



รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาสูตรยางเพื่อลดไฟฟ้าสถิต

Development of rubber formula for reducing static electricity

ศิวิโรฒ บุญราศรี

มิถุนายน 2553

สัญญาเลขที่ RDG5150042

รายงานฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาสูตรยางเพื่อลดไฟฟ้าสถิต

Development of rubber formula for reducing static electricity

คณะผู้วิจัย สังกัด

ศิริโรฒ บุญราศรี

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ การพัฒนาสูตรยางเพื่อลดไฟฟ้าสถิต
Development of rubber formula for reducing static electricity

ชื่อหัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล ศิวโรฒ บุญราศรี
หน่วยงาน คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ที่อยู่ 63 หมู่ 4 ถนนเชียงใหม่-พร้าว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย
 จังหวัดเชียงใหม่ 50290
โทรศัพท์/โทรสาร 087 831 4777/ (053)498902
E-mail : oproj@hotmail.com, siwaroj@mju.ac.th
นักศึกษา นางสาวอริยา หล้าสะ

ระยะเวลา การดำเนินงาน 1 ปี 11 เดือน ตั้งแต่วันที่ 15 กรกฎาคม 2551 ถึงวันที่ 14 มิถุนายน 2553

ปัญหาที่ทําวิจัยและความสำคัญ

ธุรกิจผลิตยางพาราใส่นิ้วมือ ถือเป็นธุรกิจใหม่สำหรับคนไทย ซึ่งมีแนวโน้มการเติบโตของตลาดที่น่าสนใจ เนื่องจากปัจจุบันธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้าเติบโตอย่างมาก ทำให้มีความต้องการยางยี่ห้อสูงตามไปด้วย จนไม่สามารถผลิตได้ทัน แต่ละโรงงานใช้งานวันละหลายหมื่นชิ้น โดยตลาดของบริษัทวิ-ฟิงเกอร์ฯ กว่า 50% จะส่งออกไปต่างประเทศ เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ เป็นต้น ส่วนอีกประมาณ 50% เป็นตลาดในประเทศ ขายในราคาชิ้นละ 7-8 สตางค์ ขึ้นอยู่กับคุณภาพและวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งาน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนาสูตรยางเพื่อลดไฟฟ้าสถิตในยางยี่ห้อและพัฒนายางยี่ห้อให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งประจุไฟฟ้าที่เกิดจากการขัดสี เกิดขึ้นเมื่อเรานำวัตถุต่าง ๆ มาขัดสีกัน เรียงลำดับตามการรับอิเล็กตรอนของกระแสไฟฟ้าสถิตจากน้อยไปหามากดังนี้ ผิวหนังมนุษย์ (Human Hands Or If Very Dry), หนังสัตว์ (Leather), ขนกระต่าย (Rabbit Fur), Nylon, Silk, Cotton, Amber, Polyester, Polyurethane, ขวดน้ำ Polypropylene Vinyl (PVC), Silicon และ Teflon

สารกันไฟฟ้าสถิต (Anti-Static Agent) หมายถึงสารที่ช่วยลดประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนพอลิเมอร์ สารลดไฟฟ้าสถิตเป็นสารที่ทำให้ผิวยางมีการนำไฟฟ้าเล็กน้อย ปัจจุบันนี้ในอุตสาหกรรมการผลิตพอลิเมอร์ป้องกันไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge Barrier) โดยพอลิเมอร์ดังกล่าวจะต้องมีค่าต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวอยู่ระหว่าง 10^4 - $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ จึงจะสามารถป้องกันกระแสไฟฟ้าสถิตและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ในระบบอิเล็กทรอนิกส์

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยจะทดลองใช้น้ำยางสังเคราะห์เอ็นบีอาร์ (Acrylonitrile Butadiene Rubber, NBR) สารตัวเติมเขม่าดำ (Carbon black) สารตัวเติมซิลิกา (Silica) สารดีอีจี (Diethylene glycol, DEG) และสารทีอีเอ (Triethanolamine, TEA) เติมลงไปในน้ำยางคอมปาวด์ โดยสารเคมีที่เติมลงไปไม่ทำให้ต้นทุนของฟิล์มยางเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ฟิล์มยางช่วยป้องกันไฟฟ้าสถิตได้

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาสูตรน้ำยางเพื่อลดไฟฟ้าสถิตของฟิล์มยาง

ผลการดำเนินงาน

สมบัติความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มยาง

ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเชิงพื้นผิวประมาณ $10^{16} \Omega/\text{cm}^2$ แต่เมื่อทำเป็นยางคอมปาวด์แล้วขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มยางค่าที่วัดได้จริงประมาณ $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$ เนื่องจากในน้ำยางธรรมชาติมีสารที่มีขั้วหลายชนิดเช่น โปรตีน ไขมัน โลหะ และสารอินทรีย์อื่น ๆ และในสูตรยางมีสารที่มีขั้วหลายชนิด เช่น กำมะถัน สารตัวเร่ง ซิงค์ออกไซด์ แอนติออกซิแดนต์ เป็นต้น ทำให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเชิงพื้นผิว ลดลงจาก $10^{16} \Omega/\text{cm}^2$ ไปเป็น $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$ ค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$ ยังทำให้ยางเป็นฉนวนอยู่ ค่ามาตรฐานของถุงนั้วที่โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ใช้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงให้แผ่นฟิล์มยางมีค่าค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเชิงพื้นผิวลดลงอยู่ในช่วงดังกล่าว โดยการเติมสารชนิดต่าง ๆ ลงไปในน้ำยางคอมปาวด์ เช่น ยาง NBR, Carbon black, Silica, DEG และ TEA ในอัตราส่วนที่ต่างกัน 1, 2, 4, 8 และ 12 phr แล้วนำมาทำเป็นฟิล์มยาง จะทำให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าลดลงเมื่อปริมาณสารที่เติมลงไปในน้ำยางคอมปาวด์มากขึ้น โดยที่เติมยาง NBR ในปริมาณ 8-12 phr, หรือเขม่าดำปริมาณ 12 phr, หรือซิลิกาปริมาณ 2-12 phr, หรือดีอีจีปริมาณ 4-12 phr, หรือทีอีเอปริมาณ 4-12 phr ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 10^4 - $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ โดยวัดที่ค่าความต่างศักย์ $100 \pm 5 \text{ Volt}$ ซึ่งผ่านค่ามาตรฐาน

ผลของการทดสอบแรงดึงของฟิล์มยาง

หลังจากการทดสอบความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวแล้วนำแผ่นฟิล์มยางมาทดสอบสมบัติแรงดึง เช่น Tensile strength, 300% Modulus และ Elongation at break ค่า Tensile strength ของฟิล์มยางเริ่มต้นประมาณ 18 MPa แต่เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กันทำให้ค่า Tensile strength ของฟิล์มยางเปลี่ยนแปลงไป เมื่อเติมยาง NBR หรือเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr ทำให้ค่า Tensile strength ของฟิล์มยางลดลง แต่เมื่อเติม Carbon black หรือ Silica ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr ทำให้ค่า Tensile strength ของฟิล์มยางเพิ่มขึ้น

ค่า 300% Modulus เริ่มต้นประมาณ 2 MPa แต่เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กันทำให้ค่า 300% Modulus ของฟิล์มยางเปลี่ยนแปลงไป เมื่อเติมยาง NBR ทำให้ค่า 300% Modulus ของฟิล์มยางเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr ทำให้ค่า 300% Modulus ของฟิล์มยางลดลง แต่เมื่อเติม Carbon black หรือ Silica ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr ทำให้ค่า 300% Modulus ของฟิล์มยางเพิ่มขึ้นมาก

ค่า Elongation at break เริ่มต้นประมาณ 890 แต่เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กันทำให้ค่า Tensile strength ของฟิล์มยางเปลี่ยนแปลงไป เมื่อเติมยาง NBR หรือเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr ทำให้ค่า Elongation at break ของฟิล์มยางเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติม Carbon black หรือ Silica ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr ทำให้ค่า Elongation at break ของฟิล์มยางลดลง

นอกจากจะดูว่าค่า Surface Resistivity จะผ่านมาตรฐานแล้วแต่อาจจะทำให้ได้สมบัติแรงดึงไม่ผ่านมาตรฐานก็ได้ ดังนั้นปริมาณสารที่เหมาะสมเมื่อเติมยาง NBR ประมาณ 8 phr, Carbon black ประมาณ 12 phr, Silica ประมาณ 2 phr, DEG ประมาณ 4 phr และ TEA ประมาณ 4 phr Carbon black ให้ผลสมบัติความต้านทานไฟฟ้าที่ไม่ดีนักและทำให้ยางเป็นสีดำด้วย ส่วนสารอื่น ๆ สามารถทำให้ยางมีสีต่าง ๆ ได้

ผลของการทดสอบการ Aging ของฟิล์มยาง

หลังจากการทดสอบสมบัติแรงดึงก่อนบ่มเสร็จแล้ว นำยางชุดเดียวกันนั้นมาทดสอบสมบัติยางหลังบ่มเสร็จแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า %Change ของค่า Tensile strength, 300% Modulus และ Elongation at break ค่า %Change ของค่า Tensile strength ลดลงเมื่อฟิล์มยางผ่านการ aging ซึ่งสมบัติเริ่มต้นลดลงประมาณ 10% เมื่อเติมยาง NBR หรือเติม Carbon black หรือ Silica ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr มีผลต่อค่า %Change ของค่า Tensile strength ของฟิล์มยางค่อนข้างคงที่

แต่เมื่อเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr มีผลต่อค่า %Change ของค่า Tensile strength ของฟิล์มยางลดลง แสดงว่าสาร DEG และ TEA ไล่ลงไปในช่วงในปริมาณที่มากไม่ได้

ค่า %Change ของค่า 300% Modulus ลดลงเมื่อฟิล์มยางผ่านการ aging ซึ่งสมบัติเริ่มต้นลดลงประมาณ 5% เมื่อเติมยาง NBR หรือเติม Carbon black หรือ Silica ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr มีผลต่อค่า %Change ของค่า 300% Modulus ของฟิล์มยางค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr มีผลต่อค่า %Change ของค่า 300% Modulus ของฟิล์มยางลดลง

ค่า %Change ของค่า Elongation at break ลดลงเมื่อฟิล์มยางผ่านการ aging ซึ่งสมบัติเริ่มต้นลดลงประมาณ 5% เมื่อเติมยาง NBR หรือเติม Carbon black หรือ Silica ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr มีผลต่อค่า %Change ของค่า Elongation at break ของฟิล์มยางค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr มีผลต่อค่า %Change ของค่า Elongation at break ของฟิล์มยางลดลง

สรุปผลการวิจัย

แผ่นฟิล์มยางที่ไม่มีการเติมสารเคมีมีความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวประมาณ $10^{16} \Omega/\text{cm}^2$ แต่เมื่อผสมน้ำยางคอมปาวด์ตามสูตรดังนี้ 60% น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ 100 phr, 10% โปดัสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 phr, 10% โปดัสเซียม โอเลอิท 0.5 phr, 50% กำมะถัน 1.5 phr, 50% แซด ดี อี ซี 0.75 phr, 50% ซีพีแอลแอนติออกซิแดนท์ที่ 1 phr, 50% ซิงค์ออกไซด์ 2 phr แผ่นฟิล์มยางที่ได้มีสมบัติความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวลดลงได้ค่าประมาณ $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$ โดยที่มาตรฐานโรงงานอิเล็กทรอนิกส์กำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าของถ่วงนี้ที่ทำจากยางพาราให้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ วัดที่ค่าความต่างศักย์ไม่เกิน $100 \pm 5 \text{ Volt}$ จึงจะสามารถป้องกันไฟฟ้าสถิตได้

แผ่นฟิล์มยางที่มีสมบัติลดไฟฟ้าสถิตได้ (มีความต้านทานไฟฟ้าที่เหมาะสม) และสมบัติความทนทานต่อแรงดึงก่อนบ่มและหลังบ่มแรงที่ดี เพื่อให้ได้สมบัติที่ดีดังกล่าวขึ้นกับชนิดของสารเคมีและปริมาณสารเคมีที่เติมในน้ำยางคอมปาวด์ในปริมาณที่เหมาะสม ดังนี้เมื่อเติมยาง NBR ประมาณ 8 phr หรือเมื่อเติม Carbon black ประมาณ 12 phr หรือเมื่อเติม Silica ประมาณ 4 phr หรือเมื่อเติม DEG ประมาณ 4 phr และ/หรือเมื่อเติม TEA ประมาณ 4 phr

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

จากการทดลองเรื่องการพัฒนาสูตรยางเพื่อลดไฟฟ้าสถิต การนำผลการวิจัยไปใช้ จะต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งานของผลิตภัณฑ์ เพราะสูตรที่ได้จากการทดลองแปรชนิดและปริมาณสารต่าง ๆ ส่งผลให้สามารถลดความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวได้ในแผ่นฟิล์มยางได้ในปริมาณที่แตกต่างกันไปและเมื่อใส่ในปริมาณที่เหมาะสมสามารถป้องกันไฟฟ้าสถิตได้ ทั้งนี้ปริมาณสารที่เดิมลงไปมีผลต่อความทนทานแรงดึงก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่งด้วย นอกจากนี้มีบางสูตรที่เหมาะสมสำหรับการนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่ลดไฟฟ้าสถิตในถุงนิวได้โดยที่ได้มีความยืดหยุ่นและทนต่อแรงดึง

ประเด็นวิจัยใหม่มีดังนี้

- ศึกษาสารชนิดอื่นที่มีประสิทธิภาพในการลดไฟฟ้าสถิต (มีความต้านทานไฟฟ้าที่เหมาะสม) และให้สมบัติความต้านทานแรงดึงที่ดีก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่ง
- ศึกษาการเพิ่มความเสถียรของน้ำยางเมื่อผสมสารตัวเดิม เช่น สารตัวเดิมเขม่าดำ สารตัวเดิมซิลิกา

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

- การตีพิมพ์ภายในประเทศ

บทคัดย่อ

แผ่นฟิล์มยางที่ไม่มีการเติมสารเคมีมีความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวประมาณ $10^{16} \Omega/\text{cm}^2$ แต่เมื่อเตรียมเป็นน้ำยางคอมปาวด์ แผ่นฟิล์มยางที่ได้มีสมบัติความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวลดลงได้ค่าประมาณ $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$ โดยที่มาตรฐานโรงงานอิเล็กทรอนิกส์กำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าของฉนวนที่ทำจากยางพาราให้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ เมื่อวัดที่ความต่างศักย์ $100 \pm 5 \text{ Volt}$ ในงานวิจัยนี้ได้เตรียมฟิล์มยางธรรมชาติโดยแปรสารชนิดต่าง ๆ เช่น ยางเอ็นบีอาร์ (Acrylonitrile Butadiene Rubber, NBR), เขม่าดำ (Carbon black, CB), ซิลิกา (Silica), สารดีอีจี (Diethyleneglycol, DEG) และ สารทีอีเอ (Triethanolamine, TEA) ลงไปในน้ำยางคอมปาวด์ในปริมาณ 1, 2, 4, 8 และ 12 phr แล้วนำมาทดสอบสมบัติความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวและสมบัติความทนทานต่อแรงดึงก่อนบ่มและหลังบ่ม ผลการทดลองพบว่าค่าไฟฟ้าสถิตของฟิล์มยางลดลงเมื่อปริมาณสารที่เติมเพิ่มขึ้น และปริมาณสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับเตรียมแผ่นฟิล์มยางที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าตามมาตรฐาน มีสมบัติลดไฟฟ้าสถิตได้ และยังคงให้สมบัติความทนทานต่อแรงดึงก่อนบ่มและหลังบ่มที่ดี คือเมื่อเติมยาง NBR ประมาณ 8 phr หรือเมื่อเติม Carbon black ประมาณ 12 phr หรือเมื่อเติม Silica ประมาณ 2 phr หรือเมื่อเติม DEG ประมาณ 4 phr หรือเมื่อเติม TEA ประมาณ 4 phr ในน้ำยางคอมปาวด์

ABSTRACT

Natural rubber (NR) film has surface resistivity about $10^{16} \Omega/\text{cm}^2$. Although, the chemical ingredients were added in to NR, surface resistivity of compound rubber film slightly decreases to $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$. In electronics industry, standard surface resistivity of finger glove made of natural rubber ranges from 10^4 to $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ at 100 ± 5 Volt. In this experiment, different additives which are Acrylonitrile Butadiene Rubber (NBR), Carbon black (CB), Silica, Diethyleneglycol (DEG) and Triethanolamine (TEA) were added with various contents (1, 2, 4, 8 and 12phr) to make rubber film. Then, surface resistivity and mechanical properties of rubber film were studied. It is found that static electricity of the rubber film reduces with increasing content of all additives. Performing the standard surface resistivity and high tensile properties before and after aging, the optimum level of NBR, CB, Silica, DEG and TEA is 8, 12, 2, 4 and 4 phr, respectively.

การพัฒนาสูตรยางเพื่อลดไฟฟ้าสถิต*

(Development of rubber formula for reducing static electricity)

ศิวโรฒ บุญราศรี

(Mr. Siwarote Boonrasri)

คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

(Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University)

บทคัดย่อ

แผ่นฟิล์มยางที่ไม่มีการเติมสารเคมีมีความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวประมาณ $10^{16} \Omega/\text{cm}^2$ แต่เมื่อเตรียมเป็นน้ำยางคอมปาวด์ แผ่นฟิล์มยางที่ได้มีสมบัติความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวลดลงได้ค่าประมาณ $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$ โดยที่มาตรฐานโรงงานอิเล็กทรอนิกส์กำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าของถุงนั้วที่ทำจากยางพาราให้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ เมื่อวัดที่ความต่างศักย์ $100 \pm 5 \text{ Volt}$ ในงานวิจัยนี้ได้เตรียมฟิล์มยางธรรมชาติโดยแปรสารชนิดต่าง ๆ เช่น ยางเอ็นบิวอาร์ (Acrylonitrile Butadiene Rubber, NBR), เขม่าดำ (Carbon black, CB), ซิลิกา (Silica), สารดีอีจี (Diethyleneglycol, DEG) และ สารทีอีเอ (Triethanolamine, TEA) ลงไปในน้ำยางคอมปาวด์ในปริมาณ 1, 2, 4, 8 และ 12 phr แล้วนำมาทดสอบสมบัติความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวและสมบัติความทนทานต่อแรงดึงก่อนบ่มและหลังบ่ม ผลการทดลองพบว่าค่าไฟฟ้าสถิตของฟิล์มยางลดลงเมื่อปริมาณสารที่เติมเพิ่มขึ้น และปริมาณสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับเตรียมแผ่นฟิล์มยางที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าตามมาตรฐาน มีสมบัติลดไฟฟ้าสถิตได้ และยังคงให้สมบัติความทนทานต่อแรงดึงก่อนบ่มและหลังบ่มที่ดี คือเมื่อเติมยาง NBR ประมาณ 8 phr หรือเมื่อเติม Carbon black ประมาณ 12 phr หรือเมื่อเติม Silica ประมาณ 2 phr หรือเมื่อเติม DEG ประมาณ 4 phr หรือเมื่อเติม TEA ประมาณ 4 phr ในน้ำยางคอมปาวด์

ABSTRACT

Natural rubber (NR) film has surface resistivity about $10^{16} \Omega/\text{cm}^2$. Although, the chemical ingredients were added in to NR, surface resistivity of compound rubber film slightly decreases to $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$. In electronics industry, standard surface resistivity of finger glove made of natural rubber ranges from 10^4 to $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ at $100 \pm 5 \text{ Volt}$. In this experiment, different additives which are Acrylonitrile Butadiene Rubber (NBR),

Cabon black (CB), Silica, Diethyleneglycol (DEG) and Triethanolamine (TEA) were added with various contents (1, 2, 4, 8 and 12phr) to make rubber film. Then, surface resistivity and mechanical properties of rubber film were studied. It is found that static electricity of the rubber film reduces with increasing content of all additives. Performing the standard surface resistivity and high tensile properties before and after aging, the optimum level of NBR, CB, Silica, DEG and TEA is 8, 12, 2, 4 and 4 phr, respectively.

