



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงความคงขนาดของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันอัดโดยการแช่เบื้องต้น
ด้วยกรดซิตริกก่อนกระบวนการอัดร้อน

Improvement of the dimension stability of compressed oil palm wood board
by citric acid soaking pre-treatment before hot press process

คณะนักวิจัย

รัตนา ชูหว่าง

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2558 รหัสโครงการ*SIT580810S

การปรับปรุงความคงขนาดของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันอัดโดยการแช่เบื้องต้น
ด้วยกรดซิตริกก่อนกระบวนการอัดร้อน
Improvement of the dimension stability of compressed oil palm wood board
by citric acid soaking pre-treatment before hot press process

คณะนักวิจัย

รัตนา ชูหว่าง

สาขาเทคโนโลยีไม้ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี
อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84000
โทรศัพท์ 084-9433027 โทรสาร 077-355453
E-mail: rattana.ch@psu.ac.th

สารบัญ

เรื่อง	หน้าที่
กิตติกรรมประกาศ	7
บทคัดย่อ	8
Abstracts	9
บทนำ	10
วัตถุประสงค์	10
ตรวจเอกสาร	11
วิธีการทดลอง	14
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	19
สรุปผลการทดลอง	31
ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป	31
เอกสารอ้างอิง	32

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความหนาแน่น (Oven-dry density) และปริมาณความชื้นหลังการปรับสภาพของไม้ปาล์มน้ำมัน ในแต่ละส่วน	15
2	ปริมาณการแทรกซึมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของไม้ปาล์มน้ำมัน	20
3	ความหนาแน่น (Oven-dry density) ของไม้ปาล์มน้ำมันและไม้ผ่านการอัดเพิ่มความหนาแน่น	21
4	ค่าการพองตัวทางด้านความหนา ค่าการดูดซึมน้ำและค่าการพองตัว โดยปริมาตรของไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่น 3 ส่วน ซึ่งใช้อุณหภูมิในการอัดสูง 200 องศาเซลเซียส และ ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกก่อนการอัดเพิ่มความหนาแน่นด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส	23
5	สมบัติเชิงกลของไม้ปาล์มน้ำมัน ไม้ปาล์มน้ำมันผ่านการแช่เป็องตันด้วยกรดซัลฟิวริกและอัดด้วยกระบวนการอัดร้อน	26

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า	
1	ลักษณะการปลุกทดแทนส่วนปาล์มน้ำมัน และการทำลายต้นปาล์มเดิม	11
2	การกระจายของความหนาแน่นภายในลำต้นปาล์มน้ำมัน	12
3	โครงสร้างไม้ปาล์มน้ำมันก่อนอัดและหลังอัดด้วยกระบวนการอัดร้อน	13
4	ค่าการพองตัวทางด้านความหนาของไม้ปาล์มน้ำมันอัดด้วยกระบวนการอัดร้อนที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ	13
5	กระบวนการแปรรูปไม้ปาล์มน้ำมัน	15
6	ไม้ปาล์มน้ำมันแปรรูปและไม้ปาล์มน้ำมันอัดด้วยอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส	16
7	ปริมาณการแทรกซึมสารละลายกรดซिटริกของไม้ปาล์มน้ำมัน ส่วนนอก ส่วนกลาง และส่วนในของลำต้นปาล์มน้ำมัน	19
8	ค่าการพองตัวทางด้านความหนาของไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่น ทั้ง 3 ส่วน ซึ่งใช้อุณหภูมิในการอัดสูง 200 องศาเซลเซียส และ การแช่เบื้องต้นด้วยสารละลายกรดซिटริก (0 % (น้ำกลั่น) 5% 15% 25% และ 35%) ก่อนการอัดเพิ่มความหนาแน่นด้วย อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส	22
9	ค่าการดูดซึมน้ำของไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่น 3 ส่วน ซึ่งใช้อุณหภูมิ ในการอัดสูง 200 องศาเซลเซียส และ การแช่เบื้องต้นด้วยสารละลายกรดซिटริก (0 %(น้ำกลั่น) 5% 15% 25% และ 35%) ก่อนการอัดเพิ่มความหนาแน่น ด้วยอุณหภูมิ140 องศาเซลเซียส	22
10	สมบัติเชิงกลของไม้ปาล์มน้ำมันอัดด้วยกระบวนการอัดร้อน 200 องศาเซลเซียส (Control) และไม้ปาล์มน้ำมันอัดผ่านการแช่เบื้องต้น (pre-soaking) ด้วยสารละลายกรดซिटริกที่ระดับความเข้มข้น 0 % (น้ำกลั่น) 5% 15% 25% และ 35%โดยใช้อุณหภูมิในการอัด 140 องศาเซลเซียส	25
11	ภาพด้านหน้าตัดด้วยเทคนิค SEM ของไม้ปาล์มน้ำมัน และไม้ปาล์มน้ำมันอัด ผ่านการแช่เบื้องต้นด้วยกรดซिटริกความเข้มข้น 15 % อัดภายใต้ความร้อน 140 องศาเซลเซียส	27

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
12	อินฟราเรดสเปกตรัมของไม้ปาล์มน้ำมัน ไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นด้วยกระบวนการอัดร้อน 200 องศาเซลเซียส และ 140 องศาเซลเซียสไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นผ่านการแช่เบื้องต้นด้วยสารละลาย กรดซिटริกที่ระดับความเข้มข้น 35% อุณหภูมิในการอัด 140 องศาเซลเซียส	29
13	อินฟราเรดสเปกตรัมไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นผ่านการแช่เบื้องต้นด้วยสารละลายกรดซिटริกที่ระดับความเข้มข้น 0 % (น้ำกลั่น) 5% 15% 25% และ 35% การอัดด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส	30

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เกิดขึ้นไม่ได้หากไม่ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปี 2558

พร้อมนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการพิจารณาโครงการทุกท่านที่ได้ให้โอกาสผู้วิจัยในการพัฒนาการใช้ประโยชน์ไม้ปาล์มน้ำมัน เจ้าหน้าที่ประสานโครงการทุกท่าน ซึ่งมีส่วนช่วยให้การดำเนินงานของโครงการเป็นไปด้วยดี นายสมจิต พรวิทยาพันธ์และทีมงานแปรรูปไม้ปาล์มน้ำมัน นักศึกษาสาขาเทคโนโลยีไม้ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ที่มีส่วนช่วยในการเตรียมตัวอย่างไม้เพื่อการทดลอง โดยเฉพาะนางสาวปิยะนุช ช่วยเกลี้ยง และ นางสาวอภิวดี รสิดานนท์ นายทวีศิลป์ วงศ์พรต นักวิทยาศาสตร์ เพื่อนผู้ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องทดสอบสากล เจ้าหน้าที่ศูนย์วิทยาศาสตร์และเครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานีที่อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ดร. มนตรี สุขเลื่อน ซึ่งเข้ามามีส่วนช่วยอย่างมากในการเตรียมตัวอย่างและทดสอบสมบัติเชิงกล ร่วมไปถึงทุกท่านซึ่งมีส่วนช่วยให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

รัตนา ชูหว่าง

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้คือศึกษาอิทธิพลของการแช่แข็งด้วยกรดซิตริก ต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นภายใต้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิในการอัด 140 องศาเซลเซียส สมบัติของไม้ที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับไม้ปาล์มน้ำมันซึ่งอัดภายใต้อุณหภูมิสูง 200 องศาเซลเซียส

ไม้ปาล์มน้ำมันทุกส่วนของลำต้นแบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือไม้แช่และแช่แข็งด้วยกรดซิตริก โดยไม้ในกลุ่มที่หนึ่งซึ่งผ่านการแช่แข็งด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 5 ระดับ (0% (น้ำกลั่น) 5% 15% 25% และ 35%) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง อบด้วยเตาอบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อลดปริมาณความชื้น และปรับสภาพในตู้ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จนขึ้นตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำไม้ไปอัดด้วยเครื่องอัดร้อนด้วยอุณหภูมิสูงสุด 140 องศาเซลเซียส และแรงอัดสูงสุด 12.26 MPa เป็นเวลา 8 นาที ส่วนไม้ปาล์มน้ำมันกลุ่มที่สองใช้เป็นชุดควบคุม ซึ่งเป็นตัวอย่างไม้ปาล์มน้ำมันไม่ผ่านการแช่แข็ง ผ่านปรับสภาพ นำไปอัดภายใต้อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับกระบวนการอัดร้อนข้างต้น แผ่นไม้ทุกแผ่นอัดด้วยสัดส่วนการอัด 50% โดยใช้แท่งเหล็กเป็นตัวกำหนดความหนาสุดท้ายที่ต้องการ แผ่นไม้ปาล์มน้ำมันอัดทั้งหมดไปตัดขึ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล

ผลการทดลองปรากฏว่าความหนาแน่นของไม้ปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการอัดร้อน การแช่แข็งด้วยกรดซิตริกช่วยปรับปรุงค่าการพองตัวทางด้านความหนาและดูดซึมน้ำของไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่น เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิเมอร์ในผนังเซลล์เนื้อไม้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์กับหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดซิตริก แต่อย่างไรก็ตามการแช่แข็งด้วยกรดซิตริกก่อนกระบวนการอัดร้อนมีผลให้สมบัติเชิงกล (มอดูลัสแตกหักและมอดูลัสยืดหยุ่น) ของไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันอัดซึ่งผ่านการแช่แข็ง 0 % (น้ำกลั่น) และอัดด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส การแช่แข็งด้วยกรดซิตริก 15% สามารถช่วยลดอุณหภูมิในการอัดเพิ่มความหนาแน่นจาก 200 องศาเซลเซียส เป็น 140 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาจากความคงขนาดและสมบัติเชิงกล

Abstracts

The objective of this paper was to investigate the effects of citric acid pretreatment on physical and mechanical properties of oil palm board compressed at 140 °C. The reference benchmark case was compressed at 200 °C without pretreatment.

The oil palm boards representing different parts of the trunks were divided into two groups: with and without pretreatment. In the first group, the board samples from each part of the trunk were pre-treated by soaking in citric acid solution at 5 alternative concentration levels (0 % (distilled water), 5 %, 15 %, 25 %, or 35 %) for 48 hours, and were then dried in a hot air oven at 60 °C to reduce the moisture content. These pretreated boards were further conditioned at 20 °C and 65 % relative humidity until equilibrium moisture. The board samples were then compressed with a laboratory hot-press at 140 °C, with the 12.26 MPa maximum pressure held for 8 minutes. In the second baseline group for comparisons, the conditioned and untreated oil palm board samples were compressed similarly as above but at 200°C. Each board was compressed with 50 % compression ratio. The final thickness was determined by using a stopper stick. All the hot-pressed oil palm wood of samples were cut into testing specimens for physical and mechanical properties.

The results indicated that the density of each parts of oil palm wood were increased by using a hot press process. Citric acid pretreatment can be improved thickness swelling and water absorption of hot pressed oil palm wood due to esterification are reacted between hydroxyl groups of polymer in wood cell wall and carboxylic groups of citric acid. However, mechanical properties (modulus of rupture and modulus of elasticity) of pre-treated hot-compressed oil palm wood are decreased, when compared with 0% (distilled water) pre-treated and compressed oil palm board at 140° C. The pressing temperature can be reduced from 200° C to 140° C by adding 15% of citric acid pretreatment based on dimension stability and mechanical properties values.

