



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การปรับปรุงคุณสมบัติไม้ยางพาราโดยการอัดกาวยูเรีย
ฟอร์มาลดีไฮด์และการอัดแรงเพื่อทำวัสดุก่อสร้าง

โดย ผศ. ดร.วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรวัฒน์

มีนาคม 2560

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การปรับปรุงคุณสมบัติไม้ยางพาราโดยการอัดกาวยูเรีย
ฟอร์มาลดีไฮด์และการอัดแรงเพื่อทำวัสดุก่อสร้าง

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร.วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรววัฒน์

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
คำนำ	6
วัตถุประสงค์	6
ตรวจเอกสาร	
ลักษณะโครงสร้างทางกายวิภาคของไม้ยางพารา	7
การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเนื้อไม้	8
การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของไม้โดยการอัดกาวเข้าไปในเนื้อไม้และการใช้แรงอัด	8
ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของไม้โดยการอัดกาวและการใช้แรงอัด	11
ความต้านทานการสลายตัวตามธรรมชาติของไม้อัดกาว	13
อุปกรณ์	14
วิธีการ	15
ผลและวิจารณ์	38
สรุป	54
ข้อเสนอแนะ	88
อ้างอิง	89
ภาคผนวก	94

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันไม้ยางพาราถือเป็นไม้เศรษฐกิจชนิดหนึ่งของไทย เนื่องจากการตัดโค่นและออกสู่ตลาดปีละประมาณ 300,000 ไร่ และมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเป็น 4-500,000 ไร่ ต่อปี โดยไม้ยางพาราพึ่งพาการส่งออกประมาณ 80% มีตลาดใหญ่ที่ประเทศจีน ซึ่งในขณะนี้มีความนิยมในการลดการนำเข้าไม้ ทำให้เหลือไม้ยางพาราเป็นจำนวนมาก ส่งผลกระทบให้ราคาไม้ยางพาราในตลาดลดลงอย่างมาก อีกทั้ง ไม้ยางพาราที่เป็นไม้เนื้ออ่อน มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงทำให้เกิดเชื้อราและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย มีความแข็งแรงทนทานต่ำ ไม้ยางพาราจึงนิยมให้อยู่ในอุตสาหกรรมการทำเฟอร์นิเจอร์เท่านั้น ในขณะที่ปัจจุบันการใช้ไม้เนื้อแข็งในการก่อสร้าง เช่นการใช้ไม้ยางนา ไม้กะบาก ไม้เต็ง ไม้แดง ไม้มะค่า ฯลฯ เป็นการใช้ไม้ในเขตหวงห้ามและไม้ในเขตป่าเขา นับวันจะยิ่งเข้าขั้นวิกฤต การผลิตไม้ยางพาราเพื่อทดแทนไม้เนื้อแข็งดังกล่าว จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการหาทางออกของปัญหาทั้งสองด้านดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของไม้ยางพาราเพื่อนำมาทำผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้าง และสร้างมูลค่าเพิ่ม

ในการทำวิจัยนี้ ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพไม้ยางพารา โดยการ นำไม้ยางพาราสถานะสด และไม้ยางพาราสถานะแห้ง แห้งสารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 0, 2, 5 และ 10% อัดกาว Urea Formaldehyde (UF) ชนิด E0 เข้าไปในเนื้อไม้ด้วยวิธีการอัดแบบเต็มเซลล์ (full cell process) ที่ระดับความเข้มข้น 35, 40 , และ 45% และทำการอบร้อน (oven drying) ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 3 ชม.หรือทำการอัดร้อน (hot pressing) ที่อุณหภูมิ 180°C และ 200°C เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้กาวแข็งตัว จากนั้นนำชิ้นไม้ตัวอย่างที่ได้ไปทำการทดสอบค่าคุณสมบัติทางกลคุณสมบัติทางฟิสิกส์ และการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ตามมาตรฐาน

จากผลการทดลอง เมื่อทำการประเมินผลกระทบของปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพไม้ยางพารา ทั้งสถานะไม้ที่ใช้ ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ความเข้มข้นของกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้อัด ตลอดจนระดับความร้อนที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน พบว่า ไม้ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ จะให้ค่าความหนาแน่นและค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สถานะในการทดลองที่ให้ค่าเชิงกลและทางฟิสิกส์โดยรวมของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพสูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและความคุ้มค่าในการปรับปรุงคุณภาพ คือ การปรับปรุงคุณภาพด้วยไม้ยางพาราสถานะสดผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟมีความเข้มข้น 2% ไม่ผ่านการอัดกาว และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 5 นาที โดยมีค่ากลสมบัติ ดังนี้ ให้ค่าโมดูลัสแตกหักที่สูงสุดเท่ากับ 109.5 MPa ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 9050 MPa ค่าแรงอัดขนานเส้นใย 43.36 MPa ค่า

แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน 13.54 MPa ค่าแรงเฉือน 16.58 MPa ค่าความแข็ง 6868 N และค่าแรงฉีก 4.85 N แต่พบว่ามีการพองตัวทางความหนาที่สูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุง เนื่องจากไม้ที่ผ่านการอัดร้อนจะอยู่ในแรงกด และมีการคืนตัวทางความหนา (spring back) เมื่อสัมผัสกับความชื้น และจากการทดสอบปริมาณการปลดปล่อยสารฟอร์มาลดีไฮด์ตามมาตรฐาน JIS A 1460 (2003) และ EN 120 : 1992 ในไม้ที่ผ่านการอัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 45% ซึ่งเป็นสถานะที่มีปริมาณความเข้มข้นของกาวสูงที่สุด พบว่า ปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มาลดีไฮด์ไม่เกิน 0.3 mg/l ตามมาตรฐาน JIS และ ไม่เกิน 3 mg/100g ตามมาตรฐาน EN ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านมาตรฐาน super E0 ทั้งสองมาตรฐาน

Abstract

At present, rubberwood is economically important in Thailand. Harvesting of rubberwood plantation is about 300,000 rai per year and it will expand to 4-500,000 rai per year. Rubberwood almost export to China market about 80 %. At present, China market is tendency to reduce import, that causes surplus rubberwood in market. The price of rubberwood in market fell significantly. Rubberwood has a high carbohydrate, low durability and low strength so it can use only in the furniture industry. While the use of hard wood for construction such as Yang (*Dipterocarpus alatus*.), Kabak (*Anisoptera costata*), Teng (*Shorea obtuse*), Daeng (*Xylia xylocarpa*) and Maka (*Afzelia xylocarpa*) etc., that are woods in restricted and conserved area. The use of woods for construction nowadays will be even more critical. Rubberwood to replace hard wood for construction. It is an alternative to finding the solution to both of these problems. The objectives of this study are to improve the quality of Rubberwood for construction materials and value added.

In this study, the rubberwood was modified. The green Rubberwood and dry Rubberwood were selected. The samples will be soaking in the 0%, 2%, 5% and 10% of NaOH solution. After that the samples will be impregnated with Urea Formaldehyde (UF) as solid content 0%, 35%, 40% and 45% by using the full cell process and oven drying at 100°C for 3 hours and hot pressing at 180°C and 200°C for 5 mins. The physical and mechanical properties of improved Rubberwood were determined and formaldehyde emissions investigated follow standards.

The results showed that the improved Rubberwood has the density, specific gravity higher than the nature Rubberwood. Physical and mechanical properties of improved almost higher than nature Rubberwood with significantly in statistics. The improved Rubberwood with condition, that green Rubberwood was soaked in NaOH 2 %, not impregnated with Urea formaldehyde and was pressed with temperature 180 °C in 5 mins giving a good results for mechanical properties. There are modulus of rupture 109.5 MPa, modulus of elasticity 9050 MPa, compression parallel to grain 43.36 MPa, compression perpendicular to grain 13.54 MPa,

shear 16.58 MPa, hardness 6868 N and cleavage 4.85 N. But thickness swelling of improved Rubberwood is higher than nature Rubberwood cause of spring back of compressed Rubberwood. The result of formaldehyde emission according to the JIS A 1460 (2003) and EN 120 (1992) showed that the improve Rubberwood passed both standards and have super E0 type of formaldehyde emission.

โครงการ
การปรับปรุงคุณสมบัติไม้ยางพาราโดยการอัดกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์และการอัดแรงเพื่อทำวัสดุ
ก่อสร้าง

รายงานฉบับสมบูรณ์

ส่วนที่ 1 ข้อมูลโครงการ

รายละเอียดเกี่ยวกับแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย) การปรับปรุงคุณสมบัติไม้ยางพาราโดยการอัดกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์และการอัดแรงเพื่อทำวัสดุก่อสร้าง

(ภาษาอังกฤษ) Improving of Rubber Wood Properties by Urea formaldehyde Resin Impregnation and Compression for Structural Materials

ชื่อผู้วิจัย ผศ.ดร.วิวัฒน์ ชาญวงศ์จิรวัฒน์

หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

หมายเลขโทรศัพท์ 0-2579-0173 0-2942-8109 โทรสาร 0-2942-8371 e-mail hanvong9@gmail.com

ได้รับอนุมัติงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ 2559

งบประมาณที่ได้รับ1,718,560.....บาท ระยะเวลาทำการวิจัย.....1.....ปี

เริ่มทำการวิจัยเมื่อ (วัน/เดือน/ปี)15 กุมภาพันธ์ 2559.....ถึง (วัน/เดือน/ปี).....14 กุมภาพันธ์ 2560

ส่วนที่ 2 รายงานเนื้อหา

1. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย เพื่อปรับปรุงคุณภาพของไม้ยางพาราเพื่อนำมาทำผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้าง และสร้างมูลค่าเพิ่ม

คำนำ

ปัจจุบันไม้ยางพาราได้มีการตัดโค่นและออกสู่ตลาดปีหนึ่งประมาณ 300,000 ไร่ และจะมีการขยายตัวเป็น 4 - 500,000 ไร่ต่อปี และไม้ยางพาราพึ่งพาการส่งออกประมาณ 80 % ส่วนใหญ่ส่งออกไปที่สาธารณรัฐประชาชนจีน ปัจจุบันสาธารณรัฐประชาชนจีน มีการนำเข้าไม้ยางพาราลดลง ทำให้มีปริมาณไม้ยางพารามีปริมาณมากและทำให้ราคาวัตถุดิบที่เป็นไม้ยางพาราทดต่ำลงมาก นอกจากนี้ไม้ยางพาราเป็นไม้เนื้ออ่อนมีปริมาณ คาร์โบไฮเดรตสูงทำให้เกิดเชื้อราและแมลงทำลายได้เร็ว มีความแข็งแรงทนทานน้อย ไม้ยางพาราจึงมีขีดจำกัดในการผลิตเฟอร์นิเจอร์เท่านั้น ภาวการณ์ในปัจจุบันการใช้ไม้เนื้อแข็งในการก่อสร้างเช่นการใช้ ไม้ยางนา ไม้กะบาก ไม้เต็ง ไม้แดง ไม้มะค่า ฯ เป็นการใช้ไม้ในเขตหวงห้ามและเป็นไม้ในเขตป่าเขาซึ่งนับวันมีแต่น้อยลง การผลิตไม้ยางพาราเพื่อทดแทนไม้ดังกล่าวจึงเป็นหนทางออกทั้งการแก้ไขปริมาณไม้ยางพาราที่ออกสู่ตลาดมาก และเป็นการแก้ไขปริมาณไม้โครงสร้างเดิมที่เป็นไม้เนื้อแข็งที่ลดน้อยลง จึงเป็นหนทางที่แก้ไขปัญหาดังกล่าวทั้งสองด้านอย่างยั่งยืน

ดังนั้นการวิจัยในโครงการนี้ เป็นการปรับปรุงคุณภาพของไม้ยางพาราให้มีคุณสมบัติสูงขึ้น โดยการอัดกาว Urea Formaldehyde (UF) ชนิด E0 เข้าไปในเนื้อไม้และทำการอัดร้อน (hot pressing) ทำให้ไม้ยางพารามีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ไม้ยางพารามีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น มีความคงขนาด (stability) มากขึ้นเมื่อสัมผัสความชื้น และมีความทนทานต่อการทำลายของแมลงและเห็ดรา ทำให้วัสดุที่ได้สามารถทำผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย และสามารถทำวัสดุที่สามารถรับแรงได้ เช่น การทำไม้พื้น ไม้พื้นบันได วงกบประตู หน้าต่าง ไม้ฝา และโครงสร้าง ปัจจุบันไม้ยางพาราถูกจำกัดเฉพาะในการผลิตเฟอร์นิเจอร์และเครื่องเรือนเนื่องจากไม้ยางพาราจากธรรมชาติมีคุณภาพต่ำ

วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงคุณภาพของไม้ยางพาราเพื่อนำมาทำผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้าง และสร้างมูลค่าเพิ่ม

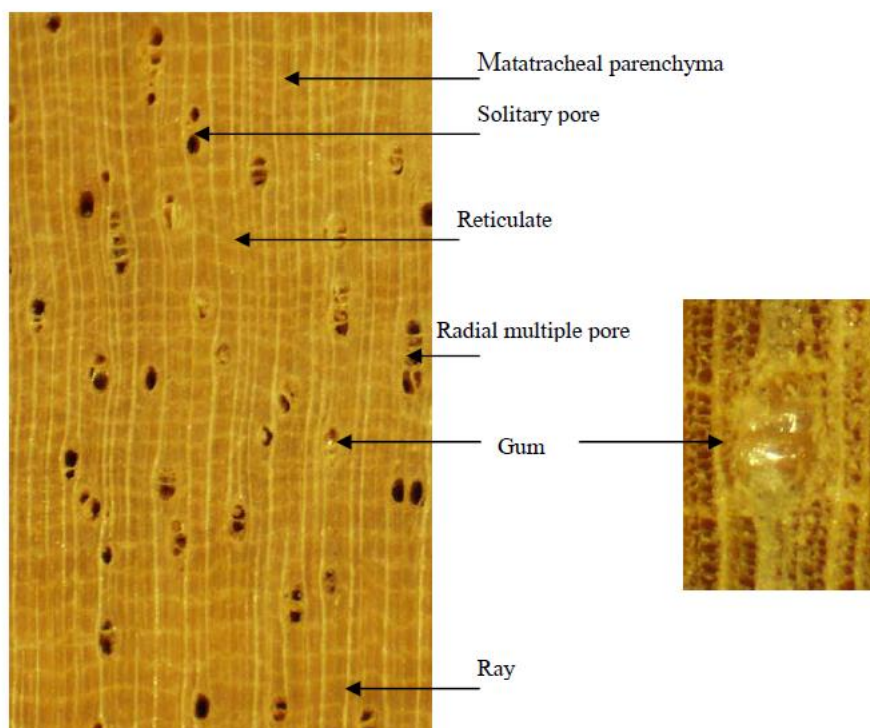
การตรวจเอกสาร

ลักษณะโครงสร้างทางกายวิภาคของไม้ยางพารา (Anatomical structure of rubber wood)

ไม้ยางพารามีชื่อวิทยาศาสตร์ ว่า *Hevea brasiliensis* (Willd. Ex A.Juss.) Müll. Arg. วงศ์ EUPHORBIACEAE มีชื่อการค้า Rubber wood หรือ Para wood มีลักษณะโครงสร้างของไม้ มีพอร์ (Pores) ส่วนใหญ่เป็นแบบ Solitary pore และ Radial multiple pore การกระจายของพอร์เป็น แบบ พอร์กระจาย (diffuse porous) ขนาดของพอร์ ขนาดเล็กถึงขนาดกลาง สิ่งที่อยู่ในพอร์ Tyrose และ Gum

พาเรงคิมา (Parenchyma) แบบ Matatracheal parenchyma

เรย์ (Ray) มองเห็นได้ชัดเจน ลักษณะการตัดกันของเส้นพาเรงคิมาและเส้นเรย์ แบบตาข่าย (reticulate) มองเห็นเป็นรูปสี่เหลี่ยมชัดเจน (บางรักษ์, 2549) ลักษณะโครงสร้างทางกายวิภาคของไม้ยางพาราอย่างหยาบ (macro structure) แสดงในภาพที่ 1 ลักษณะโครงสร้างทางกายวิภาคของไม้ยางพาราอย่างละเอียด (micro structure) แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ลักษณะโครงสร้างทางกายวิภาคของไม้ยางพาราอย่างหยาบ



ภาพที่ 2 ลักษณะโครงสร้างทางกายวิภาคของไม้ยางพาราอย่างละเอียด

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเนื้อไม้ (Modifying the Properties of Wood)

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเนื้อไม้ เป็นการปรับปรุงคุณภาพของเนื้อไม้เพื่อให้ไม้มีคุณสมบัติดีขึ้นในการนำมาใช้ประโยชน์ มีความคงทน (durability) มีความต้านทานต่อการทำลายของแมลงและเห็ดรา (decay resistance) มีความคงขนาดเมื่อนำไปใช้งาน (dimension stability) และลดการดูดและคายน้ำ (reduce water sorption) เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเนื้อไม้ มีหลายวิธี เช่น การใช้สารเคมี (chemical modification) การใช้ความร้อน (thermal modification) และการอัดสารเคมีเข้าไปในเนื้อไม้ (impregnation modification) (Hill, 2006)

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของไม้โดยการอัดกาวเข้าไปในเนื้อไม้และการใช้แรงอัด (Resin-Impregnated and Compressed Wood Properties Modification)

การอัดกาวเข้าไปในเนื้อไม้และการใช้แรง เริ่มต้นเมื่อ ปี ค.ศ. 1930 ที่ประเทศเยอรมัน โดยการนำเอาไม้บาง (veneer) มาอัดด้วยกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ (phenol formaldehyde resin) และนำมาอัดด้วยเครื่องอัดร้อน โดยใช้อุณหภูมิและแรงอัดที่เหมาะสม และนำมาทำการผลิตผลิตภัณฑ์เชิงการค้าในปี ค.ศ. 1936-37 เพื่อทำใบพัดเครื่องบินในสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยมีชื่อทางการค้า Lignofol หรือ Kunsharzschichtholz (Hill, 2006) และมีผลิตภัณฑ์อีก 2 ชนิดที่มีการพัฒนาที่ประเทศสหรัฐอเมริกา โดย Forest Products Laboratory in Madison ได้แก่ Compreg (Stamm and Seborg, 1941) และ Staypack (Seborg et al. 1962)

- Compreg เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการอัดกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์เข้าไปในเนื้อไม้หรือไม้บาง และทำการอัดร้อน (hot pressing) เพื่อให้กาวแข็งตัว มีความหนาแน่นและความหนาตามที่ต้องการ (Kamke, 2008)

- Impreg เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการอัดกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์เข้าไปในเนื้อไม้หรือไม้บาง แต่ไม่มีการอัดร้อน เพียงแต่ให้ความร้อนเพื่อให้กาวแข็งตัว (Stamm et al. 1941, Rowell. 1975, Kamke 2008)

- Staypack เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการอัดกาวหรือสารเคมีเข้าไปในเนื้อไม้ แต่ใช้เทคนิคการอัดร้อนให้ลิกนินซึ่งเป็นสารเคมีที่อยู่ในเนื้อไม้ให้หลอมละลายเป็นตัวเชื่อมเซลล์ทดแทนกาว (Seborg et al. 1962, Rowell, 1975)

ในการผลิต Compreg มี 2 ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่ ต้องทำการลดความชื้นของไม้ด้วยการอบไม้โดยไม่ทำให้กาวแข็งตัว และ ทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิที่ทำให้กาวแข็งตัว เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงขนาดสูงสุด (maximum dimension stability) ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้ ปริมาณกาว (resin content) ชนิดกาว (types of resin) อุณหภูมิที่กาวเริ่มแข็งตัว (degree of pre-cure of the resin) การกระจายตัวของกาวในเนื้อไม้ (distribution of the resin throughout the structure) ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) แรงอัด (pressure) และชนิดไม้ (wood species) (Kultikova, 1999)

Compreg มีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้น Compreg มีค่าความคงขนาดมากกว่า Staypack (Kultikova, 1999)

Compreg มีค่าคุณสมบัติทางกล (mechanical properties) ส่วนใหญ่ดีกว่า Staypack ยกเว้นค่าความแข็งแรงในการรับแรงกระแทก (impact strength) หรือ ความเหนียว (toughness) การเปรียบเทียบคุณสมบัติของ Compreg กับ Staypack แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของ Compreg และ Staypack (Rowell and Konkol, 1987)

Property	Compreg	Staypack
Specific gravity	Usually 1.00 to 1.40	1.25 to 1.40
Equilibrium swelling and shrinking	1/4 to 1/3 that of normal wood at right angle to direction of compression, greater in direction of compression but very slow to attain	Same as normal wood at right angles to compression, greater in direction of compression but very slow to attain
Springback	Very small when properly made	Moderate when properly made
Decay and termite resistance	Considerably better than normal wood	Normal but decay occurs somewhat more slowly
Compressive strength	Increased considerably more than proportional to specific gravity increase	Increased about in proportion to specific gravity increase parallel to grain, increase more perpendicular to grain
Tensile strength	Increased less than proportional to specific gravity increase	Increased about in proportion to specific gravity increase
Flexural strength	Increased less than proportional to specific gravity increase parallel to grain, increased more perpendicular to grain	Increased proportional to specific gravity increase parallel to grain, increased more perpendicular to grain
Hardness	10 to 20 times that of normal wood	10 to 18 times that of normal wood
Impact strength toughness	1/2 to 3/4 of value for normal wood but very susceptible to the variables of manufacture	Same to somewhat greater than normal wood
Gluability	Same as normal wood after light sanding or in the case of thick stock, machining surfaces plane	Same as normal wood after light sanding, or in the case of thick stock, machining surfaces plane

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของไม้โดยการอัดกาวและการใช้แรงอัด (Parameters effecting on Resin-Impregnated and Compressed Wood Properties)

การเพิ่มความหนาแน่นของเนื้อไม้มีด้วยกันหลายวิธี การอัดไม้ด้วยแรงอัดเพื่อลดปริมาตรช่องว่างของเนื้อไม้ (void volume) การอัดโพลีเมอร์สังเคราะห์หรือโพลีเมอร์ธรรมชาติในรูปของเหลวเข้าไปในช่องว่างของเนื้อไม้หรือผนังเซลล์ และใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกัน อัดสารโพลีเมอร์และใช้แรงอัด (Bustos et al. 2012)

Stamm และ Seborg (1936) ได้ทำการศึกษาโดยใช้ไม้ withe pine แซ่ในกาว ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (urea formaldehyde, UF), ฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ (phenol formaldehyde, PF), และเฟอร์ฟิวรัล (furfural) ภายใต้สุญญากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และให้ความร้อนเพื่อให้กาวแข็งตัวที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 3 วัน หรือ ที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 1 วัน โดยไม่ใช้แรงอัด พบว่าประสิทธิภาพความต้านทานการหดตัวของไม้ (anti shrink efficiency) เพิ่มขึ้นถึง 70 % โดยขึ้นอยู่กับความปริมาณเข้มข้นของกาวที่เข้าไปในเนื้อไม้ โดยปริมาณเข้มข้นของกาวที่เข้าไปในเนื้อไม้ ขึ้นกับชนิดไม้ และขนาดโมเลกุลของกาว ไม้ที่ผ่านการอัดกาวทำให้มีค่าความแข็ง และความต้านทานแรงกดสูงขึ้น

จากการศึกษาผลิตภัณฑ์ laminate จากไม้ yellow birch โดยการอัดกาวเข้าไปในไม้บาง (veneer) ด้วยกาว 2 ชนิด ได้แก่ กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ ที่ความเข้มข้น 30 % และทำการเปรียบเทียบกับ ไม้ laminate ที่ไม่ได้อัดกาว พบว่า ไม้ laminate ที่ผ่านการอัดกาวทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการรับแรงอัด (compressive strength) แรงเฉือน (shear) ความแข็ง (hardness) และความแข็งตึง (stiffness) ด้านตั้งฉากเส้นใย มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการรับแรงดึง (tensile) ความเหนียว (toughness) และแรงกระแทก (impact) ลดลง โดยไม้ laminate ที่อัดด้วยกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ มีค่าคุณสมบัติทางกลที่เพิ่มขึ้นสูงที่สุด และมีค่าคุณสมบัติทางกลที่ลดลงต่ำที่สุด นอกจากนี้ ไม้ laminate ที่อัดด้วยกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ มีค่าความคงขนาด (stabilizing) ดีกว่าไม้ laminate ที่อัดด้วยกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เมื่อไม้ laminate สัมผัสกับความชื้น จากการทดลองไม้ laminate ที่อัดด้วยกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ ที่ระดับความเข้มข้น 30 % และ 50 % และทำการทดสอบค่ากลสมบัติ จากการเปรียบเทียบค่ากลสมบัติโดยกำหนดให้ชิ้นทดสอบมีปริมาตรเท่ากัน พบว่า การลดลงของความเข้มข้นของกาว มีผลให้ค่าความแข็งตึงและความสามารถในการรับแรงอัดลดลง ส่วนความสามารถในการรับแรงดึง และ แรงดัด (flexural strength) เพิ่มขึ้น ส่วนการเปรียบเทียบค่ากลสมบัติโดยกำหนดให้ชิ้นทดสอบมีน้ำหนักเท่ากันพบว่า การลดลงของความเข้มข้นของกาว มีผลให้ค่าความแข็งตึง ความสามารถในการรับแรงดึง และ แรงดัด (flexural strength) เพิ่มขึ้น ส่วนแรงอัดลดลงเล็กน้อย (U.S. Forest service research note 1966)

ปัญหาใหญ่ของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของไม้โดยการอัดกาวและการเพิ่มความหนาแน่นของเนื้อไม้ด้วยแรงอัด ได้แก่ ความคงขนาด (dimension stability) เมื่อไม้สัมผัสกับความชื้นหรือแช่อยู่ในน้ำ

โดยเฉพาะการคืนขนาดตามความหนา (springback) ดังนั้นในขบวนการผลิตต้องควบคุมปัจจัยในการผลิต เพื่อให้เกิดการคืนขนาดตามความหนาให้น้อยที่สุด (Sulaiman et al. 2012)

ในการเพิ่มความหนาแน่นของไม้ด้วยแรงอัด ด้วยการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 300 °F หรือต่ำกว่า การคืนขนาดตามความหนาจะเกิดขึ้นเกือบสมบูรณ์ เมื่อไม้สัมผัสกับความชื้นหรือแช่อยู่ในน้ำ แต่การอัดกาวเข้าไปในเนื้อไม้ช่วยลดการคืนตัวตามความหนาเมื่อกาวแข็งตัว ลดการพองตัว (swelling) และหดตัว (shrinking) โดยเฉพาะการอัดด้วยกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งมีคุณสมบัติความต้านทานน้ำ (Stamm et al. 1941)

มีการทดลองจำนวนมากที่ทำการทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มความหนาแน่นของไม้โดยใช้แรงอัด (compressed wood) โดยมุ่งเน้นเกี่ยวกับปรับปรุงคุณสมบัติการคงขนาดของไม้ผ่านวิธีการอัดร้อน (Hillis 1984) โดยศึกษาการให้ความร้อนด้วยไอน้ำแก่ไม้ก่อนทำการอัด (steam pre-treatment) (Hsu et al. 1988, Inoue et al. 1993, Kawai et al. 1992) จากการทดลองผลิตแผ่นไม้ประกอบ (wood-based composite) ด้วยไม้ aspen (*Populus tremuloides* Michx.) และ pine (*Pinus contorta* Dougl.) ให้ความร้อนแผ่นไม้ด้วยไอน้ำก่อนทำการอัด พบว่าการคงขนาดของไม้มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิด partial hydrolysis of hemicellulose ทั้งในไม้ใบกว้าง (hardwood) และ ไม้ตระกูลสน (softwood) และการให้ความร้อนด้วยไอน้ำเพิ่มความสามารถในการอัดไม้ (compressibility of wood) (Hsu et al. 1988) มีการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการคงขนาดของไม้ที่เพิ่มความหนาแน่นโดยใช้แรงอัด โดยการใช้ความร้อนร่วมกับไอน้ำในการอัด พบว่า มีผลทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นในแผ่นไม้ประกอบ (internal stress) เนื่องจากการอัดมีแนวโน้มลดลง ทำให้มีความคงขนาดด้านความหนาลดลง (Higashihara et al. 2000, Navi and Heger 2004, Kamke 2006, Fukuta et al. 2008 Inoue et al. 2008 Gabrielli and Kamke 2010) การให้ไอน้ำแก่แผ่นไม้ที่เพิ่มความหนาแน่นโดยใช้แรงอัด ภายหลังการอัด (post-steaming) ที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 1 นาที หรือ 180 °C เป็นเวลา 8 นาที ทำให้ขึ้นไม้ยึดติดกันสมบูรณ์ ค่า โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity, MOE) และโมดูลัสแตกหัก (modulus of rupture, MOR) ลดลงเล็กน้อย ส่วนค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Inoue et al. 1993) การให้ไอน้ำก่อนทำการอัด การเพิ่มอุณหภูมิ และระยะเวลาการอัด (pressing time) ทำให้ความคงขนาดของไม้เพิ่มขึ้น และการให้ไอน้ำก่อนทำการอัดทำให้ไม้อ่อนตัวทำให้สามารถอัดได้ง่ายทำให้เกิดความเค้นในเนื้อไม้ลดลง (Inoue et al. 1996) การให้ไอน้ำก่อนทำการอัด ทำให้เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และ ลิกนิน (lignin) อ่อนตัว ทำให้สามารถอัดได้ง่ายและไม่ทำลายโครงสร้างของเซลล์ (Wong et al. 2008) ความแข็งแรงของไม้ที่เพิ่มความหนาแน่นโดยใช้แรงอัด ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของไอน้ำ การให้ไอน้ำก่อนทำการอัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 °C ทำให้ค่าความแข็งแรงลดลง โดยทั่วไปค่าคุณสมบัติทางกล (mechanical properties) ของไม้ลดลงเมื่อให้ไอน้ำที่อุณหภูมิสูงๆ เป็นเวลานาน (Dwianto et al. 1996) มีนักวิจัยจำนวนมากศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิสูงและความดันของไอน้ำ ต่อค่าความแข็งแรงของไม้ (steam pressure) (Price 1976, Geimar et al. 1993, Kamke and Cassey 1998, Kosikova

et al. 1993, Ebringerova *et al.* 1993, Gardner *et al.* 1993) พบว่า ผลกระทบค่าความแข็งตึง (stiffness) และ ค่าความแข็งแรงของไม้ที่เพิ่มความหนาแน่นโดยใช้แรงอัดอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ (Kultikova 1999)

Laine *et al.* (2014) ได้ทำการอัดร้อนโดยไม่อัดกาว ไม้ Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) เพื่อเพิ่มความหนาแน่นที่ผิวไม้ ที่อุณหภูมิ 100, 150 และ 200 °C ด้วยความเร็วของการอัดร้อน 5, 10 และ 30 mm/min แล้วทำการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์โดยทำการแช่น้ำ พบ ว่าไม้ทุกสภาวะมีการคืนตัวทางความหนา (spring back)

ความต้านทานการสลายตัวตามธรรมชาติของไม้อัดกาว (resistance of resin-treated wood to biological degradation)

ไม้ที่ผ่านการอัดกาวมีความต้านทานการสลายตัวทางธรรมชาติสูงขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของกาวเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ของเนื้อไม้ ทำให้ไม้ดูดความชื้นได้น้อย (Stamm and Bechler 1960)

ไม้ที่ผ่านการอัดกาว มีความต้านทานต่อการทำลายของปลวกเพิ่มขึ้น (Takahashi and Imamura 1990, Ryu *et al.* 1991, Deka and Saikia 2000)

ไม้ที่ผ่านการอัดกาว มีความต้านทานต่อการทำลายของเห็ดราเพิ่มขึ้น (Rapp and Peek 1996, Ritschkoff *et al.* 1999)

ไม้ที่ผ่านการอัดกาวเข้าไปในเนื้อไม้มีความต้านทานการสลายตัวทางธรรมชาติสูงขึ้น ตามปริมาณความเข้มข้นของกาวที่เข้าไปในเนื้อไม้ (Lukowsky and Peek 1998, Lukowsky *et al.* 1998, Sailer *et al.* 1998, Van Acker *et al.* 1999, Westin *et al.* 2004b)

