

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.11.5 การอบแห้งระบบสุญญากาศ (Vacuum Drying)	18
1.11.6 การอบแห้งไม้ที่อุณหภูมิสูง (High-Temperature Dry Kilns)	20
1.11.7 การอบแห้งด้วยไอน้ำยิ่งยวด (Superheated Steam Drying)	20
1.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
1.13 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	24
1.14 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	24
1.15 ขอบเขตของงานวิจัย	25
2. วิธีการวิจัย	
2.1 ตัวอย่างไม้ยาง	26
2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	26
2.3 ขั้นตอนการทดลอง	
2.3.1 ศึกษาและออกแบบกองไม้ยาง	27
2.3.2 ศึกษาและออกแบบหัวฉีดพ่นไอน้ำร้อน	28
2.3.3 การออกแบบห้องอบไม้ยางและดำเนินการสร้างห้องอบไม้	29
2.3.4 การทดลองอบไม้ยางเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง	33
3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	
3.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นไม้ยางต่อเวลาอบแห้ง	37
3.2 ข้อมูลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศในกระบวนการอบแห้ง	41
3.3 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยาง	44
3.4 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งไม้ยาง	55
3.5 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์	56
4. สรุป	
สรุปผล	57
บรรณานุกรม	59
ภาคผนวก	
ก การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้	63
ข ข้อมูลของการทดลอง	75

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ค ข้อมูลของคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยาง	110
ง อุปกรณ์ใช้ทดลองในงานวิจัย	120
จ ตารางการอบแห้งไม้ยาง	129
ฉ การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ (SPSS 11)	130
ช ต้นทุนการสร้างห้องอบแห้งไม้ยางในระดับอุตสาหกรรม	133
ซ การหาจุดคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์	135
ณ แบบห้องอบแห้งไม้ยางในระดับอุตสาหกรรม	148
ประวัติผู้เขียน	150

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1	33
2-2	35
3-1	48
3-2	49
3-3	50
3-4	51
3-5	56
ค-1	110
ค-2	111
ค-3	112
ค-4	113

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ค-5 ค่าเฉลี่ย (Mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation), สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of variation) ของความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน (Compression strength perpendicular to grain) ของไม้ยางที่ผ่านการอบด้วยไอน้ำยิ่งยวดกับลมร้อน ณ ความชื้นเฉลี่ย 13.6% และความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.64	114
ค-6 ค่าเฉลี่ย (Mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation), สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of variation) ของความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน (Compression strength perpendicular to grain) ของไม้ยางที่ผ่านการอบแบบทั่วไปจากโรงงาน ณ ความชื้นเฉลี่ย 9.4% และความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.69	115
ค-7 ค่าเฉลี่ย (Mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation), สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of variation) ของโมดูลัสแตกหักและโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Rupture and Modulus of Elasticity) ของไม้ยางที่ผ่านการอบด้วยไอน้ำยิ่งยวดกับลมร้อน ณ ความชื้นเฉลี่ย 13.6% และความถ่วงจำเพาะ 0.64	116
ค-8 ค่าเฉลี่ย (Mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation), สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of variation) ของโมดูลัสแตกหักและโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Rupture and Modulus of Elasticity) ของไม้ยางที่ผ่านการอบแบบทั่วไปจากโรงงาน ณ ความชื้นเฉลี่ย 9.1% และความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.69	117
ค-9 ค่าเฉลี่ย (Mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation), สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of variation) ของความแข็ง (Hardness) ของไม้ยางที่ผ่านการอบด้วยไอน้ำยิ่งยวดกับลมร้อน ณ ความชื้นเฉลี่ย 13.6% และความถ่วงจำเพาะ 0.64	118
ค-10 ค่าเฉลี่ย (Mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation), สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of variation) ของความแข็ง (Hardness) ของไม้ยางที่สภาวะความชื้นและความหนาแน่นจำเพาะเฉลี่ยของไม้ยางที่ผ่านการอบจากโรงงานอุตสาหกรรม ณ ความชื้นเฉลี่ย 9.4% และความถ่วงจำเพาะ 0.68	119

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
จ-1 ตารางอบแห้งไม้ยางของโรงงานอุตสาหกรรม	129
จ-2 ตารางอบแห้งไม้ยางด้วยไอน้ำยิ่งยวดกับลมร้อน	129
ฉ-1 การทดสอบแบบ T-test โดยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ (SPSS 11)	130
ฉ-2 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของคุณสมบัติเชิงกลแบบที่ละคู่ (Paired sample correlations) ระหว่างการอบแห้งไม้ยางด้วยไอน้ำยิ่งยวดกับลมร้อนและการอบแห้งแบบทั่วไปของโรงงานอุตสาหกรรม ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ (SPSS 11)	131
ฉ-3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลแบบที่ละคู่ (Paired sample test) ระหว่างการอบแห้งไม้ยางด้วยไอน้ำยิ่งยวดกับลมร้อนและการอบแห้งแบบทั่วไปของโรงงานอุตสาหกรรม ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ (SPSS 11) ที่ความเชื่อมั่น 95 %	132
ช-1 ต้นทุนการสร้างห้องอบแห้งไม้ยางด้วยไอน้ำยิ่งยวดกับลมร้อนในระดับอุตสาหกรรม	133
ช-2 ต้นทุนการสร้างห้องอบแห้งไม้ยางแบบทั่วไป (Conventional drying) ในระดับอุตสาหกรรม	134

