

สมบัติทางเชิงกลและการหน่วงไฟของแผ่นไม้อัดจากซีเลื่อยไม้ยางพาราที่ใช้ กาวพอลิยูรีเทนจากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

Mechanical and Flame Retardant Properties of Particle Board based on Rubber Wood Sawdust boned with Polyurethane Adhesive based on Modified Used Palm Oil

อนุธิดา สุวรรณ¹, อนุวัต แซ่ต้ง², ณัฐพนธ์ อุทัยพันธุ์³ และนิตินาท แซ่ต้ง^{1*}
Anutida Suwan¹, Anuwat Saetung², Nattapon Uthaipan³ and Nitinart Saetung^{1*}

บทคัดย่อ

กาวพอลิยูรีเทนชนิดใหม่ประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว และผ่านการทดสอบการเตรียมแผ่นไม้อัดจากซีเลื่อยไม้ยางพารา น้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วดัดแปรสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันและไฮดรอกซิเลชันในขั้นตอนเดียว โดยศึกษาเวลาการทำปฏิกิริยา 2 - 8 ชั่วโมง โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันปาล์มใช้แล้วดัดแปรได้รับการยืนยันเครื่อง FTIR และ ¹H-NMR ค่าไฮดรอกซิลสูงสุดของน้ำมันปาล์มใช้แล้วดัดแปรคือ 180 mgKOH/g ที่เวลาการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง แผ่นไม้อัดจากซีเลื่อยไม้ยางพาราถูกเตรียมขึ้นจากการใช้กาวพอลิยูรีเทนจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วดัดแปรในการติดประสานได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณกาวพอลิยูรีเทน (ร้อยละ 25 - 60 โดยน้ำหนักของซีเลื่อยไม้ยางพารา) ดัชนีไอโซไซยานต (100 - 180) และปริมาณสารไตรฟีนิลฟอสเฟต (ร้อยละ 10 - 30 ของน้ำหนักกาว) ทำหน้าที่เป็นสารหน่วงไฟ จากการสังเกตพบว่าแผ่นไม้อัดมีรูปร่างสมบูรณ์ที่มีการใช้กาวพอลิยูรีเทนร้อยละ 45 - 60 โดยน้ำหนักของซีเลื่อยไม้ยางพารา การเพิ่มปริมาณกาวพอลิยูรีเทนและการเพิ่มดัชนีไอโซไซยานต จะทำให้เกิดการยึดเกาะที่ดียิ่งขึ้น ให้แผ่นไม้อัดมีความต้านแรงดัดเพิ่มขึ้น ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นสูง เพิ่มความต้านทานต่อการบวมน้ำ และการเติมสารหน่วงไฟที่ปริมาณร้อยละ 30 ของปริมาณกาวพอลิยูรีเทนจะช่วยปรับปรุงสมบัติการหน่วงไฟของแผ่นไม้อัดผ่านมาตรฐานการทดสอบ UL94 อยู่ในชั้นคุณภาพ V-0 ผลการศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าพอลิเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มใช้แล้วสามารถนำมาใช้เป็นกาวพอลิยูรีเทนที่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวประสานสำหรับแผ่นไม้อัดคอมโพสิต

คำสำคัญ: น้ำมันปาล์มใช้แล้ว, พอลิเอสเตอร์, กาวพอลิยูรีเทน, ซีเลื่อย, แผ่นไม้อัด

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

² ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

³ วิทยาลัยนานาชาติยางพาราไทย-จีน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

* Corresponding author e-mail: nitinart.s@psu.ac.th

Abstract

Novel polyurethane adhesive was successfully synthesized from used palm oil (UPO) and was further tested for preparing particle board based on rubber wood sawdust. Modified used palm oil (MUPO) was synthesized *via* epoxidation and hydroxylation in a single step. The reaction time of 2-8 hours was studied. The chemical structure of MUPO was confirmed by FTIR and $^1\text{H-NMR}$ spectroscopy. The highest OH value of MUPO was 180 mgKOH/g with 8 h of reaction time. The new particle board based on rubber wood sawdust bonded with polyurethane adhesive based on used palm oil was prepared. The effects of polyurethane adhesive content (25 – 60 %wt of rubber wood sawdust), NCO index (100 -180), and Triphenyl phosphate content (10 – 30 %wt of adhesive) used as flame retardant were investigated. It was observed that the particle board had a perfect shape with a range of polyurethane adhesive 45 – 60 % wt of rubber wood sawdust. Increasing the polyurethane adhesive content and increasing the NCO index gave an excellent binding with a high bending strength, high elastic modulus of particle board, and increasing water resistance. Moreover, adding flame retardant 30 %wt of adhesive improved flame retardant properties of composite board with pass the UL-94 for V-0 test. These results demonstrated that polyol based on used palm oil can be used as adhesive polyurethane that can serve as binder for composite particle board.

