



# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเตรียมไพรมเมอร์เพื่อใช้ในการติดยางกับโลหะโดยใช้  
กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับมาดิอิกแอโนไฮไดรด์

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์และคณะ

มิถุนายน 2550

## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเตรียมไพรเมอร์เพื่อใช้ในการติดยางกับโลหะโดยใช้  
กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับมาลิกแอนไฮไดรด์

คณะผู้วิจัย

สังกัด

1. รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2. นายเอกวิญ กาลกรณ์สุรปราณี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาชีชัน แกสमान มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชุดโครงการ วิจัยแห่งชาติยางพารา (SPR)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย สกว ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

## บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

**ชื่อโครงการ** การเตรียมไพรเมอร์เพื่อใช้ในการติดยางกับโลหะโดยใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ของ

ยางธรรมชาติกับมาลิกแอนไฮไดรด์

Preparation of Primer for Rubber-to-Metal Adhesive Based on

Natural Rubber-g-Maleic Anhydride

**ชื่อหัวหน้าโครงการ** รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรรค์

**หน่วยงาน** ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000

**โทรศัพท์** 073 313930-50 ต่อ 1866, โทรสาร 073 331099

**E-mail** [ncharoen@bunga.pn.psu.ac.th](mailto:ncharoen@bunga.pn.psu.ac.th)

**นักศึกษา/ผู้ร่วมวิจัย** นายเอกวิญ กาลกรณสุรปราชญ์

**ระยะเวลาดำเนินงาน** 10 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2549 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน 2550

### ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

การยึดติดระหว่างยางกับโลหะชนิดต่างๆ (เช่น เหล็ก สังกะสี ทองแดง และ อะลูมิเนียม เป็นต้น) ต้องมีผิวสัมผัสระหว่างยางกับโลหะที่นำมาติดกัน (Interfacial wetting contact) แล้วทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวที่เป็นพันธะเคมีและแรงยึดเหนี่ยวเชิงฟิสิกส์ผสมผสานกัน จากการศึกษาเบื้องต้น (เจริญ และคณะ 2548) พบว่าสามารถเตรียมกาวติดยางกับโลหะจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับมาลิกแอนไฮไดรด์ได้และมีสมบัติการยึดติดของยางคอมปาวด์กับโลหะชนิดต่างๆ ได้ดี แต่มีปัญหาเรื่องการเตรียมสารไพรเมอร์ที่เหมาะสม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเน้นการเตรียมสารไพรเมอร์เพื่อให้ได้กาวที่มีสมบัติการยึดติดที่ดี

### วัตถุประสงค์

- เพื่อเตรียมไพรเมอร์ที่เหมาะสมกับการใช้กับกาวติดยางกับโลหะที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับมาลิกแอนไฮไดรด์

## ผลการดำเนินงาน

เตรียมไพโรเมอร์ 2 ชนิด คือ สารประกอบออกาโนไซเลน และสารละลายยางคลอโรพรีนผสมกับฟีนอลิกเรซิน และพบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการติดประสานเหล็กและอลูมิเนียมกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ คือ การทาไพโรเมอร์ออกาโนไซเลนแล้วอบที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที แล้วทาสารละลายยางแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ส่วนสภาวะที่เหมาะสมกับการติดประสานทองแดงกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ คือ การทาไพโรเมอร์ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วทากายางธรรมชาติมาลีเอตอบที่  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที นอกจากนี้พบว่าอัตราส่วนที่ทำให้ความแข็งแรงต่อการติดประสานดีที่สุดของการใช้อัตราส่วนไพโรเมอร์ที่เตรียมจาก bis-(trimethoxysilylpropyl) amine (BTMA): bis-(triethoxysilylpropyl)tetrasulfide (BTET) [BTET:BTMA] ในเหล็กและอลูมิเนียม คือ 3:1 แต่ในกรณีทองแดงคือ 1:1 ส่วนสภาวะที่เหมาะสมของการใช้ไพโรเมอร์ผสมของสารละลายยางคลอโรพรีนกับฟีนอลิกเรซินพบว่า การทาไพโรเมอร์แล้วอบที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที แล้วทาสารละลายยางแล้วอบต่อเป็นเวลา 30 นาที จะให้การติดประสานโลหะอลูมิเนียมและเหล็กกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ได้ดี และไพโรเมอร์ชนิดนี้ไม่เหมาะกับการติดประสานโลหะทองแดง เนื่องจากมีความแข็งแรงในการติดประสานต่ำ นอกจากนี้สารละลายยางคลอโรพรีนเดี่ยวๆ ให้ผลการติดประสานที่ต่ำกว่า การเปรียบเทียบสมบัติความแข็งแรงในการติดประสานกับกาวทางการค้าพบว่าระบบกาวที่ให้ความแข็งแรงสูงที่สุดในงานวิจัยนี้ให้ความแข็งแรงในการติดประสานยางธรรมชาติวัลคาไนซ์กับโลหะชนิดต่างๆ ดีกว่ากาวชนิดองค์ประกอบเดี่ยวแต่มีสมบัติด้อยกว่ากาวชนิดสององค์ประกอบ

## สรุปผลการวิจัย

ทำการเตรียมกาวจากยางธรรมชาติมาลีเอต (Maleated natural rubber, MNR) โดยเริ่มจากการลดน้ำหนักโมเลกุลน้ำยาง HA ด้วยวิธีการทางเคมีโดยใช้โปแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตตัดสายโซ่โมเลกุลผ่านกลไกปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระแล้วใช้โพรพาเนลทำปฏิกิริยากับสายโซ่โมเลกุลที่ตัดแล้วเพื่อให้มีหมู่แอลดีไฮด์อยู่ที่ส่วนปลายทั้งสองข้าง เพื่อป้องกันไม่ให้โมเลกุลรวมตัวกันกลับเป็นสายโซ่ที่ยาวขึ้นพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการตัดสายโซ่โมเลกุลคือ อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  และเวลาการทำปฏิกิริยา 35-40 ชั่วโมง หลังจากนั้นจับตัวน้ำยาง ทำให้แห้ง แล้วนำไปเตรียมยางธรรมชาติมาลีเอต โดยใช้มาลิกแอนไฮไดรด์ 10 และ 12 phr ทำปฏิกิริยาในเครื่องผสมแบบภายในสภาวะหลอมที่อุณหภูมิ  $145^{\circ}\text{C}$  และความเร็วโรเตอร์ 60 rpm หลังจากได้ยาง MNR แล้วนำไปวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล ปริมาณการเกาะติด และปริมาณเจล แล้วนำยางชนิดนี้ไปคอมปาวด์กับสารเคมี เช่น สารกระตุ้น สารวัลคาไนซ์ และ

สารตัวเร่ง เพื่อเตรียมเป็นกาวโดยละลายในตัวทำละลายผสมระหว่างโทลูอีน เมทิลเอทิลคีโตน และ เอทิลอะซิเตท โดยใช้คิวมาโรนเรซินเป็นสารเพิ่มการยึดติด หลังจากนั้นศึกษาอิทธิพลของไพรเมอร์ในการติดประสานยางธรรมชาติวัลคาไนซ์กับโลหะ 3 ชนิด คือ เหล็ก อลูมิเนียม และทองแดง โดยทดลองใช้ไพรเมอร์ 2 ชนิด คือ สารประกอบออกาโนไซเลน และสารละลายผสมของยางคลอโรพรีนและฟีนอลิกเรซิน การใช้สารประกอบออกาโนไซเลนทำโดยใช้สารเคมี 2 ชนิด คือ bis-(trimethoxysilylpropyl) amine (BTMA) และ bis-(triethoxysilylpropyl) tetrasulfide (BTET) ในขั้นตอนแรกศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการเตรียมผิวโลหะและการทาไพรเมอร์และกาวโดยในไพรเมอร์ที่ใช้ BTET:BTMA ทดลองโดยใช้อัตราส่วนของ BTET:BTMA = 1:1 โดยใช้สถานะต่างๆพบว่าสถานะที่เหมาะสมต่อการติดประสานเหล็กกับอลูมิเนียมกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ คือ การทาไพรเมอร์แล้วอบที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที แล้วทาสารละลายกาวแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ส่วนสถานะที่เหมาะสมกับการติดประสานทองแดงกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ คือ การทาไพรเมอร์ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วทากาวยางธรรมชาติมาลีโอตอปที่  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที ส่วนสถานะที่เหมาะสมของการใช้ไพรเมอร์ผสมของสารละลายยางคลอโรพรีนกับฟีนอลิกเรซินทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนระหว่าง CR/HRJ = 80/20 พบว่าการทาไพรเมอร์แล้วอบที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที แล้วทาสารละลายกาวแล้วอบต่อเป็นเวลา 30 นาที จะให้การติดประสานโลหะอลูมิเนียม และเหล็กกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ได้ดี นอกจากนี้พบว่าไพรเมอร์ชนิดนี้ไม่เหมาะกับการติดประสานโลหะทองแดง เนื่องจากมีความแข็งแรงในการติดประสานต่ำมาก หลังจากนั้นทำการทดลองแปรอัตราส่วนการผสมของไพรเมอร์ต่อสมบัติการติดประสานโดยใช้อัตราส่วนระหว่าง BTET:BTMA = 1:0, 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, 3:1 และ 0:1 ตามลำดับ ส่วนสารละลายยางคลอโรพรีน (CR) และฟีนอลิกเรซิน (HRJ-10518) ใช้อัตราส่วน CR:HRJ = 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80 พบว่าอัตราส่วนที่ให้ความแข็งแรงต่อการติดประสานดีที่สุดของ BTET:BTMA ในเหล็กและอลูมิเนียม คือ 3:1 แต่ในกรณีทองแดงคือ 1:1 ส่วน CR:HRJ การใช้สารละลายกาวยางคลอโรพรีนเพียงอย่างเดียวจะให้สมบัติการติดประสานที่ดีที่สุด หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบสมบัติความแข็งแรงการติดประสานกับกาวในทางการค้าคือ การใช้ระบบ 2 องค์ประกอบ คือ Megum 122 ร่วมกับ Megum 3270 และ Thixon 520 ร่วมกับ Thixon P11 และระบบองค์ประกอบเดี่ยว คือ Thixon 2000 และ Chemlok 252H พบว่ากาวยางธรรมชาติมาลีโอตที่เตรียมจากการวิจัยนี้ให้ความแข็งแรงสูงกว่ากาวทางการค้าชนิดองค์ประกอบเดี่ยว แต่จะให้สมบัติที่ดีน้อยกว่ากาวทางการค้าชนิดสององค์ประกอบ ดังนั้นหากต้องการพัฒนากาวชนิดนี้ให้มีสมบัติเท่าเทียมกับกาวในทางการค้า น่าจะศึกษาสูตรกาวและการใช้สารเพิ่มการยึดติดที่เหมาะสม

รวมทั้งการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติให้ต่ำกว่านี้หรือเพิ่มหมู่ฟังก์ชันเพิ่มเติมเพื่อให้โครงสร้างของระบบกาวมีความแข็งแรงมากกว่านี้

#### ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะวิจัยเพิ่ม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

- การศึกษาการใช้สารเพิ่มการยึดติดที่เหมาะสมในสูตรกาวยางธรรมชาติมาลิต เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการติดประสานให้เทียบเท่ากับกาวแบบสององค์ประกอบในทางการค้า
- ลดน้ำหนักโมเลกุลของธรรมชาติมาลิตให้ต่ำกว่าที่ระดับที่สามารถทำได้ในโครงการวิจัยนี้และเพิ่มหมู่ฟังก์ชันอื่นๆที่เพิ่มความแข็งแรงในการติดประสาน เช่น นำยางที่ตัดโมเลกุลที่มีหมู่ปลายเป็นหมู่ไฮดรอกซิลมาทำปฏิกิริยากับไอโซไซยาเนต เป็นต้น

#### ผลงานทางวิชาการที่จะเกิดขึ้น

- ทราบสถานะที่เหมาะสมในการใช้ไพรเมอร์ร่วมกับกาวยางธรรมชาติมาลิตในการติดประสานยางธรรมชาติวัลคาไนซ์กับโลหะชนิดต่างๆ
- ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้สารประกอบออกาโนไซเลนร่วมกับกาวยางธรรมชาติมาลิตในการติดประสานยางธรรมชาติวัลคาไนซ์กับโลหะชนิดต่างๆ
- ทราบว่าการใช้สารละลายยางคลอโรพรีนที่ไม่ผสมฟีนอลิกเรซินเป็นไพรเมอร์ จะให้สมบัติการติดประสานของกาวยางธรรมชาติมาลิตในการติดประสานยางธรรมชาติวัลคาไนซ์กับโลหะชนิดต่างๆได้ดีกว่า
- ทราบว่าสถานะที่ดีที่สุดของผลงานวิจัยนี้ให้ระบบกาวที่มีความแข็งแรงกว่ากาวทางการค้าชนิดองค์ประกอบเดียวแต่มีความแข็งแรงน้อยกว่ากาวทางการค้าชนิดสององค์ประกอบมาก

รหัสโครงการ: RDG4950121

ชื่อโครงการ: การเตรียมไพโรเมอร์เพื่อใช้ในการติดยางกับโลหะโดยใช้ กราฟต์โคพอลิเมอร์ของ  
ยางธรรมชาติกับมาลิกแอนไฮไดรด์

ผู้นักวิจัย: รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์

สังกัด: สถาบันวิจัยความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยียางพารา ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

โทรศัพท์ 073 312213, Email: [ncharorn@bunga.pn.psu.ac.th](mailto:ncharorn@bunga.pn.psu.ac.th) ระยะเวลาโครงการ 10 เดือน

