



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ สีเคลือบกันสนิมใต้ท้องรถจากยางธรรมชาติ

โดย อีรสุดา ประเสริฐ และคณะ
กันยายน 2551

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
โครงการ สืบเสาะกันสนิมใต้ท้องรถจากยางธรรมชาติ

คณะผู้วิจัย	สังกัด
ธีรสุดา ประเสริฐ	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์(ปัตตานี) อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000
นางสาวนุชจรี สุขใส	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์(ปัตตานี) อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000

ชุดโครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความคิดเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) สีเคลือบกันสนิมใต้ท้องรถจากยางธรรมชาติ
(ภาษาอังกฤษ) Anti-corrosion coating for vehicle underbody based on natural rubber

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail

ชื่อ-สกุล ชีรสุตา ประเสริฐ

หน่วยงาน ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่อยู่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์(ปัตตานี) อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000

โทรศัพท์/โทรสาร 073-312-213/ 073-331-099 E-mail pthirasu@bunga.pn.psu.ac.th

นักศึกษาผู้ร่วมวิจัย นางสาวนุชจรี สุขใส

งบประมาณทั้งโครงการ 102,000 บาท

ระยะเวลาดำเนินงาน 15 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2550 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2551

ปัญหาและความสำคัญของโครงการ

ความสูญเสียเนื่องมาจากการกัดกร่อนของโลหะใต้ท้องรถยนต์โดยเฉพาะในเขตที่มีพื้นที่ติดกับชาย ทะเล ที่มีมวลสารคลอไรด์เป็นตัวเร่งการกัดกร่อนมีมูลค่ามหาศาลในแต่ละปี การสูญเสียนี้สามารถลดลงได้ด้วยการเคลือบผิว เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะความชื้นในอากาศ สารเคลือบผิวใต้ท้องรถที่นิยมกันมาก คือ สีเคลือบผิวจากยางมะตอยแต่ต้องทำการเคลือบซ้ำทุกๆ 6 เดือน ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก และเนื่องจากการผลิตสีที่มีคุณภาพจำเป็นต้องนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศทำให้ประเทศเสียดุลการค้ามาโดยตลอด อีกทั้งข้อมูลด้านการทำสีเคลือบกันสนิมในประเทศไทยมีน้อยมากต้องอาศัยองค์ความรู้จากต่างประเทศเป็นหลัก จึงความสนใจในการนำวัตถุดิบใหม่ๆภายในประเทศมาแปรรูป ให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับและสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสีให้มากขึ้น ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลดี มีความทนทานต่อการฉีกขาดและการขีดสีสูง อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่นสูงและมีสมบัติการเหนียวติดที่ดี ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้ทำให้สามารถนำยางธรรมชาติมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สีเคลือบกันสนิมได้ดี

วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการหาแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์สีเคลือบกันสนิมใต้ท้องรถจากยางธรรมชาติโดยการออกแบบสูตร, ผลิต, และทดสอบสมบัติเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งาน

ผลการดำเนินการ

การศึกษาหาสูตรยางคอมปาวด์สำหรับทำสีเคลือบโลหะที่เหมาะสม โดยทำการศึกษายืดติดของสีเคลือบยางธรรมชาติต่อผิวรองรับเหล็กกล้า โดยการแปรชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่ช่วยในเรื่องการเหนียวติด คือ Coumarone Resin, Terpene resin และ phenolic resin โดยวิธีการทดสอบสีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยางมะตอยผสมสำหรับพ่นใต้ท้องรถยนต์ (มอก. 775-2531), วิธีการกรีดเป็นตาราง และวิธีการทดสอบการยึดติดกับโลหะของสีเคลือบโดยวิธีลอกแบบตัวที (T-peel test) พบว่า คิวเมอรอนเรซินเป็นสาร

เพิ่มการยึดติดในการเตรียมสีเคลือบที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากคิวเมโรเรซินมีสภาพแข็งสูง สามารถเกิดพันธะ และมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลกับผิวของโลหะที่มีความเป็นขี้ได้ดีกว่า ฟีนอลิกเรซิน และ ทอร์พีนเรซิน และ สำหรับการใช้สารเพิ่มการยึดติดร่วมกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไม่ช่วยให้ความสามารถในการยึดติดสูงขึ้น

เมื่อทำการศึกษาระดับที่เหมาะสมของสารเพิ่มการยึดติด โดยใช้คิวเมโรเรซิน ที่ 0, 6, 8, 10, 12 และ 20 phr ทดสอบด้วยวิธีการกริดเป็นตาราง และวิธีการทดสอบการยึดติดกับโลหะของสีเคลือบโดยวิธีปอกแบบตัวที่ พบว่าความสามารถในการยึดติดจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณสารยึดติด จนถึงที่ปริมาณ 10 phr ความสามารถในการยึดติดก็จะเริ่มคงที่ ซึ่งอาจเกิดจากสารเพิ่มการยึดติดจะไปเพิ่มความยึดติดระหว่างสีเคลือบกับผิวของโลหะตรงบริเวณพื้นผิวสัมผัสซึ่งมีพื้นที่จำกัด เมื่อใส่สารเพิ่มการยึดติดจนถึงระดับหนึ่งหลังจากนั้นค่าการยึดติดก็จะไม่สูงขึ้นอีก ทำให้ทราบว่าปริมาณสารเพิ่มความยึดติดที่เหมาะสมที่สุด คือ ปริมาณ 10 phr

เมื่อทำการศึกษาระบบการวัลคาไนซ์ของสีเคลือบยางพารา ทดสอบโดยวิธีการทดสอบสีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยางมะตอยผสมสำหรับพ่นได้ท้องรถยนต์ (มอก. 775-2531) พบว่าระบบการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมที่สุดคือระบบ Semi-EV โดยใช้ MBS เป็น primary accelerator และ TMTD เป็น secondary accelerator ซึ่งสีเคลือบยางพารามีสมบัติการทนความร้อน, การทนน้ำร้อน และการบ่มแรงที่ดีเมื่อเทียบกับแบบ CV เนื่องจากมีพันธะเชื่อมโยงแบบ disulfide และ monosulfide มากกว่า และมีสมบัติดึงเกล้านี้ใกล้เคียงกับระบบ EV ในขณะที่สมบัติด้านการยึดติดที่ทดสอบโดยวิธีการกริดเป็นตารางและวิธีการทดสอบการยึดติดกับโลหะของสีเคลือบโดยวิธีปอกแบบตัวที่ (T-peel test) น้อยกว่าแบบ CV แต่ในการนำสีเคลือบไปประยุกต์ใช้งานจริงจะคำนึงถึงความสามารถในการต้านทานต่อความร้อนมากกว่าด้านการยึดติด เนื่องจากเมื่อมีการเดินเครื่องยนต์ใต้ท้องรถนั้นจะมีอุณหภูมิสูงซึ่งน่าจะเป็นสภาวะที่สำคัญ

ศึกษาหาระยะเวลาการวัลคาไนซ์โดยสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สีเคลือบโดยการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิห้อง ภายใต้บรรยากาศปกติ โดยการวัดความต้านทานต่อแรงดึงและวัดองศาการบวมพองของแผ่นฟิล์มยางที่ได้ตามระยะเวลาที่ทิ้งไว้ในสภาวะอากาศปกติเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยง ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของสีเคลือบจะเพิ่มขึ้นตามเวลาระยะเวลาที่ทิ้งไว้ และค่าความต้านทานของสีเคลือบจะมีค่าสูงสุดเมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5 วัน (120 ชั่วโมง) หลังจากนั้นค่าความต้านทานต่อแรงดึงจะคงที่ ซึ่งมีผลสอดคล้องกับการทดสอบความทนทานต่อการบวมพองและการละลายในตัวทำละลาย พบว่าสีเคลือบกันสนิมเกิดการวัลคาไนซ์ได้อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิห้องใช้เวลาประมาณ 5 วัน

ศึกษาสมบัติความทนทานต่อการกัดกร่อนของสีเคลือบในสภาวะการใช้งานที่แตกต่างกัน คือ การแช่น้ำเกลือเข้มข้น (น้ำทะเล), การแช่น้ำ, และวางทิ้งไว้ในบรรยากาศที่ร่มติดชายทะเล พบว่า สีเคลือบจากยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ดีในสภาวะอากาศปกติบริเวณพื้นที่ติดชายทะเล แต่สำหรับการใช้งานในสภาวะที่แช่อยู่ในน้ำ หรือในสภาวะที่แช่อยู่ในน้ำเกลือสีเคลือบยังไม่สามารถต้านทานการผุกร่อนได้ดีมากนัก สีเคลือบเกิดการพอง (blister) ของฟิล์มเคลือบที่สังเกตเห็นได้ หากฟิล์มบริเวณที่พองเกิดรอยตำหนิหรือรูรั่วจะทำให้เกิดสนิมบริเวณนั้นๆ แต่หากฟิล์มบริเวณนั้นไม่พองจะไม่สังเกตเห็นสนิมเมื่อลอกฟิล์มออกภายหลังระยะเวลาที่ทำการทดสอบ (1 เดือน)

ศึกษาสมบัติความทนทานต่อการกัดกร่อนทางเคมีไฟฟ้า (Ecorr) และแบบ accelerated laboratory test โดยการใช้สเปรย์น้ำเกลือ (salt spray test) เพื่อหาปริมาณของสารตัวเติมด้านการกัดกร่อนที่มี Zn เป็นส่วนประกอบ โดยทำการศึกษา ZnO ซึ่งเป็นสารกระตุ้นที่ใช้ในการคอมเปาต์ยางโดยทั่วไปและ ZnS ซึ่งเป็นสารตัวเติมด้านการกัดกร่อน จากการทดสอบด้วยวิธีการวัดค่าการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้า พบว่า ZnO ที่ปริมาณ 10 phr และ ZnS ที่ปริมาณ 15 phr สามารถต้านทานการกัดกร่อนทางเคมีไฟฟ้าได้ดีที่สุดในสูตรยางสีเคลือบที่พัฒนาขึ้น

โดย ZnO ทำหน้าที่เป็นตัวกรองสารกัดกร่อนจำพวกกรด (acid corroding substances) ให้กลายเป็นกลาง ปฏิกริยาการเกิดสนิมจึงไม่เกิดขึ้น และ ZnS ที่ให้ Zn^{++} ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกลายเป็น $Zn(OH)_2$ ที่มีความเป็นด่าง (alkaline) และสามารถทำให้สารกัดกร่อนมีสภาพเป็นกลางได้ แต่ปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าของการทำงานร่วมกันของทั้งสองสารด้านการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นจริงยังไม่แน่ชัด และปริมาณ ZnO และ ZnS ที่มากเกินไปจะส่งผลให้สารเคมีบลูมที่ผิวอาจส่งผลให้การยึดติดผิวแยลงทำให้ประสิทธิภาพการต้านทานการกัดกร่อนลดลงได้ แต่การใส่ ZnO และ ZnS ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลกับการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะที่ก่อให้เกิดสนิม เนื่องจากปริมาณที่ใช้มีน้อยกว่าปริมาณที่สารทั้งสองจะทำหน้าที่เป็น pigment เพื่อเป็นชั้นปกป้องพื้นผิวแบบหนาแน่น

ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานตามมาตรฐาน มอก. 775-2531 ยางมะตอยผสมสำหรับพื้นใต้ท้องรถยนต์ โดยทดสอบเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์สีเคลือบที่มีขายในท้องตลาด โจตัน โคลทาร์อิพอกซี่ พบว่า สีเคลือบจากยางธรรมชาติมีสมบัติในการใช้งานผ่านตามมาตรฐานอุตสาหกรรมแต่ยังมีสมบัติโดยรวมที่ด้อยกว่าสีเคลือบทางการค้า ยกเว้นการต้านทานต่อการหักงอที่สีเคลือบจากยางธรรมชาติมีสมบัติดีกว่า เนื่องจากยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูงกว่า และหากเปรียบเทียบราคาสีเคลือบต่อแกลลอนพบว่าสีเคลือบจากยางธรรมชาติมีราคาถูกกว่าราคาสีเคลือบ โจตัน โคลทาร์อิพอกซี่ถึงหนึ่งเท่าตัว

สรุปผลการวิจัย

สูตรสีเคลือบกันสนิมใต้ท้องรถจากยางธรรมชาติที่เหมาะสม คือ ใช้คิวเมอโรนเรซิน 10 phr วัลคาไนซ์ ด้วยระบบ Semi-EV โดยใช้ MBS เป็น primary accelerator และ TMTD เป็น secondary accelerator ใส่ ZnO ที่ปริมาณ 10 phr และ ZnS ที่ปริมาณ 15 phr สามารถวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิปกติในระยะเวลา 5 วัน โดยสีเคลือบกันสนิมใต้ท้องรถจากยางธรรมชาติที่พัฒนาขึ้นมีสมบัติผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางมะตอยผสมสำหรับพื้นใต้ท้องรถยนต์ มอก. 775-2531 ทุกการทดสอบ

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติมและวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

ควรวิจัยเพิ่มเติมในเรื่องของการปรับปรุงสมบัติด้านการวัลคาไนซ์ให้สามารถวัลคาไนซ์ได้เร็วมากยิ่งขึ้น เพื่อให้การใช้งานสะดวกและรวดเร็ว ควรวิจัยเพิ่มเติมในการปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรงเพื่อป้องกันการฉีกขาดของฟิล์มยางเมื่อโดนสะกิดด้วยเศษหินหรือเศษมีคม เพราะการมีรอยตำหนิจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ความต้านทานต่อการกัดกร่อนด้อยลงอย่างมาก โดยอาจมีการเบลนด์พลาสติกที่เข้ากันได้กับยางธรรมชาติเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ศึกษาระยะเวลาการจุ่มของสีเคลือบยางธรรมชาติและทำการพัฒนาสูตรสีเคลือบยางธรรมชาติเพื่อให้จัดเก็บสีเคลือบได้นานกว่า 1 ปี และศึกษาเปรียบเทียบการเก็บสีแบบหนึ่งส่วนและแยกส่วนสารตัวเร่งทดลองเคลือบสียางธรรมชาติใต้ท้องรถและสังเกตความเปลี่ยนแปลงเพื่อตรวจสอบความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นจากสภาวะการใช้งานจริง

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

ใช้เพื่อเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการและถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับโรงงานผลิตสีที่สนใจเพื่อการผลิตในเชิงพาณิชย์

รหัสโครงการ: RDG 5050055
ชื่อโครงการ: สีเคลือบกันสนิมใต้ท้องรถจากยางธรรมชาติ
ชื่อนักวิจัย: วีรสุดา ประเสริฐ
สังกัด: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
โทรศัพท์: 073-313930-50 ต่อ 1862
E-mail: pthirasu@bunga.pn.psu.ac.th
ระยะเวลาโครงการ: 1 กรกฎาคม 2550 ถึง 30 กันยายน 2551

บทคัดย่อ

การพัฒนาสารเคลือบกันสนิมใต้ท้องรถยนต์จากยางธรรมชาติ เพื่อให้ได้สมบัติตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 775-2531: ยางมะตอยผสมสำหรับพื้นใต้ท้องรถยนต์ โดยได้ทำการศึกษาการใช้สารเคมีในการปรับปรุงสมบัติด้านการยึดติดกับผิวโลหะ และศึกษาหาระยะเวลาการวัลคาไนซ์ โดยสมบัติของผลิตภัณฑ์สีเคลือบที่อุณหภูมิห้อง ตลอดจนการป้องกันการสนิมภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างๆ ซึ่งยางธรรมชาติที่เลือกใช้คือยางแผ่นรมควันชั้น 3 และมีการใช้สารเพิ่มการติดประสานชนิดคิวเมอโรนเรซิน ที่ปริมาณ 10 phr เพื่อให้สีเคลือบมีความสามารถในการยึดติดกับผิวของโลหะได้ดี ส่วนระยะเวลาการวัลคาไนซ์โดยสมบัติของผลิตภัณฑ์สีเคลือบจากการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและการต้านทานต่อตัวทำละลายพบว่าสีเคลือบยางธรรมชาติใช้เวลาการวัลคาไนซ์ประมาณ 5 วัน สำหรับการศึกษากระบวนการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์สีเคลือบยางธรรมชาติ โดยทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 775-2531 และความสามารถในการติดประสานกับโลหะ พบว่ากระบวนการวัลคาไนซ์ทุกระบบให้ผลการทดสอบส่วนมากผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่ผลที่ได้พบว่ากระบวนการวัลคาไนซ์ระบบกึ่งประสิทธิภาพมีความเหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์สีเคลือบมากที่สุด โดยใช้กัมมะถัน 2.0 phr ร่วมกับ MBS 1.25 phr และ TMTD 0.5 phr ในการทดสอบการต้านทานสนิมภายใต้สภาวะที่แตกต่างคือ ที่สภาวะอากาศปกติ แสงในน้ำ และแสงในน้ำเกลือ พบว่าสีเคลือบจากยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ดีโดยไม่พบร่องรอยสนิมบนโลหะที่เคลือบยางธรรมชาติในสภาวะอากาศปกติ การศึกษาสารตัวเติมต้านทานการกัดกร่อน โดยความต้านทานการกัดกร่อนทางเคมีไฟฟ้าและสเปรย์น้ำเกลือ พบว่า การใช้ ZnO 10 phr และ ZnS 15 phr ให้ความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีแต่ปริมาณของสารตัวเติมเหล่านี้ไม่มีผลต่อความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจน และในการทดสอบเปรียบเทียบกับสีเคลือบโลหะทางการค้า โคลทาร์ อีพ็อกซี 82 พบว่าสีเคลือบจากยางธรรมชาติยังมีความทนทานต่อการใช้งานที่ต่ำกว่าสีเคลือบทางการค้า แต่จะมีคุณสมบัติความต้านทานต่อการหักงอที่ดีกว่าสีเคลือบทางการค้า

คำสำคัญ: การกัดกร่อน, ความต้านทานการกัดกร่อนทางเคมีไฟฟ้า, สเปรย์น้ำเกลือ, สีเคลือบยางธรรมชาติ

Project code: RDG 5050055
Project title: Anti-corrosion coating for vehicle underbody based on natural rubber
Investigator: Thirasuda Prasert
Telephone number: 073-313930-50 ext 1862
E-mail: pthirasu@bunga.pn.psu.ac.th
Project duration: 1 July 2007 to 30 September 2008

Abstract

This research aims to develop anticorrosion coating made from natural rubber to meet the Thai Industrial Standard (TISI 775-2531: Asphalt compound for automobile underbody coating) standard. Ribbed smoke sheet (RSS-3) was chosen for being used as base elastomer with varying ratio of additives. Influence of various tackifiers on adhesion strength on metal surface was studied. It was found that at 10 phr of coumarone resin gave the best adhesion strength. Total vulcanization time at room temperature of natural rubber coating tested via swelling and tensile test was found to be 5 days. The effects of vulcanization systems on mechanical, physical and adhesion properties were studied. All vulcanization systems passed the TISI standard requirements, but semi-efficient vulcanization system by using 2.0 phr of sulfur with 1.25 phr of MBS and 0.5 phr of TMTD exhibited the best overall properties. An assessment of the anticorrosion performance of anticorrosive natural rubber coating under different environment was evaluated. The results revealed that natural rubber coating performed well under ambient condition but showed some corrosion under concentrated salt solution and soaking condition. This study also describes the evaluation of corrosion resistant behavior of zinc pigments in natural rubber coating by electrochemical corrosion measurement, salt spray test and O₂/H₂O permeability test. Performance of natural rubber coating as compared to commercial coating Jotan Coal Tar Epoxy 82 was investigated. The results indicated that natural rubber coating was overall inferior to commercial coating but has better flexing resistance.

