



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
การเตรียมวัสดุผงหลังจากเศษยางครัมป์และพลาสติกกรีไชเคิล

โดย

ดร. ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย และคณะ

30 มิถุนายน 2550

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเตรียมวัสดุผงหลังจากเศษยางครัมป์และพลาสติกรีไซเคิล

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ดร. ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
2. จักรพงษ์ รักษาพรหมณ์	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี
3. อติศยา โต๊ะสัน	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

ชุดโครงการ โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเป็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

การเตรียมวัสดุผนังหลังคาจากเศษยางครัมป์และพลาสติกรีไซเคิล

Preparation of Rubber Roof Tile from Crumb Rubber and Recycled Plastic

ดร. ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย

ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี อ.เมือง จ. ปัตตานี 94000

โทรศัพท์ 073-313930-50 ext. 1863, โทรสาร 073-331099

E-mail: nattapong@nrfoam.org

นักศึกษาหรือนักวิจัย : จักรพงษ์ รักษาพรหมณ์, อติยา โต๊ะสัน

ระยะเวลาดำเนินงาน 10 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กันยายน 2549 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน 2550

ปัญหาที่ทําวิจัยและความสำคัญ

การผสมยางลงในพลาสติกจะสามารถปรับปรุงคุณสมบัติพิเศษกับพลาสติกได้ เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซต (TPVs) ราคาถูกสามารถเตรียมได้โดยการผสมเศษยางจากยางรถยนต์เข้ากับพลาสติกรีไซเคิล เช่น โพลีโพรไพลีน (Recycled Polypropylene, PP-r) หรือ โพลีเอทิลีน ได้ การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ทั้งสองประเภทนี้คือเศษยางรถยนต์ และพลาสติกรีไซเคิล จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ วัสดุผนังหลังคาที่เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทหนึ่งที่สามารถผลิตได้ด้วย TPV ราคาถูกที่เตรียมจากวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ดังกล่าวข้างต้น ด้วยกรรมวิธีการผลิตแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีต้นทุนต่ำ นอกจากนี้คุณสมบัติของส่วนผสมนั้นคือความทนทานต่อสภาพอากาศ และความทนทานต่อแรงกระแทก ก็ยังส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความโดดเด่นเมื่อเทียบกับวัสดุผนังหลังคาประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในปัจจุบัน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาแนวทางในการเตรียมผลิตภัณฑ์ผนังหลังคาจากยางครัมป์ และพลาสติกรีไซเคิล
2. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากวัสดุนำกลับไปใช้ใหม่ เป็นการกระตุ้นในทางเศรษฐศาสตร์ในการสร้างระบบการนำกลับไปใช้ใหม่ที่ดีขึ้น
3. เพื่อสร้างความร่วมมือกันระหว่างผู้ใช้งานด้านการก่อสร้าง และผู้พัฒนาวัสดุ เพื่อเป็นการผลักดันการใช้วัสดุภายในสาขาก่อสร้าง
4. เพื่อผลักดันในการใช้วัสดุยางธรรมชาติ และพลาสติกให้ได้ประโยชน์สูงสุด

ผลการดำเนินงาน

ในการวิจัยนี้จะศึกษาผลของการเบลนดระหว่างยางครัมบ์ (Crumb Rubber, CRM) และพลาสติกรีไซเคิลประเภทโพลิโพรไพลีน (Recycled Polypropylene, PP-r) โดยศึกษาผลของสัดส่วนยางครัมบ์ต่อพลาสติกต่อสมบัติทางกายภาพคือ สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดเมื่อขาด ความแข็ง และความทนทานต่อการกระแทก ศึกษาความทนทานต่อการใช้งานด้วยการศึกษาสมบัติการบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการผสมยางใหม่ ที่เป็นยางอีพดีเอ็ม (EPDM) และยางธรรมชาติ (NR) สมบัติในการติดไฟ และสมบัติการนำกลับมาใช้ใหม่ของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (TPE) ที่ได้ โดยสมบัติที่ทดสอบจะเปรียบเทียบกับสมบัติของวัสดุผงหลังจากจากวัสดุรีไซเคิลที่ผลิตโดยบริษัท Ecostar Inc.