การปรับปรุงความคงขนาดของแผ่นไม้ปาเลียมน้ำมันอัดโดยการแช่เบื้องต้น ด้วยกรดซिटริกก่อนกระบวนการอัดร้อน

1. บทนำ

ปาเลียมน้ำมันเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจหลักของภาคใต้ ปลูกมากในแถบพื้นที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ และชุมพร ตามลำดับ เมื่อปาเลียมน้ำมันอายุประมาณ 25 ถึง 30 ปี เกษตรกรต้องการเตรียมพื้นที่เพื่อปลูกทดแทนเนื่องจากให้ผลผลิตน้อยและลำต้นสูงเก็บเกี่ยวได้ยาก ส่งผลให้มีลำต้นปาเลียมน้ำมันจำนวนมาก ถูกปล่อยทิ้งให้ยืนต้นตาย หรือสับทิ้งภายในสวน โดยไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์หรือเพิ่มมูลค่า เนื่องจากลำต้นปาเลียมน้ำมันมีความหนาแน่นและสมบัติเชิงกลต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ชนิด แต่ด้วยลักษณะทางกายวิภาคของไม้ปาเลียมน้ำมันมีความเหมาะสมต่อการนำมาอัดภายใต้ความร้อนเพื่อเพิ่มความหนาแน่น ส่งเสริมสมบัติเชิงกล โดยความหนาแน่นของไม้ปาเลียมน้ำมันเพิ่มขึ้นจาก 0.31 g/cm^3 เป็น 0.71 g/cm^3 ส่งผลให้ค่าโมดูลัสแตกหักเพิ่มขึ้นจาก 22.62 MPa เป็น 53.51 MPa เมื่ออัดภายใต้แรงอัดและความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มต้านทานต่อการเข้าทำลายของปลวกใต้ดินดี เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอัดเป็น 220 องศาเซลเซียส (Choowang, 2014; Choowang and Hiziroglu, 2015) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม้ปาเลียมน้ำมันอัดใช้กระบวนการอัดร้อนเช่นเดียวกันผลิตภัณฑ์กลุ่มแผ่นไม้ประกอบ (Wood composites) เพราะฉะนั้นผู้ประกอบการสามารถใช้เครื่องมือที่มีอยู่เดิมได้โดยไม่ต้องลงทุนเพิ่มในกรณีเป็นผู้ประกอบผลิตแผ่นไม้ประกอบอยู่เดิม นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ไม้ปาเลียมน้ำมันอัดยังมีข้อได้เปรียบในเรื่องต้นทุนจากกาว ซึ่งเป็นต้นทุนหลักในการผลิตแผ่นไม้ประกอบ และไร้ปัญหาการคงค้างของสารฟอร์มาลดีไฮด์จากการใช้กาวสังเคราะห์ ลดอันตรายต่อผู้ผลิตและผู้บริโภค การผลิตแผ่นไม้ปาเลียมน้ำมันอัดจึงมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อการวิจัยและพัฒนาต่อไป อย่างไรก็ตามไม้ปาเลียมน้ำมันอัดด้วยกระบวนการอัดร้อนยังมีข้อด้อยคือมีค่าการพองตัวทางด้านความหนาสูงเมื่อแช่น้ำเป็นเวลา 2 และ 24 ชั่วโมง (Choowang and Hiziroglu, 2015) เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงสมบัติดังกล่าวให้ดีขึ้น

การแช่เบื้องต้นด้วยกรดซิทริกก่อนนำไม้ปาเลียมน้ำมันไปทำการอัดด้วยกระบวนการอัดร้อน เป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาปรับปรุงความคงขนาดของไม้ปาเลียมน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่น เนื่องด้วยกรดซิทริกเกิดปฏิกิริยาได้ดีกับแป้งและน้ำตาลที่มีมากในไม้ปาเลียมน้ำมัน (Hashim et al., 2011) คาดว่ากรดซิทริกจะช่วยส่งเสริมการยึดติดของเนื้อไม้ระหว่างกระบวนการอัดร้อน ลดค่าการพองตัวทางด้านความหนาเมื่อแช่น้ำของไม้ปาเลียมน้ำมันอัดที่ได้ นอกจากนี้กรดซิทริกยังมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากกรดซิทริกมีความเป็นพิษต่ำ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดซิทริกที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงความคงขนาดของไม้ปาเลียมน้ำมันอัดด้วยกระบวนการอัดร้อน
- 2.2 เพื่อเปรียบเทียบความคงขนาดของไม้ปาเลียมอัดด้วยกระบวนการอัดร้อนระหว่างการแช่เบื้องต้นด้วยกรดซิทริกและการใช้อุณหภูมิสูงในการอัด

3. ตรวจเอกสาร

3.1 ไม้ปาล์มน้ำมัน

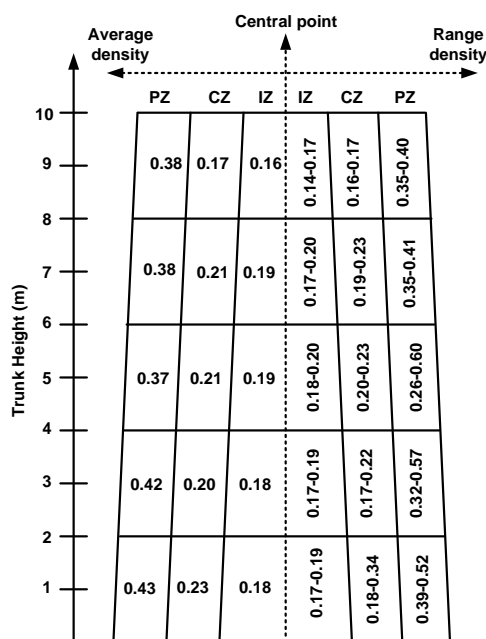
ปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis* Jacq.) จัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวอยู่ในวงศ์ (family) Palmae หรือ Arecaceae (monocotyledon) ปลูกมากในแถบภาคใต้ของประเทศไทย โดยวัตถุประสงค์หลักของการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตน้ำมันปาล์มสำหรับการบริโภค ผลิตไบโอดีเซล เป็นต้น โดยในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมด 4.42 ล้านไร่ เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2557 ร้อยละ 3.42 แบ่งเป็นเนื้อที่ให้ผลผลิต 4.35 ล้านไร่ ปาล์มน้ำมันมีอายุการเก็บเกี่ยวซึ่งให้ผลผลิตคummun ทางเศรษฐกิจ คือ 25 ถึง 27 ปี เนื่องจากลำต้นสูงเก็บเกี่ยวได้ยากและให้ผลผลิตน้อยลง เมื่อปาล์มน้ำมันถึงอายุการปลูกทดแทนเกษตรกรมักทำการปลูกต้นใหม่ระหว่างแถวของต้นเดิม ใช้สารเคมีให้ต้นปาล์มเดิมยืนต้นตายหรือใช้รถตัดให้ต้นปาล์มแก่ล้มก่อนสับให้มีขนาดเล็กและปล่อยให้เน่าภายในสวน (ภาพที่ 1) ซึ่งปาล์มน้ำมันมีปริมาตรเนื้อไม้โดยเฉลี่ย 1.72 ลูกบาศก์เมตรต่อต้นหรือ 1,375 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ (Balfas, 2006) โดยในทุกๆปีรัฐมีนโยบายให้มีการปลูกทดแทนประมาณปีละ 150,000 ไร่ต่อปี



ภาพที่ 1 ลักษณะการปลูกทดแทนส่วนปาล์มน้ำมัน และการทำลายต้นปาล์มเดิม

เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวโครงสร้างเนื้อไม้จึงประกอบด้วยกลุ่มเซลล์วาสคิวลาบันเดอน (Vascular bundle, VB) ซึ่งทำหน้าที่ในการลำเลียงและให้ความแข็งแรงแก่ลำต้น ส่วนใหญ่จัดเรียงตัวในแนวตั้งหรือขนานกับความยาวของลำต้น เมื่อมองด้านหน้าตัดพบกลุ่มเซลล์วาสคิวลาบันเดอนล้อมรอบด้วยกลุ่มเซลล์พาเรงคิมา (Parenchyma, P) ซึ่งมีผนังเซลล์บาง โดยพบกลุ่มเซลล์วาสคิวลาบันเดอนหนาแน่นบริเวณเนื้อไม้ใกล้เปลือกและลดหลั่นไปยังใจกลางลำต้น (Erwinsyah, 2008; รัตนา, 2551) ส่งผลให้องค์ประกอบเคมีของลำต้นปาล์มน้ำมันในแต่ละส่วนแตกต่างกัน ซึ่งองค์ประกอบเคมีโดยเฉลี่ยของไม้ปาล์มน้ำมันประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 31.70 ถึง 47.30 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 21.20 ถึง 34.40 และลิกนินร้อยละ 18.40 ถึง 29.60 นอกจากนี้พบว่าปริมาณแป้งร้อยละ 55.5 ในกลุ่มเซลล์พาเรงคิมา ขณะที่กลุ่มเซลล์วาสคิวลาบันเดอนมีปริมาณแป้งเพียงร้อยละ 2.4 (Chin et al., 2010; Kaida et al., 2009; Yuliansyh et al., 2010; Verman et al., 2011)

โดยเนื้อไม้ส่วนนอกมีองค์ประกอบของแป้งโดยเฉลี่ยร้อยละ 12.19 ในขณะที่ส่วนกลางลำต้น พบปริมาณแป้งร้อยละ 17.1 (Hashim et al., 2011) จากการกระจายตัวของกลุ่มเซลล์ดังกล่าวข้างต้นยังส่งผลให้ความหนาแน่นของเนื้อไม้ปาล์มน้ำมันกระจายตลอดลำต้นและมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับไม้เศรษฐกิจชนิดอื่นๆ เช่น ไม้ยางพารา เป็นต้น โดยไม้ปาล์มน้ำมันที่ระดับความชื้น 12% มีความหนาแน่นเพียง 0.16 ถึง 0.19 g/cm³, 0.17 ถึง 0.23 g/cm³ และ 0.37 ถึง 0.43 g/cm³ สำหรับเนื้อไม้ในส่วนใจส่วนกลาง และบริเวณใกล้เปลือก ตามลำดับ (ภาพที่ 2) ในขณะที่ไม้ยางพารามีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.56 ถึง 0.65 g/cm³ (Erwinsyah, 2008)



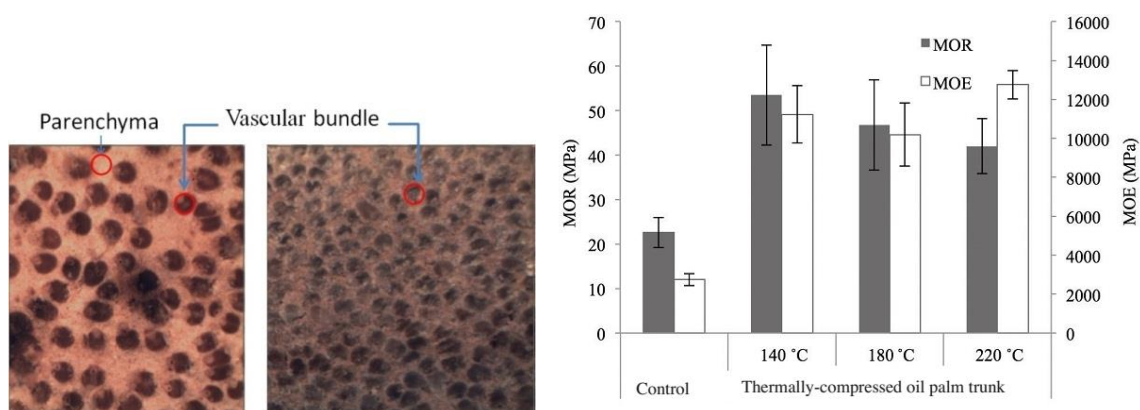
ภาพที่ 2 การกระจายของความหนาแน่นภายในลำต้นปาล์มน้ำมัน (Erwinsyah, 2008)

ด้วยลักษณะโครงสร้างและสมบัติกายภาพข้างต้นของไม้ปาล์มน้ำมันส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลต่ำและกระจายตลอดลำต้น ยกต่อการนำไปใช้งาน อย่างไรก็ตามไม้ปาล์มน้ำมันสามารถนำไปใช้งานในลักษณะไม้แปรรูปได้ เมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงสมบัติของเนื้อไม้ด้วยกระบวนการอัดเพื่อเพิ่มความหนาแน่นซึ่งความหนาแน่นเป็นปัจจัยสำคัญต่อสมบัติเชิงกลของเนื้อไม้