### บทคัดย่อ

เตรียมกาวจากยางธรรมชาติมาลิกเอต โดยใช้ยางธรรมชาติที่ลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีการทางเคมีในสถานะน้ำยางและกราฟต์ด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ โดยคอมปาวด์ยาง MNR กับสารเคมีชนิดต่างๆ เช่น สารกระตุ้น สารวัลคาไนซ์ สารตัวเร่ง และคิวมาโรนเรซิน (สารเพิ่มการยึดติด) แล้วละลายในตัวทำละลายผสมระหว่างโทลูอีน เมทิลเอทิลคีโตน และเอทิลอะซิเตท ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณไพโรเมอร์ในการติดประสานยางธรรมชาติวัลคาไนซ์กับโลหะ 3 ชนิด คือ เหล็ก อลูมิเนียม และทองแดง โดยทดลองใช้ไพโรเมอร์ 2 ชนิด คือ สารประกอบออกาโนไซเลน และสารละลายผสมของยางคลอโรพรีนและฟีนอลิกเรซิน ใช้สารประกอบออกาโนไซเลน 2 ชนิด คือ bis-(trimethoxysilylpropyl) amine (BTMA) และ bis-(triethoxysilylpropyl) tetrasulfide (BTET) โดยในขั้นตอนแรกศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเตรียมผิวโลหะ การทาไพโรเมอร์และกาวโดยใช้ BTET:BTMA ที่อัตราส่วน 1:1 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการติดประสานเหล็กกับอลูมิเนียมกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ คือ การทาไพโรเมอร์แล้วอบที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที แล้วทาสารละลายกาวแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ส่วนสภาวะที่เหมาะสมกับการติดประสานทองแดงกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ คือ การทาไพโรเมอร์ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วทากาวยางธรรมชาติมาลิกเอตที่  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที นอกจากนี้พบว่าอัตราส่วนที่ให้ความแข็งแรงต่อการติดประสานดีที่สุดของ BTET:BTMA ในเหล็กและอลูมิเนียม คือ 3:1 แต่ในกรณีทองแดงคือ 1:1 สภาวะที่เหมาะสมของการใช้ไพโรเมอร์ผสมของสารละลายยางคลอโรพรีนกับฟีนอลิกเรซิน (อัตราส่วนระหว่าง CR:HRJ = 80/20) พบว่าการทาไพโรเมอร์แล้วอบที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที แล้วทาสารละลายกาวแล้วอบต่อเป็นเวลา 30 นาที จะให้การติดประสานโลหะอลูมิเนียมและเหล็กกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ได้ดีแต่ไพโรเมอร์ชนิดนี้ไม่เหมาะกับการติดประสานโลหะทองแดง นอกจากนี้พบว่าการใช้สารละลายกาวยางคลอโรพรีนเพียงอย่างเดียวจะให้สมบัติการติดประสานที่ดีที่สุด ทำการเปรียบเทียบสมบัติความแข็งแรงการติดประสานกับกาวในทางการค้าพบว่ากาวยางธรรมชาติมาลิกเอตที่เตรียมจากการวิจัยนี้ให้ความแข็งแรงสูงกว่ากาวทางการค้าชนิดองค์ประกอบเดียวแต่จะให้สมบัติที่ดีน้อยกว่ากาวทางการค้าชนิดสององค์ประกอบ

คำสำคัญ: การติดยางติดโลหะ; ยางธรรมชาติมาลิกเอต; ออกาโนไซเลน; ยางคลอโรพรีน; ฟีนอลิกเรซิน;

**Project code:** RDG4950121

**Project title:** Preparation of Primer for Rubber-to-Metal Adhesive Based on Natural Rubber-*g*-Maleic Anhydride

**Investigator:** Associate Professor Dr. Charoen Nakason

**Tel.** 073 313930-50 ext 1866, **Email:** [ncharoen@bunga.pn.psu.ac.th](mailto:ncharoen@bunga.pn.psu.ac.th),

**Project duration** 10 months

### Abstract

Adhesive was prepared from low molecular weight NR (prepared by chemical method in latex state) grafted with maleic anhydride. The MNR was later compounded with various chemicals, such as activator, vulcanizing agent, accelerator and Cumarone resin as a tackifier. The compound was then dissolved in a mixture of toluene, methyl ethyl ketone and ethyl acetate. Influence of type and concentration of primers on adhesion strength of rubber-to-metal bonding of natural rubber vulcanizates and three types of metal (i.e., steel, copper and aluminium) was studied. Two types of primers were exploited: organosilane compound and a mixture of chloroprene rubber and phenolic resin. Two types of organosilane used were bis-(trimethoxysilylpropyl) amine (BTMA) and bis-(triethoxysilylpropyl) tetrasulfide (BTET) with various BTMA:BTET ratios. Optimum condition for this type of primer for steel and aluminium was to apply the primer on the metal surface and treated at 100 °C for 30 min before a layer of adhesive solution was applied. The adhesive was then condition at room temperature for 6 hr before compression molded with NR compound at 160 °C for a period of its cure time. For the copper surface, it was found that the optimum condition was to apply the primer and condition at room temperature for 6 hr before applying the adhesive and treated at 100 °C for 30 min. We also found that the optimum ratio of BTMA:BTET for steel and aluminium was 3:1 but 1:1 for the copper-to-rubber bonding. The optimum conditions for steel and aluminium using chloroprene and phenolic resin solution were to apply primer and put into a hot air oven at 100 °C for 30 min, the adhesive layer was later applied and treated at the same condition as the primer. It was found that the solely chloroprene solution gave the best adhesive strength than that of the mixture. Also, this type of primer gave poor adhesion strength of the copper-to-rubber bonding. Adhesion strength of the best set of adhesive in this work was compared with the commercially available adhesive. We found that the adhesive based on this work provided superior adhesion properties than that of the single component adhesive but gave inferior adhesion properties compared with the bi-component adhesive.

**Keyword:** Rubber-to-metal bonding; maleated natural rubber; organosilane; chloroprene rubber, phenolic resin.

## เนื้อหา

### 2.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

กาที่ใช้ในการยึดติดระหว่างยางกับโลหะชนิดต่างๆ (เช่น เหล็ก สังกะสี ทองแดง และอะลูมิเนียม เป็นต้น) มีปริมาณการใช้ที่ขยายตัวขึ้นมาก เนื่องจากการเพิ่มปริมาณการใช้ยางติดโลหะ (Rubber-to-metal composite) ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ การขนส่ง ก่อสร้าง และอุตสาหกรรมด้านการบิน เป็นต้น ซึ่งยางติดโลหะจะใช้เป็นส่วนประกอบ เช่น ชุดอุปกรณ์ที่ลดเสียงดังที่เกิดจากการเสียดสีหรือการชน ลดการสั่นหรือความเสียหายจากการสั่น ปกป้องความเสียหายจากการกระแทก และใช้ในการอุดรอยรั่วน้ำมันและของไหลต่างๆ ออกจากเครื่องหรือจากภาชนะเก็บ เป็นต้น หน้าที่ของกาในกรณีนี้จะเป็นชั้นบางๆ เพื่อทำหน้าที่ให้เกิดผิวสัมผัสระหว่างยางกับโลหะที่นำมาติดกัน (Interfacial wetting contact) ในระดับโมเลกุล โดยการเปียกผิวทั้งสองชนิด แล้วทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวที่เป็นพันธะเคมีและแรงยึดเหนี่ยวเชิงฟิสิกส์ผสมผสานกัน ในการเตรียมกาติดยางกับโลหะมีความจำเป็นที่จะต้องใช้องค์ประกอบ 2 ส่วน คือ การรองพื้นหรือไพรเมอร์ (Primer) หรือตัวให้แรงยึดติด (Adhesion promoter) เพื่อช่วยให้ผิวเปียกและเสริมความแข็งแรงของพันธะเคมี และ ส่วนกาทาส้นบน (Cover coat) เพื่อเป็นชั้นยึดติดกับยางคอมปาวด์และเสริมประสิทธิภาพในการยึดติดกับโลหะ

จากการศึกษาเบื้องต้น (เจริญ และคณะ 2548) พบว่าสามารถเตรียมกาติดยางกับโลหะจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับมาลิกแอนไฮไดรด์ได้และมีสมบัติการยึดติดของยางคอมปาวด์กับโลหะชนิดต่างๆ ได้ดี แต่มีปัญหาเรื่องการเตรียมสารไพรเมอร์ที่เหมาะสม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเน้นการเตรียมสารไพรเมอร์แล้วนำมาใช้กับสูตรกาที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดจากงานวิจัยดังกล่าว โดยการศึกษาสมบัติการยึดติดกับคอมปาวด์ยางธรรมชาติกับโลหะ 3 ชนิด คือ ทองแดง เหล็ก และอะลูมิเนียม

### 2.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อเตรียมไพรเมอร์ที่เหมาะสมกับการใช้กับกาติดยางกับโลหะที่เตรียมจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับมาลิกแอนไฮไดรด์

### 2.3 ทฤษฎีแนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง

#### 2.3.1 ทฤษฎีการติดประสานของวัสดุ

การติดประสาน (adhesion) เป็นสภาวะที่ผิววัสดุ 2 สองผิวเชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยแรงระหว่างผิว (interfacial force) ซึ่งเป็นพันธะเคมีและ/หรืออันตรกิริยาระหว่างหมู่เคมีชนิดต่างๆ การติดประสานสามารถอธิบายโดยใช้ทฤษฎีการติดประสาน ได้แก่ (Aar *et al.*, 2000)

- ทฤษฎีการดูดซับ (The adsorption theory: physisorption and chemisorption)
- ทฤษฎีการติดประสานเชิงกล (The mechanical interlocking theory)
- ทฤษฎีการแพร่ (The diffusion theory)

- ทฤษฎีแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (The electrostatic theory)

**ทฤษฎีการดูดซับ** ใช้ในการอธิบายการติดประสาน โดยการดูดซับเชิงกลและเชิงเคมีซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างชั้นที่ถูกดูดซับและพื้นผิว แรงขับเคลื่อนในเพิ่มการดูดซับ คือ พลังงานอิสระ (free energy:  $\Delta G$ ) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับเอนโทรปี ( $\Delta S$ ) และพลังงานหรือเอนทัลปี ( $\Delta H$ ) ดังนี้

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (1)$$

เมื่อ  $\Delta G$  คือพลังงานอิสระ,  $\Delta S$  คือเอนโทรปี  $\Delta H$  คือเอนทัลปี และ  $T$  คือ อุณหภูมิองศาสัมบูรณ์ ในกรณีนี้การดูดซับระหว่างผิวจะเกิดได้ก็ต่อเมื่อ  $\Delta G$  มีค่าเป็นลบ

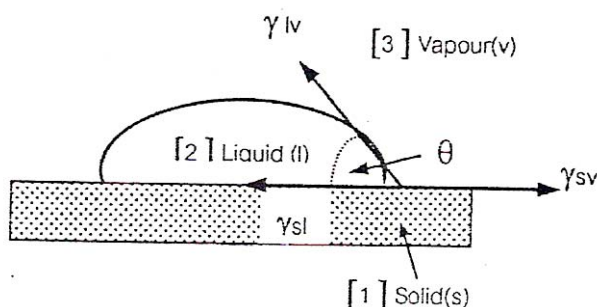
**ทฤษฎีการติดประสานเชิงกล** ใช้ในการอธิบายการติดประสานในลักษณะการล่อคล้ายกับลูกกุญแจกับแม่กุญแจ โดยมีวัสดุที่มีความหนืดต่ำเกิดการประสานกับส่วนที่ผิวแข็งหยาบและขรุขระ ซึ่งความสามารถในการติดประสานประสานแบบนี้จะขึ้นกับความสามารถในการเปียกผิว (wettability) ดังแสดงในความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\cos \theta_f = R_f \cos \theta_s \quad (2)$$

$R_f$  คือ แฟกเตอร์ของความขรุขระ (Roughness factor) และ  $\theta$  คือ มุมสัมผัส (contact angle)

เมื่อใช้ ของเหลวชนิดเดียวกัน มุมสัมผัส ( $\theta_p$ ) บนผิวที่หยาบ/ขรุขระ จะต่ำกว่ามุมสัมผัส ( $\theta_s$ ) บนผิวที่เรียบ นั่นคือของเหลว เปียกผิวหยาบได้ดีกว่าผิวเรียบ

การติดประสาน จะไม่เกิดขึ้นถ้าไม่มีการสัมผัสกันระหว่างผิวและหากต้องการให้มีการติดประสานที่ดีจำเป็นต้องให้มีการสัมผัสกันในระดับโมเลกุลที่ผิวประจัญ (Interface) การเปียก (wetting) มักพิจารณาหยดของเหลวที่อยู่บนผิวของของแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 1



**รูปที่ 1** หยดของเหลวบนพื้นผิวแข็งแสดงมุมสัมผัสเท่ากับ  $\theta$

จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่ามี 3 เฟสที่ต่างกัน ได้แก่ ของแข็ง (S), ของเหลว (L) และ ไอ (V) หยดของเหลวบนพื้นแข็งมีมุมสัมผัส (contact angle) เท่ากับ  $\theta$  ของเหลวจะกระจายบนพื้นผิวหรือเปียกผิวได้ดีเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างแรงระหว่างผิววัสดุ (adhesive force) กับแรงภายในเนื้อวัสดุ (cohesion force) ซึ่งมีผลต่อ  $\theta$  และขึ้นอยู่กับแรงตึงผิว (surface tension,  $\gamma$ ) ของทั้งสองเฟส

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานอิสระ (free energy) ของการติดประสาน ( $W_{aslv}$ ) ของการเปียก ( $W_{wslv}$ ) และการกระจาย ( $S_{slv}$ ) ความตึงผิว และมุมสัมผัส ( $\theta$ ) ในสถานะสมดุลได้ดังต่อไปนี้

$$W_{aslv} = \gamma_{sv} + \gamma_{lv} + \gamma_{sl} = \gamma_{lv} (\cos\theta + 1) \quad (3)$$

$$W_{wslv} = \gamma_{sv} + \gamma_{sl} = \gamma_{lv} (\cos\theta) \quad (4)$$

$$S_{slv} = \gamma_{sv} - \gamma_{sl} - \gamma_{lv} = \gamma_{lv} (\cos\theta - 1) \quad (5)$$

เมื่อ  $W_{aslv}$  คือ พลังงานอิสระของการติดประสาน,  $W_{wslv}$  คือ พลังงานอิสระของการเปียก และ  $S_{slv}$  คือ พลังงานอิสระของการกระจาย

เงื่อนไขของการเปียกผิวมีลักษณะที่แตกต่างกัน 3 แบบ ขึ้นอยู่กับค่าความตึงผิวระหว่างเฟสต่างๆ คือ