Keywords: corrosion, electrochemical corrosion measurement, natural rubber coating, salt spray test

1. ความสำคัญของโครงการ

แม้ทุกวันนี้ประเทศไทยจะผลิตยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลก คือประมาณ 3 ล้านตัน/ปี มีการส่งออกในรูปวัตถุดิบถึง 90% แต่ใช้แปรรูปแค่เพียง 10% ของกำลังการผลิตทั้งหมด ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าเสียดายมากที่ประเทศไทยยังไม่สามารถใช้ประโยชน์จากทรัพยากรนี้ได้อย่างเต็มที่ เมื่อพิจารณาอย่างดิบที่ส่งออก 90% ทำเงินได้ 1.4 แสนล้านบาทและผลิตภัณฑ์ยาง 10% ทำรายได้ 1.2 แสนล้านบาท จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ยางที่มีเพียงแค่ 10% สามารถทำเงินได้ใกล้เคียงกับยางดิบ[1] จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการเร่งให้มีการพัฒนากลุ่มอุตสาหกรรมอย่างจริงจัง อีกทั้งการศึกษาวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์เป็นผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาตินั้นมีอยู่น้อยมาก ทำให้ประเทศไทยเสียโอกาสที่จะเพิ่มมูลค่าอย่างมหาศาล เพื่อเป็นการเจียรไนยางธรรมชาติให้เกิดมูลค่าสูงสุดจึงควรส่งเสริมการคิดค้นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆจากยางธรรมชาติที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับสู่ท้องตลาด

ความสูญเสียเนื่องมาจากการกัดกร่อนของโลหะใต้ท้องรถยนต์โดยเฉพาะในเขตที่มีพื้นที่ติดกับชาย ทะเล ที่มีมวลสารคลอไรด์เป็นตัวเร่งการกัดกร่อนมีมูลค่ามหาศาลในแต่ละปี ทั้งที่เป็นการซ่อมแซม บำรุงรักษาและการรีไซเคิลทดแทน ส่วนที่ชำรุดเสียหายไม่อาจใช้การได้อีกต่อไป การสูญเสียนี้สามารถลดลงได้ด้วยการปรับปรุงสมบัติของโลหะและการเคลือบผิวเพื่อป้องกันไม่ให้โลหะสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะออกซิเจนและความชื้นในอากาศ การเคลือบผิวพอลิเมอร์ลงบนโลหะ เป็นการป้องกันการเกิดสนิมของโลหะได้และเป็นวิธีที่สะดวกและได้รับความนิยมสูงเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ง่ายและมีราคาไม่แพง สารเคลือบผิวใต้ท้องรถที่นิยมกันมากในประเทศไทย คือ สารเคลือบผิวจากยางมะตอย แต่ยังไม่สามารถป้องกันสนิมได้ตลอดอายุการใช้งานทำให้ต้องทำการเคลือบซ้ำทุกๆ 6 เดือน ทำให้เสียเวลา และค่าใช้จ่ายเป็นอย่างมาก และสารเคลือบผิวกันสนิมอีพอกซีที่มีเฉพาะการนำเข้าจากต่างประเทศทำให้มีราคาขายในท้องตลาดที่แพงและยังต้องอาศัยความรู้ความชำนาญในการเคลือบลงบนผิวโลหะ

เมื่อพิจารณาสภาพการส่งออกนำเข้าสิ พบว่าประเทศไทยขาดดุลการค้าต่างชาติเป็นมูลค่า 4000 ล้านบาทต่อปี[2] ได้สะท้อนให้เห็นถึงความต้องการใช้สินภายในประเทศยังคงมีอยู่มากมาย โดยเฉพาะสินที่มีคุณภาพในตลาดบนซึ่งไม่สามารถผลิตตอบสนองความต้องการได้อย่างเพียงพอ เนื่องจากการผลิตสินที่มีคุณภาพจำเป็นต้องนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ ทำให้เกิดความเสี่ยงในเรื่องของอัตราแลกเปลี่ยนที่ไม่แน่นอน นอกจากนี้ สิ่งที่ยากที่สุดในการผลิต คือการค้นหาลู่ทางผสมของสารเคมีชนิดต่างๆที่ใช้ในการผลิตสินที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้ ซึ่งกระบวนการวิจัยต้องใช้ต้นทุนสูง อีกทั้งข้อมูลด้านการทำสีเคลือบกันสนิมในประเทศไทยมีน้อยมากต้องอาศัยองค์ความรู้จากต่างประเทศเป็นหลัก โดยเฉพาะการเคลือบผิวโลหะด้วยยางธรรมชาติ จากเหตุผลข้างต้นทำให้เกิดความสนใจในการนำวัตถุดิบใหม่ๆภายในประเทศมาแปรรูป ให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับและสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสีให้มากขึ้น

ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สีเคลือบ โดยทั่วไปการเคลือบสีโลหะ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมยานยนต์หรืออุตสาหกรรมก่อสร้าง ก็เพื่อเป็นการป้องกันการผุกร่อนของโลหะ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนเป็นออกไซด์อันเป็นการรวมตัวกันของโลหะกับออกซิเจนที่มีความชื้นช่วยเร่งปฏิกิริยา การเคลือบผิวโลหะด้วยพอลิเมอร์ที่มีความสามารถกันน้ำและอากาศเป็นการป้องกันการสัมผัสระหว่างผิวโลหะกับความชื้นซึ่งเป็นสาเหตุการผุกร่อนได้ ซึ่งยางธรรมชาติมีสมบัติดังกล่าวและยังมีสมบัติเชิงกลดี มีความทนทานต่อการฉีกขาดและการขัดสีสูง อีกทั้งยังมีความยืดหยุ่นสูงและมีสมบัติการเหนียวติดที่ดี ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของผลิตภัณฑ์สีเคลือบอีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้ทำให้สามารถนำยางธรรมชาติมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สีเคลือบกันสนิมได้ดี โดยความรู้ที่ได้จากงานวิจัยจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้และพัฒนาระดับอุตสาหกรรม

2. ทางเลือกและแนวทางการแก้ปัญหา

การเคลือบกันสนิมโลหะโดยการเคลือบพอลิเมอร์ (organic coatings) เป็นวิธีที่นิยมกันมาก โดยชั้นผิวพอลิเมอร์จะทำหน้าที่เป็นชั้นปกป้องพื้นผิวโลหะจากสารละลายที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน (corrosive solution) หรือสารอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) มันจะทำหน้าที่เคลือบผิวเพื่อป้องกันและยับยั้งการแลกเปลี่ยน electrochemical charge จาก corrosive solution ไปที่พื้นผิวของโลหะข้างใต้ผิวพอลิเมอร์ ซึ่งสารเคลือบผิวโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบสำคัญ 4 ส่วน คือ ตัวเชื่อมประสาน (binder) ของเหลวพาพา (carrier) ผงสี (pigment) และสารเติมแต่ง (additive) ในงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติเป็นตัวเชื่อมประสานซึ่งจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักให้กับสีเคลือบสร้างตัวเป็นชั้นฟิล์มบาง ๆ เคลือบทับเม็ดสีบนพื้นผิวเมื่อของเหลวพาพาระเหยออกและเกิดการวัลคาไนซ์เพื่อให้สมบัติเชิงกลดีเพียงพอที่จะทำหน้าที่ปกป้องพื้นผิวโลหะจากสิ่งแวดล้อมภายนอกที่จะเกิดการกัดกร่อนได้ อีกทั้งยังมีการเสริมประสิทธิภาพด้วยสารเติมแต่งที่มีสังกะสีเป็นส่วนประกอบซึ่งมีสมบัติด้านการต้านทานต่อการเกิดสนิม (anticorrosion) เช่น zinc sulfide และ zinc oxide เป็นต้น เนื่องจากสีดำเป็นสีที่นิยมใช้เคลือบกันสนิมได้ทั้งรถ จึงมีแนวทางที่จะใช้เซมาดำที่สามารถใช้เป็นสารเสริมประสิทธิภาพและยังมีความสามารถในการต้านทานต่อแสงแดดและสภาวะแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นออกแบบสูตรผสมของสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ผลิตสีเคลือบยางธรรมชาติกันสนิมที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้และสามารถนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมประเภทสีเคลือบกันสนิมได้ทั้งรถ ในขั้นต้นจะเป็นการศึกษาชนิดและปริมาณของสารเคมีที่มีผลต่อสมบัติของสีเคลือบยางธรรมชาติเพื่อออกแบบ สูตรยางให้เหมาะสมกับการใช้งาน สมบัติที่ศึกษามีดังนี้ ความทนทานต่อการขีดสี ความทนทานความร้อน น้ำร้อน ความแข็งแรง ความทนทานต่อน้ำมัน และความชื้น เป็นต้น ซึ่งจะเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมสีเคลือบกันสนิมได้ทั้งรถ[3] ในการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ข้างต้น และทำการศึกษาการวัลคาไนซ์ของผลิตภัณฑ์สีเคลือบยางธรรมชาติเพื่อหาเวลาที่มีการวัลคาไนซ์สูงสุด พร้อมทั้งปรับปรุงสูตรสีเคลือบยางธรรมชาติให้มีเวลาการวัลคาไนซ์น้อยที่สุดหลังจากเคลือบบนผิวโลหะแล้ว และท้ายสุดคือการศึกษเปรียบเทียบสมบัติการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะโดยแบ่งการทดสอบเป็น accelerated laboratory tests โดยการใช้ salt spray test, การแช่น้ำเกลือเข้มข้น, วางทิ้งไว้ในบรรยากาศ โดยเปรียบเทียบระหว่างสีเคลือบยางธรรมชาติ, สีเคลือบยางมะตอย และสีเคลือบพอลิเมอร์คุณภาพสูง เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงสูตรต่อไป

3. วิธีการดำเนินการ

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ยางธรรมชาติSTR 5L (Natural Rubber) ผลิตโดยบริษัท ถาวรอุตสาหกรรมยางแห่ง จำกัด ยางธรรมชาติชนิดยางแผ่นรมควันชั้น 3 ผลิตโดยสหกรณ์บ้านควนบันแต จ. พัทลุง กรดสเตียริก (Stearic acid) ผลิตโดยบริษัท อิมพีเรียลอินดัสตรีเคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) กำมะถัน (Sulphur) เอ็น-(1,3-ไดเมทิลบิวทิล)-เอ็น-เฟนิล-พี-เฟนิลีนไดอามีน (N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine, 6PPD) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) โดยบริษัท เพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด คิวเมอรอนเรซิน (Coumarone Resin) ฟีนอลิกเรซิน [hydroxymethyl (methylol) groups,HRJ-10518] เทอร์พีนเรซิน (Terpene Resin) โดยบริษัท ไทยรุ่งเคมีภัณฑ์ จำกัด สารตัวเร่ง TMTD สารตัวเร่ง MBS สารต้านการเกิดออกซิเดชัน 6 PPD ซิงค์-เอ็น-ไดเอทิล ไดไทโอคาบาเมท (Zinc-N-diethyl dithiocabamate, ZDEC) ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd ประเทศเยอรมัน ซิงค์ซัลไฟด์ (Zinc sulfide, ZnS) ผลิตโดย บริษัทห้างหุ้นส่วนจำกัด บอส ออฟติคอลล เซมาดำชนิด High Abrasion

Furnace Black (HAF) เกรด N330 ผลิตโดยบริษัท ไทยคาร์บอนแบล็ค (มหาชน) 2,2,4-ไตรเมทิล-1,2-ไดไฮโดรควิโนน (2,2,4-Trimethyl-1,2-dihydroquinone, TMQ) ผลิตโดยบริษัท flexys โทลูอีน (Toluene, C₇H₈) ผลิตโดยบริษัท Lab Scan Asia Co.,Ltd. สารเคมีทุกตัวถูกนำไปใช้ตามที่รับมา

3.2 การเตรียมยางคอมปาวด์สำหรับทำสีเคลือบโลหะ

สามารถเตรียมขึ้นโดยผสมยางและสารเคมีโดยใช้เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) แล้วตัดยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้เป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไปละลายในตัวทำละลาย (ทูโลอีน) ในสัดส่วน ยาง 1 ส่วน ต่อตัวทำละลาย 4 ส่วน เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำไปกวนด้วยเครื่องกวนกาวอีก 3 ชั่วโมง ด้วยความเร็ว 210 รอบต่อนาที

เตรียมยางคอมปาวด์เพื่อทดสอบหาชนิดของสารเพิ่มความยึดติดที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.1 สูตรยางคอมปาวด์แปรชนิดของสารเพิ่มความยึดติด

สารเคมี	ปริมาณ (phr)					
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6
RSS3	100	100	100	100	100	100
HAF N330	25	25	25	25	25	25
TiO ₂	20	20	20	20	20	20
ZnO	10	10	10	10	10	10
Stearic acid	2	2	2	2	2	2
คิวเมอโรนเรซิน	10	-	-	5	5	-
ฟีนอลิกเรซิน	-	10	-	5	-	5
เทอร์ฟีนเรซิน	-	-	10	-	5	5
MBS	1	1	1	1	1	1
TMTD	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
กำมะถัน	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
6PPD	2	2	2	2	2	2
TMQ	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

การทดสอบการซึมผ่านไอน้ำ (Permeability to water vapor)

ตามมาตรฐาน ASTM E 96 เตรียมสียีนรูปของแผ่นฟิล์มโดยเทบนแผ่นกระจกให้มีความหนา 0.3 มม. อบโดยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ลอกออกจากกระจกตัดเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตรนำซิลิกาเจลใส่ชุดทดสอบในปริมาตร ¾ ของความจุ อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ประกอบแผ่นฟิล์มที่เตรียมไว้เข้ากับชุดทดสอบ ซึ่งหาหน้าหนักเริ่มต้นด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำชุดทดสอบไปวางในเดสซิเคเตอร์ที่มีน้ำบรรจุอยู่ด้านล่าง 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งหาหน้าหนักที่เปลี่ยนไปทุกๆ 24 ชั่วโมงจนกระทั่งน้ำหนักคงที่จึงนำมาวิเคราะห์ผล

$$\text{Permeability} = \text{mg(permeant)} \times \text{mm(film thickness)} / [\text{cm}^2(\text{surface}) \times \text{hr}(\text{time})]$$

เตรียมยางคอมปาวด์เพื่อทดสอบหาปริมาณของสารเพิ่มความยึดติดที่เหมาะสม
 ตารางที่ 3.2 สูตรยางคอมปาวด์แปรปริมาณของสารเพิ่มความยึดติด

สารเคมี	ปริมาณ (phr)					
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6
RSS3	100	100	100	100	100	100
HAF N330	25	25	25	25	25	25
TiO ₂	20	20	20	20	20	20
ZnO	10	10	10	10	10	10
Stearic acid	2	2	2	2	2	2
Coumarone Resin	0	6	8	10	12	20
MBS	1	1	1	1	1	1
TMTD	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
กำมะถัน	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
6PPD	2	2	2	2	2	2
TMQ	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

เตรียมยางคอมปาวด์เพื่อทดสอบหาระบบวัลคาไนซ์ที่เหมาะสม
 ตารางที่ 3.3 สูตรยางคอมปาวด์แปรระบบการวัลคาไนซ์

สารเคมี	ปริมาณ (phr)		
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
RSS3	100	100	100
HAF N330	25	25	25
TiO ₂	20	20	20
ZnO	10	10	10
Stearic acid	2	2	2
คิวเมอโรนเรซิน	10	10	10
MBS	1	1.25	2.00
TMTD	0.25	0.50	0.75
กำมะถัน	2.5	2.0	1
6PPD	2	2	2
TMQ	1.5	1.5	1.5

ตารางที่ 3.4 สูตรยางคอมเพาวด์แปรปริมาณ ZnO และ ZnS

สารเคมี	ปริมาณ (phr)					
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6
RSS3	100	100	100	100	100	100
HAF N330	25	25	25	25	25	25
TiO ₂	20	20	20	20	20	20
ZnO	5	10	15	10	10	10
ZnS	0	0	0	5	10	15
Stearic acid	2	2	2	2	2	2
Coumarone Resin	10	10	10	10	10	10
MBS	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
TMTD	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
กำมะถัน	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
6PPD	2	2	2	2	2	2
TMQ	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

3.3 การทดสอบสี่เหลี่ยมกันสนิม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 775-2531[3]