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1-1 การแปรรูปไม้ยางโดยเลื่อยให้มีขนาดตามความต้องการ	4
1-2 เครื่องอัดน้ำยาไม้ยาง	5
1-3 เตาอบไม้ยางในโรงงานอุตสาหกรรม	6
1-4 แสดงลักษณะของน้ำในเซลล์ไม้	9
1-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของไม้กับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่อุณหภูมิ 3 ระดับ	10
1-6 ลักษณะความเสียหายของไม้หลังอบแห้ง	13
1-7 กลไกการแห้งของไม้ยางขณะอบแห้ง	14
1-8 กองไม้สำหรับผึ่งแห้งในอากาศ	16
1-9 รูปแบบของห้องอบแบบหมุนเวียนพลังงานกลับมาใช้ใหม่	17
1-10 เตาอบไม้พลังงานแสงอาทิตย์	18
1-11 เตาอบแห้งด้วยพลังงานไอน้ำร้อน	19
1-12 การอบแห้งระบบสุญญากาศ	20
2-1 การจัดวางกองไม้ยางสำหรับอบแห้ง	28
2-2 ภาพตัดแสดงรายละเอียดของหัวฉีดพ่นไอน้ำ	29
2-3 ภาพด้านหน้าห้องอบไม้ยาง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)	29
2-4 ภาพด้านข้างห้องอบไม้ยาง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)	30
2-5 แผนภาพแสดงกระบวนการอบแห้งไม้ยางด้วยไอน้ำยิ่งยวดกับลมร้อน	32
2-6 ห้องอบแห้งไม้ยางด้วยไอน้ำยิ่งยวดและลมร้อนในระดับกึ่งอุตสาหกรรม	32
2-7 ลักษณะไม้ยางเมื่อทดสอบแบบซีส์อ้อม	34
3-1 กราฟแสดงอัตราการอบแห้งของการอบแบบทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยไอน้ำยิ่งยวดกับลมร้อน	38
3-2 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งของไม้ในแต่ละชั้นในกองไม้	39
3-3 แสดงตำแหน่งภายในกองไม้ที่มีการวัดความเร็วลมและอุณหภูมิอบแห้ง	40
3-4 แสดงความเร็วลมภายในของกองไม้ขณะอบแห้ง	41

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3-5 แสดงอุณหภูมิภายในของกองไม้ขณะอบแห้ง	42
3-6 แสดงอุณหภูมิช่วงเริ่มต้นกระบวนการอบแห้งของอุณหภูมิห้อง, อุณหภูมิที่ผิวไม้และอุณหภูมิตรงกลางในเนื้อไม้	43
3-7 แสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกระบวนการอบแห้ง	43
3-8 ลักษณะของไม้ยงที่ดีหลังอบแห้ง	44
3-9 การจัดวางกองไม้สำหรับอบแห้งและตำแหน่งที่สุ่มตัวอย่างไม้	45
3-10 แสดงไม้ที่อบแห้งแล้วที่ปราศจากความเค้นในเนื้อไม้	46
3-11 แสดงไม้ที่อบแห้งแล้วที่ปราศจากความเค้นในเนื้อไม้	46
3-12 กราฟแสดงค่าความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน	52
3-13 กราฟแสดงค่าความเค้นอัดขนานเสี้ยน	52
3-14 กราฟแสดงค่าความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน	53
3-15 กราฟแสดงค่าโมดูลัสแตกหัก	53
3-16 กราฟแสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	54
3-17 กราฟแสดงค่าความแข็ง	54
ก-1 ลักษณะไม้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ	64
ก-2 การทดสอบความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน	65
ก-3 การทดสอบความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน (ด้านข้าง)	65
ก-4 การทดสอบความเค้นอัดในแนวขนานเสี้ยน	66
ก-5 ลักษณะการแตกหักของไม้เนื่องจากแรงอัดขนานเสี้ยน	67
ก-6 การทดสอบความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยน	68
ก-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก (load) และการเสียรูป (Deformation) ของตัวอย่างไม้ที่รับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน	70
ก-8 การทดสอบความแข็ง	71
ก-9 การทดสอบค่าความแข็งแรงและความแข็งตั้งในการตัดสถิติ	72
ก-10 ลักษณะการแตกหักของตัวอย่างไม้เนื่องจากแรงตัดสถิติ	73