อุปกรณ์

1. เครื่องเลื่อยสายพาน (band saw)
2. เครื่องเลื่อยวงเดือน (circular saw)
3. ห้องควบคุมสภาวะความชื้น (conditioning room)
4. เตาอบ (oven)
5. เตาอบไม้ (kiln drying)
6. เครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine)
7. เครื่องชั่ง (balance)
8. คาลิเปอร์ (caliper)
9. เครื่องอัดน้ำยาไม้ขนาดเล็ก (Small pressure vessel)
10. แท่งเหล็ก (Stopper)
11. แผ่นเหล็กรองอัด (Caul plate)
12. ถูมือกันความร้อน
13. โถดูดความชื้น (Desiccator)
14. ตลับเมตร
15. กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ชนิด E0 (Urea formaldehyde E0)
16. ไม้ยางพารา

วิธีการ

1. การเตรียมวัสดุดิบ

นำไม้ยางพาราที่ผ่านการอัดน้ำยาป้องกันรักษาเนื้อไม้ที่ไม่ผ่านการอบแห้ง หรือ สภาวะสด (green condition) และที่ผ่านการอบแห้ง หรือ สภาวะแห้ง (dry condition) จากบริษัทนครศรีพาราวิวด จำกัด นำไม้ยางพาราที่มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว กว้าง 3 นิ้วและยาว 120 ซม. มาตัดเป็นชิ้นทดลอง ขนาดความยาว 30 ซม. ได้แก่ ไม้ชิ้นที่ 1, 3 และ 5 ทำการชั่งน้ำหนักไม้ทดลองทุกชิ้น ส่วนไม้ชิ้นที่ 2 และ 4 นำไปหาความชื้นของไม้เริ่มต้น ดังภาพที่ 3 จากนั้นนำค่าความชื้นที่ได้ไปคำนวณหาน้ำหนักอบแห้งของไม้ทดลอง เพื่อให้ได้รับทริทเมนต์ ตามแผนการทดลอง ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 3 แสดงการตัดชิ้นไม้ทดสอบ

หมายเหตุ ไม้หมายเลข 1 3 และ 5 นำไปทำการทดลอง

ไม้หมายเลข 2 และ 4 นำไปทำการหาความชื้นของชิ้นไม้ก่อนการทดลอง

ทำการสุ่มไม้ทดลองขนาดความยาว 30 ซม. มารับทริทเมนต์ ตามการวางแผนการทดลองดังตารางที่

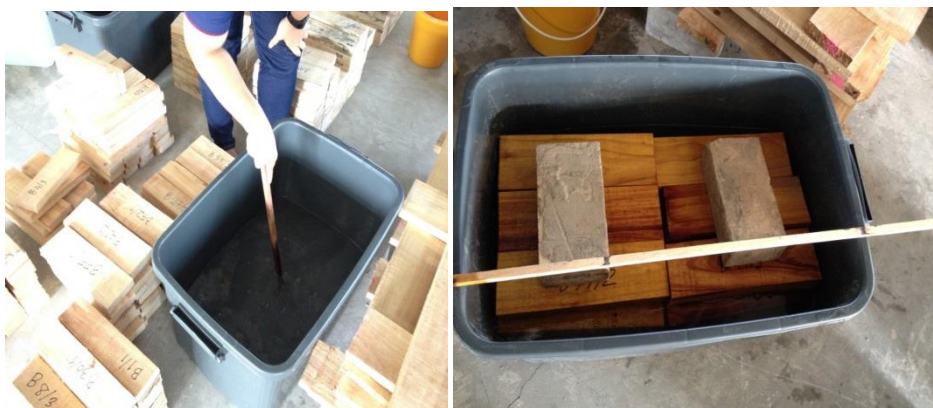
ตารางที่ 2 แผนการทดลอง

ไม้ยางพารา	แช่ในด่าง NaOH ที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ	อัดกาว UF ที่ความชื้นระดับต่างๆ	การให้ความร้อนเพื่อให้กาวแข็งตัว
สภาวะสด	ไม่แช่ด่าง	ไม่อัดกาว	อบร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 3 ชม.
	แช่ด่างความเข้มข้น 2 % เวลา 2 วัน	อัดกาวที่ความเข้มข้น 35 %	อัดร้อนที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 5 นาที
	แช่ด่างความเข้มข้น 5 % เวลา 2 วัน	อัดกาวที่ความเข้มข้น 40 %	อัดร้อนที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 5 นาที
สภาวะแห้ง	แช่ด่างความเข้มข้น 10 % เวลา 2 วัน	อัดกาวที่ความเข้มข้น 45 %	
ทรีทเมนต์ 2 ระดับ	ทรีทเมนต์ 4 ระดับ	ทรีทเมนต์ 4 ระดับ	ทรีทเมนต์ 3 ระดับ

ตามแผนการทดลอง ดังตารางที่ 2 จำนวนทรีทเมนต์ทั้งหมด $2 \times 4 \times 4 \times 3$ เท่ากับ 96 ทรีทเมนต์ ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ดังนั้นใช้ไม้ทดลองทั้งหมด 288 ชิ้น

2. การแช่ด่าง

ใช้ไม้ยางพาราสภาวะสด และ สภาวะแห้ง ทำการแช่ด่างด้วยสารละลาย NaOH ที่ระดับความเข้มข้น 4 ระดับ เป็นระยะเวลา 2 วัน ได้แก่ ไม่แช่ด่าง, แช่ด่างความเข้มข้น 2 %, แช่ด่างความเข้มข้น 5 % และ แช่ด่างความเข้มข้น 10 % วัตถุประสงค์ของการแช่ด่างเพื่อให้ผนังเซลล์พองตัว ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการเตรียมความเข้มข้นของด่าง และการแช่ไม้ทดลองในด่างที่ความเข้มข้นต่างๆ

3. การอัดกาวเข้าไปในเนื้อไม้

ก่อนทำการอัดกาวทำการชั่งน้ำหนักชิ้นไม้ทดลองให้ถูกต้องในระดับ 0.01 กรัม ทำการอัดกาว UF ชนิด E0 (คุณลักษณะเฉพาะของกาว UF ชนิด E0 แสดงดังในตารางที่ 3) เข้าไปในไม้ยางพาราที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ 4 ระดับ ดังนี้ ไม่อัดกาว, อัดกาวที่ความเข้มข้น 35%, อัดกาวที่ความเข้มข้น 40% และอัดกาวที่ความเข้มข้น 45% ภายหลังทำการอัดกาว ทำการชั่งน้ำหนักชิ้นไม้ทดลองอีกครั้ง เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณของกาวที่เข้าไปในเนื้อไม้ โดยคำนวณได้จาก

ก. $\text{น้ำหนักชิ้นไม้หลังการอัดกาว} - \text{น้ำหนักอบแห้งชิ้นไม้ก่อนการอัดกาว} = \text{น้ำหนักน้ำ} + \text{เนื้อกาว}$

ข. $\text{น้ำหนักน้ำ} + \text{เนื้อกาว}$ ตามข้อ ก. มาคำนวณหาปริมาณเนื้อกาวตามระดับความเข้มข้นที่ใช้

ค. จากนั้น นำปริมาณเนื้อกาวที่คำนวณได้มารวมกับน้ำหนักอบแห้งของชิ้นไม้ทดลองก่อนทำการอัดกาว เพื่อนำไปคำนวณหาร้อยละของปริมาณกาวที่เข้าไปในเนื้อไม้ต่อไป

ตารางที่ 3 คุณลักษณะเฉพาะของกาว UF ชนิด E0

Appearance	White Milky Liquid
Viscosity @ 30 °C	1.45
Gel time @ 100 °C	150
Nonvolatil Matter @ 105 °C	66.99
Specific Gravity @ 30 °C	1.28
pH	7.7

หมายเหตุ Viscosity will increase time and temperature

3.1 ขั้นตอนการอัดกาวด้วยเครื่องอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้

การอัดกาว UF ชนิด E0 เข้าไปในเนื้อไม้ด้วยวิธีการอัดแบบเต็มเซลล์ (full cell process) ดังนี้

3.1.1 นำไม้ที่เตรียมไว้เข้าเครื่องอัดน้ำยา ทั้งไม้สดและแห้ง ปิดฝาอัดให้แน่น ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงการนำชิ้นไม้เข้าเครื่องอัดน้ำยาเพื่ออัดกาว

3.1.2 ปิดวาล์วทุกวาล์วในเครื่องอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้ก่อน หลังจากนั้นเปิดวาล์วสุญญากาศ เพื่อทำสุญญากาศ ในการทำสุญญากาศเพื่อดูดอากาศออก โดยใช้ความดันที่ 25-30 inHg เป็นเวลา 10 นาที

3.1.3 เมื่อทำสุญญากาศครบเวลาที่กำหนดแล้ว เปิดวาล์วดูดกาวจากถังเก็บเข้าถังอัดให้ไหลเข้าสู่ถังอัดจนเต็ม

3.1.4 ทำการปั๊มอัดกาวเข้าสู่เนื้อไม้ด้วยแรงอัดที่ความดัน 150 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นระยะเวลา 20 นาที ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การอัดกาวเข้าไปในเนื้อไม้ด้วยแรงอัด

3.1.5 ครบเวลาที่กำหนด ปิดวาล์วเพื่อหยุดใช้แรงดันและทำการปล่อยกาออกจากถังอัดลงสู่ถังเก็บ เปิดฝาเครื่องอัดกา แล้วนำไม้ออกจากถังอัด ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ไม้ยางพาราที่ผ่านการอัดกาเข้าไปในเนื้อไม้

3.1.6 นำไม้ออกจากถังอัด ผึ่งให้ไม้หมาด ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ไม้ยางพาราที่ผ่านการอัดกาเข้าไปในเนื้อไม้

4. การอบ

ทำการการอบไม้ยางพาราที่ผ่านการอัดกา มาอบเพื่อไล่ความชื้น ที่ อุณหภูมิ 50-60 °C เพื่อควบคุมความชื้นให้อยู่ระหว่าง 8-12 % ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ทำการอบไม้ยางพาราอัดกาวเพื่อควบคุมสถานะความชื้น

5. การอบร้อนและการอัดร้อน

การอบร้อนเพื่อให้กาวแข็งตัว โดยใช้อุณหภูมิในการอบร้อน 100°C ทำการอบร้อนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ดังภาพที่ 10 การอัดร้อนทำการใช้แรงอัดให้ไม้มีความหนาลดลง จาก 3 ซม. เหลือประมาณ 2.5 ซม. เพื่อเพิ่มความหนาแน่นให้กับชิ้นไม้ทดลองรวมกับการให้ความร้อนเพื่อให้กาวแข็งตัว การอัดร้อนใช้แรงอัดคงที่ที่ 250 kg/cm^2 ร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 และ 200°C และกำหนดเวลาในการอัดร้อน 5 นาที ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 10 แสดงการอบร้อนชิ้นไม้ทดลองเพื่อให้กาวแข็งตัว



ภาพที่ 11 แสดงการอัดร้อนขึ้นไม้ทดลอง

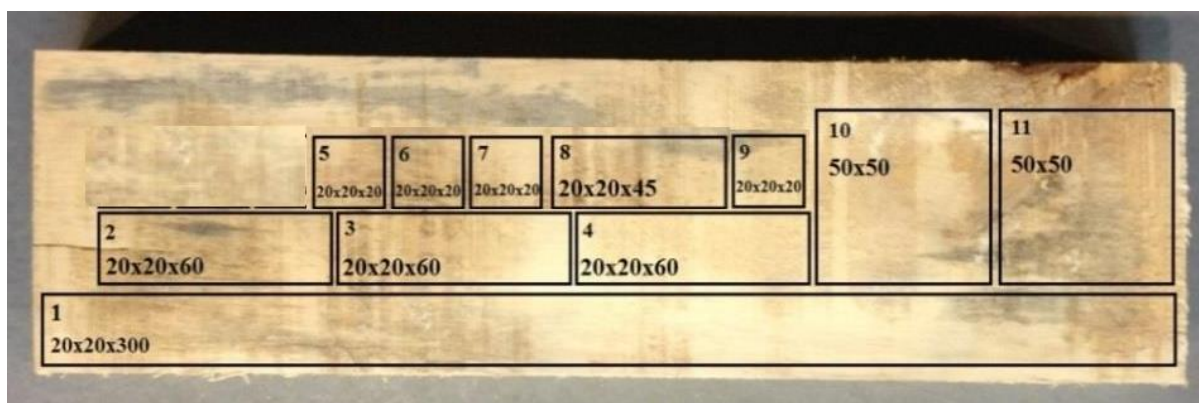
6. การตัดขึ้นทดสอบเพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกล

นำไม้ทดลองที่ผ่านการอบร้อนและอัดร้อนมาผึ่งไว้ที่ห้องควบคุมความชื้น ที่อุณหภูมิ 20 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 65 % ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การผึ่งไม้ในห้องควบคุมความชื้น

จากนั้นนำขึ้นไม้ทดลองมาตัดเป็นชิ้นทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกล (physical and mechanical properties) ตามมาตรฐาน ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงตัวอย่างการตัดชิ้นทดสอบ (หน่วย : มิลลิเมตร)

หมายเลข 1 สำหรับทดสอบ MOR (modulus of rupture) และ MOE (modulus of elasticity) ทดสอบตามมาตรฐาน BS 373

หมายเลข 2 สำหรับทดสอบการอัดตั้งฉากเสี้ยน (compression perpendicular to grain) ทดสอบตามมาตรฐาน BS 373

หมายเลข 3 สำหรับทดสอบการอัดขนานเสี้ยน (compression parallel to grain) ทดสอบตามมาตรฐาน BS 373

หมายเลข 4 สำหรับทดสอบความแข็ง (hardness) ทดสอบตามมาตรฐาน BS 373

หมายเลข 5,9 ความชื้น (moisture content) และ ความหนาแน่น (density) หรือความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 13061-2 (2014)

หมายเลข 6 สำหรับทดสอบการเฉือน (shear) ทดสอบตามมาตรฐาน BS 373

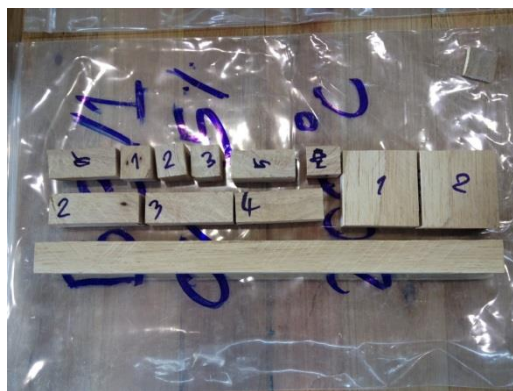
หมายเลข 7 สำหรับทดสอบการพองตัวด้าน R และด้าน T (swelling in tangential and radial direction) ทดสอบมาตรฐาน ISO 13061-15 (2017)

หมายเลข 8 สำหรับทดสอบการฉีก (cleavage) ทดสอบตามมาตรฐาน BS 373

หมายเลข 10 สำหรับทดสอบการยึดเหนี่ยวของตะปูควง (screw holding) ทดสอบตามมาตรฐาน EN 320

หมายเลข 11 สำหรับทดสอบการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ทดสอบตามมาตรฐาน EN 317)

การตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐานต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 14



ภาพที่ 14 การตัดชิ้นทดสอบเพื่อทดสอบค่าคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกล ตามมาตรฐานต่างๆ

7. ปรับสภาวะชิ้นทดสอบ

ให้นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้สำหรับในการทดสอบไปปรับสภาวะความชื้น ที่อุณหภูมิ 20°C ความชื้นสัมพัทธ์ $65 \pm 5\%$ จนมีน้ำหนักคงที่ คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้ง ห่างกัน 24 ชั่วโมง น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 0.1% แล้วทดสอบทันทีที่พ้นจากการปรับสภาวะ ดังแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แสดงการปรับสภาวะชื้นทดสอบ

8. การทดสอบสมบัติทางกลและทางฟิสิกส์

8.1 ความชื้น ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ ตามมาตรฐาน ISO 13061-2 (2014)

8.1.1 ชั่งชื้นทดสอบให้ได้น้ำหนักที่ความแม่นยำ 0.01 กรัม เป็นน้ำหนักของชื้นทดสอบการนำไป
อบ

8.1.2 วัดขนาดความกว้างและความยาวของชื้นทดสอบ ที่ระดับความแม่นยำ 0.02 มิลลิเมตร

8.1.3 อบชื้นทดสอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักของชื้นทดสอบคงที่

8.1.4 ทำการชั่งน้ำหนักชิ้นไม้ เป็นน้ำหนักของชื้นทดสอบหลังอบแห้ง และนำชิ้นไม้ไปทำการจุ่มพาราฟินเพื่อให้เคลือบผิวชิ้นตัวอย่างเพียงบางๆ จากนั้นนำไปทำการทดสอบการแทนที่น้ำ เพื่อหาปริมาตรของชิ้นตัวอย่าง

8.1.5 วิธีคำนวณ

หาค่าปริมาณความชื้นจากสูตร

$$MC = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ MC คือ ปริมาณความชื้น เป็น ร้อยละ

m_1 คือ น้ำหนักของชื้นทดสอบก่อนอบ เป็น กรัม

m_2 คือ น้ำหนักของชื้นทดสอบหลังอบ เป็น กรัม

หาค่าความหนาแน่นจากสูตร

$$D = \frac{m}{V} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ	D	คือ ความหนาแน่น เป็น กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
	m	คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบ เป็น กรัม
	V	คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ เป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร

หาค่าความถ่วงจำเพาะจากสูตร

$$SG = \frac{m_0}{D_w V} \quad (3)$$

เมื่อ	SG	คือ ความถ่วงจำเพาะ
	m_0	คือ น้ำหนักแห้งของชิ้นทดสอบ เป็น กรัม
	D_w	คือ ความหนาแน่นของน้ำ = 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

8.2 ทดสอบการพองตัวตามความหนา ตามมาตรฐาน EN 317

8.2.1 ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนา วัดความหนาของชิ้นทดสอบ เป็นความหนาก่อนแช่น้ำ

8.2.2 แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส โดยตั้งชิ้นทดสอบให้ได้ยู่ห่างจากกันภาชนะและผิวน้ำ 25 ± 5 มิลลิเมตร

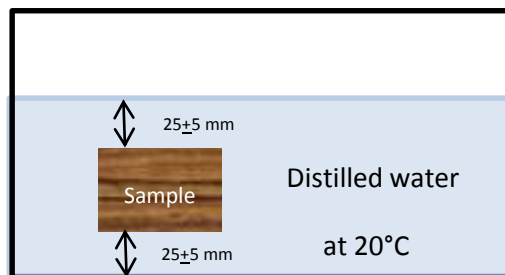
8.2.3 นำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วนำชิ้นทดสอบขึ้นมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม เป็นความหนาหลังแช่น้ำ

8.2.4 วิธีการคำนวณ

หาค่าการพองตัวตามความหนาจากสูตร

$$TS = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ	TS	คือ ค่าการพองตัวตามความหนา เป็น ร้อยละ
	t_1	คือ ความหนาของชั้นทดสอบก่อนแช่น้ำ เป็น มิลลิเมตร
	t_2	คือ ความหนาของชั้นทดสอบหลังแช่น้ำ เป็น มิลลิเมตร



ภาพที่ 16 แสดงการทดสอบการพองตัวตามความหนา ตามมาตรฐาน EN 317

8.3 ทดสอบความแข็งแรงและความแข็งตั้งในการดัดสถิตย ตามมาตรฐาน BS 373

8.3.1 วางชั้นทดสอบไปวางบนแท่นรอง (supports) ซึ่งวางห่างกัน 280 มิลลิเมตร (span = 280 มิลลิเมตร) ให้ปลายชั้นทดสอบยื่นออกจากจุดที่รองรับข้างละประมาณ 10 มิลลิเมตร

8.3.2 ให้แรงกดลงที่จุดกึ่งกลางของชั้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกด จนกระทั่งชั้นทดสอบหัก ภายในเวลา 1.5 ± 0.5 นาที จดค่าแรง

8.3.3 วิธีการคำนวณ

หาค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of rupture MOR) ความสามารถในการต้านการแตกหัก หรือ “ความแข็งแรง”(strength) ของไม้

$$MOR = \frac{3F_{max}L}{2bd^2} \quad (5)$$

เมื่อ MOR คือ ความสามารถในการต้านการแตกหัก เป็น เมกะพาสคาล

F_{max} คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ เป็น นิวตัน หรือ กิโลกรัม

L คือ ระยะห่างของแท่งรองรับ (span) เป็น มิลลิเมตร หรือ เซนติเมตร

b คือ ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ เป็น มิลลิเมตร หรือ เซนติเมตร

d คือ ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นไม้ เป็น มิลลิเมตร หรือ เซนติเมตร

หาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity หรือ MOE)ความสามารถในการต้านการโก่งตัวหรือ “ความแข็งตึง”(stiffness) ของไม้

$$MOE = \frac{L^3 P_{pl}}{4 \delta_{pl} b d^3} \quad (6)$$

เมื่อ MOE คือ โมดูลัสยืดหยุ่น เป็น เมกะพาสคาล

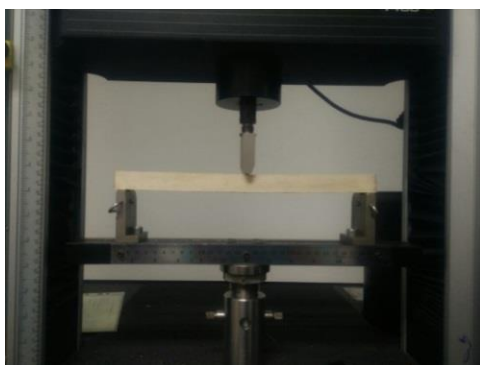
L คือ ระยะห่างของแท่นรองรับ (span) เป็น มิลลิเมตร หรือ เซนติเมตร

P_{pl} คือ น้ำหนักที่จุด P.L. เป็น นิวตัน หรือ กิโลกรัม

b คือ ความกว้างที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ เป็น มิลลิเมตร หรือ เซนติเมตร

d คือ ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ เป็น มิลลิเมตร หรือ เซนติเมตร

δ_{pl} คือ การโก่งที่จุด P.L. เป็น มิลลิเมตร หรือ เซนติเมตร



รูปภาพที่ 17 แสดงการทดสอบความแข็งแรงและความแข็งตั้งในการดัดสถิต

8.4 ความเค้นอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ ตามมาตรฐาน BS 373

8.4.1 วางขึ้นทดสอบบนแผ่นเหล็กรองรับ (Bearing Block) โดยให้แนวเสี้ยนอยู่ในระดับ และให้ผิวด้านตั้งฉากกับวงปี (Radial) อยู่ตอนบนสุด

8.4.2 วางแผ่นเหล็ก (Bearing Plate) กว้าง 20 มิลลิเมตร ซึ่งใช้รองน้ำหนักที่กดลง โดยวางตามแนวขวางให้ได้กึ่งกลางประมาณ 1 ใน 3 ส่วนของความยาวขึ้นทดสอบ ให้แนวยาวของแผ่นเหล็กกดทำมุมตั้งฉากกับแนวของขึ้นทดสอบ

8.4.3 ติดตั้งมาตรวัดการยุบตัวของขึ้นทดสอบ โดยปรับระยะปลายแกนของมาตรวัดสัมผัสกับผิวของขึ้นทดสอบเล็กน้อยและปรับเข็มที่หน้าปัดให้ชี้ไปที่ตำแหน่งขีดศูนย์

8.4.4 ให้แรงกด (Load) บนขึ้นทดสอบอย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วประมาณ 0.305 มิลลิเมตรต่อนาที อ่านค่าการยุบตัว (Deformation) ทุกครั้งที่เพิ่มน้ำหนักกดขึ้น 1000 นิวตัน ให้มีความละเอียด 0.002 มิลลิเมตร จนกว่าขึ้นทดสอบจะยุบตัวถึง 2.5 มิลลิเมตร หรือเข็มวัดเริ่มหมุนไปอย่างรวดเร็วโดยไม่หยุด จึงหยุดทำการทดสอบแล้วนำขึ้นทดสอบออกจากเครื่องทดสอบ และบันทึกค่า

8.4.5 วิธีการคำนวณ

นำผลที่ได้จากการทดสอบไปพล็อตกราฟโดยน้ำหนัก (load) อยู่แกนตั้ง (y) และให้การเสียรูป (deformation) อยู่ในแกนนอน (x) แล้วลากเส้นกราฟที่ได้ นำไม้บรรทัดมาหาบนเส้นกราฟให้ผ่านจุด 0 และทำเครื่องหมายจุดที่เส้นกราฟเริ่มโค้งและเขียน “P.L.” กำกับไว้ ลากเส้นตรงจุด P.L. ให้ขนานกับแกน x ไปตัดแกน y ก็จะได้ค่าน้ำหนักที่จุด P.L. (load at proportional limit หรือ $P_{P.L.}$) นำค่าที่ได้ไปแทนในสูตรคำนวณหาค่า $\sigma_{P.L.}$

$$\sigma_{P.L.} = \frac{P_{P.L.}}{A} \quad (7)$$

เมื่อ

$\sigma_{P.L}$ คือ fiber stress at proportional limit เป็น เมกะพาสคาล

Conventional strength in compression perpendicular to grain

$P_{P.L}$ คือ load at proportional limit เป็น นิวตัน หรือ กิโลกรัม

A คือ พื้นที่ของตัวอย่างไม้ที่รับแรงกดจากแผ่นเหล็ก เป็น ตารางมิลลิเมตร หรือ ตารางเซนติเมตร

ความกว้างของชิ้นทดสอบ (a) × ความกว้างของแผ่นเหล็ก



รูปภาพที่ 18 แสดง การทดสอบความเค้นอัดตั้งฉากเส้น

8.5 ความเค้นอัดขนานเส้นของไม้ ตามมาตรฐาน BS 373

8.5.1 นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้ไปวางในช่องสำหรับทดสอบแรงอัดของเครื่องทดสอบสากล (universal testing machine) ในลักษณะตั้งขึ้น (เหมือนเสา) ดังรูปภาพ



รูปภาพที่ 19 แสดงการทดสอบความเค้นอัดขนานเส้น

8.5.2 จัดเลือกอุปกรณ์ทดสอบ ให้ถูกต้อง และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้หัวกดอย่างน้อยหนึ่งด้านหมุนได้รอบตัวโดยใช้ระบบลูกปืน (ball bearing) เพื่อให้หัวกดปรับตัวเองให้แนบสนิทกับหน้าตัดของชิ้นทดสอบ และกระจายน้ำหนักอย่างสม่ำเสมอลงบนหน้าตัด

8.5.3 การทดสอบตั้งความเร็วคงที่ในการเคลื่อนที่ของหัวกด และกดน้ำหนักจนชิ้นทดสอบแตกหัก จดค่าแรงสูงสุด (P_{max}) เพื่อใช้คำนวณความเค้น

8.5.4 วิธีการคำนวณ

คำนวณหาความเค้นสูงสุดในการรับแรงอัดขนานเสี้ยน (ultimate stress in compression parallel to grain) , σ_c , ด้วยสูตรต่อไปนี้

$$\sigma_c = \frac{P_{max}}{a \times b} \quad (8)$$

เมื่อ P_{max} คือ น้ำหนัก(แรง) สูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบหัก เป็น นิวตัน หรือ กิโลกรัม

a และ b คือ ขนาดหน้าตัดของชิ้นทดสอบ เป็น มิลลิเมตร หรือ เซนติเมตร

8.6 แรงเฉือน ตามมาตรฐาน BS 373

8.6.1. นำตัวอย่างชิ้นทดสอบไปวางที่อุปกรณ์สำหรับทดสอบแรงเฉือน

8.6.2 วางชิ้นทดสอบในอุปกรณ์ทดสอบ ต้องพยายามวางชิ้นทดสอบตั้งตรง โดยให้หน้าแนบสนิทกับฐานรอง อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบต้องจัดให้แผ่นกด (bearing plate) เหลื่อมกับฐานรอง (base pate) เพื่อให้ชิ้นทดสอบมีอิสระในการเลือกแนวการเลื่อนไหลไปตามแนวระนาบ

8.6.3. ทำการทดสอบโดยใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกดที่ทำให้ชิ้นทดสอบแตกหัก

8.6.4. กดจนชิ้นทดสอบไม่เลื่อนไหลออกจากกัน จดค่าแรงสูงสุดเพื่อคำนวณความแข็งแรง

8.6.5. วิธีการคำนวณ

นำผลที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาความสูงที่สุดในการรับแรงเฉือน (Ultimate shearing stress) ของไม้ ซึ่งแทนด้วย τ (ค่าความเค้นสูงสุด คือ ความแข็งแรง หรือ strength) โดยแทนค่าในสูตร

$$\tau = \frac{P_{max}}{A_s} \quad (9)$$

เมื่อ τ คือ แรงเฉือน เป็น เมกะพาสคาล

P_{max} คือ น้ำหนัก(แรง) สูงสุดที่ทำให้ไม่เลื่อนไถลออกจากกัน เป็น นิวตัน หรือ กิโลกรัม

A_s คือ พื้นที่ (ระนาบ) ของชั้นทดสอบที่รับแรงเฉือน เป็น มิลลิเมตร หรือ เซนติเมตร

ความกว้างของชั้นทดสอบ คูณความยาวของระนาบที่ถูกเฉือน



รูปภาพที่ 20 แสดงการทดสอบแรงเฉือน

8.7 ความแข็ง ตามมาตรฐาน BS 373

8.7.1. นำชั้นทดสอบไปวางบนแท่นรอง (สำหรับทดสอบแรงอัด) และใช้หัวกดสำหรับทดสอบ
ความแข็ง

8.7.2. ใช้แรงกดลงบนชั้นทดสอบโดยใช้ความเร็วคงที่ในการเคลื่อนที่ของเครื่อง

8.7.3. ในขณะที่เครื่องเดิน คอยขยับวงแหวนเหล็ก (collar) เมื่อวงแหวนเริ่มขยับไม่ได้ ให้หยุด
เครื่องทันที (ขณะนี้ปลายของหัวกดจมลงในเนื้อไม้สัก 5.64 มิลลิเมตร)

8.7.4. จดแรงค่าสูงสุดไว้คำนวณหาค่าความแข็ง ดำเนินการทดสอบซ้ำสามครั้ง บนด้านรัศมี
ด้านสัมผัส และด้านหน้าตัด (อย่างละครั้ง) และเปรียบเทียบค่าความแข็งที่ได้

8.7.5. วิธีการคำนวณ

ผลที่ได้ไปคำนวณหาค่าความแข็ง (hardness) ของชั้นทดสอบที่มีความชื้นในขณะทดสอบเท่ากับ m ซึ่งแทน
ด้วย H_m โดยแทนค่าลงในสูตร

$$H_m = KP \quad (10)$$

เมื่อ	H_m	คือ ค่าความแข็ง เป็น นิวตัน หรือ กิโลกรัม
	P	คือ ค่าแรงสูงสุด (ที่อ่านออกจากเครื่องทดสอบ) เป็น นิวตัน หรือ กิโลกรัม
	K	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ 1 สำหรับกรณีที่หัวกดจมลงในเนื้อไม้ลึก 5.64 มิลลิเมตร



รูปภาพที่ 21 แสดงการทดสอบความแข็งของชิ้นทดสอบ

8.8 การฉีก ตามมาตรฐาน BS 373

8.8.1 นำชิ้นทดสอบไปใส่ในอุปกรณ์ สำหรับทดสอบการฉีก ปรับเครื่องทดสอบให้เริ่มต้นที่ศูนย์ ด้วยความระมัดระวัง

8.8.2 ปรับโดยการหมุนตั้งอุปกรณ์ให้ตั้ง เสร็จแล้วเดินเครื่องโดยตั้งความเร็วคงที่ในการทดสอบจนชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน

8.8.3 จดค่าน้ำหนักสูงสุดไว้เพื่อคำนวณหาความต้านทานของไม้ต่อการฉีก

8.8.4. วิธีการคำนวณ

ค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาความต้านทานของไม้ต่อการฉีก (resistance of wood cleavage) ซึ่งแทนด้วย R_c โดยแทนค่าลงในสูตร

$$R_c = \frac{P}{b} \quad (11)$$

เมื่อ R_c คือ ความต้านทานการฉีก เป็น นิวตัน/มิลลิเมตร หรือ กิโลกรัม/เซนติเมตร

P คือ แรงสูงสุดที่ทำให้ไม้ฉีก เป็น นิวตัน หรือ กิโลกรัม

B คือ ความกว้างของชิ้นไม้(= ความกว้างของระนาบที่ฉีกขาด) เป็น มิลลิเมตร หรือ เซนติเมตร