3.3.1 ความหนาแน่น

คนตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถ่ายตัวอย่างลงในถ้วยที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้วจนล้น พยายามอย่าให้เกิดฟองอากาศ ใช้โลหะสันตรงปาดส่วนที่เกินจากปากกระบอก เช็ดตัวอย่างส่วนที่ล้นอยู่ด้านนอกกระบอก แล้วชั่ง วิธีการคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่น} = m/v$$

เมื่อ m คือ น้ำหนักของตัวอย่าง เป็นกรัม

V คือ ปริมาตรของตัวอย่าง เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

3.3.2 กากที่เหลือจากการระเหย

ชั่งตัวอย่างประมาณ 10 กรัม ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม ใส่ลงในชามโลหะ อบที่อุณหภูมิ 163 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดสิเคเตอร์ ชั่งแล้วอบซ้ำนานครั้งละ 1 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักต่างกันไม่เกิน 0.05 กรัม วิธีคำนวณ

$$\text{กากที่เหลือจากการระเหย} = (m_1/m_2) \times 100$$

เมื่อ m_1 คือ น้ำหนักของกากที่เหลือจากการระเหย เป็นกรัม

m_2 คือ น้ำหนักของตัวอย่าง เป็นกรัม

3.3.3 การไหลและการแห้งที่ผิว

พ่นตัวอย่างลงในช่องว่างของแผ่นโลหะ ใช้แผ่นโลหะที่แห้งสะอาดตรงกลางมีช่องว่างขนาด 100x100mm ให้มีความหนาเท่ากับช่องของแผ่นโลหะ ยกแผ่นโลหะออกทันที ชีตเส้นทำเครื่องหมายไว้บนแผ่นโลหะเพื่อแสดงขอบของตัวอย่าง ค่อยๆยกแผ่นทดสอบขึ้นตั้งในแนวตั้ง โดยให้เส้นที่ทำเครื่องหมายไว้อยู่ด้านล่างในแนวระดับ ผึ่งแผ่นทดสอบไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดระยะที่ตัวอย่างไหลออกนอกเส้นที่ทำเครื่องหมายไว้เป็นมิลลิเมตร วัดระยะเวลาหลังจากพ่นตัวอย่างเสร็จ จนถึงเมื่อใช้นิ้วแตะผิวตัวอย่างเบาๆ แล้วตัวอย่างไม่ติด นิ้วมือขึ้นมาตรวจดูฟิล์ม

3.3.4 ความทนความร้อน

ทาตัวอย่างลงบนแผ่นเหล็กขนาดกว้างด้านละ 150 มิลลิเมตร หนา 0.8 มิลลิเมตร ให้ได้ความหนาของฟิล์มประมาณ 1.6 มิลลิเมตร อบแผ่นทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที โดยวางแผ่นทดสอบในแนวระดับและคว่ำให้ฟิล์มอยู่ด้านล่าง นำออกมาตรวจดูฟิล์ม

3.3.5 ความทนน้ำมัน

เตรียมแผ่นทดสอบ(150x150x0.8 มิลลิเมตร เคลือบสีหนา 1.6 มิลลิเมตร) ตั้งแผ่นทดสอบให้แช่อยู่ในน้ำมันเครื่องชนิด SAE 40 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำออกมาทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ตรวจดูฟิล์ม

3.3.6 ความทนน้ำร้อน

แช่แผ่นทดสอบในน้ำที่มีอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วตรวจดูฟิล์ม

3.3.7 ความทนต่อการหักงอ

ดัดโค้งแผ่นทดสอบโดยใช้เวลาประมาณ 5 วินาทีให้เป็นมุม 180 องศา บนแกนทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร โดยให้ฟิล์มอยู่ด้านนอก แล้วตรวจดูฟิล์ม

3.3.8 ความทนการสะกิด

วางแผ่นทดสอบให้ห่างจากปลายท่อเครื่องทดสอบการสะกิด 25 มิลลิเมตร เอียงเป็นมุม 45 องศา เทแป้นเกลียวลงไปจนหมด 10 กิโลกรัม แล้วตรวจดูฟิล์ม

3.3.9 การบ่มเร่ง

อบแผ่นทดสอบในตู้อบซึ่งควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 ชั่วโมง แล้วนำแผ่นทดสอบมาทดสอบการสะกิด แล้วตรวจดูฟิล์ม

3.3.10 ความทนทานต่อการกัดกร่อน

ทาตัวอย่างลงบนแผ่นเหล็กขนาดกว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 170 มิลลิเมตร หนา 0.8 มิลลิเมตร ให้ได้ความหนาของฟิล์มประมาณ 1.6 มิลลิเมตร ใช้มีดกรีดฟิล์มตามแนวทะแยงมุมจนถึงผิวเหล็ก แช่ในน้ำเกลือเป็นเวลา 800 ชั่วโมง แล้วใช้มีดแซะหนา 2 มิลลิเมตร กว้าง 20 มิลลิเมตร แซะฟิล์มออก แล้วตรวจสอบภาวการณ์กัดกร่อนบนแผ่นเหล็ก โดยวัดระยะการกัดกร่อนจากรอยกรีดบนแผ่นเหล็ก

3.4 การทดสอบการยึดติดกับโลหะของสีเคลือบโดยวิธีลอกแบบตัวที (T-peel test)

โดยเตรียมชิ้นทดสอบมาตรฐานซึ่งเป็นชิ้นโลหะที่ทำความสะอาดโดยการพ่นทราย แล้วเคลือบด้วยสีเคลือบที่เตรียมขึ้นสูตรต่างๆ มีความกว้าง 1 นิ้ว มีส่วนที่แยกออกจากกันเพื่อให้เป็นด้านจับของ grip ของเครื่อง

ทดสอบด้านละ 4.5 นิ้ว และให้ส่วนที่จะทดสอบการยืดติดยาว 2.5 นิ้วนำไปทดสอบด้วยเครื่อง Tensometer โดยกำหนดความเร็วในการดึงตามมาตรฐานที่ 254 มม./นาที (10 นิ้ว/นาที) แล้วทำการทดสอบ

3.5 การทดสอบสีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยวิธีการกรีดเป็นตาราง (มอก.285 47-2540)

กรีดสีเคลือบเป็นตาราง แต่ละแนวให้กรีดด้านละ 6 เส้นระยะห่างระหว่างเส้นให้ห่าง 1 มิลลิเมตร ทุกเส้นที่กรีดต้องให้ทะลุผิวเคลือบจนถึงผิวแผ่นทดสอบ ตัดเทปกาวใสให้มีความยาว 75 มิลลิเมตร ใช้นิ้วมือกดแถบกาวใสให้เรียบเป็นความยาวอย่างน้อย 20 มิลลิเมตร แล้วดึงออกจังหวะเดียวภายในเวลา 0.5 ถึง 1.0 วินาที โดยให้ทำมุมใกล้เคียงกับมุม 60 องศา เปรียบเทียบผลการทดสอบกับภาพอ้างอิง ซึ่งจำแนกเป็น 6 ระดับ แล้วประเมินและจัดระดับ

3.6 การหาระยะเวลาการวัลคาไนซ์โดยสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สีเคลือบที่อุณหภูมิห้อง

3.6.1 ทดสอบด้วยวิธีหาความต้านทานต่อแรงดึง

โดยนำตัวอย่างสารละลายตัวอย่างสีเคลือบมาเทลงบนภาตเหล็ก โดยให้สารละลายตัวอย่างมีความหนาประมาณ 120 ไมโครเมตร (ความหนามาตรฐานของสีเคลือบ) จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) ทำขึ้นทดสอบโดยกรีดแล้วลอกสีเคลือบออกมาจากภาตเหล็ก นำไปตัดด้วยเครื่องตัดให้เป็นรูปดัมเบล (ทำขึ้นทดสอบในช่วงเวลาต่างกันคือช่วงเวลา 1-7 วัน) เพื่อนำมาทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงโดยใช้ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตร/นาที ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อแรงดึงของสีเคลือบ เพื่อหาเวลาที่สีเคลือบจะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุดหรือการวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์นั่นเอง

3.6.2 ทดสอบด้วยวิธีหาความต้านทานต่อตัวทำละลาย

ในการทดสอบทำโดยจุ่มแวนเหล็กลงในสีเคลือบตัวอย่าง (เลือกใช้แวนเหล็กเพื่อให้ง่ายต่อการทดสอบ จากนั้นปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องที่เวลาต่างกัน (ห่างกัน 1 วัน) แล้วนำมาแวนเหล็กที่เคลือบด้วยสีเคลือบตัวอย่างมาทดสอบการละลายในตัวทำละลาย (ทูโลอิน) โดยการแช่ไว้ในตัวทำละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลง โดยจะต้องทดสอบจนกว่าสีเคลือบจะไม่เกิดการละลาย ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงการวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์

3.7 ทดสอบการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้า (Corrosion Potential)

ตามมาตรฐาน ASTM G 3 เตรียมแผ่นเหล็กที่ทำความสะอาดโดยการพ่นผงเหล็กแล้ว กว้าง 1 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว ตัวอย่างละ 3 ชิ้น นำไปพ่นสีเคลือบเพียงอย่างเดียวโดยมีความหนา 0.6 มม.ทดสอบวัดค่าอัตราการกัดกร่อนของวัสดุในสิ่งแวดล้อมโดยการจำลองสภาวะการใช้งานจริงโดยอาศัยหลักการผ่านกระแสไฟฟ้าให้ระบบด้วยวิธีเคมีไฟฟ้าเป็นเวลา 3600 วินาที และใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการประมวลผล เซลล์ที่ใช้จะเป็นแบบ working electrode สำหรับการกัดกร่อนที่อุณหภูมิห้อง Ag/AgCl เป็นขั้วอ้างอิง และ counter electrode เป็นขั้วที่สาม การทดสอบจะวัดค่าศักย์ไฟฟ้าสุดท้ายในการวิเคราะห์ผลในการกัดกร่อน

3.8 การทดสอบการกัดกร่อนด้วยการสเปรย์น้ำเกลือ (Salt Spray)

ตามมาตรฐาน JIS Z 2371:2000 นำแผ่นเหล็ก ขนาดกว้าง 1.5 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว มาตัวอย่างละ 6 ชิ้น เตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการทดสอบการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้า กรีดให้เป็นรอยกากบาทยาว 6 นิ้วบนตัวอย่างสามชิ้นแรก แล้วนำไปวางบนตะแกรงทองเหลืองที่ทำมุม 15 องศาบนแวนระนาบในเครื่องทดสอบสเปรย์น้ำเกลือที่ฉีดพ่นต่อเนื่องไว้เป็นเวลา 1 เดือน (720 ชั่วโมง) แล้วจึงวิเคราะห์ผล โดยการดูลักษณะสนิมที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นตัวอย่างทั้งแบบกรีด และไม่กรีด

4. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 การทดสอบหาสูตรยางคอมปาวด์สำหรับทำสีเคลือบโลหะที่เหมาะสม

ทดสอบหาชนิดของสารเพิ่มความยึดติดที่เหมาะสม

เตรียมยางคอมปาวด์สำหรับทำสีเคลือบโลหะตามตาราง 3.1 โดยแปรชนิดของสารเพิ่มความยึดติด 3 ชนิด ได้แก่ คิวเมอโรนเรซิน, ฟีนอลิกเรซิน และเทอร์พีนเรซิน แล้วนำมาทดสอบการยึดติดโดยวิธีการทดสอบสีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยางมะตอยผสมสำหรับพื้นใต้ท้องรถยนต์ (มอก. 775-2531) วิธีการกรีดเป็นตาราง และวิธีการทดสอบการยึดติดกับโลหะของสีเคลือบโดยวิธีลอกแบบตัวที่ (T-peel test) เพื่อหาชนิดของสารเพิ่มความยึดติดที่เหมาะสมที่สุด

การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยวิธีการกรีดเป็นตาราง

ทำการทดลองโดยวิธีการกรีดเป็นตารางโดยทดสอบสูตรละ 3 ตัวอย่าง พบว่าชนิดของสารเพิ่มการยึดติดที่แตกต่างกันส่งผลให้ได้ผลการทดสอบในระดับที่ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงระดับผลการทดสอบโดยวิธีการกรีดเป็นตารางของสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิด

ชนิดของสารเพิ่มการยึดติด	ระดับของผลการทดสอบของแต่ละสูตร		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
คิวเมอโรนเรซิน	1	2	1
ฟีนอลิกเรซิน	3	3	4
เทอร์พีนเรซิน	3	3	2
คิวเมอโรนเรซิน + ฟีนอลิกเรซิน	3	5	3
คิวเมอโรนเรซิน + เทอร์พีนเรซิน	5	4	3
ฟีนอลิกเรซิน + เทอร์พีนเรซิน	4	4	5

0 = ตีมาก, 1 = ตี, 2 = ตีปานกลาง, 3 = พอใช้, 4 = แย่, 5 = แย่มาก

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นผลการทดสอบหาสารเพิ่มการยึดติดที่เหมาะสมโดยวิธีการกรีดเป็นตาราง จากผลการทดลองการใช้คิวเมอโรนเรซินเป็นสารเพิ่มการยึดติดแบบเดียวนั้นจะให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด คือ มีระดับการทดสอบอยู่ที่ระดับ 1 (ผิวเคลือบหลุดลอกเล็กน้อยที่ตำแหน่งเส้นตัดกันการหลุดลอกไม่เกินร้อยละ 5 ของพื้นที่ตาราง) และ 2 (ผิวเคลือบหลุดลอกเป็นสะเก็ดชั้นใหญ่ตามขอบเส้นบางส่วนหรือหมดทุกส่วน และช่องตารางต่างๆ หลุดลอกเกินร้อยละ 5 แต่ไม่เกินร้อยละ 15 ของพื้นที่ตาราง) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการที่คิวมาโรนเรซินมีสภาพขั้วสูง[4] สามารถเกิดพันธะและมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลกับผิวของโลหะที่มีความเป็นขั้วได้ ดีกว่า ฟีนอลิกเรซินและเทอร์พีนเรซิน ดังนั้นเมื่อทดสอบความสามารถในการยึดติดด้วยวิธีการกรีดตารางจึงเกิดการหลุดล่อนของสีเคลือบน้อยที่สุด และสำหรับการใช้สารเพิ่มการยึดติดร่วมกัน ผลการทดลองก็แสดงให้เห็นว่าไม่ช่วยให้ความสามารถในการยึดติดสูงขึ้น

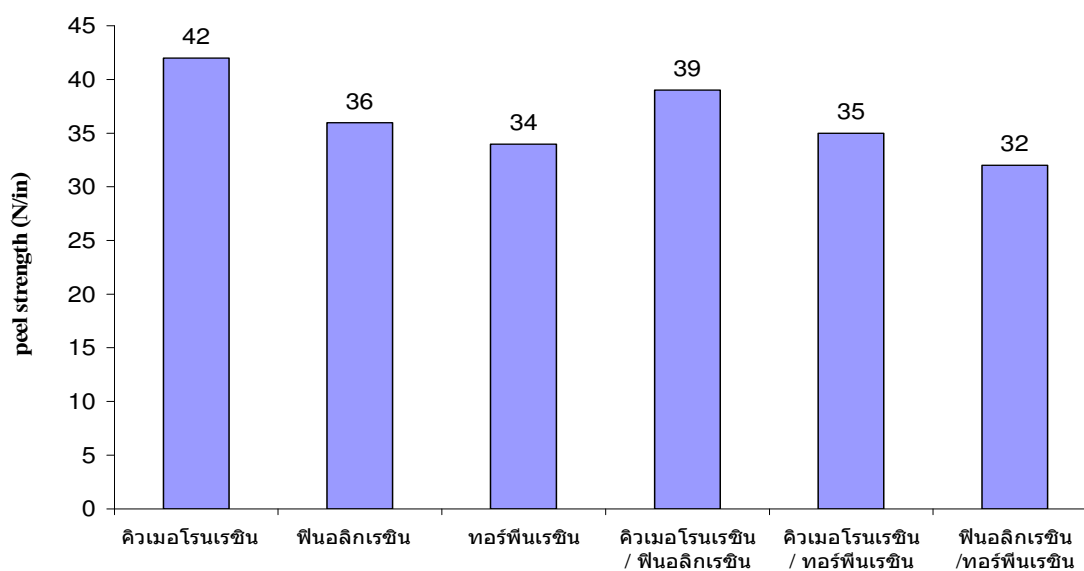
การทดสอบการยึดติดกับโลหะของสีเคลือบโดยวิธีปอกแบบตัวที่ (T-peel test)

จากการทดสอบด้วยเครื่อง Tensometer เพื่อเปรียบเทียบการใช้สารเพิ่มการยึดติดที่ต่างกันได้ค่า Peel strength ที่แตกต่างกันดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า Peel strength สูงสุดของสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิด

ชนิดของสารเพิ่มการยึดติด	Peel strength (N/in)
คิวเมอโรนเรซิน	42
ฟีนอลิกเรซิน	36
ทอร์พีนเรซิน	34
คิวเมอโรนเรซิน + ฟีนอลิกเรซิน	39
คิวเมอโรนเรซิน + ทอร์พีนเรซิน	35
ฟีนอลิกเรซิน + ทอร์พีนเรซิน	32

จากตารางที่ 4.2 สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง Peel strength กับชนิดของสารเพิ่มการยึดติดได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงค่า Peel strength สูงสุดของสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิด

จากตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.1 เป็นการทดสอบความสามารถในการยึดติดด้วยวิธีปอกแบบตัวที่ (T-peel test) ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ก็สอดคล้องกับวิธีการหาสารเพิ่มการยึดติดที่เหมาะสมด้วยการกริดตาราง คือ ค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่า คิวเมอโรนเรซินให้ค่า Peel strength สูงสุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าคิวเมอโรนเรซินเป็นสารเพิ่มการยึดติดในการเตรียมสีเคลือบจากยางธรรมชาติที่เหมาะสมที่สุด