คำนำ

ธุรกิจผลิตถุงยางพาราไต้หวันมีมือ ถือเป็นธุรกิจใหม่สำหรับคนไทย ซึ่งมีแนวโน้มการเติบโตของตลาดอย่างน่าสนใจ เนื่องจากปัจจุบัน ธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้าเติบโตอย่างมาก ทำให้มีความต้องการถุงยางนึ่งสูงตามไปด้วย จนไม่สามารถผลิตได้ทัน แต่ละโรงงานใช้งานวันละหลายหมื่นชิ้น โดยตลาดของบริษัทวิ-ฟิงเกอร์ฯ กว่า 50% จะส่งออกไปต่างประเทศ เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ เป็นต้น ส่วนอีกประมาณ 50% เป็นตลาดในประเทศ ขายในราคาชิ้นละ 7-8 สตางค์ ขึ้นอยู่กับคุณภาพและวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งาน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนาสูตรยางเพื่อลดไฟฟ้าสถิตในถุงยางนึ่งและพัฒนาถุงยางนึ่งให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งประจุไฟฟ้าที่เกิดจากการขัดสี² เกิดขึ้นเมื่อเรานำวัตถุต่าง ๆ มาขัดสีกัน เรียงลำดับตามการรับอิเล็กตรอนของกระแสไฟฟ้าสถิต จากน้อยไปหามากดังนี้ ผิวหนังมนุษย์(Human Hands Or If Very Dry), หนังสัตว์ (Leather), ขนกระต่าย (Rabbit Fur), Nylon, Silk, Cotton, Amber, Polyester, Polyurethane, ขวดน้ำ Polypropylene Vinyl (PVC), Silicon และTeflon

สารกันไฟฟ้าสถิต³ (Anti-Static Agent) หมายถึง สารที่ช่วยลดประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนพอลิเมอร์ สารลดไฟฟ้าสถิต^{4,5} เป็นสารที่ทำให้ผิวยางมีการนำไฟฟ้าเล็กน้อย ปัจจุบันนี้งานในอุตสาหกรรมการผลิตพอลิเมอร์ป้องกันไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge Barrier) โดยพอลิเมอร์ดังกล่าว จะต้องมีความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวอยู่ระหว่าง 10^4 - 10^9 Ω/cm^2 จึงจะสามารถป้องกันกระแสไฟฟ้าสถิต และไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ในระบบอิเล็กทรอนิกส์

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยจะใช้น้ำยางสังเคราะห์เอ็นบีอาร์(Acrylonitrile Butadiene Rubber, NBR) สารตัวเติมเขม่าดำ (Carbon black, CB) สารตัวเติมซิลิกา (Silica) สารดีอีจี (Diethylene glycol, DEG) และสารทีอีเอ (Triethanolamine, TEA) โดยสารเคมีที่ใส่ลงไปไม่ทำให้ต้นทุนของฟิล์มยางเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ฟิล์มยางช่วยป้องกันไฟฟ้าสถิตได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

- เครื่องทดสอบการบ่มเร่ง (Aging)
- เครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill)
- เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine)
- เครื่องทดสอบความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity meter)

สารเคมี

- 60% น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียดำ (LA-type)
- 50% ดิสเพอร์ชันกำมะถัน (Sulphur, S)
- 50% ดิสเพอร์ชัน แซด ดี อี ซี (Zinc diethyl dithiocarbamate, ZDEC)
- 10% โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์
- 10% โปแตสเซียม โอลิเอต (Potassium oleate)
- 50% ดิสเพอร์ชันซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)
- 50% ดิสเพอร์ชันแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant)
- 45% น้ำยางเอ็นบีอาร์ (Acrylonitrile Butadiene Rubber, NBR)
- 10% ดิสเพอร์ชันเขม่าดำ
- 10% ดิสเพอร์ชันซิลิกา
- สารดีอีจี (Diethyleneglycol ,DEG)
- สารทีอีเอ (Triethanolamine, TEA)

วิธีการ

1. การเตรียมน้ำยางคอมปาวด์

ในการทำวิจัยครั้งนี้ได้มีการออกแบบสูตรน้ำยางคอมปาวด์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับสูตรยางที่สามารถลดไฟฟ้าสถิตได้มากที่สุด การออกแบบสูตรให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น จะทำโดยทดสอบคุณภาพของชิ้นงานที่ได้จากสูตรน้ำยางคอมปาวด์ที่แปรปริมาณสารเคมีในแต่ละสูตร น้ำยางคอมปาวด์หรือน้ำยางที่ผ่านการบ่มนั้น มีกระบวนการทำดังนี้ ผสมน้ำยางข้นกับสารเคมีที่เตรียมไว้ดังตารางที่ 1

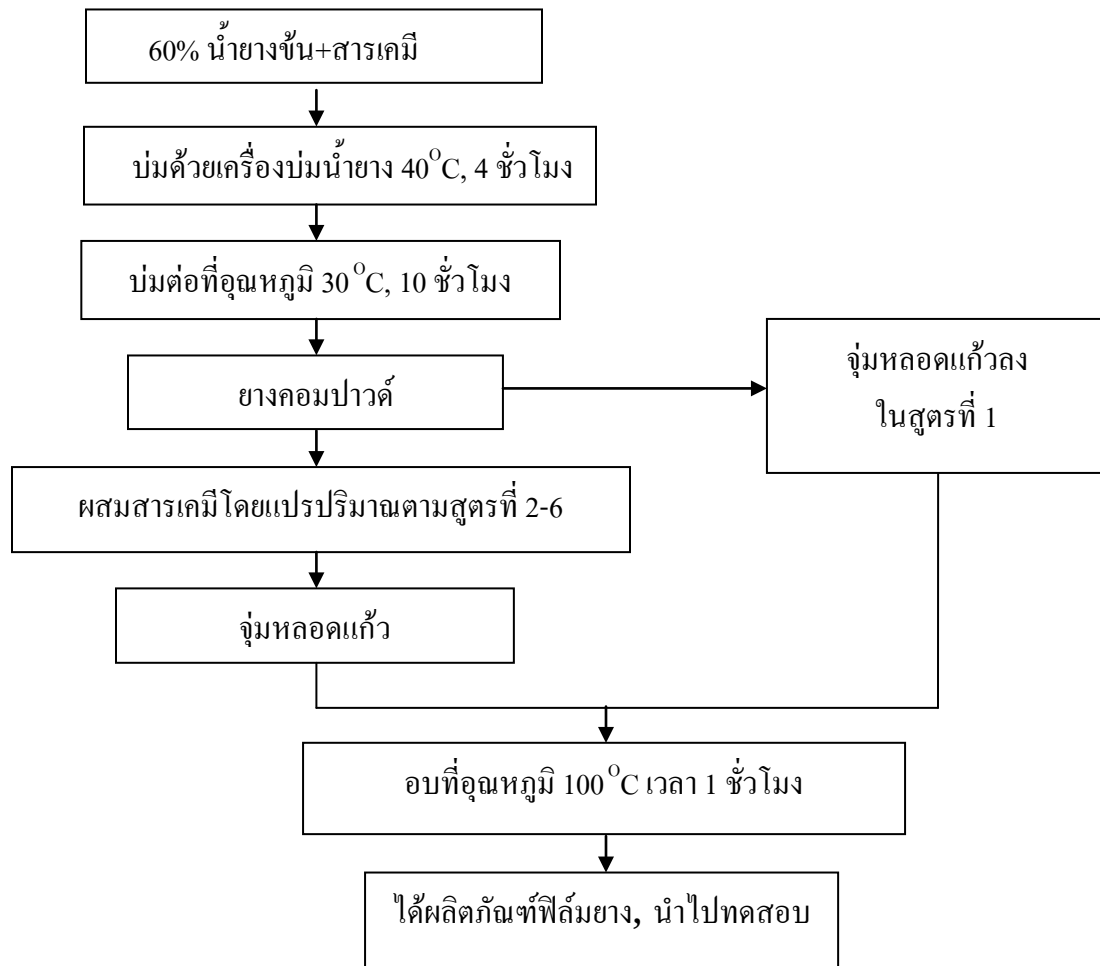
ตารางที่ 1 ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการบ่มน้ำยางในการทำผลิตภัณฑ์ฟิล์มยางเพื่อลดไฟฟ้าสถิต

ส่วนผสม	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
60% น้ำยางข้น	100	100	100	100	100	100
10% โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
10% โพแทสเซียมโอเลเอต	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
50% กำมะถัน	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
50% แซด ดี อี ซี	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
50% ซี พี แอล	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
50% ซิงค์ออกไซด์	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
NBR, Carbon black, Silica, DEG และ TEA***	0	1	2	4	8	12

***นำสารเคมีที่เตรียมไว้ใส่ลงในขวดโหลบ่มน้ำยาง แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง โดยเครื่องบ่มน้ำยาง หลังจากนั้นบ่มต่อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง แล้วเติมสารลงในน้ำยางที่บ่มไว้ โดยสารที่ใช้มี 5 ชนิด คือ 1. น้ำยางเอ็นบีอาร์, 2. เขม่าดำ (Carbon black) 3. ซิลิกา (Silica) 4. สารดีอีจี (Diethyleneglycol, DEG), 5. สารทีอีเอ (Triethanolamine, TEA) สารที่เติมทุกตัวได้แปรปริมาณเป็น 1 2 4 8 และ 12 phr ในการทำวิจัยครั้งนี้มีทั้งหมด 30 สูตร

2. วิธีการจุ่มโดยใช้สารจับตัว

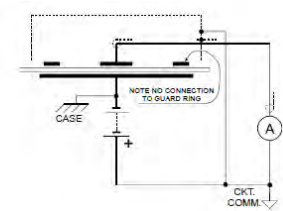
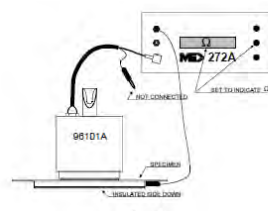
นำหลอดแก้วที่เตรียมไว้ชุบด้วยสารช่วยในการจับตัวนำไปอบให้หมดในตู้อบอุณหภูมิ 100°C ประมาณ 5 นาที รอให้เย็น แล้วนำหลอดแก้วไปจุ่มน้ำยางคอมพาวด์แช่ไว้ประมาณ 30 วินาที นำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 100°C ประมาณ 1 ชั่วโมง นำไปตัดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจะได้ฟิล์มยางนำไปล้างน้ำร้อนจนแห้งแล้วจึงนำไปทดสอบแรงดึงและสมบัติทางไฟฟ้า ขั้นตอนในการทำฟิล์มแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำฟิล์มยาง

3. การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า (Testing Of Electrical Properties)

การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของยาง เช่น สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวและเชิงปริมาตร (Surface and Volume Resistivity) เครื่องที่ใช้ทดสอบยี่ห้อ Monroe Electronics รุ่น Monroe 272 Resistivity แสดงดังรูปที่ 2 โดยเครื่องสามารถวัด Resistivity ได้ในช่วงจาก 10^4 - 10^{14} โอห์มต่อตารางเซนติเมตร สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้า 10 volts และ 100 volts



รูปที่ 2 เครื่อง Monroe 272 Resistivity⁶

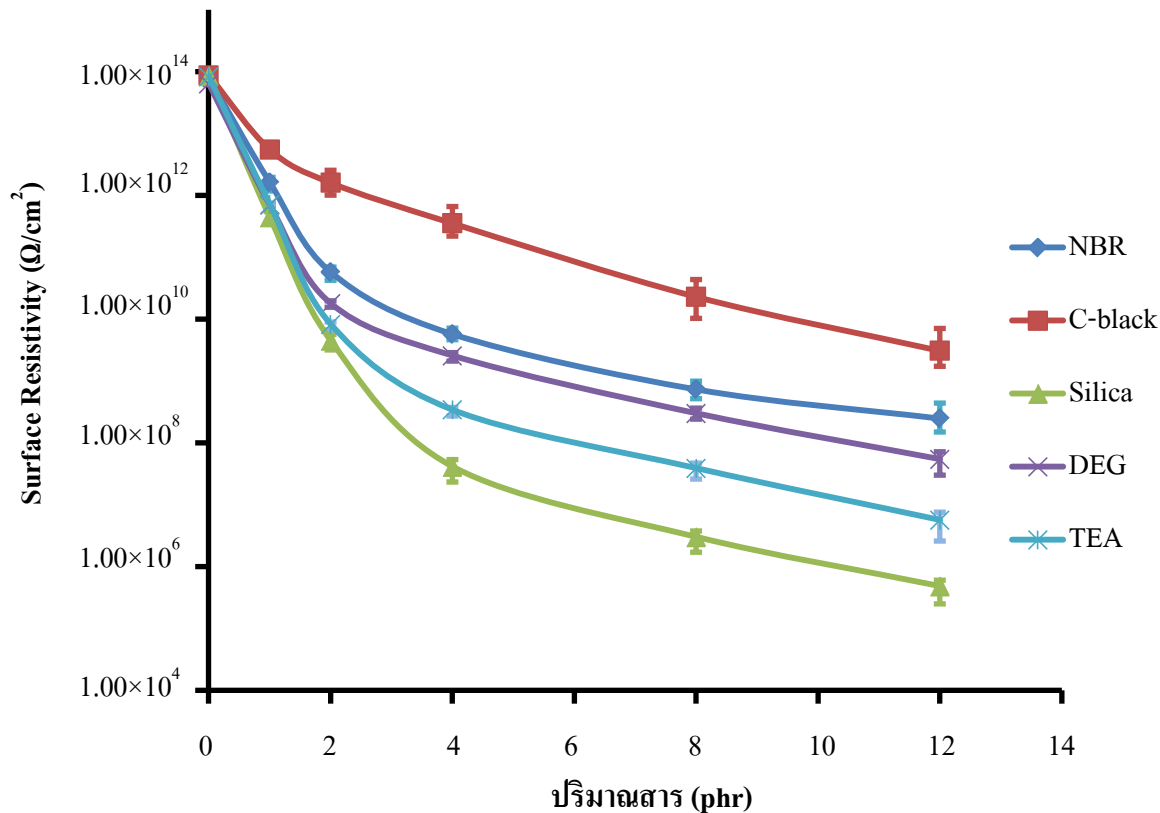
ผลและวิจารณ์

1. สมบัติความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มยาง

การทดลองในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาผลของยาง NBR, Carbon black, Silica, DEG และ TEA ที่ผสมลงไปในส่วนในอัตราส่วนที่ต่างกัน 1, 2, 4, 8 และ 12 phr แล้วนำมาทำเป็นฟิล์มยาง โดยที่มาตรฐานโรงงานอิเล็กทรอนิกส์กำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าของฉนวนที่ทำอย่างพาราให้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega\text{cm}^2$ วัดที่ค่าความต่างศักย์ไม่เกิน 100 ± 5 Volt ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 3

ตารางที่ 2 ค่า Surface Resistivity เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน

ชนิดของสาร	Surface Resistivity (Ω/cm^2) ของสารที่เติมปริมาณต่าง ๆ กัน (phr)					
	0	1	2	4	8	12
NBR	7.9×10^{13}	1.6×10^{12}	5.8×10^{10}	5.7×10^9	5.2×10^8	1.5×10^7
Carbon black	8.8×10^{13}	5.3×10^{12}	1.6×10^{12}	3.6×10^{11}	2.3×10^{10}	1.7×10^9
Silica	8.6×10^{13}	4.5×10^{11}	4.5×10^9	4.1×10^7	3.0×10^6	2.5×10^5
DEG	6.4×10^{13}	7.1×10^{11}	1.8×10^{10}	2.6×10^9	3.0×10^8	5.4×10^7
TEA	3.8×10^{13}	7.2×10^{11}	8.3×10^9	3.4×10^8	3.9×10^7	5.7×10^6



รูปที่ 3 ค่า Surface Resistivity เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน

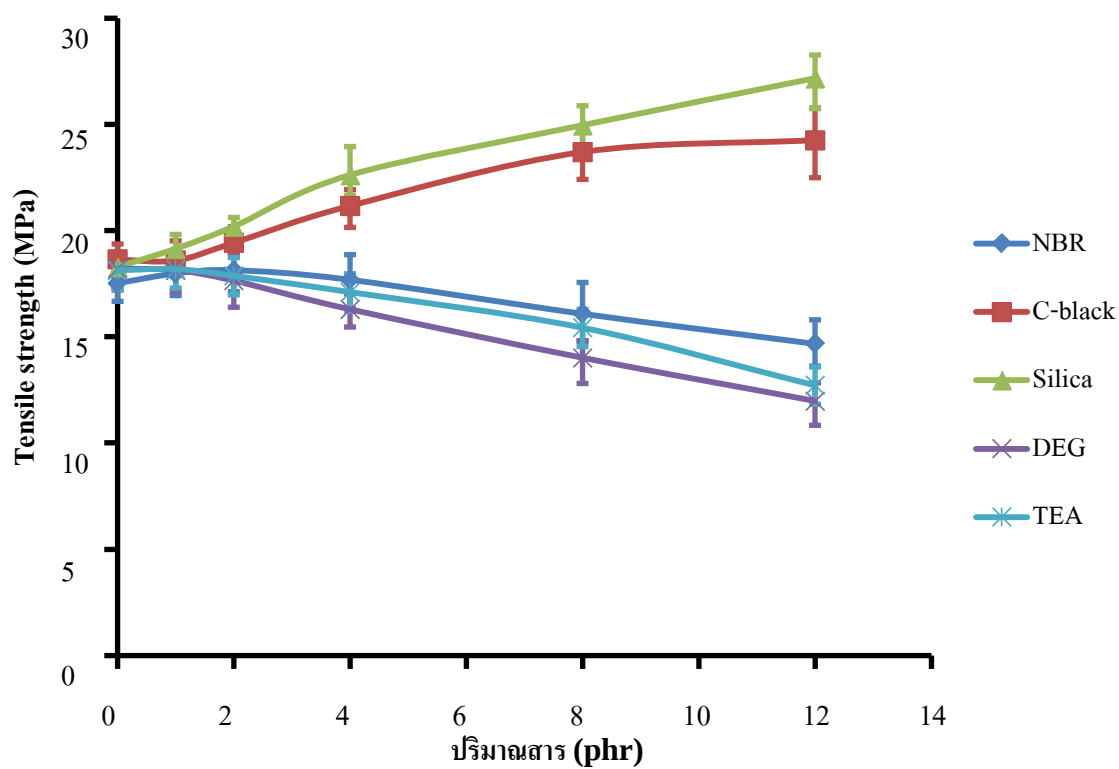
ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเชิงพื้นผิวประมาณ $10^{16} \Omega/\text{cm}^2$ แต่เมื่อทำเป็นยางคอมปาวด์แล้วขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มยางค่าที่วัดได้จริงประมาณ $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$ เนื่องจากในน้ำยางธรรมชาติมีสารที่มีขั้วหลายชนิดเช่น โปรตีน ไขมัน โลหะ และสารอินทรีย์อื่น ๆ และในสูตรยางมีสารที่มีขั้วหลายชนิด เช่น กำมะถัน สารตัวเร่ง ซิงค์ออกไซด์ แอนติออกซิแดนต์ เป็นต้น ทำให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเชิงพื้นผิว ลดลงจาก $10^{16} \Omega/\text{cm}^2$ ไปเป็น $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$ ค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$ ยังทำให้ยางเป็นฉนวนอยู่ ค่ามาตรฐานของถุงนั้วที่โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ใช้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงให้แผ่นฟิล์มยางมีค่าค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเชิงพื้นผิวลดลงอยู่ในช่วงดังกล่าว โดยการเติมสารชนิดต่าง ๆ ลงไปในน้ำยางคอมปาวด์ จากตารางที่ 2 และ รูปที่ 3 พบว่า ยาง NBR, Carbon black, Silica, DEG และ TEA ในอัตราส่วนที่ต่างกัน 1, 2, 4, 8 และ 12 phr แล้วนำมาทำเป็นฟิล์มยาง จะทำให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าลดลงเมื่อปริมาณสารที่เติมลงไป ในน้ำยางคอมปาวด์มากขึ้น โดยที่เติมยาง NBR ในปริมาณ 8-12 phr, หรือเขม่าดำปริมาณ 12 phr, หรือซิลิกา ปริมาณ 2-12 phr, หรือดีอีจีปริมาณ 4-12 phr, หรือทีอีเอปริมาณ 4-12 phr ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 10^4 - $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ โดยวัดที่ค่าความต่างศักย์ 100 ± 5 Volt ซึ่งผ่านค่ามาตรฐาน

2. ผลการทดสอบสมบัติ Tensile strength ของฟิล์มยาง

หลังจากการทดสอบความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวแล้วนำแผ่นฟิล์มยางมาทดสอบสมบัติแรงดึงคือ Tensile strength เพื่อศึกษาผลของเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน ที่มีต่อสมบัติ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 และรูปที่ 4

ตารางที่ 3 ค่า Tensile strength เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน

ชนิดของสาร	Tensile strength (MPa) ของสารที่เติมปริมาณต่าง ๆ กัน (phr)					
	0	1	2	4	8	12
NBR	17.5	18.0	18.1	17.7	16.1	14.7
Carbon black	18.6	18.6	19.4	21.2	23.7	24.3
Silica	18.3	19.1	20.2	22.6	25.0	27.2
DEG	18.2	18.1	17.6	16.3	14.0	12.0
TEA	18.1	18.2	17.9	17.1	15.4	12.7



รูปที่ 4 ค่า Tensile strength เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน

จากตารางที่ 3 และรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่า Tensile strength ของฟิล์มยางเริ่มต้นประมาณ 18 MPa แต่เมื่อเติมสารต่าง ๆ ลงไปในยางในปริมาณต่าง ๆ กันทำให้ค่า Tensile strength ของฟิล์มยางเปลี่ยนแปลงไป

เมื่อเติมยาง NBR หรือเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr ทำให้ค่า Tensile strength ของฟิล์มยางลดลง

เมื่อเติม Carbon black หรือ Silica ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr ทำให้ค่า Tensile strength ของฟิล์มยางเพิ่มขึ้น

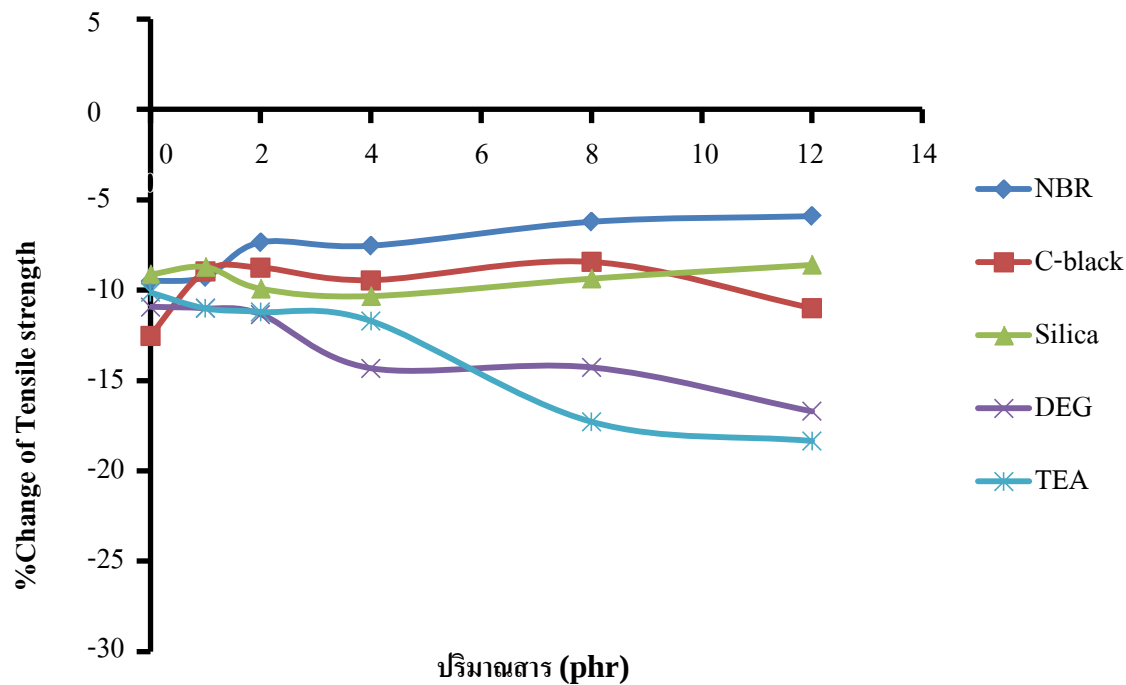
ดังนั้นนอกจากจะดูว่าค่า Surface Resistivity จะผ่านมาตรฐานแล้วแต่อาจจะทำให้ได้ค่า Tensile strength ไม่ผ่านมาตรฐานก็ได้ ปริมาณสารที่เหมาะสมเมื่อเติมยาง NBR ประมาณ 8 phr, Carbon black ประมาณ 12 phr, Silica ประมาณ 2 phr, DEG ประมาณ 4 phr และ TEA ประมาณ 4 phr Carbon black ให้ผลที่ไม่ดีนักและทำให้ยางเป็นสีดำด้วย ส่วนสารอื่น ๆ สามารถทำให้ยางมีสีต่าง ๆ ได้

3. ผลการทดสอบสมบัติ Aging ของฟิล์มยาง

หลังจากการทดสอบสมบัติแรงดึงก่อนบ่มเสร็จแล้ว นำยางชุดเดียวกันนั้นมาทดสอบสมบัติยางหลังบ่มเสร็จแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า %Change ของค่า Tensile strength เพื่อศึกษาผลของสารชนิดต่าง ๆ ที่เติมปริมาณต่าง ๆ กันที่มีต่อสมบัติการบ่มเสร็จ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 และรูปที่ 5

ตารางที่ 4 ค่า %Change ของค่า Tensile strength หลังจากการ aging ของสารชนิดต่าง ๆ ปริมาณต่าง ๆ

ชนิดของสาร	ค่า %Change ของค่า Tensile strength (MPa) หลังจากการ aging					
	0	1	2	4	8	12
NBR	-10	-9	-7	-8	-6	-6
Carbon black	-13	-9	-9	-9	-8	-11
Silica	-9	-9	-10	-10	-9	-9
DEG	-11	-11	-11	-14	-14	-17
TEA	-10	-11	-11	-12	-17	-18



รูปที่ 5 ค่า %Change ของค่า Tensile strength หลังจากการ aging ของสารชนิดต่าง ๆ ที่ปริมาณต่าง ๆ

จากตารางที่ 4 และรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่า %Change ของค่า Tensile strength ลดลงเมื่อฟิล์มยางผ่านการ aging ซึ่งสมบัติเริ่มต้นลดลงประมาณ 10%

เมื่อเติมยาง NBR หรือเติม Carbon black หรือ Silica ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr มีผลต่อค่า %Change ของค่า Tensile strength ของฟิล์มยางค่อนข้างคงที่

เมื่อเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr มีผลต่อค่า %Change ของค่า Tensile strength ของฟิล์มยางลดลง แสดงว่าสาร DEG และ TEA ไล่ลงไปในยางในปริมาณที่มากไม่ได้ อาจเนื่องจากสารสองตัวนี้มีจุดเดือดต่ำเมื่อผ่านการ aging อาจจะทำให้สารระเหยออกไปและมีผลต่อสมบัติของยางได้

สรุป

แผ่นฟิล์มยางที่ไม่มีการเติมสารเคมีมีความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวประมาณ $10^{16} \Omega \text{cm}^2$ แต่เมื่อผสมน้ำยางคอมปาวด์ตามสูตรดังนี้ 60% น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ 100 phr, 10% โปดัสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 phr, 10% โปดัสเซียมโอเลเอท 0.5 phr, 50% กำมะถัน 1.5 phr, 50% แซด ดี อี ซี 0.75 phr, 50% ซิพีแอลแอนติออกซิแดนท์ 1 phr, 50% ซิงค์ออกไซด์ 2 phr แผ่นฟิล์มยางที่ได้มีสมบัติความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวลดลงได้ค่าประมาณ $10^{14} \Omega \text{cm}^2$ โดยที่มาตรฐานโรงงานอิเล็กทรอนิกส์กำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าของฉนวนที่ทำจาก

ยางพาราให้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ วัดที่ความต่างศักย์ไม่เกิน $100 \pm 5 \text{ Volt}$ จึงจะสามารถป้องกันไฟฟ้าสถิตได้

เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มยางที่มีสมบัติลดไฟฟ้าสถิตได้ (มีความต้านทานไฟฟ้าที่เหมาะสม) และสมบัติความทนทานต่อแรงดึงก่อนบ่มแรงและหลังบ่มแรงที่ดีขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีและปริมาณสารเคมีที่เติมในน้ำยางคอมปาวด์ในปริมาณที่เหมาะสม ดังนี้เมื่อเติมยาง NBR ประมาณ 8 phr หรือเมื่อเติม Carbon black ประมาณ 12 phr หรือเมื่อเติม Silica ประมาณ 2 phr หรือเมื่อเติม DEG ประมาณ 4 phr และ/หรือเมื่อเติม TEA ประมาณ 4 phr

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา (Small Project on Rubber:SPR) โครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา ฝายอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. บริษัท วี - ฟิงเกอร์ อินดัสตรี จำกัด. 2550. โรงงานผลิตถุงมือรายใหญ่ในประเทศ. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: <http://www.tttonline.net/news/>
2. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. 2551. ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิต. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: <http://www.rmutphysics.com>
3. วรณิ ฉินศิริกุล ตวงรักษ์ นันทวิสารกุล อสิรา เฟื่องฟูชาติ นันทน์ ถาวรวงูร สรญา และ พิบูล กุลสัมฤทธิ์. 2549. การพัฒนาคอมปาวด์นำไฟฟ้าระหว่างผงเขม่าดำกับพอลิไธรีนชนิดต้านทานแรงกระแทกสูงเพื่อประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
4. มอก. 78-2549. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผงซักฟอก.
5. วิกิพีเดียสารานุกรมเสรี. 2551. Antistatic Agent. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: <http://en.wikipedia.org>
6. เครื่อง Monroe 272 Resistivity. 2553. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: <http://www.esdproducts.biz/Instrumentation/Resistivity/resistivity.html>

2. เนื้อหา

2.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ธุรกิจผลิตถุงยางพาราใส่นิ้วมือ ถือเป็นธุรกิจใหม่สำหรับคนไทย ซึ่งมีแนวโน้มการเติบโตของตลาดอย่างน่าสนใจ¹ เนื่องจากปัจจุบัน ธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้าเติบโตอย่างมาก ทำให้มีความต้องการถุงยางนิ้วสูงตามไปด้วย จนไม่สามารถผลิตได้ทัน แต่ละโรงงานใช้งานวันละหลายหมื่นชิ้น โดยตลาดของบริษัทวี-ฟิงเกอร์ฯ กว่า 50% จะส่งออกไปต่างประเทศ เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ เป็นต้น ส่วนอีกประมาณ 50% เป็นตลาดในประเทศ ขายในราคาส่งเฉลี่ย 7-8 สตางค์ ขึ้นอยู่กับคุณภาพและวัตถุดิบประสมใช้ในการนำไปใช้งาน ผู้วิจัยจึงมีความสนใจพัฒนาสูตรยางเพื่อลดไฟฟ้าสถิตในถุงยางนิ้วและพัฒนาถุงยางนิ้วให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งประจุไฟฟ้าที่เกิดจากการขัดสี² เกิดขึ้นเมื่อเรานำวัตถุต่าง ๆ มาขัดสีกัน เรียงลำดับตามการรับอิเล็กตรอนของกระแสไฟฟ้าสถิต จากน้อยไปหามากดังนี้ ผิวหนังมนุษย์(Human Hands Or If Very Dry), หนังสัตว์ (Leather), ขนกระต่าย (Rabbit Fur), Nylon, Silk, Cotton, Amber, Polyester, Polyurethane, ขวดน้ำ Polypropylene Vinyl (PVC), Silicon และTeflon

สารกันไฟฟ้าสถิต³ (Anti-Static Agent) หมายถึง สารที่ช่วยลดประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนพอลิเมอร์ สารลดไฟฟ้าสถิต^{4,5} เป็นสารที่ทำให้ผิวยางมีการนำไฟฟ้าเล็กน้อย เช่น สารในกลุ่ม Aliphatic Amines (Optionally Ethoxylated) And Amides, Quaternary Ammonium Salts, Esters Of Phosphoric Acid, Polyethylene Glycol Eesters And Polyols สมบัติทางไฟฟ้าของยางเอ็นบีอาร์มีค่าต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาณในช่วง 10^5 โอห์ม-เซนติเมตร มีค่า Dielectric Constant 20 Dissipation Factor 0.2 ใช้ทำยางลดไฟฟ้าสถิตได้ ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation) แต่ใช้ทำเปลือก (Sheating) สายไฟฟ้าได้

ปัจจุบันนี้งานในอุตสาหกรรมการผลิตพอลิเมอร์ป้องกันไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge Barrier) โดยพอลิเมอร์ดังกล่าว จะต้องมีความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวอยู่ระหว่าง 10^4 - $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ จึงจะสามารถป้องกันกระแสไฟฟ้าสถิต และไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ในระบบอิเล็กทรอนิกส์

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยจะใช้น้ำยางสังเคราะห์เอ็นบีอาร์ (Acrylonitrile Butadiene Rubber, NBR) สารตัวเติมเขม่าดำ (Carbon black, CB) สารตัวเติมซิลิกา (Silica) สารดีอีจี (Diethylene glycol, DEG) และสารทีอีเอ (Triethanolamine, TEA) โดยสารเคมีที่ใส่ลงไปไม่ทำให้ต้นทุนของฟิล์มยางเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ฟิล์มยางช่วยป้องกันไฟฟ้าสถิตได้

2.2 วัสดุประสงค์

เพื่อพัฒนาสูตรน้ำยาเพื่อลดไฟฟ้าสถิตของฟิล์มยาง

2.3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การนำไฟฟ้าของยาง¹⁰

การนำไฟฟ้าเกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนหรือประจุไฟฟ้าลบจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ดังนั้นระดับความสามารถในการนำไฟฟ้าของวัสดุจึงขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลของวัสดุนั้น ๆ ว่าสามารถถ่ายเทอิเล็กตรอนได้มากน้อยเพียงใด ตัวอย่างเช่น โลหะเงิน ซึ่งเป็นโลหะที่เกิดจากอะตอมของโลหะเงิน จำนวนมากมาอยู่ร่วมกันด้วยพันธะโลหะโดยใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน สามารถเคลื่อนที่ถ่ายเทไปมาได้สะดวก ดังนั้นโลหะเงินจึงมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดี ในทางตรงกันข้าม สำหรับวัสดุบางประเภท เช่น ยาง พลาสติก และเส้นใย ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลเป็นสายโซ่ยาวที่ประกอบไปด้วยอะตอมของธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน มาอยู่ร่วมกันด้วยพันธะโควาเลนต์ เนื่องจากอิเล็กตรอนภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์ไม่สามารถเคลื่อนที่หรือถ่ายเทได้อย่างอิสระเหมือนในกรณีของโลหะ ดังนั้นพอลิเมอร์ส่วนใหญ่จึงจัดเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำ โดยทั่วไป นิยมจัดแบ่งประเภทของวัสดุตามลำดับความสามารถในการนำไฟฟ้าได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. วัสดุที่นำไฟฟ้า (Conductive Material) คือวัสดุที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าพื้นผิวต่ำกว่า 10^4 โอห์ม/ตารางเซนติเมตร วัสดุในกลุ่มนี้สามารถนำไฟฟ้าได้ดีเพราะอิเล็กตรอนสามารถไหลผ่านพื้นผิวหรือปริมาตรของเนื้อวัสดุได้ง่าย ตัวอย่างที่สำคัญของวัสดุ ได้แก่ โลหะชนิดต่าง ๆ เช่น เหล็ก ทองแดง เงิน ทองเหลือง เป็นต้น

2. วัสดุกึ่งตัวนำหรือวัสดุที่กระจายประจุ (Dissipative Material) คือวัสดุที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าพื้นผิวอยู่ในช่วง 10^4 - 10^9 โอห์ม/ตารางเซนติเมตร เนื่องจากวัสดุในกลุ่มนี้สามารถนำไฟฟ้าได้เล็กน้อยประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจึงสามารถถ่ายเทไปสู่พื้นดินหรือวัสดุอื่นได้อย่างช้า ๆ (จึงไม่ทำให้เกิดปัญหาไฟฟ้าสถิต) โดยทั่วไป ตัวอย่างที่สำคัญของวัสดุ ได้แก่ พอลิเมอร์ที่มีความเป็นขั้วที่สูง เช่น ยางคลอโรพรีน (CR) และยางไนไตรล์ (NBR) เป็นต้น

3. วัสดุที่เป็นฉนวน (Insulating Material) คือวัสดุที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าพื้นผิวสูงกว่า 10^9 โอห์ม/ตารางเซนติเมตร เนื่องจากวัสดุในกลุ่มนี้มีความสามารถในการนำไฟฟ้าต่ำมาก ตัวอย่าง

ที่สำคัญของวัสดุ ได้แก่ พอลิเมอร์ที่มีความเป็นขั้วต่างชนิดต่าง ๆ เช่น ยางธรรมชาติ (NR) ยางสไตรีนบิวทาไดอิน (SBR) เป็นต้น

ตารางที่ 1 สมบัติทางไฟฟ้าของยางชนิดต่าง ๆ

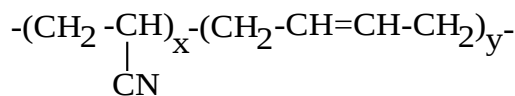
ยาง	ความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิว (โอห์ม/ตารางเซนติเมตร)
ยางธรรมชาติ/โพลิไอโซพรีน	10^{16}
สไตรีนบิวทาไดอิน	10^{14}
บิวไทล์	10^{17}
คลอโรพรีน	$10^7 - 10^{10}$
ไนไตรล์	$10^6 - 10^9$
เอทิลีนโพรพิลีน โมโนเมอร์/ เอทิลีนโพรพิลีนไดอิน โมโนเมอร์	10^{18}
คลอโรซัลโฟเนตโพลิเอทิลีน	10^{15}
โพลิอะครีเลต	10^{13}
ซิลิโคน	$10^{15} - 10^{17}$

จากตารางที่ 1 พบว่า ยางที่ไม่มีขั้วส่วนใหญ่ เช่น ยางธรรมชาติ ยางสไตรีนบิวทาไดอิน ยางบิวไทล์ ยางเอทิลีนโพรพิลีน ไดอิน โมโนเมอร์จะมีค่าความต้านทานที่ค่อนข้างสูง ในขณะที่ยางที่มีขั้ว เช่น ยางคลอโรพรีน และยางไนไตรล์จะมีค่าความต้านทานต่ำกว่า

การปรับปรุงสมบัติการนำไฟฟ้าของยาง

โดยหลักการแล้ว การเติมสารตัวเติมหรือสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ ลงไปในยางล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อสมบัติการนำไฟฟ้าของยางคอมปาว์ทั้งสิ้น เช่น การเติมสารตัวเติมที่นำไฟฟ้าได้ดีหรือการเติมสารเคมีที่มีความเป็นขั้วสูงชนิดอื่น ๆ ลงไปในยางก็ก็จะส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีความสามารถในการนำไฟฟ้าสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการออกสูตรเคมียางนั้น สารเคมีส่วนใหญ่ เช่น ซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก สารตั้งเร่งปฏิกิริยา เช่น MBT, MBTS, CBS, TBBS และ TMTD สารป้องกันการเสื่อมสภาพต่างก็ถูกเติมลงไปในยางในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นการเติมสารเคมีเหล่านี้ลงไปจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางไฟฟ้าของยางอย่างมีนัยสำคัญ (ยกเว้นในกรณีที่มีการเติมลงไปในปริมาณที่สูงมากเท่านั้น)

2.3.2 ยางไนไตรล์⁷ (Acrylonitrile Butadiene Rubber, NBR)



สูตรโครงสร้างยางไนไตรล์

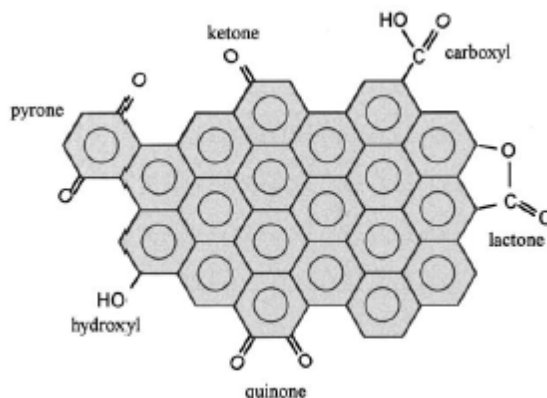
จากสูตรโครงสร้างสัดส่วนของ Acrylonitrile ในการพอลิเมอร์ประมาณ 18-51% หมู่ CN นี้ ทำให้ยางไนไตรล์มีขั้วทำให้ทนน้ำมันไม่มีขั้ว ชื่อทางการค้า Perbunan N (Bayer), Europrene N (Unichem), Hycar (Goodrich), Chemigum (Goodyear), Nipol (Nippon Zeon), Krynac (Polysar), Paracril (Uniroyal Chemical) และ Breon (Aceto Chemical) ยางเอ็นบีอาร์มีความต้านทานต่อการออกซิเดชันดี (กว่ายาง SBR และ NR) มีความต้านทานต่อการสึกหรอดี สามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์หลายชนิด เช่น PVC, PF เป็นต้น NBR เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าไม่ได้ การหักงอที่อุณหภูมิต่ำไม่ดี สมบัติทางไฟฟ้ามี Volume Resistivity ในช่วง 10^5 โอห์ม-เซนติเมตร มีค่า Dielectric Constant 20 Dissipation Factor 0.2 ใช้ทำยางลดไฟฟ้าสถิตได้ ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation) แต่ใช้ทำเปลือก (Sheathing) สายไฟฟ้าได้