Keywords: Used palm oil, Polyol, Polyurethane adhesive, Sawdust, Particleboard

บทนำ

แผ่นไม้ทดแทนไม้ธรรมชาติ ที่ผลิตมาจากเศษวัสดุหรือเส้นใยต่าง ๆ มาอัดขึ้นเป็นแผ่นไม้ เพื่อทดแทนการใช้ไม้ธรรมชาติซึ่งหาได้ยากและมีราคาสูงในปัจจุบัน โดยมีหลายงานวิจัยที่ใช้เศษวัสดุจากธรรมชาติในการผลิตเป็นแผ่นไม้ทดแทนไม้ธรรมชาติ เช่น เส้นใยป่านศรนารายณ์ (Nuñez, Aranguren, & Berglund, 2006), เส้นใยปาล์มน้ำมัน (Badri, *et al.*, 2006), ไม้ไผ่ (Hermawan, *et al.*, 2011) และขี้เลื่อย (Kamel *et al.*, 2008; Suoware *et al.*, 2019) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขี้เลื่อยจากไม้ยางพารา จัดว่าเป็นหนึ่งในตัวเลือกในการนำมาผลิตไม้อัด บางส่วนขี้เลื่อยจากไม้ยางพาราสามารถนำไปหมუნเวียนใช้ในการผลิตและเป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้พลังงานความร้อนได้ แต่ยังคงมีบางส่วนที่ถูกเผาทิ้งซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการใช้ขี้เลื่อยไม้ยางพาราในการผลิตเป็นไม้อัดจึงช่วยลดปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งและมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าของขี้เลื่อยไม้ยางพาราได้อีกด้วย

ในกระบวนการผลิตไม้อัดจำเป็นต้องใช้การทำหน้าที่เป็นตัวยึดประสานระหว่างผงซีลี้อย เพื่อให้ได้ไม้อัดที่มีคุณภาพดีเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภทนั้น โดยกาวสังเคราะห์ที่นิยมใช้มากที่สุด คือกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เนื่องจากสามารถใช้งานได้ง่าย ราคาถูก ทนทานต่อสภาพอากาศและความร้อน อีกทั้งยังสามารถใช้งานได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร แต่กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์มีข้อเสียที่สำคัญ คือสารฟอร์มัลดีไฮด์ที่อยู่ในรูปของเหลวก็จะกลายสภาพเป็นสารระเหย ฟอร์มัลดีไฮด์ซึ่งมองไม่เห็นแต่สามารถได้กลิ่นสารระเหยนี้ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อทางเดินหายใจและระคายเคืองผิวหนัง อาจทำให้เกิดอาการหอบหืดและความผิดปกติของระบบการเจริญพันธุ์ได้ (Arts, et al., 2006) ดังนั้นในการลดปริมาณสารระเหยฟอร์มัลดีไฮด์ส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การปรับปรุงพัฒนาการหรือสารยึดติดเพื่อทดแทนการใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์

กาวพอลิยูรีเทน เป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ในการผลิตไม้อัด เนื่องจากมีสมบัติด้านความเหนียวติดที่ดี สามารถติดกับวัสดุได้หลากหลายชนิด เตรียมได้ไม่ยากและไม่มีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ การเตรียมกาวพอลิยูรีเทนสามารถเตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างพอลิออลกับไอโซไซยานต โดยส่วนใหญ่พอลิออลที่ใช้ผลิตมาจากปิโตรเลียมที่นับวันจะมีแนวโน้มลดลงจนขาดแคลน และมีราคาที่สูงขึ้น จึงมีการพัฒนาพอลิออลจากพืชที่ให้น้ำมันเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนได้ โดยน้ำมันปาล์มเป็นหนึ่งในน้ำมันที่มีการบริโภคมากที่สุดในโลก และทำให้น้ำมันปาล์มใช้แล้วเหลือทิ้งมากเช่นกัน โดยส่วนใหญ่แล้วน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วมักจะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบของไบโอดีเซลเพื่อเป็นการลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและอันตรายต่อสุขภาพ มีรายงานวิจัยอยู่น้อยมากที่มีการนำน้ำมันปาล์มใช้แล้วมาเตรียมเป็นพอลิออล (Riyapan et al., 2019) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำพอลิออลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วมาใช้งานในรูปแบบของกาว ทำหน้าที่เป็นตัวประสานกับวัสดุต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นวัสดุเชิงประกอบ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจในการนำน้ำมันปาล์มใช้แล้วมาเตรียมเป็นพอลิออลเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมกาวพอลิยูรีเทนใช้เป็นตัวประสานในการเตรียมแผ่นไม้อัด (Particle board) จากซีลี้อยไม้ยางพาราและทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมพอลิออลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

นำน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการกรองจำนวน (250 กรัม, 0.3 โมล) มาทำการสังเคราะห์พอลิออลน้ำมันปาล์มใช้แล้วแบบขั้นตอนเดียวผ่านปฏิกิริยาอ็อกซิเดชัน ตามด้วยไฮดรอกซิเลชัน โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (146.05 กรัม, 4.3 โมล) ร่วมกับกรดฟอร์มิกมากเกินพอ (67.94 กรัม, 1.5 โมล) ในขั้นตอนเดียว ที่อุณหภูมิ 70°C กวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที โดยทำการศึกษาวเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 2, 4 และ 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นตั้งของผสมให้เย็นแล้วล้างกรดออก ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต แยกชั้นของน้ำมันออกมาด้วยสารละลายเอทิลอะซิเตต นำสารละลายน้ำมันไปกำจัดน้ำด้วยแมกนีเซียมซัลเฟต หลังจากนั้นระเหยตัวทำละลายออก แล้วนำพอลิออลน้ำมันปาล์มใช้แล้ว (Modified used palm oil (MUPO) based polyol) มาวิเคราะห์ค่าไอโอดีน, ค่าไฮดรอกซิล, ค่ากรด และวิเคราะห์โครงสร้างโดยเทคนิค ¹H-NMR และ FT-IR เปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มใช้แล้วก่อนดัดแปร

2. การสังเคราะห์กาวพอลิยูรีเทนจากพอลิออลน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

เตรียมกาวพอลิยูรีเทนจากปฏิกิริยาแบบควบแน่น (Step addition polymerization) ระหว่างเมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนต (*p*-Methylene diphenyl diisocyanate, *p*-MDI) และพอลิออลน้ำมันปาล์มใช้แล้วควบคุมระดับดัชนีไอโซไซยาเนต (NCO index) เท่ากับ 100 ทำการผสมที่อุณหภูมิห้องและกวนด้วยเครื่องกวนสารละลายด้วยความเร็ว 500 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำไปใช้งาน