ผลการทดลองพบว่า ค่าความต้านทานต่อการดึง และความแข็งมีค่ามากขึ้นเมื่อปริมาณของ CRM ที่ใช้ในการเบลนดเพิ่ม เนื่องจาก CRM จะเข้าไปแทรกในเฟสของพลาสติกทำให้ TPE ที่ได้จากการเบลนดมีความแข็งแรงและแข็งมากขึ้น แต่ในทางกลับกันจะทำให้ความสามารถในการยืดจนขาดมีค่าน้อยลง ค่าความต้านทานต่อการกระแทกของ TPE มีค่ามากขึ้นเมื่อปริมาณ CRM สูงขึ้น เนื่องมาจากการที่พลาสติกมีสมบัติที่เปราะกว่ายาง ทำให้เมื่อมีปริมาณ CRM มากขึ้นทำให้ TPE มีความยืดหยุ่นมากขึ้นทำให้ค่าความต้านทานต่อการกระแทกมากขึ้น

สมบัติต่าง ๆ ของ TPE มีค่าลดลงเมื่อทำการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เนื่องจาก TPE ถูกออกซิเดชันจึงทำให้สมบัติลดลง และจะสังเกตได้ว่าเมื่อปริมาณของพลาสติกลดลงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก่อนและหลัง Aging มีค่ามากขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจากพลาสติกที่ใช้สามารถทนต่อการถูกออกซิเดชันได้ จึงทำให้เมื่อปริมาณของพลาสติกที่ใช้น้อยลง TPE ที่เตรียมได้ถูกออกซิเดชันได้มากขึ้น

TPVs ที่เตรียมได้จากการเบลนดยาง CRM/EPDM/PP-r โดยกำหนดให้ปริมาณพลาสติกคงที่ที่ 40 ส่วน โดยน้ำหนัก จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานต่อการดึงน้อยลงเมื่อปริมาณยาง EPDM มีปริมาณมากขึ้นในยาง CRM/EPDM เนื่องมาจากเมื่อมีปริมาณยางมากขึ้นทำให้ TPVs ที่เตรียมได้มีความเป็นอีลาสติกมากขึ้น ทำให้ค่า Tensile strength มีค่าน้อยลง และยังทำให้ค่าความแข็งมีค่าน้อยลงด้วย แต่ความสามารถในการยืดมีค่ามากขึ้นเมื่อปริมาณยาง EPDM มีปริมาณมากขึ้นในยาง CRM/EPDM จะทำให้ค่าความต้านทานต่อการกระแทกมากขึ้น เนื่องจากยางมีความยืดหยุ่นทำให้ TPVs ที่เตรียมขึ้นมีสมบัติด้านนี้ดีขึ้นเมื่อมีปริมาณยางที่ใช้ในการเบลนดเพิ่มขึ้น

สมบัติต่างๆของ TPVs มีค่าน้อยลงหลังจากทำการ Aging แต่ลดลงจากค่าเดิมไม่มาก เนื่องจากยาง EPDM ที่ใช้ในการเบลนดมีสมบัติที่ทนต่อการถูกออกซิเดชันได้ดีทำให้สมบัติของ TPVs มีค่าลดลงจากเดิมไม่มาก และถ้ามีปริมาณของยาง EPDM มากขึ้นในยาง CRM/EPDM จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติที่น้อยกว่า TPVs ที่มีส่วนของยาง EPDM ในยาง CRM/EPDM ที่น้อยกว่า และสมบัติผ่านมาตรฐานเมื่อสัดส่วนของ CRM/EPDM มีค่า 50/10 จนถึง 30/30 การใช้ยางธรรมชาติแทนยาง EPDM ทำให้สมบัติลดลงเล็กน้อยอย่างไรก็ตามยังมีค่าสูงกว่าสมบัติของวัสดุจาก Ecostar Inc.

