮอนดูรัสปานามา เอกวาดอร์ ไปจนถึงฮาวาย ในประเทศไทยมีการปลูกมังคุดมานานแล้วเช่นกัน เพราะมีกล่าวถึงในพระราชนิพนธ์เรื่องรามเกียรติ์ในสมัยรัชกาลที่ 1 (วิกิพีเดีย, 2011)

2.1.3.2 แหล่งเพาะปลูกที่สำคัญในประเทศไทยมี 3 แหล่งใหญ่ ๆ คือ ภาคตะวันออก ได่แก่ จันทบุรี ระยอง ตราด ปราจีนบุรี ภาคใต้ ตั้งต่จังหวัดชุมพรลงไป และภาคกลาง ได้แก่ นนทบุรี (สายชล, 2552)

2.1.3.3 สายพันธุ์ในปัจจุบันเชื่อว่ามังคุดมีพันธุ์เดียวเรียกว่า พันธุ์พื้นเมือง มังคุดเป็นพืชที่ปลูกด้วยเมล็ดและเมล็ดของมังคุดไม่ได้เกิดจากการผสมเกสร เนื่องจากพบเฉพาะดอกเพศเมียและส่วนของตัวผู้ในดอกเป็นหมัน จึงจัดว่ามังคุดเป็นผลไม้พรหมจรรย์ (Parthenogenesis) และแทบจะไม่มีโอกาสกลายพันธุ์ แม้จะพบว่ามังคุดสายพันธุ์จากจังหวัดนนทบุรีมีผลเล็กและเปลือกบาง มังคุดจากภาคใต้เปลือกหนา มังคุดของฟิลิปปินส์ก้นแหลม หรือแม้แต่มังคุดใบด่างที่พบในสวนเอกชนใกล้ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี ประเทศไทยยังมีมังคุดอายุกว่าร้อยปีอยู่มากมาย จึงตั้งข้อสังเกตได้ว่ามีความเป็นไปได้หรือไม่ที่มังคุดจะกลายพันธุ์เป็นพันธุ์ใหม่ แต่ยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบให้เห็นชัดเจนพอที่จะแยกเป็นพันธุ์ได้ชัดเจน โดยปกติมังคุดเป็นผลไม้ที่มีดอกแบบสมบูรณ์เพศ แต่เพศผู้ไม่ทำงาน จึงเรียกดอกมังคุดชนิดนี้ว่า ดอกมังคุดเพศเมีย แต่รายงานของไอดิสและรุกายาได้ตีพิมพ์ลงวารสารวิจัยของสถาบันวิจัยการเกษตรของมาเลเซียเมื่อปี พ.ศ. 2530 บรรยายไว้ว่าใน ปี พ.ศ. 2475 ได้พบลักษณะของต้นและดอกมังคุดตัวผู้ในป่าอินโดจีนไว้อย่างละเอียดจากนั้นก็ไม่เคยมีใครพบอีกเลย จนกระทั่งทั้งสองมาพบมังคุดตัวผู้ที่ข้างหมู่บ้านอูลุกันดอร์ อำเภอลิงกิเซ็มบิลัน ในประเทศมาเลเซีย อธิบายว่าเป็นต้นมังคุดอายุประมาณ 70 ปี สูงประมาณ 25 เมตร ลักษณะคล้ายดอกมังคุดเพศเมียเกือบทุกอย่าง ยกเว้น ดอกเล็กกว่าและคว่ำตัวช่อนลงอยู่ใต้ใบ ก้านชูอับละอองเรณูสั้นมากเพียง 0.5 มิลลิเมตร อับเรณูที่ติดอยู่ด้านบนของก้านชูอับเรณูยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร ยอดเกสรเพศเมียไร้ก้าน ขนาดประมาณ 5 มิลลิเมตร ไม่มีแฉกดอกแห้งแล้วร่วงหล่นภายใน 2-3 วัน จึงไม่มีผลติดเพราะดอกทำหน้าที่เพศผู้ (หทัยวรรณ์, 2553)

2.1.3.4 การขยายพันธุ์ สามารถขยายพันธ์ได้หลายวิธี เช่น การเพาะเมล็ด เสียบยอด และทาบกิ่ง แต่วิธีที่นิยมปฏิบัติกันอยู่ คือ การเพาะเมล็ดโดยตรง เพราะสามารถทำได้สะดวกรวดเร็ว ต้นมังคุดที่ได้ไม่กลายพันธุ์ แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้เวลาประมาณ 7-8 ปีกว่าจะให้ผลผลิต ถ้ามีการบำรุงรักษาเป็นอย่างดีก็อาจเร็วกว่านี้ได้เล็กน้อย ส่วนการขยายพันธุ์ด้วยวิธีเสียบยอดหรือทาบกิ่งที่นำพันธุ์ดีจากต้นที่เคยให้ผลมาเป็นวิธีที่ช่วยให้มังคุดให้ผลผลิตได้เร็วขึ้น (ปุ่ยบัวทิพย์, 2555)

1) การเพาะเมล็ด เมล็ดมังคุดที่นำมาเพาะควรได้จากผลมังคุดที่แก่จัดและเป็นผลที่ยังสดอยู่เพราะจะงอกได้ดีกว่า เลือกเมล็ดที่มีขนาดใหญ่ล้างเนื้อและเส้นใยออกให้สะอาดแล้วรีบนำไปเพาะแต่ถ้าไม่สามารถเพาะได้ทันที ให้ผึ่งเมล็ดที่ทำความสะอาดแล้วให้แห้ง เก็บเมล็ดไว้ในถุงพลาสติก แช่ตู้เย็นจะเก็บไว้ได้นานขึ้น การเพาะเมล็ดสามารถเพาะลงในถุงพลาสติกได้โดยตรง แต่ถ้าทำในปริมาณมาก ๆ ก็ควรเพาะในแปลงเพาะชำหรือกระบะเพาะชำ สำหรับวัสดุเพาะชำจะใช้ขี้เถ้าแกลบล้วน ๆ ขี้เถ้าแกลบผสมทรายหรือดินร่วนผสมทรายก็ได้ แปลงเพาะชำต้องมีวัสดุพรางแสง และรดน้ำให้วัสดุเพาะมีความชื้นอยู่เสมอ หลังจากเพาะจะใช้เวลาประมาณ 15-20 วัน เมล็ดจึงเริ่มงอก จากนั้นก็คัดเลือกต้นกล้าที่มีความสมบูรณ์ย้ายจากแปลงเพาะไปปลูกในถุงบรรจุดินผสมปุ๋ยคอก ใช้ถุงขนาด 4-5 นิ้ว การย้ายควรทำในช่วงที่ต้นกล้ามีอายุไม่เกิน 1 เดือน เพราะระบบรากยังไม่แผ่กระจาย ต้นกล้าจะไม่กระทบกระเทือนมาก แต่ต้องระวังลำต้นหักเพราะยังอ่อนอยู่ต้องมีการพรางแสงและให้น้ำกับต้นกล้าเช่นเคย เมื่อต้นโตขึ้นก็เปลี่ยนถุงที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การเปลี่ยนถุงต้องระมัดระวังอย่าให้กระทบกระเทือนระบบรากเดิม ควรเปลี่ยนถุงบ่อย ๆ ประมาณ 5-6 เดือนต่อครั้ง เพราะจะทำให้มังคุดมการเจริญเติบโตดีขึ้น และไม่มีปัญหาเรื่องรากขดงอก้นถุง เมื่อมังคุดมีอายุประมาณ 2 ปี มีความสูงราว 30-35 เซนติเมตร มียอด 1-2 ฉัตร ก็พร้อมที่จะปลูกในแปลงได้ (ปุ่ยบัวทิพย์, 2555)

2) การเสียบยอด ต้นตอที่ใช้ในการเสียบยอด นอกจากจะใช้ต้นตอจากการเพาะเมล็ดมังคุดแล้ว อาจจะใช้ต้นตอจากพืชชนิดอื่นที่อยู่ในตระกูลเดียวกัน เช่น มะม่วง มะพูดป่า พะวา รง ซึ่งใช้ได้เช่นกัน ต้นตอที่เหมาะสม ควรมีอายุประมาณ 2 ปี หรือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นประมาณ 1-1.5 เซนติเมตร ยอดพันธุ์ดีต้องเป็นยอดจากต้นที่สมบูรณ์ให้ผลผลิตมาแล้วและควรเป็นยอดจากกิ่งที่ชี้ตั้งชัน เพื่อให้ได้ต้นมังคุดที่มทรงต้นตรงสวยงาม รวมทั้งจะต้องเป็นยอดที่มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของต้นตอ (ปุ้ยบัวทิพย์, 2555)

2.1.3.5 สภาพดินฟ้าอากาศ มังคุดเจริญเติบโตได้ในดินเกือบทุกชนิด แต่ดินที่เหมาะสมควรเป็นดินเหนียวปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงสามารถอุ้มน้ำและระบายน้ำได้ดี มีความเป็นกรดอ่อน ๆ คือ มีค่าความเป็นกรดด่างของดิน (ค่า pH) ประมาณ 5-6 ส่วนดินที่มีสภาพเป็นด่าง มังคุดจะเริ่มเจริญเติบโตได้ช้า พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกมังคุดควรมีสภาพภูมิอากาศร้อนชุ่มชื้น คือ มีอุณหภูมิสม่ำเสมออยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส เกือบตลอดทั้งปี มีฝนตกชุกสม่ำเสมอ ปริมาณน้ำผลไม่น้อยกว่า 1,300 มิลลิเมตรต่อปี และที่สำคัญต้องเป็นพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำเพียงพอที่จะให้กับต้นมังคุดได้ในฤดูแล้ง การนำมังคุดไปปลูกในสภาพอากาศแห้งแล้งและมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปจะพบปัญหาเรื่องใบไหม้ และการเจริญเติบโตช้า (ปุ้ยบัวทัพย์, 2555)

2.1.3.6 การเตรียมพื้นที่ การปลูกมังคุดก็เช่นเดียวกับการปลูกผลไม้ยืนต้นทั่ว ๆ ไป คือ ควรปลูกในตอนต้นฤดูฝน เพราะไม่ต้องคอยดูแลเรื่องการรดน้ำมากนัก และทำให้ต้นมังคุดตั้งตัวและเจริญเติบโตในระยะแรกได้เร็วขึ้น ดังนั้น จึงควรเตรียมพื้นที่ปลูกไว้ตั้งแต่แอ่งที่มีลุ่มน้ำขัง มีเนินหรือจอมปลวก มีตอไม้อยู่ในพื้นที่ ต้องไถบุกเบิก กำจัดตอไม้ออกให้หมด ปรับสภาพพื้นที่ให้เรียบ แต่ถ้าเป็นพื้นที่ราบอยู่แล้ว แค่ไถพรวนกำจัดวัชพืชอย่างเดียวก็เพียงพอ หากต้องการสร้างสวนที่มีขนาดใหญ่ ควรจัดแบ่งพื้นที่เป็นแปลงย่อย เว้นพื้นที่ขอบแปลงเป็นถนน เพื่อประโยชน์ในการขนย้ายวัสดุต่าง ๆ ภายในสวนและขนย้ายผลผลิตออกจากสวน (ปุ้ยบัวทิพย์, 2555)

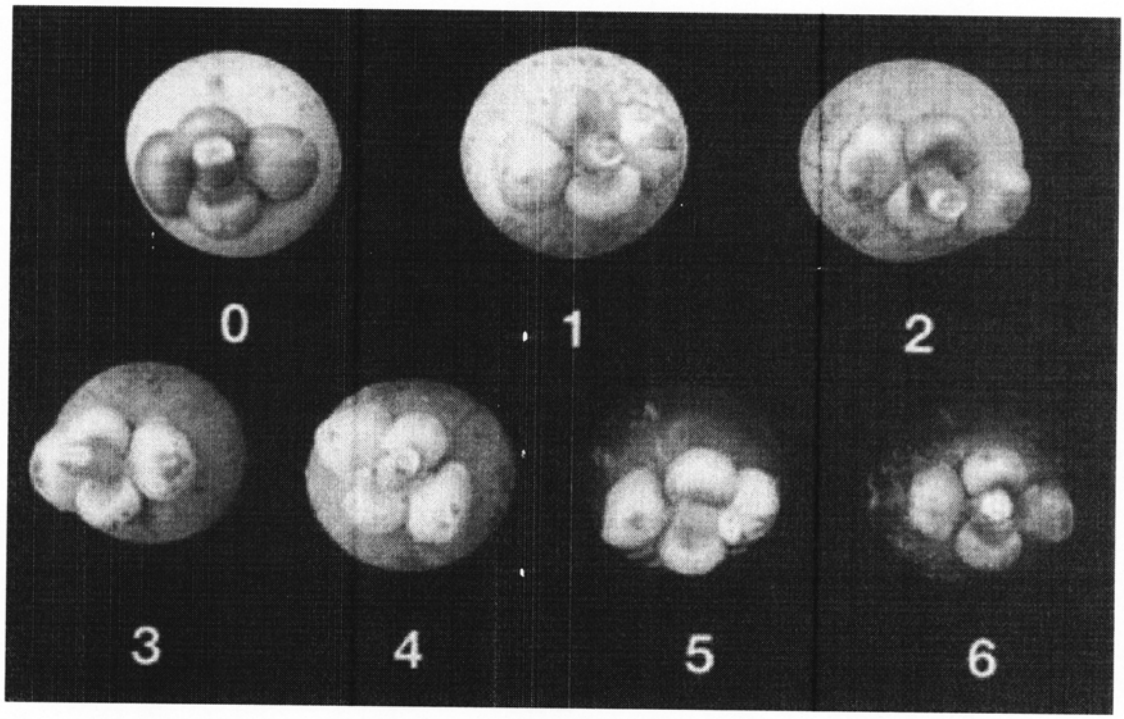
2.1.3.7 การปลูก ต้นกล้าที่นำมาปลูก ควรมีความอุดมสมบูรณ์ โดยใบคู่สุดท้ายควรจะเป็นใบที่แก่เต็มที่แล้วและควรเป็นต้นกล้าที่มีอายุประมาณไม่เกิน 2 ปี มีระบบรากแผ่กระจายดี ไม่ขดม้วนงออยู่ก้นถุง ก่อนปลูกควรตัดใบให้เหลือครั้งใบทุกใบ เพื่อลดการคายน้ำ นำต้นกล้าไปปลูกตรงกลางหลุม ปลูกให้ลึกเท่ากับระดับดินเดิม แล้วพูนดินบริเวณโคนต้นให้เป็นเนินสูงขึ้นมาเล็กน้อย ใช้ไม้ปักเป็นหลักผูกยึดต้นมังคุดไว้กับหลักเพื่อป้องกันลมพัดโยก หลังจากนั้นต้องรดน้ำตามทันทีเพื่อช่วยให้เม็ดดินกระชับราก การปล่อยให้ต้นไม้ที่ยังไม่ตั้งตัว ถูกลมพัดโยกไปมา โดยไม่มีหลักยึดจะทำให้ระบบรากไม่เจริญและต้นมังคุดจะชะงักการเจริญเติบโตมีเปอร์เซ็นต์การตายสูง นอกจากนี้แล้วต้นมังคุดที่เพิ่งปลูกจะไม่ทนต่อแสงแดดและความร้อนสูงต้องใช้ทางมะพร้าวหรือจากช่วยพรางแสงแดดให้กับต้นมังคุด จนกว่าจะมีขนาดโตพอประมาณและตั้งตัวได้แล้วจึงค่อยปลดออกซึ่งจะกินระยะเวลาประมาณ 2 ปี (ปุ้ยบัวทิพย์, 2555)

2.1.3.8 การให้น้ำ ระบบการให้น้ำที่เหมาะสม ใช้ระบบการให้น้ำแบบหัวเหวี่ยงเล็ก ความต้องการน้ำของมังคุดต้นเล็ก ประมาณ 0.6 เท่าของค่าอัตราการระเหยน้ำ (มิลลิมาตร/วัน) คูณด้วยพื้นที่ใต้ทรงพุ่ม เช่น ในภาคตะวันออก เมื่ออัตราการระเหยน้ำวันละ 3.8-5.7 มิลลิมาตร มีพื้นที่ใต้ทรงพุ่ม 1 เมตร เท่ากับการให้น้ำ 2.3-3.4 ลิตร/ต้น/วัน (ศูนย์วิจัยพืชยืนต้นและไม้ผลเมืองร้อน, 2011) เพราะฉะนั้นต้นมังคุดปลูกใหม่ในระยะแรก จึงขาดน้ำไม่ได้ ต้องคอยดูแลรดน้ำให้ดินมีความชื้น

อยู่เสมอหากฝนไม่ตก หลังจากนั้นเมื่อต้นมังคุดตั้งตัวได้ดีแล้ว อาจเว้นระยะห่างออกไปบ้าง ปริมาณและความถี่ของการให้น้ำขึ้นอยู่กับสภาพความชื้นของดินและเมื่อฤดูแล้งควรหาวัสดุ เช่น หญ้าแห้ง ฟางแห้ง คลุมบริเวณโคนต้น เพื่อรักษาความชื้นให้กับดิน (ปุ่ยบัวทิพย์, 2555)

สำหรับมังคุดที่โตแล้วและให้ผลผลิตได้แล้ว ยังจำเป็นต้องดูแลเรื่องการให้น้ำอย่างสม่ำเมอ แต่ในช่วงปลายฤดูฝนเข้าฤดูหนาวฝนจะตกน้อยลงต้องดูแลเป็นพิเศษ (ประมาณเดือนพฤศจิกายน ในภาคตะวันออกและเดือนมกราคมในภาคใต้) เพราะช่วงนี้มังคุดต้องการสภาพแห้งแล้งเพื่อพักตัวและสะสมอาหารเตรียมออกดอก ให้กำจัดวัชพืชและทำความสะอาดบริเวณโคนต้นเพื่อช่วยให้ดินแห้งเร็วขึ้น ควบคุมการให้น้ำโดยให้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่ต้องระยะหนึ่งมังคุดจะเริ่มทะยอยออกดอกและติดผลในเวลาต่อมาตลอดช่วงการเจริญของผลมังคุดต้องดูแลให้น้ำอย่างสม่ำเสมออาจจะให้วันเว้นวันหนือวันเว้นสองวัน (ปุ่ยบัวทิพย์, 2555)

2.1.3.9 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว โดยทั่วไปมังคุดเริ่มออกดอกเมื่อปลูกไปได้ประมาณ 7-8 ปีและได้ผลผลิตเต็มที่เมื่อมีอายุประมาณ 12 ปีขึ้นไป หลังจากมังคุดเริ่มติดผลประมาณ 11-12 สัปดาห์ก็สามารถทยอยเก็บเกี่ยวผลได้ เนื่องจากมังคุดมีการออกดอกไม่พร้อมกันจึงทำให้การสุกของผลเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน ในการเก็บเกี่ยวจึงต้องทยอยเก็บเป็นช่วง ๆ โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวทั้งสิ้นราว 4 สัปดาห์ ในการเก็บเกี่ยวผลมังคุดนั้นจะดูการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวใช้เวลาประมาณ 7 วัน โดยในแต่ละวันสีของเปลือกมังคุดจะเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีม่วงดำ การแบ่งระยะของผลมังคุดตามระดับสีของเปลือกผลมังคุดสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ระยะ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การแบ่งระยะของผลมังคุดตามระดับสีของเปลือกมังคุด (ที่มา: หทัยวรรณ์, 2553)

ระยะที่ 0 ผลสีขาวอมเหลืองสม่ำเสมอ หรือมีสีขาวอมเหลืองแต้มด้วยสีเขียวอ่อนหรือจุดสีเทา มียางสีเหลืองภายในเปลือกในระดับรุนแรงมาก เนื้อและเปลือกไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ไม่ควรเก็บเกี่ยวเพาะคุณภาพด้อยมาก ซึ่งผลที่เก็บเกี่ยวได้ในระยะนี้ถึงแม้จะเปลี่ยนสีไปเป็นระดับ 6 ก็ตามแต่ผลมังคุดที่ได้มีรสชาติไม่ดี

ระยะที่ 1 ระยะที่ผลมังคุดมีสายเลือด มีสีเหลืองอมเขียว มีจุดสีชมพูกระจายอยู่ในบางส่วนของผล ยางภายในเปลือกยังคงมีอยู่ในปริมาณมาก เนื้อและเปลือกยังไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ผลที่เก็บเกี่ยวในระยะนี้ถึงแม้ว่าจะเปลี่ยนสีเป็นระดับ 6 ได้ก็ตาม แต่ผลที่ได้จะมีรสชาติไม่ดี ผลที่ได้ระยะนี้จึงเหมาะต่อการขนส่งไปจำหน่ายยังตลาดต่างประเทศมากที่สุด หรือสามารถบริโภคได้ภายใน 4 วันหลังการเก็บเกี่ยว

ระยะที่ 2 ระยะที่ผลมสีน้ำตาลแดงเรื่อ ๆ เกือบทั้งผลหรือมีสีเหลืองอ่อนอมชมพู มีจุดประสีชมพูกระจายทั่วผล ยางภายในเปลือกอยู่ในระดับปานกลาง เนื้อและเปลือกแยกออกจากกันได้ยาก เป็นระยะอ่อนที่สุดสำหรับการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ผลที่มีคุณภาพดี จึงไม่ควรปล่อยให้ผลติดกับต้นเกินวัยที่มากกว่านี้

ระยะที่ 3 ระยะที่ผลมีสีชมพูสม่ำเสมอ ประสีชมพูเริ่มขยายเข้ามารวมกัน ไม่แบ่งแยกกันดังเช่นระดับสีที่ 2 ยางภายในเปลือกยังคงมีอยู่น้อยมาก การแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกแยกจากกันได้ปานกลาง เป็นระยะที่เหมาะสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อส่งออกต่างประเทศ

ระยะที่ 4 ระยะที่ผลมังคุดมีสีแดงหรือน้ำตาลอมแดง บางครั้งมีแต้มสีม่วง ยางภายในเปลือกมีน้อยหรือไม่มีเลย การแยกตัวระหว่างเนื้อและเปลือกทำได้ง่ายเป็นระยะเกือบรับประทานได้ เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อส่งออกต่างประเทศ

ระยะที่ 5 ระยะที่ผลมังคุดมีสีม่วงอมแดง ภายในเปลือกไม่มียางเหลือง เนื้อและเปลือกแยกออกจากกันได้ง่าย ไม่ทนต่อแรงกด เป็นระยะที่เริ่มรับประทานได้

ระยะที่ 6 ระยะที่ผลมีสีม่วงเข้มจนถึงม่วงดำ ไม่มียางสีเหลืองภายในเปลือกผล เนื้อและเปลือกสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย ไม่ทนต่อแรงกด เป็นระยะที่เหมาะแก่การรับประทานให้อร่อยมากที่สุด อายุหลังจากนี้อยู่ได้อีกประมาณ 10 วัน ถ้ามีการเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิที่เหมาะสม

สำหรับระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่เหมาะสม แต่เดิมนั้นเกษตรกรส่วนใหญ่มักเก็บเกี่ยวในช่วงหลัง 1 สัปดาห์ที่มังคุดมีระยะสายเลือดหรือเกิดจุดแต้มประสีชมพูเข้ม คือ เก็บเกี่ยวเมื่อเปลือกเปลี่ยนเป็นสีม่วงเข้มจึงทำให้บอบช้ำได้ง่ายขณะเก็บเกี่ยว ในปัจจุบันจึงได้มีคำแนะนำถึงดัชนีการเก็บเกี่ยวมังคุดเพื่อให้เลือกเก็บได้หลายระยะแล้วแต่จุดประสงค์ เช่น ระยะทางในการขนส่งและการรอเวลาจำหน่าย ดังนี้ ระยะที่ 0 เปลือกสีเขียวไม่ควรเก็บ ระยะ ที่ 1 ระยะผลเป็นสายเลือดเหมาะสำหรับเก็บเกี่ยวส่งต่างประเทศ ผลลักษณะนี้จะใช้บริโภคได้ภายใน 3-4 วันหลังเก็บเกี่ยว ระยะที่ 2 ผลมีการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแดงเรื่อ ๆ ถ้าพบบนต้นควรเก็บเกี่ยวให้หมด ระยะที่ 3 ผลมีสีน้ำตาลแดง ระยะนี้เปลือกยังมียางสีเหลืองแต่ใช้บริโภคได้ ระยะ ที่ 4 ผลสีม่วงแดงใช้บริโภคได้ ระยะที่ 5 ผลสีม่วงเข้มหรือม่วงดำเหมาะที่จะรับประทานมาก ดัชนีการเก็บเกี่ยวมังคุดที่ดีที่สุด คือ ช่วงที่ผลมังคุดเริ่มมีสายเลือดได้ 1-2 วัน เนื่องจากเปลือกยังแข็งและสังเกตง่าย ดังนั้น การ