3.2 การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของเนื้อไม้

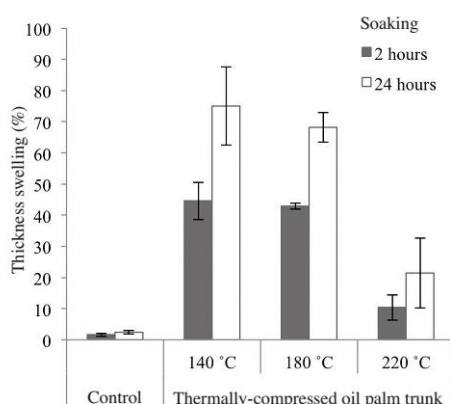
เนื้อไม้ (Wood) เป็นวัสดุที่มีรูพรุน (porosity material) สมบัติเชิงกลมักแปรผันตามความหนาแน่น โดยทั่วไปเนื้อไม้มีสมบัติเชิงกลสูงเมื่อมีความหนาแน่นสูง และเนื้อไม้มีความหนาแน่นสูงเมื่อมีความเป็นรูพรุนต่ำ เพราะฉะนั้นสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเนื้อไม้โดยการเพิ่มความหนาแน่นด้วยวิธีการลดความเป็นรูพรุน ซึ่งเทคนิคในการลดความเป็นรูพรุนของเนื้อไม้มีสองวิธีการหลักๆ คือ การใช้สารเคมีอัดเข้าภายในเนื้อไม้ หรือการอัดเนื้อไม้ภายใต้แรงอัดและความร้อน (Boonstra and Blomberg, 2007; Kutnar and Sernek, 2007) รัตนา (2553) ได้ทดลองนำไม้ปาล์มน้ำมันแปรรูปมาทำการอัดภายใต้

แรงอัดและความร้อน พบว่าโครงสร้างของไม้ปาล์มน้ำมันเกิดการยุบตัวโดยเฉพาะกลุ่มเซลล์พาเรงคิมา ส่งผลให้กลุ่มเซลล์วาสคูลาบับเดอนชิดกันมากขึ้น (ภาพที่ 3) และความหนาแน่นของเนื้อไม้เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยจาก 0.31 g/cm^3 เป็น 0.71 g/cm^3 ด้วยเหตุนี้ส่งเสริมให้ค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture, MOR) เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยจาก 22.61 MPa เป็น 53.51 MPa เมื่ออัดด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และสมบัติเชิงกลไม้ปาล์มน้ำมันอัดมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัดด้วยอุณหภูมิ 180 และ 220 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ภาพที่ 3 โครงสร้างไม้ปาล์มน้ำมันก่อนอัดและหลังอัดด้วยกระบวนการอัดร้อน (รัตนา, 2553; Choowang and Hiziroglu, 2015)

แต่อย่างไรก็ตามไม้ปาล์มน้ำมันอัดภายใต้แรงอัดและความร้อนมีค่าการพองตัวทางด้านความหนา (Thickness swelling, TS) เมื่อผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 2 และ 24 ชั่วโมง (Choowang and Hiziroglu, 2015) สูงกว่าไม้ปาล์มน้ำมัน (Control) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ค่าการพองตัวทางด้านความหนาของไม้ปาล์มน้ำมันอัดด้วยกระบวนการอัดร้อน ที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ (Choowang and Hiziroglu, 2015)

Salim และคณะ (2012) ได้ทดลองนำไม้ปาล์มน้ำมันอายุ 28 ปี ขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร ความยาว 20 เซนติเมตร และความหนา 4 เซนติเมตร มาทำการอัดเพิ่มความหนาแน่นพบว่าสภาวะที่เหมาะสมซึ่งให้สมบัติของไม้ปาล์มน้ำมันแปรรูปอัดที่ดี คือ การปรับสภาพด้วยไอน้ำด้วย

อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และนำไปอัดภายใต้แรงอัด 11.16 MPa อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ซึ่งการปรับสภาพด้วยไอน้ำช่วยลดค่าการพองตัวทางด้านความหนาและค่าการดูดซึมน้ำของไม้ผ่านอัดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม (Salim et al., 2013) เห็นว่าการปรับปรุงความคงขนาดของไม้ปาล์มน้ำมันอัดด้วยการอบเบื้องต้นด้วยไอน้ำใช้ระยะเวลาสั้น เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานจึงควรมีการพัฒนาวิธีการอื่นเพื่อปรับปรุงความคงขนาดของไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่น

กรดซิตริก (Citric acid, $C_6H_{10}O_8$) เป็นกรดอินทรีย์พบในผลไม้รสเปรี้ยว มีสูตรโมเลกุลประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl groups, $-COOH$) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) ด้วยพันธะแบบเอสเตอร์ (ester cross-linking bonds) ได้ดี โดยหมู่ไฮดรอกซิลมีมากในโมเลกุลของสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เช่น เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และแป้ง เป็นต้น ดังนั้นจึงนิยมนำกรดซิตริกมาใช้ในการปรับปรุงความคงขนาดของแผ่นฟิล์มจากแป้ง และกระดาษ (Reddy and Yang, 2010; Neddy and Yand, 2009; Widsten et al., 2014)

Mayes และ Pynnonen (2014) ศึกษากระบวนการแช่ไม้ด้วยสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1 ถึง 40 และอบด้วยอุณหภูมิ 150 ถึง 200 องศาเซลเซียส พบว่าการแช่ไม้ด้วยกรดซิตริกช่วยปรับปรุงความคงขนาด ความแข็งแรงและความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อราและแมลง โดยเพราะใช้อุณหภูมิในการอบ 180 ถึง 200 องศาเซลเซียส ในขณะที่ Sefc และคณะ (2009) พบว่าการอัดสารละลายกรดซิตริกเข้าสู่เนื้อไม้ Beech และ Fir ก่อนนำไปอบด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที สามารถปรับปรุงความคงขนาดของเนื้อไม้ได้ดี เนื่องจากโครงสร้างของกรดซิตริกเกิดพันธะกับองค์ประกอบเคมีเนื้อไม้ โดยเฉพาะหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งมีผลต่อความสามารถในการดูดซึมน้ำของเนื้อไม้

4. วิธีการทดลอง

ในการทดลองปรับปรุงความคงขนาดของไม้ปาล์มน้ำมันอัดภายใต้ความร้อนโดยการอบเบื้องต้นด้วยสารละลายกรดซิตริกมีวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 การเตรียมไม้ปาล์มน้ำมัน

ในการทดลองครั้งนี้ใช้ไม้ปาล์มน้ำมันอายุ 25 ปี จากสวนเกษตรกร ตำบลทุ่งรัง อ. เมือง จ. สุราษฎร์ธานี โดยการสุ่มไม้ปาล์มน้ำมันจำนวน 5 ต้น และทำการตัดโคนสูงจากระดับพื้นดินประมาณ 0.5 เมตร ตัดซุงลำต้นปาล์มน้ำมันยาว 110 เซนติเมตร จำนวนต้นละ 3 ท่อน (ส่วนโคนของลำต้น) และทำการแปรรูปให้ได้ความหนา 5 เซนติเมตร กว้าง 25 เซนติเมตร และยาวตามความยาวของซุง (แยกไม้ปาล์มน้ำมันออกเป็น 3 ส่วน ตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง คือ ส่วนใน กลาง และนอก) หลังจากนั้นนำไม้ปาล์มน้ำมันแปรรูปไปผึ่งให้แห้งและใส่ให้ได้ความหนา 2.4 เซนติเมตร ตัดให้ได้ความกว้าง 20 เซนติเมตร และยาว 35 เซนติเมตร ตัดตัวอย่างไม้ปาล์มน้ำมันแปรรูปขนาดกว้างและยาว 2 เซนติเมตร เพื่อทดสอบความหนาแน่นในสภาวะอบแห้ง (Oven-dry density) ซึ่งตัดแปลงมาจากมาตรฐานการทดสอบ ASTM Standard D 2395-93 จากนั้นนำความหนาแน่นไม้ที่ได้มาใช้ในการคัดแยกไม้ตามช่วง

ความหนาแน่นอีกครั้ง ตัวอย่างไม้ทั้งหมดปรับสภาพในตู้ซึ่งควบคุมอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65% จนกระทั่งตัวอย่างไม้มีน้ำหนักคงที่ เก็บไว้เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป



ภาพที่ 5 กระบวนการแปรรูปไม้ปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 1 ความหนาแน่น (Oven-dry density) และปริมาณความชื้นหลังการปรับสภาพของไม้ปาล์ม น้ำมัน ในแต่ละส่วน

ส่วนของไม้ปาล์มน้ำมัน	ความหนาแน่น (Oven-dry density) g/cm^3	ปริมาณความชื้นสมดุล หลังการปรับสภาพ (%)
ส่วนนอก	0.31 (0.05)	11.11±0.28
ส่วนกลาง	0.24 (0.01)	11.81±0.73
ส่วนใน	0.16 (0.01)	11.24±0.80

4.2 การแช่ไม้ปาล์มน้ำมันเบื้องต้นด้วยกรดซिटริก

นำตัวอย่างไม้ปาล์มน้ำมันซึ่งเตรียมไว้ในข้อ 4.1 วัดขนาดและชั่งน้ำหนัก ก่อนนำไปแช่สารละลายกรดซिटริกที่ระดับความเข้มข้น 0% (น้ำกลั่น) 5% 15% 25% และ 35% เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไม้ออกจากสารละลายทิ้งไว้ 10 นาทีก่อนทำการชั่งน้ำหนักหลังแช่ เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณสารละลายซึ่งแทรกซึมเข้าในเนื้อ (Retention, R)

สูตรคำนวณ

$$R = \frac{GC}{V} \times 10 \text{ kg} \cdot \text{m}^3, G = T_2 - T_1$$

เมื่อ R = ปริมาณสารแทรกซึมเข้าเนื้อไม้

G = ปริมาณการดูดซับสารละลายของตัวอย่าง (กรัม)

T2 = น้ำหนักของตัวอย่างหลังการแช่ (กรัม)

T1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนการแช่ (กรัม)

C = จำนวนของสารในสารละลาย 100 กรัม

V = ปริมาตรของตัวอย่างไม้ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ขั้นตอนถัดมานำไม้ปาล์มน้ำมันซึ่งผ่านการแช่ด้วยสารละลายกรดซิดริกทุกระดับความเข้มข้นไปผึ่งและอบด้วยเตาอบลมร้อนที่ระดับ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปรับสภาพในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 65% จนกระทั่งตัวอย่างไม่มีน้ำหนักคงที่ก่อนนำไปอัดด้วยกระบวนการอัดร้อนต่อไป

4.3 อัดไม้ปาล์มน้ำมันด้วยกระบวนการอัดร้อน

ตัวอย่างไม้ปาล์มน้ำมันทั้ง 3 ความหนาแน่นซึ่งผ่านการแช่ด้วยน้ำกลั่นและกรดซิดริกทุกระดับความเข้มข้น นำมาผ่านกระบวนการอัดร้อน โดยเริ่มจากวัดความหนาและชั่งน้ำหนักตัวอย่างไม้ก่อนนำไปอัดด้วยเครื่องอัดร้อนสำหรับห้องปฏิบัติการ โดยใช้อุณหภูมิในการอัด 140 องศาเซลเซียส แรงอัดสูงสุด 12.26 MPa เป็นเวลา 8 นาที (Choowang, 2014; Choowang and Hiziroglu, 2015) ทุกทรีทเม้นต์นำมาอัดให้ได้ความหนาสุดท้าย 12 มิลลิเมตร วัดความหนาและชั่งน้ำหนักหลังกระบวนการอัดร้อนเพื่อใช้คำนวณสัดส่วนในการอัด (Compression ratio, CR) ที่แท้จริง ดังสมการ

สูตรคำนวณ

$$\text{สัดส่วนการอัด (\%)} = \frac{(\text{ความหนาเริ่มต้น} - \text{ความหนาหลังอัด})}{\text{ความหนาหลังอัด}} \times 100$$

ไม้ปาล์มน้ำมันทั้ง 3 ช่วงความหนาแน่น ซึ่งไม่ผ่านการแช่กรดซิดริกนำมาผ่านกระบวนการอัดเพิ่มความหนาแน่นโดยใช้อุณหภูมิในการอัด 200 องศาเซลเซียส แรงอัดสูงสุด 12.26 MPa เป็นเวลา 8 นาที (ภาพที่ 6) เพื่อเปรียบเทียบกับกับชุดทดลองซึ่งใช้ไม้ผ่านการแช่กรดและอัดด้วยอุณหภูมิต่ำ 140 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 6 ไม้ปาล์มน้ำมันแปรรูปและไม้ปาล์มน้ำมันอัดด้วยอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

4.4 ทดสอบสมบัติของไม้ปาเล็มน้ำมันอัดด้วยกระบวนการอัดร้อน

ตัวอย่างไม้ปาเล็มน้ำมันอัดด้วยกระบวนการอัดร้อนทั้งหมดปรับสภาพในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 65% ก่อนนำไปตัดชิ้นตัวอย่างตามขนาดของการทดสอบแต่ละสมบัติที่ต้องการทดสอบต่อไปนี้