การศึกษสมบัติทนไฟของ TPVs พบว่าเวลาเมื่อไฟผ่านรอยเครื่องหมายอยู่ในช่วง 126-127 วินาที และอัตราการเผาไหม้มีค่าประมาณ 0.25 mm/s โดยปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทนไฟได้แก่ ความหนาแน่น ความเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นต้น

ทั้งนี้ในการวิจัยไม่สามารถหาสารเคมีที่เป็นสารทนไฟที่เหมาะสมได้ เนื่องจากอุณหภูมิอ่อนตัวของพลาสติกค่อนข้างสูงทำให้สารทนไฟเสื่อมสภาพ หรือ แดกตัวเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสมบัติทนไฟในระหว่างการใช้

ผสม ส่งผลให้สารทนไฟไม่สามารถผสมเข้ากับยางได้ หรือ ยางไม่สามารถวัลคาไนซ์ได้ เกิดการเสื่อมสภาพ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องค้นหาสารเคมีที่เหมาะสมอื่น ๆ ต่อไป

การทดสอบสมบัติด้านการรีไซเคิลของ TPVs ที่ใช้สำหรับเตรียมวัสดุผงหลังจากพบว่า สมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงมีการเปลี่ยนแปลงค่าระหว่างการรีไซเคิลในช่วงแคบๆ ส่วนค่าความสามารถในการยืดจนขาดมีการเปลี่ยนแปลงค่ามากกว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง แต่ค่าทั้งสองก็ยังคงเป็นค่าที่สูงกว่าสมบัติของวัสดุจาก Ecostar Inc.

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อขอผู้ภาคปฏิบัติจริง

- ศึกษาสมบัติของ TPVs จากการใช้พลาสติกกรีซเคลชนิดอื่น
- ค้นหาสารทนไฟที่เหมาะสมเพิ่มเติม
- ศึกษา Cure property ของ Masterbatch และสภาวะการผสมที่เหมาะสมสำหรับการ scale-up ด้วยเครื่องมือที่เหมาะสม เช่น Banbury หรือ Twin-screw Extruder

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

- คาดว่าจะสามารถจดสิทธิบัตรได้

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการนำยางครัมบ์ (crumb rubber, CRM) มีขนาดโดยประมาณ 30 เมช มาเบลนด์กับขวดน้ำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วชนิดโพลิโพรไพลีนบดละเอียดจนมีขนาดประมาณ 0.5 ซม. (Recycled Polypropylene, PP-r) เพื่อเตรียมเป็นวัสดุถุงหลังคาโดยเปรียบเทียบกับสมบัติค่าความต้านทานต่อการดึงและค่าความสามารถในการยืดจนขาดตามมาตรฐาน ASTM D638 ของกระเบื้องหลังคาจากวัสดุประเภทเดียวกันจากบริษัท Ecostar Inc. เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (TPE) เตรียมโดยการแปรอัตราส่วนการเบลนด์ของ CRM/PP-r ที่ 80/20, 60/40, 50/50 และ 40/60 ในเครื่องบราวนเดอร์พลาสติกที่อุณหภูมิ 180°C พบว่าที่อัตราส่วน CRM/PP-r 60/40 ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด กล่าวคือ ให้ค่าความต้านทานต่อการดึง 10.62 MPa ความสามารถในการยืดจนขาด 31% ความแข็ง 95 Shore A และค่าความต้านทานต่อการกระแทก 227.49 J/mm ตามลำดับ แต่ยังคงต่ำกว่าบริษัท Ecostar Inc. (ค่าความต้านทานต่อการดึง 11.23 MPa ความสามารถในการยืดจนขาด 34%) การนำยางสังเคราะห์ EPDM และยางธรรมชาติ NR เข้ามาผสมเพื่อเตรียมเป็นเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซท (TPV) ช่วยให้มีสมบัติวัสดุที่ดีขึ้นกว่า TPE โดยทำการศึกษาที่อัตราส่วนระหว่างยางและพลาสติกที่ 60/40 ในขณะที่แปรปริมาณยางใหม่จากร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 ตามลำดับ โดยเตรียมมาสเตอร์แบช CRM-EPDM หรือ CRM-NR บนเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง และเตรียม TPV ในเครื่องบราวนเดอร์พลาสติกที่อุณหภูมิ 180°C จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณยางใหม่สูงขึ้น ความสามารถในการยืดจนขาด และค่าความต้านทานต่อการกระแทกมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ค่าความต้านทานต่อการดึง และความแข็ง มีค่าลดลง CRM/EPDM/PP-r ให้สมบัติค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความแข็ง ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกที่ดีกว่า CRM/NR/PP-r และเมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณยางใหม่ร้อยละสิบ ค่าความต้านทานต่อการดึง (CRM/EPDM /PP-r, 14.93 MPa และ CRM/NR/PP-r, 12.73 MPa) และค่าความสามารถในการยืด (CRM/EPDM /PP-r, 38.88% และ CRM/NR/PP-r, 37.34%) มีค่าสูงกว่าค่าของบริษัท Ecostar Inc.

