

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเตรียมกายาางธรรมชาติที่วัดคาไนซ์ด้วย ความชื้น

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1. รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. นางสาวสุไพลัย หล้าเหละ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- 3 รองศาสตราจารย์ อาชีชัน แกสมาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชุดโครงการ วิจัยแห่งชาติยางพารา (SPR)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว)
(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย สกว ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ การเตรียมกาวยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยความชื้น

Preparation of Moisture Vulcanized Natural Rubber Adhesive

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์
 หน่วยงาน ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
 ที่อยู่ ถนนเจริญประดิษฐ์ ต.รูสะมิแล อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000
 โทรศัพท์ 073 313930-50 ext 1866 โทรสาร 073 331099

E-mail address ncharoen@bunga.pn.psu.ac.th

นักศึกษา/ผู้ร่วมวิจัย นส.สุไหวยะ หล้าเหละ

งบประมาณทั้งโครงการ 120,000 บาท

ระยะเวลาดำเนินการ 10 เดือนตั้งแต่วันที่ 15 กรกฎาคม 2552 ถึง วันที่ 14 เมษายน 2553

ได้การอนุมัติให้ขยายเวลา 6 เดือน จนถึงวันที่ ...14. ตุลาคม 2553

ปัญหาที่ท้าวิจัยและความสำคัญ ปัจจุบันมีการใช้กาวยางชนิดต่างๆกันอย่างกว้างขวาง โดยในสูตรการเตรียมกาวมีความจำเป็นต้องผสมสารสำหรับการวัลคาไนเซชันยางเพื่อให้กาวมีความแข็งแรง สามารถยึดติดวัสดุต่างๆดีขึ้น และมีความคงทนมากขึ้น ในกาวที่ใช้ยางธรรมชาติเป็นวัสดุหลักมักจะใช้ระบบการวัลคาไนเซชันด้วยกำมะถัน ระบบเปอร์ออกไซด์ และระบบเรซิน ซึ่งเป็นระบบที่ต้องใช้ความร้อนสูงในการทำใหยางเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าการใช้สารไซเลนชนิดอะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (3-aminopropyltriethoxysilane, APS) และ เตตราเอทิลออร์โทซิลิเกต (tetraethyl orthosilicate, TEOS) สามารถทำใหยางธรรมชาติอีพอกไซด์สามารถเกิดการวัลคาไนซ์ด้วยความชื้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Hashim, et al 1995 และ 2004 และ Akiba and Hashim, 1997 นับว่าเป็นประเด็นที่น่าสนใจเนื่องจากสามารถเตรียมกาวที่ใช้งานได้โดยไม่ต้องอาศัยความร้อนสูงในการทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลยาง

ในปัจจุบันมีการเร่งปริมาณน้ำยางด้วยเทคโนโลยี “RRIMFLOW” กันอย่างกว้างขวางในสวนยาง โดยเฉพาะในภาคใต้ของประเทศ โดยเทคโนโลยีดังกล่าวเป็นการใช้แก๊สเอทิลีนเป็นสารกระตุ้นการไหลของน้ำยาง โดยเทคโนโลยีดังกล่าวเน้นการกรีดหน้ากรีดสั้นลง และเพิ่มระยะเวลาในการพักกรีดซึ่งทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตได้ 2-3 เท่า แต่ใช้แรงงานน้อยลง จึงเป็นที่สนใจ และมีตัวแทนจำหน่ายผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจำนวนมาก โดยเทคโนโลยีดังกล่าวทำการเก็บกักแก๊สเอทิลีนด้วยภาชนะพลาสติกที่โดยประกบไว้กับต้นยางเพื่อให้เกิดการแพร่ผ่านเข้าไปในระบบท่อน้ำยางของต้นยาง ภาชนะดังกล่าวทำจากพลาสติกที่มีชั้นผลึกป้องกันการซึมผ่านของแก๊สเอทิลีนได้ การติดตั้งภาชนะพลาสติกกับต้นยางต้องใช้กาวเป็นตัวประสาน ซึ่งกาวที่ใช้กันในท้องตลาดในปัจจุบัน ต้องนำเข้าจากประเทศมาเลเซีย

เจ้าของเทคโนโลยีนี้ ในราคาค่อนข้างสูง นอกจากนี้กระบวนการนี้ต้องมีความสามารถประสานได้ดีกับเปลือกไม้ยาง และสามารถใช้งานได้ในสภาวะที่มีน้ำและความชื้นสูง ดังนั้นเบื้องต้นจึงมีแนวคิดที่จะเตรียมกาวจากยางธรรมชาติพอกไซค์ที่วัลคาไนซ์ด้วยความชื้นได้แล้วทดลองใช้ในการเก็บกักแก๊สเอทิลีน โดยใช้ฐานความรู้และสูตรกาวที่เคยวิจัยมาก่อนหน้านี้ (เจริญ และคณะ 2548, 2548, 2550 และ 2551) โดยทดลองใช้กระบวนการนี้เป็นสารอุดรูรั่วแก๊สเอทิลีน ในสวนยางของเกษตรกรที่ใช้ระบบ RRIMFLOW ในการกรีดยาง หากได้ผลจะทำการขยายขอบเขตการประยุกต์กาวในรูปแบบอื่นๆ ต่อไป เช่น ใช้เป็นกาวในงานติดไม้ที่ต้องการความแข็งแรงสูง

วัตถุประสงค์

- เพื่อเตรียมกาวจากยางธรรมชาติพอกไซค์ที่วัลคาไนซ์ด้วยความชื้นเพื่อทดลองใช้ในการอุดรูรั่วแก๊สเอทิลีนที่ใช้ในการเร่งน้ำยางและการใช้เป็นกาวในงานติดไม้ที่ต้องการความแข็งแรงสูง

ผลการดำเนินงาน

สามารถเตรียมสารละลายกาวยางธรรมชาติที่สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วย ความชื้น ระบบที่ทำให้สุกด้วยความชื้น (Moisture cure process) และระบบโซล-เจล (Sol-gel process) โดยพบว่าระบบ Sol-gel process ที่มีการใช้ อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไฮเดรต (APS) และเตตระเอทิลอโทซิลิเกต (TEOS) ร่วมกัน ให้สมบัติในการติดประสานแผ่นไม้อัดกับพลาสติกพอลิเอทิลีนเทอเรพทาเลทและในรูปแบบค่าความต้านทานต่อแรงเฉือน ความต้านทานต่อแรงปอก และค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนหลังการแช่น้ำสูงที่สุด โดยเฉพาะและค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนหลังการแช่น้ำจะมีค่าสูงกว่าก่อนการแช่น้ำในทุกชุดการทดลอง จึงเลือกการระบบนี้ในการทดลองต่อไป โดยพบว่ายางธรรมชาติพอกไซค์ที่มีหมู่พอกไซค์ 25 mol% ร่วมกับสารคิวมาโรอินดินเรซิน ปริมาณ 25 phr มีผลทำให้กาวมีสมบัติในการติดประสานสูงที่สุด และพบว่ากาวที่เตรียมจากยางที่มีการลดน้ำหนัก โมเลกุลเฉลี่ยต่ำจะให้การติดประสานที่ดีกว่า นอกจากนี้ทดลองใช้กาวในการติดประสานระหว่างผิวของต้นยางกับพลาสติกพอลิเอทิลีนเทอเรพทาเลทของริมโฟลว์ พบว่าสามารถใช้ในการติดประสานได้ดีมาก เก็บกักแก๊สเอทิลีนได้ดี และหลังจากกรีดยังให้น้ำยางในปริมาณสูง โดยระบบสามารถเก็บกักแก๊สเอทิลีนได้นานกว่า 24 ชม และยังสามารถใช้งานได้ดีและมีความแข็งแรงในติดประสานหลังจากการติดประสานไปแล้วประมาณ 1 เดือน

สรุปผลการวิจัย

เตรียมสารละลายกาวยางธรรมชาติที่สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วย ความชื้น โดยการใช้สารวัลคาไนซ์คือสารประกอบไฮเดรต 2 ชนิด คือ อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไฮเดรต (APS) และเตตระเอทิลอโทซิลิเกต (TEOS) เตรียมกาวโดยใช้กระบวนการ 2 ระบบ คือ ระบบที่ทำให้สุกด้วยความชื้น (Moisture

cure process) และระบบโซล-เจล (Sol-gel process) จากผลการทดลองพบว่า การเตรียมกาวด้วยระบบ Sol-gel process ที่ใช้ อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไฮดรอกไซด์ (APS) ปริมาณ 7.5 phr และใช้ เตตระเอทิลออร์โทซิลิเกต (TEOS) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปติดประสานแผ่นไม้อัดกับพลาสติกพอลิเอทิลีนเทอเรพทาเลทและพบว่าให้ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือน ความต้านทานต่อแรงปอก และค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนหลังการแช่น้ำสูงกว่าการใช้ระบบที่ทำให้สุกด้วยความชื้น โดยเฉพาะและค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนหลังการแช่น้ำจะมีค่าสูงกว่าก่อนการแช่น้ำในทุกชุดการทดลอง ส่วนกาวที่เตรียมจากระบบ Moisture cure process จะให้ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนหลังการแช่น้ำต่ำกว่าก่อนการแช่น้ำในทุกชุดการทดลองเช่นกัน นอกจากนี้ศึกษาอิทธิพลชนิดของยาง พบว่าการใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซท์ที่มีหมู่อีพอกไซด์ 25 mol% (ENR-25) ให้กาวที่มีสมบัติในการติดประสานดีกว่าการเหนือกว่าการใช้ยาง ENR-50 และ STR 5L จากการศึกษาการใช้สารเพิ่มการยึดติด 3 ชนิด คือ คิวมาโรนอินดินเรซิน โครเรซิน และฟีนอลิกเรซินพบว่าพบว่าการใช้ คิวมาโรนอินดินเรซิน ที่ปริมาณ 25 phr มีผลทำให้กาวมีสมบัติในการติดประสานดีที่สุด นอกจากนี้ได้ทำการลดน้ำหนักโมเลกุลของยาง ENR-25 โดยการบด แล้วศึกษาอิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลของยางต่อสมบัติการติดประสานของกาวพบว่ากาวที่เตรียมจากยางที่มีการลดน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยให้ต่ำที่สุดคือประมาณ 1.95×10^5 กรัม/โมล มีผลทำให้สมบัติในการติดประสานดีกว่ากาวที่เตรียมจากยาง ENR-25 ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าและยางที่ไม่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล นอกจากนี้ทดลองใช้กาวในการติดประสานระหว่างผิวของต้นยางกับพลาสติกพอลิเอทิลีนเทอเรพทาเลทซึ่งพลาสติกของริมโฟลว์ พบว่าสามารถใช้ในการติดประสานได้ดีมาก หลังจากปล่อยให้แห้งทั่วเป็นเวลา 24 ชม ก็ปล่อยให้สเอทิลีนเข้าไปพบว่าระบบที่ใช้กาวจากการทดลองนี้สามารถเก็บกักแก๊สเอทิลีนได้นานกว่า 24 ชม จึงสามารถใช้งานได้ดีและมีความแข็งแรงในติดประสานและอายุการใช้งานสูงกว่ากาวที่ใช้ในเชิงการค้าของริมโฟลว์

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่ม และวิธีการที่ควรต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

- พัฒนาการเตรียมกาวในแบบที่ใหญ่ขึ้นและมุ่งการใช้งานในการติดประสานผิวที่มีลักษณะเปียกชื้น ในลักษณะกาวหรือสารอุดรูรั่ว เนื่องจากกาวชนิดนี้มีความแข็งแรงมากขึ้นเมื่อสัมผัสกับน้ำ โดยมุ่งเน้นการประยุกต์ในงานก่อสร้างและตกแต่งบ้าน เช่น หลังคา พื้นสระว่ายน้ำ และ ห้องน้ำ เป็นต้น
- พัฒนาการใช้สารเคมีชนิดอื่นแทนอะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไฮดรอกไซด์ (APS) และเตตระเอทิลออร์โทซิลิเกต (TEOS) เนื่องจากสารเคมีทั้งสองชนิดนี้มีราคาแพงมาก