3. การเตรียมแผ่นไม้อัดจากซีลื้อยไม้ยางพารา

3.1 การศึกษาสัดส่วนของกาวพอลิยูรีเทนในการเตรียมแผ่นไม้อัดจากซีลื้อยไม้ยางพารา

ทำการศึกษาปริมาณกาวพอลิยูรีเทนที่ร้อยละ 15, 25, 35, 45 และ 60 ของน้ำหนักของปริมาณซีลื้อยไม้ยางพารา โดยควบคุมระดับดัชนีไอโซไซยาเนต (NCO index) เท่ากับ 100 ตามสูตรในตารางที่ 1 (APU_15_60) ทำการผสมกาวพอลิยูรีเทนกับซีลื้อยไม้ยางพารา และทำการอัดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ขนาด 13X13 เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดความดัน ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 30 นาที ขั้นตอนการเตรียมแผ่นไม้อัดจากซีลื้อยไม้ยางพารา ดังแสดงในภาพที่ 1 นำแผ่นไม้อัดจากซีลื้อยไม้ยางพารา มาทดสอบความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ ความต้านแรงดัดแบบ 3 จุด และค่ามอดุลัสยืดหยุ่น

3.2 การศึกษาระดับดัชนีไอโซไซยาเนตของกาวพอลิยูรีเทนในการเตรียมแผ่นไม้อัดจากซีลื้อยไม้ยางพารา

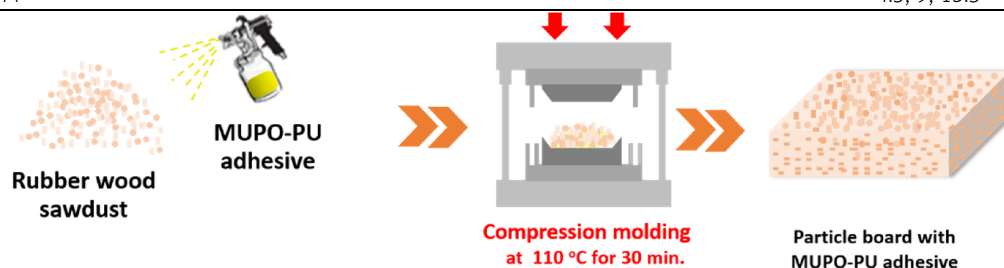
ทำการศึกษาระดับดัชนีไอโซไซยาเนตเท่ากับ 100, 120, 150, และ 180 โดยควบคุมปริมาณกาวพอลิยูรีเทนที่ร้อยละ 45 โดยน้ำหนักของปริมาณซีลื้อยไม้ยางพารา (เป็นปริมาณกาวที่น้อยที่สุดที่ให้แผ่นไม้อัดที่สมบูรณ์) ดังสูตรในตารางที่ 1 (APU_100_180) ทำการผสมกาวพอลิยูรีเทนกับซีลื้อยไม้ยางพารา และทำการอัดขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ขนาด 13X13 เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดความดันขนาด 2,500 ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 30 นาที นำแผ่นไม้อัดจากซีลื้อยไม้ยางพารา มาทดสอบความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ ความต้านแรงดัดแบบ 3 จุด และค่ามอดุลัสยืดหยุ่น

3.3 การศึกษาปริมาณของสารหน่วงไฟที่มีผลต่อสมบัติแผ่นไม้อัดจากซีลื้อยไม้ยางพารา

ทำการศึกษาปริมาณของไตรฟีนิลฟอสเฟต (Triphenyl phosphate ,TPP) ทำหน้าที่เป็นสารหน่วงไฟคิดเป็นร้อยละ 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักของกาว โดยควบคุมปริมาณกาวพอลิยูรีเทนที่ร้อยละ 45 โดยน้ำหนักของปริมาณซีลื้อยไม้ยางพาราและระดับดัชนีไอโซไซยาเนต (NCO index) เท่ากับ 120 ดังสูตรในตารางที่ 1 (AFPU_0_30) นำแผ่นไม้อัดที่ได้มาทดสอบการหน่วงแนวตั้งตามมาตรฐาน UL94

ตารางที่ 1 สูตรการพอลิยูรีเทนจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วในการเตรียมแผ่นไม้อัดจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา

Ingredients		Quantity (part by weight)		
		APU_15_60	APU_15_60	AFPU_0_30
Rubber wood sawdust		100.0	100.0	100.0
MUPO		10.8, 18.0, 25.2, 32.3, 43.1	32.3, 30.6, 28.4, 26.4	30.6
p-MDI		4.2, 7.0, 9.8, 12.7, 16.9	12.7, 14.4, 16.6, 18.6	14.4
TPP		-	-	4.5, 9, 13.5



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นไม้อัดจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ใช้กาวพอลิยูรีเทนจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วดัดแปร

4. การทดสอบ

4.1 การทดสอบสมบัติของพอลิออลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

- การทดสอบค่าไอโอดีน (Iodine values, Iod.V) ตามมาตรฐาน ISO 3961-2009
- การทดสอบค่ากรด (Acid values, AcV) ตามมาตรฐาน ISO660-2009
- การทดสอบค่าไฮดรอกซิล (OH values, OHV) ตามมาตรฐาน ISO14900-2001
- เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy) (Tensor 207 Fourier Transform Infrared Spectrometer, Bruker Company, Germany) ในช่วงเลขคลื่น 4000 - 400 cm^{-1} โดยเทคนิคแบบส่องผ่าน (Transmission)
- เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี (Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy) (Oxford 500 MHz Superconducting Magnet, Varian, USA) โดยการเจือจางตัวอย่างด้วยคลอโรฟอร์ม-ดี (CDCl_3)