Abstract

Thermoplastic elastomer (TPE) based on crumb rubber (CRM) and recycled polypropylene bottles (PP-r) blend was prepared as a material for roof tile. CRM were approximately 30 mesh in size and polypropylene bottles were shredded to 0.5 cm. Tensile strength and elongation at break based on ASTM D638 of blends were compared to those of roof tile from Ecostar Inc. Blend ratios of CRM/PP-r at 80/20, 60/40, 50/50 and 40/60 were prepared using Brabender Plasticoder at 180°C. It was found that blend ratio of CRM/PP-r 60/40 showed the best mechanical properties i.e. tensile strength 10.62 MPa, elongation at break 31%, hardness 65 Shore A and impact strength 227.49 J/mm respectively. However tensile strength and elongation at break are still lower than material from Ecostar Inc. which has tensile strength 11.23 MPa and elongation at break 34%. By adding virgin rubbers, synthetic rubber (EPDM) and natural rubber (NR), improved mechanical properties of thermoplastic vulcanizates (TPVs) were observed. TPVs were studied at constant blend ratio between rubber and plastic, 60/40, while varying virgin rubber from 10, 20, 30, 40, 50 and 60 part by weight respectively. CRM-EPDM and CRM-NR masterbatches were prepared using two rolls mill while TPVs were prepared by Brabender Plasticoder at 180°C. The results showed that the higher the amount of virgin rubber the higher elongation at break and impact strength. In contrast, tensile strength and hardness were decreased when increasing virgin rubber. CRM/EPDM/PP-r showed better tensile strength, hardness, impact strength than CRM/NR/PP-r. At 10 parts virgin rubber, tensile strength (CRM/EPDM /PP-r, 14.93 MPa vs CRM/NR/PP-r, 12.73 MPa) and elongation at break (CRM/EPDM /PP-r, 38.88% vs CRM/NR/PP-r, 37.34%) are higher than those of Ecostar Inc.

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ผลิตภัณฑ์ยางล้อรถนับเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ใช้ยางธรรมชาติ กว่าเจ็ดสิบเปอร์เซ็นต์ของยางธรรมชาติที่ผลิตได้จะถูกนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ล้อรถชนิดต่าง ๆ ยางรถยนต์เหล่านี้มีอายุการใช้งานที่จำกัด และเมื่อหมดอายุการใช้งานแล้วก่อให้เกิดปัญหามลภาวะที่ยากที่จะกำจัด

ในปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีระบบการจัดการขยะยางรถยนต์อย่างเป็นระบบ สาเหตุหนึ่งคือไม่มีการนำยางรถยนต์ใช้แล้วเหล่านี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในเชิงเศรษฐกิจ แม้จะมีอยู่บ้างก็คือการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน ซึ่งสร้างมูลค่าให้ไม่สูงมากนัก และไม่จำเป็นว่าเป็นการนำกลับไปใช้ใหม่อย่างแท้จริง เป็นเพียงแค่วิธีการกำจัดขยะประเภทหนึ่งเท่านั้น

ยางรถยนต์นั้นมีความคงทนต่อสภาพการสึกหรอตามธรรมชาติเป็นอย่างมาก และแทบไม่มีการย่อยสลายได้เลยในทางธรรมชาติ ยางรถยนต์โดยตัวเองนั้นเรียกได้ว่าเป็นการออกแบบทางวิศวกรรมที่ดีที่สุดอย่างหนึ่ง และเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความคงทนมากที่สุดที่มนุษย์เป็นผู้สร้าง ทำให้ในหลายประเทศ ยางรถยนต์ทำให้เกิดปัญหามลภาวะเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม เมื่อมองในอีกมุมหนึ่งจะเห็นว่าเศษยางรถยนต์นั้น เปรียบเสมือนทรัพยากรธรรมชาติอีกประเภทหนึ่งที่มีคุณค่าสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ และควรมีการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