รูปภาพที่ 22 แสดงการทดสอบการฉีกของไม้

8.9 ทดสอบความยืดหยุ่นของตะปูเกลียว EN 320



รูปภาพที่ 23 แสดงการดึงตะปูเกลียว

8.9.1 ชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นให้ทดสอบ 2 ตำแหน่ง ที่กึ่งกลางด้านรัศมี และด้านสัมผัส

8.9.2 ชิ้นตะปูเกลียวในชิ้นทดสอบ ซึ่งได้เจาะรูนำเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร ลึก 6 มิลลิเมตร ไว้แล้ว ชิ้นตะปูเกลียวจนกระทั่งส่วนเกลียวจมลึกลงไปถึง 13 มิลลิเมตร ไม่นับความยาวส่วนปลายเรียวของตะปูเกลียว

8.9.3 นำชิ้นทดสอบที่เตรียมไว้ไปเข้าเครื่องดึง ดึงให้ตะปูเกลียวถอนออกจากชิ้นทดสอบ แรงที่ใช้ดึงจะต้องอยู่ในแนวเดียวกับตะปู และตั้งฉากกับผิวชิ้นทดสอบ อัตราการเพิ่มแรงดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

8.10 การพองตัวด้านรัศมี และด้านสัมผัส (ISO 13061-15)

8.10.1 นำชิ้นทดสอบอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส โดยไม่ต้องตรวจสอบการบิดของชิ้นทดสอบ สุ่มวัดขนาดของไม้ 2-3 ตัวอย่าง วัดทุก 2 ชั่วโมง หยุดทำการอบชิ้นทดสอบ เมื่อมีขนาดเปลี่ยนแปลง 0.02 มิลลิเมตร

8.10.2 นำชิ้นทดสอบใส่เดซิเคเตอร์ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและวัดขนาดด้านหน้าตัดทุกชั้น วัดตรงกลางด้านรัศมีและด้านสัมผัสโดยค่าความแม่นยำ 0.01 มิลลิเมตร

8.10.3 นำชิ้นทดสอบไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ $65 \pm 5\%$ อุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส สุ่มวัดการเปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบทุก 6 ชั่วโมง หยุดปรับสภาวะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดชิ้นทดสอบไม่เกิน 0.02 มิลลิเมตร

8.10.4 นำชิ้นทดสอบลงไปในภาชนะที่มีน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 20 ± 5 องศาเซลเซียส วัดการเปลี่ยนแปลงทุก 3 วัน และหยุดการวัดขนาดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดไม่เกิน 0.02 มิลลิเมตร

8.10.5 วัดขนาดด้านหน้าตัด ด้านรัศมี และ ด้านสัมผัส ที่มากที่สุดของชิ้นทดสอบ

8.10.6 วิธีการคำนวณ

หาค่าการพองตัวด้านรัศมีและด้านสัมผัส

$$TS = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (12)$$

เมื่อ	TS	คือ การพองตัวตามความหนา เป็น ร้อยละ
	t_1	คือ ความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ เป็น มิลลิเมตร
	t_2	คือ ความหนาของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ เป็น มิลลิเมตร

9 การทดสอบการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์

9.1 ปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ ตามมาตรฐาน Japanese Industrial Standard (JIS)

9.1.1 ทำการสุมตัวอย่าง ขนาดกว้าง 50 ± 1 มิลลิเมตร ยาว 150 ± 1 มิลลิเมตร จากนั้นให้ นำ ขึ้นทดสอบไปทำการ ปรับสภาพ (Conditioning) ในห้องปรับสภาพที่ อุณหภูมิ $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ R.H. $65 \pm 5\%$ จนน้ำหนักคงที่

9.1.2 เตรียม Desiccator และ Crystallizing dish ไว้อย่างละ 3 ชุด ส่น้ำกลั่น จำนวน 300 มิลลิตร ลงใน Crystallizing dish โดยใช้ Volumetric pipette ขนาด 100 มิลลิตร

9.1.3 วางขึ้นทดสอบที่เตรียมไว้บนตะแกรงเหนือ Crystallizing dish จากนั้นทำการปิดฝา Desiccator และนำไปวางไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่ 20°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในระหว่างทดสอบทำการจด อุณหภูมิทุกๆ ชั่วโมง

9.1.4 เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ให้นำ Crystallizing dish ทั้ง 3 ชุด ออก เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ หาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์

9.1.5 ทำการดูดสารละลายตัวอย่างจาก Crystallizing dish ทั้ง 3 ชุดๆ ละ 25 มิลลิตร ด้วยปิเปตใส่ใน Erlenmeyer flask (with ground stopper) ขนาด 100 มิลลิตร

9.1.6 เติมสารละลาย acetylacetone-ammoniumacetate ลงใน flask (ตามข้อ 9.1.5) flask ละ 25 มิลลิตร จากนั้นปิดฝา flask

9.1.7 นำสารละลายทั้ง 3 ขวด ไปอุ่นในน้ำที่อุณหภูมิ $65 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 10 นาทีหลังจากครบ เวลาให้นำ มาตั้งทิ้งให้เย็น ในตู้มืดที่อุณหภูมิ ห้องปรกติ

9.1.8 นำสารละลายทั้ง 3 ขวด มาทำการหาค่า การดูดกลืนแสง ด้วย spectrophotometer

9.1.9 วิธีคำนวณ

$$G = F \times (A_d - A_b) \times 1800/S \quad (13)$$

เมื่อ	G	คือ ความเข้มข้นของฟอร์มัลดีไฮด์ที่ได้จากขึ้นทดสอบ เป็น มิลลิกรัมต่อลิตร
	A_d	คือ ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารละลายชุดที่ใส่ขึ้นทดสอบ
	A_b	คือ ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารละลาย Blank test
	F	คือ ค่าความชัน (Slope) จาก Calibration curve เป็น มิลลิกรัมต่อลิตร
	S	คือ พื้นที่ผิวของขึ้นทดสอบ ตารางเซนติเมตร



ภาพที่ 24 ชุดอุปกรณ์และห้องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ตามมาตรฐาน JIS

9.2 การทดสอบปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ ตามมาตรฐาน European Standard (EN 120:1992)

การทดสอบปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ในแผ่นชิ้นไม้อัด ตัดแปลงมาจากมาตรฐาน EN 120 (European Standard Wood based panels – Determination of formaldehyde content – Extraction method called the perforator method) (1992)

9.2.1 เตรียมชิ้นตัวอย่างขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร ประมาณ 500 กรัม เพื่อใช้หาความชื้นและใช้ในการทดสอบปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์

9.2.2 นำชิ้นทดสอบ 110 กรัมไปทำการทดสอบหาปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ตามมาตรฐาน EN 120 ดังแสดงในภาพที่ 25

9.2.3 จากนั้นนำมาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer เพื่อหาค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) จากนั้นทำการคำนวณโดยใช้สูตร

สูตรการคำนวณ

$$\text{Formaldehyde Content} = \frac{(A_s - A_b) \cdot f \cdot (100 + MC) \cdot V}{M} \times 100$$

เมื่อ formaldehyde content คือ ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ (มิลลิกรัมต่อบอร์ด (น้ำหนักแห้ง) 100 กรัม)

AS คือ ค่า absorbance ของสารละลายที่สกัดได้

AB คือ ค่า absorbance ของน้ำกลั่น

f คือ ความชันของ standard curve เป็น มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

MC คือ ปริมาณความชื้นของชิ้นทดสอบ เป็น ร้อยละ

M คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบ เป็น กรัม

V คือ ปริมาตรของ Volumetric (2,000 มิลลิลิตร)



ภาพที่ 25 ชุดอุปกรณ์ในการทดสอบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ ตามมาตรฐาน EN 120:1992

10 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าคุณสมบัติของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุง

ผลและวิจารณ์

จากการทดลองปรับปรุงคุณภาพไม้ยางพารา โดยทำการทดลองใช้ไม้ยางพารา 2 สภาวะ ได้แก่ ไม้ยางพาราสภาวะสดและสภาวะแห้ง จากนั้นแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 0%, 2%, 5% และ 10% ทำการอัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 0%, 35%, 40% และ 45% และทำการอบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C และอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C และ 200°C ภายหลังจากทำการปรับสภาวะขึ้นตัวอย่างในห้องความคุมคววชื้นที่อุณหภูมิ 20°C ความชื้นสัมพัทธ์ 65% จนน้ำหนักคงที่ ทำการตัดชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของไม้

1. คุณสมบัติทางฟิสิกส์

1.1 ความชื้นในเนื้อไม้ (Moisture content) ตามมาตรฐาน ASTM D2016

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ความชื้นในไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับระดับอุณหภูมิที่ใช้ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ระดับ 0% ซึ่งให้ค่าความชื้นต่ำที่สุดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเข้มข้น 2% 5% และ 10% แต่การใช้สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% และ 10% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อีกทั้งไม้ยางพาราที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% และ 10% จะมีค่าความชื้นสูงที่สุด (ตารางภาคผนวกที่ 2) และเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน พบว่าทั้ง 3 ระดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยระดับความชื้นของไม้จะสูงขึ้นตามระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น (ตารางภาคผนวกที่ 3) นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า สภาวะของไม้และระดับความเข้มข้นของกาวที่ใช้ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 1)

ตารางที่ 4 ตารางแสดงค่าความชื้นของไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง (%)

ชนิดไม้	ระดับความเข้มข้นของ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	สารละลายโซดาไฟ	100°C				180°C				200°C			
		ระดับความเข้มข้นของกาว											
		0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%
ไม้สด	0%	9.52	4.80	9.01	7.33	8.46	9.32	9.16	6.29	7.27	10.49	10.25	7.73
	2%	11.32	11.76	10.28	10.19	8.36	6.14	3.49	8.93	8.25	8.50	8.79	10.09
	5%	11.46	10.14	6.34	6.76	10.98	11.54	10.45	8.70	10.16	10.05	9.08	11.08
	10%	8.06	7.09	8.35	5.82	5.33	6.78	9.68	9.71	18.42	15.53	15.68	11.26
ไม้แห้ง	0%	4.12	5.52	5.66	4.79	4.06	4.19	4.85	13.10	10.72	8.84	4.12	9.26
	2%	6.43	9.36	3.13	7.20	10.79	7.78	9.92	13.42	10.00	10.26	7.71	10.33
	5%	6.75	6.41	5.95	7.62	13.58	11.73	10.53	9.35	11.94	12.07	11.23	10.37
	10%	3.47	5.34	6.05	8.28	10.36	9.81	16.41	11.81	17.27	7.02	14.50	8.22

1.2 ความหนาแน่น (Density)

ตารางที่ 5 ตารางแสดงค่าความหนาแน่นของไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, g/cm³)

ชนิดไม้	ระดับความ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	เข้มข้นของ	100°C				180°C				200°C			
	สารละลาย	ระดับความเข้มข้นของกาว											
		โซดาไฟ	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%
ไม้สด	0%	0.78	0.84	0.77	0.73	0.75	0.75	0.73	0.72	0.70	0.89	0.73	0.74
	2%	0.76	0.80	0.78	0.79	0.76	0.66	0.76	0.86	0.67	0.72	0.76	0.67
	5%	0.80	0.72	0.75	0.74	0.79	0.71	0.80	0.71	0.74	0.75	0.63	0.76
	10%	0.75	0.72	0.72	0.85	0.79	0.80	0.76	0.77	0.87	0.84	0.88	0.76
ไม้แห้ง	0%	0.88	0.77	0.71	0.85	0.85	0.86	0.82	0.82	0.82	0.78	0.88	0.82
	2%	0.74	0.88	0.86	0.66	0.75	0.76	0.80	0.68	0.80	0.77	0.71	0.77
	5%	0.88	0.86	0.73	0.72	0.83	0.85	0.74	0.70	0.75	0.80	0.70	0.74
	10%	0.83	0.89	0.90	0.83	0.82	0.74	0.79	0.74	0.79	0.72	0.97	0.89

จากผลการทดลองพบว่า ไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.63-0.97g/cm³ ซึ่งสูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ (0.67-0.74 g/cm³ ที่ความชื้น 15% (รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) โครงการพัฒนาความร่วมมือด้านอุตสาหกรรมกับประเทศเพื่อนบ้าน(ยุทธศาสตร์การพัฒนาร่วมมือ ด้านอุตสาหกรรมภายใต้กรอบโครงการพัฒนาเขตเศรษฐกิจสามฝ่าย

อินโดนีเซีย-มาเลเซีย-ไทย: IMT-GT), 2559.) โดยไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ จะมีความแน่นเฉลี่ยที่ 0.80 g/cm³ ซึ่งสูงกว่าไม้สถานะสด

จากการวิเคราะห์ทางสถิติความหนาแน่นไม้ยางพาราสถานะสดและสถานะแห้งที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ พบว่า ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองทั้ง 4 ชนิดได้แก่ สถานะของไม้ ความเข้มข้นของสารละลาย โซดาไฟ ความเข้มข้นของกาว ตลอดจนอุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน มีอิทธิพลร่วมต่อความหนาแน่นของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ (ตารางภาคผนวกที่ 4) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ไม้ยางพาราสถานะสดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ไม้สถานะแห้ง ไม้ยางพาราที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ มีผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า การแช่โซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 0% และ 10% ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และที่ความเข้มข้น 2% และ 5% ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม้ยางพาราที่แช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 0% และ 10% ให้ค่าเฉลี่ยสูงกว่าการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% และ 5% (ตารางภาคผนวกที่ 5) อีกทั้งจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนและอบร้อนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 4)

1.3 ปริมาณกาวในเนื้อไม้

ตารางที่ 6 ตารางแสดงร้อยละของปริมาณกาวแห้งต่อน้ำหนักไม้อบแห้งในเนื้อไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ (ร้อยละ, %)

ชนิดไม้	ระดับความเข้มข้นของสารละลาย	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	โซดาไฟ	100°C				180°C				200°C			
		ระดับความเข้มข้นของกาว											
		0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%
ไม้สด	0%	-	6.40	4.36	6.86	-	4.52	4.23	5.14	-	4.76	4.83	5.86
	2%	-	6.05	6.69	16.86	-	5.49	6.87	5.85	-	11.87	4.41	8.03
	5%	-	6.71	9.11	10.17	-	4.40	5.92	7.04	-	5.08	3.85	6.82
	10%	-	8.62	9.33	9.83	-	4.87	7.53	9.53	-	5.82	8.48	6.59
ไม้แห้ง	0%	-	5.94	6.09	6.31	-	5.29	5.53	6.02	-	5.15	5.63	6.05
	2%	-	6.51	7.96	8.17	-	5.42	5.20	5.55	-	4.11	5.34	5.40
	5%	-	6.12	6.99	8.45	-	6.32	6.12	6.30	-	5.04	5.97	7.04
	10%	-	8.48	9.87	10.08	-	6.65	8.01	8.67	-	5.58	7.17	9.17

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า โดยเฉลี่ยไม้ยางพาราสถานะที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟก่อนทำการอัดกาว จะมีปริมาณกาวมากกว่าไม้ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณกาวในเนื้อไม้หลังทำการอัดกาวสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของกาวที่ใช้

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สถานะของไม้ยางพาราที่ใช้ในการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟและระดับความเข้มข้นของกาวที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 6) โดยการใช้ไม้ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% , 5% และ 10% นอกจากนี้ใช้สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% และ 5% ส่งผลต่อปริมาณกาวแห้งต่อน้ำหนักไม้อบแห้งที่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กลับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเข้มข้น 10% ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณกาวสูงที่สุด (ตารางภาคผนวกที่ 7)

อีกทั้งเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติต่อระดับความเข้มข้นของกาวที่ใช้ พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 35% และ 40% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใช้ระดับความเข้มข้นของกาวที่ 35% และ 40% กลับมีความแตกต่างกว่าการใช้กาวที่ระดับความเข้มข้น 45% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 8)

1.4 ความถ่วงจำเพาะ ตามมาตรฐาน ISO

ตารางที่ 7 ตารางแสดงความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน ISO ของไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง

ชนิดไม้	ระดับความเข้มข้นของ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	สารละลายโซดาไฟ	100°C				180°C				200°C			
		ระดับความเข้มข้นของกาว											
		0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%
ไม้สด	0%	0.75	0.83	0.75	0.72	0.72	0.72	0.70	0.70	0.68	0.83	0.69	0.71
	2%	0.68	0.77	0.74	0.76	0.74	0.65	0.76	0.83	0.66	0.71	0.75	0.67
	5%	0.74	0.68	0.73	0.71	0.76	0.69	0.79	0.68	0.70	0.72	0.62	0.73
	10%	0.72	0.69	0.70	0.83	0.77	0.77	0.73	0.74	0.81	0.77	0.83	0.72
ไม้แห้ง	0%	0.87	0.76	0.69	0.84	0.90	0.86	0.80	0.77	0.81	0.75	0.88	0.79
	2%	0.71	0.85	0.84	0.63	0.75	0.80	0.78	0.66	0.79	0.74	0.72	0.78
	5%	0.85	0.82	0.73	0.70	0.76	0.81	0.70	0.71	0.76	0.78	0.71	0.74
	10%	0.82	0.87	0.88	0.78	0.83	0.78	0.77	0.74	0.74	0.71	0.87	0.83

จากตารางที่ 7 พบว่า ไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ให้ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยที่ 0.78 ซึ่งสูงกว่าไม้ยางพาราทั่วไปที่ 0.56 (ภูมิไชย์ และคณะ, 2558) และสูงกว่าค่าเฉลี่ยของไม้สถานะสด โดยไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟจะมีค่าความถ่วงจำเพาะที่ลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นสูงขึ้น แต่จะกลับมีค่าที่สูงขึ้นเมื่อใช้สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10%

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สถานะของไม้ที่ใช้ ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ระดับความเข้มข้นของกาวที่ใช้อัด ตลอดจนอุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน มีอิทธิพลร่วมต่อค่าความถ่วงจำเพาะของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ โดยชนิดไม้และระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตารางภาคผนวกที่ 9 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ 0% และ 10% ซึ่งให้ค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงที่สุด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% และ 5% ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ให้ค่าความถ่วงจำเพาะต่ำที่สุด จากตารางภาคผนวกที่ 10

2 ค่าคุณสมบัติทางกล

2.1 ค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of rupture, MOR)

ตารางที่ 8 ตารางแสดงค่าโมดูลัสแตกหักของไม้ยางพาราสถานะสดที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง (เมกะพาสคาล, MPa)

ชนิดไม้	ระดับความเข้มข้นของ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	สารละลายโซดาไฟ	100°C				180°C				200°C			
		ระดับความเข้มข้นของกาว											
		0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%
ไม้สด	0%	81.4	99.7	89.0	94.7	80.0	69.0	79.5	70.8	73.2	73.5	78.2	70.0
	2%	81.4	98.0	81.2	51.4	109.5	91.0	59.6	87.7	59.0	69.3	69.3	56.2
	5%	73.0	88.3	80.6	65.2	68.9	61.4	69.4	51.0	65.5	78.7	62.7	58.5
	10%	67.9	31.5	48.4	49.2	63.4	60.0	49.3	46.7	49.8	33.1	73.1	49.7
ไม้แห้ง	0%	98.2	97.7	99.4	87.7	75.9	101.6	56.7	82.0	89.1	75.7	93.5	90.3
	2%	74.0	96.7	85.1	72.2	97.9	73.1	76.8	46.2	72.9	65.4	70.6	71.1
	5%	57.6	82.8	73.7	70.0	54.2	61.3	72.5	64.9	85.9	60.3	38.7	64.3
	10%	63.2	73.9	55.5	61.5	39.3	45.8	31.8	56.5	38.5	28.8	58.6	73.3

จากการทดลองพบว่า ไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟจะให้ค่าโมดูลัสแตกร้าสูง กว่าไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ อีกทั้งยังพบว่า ไม้ที่ผ่านการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C โดยไม้ที่ให้ค่าโม ดูลัสแตกหักสูงสุด 101.6 MPa คือไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความ เข้มข้น 0% อัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C (ตารางที่ 8)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ไม้ทั้ง 2 สภาวะที่นำมาใช้ในการทดลองให้ค่าโมดูลัสแตกร้าที่ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟและอุณหภูมิที่ใช้ ในการอัดร้อนและอบร้อนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 11) โดยที่ผ่านการ แช่สารละลายโซดาไฟจะมีค่าโมดูลัสลดลงตามระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ใช้ อย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 12)

ไม้ยางพาราที่ผ่านการอบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ให้ค่าโมดูลัสแตกหักที่สูงกว่าการไม้ที่ผ่านการ อัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C และ 200°C อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 13) ในขณะที่ความ เข้มข้นของกาวไม่มีผลต่อค่าโมดูลัสแตกหักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.2 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity, MOE)

ตารางที่ 9 ตารางแสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง (เมกะพาสคาล, MPa)

ชนิด ไม้	ระดับความ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	เข้มข้นของ	100°C				180°C				200°C			
	สารละลาย	ระดับความเข้มข้นของกาว											
	โซดาไฟ	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%
ไม้ สด	0%	6771	9729	8740	8152	8430	7178	7294	6415	6320	7047	9553	7335
	2%	8132	8759	8112	4315	9050	7733	4829	7340	5022	8109	9960	5425
	5%	6467	8054	6765	7429	7318	5158	7502	4432	7059	7014	4065	6037
	10%	6661	4676	4446	5512	5533	6600	5052	4170	5265	3115	7727	5562
ไม้ แห้ง	0%	8394	9068	9334	8431	8257	9676	7051	8069	10094	6578	9711	7614
	2%	6823	8775	8102	5008	8435	6578	5457	3389	7132	5583	7134	7831
	5%	5771	7903	6264	6347	5815	5210	5928	4391	7460	5380	5405	7307
	10%	5567	6444	5706	5621	5387	5102	2306	3627	3251	2499	5284	7920

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ไม้ยางพาราที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟจะมีค่าโมดูลัส ยืดหยุ่นลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยสูงสุด 10094 MPa ได้แก่ไม้

ยางพาราสถานะแห้งที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ และไม่มีการอัดกาว แต่ทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C (ตารางที่ 9)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปัจจัยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ (ตารางภาคผนวกที่ 14) ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ระดับ 0% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับความเข้มข้นที่ระดับ 2%, 5% และ 10% ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ 2% และ 5% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 10% มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับสารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 0% และ 2% (ตารางภาคผนวกที่ 15) ในขณะที่ชนิดไม้ ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ระดับความเข้มข้นของกาว และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน ต่างมีอิทธิพลร่วมต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วทั้งสิ้น

2.3 แรงอัดขนานเสี้ยน (compression parallel to grain)

ตารางที่ 10 ตารางแสดงค่าแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง(เมกะพาสคาล, MPa)

ชนิดไม้	ระดับความเข้มข้นของ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	สารละลายโซดาไฟ	100°C				180°C				200°C			
		ระดับความเข้มข้นของกาว											
		0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%
ไม้สด	0%	38.62	41.47	43.15	43.87	42.07	36.29	41.60	40.23	43.17	43.70	38.44	40.87
	2%	37.33	43.22	42.18	36.12	43.36	41.85	37.88	43.11	32.80	43.03	43.29	33.47
	5%	33.10	45.03	38.95	40.80	42.27	38.74	42.13	41.96	40.54	41.60	36.02	38.16
	10%	36.98	22.93	36.57	31.51	32.95	34.35	36.03	42.40	37.60	29.56	38.39	39.41
ไม้แห้ง	0%	40.21	41.10	42.17	37.96	38.36	41.07	37.07	39.09	41.82	46.33	38.03	38.19
	2%	29.85	42.33	34.13	40.64	40.72	43.81	42.77	27.72	39.98	38.69	37.96	40.63
	5%	36.78	39.39	37.09	38.31	37.30	34.15	40.11	34.48	43.42	38.41	36.63	39.52
	10%	37.30	38.05	37.77	40.62	40.29	38.57	30.71	33.32	33.79	28.76	27.72	34.08

จากการทดลองพบว่า ไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 35% อัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C ให้ค่าแรงอัดขนานเสี้ยนเฉลี่ยสูงสุด 46.33 MPa ดังแสดงในตารางที่ 10

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สภาวะไม้ที่ใช้ทำการทดลอง ความเข้มข้นของกาว อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าแรงอัดขนานเสี้ยน (ตารางภาคผนวกที่ 16)

ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพไม้ยางพารา มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ระดับความเข้มข้น 0% 2% และ 5% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

และผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่า ไม้ยางพาราที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้นที่ระดับความเข้มข้น 10% ให้ค่าแรงอัดขนานเสี้ยนที่ต่ำกว่าไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 0% 2% และ 5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 17

2.4 แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (Compression perpendicular to grain)

ตารางที่ 11 ตารางแสดงค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง (เมกะพาสคาล, MPa)

ชนิดไม้	ระดับความเข้มข้นของ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	สารละลายโซดาไฟ	100°C				180°C				200°C			
		ระดับความเข้มข้นของกาว											
		0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%
ไม้สด	0%	12.65	11.14	13.61	13.61	17.16	10.85	9.77	11.21	15.04	16.04	12.26	12.77
	2%	16.17	12.04	13.21	7.24	13.54	18.34	16.83	18.10	17.85	17.87	15.65	15.46
	5%	18.39	13.48	12.17	18.09	17.37	16.24	13.36	19.39	12.15	11.45	17.32	13.26
	10%	12.71	11.16	14.03	11.21	15.28	10.59	8.65	12.41	12.22	11.98	9.02	12.42
ไม้แห้ง	0%	15.39	12.66	13.07	13.72	14.31	13.98	17.88	17.19	16.34	14.13	13.16	14.50
	2%	13.90	16.03	13.19	12.14	10.58	14.01	14.12	11.10	16.77	12.45	14.98	13.21
	5%	12.01	12.10	10.61	13.69	16.64	11.29	8.55	10.85	19.69	9.77	6.12	8.03
	10%	9.42	10.49	7.54	16.97	11.17	5.99	8.36	8.31	14.02	10.29	12.74	11.67

จากการทดลองพบว่า ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนที่สูงกว่าไม้ยางพาราสภาวะแห้ง โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟและความเข้มข้นของกาว

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สภาวะของไม้ ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ระดับความเข้มข้นของกาว และอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อน ที่ใช้ในการทดลองมีอิทธิพลร่วมต่อค่าแรงอัดตั้งฉาก

เปลี่ยนของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ นอกจากนี้ยังพบว่า สภาวะของไม้ ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟและระดับความเข้มข้นของกาวที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 18)

โดยระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ให้ค่าเฉลี่ยของแรงอัดตั้งฉากเปลี่ยนสูงที่สุด คือ 0% และ 2% ซึ่งทั้งสองระดับความเข้มข้นนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 0% และ 5% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการใช้สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ (ตารางภาคผนวกที่ 19)

เช่นเดียวกับการไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการอัดกาวซึ่งจะให้ค่าแรงอัดตั้งฉากเปลี่ยนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับไม้ยางพาราที่ผ่านการอัดกาวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ อีกทั้งยังพบว่าระดับความเข้มข้นของกาวที่ใช้ ได้แก่ 35% 40% และ 45% ให้ค่าแรงอัดตั้งฉากเปลี่ยนที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 20)

2.5 แรงเฉือน (Shear)

ตารางที่ 12 ตารางแสดงค่าแรงเฉือนของไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง (เมกะพาสคาล, MPa)

ชนิดไม้	ระดับความเข้มข้นของ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	สารละลายโซดาไฟ	100°C				180°C				200°C			
		ระดับความเข้มข้นของกาว											
		0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%
ไม้สด	0%	15.52	12.44	11.40	16.15	16.06	15.11	16.25	14.84	17.16	13.81	15.45	14.03
	2%	15.67	16.54	10.28	15.61	16.58	14.03	13.30	16.74	15.35	13.11	14.41	12.99
	5%	15.68	12.67	13.34	14.25	16.74	14.02	13.72	15.46	15.09	15.42	16.65	16.05
	10%	15.26	15.89	14.88	15.12	17.13	17.41	16.02	15.43	13.51	14.32	14.92	16.01
ไม้แห้ง	0%	12.82	16.04	15.41	15.12	14.32	15.35	14.57	15.17	14.92	12.79	14.80	13.53
	2%	16.57	12.99	14.30	17.23	12.08	15.24	12.75	14.24	16.47	16.82	13.42	12.69
	5%	15.03	16.07	17.04	13.59	19.49	16.58	15.32	14.38	15.93	15.37	15.57	16.73
	10%	15.57	16.45	18.22	16.53	17.36	15.86	17.23	16.79	19.93	15.49	17.54	15.85

ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าแรงเฉือนที่ต่ำกว่าไม้ยางพาราสภาวะแห้ง อีกทั้งจากการทดลองพบว่า ค่าแรงเฉือนของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีค่าสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยไม้ที่ให้ค่าแรงเฉือนเฉลี่ยสูงที่สุด 19.93 MPa เป็นไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่

ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% ไม่ผ่านการอัดการ และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สภาวะไม้ที่ใช้ ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ระดับความเข้มข้นของกาวและอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนที่ใช้ มีอิทธิพลร่วมต่อค่าแรงเฉือนในไม้อย่างพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ไม้อย่างพาราสภาวะสดให้ค่าแรงเฉือนสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่าแรงเฉือนจากไม้อย่างพาราสภาวะแห้ง (ตารางภาคผนวกที่ 21)

การใช้สารละลายโซดาไฟที่ระดับต่าง ๆ ในการปรับปรุงคุณภาพไม้อย่างพารามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไม้ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟและแช่โซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% และ 10% อีกทั้งการใช้สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้ความเข้มข้นที่ระดับ 10% (ตารางภาคผนวกที่ 22)

สำหรับการใช้กาวที่ระดับความเข้มข้น 0% และ 45% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับการใช้กาวที่ระดับความเข้มข้น 35% 40% และ 45% ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 23)

2.6 ความแข็ง (Hardness)

ตารางที่ 13 ตารางแสดงค่าความแข็งของไม้อย่างพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง (นิวตัน, N)

ชนิดไม้	ระดับความเข้มข้นของ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	สารละลายโซดาไฟ	100°C				180°C				200°C			
		ระดับความเข้มข้นของกาว											
		0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%
ไม้สด	0%	5925	5183	6126	6760	6049	6935	5242	7384	6773	6598	5178	5405
	2%	6483	5856	5694	6301	6868	4957	6911	5730	6099	7102	4743	5359
	5%	6033	6822	5376	5902	6773	5106	6263	5358	5564	6551	6222	6863
	10%	6252	5278	6414	5181	7584	5304	5771	6602	5201	4464	5523	5011
ไม้แห้ง	0%	6338	5368	4787	6044	4702	5168	5897	4490	5299	6780	5980	5953
	2%	7092	6605	5227	6525	6371	5018	6720	7612	5927	5667	6687	5590
	5%	5547	5582	6855	6103	6418	4286	4485	4926	6161	4774	5413	4794
	10%	4892	5828	5374	5634	5493	4609	4751	4975	3560	4642	4581	4220

จากผลการทดลองพบว่า ไม้ยางพาราสถานะสดให้ค่าความแข็งแรงสูงกว่าไม้ยางพาราสถานะแห้ง และค่าความแข็งแรงของไม้ยางพาราที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลาย ตารางที่ 13

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สถานะของไม้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ระดับความเข้มข้นของกาวที่ใช้ และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน ล้วนมีอิทธิพลร่วมกับค่าความแข็งแรงของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ (ตารางภาคผนวกที่ 24) โดยสถานะไม้ที่ใช้ในการทดลองทั้ง 2 สถานะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตลอดจนระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพไม้ยางพารา มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ความเข้มข้นระดับ 0% และ 2% นั้นมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับความเข้มข้นระดับ 5% และ 10% ที่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การใช้สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% กลับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ทำให้ค่าความแข็งแรงต่ำที่สุด 3560 N (ตารางภาคผนวกที่ 25) สำหรับระดับความเข้มข้นและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

2.7 ค่าแรงฉีก (Cleavage)

ตารางที่ 14 ตารางแสดงค่าแรงฉีกของไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง (นิวตัน, N)

