

กาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติเหลวตัดแปรพอลิออล
ช.วยากรณ์ เพ็ชฌัญไพบิสัญญ์*¹, อรพินท์ นักราคารจัน¹ และ พลพัฒน์ รววมเจริญ²

Polyurethane elastomer adhesive from modified liquid natural rubber polyols

Chor. Wayakron Phetphaisit*¹, Orapin Nakkarajan² and Polphat Ruamcharoen²

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

²โปรแกรมวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

*Corresponding author: E-mail:chorwayakronp@nu.ac.th

บทคัดย่อ

กาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์เตรียมได้ปฏิกิริยาระหว่างยางธรรมชาติเหลวตัดแปรพอลิออล (OLNR) กับ 1,6-ไดไอโซไซยานาโตเฮกเซน (HDI) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบปราศจากตัวทำละลาย พอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ที่ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้เป็นกาวในการยึดติดประสานระหว่างชิ้นไม้กับชิ้นไม้ และใช้ในการเตรียมแผ่นไม้อัดแข็งสำหรับการศึกษาการติดประสานระหว่างชิ้นไม้กับชิ้นไม้ โดยได้ศึกษา ผลของอัตราส่วนโดยโมลของหมู่ไฮดรอกซิลของ OLNR ต่อหมู่ไอโซไซยานาตของ HDI ปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลของ OLNR และปริมาณสารขยายสายโซ่ โดยพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่ไอโซไซยานาตที่เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลของ OLNR จาก 20% เป็น 50% พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนมีค่าลดลง ในขณะที่การเติมสารขยายสายโซ่ชนิดน้ำมันตัดแปรพอลิออล พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุด 5,536 kPa เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมล ของหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำมันถั่วเหลืองตัดแปรพอลิออล (SPO) ต่อหมู่ไฮดรอกซิลของ OLNR ต่อหมู่ไอโซไซยานาตของ HDI เท่ากับ 0.4:0.6:2.0

แผ่นไม้อัดแข็งเตรียมได้จากการผสมกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากสูตรอัตราส่วนโดยโมลของหมู่ไฮดรอกซิลของ SPO ต่อหมู่ไฮดรอกซิลของ OLNR ต่อหมู่ไอโซไซยานาตของ HDI เท่ากับ 0.4:0.6:2.0 ร่วมกับซีลี้อยไม้ยางพารา และตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกาวต่อเนื้อไม้ต่อตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 36:64:0.168 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นไม้อัดแข็งเท่ากับ 17.50 MPa ค่าการดูดซึมน้ำและค่าการพองตัวตามความหนาเท่ากับ 3.0% และ 1.4% ตามลำดับ

คำสำคัญ: พอลิยูรีเทน สารยึดติด ยางธรรมชาติเหลวตัดแปรพอลิออล น้ำมันตัดแปรพอลิออล

Abstract

Polyurethane elastomer adhesives were prepared from modified liquid natural rubber polyols (OLNR) and diisocyanate with catalyst by the solvent-free reaction. The obtained polyurethane elastomers were applied to adhesives for wood-to-wood bonding and hardboard applications. On the study of adhesives for wood-to-wood bonding, the effect of molar ratio of hydroxyl in OLNR on isocyanate group, hydroxyl group contents of OLNR and amount of chain extenders on adhesion were investigated. It was found that shear strength increases when amount of diisocyanate groups increase. However, the shear strength decreases when hydroxyl group content increases from 20 % to 50%. When a modified oil polyols were applied as chain extender, the maximum shear strength is 5,536 kPa with 0.4:0.6:2.0 molar ratio of hydroxyl on modified soy bean oil polyols, hydroxyl on OLNR and isocyanate group, respectively. Hardboard prepared from mixtures of the polyurethane elastomer adhesive with aforementioned SPO, OLNR and HDI ratio with parawood sawdust and catalyst as weight ratio of those of components was 36:64:0.168, respectively. The tensile strength of hardboard from parawood sawdust is 17.50 MPa. In addition, the water absorption values and thickness swelling are approximately 3.0 % and 1.4 %, respectively.

Keywords: polyurethane, Adhesive, liquid natural rubber polyols, modified oil polyols

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นงานจากไม้ในประเทศไทยยังเป็นที่ต้องการ และเติบโตอย่างต่อเนื่อง แต่ไม้มีปริมาณน้อยลงจึงได้มีการนำเศษไม้ หรือขี้เลื่อยมาแปรรูปเป็นแผ่นชิ้นไม้อัดแข็ง โดยการนำขี้เลื่อยมาผสมกับกาวในการทำไม้อัดเพื่อใช้ประโยชน์ต่างๆ เช่น โต๊ะ เก้าอี้ ฝ้าเพดาน ไม้ปาร์เก้ และไม้ปูพื้น เป็นต้น หรือใช้กาวในการยึดติดระหว่างชั้นของแผ่นไม้อัดกับแผ่นชิ้นไม้อัดแข็งเพื่อการตกแต่งผิวหน้าชิ้นงานให้มีความสวยงาม ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีการใช้กาวในอุตสาหกรรมไม้เป็นปริมาณมาก แต่กาวที่ใช้ส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ เรซิน ซึ่งเป็นกาวที่ให้ความแข็งแรงของชิ้นงานสูง ราคาถูก แต่ความยืดหยุ่นต่ำ ทั้งยูเรีย และฟอร์มาลดีไฮด์ยังเป็นสารอันตรายสามารถก่อให้เกิดอาการภูมิแพ้ ผื่นคัน และมะเร็งได้ ทั้งต่อผู้ปฏิบัติงาน และผู้ที่ใช้ผลิตภัณฑ์ชิ้นงานนั้น (พิจาจากสารฟอร์มาลดีไฮด์, 2551; ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตราย และเคมีภัณฑ์, 2544) นอกจากกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ เรซิน หากผู้ประกอบการต้องการผลิตชิ้นงานไม้ที่มีความแข็งแรง และยืดหยุ่นดี ก็จะเลือกใช้กาวพอลิยูรีเทน แต่กาวพอลิยูรีเทนในตลาดปัจจุบันมีราคาสูง ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งกาวพอลิยูรีเทนได้มาจากการเกิดปฏิกิริยาร่วมระหว่างไดไอโซไซยานเนต กับไดออล หรือพอลิออล