พิจารณาว่าจะเก็บผลมังคุดแก่ระดับใดจึงเหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับระยะทางในการขนส่งและการรอเวลาจำหน่ายเป็นหลัก เพื่อให้ถึงผู้บริโภคเมื่อสีของผิวเป็นสีดำพอดี ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด สำหรับวัยของการเก็บเกี่ยวมังคุดที่ดีที่สุด นั้นคือ ช่วงที่ผลมังคุดสีผิวของเปลือกเริ่มเกิดจุดแต้มสีม่วงแดงขึ้นเล็กน้อย หรือที่เรียกว่า ระยะเกิดสายเลือดได้ 1-2 วัน เนื่องจากเปลือกยังแข็งและสังเกตได้ง่าย แต่ถ้าเป็นมังคุดที่มีขนาดเล็กหรือในช่วงที่มังคุดสุกมาก ควรเลือกเก็บขณะที่มังคุดมีสีแดงและไม่ควรเกินระยะที่เป็นสีม่วงแดง เพราะผลอาจเกิดการหลุดร่วงได้ (หทัยวรรณ์, 2553)

2.1.4 คุณค่าทางโภชนาการของมังคุด

เนื้อมังคุด มีคุณค่าทางอาหารสูงโดยเฉพาะโพแทสเซียม โปรตีน สารเยื่อใย วิตามินซี ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม จากการตรวจวิเคราะห์พบว่า ในน้ำมังคุด 100 มิลลิลิตร ประกอบด้วย โพแทสเซียมสูงถึง 87.14 มิลลิกรัม แคลเซียม 34.53 มิลลิลิตร และแมกนีเซียม 111.22 มิลลิลิตร นอกจากนี้ในเนื้อมังคุดยังมีส่วนประกอบต่าง ๆ ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.1 (กรมวิชาการเกษตร, 2555)

ตารางที่ 2.1 สารอาหารที่มีในน้ำมังคุด 100 มิลลิลิตร (ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, 2555)

ชนิดของสารอาหาร	ปริมาณในน้ำมังคุด 100 มิลลิลิตร
ฟรุกโทส	2.4%
ซูโครส	10.0%
กลูโคส	2.2%
มอสโท	0.1%
ความชื้น	80.63%
ความเป็นกรด (pH)	3.52%
โปรตีน	0.5%
ของแข็งที่ละลายน้ำ	18.8%
สารเยื่อใย	1.35%
วิตามินซี	7.2 มิลลิกรัม
แล็กโทส	<0.1%

ตารางที่ 2.1 สารอาหารที่มีในน้ำมังคุด 100 มิลลิลิตร (กรมวิชาการเกษตร, 2555) (ต่อ)

ชนิดของสารอาหาร	ปริมาณในน้ำมังคุด 100 มิลลิลิตร
วิตามินอี	0.6 IU/100
ฟอสฟอรัส	9.21 มิลลิกรัม
คอปเปอร์	0.06 มิลลิกรัม
เหล็ก	0.17 มิลลิกรัม
แมงกานีส	0.1 มิลลิกรัม
สังกะสี	0.12 มิลลิกรัม
วิตามินเอ	35 IU/100
วิตามิน บี 1	0.08 มิลลิกรัม
วิตามิน บี 2	0.054 มิลลิกรัม

2.1.5 ประโยชน์ของมังคุด

ผลใช้เป็นอาหาร ผลสุกมีรสหวานอมเปรี้ยว มีกลิ่นหอม นิยมบริโภคผลดิบสุก มีความพยายามนำไปทำมังคุดระป๋องแต่ไม่ได้รสชาติ เนื่องจากความร้อนในกระบวนการทำลายกลิ่นของมังคุด พบว่าการแช่ในน้ำเชื่อมเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์ บรรจุกระป๋องให้ผลดีกว่า ในประเทศและเมล็ดไปต้มกับน้ำตาลทรายแดง บางประเทศนำเมล็ดมังคุดไปต้มหรือคั่วกินเป็นของว่าง ในประเทศกานาใช้กิ่งเล็กเคี้ยวเล่นดับกลิ่นปาก เหมือนเคี้ยวหมากฝรั่ง ประเทศจีนใช้เปลือกมังคุดไปย้อมหนังให้เป็นสีดำ เพราะเปลือกมังคุดมีสารแทนนิน คาเทชิน และโรชิน ที่มีอยู่ 7-14 เปอร์เซ็นต์ ในประเทศไทยใช้เนื้อไม้มังคุดเผาถ่านไว้ใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้ในงานฝีมือ ใช้เป็นที่นวดข้าว หรือใช้ในงานก่อสร้าง (สายชล, 2552)

2.1.6 สรรพคุณทางยา

มังคุดจัดเป็นสมุนไพรชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก จากการศึกษาวิจัยล่าสุดพบประโยชน์ของมังคุดมากมาย ใช้รักษาโรคผิวหนัง ใช้ฆ่าเชื้อ มีฤทธิ์ลดการอักเสบ และจากการวิจัยล่าสุดพบว่ามังคุดมีสารแซนโทน ทำให้มีการสั่งเปลือกมังคุดจากประเทศไทยไปสกัดสารดังกล่าว อีกทั้งยังมีการศึกษาพบว่ามังคุดมีสมบัติดังนี้

ต้านเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดหนอง จากเชื้อ *Staphylococcus aureus* ทั้งสายพันธุ์ปกติและสายพันธุ์ดื้อยาเพนนิซิลลิน ซึ่งมีประสิทธิภาพเท่ายา แวมโคไมซิน (Vancomycin) และ ยา-

ฆ่าเชื้อโพริโดนไอโอดีน ต้านเชื้อ *Propiomibacterium acnes* และเชื้อ *Staphylococcus edidermidis* อันเป็นสาเหตุการเกิดสิว ใช้รักษาแบคทีเรียในกลุ่มให้เกิดโรคท้องร่วงและกลุ่มเชื้อในลำไส้ ได้แก่ *Enteropathogenic Escherichia coli, Salmonella* 6 ชนิด, *Shigella* 4 ชนิด, *Vibrio* 2 ชนิด และเชื้ออื่น ๆ ในลำไส้ 5 สกุล ยับยั้งเชื้อซึ่งทำให้เกิดแผลในกระเพาะอาหาร มะเร็งกระเพาะอาหาร สารที่ออกฤทธิ์ ได้แก่ *gramma-mangostins* มีฤทธิ์ต้านเซลล์มีเร็งตับ มะเร็งเต้านม มะเร็งเม็ดเลือดขาว ป้องกันการจับตัวของเม้ดเลือดขาว ป้องกันหลอดเลือดซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบหัวใจ และหลอดเลือดป้องกันการเกิดไขมันชนิดเลว (LDL) (สายชล, 2552)

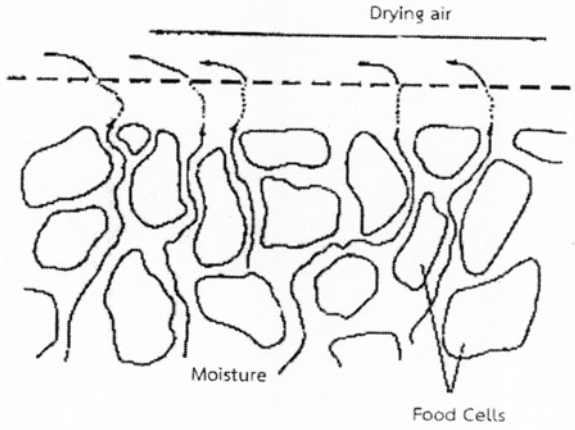
2.1.7 การเก็บรักษา

การเก็บเกี่ยวโดยใช้เครื่องมือที่ป้องกันไม่ให้ผลหลุดร่วงหล่น หรือกระแทกรุนแรง ระวังอย่าให้ขั้วหัก หรือกลีบเลี้ยงช้ำ เลือกเก็บเฉพาะผลที่สุกแก่ในระยะสายเลือดการเก็บผลมังคุดนั้นจะดูที่การเปลี่ยนสีของเปลือก มังคุดที่สุกสีของเปลือกจะเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีม่วงแดง จนถึงม่วงดำ การเก็บผลจะเริ่มได้ตั้งแต่สีผิวเปลือกเกิดจุดแต้มหรือประสีม่วงแดงขึ้นเล็กน้อย เมื่อเก็บผลมาแล้วสีผิวจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงดำได้เหมือนกับผลที่อยู่บนต้น การเก็บผลต้องระวังไม่ให้ผลช้ำ วิธีเก็บมังคุดนั้นใช้เครื่องมือ เช่น จำปา ไม้งาม ตะขอกระตุก เป็นต้น แต่หากยังใช้วิธีเก็บผลด้วยเครื่องมือแบบดั้งเดิมอยู่ควรคลุมโคนด้วยฟางข้าวหรือเศษพืชให้หนา จะช่วยลดการช้ำของผลที่ตกกระทบพื้นได้บ้าง (ศูนย์วิจัยพืชยืนต้นและไม้ผลเมืองร้อน, 2555)

2.2 การอบแห้ง

2.2.1 ความหมาย

การอบแห้ง คือ การทำแห้งหรือการกำจัดน้ำ การใช้ความร้อนเพื่อกำจัดน้ำที่อยู่วัสดุโดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดจากของแข็งเพื่อระงับหรือชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ชะลอการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหาร เพื่อเก็บรักษาถนอมผลิตภัณฑ์ ยืดอายุการเก็บรักษาโดยการลดความชื้นของอาหารลงจนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาอื่น ๆ ได้ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการเก็บรักษากลิ่นรสและคุณค่าทางอาหาร โดยกลไลการทำแห้งอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อน คือ เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดสองจุด ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารโดย Capillary flow และน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ หรืออาศัยหลักการอบแห้งการลดความชื้นในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (แดนชัย, 2551, เพชรรัตน์, 2549)



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการอบแห้ง (ที่มา: แดนชัย, 2551)

การถ่ายเทความร้อนมี 3 แบบ ดังนี้ คือ

2.2.2.1 การพาความร้อน จะเกิดกับวัตถุดิบที่เป็นของเหลว โดยกระแสความร้อนจะถูกพาผ่านช่องว่างที่เป็นอากาศหรือแก๊สจากของเหลวชนิดหนึ่งไปยังของเหลวอีกชนิดหนึ่ง

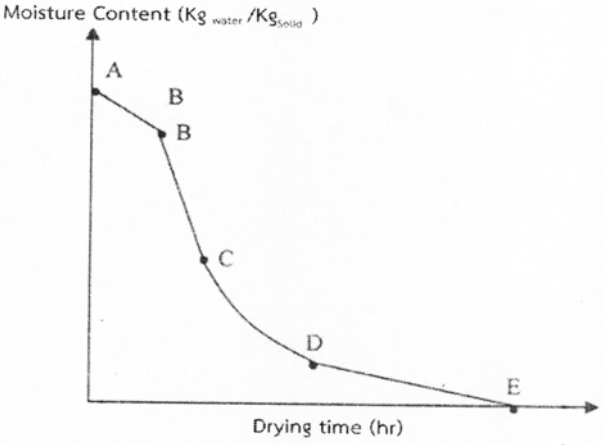
2.2.1.2 การนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งที่อยู่ข้างเคียง ซึ่งจะเกิดกับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นของแข็ง

2.2.1.3 การแผ่รังสี เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนไปยังวัตถุดิบซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีอบในสุญญากาศ และการอบแห้งแบบเยือกแข็ง

ในทางปฏิบัติการถ่ายเทความร้อนในการอบแห้งอาจเกิดขึ้นพร้อมกันทั้ง 2 หรือ 3 แบบก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุดิบที่นำไปอบแห้ง (อนุสรณ์, 2011)

2.2.2 กราฟการอบแห้ง

การอบแห้งวัสดุทางการเกษตรสามารถแบ่งการอบแห้งได้เป็น 3 ช่วง ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 2.5 ดังนี้



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาการอบแห้ง (ที่มา: เพชรรัตน์, 2549)

2.2.2.1 ช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง (Rising rate drying period) จากรูปที่ 2.5 ช่วง AB จะเป็นช่วงเริ่มต้นการอบแห้ง ช่วงนี้อุณหภูมิที่พื้นผิวของวัสดุอบแห้งจะเข้าสู่สภาวะสมดุลทางความร้อน และมีการระเหยของความชื้นเกิดขึ้นที่พื้นผิวของวัสดุ ค่าอัตราการอบแห้งของวัสดุมีคค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ลดลง

2.2.2.2 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant rate drying period) ช่วง BC แสดงอัตราการอบแห้งคงที่ ช่วงนี้วัสดุยังมีความชื้นสูงอยู่ คือ ที่บริเวณผิววัสดุจะมีปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างวัสดุกับอากาศ จะมีพฤติกรรมเหมือนกับการถ่ายเทความร้อนและมวลสารที่เกิดขึ้นที่เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก โดยการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิววัสดุกับอากาศเป็นแบบการพาความร้อน และถ่ายเทมวลจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการถ่ายเทความร้อน โดยการถ่ายเทมวลเกิดจากการแพร่อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุและที่อากาศรอบนอก

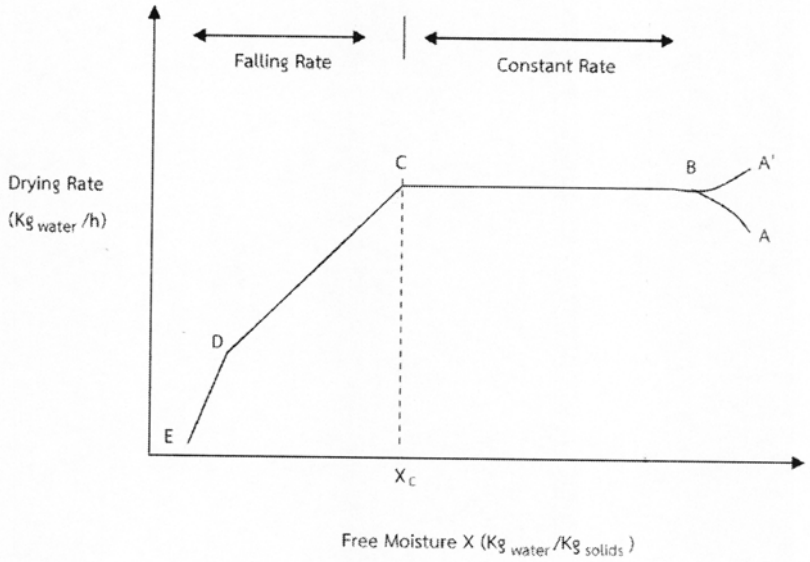
2.2.2.3 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate drying period) ช่วง CD เรียกว่าช่วงอัตราการอบแห้งลดลงช่วงแรก (First falling rate) ความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติ การถ่ายเทความร้อนและมวลไม่เพียงเกิดขึ้นที่ผิวของวัสดุเท่านั้น แต่เกิดภายในเนื้อของวัสดุด้วย การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง อัตราการระเหยน้ำจะถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ ในขณะนั้นอุณหภูมิขอวัสดุมีค่าสูงขึ้นและสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก ช่วง DE เรียกว่าอัตราการอบแห้งลดลงช่วงที่สอง (Second falling rate) ปริมาณความชื้นจะต่ำลงเรื่อย ๆ ระยะทางในการแพร่หรือการเคลื่อนที่ของความร้อนและมวลจะมากขึ้น จนในที่สุดปริมาณน้ำภายในวัสดุที่อยู่ในรูปน้ำอิสระจะลดลงจนถึงค่า ๆ หนึ่งที่ทำให้ความอันไอในเนื้อวัสดุเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบ ๆ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่หาได้ ณ จุดนี้ คือ จุด E เรียกว่า “ความชื้นสมดุล” ซึ่งไม่มีการลดลงของปริมาณความชื้นอีก ณ สภาวะนั้น (เพชรรัตน์, 2549)

2.2.3 กราฟอัตราการอบแห้ง

จากรูปที่ 2.5 สามารถนำมาสร้างกราฟอัตราการอบแห้งกับปริมาณความชื้นต่าง ๆ ได้ สามารถแบ่งเป็นช่วง ๆ ใช้หาเวลาในการอบแห้งที่สภาวะเดียวกันได้ จากรูปที่ 2.6 เส้นกราฟแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ดังนี้

ช่วง A⟶B เป็นช่วงของการ warm up ของอุณหภูมิในชิ้นผลิตภัณฑ์ช่วง B⟶C เรียกว่า ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (constant rate period) มีลักษณะการถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่าง ผลิตภัณฑ์และอากาศกับการถ่ายเทความร้อนและมวลที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งการเคลื่อนที่ของน้ำที่เกิดขึ้นเป็นน้ำอิสระ น้ำที่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการระเหยกลายเป็นไอและเคลื่อนที่ไปกับอากาศร้อน การเคลื่อนที่ของน้ำในผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นเนื่องจาก hydraulic gradient และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์น้อยกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำที่ผิวจะเท่ากับอัตราการระเหยที่ผิวของผลิตภัณฑ์ และสามารถใช้เป็นค่าอัตราการทำแห้งได้ ปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมการทำแห้งในช่วงนี้ คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพันธ์และอัตราเร็วของอากาศจุด C เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น จุดนี้ เรียกว่า ความชื้นวิกฤต

(critical moisture content) เกิดจากช่วงแรกผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงเมื่อทำแห้งไปเรื่อย ๆ ปริมาณความชื้นที่ผิวลดลงจนกระทั่งน้ำบริเวณผิวระเหยไปหมดและความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลงทำให้อัตราการทำแห้งเปลี่ยนไป ซึ่งสามารถพบการเปลี่ยนแปลงแบบนี้ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน ช่วง C⟶D และ D⟶E เรียกว่า ช่วงที่อัตราการทำแห้งลดลง



รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับปริมาณความชื้นต่างๆ (ที่มา: แดนชัย, 2555)

(falling rate period) การถ่ายเทความร้อนและมวลไม่ได้เกิดที่ผิวของผลิตภัณฑ์ แต่เกิดที่ภายในเนื้อของผลิตภัณฑ์การเคลื่อนที่เป็นลักษณะของการแพร่ของน้ำ หรือไอน้ำที่อยู่ภายใน pore หรือ capillary ภายในผลิตภัณฑ์ไปที่ผิวของผลิตภัณฑ์จึงเคลื่อนที่ไปกับอากาศร้อนซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่ช้ากว่าแบบการพา ทำให้อัตราการทำแห้งช่วงนี้ลดลง ปัจจัยที่ควบคุมการทำแห้งในช่วงนี้ คือ ความต้านทานการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำในผลิตภัณฑ์และในช่วงนี้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ จากกราฟเห็นว่ามีช่วงอัตราการทำแห้งลดลง 2 ช่วง เนื่องจาก C⟶D ยังคงมีความชื้นอยู่ที่ผิวหลงเหลืออยู่บ้างเล็กน้อย แต่ที่จุด D ความชื้นที่ผิวระเหยไปหมดทำให้ผิวหน้าแห้งสนิท อัตราการระเหยจึงช้าลงไปอีก (แดนชัย, 2551)

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

2.2.4.1 ธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบเร็วกว่าการแพร่ในอาหารที่มีลักษณะเนื้อแน่น จึงแห้งเร็วกว่าอาหารที่มีน้ำตาลสูงจะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำทำให้การอบแห้งช้าและอาหารที่มีการลวก นวด คลึง จะทำให้เซลล์แตกและแห้งได้เร็วขึ้น

2.2.4.2 ขนาดและรูปร่าง มีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น อาหารที่มีรูปร่างเหมือนกันถ้ามีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่าทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ด้วย ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกันการระเหยเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้ง ๆ ที่พื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักมีมาก

2.2.4.3 ตำแหน่งของอาหารในเครื่องอบแห้ง อาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

2.2.4.4 ปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างจะไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรืออาจได้รับความร้อนจากถาดแล้วแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชิ้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

2.2.4.5 ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากจะรับไอน้ำได้น้อยกว่าอากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่น้อย

2.2.4.6 อุณหภูมิของอากาศร้อน ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การกระจายของน้ำในอาหารดีขึ้นด้วย

2.2.4.7 ความเร็วของอากาศร้อน อากาศร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออก ดังนั้นเมื่อความเร็วอากาศร้อนเพิ่มขึ้นการเคลื่อนย้ายไอน้ำก็จะเกิดขึ้น เนื่องจากเกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเครื่องอบแห้งอากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดี การเคลื่อนย้ายไอน้ำเกิดขึ้นเต็มที่ ที่ความเร็วลม 244 เมตร/นาที (แดนชัย, 2551)

2.2.5 ผลของการอบแห้งในด้านต่าง ๆ

2.2.5.1 คุณค่าอาหาร การอบแห้งจะระเหยความชื้นหรือน้ำออกจากอาหารและเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหาร เช่น แป้ง ไขมัน โปรตีน การถนอมอาหารโดยวิธีอบแห้งจะทำให้คุณภาพลดลงโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายน้ำจะสูญเสียไปกับน้ำจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) และถ้ามีการอบแห้งโดยวิธีการตากแดดต่างจากการใช้เครื่องอบแห้ง คือ ไม่สามารถควบคุมความชื้นอากาศ แสงแดด อุณหภูมิได้

2.2.5.2 โปรตีน จะเสียคุณค่ามากหรือน้อยขึ้นกับวิธีการอบแห้ง ถ้าใช้เวลานานเกินไปและอุณหภูมิโปรตีนจะเปลี่ยนสภาพและคุณค่าทางโภชนาการจะลดลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำทำให้อาหารแห้งโปรตีนจะใช้ทำประโยชน์มากกว่าแต่จะขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีนด้วย

2.2.5.3 คาร์โบไฮเดรต การเปลี่ยนสีของผลไม้ตากแห้งเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) เกิดโดยกรดอะมิโนในผลไม้รวมกับน้ำตาลรีดิวซ์ทำให้เกิดสีน้ำตาลป้องกันโดยการใช้สารเคมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

2.2.5.4 น้ำตาล เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงน้ำตาลเปลี่ยนเป็นน้ำตาลไหม้หรือคาราเมลเรียกกระบวนการนี้ว่า คาราเมไลเซชัน ทำให้อาหารเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล น้ำตาลไหม้มักใช้แต่งสีของอาหาร เช่น ซีอิ้วดำ ซีอิ้วหวาน น้ำอัดลมประเภทโคล่า ในปัจจุบันมีการวัดน้ำตาลมีหน่วยเป็น บริกซ์ หมายถึง ร้อยละของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลาย เป็นการวัดความเข้มข้นหรือปริมาณน้ำตาล โดยการวัดดัชนีการหักเหของแสงเมื่อเทียบกับน้ำตาลมาตรฐานเป็นการบอกปริมาณน้ำตาล ส่วนใหญ่เป็นการวัดของแข็งที่ละลายอยู่ในของเหลว (ภัทธิรา, 2549 และ ฤดี, มปป.)

