

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตการศึกษา	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ลำไย	5
2.2 ผลไม้แปรรูป	5
2.3 น้ำในอาหาร	8
2.4 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี	9
2.5 การอบแห้ง	12
2.5.1 กลไกการอบแห้ง	12
2.5.2 กราฟอัตราการอบแห้ง	13
2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง	15
2.5.4 ผลของการอบแห้งที่มีต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ	17
2.6 เครื่องอบลมร้อนแบบถาด	20
2.6.1 ระบบการทำงาน	21
2.7 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	21

2.7.1	ประเภทเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	23
2.7.2	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์	24
2.8	คลื่นไมโครเวฟ	26
2.8.1	สมบัติไดอิเล็กทริกของอาหาร	26
2.8.2	การเกิดความร้อนด้วยไมโครเวฟ	29
2.8.3	ปัจจัยที่มีผลต่อการแปรรูปอาหารโดยคลื่นไมโครเวฟ	30
2.8.4	การประยุกต์ใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหาร	34
2.8.5	ข้อดีของการให้ความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟ	34
2.8.6	ข้อเสียของการให้ความร้อนด้วยระบบไมโครเวฟ	35
2.9	เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	36
2.9.1	ระบบการทำงาน	36
2.10	วิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว	37
2.11	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
2.11.1	งานวิจัยการทำผลไม้แผ่น	38
2.11.2	งานวิจัยการใช้เครื่องอบลมร้อน	39
2.11.3	งานวิจัยการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	42
2.11.4	งานวิจัยการใช้เครื่องอบไมโครเวฟและเครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	44
2.11.5	งานวิจัยการใช้เครื่องอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศร่วมกับเครื่องอบแห้งอื่นๆ	48
บทที่ 3	วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	52
3.1	วัสดุและอุปกรณ์	52
3.1.1	วัสดุ	52
3.1.2	อุปกรณ์	52
3.2	การทดลอง	53
3.2.1	การเตรียมลำไยป่น	53
3.2.2	กรรมวิธีการผลิตลำไยแผ่น	53
3.2.3	กระบวนการอบแห้ง	54

ตอนที่ 1 : ศึกษาการอบแห้งลำไยแผ่น โดยใช้เทคนิคผสมระหว่าง	
เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน	54
ตอนที่ 2 : ศึกษาการอบแห้งลำไยแผ่น โดยใช้เทคนิคผสมระหว่าง	
เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	56
ตอนที่ 3 : การคัดเลือกสถานะและเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดในการ	
อบแห้งลำไยแผ่น	57
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	58
ตอนที่ 1 : การศึกษาการอบแห้งลำไยแผ่น โดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบ	
พลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน	58
1.1 ผลการศึกษาระยะเวลาการอบแห้งลำไยแผ่น โดยใช้เตาอบ	
พลังงานแสงอาทิตย์	58
1.2 ผลการศึกษาระยะเวลาการอบแห้งลำไยแผ่น โดยใช้เตาอบลมร้อน	60
1.3 ผลการศึกษากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งลำไยแผ่น	
โดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน	63
1.3.1 ผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบ	
แห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาอบลมร้อน	63
1.3.2 การหาสถานะการอบแห้งที่เหมาะสมของลำไยแผ่นที่ผ่าน	
การอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์	
กับเตาอบลมร้อนโดยวิธี Response Surface Methodology	70
ตอนที่ 2 : การศึกษาการอบแห้งลำไยแผ่น โดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบ	
พลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	78
2.1 ผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้ง	
โดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	78
2.2 การหาสถานะการอบแห้งที่เหมาะสมของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้ง	
โดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟ	
แบบสุญญากาศโดยวิธี Response Surface Methodology	85
ตอนที่ 3 : การคัดเลือกสถานะและเทคนิคที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งลำไยแผ่น	92
3.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และผลการทดสอบ	
ทางประสาทสัมผัส	92

3.2	ระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง	95
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	97
5.1	สรุปผลการทดลอง	97
5.2	ข้อเสนอแนะ	99
เอกสารอ้างอิง		101
ภาคผนวก		107
ภาคผนวก ก	การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และการประเมิน คุณภาพทางประสาทสัมผัส	108
ภาคผนวก ข	การคำนวณค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง	113
ภาคผนวก ค	ภาพเตอบในการอบแห้งลำไยแผ่น	116
ภาคผนวก ง	ภาพผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่น	118
ประวัติผู้เขียน		121