ผลงานทางวิชาการที่เกิดขึ้น

- ได้กระบวนการเตรียมกาวที่ใช้น้ำเป็นสารช่วยในการเซตตัวหรือวัลคาไนซ์ด้วยความร้อนที่มีสมบัติเด่นกว่ากาวทางการค้าที่ใช้ในการติดประสานพลาสติกของริมโฟลว์ และมีสมบัติส่วนใหญ่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.521-2527
- พบว่าการเตรียมกาวที่ใช้ระบบโซล-เจล (Sol-gel process) โดยใช้สารประกอบไฮดรอกไซด์ 2 ชนิด ร่วมกัน คือ อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไฮดรอกไซด์ (APS) และเตตระเอทิลออร์โทซิลิเกต (TEOS) ให้สมบัติการติดประสานเหนือกว่าระบบอื่นและมีความแข็งแรงในการติดประสานหลังการแช่น้ำมากขึ้น
- สามารถเตรียมกาวที่ใช้ติดไม้กับพลาสติกและวัสดุที่มีความสามารถในการติดประสานในที่เปียกชื้นที่สูงได้

บทคัดย่อ

เตรียมสารละลายกาวยางธรรมชาติที่สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยความร้อน โดยการใช้สารประกอบในกลุ่มไฮดรอกไซด์ 2 ชนิด คือ อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไฮดรอกไซด์ (APS) และเตตระเอทิลออร์โทซิลิเกต (TEOS) โดยเตรียมกาวโดยใช้กระบวนการ 2 รูปแบบ คือ ระบบที่ทำให้สุกด้วยความร้อน และระบบโซล-เจล จากการศึกษาอิทธิพลของระบบและปริมาณสารวัลคาไนซ์พบว่ากาวที่ใช้ระบบโซล-เจล โดยใช้ APS ปริมาณ 7.5 phr และใช้ TEOS ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ให้ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือน ความต้านทานต่อแรงดึง และค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนหลังการแช่น้ำสูงกว่าการใช้ระบบที่ทำให้สุกด้วยความร้อน นอกจากนี้จากการศึกษาอิทธิพลชนิดของยาง พบว่าการใช้ยางธรรมชาติอ็อกไซค์ที่มีหน่ออ็อกไซค์ 25 โมลเปอร์เซ็นต์ (ENR-25) ส่งผลให้กาวมีสมบัติในการติดประสานเหนือกว่าการใช้ยาง ENR-50 และ STR 5L จากการศึกษาอิทธิพลชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด พบว่าการใช้คิวมาโรนอินดินเรซิน ที่ปริมาณ 25 phr ทำให้กาวมีสมบัติในการติดประสานดีกว่าการใช้ โคเรซิน และฟีนอลิกเรซิน นอกจากนี้การศึกษาอิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลของยางพบว่ากาวที่เตรียมจากยางที่มีการลดน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่ำประมาณ 1.95×10^5 กรัม/โมล มีผลทำให้สมบัติในการติดประสานดีกว่ากาวที่เตรียมจากยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าและยางที่ไม่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล นอกจากนี้พบว่ากาวที่เตรียมได้ มีความแข็งแรงในการยึดติดสูงกว่ากาวในเชิงการค้าของริมโฟลว์ ที่ใช้ในการติดประสานระหว่างไม้กับพลาสติก และเมื่อนำกาวที่เตรียมได้ติดประสานระหว่างต้นยางกับพลาสติกของริมโฟลว์ พบว่าสามารถใช้ในการติดประสาน และเก็บกักแก๊สเอทิลีน ได้นานกว่า 24 ชม

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ, กาว, ความร้อน, วัลคาไนเซชัน

Abstract

Moisture vulcanized natural rubber adhesive was prepared using two types of silane (i.e., 3-amino propyltriethoxysilane (APS) and tetraethyl orthosilicate (TEOS)) as vulcanizing agents. Two different processes were exploited: moisture cure and sol-gel processes. It was found that the sol-gel process with 7.5 phr of APS and 10 ml of TEOS gave higher shear strength, peel strength and shear strength after soaking in water than that of the adhesive based on the moisture cured process. It was also found that the ENR-25 based adhesive gave higher adhesion strength than those of the ENR-50 and STR 5L based adhesives. Furthermore, the coumarone indene resin at a loading level of 25 phr gave the adhesive with higher adhesion properties than those of the adhesives with Koresin and phenolic resins. The adhesion strength was also improved by reducing molecular weight of the ENR-25. That is, the ENR-25 with lower molecular weight of approximately 1.95×10^5 g/mol gave higher adhesion properties than those of the neat ENR-25. Furthermore, it was found that the adhesion properties of the adhesive prepared in this work were superior than that of the commercially available adhesive of the RRIMFLOW. Application of the adhesive to the surface of rubber tree was also performed by adhering the plastic gas reservoir of RRIMFLOW. It was found high adhesion strength between the tree and plastic surfaces was observed. Furthermore, the system could trap the ethylene gas for at least 24 hr.

Keyword: Natural rubber, adhesive, moisture, vulcanization

เนื้อหา

2.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ปัจจุบันมีการใช้กาวยางชนิดต่างๆกันอย่างกว้างขวาง โดยในสูตรการเตรียมกาวมีความจำเป็นต้องผสมสารสำหรับการวัลคาไนเซชันยางเพื่อให้กาวมีความแข็งแรง สามารถยึดติดวัสดุต่างๆดีขึ้น และมีความคงทนมากขึ้น ในกาวที่ใช้ยางธรรมชาติเป็นวัสดุหลักมักจะใช้ระบบการวัลคาไนเซชันด้วยกำมะถัน ระบบเปอร์ออกไซด์ และระบบเรซิน ซึ่งเป็นระบบที่ต้องใช้ความร้อนสูงในการทำให้อย่างเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าการใช้สารไซเลนชนิดอะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไซเลน (3-aminopropyltriethoxysilane, APS) และ เตตราเอทิลออร์โทซิลิเกต (tetraethyl orthosilicate, TEOS) สามารถทำให้อย่างธรรมชาติอีพอกไซด์สามารถเกิดการวัลคาไนซ์ด้วยความชื้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Hashim, et al 1995 และ 2004 และ Akiba and Hashim, 1997 นับว่าเป็นประเด็นที่น่าสนใจเนื่องจากสามารถเตรียมกาวที่ใช้งานได้โดยไม่ต้องอาศัยความร้อนสูงในการทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลยาง

ในปัจจุบันมีการเร่งปริมาณน้ำยางด้วยเทคโนโลยี “RRIMFLOW” กันอย่างกว้างขวางในสวนยาง โดยเฉพาะในภาคใต้ของประเทศ โดยเทคโนโลยีดังกล่าวเป็นการใช้แก๊สเอทิลีนเป็นสารกระตุ้นการไหลของน้ำยาง โดยเทคโนโลยีดังกล่าวเน้นการกรีดหน้ากรีดสั้นลง และเพิ่มระยะเวลาในการพักกรีด ซึ่งทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตได้ 2-3 เท่า แต่ใช้แรงงานน้อยลง จึงเป็นที่สนใจ และมีตัวแทนจำหน่ายผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจำนวนมาก โดยเทคโนโลยีดังกล่าวทำการเก็บกักแก๊สเอทิลีนด้วยภาชนะพลาสติกที่โดยประกบไว้กับต้นยางเพื่อให้เกิดการแพร่ผ่านเข้าไปในระบบท่อน้ำยางของต้นยาง ภาชนะดังกล่าวทำจากพลาสติกที่มีชั้นผลึกป้องกันการซึมผ่านของแก๊สเอทิลีนได้ การติดตั้งภาชนะพลาสติกกับต้นยางต้องใช้กาเป็นตัวแทน ซึ่งกาที่ใช้กันในท้องตลาดในปัจจุบัน ต้องนำเข้าจากประเทศมาเลเซีย เจ้าของเทคโนโลยีนี้ ในราคาค่อนข้างสูง นอกจากนี้กาวชนิดนี้ต้องมีความสามารถประสานได้ดีกับเปลือกไม้ยาง และสามารถใช้งานได้ในสถานะที่มีน้ำและความชื้นสูง ดังนั้นเบื้องต้นจึงมีแนวคิดที่จะเตรียมกาวจากยางธรรมชาติพอกไซค์ที่วัลคาไนซ์ด้วยความชื้นได้แล้วทดลองใช้ในการเก็บกักแก๊สเอทิลีน โดยใช้ฐานความรู้และสูตรกาวที่เคยวิจัยมาก่อนหน้านี้ (เจริญ และคณะ 2548, 2548, 2550 และ 2551) โดยทดลองใช้กาวชนิดนี้เป็นสารอุดรูรั่วแก๊สเอทิลีน ในสวนยางของเกษตรกรที่ใช้ระบบ RRIMFLOW ในการกรีดยาง หากได้ผลจะทำการขยายขอบเขตการการประยุกต์กาวในรูปแบบอื่นๆต่อไป เช่นใช้เป็นกาวในงานติดไม้ที่ต้องการความแข็งแรงสูง

2.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อเตรียมกาวจากยางธรรมชาติพอกไซค์ที่วัลคาไนซ์ได้ด้วยความชื้นเพื่อทดลองใช้ในการอุดรูรั่วแก๊สเอทิลีนที่ใช้ในการเร่งน้ำยางและการใช้เป็นกาวในงานติดไม้ที่ต้องการความแข็งแรงสูง

1.3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง

1.3.1 ประเภทของกาว

กาวสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะการใช้งาน ได้ดังนี้

1. กาวที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ (Solvent based adhesive) มีข้อดีคือการเป็ยกผิวที่ดี มีการเซ็ทตัวเร็ว ทนทานต่อน้ำมัน และสามารถปรับปรุงให้เกิดพันธะเชื่อมโยงที่แข็งแรงได้ แต่มีอันตรายจากการเป็นพิษของตัวทำละลาย และไวไฟจึงเสี่ยงต่อเพลิงไหม้
2. กาวที่ใช้ในสถานะหลอม (Hot melt adhesive) กาวชนิดนี้เป็นของแข็งสามารถใช้งานได้โดยการให้ความร้อนให้หลอม นิยมใช้ในกระบวนการที่ต้องการความรวดเร็วเพราะกาวชนิดนี้เมื่อเย็นจะเซ็ทตัวได้เร็ว แต่มีข้อเสีย คือ ไม่สามารถใช้งานที่ละเอียดและมีพื้นผิวมากๆได้ และสามารถติดประสานได้เฉพาะผิวที่ทนต่ออุณหภูมิสูง
3. กาวที่มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมี (Reactive adhesive) กาวชนิดนี้เป็นกาวที่สามารถเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันได้ มีข้อดีคือ การเซ็ทตัวที่เร็วมากที่อุณหภูมิห้องเมื่อเทียบกับกาวที่ใช้

ในสภาวะหลอม แต่เก็บรักษายากและราคาแพง ตัวอย่าง เช่น กาวอีพอกซี กาวอะคริลิก และกาวไอโซไซยานเต เป็นต้น

4. กาวที่ไวต่อแรงกด (Pressure sensitive adhesive) เป็นกาวที่เตรียมอยู่ในรูปแถบกาว ซึ่งเคลือบลงบนแผ่นเซลโลเฟน พอลิเอทิลีน หรือพีวีซี เป็นต้น ปัจจุบันนิยมใช้กันมาก ในด้านการแพทย์ด้านการผ่าตัด และการติดประสานต่างๆ ไป สารที่ใช้เป็นกาวชนิดนี้นิยมใช้ อยาขรรรรมชาติ
5. กาวที่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง หรือกาวอิมัลชัน มีข้อดีคือ ราคาถูก การผลิตไม่ยุ่งยาก สามารถใช้งานกับวัสดุที่พื้นผิวเป็นรูพรุน เช่น ไม้ กระดาษ ฟันปูนที่หยาบ เนื่องจากกาวชนิดนี้มี น้ำเป็นส่วนประกอบจึงเกิดการซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุที่ทาได้ง่าย แต่กาวชนิดนี้มักจะเจ้ทตัวช้า และมีอายุการเก็บสั้น ตัวอย่างวัสดุที่ใช้กาวชนิดนี้ได้แก่ น้ำยาขพอลิไวนิลอะซิเตท น้ำยาขรรรรมชาติ และอิมัลชันพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ เป็นต้น

1.3.2 การยึดติดของกาวกับไม้

การยึดติดของกาวกับไม้มาจากเหตุผล 3 ประการ คือ

1. การเกิดพันธะเคมีของกาวกับไม้ แรงที่เกิดขึ้นนี้มีค่าสูงกว่าปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้เกิดการยึดติด กลไกนี้เป็นแรงที่เกิดจากพันธะโควาเลนต์เป็นส่วนใหญ่
2. การยึดติดแบบเชิงกลและการแทรกของกาวเข้าไปในช่องว่างของผนังเซลล์ กลไกนี้เกิดจาก สลายกาวเข้าไปแทรกในรูเล็ก ในผนังเซลล์ หรือ โมเลกุลของกาวแทรกเข้าไปในส่วนออสัณฐานของ เซลลูโลส แรงที่เกิดจากการยึดติดแบบนี้ขึ้นอยู่กับ การกระจายตัว การซึมซาบการเปียก และขนาดของ โมเลกุลของกาวเอง
3. การยึดตัวระหว่าง โมเลกุลที่เกิดจากการดึงดูดและและการดูดแนบ แรงที่ได้จากกลไกนี้เป็น แรงแวนเดอร์วาลส์