2.2.5.5 ไขมัน อุณหภูมิในการอบแห้งสูงจะทำให้อาหารที่อบแห้งเหม็นหืน ดังนั้นจึงควรใช้อุณหภูมิต่ำหรือใช้สารกันหืน ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เช่น BHT (Butylated hydroxyl toluene)

2.2.5.6 เอนไซม์จะหยุดกิจกรรมเมื่อใช้ความร้อนถึง 100 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที แต่ถ้าใช้ความร้อนในการอบแห้งปฏิกิริยาของเอนไซม์จะทนทาน ดังนั้นการอบแห้งจึงต้องลวกน้ำร้อนหรือใช้สารเคมีเพื่อหยุดยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ก่อนที่จะนำไปอบ

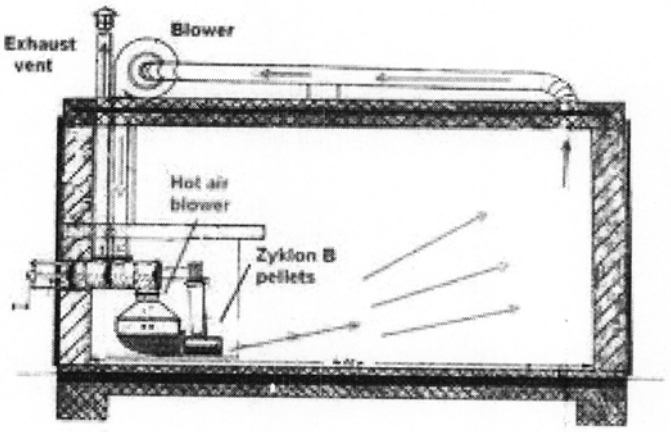
2.2.5.7 จุลินทรีย์ เป็นสาเหตุของการทำให้อาหารเสียหายหรือเน่า การลดความชื้นในอาหารให้เหลือน้อยที่สุดก็จะทำให้อาหารไม่เสียหายและเก็บไว้ได้นาน ถ้าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 12 เชื้อราจะเจริญได้ ส่วนแบคทีเรียและยีสต์จะเจริญเติบโตได้ดีถ้าความชื้นสูงกว่าร้อยละ 30 การอบแห้งนิยมใส่เกลือแกงลงในอาหารที่จะอบแห้งเพื่อควบคุมจุลินทรีย์เมื่ออบแห้งแล้วต้องเก็บใส่หีบห่อให้ดี ไม่เก็บในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตเร็ว

2.2.5.8 เม็ดสีในอาหาร อาหารอบแห้งจะมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีเปลี่ยนไปสีของอาหารจะเปลี่ยนไปเม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานิน จะซีดจางลงถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานาน หรือใช้สารเคมีบางชนิดในการอบแห้งเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ เช่น รมควนด้วยกำมะถันจะฟอกสีอาหารให้จางลง ดังนั้นพวกผักและผลไม้จึงมีการกำหนดสีก่อนอบแห้งโดยการลวกน้ำร้อนหรือแช่สารเคมี เช่น สารละลายด่างอ่อนจะทำให้สีผักผลไม้ไม่ซีดจางลงหรือเป็นสีน้ำตาล แต่อาจจะทำให้อาหารแข็งกระด้างขึ้น (แดนชัย, 2551)

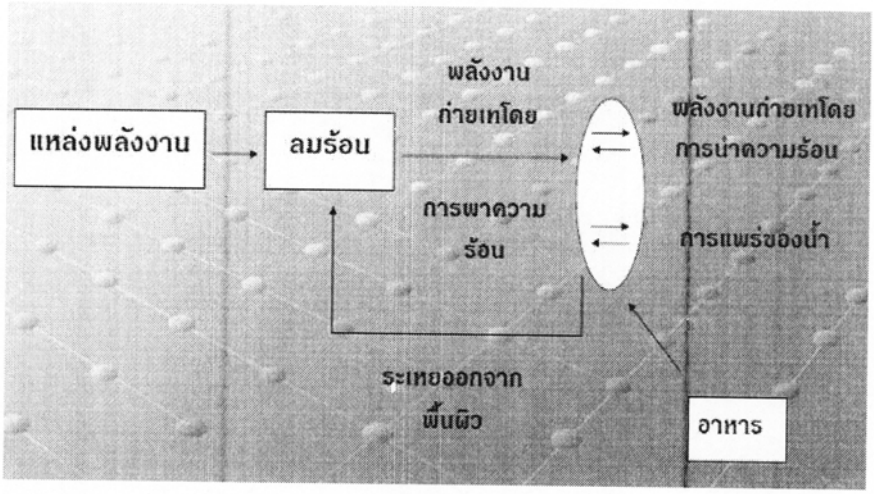
2.3 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

เครื่องอบลมร้อนมีหลักการทำงาน คือ ใช้กระแสลมร้อนสัมผัสกับวัตถุดิบ โดยจะใช้เครื่องเป่าลมในการเป่าลมร้อน จากแหล่งให้พลังงานความร้อน คือ Heater ไปยังวัตถุดิบ ดังรูปที่ 2.7

โดยทั่วไปแล้วจะใช้ในการอบแห้งวัตถุดิบในทางอุตสาหกรรมเพื่อให้วัตถุดิบแห้ง ก่อนที่จะเริ่มกระบวนการต่อไป ดังรูปที่ 2.8 ข้อดี คือ สามารถทำการอบแห้งได้ในอัตราการผลิตที่คงที่ ประสิทธิภาพในการทำงานสูง ควบคุมการทำงานได้ดี แต่มีข้อเสีย คือ สิ้นเปลืองพลังงานมาก เพราะจะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงในการสร้างความร้อนและหมุนเครื่องเป่าลม (อนุสรณ์, 2555)



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (ที่มา: อนุสรณ์, 2555)

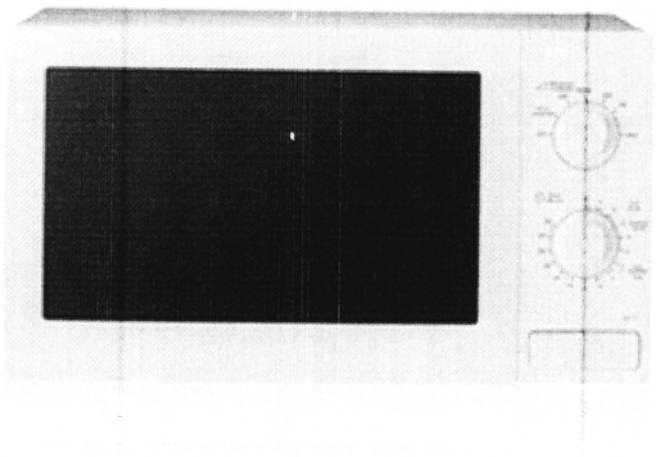


รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (ที่มา: อนุสรณ์, 2555)

2.4 เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟ

เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ แต่แบบที่มักจะพบเห็นทั่วไปตามครัวเรือนจะมีลักษณะไม่แตกต่างกันมาก ดังรูปที่ 2.9

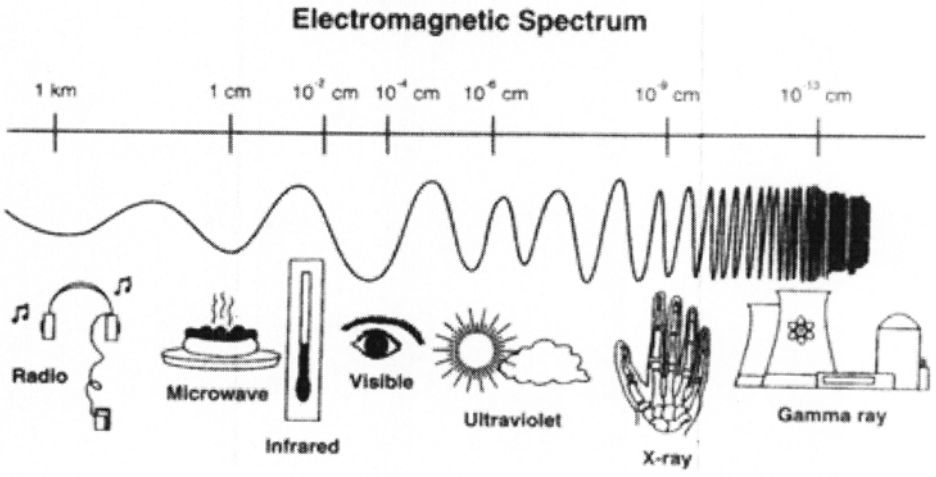
ไมโครเวฟมีหลักการทำงาน คือ ทำให้วัตถุดิบแห้งโดยการลดความชื้นในวัตถุดิบจะต้องไล่น้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในผลิตผลการเกษตรออกไป แต่ยังมีความชื้นเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์มากน้อยแล้วแต่ชนิดของไมโครเวฟ (อนุสรณ์, 2555)



รูปที่ 2.9 เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟ (ที่มา: Samsung, 2555)

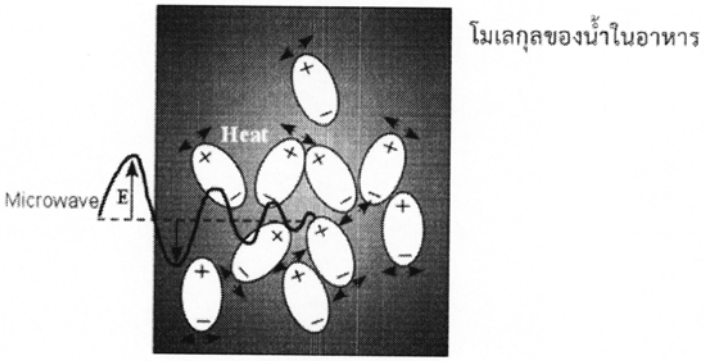
2.4.1 การให้ความร้อนกับวัสดุ

คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งซึ่งมีความยาวคลื่นระหว่าง 1 มิลลิเมตรถึง 1 เมตรดังแสดงในรูปที่ 2.10 เมื่อนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดมาเรียงกันตามความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน จะได้แผนภาพที่เรียกว่า สเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและคลื่นอินฟราเรด คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นและความถี่ที่เหมาะสม สำหรับใช้ในกระบวนการเกี่ยวกับอาหาร เช่นการต้ม การนึ่ง การอุ่น และการทำแห้ง



รูปที่ 2.10 แสดงสเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ที่มา: หมุดตอเล็บ, 2555)

การนำคลื่นไมโครเวฟไปใช้ในการให้ความร้อนกับอาหารเพื่อการทำให้สุก หรือการทำแห้งนั้น สามารถทำได้เนื่องจากเมื่อคลื่นไมโครเวฟเคลื่อนที่เข้าไปในวัสดุต่าง ๆ ที่ประกอบด้วยโมเลกุลที่มีความเป็นขั้ว หรือโมเลกุลที่ประจุบากและประจุลบมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ โมเลกุลเหล่านั้นจะมีการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงกระทำจากสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ การที่คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นที่มีความถี่สูง ซึ่งความถี่ของคลื่นไมโครเวฟสำหรับใช้ในกระบวนการให้ความร้อนอาหารจะเท่ากับ 2.45 GHz ดังนั้นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟจะมีการสลับขั้ว 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที เมื่อโมเลกุลของน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลมีขั้วที่มีจำนวนมากที่สุดในอาหารอยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ มันจะพยายามหมุนตามการสลับขั้วของสนามไฟฟ้า ก็จะทำให้เกิดการชนกันระหว่างโมเลกุลหรือเกิดแรงเสียดทานภายในโมเลกุลของน้ำนั่นเอง การชนกันดังกล่าวจะทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.11 ปรากฏการณ์การเกิดความร้อนดังกล่าวเหมือนกันกับการเกิดความร้อนเมื่อนำเอากิ่งไม้แห้งสองอันมาถูกัน

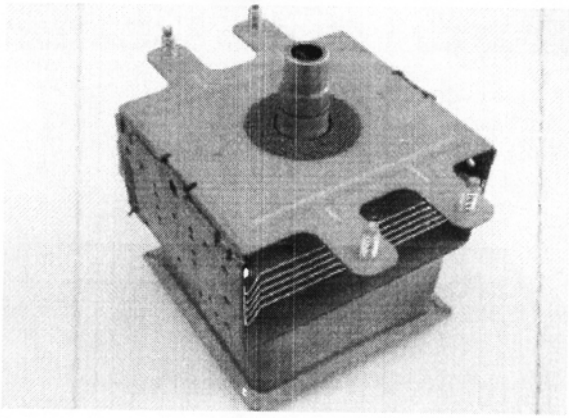


รูปที่ 2.11 แสดงการตอบสนองของโมเลกุลน้ำเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ (ที่มา: หมุดตอเล็บ, 2555)

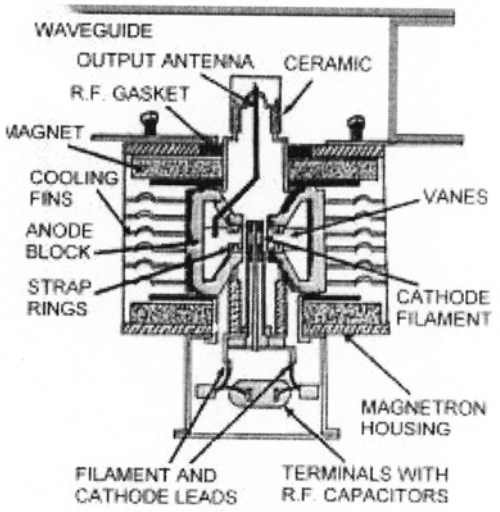
กระบวนการที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในวัสดุเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ เรียกว่า Dielectric heating ซึ่งทำให้พลังงานของคลื่นไมโครเวฟซึ่งอยู่ในรูปของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนภายในวัสดุได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการนำเทคโนโลยีไมโครเวฟมาใช้มากมาย เช่น การอบแห้ง การฆ่าเชื้อโรค การเร่งปฏิกิริยาเคมี การกำจัดสารพิษ และการกำเนิดพลาสมา เป็นต้น ในขบวนการอบแห้งอาหารนั้น จะใช้คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟที่จะตอบสนองต่อโมเลกุลชนิดต่าง ๆ ไม่เท่ากัน โดยจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชิงไดอิเลคตริคของมัน คลื่นไมโครเวฟจะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำได้ดีที่สุด เนื่องจากความถี่ของการหมุนของโมเลกุลของน้ำซึ่งมีความเป็นเชิงขั้วสูงกับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 GHz เกิดการกำทอนกัน (Resonance) ทำให้น้ำสามารถดูดพลังงานของคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยพลังงานของคลื่นไมโครเวฟมีผลกระทบต่อวัสดุอื่น ๆ น้อยมาก น้ำจะถูกทำให้ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วจนระเหยออกไปหมด ดังนั้นพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจึงใช้ในการระเหยของความชื้นในอาหารโดยที่ความร้อนดังกล่าวจะไม่ทำให้โครงสร้างและรสชาติของอาหารเกิดการเสียหาย ถ้าหากมีการควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งจะเห็นว่าการอบแห้งโดยคลื่นไมโครเวฟมีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้เพื่อพัฒนาขบวนการอบแห้งอาหารที่มีประสิทธิภาพสูง (หมุดตอ-เล็บ, 2555)

2.4.2 แมกนีตรอน

แมกนีตรอนเป็นอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดคลื่นไมโครเวฟรูปร่างดังรูปที่ 2.12 ที่ความถี่ 2.45 GHz มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งประกอบด้วยไส้หลอด (Filament) คาโทด (Cathode) ซึ่งเป็นขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอด และถูกบรรจุอยู่ในช่องสุญญากาศซึ่งส่วนของผนังรอบ ๆ จะทำหน้าที่เป็นขั้วอาโนด (Anode) คลื่นไมโครเวฟที่ถูกกำเนิดขึ้นจะถูกส่งออกมาภายนอกโดย Antenna ในการทำงานของแมกนีตรอนนั้นแมกนีตรอนจะถูกจ่ายด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำประมาณ 3-4 โวลต์ กระแส 10 แอมแปร์ที่ไส้หลอด ซึ่งจะทำให้ไส้หลอดร้อนและปล่อยอิเลคตรอนออกมา และเมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงมากกว่า 4,000 โวลต์ไปที่ขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอดซึ่งทำหน้าที่เป็นคาโทดเทียบกับขั้วอาโนด ก็จะทำให้อิเลคตรอนถูกบังคับให้เคลื่อนที่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กถาวร ซึ่งจะทำให้แมกนีตรอนสามารถปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้ โดยที่ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟจะถูกกำหนดด้วยโครงสร้างภายในช่องสุญญากาศระหว่างขั้วคาโทดกับขั้วอาโนดให้เท่ากับ 2.45 GHz (หมุดตอเล็บ, 2555)



รูปที่ 2.12 แมกนีตรอน (ที่มา: หมุดตอเล็บ, 2555)



รูปที่ 2.13 โครงสร้างภายในของแมกนีตรอน (ที่มา: หมุดตอเล็บ, 2555)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แดนชัย, 2551 การใช้เนื้อลำไยสดพันธุ์ดอนำไปอบแห้งโดยใช้เครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่กำลังงานไมโครเวฟ 2 ระดับ คือ 100 และ 300 วัตต์ อุณหภูมิลมร้อน 2 ระดับ คือ 40 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วของลมร้อน 2 ระดับ คือ 5 และ 10 เมตรต่อวินาที พบว่า สภาวะในการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ การใช้กำลังงานไมโครเวฟ 100 วัตต์ อุณหภูมิลมร้อน 40 องศาเซลเซียส และความเร็วลมร้อน 5 เมตรต่อวินาที ซึ่งเมื่ออบนาน 200 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยอบแห้งที่มีสีเหลืองทอง มีความเหนียวน้อย มีความชื้นร้อยละ 17.42±0.31 (โดยน้ำหนักแห้ง) กรดแกลลิค 13.83±0.11 ไมโครกรัมต่อกรัม กรดเอลลาจิค 91.07±2.70 ไมโครกรัมต่อกรัม น้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 15.67±0.40 ไม่พบสารประกอบ 5-ไฮดรอกซีเมทธิล-2-เฟอร์ฟูรัลดีไฮด์ (HMF) และได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมในเกณฑ์ที่ชอบปานกลาง

กอบพัชรกุล, 2550 ผลการศึกษาสภาวะการอบแห้งลำไยแผ่นที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคผสม 2 เทคนิคระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาอบลมร้อน และเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาอบไครเวฟแบบสุญญากาศโดยใช้วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาอบลมร้อน ได้ลำไยแผ่นที่มีปริมาณความชื้นค่า Aw ค่าสี L* a* b* แรงฉีกและแรงกด เท่ากับ 13.96%db (12.25%wb), 0.441, 53.78, 12.29, 21.22, 2.952 นิวตัน และ 1.573 นิวตัน ตามลำดับ สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ ได้ลำไยแผ่นที่มีปริมาณความชื้น ค่า Aw ค่าสี L* a* b* แรงฉีกและแรงกด เท่ากับ 13.98%db (12.27%wb), 0.453, 53.59, 9.62, 19.03, 2.831 นิวตัว และ 1.490 นิวตัน ตามลำดับ

A.S. Kassem at el., 2011 การเปรียบเทียบคุณลักษณะการอบองุ่นไร้เมล็ดพันธุ์ทอมสันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับการอบลมร้อน จะเห็นได้ว่าเส้นแนวโน้มของอัตราการอบไม่คงที่ไม่ว่าอบด้วยวิธีใด เมื่อเริ่มอบองุ่นในการอบลมร้อนและอบไมโครเวฟอีก 1 นาที ที่กำลังไฟใดก็ได้ โดยใช้กำลังไฟไมโครเวฟที่แน่นอนในการอบ การอบด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวใช้พลังงานสูงมากระหว่างที่อบองุ่นด้วยลมร้อน โดยใช้กำลังไฟมากถึง 564.5 MJ/kg(water evaporated) แต่เมื่ออบไมโครเวฟจนเสร็จและอบลมร้อนจะมีค่าเฉลี่ยของแข็งที่สามารถละลายได้ คือ 90.4 °Brix ค่าเฉลี่ยของอัตราการอบแห้ง คือ 4.21 ขณะที่อบลมร้อนและอบไมโครเวฟ ค่าเฉลี่ยของแข็งที่สามารถละลายได้ คือ 90.2 °Brix ค่าเฉลี่ยของอัตราการอบแห้ง คือ 4.19 และสุดท้ายเมื่ออบด้วยระบบลมร้อนเพียงอย่างเดียว ค่าเฉลี่ยของแข็งที่สามารถละลายได้ คือ 92 °Brix การอบไมโครเวฟและต่อด้วยลมร้อนสำเร็จถึง 78% ของเปอร์เซ็นต์การเลือกที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตาม การเลือกวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุดก็เป็น 100%

เพชรรัตน์, 2549 งานวิจัยนี้ทำการอบแห้งเนื้อลำไยจากความชื้นเริ่มต้น 550-670 % d.b. (84-86 % w.b.) จนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 20 % d.b. (18% w.b.) ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 65 องศาเซลเซียส สำหรับลมร้อน จากผลการทดลอง พบวาการนำรังสีอินฟราเรดไกลเข้ามาร่วมกับการอบแห้งเนื้อลำไยด้วยลมร้อนหรือปั๊มความร้อนช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งและลดเวลาในการอบแห้งลง ผลของรังสีอินฟราเรดไกลทำให้เนื้อลำไยมีรูพรุนและมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อกำลังไฟฟ้าที่

ให้กับหลอดรังสีอินฟราเรดไกลมีค่าเพิ่มขึ้น รูพรุนที่เกิดขึ้นส่งผลให้เนื้อลำไยมีการหดตัวน้อย คืนตัวมาก มีค่าความแข็งและความหยุ่นตัวน้อยกว่าเนื้อลำไยที่อบแห้งด้วยลมร้อนหรือปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว เนื้อลำไยที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ มีผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสในด้านสี รูปร่าง กลิ่นและรสไม่แตกต่างกัน

Wang (1982) รายงานว่ามังคุดเป็นผลไม้แถบร้อนซึ่งจะได้รับความเสียหายได้ง่ายกว่าผลไม้เขตหนาวเมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิต่ำเกินพอดี สังเกตได้จากเปลือกด้านในเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลตลอดทั่วทั้งผลและแข็ง กลีบเลี้ยงเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลซีด ไม่สุก และหมดอายุการวางจำหน่ายในเวลาอันรวดเร็ว อาการสะท้านหนาว (chilling injury) ที่เกิดขึ้นนั้นอาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากสายโซ่ด้านกรดไขมันของฟอสโฟลิปิด (phospholipid) ในเยื่อหุ้มเซลล์ต่าง ๆ เปลี่ยนสภาพจากลักษณะที่อ่อนตัว (liquid crytaline) มาเป็นลักษณะแข็ง (solid gel) ทำ ให้เห็นเป็นลักษณะคล้ายวุ้นซึ่งส่งผลให้การทำ งานของเยื่อหุ้มเซลล์นั้นเสื่อมลง ก่อให้เกิดผลเสียต่างๆ ตามมา และตายไปในที่สุด (Lyons, 1973) ซึ่งในมังคุดนั้นลักษณะแข็งดังกล่าวจะเกิดที่บริเวณเนื้อผลไม่ใช่เปลือกผล

สุรพงษ์ (2529) รายงานว่าการเก็บรักษามังคุดในสภาพอุณหภูมิต่ำที่ 1 องศาเซลเซียส ผลมังคุดจะแสดงอาการสะท้านหนาวภายใน 3-4 วัน โดยกลีบเลี้ยงแห้งและเหี่ยวเปลือกแข็งและมีสีน้ำตาลม่วงหมองคล้ำ เนื้อมีรสชาติผิดปกติ อาการเหล่านี้จะรุนแรงถ้านำผลมังคุดมาไว้ที่อุณหภูมิห้อง เกี่ยวกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษามังคุดนั้น Martin (1980) รายงานว่าสามารถเก็บรักษามังคุดได้นาน 3 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 9-12 องศาเซลเซียส แต่ Kosittrakun (1991) พบว่ามังคุดเริ่มแสดงอาการสะท้านหนาวเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 9 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 สัปดาห์ McGregor (1987) แนะนำ ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษามังคุดไม่ควรต่ำกว่า 13 องศาเซลเซียส

สมโภชน์ (2534) พบว่า มังคุดที่เคลือบผิวด้วยสตา-เฟรช 7055 (Sta-fresh 7055) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 มีความเข้มข้นของออกซิเจนภายในผลเพิ่มขึ้นขณะที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีนภายในผลลดลงระหว่างการเก็บรักษานอกจากนี้สารเคลือบผิวยังช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำของผลอันเป็นต้นเหตุของการเหี่ยวอีกด้วย (Sornsrivichai et al., 1989) และจิตติมา (2536) พบว่ามังคุดที่เคลือบผิวด้วย Johnson wax ความเข้มข้นร้อยละ 100 มีการสูญเสียน้ำหนักเพียงร้อยละ 1.81 เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 วัน สำ หรับมังคุดที่เคลือบผิวด้วยสตา-เฟรช 7055 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 สามารถเก็บรักษาได้นานถึง 3 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 12.5 องศาเซลเซียสแต่ก็ประสบกับปัญหาเรื่องการเหี่ยวและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของกลีบเลี้ยงและขั้วผลเนื่องจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (สุมาลี, 2533) นอกจากนี้ชุลีพร (2531) พบว่า มังคุดที่เคลือบผิวด้วยซีตรัสไชน์ (citrus shine) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 และ 100 สามารถลดการสูญเสียน้ำ ชะลอการแห้งของขั้วผลและกลีบเลี้ยงได้ ทำ ให้สามารถเก็บรักษามังคุดได้นานกว่าการไม่ใช้สารเคลือบผิว 4 วัน เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 64

เบญจมาส (2544) รายงานว่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษามังคุดคือ ร้อยละ 2-4 โดยสามารถช่วยเก็บรักษามังคุดได้นาน 7 สัปดาห์ การหุ้มผลิตผลด้วยพลาสติกหรือบรรจุในถุงพลาสติกนั้นเป็นการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลง (modified atmosphere:MA) เช่นเดียวกับการใช้สารเคลือบผิว โดยฟิล์มหรือถุงพลาสติกที่บรรจุนั้นจะจำกัด

สภาพบรรยากาศทำให้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในถุงเปลี่ยนแปลงไปจากการหายใจ และเกิดการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถยับยั้งบางขั้นตอนของกระบวนการหายใจ และขัดขวางการทำงานของเอทิลีนจึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลได้ โดยการใช้ถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงหรือเอชดีพีอี พบว่ามังคุดที่บรรจุในถุงเอชดีพีอีไม่เจาะรูจะมีอายุการสะสมของก๊าซเอทิลีนมากที่สุด ทำให้การพัฒนาสีผิวเร็วและอายุการเก็บรักษาสั้นกว่ามังคุดที่บรรจุในถุงเอชดีพีอีที่มีตัวดูดซับเอทิลีนและเอชดีพีอีที่เจาะรูหรือที่มีตัวดูดซับเอทิลีนอยู่ด้วย จากนั้นไพรัตน์ และคณะ (2545) เก็บรักษามังคุดในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene) หนา 40 ไมครอน ที่มีสารดูดซับเอทิลีนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ได้นาน 5 สัปดาห์ และเมื่อเก็บรักษาด้วยบรรจุภัณฑ์ย่อย พบว่าผลิตภัณฑ์ย่อยที่เหมาะสมคือ ถาดโฟมหุ้มด้วยฟิล์มยืดแอลแอลพีอีหนา 20 ไมครอน โดยได้รับการยอมรับสูงกว่าการใช้ถาดโฟมหุม้ ด้วยฟิล์มยืดพีวีซีหนา 20 ไมครอน และกล่องพลาสติกพีวีซีหนา 160 ไมครอน และสามารถเก็บรักษามังคุดได้นาน 5 สัปดาห์