1. เมื่อ  $|\gamma_{sv} - \gamma_s| < \gamma_{lv}$  ของเหลวเปียกผิวของแข็ง, มุมสัมผัส (contact Angle,  $\theta$ )  $> 0^\circ$
2. เมื่อ  $\gamma_{sv} \geq \gamma_{sl} + \gamma_{svl}$  ของเหลวกระจายบนผิวของแข็ง, มุมสัมผัส (contact Angle,  $\theta$ )  $> 0^\circ$
3. เมื่อ  $\gamma_{sv} \leq \gamma_{sl} + \gamma_{svl}$  ของเหลวไม่เปียกผิวของแข็งและไม่กระจายบนผิวของแข็ง, มุมสัมผัส (contact Angle,  $\theta$ )  $= 0^\circ$

**ทฤษฎีการแพร่**ใช้อธิบายในกรณีการติดประสาน ระหว่างผิว 2 ผิวที่สามารถเกิดการผิดรูปได้ (deformation phase) เช่น การติดประสานของพอลิเมอร์กับตัวเอง (autohesion) หรือ กับพอลิเมอร์อื่นที่มีโครงสร้างคล้ายกัน การแพร่จะเกิดเมื่อสายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนไหวได้ดีและสามารถละลายซึ่งกันและกัน ความเร็วในการแพร่หรือระยะความลึกของส่วนที่แทรกซึมเข้ามาต่อหน่วยเวลาขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลหรือส่วนของโมเลกุลพอลิเมอร์ที่เกิดการแพร่นั้นๆ สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$X^2 = 2D_r T \quad (6)$$

เมื่อ  $X$  คือ ความลึกของการแพร่,  $D_r$  คือ สัมประสิทธิ์ของการแพร่, และ  $T$  คือ รางที่สองของเวลาที่สัมผัส

**ทฤษฎีแรงดึงดูดทางไฟฟ้า** อธิบายการติดประสานสัมพันธ์กับประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างผิว หากประจุไฟฟ้ามีแรงดึงดูดเข้าหากันจะทำให้เกิดผิวติดกัน แต่ประจุไฟฟ้าผลักกันจะทำให้เกิดการแยกตัวของผิว

### 2.3.2 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

กาวที่นิยมใช้ในการติดยางกับโลหะมีหลายประเภท เช่น กาวที่เตรียมจากยางอีโบนไนต์ (Ebonite rubber) จากเรซินฟีนอลิก (Nah, *et. al.* 2002) ซึ่งกาวชนิดนี้อาจจะผสมกับไอโซไซยาเนตและยางชนิดต่างๆ (Joseph, 2004 และ Achary, *et. al.* 2001) และกาวที่มีสารซิลเลน (silane-coating adhesives) เป็นองค์ประกอบ เป็นต้น ปัจจัยที่มีผลต่อการติดประสานยางของกาวกับโลหะ มีปัจจัยที่สำคัญ คือ ชนิดพอลิเมอร์ที่ใช้ ถ้ามีความเป็นขั้วจะทำให้เกิดการติดกับโลหะได้ดี เช่น เรียงความสามารถในการเป็นกาวของยางชนิดต่างๆ คือ NBR > CR > NR > BR > SBR > EPDM (Pocius, 2002) พบว่ายางที่มีสภาพขั้วจะติดกับโลหะได้ดีกว่า นอกจากนี้ปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการติดประสานของยางกับโลหะ คือ ระบบการวัลคาไนซ์ ชนิดและปริมาณสารตัวเติม และสารช่วยแปรรูป เช่น น้ำมัน และพลาสติกไซเซอร์ เป็นต้น ดังนั้น

ยางที่นำมาทำกาวยึดยางกับโลหะต้องมีความเป็นขั้วสูง และพบว่ามีการใช้อนุพันธ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของมาลิกแอนไฮไดรด์ เช่น กราฟต์โคพอลิเมอร์ของพอลิบิวตาไดอินกับมาลิกแอนไฮไดรด์ ในชื่อการค้า Ricobond® 1756 Ricobond® 1731 Ricobond® 2031 สามารถใช้เป็น adhesion-promoting agents และเป็นกาว ในการติดยางชนิดต่างๆกับโลหะ เช่น ติดยางธรรมชาติ ยาง EPDM ยางซิลิโคน และยาง Hypalon กับเหล็ก อลูมิเนียม ได้ดีมาก (Costin, 2002) การการศึกษาเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ภาณุ, (2546) และ จิราภรณ์ (2548) พบว่าการใช้ยางธรรมชาติดัดแปลงโมเลกุลด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ (NR-g-MA) เป็นกาวที่เป็นกาวองค์ประกอบเดียว สามารถใช้กับคอมปาวด์ยางธรรมชาติและยางคลอโรพรีน ในการติดเหล็ก ทองเหลือง และอลูมิเนียมได้ดี แต่ยังมีสมบัติเชิงกลด้อยกว่าการใช้กาวในเชิงการค้า คือ ใช้ MEGUM® 3270 เป็นไพรเมอร์หรือการรองพื้น และ ใช้ MEGUM® 100 เป็นกาวทาชั้นบน (cover coat) และพบว่าจำเป็นต้องใช้ไพรเมอร์ที่เหมาะสมเพื่อให้กาวเกิดการเปียกและเกิดแรงยึดเหนี่ยว นอกจากนี้ในสูตรกาวใช้เฉพาะระบบกัมมะถันเพียงอย่างเดียวจึงทำให้ได้ชั้นกาวที่ไม่แข็งแรงพอ จากงานวิจัยของ Joseph (2004) ได้ใช้สารละลายของยางธรรมชาติคลอรีเนต (Chlorinated natural rubber) เป็นไพรเมอร์ และใช้ เรซินฟีนอลิก และสารไอโซไซยานเนต [เช่น 4,4'-diphenylmethane diisocyanate (MDI)] ในสูตรกาวเป็นสารช่วยเสริมการเกิดพันธะเคมีกับโลหะ พบว่าได้กาวติดยางกับโลหะที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับกาวที่ขายในเชิงการค้า คือ “Polylok” นอกจากนี้ เจริญและคณะ (2548) พบว่าสามารถเตรียมกาวติดยางกับโลหะจากกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับมาลิกแอนไฮไดรด์ได้และมีสมบัติการยึดติดของยางคอมปาวด์กับโลหะชนิดต่างๆได้ดี แต่มีปัญหาเรื่องการเตรียมสารไพรเมอร์ที่เหมาะสม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเน้นการเตรียมสารไพรเมอร์แล้วนำมาใช้กับสูตรกาวที่ให้สมบัติที่ดีที่สุด จากงานวิจัยดังกล่าว โดยการศึกษาสมบัติการยึดติดกับคอมปาวด์ยางธรรมชาติกับโลหะ 3 ชนิด คือ ทองแดง เหล็ก และอลูมิเนียม

## 2.4 วิธีการ

### 2.4.1 การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติด้วยวิธีการทางเคมี (Takayuki, 2004)

เตรียมยางธรรมชาติลดน้ำหนักโมเลกุล โดยนำน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (HA) ที่มีเนื้อยางแห้งประมาณ 60 % เติมโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ปริมาณ 1 phr ลงในน้ำยาง กวนด้วยเครื่องกวน ที่ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมโพรพาเนล ปริมาณ 15 phr กวน 60 ชั่วโมงหลังจากหยุดโพรพาเนล เก็บตัวอย่างทุกๆ 5 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วจับตัวน้ำยางด้วยเมทานอล ริดให้เป็นแผ่นบาง ล้างด้วยน้ำหลายๆครั้ง แล้วอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลด้วยเครื่อง GPC และความหนืดมูนินี้ นอกจากนั้นศึกษาโครงสร้างโมเลกุลยางธรรมชาติด้วยเทคนิค FT-IR

### 2.4.2 การเตรียม และการวิเคราะห์ยางธรรมชาติมาลิเอต

นำยางธรรมชาติที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลในหัวข้อ 2.4.1 มาบดผสมกับมาลิเอตไฮโดรด์ ปริมาณ 10 หรือ 12 phr ในเครื่องบราเบนด์ พลาคค็อคเคอร์ ที่อุณหภูมิ 145 °C ความเร็วโรเตอร์ 60 rpm หลังจากนั้นกำจัดมาลิเอตไฮโดรด์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาออกโดยการนำยาง 1.5 กรัม มาละลายในโทลูอีน ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปสกัดโดยวิธีการรีฟลักซ์ ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วแยกส่วนที่เป็นสารละลายกับส่วนที่ไม่ละลายออกจากกันโดยวิธีการกรอง นำส่วนที่เป็นสารละลายมาจับตัวใหม่โดยการเติมอะซิโตนปริมาณที่เกินพอ กรองแล้วนำยางที่ได้ล้างด้วยอะซิโตนหลายๆครั้ง ทำเป็นแผ่นบางๆ อบที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วิเคราะห์การเกาะติดของมาลิเอตไฮโดรด์ด้วยเทคนิค FT-IR ส่วนที่ไม่ละลายนำไปอบที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณปริมาณการเกิดเจล

### 2.4.3 การเตรียมกาวจากยางธรรมชาติมาลิเอตน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

นำยางธรรมชาติลดน้ำหนักโมเลกุล โดยเลือกที่ลดน้ำหนักโมเลกุลเป็นเวลา 40 ชั่วโมง เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำการเพิ่มเวลามากกว่านี้ไม่มีผลต่อการลดขนาดโมเลกุล นอกจากนี้จากงานวิจัยของเจริญและคณะ (2548a) พบว่ายางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีสมบัติด้านการยึดติดที่ดีกว่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกยางธรรมชาติที่ลดน้ำหนักโมเลกุลเป็นเวลา 40 ชั่วโมง มากราฟต์ด้วยมาลิเอตไฮโดรด์ ปริมาณ 10 phr นำยางที่ได้มาคอมปาวด์บนลูกกลิ้ง (โดยไม่ทำการสกัด MA ที่ไม่ทำปฏิกิริยาออก) และทำการผสมสารเคมีชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 การคอมปาวด์สารเคมีที่เป็นผงคือ ซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก สารตัวเร่ง (TBBS) กำมะถัน และสารต้านออกซิเดชัน(Wingstay L) จะทำการผสมบนเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง ส่วนเรซิน คือ กิวยารอนเรซิน และฟีนอล-ฟอร์มาดีไฮด์เรซิน จะละลายด้วยโทลูอีนให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 20% ก่อนที่จะผสมลงไปในสารละลายกาว ซึ่งเตรียมจากการนำยางคอมปาวด์ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วละลายด้วยตัวทำละลายผสม 3 ชนิด คือ โทลูอีน เมทิลเอทิลคีโตน และเอทิลอะซิเตท ในอัตราส่วน 1:1:1 ให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดปริมาณ 20% หลังจากนั้นจึงผสมสารละลายเรซินลงไปแล้วกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้งาน

ตารางที่ 1 สูตรยางคอมปาวด์ที่ใช้ทำกาว

| Ingredients     | Quantity (phr) |
|-----------------|----------------|
| MNR             | 100            |
| ZnO             | 5              |
| Stearic acid    | 1              |
| TBBS            | 1              |
| Sulphur         | 1              |
| Wingstay L      | 1              |
| Coumarone resin | 5              |
| PF resin        | 5              |
| MDI             | 6              |

### 2.4.4 การเตรียมยางธรรมชาติสำหรับติดโลหะ

เตรียมยางธรรมชาติสำหรับติดโลหะ โดยใช้แผ่นยางผึ่งแห้ง (ADS) ผสมสารเคมีบนเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) ใช้สูตรและวิธีการเดียวกับจิราภรณ์ (2548) ดังแสดงในตารางที่

2 หลังจากนั้นนำยางไปทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR 2000 ที่ 160°C และทดสอบสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์

**ตารางที่ 2** สูตรคอมปาวด์ยางธรรมชาติสำหรับติดโลหะ

| Ingredients         | Quantity (phr) |
|---------------------|----------------|
| Air dry sheet (ADS) | 100            |
| Stearic acid        | 1              |
| ZnO                 | 5              |
| TBBS                | 1.5            |
| TMQ                 | 1.5            |
| 6PPD                | 2.5            |
| Parafin wax         | 2              |
| Nepthanic oil       | 6              |
| HAF N330            | 50             |
| Sulphur             | 1.2            |

#### 2.4.5 การเตรียมผิวโลหะ

ผิวโลหะที่นำมาติดกาวมีความสำคัญต่อการติดประสานมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเตรียมผิวโลหะตามวิธีการของ Patrie (2006) ดังวิธีการต่อไปนี้

1. **การเตรียมผิวเหล็ก** ใช้ผงซักฟอกล้างทำความสะอาดผิว แล้วกำจัดคราบสกปรกและเพิ่มพื้นที่ผิวโดยการพ่นทราย (Sand blasting) ล้างด้วยผงซักฟอกแล้วทำให้แห้ง กำจัดคราบออกไซด์เก่าออกแล้วสร้างออกไซด์ใหม่ด้วยการเตรียมผิวโลหะ ด้วยการแช่สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 1 ส่วน กรดซัลฟิวริก 10 ส่วน และน้ำ 30 ส่วน แล้วล้างทำความสะอาด อบให้แห้งก่อนนำไปใช้งาน

2. **การเตรียมผิวอลูมิเนียม** ใช้ผงซักฟอกในการล้างทำความสะอาดแล้วพ่นทราย ในทำนองเดียวกับผิวเหล็ก ล้างทำให้แห้งแล้วกำจัดคราบออกไซด์ออกด้วยการล้างด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 20% v/v สร้างออกไซด์ใหม่โดยการจุ่มสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้น 5% wt ที่ต้มที่ 95 °C เป็นเวลา 1-2 นาที แล้วล้างด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 15%v/v นำไปอบให้แห้งก่อนนำไปใช้งาน

