

# สารบัญ

	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	i
EXECUTIVE SUMMARY	iv
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 การดำเนินการวิจัย	3
1.5 สิ่งคาดว่าจะได้	4
บทที่ 2 สํารวจเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน	5
2.2 การผลิตยางแผ่นคุณภาพดีและมาตรฐานยางแผ่นดิบ	6
2.3 การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการลดความชื้นยางแผ่นดิบ	9
2.4 กลไกการแห้งทางทฤษฎี	10
2.5 สํารวจเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการตากแห้ง	13
2.6 โครงสร้างของยางและผลต่อการแห้ง	17
2.7 การใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology)	18
บทที่ 3 การทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบในห้องปฏิบัติการและผลการทดลอง	22
3.1 การออกแบบชุดทดสอบสำหรับอบแห้งยางแผ่นดิบ	22
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดสำหรับตู้อบแห้งยางแผ่นดิบ	24
3.3 การสร้างตู้อบแห้งยางแผ่นดิบพร้อมตู้ควบคุมการทำงาน	26
3.4 การทดสอบการทำงานตู้อบยางแผ่นดิบเบื้องต้นและปรับปรุงการทำงานของตู้อบ	31
3.5 ขั้นตอนการดำเนินการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบ	39
3.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE)	44
3.7 ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบ	47
บทที่ 4 การทดลองตากยางแผ่นดิบในโรงตากยาง	66
4.1 ลักษณะโรงตากยางแผ่นดิบเดิมของสหกรณ์ที่เข้าร่วมโครงการ	67
4.2 ลักษณะโรงตากยางแผ่นดิบที่สร้างขึ้นเพื่อวิจัย	68

## สารบัญ

---

	หน้า
4.3 การทำงานของสหกรณ์สวนยางพาราที่เข้าร่วมโครงการ	72
4.4 ผลการทดลองตากแห้งยางแผ่นดิบในโรงตาก	73
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย</b>	<b>96</b>
5.1 สรุปผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบในห้องปฏิบัติการ	94
5.2 สรุปผลการทดลองตากแห้งยางแผ่นดิบในโรงตากที่สร้างขึ้นเพื่อวิจัย	95
5.3 ข้อเสนอแนะ	96
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>98</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>101</b>
ผ.1 แบบโครงสร้างโรงตากยางแผ่นดิบ	100
ผ.2 ค่าความร้อนของไม้ยางพารา	107

## รายการรูป

		หน้า
รูปที่ 1.1	โรงตากยางของสหกรณ์สวนยางในปัจจุบัน	2
รูปที่ 2.1	กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควันของสหกรณ์	5
รูปที่ 2.2	เส้นโค้งการแห้งของผลิตภัณฑ์	12
รูปที่ 2.3	ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทต่าง ๆ	15
รูปที่ 2.4	โซโพลีเมอร์ของยางธรรมชาติ	17
รูปที่ 3.1	ตู้ทดสอบสำหรับอบแห้งยางแผ่นดิบ	23
รูปที่ 3.2	ตู้ทดสอบสำหรับอบแห้งยางแผ่นดิบที่ได้ออกแบบขึ้น	23
รูปที่ 3.3	แสดงทิศทางการไหลของอากาศเข้าตู้อบยางแผ่น	24
รูปที่ 3.4	ตู้อบแห้งยางแผ่นดิบ (ด้านประตูตู้อบ)	26
รูปที่ 3.5	ตู้อบแห้งยางแผ่นดิบ (ด้านตู้ควบคุม)	27
รูปที่ 3.6	ฮีทเตอร์ครีบบนสี่เหลี่ยมขนาดชุดละ 600 W	27
รูปที่ 3.7	ราวแขวนยางแผ่นดิบในตู้อบที่สามารถปรับระยะห่างของยางแผ่นได้	28
รูปที่ 3.8	พัดลมระบายอากาศบริเวณปล่องด้านบน (ภาพจากภายในตู้อบ)	28
รูปที่ 3.9	ตู้ควบคุมการทำงานของตู้อบแห้งยางแผ่นดิบ	29
รูปที่ 3.10	Wiring Diagram ควบคุมการทำงานของตู้อบแห้งยางแผ่นดิบ	30
รูปที่ 3.11	ตำแหน่งวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งยางแผ่นดิบ	31
รูปที่ 3.12	อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆในตู้อบตามรูปที่ 11 เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิเป็น 32 35 40 และ 45°C	32
รูปที่ 3.13	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบที่วัดได้เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 45°C และไม่สเปรย์น้ำ	32
รูปที่ 3.14	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบที่วัดได้เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 45°C และสเปรย์น้ำ	33
รูปที่ 3.15	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบที่วัดได้เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 40°C และไม่สเปรย์น้ำ	33
รูปที่ 3.16	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบที่วัดได้เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 40°C และสเปรย์น้ำ	34
รูปที่ 3.17	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบที่วัดได้เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 35°C และไม่สเปรย์น้ำ	34
รูปที่ 3.18	อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบที่วัดได้เมื่อปรับตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 35°C และสเปรย์น้ำ	35
รูปที่ 3.19	การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบที่ตรวจวัดเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิในตู้อบไว้ที่ 45°C ในกรณีที่ไม่มีสเปรย์น้ำและในกรณีที่มีการสเปรย์น้ำ	36
รูปที่ 3.20	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ของ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ระหว่างปี พ.ศ.2539-2546	37

## รายการรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 3.21	อุณหภูมิเฉลี่ย ของ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ระหว่างปี พ.ศ.2539-2546	38
รูปที่ 3.22	อุณหภูมิเฉลี่ย ของประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ.2494-2546	39
รูปที่ 3.23	ขั้นตอนการดำเนินงานสำหรับการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบ	40
รูปที่ 3.24	แสดงลักษณะการแขวนยางแห้งแผ่นดิบบนราวตากในตู้ทดสอบ	42
รูปที่ 3.25	ค่าปรับตั้งบนตู้ควบคุมอบแห้งยางแผ่นดิบ	43
รูปที่ 3.26	ลักษณะ 2 factors central-composite design	46
รูปที่ 3.27	แสดงผลการใช้สมการที่ 3.5 ทำนายค่า $1/resp_1$ เทียบกับค่าจริง	50
รูปที่ 3.28	กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองของ $1/resp_1$ หรือ $1/MC$ ต่อตัวแปรอิสระ T (coded) และ v (coded)	51
รูปที่ 3.29	กราฟแสดง contour ของ $1/MC$ ต่อตัวแปรอิสระ T (coded) และ v (coded)	51
รูปที่ 3.30	กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองของความชื้นในยางแผ่นดิบหลังอบ (MC) ต่อเงื่อนไขการอบแห้งที่อุณหภูมิ $T(^{\circ}C)$ และความเร็วลม v (m/s)	52
รูปที่ 3.31	กราฟแสดง contour ของความชื้นในยางแผ่นดิบหลังอบ (MC) ต่อเงื่อนไขการอบแห้งที่อุณหภูมิ $T(^{\circ}C)$ และความเร็วลม v (m/s)	52
รูปที่ 3.32	แสดงผลการใช้สมการที่ 3.6 ทำนายค่า $resp_1$ เทียบกับค่าจริง	58
รูปที่ 3.33	กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองของ $resp_1$ หรือ t (h) ต่อตัวแปรอิสระ T (coded) และ v (coded)	58
รูปที่ 3.34	กราฟแสดง contour ของ t (h) ต่อตัวแปรอิสระ T (coded) และ v (coded)	59
รูปที่ 3.35	กราฟแสดงพื้นผิวตอบสนองของเวลา t (h) ที่ใช้ในการลดความชื้นยางแผ่นดิบจาก $0.350 \text{ kgkg}^{-1}$ ไปเป็น $0.150 \text{ kgkg}^{-1}$ ต่อตัวแปรอิสระ T ( $^{\circ}C$ ) และ v (m/s)	60
รูปที่ 3.36	กราฟแสดง contour ของ t (h) ต่อตัวแปรอิสระ T ( $^{\circ}C$ ) และ v (m/s)	60
รูปที่ 3.37	การฝั่งยางในร่มโดยแขวนกับราวไม้ไผ่บนกระเบยโครงเหล็กภายในโรงเรือนรีดยางแผ่นของสหกรณ์สวนยางพารา	61
รูปที่ 3.38	กราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นของยางแผ่นดิบ เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ $40^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 55-60% ความเร็วลม 0.234 m/s (ไม้สปรีย์น้ำ)	62
รูปที่ 3.39	กราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้นของยางแผ่นดิบ เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ $40^{\circ}C$ ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 65-75% ความเร็วลม 0.234 m/s (สปรีย์น้ำ)	62

## รายการรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 3.40	เปรียบเทียบผลการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 เซลเซียส ความเร็วลม 0.234 m/s (ระหว่างสเปรย์น้ำกับไม้สเปรย์)	63
รูปที่ 3.41	กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นในยางแผ่น ที่อบแห้งอุณหภูมิ 40°C แต่ระยะห่างระหว่างแผ่นต่างกัน (ไม่มีการสเปรย์น้ำ)	64
รูปที่ 3.42	กราฟแสดงสัดส่วนความชื้นที่เหลือในยางแผ่นทดลองอบที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วลม 0.19 m/s ที่ระยะห่างระหว่างแผ่น 7.5 cm (ไม่มีการสเปรย์น้ำ)	64
รูปที่ 3.43	กราฟ drying rate ของยางแผ่นทดลองอบที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วลม 0.19 m/s ที่ระยะห่างระหว่างแผ่น 7.5 cm (ไม่มีการสเปรย์น้ำ)	65
รูปที่ 4.1	บริเวณโดยรอบและลักษณะของโรงตากยางเดิม	67
รูปที่ 4.2	แสดงผังบริเวณของสหกรณ์สวนยางพาราทุ่งโพธิ์ อ.นาหม่อม จ.สงขลา	67
รูปที่ 4.3	ภาพสเก็ตโครงสร้างโรงตากยางแผ่นดิบที่ออกแบบ	69
รูปที่ 4.4	ภาพด้านหน้า ภายใน ด้านหลัง และขณะตากยางของโรงตากยางแผ่นดิบ	70
รูปที่ 4.5	โรงตากยางและลักษณะยางแผ่นดิบขณะแขวนบนราวตากในโรงตากยาง	71
รูปที่ 4.6	การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง PM-H-D1-01	73
รูปที่ 4.7	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง PM-H-D1-01	74
รูปที่ 4.8	แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง PM-H-D1-01	74
รูปที่ 4.9	การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบของการทดลอง PM-H-D1-01	75
รูปที่ 4.10	การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง PM-H-D2-02	76
รูปที่ 4.11	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง PM-H-D2-02	76
รูปที่ 4.12	แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง PM-H-D2-02	77
รูปที่ 4.13	การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบของการทดลอง PM-H-D2-02	77

## รายการรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง PM-H-D2-03	78
รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง PM-H-D2-03	78
รูปที่ 4.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง PM-H-D2-03	79
รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบของการทดลอง PM-H-D2-03	79
รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง AM-F-D1-04	80
รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง AM-F-D1-04	80
รูปที่ 4.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง AM-F-D1-04	81
รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบของการทดลอง AM-F-D1-04	81
รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง AM-F-D1-05	82
รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง AM-F-D1-05	82
รูปที่ 4.24 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง AM-F-D1-05	83
รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบของการทดลอง AM-F-D1-05	83
รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง AM-F-D1-06	84
รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง AM-F-D1-06	84
รูปที่ 4.28 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง AM-F-D1-06	85

## รายการรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.29	การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบ ของการทดลอง AM-F-D1-06	85
รูปที่ 4.30	การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง AM-F-D1-07	86
รูปที่ 4.31	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง AM-F-D1-07	86
รูปที่ 4.32	แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง AM-F- D1-07	87
รูปที่ 4.33	การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบ ของการทดลอง AM-F-D1-07	87
รูปที่ 4.34	การเปลี่ยนแปลงความชื้นยางแผ่นดิบในโรงตากของการทดลอง AM-F-D1-08	88
รูปที่ 4.35	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลอง AM-F-D1-08	88
รูปที่ 4.36	แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามเวลา ของการทดลอง AM-F- D1-08	89
รูปที่ 4.37	การเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งของยางแผ่นดิบตามสัดส่วนความชื้นของยางแผ่นดิบ ของการทดลอง AM-F-D1-08	89
รูปที่ 4.38	ลักษณะการเกิดราขึ้นบนแผ่นยางหลังจากการตาก	91

## รายการตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	รายการสำหรับการจำแนกยางแผ่นดิบคุณภาพต่างๆ	7
ตารางที่ 2.2	ตารางคุณสมบัติของยางแผ่นรมควันชั้น 1-3	8
ตารางที่ 3.1	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ( % ) ของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่าง ๆ	38
ตารางที่ 3.2	แบบการทดลอง central-composite design ที่มี 2 factors	46
ตารางที่ 3.3	ค่าของตัวแปร T และ v ที่อ่านจาก Code	47
ตารางที่ 3.4	แสดงผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยไม่สเปรย์น้ำ	48
ตารางที่ 3.5	แสดงค่า $R^2$ และค่าทางสถิติจากการทำ regression (ไม่สเปรย์น้ำ)	49
ตารางที่ 3.6	ผลการวิเคราะห์ variance (ไม่สเปรย์น้ำ)	49
ตารางที่ 3.7	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ (3.5)	49
ตารางที่ 3.8	ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยสเปรย์น้ำ	54
ตารางที่ 3.9	ผลการทดลองอบแห้งยางแผ่นดิบโดยสเปรย์น้ำ พิจารณาช่วงความชื้นยางแผ่นดิบ ลดลงจาก 0.350 ไปเป็น 0.150 $\text{kgkg}^{-1}$	55
ตารางที่ 3.10	แสดงค่า $R^2$ และค่าทางสถิติจากการทำ regression (สเปรย์น้ำ)	56
ตารางที่ 3.11	ผลการวิเคราะห์ variance (สเปรย์น้ำ)	56
ตารางที่ 3.12	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ (3.6)	57
ตารางที่ 4.1	ขนาดและวัสดุที่ใช้สร้างโรงตากยางแผ่นดิบเพื่อวิจัย	69
ตารางที่ 4.2	สรุปผลการทดลองตากแห้งยางแผ่นดิบและปริมาณการใช้ไม้พินในการรมควันยาง แผ่นที่ผ่านการตากแห้งในโรงตาก	90