4.2 การทดสอบสมบัติของแผ่นไม้อัดจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา

- ความหนาแน่น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D7264 ขึ้นทดสอบขนาด 5x5 cm^2 ชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.0001 กรัม คำนวณหาค่าความหนาแน่นดังแสดงในสมการที่

$$(1) \quad \text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{m}{v} \times 10^6$$

(1)

เมื่อ m คือ มวลของชิ้นทดสอบ (g) และ v คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (cm^3)

- การดูดซึมน้ำ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D7264 ชิ้นทดสอบขนาด $5 \times 5 \text{ cm}^2$ แช่ชิ้นทดสอบในน้ำกลั่นอุณหภูมิ $20 \pm 2^\circ \text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง คำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$\text{ดูดซึมน้ำ (\%)} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ t_1, t_2 คือ ความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำ (mm)

- ความต้านแรงดัด (Flexural strength, E_f) และมอดุลัสยืดหยุ่น (Elastic modulus, σ) ทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นตามมาตรฐาน ASTM D7264 ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) โหมดการดัดงอแบบ 3 จุด โดยระยะห่างระหว่างแท่นรองรับด้านล่างทั้งสองเท่ากับ 70 mm ใช้ความเร็วในการกดประมาณ 10 mm./min. คำนวณหาความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ตามสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

$$E_f \text{ (MPa)} = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (3)$$

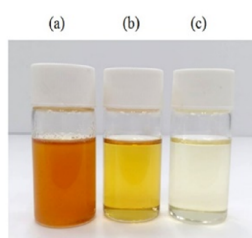
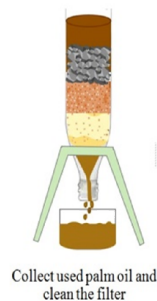
$$\sigma \text{ (MPa)} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (4)$$

เมื่อ P คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ (N), L คือ ระยะห่างของแท่นรองรับ (mm), M คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง (N), B คือ ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ (mm) และ H คือ ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ (mm)

- ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่างแผ่นไม้อัด ตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope, SEM) รุ่น JEOL JSM5800LV
- การทดสอบการหน่วงแนวตั้ง ตามมาตรฐาน UL94

ผลการวิจัย

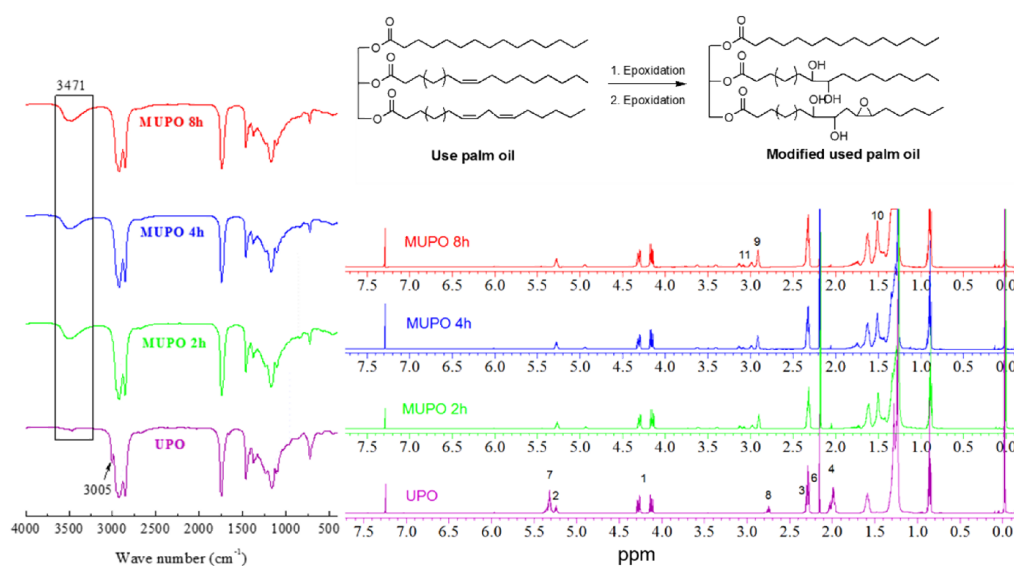
1 สมบัติของพอลิเอสเตอร์น้ำมันปาล์มใช้แล้ว



ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพพอลิเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว

React. Time (h)	Iod.V (mgI ₂ /g)	OHV (mgKOH/g)	AcV (mgKOH/g)
0	73.01	0.00	1.77
2	0.22	162.18	1.80
4	0.22	173.37	1.94
8	0.13	180.62	1.70

ภาพที่ 2 (a) น้ำมันปาล์มใช้แล้ว (b) น้ำมันปาล์มใช้แล้วหลังกรอง, และ (c) น้ำมันปาล์มใช้แล้วดัดแปร