2.4 วิธีการ

2.4.1 การเตรียมกาวยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยความชื้น

เตรียมกาวยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยความชื้น โดยใช้สารเคมีแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1 โดยเริ่มจากการนำยาง ENR-25 ประมาณ 30 กรัม มาละลายด้วยโทลูอิน ประมาณ 145 กรัม พร้อมกับการให้ความร้อนในอ่างน้ำมันและกวนที่ความเร็วรอบ 150 rpm เป็นเวลา 30 นาที โดยควบคุม ปริมาณของแข็งทั้งหมดให้มีอยู่ประมาณ 20 % หลังจากนั้นเติมสารดูดความชื้น (Na_2CO_3) และสาร ป้องกันการเสื่อมสภาพ (Wingstay L) แล้วกวนต่อเป็นเวลา 30 นาที แล้วเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยา บีส ฟีนอล เอ (Bisphenol A) แล้วกวนต่อเป็นเวลา 45 นาที ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 180°C หลังจากนั้น เติมสารวัลคาไนซ์ APS (3-Aminopropyltriethoxysilane) แล้วกวนต่อเป็นเวลา 45 นาที ได้ ENR-APS Precure ดังแสดงในแผนภาพในรูปที่ 1 หลังจากนั้นทดลองเตรียมกาวใน 2 รูปแบบ คือ ระบบที่ทำให้

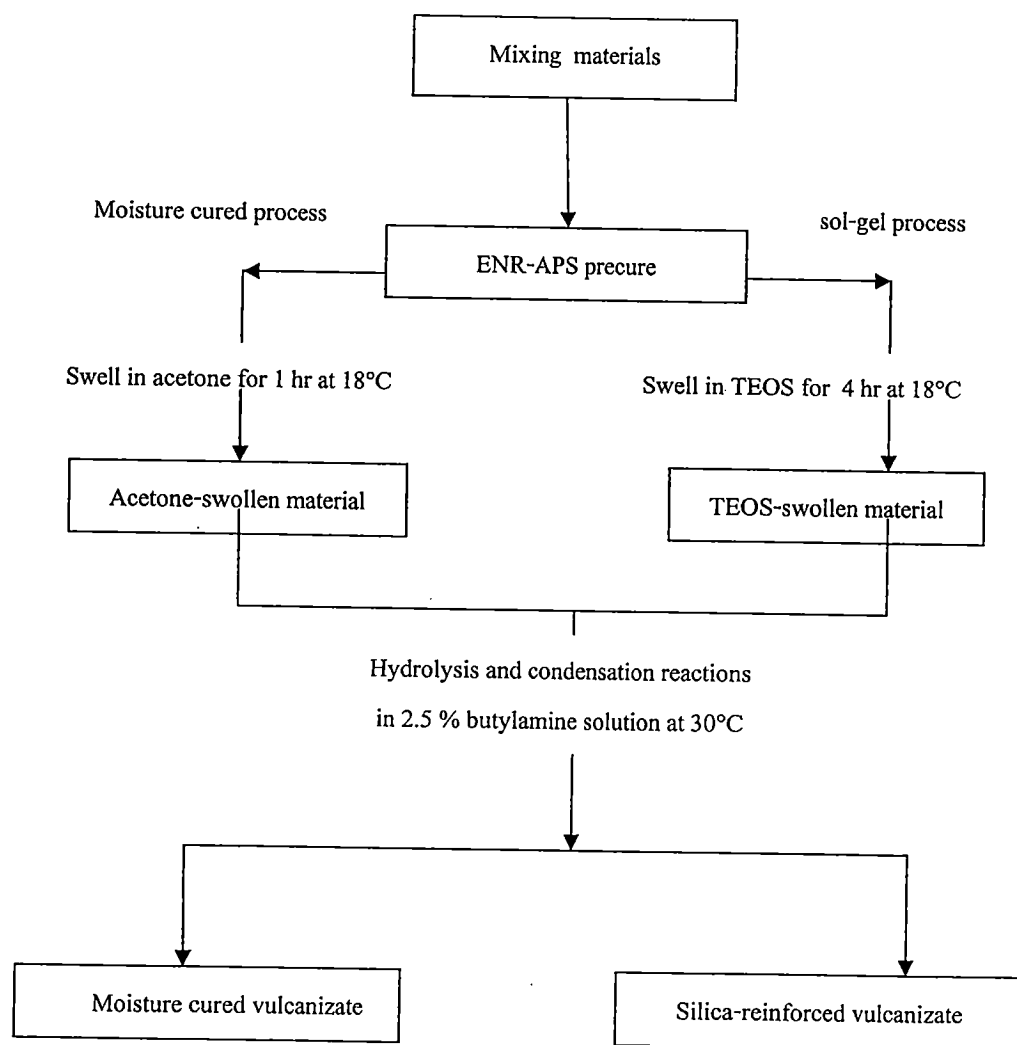
สุกด้วยความชื้น (Moisture cure process) และระบบโซล-เจล (sol-gel process) โดยในกระบวนการทำให้สุกด้วยความชื้นทำการควบคุมอุณหภูมิของผสมที่เติมอะซิโตน ปริมาณ 30 มล กวนเป็นเวลา 1 ชม ที่อุณหภูมิ 18°C ส่วนในกระบวนการแบบโซล-เจล เติมสารซิลิกาในซ์ TEOS (Tetraethyl orthosilicate) ปริมาณ 30 มล แล้วกวนเป็นเวลา 4 ชม ที่อุณหภูมิ 18°C หลังจากนั้น ควบคุมอุณหภูมิของผสมทั้งสองระบบที่ 30°C แล้วเติมบิวทิลลามีน 2.5 % ปริมาณ 30 มล ใช้เวลาในการกวน 10 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาควบแน่น หลังจากนั้นบ่มกาวไว้ 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดลองการติดประสาน

ตารางที่ 1 สูตรของการเตรียมกาวยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยความชื้น

Ingredient	Quantity (phr)	Quantity (g)
ENR-25*	100	30
Na ₂ CO ₃	3	0.91
Wingstay L	1	0.30
Bisphenol A	10	3.05
APS	7.5	2.28

* ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีหมู่อีพอกไซด์ 25 โมลเปอร์เซ็นต์

ในขั้นตอนการทดลองการติดประสานต้องควบคุมปริมาณของกาวที่ทำให้กระจายเต็มพื้นที่ที่ต้องการติด โดยการชั่งเพื่อให้เนื้อกาวเท่ากันทุกชิ้นทดสอบ และนำกาวมาทดสอบการติดประสานขึ้นทดสอบความแข็งแรงแบบเฉือน (Shear strength) ตามมาตรฐาน ASTM D2399 และขึ้นทดสอบความแข็งแรงแบบลอก (Cleavage peel strength) ตามมาตรฐาน ASTM D3807 นอกจากนี้ทำการทดสอบสมบัติการยึดติดหลังแช่น้ำ ตามมาตรฐาน มอก. 521-2527



รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมกาวด้วย moisture-cure process และ sol-gel process

2.4.2 อิทธิพลของปริมาณ APS ในระบบ Moisture cure process

แปรปริมาณของสารวัลคาไนซ์ APS ที่ปริมาณ 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 และ 12.5 phr ดังแสดงรายละเอียดสารเคมีในตารางที่ 2 โดยผสมกาวตามวิธีการในหัวข้อที่ 2.4.1 แล้วนำไปติดประสานกับชิ้นทดสอบ ตั้งทิ้งไว้ 7 วันที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปทดสอบความแข็งแรงของการติดประสานแบบเฉือน แบบปอก และสมบัติการยึดติดหลังแช่น้ำ

ตารางที่ 2 สูตรกาวที่แปรปริมาณของ APS ใน Moisture cure process

Ingredient	Quantity (phr)				
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
ENR-25	100	100	100	100	100
Na ₂ CO ₃	3	3	3	3	3
Wingstay L	1	1	1	1	1
Bisphenol A	10	10	10	10	10
APS	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5

2.4.3 อิทธิพลของปริมาณ APS ในระบบ Sol-gel process

ศึกษาโดยแปรปริมาณ APS ที่ปริมาณ 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 และ 12.5 phr ร่วมกับการใช้ TEOS ปริมาณ 30 มล โดยใช้สารเคมีชนิดอื่นๆ ในทำนองเดียวกับที่ใช้ใน Moisture cure process ดังตารางที่ 2 เมื่อผสมกาวเสร็จแล้ว นำไปติดประสานกับชิ้นทดสอบ ตั้งทิ้งไว้ 7 วันที่อุณหภูมิห้องแล้วจึง นำไปทดสอบความแข็งแรงของการติดประสานแบบเลื่อน แบบปอก และสมบัติการยึดติดหลังแช่น้ำ นอกจากนี้ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณ APS กับระบบที่ใช้ TEOS ปริมาณ 10 มล โดยใช้กระบวนการทดลองและปริมาณ APS เดียวกัน คือ 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 และ 12.5 phr ตามลำดับ

2.4.4 อิทธิพลปริมาณ TEOS ในระบบการวัดคาในซ์แบบ Sol-gel process

จากการทดลองในหัวข้อ 2.4.3 พบว่า APS ปริมาณ 7.5 phr ให้ผลการทดลองดีที่สุด จึงทำการการแปรปริมาณ TEOS ที่ปริมาณ 5, 10, 20 และ 30 มล โดยใช้ APS ปริมาณคงที่ที่ 7.5 phr กล่าวคือใช้สูตรกาวดังสูตร F₃ ในตารางที่ 2 เมื่อผสมกาวเสร็จแล้ว นำไปติดประสานกับชิ้นทดสอบ ตั้งทิ้งไว้ 7 วันที่อุณหภูมิห้องแล้วจึง นำไปทดสอบความแข็งแรงของการติดประสานแบบเลื่อน แบบปอก และสมบัติการยึดติดหลังแช่น้ำ

2.4.5 อิทธิพลชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด

ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด โดยแปรชนิดสารเพิ่มการยึดติด 3 ชนิด คือ คิวมาโรนอินดีนเรซิน (Coumarone indene resin), โคเรซิน (Koresin) และฟีนอลิกเรซิน (Phenolic resin) ที่ปริมาณ 50 phr และแปรปริมาณ Coumarone indene resin ที่ 0, 25, 50 และ 75 phr โดยใช้กระบวนการเตรียมแบบ Sol-gel Process เนื่องจากการใช้ Sol-gel Process มีความสามารถในการติดประสานหลังการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงดีขึ้นมาก ส่วนระบบ Moisture cure process ความสามารถในการติดประสานหลังการแช่น้ำลดลง ใช้สูตรกาวแสดงดังตารางที่ 3 และใช้ TEOS ปริมาณ 10 มล เมื่อผสมกาวเสร็จแล้ว นำไปติดประสานกับชิ้นทดสอบ ตั้งทิ้งไว้ 7 วันที่อุณหภูมิห้อง

แล้วจึง นำไปทดสอบความแข็งแรงของการติดประสานแบบเนียน แบบปอก และสมบัติการยึดติดหลังแช่น้ำ

ตารางที่ 3 สูตรกาวที่แปรชนิดและปริมาณสารเพิ่มการยึดติด

Ingredient	Quantity (phr)					
	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉	F ₁₀	F ₁₁
ENR-25	100	100	100	100	100	100
Koresin	50	-	-	-	-	-
Coumarone indene resin	-	50	-	0	25	75
Phenolic resin	-	-	50	-	-	-
Na ₂ CO ₃	3	3	3	3	3	3
Wingstay L	1	1	1	1	1	1
Bisphenol A	10	10	10	10	10	10
APS	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5

2.4.6 อิทธิพลน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติอิพอกไซค์

ลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติอิพอกไซค์ที่มีหมู่อิพอกไซค์ 25 mol% โดยการบดขยี้ด้วยเครื่องบดขยี้สองลูกกลิ้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาว 14 นิ้ว ในการดำเนินการลดน้ำหนักโมเลกุลทำการแปรเวลาที่ 30, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ เมื่อทำการลดน้ำหนักโมเลกุลตามเวลาดังกล่าวแล้ว นำไปละลายด้วยโทลูอีน เพื่อวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ด้วยเทคนิคการวัดความหนืดของสารละลายเจือจาง หลังจากนั้นนำยางที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล มาเตรียมกาวโดยใช้กระบวนการเตรียมแบบ Sol-gel Process โดยใช้สูตร F₁₀ ในตารางที่ 3 เมื่อผสมกาวเสร็จแล้ว นำไปติดประสานกับชิ้นทดสอบ ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน ที่อุณหภูมิห้องแล้วจึง นำไปทดสอบความแข็งแรงของการติดประสานแบบเนียน แบบปอก และสมบัติการยึดติดหลังแช่น้ำ