ชนิดไม้	ระดับความเข้มข้นของ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	สารละลาย	100°C				180°C				200°C			
		ระดับความเข้มข้นของกาว											
		โซดาไฟ	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%
ไม้สด	0%	1.21	2.22	4.84	3.69	6.89	2.20	3.09	0.61	2.66	2.91	3.66	2.92
	2%	2.80	0.95	4.52	1.16	4.85	3.86	7.95	1.15	3.92	9.58	7.58	5.89
	5%	1.17	2.70	3.90	2.53	5.98	3.15	6.63	9.92	6.14	5.73	4.02	1.61
	10%	1.86	3.65	4.21	1.88	1.69	0.57	2.46	2.27	2.87	5.11	1.32	4.72
ไม้แห้ง	0%	1.93	1.55	1.83	3.51	1.85	2.00	2.34	0.95	3.61	2.19	3.94	0.98
	2%	4.72	3.07	1.31	3.25	0.61	0.78	5.44	0.83	1.78	0.96	2.38	0.64
	5%	2.50	1.64	2.55	4.99	1.45	1.61	1.62	1.50	1.44	1.87	1.13	1.91
	10%	3.44	2.68	1.97	6.81	1.75	3.13	2.25	6.39	3.34	0.51	1.93	2.94

จากตารางที่ 14 เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าแรงฉีกจากไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพพบว่าไม้ที่ผ่านการปรับปรุงให้ค่าแรงฉีกเฉลี่ยที่ 3.03 N ซึ่งสูงกว่าไม้ยางพาราทั่วไป ที่ 0.64 N (ภูมิไชยและคณะ, 2558) จากตารางภาคผนวกที่ 26 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่า สภาวะของไม้ที่ใช้ในการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าแรงฉีกเฉลี่ยที่สูงกว่าไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ในขณะที่ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ระดับความเข้มข้นของกาว ตลอดจนอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อน ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.8 การพองตัวทางด้านรัศมี (Swelling in radial direction) ตามมาตรฐาน ISO 4856

ตารางที่ 15 ตารางแสดงค่าร้อยละการพองตัวด้านรัศมีของไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง (ร้อยละ, %)

ชนิดไม้	ระดับความเข้มข้นของ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	สารละลายโซดาไฟ	100°C				180°C				200°C			
		ระดับความเข้มข้นของกาว											
		0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%
ไม้สด	0%	3.25	3.75	2.89	3.51	2.50	2.36	2.63	2.63	2.23	1.70	1.85	2.53
	2%	2.75	3.32	2.03	2.55	3.01	2.95	2.29	2.77	3.06	2.92	3.04	2.72
	5%	2.54	2.70	2.65	2.78	3.05	3.02	3.52	2.93	2.85	3.19	3.46	3.45
	10%	2.71	3.49	3.53	3.37	2.91	3.70	3.05	2.79	3.73	3.81	3.96	4.10
ไม้แห้ง	0%	3.00	3.28	2.80	2.94	2.91	2.83	3.39	3.03	3.57	2.84	3.38	3.27
	2%	3.26	3.32	3.13	3.92	4.30	3.83	4.37	3.89	4.13	4.47	3.74	2.90
	5%	3.72	4.08	3.46	4.30	6.94	3.69	3.45	2.97	3.26	4.42	3.87	3.64
	10%	3.48	4.20	5.63	3.53	4.10	4.51	3.69	3.78	3.58	4.38	4.07	4.02

ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าการพองตัวเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.70-4.10% โดยไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% จะให้ค่าการพองตัวเฉลี่ยที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 15 พบว่าไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟให้ค่าการพองตัวด้านรัศมีที่ต่ำที่สุด ในขณะที่ไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ให้ค่าการพองตัวด้านรัศมีที่ใกล้เคียงกัน โดยไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าการพองตัวด้านรัศมีอยู่ระหว่าง 2.80-6.94%

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สภาวะของไม้และระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งในไม้ยางพาราสภาวะสดจะให้ค่าเฉลี่ยของการพองตัวด้าน

รัศมีที่ต่ำกว่าการใช้ไม้สภาวะแห้งในการปรับปรุงคุณภาพ (ตารางภาคผนวกที่ 27) อีกทั้งยังพบว่า การใช้สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% และ 5% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับการใช้สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% และ 2% พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ไม้ยางพาราที่ปรับปรุงคุณภาพโดยไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟให้ค่าการพองตัวด้านรัศมีที่ต่ำที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 28

2.9 การพองตัวทางด้านสัมผัส (Swelling in tangential direction) ตามมาตรฐาน ISO 4856

ตารางที่ 16 ตารางแสดงค่าร้อยละการพองตัวด้านสัมผัสของไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง (%)

ชนิดไม้	ระดับความ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	เข้มข้นของ	100°C				180°C				200°C			
	สารละลาย	ระดับความเข้มข้นของกาว											
		โซดาไฟ	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%
ไม้สด	0%	7.15	8.64	7.91	7.04	6.03	5.16	4.95	6.09	5.12	5.20	4.30	5.25
	2%	4.43	4.65	5.11	5.23	4.53	3.69	4.56	3.91	4.69	4.69	4.54	4.79
	5%	5.51	5.31	5.10	5.52	5.18	4.75	5.04	5.22	4.62	4.59	4.45	5.11
	10%	4.70	5.55	5.01	4.79	4.45	5.21	4.75	4.94	5.30	4.96	5.07	4.54
ไม้แห้ง	0%	4.74	5.24	4.59	4.68	4.40	5.35	4.29	4.96	4.83	4.60	4.78	4.91
	2%	4.87	4.98	4.25	4.69	3.99	4.26	5.15	5.06	4.91	4.54	4.34	4.19
	5%	4.44	4.58	4.63	4.39	4.04	4.19	4.40	4.26	4.58	4.40	4.27	3.61
	10%	4.60	4.94	4.93	4.02	5.19	4.40	4.30	3.04	3.96	4.58	4.59	4.71

ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีค่าการพองตัวด้านสัมผัสอยู่ระหว่าง 3.69-8.64% ไม้ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟให้ค่าการพองตัวด้านสัมผัสสูงกว่าไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ อีกทั้งไม้ที่ผ่านการอบร้อนที่ 100°C จะให้ค่าการพองตัวด้านสัมผัสที่สูงกว่าไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการอัดร้อนที่ 180°C และ 200°C สำหรับไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟให้ค่าการพองตัวด้านสัมผัสที่ใกล้เคียงกัน ประมาณ 4.32-4.60% สำหรับไม้ยางพาราสภาวะสดที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟให้ค่าการพองตัวด้านสัมผัสสูงสุดเมื่อเทียบกับไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ ดังแสดงในตารางที่ 16

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าการพองตัวด้านสัมผัสของไม้ยางพาราสภาวะสดและสภาวะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไม้สภาวะแห้งให้ค่าการพองตัวด้านสัมผัสที่ต่ำกว่า (ตารางภาคผนวกที่ 29) และความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ใช้ในการทดลองที่

ระดับ 0% ซึ่งเป็นระดับที่ให้ค่าการพองตัวด้านสัมผัสสูงที่สุด มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการใช้สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% 5% และ 10% (ตารางภาคผนวกที่ 30) อีกทั้ง เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติยังพบว่า ไม้ยางพาราที่ผ่านการอบร้อน 100°C มีค่าการพองตัวด้านความหนาสูงกว่าการอัดร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ค่าการพองตัวด้านสัมผัสของไม้ยางพาราที่ผ่านการอัดร้อนที่ 180°C และ 200°C ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 31)

2.10 การพองตัวตามความหนา (Thickness swelling) ตามมาตรฐาน EN 317

ตารางที่ 17 ตารางแสดงค่าร้อยละการพองตัวตามความหนาของไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง

ชนิดไม้	ระดับความเข้มข้นของ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	สารละลาย	100°C				180°C				200°C			
		ระดับความเข้มข้นของกาว											
		โซดาไฟ	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%
ไม้สด	0%	0.96	0.44	0.85	0.59	3.04	1.57	2.32	3.56	4.42	7.74	7.16	3.66
	2%	1.45	1.24	0.61	0.36	7.01	4.40	1.59	7.46	3.80	5.96	5.09	2.64
	5%	0.67	0.83	0.64	0.79	4.90	2.01	2.53	2.65	2.22	3.09	1.26	2.35
	10%	0.62	0.79	0.36	0.64	2.45	1.52	0.98	2.60	5.30	2.65	6.20	3.44
ไม้แห้ง	0%	0.91	0.39	0.47	0.33	7.28	5.21	1.33	10.67	13.16	4.79	7.06	10.84
	2%	1.59	1.66	0.43	0.87	8.58	5.88	5.04	3.34	4.35	6.22	4.49	4.67
	5%	0.96	0.90	0.83	0.50	6.04	2.67	3.34	2.05	4.59	2.37	4.33	8.86
	10%	0.60	0.76	0.02	1.16	0.77	2.88	3.21	3.97	2.28	0.61	5.57	1.50

ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% และ 10% ให้ค่าการพองตัวตามความหนาที่ต่ำกว่าไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ อีกทั้งยังพบว่า ไม้ที่ผ่านการอบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ให้ค่าการพองตัวตามความหนาที่ต่ำกว่าไม้ที่ผ่านการอัดร้อนเป็นอย่างมาก เช่นเดียวกับค่าการพองตัวตามความหนาของไม้ยางพาราสภาวะสด ค่าการพองตัวตามความหนาของไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการอบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ต่ำกว่าไม้ที่ผ่านการอัดร้อนในทุกสภาวะการทดลอง อีกทั้งค่าการพองตัวตามความหนาจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ใช้ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 17

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าการพองตัวตามความหนาของไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงมีค่าต่ำกว่าค่าการพองตัวตามความหนาของไม้ยางพาราสภาวะแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 32) อีกทั้งพบว่า ไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟและไม้ที่ผ่านการแช่สารละลาย

โซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และการใช้สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% และ 10% ให้ค่าการพองตัวตามความหนาที่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 33) และพบว่าระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อนนั้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ค่าการพองตัวตามความหนาจะมีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น (ตารางภาคผนวกที่ 34)

2.11 การยึดเหนี่ยวของตะปูควง (screw holding)

ตารางที่ 18 ตารางแสดงค่าการยึดเหนี่ยวของตะปูควงของไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุง

ชนิดไม้	ระดับ	อุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน											
	ความ	100°C				180°C				200°C			
	เข้มข้น	ระดับความเข้มข้นของกาว											
	ของ												
	สารละลายโซดาไฟ	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%	0%	35%	40%	45%
ไม้สด	0%	208.2	183.1	215.8	248.2	245.5	208.4	190.5	192.6	197.0	186.5	177.3	178.7
		2	7	9	2	6	4	6	7	0	6	3	8
	2%	166.2	196.4	190.0	221.3	196.1	184.2	185.3	169.4	200.4	169.4	193.8	172.3
		2	4	0	3	1	2	3	4	4	4	9	3
	5%	186.7	159.7	143.6	212.1	216.2	173.1	197.6	192.7	172.4	172.1	178.4	168.5
		8	8	7	1	2	1	7	8	4	1	4	6
	10%	213.1	192.3	271.6	149.6	214.4	179.1	171.3	178.4	151.3	167.6	146.3	262.4
		7	3	7	7	4	1	3	4	3	7	3	4
ไม้แห้ง	0%	173.0	145.6	163.4	148.7	200.0	170.8	157.8	181.4	180.6	179.6	204.0	140.6
		0	7	4	8	0	9	9	4	7	7	0	7
	2%	159.7	181.8	162.8	162.1	177.4	135.7	189.2	167.2	155.1	175.2	161.8	188.8
		8	9	9	1	4	8	2	2	1	2	9	9
	5%	139.3	145.8	126.7	140.3	152.6	172.4	173.2	203.4	168.0	142.4	151.5	165.3
		3	9	8	3	7	4	2	4	0	4	6	3
	10%	144.7	156.3	171.0	149.1	160.5	161.5	146.5	169.1	141.8	166.4	147.7	156.8
		8	3	0	1	6	6	6	1	9	4	8	9

ไม้ยางพาราสถานะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าการยึดเหนี่ยวตะปูควงเฉลี่ย 190.61 kg ซึ่งสูงกว่าการใช้ไม้ยางพาราสถานะแห้ง จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟเพิ่มขึ้น ค่าการยึดเหนี่ยวตะปูควงเฉลี่ยของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจะมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในตารางที่ 18

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สถานะของไม้และระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟมีผลต่อค่าการยึดเหนี่ยวของตะปูควงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางภาคผนวกที่ 35) โดยไม้ยางพาราสถานะสดที่ผ่าน

การปรับปรุงคุณภาพจะให้ค่าที่สูงกว่าไม่ยางพาราสถานะแห้ง อีกทั้งการใช้สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 0% และ 2% ซึ่งให้ค่าการยืดเหนียวของตะปูคงที่สูงกว่าการใช้สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้นระดับอื่น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ 2% 5% และ 10% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางภาคผนวกที่ 36)

3 การปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde emission)

3.1 การทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 1460 (2003)

ผลการทดสอบการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ในชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการอบร้อน 100 °C และอัดร้อน 200 °C ที่ผ่านการอัดกาวที่มีความเข้มข้น 45 % พบว่า มีการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ 0.12 และ 0.13 mg/l ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านมาตรฐาน Super E0

3.2 การทดสอบตามมาตรฐาน EN 120 : 1992

ผลการทดสอบปริมาณการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ ตามมาตรฐาน EN 120 : 1992 โดยทำการสุ่มไม้ตัวอย่างที่ผ่านการอัดกาวที่ความเข้มข้น 45 % ซึ่งเป็นปริมาณความเข้มข้นของกาวที่สูงที่สุด ที่ไม่ผ่านการแช่ต่างและผ่านการแช่ต่างที่ความเข้มข้น 10 % ทั้งชนิดที่ทำการอบร้อน 100°C และอัดร้อน 200°C ให้ค่าการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ 1.67 0.10 0.56 และ 0.17 mg/l ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านมาตรฐาน Super E0 ตามมาตรฐานการทดสอบ EN : 120

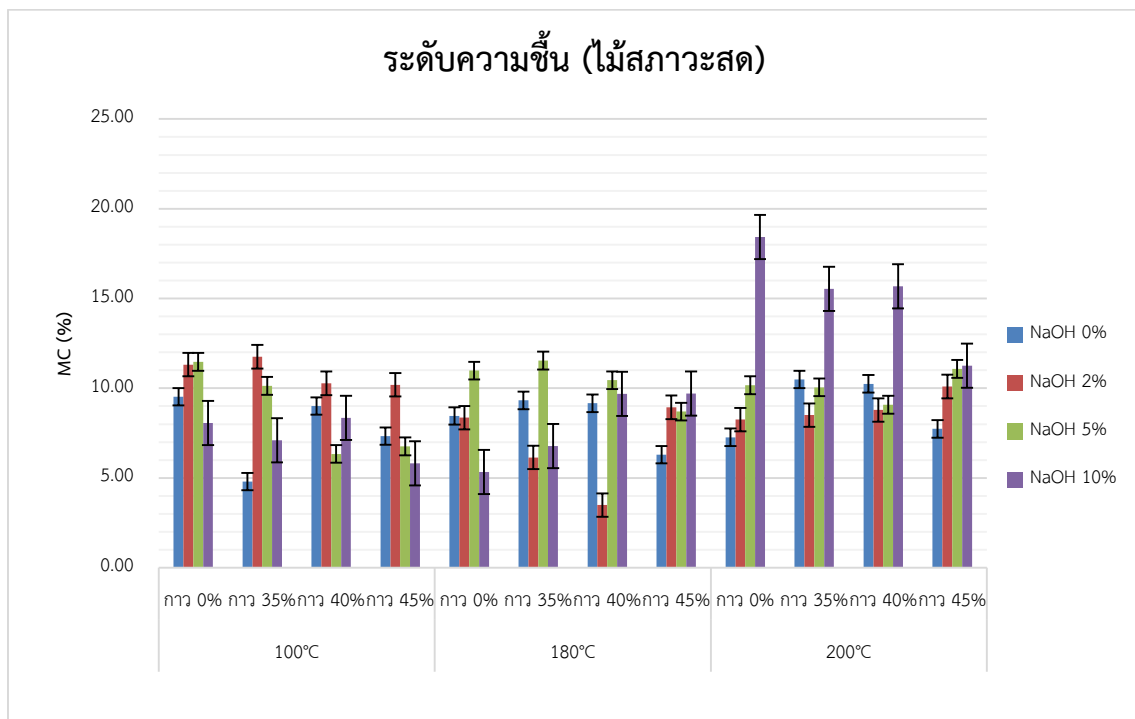
สรุป

1. คุณสมบัติทางฟิสิกส์

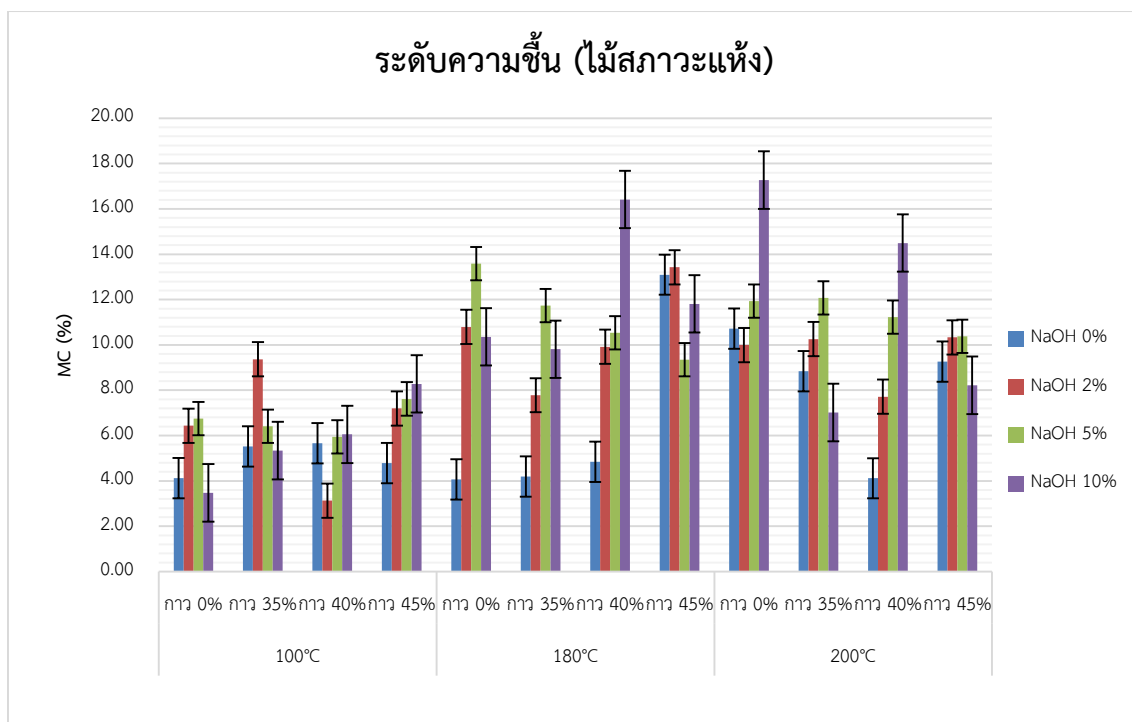
1.1 ระดับความชื้นในเนื้อไม้

จากการทดลองพบว่า ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟและระดับอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนที่ใช้ มีอิทธิพลต่อระดับความชื้นของไม้ยางพาราหลังการปรับปรุง โดยระดับความชื้นที่แนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟและอุณหภูมิที่ใช้สูงขึ้น

ไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีความชื้นเฉลี่ย 9.02% โดยสภาวะที่มีระดับความชื้นต่ำที่สุดคือ ไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% อัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 40% และทำการอบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ให้ความชื้น 3.13% (ดังแสดงในภาพที่ 26 และ 27)



ภาพที่ 26 กราฟแสดงระดับความชื้นในเนื้อไม้ยางพารา (สภาวะสด) ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

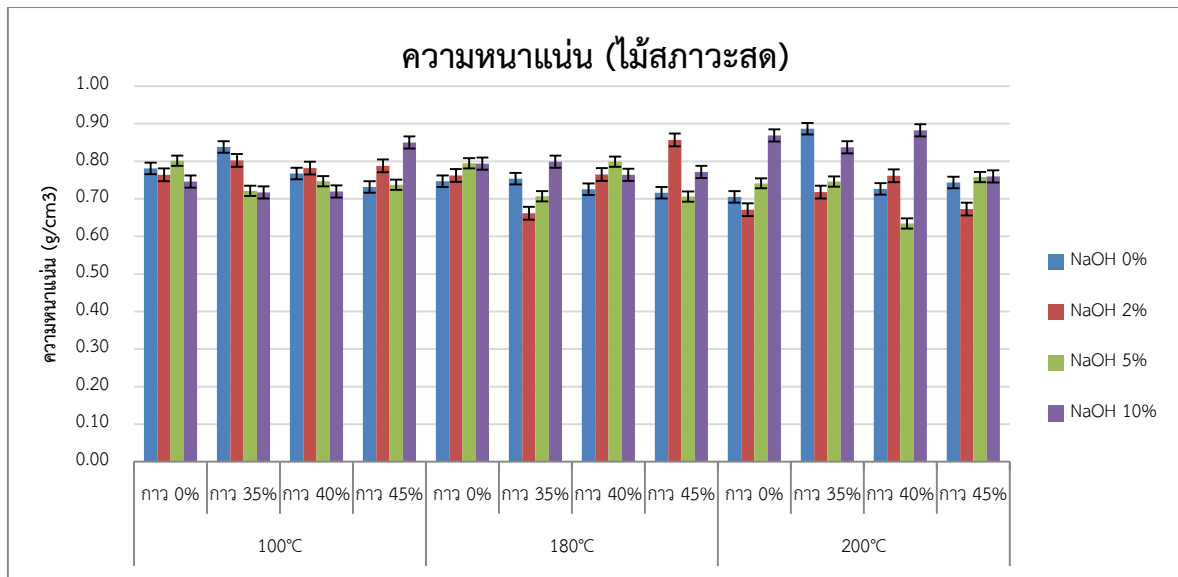


ภาพที่ 27 กราฟแสดงระดับความชื้นในเนื้อไม้ยางพารา (สภาวะแห้ง) ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

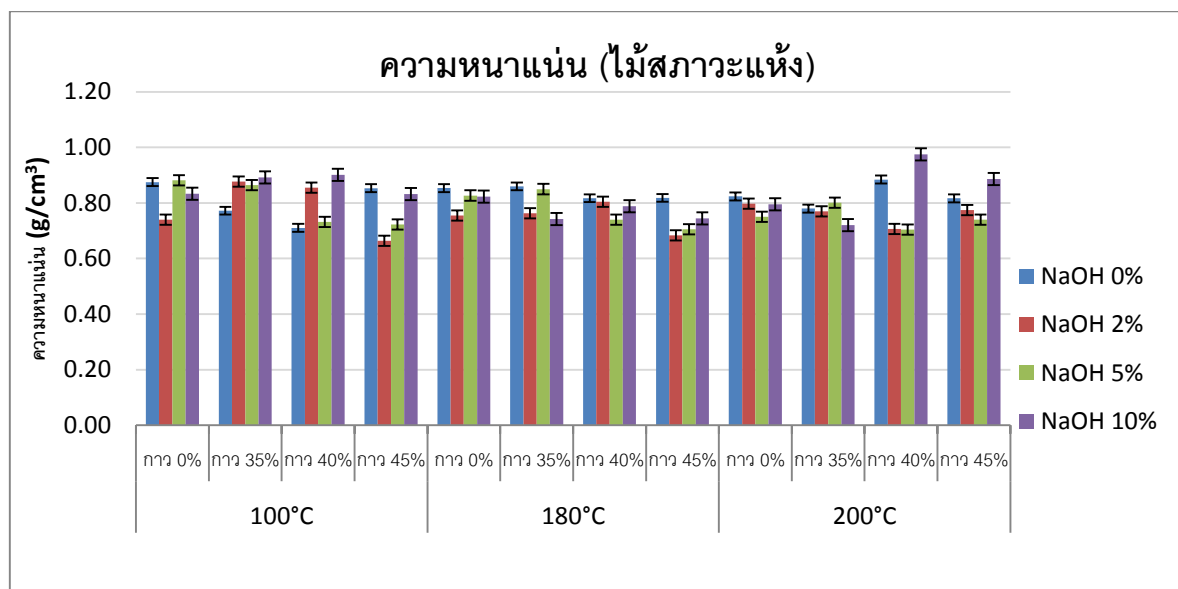
1.2 ความหนาแน่น

จากผลการทดลองพบว่าไม้สภาวะสดจะให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยที่สูงกว่าไม้ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากไม้สภาวะแห้ง อีกทั้งไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 0% และ 10% จะให้ค่าความหนาแน่นที่สูงกว่าไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้นอื่น

พบว่า ไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% อัดกาวที่ความเข้มข้น 40% และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C ให้ค่าความหนาแน่นสูงที่สุดที่ 0.97 g/cm³ รองลงมาเป็นไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% อัดกาวที่ความเข้มข้น 40% อบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ให้ค่าความหนาแน่น 0.90 g/cm³ (ดังแสดงในภาพที่ 28 และ 29)



ภาพที่ 28 กราฟแสดงความหนาแน่นของไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

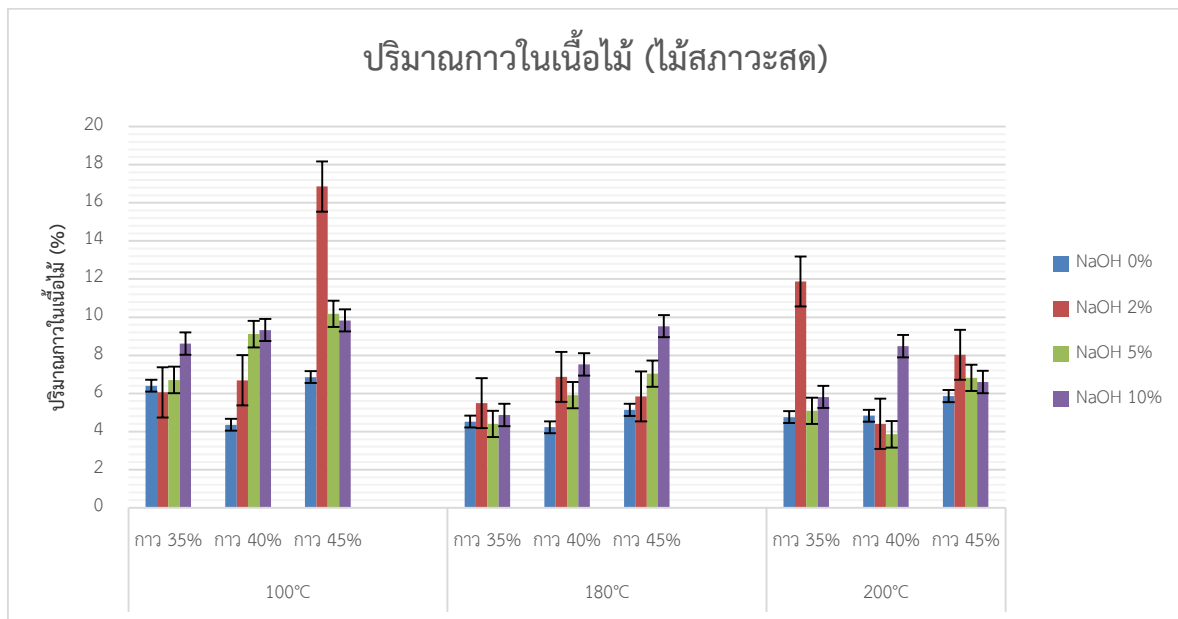


ภาพที่ 29 กราฟแสดงความหนาแน่นของไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

1.3 ปริมาณกาวในเนื้อไม้

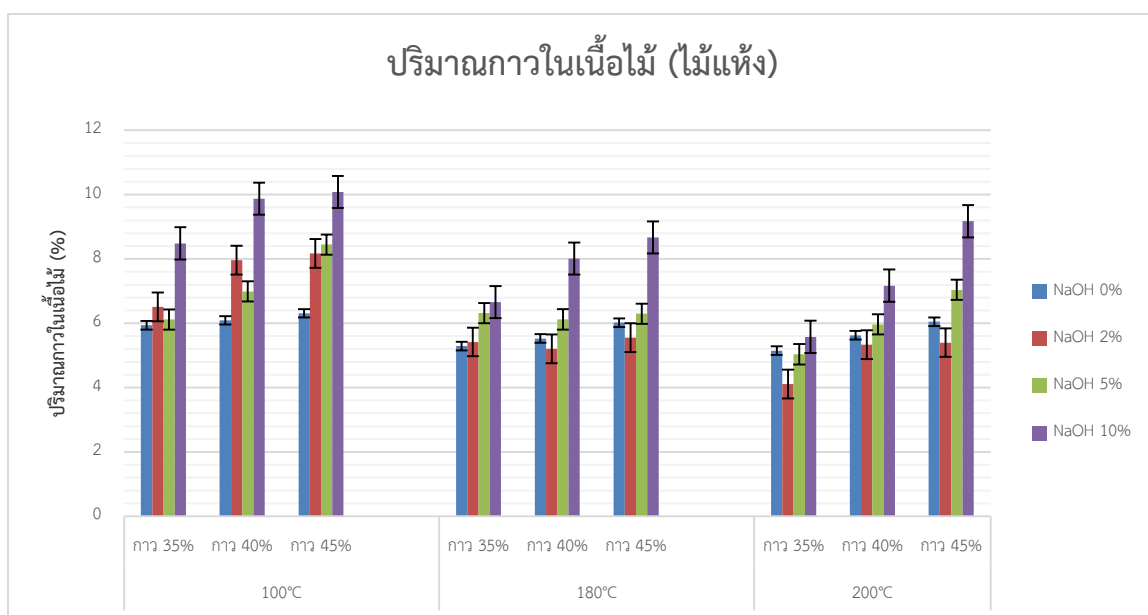
จากภาพที่ 30 พบว่าปริมาณกาวในเนื้อไม้เฉลี่ยเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซดาที่ใช้สูงขึ้น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นของกาวที่ใช้ สภาวะที่ให้ปริมาณกาวในเนื้อไม้สูงสุดได้แก่ ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% อัตราความเข้มข้น 45% และทำการอบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C มีปริมาณกาว 16.86% อันดับรองลงมาได้แก่ ไม้ที่

ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% อัดกาวที่ความเข้มข้น 35% และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C มีปริมาณกาว 11.87%



ภาพที่ 30 กราฟแสดงปริมาณร้อยละของกาวในเนื้อไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

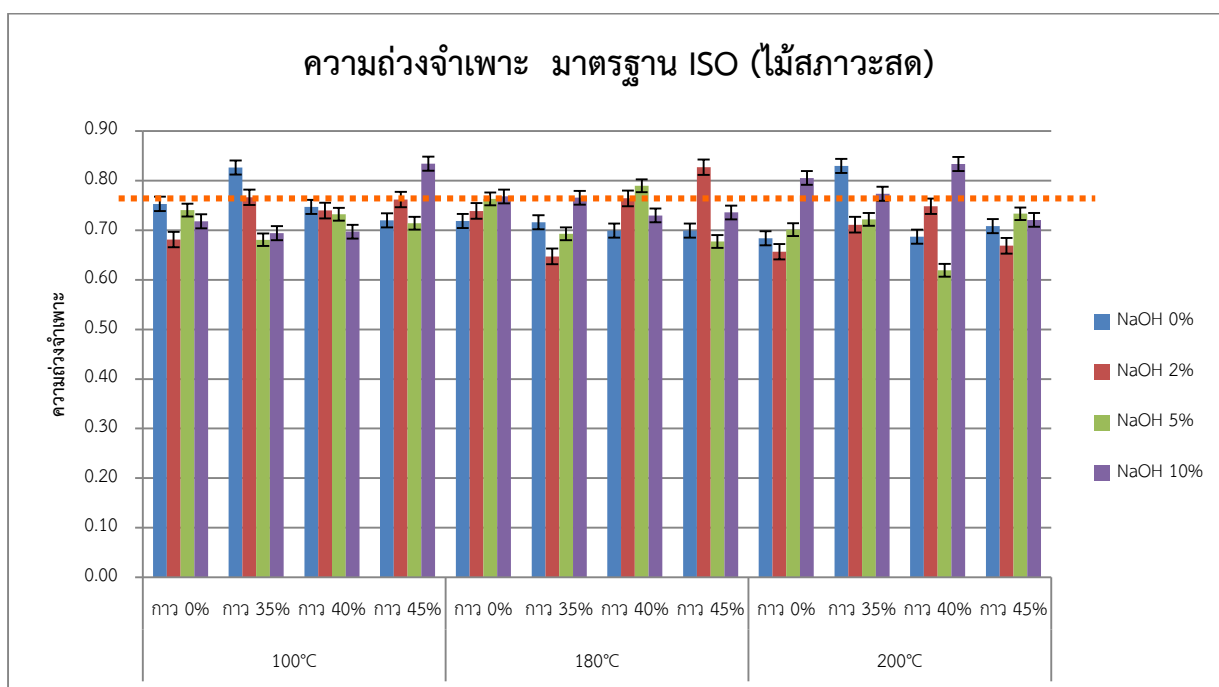
ในไม้ยางพาราสภาวะแห้ง ปริมาณกาวในเนื้อไม้เพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟและระดับความเข้มข้นของกาวที่ใช้ โดยพบว่า ไม้ที่ผ่านการอบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C จะมีปริมาณกาวในเนื้อไม้ที่สูงกว่าไม้ที่ผ่านการอัดร้อน ดังแสดงในภาพที่ 31