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ข-1 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 1 มีลักษณะไม่ดี เกิดแตกครึ่งท่อน	75
ข-2 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 2 มีลักษณะไม่ดี เกิดการแตกบริเวณปลายมาก	77
ข-3 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 3 มีลักษณะไม่ดี เกิดการแตกบริเวณปลายหลายแห่ง	79
ข-4 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 4 มีลักษณะดี ไม้มีลักษณะตรง ไม่เกิดการโค้งงอ	81
ข-5 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 5 มีลักษณะไม่ดี เกิดการแตกบริเวณปลายไม้มาก	83
ข-6 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 6 มีลักษณะที่ดี แม้ว่าจะมีการงอเล็กน้อยแต่สามารถยอมรับได้	86
ข-7 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 7 ไม้มีลักษณะที่ดี ตรงไม่มีการแตกปลาย	87
ข-8 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 8 มีลักษณะที่ดี ไม้ตรงไม่มีการแตกบริเวณปลาย	89
ข-9 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 8 มีลักษณะที่ไม่ดี ไม้มีการแตกบริเวณปลายและมีการโค้งงอมาก	90
ข-10 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 9 มีลักษณะที่ไม่ดี ไม้มีการแตกบริเวณปลายและโค้งงอมาก	91
ข-11 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 9 มีลักษณะที่ไม่ดี ไม้มีการแตกบริเวณปลายมาก	92
ข-12 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 10 มีลักษณะที่ดี ไม้มีลักษณะตรงไม่มีการแตกบริเวณปลายไม้	94
ข-13 ไม้ยางหลังอบแห้งที่ไม่ผ่านการทดสอบแบบซีส์อ้อม	95

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ข-14 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 11 มีลักษณะที่ดี ไม่มีลักษณะตรงไม่มีการแตกบริเวณปลายไม้	91
ข-15 ไม้ยางหลังอบแห้งที่ไม่ผ่านการทดสอบแบบซีส์อ้อม	97
ข-16 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไม้ระหว่างกระบวนการอบแห้ง	97
ข-17 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 12 มีลักษณะที่ดี ไม่มีลักษณะตรงไม่มีการแตกบริเวณปลายไม้	99
ข-18 ไม้ยางหลังอบแห้งที่ไม่ผ่านการทดสอบแบบซีส์อ้อม	100
ข-19 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไม้ระหว่างกระบวนการอบแห้ง	100
ข-20 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 13 มีลักษณะที่ดี ไม่มีลักษณะตรงไม่มีการแตกบริเวณปลายไม้	103
ข-21 ไม้หลังอบแห้งท่อนที่ 8 ที่ผ่านการทดสอบแบบซีส์อ้อม	103
ข-22 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไม้ระหว่างกระบวนการอบแห้ง	104
ข-23 กราฟแสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศของห้องอบในระหว่างกระบวนการอบแห้ง	104
ข-24 ลักษณะของไม้ยางหลังอบแห้งของการทดลองที่ 14 มีลักษณะที่ดี ไม่มีลักษณะตรงไม่มีการแตกบริเวณปลายไม้	107
ข-25 ไม้ท่อนที่ 3 ที่ผ่านการทดสอบแบบซีส์อ้อม	107
ข-26 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไม้ระหว่างกระบวนการอบแห้ง	108
ข-27 กราฟแสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศของห้องอบในระหว่างกระบวนการอบแห้ง	108
ง-1 ห้องอบแห้งไม้ยาง	120
ง-2 เครื่องทำความร้อนภายนอกห้องอบ ไม้ยาง	120
ง-3 กล่องควบคุมเครื่องทำความร้อนภายนอกห้องอบ ไม้ยาง	121
ง-4 พัดลมแรงดันสูง (High pressure blower)	121

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
ง-5 เครื่องทำความร้อนภายในห้องอบไม้ยาง	122
ง-6 กล้องควบคุมเครื่องทำความร้อนภายในห้องอบไม้ยาง	122
ง-7 อุปกรณ์วัดความชื้น (Relative humidity meter)	123
ง-8 กล้องควบคุมการเปิดปิดวาล์วเพื่อควบคุมความชื้น	123
ง-9 ป้อนลม (Air compressor)	124
ง-10 ท่อลำเลียงไอน้ำ	124
ง-11 ลักษณะการวางตัวของท่อลำเลียงไอน้ำและลมร้อนที่ใช้งานจริง	125
ง-12 หม้อต้มน้ำ (boiler)	125
ง-13 เครื่องทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยาง (Lloyd Universal Testing Machine)	126
ง-14 ตู้อบไฟฟ้า (electrical oven)	126
ง-15 สายวัดอุณหภูมิ (thermocouple)	127
ง-16 อุปกรณ์บันทึกและส่งข้อมูล (data logger) ยี่ห้อ Wisco รุ่น AI 210	127
ง-17 คอมพิวเตอร์ (computer)	128
ฉ-1 ภาพด้านหน้าของห้องอบแห้งไม้ยางในระดับอุตสาหกรรม (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)	148
ฉ-2 ภาพด้านข้างของห้องอบแห้งไม้ยางในระดับอุตสาหกรรม (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)	149