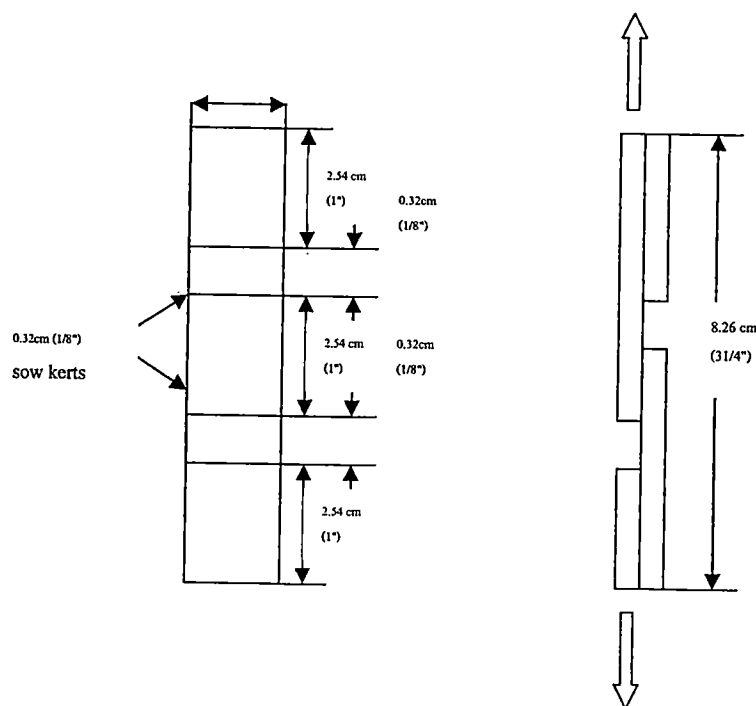
2.4.7 การทดสอบความแข็งแรงแบบเนียน (Shear strength) ตามมาตรฐาน ASTM D2399

นำกาวที่เตรียมได้ทาบนแผ่นไม้และแผ่นพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลท (PET) จากนั้นประกบแผ่นไม้กับแผ่นพลาสติกเข้าด้วยกัน โดยลักษณะของชิ้นทดสอบแสดงดังรูปที่ 2 ในการทดสอบแต่ละครั้งใช้ชิ้นทดสอบตัวอย่าง 5 ชิ้นตั้งทิ้งไว้ 7 วัน ที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้กาวเซ็ทตัว แล้วนำไปทดสอบการดึงแบบเนียน ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติการดึง ความแข็งแรงของการติดประสานแบบเนียนคำนวณจากค่าแรงเฉือนสูงสุดต่อพื้นที่ที่ติดประสาน ดังสมการที่ 1

$$\text{Shear strength (kPa)} = F / (A \times 1000) \quad (1)$$

เมื่อ F = แรงสูงสุดที่ใช้ดึงจนชั้นทดสอบหลุด (นิวตัน)

A = พื้นที่การทากาว (เมตร)



รูปที่ 2 ลักษณะชั้นทดสอบและแนวตั้งของการติดประสานแบบเนียน

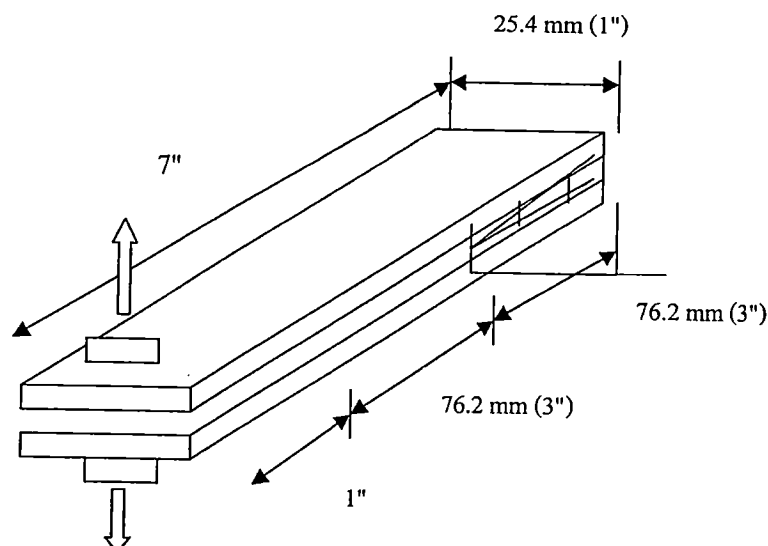
2.4.8 การทดสอบความแข็งแรงแบบปอก (Cleavage peel strength) ตามมาตรฐาน ASTM D3807

นำกาวที่เตรียมได้ทาบนแผ่นไม้และแผ่นพลาสติก PET แล้วประกบแผ่นไม้กับแผ่นพลาสติกด้วยกัน โดยลักษณะของชั้นทดสอบแสดงดังรูปที่ 3 ในการทดสอบแต่ละครั้งใช้ชั้นทดสอบตัวอย่าง 5 ชิ้นตั้งทิ้งไว้ 7 วัน ที่อุณหภูมิห้องให้กาวเซตตัวแล้วนำไปทดสอบการดึงแบบปอก ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติการดึง ค่าความแข็งแรงของการติดประสานแบบปอก คำนวณแรงที่ใช้ในปอกสูงสุดต่อความกว้างของชั้นทดสอบดังสมการที่ 2

$$\text{Cleavage Peel strength (N/in)} = F / d \quad (2)$$

เมื่อ F = แรงสูงสุดที่ใช้ดึงจนชั้นทดสอบหลุด (นิวตัน)

d = พื้นที่การทากาว (นิ้ว)



รูปที่ 3 ลักษณะขึ้นทดสอบและแนวตั้งของการทดสอบการติดประสานแบบปก

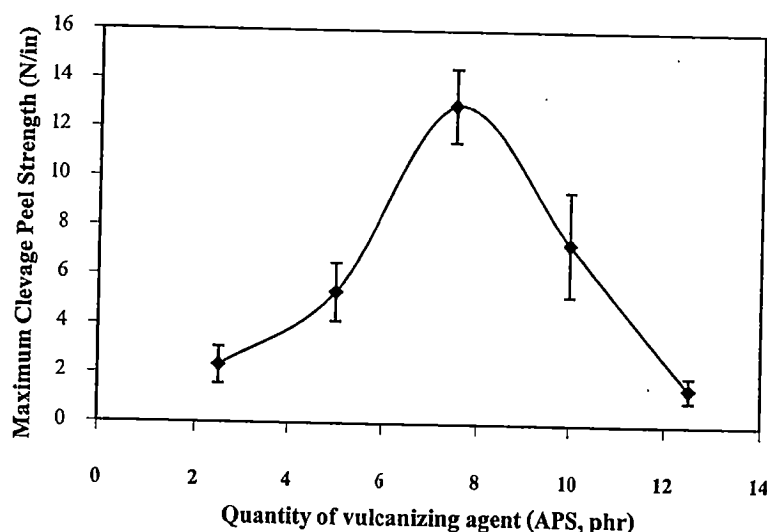
2.4.9 การทดสอบสมบัติการยึดติดหลังแช่น้ำ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง (มอก. 521-2527)

นำกาวที่เตรียมได้มาทาบนแผ่นไม้และแผ่นพลาสติก PET แล้วนำแผ่นไม้และแผ่นพลาสติกประกบกัน ในการทดสอบแต่ละครั้งใช้ขึ้นทดสอบตัวอย่าง 5 ชิ้นตั้งทิ้งไว้ 7 วันที่อุณหภูมิห้องให้กาวเซ็ทตัว แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบการดึงแบบเฉือนในทำนองเดียวกับการทดสอบในหัวข้อ 2.4.8

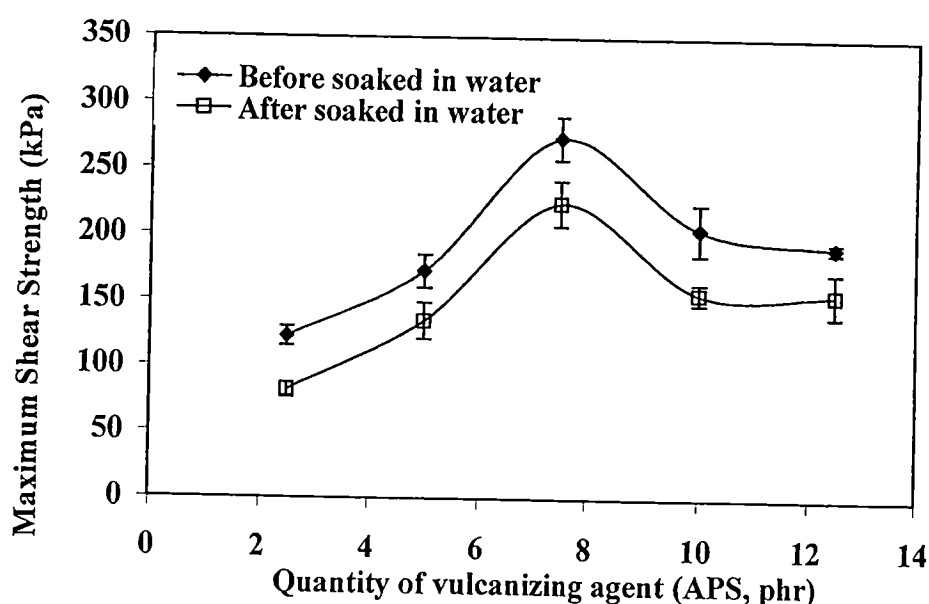
2.5 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

2.5.1 อิทธิพลของปริมาณ APS ต่อระบบการวัลคาไนซ์แบบ Moisture cure process

ศึกษาอิทธิพลของปริมาณ APS ในระบบและระดับการวัลคาไนซ์แบบ Moisture cure process เมื่อเตรียมกาวเสร็จแล้วนำไปติดประสานกับขึ้นทดสอบไม้กับ PET ตั้งทิ้งไว้ 7 วันที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปทดสอบ ความต้านทานต่อแรงปก ความต้านทานต่อแรงเฉือน และสมบัติการยึดติดหลังแช่น้ำ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4 และ 5



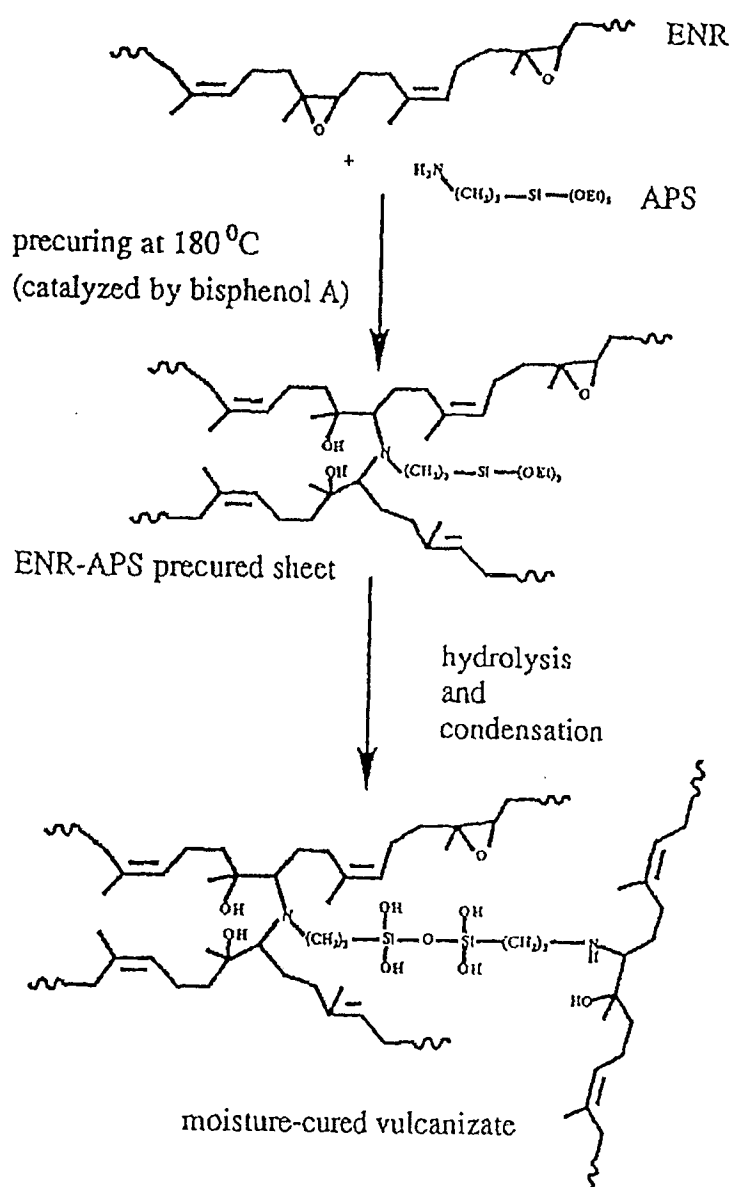
รูปที่ 4 ความแข็งแรงของการติดประสานแบบลอกสูงสุดของกาวระบบ Moisture cure process ที่แปรปริมาณ APS