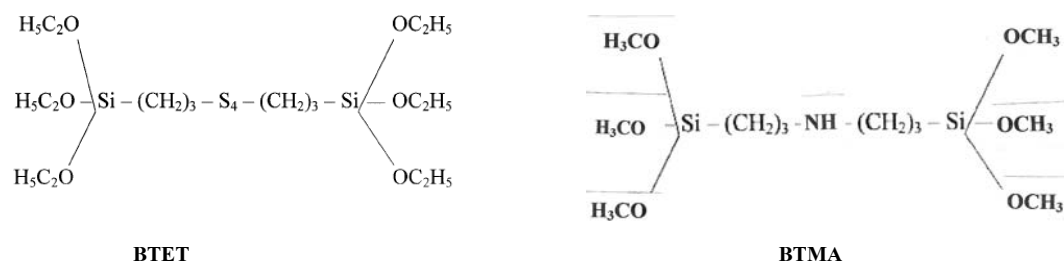
3. **การเตรียมผิวโลหะทองแดง** แช่ด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 15% v/v ที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 1-2 นาที ล้างด้วยน้ำเย็นและผงซักฟอก พ่นทราย ล้าง แล้วจุ่มในสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 15%v/v ล้างทำความสะอาดนำไปอบให้แห้งก่อนนำไปใช้งาน

#### 2.4.6 การเตรียมไพรเมอร์

ในงานวิจัยนี้เสนอที่จะใช้ไพรเมอร์ 2 ชนิด คือ สารประกอบออกาโนไซเลนและสารละลายยางคลอโรพรีนผสมฟีนอลิกเรซิน

1. **สารประกอบออกาโนไซเลน** ใช้โดยนำสารประกอบออกาโนไซเลน 2 ชนิด คือ bis-(trimethoxysilylpropyl) amine (BTMA) (ของเหลวสีเหลือง) และ bis-(triethoxysilylpropyl)tetrasulfide (BTET) (ของเหลวใส) มาผสมกันในอัตราส่วน BTET:BTMA = 1:1, 1:2, 1:3, 2:1 และ 3:1 โดยเติม

BTMA ลงใน BTET อย่างรวดเร็วแล้วกว่น แล้วใช้ไพรเมอร์ชนิดนี้ทาลงบนผิวโลหะที่เตรียมผิวแล้ว หลังจากนั้นใช้กาวที่เตรียมจากคอมปาวด์ยางธรรมชาติมาลิเอดทาทับอีกชั้นหนึ่ง แล้วใช้ติดยางคอมปาวด์กับที่เตรียมจากหัวข้อ 2.4.4



## 2. สารละลายยางคลอโรพรีนผสมฟีนอลิกเรซิน

เตรียมไพรเมอร์จากยางคลอโรพรีน ผสมฟีนอลิกเรซิน (HRJ 10518) โดยนำยางคลอโรพรีนคบนลูกกลิ้งจนกระทั่งยางคลอโรพรีนรวมกันเป็นเนื้อเดียว ทำการตัดชิ้นยางให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วละลายด้วยโทลูอีน เมทิลเอทิลคีโตน และเอทิลอะซิเตท ในอัตราส่วน 2:1:1 โดยให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 10% จากนั้นนำสารละลายฟีนอลิกเรซินเข้มข้น 10% ที่ละลายด้วยตัวทำละลายชนิดเดียวกัน ผสมลงในสารละลายยางในการทดลองนี้ทำการแปรอัตราส่วนระหว่างยางคลอโรพรีนกับฟีนอลิกเรซิน เป็น 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80 กวนเป็นเวลา 48 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้งาน

### 2.4.7 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการใช้ไพรเมอร์ร่วมกับกาวยางธรรมชาติมาลิเอด

เลือกไพรเมอร์ที่อัตราส่วนระหว่าง BTET:BTMA เท่ากับ 1:1 และอัตราส่วนระหว่างยางคลอโรพรีนกับฟีนอลิกเรซิน 80:20 ในการติดคอมปาวด์ยางธรรมชาติบนโลหะทั้ง 3 ชนิด ร่วมกับกาวยางธรรมชาติมาลิเอด แปรเวลาและสถานะในการอบ ดังรายละเอียดในตารางที่ 3 หลังจากนั้นนำไปทดสอบความต้านทานต่อการลอก เลือกชุดการทดลองที่มีความต้านทานต่อการลอกสูงที่สุดเพื่อใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของไพรเมอร์ต่อไป

ตารางที่ 3 สภาวะในการอบไฟรเมอร์และกาวที่ 100 °C โดยแปรเวลาในการอบและสภาวะอื่นๆ

| Treated code | Primer              | MNR adhesive        |
|--------------|---------------------|---------------------|
| A            | ทาทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง | ทาทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง |
| B            | ทาทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง | อบ 10 นาที          |
| C            | ทาทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง | อบ 30 นาที          |
| D            | ทาทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง | อบ 60 นาที          |
| E            | อบ 10 นาที          | ทาทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง |
| F            | อบ 30 นาที          | ทาทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง |
| G            | อบ 60 นาที          | ทาทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง |
| H            | อบ 30 นาที          | อบ 30 นาที          |

#### 2.4.8 อิทธิพลของอัตราส่วนของ BTET:BTMA ต่อสมบัติของการติดประสาน

ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของสารประกอบออกาโนไซเลน BTET:BTMA ที่ใช้เป็นไฟรเมอร์ โดยแปรอัตราส่วนต่างๆ คือ 3:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:3, BTET และ BTMA เพียงอย่างเดียว ในกรณีติดประสานเหล็กและอลูมิเนียมกับคอมปาวด์ยางธรรมชาติ โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองในหัวข้อ 2.4.7 โดยทาไฟรเมอร์แล้วอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาทีแล้วทาสารละลายกาวยางธรรมชาติมาเล็ดทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ส่วนโลหะทองแดงทาไฟรเมอร์ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง ทากาวแล้วอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นติดคอมปาวด์ยางธรรมชาติแล้วนำไปอัดเบ้าที่อุณหภูมิ 160°C ตามระยะเวลาการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ หลังจากนั้นทดสอบสมบัติต่างๆ

#### 2.4.9 อิทธิพลของอัตราส่วนของ CR:HRJ ต่อสมบัติของการติดประสาน

ใช้สภาวะที่เหมาะสมจากหัวข้อ 2.4.7 คือ การอบไฟรเมอร์ที่ 100°C ก่อน 30 นาที หลังจากนั้นจึงทา กาวยางธรรมชาติมาเล็ดแล้วทำการอบต่ออีก 30 นาที ที่อุณหภูมิเดียวกันในกรณีการติดประสานเหล็กและอลูมิเนียม ส่วนในกรณีการใช้โลหะทองแดงพบว่าไม่สามารถเตรียมชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบได้เนื่องจากมีความแข็งแรงดีมาก กล่าวคือยางวัลคาไนซ์หลุดล่อนออกจากโลหะหลังจากอัดด้วยเครื่องอัดเบ้า ใช้ไฟรเมอร์ที่เตรียมจากจากสารละลายยางคลอโรพรีนร่วมกับฟีนอลิกเรซิน (HRJ 10518) ที่อัตราส่วนต่างๆ คือ ใช้สารละลายยางคลอโรพรีนเพียงอย่างเดียว (100:0) และอัตราส่วน 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และฟีนอลิกเพียงอย่างเดียว หลังจากนั้นติดคอมปาวด์ยางธรรมชาติแล้วนำไปอัดเบ้าที่อุณหภูมิ 160°C ตามระยะเวลาการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ หลังจากนั้นทดสอบสมบัติต่างๆ

#### 2.4.10 การเปรียบเทียบสมบัติกาวยางธรรมชาติมาเล็ดกับกาวในทางการค้า

นำไฟรเมอร์ที่ทำให้กาวยางธรรมชาติมาเล็ดมีสมบัติด้านความแข็งแรงในการติดประสานดีที่สุดคือระบบที่ใช้อัตราส่วน BTET:BTMA = 3:1 ในการติดประสานยางธรรมชาติวัลคาไนซ์กับโลหะ

เหล็กและอลูมิเนียม และที่ใช้อัตราส่วน BTET:BTMA = 1:1 ในการตีประสานทองแดงกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ นอกจากนี้ใช้ระบบที่ใช้สารละลายยางคลอโรพรีนเป็นไพรเมอร์ในเหล็กและอลูมิเนียม เปรียบเทียบกับการตีประสานของกาวในทางการค้าหลายชนิด คือ การใช้ระบบ 2 องค์ประกอบ คือ Megum 122 ร่วมกับ Megum 3270 และ Thixon 520 ร่วมกับ Thixon P11 และระบบองค์ประกอบเดียว คือ Thixon 2000 และ Chemlok 252H

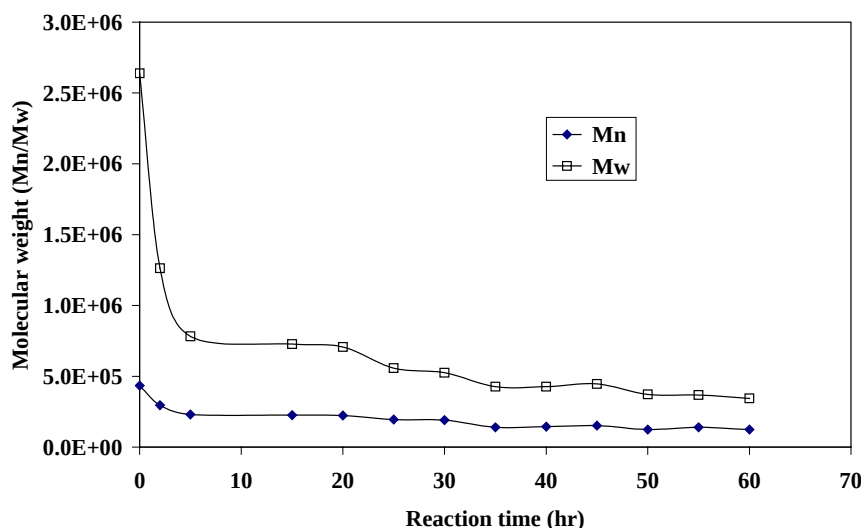
#### 2.4.11 การทดสอบสมบัติยางติดโลหะ

- การทดสอบสมบัติการลอก (T-peel test) ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D 1876-95 เตรียมตัวอย่างโดยเป็นการทดสอบแบบ T-peel test โดยเลือกใช้มาตรฐาน ASTM D 1876-95 โดยเตรียมขึ้นทดสอบมาตรฐานซึ่งเป็นขึ้นยางติดกับโลหะ 2 แผ่น มีความกว้าง 25 มม. (1 นิ้ว) มีส่วนที่แยกออกจากกันเพื่อให้เป็นด้านจับของ grip ของเครื่องทดสอบ ด้านละ 75 มม. (3 นิ้ว) และมีส่วนที่ยางติดกับโลหะยาว 241 มม. (9 นิ้ว) การเตรียมขึ้นทดสอบ เริ่มจากนำโลหะชนิดต่างไปทำความสะอาดและเตรียมผิว จากนั้นทำการทาไพรเมอร์ และกาวยางธรรมชาติมาลิเอต ตามสภาวะที่ต้องการ หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์มาติดกับแผ่นโลหะที่ได้ทาไพรเมอร์และกาวยางธรรมชาติมาลิเอตไว้แล้ว จากนั้นขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเบ้า ที่อุณหภูมิ  $160^{\circ}\text{C}$  ตั้งความดันประมาณ 2000 psi แล้วทำการขึ้นรูปยางติดกับโลหะสูตรละ 3 ชิ้น
- การทดสอบแบบเฉือน (Shear strength) เตรียมขึ้นทดสอบและทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1002-94 โดยการเตรียมขึ้นทดสอบเป็นการติดยางกับโลหะมีความกว้าง 25.4 มม. (1 นิ้ว) ความยาวเท่ากับ 25.4 มม. (1 นิ้ว) โลหะหนาเท่ากับ 1 มม. และให้มีระยะที่จับกับ grip มีความกว้างเท่ากับ 25.4 มม. (1 นิ้ว) เตรียมตัวอย่างด้วยกระบวนการเหมือนกันกับการเตรียมขึ้นทดสอบการลอก โดยเตรียมตัวอย่างสูตรละ 3 ชิ้น

### 2.5 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

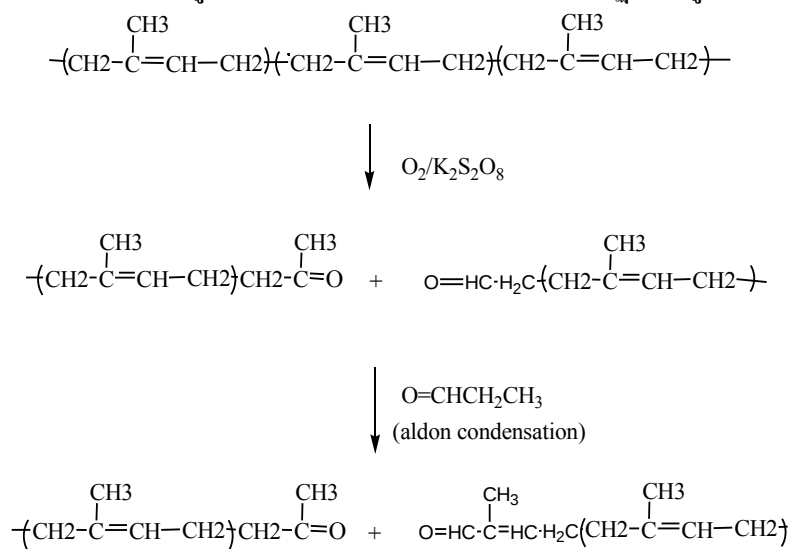
#### 2.5.1 การลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติ

การลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติโดยใช้น้ำยารุ่นชนิดแอมโมเนียสูง (HA) วิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยด้วยเครื่อง GPC ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 2 ซึ่งพบว่าน้ำหนักโมเลกุลมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา และเมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่ง คือ 35-40 ชั่วโมง น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยจะมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ โดยที่เวลา 40 ชั่วโมงจะมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย จึงเลือกเวลาในการลดน้ำหนักโมเลกุลที่ 40 ชั่วโมง เพื่อนำยางที่ลดน้ำหนักโมเลกุลไปเตรียมยางธรรมชาติมาลิเอตโดยการกราฟต์มาลิอิกแอนไฮไดรด์