ปัจจุบันนิยมใช้ไดออกซอล/พอลิออกซอลที่เป็นผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่นเอทิลีนไกลคอล ไตรเอทิลีนไกลคอล และพอลิเมอร์ไฮดรอกซีที่เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงมากนัก และมีหมู่ไฮดรอกซิลตำแหน่งปลาย เช่น พอลิเอสเทอร์พอลิออกซอล พอลิอีเทอร์พอลิออกซอล และพอลิบิวทาไดอินพอลิออกซอล ซึ่งในปัจจุบันโลกกำลังเผชิญกับภาวะวิกฤตปัญหาน้ำมันราคาแพง ส่งผลต่อราคาของผลิตภัณฑ์จากปิโตรเคมีที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้กาวพอลิยูรีเทนในตลาดปัจจุบันมีราคาสูง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนี้กาวเกือบทั้งหมดในอุตสาหกรรมปัจจุบันเป็นชนิดที่ต้องใช้ตัวทำละลาย (Solvent based adhesives) เช่น โทลูอีน และไดคลอโรมีเทน ซึ่งการใช้ตัวทำละลายก่อให้เกิดปัญหาหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของต้นทุน ความเป็นพิษ ทั้งระคายเคือง ทำลายระบบประสาท และสมอง หากมีการสูดดมเป็นเวลานาน เป็นต้น (ศูนย์ข้อมูลวัตถุดิบตราขาย และเคมีภัณฑ์, 2544)

ยางธรรมชาติเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยยางธรรมชาติมีสมบัติเด่นที่น่าสนใจหลายประการ เช่นมีความยืดหยุ่นสูง ทนต่อแรงฉีกขาดได้ดี และมีความเหนียวติดกันสูง นอกจากนี้จากการที่มีพันธะคู่จำนวนมากบนโครงสร้างจึงทำให้สามารถตัดแปรโครงสร้างของยางธรรมชาติเพื่อเพิ่มการใช้ประโยชน์ให้หลากหลายมากยิ่งขึ้น เช่น การทำปฏิกิริยาการลดน้ำหนักโมเลกุลเพื่อการใช้งานด้านสารยึดติด หรือสารช่วยผสม หรือการทำปฏิกิริยาเพิ่มหมู่ฟังก์ชันที่สนใจไม่ว่าจะเป็นหมู่ฟังก์ชันอีพอกไซด์ ซึ่งมีส่วนช่วยในการเพิ่มสมบัติด้านความทนทานต่อตัวทำละลายที่มีขี้ หรือการเพิ่มหมู่ฮาโลเจนเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความทนไฟ เป็นต้น (พร้อมศักดิ์ สวงวนธำรงค์, 2551) โดยในงานวิจัยนี้ได้สนใจตัดแปรโครงสร้างของยางธรรมชาติให้มีน้ำหนักโมเลกุลลดลง และมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลบนสายโซ่โมเลกุลเพื่อใช้ประโยชน์เป็นสารพอลิออกซอลในการเตรียมพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์แทนไดออกซอลหรือพอลิออกซอลที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ในการประยุกต์ใช้เป็นกาวสำหรับการยึดติดประสานระหว่างชิ้นไม้กับชิ้นไม้และกาวในการเตรียมแผ่นไม้อัดแข็งจากขี้เลื่อยไม้ยางพารา นอกจากนี้ยังสนใจศึกษาการใช้ไขมันตัดแปรที่มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลซึ่งเป็นสารพอลิออกซอลที่มาจากธรรมชาติเป็นสารขยายสายโซ่ และสารลดความหนืดสำหรับกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัตถุดิบ

ยางธรรมชาติเหลวตัดแปรพอลิออกซอล (OLNR) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เตรียมจากห้องวิจัยเรื่องยางพาราภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ม.นเรศวร โดยเลือกใช้ OLNR 2 ชนิดที่มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลและน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเชิงความหนืด (\bar{M}_v) แตกต่างกัน ดังนี้ OLNR-20 มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิล 20% \bar{M}_v เท่ากับ 19,000 g/mol และ OLNR-50 ที่มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิล 50% \bar{M}_v เท่ากับ 15,000 g/mol ตามลำดับ เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างเคมีและปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลของ OLNR ได้ดำเนินการโดยใช้วิธีเดียวกับรายงานวิจัยของ ช.วายุกรณ์ เพ็ชฌัญญ์ และคณะ (2550) 1,6-ไดโอโซไซยานา

โตนเฮกเซน (HDI) ชนิด 99% จาก Acros ไดบิวทิลทิน ไดลอร์เรต ชนิด 99% จาก Aldrich เอทิลีนไกลคอล (EG) จาก Carlo Erba น้ำมันถั่วเหลืองคัดแปรพอลิออล (SPO) เตรียมจากห้องวิจัยเรื่องยางพารา ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ม.นเรศวร (ช.วยากรณ์ เพ็ชฌัญไพศิษย์ และคณะ, 2551) โดยใช้ SPO ที่มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลเท่ากับ 20% जिเลื่อยไม้ยางพารา ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงเลื่อยจักรวาลกันไม้ จ.สงขลา

การเตรียมกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ และการทดสอบ

1. การเตรียมกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์สำหรับการยึดติดระหว่างชิ้นไม้

ปริมาณส่วนผสมสารเคมีในการเตรียมกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์แสดงในตาราง 1 มีลำดับขั้นตอนในการผสมดังนี้ โดยผสมสารพอลิออล OLNK หรือกรณีที่เคมิสารขยายสายโซ่ EG หรือ SPO ให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1-2 นาที จากนั้นจึงเติม HDI กวนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน หลังจากผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไป กวนให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันเป็นเวลาประมาณ 5 นาที จากนั้นแบ่งสารผสมเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกนำไปทดสอบการยึดติดชิ้นงานไม้ดังรูป 1 ส่วนที่สองนำไปสังเกตลักษณะทางกายภาพ และตรวจเอกลักษณ์ทางเคมีของกาวพอลิยูรีเทนด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม-อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (FT-IR) วิเคราะห์ปริมาณเจล (Gel content) ในตัวทำละลายต่างๆ ได้แก่ เฮกเซน โทลูอิน เตตระไฮโดรฟิวแรน และน้ำ