ความถ่วงจำเพาะและปริมาณความชื้น

การหาความถ่วงจำเพาะและปริมาณความชื้นได้ตัดแปลงมาจากมาตรฐานการทดสอบ ASTM Standard D 2395-93 (Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials)(2001) และ ASTM Standard D 4442-92 (Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement Wood and Wood-Based Materials) ตามลำดับ (2001) ตัดชิ้นทดสอบขนาดความกว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร และหนาตามความหนาของไม้ปาเล็มน้ำมันอัด ทำการชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักขณะทดสอบและวัดขนาดที่แท้จริงเพื่อคำนวณหาปริมาตรขณะทดสอบก่อนนำไปอบด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนกระทั่งชิ้นทดสอบมีน้ำหนักคงที่ นำชิ้นทดสอบออกจากตู้อบใส่โถดูดความชื้นเพื่อให้ชิ้นทดสอบเย็นลงโดยไม่มีการดูดความชื้น ก่อนชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบอีกครั้งเป็นน้ำหนักอบแห้งเพื่อนำไปคำนวณหาความถ่วงจำเพาะและปริมาณความชื้นดังสูตรคำนวณต่อไปนี้

สูตรคำนวณ

$$\begin{aligned} & \% \text{ ปริมาณความชื้น (Moisture content, MC)} \\ & = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักหลังอบ(กรัม)}} \times 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity, SG)} \\ & = \frac{\text{น้ำหนักอบแห้ง (กรัม) / ปริมาตรไม้ ณ ความชื้นสด (ลบ.ซม.)}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำ (กรัม/ลบ.ซม.)}} \end{aligned}$$

ค่าการพองตัวทางด้านความหนา การดูดซึมน้ำและการพองตัวโดยปริมาตร

ในการทดสอบค่าการพองตัวทางด้านความหนา การดูดซึมน้ำและการพองตัวโดยปริมาตรนี้ตัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM D 1037- 06a (Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials) โดยใช้ตัวอย่างขนาดความกว้าง 25 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร และหนาตามความหนาของไม้ปาเล็มน้ำมันอัด ชิ้นทดสอบทั้งหมดนำไปปรับสภาพในตู้ซึ่งควบคุมอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 65% จนกระทั่งตัวอย่างไม้มีน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักวัดขนาดความกว้าง และความหนาทั้งสี่มุมของชิ้นทดสอบก่อนนำไปแช่ในน้ำซึ่งมีอุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส โดยให้ชิ้นตัวอย่างอยู่ใต้ผิวน้ำและห่างจากก้นภาชนะ 25 มิลลิเมตร แช่น้ำเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างไม้ขึ้นจากน้ำวางบนตะแกรงเป็นเวลา 10 ± 2 นาที ก่อนทำการชั่งน้ำหนัก วัดขนาดความกว้าง และความหนาทั้งสี่มุมหลังแช่น้ำ 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปแช่น้ำเช่นเดิม

เป็นระยะเวลา 22 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาทำการชั่งน้ำหนักและวัดขนาดเช่นเดียวกับการทดสอบ 2 ชั่วโมง นำค่าที่วัดได้คำนวณค่าการพองตัวทางด้านความหนา (Thickness swelling, TS) ค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption, WA) และค่าการพองตัวโดยปริมาตร (Volumetric swelling) หลังแช่น้ำเป็นระยะเวลา 2 และ 24 ชั่วโมง ดังสูตรคำนวณต่อไปนี้

สูตรคำนวณ

% การพองตัวทางด้านความหนา

$$= \frac{\text{ความหนาหลังแช่น้ำ} - \text{ความหนาก่อนแช่น้ำ}}{\text{ความหนาก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

% การดูดซึมน้ำ

$$= \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

% การพองตัวโดยปริมาตร

$$= \frac{\text{ปริมาตรหลังแช่น้ำ} - \text{ปริมาตรก่อนแช่น้ำ}}{\text{ปริมาตรก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

สมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติเชิงกลไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นซึ่งผ่านการแช่เบี่ยงตันอัดด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และไม้ปาล์มน้ำมันไม่ผ่านการแช่เบี่ยงตันอัดด้วยอุณหภูมิสูง 200 องศาเซลเซียส โดยดัดแปลงจากจากมาตรฐาน ASTM D 5456 (Standard Specification for Evaluation of Structural Composites Lumber product) และ ASTM D 4761 (Standard Test Method for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material) โดยตัดตัวอย่างไม้กว้าง 20 มิลลิเมตร หนาตามความหนาของแผ่นบอร์ด และยาว 300 มิลลิเมตรทุกชิ้นตัวอย่างนำไปปรับสภาพในตู้ซึ่งควบคุมอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65% จนกระทั่งตัวอย่างไม้มีน้ำหนักคงที่ก่อนทำการทดสอบแรงดัดสถิต (Static Bending) ด้วยเครื่องทดสอบสากล รายงานเป็นค่ามอดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture, MOR) และ ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, MOE)

ศึกษาโครงสร้างทางกายวิภาค

ศึกษาโครงสร้างของไม้ปาล์มน้ำมันและไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นผ่านการแช่เบี่ยงตันด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกด้วยวิธีการถ่ายภาพทางด้านหน้าตัดของตัวอย่างด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM)

ศึกษาสมบัติเชิงเคมี

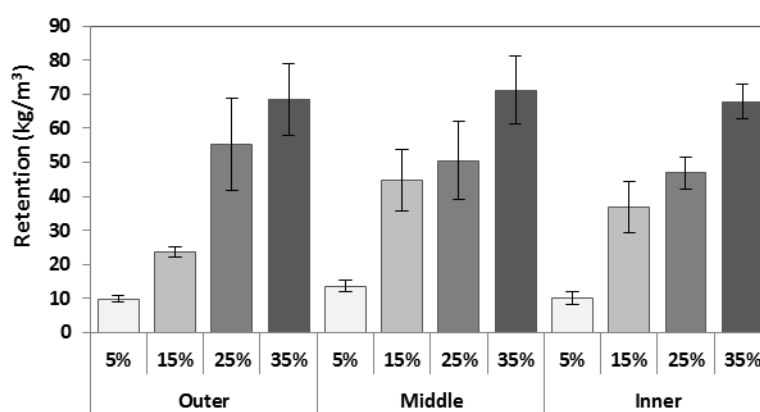
ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงเคมีของไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นผ่านการแช่เบื้องต้นด้วยสารละลายกรดซิดริกอัดด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และไม้ปาล์มน้ำมันไม่ผ่านการแช่เบื้องต้นอัดด้วยอุณหภูมิสูง 200 องศาเซลเซียสโดยการย่อยตัวอย่างให้มีลักษณะเป็นผงและนำมาอัดแน่น ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) ด้วยรูปแบบเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแตนซ์ (% transmittance)

5. ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองปรับปรุงความคงขนาดของไม้ปาล์มน้ำมันอัดด้วยกระบวนการอัดร้อนโดยการแช่เบื้องต้นด้วยสารละลายกรดซิดริก ปรากฏผลการทดลองดังนี้

5.1 ปริมาณการแทรกซึมกรดซิดริกของไม้ปาล์มน้ำมัน

เนื้อไม้เป็นวัสดุที่มีรูพรุน (porous material) ดังนั้นของเหลวหรือแก๊ส สามารถแทรกซึมเข้าเนื้อไม้ผ่านช่องว่างเข้าสู่เซลล์ต่างๆของเนื้อไม้ โดยทั่วไปปริมาณการแทรกซึมมักขึ้นกับความสามารถในการยอมให้ไหลผ่านของเนื้อ (permeability of wood) ซึ่งมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติดังกล่าว เช่น ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพ องค์ประกอบเคมี ปริมาณความชื้น เป็นต้น รวมถึงปัจจัยภายนอกอื่นๆ เช่น ชนิดสารละลาย ความเข้มข้นของสารละลาย ระยะเวลา แรงแดด เป็นต้น (Hansmann et al, 2002)



ภาพที่ 7 ปริมาณการแทรกซึมสารละลายกรดซิดริกของไม้ปาล์มน้ำมัน ส่วนนอก ส่วนกลางและส่วนในของลำต้นปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 2 ปริมาณการแทรกซึมสารละลายกรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้นต่างๆของไม้ปาล์มน้ำมัน

ความเข้มข้นกรดซิตริก	ปริมาณการแทรกซึม		
	ส่วนของเนื้อไม้		
	นอก	กลาง	ใน
0% (น้ำกลั่น)	0	0	0
5%	9.86 (0.84)	13.53 (1.67)	10.08 (1.71)
15%	23.52 (1.52)	44.82 (9.06)	36.76 (7.56)
25%	35.33 (13.52)	50.44 (11.41)	46.80 (4.55)
35%	68.32 (10.50)	71.19 (10.07)	67.83 (5.04)

จากการทดลองแช่ไม้ปาล์มน้ำมัน 3 ระดับความหนาแน่น คือ ส่วนนอก (Outer) ความหนาแน่นโดยเฉลี่ย 0.31 (0.05) g/cm³ ส่วนกลาง (Middle) ความหนาแน่นโดยเฉลี่ย 0.24 (0.01) g/cm³ และส่วนใน (Inner) ความหนาแน่นโดยเฉลี่ย 0.16 (0.01) g/cm³ ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0 % (น้ำกลั่น) 5% 15% 25% และ 35% เป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าปริมาณการแทรกซึมของสารละลายกรดซิตริกของเนื้อไม้ทั้งสามส่วนเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลาย และในระยะเวลาการแช่ที่เท่ากัน ไม้ปาล์มน้ำมันทั้ง 3 ช่วงความหนาแน่นมีการแทรกซึมของสารละลายกรดซิตริกไม่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 7 และตารางที่ 2 ซึ่งจากการศึกษาของ Choo และ คณะ (2013) พบว่าเนื้อไม้ปาล์มน้ำมันในส่วนกลางมีค่าความสามารถในการยอมให้ไหลผ่านทางด้านตามยาว (longitudinal permeability) สูงกว่าเนื้อไม้ส่วนในและนอกตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้ แต่อย่างไรก็ตามการแช่ในระยะเวลาสั้นส่งผลให้ปริมาณการแทรกซึมของสารละลายกรดซิตริกของไม้ปาล์มน้ำมันทั้งสามส่วนไม่แตกต่างกัน

5.2 ความหนาแน่นของไม้และสัดส่วนการอัดไม้ปาล์มน้ำมันด้วยกระบวนการอัดร้อน

การเพิ่มความหนาแน่นของไม้ด้วยกระบวนการอัดร้อน สัดส่วนในการอัด (compression ratio, %) เป็นปัจจัยสำคัญต่อความหนาแน่นของเนื้อไม้ที่เพิ่มขึ้น (Kutnar et al., 2008) ในการทดลองอัดเพิ่มความหนาแน่นไม้ปาล์มน้ำมัน 3 ส่วนครั้งนี้ พบว่า ความหนาแน่นในสภาวะแห้ง (Oven-dry density) ของไม้ทั้ง 3 ส่วน เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการอัดร้อนทุกสภาวะการทดลอง ดังข้อมูลในตารางที่ 3 เมื่ออัดด้วยสัดส่วนการอัดโดยเฉลี่ยร้อยละ 49 จากความหนาแน่นของแผ่นไม้เดิม เนื่องจากแรงอัดส่งผลให้เซลล์ภายในเนื้อไม้เกิดการยุบตัว ลดช่องว่างภายในเซลล์ โดยทั่วไปสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นขึ้นกับสัดส่วนการอัดเป็นสำคัญ นอกจากนี้พบว่าแผ่นไม้อัดส่วนใหญ่มีความหนาแน่นบริเวณผิวสูงกว่าส่วนกลางของแผ่น ซึ่งสัดส่วนการอัดที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเนื้อไม้ และสภาวะในการอัด (Rautkari et al., 2013; Laine et al., 2014) ไม้ปาล์มน้ำมันจัดเป็น ไม้กลุ่มใบเลี้ยงเดี่ยว เซลล์ซึ่งทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ลำต้นส่วนใหญ่เรียงตัวในแนวขนานกับแกนของลำต้น ดังนั้นจึงสามารถอัดในทิศทางตั้งฉากกับแกนลำต้นหรือแนวรัศมีเพื่อเพิ่มความหนาแน่นได้ง่าย (Choowang and Hiziruglu, 2015) บวกกับไม้ปาล์มน้ำมันมีความเป็นรูพรุน บริเวณผิวของผนังเซลล์มีพืพจำนวนมาก สารละลายสามารถซึมผ่านได้ดี และคงค้างภายในเนื้อไม้ ตามลำดับ อาจส่งผลให้ไม้ซึ่งผ่านการแช่เบื้องต้น