ทดสอบหาปริมาณของสารเพิ่มความยึดติดที่เหมาะสม

เตรียมยางคอมปาวด์สำหรับทำสีเคลือบโลหะตามตาราง 3.2 นำมาทดสอบการยึดติดโดยวิธีการทดสอบสีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีการกรีดเป็นตารางและวิธีการทดสอบการยึดติดกับโลหะของสีเคลือบโดยวิธีปอกแบบตัวที (T-peel test) ได้ผลการทดลองดังนี้

การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยวิธีการกรีดเป็นตาราง

หลังจากกรีดตารางบนผิวเคลือบจนทะลุผิวเคลือบถึงผิวแผ่นทดสอบ ให้จำนวนเส้นให้เป็น 6 เส้น ระยะห่างระหว่างเส้นให้ห่าง 2 มิลลิเมตร เปรียบเทียบผลการทดสอบกับภาพมาตรฐาน โดยทดสอบสูตรละ 3 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณของสารเพิ่มความยึดติดที่แตกต่างกันส่งผลต่อความสามารถในการยึดติด ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงระดับผลการทดสอบโดยวิธีการกรีดเป็นตารางของสารเพิ่มความยึดติดที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณของสารเพิ่มความยึดติด (phr)	ระดับของผลการทดสอบของแต่ละสูตร		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
0	5	5	5
6	4	5	4
8	3	2	2
10	1	1	2
12	2	1	1
20	2	1	1

0 = ดีมาก, 1 = ดี, 2 = ดีปานกลาง, 3 = พอใช้, 4 = แย่, 5 = แย่มาก

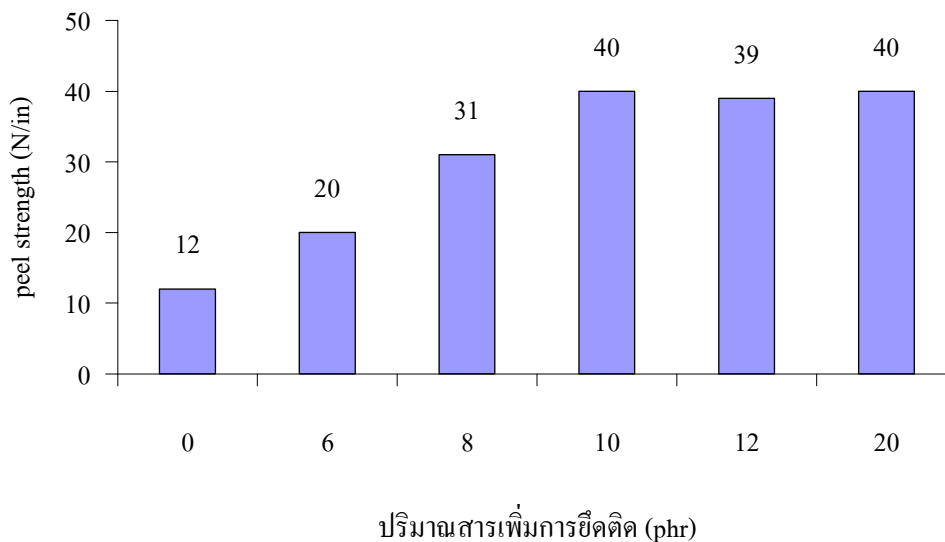
การทดสอบการยึดติดกับโลหะของสีเคลือบโดยวิธีปอกแบบตัวที (T-peel test)

ทดสอบด้วยเครื่อง Tensometer วัดค่าแรงยึดติดระหว่างสีเคลือบกับผิวของชิ้นโลหะ (Peel strength) พบว่าปริมาณของสารเพิ่มความยึดติดประสานที่แตกต่างกัน ทำให้ได้ค่า Peel strength ที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า Peel strength สูงสุดของสารเพิ่มความยึดติดในปริมาณต่างๆ

ปริมาณของสารเพิ่มความยึดติด (phr)	Peel strength (N/in)
0	12
6	20
8	31
10	40
12	39
20	40

จากตารางที่ 4.4 สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง Peel strength กับปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงค่า Peel strength สูงสุดของสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารเพิ่มการยึดติดก็จะทำให้ความสามารถในการยึดติดของสีเคลือบสูงมากขึ้น เนื่องจากสารเพิ่มการยึดติดนั้นจะมีความสามารถในการยึดติดกับส่วนของยางและผิวโลหะได้ดี ดังนั้นยังมีสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณมากค่าการยึดติดก็จะยิ่งมากขึ้นด้วย โดยในการทดลองได้ใช้ปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดที่ 0, 6, 8, 10, 12 และ 20 phr พบว่าความสามารถในการยึดติดจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณสารยึดติดจนถึงที่ปริมาณ 10 phr ความสามารถในการยึดติดก็จะเริ่มคงที่ซึ่งอาจเกิดจากสารเพิ่มการยึดติดจะไปเพิ่มความยึดติดระหว่างสีเคลือบกับผิวของโลหะตรงบริเวณพื้นผิวสัมผัสซึ่งมีพื้นที่จำกัด เมื่อใส่สารเพิ่มการยึดติดจนถึงระดับหนึ่งหลังจากนั้นค่าการยึดติดก็จะไม่สูงขึ้นอีก ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณสารเพิ่มความยึดติดที่ 10 phr ในการทำสีเคลือบ

ทดสอบหาระบบการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสม

หลังจากผสมยางคอมปาวด์เพื่อใช้ในการเตรียมสีเคลือบโลหะ โดยมีการแปรระบบการวัลคาไนซ์ 3 ระบบคือ Conventional vulcanization system, Semi-EV system และ EV system ดังตารางที่ 3.3 ก็นำสารเคลือบโลหะที่เตรียมได้มาทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางมะตอยผสมสำหรับพ่นใต้ท้องรถยนต์ และความสามารถในการยึดติดกับโลหะโดยวิธีการกรีดเป็นตารางและวิธีลอกแบบตัวที่ (T-peel test) ได้ผลการทดสอบดังนี้

ทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยางมะตอยผสมสำหรับพื้นที่ทางรถยนต์

โดยการทดสอบวิธีนี้จะมีขั้นตอนการทดสอบในหลายๆคุณสมบัติโดยจะมีเกณฑ์ที่กำหนดไว้เป็นค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์ยางมะตอยผสมสำหรับพื้นที่ทางรถยนต์ หรือตามมาตรฐาน มอก 775-2531 ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

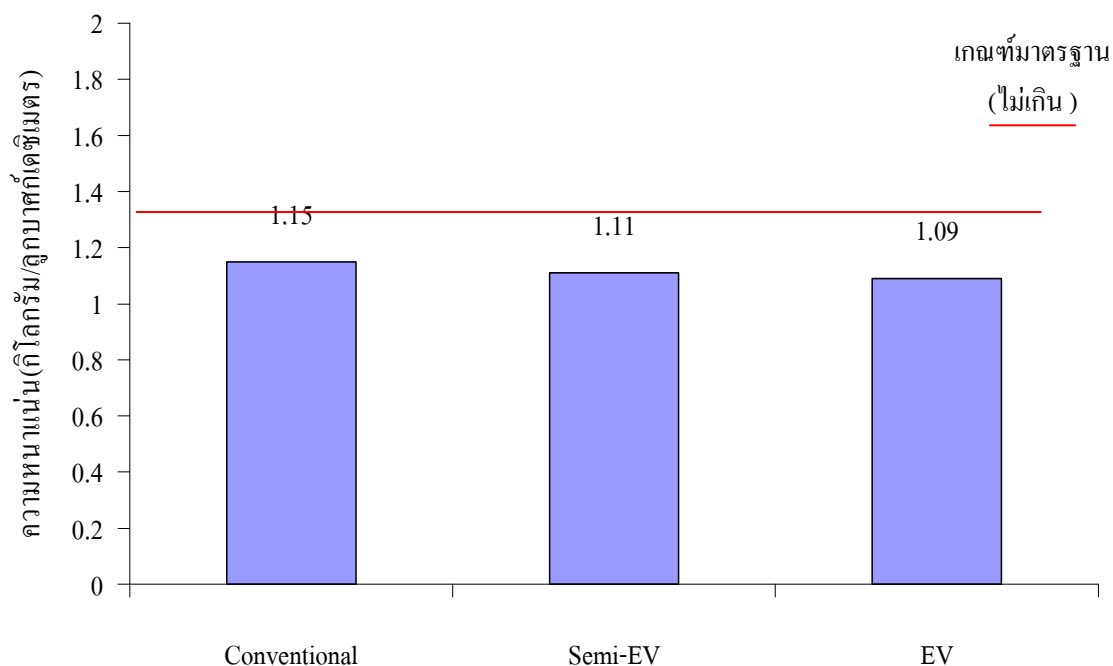
ความหนาแน่น

พบว่าระบบการวัดค่าในซ์ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าความหนาแน่น ดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.5 ค่าความหนาแน่นของแต่ละระบบการวัดค่าในซ์

ระบบการวัดค่าในซ์	ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร)
Conventional	1.15
Semi-EV	1.11
EV	1.09
เกณฑ์มาตรฐาน	ไม่เกิน 1.4

จากตารางที่ 4.5 สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับระบบการวัดค่าในซ์ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าความหนาแน่นของแต่ละระบบการวัดค่าในซ์

จากรูปที่ 4.3 ได้แสดงค่าความหนาแน่นของระบบการวัดค่าไนซ์ต่างๆพบว่ามีค่าความหนาแน่นค่อนข้างใกล้เคียงกันโดยระบบการวัดค่าไนซ์ Conventional มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ Semi-EV และ EV ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากระบบ Conventional เป็นระบบที่มีการใช้กำมะถันในปริมาณสูงที่สุดและกำมะถันก็มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าสารตัวเร่งที่ใช้ในการทดลองดังนั้นค่าความหนาแน่นจึงลดลงตามปริมาณกำมะถัน อย่างไรก็ตามทั้ง 3 ระบบก็ให้ค่าความหนาแน่นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 775-2531 คือ มีค่าความหนาแน่นไม่เกิน 1.4 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เดซิเมตร

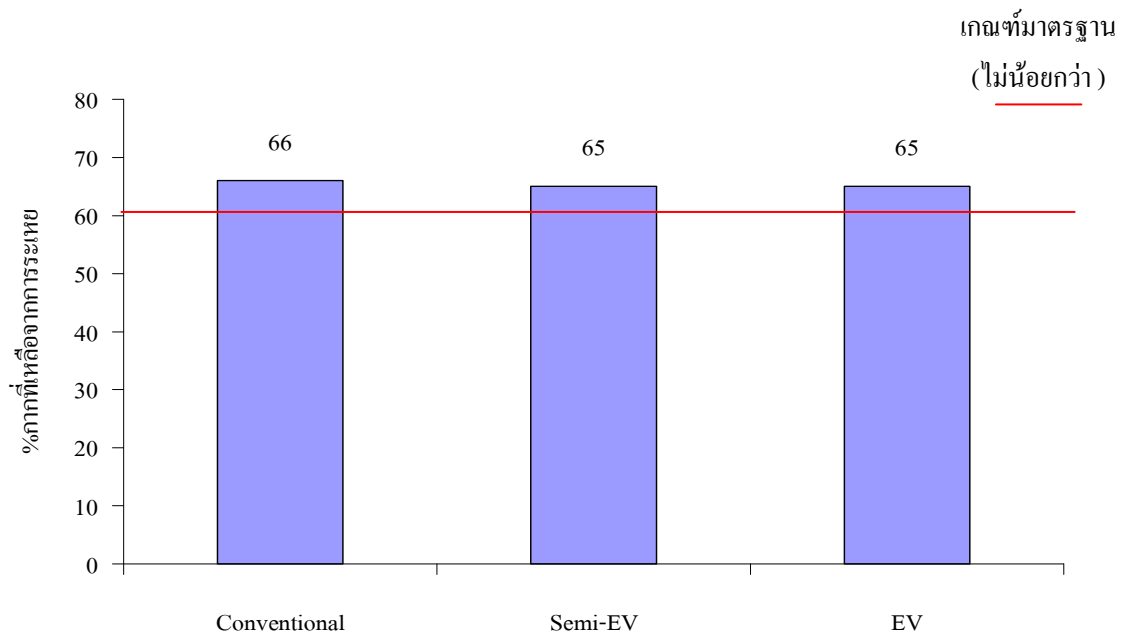
กากที่เหลือจากการระเหย

พบว่าระบบการวัดค่าไนซ์ที่แตกต่างกันมีผลต่อเปอร์เซ็นต์กากที่เหลือจากการระเหย ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 กากที่เหลือจากการระเหยของแต่ละระบบการวัดค่าไนซ์

ระบบการวัดค่าไนซ์	กากที่เหลือจากการระเหย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
Conventional	66
Semi-EV	65
EV	65
เกณฑ์มาตรฐาน	ไม่น้อยกว่า 65

จากตารางที่ 4.6 สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างกากที่เหลือจากการระเหยกับระบบการวัดค่าไนซ์ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กากที่เหลือจากการระเหยของแต่ละระบบการวัดค่าไนซ์

จากรูปที่ 4.4 เป็นการแสดงปริมาณร้อยละของกากที่เหลือจากการระเหย ในระบบการวัลคาไนซ์ทั้ง 3 ระบบว่าทั้งระบบการวัลคาไนซ์ Conventional, Semi-EV และ EV มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 775-2531 คือ มีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก และเปอร์เซ็นต์กากที่เหลือจากการระเหยของระบบการวัลคาไนซ์แต่ละระบบก็มีค่าไม่แตกต่างกันนักเนื่องจาก ปริมาณกากที่เหลือจากการระเหยจะขึ้นอยู่กับปริมาณเนื้อยางและสารเคมีที่ใช้ในการทำสีเคลือบ ดังนั้นระบบการวัลคาไนซ์ที่ต่างกันจึงไม่มีผลต่อปริมาณกากที่เหลือจากการระเหยของสีเคลือบ

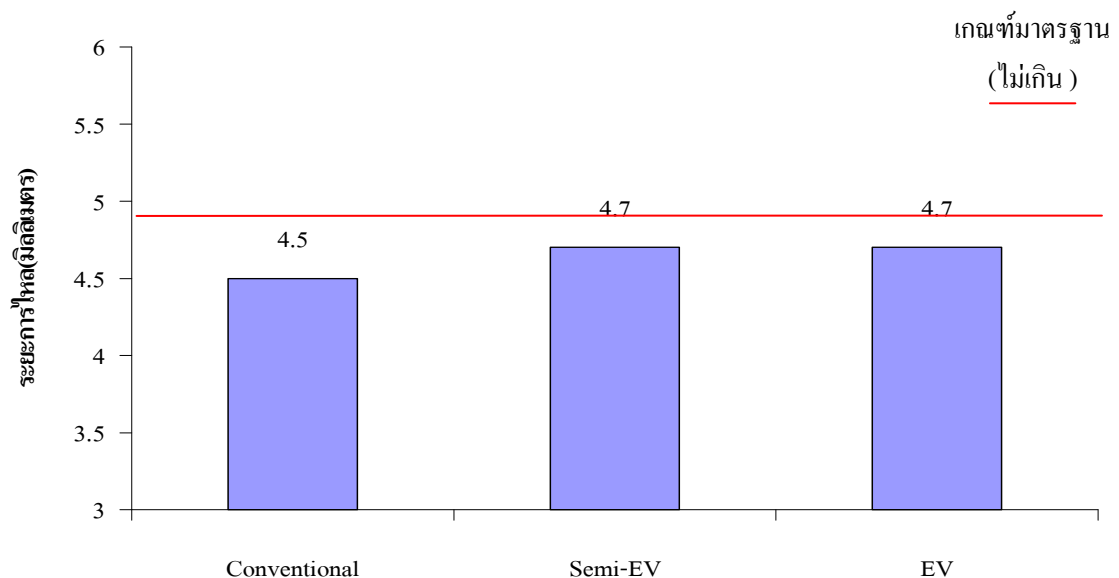
การไหลและการแห้งที่ผิว

ทำการทดลองตามหัวข้อวิธีการทดสอบการไหลและการแห้งที่ผิว แล้ววัดระยะหลังการทาตัวอย่างเสร็จ จนถึงเมื่อใช้นิ้วแตะผิวตัวอย่างเบาๆ แล้วตัวอย่างไม่ติดนิ้วมือขึ้นมาตรวดดูตัวอย่างของฟิล์มที่ระบบการวัลคาไนซ์ที่ต่างกันได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ระยะการไหลและลักษณะของฟิล์มของแต่ละระบบการวัลคาไนซ์

ระบบการวัลคาไนซ์	ระยะการไหล (มิลลิเมตร)	ลักษณะของฟิล์ม
Conventional	4.5	ลักษณะฟิล์มสมบูรณ์
Semi-EV	4.7	ลักษณะฟิล์มสมบูรณ์
EV	4.7	ลักษณะฟิล์มสมบูรณ์
เกณฑ์มาตรฐาน	ไม่เกิน 5	ฟิล์มต้องไม่ร่วน

จากตารางที่ 4.7 สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างระยะการไหลกับระบบการวัลคาไนซ์ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ระยะการไหลจากการทดลองการไหลและการแห้งที่ผิวของแต่ละระบบการวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.5 ได้แสดงระยะการไหลของสีเคลือบในระบบการวัลคาไนซ์ที่ต่างกัน โดยในมาตรฐาน มอก. 775-2531 ได้กำหนดไว้ว่าจะต้องไหลไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่า ระบบการวัลคาไนซ์ทุกระบบมีสมบัติการไหลและการแห้งที่ผิวผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและผลที่ได้จากการทดสอบยังมีค่าไม่แตกต่างกันนัก ทั้งนี้คุณสมบัติการไหลและการแห้งที่ผิวจะมีผลมาจากค่าความหนืดของสีเคลือบซึ่งควรมีความหนืดสูงพอที่จะเคลือบติดกับโลหะได้โดยไม่เกิดการไหลย้อย โดยระบบการวัลคาไนซ์ไม่ได้ส่งผลต่อคุณสมบัติดังกล่าว อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองที่ได้ก็แสดงให้เห็นว่าสีเคลือบจากยางธรรมชาติที่ได้จากการทดลองมีคุณสมบัติการไหลและการแห้งที่ผิวเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์สีเคลือบ