ภาพที่ 31 กราฟแสดงปริมาณร้อยละของกาวในเนื้อไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

1.4 ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

จากภาพที่ 32 แสดงให้เห็นว่าไม้ยางพาราสถานะสดที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ ที่ 0.56 (กุ่มิไซย์ และคณะ, 2558) สถานะที่ทำให้ไม้ยางพารามีความถ่วงจำเพาะสูงที่สุดที่ 0.83 ได้แก่ ไม้ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 35% อบร้อนที่ 100°C ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 10% อัดกาวที่ความเข้มข้น 45% อบร้อนที่ 100°C ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 2% อัดกาวที่ความเข้มข้น 45% อัดร้อนที่ 180°C ไม้ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ อัดกาวที่ความเข้มข้น 35% อัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C และไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 10% อัดกาวที่ความเข้มข้น 40% อัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C

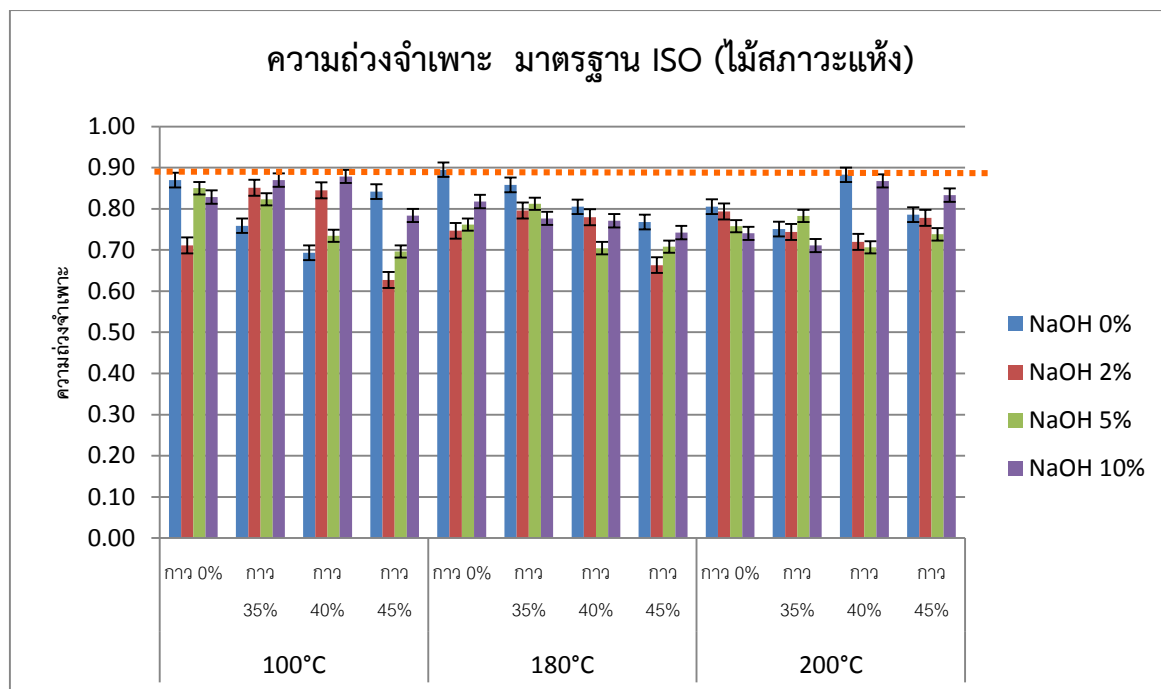


ภาพที่ 32 กราฟแสดงความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน ISO ของไม้ยางพาราสถานะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

หมายเหตุ แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของไม้ยางพาราสถานะควบคุม

จากการทดลองพบว่า ไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพในทุกสถานะการทดลอง สถานะในการทดลองที่ให้ค่าความถ่วงจำเพาะสูงที่สุดเป็นไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ ไม่ผ่านการอัดกาว ทำการอัดร้อนที่

อุณหภูมิ 180°C ให้ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.90 โดยการใช้ไม้ยางพาราสถานะแห้งให้ความความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยที่สูงกว่าไม้ยางพาราสถานะสด ดังแสดงในตารางที่ 32



ภาพที่ 33 กราฟแสดงค่าความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน ISO ของไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

หมายเหตุ แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของไม้ยางพาราสถานะควบคุม

2 ค่าคุณสมบัติทางกล

ค่าคุณสมบัติทางกลถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของไม้ เนื่องจากบ่งบอกถึงความคงทน ความสามารถในการรับแรง ความสามารถในการนำไม้ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เป็นต้น และเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับและไม้ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ผู้วิจัยจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยของ ภูมิไชย์และคณะ (2558) เพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติต่างๆของไม้ที่ผ่านการปรับปรุงกับไม้ที่ไม่ผ่านการปรับปรุง ดังแสดงในตารางที่ 19

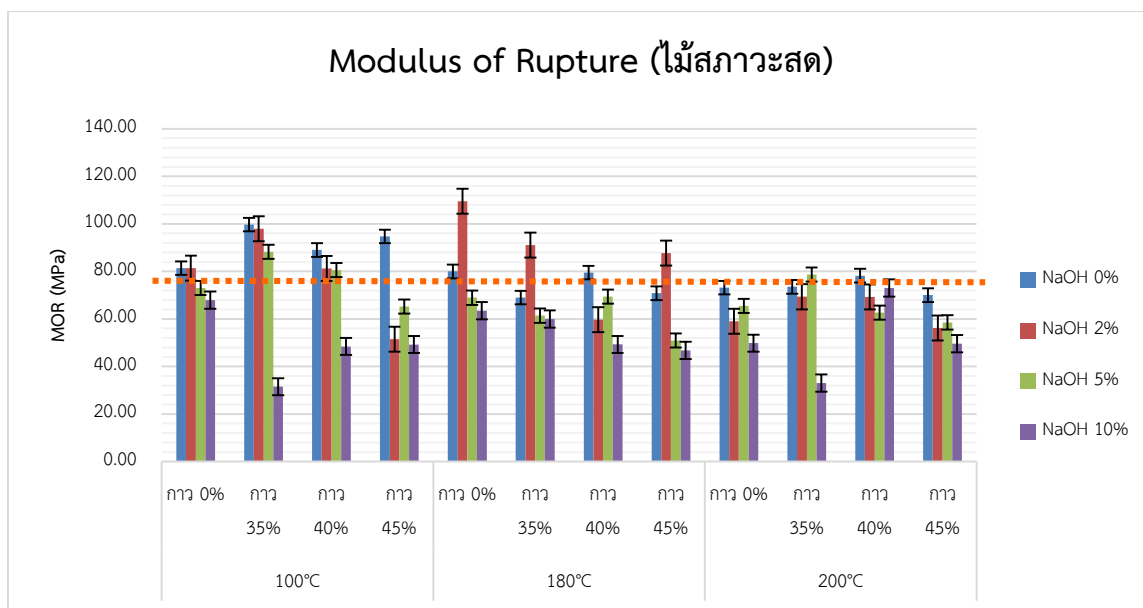
ตารางที่ 19 คุณสมบัติทางกลของไม้ยางพารา

คุณสมบัติเชิงกล		
ค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of rupture, MOR)	86.99	MPa
ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity, MOE)	8,273.20	MPa
ค่าแรงอัดขนานเส้น (compression parallel to grain)	44.35	MPa
ค่าแรงอัดตั้งฉากเส้น (compression perpendicular to grain)	19.92	MPa
ค่าแรงเฉือน (shear)	17.28	MPa
ค่าความแข็ง (Hardness)	6,016.92	N
ค่าแรงฉีก (Cleavage)	0.64	N

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก ภูมิไชย์ และคณะ (2558)

2.1 ค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of rupture, MOR)

จากภาพที่ 34 แสดงให้เห็นว่าไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 2% โดยไม่ผ่านการอัดกาว และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C ให้ค่าโมดูลัสแตกหักที่สูงที่สุด คือ 109.5 MPa นอกจากนี้ไม้ยางพาราสถานะสดที่ให้ค่าโมดูลัสแตกหักที่สูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่ 86.99 MPa (ตารางที่ 19) ได้แก่ ไม้ยางพาราสถานะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 0%, 2% และ 5% ทำการอัดกาวด้วยความเข้มข้น 35% ทำการอบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ไม้ยางพาราที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 0% อัดกาวด้วยความเข้มข้น 40% และ 45% อบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C รวมไปถึงไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% อัดกาวที่ความเข้มข้น 0%, 35% และ 45% ทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C ไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ อัดกาวที่ความเข้มข้น 35% ทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C (101.60 MPa)

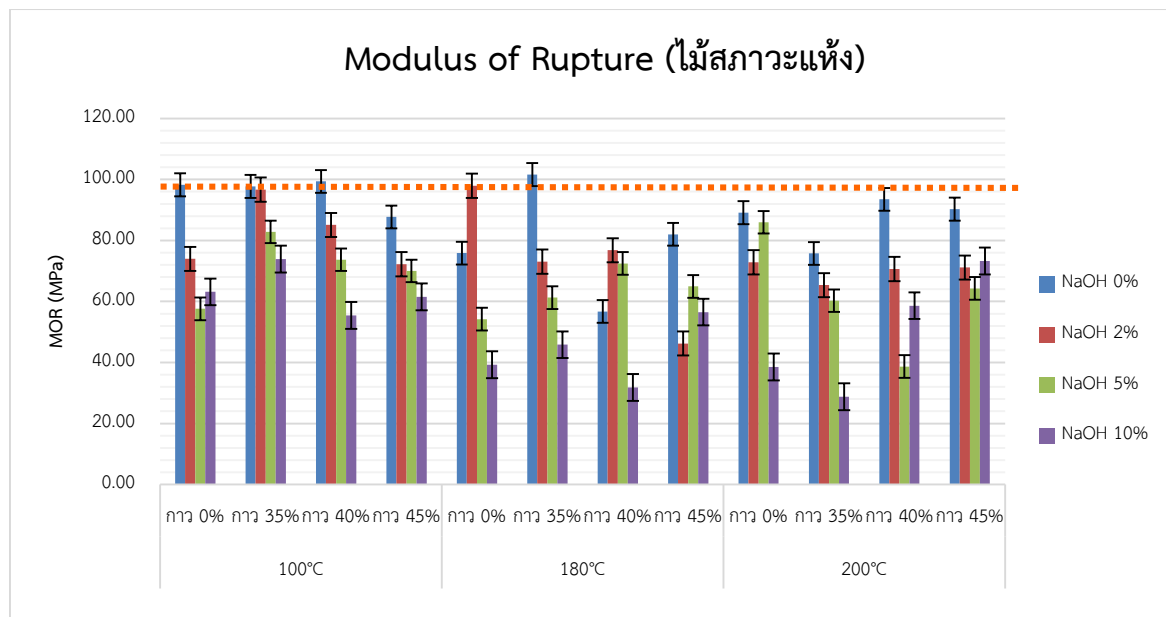


ภาพที่ 34 กราฟแสดงค่าโมดูลัสแตกหัก (MOR) ของไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

หมายเหตุ แสดงค่าโมดูลัสแตกหัก (MOR) ของไม้ยางพาราสภาวะควบคุม

นอกจากนี้ไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่ให้ค่าโมดูลัสแตกหักสูงกว่าไม้ยางพาราทั่วไป (ภาพที่ 35) ได้แก่ ไม้ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ อัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 0%, 35%, 40% และ 45% อบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% ไม่ผ่านการอัดกาว อัดร้อนที่ 180°C ไม้ที่ไม่ผ่านการแช่โซดาไฟ อัดกาวที่ความเข้มข้น 35% ไม้ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ อัดกาวที่ความเข้มข้น 0%, 40% และ 45% สภาวะที่ให้ค่าโมดูลัสแตกหักที่ต่ำที่สุดคือไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 10% อัดกาวที่ความเข้มข้น 35% จากนั้นทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าโมดูลัสแตกหักเฉลี่ยมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ อีกทั้งไม้ที่ผ่านการอบร้อนที่ 100°C จะให้ค่าโมดูลัสแตกหักสูงกว่าการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C และ 200°C โดยค่าโมดูลัสแตกหักที่สูงที่สุดได้จากไม้ยางพาราสภาวะสด ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% ไม่ผ่านการอัดกาว จากนั้นทำการอบร้อนที่อุณหภูมิ 180°C

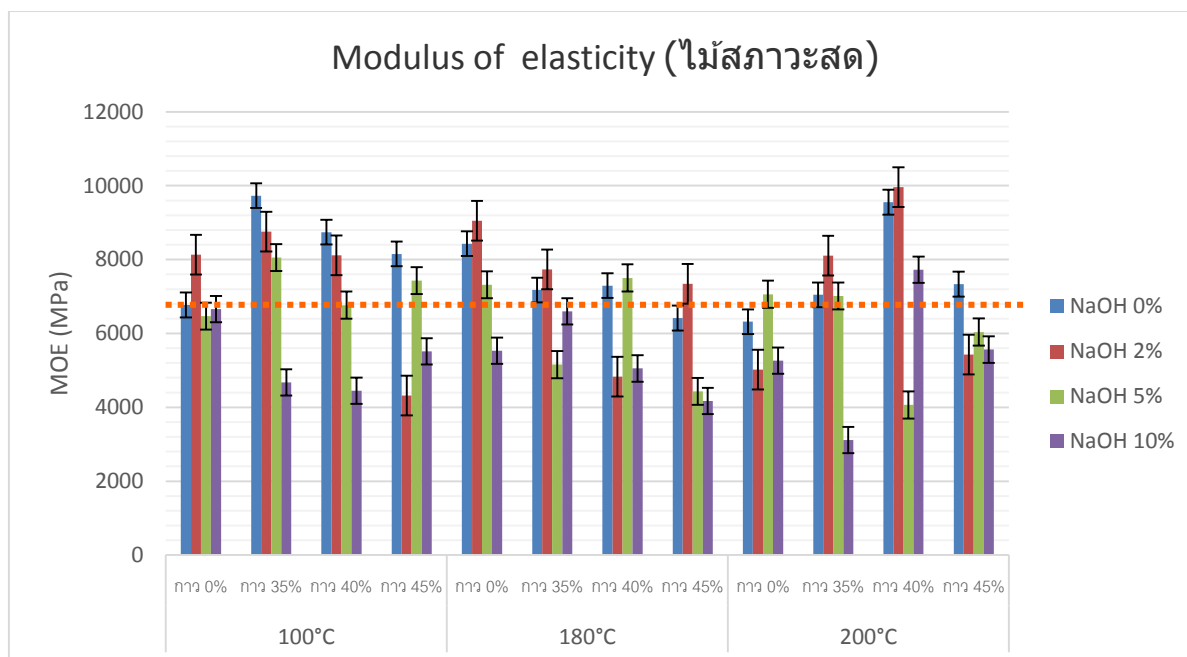


ภาพที่ 35 กราฟแสดงค่าโมดูลัสแตกหัก (MOR) ของไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

หมายเหตุ แสดงค่าโมดูลัสแตกหัก (MOR) ของไม้ยางพาราสภาวะควบคุม

2.2 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity, MOE)

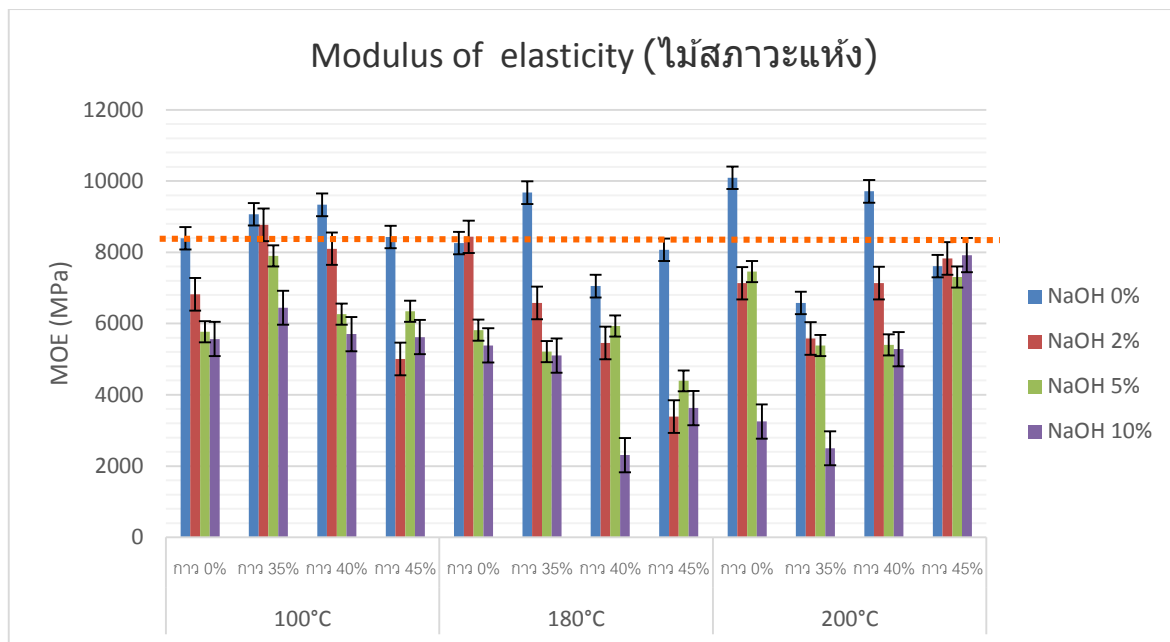
ไม้ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่ให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ 8,273.20 MPa (ตารางที่ 19) ได้แก่ ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟอัดกาวที่ความเข้มข้น 35% และ 40% จากนั้นทำการอบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ ไม่อัดกาว อัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C และไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟอัดกาวความเข้มข้น 40% จากนั้นทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C นอกจากนี้ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพได้แก่ ไม้ยางพาราที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 2% ทำการอัดกาวความเข้มข้น 35% อบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการอัดกาว ทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C และไม้ยางพาราที่ผ่านการอัดกาวที่ความเข้มข้น 40% ทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C (ดังแสดงในภาพที่ 36)



ภาพที่ 36 กราฟแสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ของไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

หมายเหตุ แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ของไม้ยางพาราสภาวะควบคุม

ไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่สูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่ 8,273.20 MPa (ตารางที่ 19) ประกอบไปด้วย ไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 0%, 35%, 40% และ 45% อบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ไม้ที่ผ่านการอัดกาวที่ความเข้มข้น 35% อัดร้อนที่ 180°C และไม้ที่อัดกาวที่ความเข้มข้น 0% และ 40% อัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C นอกจากนี้ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 2% ที่ให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่สูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพได้แก่ ไม้ที่ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 35% อบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C และไม้ที่ไม่ผ่านการอัดกาว อัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C (ดังแสดงในภาพที่ 37)



ภาพที่ 37 กราฟแสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ของไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

หมายเหตุ แสดงค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (MOE) ของไม้ยางพาราสภาวะควบคุม

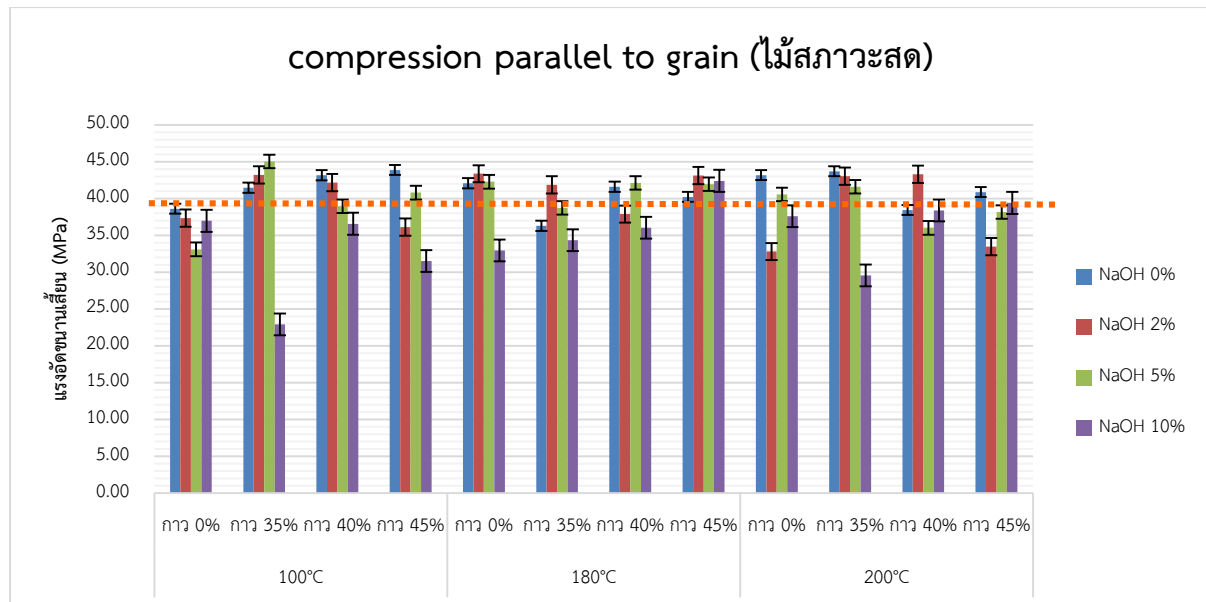
จากการทดลองไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟจะให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่สูงที่สุด และจะลดลงเมื่อระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟเพิ่มสูงขึ้น และการใช้อุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนที่ 100°C และ 200°C ให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ไม่แตกต่างกัน โดยไม้ยางพาราสภาวะสดที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟและไม่ผ่านการอัดกาว ทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C ให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่สูงที่สุด

2.3 แรงอัดขนานเส้น (compression parallel to grain)

เมื่อทำการทดสอบค่าแรงอัดขนานเส้นในไม้ยางพาราสภาวะสด ที่ผ่านการอัดกาวและผ่านความร้อนที่สภาวะต่าง ๆ พบว่า ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ให้ค่าแรงอัดขนานเส้นสูงกว่าไม้ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่ 44.35 MPa (ตารางที่ 19) ได้แก่ ไม้สภาวะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 5% อัดกาวที่ความเข้มข้น 35% จากนั้นทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 100°C จากกราฟพบว่า ค่าแรงอัดขนาน

เส้นในไม้ยางพาราสถานะที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย

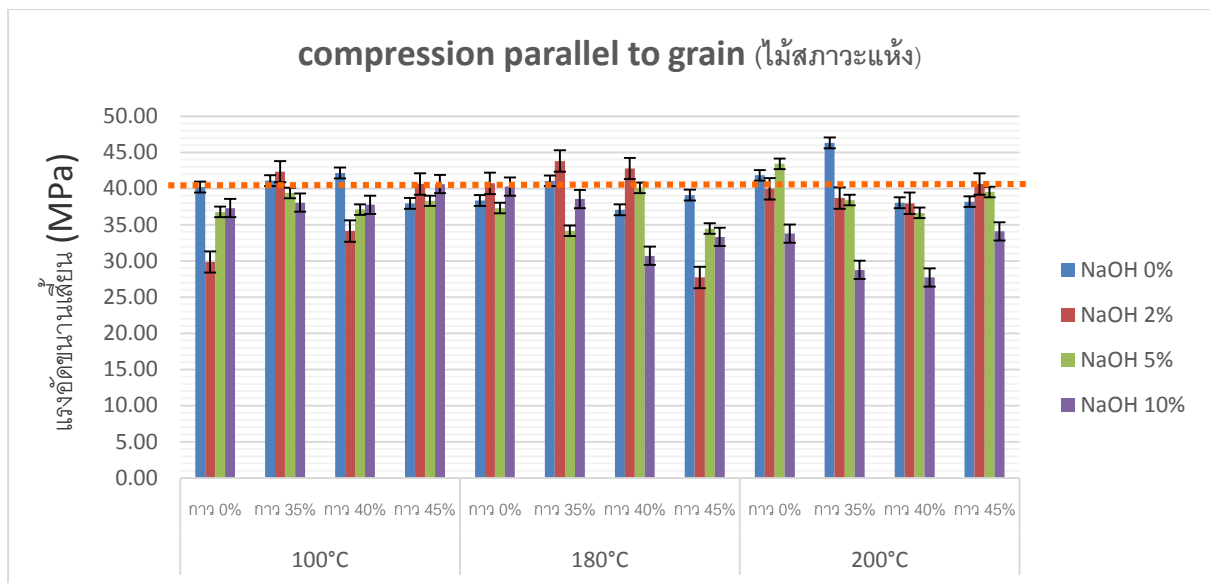
โซดาไฟ ดังแสดงในภาพที่ 38



ภาพที่ 38 กราฟแสดงค่าแรงอัดขนานเส้นใยของไม้ยางพาราสถานะสดที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ

หมายเหตุ แสดงค่าแรงอัดขนานเส้นใยของไม้ยางพาราสถานะควบคุม

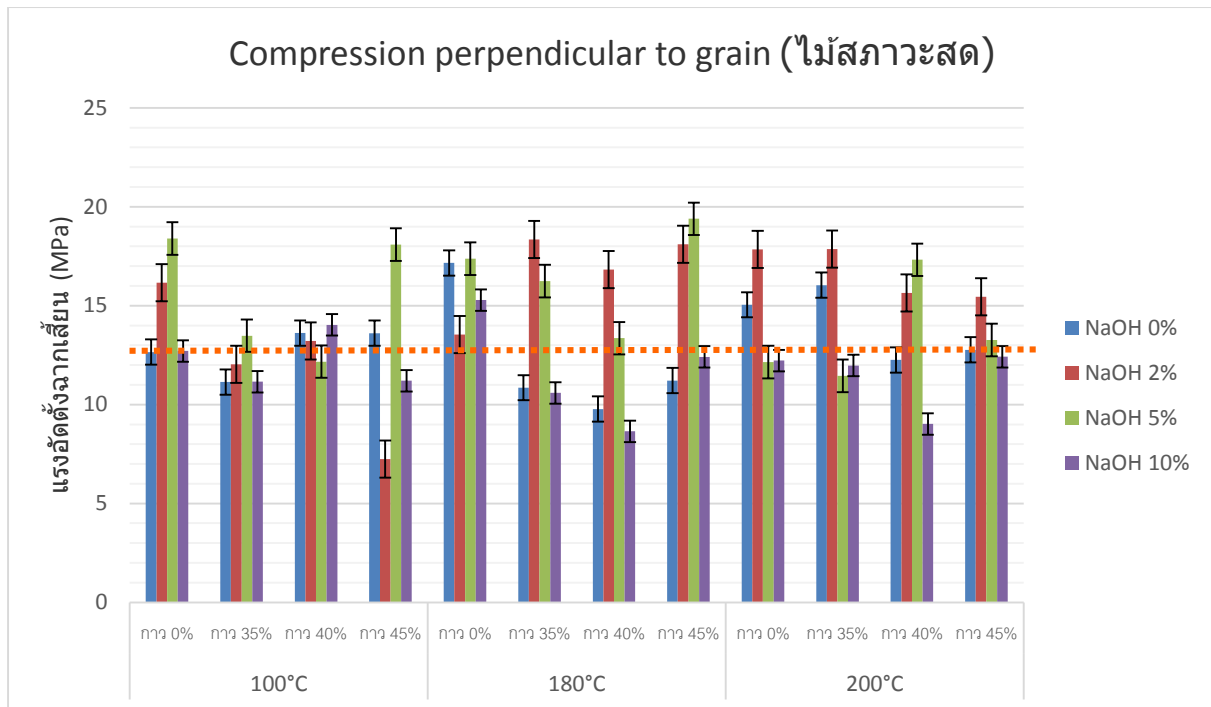
จากภาพที่ 39 แสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงคุณภาพไม้ด้วยวิธีการแช่สารละลายโซดาไฟ การอัดกาว และการอบร้อนและอัดร้อน ไม่ช่วยเพิ่มค่าแรงอัดขนานเส้นใยในไม้ยางพาราสถานะแห้งได้ มีเพียงการอัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 35% และทำการอัดร้อนที่ 200°C ที่เพิ่มค่าแรงอัดขนานเส้นใยในไม้ยางพาราสถานะแห้งให้สูงกว่าไม้ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ



ภาพที่ 39 กราฟแสดงค่าแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ
หมายเหตุ แสดงค่าแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ยางพาราสภาวะควบคุม

2.4 แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (Compression perpendicular to grain)

จากภาพที่ 40 แสดงค่าเฉลี่ยแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราสภาวะสดโดยไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 0% และ 2% ให้ค่าเฉลี่ยแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนสูงกว่าไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% และ 10% และไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการอัดกาวมีแนวโน้มที่ให้ค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนสูงกว่าไม้ที่ผ่านการอัดกาว ในขณะที่ระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อนให้ค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนที่ไม่มีความแตกต่างกัน

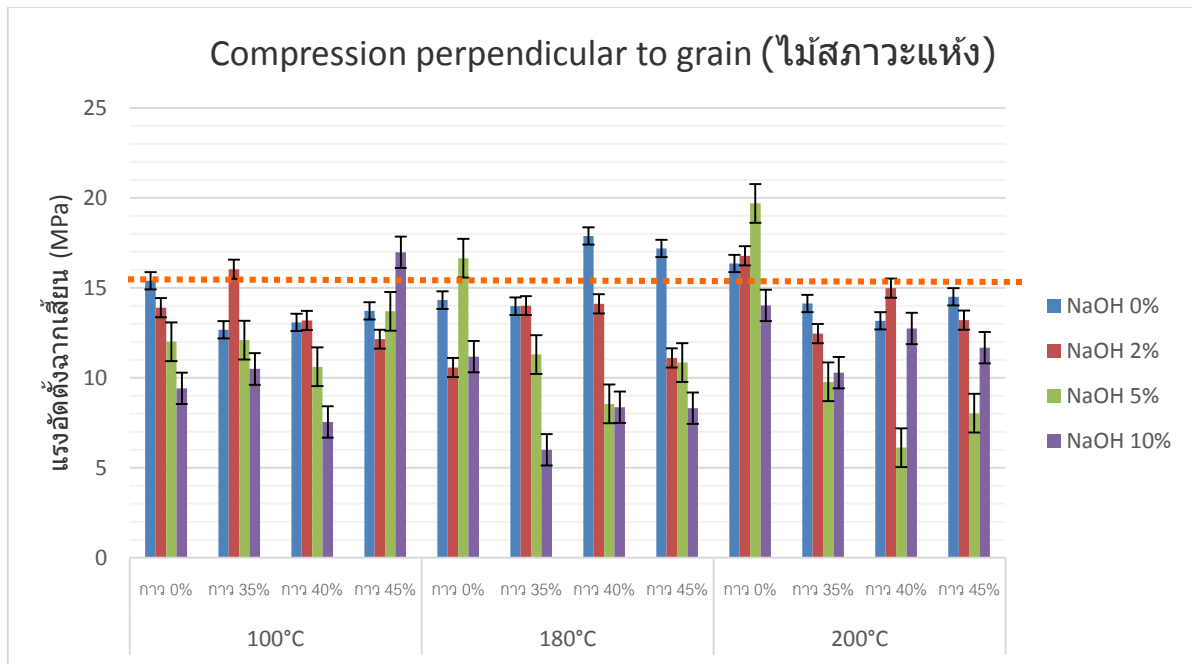


ภาพที่ 40 กราฟแสดงค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

หมายเหตุ แสดงค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราสภาวะควบคุม

ในไม้ยางพาราสภาวะแห้ง มีเพียงการแช่สารละลายโซดาไฟระดับความเข้มข้น 5% และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C ที่ให้ค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนที่สูงกว่าไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ดังแสดงในภาพที่ 41