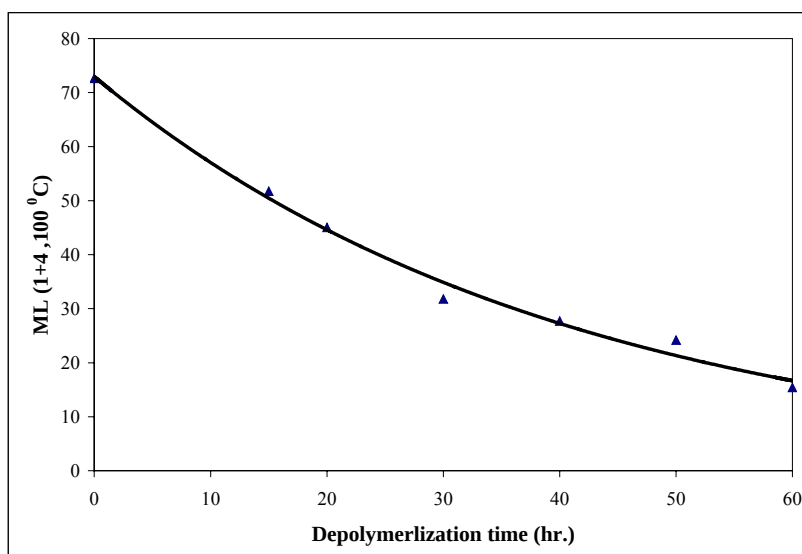
รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของยางธรรมชาติ

การลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติเกิดผ่านกลไกแบบอนุมูลอิสระ โดยโปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ทำให้ออกซิเจนแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระแล้วเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่พันธะคู่ของโมเลกุลยางธรรมชาติ หลังจากนั้นใช้โซรพานอลทำปฏิกิริยาควบแน่นแบบอัลคอด เพื่อป้องกันไม่ให้โมเลกุลยางธรรมชาติที่ขาดจากกันกลับมารวมตัวกันเป็นโซ่ที่ยาวอีกครั้ง ทำใหยางธรรมชาติที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีการนี้เกิดหมู่ปลายที่เป็นอัลดีไฮด์ และคีโตน ดังปฏิกิริยารูปที่ 3



รูปที่ 3 กลไกปฏิกิริยาการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ (Takayuki, 2004)

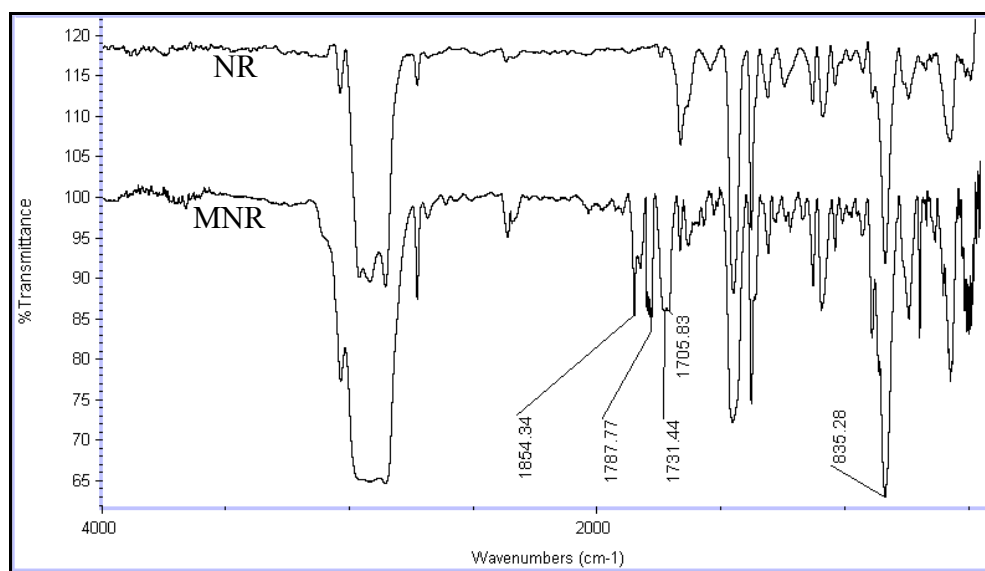
วัดค่าความหนืดมูนิยางธรรมชาติที่ลดน้ำหนักโมเลกุลที่เวลาต่างๆ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา จะส่งผลให้ความหนืดมูนิของยางมีแนวโน้มลดลง ในทำนองเดียวกับน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย เมื่อโมเลกุลยางถูกตัดให้สั้นลงทำให้ลดการพันกันและความเกาะกะของสายโซ่โมเลกุลยางธรรมชาติ โมเลกุลมีความเป็นอิสระในการเคลื่อนตัวผ่านซึ่งกันและกันมากขึ้น จึงทำให้มีค่าความหนืดลดลง



รูปที่ 4 ผลของเวลาในการทำปฏิกิริยาการลดน้ำหนักโมเลกุลของธรรมชาติต่อค่าความหนืดมูนนี้

## 2.5.2 การเตรียมยางธรรมชาติมาลิเอต

จากการวิเคราะห์ด้วย FTIR ของยางธรรมชาติที่ผ่านการกราฟต์ด้วยมาลิอิกแอนไฮไดรด์ได้ผลแสดงดังในรูปที่ 5 พบว่าโครงสร้างของยางธรรมชาติมีโครงสร้างที่เปลี่ยนไป คือมีพีคเพิ่มเติมที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่างๆ คือ



รูปที่ 5 ตัวอย่างสเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติลดน้ำหนักโมเลกุลและที่กราฟต์ด้วยมาลิอิกแอนไฮไดรด์

- ที่  $1780\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงการมีพันธะ C=O ที่มีการสั่นแบบยืดสมมาตร
- ที่  $1854\text{ cm}^{-1}$  แสดงถึงการมีพันธะ C=O ที่มีการสั่นแบบยืดไม่สมมาตร

- ที่  $1707\text{ cm}^{-1}$  คาร์บอนิลของสารประกอบเอสเทอร์ ที่เกิดจากการแตกออกของวงแหวนซัคซินิกแอนไฮไดรด์เนื่องจากความชื้น (Nakason *et al.*, 2004)

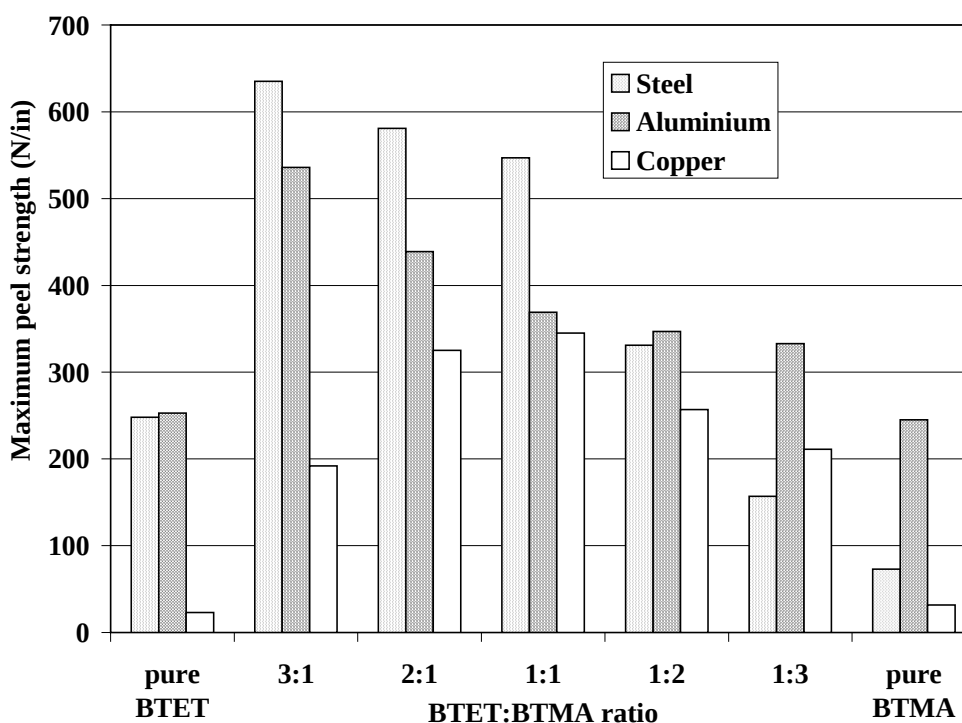
### 2.5.3 สภาวะที่เหมาะสมของการใช้ไฟรเมอร์จากสารประกอบออกาโนไซเลน

สภาวะที่มีความสำคัญต่อการติดประสาน การใช้ไฟรเมอร์ร่วมกับกาวยางธรรมชาติมาลิเอตที่สภาวะที่ต่างกัน เช่น อุณหภูมิ เวลา และชนิดของโลหะที่ต่างกัน ก็ให้ผลการติดประสานที่ต่างกัน จากการศึกษาโดยการแปรเวลาในการอบการร่วมกับการอบไฟรเมอร์ ที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  ใช้อัตราส่วนระหว่าง BTET:BTMA = 1:1 ดังรายละเอียดในตารางที่ 3 แล้วนำไปทดสอบความต้านทานต่อการลอก (T-peel test) พบว่าการทาไฟรเมอร์แล้วอบเป็นเวลา 30 นาทีแล้วทาสารละลายกาวยางธรรมชาติมาลิเอตทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมงจะให้ค่าความต้านทานต่อการลอกสูงที่สุดในกรณีการติดประสานเหล็กและอลูมิเนียมกับคอมปาวด์ยางธรรมชาติ โดยให้ค่าความต้านทานต่อการลอกสูงสุดเป็น 578 และ 425 N/in ตามลำดับ ส่วนโลหะทองแดงต้องทาไฟรเมอร์ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมงแล้วทากาว หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที จะให้ค่าความต้านทานต่อการลอกสูงที่สุด คือ 397 N/in ดังนั้นจึงเลือกใช้สภาวะเหล่านี้ในการทดลองต่อไป

### 2.5.4 อิทธิพลของอัตราส่วนของ BTET:BTMA ต่อสมบัติของการติดประสาน

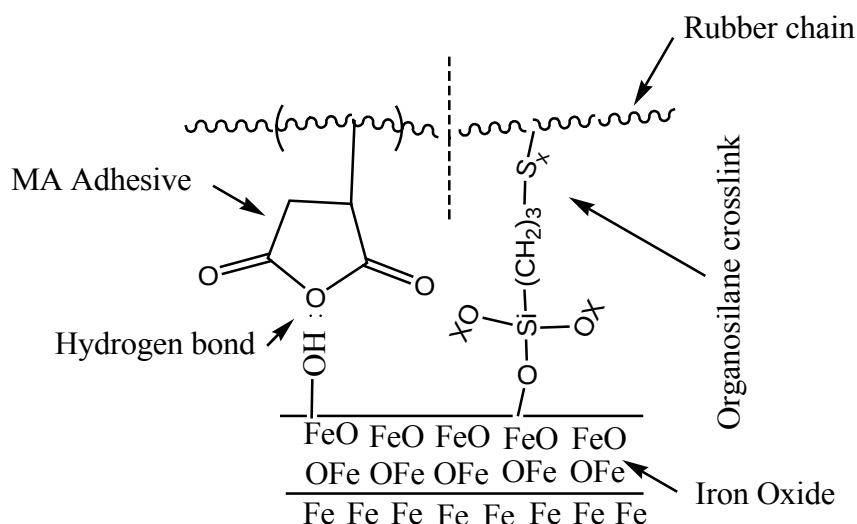
ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของสารประกอบออกาโนไซเลน BTET:BTMA ที่ใช้เป็นไฟรเมอร์ โดยแปรอัตราส่วนต่างๆ คือ 3:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:3, BTET และ BTMA เพียงอย่างเดียว ในกรณีติดประสานเหล็กและอลูมิเนียมกับคอมปาวด์ยางธรรมชาติ ทาไฟรเมอร์แล้วอบที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาทีแล้วทาสารละลายกาวยางธรรมชาติมาลิเอตทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ส่วนโลหะทองแดงทาไฟรเมอร์ทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง ทากาวแล้วอบที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นติดคอมปาวด์ยางธรรมชาติแล้วนำไปอัดเข้าที่อุณหภูมิ  $160^{\circ}\text{C}$  ตามระยะเวลาการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ หลังจากนั้นทดสอบความต้านทานต่อการลอก ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 6 พบว่าค่าความต้านทานต่อการลอกของยางติดเหล็กและอลูมิเนียมของกาวที่ใช้ไฟรเมอร์ที่เตรียมจากสารประกอบออกาโนไซเลนที่อัตราส่วน BTET:BTMA = 3:1 จะให้ค่าความต้านทานต่อการลอกที่สูงที่สุด รองลงมาคือที่อัตราส่วน BTET:BTMA = 2:1, 1:1, 1:2, 1:3, BTET เพียงอย่างเดียว และ BTMA เพียงอย่างเดียว ตามลำดับ ส่วนการใช้ไฟรเมอร์ชนิดนี้ในการติดประสานคอมปาวด์ยางธรรมชาติกับโลหะทองแดงจะให้ค่าจะให้ความต้านทานต่อการลอกที่สูงที่สุดที่อัตราส่วนระหว่าง BTET:BTMA = 1:1 จากการทดสอบความแข็งแรงแบบเนียนของการใช้ BTET:BTMA ที่อัตราส่วนต่างๆเมื่อใช้ร่วมกาวยางธรรมชาติมาลิเอตในการติดคอมปาวด์ยางธรรมชาติกับโลหะชนิดต่างๆ ได้ผลการทดลองแสดงดังในรูปที่ 7 พบว่าความแข็งแรงแบบเนียน มีแนวโน้มสอดคล้องกับความต้านทานต่อการลอกสูงสุด คือไฟรเมอร์ที่เตรียมจากสารประกอบออกาโนไซเลนที่อัตราส่วน BTET:BTMA = 3:1 จะให้ค่าความต้านทานต่อการติดประสานทั้งแบบลอก และความแข็งแรงแบบเนียนของเหล็กและอลูมิเนียมสูงที่สุด รองลงมาคือการใช้ไฟรเมอร์ที่