2.3.3 เขม่าดำ⁸

เขม่าดำชนิด Channel Black มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง $100-400 \text{ \AA}$ ($\text{\AA}$ (Angstrom ($\text{\AA}$), หมายความว่า 10^{-10} m) ขนาด $100-170 \text{ \AA}$ ใช้ทำสีดำ ขนาด $170-230 \text{ \AA}$ เป็น Conductive Channel Black (CC) ขนาด $220-250 \text{ \AA}$ เป็น Hard Processing Black (HPC) ขนาด $250-290 \text{ \AA}$ เป็น Medium Processing Black (MPC) ขนาด $290-330 \text{ \AA}$ เป็น Easy Processing Black (EPC) Channel Black มีฤทธิ์ เป็นกรด pH ตั้งแต่ 3.7-5.0 จะทำให้ยางวัลคาไนซ์ช้าลงบ้าง การใช้สารตัวเร่ง ชนิด Thiazole จะไม่มีปัญหาเรื่องการ Scorch

เขม่าดำชนิด Furnace Black มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง $140-900 \text{ \AA}$ (ขนาดอนุภาคควบคุมได้โดยการควบคุมกระบวนการ) Furnace Black มีค่า pH เฉลี่ยประมาณ 9.0 -10.0 การเป็นด่าง ทำให้วัลคาไนซ์เร็วกว่ายางปกติ ทำให้เกิดการ Scorch ได้ง่ายถ้าใช้สารตัวเร่ง Thiazole Furnace Black ปกติมักจะใช้สารตัวเร่งกลุ่ม Sulphenamide เพื่อให้ Scorch ช้าลง สมบัติทางเคมีของผิวเขม่าดำ เขม่าดำ ประกอบด้วย Carbon 90-99 % ที่เหลือเป็น ไฮโดรเจน, ออกซิเจน และกำมะถันเล็กน้อย ไฮโดรเจน เป็นส่วนที่เหลือจากน้ำมันเดิม ออกซิเจนได้มาจากการเผาไหม้ออกซิเจนอยู่ในรูปของ Phenolic, Ketonic, Carboxylic และ Lactone ลักษณะผิวอนุภาคเขม่าดำแสดงดังรูปด้านล่าง ความเป็นกรดต่างเนื่องจากธาตุอื่นที่ไม่ใช่คาร์บอน ไฮโดรเจน, ออกซิเจนและ กำมะถัน ทำให้ เขม่าดำ

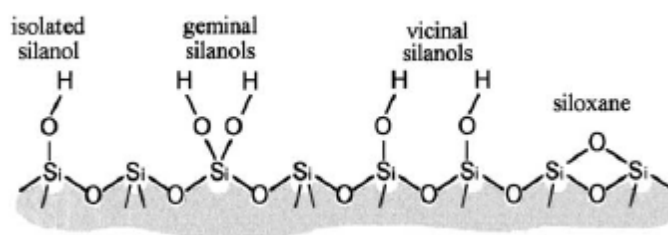
เป็นกรดต่างกัน Channel Black มีออกซิเจนมากจะมี pH เป็นกรด Furnace Black มีออกซิเจนน้อยกว่า 1% มี pH เป็นด่าง



ลักษณะโครงสร้างเคมีบริเวณพื้นผิวของอนุภาคเขม่าดำ¹¹

2.3.4 ซิลิกา

ซิลิกา⁸ (Silica) มีสูตรโครงสร้างทางเคมี เป็น $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ เป็นสารตัวเติมที่ดีที่สุดในบรรดาสารตัวเติมที่ไม่ใช่สีดำ บางคนเรียกว่า “White Carbon” Precipitated silica มีขนาดอนุภาคได้ ตั้งแต่ $100 \text{ \AA}$ ไปจนถึง $400 \text{ \AA}$ ตัวอย่างชื่อทางการค้าได้แก่ HiSil ของบริษัท PPG (PPG ย่อมาจาก Pittsburgh Plate Glass) Ultrasil VN-3 ของบริษัท C.P. Hall ผิวของซิลิกา มีพันธะไฮโดรเจนอยู่ดังภาพด้านล่าง

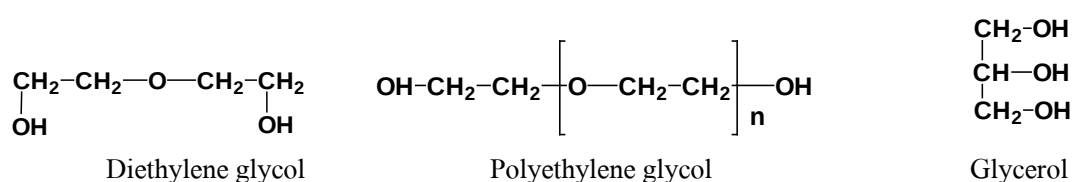


ลักษณะโครงสร้างเคมีบริเวณพื้นผิวของอนุภาคซิลิกา¹¹

ยางธรรมชาติมีดัชนีหักเหของแสง = 1.52 ซิลิกามีดัชนีหักเหของแสง = 1.46 - 1.54 แล้วแต่เกรด Hi Sil 233 มีดัชนีหักเหของแสงใกล้เคียงกับยางมาก มักจะใช้เป็นสารตัวเติมในการทำยาง ใส การใช้ประโยชน์อื่นๆ ของซิลิกา ใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรง , เพิ่มความเหนียว และลดการแตกร้าวในเครื่องเคลือบ (ceramics) เป็นสารเคมีที่หาซื้อได้ง่าย ราคาประมาณ 60 บาท/กิโลกรัม โดยปริมาณที่ใช้ไม่ได้ทำให้ต้นทุนถุนขึ้นเพิ่มมากนัก

2.3.5 สารดีอีจี⁸

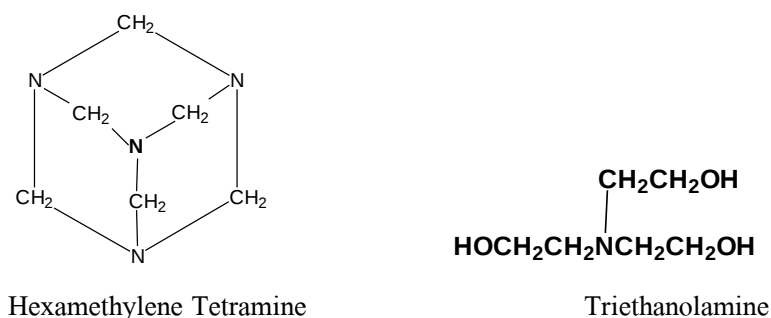
สารดีอีจี(Diethylene glycol หรือ DEG) สาร Polyethylene glycol หรือ PEG, Glycerol เป็นสารในกลุ่มไกลคอล สูตรโครงสร้างแสดงในรูปด้านล่าง สาร Diethylene Glycol เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวทำละลายสี น้ำมัน และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบในของเหลวไฮดรอลิก และเบรก นอกจากนี้สาร DEG ยังมีชื่ออื่น ๆ อีกหลายชื่อ เช่น Carbitol , Dicol, Diglycol, Glycol Ether เป็นต้น สาร DEG ราคาประมาณ 50 บาท/กิโลกรัม โดยปริมาณที่ใช้ไม่ได้ทำให้ต้นทุนสูงขึ้น สาร Polyethylene glycol PEG 400 เป็นต้น เลข 400 หมายถึง ขนาดน้ำหนักโมเลกุล



สูตรโครงสร้างสารในกลุ่มไกลคอล

2.3.6 สารทีอีเอ⁹

สารทีอีเอ (Triethanolamine หรือ TEA), Hexamethylene Tetramine, Cyclohexylamine และ dibutylamine เป็นสารในกลุ่มเอมีน



สูตรโครงสร้างสารในกลุ่มเอมีน

สารทีอีเอ มีจุดเดือด: 190-193°C จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง: 17.9-21°C ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1): 1.1240 ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1): 5.14 ความดันไอ(มม.ปรอท): <0.01 ที่ 20°C ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100 มล.): ละลายน้ำได้ ที่ 20°C ความเป็นกรด-ด่าง(pH): 10-13 ที่ 20°C สาร Triethanolamine ราคาประมาณ 80 บาท/กิโลกรัม โดยปริมาณที่ใช้ไม่ได้ทำให้ต้นทุนสูงขึ้น

2.3.7 น้ำยางชั้น⁶

น้ำยางชั้นผลิตขึ้นจากการนำน้ำยางสด จากส่วนที่มีปริมาณเนื้อยาง (Dry Rubber Content) เฉลี่ยประมาณ 35% สารที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber solid) 5% และน้ำ (Watery) มาผ่านกระบวนการแปรรูปให้อยู่ในรูปของน้ำยางชั้นที่มีเนื้อยางแห้งอย่างน้อย 60% โดยใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง เพื่อแยกน้ำและสารอื่น ๆ ที่ละลายอยู่ออกไปบางส่วน ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลัก ๆ ได้แก่ 1) น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia: HA) จะใช้แอมโมเนีย 0.7% ต่อน้ำหนักยาง และ 2) น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low ammonia: LA) จะใช้แอมโมเนีย 0.2% ต่อน้ำหนักยาง และเติมสารละลายอื่น ๆ ซึ่งทำให้ได้น้ำยางที่เหมาะสมสำหรับการเก็บไว้ใช้ประโยชน์ หรือเข้าสู่กระบวนการผลิตเพื่อทำผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามความต้องการของผู้ใช้

การใช้ประโยชน์จากน้ำยางชั้น น้ำยางชั้นที่ผ่านการตรวจสอบมาตรฐาน จะสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์หลัก ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์จุ่มแบบพิมพ์ ได้แก่ ถุงมือ ถุงโป่ง ถุงยางอนามัย ห้วนมยาง และอุปกรณ์ทางการแพทย์

สารเคมีที่ใช้กับน้ำยางในการทำผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สารที่ทำให้เกิดความเสถียร เช่น โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ โปแตสเซียมโอเลเอต สารสำหรับการวัลคาไนซ์ เช่น กำมะถัน และซิงค์ออกไซด์ พลาสติกไซเซอร์ เช่น น้ำมันพาราฟิน สารตัวเติม (Filler) เช่น ดินขาว แคลเซียมคาร์บอเนต โดยสารตัวเติมเหล่านี้สามารถลดต้นทุนในกระบวนการผลิต สารแอนติออกซิแดนต์ (Antioxidant) เนื่องจากยางเสื่อมสลายได้เมื่อดังทิ้งไว้หรือขณะใช้งาน โดยออกซิเจนเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมของยาง

การผสมสารเคมีกับน้ำยาง ต้องเตรียมสารเคมีต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาพของสารผสมกับน้ำก่อนที่จะเติมผสมกับน้ำยาง ทั้งนี้เพื่อควบคุมสถานะความเป็นคอลลอยด์ของน้ำยางระหว่างกระบวนการผลิต

การเตรียมสารต่าง ๆ ให้เหมาะสมสำหรับการผสมลงในน้ำยางขึ้นอยู่กับสถานะของสารต่าง ๆ ถ้าเป็นของแข็งละลายน้ำได้ก็เตรียมเป็นสารละลาย (Solutions) ถ้าเป็นของแข็งละลายน้ำไม่ได้ก็เตรียมเป็นสารกระจายในน้ำคอลลอยด์ (Dispersion) ส่วนของเหลวที่ไม่ละลายน้ำก็เตรียมเป็นอิมัลชัน (Emulsion) สารเคมีส่วนใหญ่เป็นของแข็งซึ่งจะต้องเตรียมให้เป็นสารกระจายในน้ำ ได้แก่ Sulphur , Zinc Oxide , Accelerator และ Solid Antioxidant มักเตรียมในหม้อบดที่ใส่ลูกหินขนาดต่าง ๆ อย่างน้อย 3 ขนาด หรือที่เรียกว่า Ball Mill โดยมีสารที่ช่วยกระจาย (Dispersing Agent) และอาจใช้ Bentonite clay เพื่อช่วยป้องกันการตกตะกอน

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยจะใช้น้ำยางสังเคราะห์ NBR สามารถผสมเข้ากับน้ำยางได้โดยตรง สารตัวเติมเขม่าดำ และสารตัวเติมซิลิกา ต้องเตรียมในรูปของคิสเพอซัน สารดีอีจีและสารทีอีเอ เตรียมในรูปของสารละลาย

2.3.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรรณิ และคณะ³ ศึกษาเกี่ยวกับพอลิไทรินชนิดด้านทานแรงกระแทกสูง เกรด STYRON 486M (บริษัท ดาว เคมิคอล แปซิฟิก จำกัด) ซึ่งเป็นเกรดที่ได้รับความนิยมในการนำมาผลิตพลาสติกคอมปาวด์ หรือคอมโพสิทป้องกันไฟฟ้าสถิตกับผงเขม่าดำ เกรด Printex XE 2B (บริษัท เจเจ-เคอูสซ่า เคมิคอล(ที) จำกัด) ซึ่งเป็นเกรดที่ได้รับการพัฒนาจากผู้ผลิต โดยสามารถลดปริมาณการใช้ผงเขม่าดำ เกรด Printex XE2B นี้ลงเหลือเพียง 1 ใน 3 ของปริมาณผงเขม่าดำเกรดทั่วไป จากนั้นทำการทดลองผสมคอมปาวด์ด้วยเครื่องอัดรีดพอลิเมอร์ ชนิดเกลียวหนอนคู่ (Twin Screw Extruder) โดยปรับปริมาณผงเขม่าดำที่ใส่ลงในส่วนผสมในช่วงประมาณ 0-15 phr ตัวแปรในการผสมคอมปาวด์อื่น ๆ ประกอบด้วย Screw Configurations อุณหภูมิ เวลา-ความเร็วรอบเกลียวหนอนคู่ จากนั้นขึ้นรูปคอมปาวด์ที่ผสมได้เป็นแผ่นหรือเป็นฟิล์ม โดยใช้ Single Screw Extruder และ Compression Molding เพื่อนำไปศึกษาโครงสร้างของพอลิเมอร์ผสม สมบัติด้านไฟฟ้า และสมบัติด้านความแข็งแรงในการต้านทานแรงกระแทก ผลจากการทำวิจัยนี้จะทำให้ทราบความสัมพันธ์ของขั้นตอนและสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมคอมปาวด์ป้องกันไฟฟ้าสถิตระหว่างผงเขม่าดำกับพอลิไทรินชนิดด้านทานแรงกระแทกสูง กับสมบัติด้านไฟฟ้าและสมบัติด้านการต้านทานแรงกระแทกของแผ่นคอมปาวด์เพื่อเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์และเป็นแนวทางในการลดหรือแก้ปัญหาค่าความเปราะ การหลุดออกของผงเขม่าดำ ซึ่งทำให้สมบัติด้านไฟฟ้าบนผิวของภาชนะบรรจุวงจรรวมไม่สม่ำเสมอ

วารารณ์ และคณะ¹² วิจัยและพัฒนาการผลิตถุงมือแพทย์ที่ได้ดำเนินการแล้วประกอบด้วย การศึกษาสมบัติวัตถุดิบ ได้แก่ สมบัติน้ำยางข้น สารช่วยความเสถียร สารแอนติออกซิแด้นท์ การทดลองและวิจัยสูตรการผลิต ได้แก่ การบ่มน้ำยางคอมปาวด์ สูตรน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ สูตรผลิตถุงมือไร้แปรง ซึ่งจะทำให้การทดลองทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและงานบางส่วนทดลองในกระบวนการผลิตจริง ผลการทดลองพบว่า ถ้าค่าความเสถียรต่อเครื่องกล (MST) ของน้ำยางข้นเพิ่มขึ้นรวดเร็ว มากนับจากวันผลิต คือเกิน 1500 วินาทีหลังจากการผลิตประมาณ 1 เดือน จะเกิดปัญหาน้ำยางเสถียรมากเกินไปจุ่มแล้วยางไม่ติดพิมพ์มือ และการใช้สารเพิ่มความเสถียรชนิด Laurate ร่วมกับ Caseinate ช่วยปรับความเสถียรต่อเครื่องกลให้น้ำยางคอมปาวด์ได้ดีกว่าการใช้ Stearate ร่วมกับ Caseinate เมื่อใช้น้ำยางข้น ชนิด LA-TZ ต้องเพิ่มสารเพิ่มความเสถียรชนิด KOH มากกว่ากรณีใช้น้ำ

ยาง HA พบว่าใช้ KOH 0.35 phr. ให้ผลความเสถียรที่เหมาะสม การทดสอบประสิทธิภาพสารป้องกันยางเสื่อมชนิด BHT, 2246 และ Wingstay L พบว่าสารตัวสุดท้ายให้ผลดีที่สุดและใช้ในปริมาณ 0.75 phr. ผลการทดลองบ่มน้ำยางคอมปาวด์ที่ใช้ Sulphur 1.0 phr., ZnO 0.65 และ ZDEC 1.0 phr. และมีสารตัวเร่งการคงรูปของยางมือชนิดไวต่อปฏิกิริยา คือ SDBC ในอัตรา 1.0 และ 1.5 phr. ที่อุณหภูมิห้องจะได้ Chloroform Number 2.5 ภายในเวลา 40 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งสามารถผลิตได้ยางมือที่ไม่มีความแตกต่างในค่าการต้านแรงดึงทั้งก่อนและหลังบ่มแรงที่ 100 °C /22 ชั่วโมง และมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ทดลองสูตรน้ำยางพริ้วคลาไนซ์คือน้ำยาง HA 167, สารเคมีผสม 2.875 (50% ZnO 0.65 phr.+50% ZDBC 1.0 phr+ 50% Sulphur 1.0 phr + 25% Wingstay L 0.275 phr), 10% KOH 0.45+ 20% K-Laurate 1.5 กรัม มีอายุการใช้งานได้ 6 เดือนเมื่อจุ่มจะได้ยางมือคุณภาพผ่านเกณฑ์กำหนดการต้านแรงดึงดังตาม ASTM การทดลองผลิตยางมือไร้แป้งโดยใช้สารหล่อลื่นชนิด Silicone LE 45, Mobilcer A และ PEG 4000 พบว่าใช้ Silicone LE 45 ในอัตรา 1.5 phr. ผสมน้ำยางคอมปาวด์ให้ผลยางมือที่จุ่มได้มีความลื่นมากที่สุด จากการรวบรวมผลวิจัยข้างต้นได้จัดทำสรุปเป็นข้อเสนอแนะ “ปัญหาสาเหตุ และแนวทางแก้ไข ในกระบวนการผลิตยางมือแพทย์แบบอัตโนมัติ”

เลขที่สิทธิบัตรประเทศญี่ปุ่น¹³ 2005-256896 PAJ Application Number: 2007-070409 ของ บริษัท YOKOHAMA RUBBER CO LTD ได้อธิบายส่วนประกอบของพอลิเมอร์นำไฟฟ้าดังนี้

Polyimide Resin 100 pts.wt.

Conductive Polyaniline 1-15 pts.wt.

Carbon Black 1-10 pts.wt.