2. การเตรียมแผ่นไม้อัดแข็งชั้นเดียว

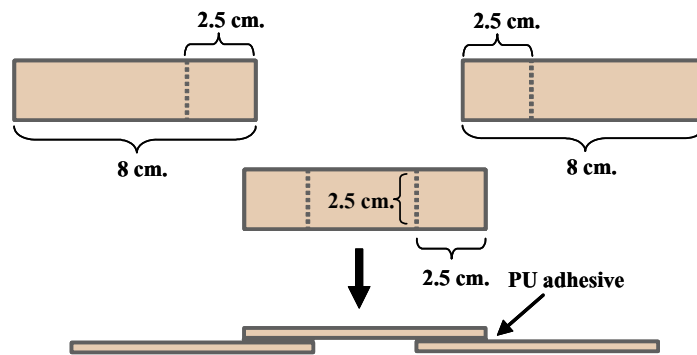
แผ่นไม้อัดแข็งชั้นเดียวเตรียมจากการผสมกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ และ जिเลื่อยไม้ยางพารา ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกาวต่อ जिเลื่อยไม้ยางพาราเท่ากับ 36:64 ให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง เมื่อใช้กาวที่เตรียมจาก OLNK-20 SPO และ HDI ในอัตราส่วนโดยโมลของ [OH ของ OLNK]:[OH ของ SPO]:[N=C=O ของ HDI] = 0.6:0.4:2.0 จากนั้นจึงเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไป (0.168% โดยน้ำหนักของแผ่นไม้อัดแข็ง) กวนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันประมาณ 5 นาที เทส่วนผสมที่ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันลงในแม่แบบที่เตรียมไว้ นำไปอัดเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัด (Compression molding) ที่ความดัน 2,000 psi อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำแผ่นไม้อัดที่ได้ไปอบต่อในตู้อบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แผ่นไม้อัดแข็งชั้นเดียวที่เตรียมได้มีขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 16 x 16 x 0.4 ลูกบาศก์เซนติเมตร

การวิเคราะห์และการทดสอบกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์

โครงสร้างทางเคมีของกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-IR Spectroscopy ด้วยเครื่อง IR Spectrophotometer รุ่น Spectrum GX Series ของบริษัท Perkin Elmer โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาตัดให้ได้ขนาดใกล้เคียงผลึกของซิงค์ไซยาไนด์ ทำการวิเคราะห์ในช่วงเลขคลื่น 4000- 600 cm^{-1}

ตาราง 1 สูตรการเตรียมกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ สำหรับทดสอบการยึดติดระหว่างชิ้นไม้กับชิ้นไม้ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5% โดยน้ำหนักของ HDI

Sample	OLNR (mole of OH)		Chain extender (mole of OH)		HDI (mole of N=C=O)
	OLNR-20	OLNR-50	SPO	EG	
PU1	1				0.8
PU2	1				1.2
PU3	1				1.6
PU4	1				2.0
PU5	1				2.4
PU6	1				2.8
PU7	1				3.2
PU8		1			2.0
PU9	0.8		0.2		2.0
PU10	0.60		0.40		2.0
PU11	0.35		0.65		2.0
PU12	0.60			0.40	2.0



รูป 1 การเตรียมชิ้นงานไม้ สำหรับทดสอบค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ (ASTM D 2339-98, 2007)

การศึกษาปริมาณเจลหรือสัดส่วนการเชื่อมขวาง (Gel content (%)) ของพอลิยูรีอีลาสโตเมอร์

นำชิ้นงานพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ ที่เตรียมได้มาสุตรละ 0.1 กรัม นำไปแช่ในตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ ดังนี้ เฮกเซน โทลูอิน เตตระไฮโดรฟิวแรน และน้ำ เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาแยกเอาตัวทำละลายออก อบชิ้นงานจนแห้งที่อุณหภูมิ 45°C จากนั้นทิ้งให้ชิ้นงานเย็นตัวลงในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักของชิ้นงาน หาปริมาณเจลได้จากสมการ 1

$$\text{Gel Content (\%)} = \left[\frac{W_2}{W_1} \right] \times 100 \quad \dots (1)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนแช่ตัวทำละลาย (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของชิ้นงานหลังแช่ตัวทำละลาย (กรัม)

การทดสอบความต้านทานต่อแรงเฉือน และความต้านทานต่อแรงดึง

ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงเฉือนตามมาตรฐาน ASTM D-2339 (ASTM D 2339-98, 2007) โดยใช้อัตราเร็วในการดึง 1 มิลลิเมตร/นาที ด้วยแรง 5 kN โดยเครื่อง Universal Testing Machine (WD-5E) และทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงตามแบบมาตรฐาน ASTM D638 (ASTM D 638-94b, 1995) โดยตัดชิ้นงานเป็นรูปดัมเบล (Dumbbell) และใช้อัตราเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตร/นาที ด้วยแรง 5 kN โดยเครื่อง Universal Testing Machine (WD-5E)

การทดสอบการดูดซึมน้ำและการพองตัวตามความหนา

ทดสอบการทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption) และการพองตัวตามความหนา (Thickness swelling) ตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 (นิคม แหลมสัก และคณะ, 2547) โดยตัดชิ้นงานให้มีขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 20 x 25 x 4 ลูกบาศก์มิลลิเมตร อบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 45°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิของแผ่นไม้อัดแข็งลงสู่อุณหภูมิห้องโดยเก็บในเคซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักของชิ้นแผ่นไม้อัดแข็งก่อนทำการทดลอง แช่ชิ้นทดสอบในน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดจึงนำชิ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนัก แล้วจับบันทึกน้ำหนักที่ได้ การคำนวณค่าการทดสอบดังแสดงในสมการ 2 และ สมการ 3

$$\text{Water absorption (\%)} = \left[\frac{W_2 - W_1}{W_1} \right] \times 100 \quad \dots (2)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของชิ้นงานก่อนทดสอบการดูดซึมน้ำ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักของชิ้นงานหลังทดสอบการดูดซึมน้ำ (กรัม)

$$\text{Thickness swelling (\%)} = \left[\frac{t_2 - t_1}{t_1} \right] \times 100 \quad \dots (3)$$