วัสดุที่ตัดแปลงจากการนำยางซึ่งเรียกอย่างตรงไปตรงมาว่าวัสดุตัดแปลงจากยางรถยนต์ (tire-derived materials, TDMs) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมได้อย่างหลากหลาย โดยเฉพาะในด้านวิศวกรรมโยธา เช่น สารตัวเติมสำหรับแอสฟัลต์ พื้นถนน เป็นต้น รวมไปถึงเศษยางครัมป์เกรดต่าง ๆ (crumb rubber materials, CRMs) ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในรูปของส่วนผสมของยางคอมปาวนด์ หรือผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายได้มากขึ้น

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้เศษยางรถยนต์เป็นวัสดุหลัก จะสามารถผลักดันระบบการรีไซเคิลยางรถยนต์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ และจะช่วยลดปัญหามลภาวะ รวมไปถึงการนำทรัพยากรธรรมชาติ นั่นคือยางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ให้ได้สูงที่สุด อย่างไรก็ตามในเมื่อผลิตภัณฑ์ยางส่วนมากคือยางรถยนต์ หนทางที่จะนำเศษยางกลับมาใช้ใหม่โดยผสมกับยางเพื่อทำผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นนั้นจึงเป็นแนวทางที่มีความจำกัลดค่อนข้างสูง

แต่ทว่าการนำเศษยางมาผสมกับวัสดุที่สามารถไหลได้ภายใต้ความร้อนและความดัน จะสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย และมีราคาถูก ทั้งนี้หัวใจในการที่จะทำให้การนำกลับมาใช้ใหม่ประสบผลสำเร็จได้คือการลดต้นทุน ระบบการผลิตต่อเนื่อง เช่น การเอทรูซ หรือ การฉีดเข้าเบ้า (injection molding) เป็นแนวทางสำคัญที่จะนำมาซึ่งผลสำเร็จนั้น

การผสมยางลงในพลาสติกจะสามารถปรับปรุงคุณสมบัติพิเศษกับพลาสติกได้ เช่น ความทนทานต่อการกระแทก เป็นต้น เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซต (TPVs) ราคาถูกสามารถเตรียมได้โดยการผสมเศษยางจากยางรถยนต์เข้ากับพลาสติกรีไซเคิล เช่น โพลีโพรไพลีน หรือ โพลีเอทิลีน ได้ การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ทั้งสองประเภทนี้คือเศษยางรถยนต์ และพลาสติกรีไซเคิล จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ โดยนอกจากจะช่วยเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรยางธรรมชาติให้ได้ประโยชน์สูงสุดแล้ว จะยังเป็นการสร้างกลไกทางเศรษฐกิจที่จะผลักดันไปสู่ระบบการนำมาใช้ใหม่ของวัสดุประเภทยาง และพลาสติกได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

วัสดุถุงหลังคาเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทหนึ่งที่สามารถผลิตได้ด้วย TPV ราคาถูกที่เตรียมจากวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ดังกล่าวข้างต้น ด้วยกรรมวิธีการผลิตแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีต้นทุนต่ำ นอกจากนี้

คุณสมบัติของส่วนผสมนั้นคือความทนทานต่อสภาพอากาศ และความทนทานต่อแรงกระแทก ก็ยังส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความโดดเด่นเมื่อเทียบกับวัสดุผงหลังคาประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในปัจจุบัน

ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงหลังคาจากยางครัมป์ และพลาสติกรีไซเคิล จึงมีความน่าสนใจ เพราะนอกจากแนวทางการวิจัยที่ค่อนข้างตรงไปตรงมาแล้ว คุณสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการนั้นไม่สูงมากนัก ทำให้ความเป็นไปได้ที่จะประสบความสำเร็จมีสูงมาก เมื่อเทียบกับผลที่จะได้รับนับว่าเป็นแนวทางการวิจัยที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาแนวทางในการเตรียมผลิตภัณฑ์ผงหลังคาจากยางครัมป์ และพลาสติกรีไซเคิล
2. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากวัสดุนำกลับไปใช้ใหม่ เป็นการกระตุ้นในทางเศรษฐศาสตร์ในการสร้างระบบการนำกลับไปใช้ใหม่ที่ดีขึ้น
3. เพื่อสร้างความร่วมมือกันระหว่างผู้ใช้งานในด้านการก่อสร้าง และผู้พัฒนาวัสดุ เพื่อเป็นกันผลักดันการใช้วัสดุภายในสายงานก่อสร้าง
4. เพื่อผลักดันในการใช้วัสดุยางธรรมชาติ และพลาสติกให้ได้ประโยชน์สูงสุด

ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

ได้มีความพยายามพัฒนาวัสดุผงหลังคาประเภทต่าง ๆ โดยการเบลนระหว่างพลาสติก และเศษยาง Turner [1] ได้จดสิทธิบัตรของประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่ออธิบายถึงการใช้เศษยางรถยนต์ ซึ่งรวมไปถึงเศษผ้าใบ และเส้นลวด มาเบลนเข้ากับ พลาสติก เช่น พอลิเอทิลีน, พอลิโพรไพลีน และ พอลิสไตรีน โดยใช้ความร้อนภายใต้ความดันเพื่อเตรียมวัสดุผงหลังคา ในขณะที่ Butilino [2] ใช้เครื่องเอกทрудเดอร์ในการเตรียมวัสดุดังกล่าว นอกจากนี้การปรับปรุงความแข็งแรงของวัสดุที่เตรียมจากเศษยางเบลนกับพลาสติกนั้นอาจกระทำได้โดยการเบลนระหว่างยางรีไซเคิลและยางโพลีซัลไฟ [3] ซึ่งวัดค่าในขณะขึ้นรูปด้วยการหล่อ ในขณะเดียวกันเศษยางรถยนต์ยังสามารถมาเบลนกับเทอร์โมพลาสติกเหลือใช้ และสารตัวเติมอื่น ๆ เช่น แป้ง, แอมโมเนียมฟอสเฟต, อซิโตน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของวัสดุในการขึ้นรูปกระเบื้องผงหลังคาได้ [4]

Frankland [5] ได้ปรับปรุงความแข็งแรงของวัสดุที่เตรียมจากยางครัมป์ด้วยการใช้พันธะทางเคมี ซึ่งซัลเฟอร์และซิงค์สเตียเรท สามารถเพิ่มคุณสมบัติวัสดุสำหรับการผงหลังคาได้ ในปัจจุบันปริมาณสูงสุดของยางครัมป์ที่สามารถใช้ในวัสดุที่เตรียมขึ้นใหม่โดยสูญเสียคุณสมบัติที่น้อยที่สุดนี้คือ 70% ซึ่ง Doan [6] ได้ยื่นสิทธิบัตรวิธีในการเตรียมวัสดุนี้ไว้ เขาใช้ยางครัมป์ประมาณ 70% ผสมกับบล็อกโคโพลิเมอร์ สไตรีน-บิวทาไดอิน-สไตรีน ในทวินสกรูเอกทрудเดอร์ เขาสันนิษฐานว่ายางถูกคลุมด้วยเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ และเกิดการคลอสลิงค์ได้อีกในขณะนำไปฉีดเข้าเบ้า

วัสดุผงหลังคาประเภทดังกล่าวมีความได้เปรียบในหลาย ๆ ด้านเมื่อเทียบกับวัสดุผงหลังคาที่ใช้ในปัจจุบันในประเทศ ได้แก่ความสวยงาม คุณสมบัติทางกายภาพที่ดี ความทนทาน ความคงทนต่อสภาพอากาศ อายุการใช้งานที่ยาวนาน นอกจากนี้ยังเป็นวัสดุที่ราคาถูกรวมไปถึงกรรมวิธีการผลิตที่ราคาถูก และมีประสิทธิภาพยกตัวอย่างเช่น กระบวนการของ Blalock และ Nelson [7] ซึ่งให้วัสดุผงหลังคาที่มีน้ำหนักเบา มีความทนทานสูงเหมาะสมกับสภาพการใช้งานในบริเวณตอนใต้ของสหรัฐอเมริกาที่มีพายุถูกเห็บบ่อยครั้ง