อัตราส่วน BTET:BTMA = 2:1, 1:1, 1:2, 1:3 , BTET ชนิดเดียว และBTMA ชนิดเดียว ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าการใช้โลหะทองแดงที่อัตราส่วน BTET:BTMA = 1:1 ให้ผลการติดประสานระหว่างยางกับทองแดงสูงที่สุด พบว่าในการติดประสานโลหะทั้ง 3 ชนิดการใช้ BTET และ BTMA เพียงอย่างเดียวจะให้ค่าความแข็งแรงของการติดประสานต่ำกว่ากรณีการใช้ไซเลนทั้งสองชนิดผสมกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสารเคมีทั้งสองชนิดทำหน้าที่เสริมประสิทธิภาพในการเกิดพันธะเคมีกับยางวัลคาไนซ์และโลหะ ดังแสดงในแผนภาพในรูปที่ 8 ยกตัวอย่างกรณีการติดประสานเหล็กกับยางคอมปาวด์ ในระบบการติดประสานยางที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันทำให้ระบบสารวัลคาไนซ์ ( $S_8 + ZnO + TBBS$ ) สามารถเกิดปฏิกิริยาโดยการแตกตัวของ BTET ตรงตำแหน่ง  $S_4$  แล้วเกิดเป็นอนุมูลอิสระที่ว่องไวที่สามารถเกิดพันธะเคมีกับโมเลกุลยางที่มีพันธะคู่ที่ตำแหน่งอะตอมคาร์บอนอัลไลค (allylic c-atom) อีกด้านหนึ่งของโมเลกุล ( $-Si(OC_2H_5)_3$ ) จะสามารถเกิดพันธะเคมีกับออกไซด์ของเหล็กที่เคลือบผิวบางๆของเหล็กได้ ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ดีต้องมีสารประกอบเอมีนของไซเลนคือ BTMA เป็นสารเร่งปฏิกิริยา จึงทำให้ระบบที่มีการผสมระหว่างสารเคมีชนิดนี้ได้ความแข็งแรงของการประสานระหว่างยางวัลคาไนซ์กับโลหะชนิดต่างๆที่แข็งแรงกว่า ในระบบนี้มีการใช้กาวจากยางธรรมชาติมาลิเอดซึ่งมีหมู่ซัคซินิคแอนไฮไดรด์ในไซโมเลกุลของยางธรรมชาติซึ่งหมู่ฟังก์ชันนี้สามารถเกิดพันธะเคมีหรืออันตรกิริยาเคมีกับโลหะได้เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 9 และส่วนที่เป็นสายโซ่หลักจะมีความเข้ากันได้กับโมเลกุลยางธรรมชาติได้ดี ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของการติดประสานของกาวชนิดนี้ในโลหะและยางธรรมชาติวัลคาไนซ์



รูปที่ 6 อิทธิพลของอัตราส่วนของ BTET:BTMA ต่อความต้านทานต่อการลอกสูงสุดเมื่อใช้ร่วมกาวยางธรรมชาติมาลิเอดในการติดคอมปาวด์ยางธรรมชาติกับโลหะชนิดต่างๆ

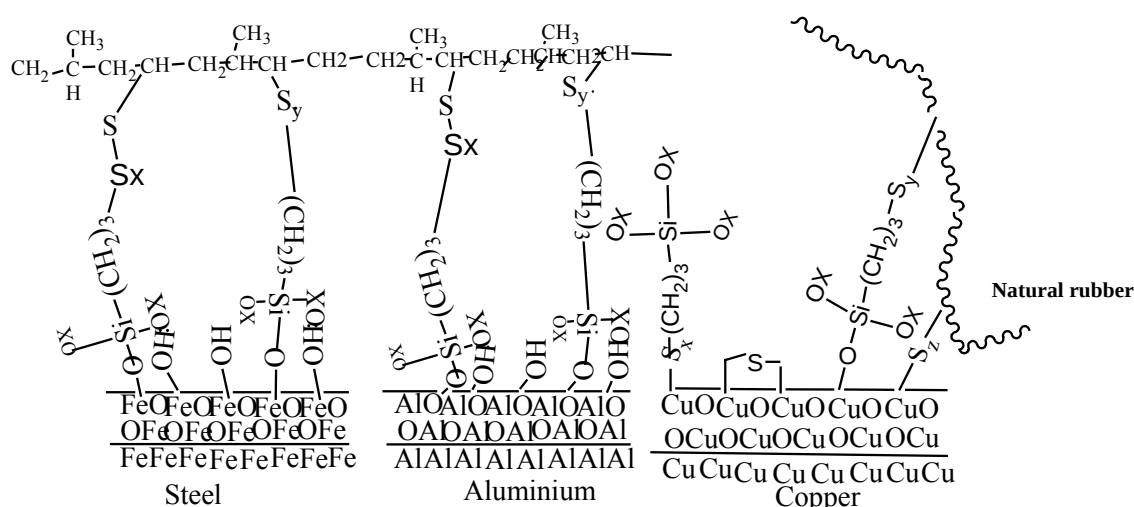




**รูปที่ 9** พันธะเคมียางกับโลหะที่เกิดจากการใช้ไพรเมอร์จากสารประกอบออกาโนไซเลนร่วมกับกาวยางธรรมชาติมาลีเอด

การเกิดปฏิกิริยาการติดประสานของโลหะชนิดต่างๆแสดงดังในรูปที่ 10 พบว่าเกิดปฏิกิริยาในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน แต่ในกรณีการใช้โลหะทองแดง ต้องใช้อัตราส่วนของไซเลนทั้งสองชนิดแตกต่างกันจากกรณีการใช้เหล็กและอลูมิเนียมอาจจะเป็นเพราะธรรมชาติทางเคมีของออกไซด์ของทองแดงมีสมบัติที่แตกต่างจากโลหะชนิดอื่นๆที่ใช้ในการทดลอง

#### Natural rubber



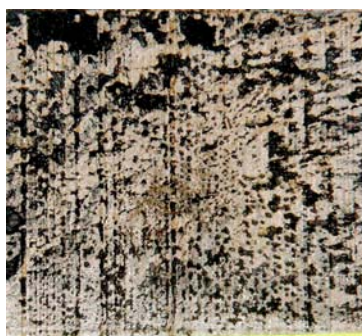
**รูปที่ 10** การเกิดการเชื่อมโยงระหว่างยางธรรมชาติกับโลหะชนิดต่างๆโดยใช้ไพรเมอร์ที่เตรียมจากสารประกอบออกาโนไซเลน BTET ร่วมกับ BTMA (ดัดแปลงจาก Jayaselan, 2000)

รูปที่ 11 แสดงตัวอย่างผิวโลหะอลูมิเนียมที่เกิดจากการปอกยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ออก โดยตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนระหว่าง BTET:BTMA ต่างๆ พบว่าการใช้สารออกาโนไซเลนตัวใดตัวหนึ่งเดี่ยวๆ จะพบเศษยางสีดำที่ขาดติดที่ผิวโลหะน้อยมากเนื่องจากความไม่แข็งแรงของการประสานที่ผิวโลหะแต่เมื่อใช้สารออกาโนไซเลนที่ผสมกันพบว่ามีเศษยางที่ขาดติดกับผิวโลหะแสดงว่ามีการประสานระหว่างผิวที่แข็งแรงขึ้นทำให้เมื่อปอกยางออกทำให้กาวมีความแข็งแรงจึงทำให้เนื้อยางบางส่วนขาดออกแล้วยังคงติดอยู่มีผิวโลหะ นอกจากนี้พบว่าที่อัตราส่วน BTET:BTMA = 3:1 จะมีปริมาณเศษยางที่ขาดติดที่ผิว

ในปริมาณที่มากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับการที่การใช้ไฟรเมอร์ที่อัตราส่วนดังกล่าวจะให้ยางติดอลูมิเนียมที่มีค่าความแข็งแรงในการติดประสานสูงที่สุด ดังได้อธิบายไปแล้วในรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



(ก) BTET เพียงชนิดเดียว



(ข) BTET:BTMA = 3:1



(ค) BTET: BTMA = 2:1



(ง) BTET: BTMA = 1:1



(จ) BTET : BTMA = 1:2



(ฉ) BTET : BTMA = 1:3



(ข)BTMA เพียงชนิดเดียว

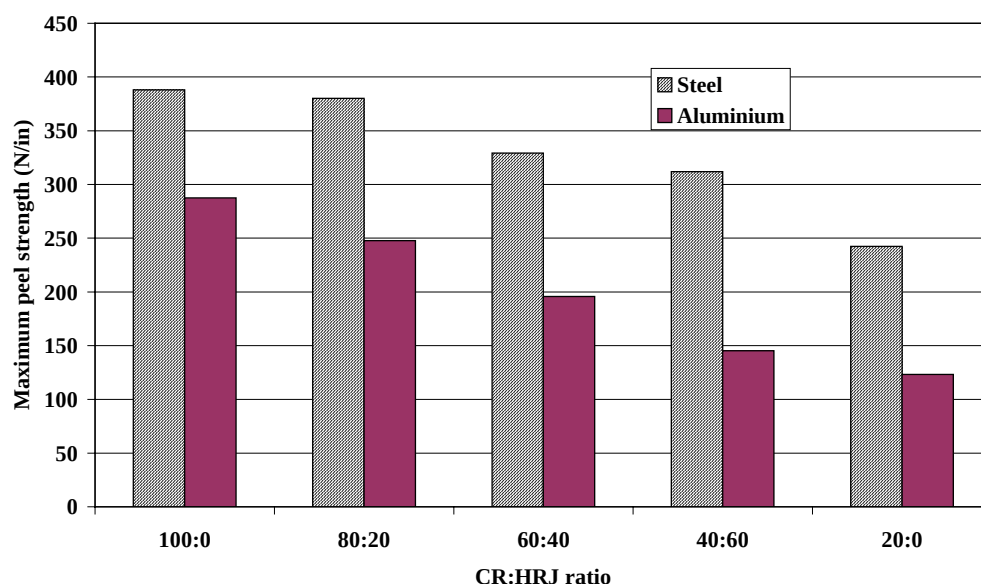
**รูปที่ 11** ตัวอย่างภาพถ่ายผิวอลูมิเนียมแสดงลักษณะความล้มเหลวที่เกิดขึ้นบนผิวจากการใช้ไพรเมอร์ของสารประกอบออกาโนไซเลนในอัตราส่วนต่างๆ

#### 2.5.5 สภาวะที่เหมาะสมของการใช้ไพรเมอร์จากสารละลายยางคลอโรพรีนและฟีนอลิกเรซิน

ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีการแปรเวลาในการอบการร่วมกับการอบไพรเมอร์ ดังรายละเอียดในตารางที่ 3 โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  และเวลาการอบต่างๆ และเลือกใช้สารละลายยางคลอโรพรีน (CR) ร่วมกับฟีนอลิกเรซิน (HRJ 10518) ที่อัตราส่วน 80:20 นำยางติดโลหะที่ได้ไปทดสอบความต้านทานต่อการปอก พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ให้ความต้านทานต่อการปอกสูงที่สุดสำหรับไพรเมอร์ชนิดนี้ในการติดประสานเหล็กและอลูมิเนียม คือ การอบไพรเมอร์ที่  $100^{\circ}\text{C}$  ก่อน 30 นาที หลังจากนั้นจึงทาด้วยธรรมชาติมาลิเอตแล้วทำการอบต่ออีก 30 นาที ที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยมีค่าความต้านทานต่อการปอกสูงที่สุด ประมาณ  $247 \text{ N/in}$  ทั้งสองกรณี ส่วนในกรณีการใช้โลหะทองแดงพบว่าไม่สามารถเตรียมขึ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบได้เนื่องจากมีความแข็งแรงดีมาก กล่าวคือยางวัลคาไนซ์หลุดล่อนออกจากโลหะหลังจากอัดด้วยเครื่องอัดเบ้า

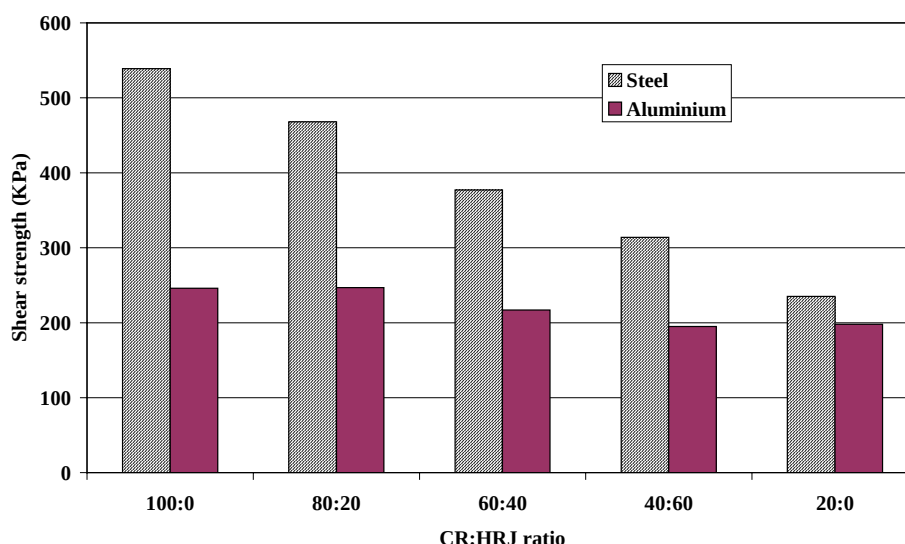
#### 2.5.6 อิทธิพลของอัตราส่วนของ CR:HRJ ต่อสมบัติของการติดประสาน

รูปที่ 12 แสดงค่าความต้านทานต่อการปอกของไพรเมอร์ที่เตรียมจากจากสารละลายยางคลอโรพรีนร่วมกับฟีนอลิกเรซิน (HRJ 10518) ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าการใช้สารละลายยางคลอโรพรีนเพียงอย่างเดียว (100:0) จะให้ความต้านทานต่อการปอกที่สูงที่สุด ในการติดประสานยางธรรมชาติวัลคาไนซ์กับเหล็กและอลูมิเนียม การใช้ฟีนอลิกเรซินจะส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อการปอกมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณ คือมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วน 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ไพรเมอร์ชนิดออกาโนไซเลนพบว่าการใช้ไพรเมอร์ชนิดนี้ให้ความสามารถในการติดประสานที่ดีกว่ามาก