ด้วยกรดซิดริกมีความหนาแน่นของเนื้อไม้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ การอัดด้วยอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความหนาแน่น (Oven-dry density) ของไม้ปาล์มน้ำมันและไม้ผ่านการอัดเพิ่มความหนาแน่น

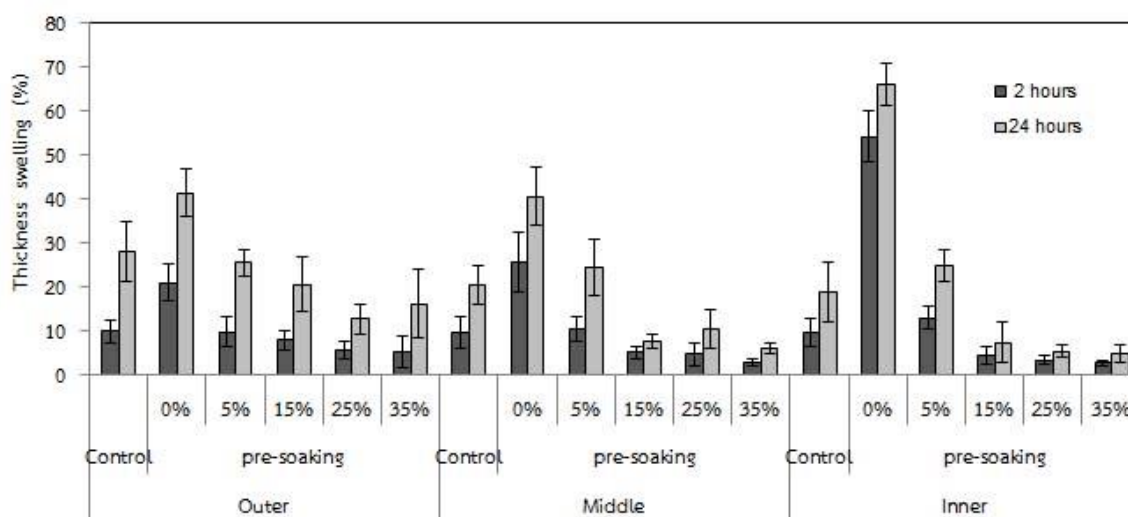
รายการ		ความหนาแน่นในสภาวะแห้ง			
		ส่วนของเนื้อไม้			
		นอก	กลาง	ใน	
ไม้ปาล์มน้ำมัน		0.31 (0.05)	0.24 (0.01)	0.16 (0.01)	
ไม้ปาล์มน้ำมันอัด	ไม้แช่เบื้องต้นและอัดด้วยอุณหภูมิสูง 200 °C	0.55 (0.07)	0.40 (0.11)	0.28(0.03)	
	แช่เบื้องต้นด้วยกรดซิดริก ความเข้มข้นต่างๆและอัดด้วยอุณหภูมิ 140 °C	0% (น้ำกลั่น)	0.57 (0.08)	0.43 (0.06)	0.28 (0.02)
		5%	0.47 (0.09)	0.40 (0.06)	0.32 (0.03)
		15%	0.60 (0.11)	0.46 (0.06)	0.34 (0.04)
		25%	0.57 (0.06)	0.50 (0.05)	0.38 (0.03)
		35%	0.62 (0.04)	0.56 (0.03)	0.35 (0.06)

5.3 ค่าการพองตัวทางด้านความหนา การดูดซึมน้ำและการพองตัวโดยปริมาตร

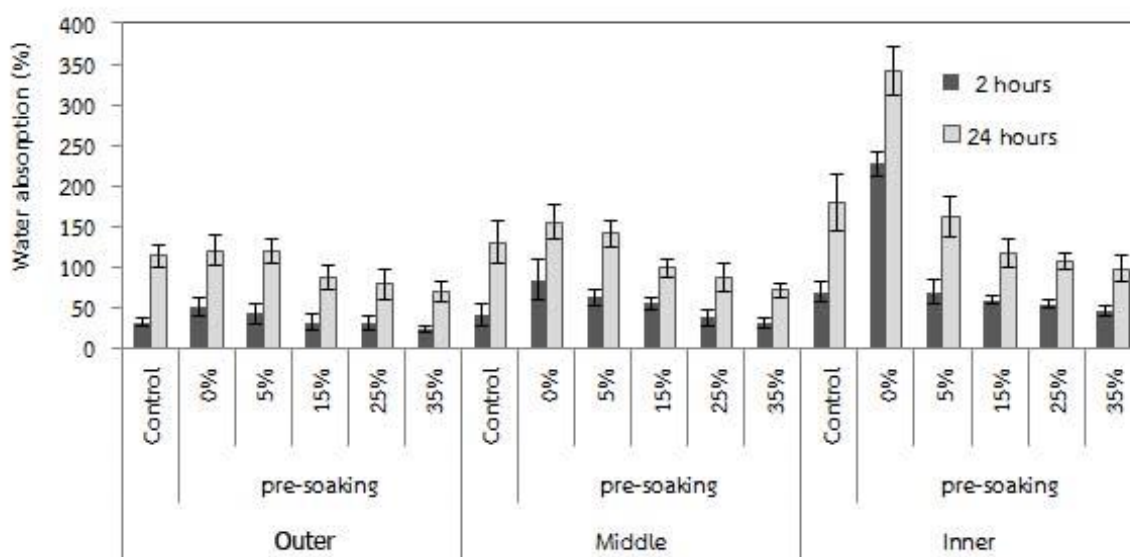
ปัญหาสำคัญของแผ่นไม้อัดเพิ่มความหนาแน่น (Compressed wood) คือ ความคงขนาด (dimension stability) เกิดการคืนตัวของเนื้อไม้โดยเฉพาะในสภาวะการใช้งานซึ่งมีความชื้นสูง โดยทั่วไป สัดส่วนการอัดและอุณหภูมิในกระบวนการอัดเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งส่งผลต่อความคงขนาดของผลิตภัณฑ์ไม้อัดเพิ่มความหนาแน่น (Zhan and Avranmidis, 2016; Laine et al., 2013) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้ พบว่าไม้ปาล์มน้ำมันทั้ง 3 ส่วนเมื่อผ่านการอัดด้วยอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส มีค่าการพองตัวทางด้านความหนา และค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าไม้ปาล์มน้ำมันซึ่งผ่านการอัดด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส (การแช่น้ำกลั่น หรือ 0% สารละลายกรดซิดริก) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการปรับสภาพไม้ก่อนกระบวนการอัดโดยการแช่เบื้องต้นด้วยสารละลายกรดซิดริกและอัดด้วยอุณหภูมิเดียวกันคือ 140 องศาเซลเซียส พบว่า การแช่เบื้องต้นด้วยกรดซิดริกก่อนกระบวนการอัดร้อนมีผลต่อการลดลงของค่าการพองตัวทางด้านความหนา ค่าการดูดซึมน้ำค่าและค่าการพองตัวโดยปริมาตรภายหลังการแช่น้ำเป็นเวลา 2 และ 24 ชั่วโมงของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นทั้งสามส่วน (ภาพที่ 8 ภาพที่ 9 และตารางที่ 4)

เมื่อพิจารณาค่าการพองตัวทางด้านความหนา ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าการพองตัวโดยปริมาตรของไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นเพื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่เบื้องต้นด้วยสารละลายกรดซิดริกและอุณหภูมิในการอัดสูง พบว่าไม้ปาล์มน้ำมันซึ่งผ่านการอัดด้วยอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

มีค่าใกล้เคียงกับการแช่เบื้องต้นด้วยกรดซิตริกร้อยละ 5 ในทุกช่วงความหนาแน่น และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก (ตารางที่ 4)



ภาพที่ 8 ค่าการพองตัวทางด้านความหนาของไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นทั้ง 3 ส่วน ซึ่งใช้อุณหภูมิในการอัดสูง 200 องศาเซลเซียส และการแช่เบื้องต้นด้วยสารละลายกรดซิตริก (0 % (น้ำกลั่น) 5% 15% 25% และ 35%) ก่อนการอัดเพิ่มความหนาแน่นด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 9 ค่าการดูดซึมน้ำของไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นทั้ง 3 ส่วน ซึ่งใช้อุณหภูมิในการอัดสูง 200 องศาเซลเซียส และการแช่เบื้องต้นด้วยสารละลายกรดซิตริก (0 % (น้ำกลั่น), 5% 15% 25% และ 35%) ก่อนการอัดเพิ่มความหนาแน่นด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4 ค่าการพองตัวทางด้านความหนา ค่าการดูดซึมน้ำและค่าการพองตัวโดยปริมาตรของไม้ปาล์มน้ำมันอัด
เพิ่มความหนาแน่นทั้ง 3 ส่วน ซึ่งใช้อุณหภูมิในการอัดสูง 200 องศาเซลเซียส และวิธีการแช่เบื้องต้นด้วย
สารละลายกรดซิตริกก่อนการอัดเพิ่มความหนาแน่นด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

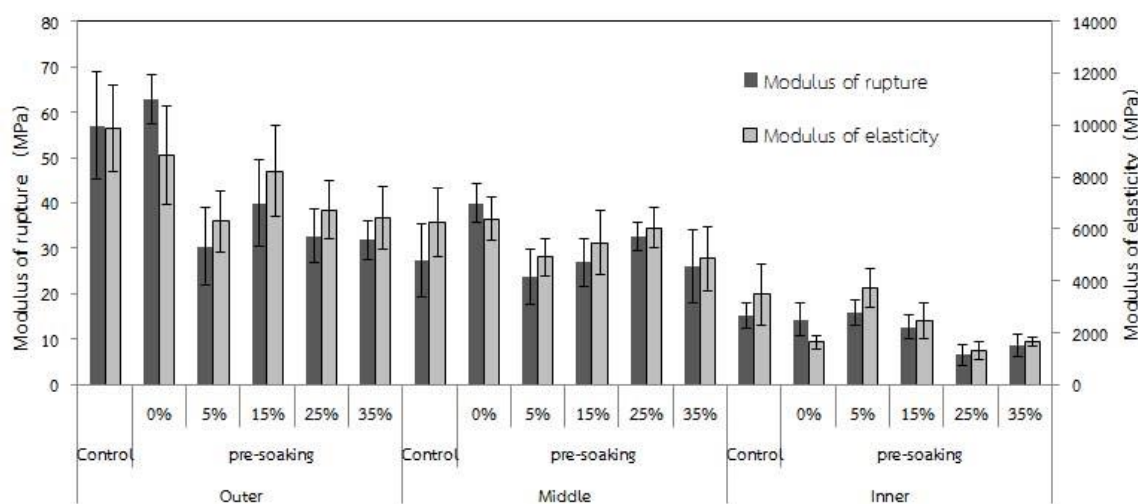
ส่วนเนื้อไม้	สภาวะในการทดลอง	ค่าการดูดซึมน้ำ(%)		ค่าการพองตัว ทางด้านความหนา (%)		ค่าการพองตัวโดย ปริมาตร (%)		
		2 ชม.	24 ชม.	2 ชม.	24 ชม.	2 ชม.	24 ชม.	
ส่วนนอก	ไม้แช่เบื้องต้นและอัดด้วยอุณหภูมิสูง 200 °C		31.28 (4.23)	113.48 (14.47)	9.99 (2.61)	28.06 (6.79)	11.85 (2.60)	35.32 (7.38)
	แช่เบื้องต้นด้วยกรดซิตริกความ เข้มข้นต่างๆและอัดด้วยอุณหภูมิ 140 °C	0% (น้ำกลั่น)	50.36 (11.02)	119.97 (18.32)	21.06 (4.23)	41.46 (5.30)	23.65 (4.62)	47.47 (6.00)
		5%	43.07 (12.57)	120.11 (15.13)	9.94 (3.56)	25.65 (3.00)	12.26 (4.67)	31.15 (3.16)
		15%	31.77 (9.41)	87.14 (15.35)	8.02 (2.18)	20.68 (6.10)	9.57 (2.40)	25.80 (5.91)
		25%	31.54 (8.50)	78.55 (17.97)	5.75 (1.96)	12.83 (3.43)	7.84 (2.26)	16.08 (4.20)
		35%	22.55 (3.69)	69.48 (12.84)	5.25 (3.69)	16.33 (7.86)	6.57 (4.09)	20.58 (10.53)
ส่วนกลาง	ไม้แช่เบื้องต้นและอัดด้วยอุณหภูมิสูง 200 °C		40.98 (14.49)	130.27 (25.36)	9.66 (3.67)	20.47 (4.40)	12.22 (4.35)	26.55 (5.43)
	แช่เบื้องต้นด้วยกรดซิตริกความ เข้มข้นต่างๆและอัดด้วยอุณหภูมิ 140 °C	0% (น้ำกลั่น)	84.20 (25.18)	155.20 (21.66)	25.76 (6.90)	40.68 (6.57)	29.51 (8.36)	46.87 (7.64)
		5%	62.49 (10.45)	140.84 (16.04)	10.54 (2.74)	24.69 (6.42)	13.16 (3.28)	29.78 (7.87)
		15%	54.64 (7.83)	98.28 (10.43)	5.20 (1.28)	7.87 (1.64)	6.67 (1.60)	9.91 (2.04)
		25%	37.16 (9.33)	86.21 (17.25)	4.88 (2.64)	10.58 (4.55)	6.50 (3.36)	13.08 (5.26)
		35%	31.51 (5.76)	71.73 (8.90)	3.01 (0.84)	6.16 (1.37)	4.01 (1.37)	7.80 (1.83)
ส่วนใน	ไม้แช่เบื้องต้นและอัดด้วยอุณหภูมิสูง 200 °C		69.30 (12.97)	178.85 (34.90)	9.78 (3.32)	18.97 (6.68)	11.63 (4.09)	23.06 (7.46)
	แช่เบื้องต้นด้วยกรดซิตริกความ เข้มข้นต่างๆและอัดด้วยอุณหภูมิ 140 °C	0% (น้ำกลั่น)	227.03 (14.78)	340.56 (29.65)	54.32 (5.66)	66.15 (4.73)	59.05 (5.85)	71.88 (4.79)
		5%	69.03 (15.42)	162.64 (24.84)	12.97 (2.58)	24.94 (3.41)	14.84 (2.64)	28.99 (3.89)
		15%	59.46 (5.69)	116.45 (17.30)	4.64 (2.01)	7.50 (4.61)	5.48 (2.43)	8.63 (5.08)
		25%	54.04 (4.99)	106.93 (10.12)	3.48 (0.94)	5.50 (1.55)	3.47 (0.94)	5.83 (1.78)
		35%	45.53 (6.38)	98.11 (16.07)	2.83 (0.66)	5.01 (2.02)	3.72 (0.83)	5.95 (2.24)