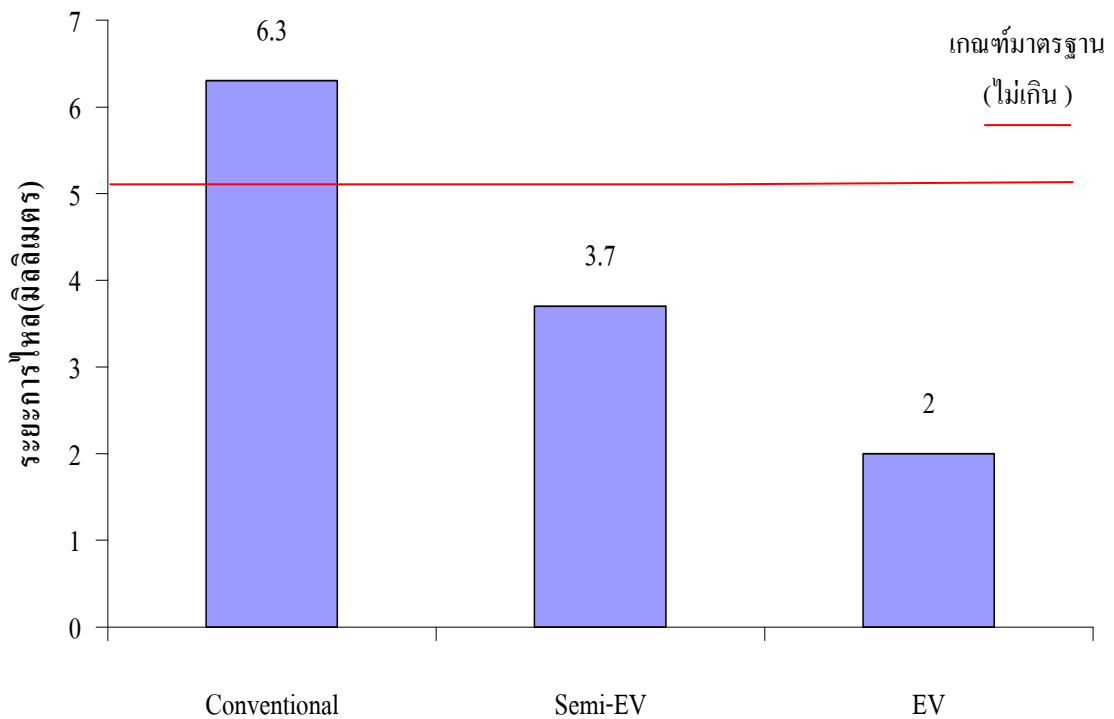
ความทนความร้อน

ทำการทดลองตามหัวข้อวิธีการทดสอบในหัวข้อความทนความร้อน พบว่าระบบการวัลคาไนซ์ส่งผลต่อความทนความร้อนของตัวอย่างสีเคลือบ โดยลักษณะของฟิล์มและระยะการไหลหลังการทดสอบการทนความร้อนแสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.8 ระยะการไหลและลักษณะของฟิล์มจากการทดลองความทนความร้อนของแต่ละระบบการวัลคาไนซ์

ระบบการวัลคาไนซ์	ระยะการไหล (มิลลิเมตร)	ลักษณะของฟิล์ม
Conventional	6.3	พองเล็กน้อย
Semi-EV	3.7	ลักษณะฟิล์มสมบูรณ์
EV	2.0	ลักษณะฟิล์มสมบูรณ์
เกณฑ์มาตรฐาน	ไม่เกิน 5	ฟิล์มต้องไม่ย่น หลุด ล่อน พอง

จากตารางที่ 4.8 สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างระยะการไหลหลังการทดสอบด้วยความร้อนกับระบบการวัลคาไนซ์ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ระยะการไหลจากการทดลองความทนความร้อนของแต่ละระบบการวัลคาไนซ์

จากรูปที่ 4.6 เป็นการทดสอบการไหลของสีเคลือบและลักษณะฟิล์มหลังจากได้รับความร้อนโดยมีระบบการวัลคาไนซ์ที่ต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าระบบ Conventional มีการไหลมากที่สุด รองลงมาคือ Semi-EV และ EV ตามลำดับ โดยจะเห็นว่ามีระบบเดียวที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 775-2531 คือระบบ Conventional เนื่องมาจากระบบ Conventional มีลักษณะพันธะเชื่อมโยงแบบ polysulfide ซึ่งมีความเสถียรทางความร้อนต่ำกว่า ระบบ Semi-EV และ EV ที่มีลักษณะพันธะเชื่อมโยงแบบ mono และ disulfidic[4] ดังนั้นเมื่อสัมผัสกับความร้อนสีเคลือบจึงเสียหายและเกิดการไหลได้ง่าย ซึ่งก็สอดคล้องกับลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทดลองโดยมีระบบการวัลคาไนซ์ระบบ Conventional เท่านั้นที่ฟิล์มมีลักษณะพองเล็กน้อยเนื่องจากความไม่เสถียรต่อความร้อนของระบบ ส่วนระบบ Semi-EV และ EV แผ่นฟิล์มยังคงมีลักษณะที่สมบูรณ์

ความทนน้ำมัน

ทำการทดลองตามวิธีในหัวข้อวิธีการทดสอบความทนน้ำมัน หลังจากตรวจสอบลักษณะฟิล์มพบว่าระบบวัลคาไนซ์ที่ต่างกันส่งผลต่อสมบัติความทนต่อน้ำมันของสีเคลือบดัง ตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ลักษณะของฟิล์มจากการทดลองความทนน้ำมันของแต่ละระบบการวัลคาไนซ์

ระบบการวัลคาไนซ์	ลักษณะของฟิล์ม
Conventional	ลักษณะฟิล์มสมบูรณ์
Semi-EV	ลักษณะฟิล์มสมบูรณ์
EV	มีการอ่อนตัวเล็กน้อย
เกณฑ์มาตรฐาน	ฟิล์มต้องไม่ละลายหรือหลุดลอก

จากตารางที่ 4.9 เป็นการทดสอบความสามารถในการทนน้ำมันของสี่เคลือบที่ใช้ระบบการวัลคาไนซ์ที่ต่างกัน โดยการตรวจดูลักษณะของฟิล์ม จากผลการทดลองพบว่าระบบ EV จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อฟิล์ม คือ มีการอ่อนตัวเล็กน้อย ส่วนระบบ Conventional และระบบ Semi-EV systems ฟิล์มมีความสมบูรณ์อยู่คือไม่เปลี่ยนแปลงของเนื้อฟิล์ม ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก คุณสมบัติความทนต่อน้ำมันของยางนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณพันธะเชื่อมโยงในเนื้อยาง เพราะยังมีปริมาณพันธะเชื่อมโยงมาก โอกาสที่น้ำมันจะแทรกเข้าไปในโมเลกุลของเนื้อยางก็จะยิ่งน้อยลง ระบบ EV เป็นระบบที่ใช้กำมะถันในปริมาณที่ต่ำที่สุด ดังนั้นปริมาณพันธะเชื่อมโยงจึงต่ำกว่าระบบอื่นทำให้มีความทนทานต่อน้ำมันได้น้อย แต่อย่างไรก็ตามระบบการวัลคาไนซ์ทุกระบบก็ผ่านการทดสอบตามค่ามาตรฐาน มอก. 775-2531

ความทนน้ำร้อน

ทำการทดลองตามวิธีในหัวข้อการทดสอบความทนน้ำร้อน หลังจากแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปลอ่ยไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วตรวจดูฟิล์มพบว่า ระบบการวัลคาไนซ์ส่งผลต่อสมบัติความทนต่อน้ำร้อนดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ลักษณะของฟิล์มจากการทดลองความทนน้ำร้อนของแต่ละระบบการวัลคาไนซ์

ระบบการวัลคาไนซ์	ลักษณะของฟิล์ม
Conventional	มีการอ่อนตัวเล็กน้อย
Semi-EV	ลักษณะฟิล์มสมบูรณ์
EV	ลักษณะฟิล์มสมบูรณ์
เกณฑ์มาตรฐาน	ฟิล์มต้องไม่อ่อนตัว พองหรือลอก

จากตารางที่ 4.10 แสดงลักษณะของฟิล์มจากการทดลองความทนน้ำร้อน โดยเปรียบเทียบระบบการวัลคาไนซ์ที่ต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าระบบ Conventional เกิดการเปลี่ยนแปลงของฟิล์ม คือ ฟิล์มมีลักษณะอ่อนตัวเล็กน้อยเนื่องมาจากระบบ Conventional มีการเชื่อมโยงของพันธะในลักษณะ polysulfide ซึ่งมีความเสถียรต่อความร้อนต่ำ ดังจะเห็นว่าระบบ EV และ Semi-EV ที่มีการเชื่อมโยงแบบ mono และ disulfidic จำนวนมากจึงทำให้ฟิล์มของสี่เคลือบสามารถทนกับความร้อนได้ดีกว่า[4] ดังนั้นจึงมีเพียง 2 ระบบคือระบบ EV และ Semi-EV เท่านั้นที่ผ่านการทดสอบตามค่ามาตรฐาน มอก. 775-2531

ความทนต่อการหักงอ

ทำการทดลองตามวิธีในหัวข้อการทดสอบความทนต่อการหักงอ หลังจากตรวจดูลักษณะฟิล์มพบว่าระบบวัลคาไนซ์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติความทนทานต่อการหักงอของซีเคิลอบดัง ตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ลักษณะของฟิล์มจากการทดลองความทนทานต่อการหักงอของแต่ละระบบการวัลคาไนซ์

ระบบการวัลคาไนซ์	ลักษณะของฟิล์ม
Conventional	ลักษณะฟิล์มสมบูรณ์
Semi-EV	ลักษณะฟิล์มสมบูรณ์
EV	ลักษณะฟิล์มสมบูรณ์
เกณฑ์มาตรฐาน	ฟิล์มต้องไม่ร้าวหรือหลุดลอก

จากตารางที่ 4.11 แสดงลักษณะของฟิล์มจากการทดลองความทนต่อการหักงอ โดยเปรียบเทียบระบบการวัลคาไนซ์ที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่าระบบการวัลคาไนซ์ทุกระบบ ฟิล์มไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่เกิดการร้าวหรือหลุดลอก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากยางมีคุณสมบัติความยืดหยุ่นดี จึงสามารถทนทานต่อการหักงอได้สูง ดังนั้นระบบการวัลคาไนซ์ทุกระบบจึงผ่านการทดสอบตามค่ามาตรฐาน มอก. 775-2531

ความทนการสะกิด

ทำการทดลองตามวิธีในหัวข้อการทดสอบความทนการสะกิด หลังจากตรวจดูลักษณะฟิล์มพบว่าระบบวัลคาไนซ์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติความทนทานต่อการสะกิดของซีเคิลอบดัง ตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ลักษณะของฟิล์มจากการทดลองความทนทานต่อการสะกิดของแต่ละระบบการวัลคาไนซ์

ระบบการวัลคาไนซ์	ลักษณะของฟิล์ม
Conventional	เกิดแผลลึกแต่ไม่เห็นแผ่นเหล็ก
Semi-EV	เกิดแผลลึกแต่ไม่เห็นแผ่นเหล็ก
EV	เกิดแผลลึกแต่ไม่เห็นแผ่นเหล็ก
เกณฑ์มาตรฐาน	ต้องไม่เกิดแผลจนเห็นแผ่นเหล็ก

จากตารางที่ 4.12 แสดงลักษณะของฟิล์มจากการทดลองความทนต่อการสะกิด พบว่าระบบการวัลคาไนซ์ทุกระบบให้ผลการทดสอบเหมือนกัน คือเกิดแผลลึกแต่ไม่เห็นแผ่นเหล็ก ดังนั้นระบบการวัลคาไนซ์ทุกระบบจึงให้ผลการทดสอบที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 775-2531 คือไม่มีระบบใดที่เกิดความเสียหายของเนื้อฟิล์มจนเห็นแผ่นเหล็ก

การบ่มเร่ง

ทำการทดลองตามวิธีในหัวข้อการทดสอบการบ่มเร่ง หลังจากตรวจดูลักษณะฟิล์มพบว่าระบบวัลคาไนซ์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติความทนทานต่อการเสกิดหลังมีการบ่มเร่งของสีเคลือบดัง ตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ลักษณะของฟิล์มจากการทดลองความทนทานต่อการเสกิดหลังมีการบ่มเร่งของแต่ละระบบการวัลคาไนซ์

ระบบการวัลคาไนซ์	ลักษณะของฟิล์ม
Conventional	เกิดแผลลึกจนเห็นแผ่นเหล็ก
Semi-EV systems	เกิดแผลลึกมากแต่ไม่เห็นแผ่นเหล็ก
EV systems	เกิดแผลลึกแต่ไม่เห็นแผ่นเหล็ก
เกณฑ์มาตรฐาน	ต้องไม่เกิดแผลจนเห็นแผ่นเหล็ก

ตารางที่ 4.12 แสดงลักษณะของฟิล์มจากการทดลองความทนทานต่อการเสกิดหลังมีการบ่มเร่ง พบว่าระบบ EV ให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด คือจะเกิดแผลลึกแต่ไม่เห็นแผ่นเหล็กรองลงมาก็คือระบบ Semi-EV ที่เกิดแผลลึกและเสียหายมากกว่าระบบ EV ส่วนระบบ Conventional ให้ผลการทดสอบแย่มากที่สุด คือเกิดแผลจนเห็นถึงแผ่นเหล็กซึ่งแสดงว่าระบบ Conventional ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 775-2531 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากระบบการวัลคาไนซ์แบบ Conventional มีการเชื่อมโยงแบบ polysulfides เป็นส่วนมากซึ่งการเชื่อมโยงลักษณะนี้มีความเสถียรทางความร้อนต่ำกว่าแบบ monosulfidic หรือแบบ disulfidic ดังนั้นเมื่อมีการทดสอบโดยการบ่มเร่งระบบ Conventional จึงผลการทดสอบที่ต่ำกว่าระบบ EV และ Semi-EV

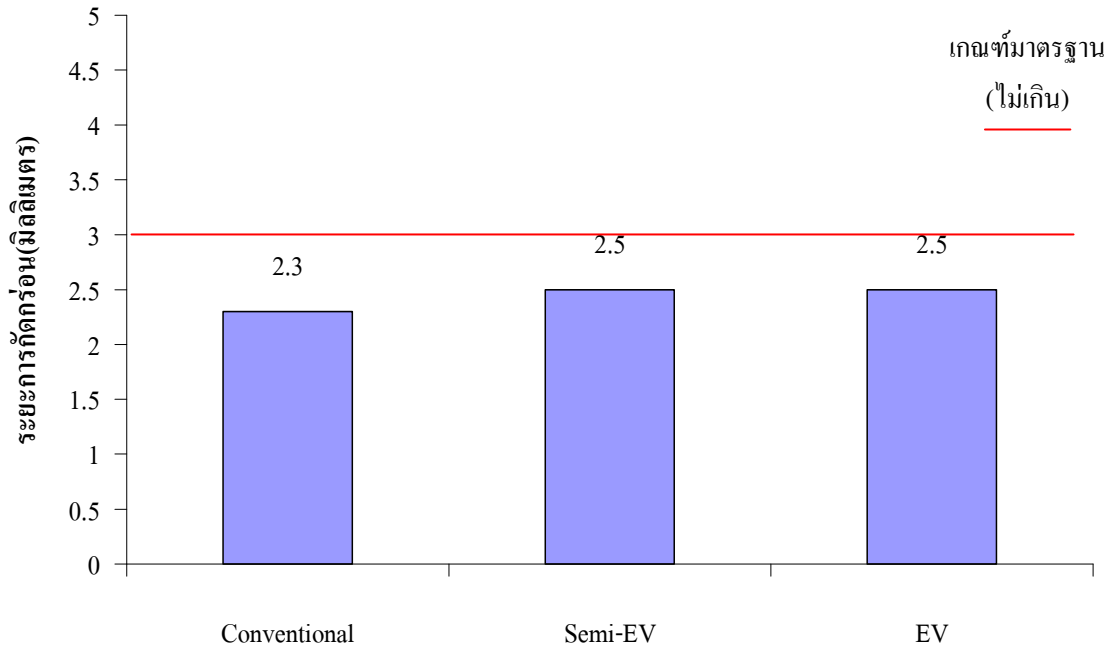
ความทนทานต่อการกัดกร่อน

ทำการทดลองตามวิธีในหัวข้อการทดสอบความทนทานต่อการกัดกร่อน หลังจากตรวจดูลักษณะฟิล์มพบว่าระบบวัลคาไนซ์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติความทนทานต่อการกัดกร่อนของสีเคลือบ ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ระยะการกัดกร่อนบนแผ่นเหล็กของแต่ละระบบการวัลคาไนซ์

ระบบการวัลคาไนซ์	ระยะการกัดกร่อนบนแผ่นเหล็ก (มิลลิเมตร)
Conventional	2.30
Semi-EV	2.50
EV	2.50
เกณฑ์มาตรฐาน	ต้องไม่เกิน 3 mm

จากตารางที่ 4.14 สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างระยะการกักร่อนบนแผ่นเหล็กหลังการทดสอบ ความต้านทานต่อการกักร่อนกับระบบการวัลคาไนซ์ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงระยะการกักร่อนบนแผ่นเหล็กของแต่ละระบบการวัลคาไนซ์

จากตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการต้านทานต่อการกักร่อนของสี่เคลือบเมื่อใช้ระบบการวัลคาไนซ์ที่แตกต่างกัน พบว่าระบบการวัลคาไนซ์ที่มีความสามารถในการต้านทานการกักร่อนดีที่สุดคือระบบ Conventional ส่วนระบบ Semi-EV และ EV มีความสามารถในการต้านทานการกักร่อนเท่าๆกัน ที่เป็นเช่นนี้อาจอธิบายได้จากผลการทดลองในหัวข้อวิธีการกรีดเป็นตารางและการทดสอบโดยวิธีปอกแบบตัวที ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการยึดกับโลหะในระบบการวัลคาไนซ์แบบต่างๆ โดยผลการทดลองก็แสดงให้เห็นว่าสี่เคลือบที่วัลคาไนซ์ในระบบ Conventional มีความสามารถในการยึดกับโลหะได้ดี ดังนั้นจึงทำให้ความชื้นผ่านเข้าไปสัมผัสกับผิวเหล็กได้ยากขึ้นเป็นผลเกิดการกักร่อนน้อยนั่นเอง อย่างไรก็ตามทุกระบบมีค่าความต้านทานต่อการกักร่อนไม่แตกต่างกันมากนัก และผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 775-2531 ทุกระบบ