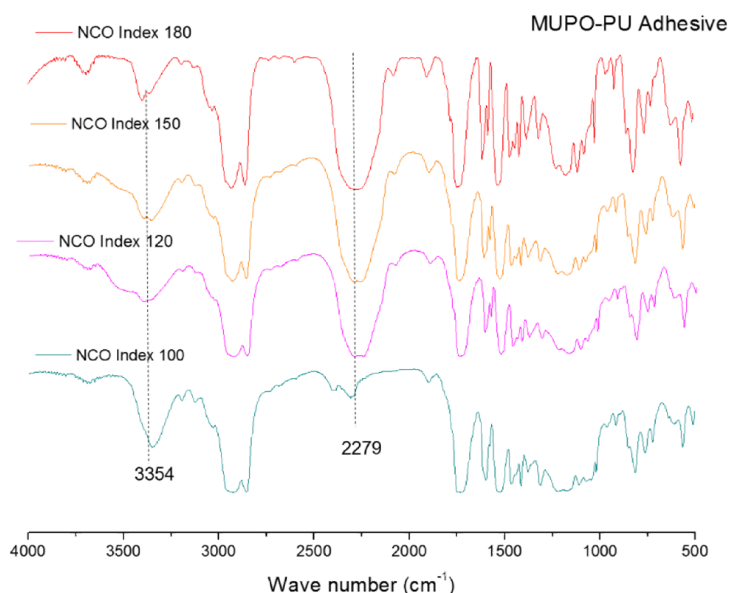
ภาพที่ 3 (a) FTIR สเปกตรัมของน้ำมันปาล์มใช้แล้วดัดแปรและ (b) $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของน้ำมันปาล์มใช้แล้วดัดแปร

พอลิเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่เตรียมได้มีสีเหลืองใสเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มใช้แล้วหลังกรองและก่อนกรอง ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2 และสมบัติทางกายภาพของพอลิเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มใช้แล้ว ดังแสดงในตารางที่ 2 สเปกตรัมของพอลิเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มไม่ปรากฏสเปกตรัมที่ตำแหน่ง 5.3-5.4 ppm (7) ซึ่งเป็นสัญญาณของหมู่ฟังก์ชันโอเลฟินิก (Olefinic) หรือกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม และปรากฏสัญญาณใหม่ที่ตำแหน่ง 3.0-3.2 ppm (11) ซึ่งเป็นสัญญาณของเมทิลที่ติดกับ 2° ไฮดรอกซิลแสดงถึงหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล เป็นการยืนยันให้ทราบว่าพันธะคู่ในน้ำมันปาล์มถูกเปลี่ยนเป็นหมู่ไฮดรอกซิลหลังจากทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันและไฮดรอกซิเลชัน แต่อย่างไรก็ตามยังคงปรากฏสัญญาณของหมู่อีพอกไซด์ที่โปรตอนเคมีคัลชิฟท์ 2.80-3.00 ppm (9) และที่ 1.40-1.55 ppm (10) ซึ่งเป็นสัญญาณของเบต้า-เมทิลสไปรอนที่ติดกับหมู่อีพอกไซด์ ($\beta\text{-CH}_2$ adjacent to epoxy group) ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่มากเกินไปทำให้เกิดปฏิกิริยาผันกลับเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลบางส่วนเป็นหมู่อีพอกไซด์ (Riyapan, *et al.*, 2019) อย่างไรก็ตามหมู่อีพอกไซด์ในโครงสร้างของพอลิเอสเตอร์นี้ไม่ได้รับกวนปฏิกิริยาในระบบการเตรียมพอลิยูรีเทนแต่อย่างใด นอกจากนี้การมีหมู่อีพอกไซด์อาจมีผลช่วยให้โครงสร้างพอลิเอสเตอร์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นได้อีกด้วย

2 สมบัติของกาวพอลิยูรีเทนจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วดัดแปรแผ่นไม้อัดจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา

กาวพอลิยูรีเทนที่ใช้ในการทดลองนี้เตรียมได้จากพอลิเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มใช้แล้วผสมร่วมกับเมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนต เป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำไปวิเคราะห์โครงสร้างของกาวพอลิยูรีเทน ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยพบว่ากาวพอลิยูรีเทนแสดงสัญญาณความยาวคลื่น 3354 cm^{-1} (การยืดของ -NH), 1740 cm^{-1} (การยืดของ -CO) และ 1520 cm^{-1} (การงอของ -NH) ที่แสดงถึงหมู่ยูรีเทนในโครงสร้างของกาวพอลิยูรีเทน นอกจากนี้ยังพบสัญญาณที่ความยาวคลื่นในช่วง 2279 cm^{-1} ที่แสดงถึงหมู่ไอโซไซยาเนต

(-NCO group) ที่เหลืออยู่ในโครงสร้าง โดยมีพื้นที่ใต้กราฟเพิ่มขึ้นตามระดับไอโซไซยานตอิสระที่เพิ่มขึ้น จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค FTIR ยืนยันให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มใช้แล้วตัดแปรสามารถทำปฏิกิริยาเมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยานตเกิดเป็นกาวพอลิยูรีเทนได้สำเร็จ

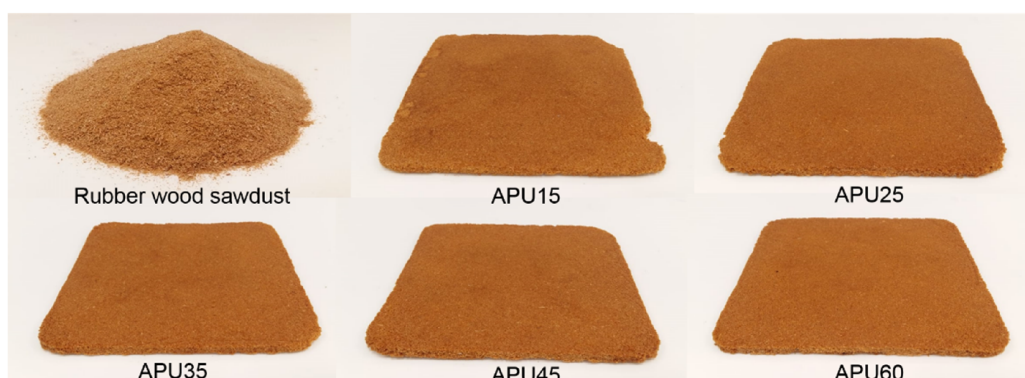


ภาพที่ 4 FTIR สเปกตรัมของกาวพอลิยูรีเทนจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วตัดแปรที่ปริมาณไอโซไซยานตอิสระระดับต่าง ๆ