พอลิเมอร์ดังกล่าวใช้ในการทำวัสดุป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า Electromagnetic Wave Shielding และแผ่นฟิล์ม Electrostatic Attraction

2.4 วิธีการ

อุปกรณ์การทดสอบ

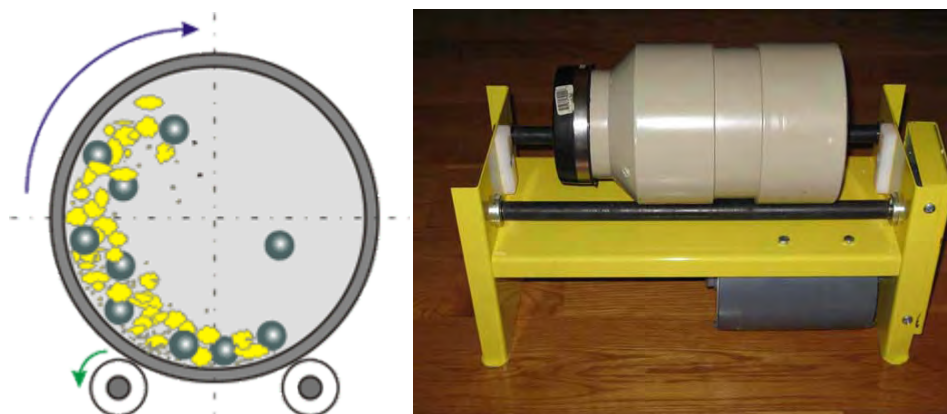
- เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง (Universal testing machine)
- เครื่องทดสอบความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity meter)
- เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- ปีกเกอร์, หลอดแก้วสำหรับจุ่มน้ำยาง
- เครื่องบ่มน้ำยางคอมปาวด์
- เครื่องบดสารเคมี
- ตู้อบ (Hot Air Oven)

สารเคมี

- 60% น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียดำ (LA-type)
- 50% ดิสเพอร์ชันกำมะถัน (Sulphur, S)
- 50% ดิสเพอร์ชัน แซด ดี อี ซี (Zinc diethyl dithiocarbamate, ZDEC)
- 10% โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์
- 10% โปตัสเซียม โอเลเอท (Potassium oleate)
- 50% ดิสเพอร์ชันซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)
- 50% ดิสเพอร์ชันแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant)
- 45% น้ำยางเอ็นบีอาร์ (Acrylonitrile Butadiene Rubber, NBR)
- 10% ดิสเพอร์ชันเขม่าดำ
- 10% ดิสเพอร์ชันซิลิกา
- สารดีอีจี (Diethyleneglycol ,DEG)
- สารทีอีเอ (Triethanolamine, TEA)
- ไชเลน

2.4.1 การเตรียมสารเคมีสำหรับน้ำยาง

การทำผลิตภัณฑ์น้ำยางจำเป็นจะต้องมีการเตรียมสารเคมีให้อยู่ในรูปของคิสเปอร์ซันเพื่อให้ขนาดของอนุภาคมีขนาดเล็กกลง โดยการใช้วิธีการบดมิล (Ball Mill) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 ซึ่งวิธีนี้จำเป็นจะต้องใช้สารเคมีในอัตราส่วนที่ต่างกันและใช้เวลาในการบดที่ต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีแต่ละชนิดดังตารางที่ 2-7 แต่สารเคมีบางชนิดอาจจะเตรียมเป็นสารละลาย และอิมัลชัน ดังตารางที่ 8-11



รูปที่ 1 เครื่องบดมิล (Ball mill)

ตารางที่ 2 สูตรการเตรียม 50% คิสเปอร์ซันกัมมะถัน

ส่วนผสม	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
กัมมะถัน	50.0
Vultamol	1.0
Bentonite clay	1.0
น้ำ	48.0
รวม	100

บดในเครื่องบดมิลเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

ตารางที่ 3 สูตรการเตรียม 50% ดิสเพอร์ชันสารตัวเร่งแซดดีอีซี

ส่วนผสม	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
สารตัวเร่ง	50.0
Vultamol	1.0
Bentonite clay	1.0
น้ำ	48.0
รวม	100

บดในเครื่องบดมิลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4 สูตรการเตรียม 50% ดิสเพอร์ชันซิงค์ออกไซด์

ส่วนผสม	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
ZnO	50.0
Vultamol	1.0
Bentonite clay	1.0
น้ำ	48.0
รวม	100

บดในเครื่องบดมิล 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 5 สูตรการเตรียม 50% ดิสเพอร์ชันซีพีแอล

ส่วนผสม	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
CPL	50.0
Vultamol	2.0
Bentonite clay	1.0
น้ำ	47.0
รวม	100

บดในเครื่องบดมิล 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 6 สูตรการเตรียม 10% คิสเพอร์ชั่นของเขม่าดำ

ส่วนผสม	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
เขม่าดำ	10.0
Vultamol	1.0
Bentonite clay	2.0
น้ำ	87.0
รวม	100

บดในเครื่องบดมิลเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

ตารางที่ 7 สูตรการเตรียม 10% คิสเพอร์ชั่นของซิลิกา

ส่วนผสม	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
ซิลิกา	10.0
Vultamol	1.0
Bentonite clay	1.0
DEG	0.8
ไซเลน	0.8
น้ำ	86.4
รวม	100.0

บดในเครื่องบดมิลเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

ตารางที่ 8 สูตรการเตรียม 10% สารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์

ส่วนผสม	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์	10.0
น้ำ	90.0
รวม	100

ตารางที่ 9 สูตรการเตรียม 10% น้ำยาง NBR

ส่วนผสม	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
45% น้ำยาง NBR	22.22
น้ำ	77.78
รวม	100.0

ตารางที่ 10 สูตรการเตรียม 10% สารละลาย DEG

ส่วนผสม	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
DEG	10.0
น้ำ	90.0
รวม	100.0

ตารางที่ 11 สูตรการเตรียม 10% สารละลาย TEA

ส่วนผสม	สัดส่วนโดยน้ำหนัก
TEA	10.0
น้ำ	90.0
รวม	100.0

2.4.2 การเตรียมน้ำยางคอมปาวด์

ในการทำวิจัยครั้งนี้ได้มีการออกแบบสูตรน้ำยางคอมปาวด์เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับสูตรยางที่สามารถลดไฟฟ้าสถิตได้มากที่สุด การออกแบบสูตรให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น จะทำโดยทดสอบคุณภาพของชิ้นงานที่ได้จากสูตรน้ำยางคอมปาวด์ที่แปรปริมาณสารเคมีในแต่ละสูตร น้ำยางคอมปาวด์หรือน้ำยางที่ผ่านการบ่มนั้น มีกระบวนการทำดังนี้ ผสมน้ำยางเข้ากับสารเคมีที่เตรียมไว้ดังตารางที่ 12

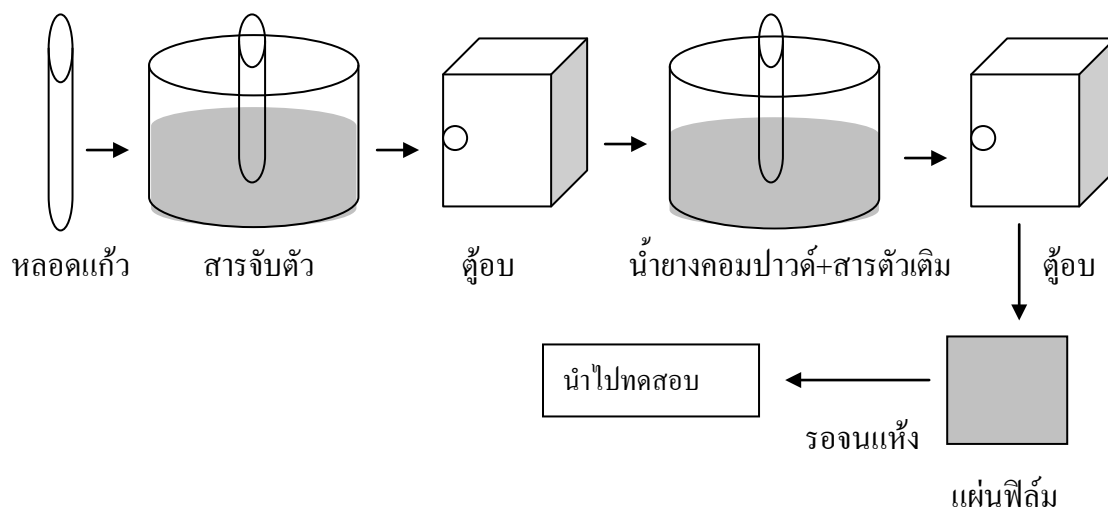
ตารางที่ 12 ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการบ่มน้ำยางในการทำผลิตภัณฑ์ฟิล์มยางเพื่อลดไฟฟ้าสถิต

ส่วนผสม	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
60% น้ำยางข้น	100	100	100	100	100	100
10% โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
10% โพแทสเซียมโอเลต	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
50% กำมะถัน	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
50% แซด ดี อี ซี	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
50% ซี พี แอล	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
50% ซิงค์ออกไซด์	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
NBR, Carbon black, Silica, DEG และ TEA***	0	1	2	4	8	12

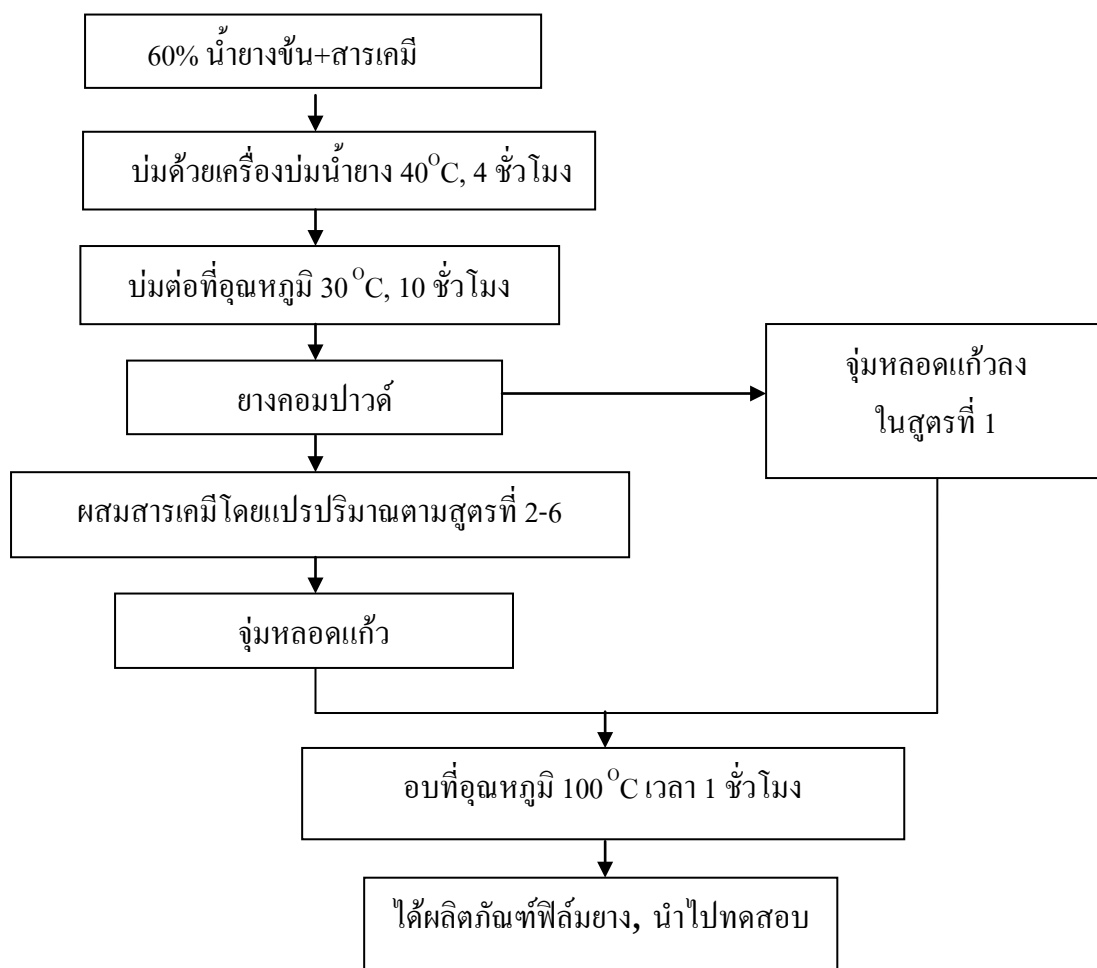
***นำสารเคมีที่เตรียมไว้ใส่ลงในขวดโหลบ่มน้ำยาง แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง โดยเครื่องบ่มน้ำยาง หลังจากนั้นบ่มต่อที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 10 ชั่วโมง แล้วเติมสารลงในน้ำยางที่บ่มไว้ โดยสารที่ใช้มี 5 ชนิด คือ 1. น้ำยางเอ็นบีอาร์, 2. เขม่าดำ (Carbon black) 3. ซิลิกา (Silica) 4. สารดีอีจี (Diethyleneglycol, DEG), 5. สารทีอีเอ (Triethanolamine, TEA) สารที่เติมทุกตัวได้แปรปริมาณเป็น 1 2 4 8 และ 12 phr ในการทำวิจัยครั้งนี้มีทั้งหมด 30 สูตร

วิธีการจุ่มโดยใช้สารจับตัว

นำหลอดแก้วที่เตรียมไว้ชุบด้วยสารช่วยในการจับตัวนำไปอบให้หมดในตู้อบอุณหภูมิ 100°C ประมาณ 5 นาที รอให้เย็น แล้วนำหลอดแก้วไปจุ่มน้ำยางคอมปาวด์แช่ไว้ประมาณ 30 วินาที นำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 100°C ประมาณ 1 ชั่วโมง นำไปตัดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจะได้ฟิล์มยาง นำไปล้างน้ำร้อนจนแห้งแล้วจึงนำไปทดสอบแรงดึงและสมบัติทางไฟฟ้า



รูปที่ 2 วิธีการจุ่มผลิตภัณฑ์ฟิล์มยาง



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำฟิล์มยาง

2.4.3 การทดสอบสมบัติของแรงดึง¹⁴

เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสมบัติของฟิล์มยางโดยใช้เครื่องทดสอบเครื่องดึง (Tensile testing machine) ดังรูปที่ 4 โดยที่จะทำการทดสอบ ดังต่อไปนี้

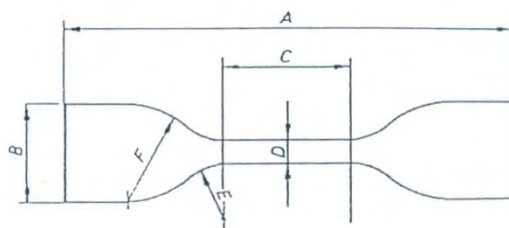
- การทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength, T.S.) เป็นความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดของยาง มีหน่วยเป็นเมกะพาสคาล (Mega Pascal, MPa หรือ N/mm^2)
- การทดสอบค่าความสามารถในการยืดจนขาด (Elongation at break) เป็นระยะยืดของยาง ณ จุดขาดเมื่อเทียบกับความยาวเดิม
- การทดสอบค่าโมดูลัส 300% (300% Modulus) เป็นความต้านทานแรงดึงที่ระยะยางยืดได้ 3 เท่าของความยาวเดิม มีหน่วยเป็นเมกะพาสคาล (Mega Pascal, MPa หรือ N/mm^2)

การทดสอบการดึงยางจะต้องใช้เครื่องมือที่สามารถดึงยาง โดยให้ที่จับยางนั้นเคลื่อนที่ออกจากกัน ด้วยความเร็วสม่ำเสมอเท่ากับ 500 ± 50 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะห่างสูงสุดของยางที่จับยางจะต้องไม่น้อยกว่า 750 มิลลิเมตร เครื่องดึงจะต้องสามารถวัดแรงให้ถูกต้องโดยผิดพลาดไม่เกิน ± 2 เปอร์เซ็นต์ และต้องแสดงค่าแรงสูงสุดในการดึงจนขาดได้ เครื่องดึงควรมีอุปกรณ์ที่สามารถวัดความยืดของยาง (Extensometer) ได้ทุก ๆ ความยืดของยาง 10% Die มาตรฐาน ISO 37-1977 (E) มีลักษณะเป็น Dumbbell รูปร่างได้แสดงไว้ในรูปที่ 5



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile testing machine)

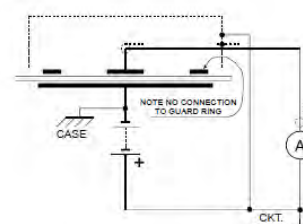
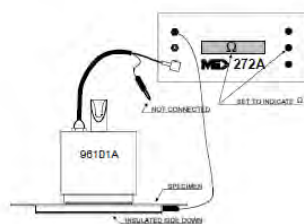
การทดสอบการบ่มเร่ง (Aging) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 22 ชั่วโมง



รูปที่ 5 ตัวอย่างยางทดสอบรูป Dumbbell⁷

2.4.4 การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า¹⁵ (Testing Of Electrical Properties)

การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้าของยาง เช่น สภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวและเชิงปริมาตร (Surface and Volume Resistivity) สามารถวัดได้จากการนำเครื่อง Resistivity วางบนแผ่นวัสดุที่ใช้ทดสอบ เครื่องก็จะแสดงผลการทดสอบแผ่นวัสดุ โดยเครื่องสามารถวัด Resistivity ได้ในช่วงจาก $11 \times 10^4 - 1 \times 10^{14}$ โอห์มต่อตารางเซนติเมตร สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้า 10 volts และ 100 volts โดยเรียกเครื่องทดสอบชนิดนี้ว่า Resistivity Meter เครื่องที่ใช้ทดสอบยี่ห้อ Monroe Electronics รุ่น Monroe 272 Resistivity แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่อง Monroe 272 Resistivity¹⁵

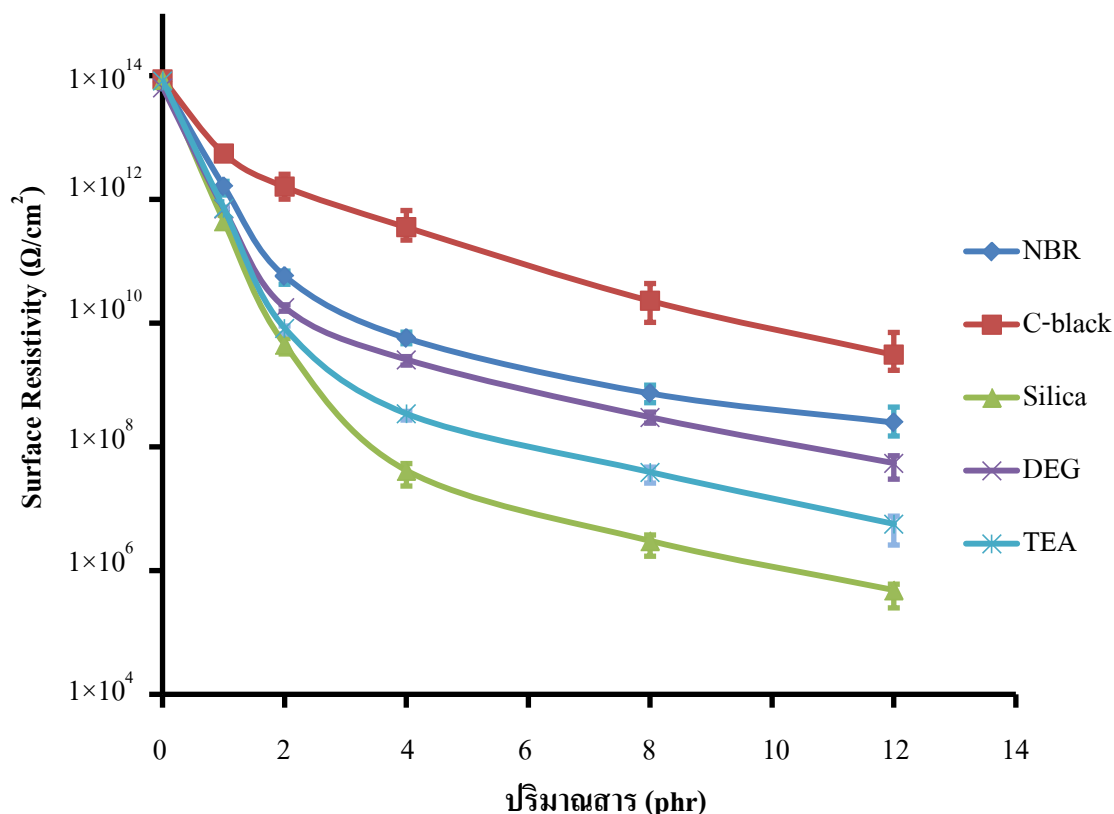
2.5 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

2.5.1 สมบัติความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มยาง

การทดลองในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาผลของยาง NBR, Carbon black, Silica, DEG และ TEA ที่ผสมลงไปในน้ำยางในอัตราส่วนที่ต่างกัน 1, 2, 4, 8 และ 12 phr แล้วนำมาทำเป็นฟิล์มยาง โดยที่มาตรฐานโรงงานอิเล็กทรอนิกส์กำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าของถุงนี้ที่ทำยางยางพาราให้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ วัดที่ค่าความต่างศักย์ไม่เกิน 100 ± 5 Volt ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 13 และรูปที่ 7

ตารางที่ 13 ค่า Surface Resistivity เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน

ชนิดของสาร	Surface Resistivity (Ω/cm^2) ของสารที่เติมปริมาณต่าง ๆ กัน (phr)					
	0	1	2	4	8	12
NBR	7.9×10^{13}	1.6×10^{12}	5.8×10^{10}	5.7×10^9	5.2×10^8	1.5×10^7
Carbon black	8.8×10^{13}	5.3×10^{12}	1.6×10^{12}	3.6×10^{11}	2.3×10^{10}	1.7×10^9
Silica	8.6×10^{13}	4.5×10^{11}	4.5×10^9	4.1×10^7	3.0×10^6	2.5×10^5
DEG	6.4×10^{13}	7.1×10^{11}	1.8×10^{10}	2.6×10^9	3.0×10^8	5.4×10^7
TEA	3.8×10^{13}	7.2×10^{11}	8.3×10^9	3.4×10^8	3.9×10^7	5.7×10^6



รูปที่ 7 ค่า Surface Resistivity เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน

ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเชิงพื้นผิวประมาณ $10^{16} \Omega/\text{cm}^2$ แต่เมื่อทำเป็นยางคอมปาวด์แล้วขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มยางค่าที่วัดได้จริงประมาณ $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$ เนื่องจากในน้ำยางธรรมชาติมีสารที่มีขั้วหลายชนิดเช่น โปรตีน ไขมัน โลหะ และสารอินทรีย์อื่น ๆ และในสูตรยางมีสารที่มีขั้วหลายชนิด เช่น กำมะถัน สารตัวเร่ง ซิงค์ออกไซด์ แอนติออกซิแดนต์ เป็นต้น ทำให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเชิงพื้นผิว ลดลงจาก $10^{16} \Omega/\text{cm}^2$ ไปเป็น $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$ ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเชิงพื้นผิว $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$ ยังทำให้ยางเป็นฉนวนอยู่ ค่ามาตรฐานของถุงนู้ที่โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ใช้อยู่ในช่วง 10^4 - $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงให้แผ่นฟิล์มยางมีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเชิงพื้นผิวลดลงอยู่ในช่วงดังกล่าว ถ้ามีค่ามากกว่า $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ จะมีสมบัติเป็นฉนวนและทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตได้ ถ้ามีค่าน้อยกว่า $10^4 \Omega/\text{cm}^2$ ทำให้เป็นตัวนำไฟฟ้า ถ้าอยู่ในช่วง 10^4 - $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ ทำให้ฟิล์มยางสามารถนำไฟฟ้าได้เล็กน้อยประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจึงสามารถถ่ายเทไปสู่พื้นดินหรือวัสดุอื่นได้อย่างช้า ๆ จึงไม่ทำให้เกิดปัญหาไฟฟ้าสถิต

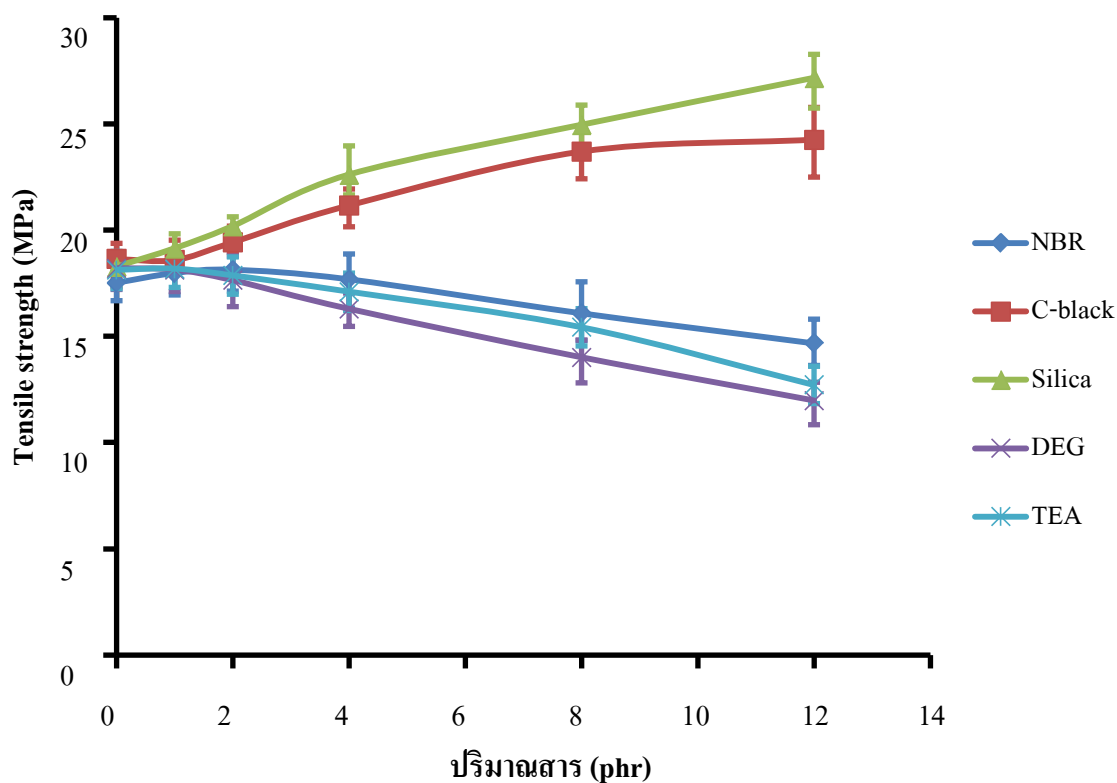
จากตารางที่ 13 รูปที่ 7 จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณยาง NBR เพิ่มขึ้นจาก 1- 12 phr จะทำให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าลดลง ที่ปริมาณยาง NBR มีค่า 8-12 phr ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ ที่ค่าความต่างศักย์ที่ได้ไม่เกิน 100 ± 5 Volt ซึ่งผ่านค่ามาตรฐาน เมื่อปริมาณเขม่าดำเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าลดลง ที่ปริมาณเขม่าดำ 12 phr ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ ที่ค่าความต่างศักย์ที่ได้ไม่เกิน 100 ± 5 Volt ซึ่งผ่านค่ามาตรฐาน เมื่อปริมาณซิลิกาเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าลดลง ที่ปริมาณซิลิกา 2-12 phr ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ ที่ค่าความต่างศักย์ที่ได้ไม่เกิน 100 ± 5 Volt ซึ่งผ่านค่ามาตรฐาน เมื่อปริมาณไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าลดลง ที่ปริมาณไดออกไซด์ 4-12 phr ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ ที่ค่าความต่างศักย์ที่ได้ไม่เกิน 100 ± 5 Volt ซึ่งผ่านค่ามาตรฐาน เมื่อปริมาณทีอีเอเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าลดลง ที่ปริมาณทีอีเอ 4-12 phr ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ ที่ค่าความต่างศักย์ที่ได้ไม่เกิน 100 ± 5 Volt ซึ่งผ่านค่ามาตรฐาน

2.5.2 ผลการทดสอบสมบัติแรงดึงของฟิล์มยาง

หลังจากการทดสอบความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวแล้วนำแผ่นฟิล์มยางมาทดสอบสมบัติแรงดึง เช่น Tensile strength, 300% Modulus และ Elongation at break เพื่อศึกษาผลของเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน ที่มีต่อสมบัติแรงดึง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 14-16 และรูปที่ 8-10

ตารางที่ 14 ค่า Tensile strength เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน

ชนิดของสาร	Tensile strength (MPa) ของสารที่เติมปริมาณต่าง ๆ กัน (phr)					
	0	1	2	4	8	12
NBR	17.5	18.0	18.1	17.7	16.1	14.7
Carbon black	18.6	18.6	19.4	21.2	23.7	24.3
Silica	18.3	19.1	20.2	22.6	25.0	27.2
DEG	18.2	18.1	17.6	16.3	14.0	12.0
TEA	18.1	18.2	17.9	17.1	15.4	12.7



รูปที่ 8 ค่า Tensile strength เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน

จากตารางที่ 14 และรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าค่า Tensile strength ของฟิล์มยางเริ่มต้นประมาณ 18 MPa แต่เมื่อเติมสารต่าง ๆ ลงไปในยางในปริมาณต่าง ๆ กันทำให้ค่า Tensile strength ของฟิล์มยางเปลี่ยนแปลงไป

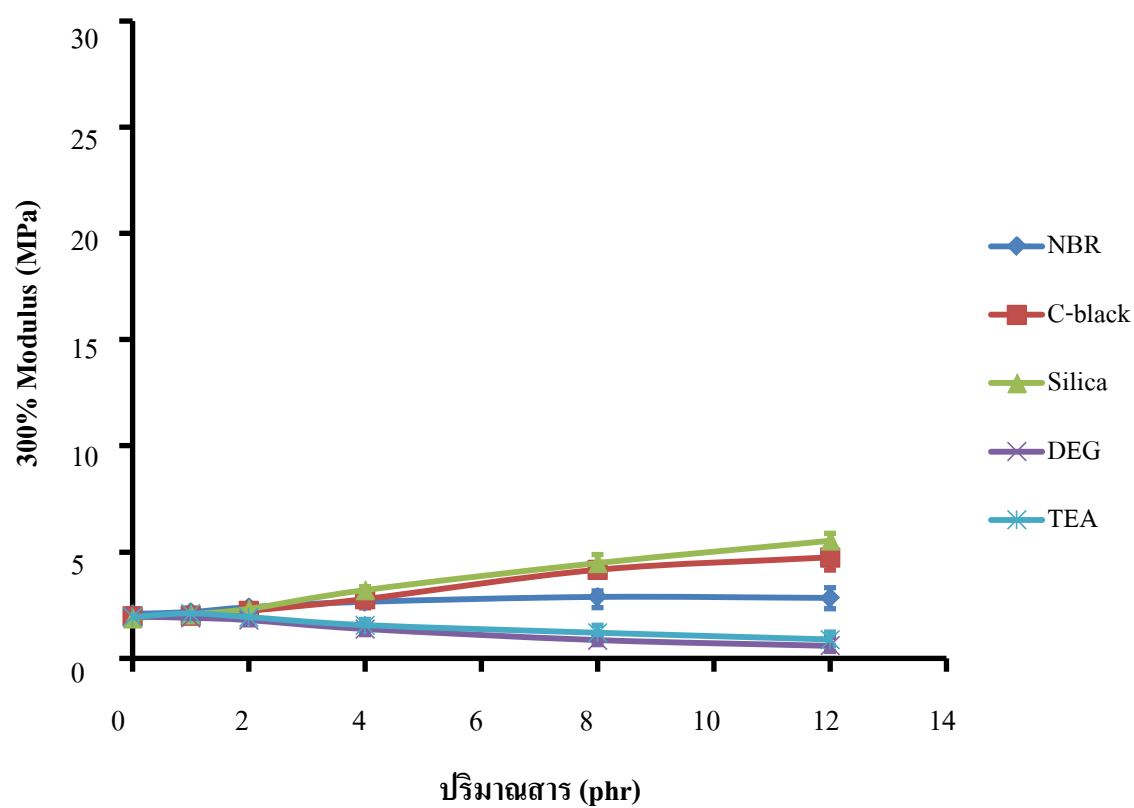
เมื่อเติมยาง NBR หรือเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr ทำให้ค่า Tensile strength ของฟิล์มยางลดลง

เมื่อเติม Carbon black หรือ Silica ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr ทำให้ค่า Tensile strength ของฟิล์มยางเพิ่มขึ้น

ดังนั้นนอกจากจะดูว่าค่า Surface Resistivity จะผ่านมาตรฐานแล้วแต่อาจจะทำให้ได้ค่า Tensile strength ไม่ผ่านมาตรฐานก็ได้ ปริมาณสารที่เหมาะสมเมื่อเติมยาง NBR ประมาณ 8 phr, Carbon black ประมาณ 12 phr, Silica ประมาณ 2 phr, DEG ประมาณ 4 phr และ TEA ประมาณ 4 phr Carbon black ให้ผลที่ไม่ดีนักและทำให้ยางเป็นสีดำด้วย ส่วนสารอื่น ๆ สามารถทำให้ยางมีสีต่าง ๆ ได้

ตารางที่ 15 ค่า 300% Modulus เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน

ชนิดของสาร	300% Modulus (MPa) ของสารที่เติมปริมาณต่าง ๆ กัน (phr)					
	0	1	2	4	8	12
NBR	2.0	2.0	2.2	2.8	4.2	4.7
Carbon black	2.0	2.0	2.2	2.8	4.2	4.7
Silica	1.89	2.07	2.32	3.21	4.49	5.54
DEG	2.0	1.9	1.8	1.4	0.9	0.6
TEA	1.9	2.1	1.9	1.6	1.2	0.9



รูปที่ 9 ค่า 300% Modulus เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน

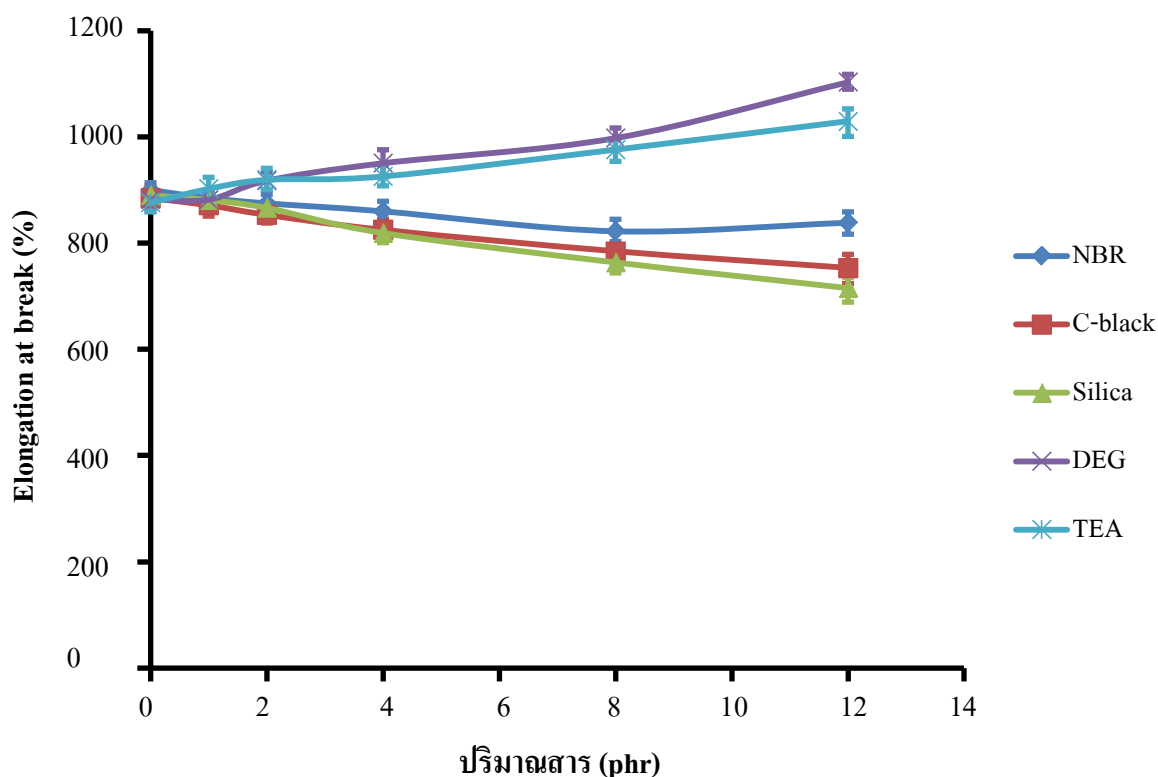
จากตารางที่ 15 และรูปที่ 9 จะเห็นได้ค่า 300% Modulus เริ่มต้นประมาณ 2 MPa แต่เมื่อเติมสารต่าง ๆ ลงไปในยางในปริมาณต่าง ๆ กันทำให้ค่า 300% Modulus ของฟิล์มยางเปลี่ยนแปลงไป

เมื่อเติมยาง NBR ทำให้ค่า 300% Modulus ของฟิล์มยางเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr ทำให้ค่า 300% Modulus ของฟิล์มยางลดลง

เมื่อเติม Carbon black หรือ Silica ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr ทำให้ค่า 300% Modulus ของฟิล์มยางเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 16 ค่า Elongation at break เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน

ชนิดของสาร	Elongation at break (%) ของสารที่เติมปริมาณต่าง ๆ กัน (phr)					
	0	1	2	4	8	12
NBR	900	885	875	860	823	839
Carbon black	885	871	853	825	785	753
Silica	890	881	867	819	764	716
DEG	882	882	918	951	998	1103
TEA	876	902	919	926	976	1029



รูปที่ 10 ค่า Elongation at break เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน

จากตารางที่ 16 และรูปที่ 10 จะเห็นได้ค่า Elongation at break เริ่มต้นประมาณ 890 แต่เมื่อเติมสารต่าง ๆ ลงไปในยางในปริมาณต่าง ๆ กันทำให้ค่า Tensile strength ของฟิล์มยางเปลี่ยนแปลงไป

เมื่อเติมยาง NBR หรือเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr ทำให้ค่า Elongation at break ของฟิล์มยางเพิ่มขึ้น

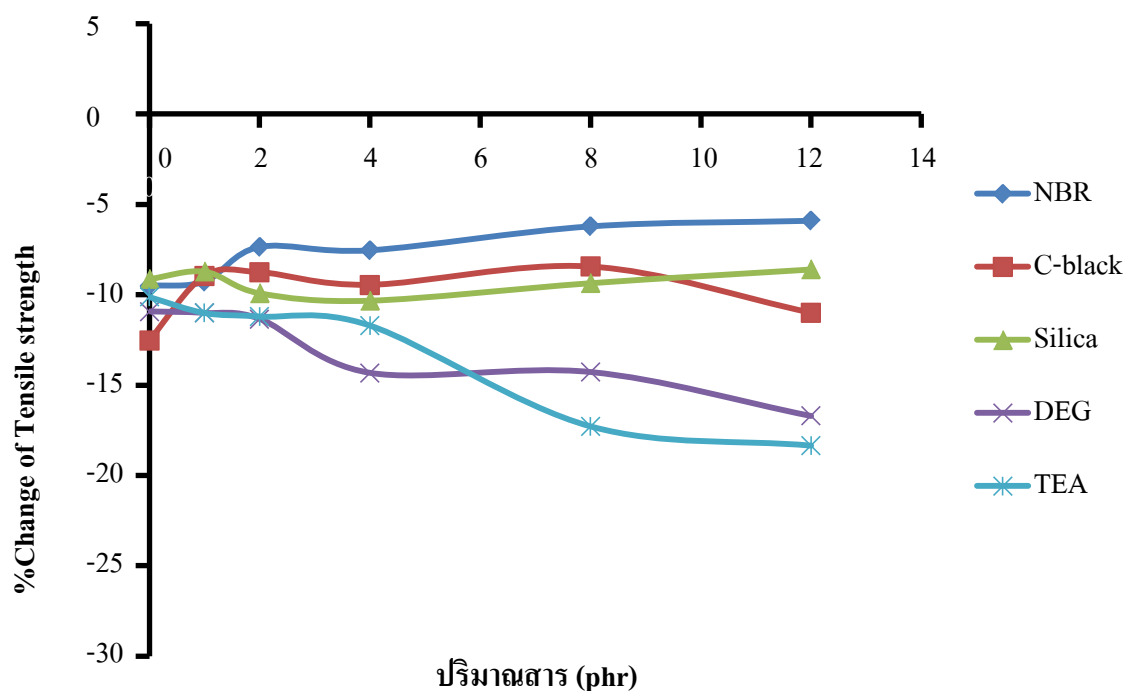
เมื่อเติม Carbon black หรือ Silica ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr ทำให้ค่า Elongation at break ของฟิล์มยางลดลง

2.5.3 ผลของการทดสอบการ Aging ของฟิล์มยาง

หลังจากการทดสอบสมบัติแรงดึงก่อนบ่มแรงแล้ว นำยางชุดเดียวกันนั้นมาทดสอบสมบัติยางหลังบ่มแรงแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณค่า %Change ของค่า Tensile strength, ค่า %Change ของค่า 300%

Modulus และ ค่า %Change ของค่า Elongation at break เพื่อศึกษาผลของสารชนิดต่าง ๆ ที่เติมปริมาณต่าง ๆ กันที่มีต่อสมบัติการบวมเร่ง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 17-19 และรูปที่ 11-13 ตารางที่ 17 ค่า %Change ของค่า Tensile strength หลังจากการ aging ของสารชนิดต่าง ๆ ปริมาณต่าง ๆ

ชนิดของสาร	ค่า %Change ของค่า Tensile strength (MPa) หลังจากการ aging					
	0	1	2	4	8	12
NBR	-10	-9	-7	-8	-6	-6
Carbon black	-13	-9	-9	-9	-8	-11
Silica	-9	-9	-10	-10	-9	-9
DEG	-11	-11	-11	-14	-14	-17
TEA	-10	-11	-11	-12	-17	-18