ทดสอบโดยวิธีการกรีดเป็นตาราง

ทำการทดลองตามวิธีการกรีดเป็นตารางตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ (การทดสอบสี) โดยทดสอบระบบละ 3 ตัวอย่างพบว่าระบบการวัลคาไนซ์ส่งผลต่อการยึดติดระหว่างสีเคลือบกับผิวของชิ้นโลหะ ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงระดับผลการทดสอบโดยวิธีการกรีดเป็นตารางของระบบวัลคาไนซ์ต่างๆ

ระบบการวัลคาไนซ์	ระดับของผลการทดสอบของแต่ละสูตร		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
Conventional	1	1	1
Semi-EV	2	1	2
EV	2	2	2

0 = ดีมาก, 1 = ดี, 2 = ดีปานกลาง, 3 = พอใช้, 4 = แย่, 5 = แย่มาก

จากตารางที่ 4.15 เป็นการเปรียบเทียบระดับความสามารถในการยึดติดกับผิวของโลหะของสีเคลือบตัวอย่างที่ใช้ระบบการวัลคาไนซ์แบบต่างๆ โดยใช้วิธีการทดสอบแบบกรีดเป็นตารางพบว่า ระบบ Conventional ให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด คือผิวของสีเคลือบมีการหลุดลอกจากผิวโลหะน้อยมาก รองลงมาคือ ระบบ Semi-EV และระบบ EV ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดพันธะของยางขึ้นอยู่กับระบบการวัลคาไนซ์และองค์การเชื่อมโยง ยางที่มี scorch time ยาวพอจะสามารถเกิดพันธะระหว่างยางกับโลหะได้ง่ายส่วนยางที่วัลคาไนซ์เร็วจะเกิดพันธะได้ยาก[5,6] ซึ่งระบบการวัลคาไนซ์แบบ Conventional จะให้ scorch time ที่ยาวกว่าระบบ Semi-EV และระบบ EV ดังนั้นจึงทำให้เกิดการยึดติดที่ดีที่สุด

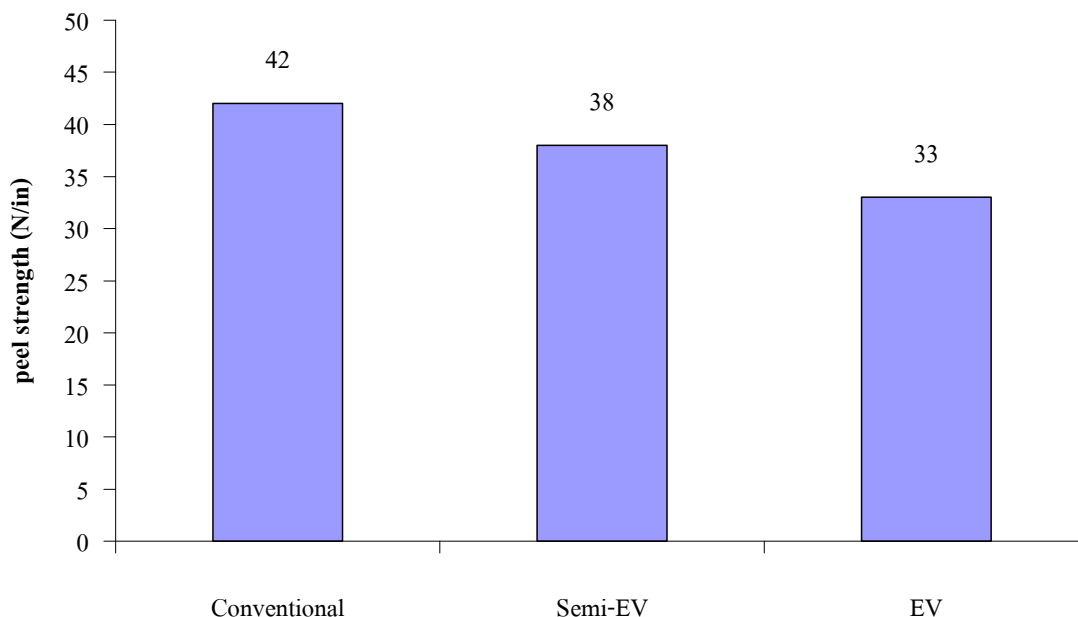
การทดสอบโดยวิธีปอกแบบตัวที่ (T-peel test)

ทำการทดลองตามหัวข้อการทดสอบโดยวิธีปอกแบบตัวที่ โดยทดสอบระบบละ 3 ตัวอย่าง พบว่าระบบการวัลคาไนซ์ส่งผลต่อการยึดติดระหว่างสีเคลือบกับผิวของชิ้นโลหะ ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงค่า Peel strength สูงสุดของแต่ละระบบการวัลคาไนซ์

ระบบการวัลคาไนซ์	ค่าเฉลี่ย Peel strength (N/m)
Conventional	42
Semi-EV	38
EV	33

จากตารางที่ 4.16 สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง Peel strength กับระบบการวัลคาไนซ์ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ค่า Peel strength สูงสุดของแต่ละระบบการวัลคาไนซ์

จากตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.8 แสดงถึงความสามารถในการยึดติดกับผิวของโลหะของสีเคลือบตัวอย่างที่ใช้ระบบการวัลคาไนซ์แบบต่างๆ โดยใช้วิธีการทดสอบด้วยวิธีปอกแบบตัวที่ซึ่งค่า Peel strength ที่ได้จากการทดสอบจะเป็นแรงยึดติดระหว่างสีเคลือบตัวอย่างกับผิวของโลหะ ซึ่งผลที่ได้ก็สอดคล้องกับวิธีการทดสอบด้วยวิธีการกรีดเป็นตารางคือ พบว่าระบบ Conventional ให้ค่า Peel strength สูงที่สุด รองลงมาคือ ระบบ Semi-EV และระบบ EV ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดพันธะของยางขึ้นอยู่กับระบบการวัลคาไนซ์และองค์การเชื่อมโยง[5,6] ยางที่มี scorch time ยาวพอจะสามารถเกิดพันธะระหว่างยางกับโลหะได้ง่ายส่วนยางที่วัลคาไนซ์เร็วจะเกิดพันธะได้ยาก ซึ่งระบบการวัลคาไนซ์ แบบ Conventional จะให้ scorch time ที่ยาวกว่าระบบ Semi-EV และระบบ EV ดังนั้นจึงทำให้เกิดการยึดติดที่ดีที่สุด

4.2 การหาระยะเวลาการวัลคาไนซ์โดยสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สีเคลือบที่อุณหภูมิห้อง

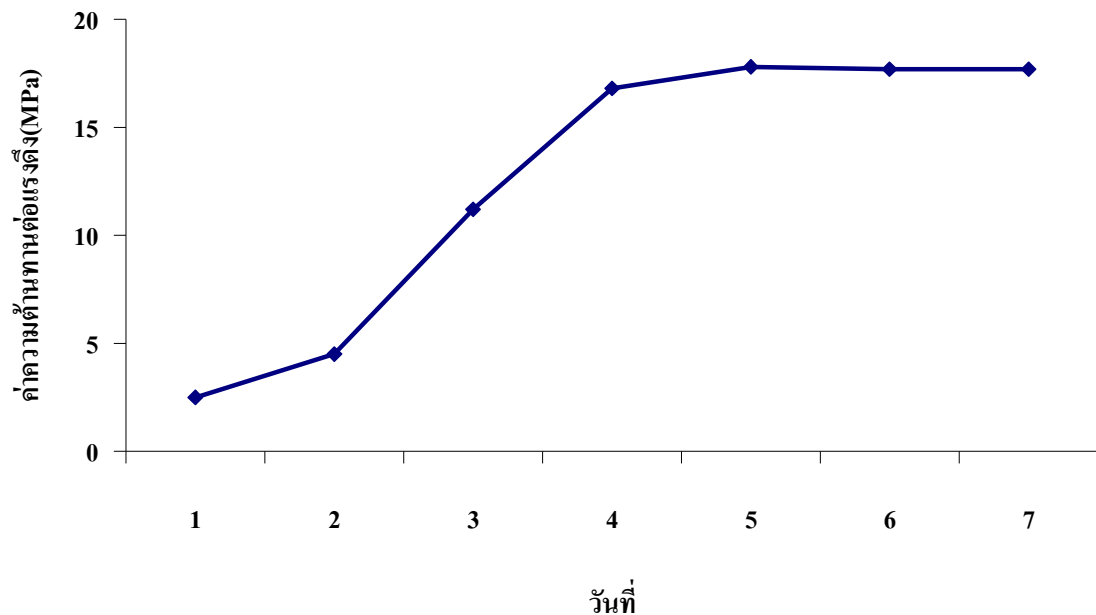
4.2.1 ทดสอบด้วยวิธีหาความต้านทานต่อแรงดึง

จากการทดลองที่ผ่านมาเมื่อทำการเลือกชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดรวมถึงระบบการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมแล้ว คือ ใช้คิวเมอโรนเรซิน 10 phr และวัลคาไนซ์ด้วยระบบ Semi EV จากนั้นทดลองหาเวลาการวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์ที่อุณหภูมิห้องโดยวิธีทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง โดยทำการทดสอบครั้งละ 3 ตัวอย่าง และทดสอบหาเวลาการวัลคาไนซ์ในช่วงเวลา 1-7 วัน ให้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าความต้านทานต่อแรงดึงในแต่ละช่วงเวลาการวัลคาไนซ์ของซีเคิลือบ

วันที่	ค่าความต้านทานต่อแรงดึงเฉลี่ย (MPa)
1	2.5
2	4.5
3	11.2
4	16.8
5	17.8
6	17.7
7	17.7

จากตารางที่ 4.17 สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อแรงดึงกับช่วงเวลาการวัลคาไนซ์ของซีเคิลือบได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.9



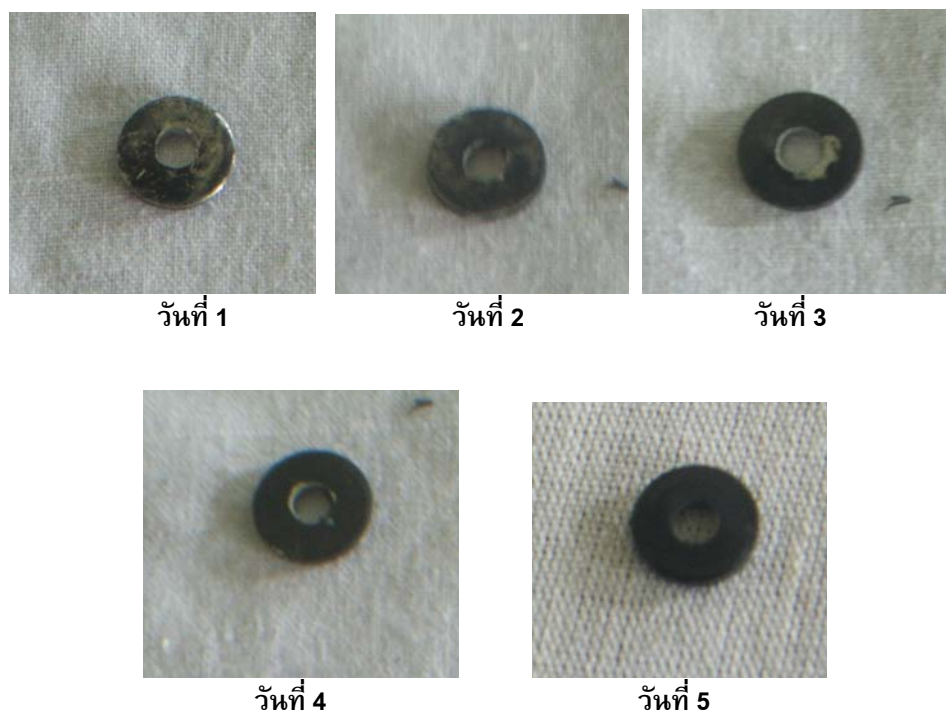
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อแรงดึงกับช่วงเวลาการวัลคาไนซ์ของซีเคิลือบ

จากตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.9 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อแรงดึงกับช่วงเวลาการวัลคาไนซ์ของซีเคิลือบ โดยค่าความต้านทานต่อแรงดึงหรือสมบัติทางกายภาพของยางจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าการวัลคาไนซ์ ดังนั้นจึงสามารถหาเวลาการวัลคาไนซ์จากการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงของซีเคิลือบได้ ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงของซีเคิลือบจะเพิ่มขึ้นตามเวลาของการวัลคาไนซ์ และเส้นกราฟยังแสดงว่าค่าความต้านทานของซีเคิลือบจะมีค่าสูงสุดเมื่อตั้งทิ้ง

ไว้เป็นเวลา 5 วัน (120 ชั่วโมง) หลังจากนั้นค่าความต้านทานต่อแรงดึงจะคงที่ ซึ่งแสดงว่าสีเคลือบตัวอย่างนั้นใช้เวลาการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 5 วัน จึงจะวัลคาไนซ์ได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามสำหรับการใช้งานจริงยังต้องคำนึงถึงอุณหภูมิและความชื้นของพื้นที่ที่ใช้งาน ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อเวลาในการวัลคาไนซ์

4.2.2 ทดสอบด้วยวิธีหาความต้านทานต่อตัวทำละลาย

จากการทดลองที่ผ่านมาเมื่อทำการเลือกชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดรวมถึงระบบการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมแล้ว คือใช้คิวเมอโรนเรซิน 10 phr และวัลคาไนซ์ด้วยระบบ Semi EV จากนั้นทดลองหาเวลาการวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์ที่อุณหภูมิห้องโดยวิธีทดสอบความต้านทานต่อตัวทำละลาย โดยทำการทดลองในช่วงเวลา 1-5 วันได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบหลังจากทดสอบความต้านทานต่อตัวทำละลาย

จากรูปที่ 4.10 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อการละลายกับช่วงเวลาการวัลคาไนซ์ของสีเคลือบ โดยอาศัยหลักการที่ยางจะทนต่อการบวมพองและการละลายในตัวทำละลายเมื่อมีการวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์ โดยจากรูปจะเห็นว่าที่เวลาการวัลคาไนซ์ 1 วันสีเคลือบจะเกิดการละลายได้มากจนเห็นเนื้อเหล็กอย่างชัดเจน ที่เวลาวัลคาไนซ์ 2 วันสีเคลือบจะสามารถต้านทานการละลายได้มากขึ้นเล็กน้อย ในเวลาการวัลคาไนซ์วันที่ 3 จะเห็นว่าสีเคลือบสามารถต้านทานการละลายได้มากขึ้นอย่างชัดเจน แต่สีเคลือบจะสามารถต้านทานต่อการละลายอย่างสมบูรณ์ที่เวลาการวัลคาไนซ์ 5 วันโดยจะเห็นว่าสีเคลือบไม่เกิดการละลายแม้แต่น้อย แสดงว่าสีเคลือบเกิดการวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์ทำให้ตัวทำละลายไม่สามารถแทรกเข้าไปในระหว่างโมเลกุลอย่างง่ายได้ ซึ่งจากผลที่ได้ก็สอดคล้องกับการทดสอบด้วยวิธีการหาความต้านทานต่อแรงดึง คือสีเคลือบจะเกิดการวัลคาไนซ์อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิห้องใช้เวลา 5 วัน

4.3 การทดสอบสีเคลือบจากยางธรรมชาติในสภาวะการใช้งานรูปแบบต่าง ๆ

ทดสอบสีเคลือบตัวอย่างในสภาวะการใช้แบบต่างๆ โดยทาตัวอย่างลงบนแผ่นเหล็กขนาดกว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 170 มิลลิเมตรหนา 0.8 มิลลิเมตรให้ได้ความหนาของฟิล์มประมาณ 1.6 มิลลิเมตร ทำการทดลองที่ 3 สภาวะ คือ แช่น้ำเกลือ, แช่น้ำ และตั้งทิ้งไว้ที่สภาวะอากาศทั่วไปเป็นเวลา 800 ชั่วโมง แล้วตรวจดูฟิล์มได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.18



(ก) ทิ้งไว้ที่สภาวะอากาศทั่วไป



(ข) แช่น้ำ



(ค) แช่น้ำเกลือ

รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะฟิล์มของสีเคลือบหลังจากทดสอบการต้านทานการกัดกร่อนที่สภาวะต่างๆ

จากรูปที่ 4.11 เมื่อละลายและชะเนื้อฟิล์มของสีเคลือบออกจะเห็นระยะการกัดกร่อนบนเนื้อเนื้อเหล็กดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงระยะการกัดกร่อนบนเนื้อเหล็กที่สภาวะต่างๆ

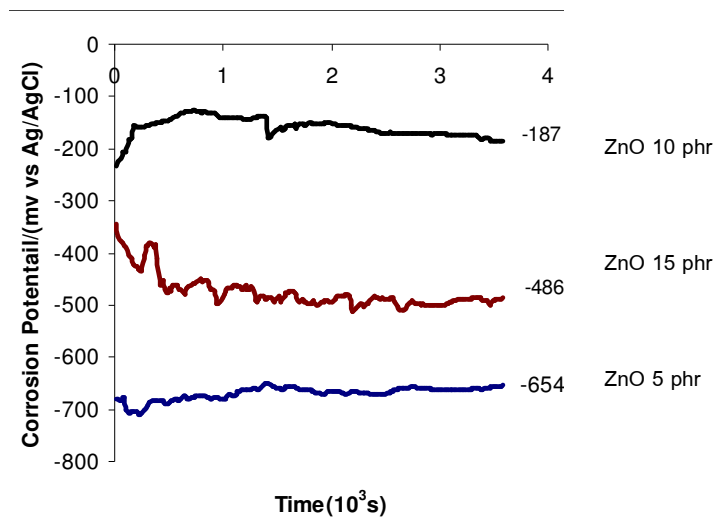
สภาวะแบบต่าง ๆ	ระยะการกัดกร่อน (มิลลิเมตร)
ทิ้งไว้ที่สภาวะอากาศทั่วไป	0.5
แช่น้ำ	1.8
แช่น้ำเกลือ	2.5

จากรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.18 แสดงลักษณะความทนทานต่อการกัดกร่อนของสีเคลือบจากยางธรรมชาติ โดยในการทดลองได้ทดสอบที่ 3 สภาวะ คือ ทิ้งไว้ที่สภาวะอากาศทั่วไป, แช่น้ำ และแช่น้ำเกลือ

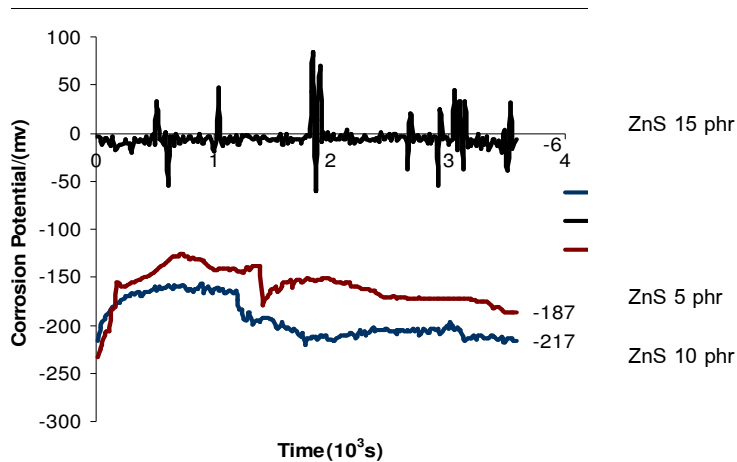
จะเห็นว่าที่สภาวะแช่น้ำเกลือจะเกิดการกัดกร่อนสูงที่สุด โดยสังเกตได้จากเนื้อฟิล์มที่แตกออกทำให้เกิดสนิมขึ้นจำนวนมากและสำหรับชิ้นตัวอย่างที่มีการกริดรีดฟิล์มตามแนวทะแยงมุมสามารถวัดระยะการกัดกร่อนมากที่สุดคือ 2.5 mm สภาวะที่เกิดการกัดกร่อนรองลงมาคือ สภาวะแช่น้ำจะเห็นเกิดสนิมขึ้นปานกลางและมีระยะการกัดกร่อน 1.8 mm และสภาวะที่เกิดการกัดกร่อนน้อยที่สุดคือ ตั้งทิ้งไว้ที่สภาวะอากาศทั่วไป ซึ่งพบว่าเนื้อฟิล์มของสีเคลือบยังสมบูรณ์อยู่และมีการกัดกร่อนเกิดขึ้นเพียง 0.5 mm ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสีเคลือบตัวอย่างนั้นไม่สามารถใช้งานได้ในสภาวะที่มีน้ำเกลือ(น้ำทะเล) หรือในสภาวะที่ต้องแช่อยู่ในน้ำ เนื่องจากน้ำหรือน้ำเกลือเป็นสื่อไฟฟ้าอย่างดีในกระบวนการเคมีไฟฟ้าเกิดขึ้นจากความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าของพื้นที่ที่เกิดเป็นขั้วบวกและขั้วลบ[7,8] โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นดังกล่าวจะทำให้เกิดการบุกร่อนขึ้นที่ผิวเหล็กขึ้น อย่างไรก็ตามผลการทดลองก็แสดงให้เห็นว่าสีเคลือบจากยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ดีในสภาวะอากาศทั่วไป

4.4 การทดสอบด้วยวิธีการวัดค่าการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้า

จากการทดลองที่ผ่านมาเมื่อทำการเลือกชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดรวมถึงระบบการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมแล้ว คือ ใช้คิวเมอโรเรซิน 10 phr และวัลคาไนซ์ด้วยระบบ Semi EV จากนั้นแปรปริมาณ ZnO ที่ 5,10 และ 15 phr และ ZnS ที่ 5,10 และ 15 phr โดยเตรียมยางคอมปาวด์สำหรับทำสีเคลือบตามตารางที่ 3.4 แล้วทำการทดสอบหาความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนด้วยวิธีวัดค่าการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้า (Ecorr) ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่โลหะเริ่มเกิดการกัดกร่อน โดยโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนต่ำจะไวต่อการเกิดการกัดกร่อนมากกว่าชิ้นงานที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนสูง ให้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 ค่าความต้านทานการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้าของสารกระตุ้น ZnO ที่ 5, 10 และ 15 phr

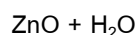
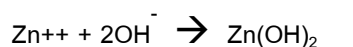
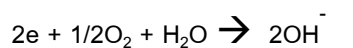


รูปที่ 4.13 ค่าความต้านทานการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้าของสารต้านทานการกัดกร่อน ZnS ที่ 5, 10 และ 15 phr

จากรูปที่ 4.12 วัดค่าการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้า (E_{corr}) ของสีเคลือบที่แปรปริมาณ ZnO ที่ 5, 10 และ 15 phr แล้ววิเคราะห์ศักย์ไฟฟ้าสุดท้าย จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณ ZnO ที่ 10 phr ทำให้สารเคลือบต้านทานการกัดกร่อนได้ดีที่สุด ส่วนหนึ่งของ ZnO จะทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น(activator) ให้ยังเกิดการวัลคาไนซ์ และส่วนหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกรองสารกัดกร่อนจำพวกกรด (acid corroding substances) ให้กลายเป็นกลาง ปฏิกิริยาการเกิดสนิมจึงไม่เกิดขึ้น[9] ทั้งนี้ ที่ 10 phr เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่ ZnO สามารถเข้าไปจับอิเล็กตรอนแล้วเกาะที่ผิวเหล็ก เกิดเป็นแผ่นฟิล์มเคลือบเหล็กไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อน ส่วนปริมาณที่ 15 phr เป็นปริมาณที่มากเกินไปทำให้เกิดการบลูมออกมาที่ผิว ซึ่งอาจส่งผลให้ไปรบกวนการยึดติดระหว่างสารเคลือบกับผิวเหล็กจึงทำให้สมบัติแย่

จากรูปที่ 4.13 วัดค่าการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้า (E_{corr}) ของสีเคลือบที่แปรปริมาณ ZnS ที่ 5, 10 และ 15 phr แล้ววิเคราะห์ศักย์ไฟฟ้าสุดท้าย จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณ ZnS ที่ 15 phr ทำให้สารเคลือบต้านทานการกัดกร่อนได้ดีที่สุด เนื่องจาก ZnS ให้ Zn^{++} ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกลายเป็น $Zn(OH)_2$ หรือ ZnO ดังปฏิกิริยาที่แสดง (electrochemical zinc reaction) [10,11] เกิดเป็นแผ่นฟิล์มเคลือบเหล็กไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อน โดย $Zn(OH)_2$ มีความเป็นด่าง (alkaline) ที่ก่อให้เกิด neutralization ในขณะที่ปริมาณ 5 และ 10 phr เป็นปริมาณที่น้อยเกินไป แม้ว่า Zn^{++} จะเข้าไปเกาะที่ผิวเหล็กแต่ในปริมาณที่น้อยนี้จึงทำให้ยังมีพื้นที่ว่างที่ความชื้น และออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ และที่ปริมาณ 20 phr เป็นปริมาณที่มากเกินไปจึงทำให้เกิดการบลูมออกมาที่ผิว ซึ่งผลของการบลูมนี้ทำให้ไปรบกวนการยึดติดระหว่างฟิล์มยางกับผิวเหล็กทำให้การยึดติดแยลง จึงต้านทานการถูกกัดกร่อนได้น้อย

Electrochemical zinc reaction



4.5 การทดสอบด้วยการสเปรย์น้ำเกลือ (Salt Spray Test)

ทดสอบสี่เคลือบตัวอย่างด้วยการสเปรย์น้ำเกลือ โดยทาตัวอย่างลงบนแผ่นเหล็กขนาดกว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 170 มิลลิเมตรหนา 0.8 มิลลิเมตรให้ความหนาของฟิล์มประมาณ 1.6 มิลลิเมตร ใช้คิวเมอโรนเรซิน 10 phr และวัลคาไนซ์ด้วยระบบ Semi EV แปรปริมาณ ZnO ที่ 5,10 และ 15 phr และ ZnS ที่ 5,10 และ 15 phr โดยเตรียมยางคอมปาวด์สำหรับทำสี่เคลือบตามตารางที่ 3.4 จากนั้นตรวจดูฟิล์ม ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.14 - 4.19 และ ตารางที่ 4.19 - 4.20



(a) ไม่กรีด



(b) กรีด

รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะฟิล์มของสารเคลือบที่ใช้ปริมาณ ZnO 5 phr หลังการทดสอบการต้านทานการถูกกัดกร่อนด้วยสเปรย์น้ำเกลือ



(a) ไม่กรีด



(b) กรีด

รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะฟิล์มของสารเคลือบที่ใช้ปริมาณ ZnO 10 phr หลังการทดสอบการต้านทานการถูกกัดกร่อนด้วยสเปรย์น้ำเกลือ

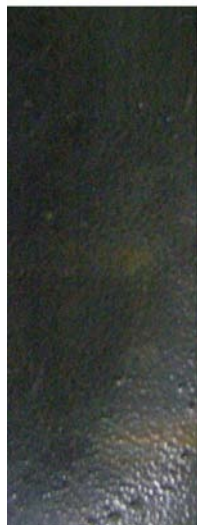


(a) ไม่กรีด



(b) กรีด

รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะฟิล์มของสารเคลือบที่ใช้ปริมาณ ZnO 15 phr หลังการทดสอบการต้านทานการถูกกัดกร่อนด้วยสเปรย์น้ำเกลือ

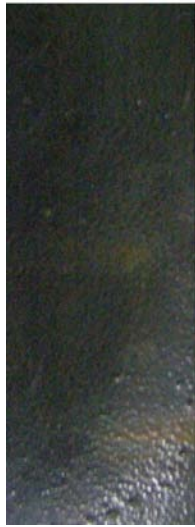


(a) ไม่กรีด

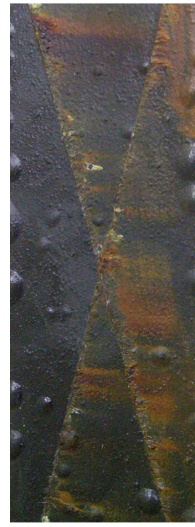


(b) กรีด

รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะฟิล์มของสารเคลือบที่ใช้ปริมาณ ZnS 5 phr หลังการทดสอบการต้านทานการถูกกัดกร่อนด้วยสเปรย์น้ำเกลือ



(a) ไม่กรีด



(b) กรีด

รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะฟิล์มของสารเคลือบที่ใช้ปริมาณ ZnS 10 phr หลังการทดสอบการต้านทานการถูกัดกร่อนด้วยสเปรย์น้ำเกลือ



(a) ไม่กรีด



(b) กรีด

รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะฟิล์มของสารเคลือบที่ใช้ปริมาณ ZnS 15 phr หลังการทดสอบการต้านทานการถูกัดกร่อนด้วยสเปรย์น้ำเกลือ

ตารางที่ 4.19 แสดงระดับผลการทดสอบด้วยการสเปรย์หมอกน้ำเกลือ ที่แปรปริมาณ ZnO ในระดับต่างๆ

ปริมาณ ZnO (phr)	ระดับผลการทดสอบของแต่ละสูตร		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
5	3	4	4
10	1	1	2
15	4	4	3

0 = ดีมาก, 1 = ดี, 2 = ดีปานกลาง, 3 = พอใช้, 4 = แย่, 5 = แย่มาก

ตารางที่ 4.20 แสดงระดับผลการทดสอบด้วยการสเปรย์หมอกน้ำเกลือของสารเคลือบที่แปรปริมาณ ZnS ในระดับต่างๆ

ปริมาณ ZnS (phr)	ระดับผลการทดสอบของแต่ละสูตร		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
5	3	3	4
10	1	2	2
15	1	1	1
20	4	3	3

0 = ดีมาก, 1 = ดี, 2 = ดีปานกลาง, 3 = พอใช้, 4 = แย่, 5 = แย่มาก

จากรูปที่ 4.14 - 4.16 และจากตารางที่ 4.19 แสดงให้เห็นผลการทดสอบหาปริมาณ ZnO ที่เหมาะสมโดยวิธีสเปรย์น้ำเกลือโดยการตรวจดูลักษณะผิวตัวอย่างที่เกิดการกัดกร่อน ทั้งที่ถูกทำให้เป็นรอยกรีดและไม่มีรอยกรีดก่อนพ่นสเปรย์น้ำเกลือเป็นเวลา 1 เดือน จากผลการทดลองพบว่า ZnO ที่ปริมาณ 10 phr จะให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด (ระดับ 1) คือ เกิดการกัดกร่อนเป็นบริเวณแคบไม่ขยายออกไปเป็นบริเวณกว้างดังรูปที่ 4.15 ซึ่งแตกต่างจากกรณีของ ZnO ที่ปริมาณ 5 และ 15 phr ที่จะให้ผลการทดสอบที่อยู่ระดับแย่ (ระดับ 3 และ 4) คือ เกิดการกัดกร่อนขึ้นบริเวณรอยกรีดและขยายออกไปเป็นบริเวณกว้างดังรูปที่ 4.14 และ 4.16 ซึ่งผลการทดสอบด้วยวิธีสเปรย์น้ำเกลือสอดคล้องกับการทดสอบเคมีไฟฟ้าดังที่ได้อธิบายมาก่อนหน้านี้

จากรูปที่ 4.17 - 4.19 และจากตารางที่ 4.20 แสดงให้เห็นผลการทดสอบหาปริมาณ ZnS ที่เหมาะสมโดยวิธีสเปรย์น้ำเกลือโดยการตรวจดูลักษณะผิวตัวอย่างที่เกิดการกัดกร่อน ทั้งที่ถูกกระทำให้เป็นรอยกรีดก่อนและไม่มีรอยกรีดก่อนพ่นสเปรย์น้ำเกลือเป็นเวลา 1 เดือน จากผลการทดลองพบว่า ZnS ที่ปริมาณ 15 phr จะให้ผลการทดสอบที่ดีที่สุด (ระดับ 1) คือ เกิดการกัดกร่อนเป็นบริเวณแคบไม่ขยายออกไปเป็นบริเวณกว้างดังรูปที่ 4.19 ซึ่งแตกต่างจากปริมาณ ZnS ที่ 10 phr ที่จะให้ผลการทดสอบที่อยู่ระดับปานกลาง (ระดับ 2) คือ เกิดการกัด

กร่อนขึ้นและขยายออกไปเพียงเล็กน้อยดังรูปที่ 4.18 และปริมาณ ZnS 5 phr จะให้ผลการทดสอบที่อยู่ระดับพอใช้ (ระดับ3) คือเกิดการกัดกร่อนขึ้นและขยายตัวออกไปเป็นบริเวณกว้างเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.17 ลักษณะดังกล่าวไม่ได้เกิดกับกรณีที่ตัวอย่างไม่มีรอยกรีด ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้จะสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับเหตุผลที่กล่าวแล้วก่อนหน้านี้

4.5 การทดสอบการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจน

ทดสอบความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) ของแผ่นฟิล์มสีเคลือบตัวอย่าง โดยเตรียมฟิล์มตัวอย่าง ให้ความหนา 0.3 มม. ใช้คิวเมอโรนเรซิน 10 phr และวัลคาไนซ์ด้วยระบบ Semi EV แปรปริมาณ ZnO ที่ 5,10 และ 15 phr และ ZnS ที่ 5,10 และ 15 phr จากนั้นนำแผ่นฟิล์มใส่ไว้ใน cell วัดน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของ cell ตามระยะเวลาที่กำหนด หรือวัดปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้นใน cell ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 การซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนของฟิล์มยางที่แปรปริมาณ ZnO และ ZnS ในระดับต่างๆ

Coating	specific permeability to water vapor (mg H ₂ O× mm/cm ² × hr)	specific permeability to oxygen (mg O ₂ × mm/cm ² × hr)
ZnO 5	0.074	0.124
ZnO 10	0.066	0.086
ZnO 15	0.051	0.106
ZnS 5	0.086	0.136
ZnS 10	0.058	0.116
ZnS 15	0.052	0.091

จากตารางที่ 4.21 พบว่าการเพิ่มปริมาณ ZnO และ ZnS ในฟิล์มยางมีผลต่อการซึมผ่านของไอน้ำและการซึมผ่านของออกซิเจนน้อย โดยปริมาณสาร ZnS และ ZnO ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลกับการต้านทานการกัดกร่อนทางเคมีไฟฟ้า และโครงสร้าง Zn(OH)₂ ที่เกิดขึ้นเป็นโครงสร้างรูพรุน (spongy structure) ซึ่งจะมีผลต่อการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนน้อย[10,11] ในขณะที่ ZnO ที่เกิดขึ้นจะเคลือบไปบนพื้นผิวของ Zn ทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ออกซิเจนและไอน้ำใช้เวลาเคลื่อนที่ไปสู่อีกด้านของแผ่นฟิล์มมากขึ้น แต่ปริมาณของ ZnS และ ZnO ที่ใช้ในสูตรสีเคลือบนั้นมีปริมาณไม่มาก คือ น้อยกว่าค่า critical pigment volume concentration (<CPVC) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงค่าความเข้มข้นวิกฤติของ pigment ที่จะครอบคลุมพื้นผิวที่เคลือบได้เต็มพื้นที่และจะส่งผลให้ความต้านทานต่อการซึมผ่านเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบอย่างมีนัยสำคัญ จึงจะเห็นว่าปริมาณของ ZnO และ ZnS ที่ใช้ในการทำสีเคลือบยางธรรมชาติทำให้มีผลต่อการต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและออกซิเจนไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจาก ZnS เป็น pigment ที่มีราคาสูง หากใส่ในปริมาณมากจะเป็นการเพิ่มต้นทุน ซึ่งจากผลการทดลองของการทดสอบสปรั้งหมอกน้ำเกลือและเคมีไฟฟ้า พบว่าการเพิ่มปริมาณของ ZnS เกินกว่า 15 phr ในสูตรสีเคลือบยางธรรมชาติจะส่งผลให้ความต้านทานต่อการกัดกร่อนลดลง