จากการทดลองพบว่าไม้ยางพาราทั้งสภาวะสดและสภาวะแห้งให้ค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนที่ลดลงจากไม้ยางพาราทั่วไป (19.92 MPa) โดยสภาวะที่ให้ค่าใกล้เคียงที่สุดเป็นไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% ไม่ผ่านการอัดกาวและทำการอัดร้อนที่ 200°C



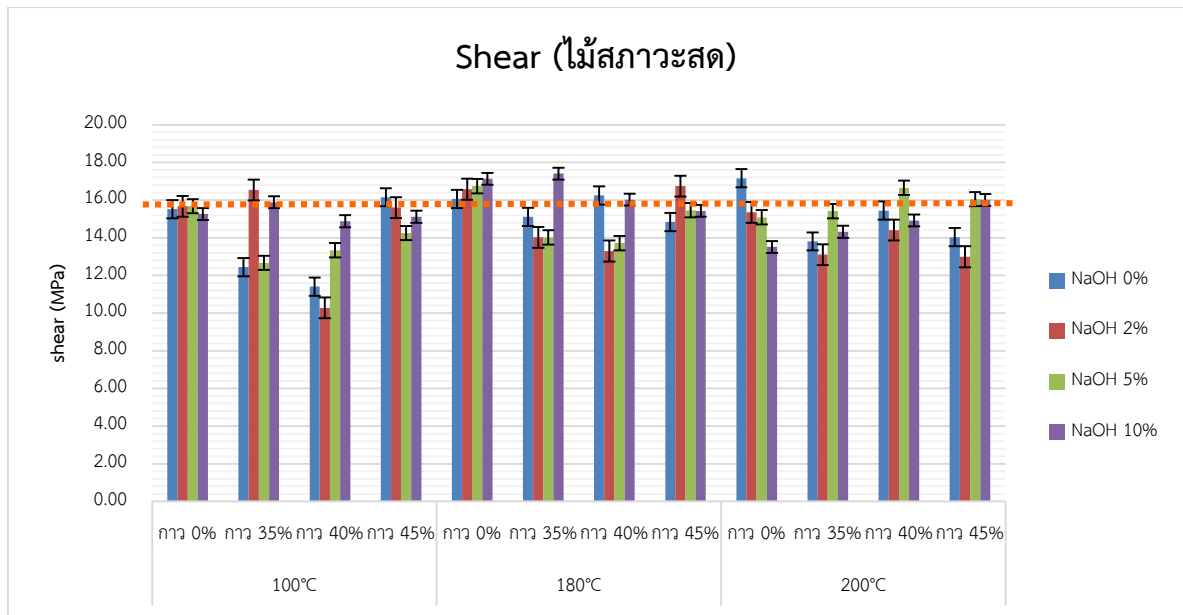
ภาพที่ 41 กราฟแสดงค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

หมายเหตุ แสดงค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราสภาวะควบคุม

2.5 แรงเฉือน (Shear)

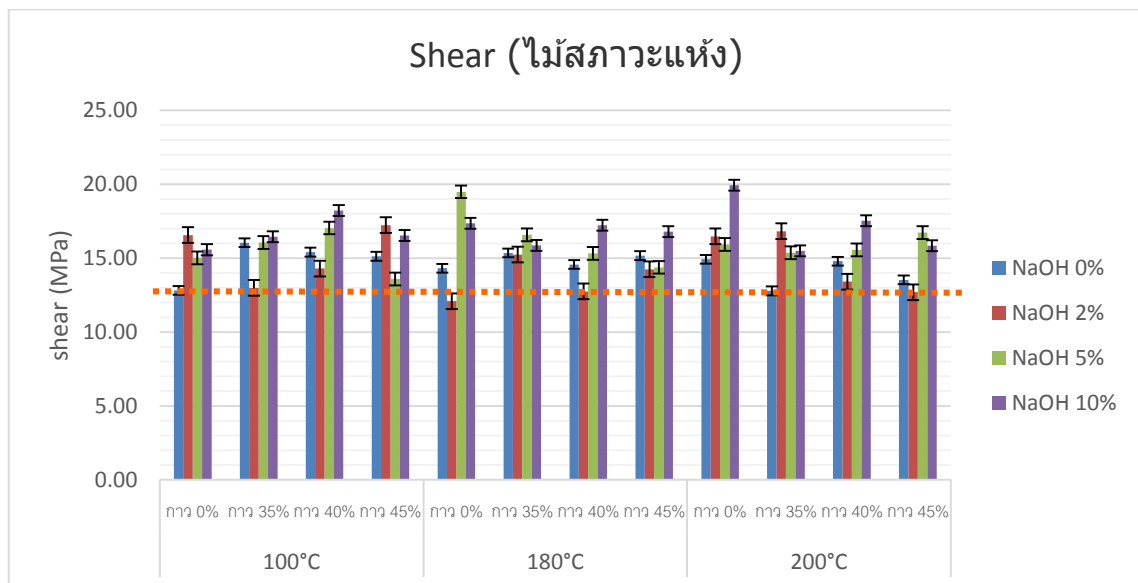
จากผลการทดลองพบว่า ไม้ยางพาราที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าแรงเฉือนสูงกว่า ไม้ยางพาราทั่วไปที่ 17.28 MPa (ตารางที่ 19) ได้แก่ ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 35% และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C ดังแสดงในภาพที่ 42

ไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% ไม่ผ่านการอัดกาว จากนั้นทำการอัดร้อนที่ 180°C และไม้สภาวะแห้งที่ทำการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% ทำการอัดกาว 40% อบร้อน 100°C ไม้สภาวะแห้งที่ทำการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% ไม่ผ่านการอัดกาว อัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C และ 200°C ไม้สภาวะแห้งที่ทำการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% ทำการอัดกาว 40% อัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C ดังแสดงในภาพที่ 43



ภาพที่ 42 กราฟแสดงค่าแรงเฉือนของไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

หมายเหตุ แสดงค่าแรงเฉือนของไม้ยางพาราสภาวะควบคุม

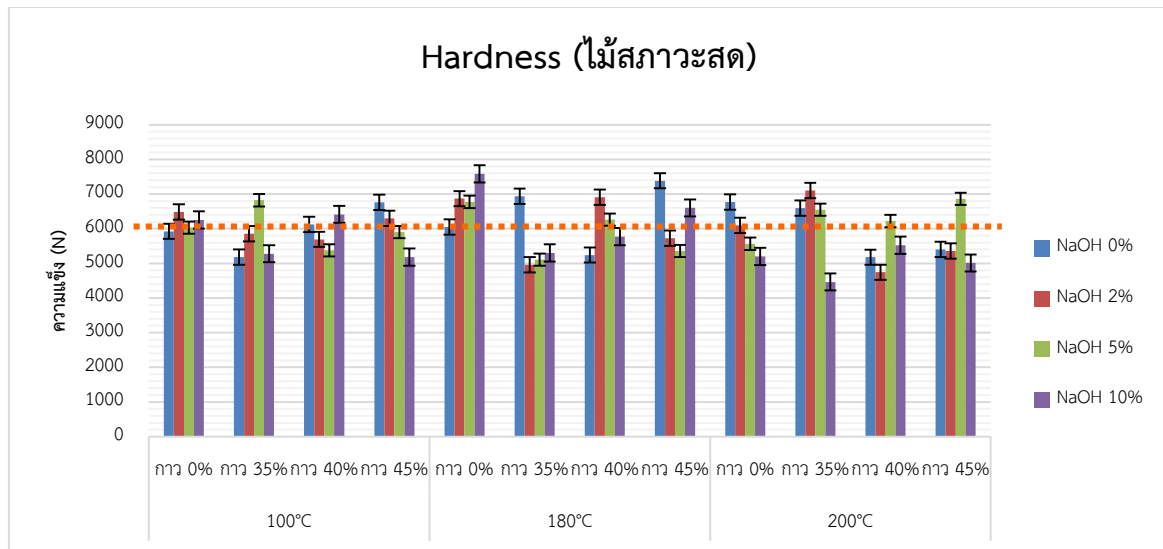


ภาพที่ 43 กราฟแสดงค่าแรงเฉือนของไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

หมายเหตุ แสดงค่าแรงเฉือนของไม้ยางพาราสภาวะควบคุม

2.6 ค่าความแข็ง Hardness

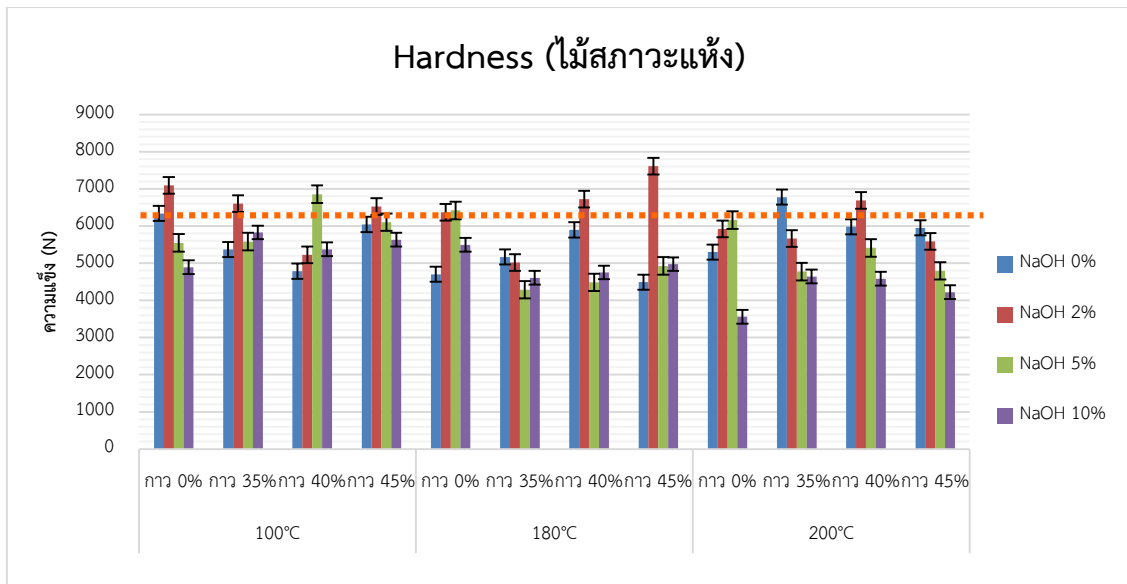
จากภาพที่ 44 แสดงให้เห็นว่า ไม้ยางพาราสถานะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 45% และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C สำหรับไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าความแข็งสูงกว่าไม้ทั่วไปที่ 6016.92 N (ตารางที่ 19) ได้แก่ไม้ยางพาราสถานะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 10% แล้วทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C โดยไม่ผ่านการอัดกาว ไม้ยางพาราสถานะสดที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ อัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 45% ทำการอัดร้อนด้วยอุณหภูมิ 180°C ไม้ที่แช่สารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 2% 5% และ 10% ไม่ผ่านการอัดกาว ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟความเข้มข้น 5% อัดกาวที่ความเข้มข้น 35% ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 0% และ 10% ทำการอัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 40% ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 0% และ 2% ทำการอัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 45% จากนั้นทำการอบร้อนที่ 100°C ไม้ที่ผ่านการอัดร้อนที่ 180°C ด้วยสถานะการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 0% 2% และ 5% ที่ไม่ผ่านการอัดกาว ไม้ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 35% ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 2% และ 5% ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 40% และไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% ทำการอัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 45% นอกจากนี้ยังมีไม้ยางพาราที่แช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 0% และ 2% โดยไม่ผ่านการอัดกาว ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 0% 2% และ 5% ทำการอัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 35% ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 40% และ 45% จากนั้นทำการอัดร้อนด้วยอุณหภูมิ 200°C โดยสถานะที่ให้ค่าความแข็งต่ำที่สุดคือ ไม้ยางพาราสถานะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% อัดกาวที่ความเข้มข้น 35% จากนั้นทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C



ภาพที่ 44 แสดงค่าความแข็งของไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

หมายเหตุ แสดงค่าความแข็งของไม้ยางพาราสภาวะควบคุม

นอกจากนี้ไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ให้ค่าความแข็งที่สูงกว่าไม้ยางพาราทั่วไปประกอบไปด้วย ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 0% และ 2% ทำการอบร้อน 100°C โดยไม่ผ่านการอัดกาว ไม้ที่แช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 2% อัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 35% ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 5% อัดกาวที่ความเข้มข้น 40% ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 0% 2% และ 5% อัดกาวที่ความเข้มข้น 45% แล้วทำการอบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C อีกทั้งไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% และ 5% โดยไม่ผ่านการอัดกาว ไม้ที่แช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 2% อัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 40% ทำการอัดร้อนด้วยอุณหภูมิ 180°C รวมถึงไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 5% ไม่ผ่านการอัดกาว ไม้ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ ทำการอัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 35% ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% อัดกาวที่ความเข้มข้น 2% ทำการอัดร้อนที่ 200°C ดังแสดงในภาพที่ 45

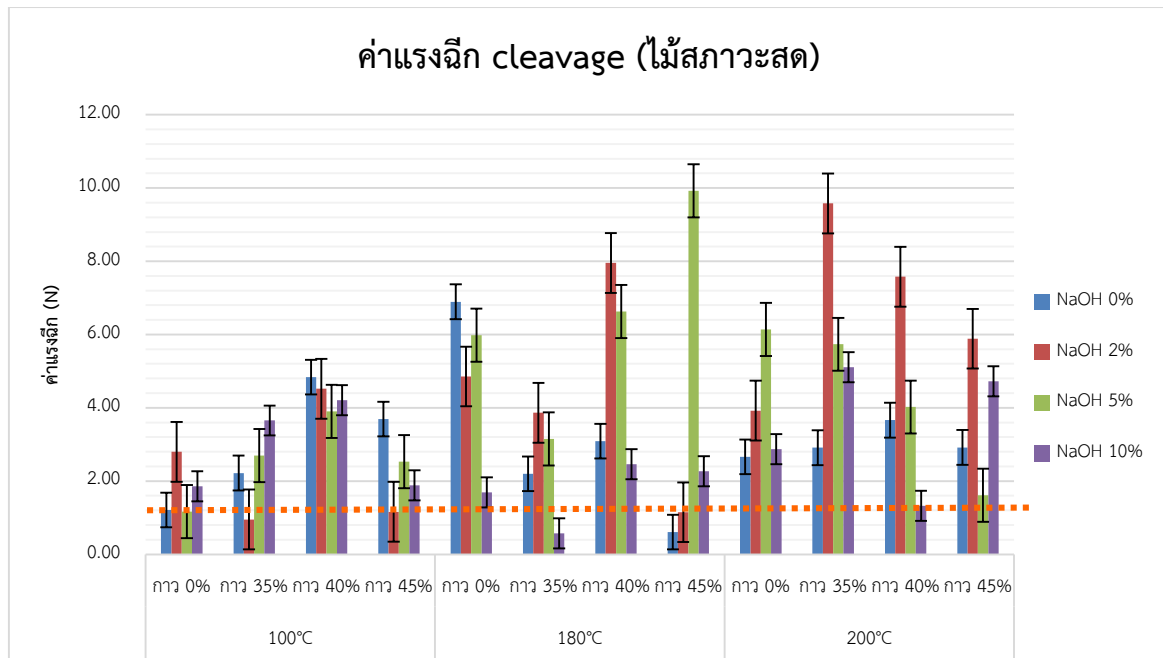


ภาพที่ 45 แสดงค่าความแข็งของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

หมายเหตุ แสดงค่าความแข็งของไม้ยางพาราสภาวะควบคุม

2.7 ค่าแรงฉีก (Cleavage)

ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าแรงฉีกเฉลี่ยที่สูงกว่าค่าแรงฉีกจากไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพในเกือบทุกสภาวะการทดลอง มีเพียง 2 สภาวะที่ให้ค่าแรงฉีกต่ำกว่าไม้ยางพาราทั่วไป ได้แก่ ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% อัตราการที่ระดับความเข้มข้น 35% และไม้ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ อัตราการที่ระดับความเข้มข้น 45% ทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C ดังแสดงในภาพที่ 46

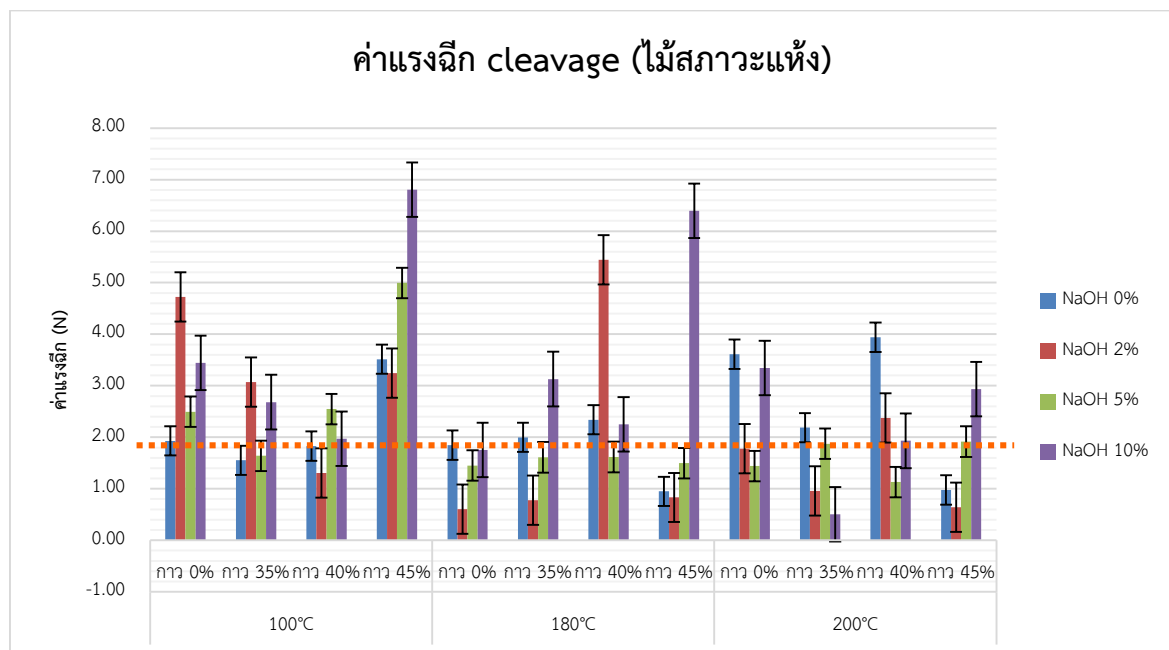


ภาพที่ 46 แสดงค่าแรงฉีกของไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

หมายเหตุ แสดงค่าแรงฉีกของไม้ยางพาราสภาวะควบคุม

ไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าแรงฉีกเฉลี่ยสูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพในเกือบทุกสภาวะการทดลอง มีเพียงการแช่ไม้ยางพาราสภาวะแห้งในสารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% อัดกาวที่ความเข้มข้น 45% และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C ให้ค่าแรงฉีกเท่ากับไม้ยางพาราทั่วไปที่ 0.64 N (ตารางที่ 19) โดยไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ให้ค่าแรงฉีกต่ำกว่าไม้ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพได้แก่ ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% ไม่ทำการอัดกาว อัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C และไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% อัดกาวที่ความเข้มข้น 35% ทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C (ภาพที่ 47)

จากการทดลองพบว่า ไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทั้งสภาวะสดและสภาวะแห้งเกือบทั้งหมดให้ค่าแรงฉีกที่สูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ โดยสภาวะที่ให้ค่าแรงฉีกสูงสุดคือ ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% อัดกาวที่ความเข้มข้น 45% และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C ให้ค่าแรงฉีก 9.92 N ซึ่งสูงกว่าค่าแรงฉีกของไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพถึง 15 เท่า จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า มีเพียงปัจจัยเรื่องสภาวะของไม้ที่ใช้ในการทดลองที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าเฉลี่ยของค่าแรงฉีกในไม้ยางพาราสภาวะสดให้ค่าที่สูงกว่าค่าแรงฉีกจากไม้ยางพาราสภาวะแห้ง

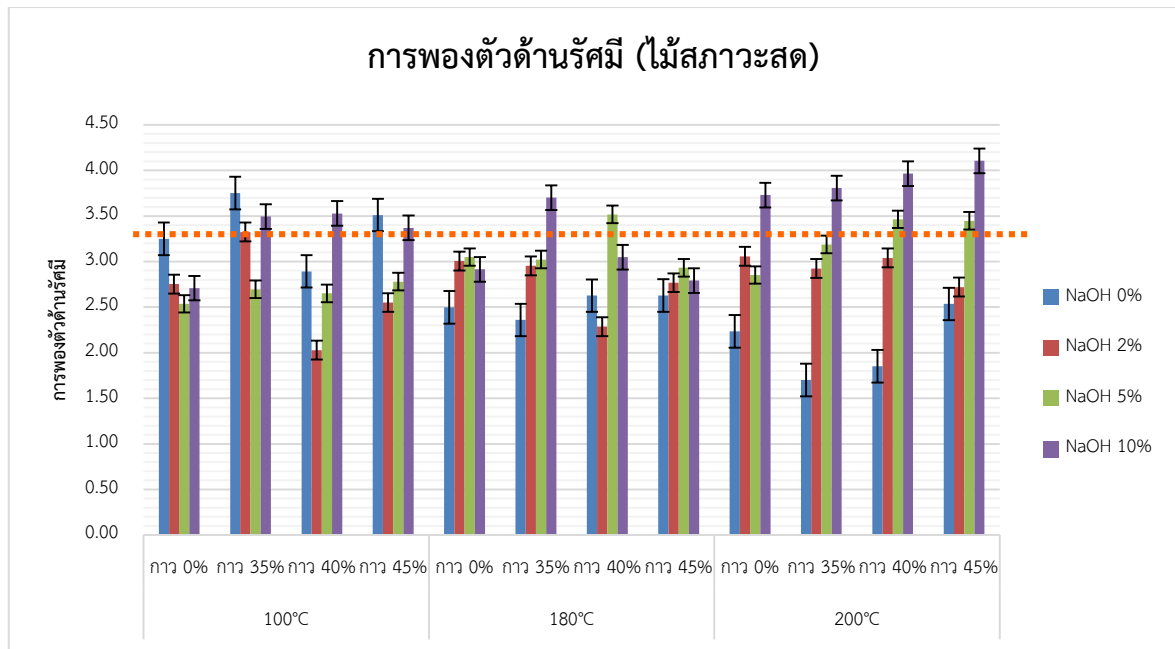


ภาพที่ 47 แสดงค่าแรงฉีกของไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

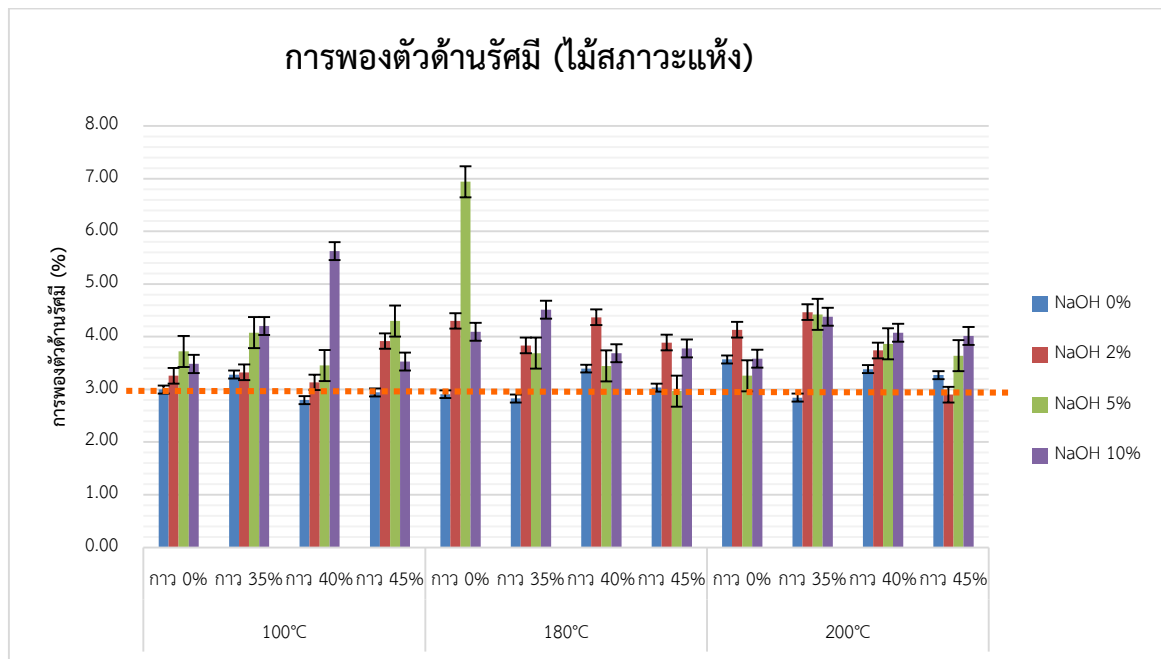
หมายเหตุ แสดงค่าแรงฉีกของไม้ยางพาราสภาวะควบคุม

2.8 การพองตัวทางด้านรัศมี ตามมาตรฐาน ISO 4856 (Swelling in radial direction)

จากการทดสอบค่าการพองตัวด้านรัศมี พบว่าไม้ยางพาราผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าการพองตัวด้านรัศมีเฉลี่ย 3.35% และมีแนวโน้มสูงขึ้นตามระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ใช้ โดยไม้ยางพาราสภาวะสดให้ค่าการพองตัวด้านรัศมีเฉลี่ยที่ 2.97% ไม้ยางพาราสภาวะแห้งให้ค่าการพองตัวเฉลี่ย 3.73 นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าไม้ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟให้ค่าการพองตัวที่ต่ำที่สุด โดยสภาวะที่ให้ค่าการพองตัวด้านรัศมีเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดคือ ไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟและอัดกาว อบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ให้ค่าการพองตัวด้านรัศมี 2.80% ดังแสดงในภาพที่ 48 และ 49



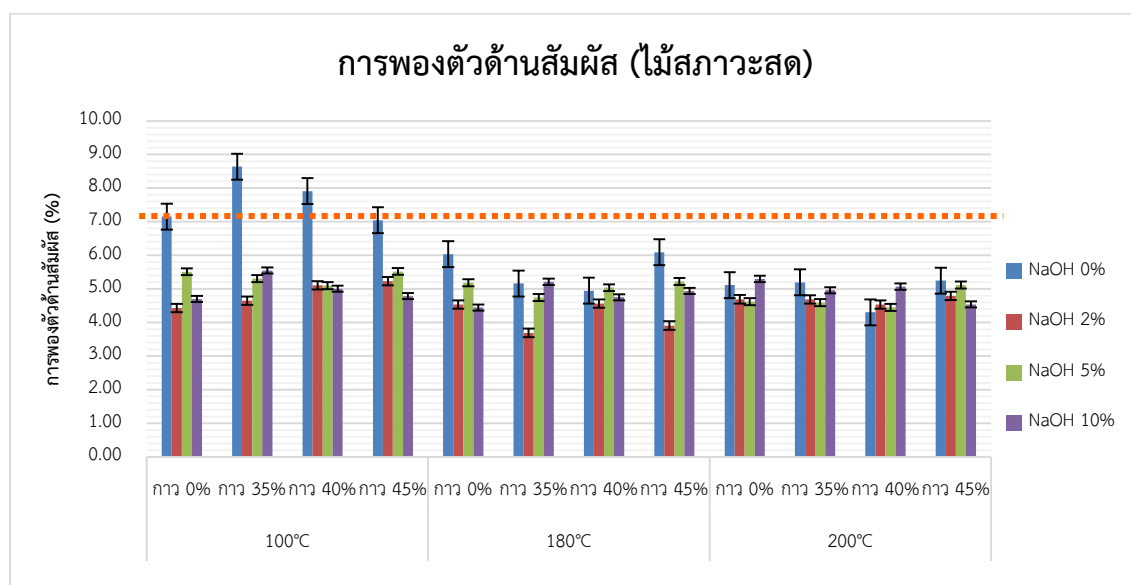
ภาพที่ 48 แสดงค่าการพองตัวด้านรัศมีของไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ



ภาพที่ 49 แสดงค่าการพองตัวด้านรัศมีของไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

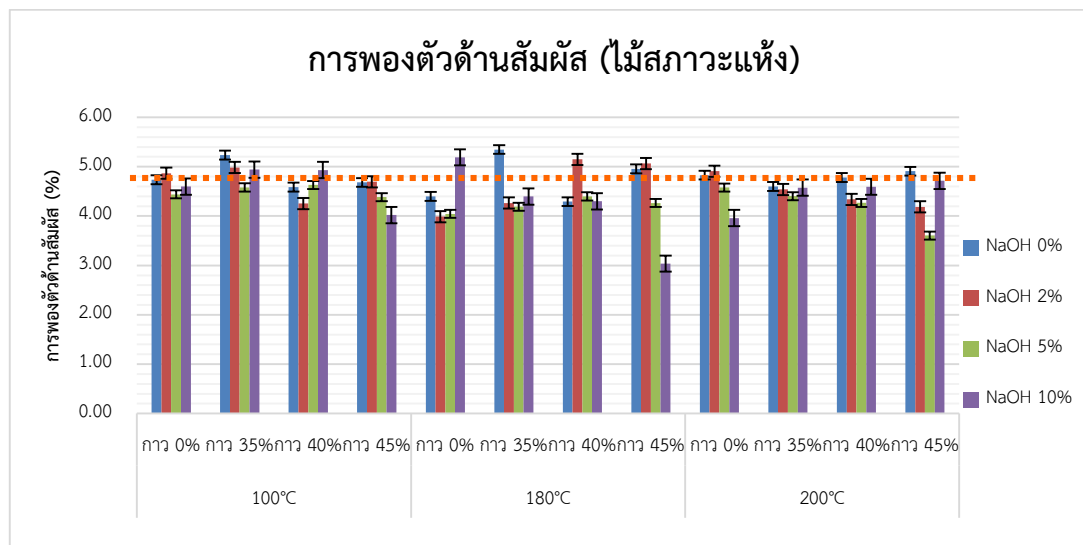
2.9 การพองตัวทางด้านสัมผัส ตามมาตรฐาน ISO 4856 (Swelling in tangential direction)

ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟให้ค่าการพองตัวด้านสัมผัสสูงกว่าไม้ยางพาราที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ และทำการอบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ให้ค่าการพองตัวด้านสัมผัสสูงในทุกระดับความเข้มข้นของกาวที่ใช้อัด ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าการพองตัวต่ำที่สุด คือไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% อัดกาวที่ความเข้มข้น 35% และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C ให้ค่าการพองตัว 3.69% อันตรบรองลงมาเป็นไม้ยางพาราที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% อัดกาวที่ความเข้มข้น 45% ทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C ให้ค่าการพองตัว 3.91% ดังแสดงในภาพที่ 50



ภาพที่ 50 แสดงค่าการพองตัวด้านสัมผัสของไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

ค่าการพองตัวด้านสัมผัสของไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีแนวโน้มลดลงตามระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟที่ใช้ในการทดลอง โดยสภาวะที่ให้ค่าการพองตัวของไม้ยางพาราสภาวะแห้งน้อยที่สุด คือ ไม้ยางพาราที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% อัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 45% และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C ไม้ยางพาราที่ให้ค่าการพองตัวสูงที่สุดคือ ไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 35% และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C ดังแสดงในภาพที่ 51