Edson [8] ได้จัดสิทธิบัตรในการเตรียมวัสดุที่เตรียมจากยางนากลับมาใช้ใหม่โดยมีเป้าหมายหลักคือวัสดุ มุงหลังคา ยางนากลับมาใช้ใหม่เป็นยาง EPDM และ SBR ในปริมาณสูงถึง 50% ยางใหม่ที่ใช้เป็นตัวประสานคือ EVA และ ULDPE (Ultra low density polyethylene) ในปริมาณ 15% ตัวประสานพลาสติกเป็น HDPE ในปริมาณ 20% และ สารกันไฟ คือ แอมโมเนียม ไตรไฮเดรท ในปริมาณ 20%-35% ขึ้นกับระดับขั้นมาตรฐานที่ต้องการ โดย จะนำส่วนผสมมาผสมกันก่อนที่จะนำไปผ่านเครื่องเอกทูลด์ และอัดเป็นผลิตภัณฑ์ในลำดับถัดไป

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวัสดุที่จะเตรียมได้จากการเบลนระหว่างยางครัมป์และเศษพลาสติกรีไซเคิลนั้น มีความเป็นไปได้สูงในการเตรียมวัสดุ มุงหลังคาที่มีคุณสมบัติใกล้เคียง เทียบเท่า หรือดีกว่า วัสดุ มุงหลังคาที่ใช้ ในปัจจุบัน อีกทั้งราคาต้นทุน และกระบวนการผลิตที่มีแนวโน้มถูกกว่าอย่างชัดเจน ไม่ว่าจะเป็นกระเบื้องแบบ ต่าง ๆ หรือ วัสดุประเภทอื่น ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการมุงหลังคาด้วยระบบดังกล่าวยังไม่เป็นที่นิยมในประเทศ จะมีก็เพียงบริษัทที่นำเข้ากระเบื้องมุงหลังคาแบบนี้ แต่หากเป็นวัสดุดั้งเดิม เช่น แผ่นไม้ แผ่นหินกาบ เป็นต้น ซึ่ง มีราคาสูง กระเบื้องยางระบบนี้จะมีการใช้งานเช่นเดียวกันกับกระเบื้องระบบดังกล่าว ซึ่งเป็นเรื่องใหม่ ในการวิจัย นี้จึงมีความร่วมมือกับทางคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ โดยบุคลากรที่ร่วมจะต้องมีประสบการณ์ในต่างประเทศ เพื่อความเป็นไปได้ในการออกแบบการใช้งานได้อย่างเหมาะสม

นอกจากนี้แล้ว เนื่องจากมาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับกระเบื้องดังกล่าวยังไม่มีในประเทศ และ ผลิตภัณฑ์ทางการค้ายังไม่มีการจำหน่ายในประเทศ มาตรฐานที่จะให้ใช้เป็นเป้าหมายของผลิตภัณฑ์จึงจำเป็นต้อง เป็นไปตามผลิตภัณฑ์ทางการค้าของต่างประเทศ เช่น ผลิตภัณฑ์ของบริษัทอีโคสตาร์ [9] หรือ ยูโรสเลท [10] โดย แนวทางการพัฒนาจะเน้นการใช้วัสดุนากลับมาใช้ใหม่ในสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด และให้มีการใช้ วัสดุนากลับมาใช้ใหม่ปริมาณมากที่สุด

วัสดุนากลับมาใช้ใหม่หลักคือยางครัมป์เกรดที่หาง่ายเช่นขนาดประมาณ 30 เมช ที่มีขายทั่วไป ส่วนวัสดุ เทอร์โมพลาสติกรีไซเคิล จะใช้พอลิโพรไพลีน หรือที่พบทั่วไปในรูปขวดน้ำสีขุ่น การเตรียมเทอร์โมพลาสติกรีไซเคิลจะเตรียมโดยเครื่องบดเม็ดพลาสติกที่พบทั่วไปในห้องทดลอง โดยสัดส่วนของส่วนผสมที่จะเตรียมเป็น ตามแนวทางของ Edson [8] ซึ่งเตรียมวัสดุจากยางครัมป์ ดังนี้ 20-50% ยางและพลาสติกรีไซเคิล 10-30% เป็นสาร เกาะยึด (elastomeric binders) 20-40% เป็นสารกันไฟ และอีก 10-30% เป็น PP-r โดยจะดัดแปลงสำหรับการวิจัย นี้เป็นดังนี้คือ