รูปที่ 11 ค่า %Change ของค่า Tensile strength หลังจากการ aging ของสารชนิดต่าง ๆ ที่ปริมาณต่าง ๆ

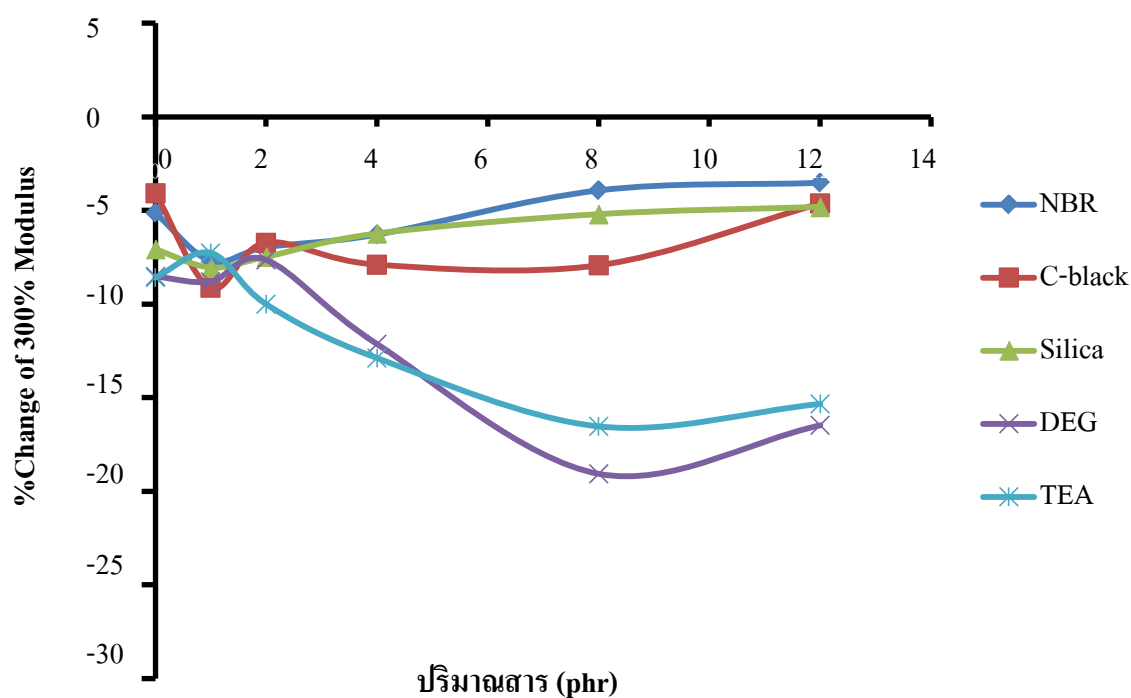
จากตารางที่ 17 และรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่าค่า %Change ของค่า Tensile strength ลดลงเมื่อฟิล์มยางผ่านการ aging ซึ่งสมบัติเริ่มต้นลดลงประมาณ 10%

เมื่อเติมยาง NBR หรือเติม Carbon black หรือ Silica ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr มีผลต่อค่า %Change ของค่า Tensile strength ของฟิล์มยางค่อนข้างคงที่

เมื่อเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr มีผลต่อค่า %Change ของค่า Tensile strength ของฟิล์มยางลดลง แสดงว่าสาร DEG และ TEA ไล่ลงไปยางในปริมาณที่มากไม่ได้ อาจเนื่องจากสารสองตัวนี้มีจุดเดือดต่ำเมื่อผ่านการ aging อาจจะทำให้สารระเหยออกไปและมีผลต่อสมบัติของยางได้

ตารางที่ 18 ค่า %Change ของค่า 300% Modulus หลังจากการ aging ของสารชนิดต่าง ๆ ที่ปริมาณต่าง ๆ

ชนิดของสาร	ค่า %Change ของค่า 300% Modulus (MPa) หลังจากการ aging					
	0	1	2	4	8	12
NBR	-5	-8	-7	-6	-4	-4
Carbon black	-4	-9	-7	-8	-8	-5
Silica	-7	-8	-7	-6	-5	-5
DEG	-9	-9	-8	-12	-19	-16
TEA	-9	-7	-10	-13	-17	-15



รูปที่ 12 ค่า %Change ของค่า 300% Modulus หลังจากการ aging ของสารชนิดต่าง ๆ ที่ปริมาณต่าง ๆ

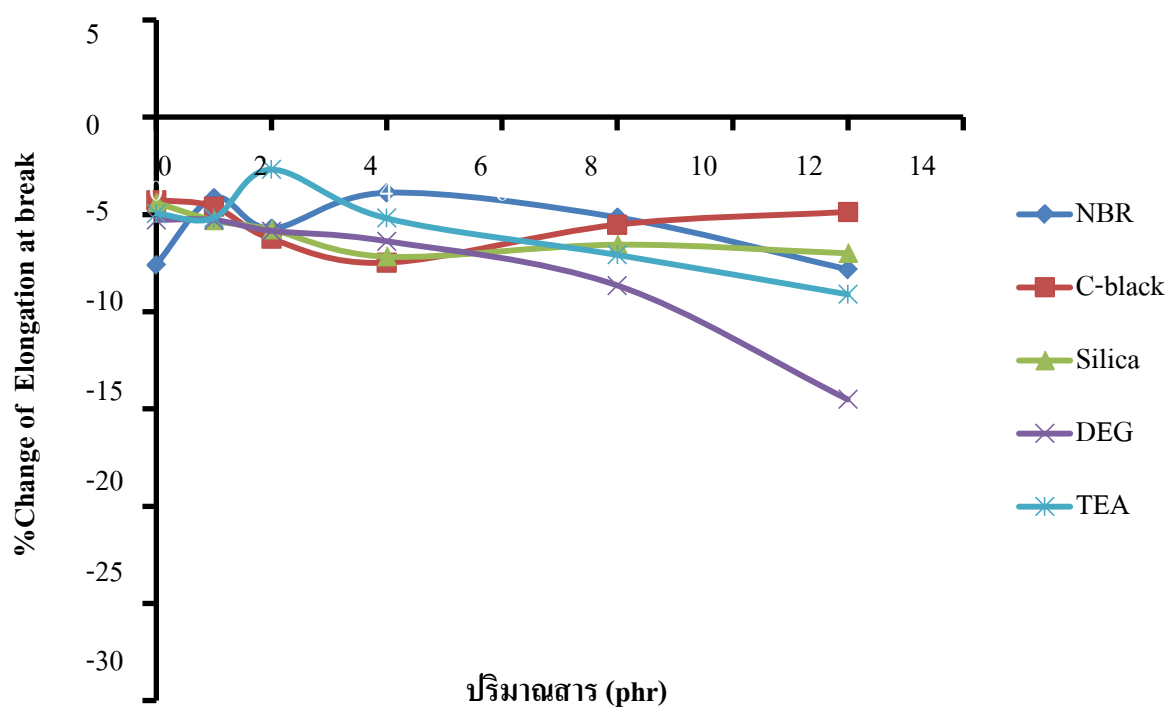
จากตารางที่ 18 และรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าค่า %Change ของค่า 300% Modulus ลดลงเมื่อฟิล์มยางผ่านการ aging ซึ่งสมบัติเริ่มต้นลดลงประมาณ 5%

เมื่อเติมยาง NBR หรือเติม Carbon black หรือเติม Silica ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr มีผลต่อค่า %Change ของค่า 300% Modulus ของฟิล์มยางค่อนข้างคงที่

เมื่อเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr มีผลต่อค่า %Change ของค่า 300% Modulus ของฟิล์มยางลดลง

ตารางที่ 19 ค่า %Change ของค่า Elongation at break หลังจากการ aging ของสารชนิดต่าง ๆ
ที่ปริมาณต่าง ๆ

ชนิดของสาร	ค่า %Change ของค่า Elongation at break หลังจากการ aging					
	0	1	2	4	8	12
NBR	-8	-4	-6	-4	-5	-8
Carbon black	-4	-5	-6	-7	-6	-5
Silica	-4	-5	-6	-7	-7	-7
DEG	-5	-5	-6	-6	-9	-15
TEA	-5	-5	-3	-5	-7	-9



รูปที่ 13 ค่า %Change ของค่า Elongation at break หลังจากการ aging ของสารชนิดต่าง ๆ
ที่ปริมาณต่าง ๆ

จากตารางที่ 19 และรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่าค่า %Change ของค่า Elongation at break ลดลงเมื่อฟิล์มยางผ่านการ aging ซึ่งสมบัติเริ่มต้นลดลงประมาณ 5%

เมื่อเติมยาง NBR เติม หรือ Carbon black หรือ Silica ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr มีผลต่อค่า %Change ของค่า Elongation at break ของฟิล์มยางค่อนข้างคงที่

เมื่อเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA ในปริมาณสารเพิ่มจาก 1-12 phr มีผลต่อค่า %Change ของค่า Elongation at break ของฟิล์มยางลดลง

2.6 สรุปผล

แผ่นฟิล์มยางที่ไม่มีการเติมสารเคมีมีความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวประมาณ $10^{16} \Omega/\text{cm}^2$ แต่เมื่อผสมน้ำยางคอมปาวด์ตามสูตรดังนี้ 60% น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ 100 phr, 10% โปดัสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.2 phr, 10% โปดัสเซียมโอเลเอท 0.5 phr, 50% กำมะถัน 1.5 phr, 50% แซด ดี อี ซี 0.75 phr, 50% ซีพีแอลแอนติออกซิแดนท์ 1 phr, 50% ซิงค์ออกไซด์ 2 phr แผ่นฟิล์มยางที่ได้มีสมบัติความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวลดลงได้ค่าประมาณ $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$ โดยที่มาตรฐานโรงงานอิเล็กทรอนิกส์กำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าของฉนวนที่ทำจากยางพาราให้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ วัดที่ความต่างศักย์ไม่เกิน 100 ± 5 Volt จึงจะสามารถป้องกันไฟฟ้าสถิตได้

เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มยางที่มีสมบัติลดไฟฟ้าสถิตได้ (มีความต้านทานไฟฟ้าที่เหมาะสม) และสมบัติความทนทานต่อแรงดึงก่อนบ่มและหลังบ่มที่ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีและปริมาณสารเคมีที่เติมในน้ำยางคอมปาวด์ในปริมาณที่เหมาะสม ดังนี้เมื่อเติมยาง NBR ประมาณ 8 phr หรือเมื่อเติม Carbon black ประมาณ 12 phr หรือเมื่อเติม Silica ประมาณ 2 phr หรือเมื่อเติม DEG ประมาณ 4 phr และ/หรือเมื่อเติม TEA ประมาณ 4 phr

2.7 ข้อเสนอแนะ

2.7.1 การนำผลวิจัยไปใช้

จากการทดลองเรื่องการพัฒนาสูตรยางเพื่อลดไฟฟ้าสถิต การนำผลการวิจัยไปใช้จะต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งานของผลิตภัณฑ์ เพราะสูตรที่ได้จากการทดลองแปรชนิดและปริมาณสารต่าง ๆ ส่งผลให้สามารถลดความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวได้ในแผ่นฟิล์มยางได้ในปริมาณที่

แตกต่างกันไปและเมื่อใส่ในปริมาณที่เหมาะสมสามารถป้องกันไฟฟ้าสถิตได้ ทั้งนี้ปริมาณสารที่ใส่ลงไปมีผลต่อความทนทานแรงดึงก่อนบ่มและหลังบ่มด้วย นอกจากนี้มีบางสูตรที่เหมาะสมสำหรับการนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่ลดไฟฟ้าสถิตในถุงนี้ได้โดยวิธีที่ได้มีความยืดหยุ่นและทนต่อแรงดึง

2.7.2 ประเด็นวิจัยใหม่

- ศึกษาสารชนิดอื่นที่มีประสิทธิภาพในการลดไฟฟ้าสถิต (มีความต้านทานไฟฟ้าที่เหมาะสม) และให้สมบัติความต้านทานแรงดึงที่ดีก่อนบ่มและหลังบ่ม
- ศึกษาการเพิ่มความเสถียรของน้ำยางเมื่อผสมสารตัวเติม เช่น สารตัวเติมเขม่าดำ สารตัวเติมซิลิกา

2.8 เอกสารอ้างอิง

1. บริษัท วี - ฟิงเกอร์ อินดัสตรี จำกัด. 2550. โรงงานผลิตถุงนํ้ารายใหญ่ในประเทศ. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: <http://www.tttonline.net/news/>
2. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. 2551. ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าสถิต. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: <http://www.rmutphysics.com>
3. วรณิ จินศิริกุล ดวงรักษ์ นันทวิสารกุล อสิรา เฟื่องฟูชาติ นันทน์ ถาวรังกูร สรญา และ พิบูล กุลสัมฤทธิ์. 2549. การพัฒนาคอมพาวด์นำไฟฟ้าระหว่างผงเขม่าดำกับพอลิไธรีนชนิดต้านทานแรงกระแทกสูงเพื่อประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
4. มอก. 78-2549. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผงซักฟอก.
5. วิกีพีเดียสารานุกรมเสรี. 2551. Antistatic Agent. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: <http://en.wikipedia.org>
6. บุญธรรม นิธิอุทัย. 2532. ปฏิบัติการเทคโนโลยีน้ำยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ : ปัตตานี.
7. บุญธรรม นิธิอุทัย. 2539. ขงธรรมชาติและยางสังเคราะห์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ : ปัตตานี.

8. พรพรรณ นิธิอุทัย. 2536. สารเคมีสำหรับยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ : ปัตตานี.
9. กรมควบคุมมลพิษ. 2551. Triethanolamine. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: <http://msds.pcd.go.th>
10. พงศ์ธร แซ่อูย. 2551. ยางนำไฟฟ้า. เพื่อการพัฒนาของอุตสาหกรรมยาง. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง 2 (1) :11-16.
11. James E. Mark, Burak Erman and Frederick R. Eirich. 2005. Science and Technology of Rubber. 3rd Elsevier Inc. USA.
12. วราภรณ์ ขจรไชยกุล พรรษา ช่วยปลั่ง พลจิต บัวแก้ว ภัทรา กานตศิลป์ และ นุชนาฏ ณ ระนอง. 2537. หน่วยงานวิจัย: สถาบันวิจัยยาง. ผู้ให้ทุน: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
13. PATENT ABSTRACTS OF JAPAN number 2007-070409. CONDUCTIVE COMPOSITION. YOKOHAMA RUBBER.
14. บุญธรรม นิธิอุทัย. 2536. การทดสอบยางและผลิตภัณฑ์: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ : ปัตตานี.
15. เครื่อง Monroe 272 Resistivity. 2553. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: <http://www.esdproducts.biz/Instrumentation/Resistivity/resistivity.html>

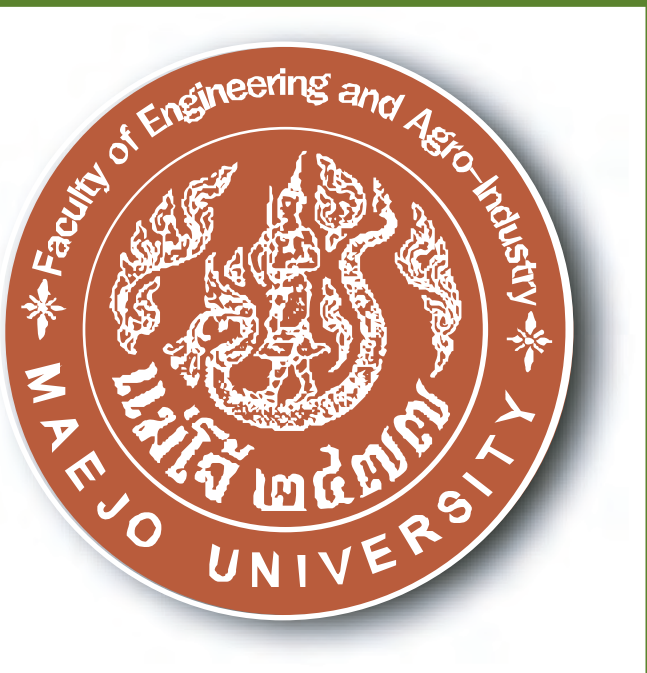
ภาคผนวก

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ

“การพัฒนาสูตรยางเพื่อลดไฟฟ้าสถิตย์” สัญญาเลขที่ RDG5150042

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
ความเห็นด้านการพิมพ์ (Editorial) - ขอให้ตรวจสอบการพิมพ์คำว่า “สถิตย์” หรือ “สถิต” ขอให้แก้ไขให้ถูกต้องทุกจุดในรายงาน - แก้ไขคำว่า “เขม่าดำ” ไม่ใช่ “เขม่าดำ” ทุกจุดในรายงาน - ตรวจสอบการพิมพ์ผิดหลายแห่ง เช่น หน้า II, IV, V, หน้า 3, หน้า 7, หน้า 8, หน้า 25 และหน้า 30 เป็นต้น - หน้า II และหน้า 20 แก้ไขการพิมพ์คำว่า “แอนติออกซิเด็น” ควรใช้เป็น สารป้องกันการเสื่อมสภาพ หรือ แอนติออกซิแด้นท์ และคำว่า “ยางธรรมชาติดิบ” ขอให้แก้ไขเป็น “ยางธรรมชาติ” - ในบทคัดย่อ ต้องเพิ่มผลการทดลอง ตามสรุปผลการทดลองด้วย - สมบัติ ที่ทดสอบหรือคำที่เป็นภาษาอังกฤษ ช่วงแรกที่ถูกกล่าวถึงควรเป็นภาษาไทย แล้ววงเล็บเป็นภาษาอังกฤษกำกับไว้ และอธิบายความหมายของศัพท์นั้น ๆ ด้วย - หน้า 4 อนุภาคเขม่าดำ น่าจะเป็น A° มากกว่า $\text{\AA}$ (ดูหน้า 4) หรือ $^\circ A$ (ดูหน้า 5) และควรอธิบายด้วยว่าย่อมาจากอะไร หมายความว่าอย่างไร	- ได้แก้ไขโดยใช้คำว่า “สถิต” ถูกต้องทุกจุดในรายงาน - ได้แก้ไขโดยใช้คำว่า “เขม่าดำ” ถูกต้องทุกจุดในรายงาน - ได้แก้ไขการพิมพ์ให้ถูกต้อง เช่น หน้า II, IV, V, หน้า 3, หน้า 7, หน้า 8, หน้า 25 และหน้า 30 เป็นต้น - หน้า II และหน้า 20 ได้แก้ไขการพิมพ์คำว่า “แอนติออกซิเด็น” ใช้เป็น “แอนติออกซิแด้นท์” และคำว่า “ยางธรรมชาติดิบ” ได้แก้ไขเป็น “ยางธรรมชาติ” - ในบทคัดย่อ ได้เพิ่มผลการทดลอง ตามสรุปผลการทดลอง - สมบัติ ที่ทดสอบหรือคำที่เป็นภาษาอังกฤษ ช่วงแรกที่ถูกกล่าวถึงใช้เป็นภาษาไทย แล้ววงเล็บเป็นภาษาอังกฤษกำกับ และได้อธิบายความหมายของศัพท์นั้น ในหน้า 17 - หน้า 4 อนุภาคเขม่าดำ ได้เปลี่ยนสัญลักษณ์เป็น A° ย่อมาจาก Angstrom หมายความว่า 10^{-10} m

8. หน้า 21 ข้อ 2.5.2 ที่กล่าวว่า “เพื่อศึกษาผลของเติมสารชนิดต่าง ๆ ที่เติม ปริมาณต่าง ๆ กัน” ควรปรับเป็น “เพื่อศึกษาผลของเติมสารชนิดต่าง ๆ ใน ปริมาณต่าง ๆ กัน” 9. เอกสารอ้างอิง รายการที่ 12 หน่วยวิจัยไม่ใช่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ขอให้แก้ไขเป็นสถาบันวิจัยยาง	8. หน้า 21 ข้อ 2.5.2 ที่กล่าวว่า “เพื่อศึกษาผลของเติมสารชนิดต่าง ๆ ที่เติม ปริมาณต่าง ๆ กัน” ได้ปรับเป็น “เพื่อศึกษาผลของเติมสารชนิดต่าง ๆ ใน ปริมาณต่าง ๆ กัน” 9. เอกสารอ้างอิง รายการที่ 12 หน่วยวิจัยได้แก้ไขเป็นสถาบันวิจัยยาง
ความเห็นด้านวิชาการ (Technical) 1. ผู้วิจัยไม่ได้บอกถึงการ compound น้ำยางกับสารตัวเติมหรือสารเคมีที่ใช้ เข้ากับน้ำยางได้ดำหรือไม่ เพราะการใส่สารตัวเติม เช่น carbon black ทำให้ตกตะกอนได้ง่าย ดังนั้น เมื่อทำแผ่นฟิล์มทำให้มีผลต่อสมบัติของการ ลดไฟฟ้าสถิตหรือ tensile 2. ควรปรับปรุงการสรุปผล การอธิบายวิธีการ (หน้า 15) ให้ชัดเจนว่าน้ำยาง และสารที่เติมทั้ง 4 ชนิดนั้นแต่ละตัวเติมในปริมาณ 5 ปริมาณ (ตามที่ เสนอไว้) อ่านแล้วเข้าใจผิดว่า เติมสาร 4 ชนิด และน้ำยาง NBR รวมกัน ในปริมาณดังกล่าว 3. เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้เวลายาวนานมากกว่าระยะเวลาที่กำหนดของ โครงการ SPR ผลงานควรได้สาระสำคัญมากกว่านี้ และนักวิจัยควรให้ รายละเอียดเกี่ยวกับความเสถียรของน้ำยางคอมปาวด์เมื่อเติมสารต่าง ๆ ที่ ต้องลดไฟฟ้าสถิตด้วย เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญมาก	1. วิธีป้องกันตกตะกอน โดยในการเตรียมคัสเตอร์ชั้นของสารตัวเติมมีการใช้ สาร Bentonite clay ปริมาณ 2 ส่วน โดยน้ำหนัก และในการผสมสารตัวเติม กับน้ำยางใช้อุณหภูมิในการผสมเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส น้ำยางกับสารตัว เติมเขมาดำเข้ากันได้ดีประมาณ 1-2 ชั่วโมงหลังจากนั้นจะเริ่มตกตะกอน 2. ได้ปรับปรุงการสรุปผล การอธิบายวิธีการ (หน้า 15) ชัดเจนโดยสารที่ใช้มี 5 ชนิด คือ 1. น้ำยางเอ็นบีอาร์, 2. เขมาดำ (Carbon black) 3. ซิลิกา (Silica) 4. สารดีอีจี (Diethyleneglycol, DEG), 5. สารทีอีเอ (Triethanolamine, TEA) สารที่เติมทุกตัวได้แปรปริมาณเป็น 1 2 4 8 และ 12 phr 3. การเพิ่มความเสถียรของน้ำยางเมื่อผสมสารตัวเติมเป็นประเด็นวิจัยใหม่ที่ น่าสนใจมาก



การพัฒนาสูตรยางเพื่อลดไฟฟ้าสถิต *

Development of rubber formula for reducing static electricity

นายศิโรตม์ บุญราศรี**



(ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.))