การพองตัวของแผ่นไม้ผ่านการอัดมักเกิดจากสองสาเหตุหลักคือ 1) การปลดปล่อยความเค้นค้ำภายในแผ่นบอร์ดซึ่งเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอัด โดยสัดส่วนในการอัดเป็นปัจจัยหนึ่งต่อความเค้นค้ำภายในแผ่นบอร์ด และ 2) ความสามารถในการดูดซับความชื้นหรือน้ำของเนื้อไม้ จนก่อให้เกิดการพองตัวของเนื้อไม้ ซึ่งความสามารถในการดูดซับน้ำของเนื้อไม้สูญเสียหรือลดลงเมื่อได้รับความร้อนสูงหรือสูญเสียหมู่ไฮดรอกซิลขององค์ประกอบเคมีภายในเนื้อไม้ (Anshari et al., 2011; Bekhta et al., 2015) โดยทั่วไปไม้ปาล์มน้ำมันมีความสามารถดูดซับความชื้นได้ดี เนื่องจากโครงสร้างของเนื้อไม้ไม่มีความเป็นรูพรุน บวกกับองค์ประกอบเคมีที่มีปริมาณเม็ดแป้ง (starch granule) สูง โดยเฉพาะเนื้อไม้ส่วนกลางและปลายของลำต้น (Hashim et al., 2011) ด้วยเหตุนี้เนื้อไม้ส่วนใจกลางลำต้น จึงมีการดูดซับน้ำสูงกว่าส่วนกลาง และนอก ตามลำดับ นอกจากนี้ผนังเซลล์ของเนื้อไม้ยังประกอบด้วยพอลิเมอร์ซึ่งโมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl groups) โดยเฉพาะเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส มีสัดส่วนของไฮดรอกซิลอิสระสูงกว่าเซลลูโลส เนื่องจากโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสมีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ ส่วนเซลลูโลสพบหมู่ไฮดรอกซิลอิสระในส่วนโครงสร้างซึ่งมีการเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ และบริเวณผิวของโครงสร้างส่วนเปลือก หมู่ไฮดรอกซิลสามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำหรือความชื้นได้ดีด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) (Cousins, 1978) ดังนั้นการแช่ไม้ปาล์มน้ำมันเบื้องต้นด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกก่อนกระบวนการอัดเพิ่มความหนาแน่นส่งผลให้หมู่ไฮดรอกซิลบางส่วนขององค์ประกอบเคมีภายในเนื้อไม้เกิดการจับตัวกับหมู่คาร์บอกซิลของกรดซัลฟิวริกด้วยพันธะเอสเทอร์ (Widsten et al., 2014) จึงช่วยปรับปรุงความคงขนาดของเนื้อไม้เมื่อใช้งานในสภาวะที่มีความชื้นสูง นอกจากนี้กรดและความร้อนยังส่งเสริมการแตกตัวขององค์ประกอบเคมีภายในเนื้อ โดยเฉพาะเฮมิเซลลูโลส ซึ่งมีสมบัติดูดซับน้ำหรือความชื้นได้ดี (Sannigrahi et al., 2008) ดังนั้นการแช่เบื้องต้นด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกจึงมีส่วนช่วยปรับปรุงความคงขนาดของไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นซึ่งอัดภายใต้อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

แผ่นบอร์ดซึ่งมีค่าการดูดซับน้ำสูง มีส่วนช่วยส่งเสริมให้เกิดการพองตัวทางด้านความหนาสูงตามไปด้วย แต่ผลการทดลองในครั้งนี้พบว่าแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นผลิตจากไม้ปาล์มน้ำมันส่วนใจกลางลำต้นมีค่าการดูดซับน้ำสูงกว่าส่วนอื่นๆ แต่กลับมีค่าการพองตัวทางด้านความหนาน้อยกว่าส่วนใจกลางและส่วนนอกของลำต้น ดังภาพที่ 8 และ 9 เนื่องจากเนื้อไม้ในใจกลางของลำต้นปาล์มน้ำมัน มีสัดส่วนของกลุ่มเซลล์พาเรงคิมา ซึ่งเป็นเซลล์ผนังบาง เซลล์เกิดการคงรูปได้ดีเมื่อผ่านการอัดด้วยความร้อน ในขณะที่เนื้อไม้ปาล์มน้ำมันส่วนนอกประกอบด้วยกลุ่มเซลล์วาสคูลาร์แบนเดอน เซลล์มีผนังเซลล์หนากว่าพาเรงคิมา ซึ่งเซลล์ผนังหนามีโอกาสการเกิดความเค้นระหว่างกระบวนการอัดได้มากกว่าผนังเซลล์บาง (Laine et al., 2016) ด้วยสาเหตุนี้ส่งผลให้แผ่นไม้อัดเพิ่มความหนาแน่นผลิตจากส่วนนอกของลำต้นมีค่าการพองตัวทางด้านความหนาสูง ถึงแม้มีการดูดซับน้ำต่ำกว่าส่วนใจกลางของลำต้น

5.4 สมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลของไม้เป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการนำไม้ไปใช้ประโยชน์ จากการทดลองพบว่าการอัดไม้ปาล์มน้ำมันด้วยกระบวนการอัดร้อน มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่ามอดูลัสแตกหักและมอดูลัสยืดหยุ่นของไม้ปาล์มน้ำมันในทุกช่วงความหนาแน่น แต่อย่างไรก็ตามการแช่เบื้องต้นด้วยกรดซिटริกมีผลให้สมบัติเชิงกลของไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ ซึ่งอัดภายใต้อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และอัดด้วยอุณหภูมิสูง 200 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 10 และตารางที่ 5)



ภาพที่ 10 สมบัติเชิงกลของไม้ปาล์มน้ำมันอัดด้วยกระบวนการอัดร้อน 200 องศาเซลเซียส (Control) และไม้ปาล์มน้ำมันอัดผ่านการแช่เบื้องต้น (pre-soaking) ด้วยสารละลายกรดซिटริกที่ระดับความเข้มข้น 0 % (น้ำกลั่น) , 5% 15% 25% และ 35% โดยใช้อุณหภูมิในการอัด 140 องศาเซลเซียส

กลุ่มเซลล์วาสคูลาบันเดอนซึ่งทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่ลำต้นปาล์มน้ำมันมีปริมาณความหนาแน่นบริเวณใกล้เปลือก ส่งผลให้เนื้อไม้ส่วนนี้มีความหนาแน่นสูง ซึ่งส่งผลให้เนื้อไม้ส่วนนอกมีความแข็งแรงมากกว่าส่วนกลางและในลำต้น ตามลำดับ (Choowang, 2015) อย่างไรก็ตามการแช่ไม้ปาล์มน้ำมันเบื้องต้นด้วยกรดซिटริกก่อนกระบวนการอัดเพิ่มความหนาแน่นมีผลให้สมบัติเชิงกลของเนื้อไม้ลดลง โดยเฉพาะเนื้อไม้ส่วนใน ค่ามอดูลัสแตกหักของแผ่นไม้อัดเพิ่มความหนาแน่นด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส (ผ่านการแช่ด้วยกรดซिटริก 0%) มีค่ามอดูลัสแตกหักเท่ากับ 14.32 MPa และลดลงเป็น 6.61 MPa เมื่อแช่เบื้องต้นด้วยกรดซिटริกความเข้มข้น 35% (ตารางที่ 5)

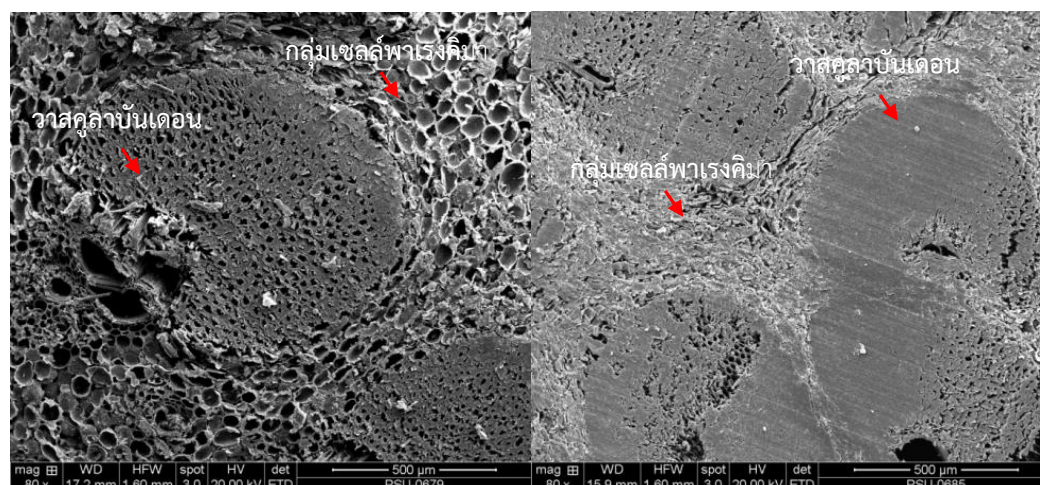
ตารางที่ 5 สมบัติเชิงกลของไม้ปาล์มน้ำมัน ไม้ปาล์มน้ำมันผ่านการแช่เบี่ยงต้นด้วยกรดซิตริกและอัดด้วยกระบวนการอัดร้อน