ศิริศักดิ์ ศิริสมบูรณ์ (2544) ศึกษาการอบแห้งตะไคร้โดยใช้พลังงานจากก๊าซชีวมวล (Producer Gas) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งตะไคร้คือ ใช้เชื้อเพลิงไม้ไผ่ข้าวหลาม 45 kg ทำการอบตะไคร้น้ำหนัก 6 kg พบว่า สามารถลดความชื้นจาก 84% w.b. เหลือ 9% w.b. โดยใช้เวลาในการอบแห้ง 6 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยในการอบแห้งอยู่ที่ 80 oC และเมื่อทดสอบคุณภาพสีของตะไคร้โดยเทียบกับมาตรฐานของ R.H.S. สีของตะไคร้ก่อนอบและหลังอบแห้งเปรียบเทียบโดยใช้สายตา สีของตะไคร้อยู่ในช่วง green-white และ greyed-yellow ตามลำดับ และการเปรียบเทียบคุณภาพสีของตะไคร้ที่ได้จากกระบวนการอบแห้งกับการทำแห้งโดยการผึ่งลมโดยไม่โดนแดดที่ความชื้น 14% w.b. พบว่า สีของตะไคร้แห้งที่ได้ไม่แตกต่างกัน และคุณภาพสีของตะไคร้ไม่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับตะไคร้ตามท้องตลาด และจากการทดลองสรุปได้ว่าที่อัตราการไหลของอากาศเข้าเตาเผา 1.48 L/s มีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) สูงสุด โดยที่ผลิตก๊าซ CO ได้ประมาณ 23% และมีค่าความร้อนของ Producer Gas โดยรวมทั้งหมดอยู่ที่ 3,111 kJ/m3 สามารถนำมาทำการอบแห้งตะไคร้นำหนัก 6 kg ที่ความชื้นเริ่มต้นของตะไคร้ 84% w.b. เหลือ 9% w.b. โดยใช้เชื้อเพลิงไม้ไผ่เพียง 45 kg ในเวลา 6 ชั่วโมง และพบว่าคุณภาพของตะไคร้ที่ได้จากกระบวนการอบแห้ง มีลักษณะของสีใกล้เคียงกับตะไคร้แห้งที่จำหน่ายตามท้องตลาด

เทวรัตน์ และ สมยศ (2550) ศึกษาการใช้ไมโครเวฟอบแห้งพริกชี้ฟ้า โดยการดัดแปลงตู้อบไมโครเวฟที่ใช้ในบ้านเรือน ให้เป็นตู้อบแห้งลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ทำการอบแห้งพริกชี้ฟ้าซึ่งใช้เป็นวัสดุทดสอบด้วยลมร้อน ลดร้อนร่วมกับไมโตรเวฟแบบต่อเนื่อง (continuous) ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแบบให้ความร้อนในช่วงต้น (preheating drying) ลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแบบให้ความร้อนช่วงท้าย (finish drying) และลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแบบเป็นช่วง (pulse drying) ประเมินประสิทธิภาพการอบแห้งจากค่าอัตราการอบแห้งและค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) พบว่าการนำเอาไมโครเวฟมาร่วมกับลมร้อนช่วยลดเวลาในการอบแห้งและเพิ่มค่า SMER เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิการอบแห้งเดียวกัน และยังพบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแบบเป็นช่วง มีความเหมาะสมในการอบแห้งมากที่สุด ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด และให้ค่า SMER สูงสุดโดยที่ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์

คำนึง (2548) ศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งแบบชั้นบางของชิ้นมันสำปะหลังด้วยลมร้อนและอิทธิพลของไมโครเวฟต่อคุณลักษณะการอบแห้งแบบชั้นบางของชิ้นมันสำปะหลังด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน วิธีการศึกษาใช้ขนาดชิ้นมันสำปะหลัง 3 ระดับขนาด (3-4, 4-5 และ5-6 มิลลิเมตร) ความหนาของชั้นการอบแห้งเท่ากับ 3 เซนติเมตร อุณหภูมิอากาศร้อน 60°C ความเร็วการไหลของอากาศผ่านพื้นที่หน้าตัดการอบ 4 ระดับ (0.2, 0.3, 0.4, และ 0.5 เมตรต่อวินาที) และความเข้มไมโครเวฟ 3 ระดับ (0.18, 0.30 และ 0.45 วัตต์ต่อกรัม) พบว่าพฤติกรรมการอบแห้งแบบชั้นบางเกิดขึ้นเมื่อความเร็วของอากาศมีค่าตั้งแต่ 0.4 เมตรต่อวินาที ทุกระดับความเข้มไมโครเวฟไม่มีอิทธิพลต่อการลดลงของความชื้นในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ แต่ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงทุกความเข้มไมโครเวฟมีอิทธิพลต่อการลดลงของความชื้นอย่างมากเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว

คำนึง และเสรี (2549) ศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งมะม่วงด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบสเปาเต็ตเบดร่วมกับไมโครเวฟ ผลการศึกษาพบว่าการให้พลังงานไมโครเวฟช่วยลดเวลาและพลังงานได้อย่างมาก ณ ระดับความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟที่ 0.45, 0.75 และ 1.13 W/gค่าพลังงานที่ต้องการในการระเหยน้ำเป็นเพียง 26, 12 และ 10% ของการอบด้วยเทคนิคสเปาเต็ตเบดเพียงลำพัง และเวลาการอบแห้งที่ระดับพลังงานไมโครเวฟ 0.45, 0.75 และ 1.13 W/g คือ1.5, 0.7 และ 0.5 ชั่วโมง ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 มังคุด

3.1.2 เครื่องมือ

3.1.2.1 ไมโครเวฟ Samsung รุ่น MW71B

3.1.2.2 เครื่องแห้งแบบลมร้อน

3.1.2.3 นาฬิกาจับเวลา

3.1.2.4 กระดาษไข

3.1.2.5 กระดาษฟอยล์

3.1.2.6 ซองพลาสติกแบบซิปล๊อค

3.1.2.7 กล่องถนอมอาหารแบบสุญญากาศ

3.1.2.8 จานแก้ว

3.1.2.9 ถุงมือจับของร้อน

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ทางเคมี

3.1.3.1 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 3 ตำแหน่ง

3.1.3.2 เครื่องวัดการละลายของแข็ง แบบปากกา EUTECH รุ่น PCSTeste35

3.1.3.3 เครื่องปั่นน้ำผลไม้ Imarflex IF-315

3.1.3.4 เครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี

3.1.3.5 น้ำกลั่น

3.1.3.6 กระดาษกรอง

3.1.3.7 พาราฟิล์ม

3.1.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ทางกายภาพ

3.1.4.1 หนังสือวัดค่าสีมันเซลล์ (The Munsell Book of color)

3.1.4.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร Texture Analyzer รุ่น TA.XT.plus

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ศึกษาลักษณะของมังคุดสดก่อนการอบแห้ง

3.2.1.1 ศึกษาคุณลักษณะทางเคมี

การหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total dissolve solids ; TDS) โดยใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้

3.2.1.2 ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ

1) การวัดค่าสี

การวัดค่าสี สามารถวัดได้โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบสีจากหนังสือวัดค่าสีมันเซลล์ ซึ่งมีทฤษฎีสีของมันเซลล์ จะมีมิติสีแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ใน 3 มิติคือ Hue/Value/Chroma ซึ่งความสัมพันธ์นี้ ทำให้ได้สีที่แตกต่างกันออกมามากมาย มีรายละเอียด ดังนี้

- Hue คือ คุณสมบัติที่ระบุว่าเป็นสีใดสีหนึ่ง และมีความแตกต่างจากสีอื่น และสีนั้นเป็นสีประเภท Chroma Color เช่น สีแดง สีเขียว สีเหลือง เป็นต้น มันเซลล์ได้กำหนด Hue หรือ สีหลักในวงจรสีของเขาไว้จำนวน 3 สี คือ

แดง (Red)
เหลือง (Yellow)
เขียว (Green)
น้ำเงิน (Blue)
ม่วง (Purple)

และได้วางตำแหน่ง เรียงลำดับเป็นรูปวงกลมตามเข็มนาฬิกา เว้นระยะห่างแต่ละสีเท่ากัน เริ่มจากแดง เหลือง เขียว น้ำเงิน และม่วงแดง มันเซลล์ได้กำหนดว่า สีหลักเหล่านี้ แต่ละสีจะผสมกันเรียงลำดับจากสีหนึ่งไปยังอีกสีหนึ่ง ก็จะได้สีใหม่เพิ่มขึ้นมาอย่างไม่มีที่สิ้นสุด ตัวอย่างเช่น เริ่มจากสีแดงผสมกับสีเหลืองในปริมาณต่าง ๆ ก็จะได้ Hue เพิ่มขึ้นมาไล่ตั้งแต่ แดง ส้ม เหลือง เป็นต้น และทำในลักษณะเดียวกันนี้กับสีหลักอื่น ๆ คือ เหลืองกับเขียว, เขียวกับน้ำเงิน, น้ำเงินกับม่วง และ ม่วงกับแดง ในที่สุดก็จะมาบรรจบกันที่จุดเริ่มต้นคือสีแดง จากการผสมกันของสีหลัก 5 สี ก็จะเกิดสีใหม่เพิ่มขึ้นอีก 5 สี เป็นสีรองแทรกระหว่างสีหลักในวงสีมันเซลล์ คือ

ส้ม (Yelloe Red)
เขียวเหลือง (Green Yellow)
เขียวน้ำเงิน (Green Blue)
ม่วงน้ำเงิน (Purple Blue)
ม่วงแดง (Red Purple)

สีหลักและสีรองรวมกันเป็น 10Hue เรียงอยู่ในวงสี ซึ่งมันเซลล์ได้กำหนดอักษรย่อของแต่ละสี โดยเริ่มจากสีแดง ดังนี้ R, YR, Y, GY, G, BG, B, PB, P และ RP มันเซลล์ได้แบ่งส่วนของวงสีออกเป็น 100 ส่วน และใช้ตัวเลขกับชื่อย่อสีกำกับแต่ละสีของสีหลัก และสีรอง ดังนี้ 5R, 5YR, 5Y, 5GY, 5G, 5BG, 5B, 5PB, 5P และ 5RP สำหรับการแบ่งส่วนและกำหนดตัวเลขที่ละเอียดระหว่างสีเหล่านั้นให้ศึกษาจากวงสีตัวอย่างซึ่งตัวเลขและตัวอักษร ที่กำกับสีนี้เป็นค่ามาตรฐานสำหรับนำไปใช้อ้างอิง ในงานที่เกี่ยวข้องต่อไป ตัวอย่างเช่น 5R หมายถึงสีแดงจัด 2.5R สีแดงออกไปทางม่วง 7.5R คือ สีส้มออกไปทางเหลือง เป็นต้น

- Value คือ สมบัติของค่าน้ำหนัก อ่อน แก่ ของสีประเภท Acromatic Color คือ สีดำ สีเทา สีขาว โดยมีค่าน้ำหนักเริ่มจาก 1 คือ น้ำหนักสีดำ จนถึงค่า 9 เป็นค่าน้ำหนักสีขาว และระหว่างสีดำ กับสีขาวแบ่งเป็นสีน้ำหนักของสีเทา สีดำ สีขาว และสีเทานี้ เรียกว่า สีกลาง

คือ เป็นสีที่ไม่มีคุณสมบัติของสีหลักอยู่เลย แต่ค่าน้ำหนักของสีกลางนี้มันเซลล์นำไปผสมกับสีหลักหรือสี Acromatic Color ทำให้ได้น้ำหนักอ่อนแก่ ของสี

- Chroma คือ สมบัติของสีหลักที่ถูกผสมกับสีกลางในระดับใดระดับหนึ่ง (0-9) ทำให้ค่า Chroma ของสีนั้นอ่อนลงและไล่น้ำหนักจขนกระทั่งสีนั้นมีค่าความจัดของสีสูง หรือมีความอิ่มตัวของสีสดใส ค่าจากความอ่อนจนถึงสดใสสูงที่สุดของสีดังกล่าวนี้ เริ่มจากค่า 1 (เทา) ออกไปไม่มีข้อกำหนดตายตัว ขึ้นอยู่กับค่า Chroma ของแต่ละสี เช่น สีหลักของสีเหลืองส้ม 5YR มีตำแหน่ง Chroma สูงที่สุดที่ 7/10 และ 6/10 แต่สีหลักของสีม่วงแดง 5RP มีตำแหน่ง Chroma สูงที่สุด 7/26

- ลักษณะสีของมันเซลล์ (Munsell Notation) มันเซลล์ได้กำหนดสัญลักษณ์ หรือตัวอักษรและตัวเลขกำกับแต่ละสี ที่ถูกผสมตามทฤษฎีสีของมันเซลล์ ไว้ดังนี้

H V/C หรือ H V:C (H = Hue V = Value C = Chroma)

ตัวอย่างถ้าระบุสีดังนี้ 5RP 5/12 แปลค่าตามสัญลักษณ์ ก็คือ

H = 5RP, V = 5/, C = 12

หมายความว่า สีนั้นก็คือสีม่วงแดง (Red Purple) ในตำแหน่งที่ 5R ค่าน้ำหนัก Value สีเทา ในตำแหน่งที่ ค่า Chroma ในตำแหน่งที่ 12

Hue/Value/Chroma ในทฤษฎีของมันเซลล์ มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และทุก Hue สามารถปรับค่าได้อย่างอิสระไปตามแกนของ Value และตามทิศทางของ Chroma ซึ่งมีควาวมสัมพันธ์นี้ออกมาในแบบจำลอง 3 มิติ

2) การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

ทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส คือ ค่าความแน่นเนื้อ (firmness) โดยใช้เครื่อง Texture Analyze รุ่น TA.XTplus

3) คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อมังคุดอบแห้งที่เตรียมได้จากการทดลอง โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทดลองชิมมังคุดทั้งอบแห้ง และมังคุดสดแล้วกรอกคะแนนตามความชอบลงในแบบสอบถาม (แสดงตัวอย่างแบบสอบถามในภาคผนวก ข)

3.2.2 ศึกษาผลของกระบวนการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

3.2.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ใช้มังคุดที่ซื้อจากห้างสรรพสินค้า Makro แกะเปลือกมังคุด คัดเนื้อมังคุดเป็น 2 กลุ่มตัวอย่าง ดังนี้

1) เนื้อมังคุดกลีบเล็ก (Size S) ที่มีความกว้างของกลีบประมาณ 1 เซนติเมตร และความยาวของกลีบประมาณ 2 เซนติเมตร

2) เนื้อมังคุดกลีบใหญ่ (Size L) ที่มีความกว้างของกลีบประมาณ 1.5 เซนติเมตร และความยาวของกลีบประมาณ 2.5 เซนติเมตร

3.2.2.2 การอบแห้งเนื้อมังคุด

1) การอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบอบไมโครเวฟช่วงต้น (MBH)

- นำกลุ่มกลีบเล็กและกลีบใหญ่ ประมาณ 500 กรัม อบด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟ 300 วัตต์ ชั่งน้ำหนักทุก 2 นาที จนมีน้ำหนักเหลือประมาณ 50% ของน้ำหนักกลุ่มตัวอย่างก่อนอบ

- นำกลุ่มตัวอย่างเดิมหลังจากอบไมโครเวฟ นำมาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 และ 75 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง จนน้ำหนักของกลุ่มตัวอย่างคงที่

2) การอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบอบไมโครเวฟช่วงปลาย (HBM)

- นำกลุ่มมังคุดกลีบเล็กและกลีบใหญ่ ประมาณ 500 กรัม อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 2 ค่า คือ 45 และ 75 องศาเซลเซียส จับเวลาชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง จนมีน้ำหนักเหลือประมาณ 50% ของน้ำหนักกลุ่มตัวอย่างก่อนอบ

- นำกลุ่มตัวอย่างเดิมหลังจากอบไมโครเวฟ ที่กำลังไฟ 300 วัตต์ ชั่งน้ำหนักทุก 2 นาที จนน้ำหนักของกลุ่มตัวอย่างคงที่

3) การอบไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว

- นำมังคุดกลีบเล็กอบไมโครเวฟที่กำลังไฟ 300 วัตต์ ชั่งน้ำหนักทุก 2 นาที จนน้ำหนักของกลุ่มตัวอย่างคงที่

4) การอบลมร้อนเพียงอย่างเดียว

- นำมังคุดกลีบเล็กอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมง จนน้ำหนักของกลุ่มตัวอย่างคงที่

ในการทดลองนี้มีเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยในกระบวนการอบตามที่แสดงในตารางที่ 3.1 และมีจำนวนรอบ 2^3 ได้จากค่าที่เปลี่ยนแปลง 2 ค่า ยกกำลังด้วยปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย จะได้จำนวนรอบของการทดลองทั้งหมด 8 รอบและมีกระบวนการที่ใช้เป็นมาตรฐานอีก 2 รอบรวมเป็น 10 รอบ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขค่าที่เปลี่ยนแปลงของปัจจัยในกระบวนการอบ

ปัจจัย	ค่าที่เปลี่ยนแปลง	
	1	2
ขนาดของเนื้อมังคุด	S = มังคุดกลีบเล็ก	L = มังคุดกลีบใหญ่
กระบวนการ	MBH = ไมโครเวฟต้น	HBM = ไมโครเวฟปลาย
อุณหภูมิของลมร้อน	45 °C = 45 องศาเซลเซียส	75 °C = 75 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยของกระบวนการอบในแต่ละรอบการทดลอง

หน่วยการทดลอง	กระบวนการ	อุณหภูมิของลมร้อน	ขนาดของเนื้อมังคุด
1	MBH	45	S
2	MBH	45	L
3	MBH	75	S
5	HBM	45	S
6	HBM	45	L
7	HBM	75	S
8	HBM	75	L
9	M (Microwave)	-	S
10	H (Hot-air)	75	S

นำข้อมูลที่ได้จากกระบวนการอบไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับเวลาในการอบแห้ง

3.2.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และเคมีของผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง

นำกลุ่มตัวอย่างทั้ง 10 หน่วยการทดลองในข้อ 3.2.2 มาวิเคราะห์

1) การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นโดยชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการอบหาค่าออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์

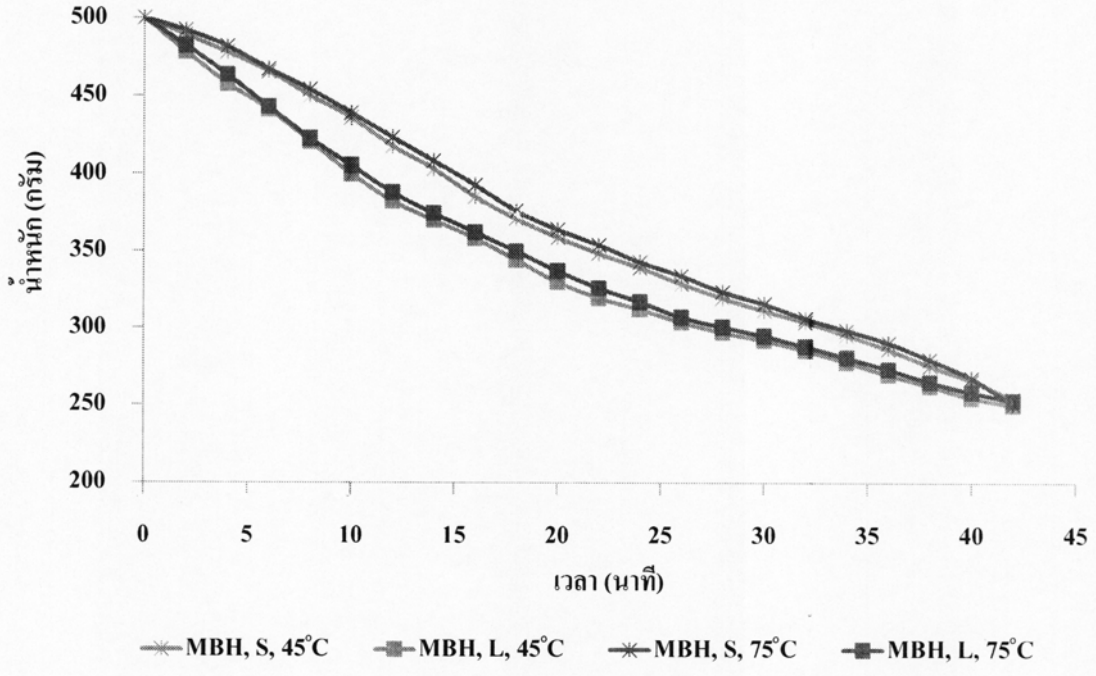
2) วิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ เหมือนข้อ 3.2.1

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาการอบแห้งมังคุดด้วยกระบวนการต่างๆ

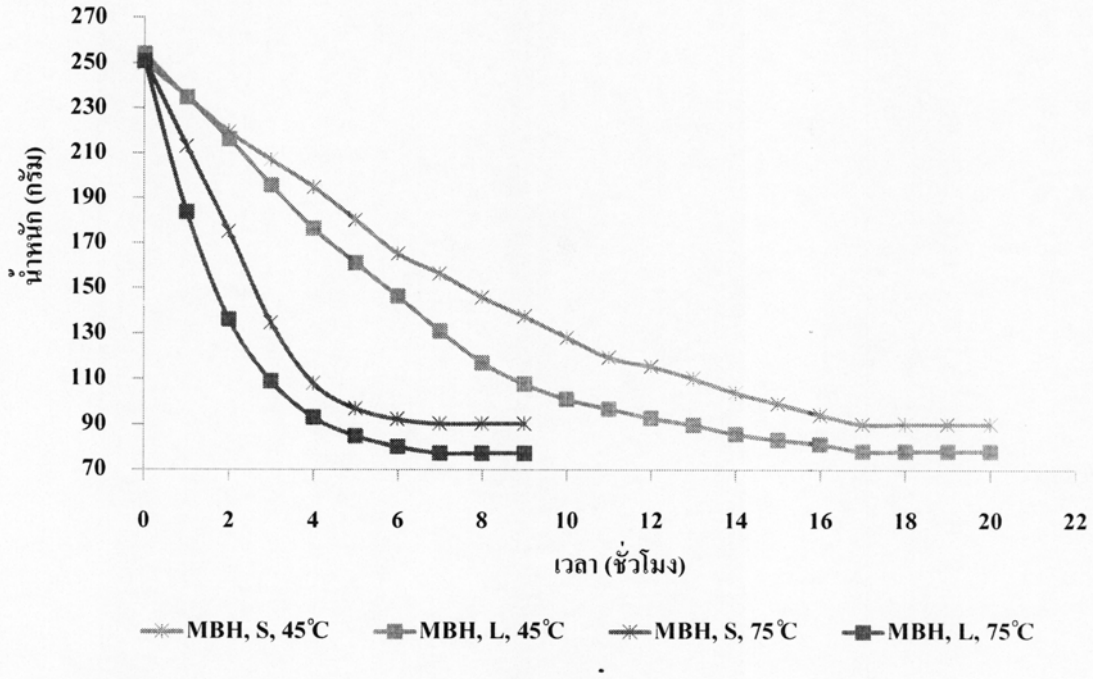
จากการศึกษาการอบแห้งมังคุดด้วยเทคนิคการอบ 4 แบบ คือ การอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบอบไมโครเวฟช่วงต้น (MBH) และแบบอบไมโครเวฟช่วงปลาย (HBM) การอบไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว และการอบลมร้อนเพียงอย่างเดียว ได้ผลการทดลองดังรูป 4.1 – 4.4