รูปที่ 5 ความแข็งแรงของการติดประสานแบบเลื่อนก่อนและหลังแช่น้ำของกาวระบบ Moisture cure process ที่แปรปริมาณ APS

จากรูปที่ 4 และ 5 พบว่าการเพิ่มปริมาณ APS ส่งผลให้กาวมีแนวโน้มความแข็งแรงในการติดประสานในรูปแบบความต้านทานต่อแรงเลื่อนสูงสุด ค่าความต้านทานต่อแรงลอกสูงสุด และความแข็งแรงแบบเลื่อนหลังแช่น้ำ สูงขึ้นจนถึงมีค่าสูงสุดที่ปริมาณ APS เท่ากับ 7.5 phr การเพิ่มปริมาณ การเพิ่ม APS ปริมาณสูงกว่านี้มีผลทำให้ความแข็งแรงในการติดประสานมีแนวโน้มลดลง การเชื่อมโยงของยาง ENR โดยใช้ APS และระบบ Moisture cure process มีสมบัติความต้านทานต่อแรงเลื่อน ความต้านทานต่อแรงลอก และความต้านทานต่อแรงเลื่อนหลังแช่น้ำสูง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งในปฏิกิริยานี้มี Bisphenol A เป็นสารเร่งปฏิกิริยา ทำ

ให้เกิดการเปิดวงแหวนอีพอกไซด์ ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 180°C หลังจากนั้นหมู่ฟังก์ชันเอมีน ($-\text{NH}_2$) เข้าทำปฏิกิริยาบริเวณหมู่ปลายของวงแหวนอีพอกไซด์ที่ถูกเปิดออก จึงเกิดเป็นพันธะอีพอกไซด์-เอมีน ได้สารที่เรียกว่า ENR-APS Precure material ซึ่งสามารถทำให้เกิดการวัลคาไนซ์โดยการไฮโดรไลซิสและความดันของหมู่ฟังก์ชันอัลคอกซีซิลิล ($-\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$) จึงเกิดเป็นการเชื่อมโยงพันธะของไซเลน

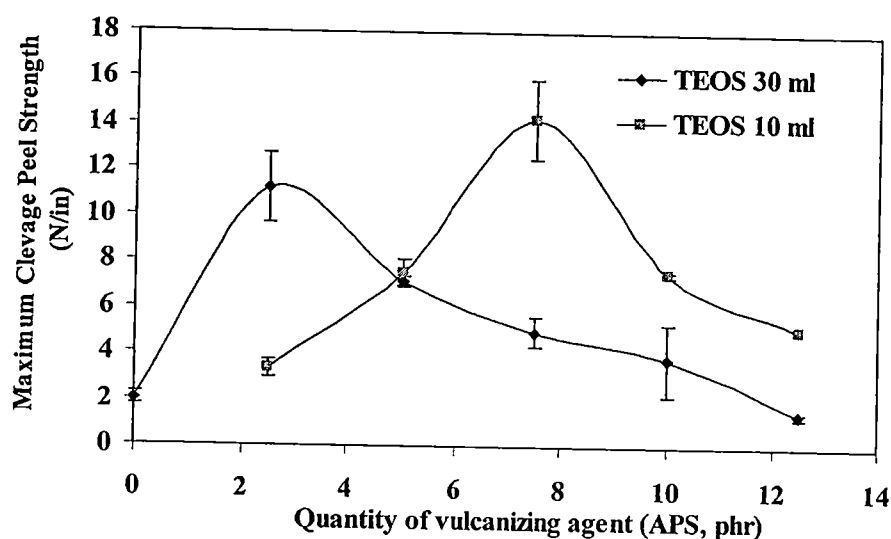


รูปที่ 6 กลไกการเชื่อมโยงของยาง ENR โดยใช้ APS (Hashim, *et al* 1995)

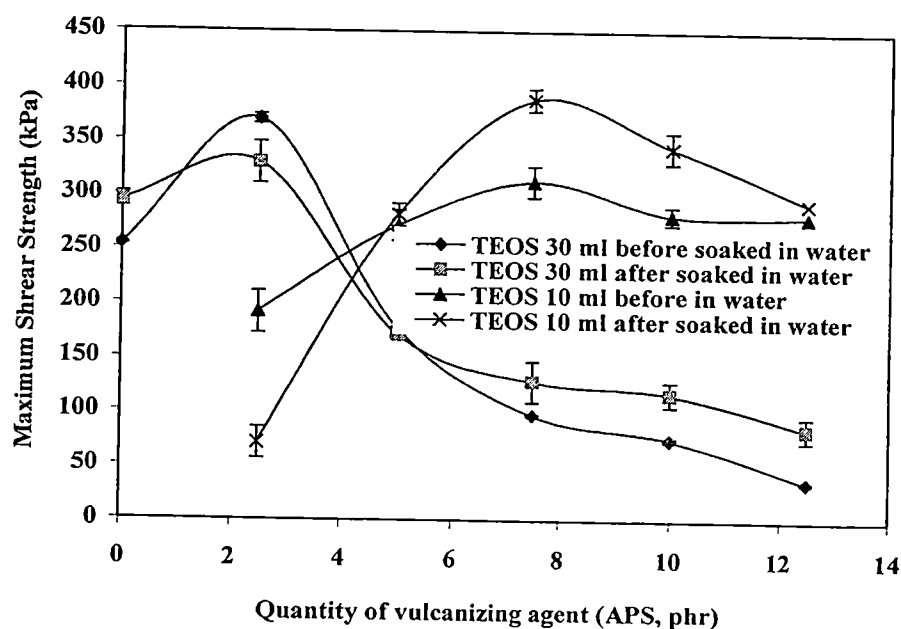
จากรูปที่ 4 และ 5 สาเหตุที่ APS ที่ปริมาณ 7.5 phr ให้ความแข็งแรงในการประสานสูงที่สุด เนื่องจากเป็นปริมาณที่ APS สามารถทำปฏิกิริยาเกิดพันธะเชื่อมกับยาง ENR-25 ได้ในปริมาณสูงที่สุด นอกจากนี้ในรูปที่ 5 พบว่าความต้านทานต่อแรงเฉือนหลังแช่น้ำของกาวที่ใช้ระบบ Moisture cure process มีค่าลดลงหลังจากการแช่น้ำ เนื่องจากพันธะเชื่อมโยงอาจจะเกิดการถูกทำลายหรือทำให้อ่อนแอลงเมื่อผ่านการแช่น้ำ จึงส่งผลให้ความแข็งแรงแบบเฉือนหลังแช่น้ำลดลง

2.5.2 อิทธิพลของปริมาณ APS ต่อระบบการวัลคาไนซ์แบบ Sol-gel process

ศึกษาอิทธิพลของระบบและระดับการวัลคาไนซ์ โดยใช้ระบบการวัลคาไนซ์แบบ Sol-gel process โดยแปรปริมาณ APS ที่ปริมาณ 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 และ 12.5 phr ซึ่งเตรียม ใช้ปริมาณ TEOS คงที่ที่ปริมาณ 30 และ 10 มล เมื่อผสมกาวเสร็จแล้ว นำไปติดประสานกับชิ้นทดสอบไม้กับ PET ตั้งทิ้งไว้ 7 วัน ที่อุณหภูมิห้องแล้วจึงนำไปทดสอบความแข็งแรงของการติดประสานแบบ ปอก แบบเฉือนและทดสอบสมบัติการยึดติดหลังแช่น้ำ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 7 และ 8

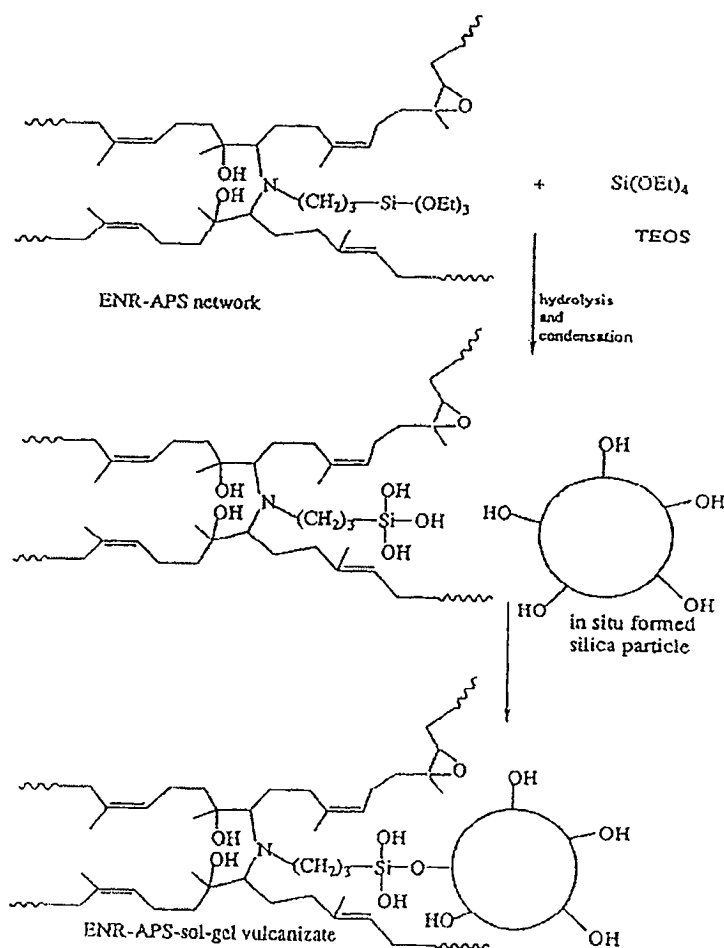


รูปที่ 7 ความแข็งแรงของการติดประสานแบบปอกสูงสุดของกาวระบบ Sol-gel process ที่แปรปริมาณ APS

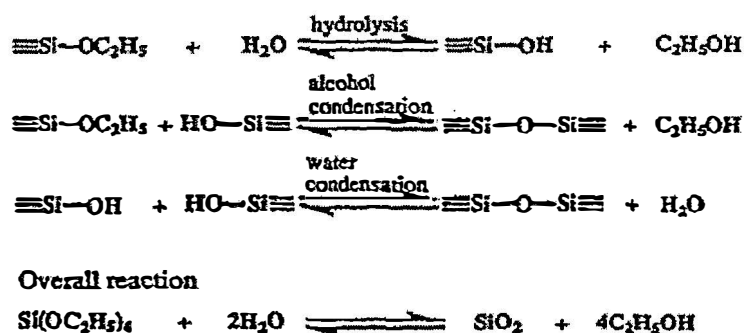


รูปที่ 8 ความแข็งแรงของการติดประสานแบบเฉือนก่อนและหลังแช่น้ำของกาวระบบ Sol-gel process ที่แปรปริมาณ APS

จากรูปที่ 7 และ 8 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนสูงสุด ค่าความต้านทานต่อแรงปอกสูงสุด และค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนหลังแช่น้ำ ของกาวที่ใช้ TEOS ปริมาณ 30 มล มีค่าสูงสุดเมื่อใช้ APS 2.5 phr และกาวที่ใช้ TEOS ปริมาณ 10 มล มีค่าสูงสุดเมื่อใช้ APS 7.5 phr ซึ่งมีสาเหตุมาจาก ปริมาณ APS ที่ 2.5 และ 7.5 phr เป็นปริมาณที่ APS สามารถทำปฏิกิริยาแล้วเกิดพันธะเชื่อมโยงกับ ยาง ENR-25 ได้สมบูรณ์ และพบว่ากาวที่ใช้ระบบ Sol-gel process ความแข็งแรงแบบเฉือนหลังแช่น้ำ มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากน้ำสามารถทำปฏิกิริยาไฮโดร-เจลกับเตตระเอทิลอซิโกลิเกต เกิดเป็นอินซิทูซิลิกา หลังจากการแช่น้ำ โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบ Sol-gel process แสดงดังในรูปที่ 9 พร้อมกับการ เกิดเกิดการวัลคาไนซ์ได้โดยการที่มีสารเสริมแรงซิลิกาถูกสร้างขึ้นภายในเนื้อยางหรือ “อินซิทู” โดยการเปลี่ยนรูปจาก TEOS ไปเป็นซิลิกาโดยการเกิด ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสและควบแน่นของ TEOS แสดงปฏิกิริยาดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 กลไกการเชื่อมโยงของ ENR-APS ด้วย TEOS ในระบบ Sol-gel process (Hashim, *et al* 1995)