ส่วนเนื้อไม้	สภาวะในการทดลอง		สมบัติเชิงกลไม้ปาล์มน้ำมัน		สมบัติเชิงกลไม้ปาล์มน้ำมันผ่านการอัด	
			มอดูลัสแตกหัก (MPa)	มอดูลัสยืดหยุ่น (MPa)	มอดูลัสแตกหัก (MPa)	มอดูลัสยืดหยุ่น (MPa)
ส่วนนอก	ไม่แช่เบี่ยงต้นและอัดด้วยอุณหภูมิสูง 200 °C		23.78 (8.70)	2957.55 (1019.04)	57.05 (11.88)	9866.14 (1681.57)
	แช่เบี่ยงต้นด้วยกรดซิตริกความเข้มข้นต่างๆและอัดด้วยอุณหภูมิ 140 °C	0 % (น้ำกลั่น)	23.78 (8.70)	2957.55 (1019.04)	62.76 (5.44)	8829.9 (1889.64)
		5%	25.70 (8.13)	2569.69 (990.48)	30.41 (8.46)	6286.11 (1198.3)
		15%	32.41 (6.97)	3176.20 (645.02)	39.96 (9.58)	8219.42 (1737.06)
		25%	17.25 (4.40)	1898.02 (447.09)	32.74 (5.90)	6717.49 (1117.40)
		35%	21.70 (7.07)	2264.52 (647.85)	31.91 (4.26)	6423.11 (1198.05)
ส่วนกลาง	ไม่แช่เบี่ยงต้นและอัดด้วยอุณหภูมิสูง 200 °C		12.86 (2.09)	1614.22 (257.70)	27.49 (8.00)	6249.70 (1316.82)
	แช่เบี่ยงต้นด้วยกรดซิตริกความเข้มข้นต่างๆและอัดด้วยอุณหภูมิ 140 °C	0 % (น้ำกลั่น)	12.86 (2.09)	1614.22 (257.70)	39.94 (4.32)	6390.84 (839.68)
		5%	9.69 (2.76)	1032.43 (215.44)	23.78 (6.09)	4909.84 (730.66)
		15%	11.35 (2.88)	1258.41 (255.87)	26.96 (5.31)	5464.53 (1241.03)
		25%	12.72 (3.61)	1426.82 (360.73)	32.59 (3.20)	6042.78 (786.21)
		35%	10.10 (3.76)	1377.69 (439.51)	26.02 (7.94)	4853.60 (1220.67)
ส่วนใน	ไม่แช่เบี่ยงต้นและอัดด้วยอุณหภูมิสูง 200 °C		6.34 (1.96)	572.51 (220.66)	15.16 (2.87)	3483.15 (1166.15)
	แช่เบี่ยงต้นด้วยกรดซิตริกความเข้มข้นต่างๆและอัดด้วยอุณหภูมิ 140 °C	0 % (น้ำกลั่น)	6.34 (1.96)	572.51 (220.66)	14.32 (3.61)	1658.05 (256.66)
		5%	6.57 (1.35)	612.25 (130.26)	15.98 (2.75)	3708.15 (740.91)
		15%	5.38 (1.30)	574.54 (214.62)	12.77 (2.77)	2449.3 (690.94)
		25%	5.44 (0.78)	490.89 (120.40)	6.61 (2.22)	1314.21 (368.65)
		35%	4.92 (2.61)	551.04 (307.75)	8.75 (2.45)	1647.2 (165.19)

การแช่เบื้องต้นด้วยกรดซिटริกมีผลให้สมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นลดลงเนื่องจากสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต เช่น เฮมิเซลลูโลส และ เซลลูโลส ภายในผนังเซลล์เกิดการแตกตัวเมื่อแช่ในสารละลายกรด (Sannigrahi et al., 2008) จากการศึกษาของ Zhou และคณะ (2014) พบว่าสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตเกิดการแตกตัวเมื่อแช่ในสารละลายกรดเจือจางโดยเฉพาะเฮมิเซลลูโลสในชั้นเอสสอง (S2) ของผนังเซลล์ และไมโครไฟบริลของผนังเซลล์ถูกทำลาย บวกกับความชื้นระหว่างกระบวนการอัดร้อนมีอิทธิพลส่งเสริมแรงให้องค์ประกอบเคมีของเนื้อเกิดการแตกตัวมากยิ่งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไม้ปาล์มน้ำมันอัดซึ่งไม่ผ่านการแช่เบื้องต้นด้วยกรดซिटริก และการอัดภายใต้อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

5.5 โครงสร้างทางกายวิภาคของไม้ปาล์มน้ำมัน

โครงสร้างของไม้ปาล์มน้ำมันเมื่อมองทางด้านหน้าตัดประกอบด้วยกลุ่มเซลล์วาสคูลาบันเดอนและล้อมรอบด้วยกลุ่มเซลล์พาเรงคิมา เมื่อผ่านกระบวนการอัดร้อนเซลล์ของเนื้อไม้เกิดการยุบตัวและพัวพันกับโดยเฉพาะกลุ่มเซลล์พาเรงคิมาซึ่งผนังเซลล์บาง (Erwinsyah, 2008) ส่งผลให้กลุ่มเซลล์วาสคูลาบันเดอนซึ่งมีความแข็งแรง มีปริมาณต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 11) อาจเกิดการแตกของเซลล์ในกรณีไม้แห้งหรือมีความชื้นก่อนกระบวนการอัดน้อยเกินไป ซึ่งความเสียหายของเนื้อไม้ระหว่างกระบวนการอัดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความชื้นของเนื้อไม้ ความเร็วในการอัด อุณหภูมิและระยะเวลาในการอัด เป็นต้น (Laine et al., 2014)



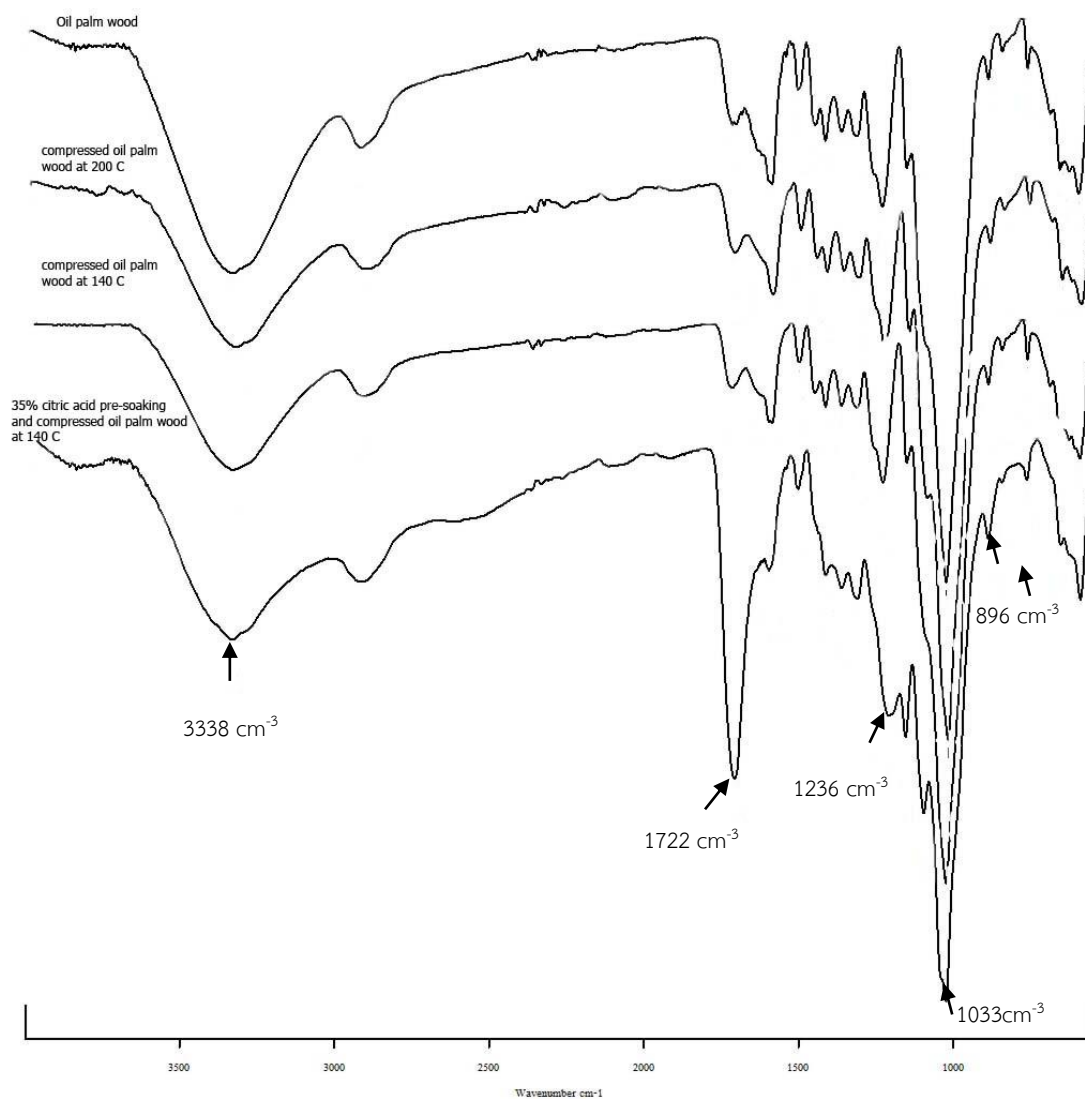
ภาพที่ 11 ภาพด้านหน้าตัดของไม้ปาล์มน้ำมัน และไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นผ่านการ

แช่เบื้องต้นด้วยสารละลายกรดซिटริกความเข้มข้น 15 % อัดภายใต้ความร้อน 140 องศาเซลเซียส

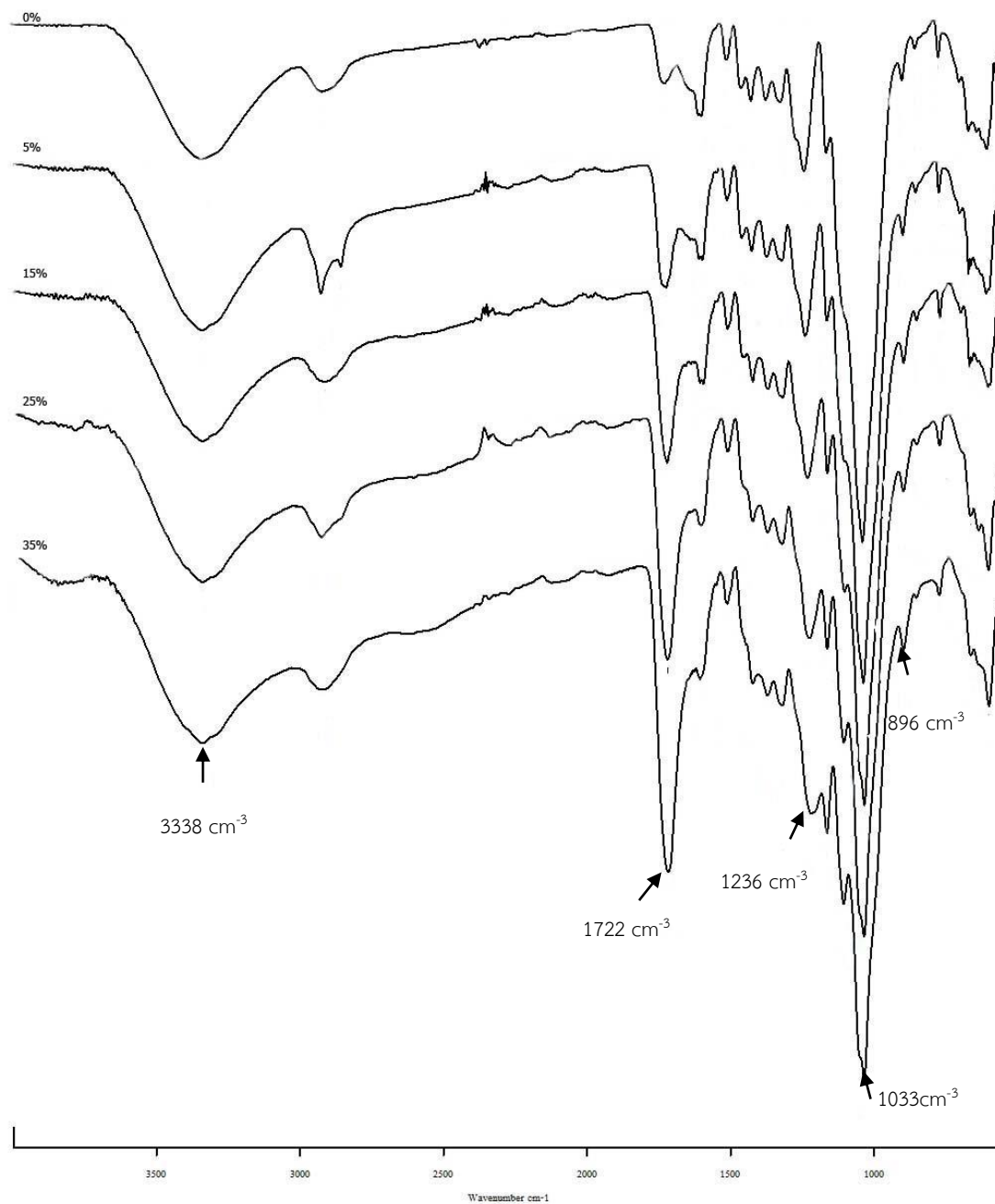
5.6 สมบัติเชิงเคมีของไม้

ผลจากการศึกษาสมบัติเชิงเคมีของไม้ปาล์มน้ำมัน ไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นด้วย อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส (Control) และไม้ปาล์มน้ำมันซึ่งผ่านการแช่เบื้องต้น (pre-soaking) ด้วย สารละลายกรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้น 0 % (น้ำกลั่น) 5% 15% 25% และ 35% โดยใช้อุณหภูมิ ในการอัด 140 องศาเซลเซียส