3 สมบัติของแผ่นไม้อัดจากซีเลื่อยไม้ยางพารา

ลักษณะของแผ่นไม้อัดจากซีเลื่อยไม้ยางพาราที่แปรสัดส่วนกาวพอลิยูรีเทนร้อยละ 15-60 ของปริมาณซีเลื่อยไม้ยางพาราดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่าที่ปริมาณกาวพอลิยูรีเทนร้อยละ 15 มีลักษณะเป็นแผ่นที่ไม่สมบูรณ์โดยเฉพาะบริเวณขอบแผ่น ที่ปริมาณกาวพอลิยูรีเทนร้อยละ 45 และ 60 ให้ลักษณะแผ่นไม้อัดจากซีเลื่อยไม้ยางพาราดีขึ้น ไม่มีการหลุดร่อน

จากตารางที่ 5 พบว่าเมื่อปริมาณกาวพอลิยูรีเทนเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดจากซีเลื่อยไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากปริมาณกาวที่เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มการยึดเกาะกันของซีเลื่อยได้มากขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดจากซีเลื่อยไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น และค่าความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ตามปริมาณกาวพอลิยูรีเทนที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากพันธะยูรีเทน (-NH-CO-O-) ในกาวที่เตรียมขึ้นสามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลบนโครงสร้างเซลลูโลสและลิกนินของซีเลื่อยไม้ยางพารา ซึ่งนั่นส่งผลให้แผ่นไม้อัดจากซีเลื่อยไม้ยางพาราที่ได้มีความแข็งแรงที่เพิ่มมากขึ้น (Shen, *et al.*, 2012) และการดูดซึมน้ำของแผ่นไม้อัดจากซีเลื่อยไม้ยางพารามีแนวโน้มลดลงจากค่าสูงสุดที่ร้อยละ 14 ลดลงเหลือร้อยละ 4 เป็นผลมาจากการเพิ่มปริมาณกาวพอลิยูรีเทนช่วยให้เกิดการยึดติดที่กระชับระหว่างซีเลื่อยไม้ยางพาราเป็นผลทำให้ช่องว่างภายในของแผ่นไม้อัดลดลง ส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดต่ำลง สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณกาวพอลิยูรีเทนที่เพิ่มมากขึ้น



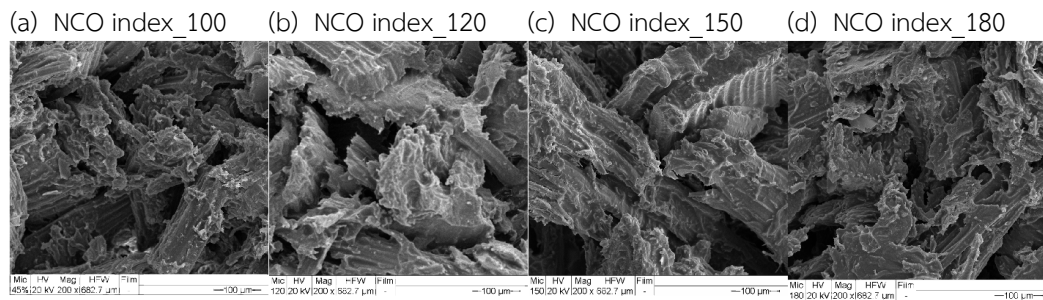
ภาพที่ 5 ลักษณะของแผ่นไม้อัดจากซีลื้อยไม้ยางพาราที่สัดส่วนกาวพอลิยูรีเทนระดับต่าง ๆ

ตารางที่ 5 ผลของปริมาณกาวพอลิยูรีเทนต่อสมบัติของแผ่นไม้อัดจากซีลื้อยไม้ยางพารา

Sample	Density (kg/m ³)	Flexural strength (MPa)	Elastic modulus (MPa)	Water absorption (%)
APU15	599.15±3.06	1.39±0.06	193.37±4.67	14.08±0.30
APU25	628.48±5.42	1.40±0.07	257.49±3.87	8.09±0.40
APU35	671.17±3.56	2.10±0.05	292.65±5.63	6.56±0.33
APU45	729.09±2.45	2.94±0.05	402.81±1.14	5.41±0.27
APU60	765.60±4.28	3.35±0.07	539.73±2.99	4.41±0.22