เมื่อ t_1 คือ ความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

t_2 คือ ความหนาของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

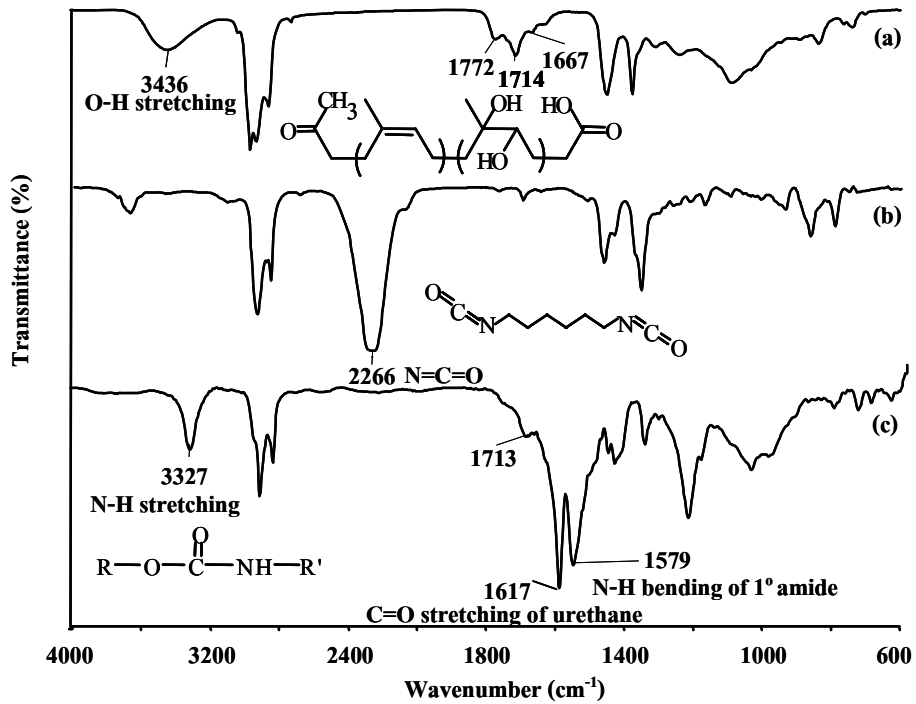
ผลการทดลอง และวิจารณ์

การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์

กาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์เตรียมจากการเกิดปฏิกิริยาแบบขั้น (Stepwise polymerization) ผ่านกลไกการเติมที่ตำแหน่งพันธะคู่ (Double-bond addition reaction mechanism) ของ 1,6-ไดไอโซไซยานาโตเฮกเซน (HDI) โดยหมู่ไฮดรอกซิลของยางธรรมชาติเหลวคัดแปรพอลิออล ในระบบที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบปราศจากตัวทำละลาย ซึ่งในแต่ละชุดการทดลองจะทำการแบ่งสารออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกจะทาบบนชิ้นไม้ทดสอบเพื่อนำไปหาค่าความต้านทานต่อแรงเหวี่ยงซึ่งจะเป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพของกาวในการยึดติดระหว่างชิ้นไม้กับชิ้นไม้ ในขณะที่ส่วนที่สองศึกษาลักษณะทางกายภาพ และวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์

รูป 2 แสดง IR สเปกตรัม ของสารตั้งต้น OLN-20 HDI และ สารผลิตภัณฑ์พอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ จากสเปกตรัม 2 (c) ของพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ ที่เตรียมจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง OLN-20 กับ HDI ในอัตราส่วนโมลของ $[N=C=O \text{ ของ HDI}] : [OH \text{ ของ OLN-20}] = 1 : 1.2$ พบการเปลี่ยนตำแหน่งไปจากแถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่เลขคลื่น 3436 cm^{-1} ของหมู่ไฮดรอกซิลของยางธรรมชาติเหลวคัดแปรพอลิออล เป็นตำแหน่งการสั่นยืดของหมู่เอไมด์ (N-H stretching) ที่ตำแหน่ง 3327 cm^{-1} และเกิดสัญญาณขึ้นใหม่ที่แสดงถึงการเชื่อมโยงแบบยูรีเทนที่ตำแหน่ง 1617 cm^{-1} (C=O stretching; hydrogen bonded urea carbonyl) และ 1579 cm^{-1} (N-H bending in plane ของ 1° amide) ตามลำดับ

นอกจากนี้จากการที่มีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากบนโครงสร้างของยางธรรมชาติเหลวคัดแปรพอลิออล ดังนั้นเมื่อเกิดปฏิกิริยากับไดไอโซไซยานาโตเฮกเซนจึงคาดว่าเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ เกิดเป็นเทอร์โมเซตพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ขึ้น ซึ่งเมื่อนำพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจาก OLN-20 กับ HDI ในอัตราส่วนโดยโมลของ $[OH \text{ ของ OLN-20}] : [N=C=O \text{ ของ HDI}] = 1:2$ ไปทดสอบหาปริมาณเจลในตัวทำละลายต่างๆ ได้แก่ เฮกเซน โทลูอิน เตตระไฮโดรฟิวแรน และน้ำ พบว่ามีปริมาณเจลเท่ากับ 88%, 71%, 81% และ 98% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณเจลของพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ในตัวทำละลายต่างๆ มีค่าสูง จึงอาจกล่าวได้ว่าหมู่ไฮดรอกซิลในยางธรรมชาติเหลวคัดแปรพอลิออลสามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไอโซไซยานาโตของ HDI เกิดเป็นโครงสร้างแบบเชื่อมขวาง หรือเกิดเป็นเทอร์โมเซตพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ที่แข็งแรงเกิดขึ้น



รูป 2 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติเหลวคัดแปรพอลิเอทิลีนที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 20% (OLNR-20) (b) 1,6-ไดไอโซไซยานาโตเฮกเซน (HDI) และ (c) พอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์

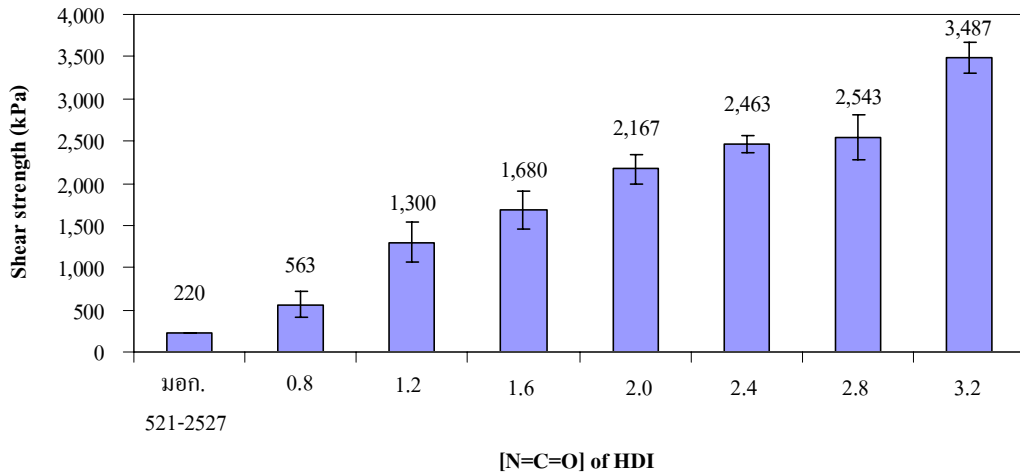
ปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติดของกาวพอลิยูรีเทนระหว่างชิ้นไม้กับชิ้นไม้

ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างหมู่ไอโซไซยานาตของ HDI ต่อหมู่ไฮดรอกซิลของ OLNR เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของ [N=C=O ของ HDI]:[OH ของ OLNR-20] ในช่วง 0.8-3.2:1 พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของ N=C=O ของ HDI = 0.8 โมล ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนของชิ้นไม้ทดสอบมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเชื่อมขวางที่เกิดจากหมู่ไอโซไซยานาตของ HDI กับหมู่ไฮดรอกซิลของ OLNR-20 เกิดได้น้อย เนื่องจากหมู่ไอโซไซยานาตมีปริมาณน้อยกว่าหมู่ไฮดรอกซิล กาวจึงแสดงพฤติกรรมยึดหยุ่นคล้ายยางมากกว่าแข็งตัวคล้ายพลาสติก นอกจากนี้เนื่องจากการใช้ HDI ซึ่งเป็นของเหลวในปริมาณน้อย (0.8 โมล) มาผสมรวมกับ OLNR-20 ซึ่งมีความหนืดระดับหนึ่ง ทำให้ความหนืดของระบบลดลงไม่มากนัก และเมื่อปฏิกิริยาการเชื่อมขวางเกิดขึ้นในระยะเวลาหนึ่ง (Gel effect) โอกาสที่หมู่ไอโซไซยานาตของ HDI จะเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของยางจะลดลง ทำให้ปฏิกิริยาการเชื่อมขวางเกิดได้ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้จากความหนืดที่สูงของกาวทำให้โอกาสการแทรกตัวของกาวเข้าไปยังรูพรุนของเนื้อไม้จะน้อยลง (เบญจ ทองนวลจันทร์ และคณะ, 2549; สัก, 2552) ส่งผลให้โอกาสของหมู่ไอโซไซยานาตของ HDI ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสของเนื้อไม้ไม่น่าจะมีมากนัก ดังนั้นจึงส่งผลทำให้การยึดติดระหว่างชิ้นไม้กับชิ้นไม้มีค่าลดลง

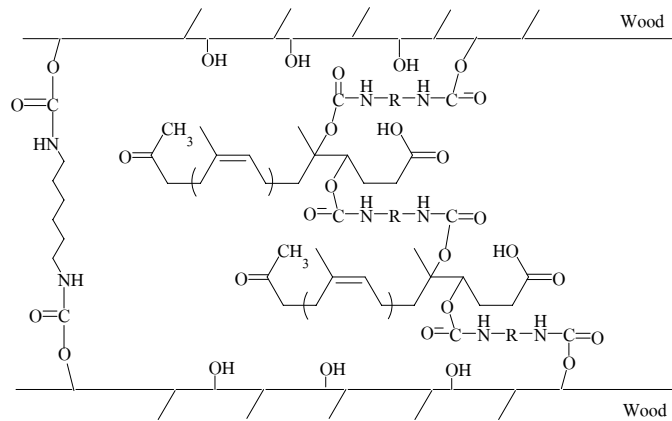
ในขณะที่เมื่อใช้ HDI ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น พบว่าความหนืดลดลงตามปริมาณ HDI ที่เพิ่มขึ้น ผลของความหนืดที่เกิดขึ้นระหว่างการทำปฏิกิริยาน่าจะลดลง ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาระหว่าง HDI กับ OLN-20 เป็นไปได้มากขึ้น ทั้งการที่มีความหนืดลดลงยังมีโอกาสแทรกตัวเข้าไปยังรูพรุนของเนื้อไม้เพิ่มสูงขึ้นทำให้หมู่ไฮดรอกซิลที่หลุดจากการทำปฏิกิริยาร่วมกับหมู่ไฮดรอกซิลของ OLN-20 สามารถเกิดพันธะยูรีเทนร่วมกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสของเนื้อไม้ได้มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเชื่อมขวางทางเคมีที่แข็งแรงร่วมกันระหว่างกาวกับชิ้นไม้ จากปัจจัยทั้งสองจึงส่งผลให้ค่าการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนของชิ้นไม้มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหรืออัตราส่วนของหมู่ไฮดรอกซิลที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 563 kPa เป็น 3,487 kPa เมื่อใช้ HDI ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล 0.8 โมล ถึง 3.2 โมล ตามลำดับ (ดังรูป 3) ภาพแสดงลักษณะการเกิดการเชื่อมขวางระหว่างยางธรรมชาติเหลวคัดแปรพอลิเอทิล ไดไฮดรอกซีเซลลูโลส และเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบของเนื้อไม้ดังรูป 4

ศึกษาผลของปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลบนโครงสร้างของยางธรรมชาติเหลวคัดแปรพอลิเอทิล จาก 20% เป็น 50% โดยคาดหวังว่าปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลที่เพิ่มขึ้น น่าจะส่งผลต่อการเชื่อมขวางที่มากขึ้น ซึ่งอาจทำให้ค่าการยึดติดระหว่างชิ้นไม้เพิ่มสูงขึ้น แต่จากการทดลองพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนมีค่าลดลง เมื่อใช้ OLN-20 ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมากขึ้น โดยพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนมีค่าลดลงจาก 2,167 kPa เป็น 1,588 kPa เมื่อใช้ OLN-20 (PU4) และ OLN-50 (PU8) ตามลำดับ ซึ่ง OLN-50 ซึ่งมีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า OLN-20 พบว่ามีลักษณะยางที่เหนียวหนืดมากกว่า ทั้งนี้แม้ว่า OLN-50 จะมีความหนืดที่ต่ำกว่า คือ OLN-20 มี \bar{M}_v เท่ากับ 19,000 g/mol ในขณะที่ OLN-50 มี \bar{M}_v เท่ากับ 15,000 g/mol แต่อาจเนื่องจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนจำนวนมากในสายโซ่โมเลกุลของ OLN-50 จึงทำให้ยางมีลักษณะเหนียวหนืดมากกว่า และเมื่อนำไปผสมร่วมกับไฮดรอกซีเซลลูโลส กาวที่ได้จึงมีความหนืดสูง ดังนั้นโอกาสที่จะแทรกตัวเข้าไปในเนื้อไม้เพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างชิ้นไม้กับกาวน่าจะน้อยกว่าการใช้ OLN-20 เป็นส่วนผสม ทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนของกาวที่ใช้ OLN-50 มีค่าต่ำกว่ายางธรรมชาติคัดแปรพอลิเอทิล OLN-20

กาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจากยางธรรมชาติเหลวคัดแปรพอลิเอทิล กับไดไฮดรอกซีเซลลูโลส พบว่าให้ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือน หรือการยึดติดชิ้นไม้ที่ดี แต่กาวที่ได้ต้องใช้เวลาในการเตรียมค่อนข้างนานกว่า 10 นาที เนื่องจากความหนืดที่สูงของยางธรรมชาติเหลวคัดแปรพอลิเอทิล และแม้ว่าจะมีการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติคอลลอยด์ ยางธรรมชาติเหลวคัดแปรพอลิเอทิลก็ยังคงมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง (ประมาณ 19,000 g/mol) ทำให้การผสมรวมกับ HDI จึงเป็นไปได้ช้า (ไม่ใช่ตัวทำละลายในระบบ) งานวิจัยนี้จึงสนใจนำน้ำมันถั่วเหลืองคัดแปรพอลิเอทิล (SPO) และเอทิลีนไกลคอล (EG) ซึ่งเป็นสารโมเลกุลเล็กมาใช้ประโยชน์เป็นสารช่วยลดความหนืด และสารขยายสายโซ่ เนื่องจากสารทั้งสองชนิดมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับไฮดรอกซีเซลลูโลสได้เช่นกัน จากผล



รูป 3 ค่าความต้านทานแรงต่อแรงเฉือนของการทดสอบการยึดติดระหว่างชิ้นไม้กับชิ้นไม้ โดยใช้ อัตราส่วนโดยโมลของ N=C=O ของ HDI : OH ของ OLNR = 0.8-3.2 : 1



รูป 4 ลักษณะ โครงสร้างการเชื่อมขวางระหว่างระหว่างยางธรรมชาติเหลวตัดแปรพอลิออล ไดไอโซไซยานต และเซลลูโลส

การทดลองโดยการผสม SPO/EG : OLNR : HDI ในอัตราส่วนโดยโมล [OH ของ SPO]/[OH ของ EG] : [OH ของ OLNR] : [N=C=O ของ HDI] = 0.4:0.6:2.0 เมื่อเทียบกับผลของ OLNR : HDI ในอัตราส่วนโดยโมล [OH ของ OLNR] [N=C=O ของ HDI] = 1:2 พบว่าสารโมเลกุลเล็กทั้ง SPO และ EG ช่วยให้การผสมระหว่าง OLNR กับ HDI ง่ายขึ้น ความหนืดของสารผสมลดลง และเมื่อมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าระบบที่ใช้เอทิลีนไดออลทำงานใช้เวลาในการเซตตัวแข็งเร็วที่สุด คือใช้เวลาประมาณ 10 นาที และให้กาวที่มีลักษณะสีเหลืองอ่อน แข็ง เปราะ ในขณะที่ระบบที่ใช้ SPO และระบบที่ไม่ใช้สารช่วยลดความหนืดใช้เวลาประมาณ 70 นาที และ 80 นาที ตามลำดับ โดยในระบบที่

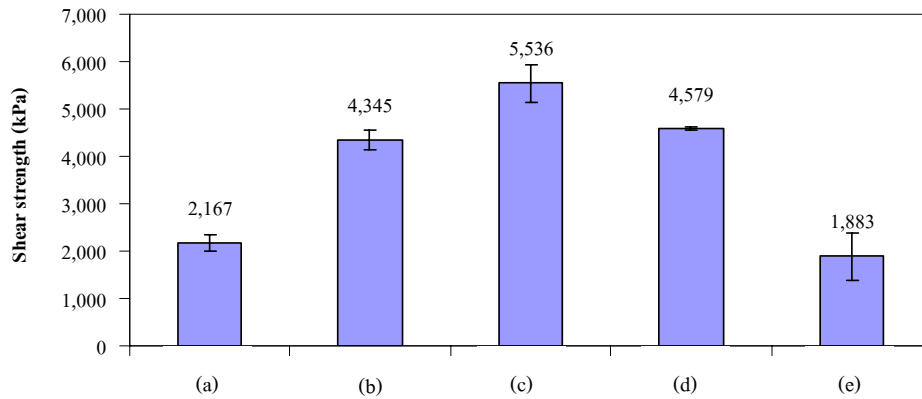
ใช้ SPO พบว่าได้กาวที่มีลักษณะสีเหลืองเข้ม แข็ง เหนียว ในขณะที่ระบบที่ไม่ใช้สารช่วยลดความหนืดพบว่ากาวที่ได้ลักษณะสีเหลืองเข้ม แข็ง เปราะ เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนพบว่าระบบที่ใช้ SPO ผสมร่วมกับ OLNr ให้ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนสูงที่สุด คือ 5,536 kPa ในขณะที่ระบบที่มีเพียง OLNr และระบบที่ใช้ EG ผสมร่วมกับ OLNr ให้ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนเท่ากับ 2,463 kPa และ 1,883 kPa ตามลำดับ (ดังแสดงในรูป 5 (a), (c) และ (e)) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแม้ว่าสารลดความหนืดทั้งสองจะช่วยให้ความหนืดของกาวลดลง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มโอกาสการสัมผัส และการทำปฏิกิริยากันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล ของ OLNr สารลดความหนืด และเซลล์โลสของไม้ กับไดไอโซไซยานเนต แต่การเกิดปฏิกิริยาที่เร็วมากของ EG เกิดเป็นเจลแข็งในระยะเวลาอันสั้น ทำให้การเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ไอโซไซยานเนตของ HDI กับหมู่ไฮดรอกซิลของ OLNr EG และเซลล์โลสของไม้ ไม่สามารถดำเนินต่อไปได้ ทำให้การเชื่อมขวางเกิดได้น้อย ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนลดต่ำลง ในขณะที่การใช้ SPO ช่วยให้ความหนืดต่ำลง และสามารถแทรกเข้าไปในช่องว่างของเนื้อไม้ได้ดีกว่าการใช้เฉพาะ OLNr และเวลาในการเซตตัวแข็งที่ไม่เร็วเกินไปนี้ช่วยให้อัตราการเชื่อมขวางเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์มากกว่า ส่งผลให้การยึดติดของการใช้ SPO ร่วมกับ OLNr และ HDI มีค่าสูงสุด