เรื่องย่อ

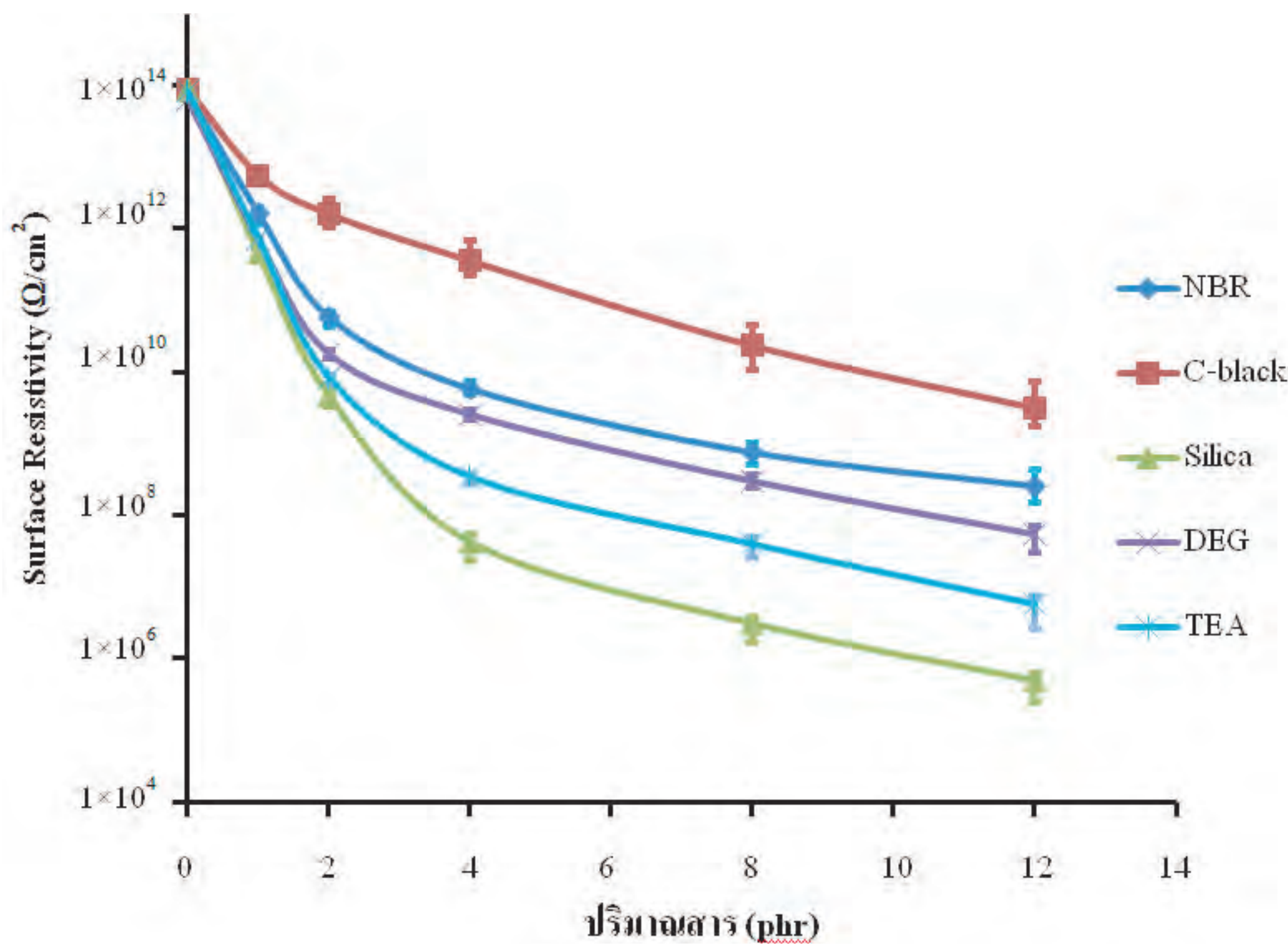
ผลการทดลองพบว่าค่าไฟฟ้าสถิตของฟิล์มยางลดลงเมื่อปริมาณสารที่เติมเพิ่มขึ้น และปริมาณสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับเตรียมแผ่นฟิล์มยางที่มีค่าความต้านทานไฟฟ้าตามมาตรฐาน มีสมบัติลดไฟฟ้าสถิตและยังคงให้สมบัติความทนทานต่อแรงดึงก่อนบ่มแรงและหลังบ่มแรงที่ดี คือเมื่อเติมยาง NBR ประมาณ 8 phr หรือเมื่อเติม Carbon black ประมาณ 12 phr หรือเมื่อเติม Silica ประมาณ 2 phr หรือเมื่อเติม DEG ประมาณ 4 phr หรือเมื่อเติม TEA ประมาณ 4 phr ในน้ำยางคอมปาวด์

คำนำ

สารกันไฟฟ้าสถิต[1] (Anti-Static Agent) หมายถึงสารที่ช่วยลดประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนพอลิเมอร์ สารลดไฟฟ้าสถิต [2,3] เป็นสารที่ทำให้ผิวยางมีการนำไฟฟ้าเล็กน้อย ปัจจุบันนี้ในอุตสาหกรรมการผลิตพอลิเมอร์ป้องกันไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge Barrier) โดยพอลิเมอร์ดังกล่าวจะต้องมีค่าต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวอยู่ระหว่าง $10^4 - 10^9 \Omega/\text{cm}^2$ จึงจะสามารถป้องกันกระแสไฟฟ้าสถิตและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ งานวิจัยนี้ได้เตรียมฟิล์มยางธรรมชาติโดยแปรสารชนิดต่างๆ เช่น ยางเอ็นบีอาร์ (Acrylonitrile Butadiene Rubber, NBR), เขม่าดำ (Carbon black, CB), ซิลิกา (Silica), สารดีอีจี (Diethyleneglycol, DEG) และ สารทีอีเอ (Triethanolamine, TEA) ลงไปในน้ำยางคอมปาวด์ในปริมาณ 1, 2, 4, 8 และ 12 phr แล้วนำมาทดสอบสมบัติความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวและสมบัติความทนทานต่อแรงดึงก่อนบ่มแรงและหลังบ่มแรง

ผลการทดลองและวิจารณ์

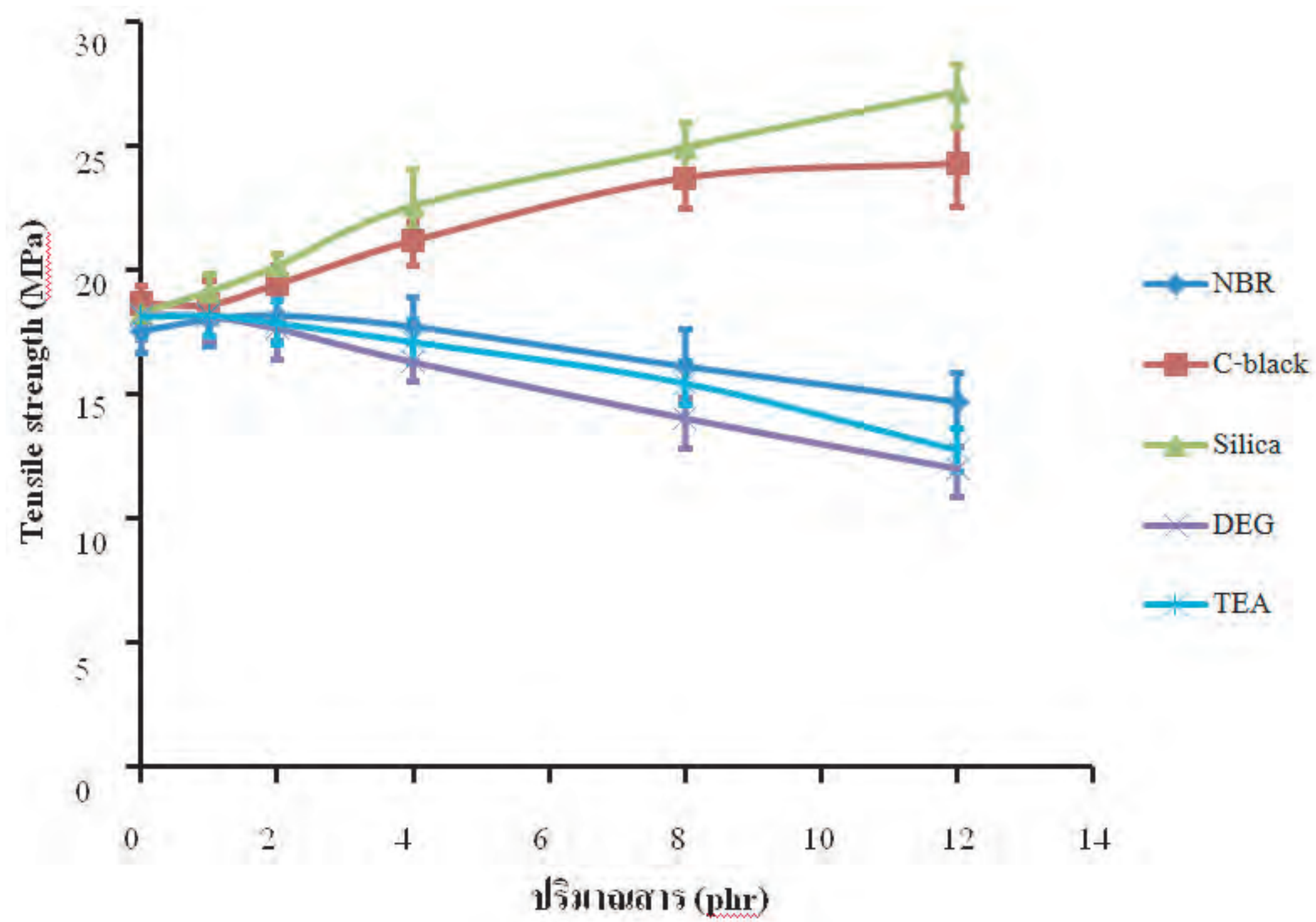
1. สมบัติความต้านทานไฟฟ้าของฟิล์มยาง



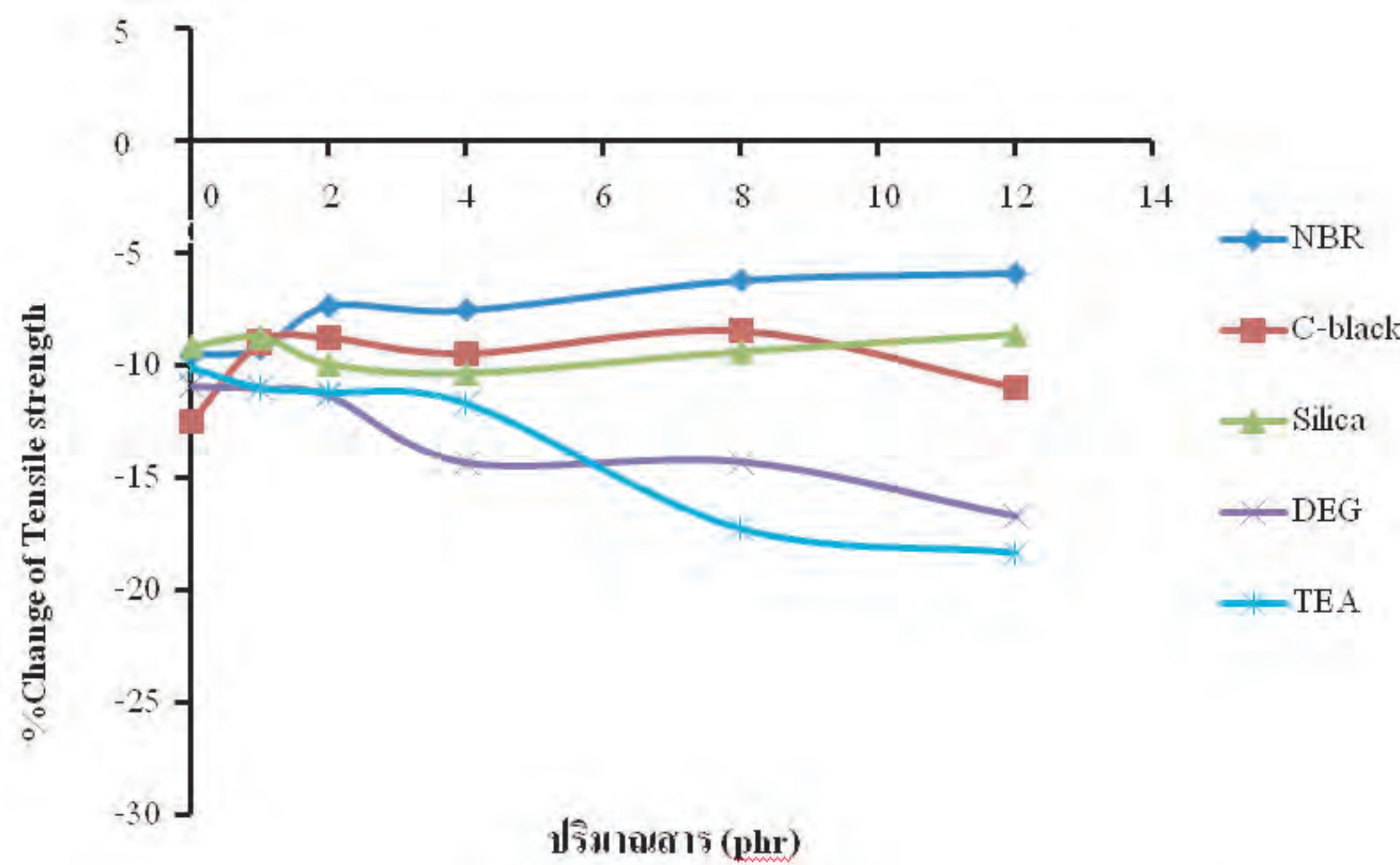
รูปที่ 1 ค่า Surface Resistivity เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน

แผ่นฟิล์มยางที่ไม่มีการเติมสารเคมีมีความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวประมาณ $10^{16} \Omega/\text{cm}^2$ แต่เมื่อเตรียมเป็นน้ำยางคอมปาวด์ แผ่นฟิล์มยางที่ได้มีสมบัติความต้านทานไฟฟ้าเชิงพื้นผิวลดลงได้ค่าประมาณ $10^{14} \Omega/\text{cm}^2$ โดยที่มาตรฐานโรงงานอิเล็กทรอนิกส์กำหนดค่าความต้านทานไฟฟ้าของถุงนั้วที่ทำจากยางพาราให้อยู่ในช่วง 10^4 ถึง $10^9 \Omega/\text{cm}^2$ เมื่อวัดที่ความต่างศักย์ 100 Volt จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงให้แผ่นฟิล์มยางมีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเชิงพื้นผิวลดลงอยู่ในช่วงดังกล่าว จากรูปที่ 1 พบว่าเมื่อเติมยาง NBR ในปริมาณ 8-12 phr, หรือเขม่าดำปริมาณ 12 phr, หรือซิลิกา ปริมาณ 2-12 phr, หรือดีอีจีปริมาณ 4-12 phr, หรือทีอีเอ ปริมาณ 4-12 phr ค่าที่ได้อยู่ในช่วง $10^4 - 10^9 \Omega/\text{cm}^2$ โดยวัดที่ค่าความต่างศักย์ 100 Volt ซึ่งผ่านค่ามาตรฐาน

2. ผลการทดสอบสมบัติ Tensile strength และสมบัติ Aging ของฟิล์มยาง



รูปที่ 2 ค่า Tensile strength เมื่อเติมสารชนิดต่าง ๆ ในปริมาณต่าง ๆ กัน



รูปที่ 3 ค่า %Change ของค่า Tensile strength หลังจากการ aging ของสารชนิดต่างๆ ที่ปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่า Tensile strength ของฟิล์มยางเริ่มต้นประมาณ 18 MPa เมื่อเติมยาง NBR หรือเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า Tensile strength ของฟิล์มยางลดลง แต่เมื่อเติม Carbon black หรือ Silica เพิ่มขึ้นทำให้ค่า Tensile strength ของฟิล์มยางเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่า %Change ลดลงเมื่อฟิล์มยางผ่านการ aging ซึ่งสมบัติเริ่มต้นลดลงประมาณ 10% เมื่อเติมยาง NBR หรือเติม Carbon black หรือ Silica เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่า %Change แต่เมื่อเติมสาร DEG หรือเติมสาร TEA เพิ่มขึ้นทำให้ค่า %Change ของฟิล์มยางลดลง แสดงว่าสาร DEG และ TEA ใส่ลงไปในยางในปริมาณที่มากไม่ได้

ดังนั้นนอกจากจะดูว่าค่า Surface Resistivity จะผ่านมาตรฐานแล้วแต่อาจจะทำให้ได้ค่า Tensile strength ไม่ผ่านมาตรฐานก็ได้ ปริมาณสารที่เหมาะสมเมื่อเติมยาง NBR ประมาณ 8 phr, Carbon black ประมาณ 12 phr, Silica ประมาณ 2 phr, DEG ประมาณ 4 phr และ TEA ประมาณ 4 phr

สรุปผลการทดลอง

ถุงนั้วยางธรรมชาติเมื่อไม่มีการเติมสารใด ๆ มักจะเกิดไฟฟ้าสถิตได้ง่าย แต่เมื่อผสมกับยาง NBR หรือเมื่อเติม Carbon black หรือเมื่อเติม Silica หรือเมื่อเติม DEG หรือเมื่อเติม TEA แล้วทำให้ถุงนั้วสามารถป้องกันไฟฟ้าสถิตได้ ปริมาณการเติมสารแต่ละชนิดขึ้นกับสมบัติที่ต้องการ

เอกสารอ้างอิง

- วรรณิ ฉินศิริกุล และคณะ. 2549. การพัฒนาคอมพาวด์นำไฟฟ้าระหว่างยางเขม่าดำกับพอลิไธรีนชนิดต้านทานแรงกระแทกสูงเพื่อประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับวงจรอิเล็กทรอนิกส์. สวทช.
- มอก. 78-2549. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางชักฟอก.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2551. Antistatic Agent. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก: <http://en.wikipedia.org>

*สัญญาเลขที่ RDC5150042

**คณวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, โทรศัพท์: 087-831 4777 E-mail: siwaroj@mju.ac.th