ผลการศึกษาระดับดัชนีไอโซไซยานตของกาวพอลิยูรีเทน 100, 120, 150 และ 180 ที่ปริมาณกาวพอลิยูรีเทนร้อยละ 45 ของปริมาณซีลื้อยไม้ยางพารา จากภาพที่ 5 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นไม้อัดสังเกตพบว่าการยึดติดกันของซีลื้อยเพิ่มขึ้น ช่องว่างระหว่างซีลื้อยจะลดลง แสดงให้เห็นว่าเกิดการประสานกันระหว่างซีลื้อยเกาะตัวกันแน่นขึ้นเมื่อระดับดัชนีไอโซไซยานตของกาวพอลิยูรีเทนเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากการมีปริมาณไอโซไซยานตอิสระ (Free isocyanates) ที่มากขึ้น สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ที่มีความว่องไว เช่น หมู่ไฮดรอกซิลของซีลื้อยได้มากขึ้นช่วยให้การยึดติดระหว่างซีลื้อยได้ดีขึ้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Cui, *et al.*, 2017 การยึดติดแน่นดังกล่าวยังช่วยส่งผลให้ค่าความต้านแรงดัดและค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลมาจากพันธะไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นจากพันธะยูรีเทนและพันธะยูเรียเป็นส่วนที่แข็ง (hard segment) ของกาวพอลิยูรีเทนจากการเพิ่มปริมาณไอโซไซยานต นอกจากนี้ยังส่งผลให้การดูดซึมน้ำของแผ่นไม้อัดลดลงตามปริมาณไอโซไซยานตอิสระเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดจากซีลื้อยไม้ยางพารามีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากควบคุมน้ำหนักรวมของกาวพอลิยูรีเทนและปริมาณซีลื้อยไม้ยางพาราให้คงที่ (145 g) จึงไม่ส่งผลให้ความหนาแน่นของแผ่นไม้อัดเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ สมบัติของแผ่นไม้อัดจากซีลื้อยไม้ดังแสดงในตารางที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นไม้อัดจากผลงานวิจัยฉบับนี้กับมอก. 178-2549 (ความต้านแรงดัด 34 MPa, มอดุลัสยืดหยุ่น 4500 MPa) พบว่าแผ่นไม้อัดที่เตรียมได้ยังไม่ผ่านมาตรฐาน ทั้งนี้เป็นเพราะกาวพอลิยูรีเทนที่ใช้ที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วดัดแปรที่มีค่าไฮดรอกซิลเท่ากับ 180 mgKOH/g มีค่าค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้กาวพอลิยูรีเทนที่ได้มีความแข็งแรงต่ำ และทำให้ค่าความต้าน

แรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นอัดซีลียามีค่าไม่ผ่านมาตรฐาน มอก. 178-2549 แต่อย่างไรก็มีแนวทางเพิ่มสมบัติดังกล่าวโดยเพิ่มค่า OHV ของน้ำมันปาล์มดัดแปรให้มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สมบัติการยึดติดเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Cui, *et al.*, 2017. ที่รายงานว่าค่าไฮดรอกซิลของพอลิเอทิลีนจะช่วยให้เพิ่มความแข็งแรงในการยึดติดสูงขึ้น

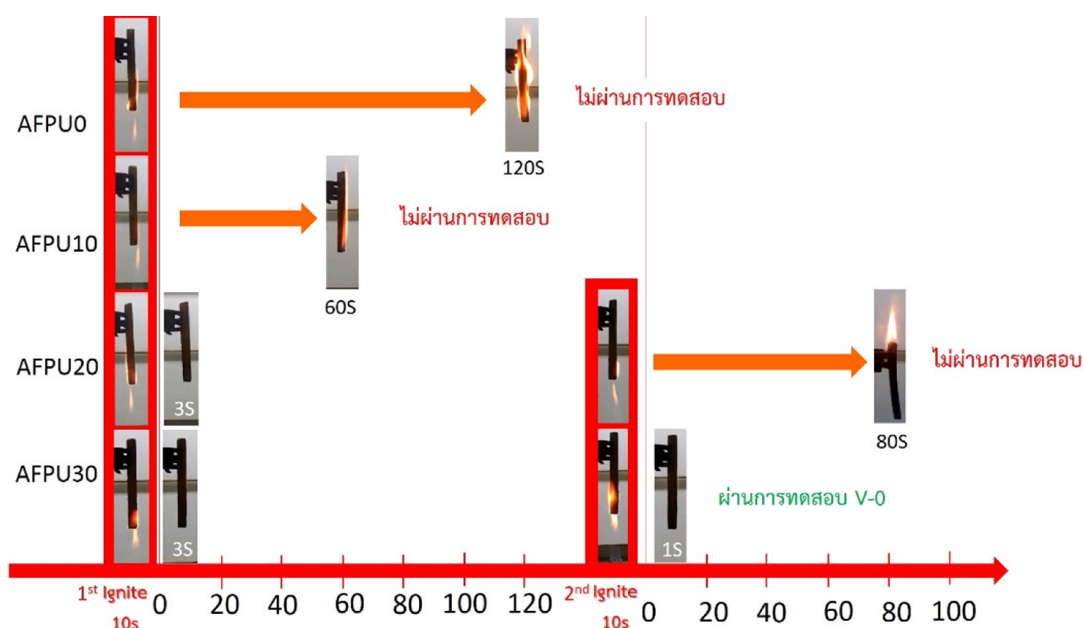


ภาพที่ 6 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นไม้อัดจากซีลียไม่ยางพาราที่ระดับดัชนีไอโซไซยานเนตต่าง ๆ (a) NCO index_100, (b) NCO index_120, (c) NCO index_150, (d) NCO index_180

ตารางที่ 6 ผลของระดับดัชนีไอโซไซยานเนตของกาวพอลิยูรีเทนต่อสมบัติของแผ่นไม้อัดจากซีลียไม่ยางพารา

Sample	Density (kg/m ³)	Flexural strength (MPa)	Elastic modulus (MPa)	Water absorption (%)
APU100	733.31±2.67	3.17±0.06	210.99±4.55	5.41±0.05
APU120	717.08±4.85	3.51±0.04	277.16±3.86	4.86±0.06
APU150	704.33±2.22	4.04±0.04	322.57±2.13	4.15±0.04
APU180	693.49±3.67	4.86±0.04	406.06±4.30	3.68±0.06