รูปที่ 12 อิทธิพลของอัตราส่วนไฟเบอร์ที่เตรียมจากสารละลายยางคลอโรพรีนร่วมกับฟีนอลิกเรซิน (HRJ 10518) ต่อค่าความต้านทานต่อการลอกสูงสุดเมื่อใช้ในการประสานยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ติดเหล็กและอลูมิเนียมโดยใช้กาวจากยางธรรมชาติมาลิเอต

รูปที่ 13 แสดงความแข็งแรงแบบเฉือนของการใช้ไฟเบอร์ที่เตรียมจากสารละลายยางคลอโรพรีนร่วมกับฟีนอลิกเรซิน ในการประสานยางกับเหล็กและอลูมิเนียมของการใช้กาวยางธรรมชาติมาลิเอตพบว่าผลการศึกษามีแนวโน้มคล้ายคลึงกับกรณีความต้านทานต่อการลอก คือไฟเบอร์ที่เตรียมจากสารละลายยางคลอโรพรีนเดี่ยวๆ จะมีความสามารถในการติดประสานสูงที่สุด การผสมฟีนอลิกเรซินทำให้สมบัติการติดประสานมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงตามปริมาณฟีนอลิกเรซิน เนื่องจากยางคลอโรพรีนมีความสามารถในการติดประสานกับโลหะได้เนื่องจากการมีสภาพความเป็นขั้ว แต่ยางชนิดนี้อาจจะมีความเข้ากันได้กับฟีนอลิกเรซินไม่ดี จึงทำให้ได้ไฟเบอร์ที่มีสมบัติไม่ดี



**รูปที่ 13** อิทธิพลของอัตราส่วนไฟรเมอร์ที่เตรียมจากสารละลายยางคลอโรพรีนร่วมกับฟีนอลิกเรซิน ต่อค่าความแข็งแรงแบบเฉือนเมื่อใช้ร่วมกับกาวยางธรรมชาติมาลิเอตในการติดเหล็กหรืออลูมิเนียมกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์

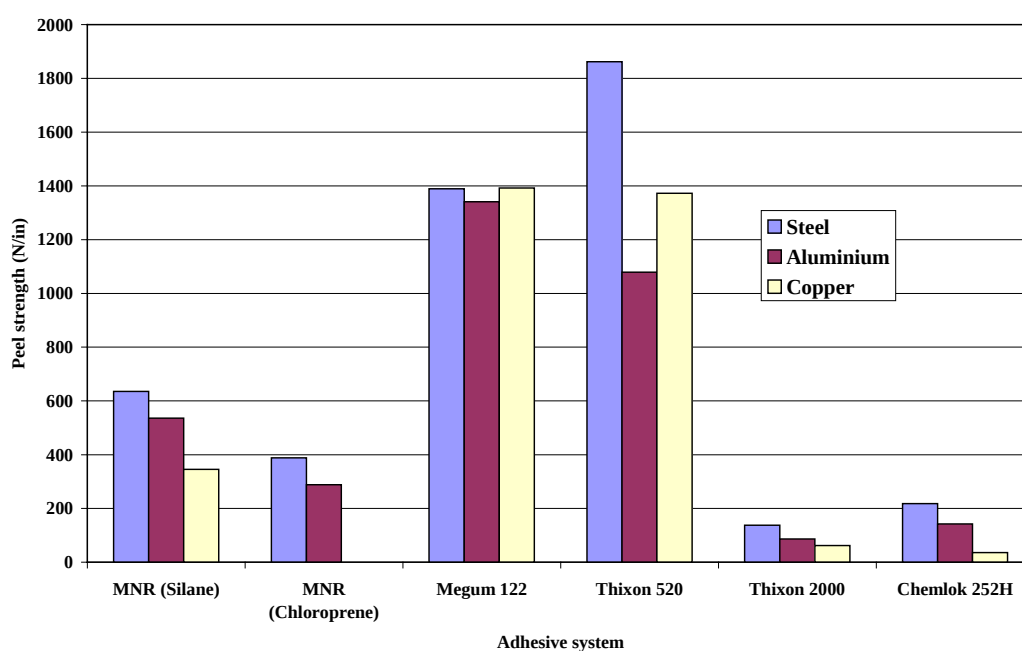
#### 2.5.7 การเปรียบเทียบสมบัติกาวยางธรรมชาติมาลิเอตกับกาวในทางการค้า

นำไฟรเมอร์ที่ทำให้กาวยางธรรมชาติมาลิเอตมีสมบัติด้านความแข็งแรงในการติดประสานดีที่สุดคือระบบที่ใช้อัตราส่วน BTET:BTMA = 3:1 ในการติดประสานยางธรรมชาติวัลคาไนซ์กับโลหะเหล็กและอลูมิเนียม และที่ใช้อัตราส่วน BTET:BTMA = 1:1 ในการประสานทองแดงกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ นอกจากนี้ใช้ระบบที่ใช้สารละลายยางคลอโรพรีนเป็นไฟรเมอร์ในเหล็กและอลูมิเนียม เปรียบเทียบกับการติดประสานของกาวในทางการค้าหลายชนิด คือ การใช้ระบบ 2 องค์ประกอบ คือ Megum 122 ร่วมกับ Megum 3270 และ Thixon 520 ร่วมกับ Thixon P11 และระบบองค์ประกอบเดียว คือ Thixon 2000 และ Chemlok 252H ได้ผลการเปรียบเทียบสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 4 และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อการลอกสูงสุดของกาวระบบต่างๆ แสดงดังในรูปที่

ตารางที่ 4 ความแข็งแรงในการติดประสานระหว่างยางธรรมชาติกับโลหะชนิดต่างๆโดยใช้กาวชนิดต่างๆ

| Primers        | Adhesives    | Steel    |          | Aluminum |          | Copper   |          |
|----------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                |              | Peel     | Shear    | Peel     | Shear    | Peel     | Shear    |
|                |              | strength | strength | strength | strength | strength | strength |
|                |              | (N/in)   | (Kpa)    | (N/in)   | (Kpa)    | (N/in)   | (Kpa)    |
| BTET:BTMA*     | MNR          | 635      | 1216     | 536      | 2040     | 345      | 616      |
| Chloprene      | MNR          | 388      | 539      | 288      | 247      | -        | -        |
| Megum 3270     | Megum 122    | 1389     | 2028     | 1341     | 3322     | 1392     | 4981     |
| Thixon p11     | Thixon 520   | 1862     | 1525     | 1079     | 2322     | 1373     | 2877     |
| Without primer | Thixon 2000  | 137      | 533      | 86       | 264      | 62       | 166      |
| Without primer | Chemlok 252H | 218      | 582      | 142      | 153      | 36       | -        |

BTET:BTMA = 3:1 ในกรณีการใช้เหล็กและอลูมิเนียม และ BTET:BTMA = 1:1 ในกรณีการใช้ทองแดง

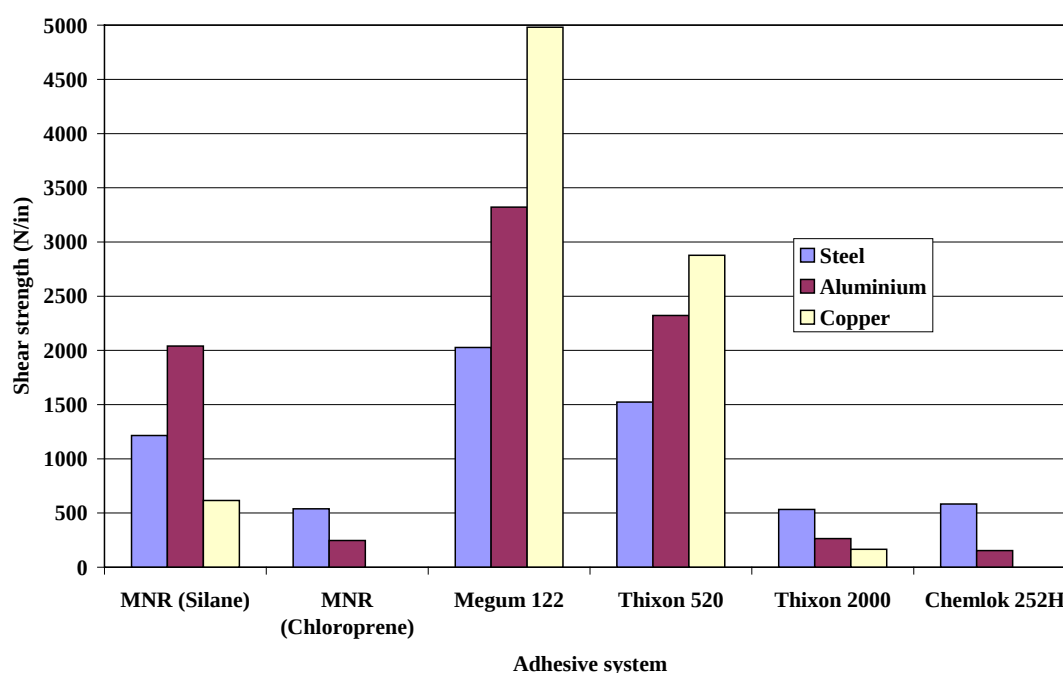


รูปที่ 14 เปรียบเทียบความต้านทานต่อการลอกสูงสุดของการติดประสานโลหะชนิดต่างๆกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์โดยใช้ระบบกาวชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 14 พบว่ากาวยางธรรมชาติมาลิเอตที่เตรียมขึ้นที่ใช้ร่วมกับไพรเมอร์ 2 ชนิด คือ สารประกอบออกาโนไซเลน (BTET และ BTMA) และสารละลายยางคลอโรพรีนในโลหะชนิดเดียวกันมีค่าความต้านทานต่อการลอกสูงกว่ากาวองค์ประกอบเดียว คือ Thixon 2000 และ Chemlok 252H แต่มีความแข็งแรงในการติดประสานต่ำกว่ากาว 2 องค์ประกอบ คือ Megum 122 ที่ใช้ร่วมกับ Megum 3270 และ Thixon P11 ร่วมกับ Thixon 520 มาก ทั้งนี้เนื่องจากกาวทางการค้ามีสภาวะการเตรียมตัวอย่างและสูตรกาวที่ได้รับการวิจัยมาอย่างดี แต่ในกรณีกาวยางธรรมชาติมาลิเอตในการทดลองนี้พบว่าการใช้สาร

ประกอบออกาโนไซเลนจะให้สมบัติการติดประสานที่ดีและหากได้รับการพัฒนาสูตรทำให้เหมาะสมก็จะมีสมบัติการติดประสานที่ดีกว่านี้มาก

รูปที่ 15 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงแบบเฉือนของการใช้การระบบต่างๆ ในการติดประสานโลหะชนิดเดียวกันพบว่ากาวยางธรรมชาติมาลีเอตที่ใช้ไพรเมอร์จากสารประกอบออกาโนไซเลนจะให้ค่าความแข็งแรงแบบเฉือนสูงกว่าการใช้การระบบองค์ประกอบเดี่ยวแต่มีค่าต่ำกว่ากาว 2 องค์ประกอบมาก ในทำนองเดียวกันความต้านทานต่อการลอกสูงสุด ดังนั้นหากต้องการให้สมบัติของกาวชนิดนี้เทียบเท่ากับสมบัติกาวทางการค้าชนิดสององค์ประกอบมีความจำเป็นต้องศึกษารายละเอียดของสูตรกาวที่ใช้และการลดน้ำหนักโมเลกุลลงให้ต่ำกว่านี้ก็จะทำให้สมบัติการติดประสานที่ดีขึ้นมาก



รูปที่ 15 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงแบบเฉือนของการติดประสานโลหะชนิดต่างๆกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์โดยใช้ระบบกาวชนิดต่างๆ

## 2.6 สรุปผลการทดลอง

ทำการเตรียมกาวจากยางธรรมชาติมาลีเอต โดยเริ่มจากการลดน้ำหนักโมเลกุลน้ำยาง HA ด้วยวิธีการทางเคมีโดยใช้โปแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตตัดสายโซ่โมเลกุลผ่านกลไกปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระแล้วใช้โพรพาเนลทำปฏิกิริยากับสายโซ่โมเลกุลที่ตัดแล้วเพื่อให้มีหมู่อัลดีไฮด์อยู่ที่ส่วนปลายทั้งสองข้าง เพื่อป้องกันไม่ให้โมเลกุลรวมตัวกันกลับเป็นสายโซ่ที่ยาวขึ้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการตัดสายโซ่โมเลกุลคือ อุณหภูมิ 60 °C และเวลาการทำปฏิกิริยา 35-40 ชั่วโมง หลังจากนั้นจับตัวน้ำยาง ทำให้แห้ง แล้วนำไปเตรียมยางธรรมชาติมาลีเอต โดยใช้มาลิกแอนไฮไดรด์ 10 และ 12 phr ทำปฏิกิริยาในเครื่องผสมแบบภายในสภาวะหลอมที่อุณหภูมิ 145 °C และความเร็วโรเตอร์ 60 rpm หลังจากได้ยาง MNR แล้วนำไปวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล ปริมาณการเกาะติด และปริมาณเจล แล้วนำยางชนิดนี้ไปคอมพาวด์กับสารเคมี เช่น สารกระตุ้น สารวัลคาไนซ์ และสารตัวเร่ง เพื่อเตรียมเป็นกาวโดยละลายใน