รูปที่ 4.1 ผลการอบไมโครเวฟของการอบแบบ MBH

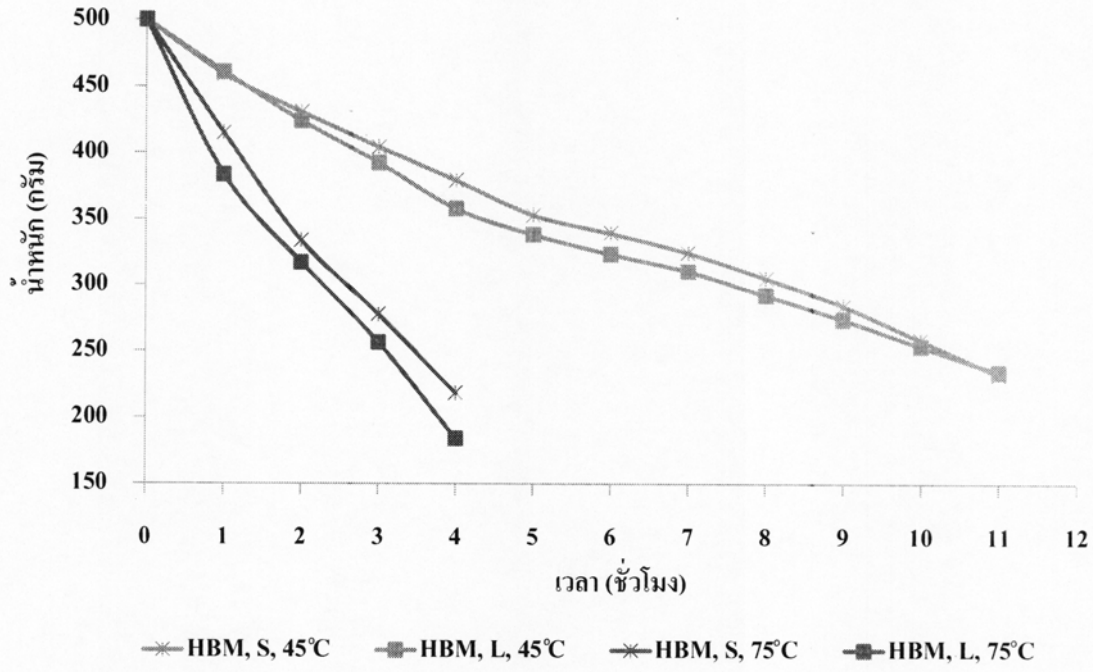
จากรูปที่ 4.1 แสดงปริมาณความชื้นของเนื้อมังคุดทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ที่ผ่านการอบไมโครเวฟก่อนที่กำลังไฟ 300 วัตต์ ใช้ระยะเวลาในการอบ 42 นาที จากนั้นนำไปอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 และ 75 องศาเซลเซียสจนกระทั่งเนื้อมังคุดแห้งสนิท ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่า การต่อด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสใช้ระยะเวลาในการอบนานกว่าการอบต่อด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสประมาณ 11 ชั่วโมง โดยการอบมังคุดที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสใช้เวลาอบ 20 ชั่วโมง 42 นาทีและการอบเนื้อมังคุดที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสใช้เวลาอบ 9 ชั่วโมง 44 นาทีทั้ง 2 ขนาด เมื่อกระบวนการอบสิ้นสุดลง พบว่า เนื้อมังคุดกลีบใหญ่มีน้ำหนักเหลือ

น้อยกว่ากลีบเล็กประมาณ 13 กรัม เนื่องจากมังคุดกลีบใหญ่มีปริมาณเนื้อน้อยกว่าเนื้อมังคุดกลีบเล็ก โดยในการชั่งน้ำหนักมังคุดกลีบใหญ่ 500 กรัมจะได้เนื้อต่อเม็ด 2:1 จึงส่งผลให้น้ำหนักของเนื้อมังคุดกลีบใหญ่เหลือน้อยกว่าเนื้อมังคุดกลีบเล็ก และผลจากน้ำหนักที่น้อยกว่าทำให้เมื่อคำนวณปริมาณความชื้นสุดท้ายได้ค่าที่น้อยกว่าเช่นกัน ปริมาณความชื้นสุดท้ายหลังจากกระบวนการอบที่อุณหภูมิ 45 และ 75 องศาเซลเซียส เนื้อมังคุดกลีบเล็กมีปริมาณความชื้นสุดท้าย 18.03% และ 18.08% ตามลำดับ ในขณะที่กลีบใหญ่มีปริมาณความชื้นสุดท้าย คือ 15.63% และ 15.46% ตามลำดับเช่นกัน

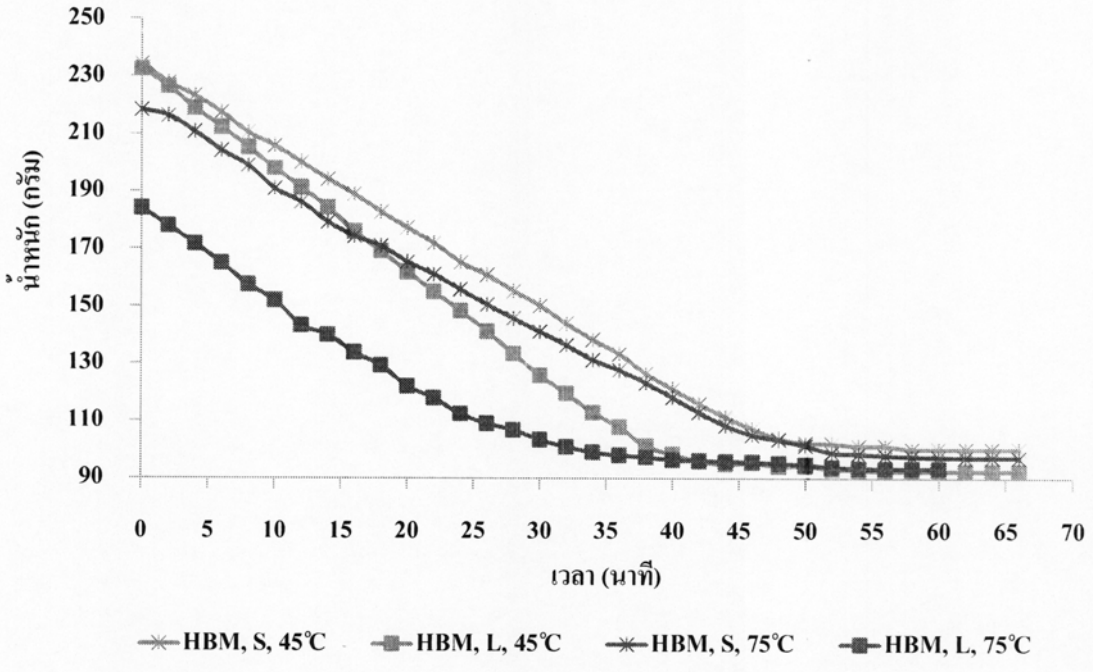


รูปที่ 4.2 ผลการอบลมร้อนของการอบแบบ MBH

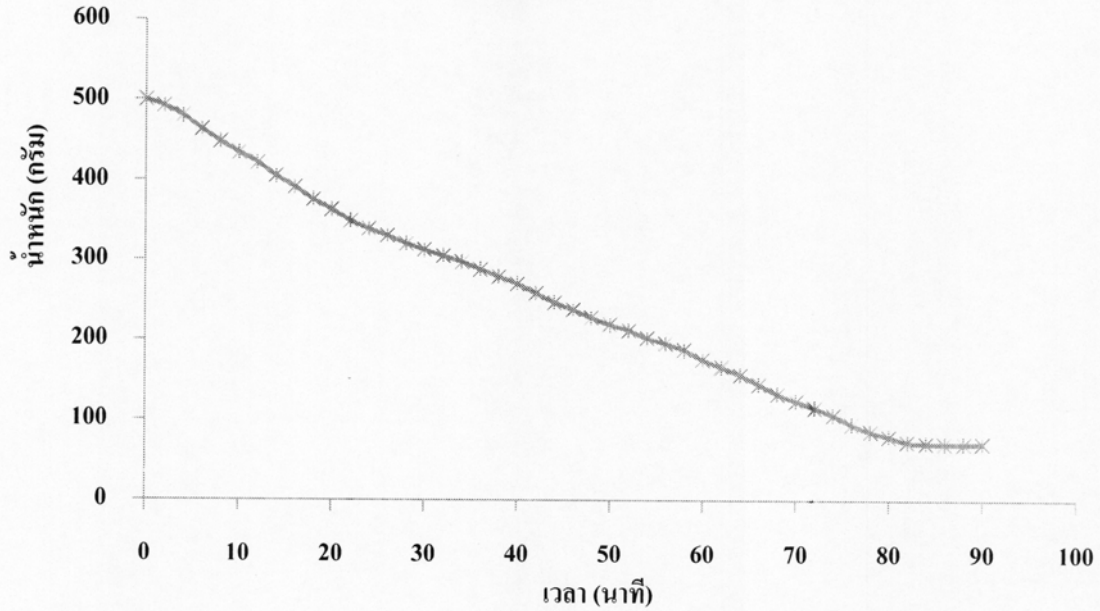
ส่วนการศึกษาการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบอบไมโครเวฟช่วงปลาย (HBM) จากรูปที่ 4.3 แสดงปริมาณความชื้นของเนื้อมังคุดทั้งกลีบเล็กและกลีบใหญ่ที่ผ่านการอบด้วยลมร้อนก่อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบ 11 ชั่วโมง และ 75 องศาเซลเซียสใช้เวลาอบ 5 ชั่วโมงทั้ง 2 ขนาด จากนั้นนำไปอบไมโครเวฟที่กำลังไฟ 300 วัตต์ จนกระทั่งเนื้อมังคุดแห้งสนิทได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.4



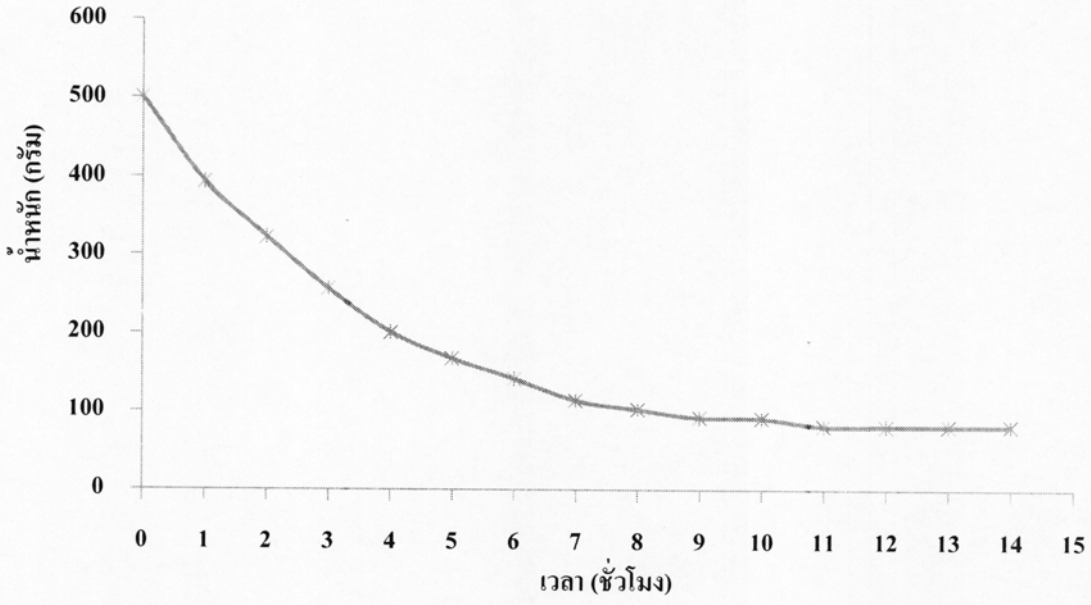
รูปที่ 4.3 ผลการอบลมร้อนของการอบแบบ HBM



รูปที่ 4.4 ผลการอบไมโครเวฟของการอบแบบ HBM



รูปที่ 4.5 ผลการอบไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.6 ผลการอบลมร้อนเพียงอย่างเดียว

จากรูปที่ 4.4 พบว่า มังคุดที่ผ่านการอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสแล้วอบต่อด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟ 300 วัตต์ ใช้เวลาอบนานกว่าเริ่มอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศา-

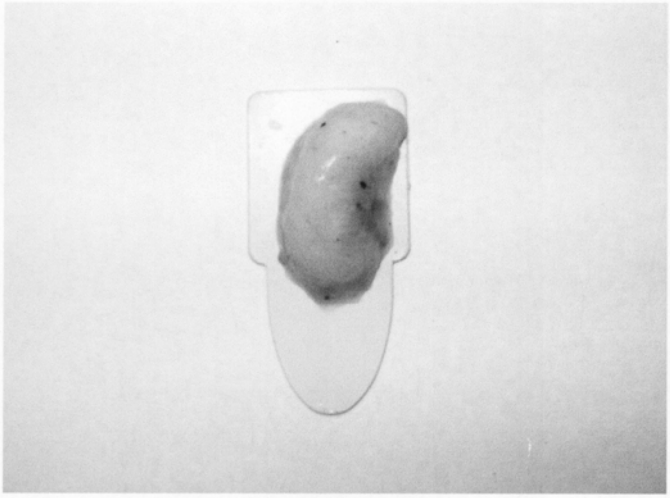
เซลเซียสประมาณ 7 ชั่วโมง โดยการอบเนื้อมังคุดทั้ง 2 ขนาดที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบเท่ากันคือ 12 ชั่วโมง 6 นาที ส่วนการอบเนื้อมังคุดที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส กลีบเล็กใช้เวลาอบ 5 ชั่วโมง 6 นาที แต่กลีบใหญ่ใช้เวลาอบ 5 ชั่วโมง เมื่อกระบวนการอบสิ้นสุดลง พบว่า น้ำหนักที่เหลือของการอบแบบ HBM นี้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการอบแบบ MBH คือ มังคุดกลีบใหญ่มีน้ำหนักเหลือน้อยกว่ากลีบเล็ก ค่าปริมาณความชื้นสุดท้ายหลังจากกระบวนการอบที่อุณหภูมิ 45 และ 75 องศาเซลเซียส เนื้อมังคุดกลีบเล็กมีปริมาณความชื้นสุดท้าย 20.03% และ 19.43% ตามลำดับ ส่วนกลีบใหญ่มีปริมาณความชื้นสุดท้าย คือ 18.49% และ 18.67% ตามลำดับ

จากการศึกษาการอบไมโครเวฟและอบลมร้อนเพียงอย่างเดียว จากรูปที่ 4.5 แสดงปริมาณความชื้นของมังคุดกลีบเล็กที่ผ่านการอบไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว ใช้กำลังไฟ 300 วัตต์ อบจนมังคุดแห้งสนิท ใช้เวลาในการอบน้อยที่สุดเพียง 1 ชั่วโมง 30 นาที แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สามารถรับประทานได้ เนื่องจากเมื่อเข้านาทีที่ 36 ผลิตภัณฑ์เริ่มไหม้จึงไม่สามารถนำมารับประทานได้ เมื่ออบจนน้ำหนักคงที่ พบว่ามีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำที่สุดในการอบของทุกกระบวนการ คือ 14.08%

จากรูปที่ 4.6 พบว่า การอบมังคุดกลีบเล็กด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 14 ชั่วโมง ซึ่งนานกว่าการอบทั้ง MBH และ HBM ที่กลีบเล็กอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และการอบลมร้อนเพียงอย่างเดียวมีปริมาณความชื้นสุดท้ายคือ 16.18%

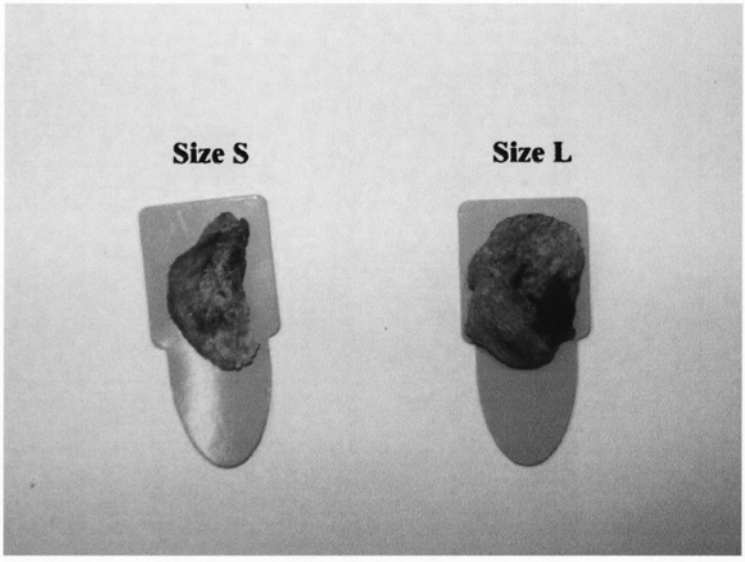
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสี

จากการศึกษาการอบแห้ง พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีค่าสีที่เข้มขึ้นและจากเดิมมังคุดสดจะมีโทนสีส้มออกแดงอ่อนดังรูปที่ 4.7 แสดงการวิเคราะห์ค่าสีของมังคุดสดค่าสีที่ได้ คือ 2.5YR9/2

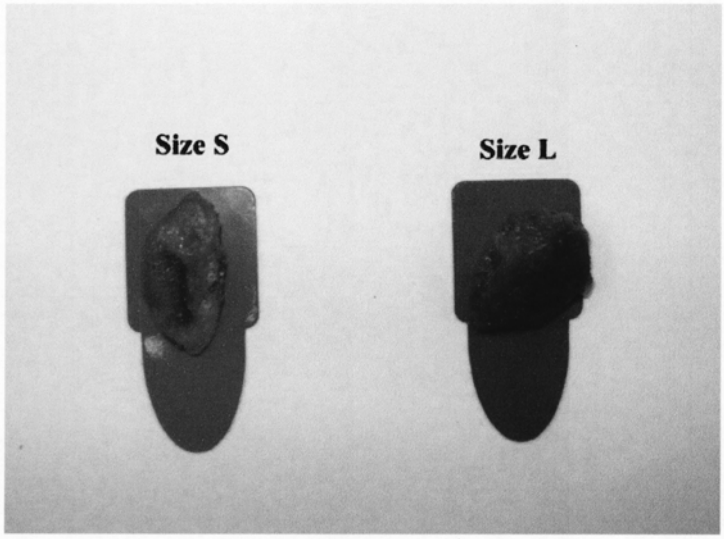


รูปที่ 4.7 ค่าสีของมังคุดสดก่อนการอบแห้ง

เมื่อนำมังคุดมาอบด้วยเทคนิคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบอบไมโครเวฟช่วงต้น (MBH) ได้ลักษณะของมังคุดอบแห้งดังรูปที่ 4.8 ผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบเล็กอบแห้งที่ผ่านการอบแบบ MBH ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่าสีมันเซลล์คือ 2.5YR7/4 ส่วนกลีบใหญ่มีค่าสีมันเซลล์คือ 5YR7/4 แสดงว่าผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งที่อบด้วยกระบวนการ MBH เนื้อมังคุดทั้ง 2 ขนาดให้ค่าสีเป็นโทนสีส้ม แต่กลีบใหญ่มีสีส้มจัดกว่ากลีบเล็กที่เป็นสีส้มออกแดง โดยทั้ง 2 ขนาดมีความสว่างสูง แต่มีความสดใสของสีที่ไม่ค่อยมาก สีของผลิตภัณฑ์จึงไม่ออกโทนสีที่ชัดเจน



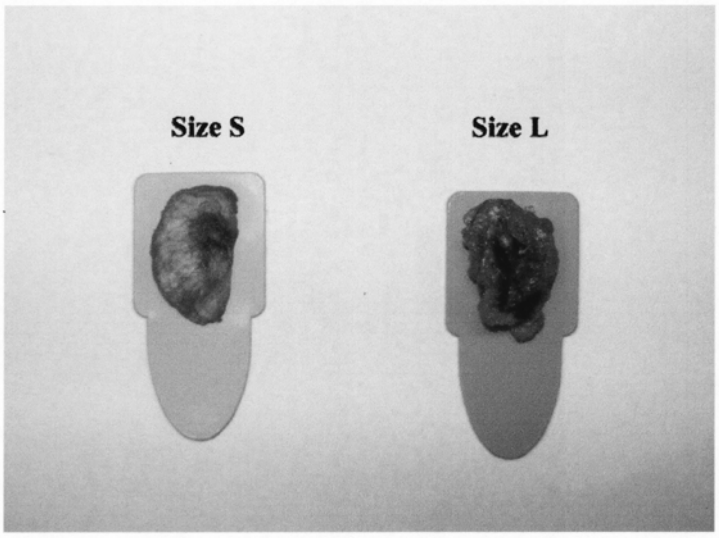
รูปที่ 4.8 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแบบ MBH ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.9 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแบบ MBH ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

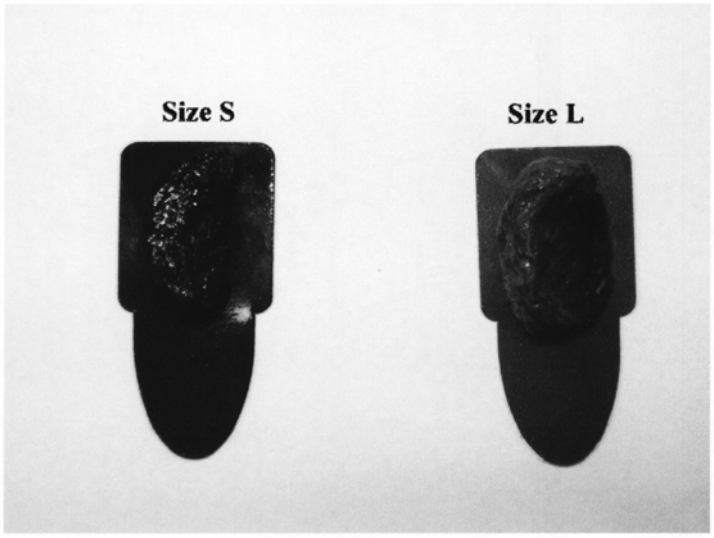
ในขณะที่ผลิตภัณฑ์จากการอบที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส มีสีดังรูปที่ 4.9 ค่าสีผลิตภัณฑ์ที่อบแบบ MBH กลีบเล็กมีค่าสีมันเซลล์ 7.5YR5/8 กลีบใหญ่ 7.5YR4/8 แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยกระบวนการ MBH เนื้อมังคุดทั้ง 2 ขนาดให้สีหลักโทนสีส้มออกเหลืองเป็นโทนสีเดียวกัน ต่างกันที่กลีบเล็กมีค่าความสว่างมากกว่ากลีบใหญ่เท่านั้นเอง

จากการศึกษาค่าสีที่ได้จากการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบอบไมโครเวฟช่วงปลาย (HBM) ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ค่าสีของผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบเล็กอบแห้งที่ผ่านการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่าสีมันเซลล์คือ 7.5YR8/6 ส่วนกลีบใหญ่มีค่าสีมันเซลล์คือ 7.5YR8/4 แสดงว่าผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งที่อบด้วยกระบวนการ HBM เนื้อมังคุดทั้ง 2 ขนาดให้ค่าสีเป็นโทนสีส้มออกเหลืองและมีค่าความสว่างเท่ากัน ต่างกันที่ค่าความสดใสของสี คือ กลีบเล็กมีค่าความสดใสมากกว่ากลีบใหญ่

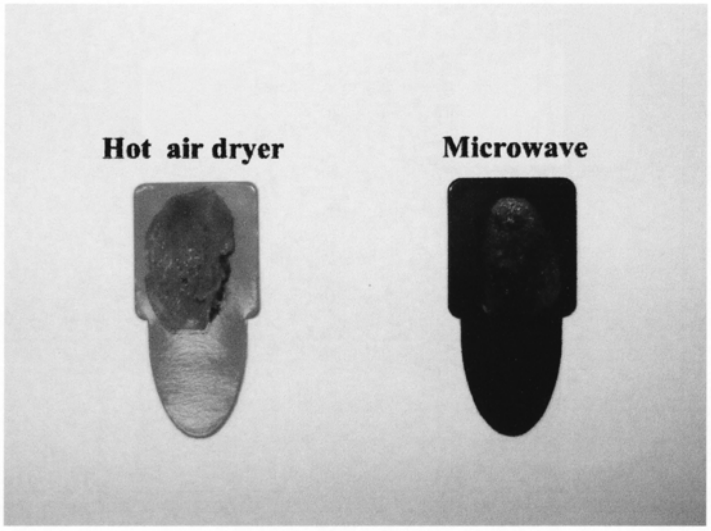


รูปที่ 4.10 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส มีสีดังรูปที่ 4.11 ค่าสีของผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งที่ผ่านการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส มองด้วยตาเปล่าจะพบว่ามีสีค่อนข้างคล้ำมากเนื่องจากการไหม้ และเมื่อนำผลิตภัณฑ์มาวัดด้วยหนังสือวัดค่าสีมันเซลล์พบว่ากลีบเล็กมีค่าสีมันเซลล์คือ 7.5YR2/2 ส่วนกลีบใหญ่มีค่าสีมันเซลล์คือ 7.5YR2/4 ซึ่งแสดงถึงความสว่างและความสดใสที่ค่อนข้างต่ำมากจนเกือบเข้าใกล้สีดำ จึงสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งที่อบด้วยกระบวนการ HBM นั้นไม่สามารถนำมาบริโภคได้เนื่องจากการไหม้ส่วนโทนสีเป็นโทนสีส้มออกเหลืองแต่มีสีดำเพราะความสว่างและความสดใสของสีต่ำมากนั่นเอง



รูปที่ 4.11 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 ค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบลมร้อนและไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว