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 เนื้อที่ ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ราคาและมูลค่าของผลผลิตลำไยตามราคาที่จะ เกษตรกรขายได้ปี 2543-2547	2
2.1 ส่วนประกอบของลำไยสดและลำไยอบแห้ง	6
2.2 ราคาเนื้อลำไยอบแห้งแต่ละเกรด	7
2.3 ระดับค่าวอเตอร์แอกติวิตีและความสำคัญ	11
2.4 พลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกสะท้อนและดูดซับ	22
2.5 คุณสมบัติด้านไดอิเล็กทริกของอาหาร	28
2.6 ค่า $\epsilon''$ ของอาหารที่ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ 2,450 เมกะเฮิร์ต	29
2.7 การประยุกต์ใช้ระบบไมโครเวฟกับอาหาร	34
4.1 ค่าปริมาณความชื้น ค่า $A_w$ และค่าสีของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน	64
4.2 ค่าแรงตึงและแรงกดของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่าง เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน	65
4.3 ANOVA สำหรับแต่ละค่าตอบสนองของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน	72
4.4 ค่า Regression coefficient ของสมการ โพลีโนเมียลลำดับที่สองสำหรับแต่ละ ค่าตอบสนองของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบ พลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน	73
4.5 การกำหนดช่วงของค่าตอบสนองในการหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้ง ลำไยแผ่นโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน	77
4.6 ค่าปริมาณความชื้น ค่า $A_w$ และค่าสีของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบ สุญญากาศ	79

4.7	ค่าแรงจิกและแรงกดของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	80
4.8	ANOVA สำหรับแต่ละค่าตอบสนองของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	86
4.9	ค่า Regression coefficient ของสมการ โพลีโนเมียลลำดับที่สองสำหรับแต่ละค่าพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	87
4.10	การกำหนดช่วงของค่าตอบสนองในการหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งลำไยแผ่น โดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	91
4.11	ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งในแต่ละเทคนิค	93
4.12	คะแนนเฉลี่ยของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งในแต่ละเทคนิค	94
4.13	ระยะเวลาในการอบแห้งและค่าใช้ไฟฟ้ารวมของผลิตภัณฑ์ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งในแต่ละเทคนิค	95

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 การดูดและคายน้ำของอาหาร (moisture isotherm)	10
2.2 อายุการเก็บรักษาอาหาร เป็นผลจากค่าออสโมติกแอคทีวิตี้ในอาหารนั้น	10
2.3 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการอบแห้ง	13
2.4 การลดความชื้นของอาหารในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลง	14
2.5 Solar tunnel dryer	26
2.6 การหมุนตัวของสารประกอบมีประจุเนื่องจากคลื่นไมโครเวฟ	30
3.1 ขั้นตอนการเตรียมลำไยป็น	53
3.2 กรรมวิธีการผลิตลำไยแผ่น	53
4.1 กราฟอุณหภูมิภายในเตาอบและปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปของ ลำไยแผ่นระหว่างการอบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์	59
4.2 กราฟอัตราการอบแห้งของลำไยแผ่นระหว่างการทำแห้งโดยใช้เตาอบ พลังงานแสงอาทิตย์	59
4.3 กราฟการอบแห้งลำไยแผ่นโดยใช้เตาอบลมร้อน	61
4.4 กราฟอัตราการอบแห้งของลำไยแผ่นระหว่างการอบแห้งโดยใช้เตาอบลมร้อน	61
4.5 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการอบแห้งต่อปริมาณ ความชื้นของลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบ พลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อน	67
4.6 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการอบแห้งต่อค่า $A_w$ ของ ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสง อาทิตย์กับเตาอบลมร้อน	67
4.7 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการอบแห้งต่อค่า $L^*$ ของ ลำไยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสง อาทิตย์กับเตาอบลมร้อน	68







4.30	กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่า $a^*$ ของลำใยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	89
4.31	กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่า $b^*$ ของลำใยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	90
4.32	กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่าแรงหนีกลของลำใยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	90
4.33	กราฟพื้นที่การตอบสนองต่อค่าแรงกดของลำใยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	90
4.34	กราฟแสดงพื้นที่ที่เหมาะสมในการอบแห้งลำใยแผ่นโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	92
ค-1	เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์	117
ค-2	เตาอบลมร้อน	117
ค-3	เตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศ	117
ง-1	ลำใยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เตาอบพลังงานแสงอาทิตย์	119
ง-2	ลำใยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เตาอบลมร้อน	119
ง-3	ลำใยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 73 องศาเซลเซียส เวลา 8 ชั่วโมง	119
ง-4	ลำใยแผ่นที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้เทคนิคผสมระหว่างเตาอบพลังงานแสงอาทิตย์กับเตาอบไมโครเวฟแบบสุญญากาศที่กำลังไมโครเวฟ 20% (960 วัตต์) อุณหภูมิสุดท้ายในการอบแห้ง 34 องศาเซลเซียส	120
ง-5	รูปแบบลำใยแผ่นที่ใช้ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส	120