ผลการศึกษาปริมาณสารหน่วงไฟที่ปริมาณร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 จากผลการทดสอบตามมาตรฐาน UL94 พบว่าการเติมสารหน่วงไฟจะช่วยชะลอการลามไฟหรือสามารถดับไฟได้เองเมื่อปริมาณสารหน่วงไฟเพิ่มขึ้น เนื่องจาก TPP จะช่วยให้เกิดการก่อตัวของชั้นฝ้าบนพื้นผิวด้านนอกของแผ่นไม้อัด ซึ่งจะช่วยยับยั้งการเคลื่อนที่ของก๊าซที่ติดไฟและขัดขวางการถ่ายเทพลังงานความร้อน นอกจากนี้เมื่อ TPP เกิดการแตกตัวจะให้ไอเล็กตรอนอิสระของฟอสฟอรัส เช่น PO^{*}, PO₂^{*}, และ OHPO^{*} โดยอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับสารไฮโดรคาร์บอนหรืออนุมูลอิสระที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งจะช่วยยับยั้งการติดไฟและหน่วงไฟของแผ่นไม้อัดได้ (Riyapan, *et al.*, 2019) โดยแผ่นไม้อัดที่มีการเติมสารหน่วงไฟร้อยละ 30 ของปริมาณกาวพอลิยูรีเทน ผ่านมาตรฐานการทดสอบ UL94 อยู่ในชั้นคุณภาพ V-0 ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 7 ลักษณะการติดไฟของแผ่นไม้อัดตามมาตรฐานการทดสอบ UL94 ที่ปริมาณสารหน่วงไฟระดับต่าง ๆ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้สามารถเตรียมพอลิออลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันและไฮดรอกซิลชันในแบบขั้นตอนเดียว มีค่าไฮดรอกซิลสูงสุดที่ปริมาณ 180 mgKOH/g โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 8 ชั่วโมง พอลิออลจากน้ำมันปาล์มใช้สามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมกาวพอลิยูรีเทนเพื่อใช้เป็นตัวประสานในการเตรียมแผ่นไม้อัดจากซีเลื่อยไม้ยางพารา ปริมาณกาวพอลิยูรีเทนที่เหมาะสมที่ให้แผ่นไม้อัดจากซีเลื่อยไม้ยางพารามีรูปร่างสมบูรณ์ไม่เกิดการหลุดร่อนที่ปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 45 – 60 โดยน้ำหนักของปริมาณซีเลื่อยไม้ยางพารา การเพิ่มปริมาณกาวพอลิยูรีเทนและระดับดัชนีไอโซไซยานต จะช่วยเพิ่มสมบัติการยึดติดระหว่างซีเลื่อยไม้ยางพาราได้เพิ่มสูง ให้สมบัติความต้านแรงดัดและค่ามอดุลัสยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และค่าการดูดซับน้ำลดลง และการเติมสารหน่วงไฟที่ปริมาณร้อยละ 30 ของปริมาณกาวพอลิยูรีเทนจะช่วยให้ปรับปรุงสมบัติการหน่วงไฟของแผ่นไม้อัดผ่านมาตรฐานการทดสอบ UL94 อยู่ในชั้นคุณภาพ V-0

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุนอุดหนุนการศึกษาเป็นผู้ช่วยวิจัย ปีการศึกษา 2561 สัญญาเลขที่ 1-2561-02-014 และทุนงบประมาณแผ่นดิน (แผนบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม) ปี 2562 รหัสโครงการ SAT620137S

เอกสารอ้างอิง

- Arts, J. H. E., Rennen, M. A. J., De Heer, C.(2006). Inhaled formaldehyde: Evaluation of sensory irritation in relation to carcinogenicity. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**. 44 (2), 144-160.
- Badri, K. H., Mat Amin, K. A., Othman, Z., Manaf, H. A., Khalid, N. K. (2006). Effect of filler-to-matrix blending ratio on the mechanical strength of palm-based biocomposite boards. **Polymer International**. 55 (2), 190-195.
- Cui, S., Luo, X., Li, Y. (2017). Synthesis and properties of polyurethane wood adhesives derived from crude glycerol-based polyols. **International Journal of Adhesion and Adhesives**. 79, 67-72.
- Hermawan, A., Ohuchi, T., Fujimoto, N. (2011). Manufacture of three-layer wood–porcelain stone composite board reinforced with bamboo fiber. **Materials & Design**. 32 (4), 2485-2489.
- Kamel, S., Adel, A. M., El-Sakhawy, M., Nagieb, Z. A. (2008). Mechanical properties and water absorption of low-density polyethylene/sawdust composites. **Journal of Applied Polymer Science**. 107 (2), 1337-1342.
- Malik, M., Kaur, R. (2018). Mechanical and Thermal Properties of Castor Oil–Based Polyurethane Adhesive: Effect of TiO_2 Filler. **Advances in Polymer Technology**. 37 (1), 24-30.
- Nuñez, A. J., Aranguren, M. I., Berglund, L. A. (2006). Toughening of wood particle composites-Effects of sisal fibers. **Journal of Applied Polymer Science**. 101 (3), 1982-1987.
- Riyapan, Duangporn., Saetung, Anuwat., and Saetung, Nitinart. (2019). A Novel Rigid PU Foam Based on Modified Used Palm Oil as Sound Absorbing Material. **Journal of Polymers and the Environment**. 27, 1693-1708.
- Suoware, T. O., Edelugo, S. O., Ezema, I. C. (2019). Impact of hybrid flame retardant on the flammability and thermomechanical properties of wood sawdust polymer composite panel. **Fire and Materials**. 43 (4), 335-343.
- Shen, T., Lu, M., Liang, L., Zhou, D. (2012). Mechanical and thermal properties of eucalyptus fiber composites bonding by blocked polyurethane adhesive. **Journal of Applied Polymer Science**. 125 (2), 984-991.