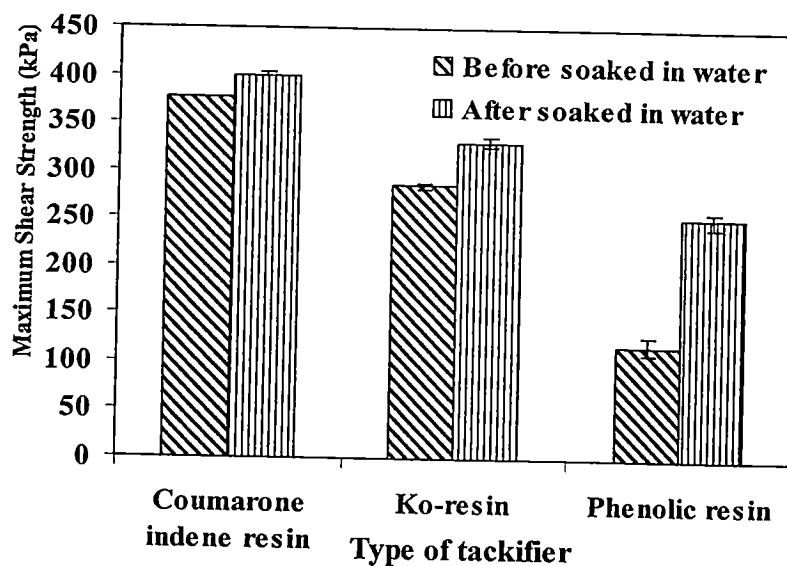


รูปที่ 10 ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสและควบแน่นของ TEOS (Hashim, *et al* 1995)

จากรูปที่ 8 ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนหลังแช่น้ำของกาวที่ใช้ TEOS ปริมาณ 10 มล และใช้ APS ปริมาณ 7.5 phr มีค่าสูงกว่ากาวที่ใช้ TEOS ปริมาณ 30 มล และใช้ APS 2.5 phr เป็นผลมาจากการใช้ TEOS ปริมาณ 10 มล และใช้ APS 7.5 phr เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์กว่า จากลักษณะของกาวที่ใช้ปริมาณ TEOS ในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ ลักษณะของกาวหลังจากการวัลคาไนซ์แล้ว เมื่อใช้ TEOS 30 มล มีผงของซิลิกาเกิดขึ้นบนเนื้อไม้และแผ่นพลาสติก ซึ่งเกิดซิลิกามากเกินไปจนไม่สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกับยาง ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของกาวด้อยลง ในขณะที่การใช้ TEOS 10 มล ลักษณะของกาวหลังจากการวัลคาไนซ์แล้วไม่มีผงซิลิกาเกิดขึ้นบนเนื้อไม้และแผ่นพลาสติก ทำให้สามารถเข้ากับยางเป็นเนื้อเดียวกันได้

2.5.3 อิทธิพลชนิดและปริมาณสารเพิ่มการยึดติดต่อสมบัติของกาว

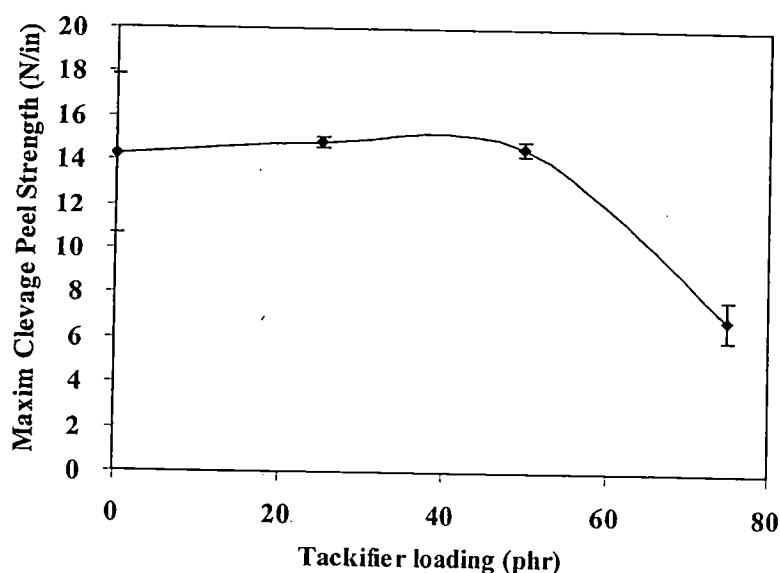
ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด ของกาวยาง ENR-25 โดยทดลองใช้สารเพิ่มการยึดติด 3 ชนิด คือ คิวมาโรอินดีนเรซิน (Coumarone indene resin), โคเรซิน (Koresin) และฟีนอลิกเรซิน (Phenolic resin) แล้วเลือกสารเพิ่มการยึดติดที่ทำให้ความสามารถในการติดประสานมีค่าสูงที่สุด มาทำแปรปริมาณสารเพิ่มการยึดติดเป็น 0, 25, 50 และ 70 phr โดยใช้กระบวนการเตรียมแบบ Sol-gel process เนื่องจากมีสมบัติหลังการแช่น้ำที่แข็งแกร่งกว่า หลังจากนั้นนำไปติดประสานกับชิ้นทดสอบไม้และพลาสติกแล้วเมื่อนำไปทดสอบสมบัติความแข็งแรงการยึดติดก่อนและหลังการแช่น้ำ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 11



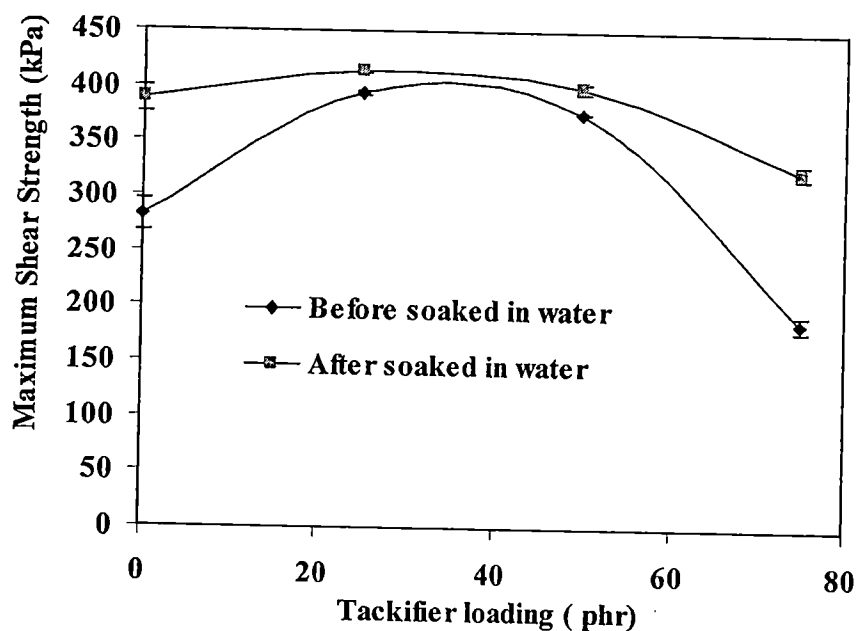
รูปที่ 11 ความแข็งแรงของการติดประสานแบบเลื่อนก่อนและหลังแช่น้ำของกาวที่ใช้สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่าง

จากรูปที่ 11 พบว่ากาวยาง ENR-25 ที่ใช้สารเพิ่มการยึดติดที่ปริมาณเท่ากัน คือ 50 phr พบว่ากาวที่ใช้คิวมาโรอินดีนเรซิน ให้ค่าความต้านทานต่อแรงเลื่อนก่อนและหลังการแช่น้ำสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างสารเพิ่มการยึดติดชนิดนี้กับยาง ENR เนื่องจากความคล้ายคลึงของโครงสร้างเนื่องจากการมีวงแหวนอโฟกไซค์ในโครงสร้างของยางและสารเพิ่มการยึดติดชนิดนี้ ทำให้เกิดพันธะเคมีกับโมเลกุลยาง ENR-25 ได้ดี

หลังจากนั้นทำการแปรปริมาณคิวมาโรอินดีนเรซิน ที่ปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr โดยใช้กระบวนการเตรียมแบบ Sol-gel process เนื่องจากมีสมบัติหลังแช่น้ำดีกว่า นำกาวที่ได้ติดประสานกับชิ้นทดสอบ แล้วทดสอบสมบัติต่างๆ ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 12 และ 13



รูปที่ 12 ความแข็งแรงของการติดประสานแบบลอกสูงสุดของกาวที่แปรปริมาณคิวมาโรอินดีนเรซิน

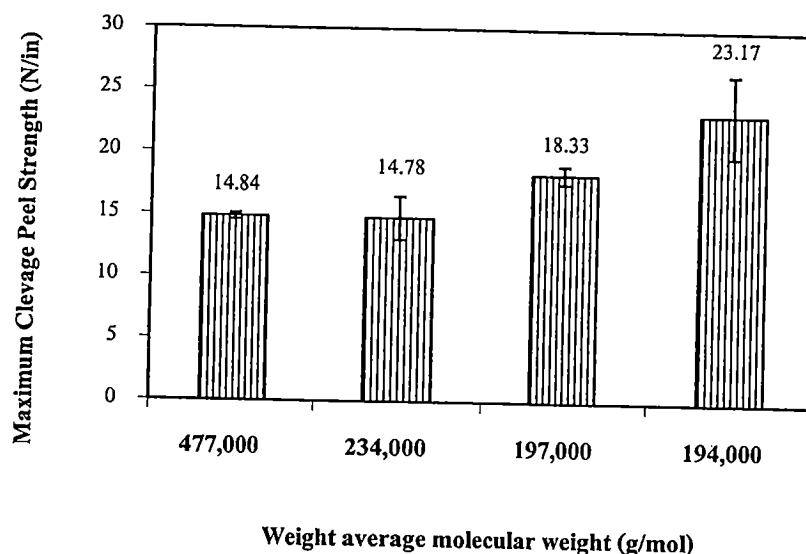


รูปที่ 13 ความแข็งแรงของการติดประสานแบบเหนือก่อนและหลังแช่น้ำของกาวที่แปรปริมาณคิวมาโรนอินดินเรซิน

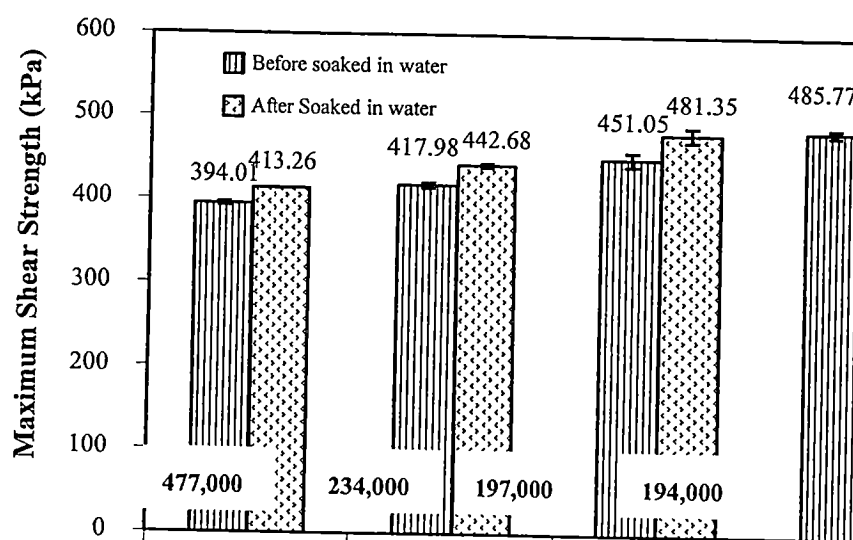
จากรูปที่ 12 และ 13 พบว่าความต้านทานต่อแรงเฉือนสูงสุด ค่าความต้านทานต่อแรงปอกสูงสุด และความต้านทานต่อแรงเฉือนหลังแช่น้ำ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงค่าสูงสุดที่ใช้คิวมาโรนอินดินเรซิน ที่ปริมาณ 25 phr แล้วมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการผสมสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณมากเกินไป มีผลทำให้เนื้อกาวมีความแข็งแรงลดลง เพราะสารเพิ่มการยึดติดไม่สามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกับยางได้ นอกจากนี้พบว่าการแช่น้ำทำให้การติดประสานแข็งแรงขึ้น