นอกจากนี้พบว่า SPO ที่เพิ่มขึ้น (0-0.40 mole) ค่าความต้านทานแรงต่อเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันดัดแปรพอลิออลมีความหนืดต่ำกว่ายาง ดังนั้นการใช้น้ำมันดัดแปรพอลิออลในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้กาวมีความหนืดต่ำลง สามารถแทรกเข้าไปในช่องว่างของเนื้อไม้ได้ดีขึ้น แต่การใช้ SPO ที่มากเกินไป (0.65 mole, รูป 5 (d)) ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนมีค่าลดลงอย่างไรก็ตามค่าที่ลดลงพบว่าไม่ได้ลดลงมากนัก เนื่องจากน้ำมันมีหมู่ไฮดรอกซิลที่สามารถเกิดปฏิกิริยาร่วมกับไดไอโซไซยานเนตได้เช่นกัน และน้ำมันดัดแปรพอลิออลที่ใช้ก็มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลใกล้เคียงกับปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลของยางธรรมชาติคือ ประมาณ 20% ทั้งนี้กาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ ที่เติม SPO ในทุกอัตราส่วนพบว่ามีค่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด นอกจากนี้ยังสามารถเทียบเคียงได้กับกาวที่ใช้ในการยึดติดไม้จากงานวิจัยอื่นๆ (ดังแสดงในตาราง 2)

สมบัติของแผ่นไม้อัดแข็งชั้นเดียวโดยใช้กาวพอลิยูรีเทน

เตรียมแผ่นไม้อัดแข็งชั้นเดียวจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราต่อกับกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ เมื่อใช้กาวที่มีส่วนผสมอัตราส่วนโดยโมลของ [OH ของ SPO] : [OH ของ OLNr] : [N=C=O ของ HDI] = 0.4:0.6:2.0 มาผสมร่วมกับขี้เลื่อยไม้ยางพาราและตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของกาว : ขี้เลื่อย : ตัวเร่งปฏิกิริยา เท่ากับ 36:64:0.168 พบว่าแผ่นไม้อัดแข็งที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อนำไปตัดเป็นชิ้นทดสอบเพื่อทดสอบค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) พบว่าชิ้นงานที่เตรียมได้มีค่าความทนต่อแรงดึงเท่ากับ 17.5 MPa ในขณะที่เมื่อนำแผ่นไม้อัดไปทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

และค่าการพองตัวตามความหนา เมื่อแช่ขึ้นทดสอบในน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 พบว่าแผ่นไม้อัดแข็งที่เตรียมได้มีค่าการดูดซึมน้ำ และค่าการพองตัวตามความหนาเท่ากับ 3% และ 1.4% ซึ่งค่าดังกล่าวผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด และใกล้เคียงกับผลการวิจัยของงานวิจัยอื่น ดังแสดงในตาราง 3



รูป 5 ค่าความต้านทานแรงต่อแรงเฉือนต่ออัตราส่วนผสมในการเตรียมกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ เมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมล และชนิดของสารขยายสายโซ่ต่างๆ กัน คือ

- (a) [OH ของ SPO] : [OH ของ OLNLR] : [N=C=O ของ HDI] = 0 : 1 : 2.0 (PU4)
- (b) [OH ของ SPO] : [OH ของ OLNLR] : [N=C=O ของ HDI] = 0.20 : 0.80 : 2.0 (PU9)
- (c) [OH ของ SPO] : [OH ของ OLNLR] : [N=C=O ของ HDI] = 0.40 : 0.60 : 2.0 (PU10)
- (d) [OH ของ SPO] : [OH ของ OLNLR] : [N=C=O ของ HDI] = 0.65 : 0.35 : 2.0 (PU11)
- (e) [OH ของ EG] : [OH ของ OLNLR] : [N=C=O ของ HDI] = 0.40 : 0.60 : 2.0 (PU12)

ตาราง 2 ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนของกาวสำหรับติดไม้ตามมาตรฐาน มอก. และจากงานวิจัยอื่นๆ

ชนิดกาว	Shear strength (kPa)
มอก.521-2527 (เบญจ ทองนวลจันทร์ และคณะ, 2549)	220
กาว TOA ^a	3,107
กาว UF ^b	3,504
กาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ ^c	4,300 – 5,500

^a กาวลาเท็กซ์ (TOA) (ฉัตรปกรณัม นันทวงศ์ และคณะ, 2548)

^b กาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์ (ฉัตรปกรณัม นันทวงศ์ และคณะ, 2548)

^c กาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ในอัตราส่วนโดยโมล [OH ของ OPO] : [OH ของ OLNLR] : [N=C=O ของ HDI] = 0.2-0.65 : 0.8-0.35 : 2.0

ตาราง 3 ค่าความต้านทานต่อแรงดึง ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าการพองตัวตามความหนาของชั้นงานแผ่นไม้อัดแข็งชั้นเดียวที่เตรียมจากซีล้อยางพารา กับกาวชนิดต่างๆ

ชั้นงานตัวอย่าง	Tensile strength (MPa)	Water absorption (%)	Thickness swelling (%)
แผ่นซีล้อยไม้อัด มอก.876-2547 ^a	≥ 0.45	≤ 30	≤ 12
แผ่นซีล้อยไม้อัด จากกาว ENR-30 ^b	14.87	8.0	-
แผ่นซีล้อยไม้อัด จากกาวยูเรีย- ฟอร์มาลดีไฮด์ ^c	1.39	23.90	8.43
แผ่นซีล้อยไม้อัดแข็งจากกาวพอลิยูรีเทน อีลาสโตเมอร์ ^d	17.50 ± 4.3	3.0	1.4

เมื่อ ^a แผ่นซีล้อยไม้อัดมีขนาดความหนาไม่เกิน 3.0-6.0 มิลลิเมตร ตาม มอก.876-2547 (นิคม แหลมสัก และคณะ, 2547)

^b ซีล้อยไม้ยางพาราผสมกาวน้ำยางธรรมชาติอีพอกไซค์ และใช้เฮกซะเมทอกซีเมทิลเทลามีนเป็นสารเชื่อมขวาง (เบญจทอง นวลจันทร์ และคณะ, 2549)