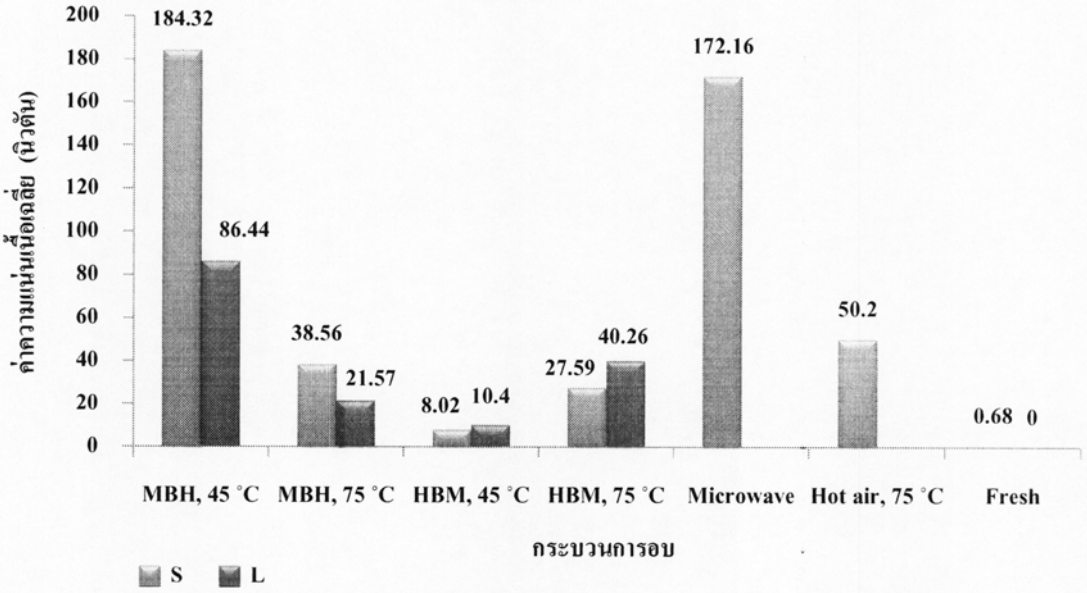
จากรูปที่ 4.12 เป็นค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว ได้ค่าสี คือ 2.5YR2/2 ซึ่งเป็นสีที่เข้มมากเนื่องจากการไหม้ ส่วนการอบลมร้อนเพียงอย่างเดียวได้ค่าสี คือ 7.5YR6/10 โทนสีออกเหลืองจัด มีความสว่างกลาง ๆ แต่มีค่าความสดใสของสีที่เด่นมากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีสดที่สุด

4.3 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

รูปที่ 4.13 เป็นผลการทดสอบเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบอบไมโครเวฟช่วงต้น (MBH) เพื่อหาความแน่นเนื้อ พบว่า การอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เนื้อมังคุดกลีบเล็กใช้แรงในการวัดเฉลี่ย 38.56 นิวตัน ในขณะที่กลีบใหญ่มีใช้แรงในการวัดเฉลี่ย 21.57 นิวตัน ส่วนการอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เนื้อมังคุดกลีบเล็กใช้แรงในการวัดเฉลี่ย 184.32 นิวตัน แต่เนื้อมังคุดกลีบใหญ่ใช้แรงในการวัดเฉลี่ย 86.44 นิวตัน สังเกตได้ว่าการอบแบบ MBH ทำให้ผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งกลีบเล็กมีความแน่นเนื้อมากกว่ากลีบใหญ่ไม่ว่าจะอบที่อุณหภูมิใดก็ตาม นั่นเป็นเพราะในผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดกลีบเล็กมีปริมาณความชื้นสุดท้ายที่เหลือมากกว่าเกือบ 3% เมื่อผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงจึงทำให้ความแน่นเนื้อมากกว่าเช่นกัน จึงต้องใช้แรงในการกดมากกว่าผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดอบแห้งกลีบใหญ่ที่มีปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ต่ำกว่าจึงทำให้ความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า

ส่วนที่ได้จากการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบอบไมโครเวฟช่วงปลาย (HBM) เมื่อหาค่าความแน่นเนื้อ พบว่า ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เนื้อมังคุดกลีบเล็กใช้แรงในการวัดเฉลี่ย 8.02 นิวตัน ในขณะที่กลีบใหญ่มีใช้แรงในการวัดเฉลี่ย 10.4 นิวตัน ส่วนการอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เนื้อมังคุดกลีบเล็กใช้แรงในการวัดเฉลี่ย 27.59 นิวตัน แต่เนื้อมังคุดกลีบใหญ่ใช้แรงในการวัดเฉลี่ย 40.26 นิวตัน สังเกตได้ว่าในการอบแบบ HBM นั้นใช้แรงในการกดแตกต่างกับการอบแบบ MBH คือ การอบแบบ HBM ทำให้ผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งกลีบใหญ่มีความแน่นเนื้อมากกว่ากลีบเล็กไม่ว่าจะอบที่อุณหภูมิใดก็ตาม นั่นเป็นเพราะการอบแบบ HBM ในผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดกลีบเล็กมีการไหม้ของผลิตภัณฑ์มากกว่ากลีบใหญ่ เมื่อพิจารณาเช่นเดียวกับการอบแบบ MBH พบว่ากลีบเล็กมีปริมาณความชื้นสูงกว่ากลีบใหญ่ประมาณ 1% กลีบเล็กก็ควรจะมีความแน่นเนื้อสูงกว่ากลีบใหญ่ แต่เมื่อนำไปวัดแรงกดที่ใช้จริงพบว่า กลีบใหญ่ใช้แรงกดมากกว่ากลีบเล็ก เป็นเพราะการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์กลีบใหญ่มีการไหม้มากกกว่าจึงทำให้มีความแน่นเนื้อน้อย เมื่อความแน่นเนื่อน้อยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะแข็งขึ้นจึงทำให้ต้องใช้แรงในการกดเพิ่มขึ้น ส่วนการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสไม่สามารถสรุปได้เพราะกราฟที่ได้จากการวัดความแน่นเนื้อ (ภาคผนวก ค รูปที่ ค.9) ไม่สามารถสรุปได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไหม้มาก กราฟที่ได้จึงมีพีคหลายจุด ซึ่งถือว่าไม่สามารถสรุปค่าความแน่นเนื้อได้ แต่ที่สามารถบอกแรงที่ใช้ในการกดได้

การอบด้วยไมโครเวฟอย่างเดียว พบว่า ใช้แรงในการกดที่สูงกว่าการอบด้วยลมร้อนอย่างเดียว โดยการอบด้วยไมโครเวฟอย่างเดียวใช้แรงกดสูงถึง 172.2 นิวตัน ในขณะที่การอบลมร้อนอย่างเดียวใช้แรงกด 50.2 นิวตัน เนื่องจากสาเหตุเดียวกันกับการอบแบบ HBM ในผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียวมีการไหม้ของผลิตภัณฑ์มากกว่าผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดอบแห้งที่ผ่านการอบด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว สังเกตุได้จากค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่จะมีค่าความสว่างที่ค่อนข้างต่ำกว่ามาก แสดงว่ามีการไหม้มากกว่าทำให้มีความแน่นเนื้อน้อย เมื่อความแน่นเนื่อน้อยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะแข็งขึ้นจึงทำให้ต้องใช้แรงในการกดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.13 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความแน่นเนื้อของทุกกระบวนการอบ

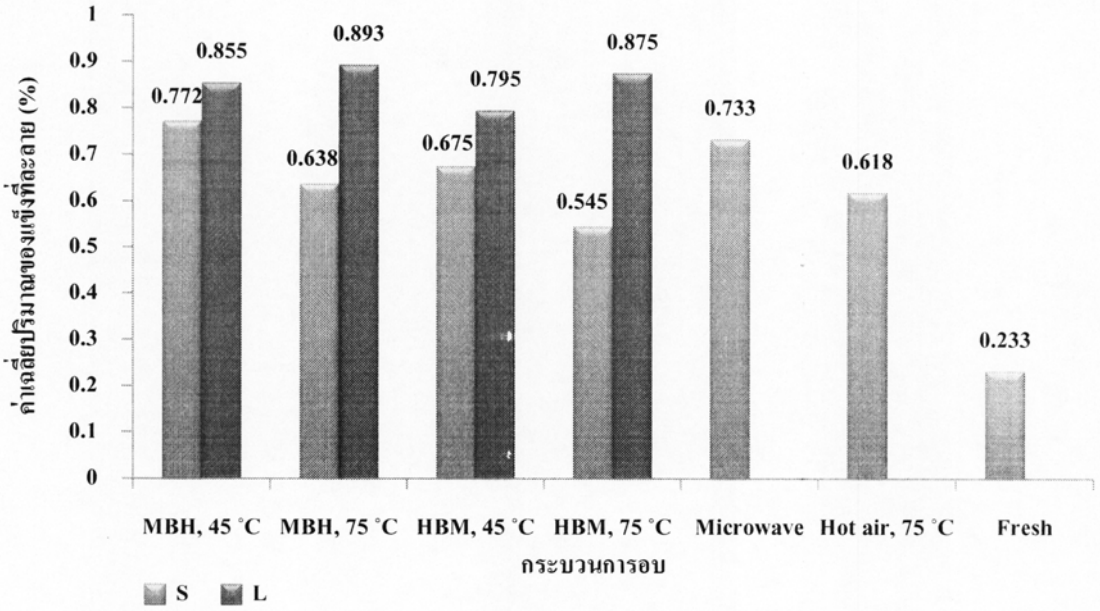
4.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้

ปริมาณของแข็งที่ละลาย คือ ของที่อยู่ในผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลและสารอินทรีย์ เป็นต้น แต่ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำตาลที่ละลายในน้ำ จากรูปที่ 4.14 การอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบใช้ไมโครเวฟช่วงต้น (MBH) เมื่อพิจารณาค่าปริมาณของแข็งที่ละลาย พบว่าผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดกลีบใหญ่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงกว่าผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดกลีบเล็ก ไม่ว่าจะอบที่อุณหภูมิใดก็ตาม โดยการอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบเล็กอบแห้งมีปริมาณของแข็งที่ละลาย 0.69% ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดกลีบใหญ่อบแห้งมีปริมาณของแข็งที่ละลาย 0.82% ส่วนการอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบเล็กอบแห้งมีปริมาณของแข็งที่ละลาย 0.76% ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดกลีบใหญ่อบแห้งมีปริมาณของแข็งที่ละลายมากกว่า คือ 0.89% นั่นเป็นเพราะผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบเล็กแตกต่างจากกลีบใหญ่ตรงที่ไม่มีเมล็ด ซึ่งในเมล็ดของมังคุดนั้นจะประกอบไปด้วยสารอาหารจำพวกน้ำมันเป็นส่วนใหญ่รองลงมาจึงเป็น คาร์โบไฮเดรต น้ำตาล และแป้ง เป็นต้น สารอาหารจำพวก คาร์โบไฮเดรตและแป้ง เมื่อโดนความร้อนจะสลายพันธะกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งกลีบใหญ่น้ำตาลที่อยู่ในรูปของแข็งจึงน้อยกว่าเมื่อนำมาหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำจึงมีค่าน้อยกว่าผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดกลีบใหญ่อบแห้งที่มีปริมาณความชื้นสุดท้ายน้อยกว่า

ส่วนการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบใช้ไมโครเวฟช่วงปลาย (HBM) ค่าปริมาณของแข็งที่ละลาย ก็มีค่าคล้ายกับการอบแบบ MBH คือ ผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดกลีบใหญ่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงกว่าผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดกลีบเล็กไม่ว่าจะอบที่อุณหภูมิใดก็ตาม โดยการอบที่

อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบเล็กมีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่ละลาย 0.68% ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดกลีบใหญ่อบแห้งมีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่ละลาย 0.79% ส่วนการอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์มังคุดกลีบเล็กอบแห้งมีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่ละลาย 0.75% ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เนื้อมังคุดกลีบใหญ่อบแห้งมีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่ละลายมากกว่า คือ 0.88%

และการอบด้วยไมโครเวฟอย่างเดียว พบว่า ให้ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่ละลายที่สูงกว่าการอบด้วยลมร้อนอย่างเดียว แต่ก็ยังสูงกว่าไม่เกินการอบแบบ MBH กับ HBM โดยการอบด้วยไมโครเวฟอย่างเดียวมีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่ละลาย 0.73% ในขณะที่การอบด้วยไมโครเวฟอย่างเดียวมีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่ละลาย 0.62%

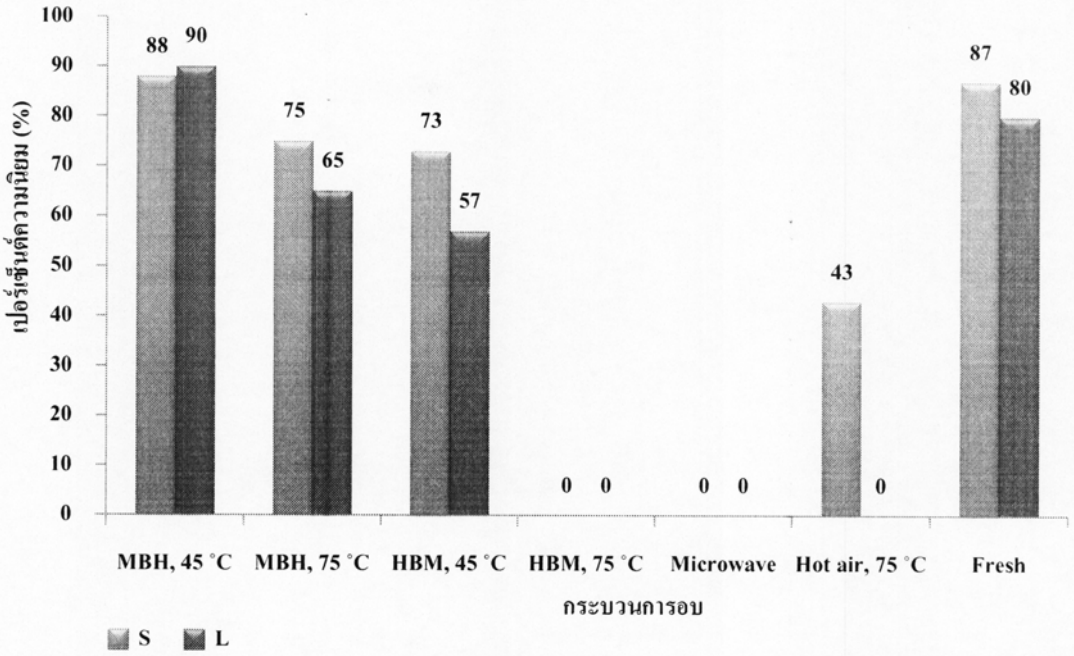


รูปที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของทุกกระบวนการอบ

4.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้จากผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ได้ค่าความนิยมดังรูปที่ 4.15 ส่วนที่มีค่าเป็น 0 เพราะผลิตภัณฑ์ไหม้จึงไม่สามารถรับประทานได้ สังเกตุได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบกลีบใหญ่แบบ MBH ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ได้รับความนิยมสูงสอดคล้องกับปริมาณของแข็งที่ละลายสูงเช่นเดียวกัน อีกทั้งค่าสีที่สวยงามออกสีส้มสดใสไม่ทึบไม่คล้ำ ภาพโดยรวมดูน่ารับประทาน ค่าความยืดหยุ่นกลาง ๆ ไม่แข็งและไม่เหนียวเกินไป อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้รับความนิยมสูง เพราะจากการวิเคราะห์พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบแบบ

อบแห้งมากกว่าแบบสด ซึ่งเหมาะกับการรับทานเป็นขนมขบเคี้ยว ที่สะดวกและน่ารับประทานมากกว่าแบบสด



รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของทุกกระบวนการอบ

4.6 การเลือกภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งมังคุด

ในการพิจารณาจะมีเกณฑ์ คือ ปริมาณความชื้นสุดท้าย เวลาที่ใช้ในการอบ ปริมาณของแข็งที่ละลาย และคุณภาพด้านประสาทสัมผัส จึงนำค่าที่ได้จากการทดลองมาให้คะแนน โดยกระบวนการอบแห้งจำเป็นต้องใช้เวลาน้อยที่สุดเพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการผลิตผลิตภัณฑ์ดังนั้นวิธีการอบแห้งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดให้คะแนนมากที่สุดและใช้เวลามากสุดควรมีคะแนนต่ำที่สุด ในลักษณะของสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง ความเหนียว ความชอบโดยรวม ถูกพิจารณาด้วยคะแนนความนิยมที่ได้จากผลสำรวจแบบทดสอบ โดยลักษณะที่ได้รับคะแนนความนิยมสูงที่สุดมีคะแนนมากที่สุดและความนิยมต่ำสุดมีคะแนนต่ำสุด ในด้านปริมาณความชื้นสุดท้าย และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด จะพิจารณาให้ค่าปริมาณความชื้นสุดท้ายน้อยที่สุดได้คะแนนมากที่สุดและปริมาณความชื้นสุดท้ายมากสุดได้คะแนนต่ำสุด ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้คะแนนมากที่สุดส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้น้อยที่สุดจะมีคะแนนต่ำสุด ดังแสดงผลในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการเลือกภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งมังคุด

ลักษณะตัวอย่าง	การเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งมังคุด									
	MBH, 45 °C		MBH, 75 °C		HBM, 45 °C		HBM, 75 °C		Micro-wave	Hot air Dryer
	S	L	S	L	S	L	S	L		
1.ปริมาณความชื้นสุดท้าย	6	8	5	9	4	1	2	3	10	7
2.เวลาที่ใช้อบ	2	2	6	7	5	5	8	9	10	3
3.ปริมาณของแข็งที่ละลาย	6	8	3	10	4	7	1	9	5	2
4.ด้านประสาทสัมผัส	9	10	8	6	7	5	0	0	0	4
5.ภาวะการอบที่ดีที่สุด (%)	58	70	55	80	50	45	28	53	63	40

จากตารางที่ 4.1 พบว่า ภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งมังคุด คือ การอบมังคุดกลีบใหญ่ด้วยกระบวนการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบอบไมโครเวฟช่วงต้น ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์การเลือกสูงที่สุดคือ 80% เมื่อพิจารณาเกณฑ์ต่าง ๆ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณความชื้นสุดท้ายอยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนระยะเวลาในการอบใช้ไปเพียง 9 ชั่วโมง 44 นาที ซึ่งช่วยประหยัดเวลาในการอบถึง 5 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับการอบลมร้อนเพียงอย่างเดียว

4.7 การถ่ายทอดความรู้การทำผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อเป็นต้นแบบให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกมังคุดชุมชนลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช

4.7.1 ชื่อโครงการ: โครงการถ่ายทอดความรู้การทำผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อเป็นต้นแบบให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกมังคุด ชุมชนลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช

4.7.2 หลักการและเหตุผล

มังคุด (Garcinia mangostana L.) เป็นผลไม้ที่น่าสนใจอย่างยิ่งในสายตาของชาวต่างประเทศทั้งในรูปลักษณ์และรสชาติ แหล่งผลิตมังคุดที่สำคัญอยู่ในภาคใต้และภาคตะวันออก ตลาด

ต่างประเทศที่สำคัญของมังคุด ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น ฮ่องกง สิงคโปร์ มาเลเซีย ออสเตรเลีย รวมไปถึงบางประเทศในยุโรป โดยส่งออกในรูปผลมังคุดสด และมังคุดแช่แข็ง ปริมาณการส่งออกมังคุดในปี พ.ศ. 2547 มีประมาณ 13,313 ตัน คิดเป็นมูลค่า 228 ล้านบาท ซึ่งนับว่ายังส่งออกได้ต่ำกว่าความต้องการของตลาดโลก สำหรับพื้นที่ 5 จังหวัดของภาคใต้ คือ นครศรีธรรมราช ตรัง พัทลุง สงขลา และสตูล จัดว่าเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกมังคุดเพื่อการส่งออกโดยเฉพาะอย่างยิ่งจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งมีพื้นที่ปลูกมากที่สุด ได้มีนโยบายขยายการเป็นศูนย์รวบรวมผลผลิตมังคุดเพื่อการส่งออกเนื่องจากได้รับงบประมาณ จากจังหวัดในปี 2548 เพื่อเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับก่อสร้างโรงเรือนจัดซื้ออุปกรณ์ต่างๆ ในการจัดทำโครงการการพัฒนาการผลิตมังคุดเพื่อการส่งออกรวมทั้ง เพื่อเสริมสร้างศักยภาพการแข่งขัน โดยมีเป้าการเพิ่มปริมาณมังคุดที่มีคุณภาพเหมาะต่อการส่งออกให้มากขึ้น จากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20 ของผลผลิตรวม (ข่าวสั้นทั่วไทย, 2550)

อย่างไรก็ตาม ในช่วงฤดูกาลผลไม้ออกสู่ตลาดในระหว่างเดือนพฤษภาคม-สิงหาคมของทุกปี เกษตรกรจะประสบกับปัญหาผลไม้ในฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีปริมาณมากจนเกิดภาวะล้นตลาดโดยเฉพาะผลไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น ลำไย และมังคุด เป็นต้น ถึงแม้จะมีการจำหน่ายในรูปของผลผลิตสดทั้งภายในและนอกประเทศก็ตาม ก็ยังไม่สามารถระบายผลผลิตออกสู่ตลาดได้หมดโดยเฉพาะในฤดูผลผลิตปี 2550 ราคามังคุดตกต่ำจนเกษตรกรไม่สามารถจะจ้างแรงงานเก็บผลผลิตออกมาจำหน่ายได้ ราคาจำหน่ายในสวนอยู่ระหว่าง 1-5 บาท ต่อกิโลกรัม ดังนั้นเกษตรกรจำต้องปล่อยให้ร่วงหล่นอยู่โคนต้นอย่างน่าเสียดาย ทำให้เกษตรกรประสบภาวะขาดทุน ได้รับความเดือดร้อนไม่ว่าจะเป็นเกษตรกรทางภาคตะวันออกและภาคใต้

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ถ้าหากสามารถแปรรูปมังคุดได้ในรูปแบบหลากหลายมากกว่าปัจจุบัน เช่น ไวน์มังคุด มังคุดกวน (ซึ่งมีผู้บริโภคไม่มากนัก) ก็จะเป็นหนทางหนึ่งในการช่วยเหลือเกษตรกร การแปรรูปผลผลิตโดยเฉพาะการอบแห้ง ถือเป็นหนึ่งในกระบวนการที่มีศักยภาพสูงในการแก้ปัญหาราคาผลผลิตตกต่ำ เนื่องจากผลิตภัณฑ์อบแห้งสามารถเก็บไว้จำหน่ายได้ทุกฤดูกาล เป็นการช่วยพยุงราคาผลผลิตและทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปมังคุดเป็นมังคุดอบแห้งด้วยวิธี Freeze-Dry แต่มังคุด Freeze-Dry มีราคาสูง เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูง เพราะใช้เครื่องมือที่มีเทคโนโลยีสูง ไม่สามารถเผยแพร่สู่กลุ่มเกษตรกรได้อย่างแพร่หลายและตลาดค่อนข้างแคบ ต่อมากรมวิชาการเกษตรศึกษาเทคโนโลยีการอบแห้งมังคุดด้วยลมร้อน แบบใช้อุณหภูมิในการอบ 2 ช่วง คือช่วงแรกใช้อุณหภูมิสูง เนื่องจากเนื้อมังคุดมีความชื้นสูง และใช้อุณหภูมิต่ำลงในช่วงที่สอง พบว่าได้ผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งคุณภาพเป็นที่น่าพอใจ แต่ต้องใช้เวลานานถึง 10 ชั่วโมงในการอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการทำมังคุดอบแห้งด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งที่ถูกสุขลักษณะ มีอายุการเก็บรักษานาน ซึ่งจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยประหยัดเวลาและพลังงานในการอบ เพิ่มมูลค่าและเพิ่มช่องทางการจำหน่ายและส่งออกของมังคุดที่มีอยู่ในท้องถิ่น อีกทั้งยังสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ภาคประชาชนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในกลุ่มชุมชนของตนเอง สอดคล้องกับปรัชญาการวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่นแบบยั่งยืนและเศรษฐกิจแบบพึ่งตนเองของประเทศไทย

4.7.3 วัตถุประสงค์

เพื่อถ่ายทอดความรู้แก่เกษตรกรผู้ปลูกมังคุด ชุมชนลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราชที่มีความสนใจที่ต้องการเรียนรู้การทำผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

4.7.4 เป้าหมาย

1) เป้าหมายเชิงปริมาณ เกษตรกรผู้ปลูกมังคุด ชุมชนลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราชจำนวน 20 ราย

2) เป้าหมายเชิงคุณภาพ เกษตรกรผู้ปลูกมังคุด ชุมชนลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราชได้รับความรู้และความเข้าใจในการทำผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

4.7.5 ผู้รับผิดชอบโครงการ

ผู้ดำเนินโครงการ 1) นายสุรัตน์ บุญพึ่ง (หัวหน้าโครงการ)
2) นางสาวมณีรัตน์ ติรนันทกุล
3) นายชาติสยาม ธรรมจินดา

หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลกรุงเทพ

4.7.6 ระยะเวลาและสถานที่

วันที่ 29 มิถุนายน 2555 เวลา 13.00 – 16.00 น. ศาลาประชุม องค์การบริหารส่วนตำบลทอนหงส์ อำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช

4.7.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เกษตรกรผู้ปลูกมังคุด ชุมชนลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราชทราบและเข้าใจการทำผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

4.7.8 รายละเอียดกำหนดการของโครงการถ่ายทอดความรู้แสดงดังตารางที่ 4.2

ตาราง 4.2 การถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับการทำผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อเป็นต้นแบบให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกมังคุด ชุมชนลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช วันศุกร์ที่ 29 มิถุนายน 2555 เวลา 13.00 น. – 16.00 น. ศาลาประชุม องค์การบริหารส่วนตำบลท่าดี อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช

เวลา	รายการ
13.00 – 13.30 น.	ลงทะเบียน
13.30 – 14.30 น.	- กล่าวเปิดโครงการและเกริ่นนำ - บอกที่มาและความสำคัญของโครงการ - บอกขั้นตอนและปัจจัยที่มีผลการทำผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน
14.30 – 14.45 น.	พักรับประทานน้ำชา กาแฟ
14.45 – 16.00 น.	- บอกคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ - บอกผลการสำรวจการตอบรับของผู้บริโภค - สรุปผล - ตอบข้อซักถาม - กล่าวปิดโครงการ

4.7.9 ภาพถ่ายของโครงการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับการทำผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน เป็นต้นแบบให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกมังคุด ชุมชนลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช แสดงในภาพตัวอย่าง ที่ 4.16- 4.18 และภาคผนวก ง

รูปที่ 4.16 ผู้วิจัย (นายสุรัตน์ บุญพึ่ง) เดินทางถึง อบต. ท่าดี อ. ลานสกา จ.นครศรีธรรมราช

รูปที่ 4.17 ผู้วิจัยและเกษตรกรผู้ปลูกมังคุด อบต. ท่าดี อ. ลานสกา จ.นครศรีธรรมราช ที่เข้าร่วมอบรมการทำผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

รูปที่ 4.18 ผู้วิจัยและเกษตรกรผู้ปลูกมังคุด อบต. ท่าดี อ. ลานสกา จ.นครศรีธรรมราช ระหว่างการถ่ายทอดความความรู้เรื่องการทำผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

การผลิตมังคุดอบแห้งพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนให้สูงขึ้นจะช่วยลระยะเวลาในการอบได้มาก แต่ไม่ช่วยให้ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง ในขณะที่ขนาดไม่ส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบ แต่ส่งผลต่อปริมาณความชื้นแทน โดยกลีบใหญ่จะมีปริมาณความชื้นน้อยกว่ากลีบเล็ก ส่วนการอบด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวใช้ระยะเวลานานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบที่ภาวะเดียวกัน ในขณะที่การอบไมโครเวฟใช้ระยะเวลาสั้นที่สุด แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไหม้ จึงไม่สามารถรับประทานได้ สุดท้ายในการหาภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตมังคุดอบแห้งคือ การอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบอบไมโครเวฟช่วงปลาย ที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส โดยมีค่าการเลือกมากที่สุดคือ 80% และผลการถ่ายทอดความความรู้เรื่องการทำผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อเป็นต้นแบบให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกมังคุด ชุมชนลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าเกษตรกรให้ความสนใจ ซักถาม และให้ข้อเสนอแนะต่างๆที่เป็นประโยชน์ในโครงการถ่ายทอดความรู้นี้ด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สามารถนำเปลี่ยนรูปแบบการแปรรูปของผลิตผลทางการเกษตรเป็นรูปแบบอื่น ๆ ได้ เช่น อาหารเสริม สบู่ แชมพู เป็นต้น เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์

5.2.2 สามารถนำอุปกรณ์อบแห้งชนิดอื่นมาประยุกต์ใช้ได้ เพราะการอบแห้งยังมีอุปกรณ์อีกหลายชนิด ซึ่งอาจใช้ระยะเวลาในการอบที่สั้นกว่าและให้ผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่าการนำไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้

บรรณานุกรม

A.S. Kassem, A.Z. Shokr, A.R. El-Mandy, A.M. Aboukarima and E.Y. Hamed. "Comparison of drying characteristics of Thompson seedless grapes using combined microwave oven and hot air drying" **ScienceDirect.** 2011 (10) : 33-40; 17 December 2010.

Hishershopsmart. **"เครื่องอบแห้งผลไม้".** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.hishershop-smart .com/product/50134155.html. (วันที่ค้นข้อมูล : 1 มีนาคม 2555).

Jatuphong Varith. Drying of golden brown Longan flesh using microwave-hot air combined process. Department of Agricultural and Food Engineering. Chaingmai : Maejo University, มปป.

Kitchenwaremarket. **"เครื่องปั่นน้ำผลไม้ 1.5 ลิตร Imarflex".** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http: //www. kitchenwaremarket.com/. (วันที่สืบค้นข้อมูล : 1 มีนาคม 2555).

Medeni Maskan. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. Department of Food Engineering Faculty. Gaziantep : University of Gaziantep, 2001

Phatchara Piriyavinit, Saichol Ketsa and Wouter G. van Doorn. "1-MCP extends the storage and shelf life of mangosteen (Garcinia mangostana L.) fruit" **ScienceDirect**. 2011 (61) : 15-20; 20 February 2011.

Samsung. "**MW71B**". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.samsung.com/th/consumer/home-appliancez/microwave-oven/microwave-type/MW71B/XST/index.idx?page type=prd_detail&tab=feature. (วันที่ค้นข้อมูล : 26 มกราคม 2555)

Sudathip Inchuen, Woatthichai Narkrugsa, Pimpen Pornchaloempong, Pipat Chanasinchana and Teerapon Swing. Microwave and hot-air of Thai red curry paste. Department of Science and Technology. Chaingmai : Maejo International University, 2008

กอบพัชรกุล เป็นบุญ, รัตนา อัตปัญโญ และ สายลม สัมพันธ์เวชโสภา. "การทำลำใยแผ่นโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาอบลมร้อน" **ว.วิทยาศาสตร์เกษตร.** 38 (5) : 309-312; กันยายน – ตุลาคม 2550.

กอบพัชรกุล เป็นบุญ. การอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อนและเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550

ตลาดแล็ป. **"เครื่องวัด pH/EC/TDS/Salinity".** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www. taradlab.com/. (วันที่ค้นข้อมูล : 1 มีนาคม 2555).

จรัสพล รินทระ, **มังคุด "ราชินีแห่งผลไม้".** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.blog-gang.com /viewdiary.php?id=joelookyoung&group=1. (วันที่ค้นข้อมูล : 12 มกราคม 2555).

แดนชัย เครื่องเงิน. คุณภาพของเนื้อลำไยที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551

นวพันธ์ฟาร์ม. **มังคุด.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://thaitechno.net/t1/productdetails.php? id=39137&uid=37427. (วันที่ค้นข้อมูล : 18 มกราคม 2555).

ปุ๋ยบัวทิพย์. **การปลูกมังคุด.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.puibuatip.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538732495&Ntype=18. (วันที่ค้นข้อมูล : 12 มกราคม 2555).

เพชรรัตน์ ใจบุญ. การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งลำไยด้วยเทคนิคแบบต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2549

ภัทธิรา เลิศปฤงคพ. "การเก็บรักษาเนื้อตาลสุกโดยการลดค่า Aw ร่วมกับการแช่แข็งเพื่อใช้ทำขนมตาล" **วารสารวิจัย.** 9 (3) : 11-19; พฤษภาคม-สิงหาคม 2549

ภาณุพงษ์ บางรักษ์. การผลิตปุ๋ยหมักจากวัสดุเศษเหลือโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผสมน้ำหมักของ Rhodobacter capsulatus SS3 และการใช้ในการปลูกผักบุ้งและต้นหอม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2548

วิกิพีเดีย. **มังคุด.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%84%E0%B8%B8%E0%B8%94. (วันที่ค้นข้อมูล : 12 มกรา-คม 2555).

ฤดี สุราฤทธิ์. **น้ำตาล.** ภาควิชาสรรีรวิทยาและชีวเคมี คณะทันตแพทยศาสตร์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยมหิดล

สายชล สุทธิธรรม, ภานุมาศ บุญผดุง และ มนัสนันท์ พันธ์ชมพู. การผลิตน้ำมังคุดเข้มข้นพร้อมดื่มเพื่อสุขภาพ. วิทยาศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก, 2552

หทัยวรรณ์ ศิริสุขชัยถาวร. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์และผนังเซลล์และกิจกรรมเอนไซม์ที่ส่งผลต่อการเกิดเนื้อแก้วของผลมังคุด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553

หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ. **มังคุด สุดยอดผลไม้ไทย เปี่ยมคุณค่าเกินพรรณนา.** ปีที่ 61 ฉบับที่ 19198. 14 สิงหาคม 2553.

หมุดตอเล็บ หนิสอ. **ฟิสิกส์และเทคโนโลยีของการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.vcharkarn.com/varticle/38525. (วันที่ค้นข้อมูล : 13 มกราคม 2555).

ศูนย์วิจัยพืชยืนต้นและไม้ผลเมืองร้อน. **มังคุด(Mangosteen).** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://natres.psu.ac.th/researchcenter/tropicalfruit/fruit/mangosteen.htm. (วันที่ค้นข้อมูล : 12 มกราคม 2555).

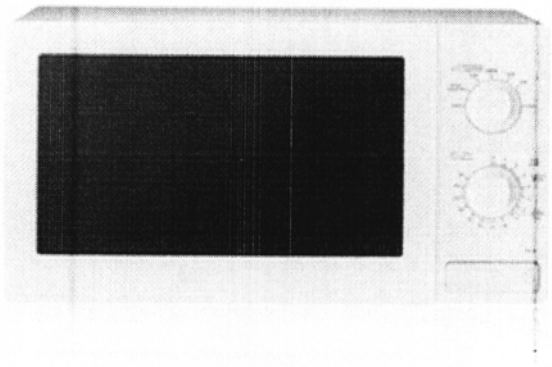
อนุสรณ์ ทัศศรี และ อรรถพล สุตันตั้งใจ. **ระบบอบแห้ง(Dryer).** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http:// dryer.siam2web.com/?cid=1012047. (วันที่ค้นข้อมูล : 13 มกราคม 2555).

อัศวิน ชินธรรมมิตร์. การพัฒนากรรมวิธีการอบแห้งแครอทและเนื้อไก่ โดยการอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546

ภาคผนวก ก

ก.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการอบแห้ง

ก.1.1 เตาอบไมโครเวฟ

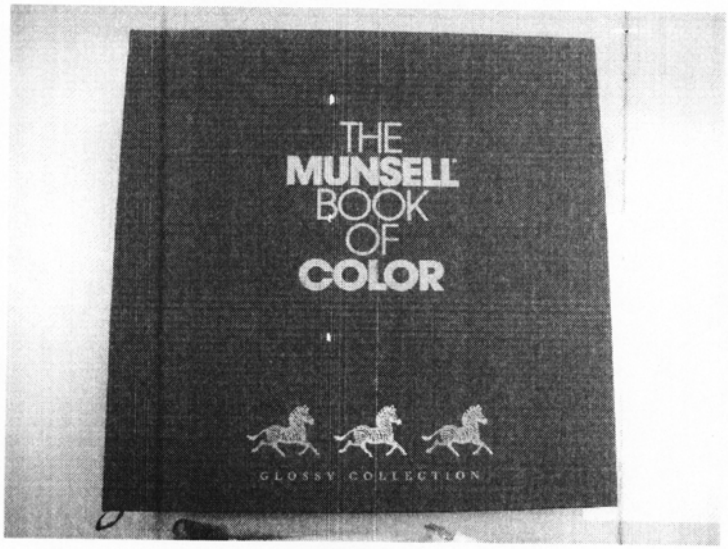


รูปที่ ก.1 ไมโครเวฟ Samsung รุ่น MW71B
ที่มา: Samsung, 2555

ก.1.2 เครื่องวัดการละลายของแข็ง

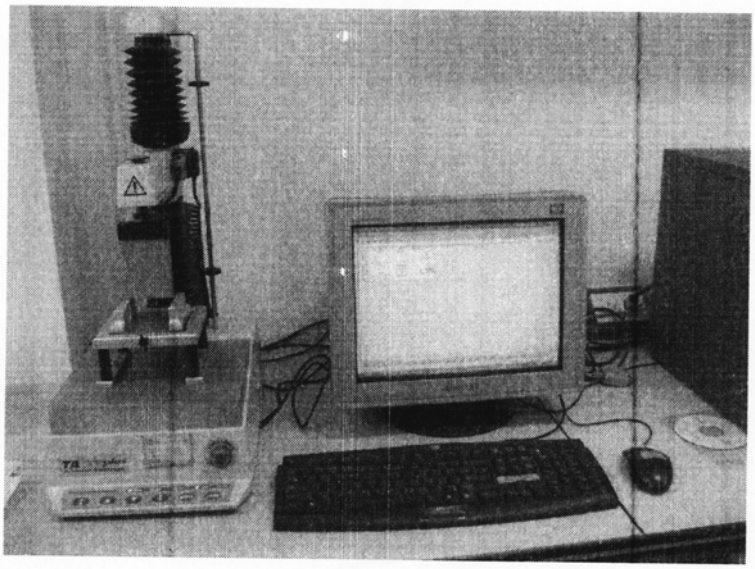
รูปที่ ก.2 เครื่องวัดการละลายของแข็ง แบบปากกา EUTECH รุ่น PCSTeste35

ก.1.3 หนังสือวัดค่าสี



รูปที่ ก.3 The Munsell Book of Color

ก.1.4 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร



รูปที่ ก.4 เครื่องวัดเนื้อสัมผัสอาหาร Texture Analyzer รุ่น TA.XT.plus

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ เคมี และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ข.1. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ข.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นจะวิเคราะห์โดยการคำนวณดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}} \times 100$$

ข.1.2 การวิเคราะห์ค่าสี

การวิเคราะห์ค่าสีจะเปรียบเทียบระหว่างเนื้อมังคุดตัวอย่างที่เตรียมไว้ก่อนการอบและหลังจากการอบ ด้วยหนังสือวัดค่าสีมันเซลล์ (The Munsell Book of color)

ข.1.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

การวิเคราะห์ความแน่นเนื้อโดยใช้เครื่องวัดความแน่นเนื้อ Texture analyzer โดยใช้ Probe แบบ HDP/ กดลงบนกลีบมังคุดอบแห้งด้วยความเร็วก่อนกด ขณะกด และหลังกด ให้หัววัดกดลึกลงไป 5 มิลลิเมตร และทำการวัดแรงที่กระทำเป็นค่าความยืดหยุ่น (Firmness ; N) การวัดจะวัดที่ส่วนกลางของกลีบมังคุด 3 ครั้งแล้วทำการหาค่าเฉลี่ย

ข.1.4 การหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

การหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total dissolve solids ; TDS) โดยนำเนื้อมังคุดอบแห้งผสมในน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:10 ปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ให้ละเอียด นำน้ำมังคุดปั่นมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 นำส่วนที่ใสหาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดด้วยนำค่าที่ได้หารด้วย 10^5 และคูณด้วย 100 เป็น % ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อมังคุดอบแห้ง

ข.1.5 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของเนื้อมังคุดอบแห้งพร้อมบริโภคที่เตรียมได้จากการทดลอง โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทดสอบด้านกลิ่น รสความหวาน ความแน่นเนื้อ ความแข็ง และความเหนียว ของเนื้อมังคุดอบแห้งพร้อมบริโภค

แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบ..... วันที่.....

1. ท่านจะได้รับผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งจำนวน 8 ตัวอย่าง โปรดทำการประเมินตัวอย่าง โดยให้คะแนนที่ท่านคิดว่าเหมาะสมต่อการอธิบายลักษณะนั้น ๆ ของตัวอย่าง ดังนี้

1. ไม่ชอบมากที่สุด 2. ไม่ชอบมาก 3. ไม่ชอบปานกลาง
4. ไม่ชอบเล็กน้อย 5. เฉย ๆ 6. ชอบเล็กน้อย
7. ชอบปานกลาง 8. ชอบมาก 9. ชอบมากที่สุด

ลักษณะตัวอย่าง	คะแนนความชอบ							
	1	2	3	4	5	6	7	8
สี								
กลิ่น								
รสชาติ								
ความแข็ง								
ความเหนียว								
ความชอบโดยรวม								

2. ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ค

ข้อมูลจากการทดลองเพิ่มเติม

ค.1. ผลการศึกษาลักษณะของมังคุดก่อนการอบแห้ง

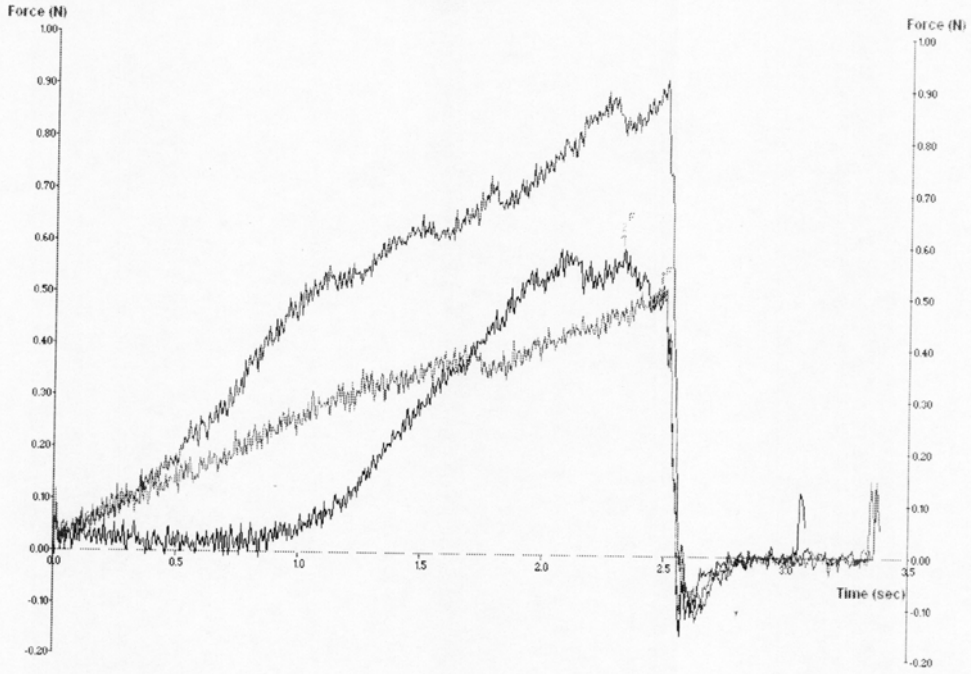
จากการทดลองได้มีการศึกษาคุณสมบัติของมังคุดก่อนการอบแห้งเพื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้ง

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของมังคุดสดก่อนการอบแห้ง

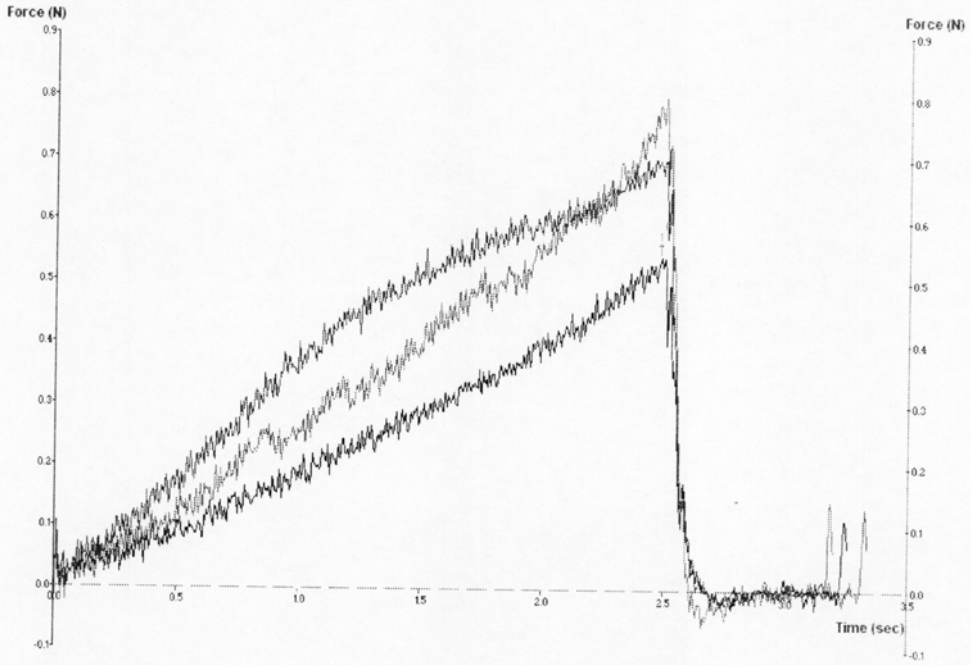
กระบวนการอบ	ปริมาณ				
	สี	ปริมาณของแข็งที่ละลาย		เนื้อสัมผัส	
		ที่วัดได้ (%)	เฉลี่ย	ที่วัดได้ (N)	เฉลี่ย
Fresh, S	2.5YR9/2	0.233 0.233 0.233	0.23	0.920 0.521 0.596	0.68
Fresh, L	2.5YR9/2	0.233 0.233 0.233	0.23	0.544 0.703 0.804	0.68

ค.1.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสเพื่อหาความแน่นเนื้อ (Firmness ; N) ของเนื้อมังคุดกลีบเล็ก (size S) และกลีบใหญ่ (size L) ก่อนการอบแห้ง สามารถวิเคราะห์เนื้อสัมผัสได้ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ ค.1 และรูปที่ ค.2 ตามลำดับ



รูปที่ ค.1 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดสดกลีบเล็ก (size S)



รูปที่ ค.2 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดสดกลีบใหญ่ (size L)

ตารางที่ ค.20 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมี

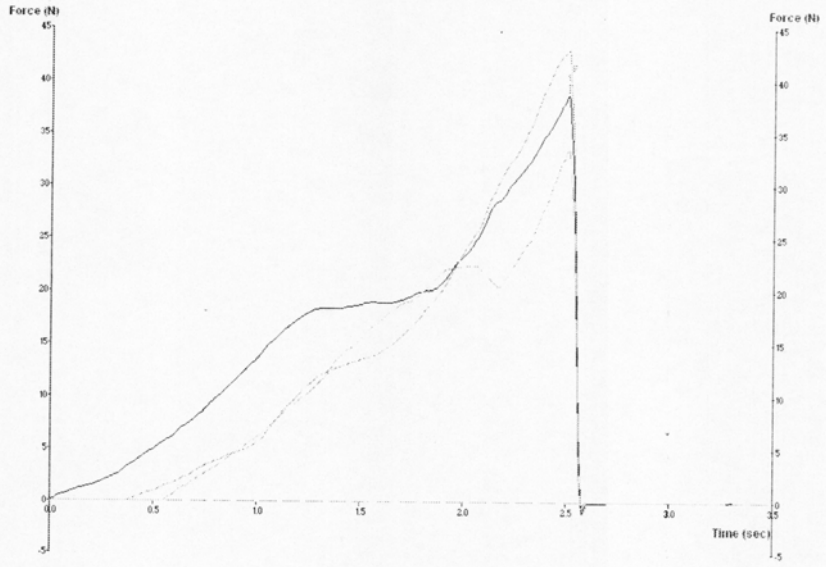
กระบวนการ	ปริมาณ			กระบวนการ	ปริมาณ		
	ความชื้น	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้			ความชื้น	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้	
		ที่วัดได้ (%)	เฉลี่ย			ที่วัดได้ (%)	เฉลี่ย
MBH, S, 45 °C	18.03	0.775 0.771 0.771	0.77	HBM, S, 45 °C	20.03	0.674 0.674 0.677	0.68
MBH, L, 45 °C	15.63	0.854 0.856 0.856	0.86	HBM, L, 45 °C	18.49	0.795 0.794 0.795	0.80
MBH, S, 75 °C	18.08	0.634 0.638 0.642	0.64	HBM, S, 75 °C	19.43	0.549 0.540 0.547	0.55
MBH, L, 75 °C	15.46	0.894 0.890 0.894	0.89	HBM, L, 75 °C	18.67	0.876 0.875 0.874	0.88
Microwave	14.08	0.732 0.735 0.733	0.73	Hot air dryer	16.18	0.618 0.619 0.616	0.62