ตัวทำละลายผสมระหว่างโทลูอิน เมทิลเอทิลคีโตน และเอทิลอะซิเตท โดยใช้คิวมาโรนเรซินเป็นสารเพิ่มการยึดติด หลังจากนั้นศึกษาอิทธิพลของไฟเบอร์ในการตีประสานยางธรรมชาติวัลคาไนซ์กับโลหะ 3 ชนิด คือ เหล็ก อลูมิเนียม และทองแดง โดยทดลองใช้ไฟเบอร์ 2 ชนิด คือ สารประกอบออกาโนไซเลน และสารละลายผสมของยางคลอโรพรีนและฟีนอลิกเรซิน การใช้สารประกอบออกาโนไซเลนทำโดยใช้สารเคมี 2 ชนิด คือ bis-(trimethoxysilylpropyl) amine (BTMA) และ bis-(triethoxysilylpropyl) tetrasulfide (BTET) ในขั้นตอนแรกศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการเตรียมผิวโลหะและการทำไฟเบอร์และกาวโดยในไฟเบอร์ที่ใช้ BTET:BTMA ทดลองโดยใช้อัตราส่วนของ BTET:BTMA = 1:1 โดยใช้สภาวะต่างๆพบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการตีประสานเหล็กกับอลูมิเนียมกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ คือ การทำไฟเบอร์แล้วอบที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำสารละลายกาวแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ส่วนสภาวะที่เหมาะสมกับการตีประสานทองแดงกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ คือ การทำไฟเบอร์ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วทำกาวยางธรรมชาติมาลิเอตที่  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที ส่วนการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของการใช้ไฟเบอร์ผสมของสารละลายยางคลอโรพรีนกับฟีนอลิกเรซินทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนระหว่าง CR:HRJ = 80/20 พบว่าการทำไฟเบอร์แล้วอบที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที แล้วทำสารละลายกาวแล้วอบต่อเป็นเวลา 30 นาที จะให้การตีประสานโลหะอลูมิเนียมและเหล็กกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ได้ดี นอกจากนี้พบว่าไฟเบอร์ชนิดนี้ไม่เหมาะกับการตีประสานโลหะทองแดง เนื่องจากมีความแข็งแรงในการตีประสานต่ำมาก หลังจากนั้นทำการทดลองแปรอัตราส่วนการผสมของไฟเบอร์ต่อสมบัติการตีประสานโดยใช้อัตราส่วนระหว่าง BTET:BTMA = 1:0, 1:1, 1:2, 1:3, 2:1, 3:1 และ 0:1 ตามลำดับ ส่วนสารละลายยางคลอโรพรีน (CR) และฟีนอลิกเรซิน (HRJ-10518) ใช้อัตราส่วน CR:HRJ = 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80 พบว่าอัตราส่วนที่ให้ความแข็งแรงต่อการตีประสานดีที่สุดของ BTET:BTMA ในเหล็กและอลูมิเนียม คือ 3:1 แต่ในกรณีทองแดงคือ 1:1 ส่วน CR:HRJ การใช้สารละลายกาวยางคลอโรพรีนเพียงอย่างเดียวจะให้สมบัติการตีประสานที่ดีที่สุด หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบสมบัติความแข็งแรงการตีประสานกับกาวในทางการค้าพบว่ากาวยางธรรมชาติมาลิเอตที่เตรียมจากการวิจัยนี้ให้ความแข็งแรงสูงกว่ากาวทางการค้าชนิดองค์ประกอบเดียวแต่จะให้สมบัติที่ดีน้อยกว่ากาวทางการค้าชนิดสององค์ประกอบ ดังนั้นหากต้องการพัฒนากาวชนิดนี้ให้มีสมบัติเท่ากับกาวในทางการค้า น่าจะศึกษาสูตรกาวและการใช้สารเพิ่มการยึดติดที่เหมาะสมรวมทั้งการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติให้ต่ำกว่านี้หรือเพิ่มหมู่ฟังก์ชันเพิ่มเติมเพื่อให้โครงสร้างของระบบกาวมีความแข็งแรงมากกว่านี้

## 2.7 ข้อเสนอแนะ

หากต้องการพัฒนากาวชนิดนี้ต่อเพื่อให้มีสมบัติใกล้เคียงหรือเท่ากับกาวในทางการค้าชนิดสององค์ประกอบ ควรจะเน้นการศึกษาสูตรกาวโดยเฉพาะการการใช้สารเพิ่มการยึดติดที่เหมาะสมหรือ

สารเคมีชนิดอื่นๆเพิ่มเติม รวมทั้งการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติให้ต่ำกว่านี้เพื่อเพิ่มหมู่ฟังก์ชันให้โครงสร้างของระบบกาวมีความแข็งแรงขึ้น

## 2.8 เอกสารอ้างอิง

- เจริญ นาคะสรรค์ จิราภรณ์ เขื่อนชลคำ และ อาชีชัน แกสมาน (2548). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง กาวติดยางกับโลหะจากราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับมาลิกแอนไฮไดรด์ โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา สกว. สัญญาเลขที่ RDG4850005.
- เจริญ นาคะสรรค์ สุขชัย พรหมเดช และ อาชีชัน แกสมาน (2548a). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง กาวราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิเมทิลเมทาคริเลท โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา สกว. สัญญาเลขที่ RDG4850005.
- ภานุ มหาสุข. 2546 การเตรียมกาวติดโลหะโดยใช้ยางธรรมชาติมาลิกเอต ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาสงขลานครินทร์ ปัตตานี
- Aar, C.P.D., Does, L.V.D. Noodermeer, J.W.M. and Banhjes, A. 2000. *Rubber-Metal Adhesion*. Progress in Rubber & Plastic Technology, 16, 87-115.
- Achary, P.S., Gouri, C. and Ramaswamy, R. 2001. *Reactive Bonding of NR to Metal by Nitrile-Phenolic Adhesive*, J. Appl. Polym. Sci. 81, 2597-2608.
- Annual Book of ASTM Standard. (2000) D412-98a. Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomer – Tension, Section 9, Volume 9.01, pp 43-55.
- Annual Book of ASTM Standard. (2000) D454-99. *Test Methods for Rubber Deterioration by Heat and Air Pressure*, Section 9, Volume 9.01. pp 86-89.
- Annual Book of ASTM Standard. (2000) D471-98. *Test Methods for Rubber Properties-Effects of Liquid*, Section 9, Volume 9.01. pp 90-102.
- Annual Book of ASTM Standard. (2000) D413-98 *Test Methods for Rubber Property-Adhesive To Rigid Substrate*, Section 9, Volume 9.01. pp 56-76.
- Annual Book of ASTM Standard (1997). D-1002, *Test Method for Strength properties of Adhesive Bonds in Shear by Compression Loading*. Annual Book of ASTM Standard. Volume. 15.06. pp45-48.
- Annual Book of ASTM Standard (1997) D-1876, *Standard Test Method for Peel Resistant of Adhesive (T-peel test)*. Volume. 15.06. pp107-109.
- Costin R. 2002. *Bonding Rubber to Reinforcing material with Adhesion Promoting Coatings*, Proceeding International Rubber Conference, IRC 2002, 1-4 July, Prague, Czech Republic.
- Jayaseelan, S. (2000). *Silane coupling for rubber-to-metal adhesion*. Master Thesis, Department of Material Science & Engineering, College of Engineering, Madras Institute of Technology. India.
- Joseph, R. 2004. *Rubber to Metal Bonding*, Private communication and Presented at PSU Pattani, 17-18 Aug 2004.

- Nah, C. Chyng, K.H., Chang, Y.W. and Park, S.J. 2002 *A New Bonding System Between Rubber and Steel*. Proceeding International Rubber Conference, IRC 2002, 1-4 July, Pregue, Czech Republic.
- Nakason, C., Kaesaman, A, Homsin, S. and Kiatkamjornwong, S. 2001, *Rheological and Curing Behavior of Reactive Blending. I. Maleated Natural Rubber-Cassava Starch*. J. Appl. Polym. Sci.,81, 2803-2813.
- Nakason, C. Kaesaman, A and Ajinsamajarn, A. 2004. *The Grafting of Maleic Anhydride onto Natural Rubber*, Polym. Test. 23, 35-41.
- Patrie, E.M. (2006). *Rubber-to-Metal Bonding*. SpecialChem4Polymes, Jan 24, 2006, <http://www.specialchem4adhesives.com/resources/articles/article.aspx?r=home&id=1473>, Available on-line March 21, 2006.
- Pocous, A.V. 2002. *Adhesion and Adhesive Technology A Introduction*, Hanser Publisher, 185-196.
- Takayuki., S. 2004. *Preparation of Novel Polymer Having Cyclic Carbonate Group from Natural Rubber with Super Critical Carbon Dioxide*, Proceeding 2<sup>nd</sup> 21<sup>st</sup> Century COE International Symposium on Green Energy Revolution, 9-11 August, Bangkok, Thailand.

## แบบสรุปโครงการวิจัย

**สัญญาเลขที่** RDG4950121 **ชื่อโครงการ** การเตรียมไพรเมอร์เพื่อใช้ในการติดยางกับโลหะโดยใช้กราฟต์โพลีเมอร์ของยางธรรมชาติกับมาลิกแอนไฮไดรด์  
**หัวหน้าโครงการ** รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์ สถาบัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
**โทรศัพท์** 073 313930-50 ต่อ 1866 **โทรสาร** 073 331099 **E-mail:** [ncharoen@bunga.pn.psu.ac.th](mailto:ncharoen@bunga.pn.psu.ac.th)

### ความสำคัญ/ความเป็นมา

กาวที่ใช้ในการยึดติดระหว่างยางกับโลหะชนิดต่างๆ (เช่น เหล็ก สังกะสี ทองแดง และ อะลูมิเนียม เป็นต้น) มีปริมาณการใช้ที่ขยายตัวขึ้นมาก เนื่องจากการเพิ่มปริมาณการใช้ยางติดโลหะ (Rubber-to-metal composite) ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ การขนส่ง ก่อสร้าง และอุตสาหกรรมด้านการบิน เป็นต้น ซึ่งยางติดโลหะจะใช้เป็นส่วนประกอบ เช่น ชุดอุปกรณ์ที่ลดเสียงดังที่เกิดจากการเสียดสีหรือการชน ลดการสั่นหรือความเสียหายจากการสั่น ปกป้องความเสียหายจากการกระแทก และใช้ในการอุดรอยรั่วน้ำมันและของไหลต่างๆออกจากเครื่องหรือจากภาชนะเก็บ เป็นต้น หน้าที่ของกาวในกรณีนี้จะเป็นชั้นบางๆ เพื่อทำหน้าที่ให้เกิดผิวสัมผัสระหว่างยางกับโลหะที่นำมาติดกัน (Interfacial wetting contact) ในระดับโมเลกุล โดยการเปียกผิวทั้งสองชนิด แล้วทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวที่เป็นพันธะเคมีและแรงยึดเหนี่ยวเชิงฟิสิกส์ผสมผสานกัน ในการเตรียมกาวติดยางกับโลหะมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ กาวรองพื้นหรือไพรเมอร์ (Primer) หรือตัวให้แรงยึดติด (Adhesion promoter) เพื่อช่วยให้ผิวเปียกและเสริมความแข็งแรงของพันธะเคมี และ ส่วนกาวทาชั้นบน (Cover coat) เพื่อเป็นชั้นยึดติดกับยางคอมปาวด์และเสริมประสิทธิภาพในการยึดติดกับโลหะ

จากการศึกษาเบื้องต้น (เจริญ และคณะ 2548) พบว่าสามารถเตรียมกาวติดยางกับโลหะจากกราฟต์โพลีเมอร์ของยางธรรมชาติกับมาลิกแอนไฮไดรด์ได้และมีสมบัติการยึดติดของยางคอมปาวด์กับโลหะชนิดต่างๆ ได้ดี แต่มีปัญหาเรื่องการเตรียมสารไพรเมอร์ที่เหมาะสม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเน้นการเตรียมสารไพรเมอร์แล้วนำมาใช้กับสูตรกาวที่ให้สมบัติดีที่สุดจากงานวิจัยดังกล่าว โดยการศึกษาสมบัติการยึดติดกับคอมปาวด์ยางธรรมชาติกับโลหะ 3 ชนิด คือ ทองแดง เหล็ก และสังกะสี

### วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อเตรียมไพรเมอร์ที่เหมาะสมกับการใช้กับกาวติดยางกับโลหะที่เตรียมจากกราฟต์โพลีเมอร์ของยางธรรมชาติกับมาลิกแอนไฮไดรด์

| ผลที่ได้รับ                                                                                                                                                                                          | บรรลุมิติ<br>ประสงค์ข้อที่ | โดยทำให้                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. สามารถเตรียมไพรมอร์จากออกาโนไซเลนและยางคลอโรพรีน                                                                                                                                                  | 1                          | ได้ไพรมอร์เพื่อใช้ในกาวสารละลายยางธรรมชาติมาลิเอดในการติดประสานโลหะชนิดต่างๆกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์                                  |
| 2. ความเข้มข้นหรืออัตราส่วนที่เหมาะสมของสารประกอบออกาโนไซเลน (BTET:BTMA = 3:1 ในการติดประสานเหล็กและอลูมิเนียม และ = 1:1 ในการติดประสานกับทองแดง) และ และสภาวะการทดลองก่อนการใช้โลหะติดยางที่เหมาะสม | 1                          | ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมและสภาวะที่ทำให้การทาไพรมอร์จากสารประกอบออกาโนไซเลนและกาวที่เหมาะสม เพื่อให้ความแข็งแรงในการติดประสานสูงที่สุด |
| 3. ความเข้มข้นหรืออัตราส่วนที่เหมาะสมของสารละลายยางคลอโรพรีนกับฟีนอลิกเรซิน (CR/HRJ = 100:0) และสภาวะการทดลองก่อนการใช้โลหะติดยางที่เหมาะสม                                                          | 1                          | ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมและสภาวะที่ทำให้การทาไพรมอร์จากสารละลายยางคลอโรพรีนและกาวที่เหมาะสม เพื่อให้ความแข็งแรงในการติดประสานสูงที่สุด |
| 4. ระบบกาวยางติดโลหะที่มีความแข็งแรงกว่ากาวองค์ประกอบเดียวในทางการค้าแต่สมบัติด้อยกว่ากาวสององค์ประกอบ                                                                                               | 1                          | มีความจำเป็นต้องพัฒนาสมบัติให้เทียบเท่ากาวระบบสององค์ประกอบในทางการค้า                                                               |

| การประชาสัมพันธ์                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>กำลังเตรียม Manuscript เพื่อเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ</li> <li>เผยแพร่ในที่ประชุมวิชาการต่างๆที่จัดขึ้นในประเทศ</li> </ol> |