ลักษณะอินฟราเรดสเปกตรัมของไม้ปาล์มน้ำมัน ไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นด้วย อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และ 140 องศาเซลเซียส (0%) มีลักษณะคล้ายคลึงกัน พบการดูดกลืน เลขคลื่นในช่วง 3344 ถึง 3415 cm^{-3} และ 1635 ถึง 1645 cm^{-3} ของหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ พบมากในโครงสร้างเคมีของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส (Fahma et al., 2010) จากภาพที่ 12 แสดงให้ เห็นว่าหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวข้างต้นมีปริมาณลดลงเมื่อผ่านการอัดร้อน และแช่เบื้องต้นด้วยสารละลาย กรดซิตริก ส่วนการดูดกลืนเลขคลื่นในช่วง 1737 ถึง 1701 cm^{-3} เป็นอินฟราเรดสเปกตรัมของ หมู่คาร์บอนิล ซึ่งพบในสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต ไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นซึ่งผ่านการแช่เบื้องต้น ด้วยสารละลายกรดซิตริกมีการดูดกลืนเลขคลื่น 1722 cm^{-3} มากขึ้น เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลสามารถ เกิดปฏิกิริยาแบบเอสเตอริ์กับหมู่คาร์บอนิลิกของโมเลกุลกรดซิตริก (Zuraida et a., 2012) และมีแนวโน้ม เพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก ซึ่งเห็นได้ชัดเจนจากลักษณะอินฟราเรด สเปกตรัมดังแสดงในภาพที่ 12 และ 13



ภาพที่ 12 อินฟราเรดสเปกตรัมของไม้ปาล์มน้ำมัน ไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นกระบวนการอัดร้อน 200 องศาเซลเซียส และ 140 องศาเซลเซียส ไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นผ่านการแช่เบื้องต้นด้วยสารละลายกรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้น 35% อุณหภูมิในการอัด 140 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 13 อินฟราเรดสเปกตรัมไม้ปาล์มน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่นผ่านการแช่เบื่องตันด้วยสารละลายกรดซิดริกที่ระดับความเข้มข้น 0 %,5% 15% 25% และ 35% การอัดด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

6. สรุปผลการทดลอง

ความหนาแน่นและสมบัติเชิงกลของไม้ปาเลมน้ำมันส่วนนอก ส่วนกลางและส่วนในเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการอัดเพิ่มความหนาแน่นด้วยกระบวนการอัดร้อนภายใต้อุณหภูมิ 140 และ 200 องศาเซลเซียส การแช่เบี่ยงต้นด้วยกรดซิตริกช่วยส่งเสริมความคงขนาดของไม้ปาเลมน้ำมันอัดด้วยอุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส แต่ส่งผลให้ค่ามอดูลัสแตกหักและมอดูลัสยืดหยุ่นลดลง โดยการแช่เบี่ยงต้นด้วยกรดซิตริก 15% มีความเหมาะสมต่อการปรับปรุงสมบัติของไม้ปาเลมน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่น และสามารถช่วยลดอุณหภูมิในการอัดจาก 200 องศาเซลเซียส เป็น 140 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาความคงขนาดและสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปาเลมน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่น

7. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป

7.1 การแช่เบี่ยงต้นด้วยสารละลายกรดซิตริกช่วยปรับปรุงความคงขนาดของไม้ปาเลมน้ำมันอัดเพิ่มความหนาแน่น แต่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลลดลง จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมปัจจัยซึ่งมีผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล เช่น การศึกษาระยะเวลาในการแช่เบี่ยงต้น เป็นต้น

7.2 การเสื่อมสภาพของเนื้อไม้เป็นปัญหาสำคัญต่อการใช้งานไม้และผลิตภัณฑ์ไม้ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนความต้านทานต่อการเข้าทำลายจากเชื้อราและปลวกของไม้ปาเลมน้ำมันอัดผ่านการแช่เบี่ยงต้นด้วยกรดซิตริก

8. เอกสารอ้างอิง

- รัตนา ชูหว่าง. 2553. กระบวนการเพิ่มความหนาแน่นไม้ปาเล็มน้ำมันด้วยแรงอัดและความร้อน. เลขที่อนุสิทธิบัตร 6027.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2556. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เอกสารสถิติการเกษตรเลขที่ 416. (ออนไลน์)
http://www.oae.go.th/download/download_journal/fundamation-2553.pdf (25 มีนาคม 2557)
- American Society for Testing and Materials. 2001. Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials. ASTM D 2395-93 (Reapproved 1997).
- American Society for Testing and Materials. 2001. Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement Wood and Wood-Based Materials. ASTM D 4442-92 (Reapproved 1997).
- American Society for Testing and Materials. 2001. Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. ASTM D 1037- 06a (Reapproved 1997).
- Anshari, B., Guan, Z.W., Kitamori, A., Jung, K., Hassel, I. and Komatsu, K. 2011. Mechanical and moisture-dependent swelling properties of compressed Japanese cedar. Construction and Building Material. 25, 1718-1725
- Bekhta, P., Proszkyk, S., Krystofiak, T. and Lis, B. 2015. Surface wettability of short-term thermo-mechanical densified wood veneer. Eur J. Wood Prod. 73, 415-417
- Balfas, J. 2006. New approach to oil palm wood utilization for woodworking properties part 1: Basic properties. Journal of Forest Research. 3(1), 55-65.
- Chin, K.L., H'ng, P.S., Wong, L.J., Tey, B.T., Paridah, M.T. 2010. Optimization study of ethanolic fermentation from oil palm trunk, rubberwood and mixed hardwood hydrolysates using *Saccharomyces cerevisian*. Bioresources Technology. 101, 3287-3291.

- Choowang, R. 2014. Effects of hot pressing on resistance of compressed oil palm wood to subterranean termite (*Coptotermes gestroi* Wasmann) Attack. *Bioresource*. 9(1), 656-661
- Choowang, R., Sanpruksin, A. and Fikhao, P. 2014. Effect of moisture content and microwave pre-heating on the thickness swelling of hot pressed oil palm wood. *Proceedings of the 3rd International Conference on Processing Technologies for the Forest and Bio-based Products Industries (PTF BPI 2014)* Kuchl/Salzburg, Austria, September 24-26, 2014.
- Choowang, R. and Hiziroglu, S. 2015. Properties of thermally compressed oil palm wood (*Elaeis guineensis* Jacq.) using hot press process. *Journal of Tropical Forest Science*. (In press)
- Cousins, W.J. 1978. Young's modulus of hemicellulose as related to moisture content. *Wood Science and Technology*. 12, 161-167
- Erwinsyah, V. 2008. Improvement of oil palm wood properties using bioresin. Ph.D. thesis, Institut für Forstntzung und Forsttechnik Fakultät für Foest-,Geo- und Hydrowissenschaften, Technische Universität Dresden
- Fahma, F., Iwamoto, S., Hori, N., Iwata, T. and Takemura, A. 2010. Isolation, preparation, and characterization of nanofiber from oil palm empty fruit bunch (OPEFB). *Cellulose*. 17,977-985
- Hansmann, C., Gindl, W., Wimmer, R. and Teischinger, A. 2002. Permeability – A review. *Wood Research*. 47(4), 1-16
- Hashim, R., Said, N., Lamaming, J., Baskaran, M., Sulaiman, O., Sato, M., Hiziroglu, S., and Sugimoto, T. 2011. Influence of press temperature on the properties of binderless particleboard made from oil palm trunk. *Material Design*. 32(5), 2520-2525.
- Kaida, R., Kaku, T., Baba, K., Oyadomari, M., Watanabe, T., Hartati, S., Sudarmonowati, E. and Hyashi, T. 2009. Enzymatic saccharification and ethanol production of *Acacia mangium* and *Paraserianthes falcataria* wood and *Elaeis guineensis* trunk. *Journal of Wood Science*. 55, 381-386.

- Kamke, F. A., Blacksburg, V. A., Sizemore, H. and Christiansburg, V. A. 2008. Viscoelastic thermal compression of wood. Patent NO.2 US 7,404,422 B2
- Kutnar, A., Kamke, F.A. and Sernele, M. 2008. The mechanical properties of desified VTC wood relevant for structural composites. *Holz Roh Werhst.* 66, 439-446
- Laine, K., Rautkari, L., Hughes, M. and Kutnar, A. 2013. Reducing the set-recovery of surface desified solid Scots pine wood by hydrothermal- post-treatment, *Eur. J. Wood Prod.* 71, 17-23
- Laine, K., egerholm, K., Walinder, M., Rauthari, L., Ormondroyd, G., Hughes, M. and Joner, D. 2014. Micromorphological studies of surface densified wood. *J Mater Sci.* 49, 2027-2034
- Mayes, D. and Pynnonen, J. 2014. A process for the treatment of wood comprising impregnating with citric acid followed by curing at high temperature. Patent number: WO 2012153183 A1, EP 2707184 A1.
- Mclltosh, T. I. 2006. Compression wood product and manufacturing. Patent No. US 7,131,471 B2
- Neddy, N. and Yang, Y. 2009. Citric acid cross-linking of starch films. *Food Chmistry.* 178(3), 702-711.
- Rautkari, L., Laine, K., Kutnar, A., Medved, S. and Hughes, M. 2013. Hardness and density profile of surface densified and thermally modified Scots pine in relation to degree of densification. *J Mater Sci.* 48, 2370-2375.
- Salim, N., Hashi, .R., Sulaiman, N.A., Ibrahi, M., Akil, H.M., Sato, M., Sugimoto, T. and Hiziroglu, S. 2013. Effect of steaming on some properties of compressed oil palm trunk lumber. *Bioresources.* 8(2), 2310-2324.
- Salim, N., Hashim, R, Sulaiman, O., Ibrahim, M., Sato, M. and Hiziroglu, S. 2012. Optimum manufacturing parameters for compressed lumber from oil palm(*Elaeisguineensis*) trunks: Respond surface approach. *Composites: Part B.* 43, 988–996.

- Sannigrahi, P., Ragauskas, A.J. and Miller, S.J. 2008. Effects of two-stage dilute acid pretreatment on the structure and composition of lignin and cellulose in Loblolly Pine. *Bioenerg. Res.* 1: 205-214
- Sefć, B., Trajković, J., Sinković, T., Hasan, M. and Ištok, I. (2009). Dimensional stability of wood modified by citric catalyts. *Drna Industrija* 60 (1), 23-26.
- Verman, M., Saka, A.A. 2011. comparative study of oil palm and Japanese beech on their fractionation and characterization as treated by supercritical water. *Waste Biomass Valor.* 2, 309-315.
- Yuliansyah, A.T., Hirajima, T., kumagai, S., Sasaki, K. 2010. Production of solid biofuel from agricultural wastes of the palm oil industry by hydrothermal treatment. *Waste Biomass Valor.* 1, 395-405.
- Zhan, J.F. and Avramidis, S. 2016. Needle fir wood modified by surface densification and thermal post-treatment: hygroscopicity and swelling behavior. *Eur. J. Wood Prod.* 74, 49-56
- Zuraida, A., Yusliza, Y., Anuar, H. and Mohd Khairul Muhaimin, R. 2012. The effect of water and citric acid on sago starch bio-plastics. *International Food Research Journal.* 19(2), 715-719