ตารางที่ ค.21 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพ

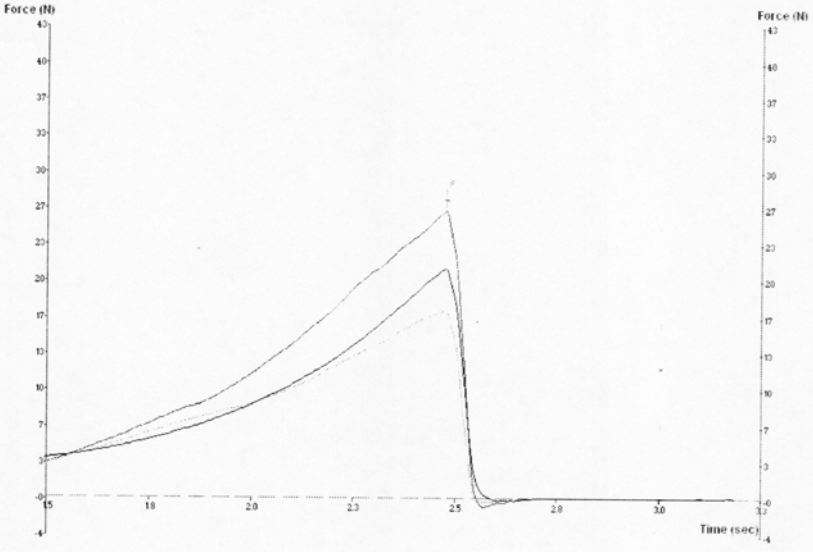
กระบวนการ	ปริมาณ			กระบวนการ	ปริมาณ		
	สี	เนื้อสัมผัส			สี	เนื้อสัมผัส	
		ที่วัดได้ (N)	เฉลี่ย			ที่วัดได้ (N)	เฉลี่ย
MBH, S, 45 °C	2.5YR7/4	0.92 0.521 0.596	0.68	HBM, S, 45 °C	7.5YR8/6	7.92 7.147 9.005	8.02
MBH, L, 45 °C	5YR7/4	0.544 0.703 0.804	0.68	HBM, L, 45 °C	7.5YR8/4	11.598 9.618 9.973	10.40
MBH, S, 75 °C	7.5YR5/8	38.809 33.691 43.182	38.56	HBM, S, 75 °C	7.5YR2/2	32.595 26.572 23.605	27.59
MBH, L, 75 °C	7.5YR4/8	26.353 17.269 21.082	21.57	HBM, L, 75 °C	7.5YR2/4	38.885 40.705 41.184	40.26
Microwave	2.5YR2/2	174.825 178.82 162.839	172.16	Hot air dryer	7.5YR6/10	42.921 54.308 53.36	50.20

ค.3 ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส

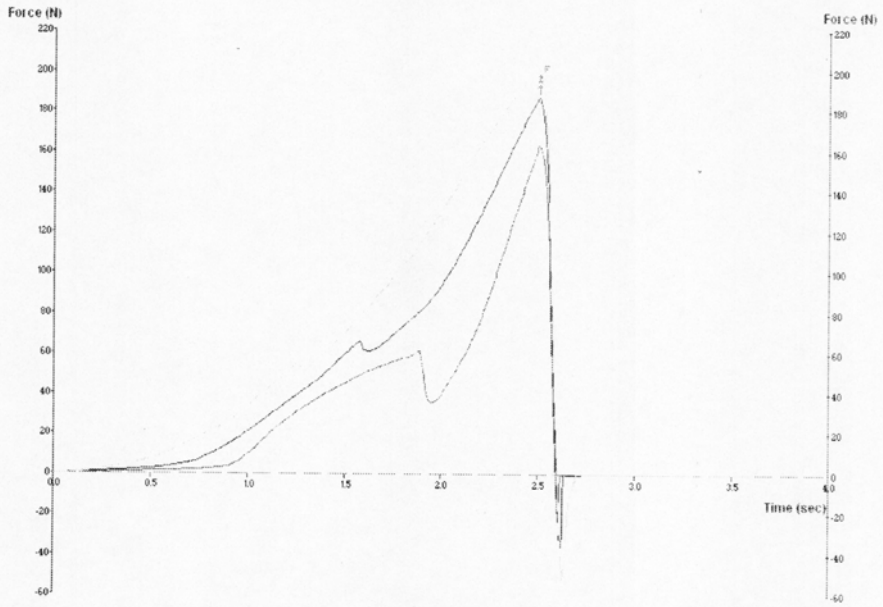
จากการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสจะสามารถทราบแรงที่ใช้ในการวัดความแน่นเนื้อได้จากค่าที่สูงที่สุดในกราฟ ที่แสดงในรูปที่ ค.3 ถึง ค.12



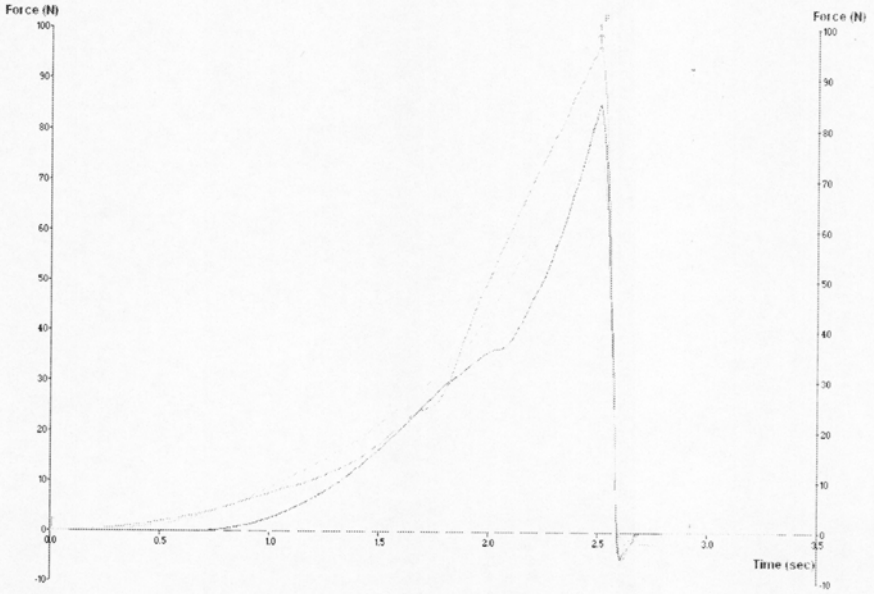
รูปที่ ค.3 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบเล็กด้วยกระบวนการอบแบบ MBH ที่อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส (MBH, S, 45 °C)



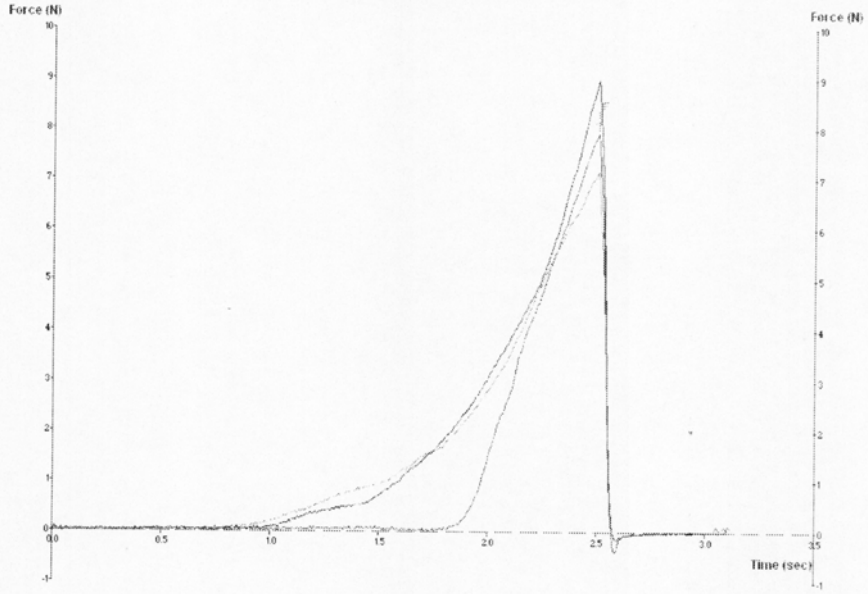
รูปที่ ค.4 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่ด้วยกระบวนการอบแบบ MBH ที่อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส (MBH, L, 45 °C)



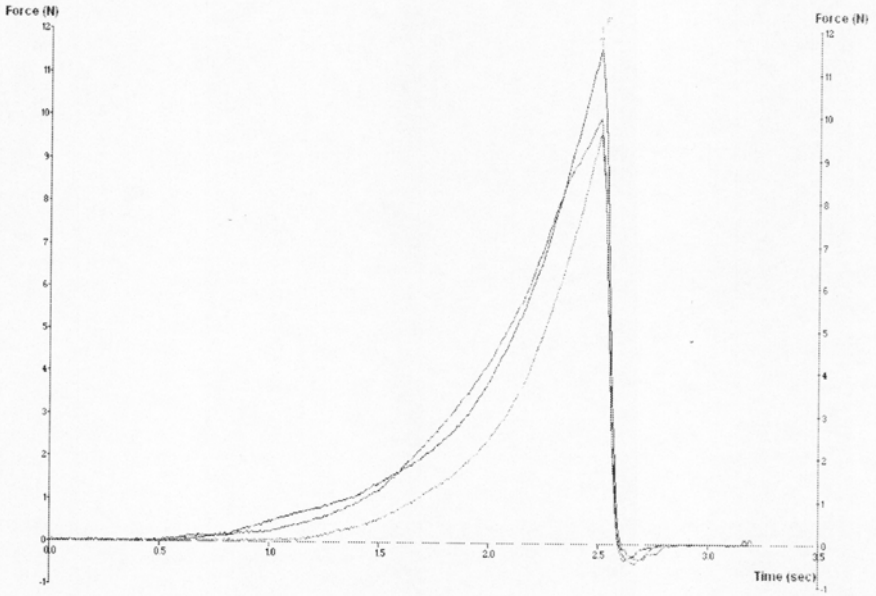
รูปที่ ค.5 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบเล็กด้วยกระบวนการอบแบบ MBH ที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส (MBH, S, 75 °C)



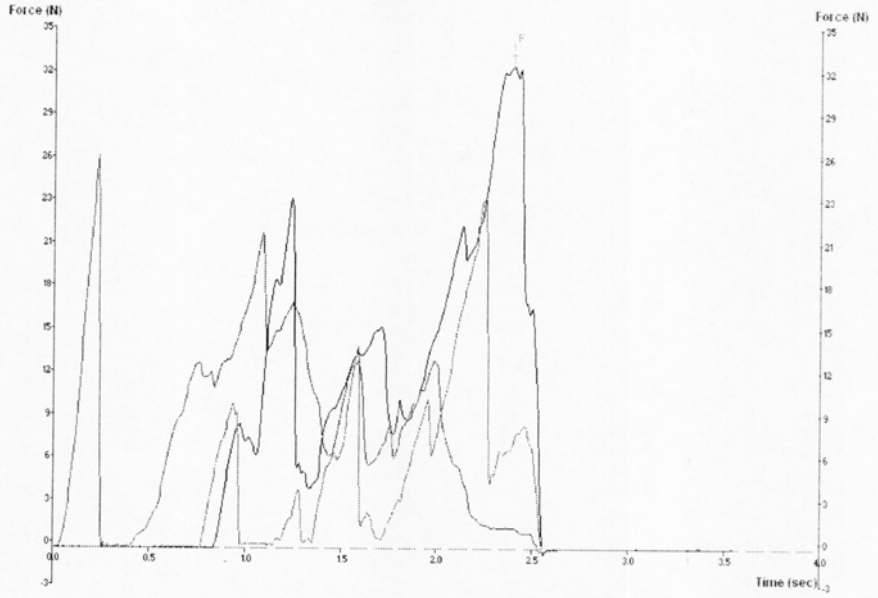
รูปที่ ค.6 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่ด้วยกระบวนการอบแบบ MBH ที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส (MBH, L, 75 °C)



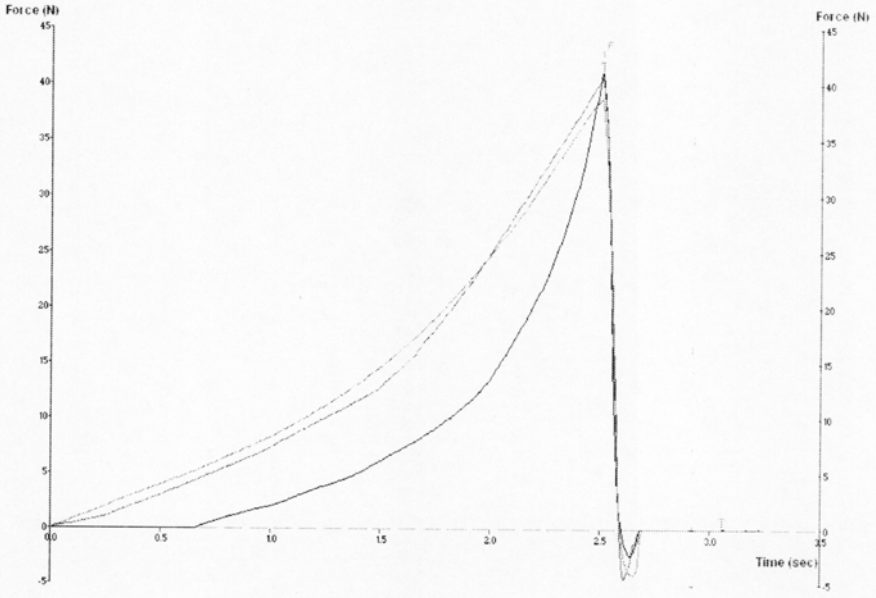
รูปที่ ค.7 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบเล็กด้วยกระบวนการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส (HBM, S, 45 °C)



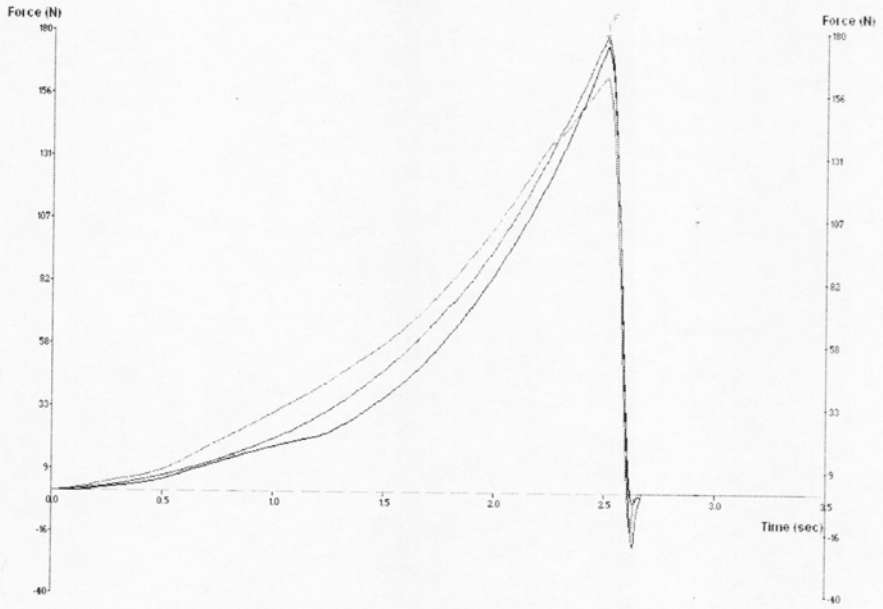
รูปที่ ค.8 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่ด้วยกระบวนการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิลมร้อน 45 องศาเซลเซียส (HBM, L, 45 °C)



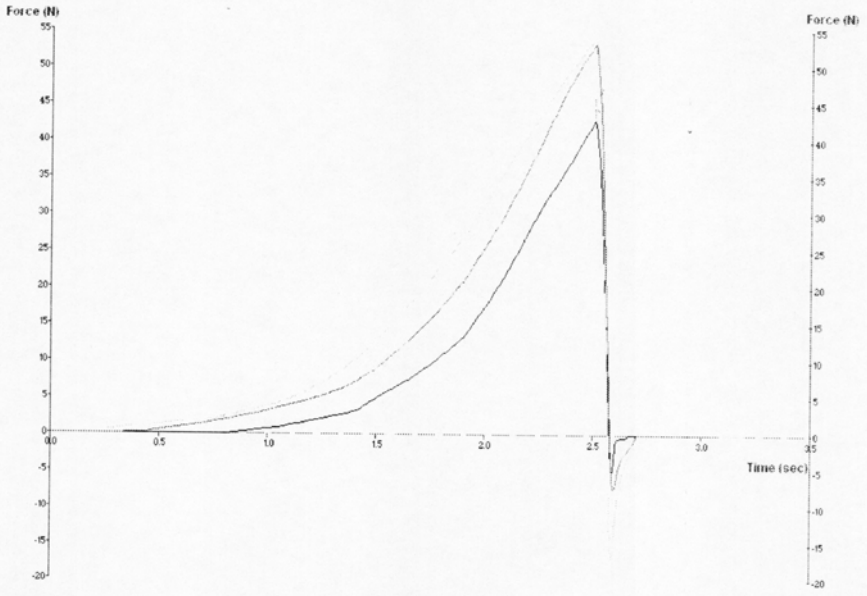
รูปที่ ค.9 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบเล็กด้วยกระบวนการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส (HBM, S, 75 °C)



รูปที่ ค.10 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบใหญ่ด้วยกระบวนการอบแบบ HBM ที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส (HBM, L, 75 °C)



รูปที่ ค.11 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบเล็กด้วยกระบวนการอบไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว (Microwave)



รูปที่ ค.12 กราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของมังคุดกลีบเล็กด้วยกระบวนการอบลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส (Hot air dryer)

ค.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำผลรวมคะแนนที่ได้จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของกลุ่มตัวอย่าง 30 คน มาคิดเป็นคะแนน มีเกณฑ์การตัดสินใจ 6 เกณฑ์ คือ สี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง ความเหนียว และความชอบโดยรวม เช่น ให้คะแนนเต็ม 10 สำหรับกระบวนการที่มีผู้ให้คะแนนความชอบด้านสีมากที่สุด และให้คะแนน 4 คะแนนสำหรับกระบวนการที่มีผู้ให้คะแนนความชอบในด้านสีน้อยที่สุด เป็นต้น นำคะแนนที่ได้หาผลรวมและคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังตารางที่ ค.22

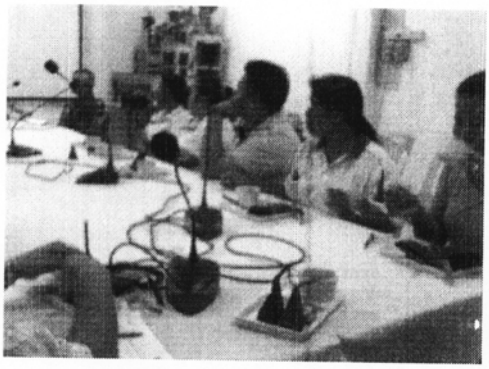
ตารางที่ ค.22 ผลการตอบรับจากแบบสอบถาม

ลักษณะตัวอย่าง	คะแนนความชอบ									
	MBH, 45 °C		MBH, 75 °C		HBM, 45 °C		HBM, 75 °C		Micro-wave	Hot air Dryer
	S	L	S	L	S	L	S	L		
สี	7	8	7	9	10	4	NA	NA	NA	5
กลิ่น	9	8	10	7	5	6	NA	NA	NA	4
รสชาติ	8	10	7	6	9	4	NA	NA	NA	5
ความแข็ง	10	9	8	7	6	5	NA	NA	NA	4
ความเหนียว	10	9	7	5	6	8	NA	NA	NA	4
ความชอบโดยรวม	9	10	6	5	8	7	NA	NA	NA	4
เปอร์เซ็นต์	$\left(\frac{53}{60}\right)$ *100 =88	$\left(\frac{54}{60}\right)$ *100 =90	$\left(\frac{45}{60}\right)$ *100 =75	$\left(\frac{39}{60}\right)$ *100 =65	$\left(\frac{44}{60}\right)$ *100 =73	$\left(\frac{34}{60}\right)$ *100 =57	NA	NA	NA	$\left(\frac{26}{60}\right)$ *100 =43

หมายเหตุ NA คือ ไม่ปรากฏผลการศึกษา เพราะผลิตภัณฑ์ที่ได้ไหม้ จึงไม่สามารถรับประทานได้

ภาคผนวก ง

ง.1 ภาพถ่ายโครงการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับการทำผลิตภัณฑ์มังคุดอบแห้งด้วยเทคนิคการอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อเป็นต้นแบบให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกมังคุด ชุมชนลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช วันศุกร์ที่ 29 มิถุนายน 2555 เวลา 13.00 น. – 16.00 น. ศาลาประชุม องค์การบริหารส่วนตำบลท่าดี อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช



ง.2 หลักฐานการจัดทำโครงการถ่ายทอดความรู้ ได้แก่ บันทึกข้อความขออนุญาตทำโครงการ และลายมือชื่อผู้เข้าร่วมโครงการ

ภาคผนวก จ

ประวัติผู้วิจัย

1. **ชื่อ-นามสกุล** (ภาษาไทย) นายสุรัตน์ บุญพึ่ง
   ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Surat Boonpung

2. **หมายเลขประจำตัวประชาชน** 3 9098 00884 20 0

3. **ตำแหน่งปัจจุบัน** อาจารย์ระดับ 7

4. **หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก**
   สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งหมาเมฆ เขตสารทร กรุงเทพฯ 10120
   โทรศัพท์ 022 68399 1-5 ต่อ 1195 โทรสาร 022 68399 1-5 ต่อ 1195

5. **ประวัติการศึกษา**

ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. **สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ**

การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์, การจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์, การควบคุมอัตโนมัติ, การสกัดสมุนไพร

7. **ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย**

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

-

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

- การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่โดยกระบวนการไพโรไลซิส
- การศึกษาการดูดซับไอออนของโลหะหนักด้วยเปลือกถั่วลิสง
- การศึกษาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของสารที่ได้จากการนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่โดยกระบวนการไพโรไลซิส
- การสกัดสารออกฤทธิ์ทางยาจากทองพันชั่ง

- การสร้างอีบูลลิโอมิเตอร์วัดปริมาณแอลกอฮอล์ความเข้มข้นสูง
- การพัฒนาอีบูลลิโอมิเตอร์ให้ง่ายต่อการใช้งาน
- การนำสารที่ได้จากการไพโรไลซิสขยะพลาสติกไปใช้งาน

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

- Trichaiyaporn, S., W. Tanakulrungsank and S. Boonpung, "Selective Aromatization of Propane on Metallosilicate Catalysts", Journal of Science Faculty, Chiengmai University, 23(2), 42, 1996 (ผู้ร่วมวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2539
- สุรัตน์ บุญพึ่ง และ บำรุง ตอนสุข, "การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่โดยกระบวนการไพโรไลซิส", เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 17, 2543 (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณวัสดุฝึก ปี 2542
- สุรัตน์ บุญพึ่ง, วณิภา นาคลดา, ณัฐยา พรสวัสดิ์ และ วีระญา วงษ์วาส, "การศึกษาการดูดซับไอออนของโลหะหนักด้วยเปลือกถั่วลิสง", รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 21, 2548. (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณวัสดุฝึก ปี 2547
- สุรัตน์ บุญพึ่ง, เสาวลักษณ์ สุดใจ และ พรรัมภา แสนวิเศษ, "การศึกษาคุณสมบัติด้านเชื้อเพลิงของสารที่ได้จากการนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่โดยกระบวนการไพโรไลซิส", รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 21, 2548. (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณวัสดุฝึก ปี 2547-2548
- สุรัตน์ บุญพึ่ง และ ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, "การสกัดสารออกฤทธิ์ทางยาจากทองพันชั่ง", รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์, 2548. (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548
- สุรัตน์ บุญพึ่ง และ วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์ "การสร้างอีบูลิโอมิเตอร์วัดปริมาณแอลกอฮอล์ความเข้มข้นสูง", รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์, 2548. (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548
- สุรัตน์ บุญพึ่ง, "การควบคุมแบบระบบของถัง 2 ถัง", วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538 (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2544
- ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, สุรัตน์ บุญพึ่ง, มาริสา จินะดิษฐ์ และ วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์ "การผลิตกระถางเพาะชำจากธรรมชาติ", รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์, 2548. (ผู้ร่วมวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548

- ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, สุรัตน์ บุญพึ่ง, มาริสา จินะดิษฐ์, จิรพล กลิ่นบุญ และ วราภรณ์ ธนะกุลรังสรรค์ “กระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร” (ผู้ร่วมวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2548
- ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง, โสริยา ชิโนดม, สุรัตน์ บุญพึ่ง และ มาริสา จินะดิษฐ์ “กระถางต้นไม้ชำร่วยจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร” (ผู้ร่วมวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2548
- บำรุง ตอนสุข, สุรัตน์ บุญพึ่ง และ จารุรัตน์ นิยมเกียรติกุล “การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเครื่องดื่มสมุนไพรทองพันชั่ง: การสลายตัวของสารออกฤทธิ์ทางยาในสารสกัดทองพันชั่งและการหาสูตรเครื่องดื่มสมุนไพรทองพันชั่ง” (ผู้ร่วมวิจัย) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2549
- สุรัตน์ บุญพึ่ง “การพัฒนาอีบูลลิโอมิเตอร์ให้ง่ายต่อการใช้งาน” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2550
- สุรัตน์ บุญพึ่ง “การนำสารที่ได้จากการไพโรไลซิสขยะพลาสติกไปใช้งาน” (หัวหน้าโครงการ) ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ ปี 2550

7.4 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

-