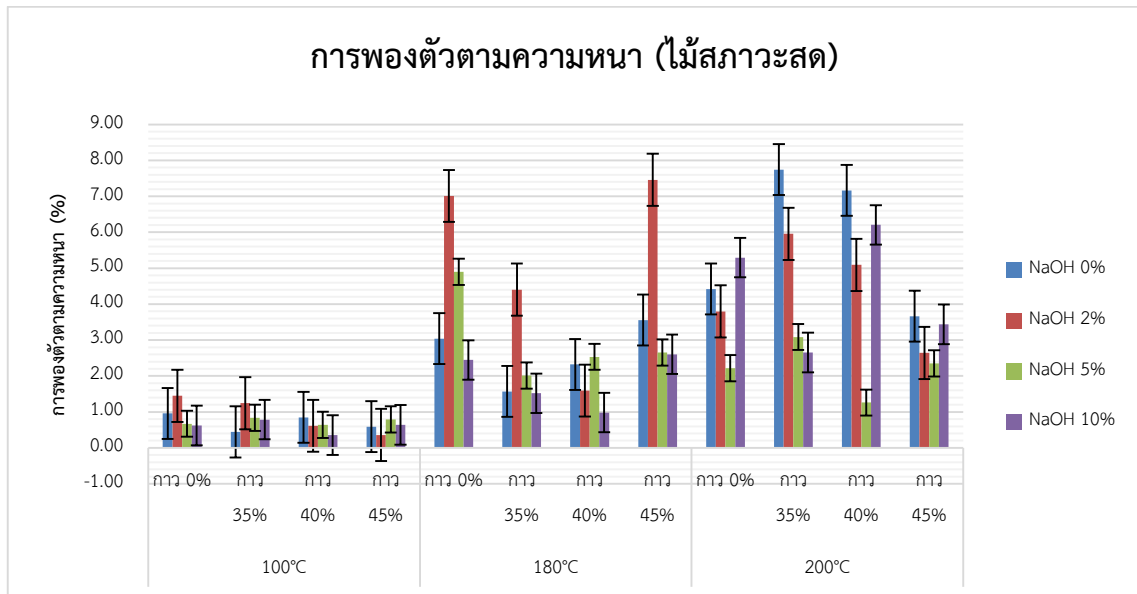
ภาพที่ 51 แสดงค่าการพองตัวด้านสัมผัสของไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

จากการทดลองพบว่า ไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่ให้ค่าการพองตัวด้านสัมผัสต่ำที่สุดเป็นไม้สภาวะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 2% อัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 35% อัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C ในขณะที่ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ ทำการอัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 35% อบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ให้ค่าการพองตัวด้านสัมผัสสูงสุดที่ 8.64%

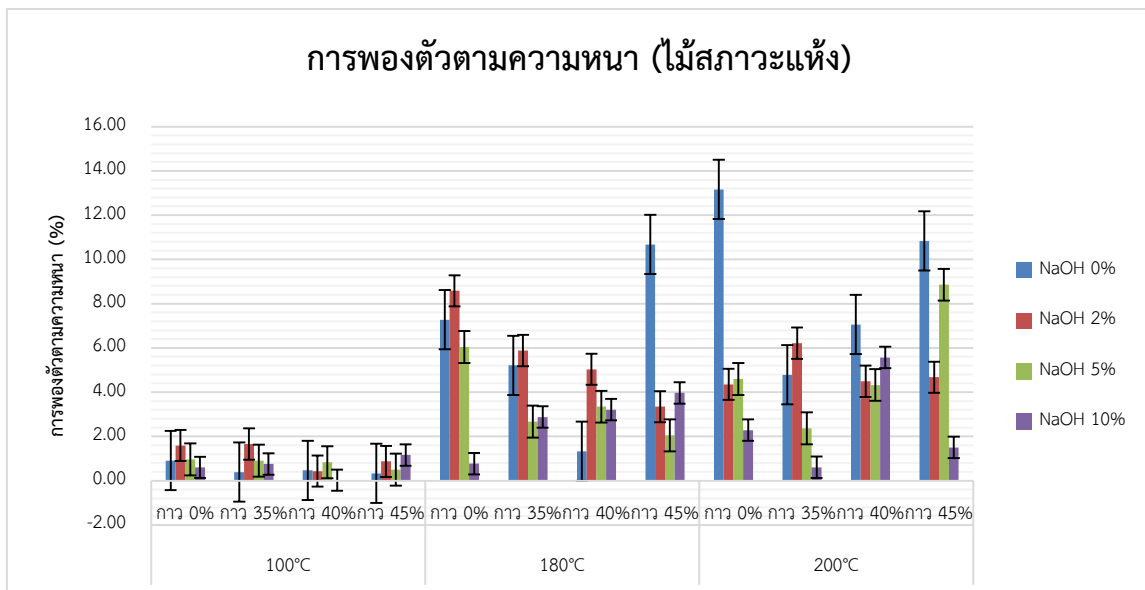
2.10 การพองตัวตามความหนา ตามมาตรฐาน EN 317 (Thickness swelling)

จากภาพที่ 52 แสดงให้เห็นค่าการพองตัวตามความหนาของไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ โดยไม้ยางพาราที่ผ่านการอบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ให้ค่าการพองตัวตามความหนาของไม้ยางพาราสภาวะสดต่ำที่สุด คือ เฉลี่ย 0.75% สภาวะที่ให้ค่าการพองตัวตามความหนาสูงที่สุด คือไม้ยางพาราสภาวะสดที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ ทำการอัดกาวที่ระดับความเข้มข้น 35% อัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C

ค่าการพองตัวตามความหนาของไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบร้อนและอัดร้อน โดยค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ยของไม้ที่ผ่านการอบร้อนที่ 100°C มีค่า 0.77% ในขณะที่ 4.57% และ 5.27% เป็นค่าการพองตัวเฉลี่ยของไม้ที่ผ่านการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C และ 200°C ตามลำดับ ในขณะที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟส่งผลให้ค่าการพองตัวตามความหนาลดลง ดังแสดงในภาพที่ 53



ภาพที่ 52 แสดงค่าการฟองตัวตามความหนาของไม้ยางพาราสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ



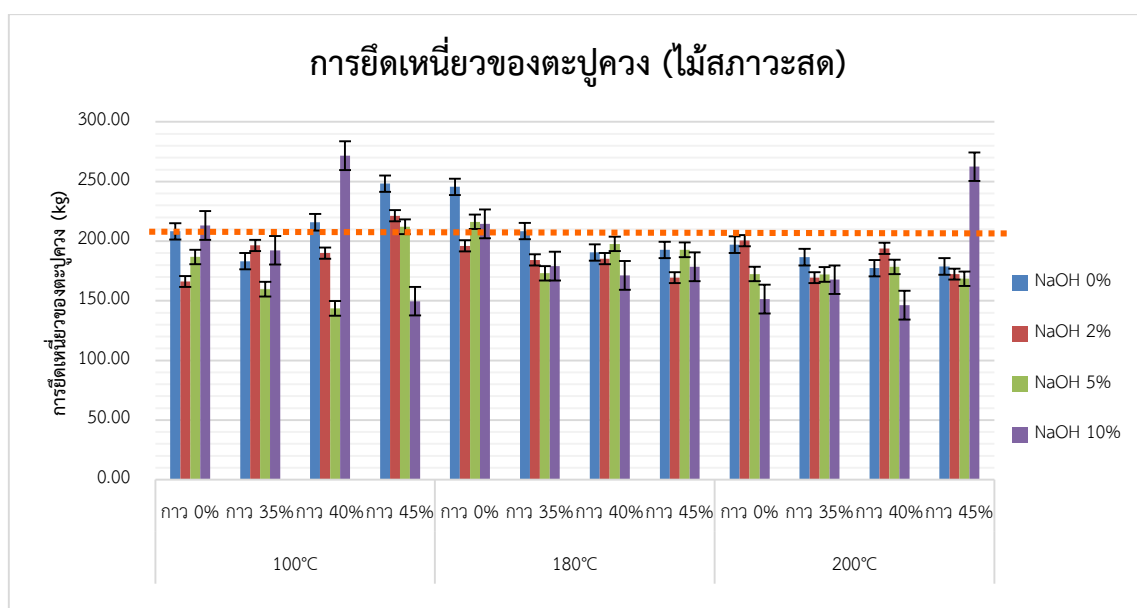
ภาพที่ 53 แสดงค่าการฟองตัวตามความหนาของไม้ยางพาราแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

ไม้ยางพาราที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% และ 5% ให้ค่าการฟองตัวตามความหนาต่ำที่สุด เฉลี่ย 2.13-2.55% นอกจากนี้ไม้ยางพาราที่ผ่านการอบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ให้ค่าการฟองตัวตามความหนาเฉลี่ยที่ 0.76% ไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่ให้ค่าการฟองตัวตามความ

หนาต่ำที่สุดคือ ไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 40% อบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C มีค่าการพองตัวตามความหนาเฉลี่ย 0.02%

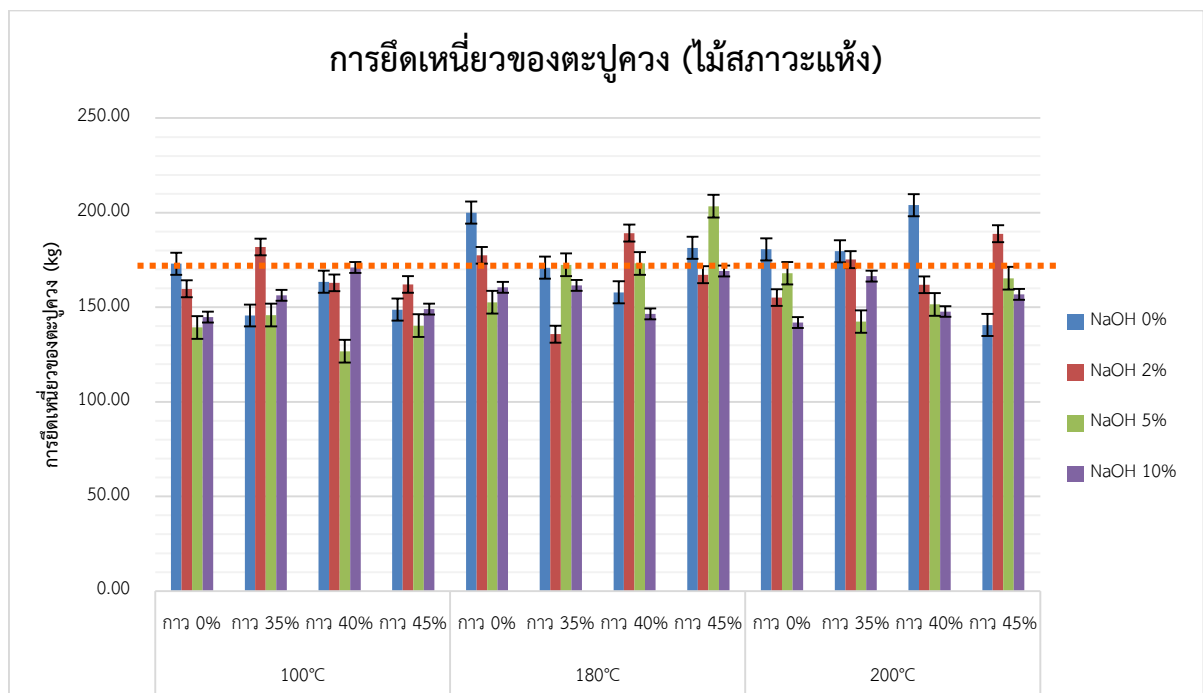
2.11 การยึดเหนี่ยวของตะปูควง (screw holding)

จากภาพที่ 54 ค่าการยึดเหนี่ยวของตะปูควงของไม้ยางพาราสถานะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพอยู่ระหว่าง 143.67-271.67 kg ที่ให้ค่าการยึดเหนี่ยวตะปูควงที่ต่ำที่สุดเป็นไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 40% และอบร้อนที่ 100°C สภาวะที่ให้ค่าการยึดเหนี่ยวของตะปูควงสูงที่สุดคือ ไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 40% และอบร้อนที่ 100°C รองลงมาเป็นไม้ที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 45% และอัดร้อนที่ 200°C



ภาพที่ 54 แสดงค่าการยึดเหนี่ยวของตะปูควงในไม้ยางพาราสถานะสดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

ไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าการยึดเหนี่ยวของตะปูควงระหว่าง 126.78-204.00 kg โดยสภาวะที่ให้ค่าการยึดเหนี่ยวตะปูควงที่ต่ำที่สุดเป็นไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 40% และอบร้อนที่ 100°C ในขณะที่ไม้ที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟ ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 40% และอัดร้อนที่ 200°C ให้ค่าการยึดเหนี่ยวตะปูควงที่สูงที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 55



ภาพที่ 55 แสดงค่าการยืดเหนียวของตะปูควงในไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

สภาวะที่ให้ค่าการยืดเหนียวตะปูควงที่ต่ำที่สุดเป็นไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 5% ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 40% และอบร้อนที่ 100°C และที่ให้ค่าการยืดเหนียวตะปูควงที่สูงที่สุดเป็นไม้ยางพาราสภาวะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ระดับความเข้มข้น 10% ทำการอัดกาวที่ความเข้มข้น 40% และอบร้อนที่ 100°C

3 การปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde emission)

ในการทดสอบการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ตามมาตรฐาน JIS A 1460 ไม้ที่ผ่านการอบร้อนที่ 100°C และอัดร้อนที่ 200°C อัดกาวที่ความเข้มข้น 45% ให้ค่าการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ที่ผ่านมาตรฐาน Super E0 คือ มีค่าไม่เกิน 0.3 mg/l และในการทดสอบปริมาณการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ ตามมาตรฐาน EN 120 : 1992 ของไม้ที่ผ่านการการอัดกาวที่ความเข้มข้น 45 % ซึ่งเป็นปริมาณความเข้มข้นของกาวที่สูงที่สุด ที่ไม่ผ่านการแช่ด่างและผ่านการแช่ด่างที่ความเข้มข้น 10 % ทั้งชนิดที่ทำการอบร้อน 100°C และอัดร้อน 200°C ให้ค่าการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ Super E0 ที่ ไม่เกิน 3 mg/100g ตามมาตรฐานการทดสอบ

ผลจากการทดสอบปริมาณการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ ทั้งสองมาตรฐาน พบว่า ไม้ที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ที่ระดับ E0 ซึ่งระดับการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ผ่านมาตรฐาน

4. การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพกับไม้เนื้อแข็ง

จากวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพของไม้ยางพาราโดยการอัดกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์และการอัดร้อน เพื่อทำวัสดุก่อสร้าง

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติทางกลของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพกับไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ เนื่องจากไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าความแข็งแรงที่สูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพไม่ทุกคุณสมบัติ จึงได้ทำการคัดเลือกสภาวะไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่มีคุณสมบัติทางกลที่สูงขึ้น 4 คุณสมบัติจาก 7 คุณสมบัติ เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ยางพาราปกติตามเอกสารอ้างอิงของภูมิไชย และคณะ (2558) และได้ทำการเปรียบเทียบไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพกับการจัดแบ่งประเภทไม้ตามการแบ่งประเภทไม้ของเชษฐสิงห์ (2549) ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 การแบ่งประเภทของไม้

ประเภทของไม้	แรงดัดสถิตย์ (MOR)	ความทนทาน
ไม้เนื้อแข็ง	มากกว่า 98 MPa	ทนทานมากกว่า 6 ปี
ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	58.8 - 98 MPa	ทนทานระหว่าง 2-6 ปี
ไม้เนื้ออ่อน	ต่ำกว่า 58.8 MPa	ทนทานน้อยกว่า 2 ปี

ที่มา เชษฐสิงห์, 2549

พบว่าไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีทั้งหมด 8 conditions ที่มีคุณสมบัติทางกลที่สูงขึ้น 4 คุณสมบัติจาก 7 คุณสมบัติ เมื่อเปรียบเทียบกับไม้ยางพาราปกติตามเอกสารอ้างอิงของภูมิไชย และคณะ (2558) โดย 8 conditions ได้แก่

Condition 1 หมายถึง ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ไม่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟและไม่ผ่านการอัดกาวย อัดร้อนที่อุณหภูมิ 200°C

Condition 2 หมายถึง ไม้ยางพาราสภาวะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 0% ทำการอัดกาวยที่ความเข้มข้น 40% อบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C

Condition 3 หมายถึง ไม้ยางพาราสถานะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 2% ไม่ผ่านการอัดการ อัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C

Condition 4 หมายถึง ไม้ยางพาราสถานะสดที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 5% ทำการอัดการที่ความเข้มข้น 35% อบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C

Condition 5 หมายถึง ไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 0% ทำการอัดการที่ความเข้มข้น 0% อบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C

Condition 6 หมายถึง ไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 0% ทำการอัดการที่ความเข้มข้น 35% อบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C

Condition 7 หมายถึง ไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 0% ทำการอัดการที่ความเข้มข้น 45% อบร้อนที่อุณหภูมิ 100°C

Condition 8 หมายถึง ไม้ยางพาราสถานะแห้งที่ผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟที่ความเข้มข้น 5% ทำการอัดการที่ความเข้มข้น 0% อัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าแรงดัดสถิตของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ตามการแบ่งประเภทไม้ของเชษฐสิงห์ (2549) ดังแสดงในตารางที่ 20 คุณสมบัติทางกลของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพเพื่อเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติทางกลของไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพตามภูมิไชยและคณะ (2558) และการเปรียบเทียบประเภทไม้ตามเชษฐสิงห์ (2549) สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงด้วยการอบร้อนและอัดร้อนใน
สภาวะต่างๆ

ชนิดไม้	ประเภทไม้	ความ ถ่วงจำเ พะ	ค่าโมดูลัส แตกหัก (MOR), MPa	ค่าโม ดูลัส ยืดหยุ่น (MOE), MPa	ค่า แรงอัด ขนาน เสี้ยน (MPa)	ค่า แรงอัด ตั้งฉาก เสี้ยน (MPa)	ค่าแรง เฉือน (MPa)	ค่า ความ แข็ง (N)	ค่าแรง ฉีก (N)
Condition 1	ไม้เนื้อแข็ง	0.68*	73.2	6320	43.17	15.04	17.16	6773*	2.66*
Condition 2	ปานกลาง	0.75*	89*	8740*	43.15	13.61	11.40	6126*	4.84*
Condition 3	ไม้เนื้อแข็ง	0.74*	109.5*	9050*	43.36	13.54	16.58	6868*	4.85*
Condition 4	ไม้เนื้อแข็ง ปานกลาง	0.68*	88.3*	8054	45.03*	13.48	12.67	6822*	2.70*
Condition 5	ไม้เนื้อแข็ง	0.87*	98.2*	8394*	40.21	15.39	12.82	6338*	1.93*
Condition 6	ไม้เนื้อแข็ง	0.76*	97.7*	9068*	41.10	12.66	16.04	5368	1.83*
Condition 7	ปานกลาง	0.84*	87.7*	8431*	37.96	13.72	15.12	6044*	3.51*
Condition 8	ไม้เนื้ออ่อน	0.76*	54.2	7903	37.30	16.64	19.49*	6418*	1.45*
ไม้ยางพาราที่ไม่ ผ่านการปรับปรุง คุณภาพ (ภูมิไชย และคณะ, 2558)	ไม้เนื้อแข็ง ปานกลาง	0.56	86.99	8273.20	44.35	19.92	17.28	6016.9	0.64

หมายเหตุ

* หมายถึง ค่าความแข็งแรงของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่สูงกว่าไม้ยางพาราที่ไม่
ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

จากตารางที่ 21 พบว่า สภาวะที่ 3 คือไม้ยางพาราสภาวะสดผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟมีความเข้มข้น 2% ไม่ผ่านการอัดกาว และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 5 นาที ให้ค่าโมดูลัสแตกหักที่สูงสุดเท่ากับ 109.5 MPa จัดเป็นประเภทไม้เนื้อแข็ง และมีคุณสมบัติเชิงกลส่วนใหญ่สูงกว่าไม้ในสภาวะควบคุม (สภาวะที่ 5) โดยมีค่ากลสมบัติ ดังนี้ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 9050 MPa ค่าโมดูลัสแตกหัก 109.5 MPa ค่าแรงอัดขนานเส้นใย 43.36 MPa ค่าแรงอัดตั้งฉากเส้นใย 13.54 MPa ค่าแรงเฉือน 16.58 MPa ค่าความแข็ง 6868 N และค่าแรงฉีก 4.85 N โดยค่าคุณสมบัติทางกลของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ได้แก่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ค่าโมดูลัสแตกหัก ค่าความแข็ง และค่าแรงฉีก ส่วนค่าแรงอัดขนานเส้นใย ค่าแรงอัดตั้งฉากเส้นใย และแรงเฉือนมีค่าไม่แตกต่างกัน

จากตารางที่ 22 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ condition ที่ 3 กับคุณสมบัติของไม้ที่ใช้ในการก่อสร้าง พบว่า ไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ condition ที่ 3 จัดเป็นประเภทไม้เนื้อแข็ง โดยมีค่าคุณสมบัติใกล้เคียงกับไม้ประดู่ และไม้แดง แต่มีค่าสูงกว่าไม้เต็ง ไม้ตะเคียนทองและไม้สัก

ตารางที่ 22 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพกับคุณสมบัติของไม้ที่ใช้
ในการก่อสร้างแบ่งตามประเภทของไม้เปรียบเทียบกับไม้ยางพารา

ชนิดไม้	ประเภทไม้	ความ ถ่วงจำเพาะ	ค่าโมดูลัส แตกหัก (MOR), MPa	ค่าโมดูลัส ยืดหยุ่น (MOE), MPa	ค่าแรงอัด ขนาน เสี้ยน (MPa)	ค่าแรงอัด ตั้งฉาก เสี้ยน (MPa)	ค่าแรง เฉือน (MPa)
Scandinavian Red Pine	ไม้ เนื้ออ่อน	0.44*	68*	6900*	40*	10*	10*
สัก		0.62**	63**	7996**	32**	8**	13**
อินทนิล		0.65*	68*	9093*	33*	8*	15*
ยางแดง		0.76*	72*	11145*	36*	6*	16*
กระบาก		0.74*	76*	10299*	21*	6*	8*
ยูง	ไม้เนื้อ แข็งปาน กลาง	0.75*	79*	11825*	36*	7*	17*
ตะแบก		0.72*	79*	11038*	37*	10*	17*
ตะเคียนทอง		0.77*	80*	10291*	35*	11*	12*
เต็ง		1.07**	91**	11323**	43**	18**	-
มะค่าแต้		0.99*	94*	12337*	35*	23*	20*
ไม้ยางพารา ทั่วไป		0.56***	86.99***	8273.20***	44.35***	19.92***	17.28***
ประดู่	ไม้เนื้อ แข็ง	0.82**	114**	12596**	49**	20**	-
แดง		1.05**	117**	15017**	53**	21**	-
Condition 3		0.74	109.5	9050	43.36	13.54	16.58

หมายเหตุ

ที่มา : คัดแปลงมาจากอ้างอิงจาก*จันทรานูรักษ์ (มปป), **แสงอาทิตย์ (มปป.) และ ***ภูมิไชย์ และคณะ
(2558)

5. การเปรียบเทียบคุณสมบัติฟิสิกส์ของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพกับไม้

ไม้ยางพาราสถานะควบคุม

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกล พบว่าไม้ที่ให้คุณสมบัติทางกลที่ดีที่สุด คือไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพในสถานะที่ 3 คือไม้ยางพาราสถานะสดผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟมีความเข้มข้น 2% ไม่ผ่านการอัดกาว และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 5 นาที เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ด้านการพองตัวของไม้ผ่านการปรับปรุง สถานะที่ 3 กับไม้ควบคุมสถานะที่ 5 ดังแสดงในตารางที่ 23 พบว่าการพองตัวทางด้านรัศมีและด้านสัมผัสค่าไม่แตกต่างกัน แต่การพองตัวด้านความหนา ไม้ผ่านการปรับปรุง สถานะที่ 3 มีค่าสูงกว่าไม้ควบคุมสถานะที่ 5 ทั้งนี้เนื่องจากไม้ที่สถานะที่ 3 ถูกแรงอัดและเมื่อมีการพองตัวทำให้มีการคืนตัวทางความหนาสูงกว่าไม้ปกติ

ตารางที่ 23 การพองตัว

	Condition1	Condition2	Condition3	Condition4	Condition5	Condition6	Condition7	Condition8
การพองตัวด้านรัศมี ISO 4856	2.23	2.89	3.01	2.70	3.00	3.28	2.94	6.94
การพองตัวด้านสัมผัส ISO 4856	5.12	7.91	4.53	5.31	7.15	5.24	4.68	5.18
การพองตัวตามความหนา EN 317	4.42	0.85	7.01	0.83	0.96	0.39	0.47	6.04
ปริมาณกาว (%)	-	4.36	-	6.71	-	6.09	6.31	-

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพกับไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพพบว่าไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพสถานะที่ 3 คือไม้ยางพาราสถานะสดผ่านการแช่สารละลายโซดาไฟมีความเข้มข้น 2% ไม่ผ่านการอัดกาว และทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 5 นาที พบว่าปริมาณกาวไม่ได้มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพของไม้ยางพาราทั้งนี้เนื่องจากการอัดกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ไม่สามารถอัดกาวเข้าไปในเนื้อไม้ได้ ดังนั้นการที่ไม้ยางพาราสถานะที่ 3 มีค่าคุณสมบัติที่สูงขึ้นก็เนื่องมาจากการใช้ความร้อนและแรงอัดที่สามารถปรับปรุงคุณภาพของไม้ยางพาราได้ แต่เมื่อพิจารณาด้านการพองตัวพบว่าการพองตัวที่สูงเมื่อได้รับความชื้น แสดงว่าการใช้ความร้อนและแรงอัดเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวภายในได้เมื่อไม่ได้รับความชื้น ดังนั้นควรจะต้องพัฒนากาวที่มีโมเลกุลขนาดเล็กที่สามารถอัดกาวเข้าไปในเนื้อไม้เพื่อลดคุณสมบัติของการพองตัวลง

6.การคำนวณต้นทุน

การคำนวณต้นทุนในไม้สถานะที่ 3 จากขบวนการผลิตของไม้ในสถานะที่ 3 มีต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากการผลิตไม้ยางพาราปกติได้แก่การอัดร้อน จากขบวนการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด (particleboard) โดยใช้ hot oil เป็นแหล่งให้ความร้อน ค่าใช้จ่ายในการอัดร้อนอยู่ที่ประมาณ 50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 1.4 บาทต่อลูกบาศก์ฟุต ที่ความหนาแน่น 650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (อุทิศ ตรีศักดิ์ บริษัท Green Fiber) ดังนั้นไม้ในสถานะที่ 3 มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นอยู่ประมาณ 1.4 บาทต่อลูกบาศก์ฟุต แต่คุณสมบัติไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สถานะที่ 3 จัดเป็นประเภทไม้เนื้อแข็ง โดยมีค่าคุณสมบัติใกล้เคียงกับไม้ประดู่ และไม้แดง แต่มีค่าสูงกว่าไม้เต็ง ไม้ตะเคียนทองและไม้สัก ดังนั้นราคาสามารถปรับขึ้นได้เมื่อเทียบราคาจำหน่ายในท้องตลาด ดังแสดงในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ตารางเปรียบเทียบราคาไม้ก่อสร้างในท้องตลาด

ชนิดและขนาดของไม้	หน่วย	ราคา (บาท)
ไม้ยางพารา 1x3	ลบ.ฟ.	360
ไม้สัก ขนาด 2 นิ้ว x 12 นิ้ว x 6 ฟุต	ลบ.ฟ.	2,000
ไม้ตะเคียนทอง ไม้ไผ่ ขนาด 2 x 8 นิ้ว ยาว 6 -8 เมตร	ลบ.ฟ.	885.00
ไม้ตะเคียนหิน ไม้ไผ่ ขนาด 2 x 8 นิ้ว ยาว 6 – 8 เมตร	ลบ.ฟ.	885.00
ไม้เต็ง ไม้ไผ่ ขนาด 2 x 8 นิ้ว ยาว 6 – 8 เมตร	ลบ.ฟ.	885.00
ไม้แดง ไม้ไผ่ ขนาด 2 x 6 นิ้ว ยาว 6 – 8 เมตร	ลบ.ฟ.	1,060.00
ไม้มะค่า ไม้ไผ่ ขนาด 2 x 6 นิ้ว ยาว 6 – 8 เมตร	ลบ.ฟ.	2,485.00
ไม้กะบาก ไม้ไผ่ ขนาด 1 x 8 นิ้ว ยาว 6 – 8 เมตร	ลบ.ฟ.	425.00

ที่มา : สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2561

ข้อเสนอแนะ

จากการทำการวิจัยในครั้งนี้ ไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีค่าความแข็งแรงที่สูงเทียบได้กับไม้เนื้อแข็งเพื่อใช้ทำโครงสร้าง แต่มีการพองตัวค่อนข้างสูง เนื่องจากอยู่ในแรงกด เมื่อได้รับความชื้นจึงทำให้เกิดการพองตัวทางความหนา ในการอัดกาวยูเรียฟอรัลดีไฮด์มีเข้าไปในเนื้อไม้กาวไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้ เนื่องจากโมเลกุลของกาวมีขนาดใหญ่ ดังนั้นในการวิจัยต่อยอดควรมีการปรับปรุงการให้โมเลกุลขนาดเล็กลงเพื่อให้กาวสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อไม้ได้ เพื่อจะได้ลดการพองตัวเนื่องจากความหนาแน่นได้เมื่อไม่นำไปใช้งาน

ไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงจะให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่าไม้ยางพาราที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพในบางคุณสมบัติ อย่างไรก็ตามไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่าการพองตัวที่สูง จึงจำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงค่าคุณสมบัติเชิงกลขึ้น เช่นการศึกษาถึงผลกระทบของชนิดและประเภทของกาวที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ วิธีการและเทคนิคในการอัดกาวเข้าไปในเนื้อไม้ ตลอดจนผลกระทบของแรงอัดและอุณหภูมิที่ใช้ เป็นต้น

อ้างอิง

- จิรวัดน์ ธิยาพันธ์. 2556. **คุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของไม้ยางพารา 7 โคลนพันธุ์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิตาภรณ์ ภูมิไชย์, กฤษดา สังข์สิงห์, จิรวัดน์ ธิยาพันธ์ และ เฉลิมพล ภูมิไชย์. 2558. คุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของไม้ยางพารา. **วารสารวิชาการเกษตร** 33(2): 144–158.
- บางรักษ์ เชษฐสิงห์. 2549. ลักษณะโครงสร้างและการจำแนกผลิตภัณฑ์ไม้บางชนิด. **กลุ่มพัฒนาผลิตผลป่าไม้. สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้**. กรมป่าไม้. 77 หน้า
- ศูนย์การศึกษาการค้าระหว่างประเทศ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. 2559. รายงานฉบับสมบูรณ์ “โครงการพัฒนาความร่วมมือด้านอุตสาหกรรมกับประเทศเพื่อนบ้าน (ยุทธศาสตร์การพัฒนาความร่วมมือด้านอุตสาหกรรมภายใต้กรอบโครงการพัฒนาเขตเศรษฐกิจสามฝ่าย อินโดนีเซีย-มาเลเซีย-ไทย: IMT-GT).
- Deka, M. and C.N. Saikia. 2000. Chemical modification of wood with thermosetting resin: effect on dimensional stability and strength property. **Bioresource Technology**. 73(2). 179-181
- Dwianto, W., M. Inoue, F. Tanaka and M. Norimoto. 1996. The permanent fixation of compressive deformation in wood by heatment. In: **Proc. of Third Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium**. Kyoto. Japan. p. 231-239.
- Ebringerova, A., B. Kosikova and Kacurakova. 1993. Structural changes of hardwood lignin polysaccharide complex upon steaming. **Drev. Vysk** 38(2). p. 23-39.
- European Standards. 2011. **Particleboards and fibreboards - Determination of resistance to axial withdrawal of screws**. EN 320.
- Fukuta, S., F. Asada and Y. Sasaki. 2008. The simultaneous treatment of compression drying and deformation fixation in the compression processing of wood. **Forest Prod. J.**58(7-8). p. 82-88
- Gabrielli, C. P. and F. A. Kamke. 2010. Phenol-formaldehyde impregnation of densified wood for improved dimensional stability. **Wood Sci. Technol.** 44(1). p. 95-104.