^c ซีล้อยไม้ยางพาราผสมกาวยูเรีย-ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวประสาน (ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าการพองตัวตามความหนา เมื่อใช้เวลาน้ำในการแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง) (วันชาติ ปรีชาดิวงค์ และวิศนีย์ ชิงประเสริฐ, 2550)

^d ซีล้อยไม้ยางพาราผสมกาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ในงานวิจัยนี้

บทสรุป

กาวพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมจาก OLNK ที่มีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิล 20% และ HDI โดยพบว่าอัตราส่วนโดยโมลของหมู่ไอโซไซยานาตของ HDI เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของชั้นไม้เพิ่มขึ้น และการใช้น้ำมันถั่วเหลืองคัดแปรพอลิออลเป็นสารลดความหนืด พบว่าให้ค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นมากกว่ากรณีไม่เติมสารลดความหนืด และสารลดความหนืดที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยเมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของ [OH ของ SPO] : [OH ของ OLNK] : [N=C=O ของ HDI] = 0.4:0.6:2.0 พบว่าให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 5,536 kPa และเมื่อนำกาวสูตรดังกล่าวไปใช้ในการเตรียมแผ่นไม้อัดแข็งชนิดชั้นเดียวจากซีล้อยไม้ยางพารา พบว่าแผ่นไม้อัดที่ได้มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานมอก. 876-2547 โดยมีค่าเท่ากับ 17.5 MPa และค่าการดูดซึมน้ำ และค่าการพองตัวตามความหนาของแผ่นไม้อัดประมาณ 3.0% และ 1.4% ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนงบประมาณแผ่นดิน (ทุน วช.) ปี 2551 ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยเรื่องนี้ ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้สถานที่ และเครื่องมือในการทำวิจัย ขอขอบคุณสถาบันพัฒนาฝีมือแรงงาน จ.สงขลา ที่ให้สถานที่ และเครื่องมือในการเตรียมแผ่นไม้อัดแข็งขึ้นเดียว

เอกสารอ้างอิง

- นัตรปกรณ นันทวงศ์, สุกฤทธิรา รัตนวิไล, ธเนศ รัตนวิไล และวิริยะ ทองเรือง. (2548). การศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของกาวจากน้ำยางธรรมชาติอ็อกโซไซด์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพารา. *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ ครั้งที่ 4*, 14-19.
- ช.วยากรณ์ เพ็ชฌัญไพศิษฎ์, อรฉนิ ต๊ะวิชัย และปราณี ภิญญโณชิพ. (2550). การเตรียมยางธรรมชาติเหลวให้มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลที่ตำแหน่งปลายโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์. *วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 3(2), 137-148.
- ช.วยากรณ์ เพ็ชฌัญไพศิษฎ์, อรพินท์ นัคราจารย์, ปราณี ภิญญโณชิพ และพลพัฒน์ รวมเจริญ. (2551). กาวพอลิยูรีเทนแบบปราศจากตัวทำละลาย โดยใช้ยางธรรมชาติเหลวคัดแปรพอลิออลและน้ำมันพอลิออล และกรรมวิธีการผลิต เลขที่คำขอจดอนุสิทธิบัตร 0803001464. *กรมทรัพย์สินทางปัญญา*.
- นิคม แหล่มสัก, วินัย สีเที่ยงธรรม, วรธรรม อุ๋นจิตติชัย, วิทยา วุฒิจำนงค์, สมุทร พรหมเกษตรินทร์, สุรินทร์ กาญจนบุญชร, ชุมพล เพ็ญนักรัตร์, ชัยพร มังกรเดชไชยกุล, อนุชา ราญอรอน และทรงวง ทิมบุญธรรม. (2547). *แผ่นขึ้นไม้อัดชนิค้อคราบ. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2547 ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 121 ตอน 63ง, 1-17.*
- เบญจ ทองนวลจันทร์, เจริญ นาคะสรรค์, และกาญจนา นกแก้ว. (2549). การเตรียมแผ่นไม้อัดแข็งจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราโดยใช้กาวน้ำยางธรรมชาติอ็อกโซไซด์เป็นตัวประสาน. *วิจัยยางพาราเพื่ออนาคตที่ยั่งยืน*, 67-73.
- เบญจ ทองนวลจันทร์, เจริญ นาคะสรรค์, และสุริย์พร อินทรโยธา. (2549). กาวยางธรรมชาติอ็อกโซไซด์สำหรับติดประสานงานไม้. *วิจัยยางพาราเพื่ออนาคตที่ยั่งยืน*, 75-80.
- พร้อมศักดิ์ สงวนธำรงค์. (2551) ยางธรรมชาติคัดแปร. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 2(3), 35-45.
- พินิจจากสารฟอร์มัลดีไฮด์. (11 กรกฎาคม 2551). สืบค้นเมื่อ 12 พฤษภาคม 2552, จาก <http://green.in.th/node/1252>.

- วันชาติ ปรีชาติวงศ์ และ วิชาญ ยี่งประเสริฐ. (2550). ผลของกาวฟีนอลฟอร์มอลดีไฮด์ และกาวไอโซไซยานเนตต่อสมบัติของแผ่นไม้เรียงเส้นที่ผลิตจากเศษไม้ยางพารา. *วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 29(5), 1367-1375.
- ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตราย และเคมีภัณฑ์. (12 สิงหาคม 2544). *ไดคัลอโรมีเทน*. สืบค้นเมื่อ 12 พฤษภาคม 2552, จาก <http://msds.pcd.go.th/pdf/499.pdf>.
- ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตราย และเคมีภัณฑ์. (12 สิงหาคม 2544). *โทลูอีน*. สืบค้นเมื่อ 12 พฤษภาคม 2552, จาก <http://msds.pcd.go.th/pdf/61.pdf>.
- ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตราย และเคมีภัณฑ์. (12 สิงหาคม 2544). *ยูเรีย ฟอรัลดีไฮด์*. สืบค้นเมื่อ 12 พฤษภาคม 2552, จาก <http://msds.pcd.go.th/pdf/40.pdf>.
- สัก (Tectona grandis L.F.)*. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อ 30 มกราคม 2552, จาก <http://www.dnp.go.th/mfcd1/saraburisite/webpage/tree23.htm>
- ASTM D 638-94b. (1995). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. In Annual Book of ASTM Standard. New York: Department of Defense, 08.01, 47-58.
- ASTM D 2339-98. (2007). Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Two-Ply Wood Construction in Shear by Tension Loading. In Annual Book of ASTM Standard. New York: Department of Defense, 15.06, 160-162.