4.6 การทดสอบเปรียบเทียบกับสีเคลือบทางการค้า

ทำการทดลองเปรียบเทียบสีเคลือบยางธรรมชาติตัวอย่างกับสีเคลือบทางการค้า โดยในการทดสอบเลือกใช้สีเคลือบโจตัน (โคลทาร์อีพ็อกซี่ 82) ใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยางมะตอยผสมสำหรับพื้นได้ทอกรยนต์ (มอก. 775-2531) ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบเปรียบเทียบสีเคลือบตัวอย่างกับสีเคลือบทางการค้าตามมาตรฐาน มอก. 775-2531

การทดสอบ	ผลที่ได้จากการทดลอง		
	สีเคลือบตัวอย่าง	สีเคลือบทางการค้า	ค่ามาตรฐาน
ความหนาแน่น	1.1 kg/dm ³	1.0 kg/dm ³	ไม่เกิน 1.4 kg/dm ³
กากที่เหลือจากการระเหย	66 %	68 %	มากกว่า 65%
การไหลและการแห้งที่ผิว	4.8 mm	4.3 mm	ไม่เกิน 5 mm
ความทนความร้อน	1 ชั่วโมง	มากกว่า 24 ชั่วโมง	มากกว่า 20 นาที
ความทนน้ำมัน	4 ชั่วโมง	มากกว่า 24 ชั่วโมง	มากกว่า 3 ชั่วโมง
ความทนน้ำร้อน	มากกว่า 24 ชั่วโมง	มากกว่า 24 ชั่วโมง	มากกว่า 2 ชั่วโมง
ความทนต่อการหักงอ	มากกว่า 100 ครั้ง	5 ครั้ง	ดัดโค้ง 1 ครั้ง
ความทนต่อการสะกิด	12 kg	มากกว่า 20 kg	มากกว่า 10 kg
ความทนต่อการบ่มแรง	10 kg	มากกว่า 20 kg	มากกว่า 10 kg
ความทนต่อการกัดกร่อน	1.8 mm	1.2 mm	ไม่เกิน 3 mm

จากตารางที่ 4.22 เป็นการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติการใช้งานของสีเคลือบตัวอย่าง ที่มียางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลักกับสีเคลือบทางการค้า โดยในการทดลองเลือกสีใช้สีเคลือบโจตัน (โคลทาร์อีพ็อกซี่ 82) ซึ่งเป็นสีเคลือบที่จัดอยู่ในตลาดสีระดับบนของสีเคลือบ (คุณภาพสูงและมีราคาแพง) สำหรับสีทางการค้านี้ในการทดสอบเลือกใช้อัตราการผสมระหว่างเนื้อสีกับ hardener ที่ 4:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนมาตรฐานที่กำหนด

โดยในการทดสอบนั้นใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยางมะตอยผสมสำหรับพื้นได้ทอกรยนต์ (มอก. 775-2531) โดยได้ดัดแปลงการทดสอบจากลักษณะที่มีการวัดผลโดยใช้เกณฑ์มาตรฐานมาเป็นลักษณะที่สามารถนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบได้ เนื่องจากต้องการเปรียบเทียบผลการทดสอบของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างกับผลิตภัณฑ์ทางการค้านอกเหนือจากการทดสอบโดยวัดจากเกณฑ์มาตรฐานเพียงอย่างเดียว เช่น การทดสอบความทนทานต่อการหักงอในการทดสอบตามมาตรฐานถ้าสีเคลือบสามารถทนการหักงอได้ 1 ครั้งจะผ่านเกณฑ์ แต่ในการทดสอบนี้จะทดสอบจนกว่าจะเกิดการหักงอขึ้นเพื่อให้ได้ค่าความต้านทานต่อความหักงอที่แท้จริง สำหรับผลการทดลองที่ได้ จะเห็นว่าสีเคลือบทางการค้าจะมีคุณสมบัติส่วนใหญ่ดีกว่าสีเคลือบตัวอย่างคือ สามารถทนความร้อน น้ำร้อน น้ำมัน ทนต่อการสะกิด ทนต่อการบ่มแรง และทนต่อการกัดกร่อนได้สูงกว่า โดยเฉพาะคุณสมบัติการทนต่อความร้อนในรูปแบบต่างๆและทนต่อการสะกิดสีเคลือบทางการค้ามีค่าการทดสอบที่เหนือกว่าอย่างชัดเจน ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากสีเคลือบทางการค้านั้นมีโครงสร้างทางเคมีที่มีหมู่อีพ็อกซี่ซึ่งมีสมบัติเด่นในด้านความแข็งแรงทนทาน ทนต่อความร้อนสูง แต่มีข้อเสียคือความแข็งเปราะทำให้มีสมบัติความต้านทานต่อการหักงอดำ

เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการ cure, สมบัติทางเคมีไฟฟ้า และราคาของสีเคลือบยางธรรมชาติตัวอย่างกับสีเคลือบทางการค้า โคลทาร์อีพ็อกซี่ 82 ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบเปรียบเทียบสีเคลือบตัวอย่างกับสีเคลือบทางการค้า

การทดสอบ	ผลที่ได้จากการทดลอง		
	ค่ามาตรฐาน	สีเคลือบทางการค้า	สีเคลือบตัวอย่าง
เวลา Cure	-	15 นาที	5 วัน
สเปรย์น้ำเกลือ	ไม่เกิน 3 mm	1.2 mm	1.8 mm
Ecorr	มากกว่า-900 mv	-2 mv	-6 mv
ราคาต่อแกลลอน	-	495 B	240 B

จากตารางที่ 4.23 พบว่าสีเคลือบทางการค้าใช้เวลาในการ cure เพียง 15 นาที ในขณะที่สีเคลือบยางธรรมชาติใช้เวลาในการ cure ถึง 5 วัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงระยะเวลาในการ cure ให้ลดน้อยลง โดยพบว่าหากใช้ปริมาณสารตัวเร่งเพิ่มขึ้น 20% ที่คงสัดส่วนสารวัลคาไนซ์และสารตัวเร่งให้เป็นระบบกึ่งประสิทธิภาพจะทำให้ลดระยะเวลาการ cure ลง 2 วัน โดยจะส่งผลทำให้ราคาของสีเคลือบเพิ่มขึ้นเพียง 1 บาท (ไม่ได้แสดงผลไว้) เมื่อเปรียบเทียบการต้านทานต่อการกัดกร่อนด้วยสเปรย์น้ำเกลือ พบว่าสีเคลือบยางธรรมชาติ และสีเคลือบทางการค้าให้ค่าการขยายตัวของสนิมบนรอยบากมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 1.8 และ 1.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่า Ecorr ก็พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ทราบได้ว่าสียางธรรมชาติมีความต้านทานการกัดกร่อนเท่าเทียมกับสีเคลือบทางการค้า ถึงแม้จะมีสมบัติด้านความต้านทานต่อความร้อน, การบ่มเร่ง และความแข็งที่ดีน้อยกว่า ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.22 และเมื่อเปรียบเทียบราคาพบว่าสีเคลือบยางธรรมชาติมีราคาต่อแกลลอนที่ถูกกว่าสีเคลือบทางการค้าถึงหนึ่งเท่าตัว

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 การศึกษาหาสูตรยางคอมปาวด์สำหรับทำสีเคลือบโลหะที่เหมาะสม

5.1.1 เมื่อทดสอบโดยวิธีการทดสอบสีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยางมะตอยผสมสำหรับพื้นใต้ท้องรถยนต์ (มอก. 775-2531), วิธีการกรีดเป็นตาราง และวิธีการทดสอบการยึดติดกับโลหะของสีเคลือบโดยวิธีลอกแบบตัวที (T-peel test) พบว่าคิวเมอโรนเรซินเป็นสารเพิ่มการยึดติดในการเตรียมสีเคลือบที่เหมาะสมที่สุด

5.1.2 เมื่อทดสอบโดย วิธีการกรีดเป็นตารางและวิธีการทดสอบการยึดติดกับโลหะของสีเคลือบโดยวิธีลอกแบบตัวที (T-peel test) พบว่าปริมาณสารเพิ่มความยึดติดที่เหมาะสมที่สุดคือปริมาณ 10 phr

5.1.3 เมื่อทดสอบโดยวิธีการทดสอบสีตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยางมะตอยผสมสำหรับพื้นใต้ท้องรถยนต์ (มอก. 775-2531), วิธีการกรีดเป็นตารางและวิธีการทดสอบการยึดติดกับโลหะของสีเคลือบโดยวิธีลอกแบบตัวที (T-peel test) พบว่าระบบการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมที่สุดคือระบบ Semi-EV

5.2 การศึกษาหาระยะเวลาการวัลคาไนซ์โดยสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์สีเคลือบที่อุณหภูมิห้อง

5.2.1 เมื่อทดสอบโดยวิธีทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง พบว่าเวลาการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิห้องวัลคาไนซ์ได้อย่างสมบูรณ์ใช้เวลาประมาณ 5 วัน

5.2.2 เมื่อทดสอบด้วยวิธีหาความต้านทานต่อตัวทำละลาย พบว่าเวลาการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิห้องวัลคาไนซ์ได้อย่างสมบูรณ์ใช้เวลาประมาณ 5 วัน

5.3 การทดสอบสีเคลือบจากยางธรรมชาติในสภาวะการใช้งานรูปแบบต่าง ๆ

สีเคลือบจากยางธรรมชาติ สามารถใช้งานได้ดีในสภาวะอากาศปกติ แต่สำหรับการใช้งานในสภาวะที่แช่อยู่ในน้ำ หรือในสภาวะที่แช่อยู่ในน้ำเกลือสีเคลือบยังไม่สามารถต้านทานการผุกร่อนได้

5.4 การทดสอบด้วยวิธีการวัดค่าการกัดกร่อนด้วยไฟฟ้าและสเปรย์น้ำเกลือ

ZnO ที่ปริมาณ 10 phr และ ZnS ที่ปริมาณ 15 phr สามารถต้านทานการกัดกร่อนทางเคมีไฟฟ้าได้ดีที่สุด โดย oxidation products ของ Zn++ จะทำปฏิกิริยา neutralization

5.5 การทดสอบเปรียบเทียบกับสีเคลือบทางการค้า

เมื่อทดสอบโดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยางมะตอยผสมสำหรับพื้นใต้ท้องรถยนต์ (มอก. 775-2531) พบว่า สีเคลือบจากยางธรรมชาติมีสมบัติในการใช้งานด้อยกว่าสีเคลือบทางการค้าทุกการทดสอบยกเว้น การทดสอบการต้านทานต่อการหักงอที่สีเคลือบจากยางธรรมชาติมีสมบัติดีกว่า

ดังนั้นจึงสามารถสรุปสูตรของยางคอมปาวด์ที่เหมาะสมสำหรับทำผลิตภัณฑ์สีเคลือบโลหะ ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปสูตรยางที่เหมาะสมสำหรับทำผลิตภัณฑ์สีเคลือบโลหะ

สารเคมี	ปริมาณ (phr)
RSS3	100
HAF N330	25
TiO ₂	20
ZnO	10
ZnS	15
Stearic acid	2
คิวเมอโรนเรซิน	10
MBS	1.25
TMTD	0.50
กำมะถัน	2.0
6PPD	2
TMQ	1.5

6. ข้อเสนอแนะ

- 6.1 ทำการผลิตในระดับอุตสาหกรรมเพื่อเปรียบเทียบการใช้งานในห้องปฏิบัติการและปรับปรุงให้สามารถเข้าสู่กระบวนการผลิตได้จริง
- 6.2 ศึกษาชนิดและปริมาณของสารเคมีในการออกสูตรเพิ่มเติม เช่น ชนิดของสารตัวเร่ง, ปริมาณของสารตัวเติม และชนิดและปริมาณสารป้องกันการเสื่อมสภาพ เป็นต้น
- 6.3 ศึกษาอายุการเก็บของยางและสีเคลือบจากยางธรรมชาติ
- 6.4 ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับสีเคลือบในตลาดระดับล่าง นอกเหนือจากการเปรียบเทียบกับสีเคลือบในตลาดระดับบนที่ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบไปแล้ว

7. เอกสารอ้างอิง

1. กรักัญญา อักษรเนียม. “อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางไทย”, เคหะการเกษตร, 2549.
2. กรมการค้าและการส่งออก “อนาคตการผลิตสีในประเทศไทย”, กระทรวงอุตสาหกรรม, 2549.
3. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2531. มอก 775-2531: ยางมะตอยผสมสำหรับพื้นได้ทั้งรถยนต์. กระทรวงอุตสาหกรรม.
4. บุญธรรม นิธิอุทัย, พรพรรณ นิธิอุทัย, และ ปรีชา ป้องภัย. 2530 สารเคมีสำหรับยางและเทคนิคการออกสูตรยาง. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
5. Blow C. M. ; Hepburn C. (1982). Rubber Technology and Manufacture. London : Butterworth.
6. Ciesielski, Andrew (1999). Introduction to Rubber Technology. Rapra.
7. Brooman E.B. 2002. “Modifying organic coating to provide corrosion resistance-organic additives and conducting polymers”, Metal Finishing, June, 2002, pp 104-110.
8. Ahmad S., Ashraf S.D., Hasnat A., 2005. “Synthesis characterization and performance evaluation of hard, anticorrosive coating materials derived from diglycidyl ether of bisphenol A acrylates and methacrylates” Journal of Applied Polymer Science, vol 95, 494-501.
9. Kalendova A., Kelenda D., Vesele D. 2006 “Comparision of the efficiency of inorganic nonmetal pigments with zinc powder in anticorrosive paints”, Progress in Organic Coatings, vol 57, 1-10.
10. Kalendova A.. 2003 “Effects of particle sizes and shapes of zinc metal on the properties of anticorrosive coatings”, Progress in Organic Coatings, vol 46, 342-332.
11. Kalendova A.. 2000 “Electrochemical mechanism of zinc metal as anticorrosive pigments”, Progress in Organic Coatings, vol 38, 199-205.

ภาคผนวก

ข้อคิดเห็นของนักวิจัยต่อข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ

1. คุณภาพของสีเคลือบกันสนิมใต้ท้องรถจากยางธรรมชาติดีกว่าสารเคลือบผิวจากยางมะตอยในทุกคุณสมบัติ แสดงว่ายังต้องทำวิจัยต่อเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีกว่า

- สีเคลือบกันสนิมยางธรรมชาตินั้นมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยางมะตอยผสมสำหรับพ่นใต้ท้องรถยนต์ แต่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าสีเคลือบผิวโกลทาร์อิพอกซี เนื่องจาก อิพอกซีเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมเซต ที่มีปริมาณโครงข่ายเชื่อมโยงสูง ทำให้มีสมบัติด้านความแข็งและความทนทานต่อความร้อนสูงกว่ายางธรรมชาติมาก ในการปรับปรุงสมบัติยางธรรมชาติให้มีความแข็งแรงเทียบเท่าหรือมากกว่านั้นเป็นไปได้ยาก และหากต้องการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ยางธรรมชาติจำเป็นต้องใส่สารตัวเติมเสริมแรงในปริมาณมากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ราคาของสีเคลือบยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งผู้วิจัยมีความคิดเห็นว่าคุณไม่ควรเพิ่มจนราคาต้นทุนเกิน 300 บาทเพราะจะทำให้การแข่งขันทางการค้าของสีเคลือบยางธรรมชาติลดลงอย่างมาก อีกแนวทางหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติสีเคลือบยางธรรมชาติ คือการทำสีเคลือบยางธรรมชาติให้เป็นอีพ็อกซี ซึ่งวิธีการนี้นอกจากจะช่วยให้ยางแข็งแรงมากขึ้นแล้วยังช่วยให้การยึดติดกับเหล็กดีขึ้นอีกด้วย แต่จำเป็นต้องใช้ความร้อนเพื่อให้ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเกิดขึ้นได้ในปริมาณสูง ดังนั้นในทางปฏิบัติจะต้องมีอุปกรณ์เสริมเพื่อให้ความร้อน ซึ่งก็จะส่งผลให้ต้นทุนเพิ่มมากขึ้น

จากผลการเปรียบเทียบความต้านทานต่อการกัดกร่อนโดยวิธีสเปรย์น้ำเกลือและเคมีไฟฟ้าของสีเคลือบทางการค้าและสีเคลือบยางธรรมชาติ(ตารางที่ 4.23) พบว่า สีเคลือบยางธรรมชาติมีสมบัติด้านความต้านทานต่อการกัดกร่อนที่ใกล้เคียงกับสีเคลือบทางการค้า ถึงแม้จะมีสมบัติด้านความต้านทานต่อความร้อน, การบ่มเร่ง และความแข็งที่ดีกว่า ซึ่งคุณสมบัติที่ดีกว่านี้มีสาเหตุจากที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น แต่สมบัติที่กล่าวมานั้นนั้นผ่านตามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเคลือบกันสนิมใต้ท้องรถทั้งหมด ทำให้ทราบว่าสีเคลือบยางธรรมชาตินั้นสามารถนำมาใช้แข่งขันกับสีเคลือบทางการค้าได้ ทั้งยังมีราคาที่ถูกลงกว่าถึงเท่าตัว

2. ราคาเปรียบเทียบของสารเคลือบยางธรรมชาติกับสีจัตัน

- ได้เพิ่มส่วนของการเปรียบเทียบราคาไว้ในรายงานแล้ว (หัวข้อ 4.6)