- Gardner, D.J., D. W. Gunnells, M. P. Wolcott and L. Amos. 1993. Changes in wood polymers during the pressing of wood composites. *Cell: Chem. Biochem. Mater. Asp.* p. 513-518.
- Geimer, R.L., R. J. Mahoney, S. P. Loehnertz and R. W. Meyer. 1985. Influence of processing induced damage on strength of flakes and flakeboards. Forest Products Laboratory. United States Department of Agriculture. **Forest Service**. 15 p.
- Higashihara, T., T. Morooka, and M. Norimoto. 2000. Permanent fixation of transversely compressed wood by steaming and its mechanism. **Mokuzai Gakkaishi** 46(4). p. 291-297
- Hill, C. 2006. Wood Modification : Chemical, Thermal and Other Processes. **John Wiley and Sons Ltd**. 239 p.
- Hillis, W. E. 1984. High temperature and chemical effects on wood stability. **Wood Sci. Technol.** 18. p.
- Hsu, W. E., W. Schwald, J. Schwald, and J. A. Shield. 1988. Chemical and physical changes required for production dimensionally stable wood-based composites. **Wood Sci. Technol.** 22. p. 281-289.
- Inoue, M., M. Norimoto, M. Tanahashi, and R. M. Rowell. 1993. Steam or heat fixation of compressed wood. **Wood Fiber Sci.** 25(3). p. 224-235.
- Inoue, M., N. Sekino, T. Morooka, R. M. and M. Norimoto. 1996. Dimensional stabilization of wood composites by steaming. I. Fixation of compressed wood by pre-steaming. In: **Proc. of Third Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium**. Kyoto. Japan. p. 240-248
- Inoue, M., N. Sekino, T. Morooka, R. M. Rowell and M. Norimoto. 2008. Fixation of compressive deformation in wood pre-steaming. **J.Trop. Forest Sci.** 20(4). p. 273-281.
- International Organization for Standardization. 2014. **Physical and mechanical properties of wood -- Test methods for small clear wood specimens -- Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests.** ISO 31061-2.

- International Organization for Standardization. 2017. **Physical and mechanical properties of wood -- Test methods for small clear wood specimens -- Part 15: Determination of radial and tangential swelling.** ISO 31061-15.
- Kamke, F.A. 2006. Densified radiata pine for structural composites. **Ciencia y Tecnología** 8(2). p. 83-92.
- Kamke, F.A. 2008. Viscoelastic thermal compression of wood. **United States Patent** US7,404,422B2 ([http:// www. Freepatentsonline.com/7404422.html](http://www.freepatentsonline.com/7404422.html)).
- Kamke, K. A. and L. J. Casey. 1988. Fundamentals of flakeboard manufacture: Internal-mat conductions. **Forest Prod. J.** 38(6). p. 38-44.
- Kawai, S., Q. Wang, H. Sasaki and M. Tanahashi. 1992. Production of compressed laminated veneer lumber by steam pressing. In: **Proc. of the Third Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium. Kyoto.** Japan. p. 121-128.
- Kosikova, B., A. Ebringerova and M. Kacurakova. 1993. Structural changes of spruce wood lignin-polysaccharide complex upon steaming. **Drev Vysk** 38(2). p. 1-9.
- Kultikova, E.V. 1999. Structure and Properties relationship of densified wood. **MSc. Dissertation, Virginia Polytechnic Inst. and State Univ. Blacksburg, VA (USA)**
- Laine, K., K. Segerholm, M. Walinder, L. Rautkri, G. Ormondroyd, M. Hugges and D. Jones. Micromorphological studies of surface densified wood. **J Mater Sci.** 49 : 2027-2034
- Lukowsky, D. and R.D. Peek. 1998. Time dependent over uptake of etherificated melamine resins. **International research group on wood preservation.** Doc. No. IRG/WP 98-40109
- Lukowsky, D., R.D. Peek and A.O. Rapp. 1998. Curing condition for a low formaldehyde etherificated melamine resin. **International research group on wood preservation.** Doc. No. IRG/WP 98-40108
- Navi, O. and F. Heger. 2004. Combined densification and thermo-hydro-mechanical processing of wood. **Mrs Bull.** 29(5). p. 332-336.
- Price, E. W. 1976. Determination tensile properties of sweetgum veneer flakes. **Forest Prod. J.** 26(10). p. 50-53.

- Rapp, A.O. and R.D. Peek. 1996. Melamine resin as wood preservative: results of biological testing. **International research group on wood preservation**. Doc. No. IRG/WP 99-20163
- Ritschkoff, A.C., M. Ratto, A. Nurmi, H. Kokko, A. Rapp, and H. Militz. 1999. Effect of some resin treatments on fungal degradation reaction. **International research group on wood preservation**. Doc. No. IRG/WP 99-10318
- Rowell, R.M. 1975. Chemical Modification of Wood : **Specialty Treatment**. Chapter 19. p. 1-15.
- Rowell, R.M. and Konkol, P. 1987. Treatments that enhance physical properties of wood. **FPL. General Technical Report FPL-GTR-55**, 12 p.
- Ryu, J.Y., M. Takahashi, Y. Imamura and T. sato. 1991. Biological resistance of phenol resin treated wood. **Mokuzai Gakkashi**. 37(9). 852-858
- Sailar, M., A.O. Rapp, and R.D. Peek 1998. Biological resistance of wood treated with water based resin and drying oil in mini-block test. **International research group on wood preservation**. Doc. No. IRG/WP 98-40107
- Seborg, R.M., H. Tarkow, and A.J. Stamm. 1962. Modified woods. **FPL, Report** No. 2192 (revised), 30 pp.
- Stamm, A.J., and R.H. Baechler. 1960. Decay resistance and dimensional stability of five modified woods. **Forest Products Journal**. 10(1). 22-26
- Stamm, A.J., and R.M. Seborg. 1936. Minizing wood shrinkage and swelling, Effect of heating in various gases. **Industrial Engineering Chemistry**, 29(7). 831-833
- Stamm, A.J., and R.M. Seborg. 1941. Resin treated, laminated, compressed wood. **Trans. Am. Inst. Chem. Eng.** 37:385-397
- Sulaiman, O., N. Salim, N.A. Nordin, R. Hashim, M. Ibrahim, and M.Sato. 2012. Compressed oil palmtrunk. Review article. **BioResources** 7(2). 2688-2706.
- Takahashi, M. and Y. Imamura. 1990. Biological resistance of phenol resin treated wood. **International research group on wood preservation**. Doc.No. IRG/WP 3602
- U.S. Forest Service Research Note. 1966. Basic properties of yellow birch laminates modified with phenol and urea resins. **FPL-0140**. 20 pp.

- Van Acker, J., A. Nurmi, S. Gray, H. Militz, C. Hill, H. Kokko, and A. Rapp. 1999. Decay resistance of resin treated wood. **International research group on wood preservation**. Doc.No. IRG/WP 99-30206
- Westin, M., A.O. Rapp, and T. Nilson. 2004b. Durability of pine modified by 9 different methods. **International research group on wood preservation**. Doc.No. IRG/WP 04-40288
- Wong, T. S., M. T. Paridah, A. Zaidon, B. E. Suhaimi. and I. Azmi. 2008. Effects of pre-steaming and compressing pressure on the dimensional stability of densified wood. **In: Proc. of National Conference on Forest Product**. Kuala Lumpur. Malaysia. p. 183-189.

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสถานะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว ต่อระดับความชื้นของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	2365.011	95	24.895	3.077	0.000
Intercept	20260.517	1	20260.517	2504.330	0.000
Type	13.737	1	13.737	1.698	0.194
NaOH	253.746	3	84.582	10.455	0.000*
Temp	20.182	3	6.727	0.832	0.478
Glue	420.860	2	210.430	26.011	0.000*
Type * NaOH	33.359	3	11.120	1.374	0.253
Type * Temp	35.975	3	11.992	1.482	0.221
Type * Glue	199.539	2	99.770	12.332	0.000
NaOH * Temp	188.575	9	20.953	2.590	0.008
NaOH * Glue	268.492	6	44.749	5.531	0.000
Temp * Glue	66.877	6	11.146	1.378	0.227
Type * NaOH * Temp	82.227	9	9.136	1.129	0.345
Type * NaOH * Glue	188.852	6	31.475	3.891	0.001
Type * Temp * Glue	87.273	6	14.545	1.798	0.103
NaOH * Temp * Glue	273.369	18	15.187	1.877	0.021
Type * NaOH * Temp * Glue	196.147	18	10.897	1.347	0.166
Error	1310.611	162	8.090		
Total	24881.007	258			
Corrected Total	3675.623	257			

R-Square = 0.643

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อระดับความชื้นของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	ระดับความชื้น (%)	N	Duncan Grouping
0%	7.4722	67	a
2%	8.8804	67	b
5%	9.9984	60	c
10%	10.0545	64	c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อระดับความชื้นของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับระดับอุณหภูมิที่ใช้ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับอุณหภูมิ	ระดับความชื้น (%)	N	Duncan Grouping
100°C	7.4254	82	a
180°C	9.1448	88	a
200°C	10.5158	88	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสภาวะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว ต่อความหนาแน่นของเนื้อไม้ของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	1.053	95	0.011	2.249	0.000
Intercept	150.650	1	150.650	30549.559	0.000
Type	0.085	1	0.085	17.190	0.000*
NaOH	0.120	3	0.040	8.134	0.000*
Temp	0.016	2	0.008	1.580	0.209
Glue	0.023	3	0.008	1.588	0.194
Type * NaOH	0.018	3	0.006	1.188	0.316
Type * Temp	0.003	2	0.001	0.278	0.757
Type * Glue	0.013	3	0.004	0.854	0.466
NaOH * Temp	0.071	6	0.012	2.409	0.029
NaOH * Glue	0.093	9	0.010	2.088	0.033
Temp * Glue	0.023	6	0.004	0.778	0.588
Type * NaOH * Temp	0.069	6	0.011	2.324	0.035
Type * NaOH * Glue	0.133	9	0.015	2.995	0.003
Type * Temp * Glue	0.073	6	0.012	2.473	0.026
NaOH * Temp * Glue	0.145	18	0.008	1.629	0.059
Type * NaOH * Temp * Glue	0.149	18	0.008	1.681	0.048
Error	0.794	161	0.005		
Total	157.861	257			
Corrected Total	1.847	256			

R-Square = 0. 570 (Adjusted R Squared = .317)

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	ร้อยละของกาว	N	Duncan Grouping
0%	0.7897	67	a
2%	0.7572	66	b
5%	0.7597	60	b
10%	0.8090	64	a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสถานะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว ต่อปริมาณกาวในเนื้อไม้ของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	433.209	23	18.835	2.618	0.000
Intercept	9777.049	1	9777.049	1359.111	0.000
Type	5.506	1	5.506	0.765	0.383
NaOH	177.457	3	59.152	8.223	0.000*
Glue	111.029	2	55.515	7.717	0.001*
Type * NaOH	57.983	3	19.328	2.687	0.048
Type * Glue	13.505	2	6.752	0.939	0.393
NaOH * Glue	35.282	6	5.880	0.817	0.558
Type * NaOH * Glue	31.898	6	5.316	0.739	0.619
Error	1366.805	190	7.194		
Total	11612.407	214			
Corrected Total	1800.014	213			

R-Square = 0.241

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อปริมาณการของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจาก ระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	ร้อยละของกาว	N	Duncan Grouping
0%	5.4801	53	a
2%	6.5739	53	b
5%	6.9881	54	b
10%	8.0160	54	c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อปริมาณการของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจาก ระดับความเข้มข้นของกาวที่ใช้ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของกาว	ร้อยละของกาว	N	Duncan Grouping
35%	6.0450	71	a
40%	6.5151	71	a
45%	7.7405	72	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสภาวะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว และอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนต่อค่าความถ่วงจำเพาะของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	0.950 ^a	95	0.010	2.028	0.000
Intercept	141.842	1	141.842	28759.398	0.000
Type	0.144	1	0.144	29.201	0.000*
NaOH	0.087	3	0.029	5.912	0.001*
Temp	0.023	3	0.008	1.554	0.203
Glue	0.009	2	0.005	0.945	0.391
Type * NaOH	0.020	3	0.007	1.384	0.250
Type * Temp	0.028	3	0.009	1.868	0.137
Type * Glue	0.001	2	0.001	0.148	0.862
NaOH * Temp	0.060	9	0.007	1.341	0.219
NaOH * Glue	0.012	6	0.002	0.413	0.870
Temp * Glue	0.019	6	0.003	0.656	0.685
Type * NaOH * Temp	0.102	9	0.011	2.307	0.018
Type * NaOH * Glue	0.068	6	0.011	2.298	0.037
Type * Temp * Glue	0.084	6	0.014	2.850	0.012
NaOH * Temp * Glue	0.121	18	0.007	1.363	0.157
Type * NaOH * Temp * Glue	0.155	18	0.009	1.741	0.037*
Error	0.794	161	0.005		
Total	148.546	257			
Corrected Total	1.744	256			

R-Square = 0.545

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าความถ่วงจำเพาะของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	ความถ่วงจำเพาะ	N	Duncan Grouping
0%	0.77	67	a
2%	0.74	66	b
5%	0.74	60	b
10%	0.78	64	a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสภาวะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว และอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนต่อค่าโมดูลัสแตกหักของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	84261.569	95	886.964	2.952	0.000
Intercept	1332227.836	1	1332227.836	4433.687	0.000
Type	59.739	1	59.739	0.199	0.656
NaOH	37432.255	3	12477.418	41.525	0.000*
Temp	5705.881	2	2852.940	9.495	0.000*
Glue	1336.305	3	445.435	1.482	0.221
Type * NaOH	1075.810	3	358.603	1.193	0.314
Type * Temp	1246.637	2	623.318	2.074	0.129
Type * Glue	1066.454	3	355.485	1.183	0.318
NaOH * Temp	2869.487	6	478.248	1.592	0.152
NaOH * Glue	4702.007	9	522.445	1.739	0.083
Temp * Glue	4086.400	6	681.067	2.267	0.039
Type * NaOH * Temp	2530.632	6	421.772	1.404	0.215
Type * NaOH * Glue	2826.853	9	314.095	1.045	0.406
Type * Temp * Glue	2148.966	6	358.161	1.192	0.312
NaOH * Temp * Glue	9895.991	18	549.777	1.830	0.025
Type * NaOH * Temp * Glue	7512.753	18	417.375	1.389	0.141
Error	54987.569	183	300.479		
Total	1495869.858	279			
Corrected Total	139249.139	278			

R-Square = 0.605

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าโมดูลัสแตกหักของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	ค่าโมดูลัสแตกหัก	N	Duncan Grouping
0%	83.2934	70	a
2%	75.8323	69	b
5%	67.1172	71	c
10%	52.5611	69	d

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าโมดูลัสแตกหักของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับอุณหภูมิที่ใช้ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	ค่าโมดูลัสแตกหัก	N	Duncan Grouping
100°C	75.7040	94	a
180°C	67.8797	94	b
200°C	65.4740	91	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสภาวะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว และอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	4.063E9	95	4.277E7	1.996	0.000
Intercept	1.361E10	1	1.361E10	635.093	0.000
Type	3.159E7	1	3.159E7	1.474	0.226
NaOH	8.093E8	3	2.698E8	12.587	0.000*
Temp	1.185E8	2	5.925E7	2.764	0.066
Glue	5.425E7	3	1.808E7	.844	0.472
Type * NaOH	2.643E8	3	8.809E7	4.110	0.008
Type * Temp	1.255E8	2	6.273E7	2.927	0.056
Type * Glue	1.958E8	3	6.526E7	3.045	0.030
NaOH * Temp	2.639E8	6	4.398E7	2.052	0.061
NaOH * Glue	4.553E8	9	5.059E7	2.360	0.015
Temp * Glue	5.481E8	6	9.136E7	4.263	0.000
Type * NaOH * Temp	2.792E8	6	4.653E7	2.171	0.048
Type * NaOH * Glue	3.749E8	9	4.165E7	1.943	0.048
Type * Temp * Glue	4.213E8	6	7.021E7	3.276	0.004
NaOH * Temp * Glue	7.470E8	18	4.150E7	1.936	0.015
Type * NaOH * Temp * Glue	6.859E8	18	3.810E7	1.778	0.031
Error	3.922E9	183	2.143E7		
Total	2.133E10	279			
Corrected Total	7.985E9	278			

R-Square = 0.509

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	N	Duncan Grouping
0%	9247.6	70	a
2%	6905.5391	69	b
5%	6301.0704	71	bc
10%	5195.4899	69	c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสภาวะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว และอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนต่อค่าแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	4983.032	95	52.453	1.920	0.000
Intercept	405624.163	1	405624.163	14843.920	0.000
Type	80.330	1	80.330	2.940	0.088
NaOH	1211.891	3	403.964	14.783	0.000*
Temp	8.783	2	4.391	0.161	0.852
Glue	20.105	3	6.702	0.245	0.865
Type * NaOH	45.520	3	15.173	0.555	0.645
Type * Temp	71.495	2	35.748	1.308	0.273
Type * Glue	144.972	3	48.324	1.768	0.155
NaOH * Temp	158.108	6	26.351	0.964	0.451
NaOH * Glue	585.734	9	65.082	2.382	0.014
Temp * Glue	205.657	6	34.276	1.254	0.281
Type * NaOH * Temp	469.150	6	78.192	2.861	0.011
Type * NaOH * Glue	288.873	9	32.097	1.175	0.314
Type * Temp * Glue	313.986	6	52.331	1.915	0.081
NaOH * Temp * Glue	685.477	18	38.082	1.394	0.139
Type * NaOH * Temp * Glue	754.753	18	41.931	1.534	0.082
Error	5000.648	183	27.326		
Total	421829.521	279			
Corrected Total	9983.681	278			

R-Square = 0.499

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	แรงอัดขนานเสี้ยน	N	Duncan Grouping
0%	40.6430	70	a
2%	39.1755	70	a
5%	38.9267	68	a
10%	35.0009	71	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสภาวะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว และอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนต่อค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	2376.196	95	25.013	2.405	0.000
Intercept	45282.272	1	45282.272	4353.808	0.000
Type	93.552	1	93.552	8.995	0.003*
NaOH	382.356	3	127.452	12.254	0.000*
Temp	11.979	2	5.990	0.576	0.563
Glue	188.097	3	62.699	6.028	0.001
Type * NaOH	232.997	3	77.666	7.467	0.207
Type * Temp	33.079	2	16.540	1.590	0.953
Type * Glue	3.499	3	1.166	0.112	0.025
NaOH * Temp	155.086	6	25.848	2.485	0.055
NaOH * Glue	177.539	9	19.727	1.897	0.773
Temp * Glue	34.070	6	5.678	0.546	0.028
Type * NaOH * Temp	151.548	6	25.258	2.429	0.187
Type * NaOH * Glue	132.007	9	14.667	1.410	0.010
Type * Temp * Glue	182.322	6	30.387	2.922	0.157
NaOH * Temp * Glue	254.598	18	14.144	1.360	0.032
Type * NaOH * Temp * Glue	331.350	18	18.408	1.770	
Error	1778.505	171	10.401		
Total	50400.101	267			
Corrected Total	4154.700	266			

R-Square = 0.572

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน	N	Duncan Grouping
0%	13.8915	68	ab
2%	14.3856	67	a
5%	13.1731	65	b
10%	11.1820	67	c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 20 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของกาวที่ใช้ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของกาว	แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน	N	Duncan Grouping
0%	14.4905	63	a
35%	12.7301	70	b
40%	12.3827	67	b
45%	13.1381	67	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสภาวะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว และอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนต่อค่าแรงเฉือนของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	751.890 ^a	95	7.915	1.965	.000
Intercept	66051.401	1	66051.401	16397.492	.000
Type	20.498	1	20.498	5.089	.025*
NaOH	121.362	3	40.454	10.043	.000*
Temp	11.924	2	5.962	1.480	.230
Glue	40.659	3	13.553	3.365	.020*
Type * NaOH	34.161	3	11.387	2.827	.040
Type * Temp	19.430	2	9.715	2.412	.092
Type * Glue	22.616	3	7.539	1.872	.136
NaOH * Temp	27.479	6	4.580	1.137	.342
NaOH * Glue	48.813	9	5.424	1.346	.215
Temp * Glue	27.457	6	4.576	1.136	.343
Type * NaOH * Temp	39.318	6	6.553	1.627	.142
Type * NaOH * Glue	42.329	9	4.703	1.168	.318
Type * Temp * Glue	57.081	6	9.514	2.362	.032
NaOH * Temp * Glue	119.805	18	6.656	1.652	.051
Type * NaOH * Temp * Glue	123.280	18	6.849	1.700	.042
Error	765.347	190	4.028		
Total	67834.442	286			
Corrected Total	1517.236	285			

R-Square = 0.496

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 22 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าแรงเหวี่ยงของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	แรงอัดตั้งฉากเส้น	N	Duncan Grouping
0%	14.7438	71	a
2%	14.5586	72	a
5%	15.4066	71	b
10%	16.1970	72	c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 23 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าแรงอัดตั้งฉากเส้นของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของกาวที่ใช้ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของกาว	แรงอัดตั้งฉากเส้น	N	Duncan Grouping
0%	15.8444	72	a
35%	15.0275	71	b
40%	14.8405	71	b
45%	15.1897	72	ab

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสภาวะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว และอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนต่อค่าความแข็งของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	1.873E8	95	1971702.876	2.035	0.000
Intercept	9.078E9	1	9.078E9	9371.337	0.000
Type	1.351E7	1	1.351E7	13.945	0.000*
NaOH	2.445E7	3	8150750.674	8.414	0.000*
Temp	5107390.795	2	2553695.398	2.636	0.074
Glue	5428476.986	3	1809492.329	1.868	0.137
Type * NaOH	1.133E7	3	3775721.567	3.898	0.010
Type * Temp	5654771.728	2	2827385.864	2.919	0.057
Type * Glue	1572640.045	3	524213.348	.541	0.655
NaOH * Temp	1.575E7	6	2624281.714	2.709	0.015
NaOH * Glue	5907070.361	9	656341.151	0.678	0.729
Temp * Glue	1.357E7	6	2261606.423	2.335	0.034
Type * NaOH * Temp	6242721.893	6	1040453.649	1.074	0.380
Type * NaOH * Glue	1.369E7	9	1521550.772	1.571	0.127
Type * Temp * Glue	3220983.828	6	536830.638	0.554	0.766
NaOH * Temp * Glue	2.901E7	18	1611577.817	1.664	0.049
Type * NaOH * Temp * Glue	3.456E7	18	1920030.513	1.982	.013
Error	1.763E8	182	968672.540		
Total	9.595E9	278			
Corrected Total	3.636E8	277			

R-Square = 0.515

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 25 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าความแข็งของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	N	Duncan Grouping
0%	5856.5612	70	ab
2%	6128.7910	68	a
5%	5744.9750	70	b
10%	5330.2917	70	c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสถานะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว และอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนต่อค่าแรงฉีกเฉลี่ยของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	1079.307	95	11.361	1.741	0.001
Intercept	2374.283	1	2374.283	363.793	0.000
Type	112.798	1	112.798	17.283	0.000*
NaOH	18.676	3	6.225	0.954	0.416
Temp	5.430	2	2.715	0.416	0.660
Glue	19.382	3	6.461	0.990	0.399
Type * NaOH	90.022	3	30.007	4.598	0.004
Type * Temp	89.376	2	44.688	6.847	0.001
Type * Glue	30.193	3	10.064	1.542	0.205
NaOH * Temp	42.810	6	7.135	1.093	0.368
NaOH * Glue	105.241	9	11.693	1.792	0.073
Temp * Glue	44.470	6	7.412	1.136	0.344
Type * NaOH * Temp	114.386	6	19.064	2.921	0.010
Type * NaOH * Glue	21.625	9	2.403	0.368	0.949
Type * Temp * Glue	96.599	6	16.100	2.467	0.026
NaOH * Temp * Glue	136.496	18	7.583	1.162	0.298
Type * NaOH * Temp * Glue	106.502	18	5.917	0.907	0.571
Error	1109.499	170	6.526		
Total	4685.010	266			
Corrected Total	2188.806	265			

R-Square = 0.493

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสภาวะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว และอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนต่อค่าการพองตัวด้านรัศมีของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	159.169	95	1.675	2.371	0.000
Intercept	3170.257	1	3170.257	4486.437	0.000
Type	41.331	1	41.331	58.490	0.000*
NaOH	29.055	3	9.685	13.706	0.000*
Temp	1.271	3	0.424	0.600	0.616
Glue	0.278	2	0.139	0.196	0.822
Type * NaOH	3.562	3	1.187	1.680	0.173
Type * Temp	2.062	3	0.687	0.973	0.407
Type * Glue	1.559	2	0.780	1.103	0.334
NaOH * Temp	7.218	9	0.802	1.135	0.340
NaOH * Glue	8.924	6	1.487	2.105	0.055
Temp * Glue	6.017	6	1.003	1.419	0.209
Type * NaOH * Temp	5.494	9	0.610	0.864	0.559
Type * NaOH * Glue	10.408	6	1.735	2.455	0.026
Type * Temp * Glue	5.411	6	0.902	1.276	0.270
NaOH * Temp * Glue	21.456	18	1.192	1.687	0.045
Type * NaOH * Temp * Glue	12.653	18	0.703	0.995	0.468
Error	132.847	188	0.707		
Total	3474.139	284			
Corrected Total	292.015	283			

R-Square = 0.545

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 28 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวด้านรัศมีของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	การพองตัวด้านรัศมี	N	Duncan Grouping
0%	2.8605	70	a
2%	3.2637	71	b
5%	3.4972	71	bc
10%	3.7553	72	c

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสภาวะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว และอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนต่อค่าการพองตัวด้านสัมผัสของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	170.939	95	1.799	3.071	0.000
Intercept	6756.239	1	6756.239	11529.184	0.000
Type	27.508	1	27.508	46.941	0.000*
NaOH	32.940	3	10.980	18.737	0.000*
Temp	0.928	3	0.309	0.528	0.664
Glue	17.732	2	8.866	15.129	0.000*
Type * NaOH	16.232	3	5.411	9.233	0.000
Type * Temp	1.107	3	0.369	0.630	0.597
Type * Glue	7.407	2	3.703	6.320	0.002
NaOH * Temp	5.975	9	0.664	1.133	0.341
NaOH * Glue	13.168	6	2.195	3.745	0.002
Temp * Glue	2.800	6	0.467	0.796	0.574
Type * NaOH * Temp	2.100	9	0.233	0.398	0.935
Type * NaOH * Glue	18.543	6	3.090	5.274	0.000
Type * Temp * Glue	1.539	6	0.256	0.438	0.853
NaOH * Temp * Glue	7.406	18	0.411	0.702	0.807
Type * NaOH * Temp * Glue	15.555	18	0.864	1.475	0.103
Error	112.514	192	0.586		
Total	7039.692	288			
Corrected Total	283.454	287			

R-Square = 0.603

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวด้านสัมผัสของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	การพองตัวด้านสัมผัส	N	Duncan Grouping
0%	5.4253	72	a
2%	4.5862	72	b
5%	4.6743	72	b
10%	4.6881	72	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวด้านสัมผัสของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อน โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับอุณหภูมิที่ใช้	การพองตัวด้านสัมผัส	N	Duncan Grouping
100°C	5.1941	96	a
180°C	4.6799	96	b
200°C	4.6564	96	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสภาวะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว และอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนต่อค่าการพองตัวตามความหนาไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	1938.266	95	20.403	3.788	0.000
Intercept	2642.887	1	2642.887	490.659	0.000
Type	49.192	1	49.192	9.133	0.003*
NaOH	179.739	3	59.913	11.123	0.000*
Temp	40.240	3	13.413	2.490	0.062
Glue	791.953	2	395.977	73.514	0.000*
Type * NaOH	58.632	3	19.544	3.628	0.014
Type * Temp	18.807	3	6.269	1.164	0.325
Type * Glue	23.191	2	11.595	2.153	0.119
NaOH * Temp	65.052	9	7.228	1.342	0.218
NaOH * Glue	166.657	6	27.776	5.157	0.000
Temp * Glue	61.513	6	10.252	1.903	0.083
Type * NaOH * Temp	96.924	9	10.769	1.999	0.042
Type * NaOH * Glue	71.596	6	11.933	2.215	0.044
Type * Temp * Glue	59.006	6	9.834	1.826	0.096
NaOH * Temp * Glue	157.850	18	8.769	1.628	0.057
Type * NaOH * Temp * Glue	115.566	18	6.420	1.192	.272
Error	969.552	180	5.386		
Total	5574.915	276			
Corrected Total	2907.818	275			

R-Square = 0.667

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวตามความหนาของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	การพองตัวตามความหนา	N	Duncan Grouping
0%	4.0377	70	a
2%	3.7297	67	a
5%	2.5479	70	b
10%	2.1318	69	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวตามความหนาของไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อน โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับอุณหภูมิที่ใช้	การพองตัวตามความหนา	N	Duncan Grouping
100°C	0.7636	92	a
180°C	3.8519	94	b
200°C	4.7293	90	c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติอิทธิพลของสภาวะของไม้ยางพาราที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ ปริมาณความเข้มข้นของกาว และอุณหภูมิในการอบร้อนและอัดร้อนต่อค่าการยืดเหนียวของตะปูคองในไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	205368.442	95	2161.773	1.700	0.001
Intercept	8811817.240	1	8811817.240	6928.503	0.000
Type	54331.104	1	54331.104	42.719	0.000*
NaOH	11813.636	3	3937.879	3.096	0.028*
Temp	3813.254	3	1271.085	0.999	0.394
Glue	4096.781	2	2048.390	1.611	0.203
Type * NaOH	2964.701	3	988.234	0.777	0.508
Type * Temp	2194.704	3	731.568	0.575	0.632
Type * Glue	8581.346	2	4290.673	3.374	0.036
NaOH * Temp	7032.299	9	781.367	0.614	0.784
NaOH * Glue	10476.493	6	1746.082	1.373	0.228
Temp * Glue	5984.306	6	997.384	0.784	0.583
Type * NaOH * Temp	3275.981	9	363.998	0.286	0.978
Type * NaOH * Glue	2300.122	6	383.354	0.301	0.936
Type * Temp * Glue	9092.830	6	1515.472	1.192	0.313
NaOH * Temp * Glue	46658.358	18	2592.131	2.038	0.010
Type * NaOH * Temp * Glue	32834.471	18	1824.137	1.434	0.119
Error	239102.407	188	1271.821		
Total	9287121.444	284			
Corrected Total	444470.849	283			

R-Square = 0.462

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 36 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการยืดเหี่ยวของตะปูควงในไม้ยางพาราที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพจากระดับความเข้มข้นของสารละลายโซดาไฟ โดยวิธี Duncan' s Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ระดับความเข้มข้นของโซดาไฟ	ค่าการยืดเหี่ยวของ ตะปูควง	N	Duncan Grouping
0%	186.6526	71	a
2%	176.9953	71	ab
5%	173.1925	71	b
10%	168.9765	71	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

Gantt chart เปรียบเทียบกิจกรรมที่เสนอในข้อเสนอโครงการ และกิจกรรมที่ทำจริง

1. ตารางเปรียบเทียบ Output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการ และที่ได้จริง

กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ/หรือ จากการปรับแผน	ผลสำเร็จ (%)	ในกรณีล่าช้า (ผลสำเร็จไม่ถึง 100%) ให้ระบุสาเหตุ และการแก้ไขที่ท่านดำเนินการ
- นำไม้ยางพาราที่มีความยาว ๓๐ cm. หน้า ๑-๒ นิ้ว - แช่ในด่าง NaOH ที่มีความเข้มข้น ๓ ระดับ - ทำการอัดกา UF ชนิด E๐ ที่ความเข้มข้น ต่างกัน ๔ ระดับ - ทำการอบแห้งไม้ยางพารา ในเตาอบไม้ (Kiln drying) เพื่อลดปริมาณความชื้น - ทำการอบร้อน และ อัดร้อนที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ ๒ ระดับ โดยกำหนดระยะเวลาอัดร้อนคงที่ เพื่อให้กาแข็งตัว	100%	
- นำชิ้นทดลองแต่ละชิ้นมาตัดเป็นชิ้นทดสอบเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกล (physical and mechanical properties) ดังต่อไปนี้ Moisture Content, Density or Specific gravity, Thickness swelling ,Static Bending (MOR, MOE), Hardness, Screw holding, Shear, Compression parallel to grain and Compression perpendicular to grain	100%	
ปรับสภาวะความชื้นของชิ้นทดสอบ	100%	
ทำการทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกล ทำการทดสอบการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์	100%	
ทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง นำผลการทดลองมาเปรียบเทียบผลกับไม้เนื้อแข็งที่ทำไม้ก่อสร้าง	100%	
สรุปผล และจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์	100%	

ลงนาม.....

(.....)

(หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน)

วันที่.....