2.5.4 การเตรียมกาวจากยางธรรมชาติพอกไซค์ที่ลดน้ำหนักโมเลกุล

เตรียมกาวจากยางธรรมชาติพอกไซค์ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1.95×10^5 - 4.77×10^5 โดยใช้ระบบ Sol-gel process จากนั้นนำไปติดประสานกับชิ้นทดสอบ แล้วทดสอบความแข็งแรงของการติดประสานแบบเหนือก แบบปอก และสมบัติการยึดติดหลังแช่น้ำ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 14 และ



รูปที่ 14 ความแข็งแรงของการติดประสานแบบลอกสูงสุดของกาวที่เปร้น้ำหนักโมเลกุลของยาง



รูปที่ 15 ความแข็งแรงของการติดประสานแบบเนียนก่อนและหลังแช่น้ำของกาวที่เปร้น้ำหนักโมเลกุล

จากรูปที่ 14 และ 15 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนสูงสุด ค่าความต้านทานต่อแรงลอกสูงสุด และความต้านทานต่อแรงเนียนหลังแช่น้ำ ของกาวยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยความร้อนที่เตรียมจาก ENR-25 ที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล มีค่าสูงกว่ากาวที่เตรียมจากยางธรรมชาติอพอกไซค์ที่ไม่ลดน้ำหนักโมเลกุล (คือ 477,000 g/mol) โดยพบว่าความแข็งแรงของการติดประสานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการลดน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของยางและพบว่ายาง ENR-25 ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุด (ประมาณ 194,000) ให้ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือน ค่าความต้านทานต่อแรงลอก และค่าความต้านทานต่อแรงเนียนหลังแช่น้ำสูงที่สุด เนื่องจากการลดน้ำหนักโมเลกุลของยาง ENR-25 สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการยึดติดของยางธรรมชาติอพอกไซค์ อีกทั้งเป็นการเพิ่มโอกาสที่โมเลกุลของยาง

สามารถแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างหรือรูพรุนบริเวณพื้นผิวไม้ได้มากขึ้น ทำให้แรงยึดที่เกิดระหว่างไม้กับกาวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จะมีสมบัติด้านการเหนียวติด (Tackiness) ที่ดีขึ้น

2.5.5 การประยุกต์ใช้กาวในการติดตั้งอุปกรณ์เก็บกักแก๊สเอทิลีนของ RRIMFLOW

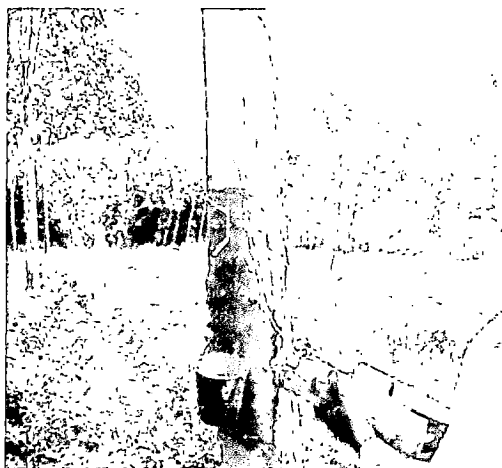
ประยุกต์ใช้กาวที่เตรียมขึ้นเพื่อติดตั้งอุปกรณ์เก็บกักแก๊สเอทิลีนของรีมโฟลว์เพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำยางพารา โดยใช้ฝาครอบพลาสติก PET ใส เป็นตัวเก็บกักแก๊ส โดยติดอุปกรณ์ดังกล่าวกับผิวด้านยางที่ชุบเปลือกจนเรียบดีแล้ว ตำแหน่งการครอบพลาสติกจะเป็นด้านขวาเหนือรอยกรีดเล็กน้อย หลังจากอัดแก๊สแล้วไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมงจึงทำการกรีดยางด้วยรอยกรีดสั้นเพียง 4 นิ้ว ขั้นตอนในการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวมีดังนี้

1. พิจารณาด้านยางว่าเหมาะสำหรับการเร่งน้ำยางหรือไม่ กล่าวคือยางควรมีอายุ 15 ปีขึ้นไป ต้องมีลำต้นขนาดใหญ่หรือมีเส้นรอบวงตั้งแต่ 60 ซม. ขึ้นไป
2. ทำรอยบากด้วยมีดกรีดยาง 2 รอย ห่างกันประมาณ 10 เซนติเมตร หรือ 4 นิ้ว แล้วทำรอยเปิดกรีดให้ลึกพอให้น้ำยางซึมๆ โดยให้รอยกรีดมีความลาดชัน 45 องศา เพื่อป้องกันน้ำยางไหลออกนอกรอยกรีด
3. กำหนดตำแหน่งที่จะติดตั้งอุปกรณ์เก็บกักแก๊ส ด้านขวามือของรอยกรีด อยู่เหนือรอยกรีด 6-12 นิ้ว แล้วเตรียมผิวก่อนการทา กาว โดยใช้เหล็กโป้วชุบผิวเปลือกด้านยางให้เรียบ ขนาดโตกว่าฝาครอบพลาสติกเล็กน้อย เพื่อป้องกันการเกิดช่องขณะอัดแก๊สเข้าสู่ต้นยาง แล้วใช้แปรงปัดและถูเพื่อกำจัดฝุ่นบริเวณที่จะติดฝาครอบพลาสติก เนื่องจากการที่มีฝุ่นผงหลงเหลืออยู่จะทำให้เกิดจุดอ่อนที่สามารถเกิดรอยร้าวได้ในภายหลังได้
4. ใช้กาวทาบริเวณฝาครอบพลาสติกให้สม่ำเสมอทั่วทั้งฝาครอบพลาสติก แล้วนำฝาครอบพลาสติกติดกับต้นยางบริเวณที่กำหนดซึ่งทำการตกแต่งผิวเปลือกยางเรียบร้อยแล้ว โดยก่อนติดกับต้นยางควรฉีดน้ำบริเวณที่ชุบเปลือกไว้เล็กน้อยเพื่อให้กาวสามารถแพร่กระจายได้ง่ายขึ้น และช่วยในการเซ็ทตัวของกาว ใช้หัวแม่มือทั้ง 2 ข้างกดบริเวณขอบของฝาครอบพลาสติกเพื่อให้ติดแน่น จากนั้นใช้ค้ำมของเหล็กโป้ว กดซ้ำรอบๆ ขอบฝาครอบ เพื่อให้ติดแน่นมากขึ้นอีก
5. ทดสอบการรั่วของฝาครอบพลาสติกและเพิ่มความแข็งแรงในการติดโดยใช้หัวแม่มือกดด้านบนของฝาครอบพลาสติกเพื่อไล่อากาศออก แล้วปิดปลายท่อไว้ ถ้าฝาครอบพลาสติกยังคงแฟบอยู่ แสดงว่าไม่รั่ว ปลอยทิ้งไว้ 1 คืนเพื่อให้กาวแห้งสนิท ลักษณะการติดตั้งกล่าวแสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ลักษณะการติดพลาสติกกับต้นยางในรูปแบบใช้หัวแม่มือขวา กดด้านบนของฝารอบพลาสติก และใช้หัวแม่มือซ้าย กดปลายท่อเพื่อทดสอบการรั่ว

หลังจากทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ทำการต่อสายจากปลายท่อด้านล่างของฝารอบพลาสติก เพื่อทำการอัดแก๊ส โดยทำการอัดแก๊สดันละ 50 ซีซี แสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 การต่อสายจากปลายท่อด้านล่างของฝารอบพลาสติกและทำการอัดแก๊สเอทิลีน

หลังจากการอัดแก๊ส 1 วัน แก๊สจะแพร่เข้าสู่ต้นยาง แล้วจึงทำการเปิดกริดจะได้น้ำยางในปริมาณสูง ดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 18 การเปิดกริดหลังจากการอัดแก๊ส

จากผลการทดลองพบว่ากาวที่เตรียมขึ้นสามารถใช้ในการติดประสานได้ดีระหว่างพลาสติกกับต้นยาง ถึงแม้ว่าวัสดุทั้งสองมีความแตกต่างกันในโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งสังเกตได้จากเมื่อเวลาผ่านไป 1

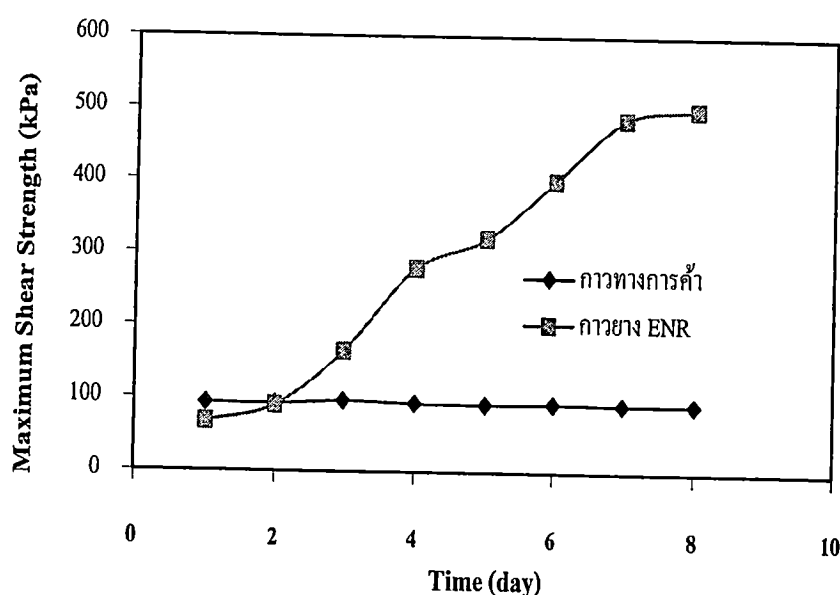
เดือน กคพลาสติกพบว่าพลาสติกแฟบเช่นเดิมและไม่มีช่องของฟองอากาศปรากฏอยู่ และยังพบว่า กาวที่เตรียมได้ มีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ฝนตกเป็นเวลาหลายวัน แดดจัด หรืออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียสได้เป็นเวลานาน ที่สำคัญคือ กาวทนต่อแรงดันขณะอัดแก๊สและสามารถเก็บกักแก๊สเอทิลีนได้ดี ซึ่งสังเกตได้จากปริมาณของน้ำยางที่เพิ่มขึ้นจากเดิม 1-2 เท่า หลังจากการอัดแก๊ส อีกทั้งยังพบว่าขณะทา กาวสามารถเปียกผิวของต้นยางได้อย่างรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือ กาวมีการแข็งตัวช้า ต้องรอให้กาวแห้งอย่างน้อย 1-2 วัน จึงจะอัดแก๊สได้

2.5.6 การเปรียบเทียบสมบัติกับ มอก 521-2527 และกาวทางการค้าของริมโฟลว์

เปรียบเทียบสมบัติกาวที่เตรียมขึ้นโดยใช้ sol-gel process แล้วเปรียบเทียบกับสมบัติกาวยางตามมาตรฐาน มอก.521-2527 และกาวทางการค้าของริมโฟลว์ แสดงผลการทดลองดังในตารางที่ 4 ซึ่งพบว่าสมบัติทุกสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.521-2527 ยกเว้นสมบัติด้านการลอก แต่หากเปรียบเทียบกับกาวเชิงการค้าพบว่ากาวที่ผลิตขึ้นมีสมบัติเด่นกว่ามากแสดงว่ากาวทางการค้าของริมโฟลว์ไม่ได้เน้นสมบัติด้านความแข็งแรงมากแต่เน้นการเก็บกักแก๊สเท่านั้น โดยได้ทำการทดลอง ติดตามค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนที่ระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องของกาวยางที่ได้เปรียบเทียบกับกาวทางการค้าแสดงดังผลการทดลองในรูปที่ 19

ตารางที่ 4 สมบัติกาวที่เตรียมขึ้นเปรียบเทียบกับสมบัติกาวยางตามมาตรฐาน มอก.521-2527 และกาวทางการค้าของริมโฟลว์

สมบัติ	มอก.521-2527	กาวของริมโฟลว์	กาวจากงานวิจัยนี้
ปริมาณเนื้อกาว (%TSC)	15	-	20
Maximum Shear strength (KPa)	220	93	486
Maximum Cleavage Peel strength (N/in)	50	3.6	23
Maximum shear strength after soaked in water (KPa)	220	242	528



รูปที่ 19 ความต้านทานต่อแรงเฉือนกับระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องของกาวยางที่เตรียมจากงานวิจัยนี้เทียบกับกาวทางการค้า

จากรูปที่ 19 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนของกาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เตรียมขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่กาวทางการค้าเกิดการเซตตัวภายในเวลา 30 วินาที แต่หลังจากนั้น ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนไม่เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากาวยางธรรมชาติอีพอกไซด์สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยความชื้น สามารถสร้างพันธะการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของกาวระหว่างโมเลกุลของพลาสติก และระหว่างโมเลกุลของยางกับผิวไม้ได้เพิ่มขึ้นขณะตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2.6 สรุปผลการทดลอง

เตรียมสารละลายกาวยางธรรมชาติที่สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยความชื้น โดยใช้สารวัลคาไนซ์คือสารประกอบไฮโดรเจน 2 ชนิด คือ อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไฮโดรเจน (APS) และเตตระเอทิลอโทซิลิเกต (TEOS) เตรียมกาวโดยใช้กระบวนการ 2 ระบบ คือ ระบบที่ทำให้สุกด้วยความชื้น (Moisture cure process) และระบบโซล-เจล (Sol-gel process) จากผลการทดลองพบว่าการเตรียมกาวด้วยระบบ Sol-gel process ที่ใช้ อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซีไฮโดรเจน (APS) ปริมาณ 7.5 phr และใช้ เตตระเอทิลอโทซิลิเกต (TEOS) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปติดประสานแผ่นไม้อัดกับพลาสติกพอลิเอทิลีนเทอเรพทาเลทและพบว่าให้ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือน ความต้านทานต่อแรงปอก และค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนหลังการแช่น้ำสูงกว่าการใช้ระบบที่ทำให้สุกด้วยความชื้น โดยเฉพาะและค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนหลังการแช่น้ำจะมีค่าสูงกว่าก่อนการแช่น้ำในทุกชุดการทดลอง ส่วนกาวที่เตรียมจากระบบ Moisture cure process จะให้ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนหลังการแช่น้ำต่ำกว่าก่อนการ

เช่นในทุขการทดลอง เช่นกัน นอกจากนี้ศึกษาอิทธิพลชนิดของยาง พบว่าการใช้ยางธรรมชาติอิพอกไซที่มีหมู่อิพอกไซค์ 25 mol% (ENR-25) ให้กาวที่มีสมบัติในการติดประสานดีกว่าการเหนือกว่าการใช้ยาง ENR-50 และ STR 5L จากการศึกษาการใช้สารเพิ่มการยึดติด 3 ชนิด คือ คิวมาโรนอินดินเรซิน โครเรซิน และฟีนอลิกเรซินพบว่าพบว่าการใช้ คิวมาโรนอินดินเรซิน ที่ปริมาณ 25 phr มีผลทำให้กาวมีสมบัติในการติดประสานดีที่สุด นอกจากนี้ได้ทำการลดน้ำหนักโมเลกุลของยาง ENR-25 โดยการบด แล้วศึกษาอิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลของยางต่อสมบัติการติดประสานของกาวพบว่ากาวที่เตรียมจากยางที่มีการลดน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยให้ต่ำที่สุดคือประมาณ 1.95×10^5 กรัม/โมล มีผลทำให้สมบัติในการติดประสานดีกว่ากาวที่เตรียมจากยาง ENR-25 ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าและยางที่ไม่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล นอกจากนี้ทดลองใช้กาวในการติดประสานระหว่างผิวของดินยางกับพลาสติกพอลิเอทิลีนเทอเรพทาเลทซึ่งพลาสติกของริมโฟลว์ พบว่าสามารถใช้ในการติดประสานได้ดีมาก หลังจากปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 24 ชม ก็ปล่อยแก๊สเอทิลีนเข้าไปพบว่าระบบที่ใช้กาวจากการทดลองนี้สามารถเก็บกักแก๊สเอทิลีนได้นานกว่า 24 ชม จึงสามารถใช้งานได้ดีและมีความแข็งแรงในติดประสานและอายุการใช้งานสูงกว่ากาวที่ใช้ในเชิงการค้าของริมโฟลว์

2.7 ข้อเสนอแนะ

1. พัฒนาการเตรียมกาวให้เหมาะกับงานที่ต้องติดการติดประสานที่ที่มีความชื้นหรือเปียก เช่น ใต้หลังคา พื้นห้องน้ำ หรือสระน้ำ เป็นต้น
2. ศึกษาอายุการเก็บและศึกษาความหนาแน่นการเชื่อมโยงที่เวลาต่างเมื่อทิ้งกาวไว้นานๆ

2.8 เอกสารอ้างอิง

- เจริญ นาคะสรรค์ สุเชษฐ์ พรหมเดช และอาชีชัน แกสมาน 2548. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์.กาวจากน้ำยางกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิเมทิลเมทาคริเลท. โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา สกว.
- เจริญ นาคะสรรค์ จิราภรณ์ เขื่อนชลคำ และอาชีชัน แกสมาน 2548a. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. กาวยางติดโลหะ กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับมาลิกแอนไฮไดรด์. โครงการวิจัยแห่งชาติ:ยางพารา สกว.
- เจริญ นาคะสรรค์ เอกวิภู กาลกรณ์สุรปราณี และอาชีชัน แกสมาน 2550. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์.การเตรียมไพรเมอร์เพื่อใช้ในการติดยางกับโลหะ โดยใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ มาลิกแอนไฮไดรด์. โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา สกว.
- เจริญ นาคะสรรค์ เกศรา มณีใส และอาชีชัน แกสมาน 2551. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์.การเตรียมกาวติดไม้และกาวทำไม้อัดจากขี้เลื่อยไม้ยางพาราจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิเมทิลเมทาคริเลท. โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา สกว.

- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2527. มอก. 521 มาตรฐาน
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกาวยาง
- โสภณ อิศระ. 2545. “การลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติโดยเทคนิคการลดน้ำหนักโมเลกุล”,
วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Aar, C.P.J.v.d., Does, L.v.d., Noordermeer, J.W.M. and Bantjes A. 2000. Rubber-Metal
Adhesion. Progress in Rubber and Plastic Technology, 16, 87-115.
- ASTM. D2095-96. (1997). Standard Test Method for Tensile Strength of Adhesive by Means
of Bar and Rod Specimens, Section15, Volume 15.06
- ASTM. D2339-94a. (1997). Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive in Two-
Ply Wood Construction in Shear by Tension Loading, Section15, Volume 15.06
- ASTM. D3870-93. (1997). Standard Test Method for Strength Properties of Adhesive in
Cleavage by Tension Loading, Section15, Volume 15.06
- Aubrey, D.W. 1988, “ The Natural and Action of Tackifier Resins” , Rubb. Chem. Tech.
61,448-469
- Baker, C.S.L. and Gelling , I.R. 1987. “Epoxidized Natural Rubber” , In Developments in
Rubber Technology-4, pp. 87-117. Whelan, A. and LEE.K.S., eds.London : Elsevier
Applied Science Publishers Ltd.
- Brinker, C.J.; G.W. S. (1990). The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing. Sol-Gel
Science.
- Burfield, D.R., Lim, K.L. and Law, K.S. 1984. Epoxidize of natural rubber latices : methods of
Preparation and properties of modified rubber. J. Appl. Polym. Sci., 29 :1661- 1673.
- Coran A. Y. 1987. Chapter-7 Thermoplastic Elastomer : A Comprehensive Review, (Legge
N.R., Holden G and Schroeder H.E.eds.) Hanser Publishers, Munich, 133-161
- Davey, J.E. and Loadman, M.J.R. 1984. “Chemical Demonstration of the Randomness of
Epoxidation of Natural Rubber”, “Br Polym. 16, 134-138.
- Gelling, I.R. 1983. Epoxidized *cis*-1,4-polyisoprene rubber. U.K. Pat GB 2, 113, 692 A. Aug.
10. 1983
- Gezeley, K.F. and Mente, P.G. 1987. “Method fore Reducing The Molecular Weight of Rubber
Latex”, G.B. Pat 2,183,663 April. 10, 1987.
- Hashim,AS., kohjiya. S, Ikeda, Y.1995. Moisture cure and in-situ reinforcement of epoxidized
natural rubber .Polym Int., 38(2) : 111-117.
- Hashim,AS., Kkavabata, N., kohjiya, s., 2004. silica reinforcement of epoxidized natural rubber
by the sol- gel method. J. Sol-Gel Sci&Tech..., 5(3):1573-4846.
- Takayuki., S.2004. Preparation of Novel Polymer Having Cyclic Cabonate Group From
Natural Rubber with SuperCritical Carbon Dioxide, Proceeding 2nd 21st Century COE
International Symposium on Green Energy Revolution, 9-11 August, Bangkok,
Thailand

ภาคผนวก 1

ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
1. ควรเพิ่มเติมเรื่องต้นทุนเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทางการค้าและที่วิจัยขึ้น เนื่องจากคาดว่าค่าใช้จ่ายน่าจะสูงกว่าทางการค้า เพื่อให้เกษตรกรมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุด และคุ้มค่าที่สุดเช่นกัน ในขณะที่เดียวกันจะต้องสามารถแข่งขันได้ในทางการค้า กรณีที่งานวิจัยได้ผลดีกว่าต้นทุนต่ำกว่า จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรอย่างแท้จริง	1. ในขณะนี้กาวที่ใช้กับต้นยางของ RRIMFLOW ได้เปลี่ยนเป็นแถบกาว จึงไม่สามารถหาคากาวทางการค้าได้อีก แต่จากการเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิในตอนนำเสนอข้อเสนอโครงการฯ ให้ผู้วิจัยเพียงใช้ประเด็นการติดต้นยางกับพลาสติกซึ่งเกิดเสถียรขึ้นประเด็นศึกษาเท่านั้น ซึ่งกาวชนิดนี้สามารถขยายไปสู่การประยุกต์ในงานต่างๆ ในสถานะที่เปื่อยขึ้น เช่น อุดรูรั่วกระเบื้องได้หลังคา และ อุดรูรั่วสระว่ายน้ำ เป็นต้น ซึ่งพบว่าสามารถทำได้ดีเนื่องจากยิ่งเปื่อยขึ้นกาวยิ่งมีความแข็งแรง ซึ่งผู้วิจัยได้รับการประสานจากผู้ประกอบการธุรกิจก่อสร้างให้ทดลองนำไปใช้ซึ่งขณะนี้กำลังอยู่ในระหว่างการประสานงานกับหน่วยบ่มเพาะธุรกิจของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ แต่อย่างไรก็ตามกาวที่ทำขึ้นมีราคาต้นทุนที่สูงกล่าวคือ ประมาณ 1800 บาท/กก จึงน่าจะใช้งานในเชิงวิศวกรรมและสมรรถนะสูงมากกว่าการประยุกต์กับงานในเชิงเกษตรกรรม
2. ควรสรุปผลการทดลองให้ชัดเจน โดยอาจจะสรุปแต่ละหัวข้อหรืออาจแบ่งย่อยแต่ละความสำคัญ	2. ในทัศนะนักวิจัยได้สรุปประเด็นสำคัญทั้งหมดไว้ในเนื้อหาแล้ว จึงไม่พบว่าจะต้องเพิ่มเติมเนื้อหาในส่วนใด แต่หากท่านผู้ทรงคุณวุฒิจะกรุณาชี้ชัดว่าบกพร่องตรงประเด็นใด ก็ควรจะแนะนำชี้ชัด การแนะนำแบบลอยๆ ทำให้ปฏิบัติได้ยาก การสรุปควรจะสรุปพินิจในประเด็นสำคัญ นักวิจัยไม่เคยปฏิบัติในลักษณะสรุปแยกประเด็น เพราะสุดท้ายไม่ทราบว่าจุดใดคือจุดที่สำคัญกันแน่ หากมีความกรุณาชี้แนะใหม่ จะรับดำเนินการ
3. ปัจจุบันยางราคาแพงมาก ดังนั้นการนำมาผลิตกาวยางทำให้ราคาสูงตามไปด้วย นักวิจัยได้คำนึงเรื่องนี้หรือไม่	3. การทำกาว ราคาของพาราเกือบไม่มีนัยสำคัญ ราคาสารเคมีอื่นๆจะมีผลต่อราคาทุนมากกว่า นอกจากนี้วัสดุพอลิเมอร์ที่นำมาทำกาวทุกชนิดราคาแพงกว่ายางพารา ดังนั้นการวิจัยการใช้สารเคมีให้มีประสิทธิภาพ และมีการผลิตและเปิดตลาดกาวยางพาราอย่างจริงจังจึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึงมากกว่าและไม่ควร discourage ด้วยราคาของพารา