1. 40-60% เป็นยางครัมป์
2. 10-30% เป็นพอลิโพรไพลีนรีไซเคิล
3. 10-20% เป็นยางใหม่เพื่อช่วยเกาะยึด
4. 10-40% เป็นสารกันไฟ

วัสดุที่เตรียมได้จะถูกทดสอบเทียบกับสมบัติของกระเบื้องยางที่มีจำหน่ายในประเทศสหรัฐอเมริกาโดย บริษัท Ecostar Inc. [9] เพื่อเป็นการเปรียบเทียบ ซึ่งจะทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความสามารถใน การยึดจนขาดตามมาตรฐาน ASTM D638 และทำการติดตั้งในโมเดลหลังคาจำลองเพื่อศึกษาถึงสภาวะการใช้งาน ในการติดตั้ง ขอบเขตของการศึกษาคือสัดส่วนของส่วนผสมที่ใช้ ประเภทและสัดส่วนของยางใหม่ คือ ยาง EPDM และยางธรรมชาติ ซึ่งรวมไปถึงระบบการวัลคาไนซ์ สารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ และช่วยในการผลิตคือ น้ำมัน ซิลิกา และ คาร์บอนแบล็ก รวมทั้งสารช่วยกันไฟ เช่น อลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ เป็นต้น และแอนติออกซิแดนท์ แอนติโอโซนเนคด้วย ทั้งนี้เพื่อเข้าสู่มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ทางการค้า

วิธีการ

ยางครัมป์ (CRM)

เป็นเศษยางล้อรถยนต์ย่อย มีขนาดโดยประมาณ 30 เมช

การเตรียมขบวนการที่ได้จากการใช้งานแล้วชนิด (Recycled Polypropylene, PP-r)

ทำการเตรียม PP-r ซึ่งทำโดยนำ PP-r มาล้างให้สะอาด แล้วนำไปบดกับเครื่องบดพลาสติกเพื่อให้พลาสติกมีขนาดประมาณ 0.5 cm

การศึกษาความเข้ากันได้จากการเบลนด์ CRM/PP-r โดยการแปรสัดส่วนในการเบลนด์ CRM/ PP-r คือ 20/80, 40/60, 50/50, 60/40, 80/20

เตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ CRM/PP-r โดยการแปรสัดส่วนในการเบลนด์ CRM/PP-r คือ 20/80, 40/60, 50/50, 60/40, 80/20 โดยใช้วิธีการผสมในเครื่องบราวนเดอร์พลาสติกค็อคเคอร์ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วโรเตอร์ 60 รอบต่อนาที (ใช้ fill factor เท่ากับ 0.8 ของปริมาณความจุห้องผสมของเครื่องบราวนเดอร์พลาสติกค็อคเคอร์) ซึ่งมีวิธีการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ดังนี้

- บด PP-r นาน 2 นาที
- ใส่ CRM นาน 5 นาที

การศึกษาอิทธิพลของการใช้ยางเอทิลีนโพรพิลีน (EPDM) ต่อสมบัติ TPVs

โดยใช้สูตรในการศึกษาดังตารางที่ 1 โดยยาง EPDM เป็นเกรด 4770 จำหน่ายโดย บริษัท Chemical Innovation ไดคิวมีลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP) เป็นอะโรมาติกเปอร์ออกไซด์ใช้เพื่อวัลคาไนซ์ผลิตโดย Wuzhou International Co., Ltd.

ตารางที่ 1 ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียม TPVs จากการเบลนด์ CRM/EPDM/PP-r (สัดส่วนโดยน้ำหนัก)

สูตรที่	CRM	EPDM	PP-r	DCP	TAC
1	60	0	40	1	0.3
2	50	10	40	1	0.3
3	40	20	40	1	0.3
4	30	30	40	1	0.3
5	20	40	40	1	0.3
6	10	50	40	1	0.3
7	0	60	40	1	0.3

ทำการเตรียมยาง compound EPDM ของแต่ละสูตรก่อนซึ่งทำบนเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง ดังมีวิธีการผสมดังนี้

- บดยาง EPDM นาน 2.5 นาที
- ใส่ CRM บดนาน 3 นาที
- ใส่ TAC บดนาน 1 นาที
- ใส่ DCP บดนาน 1.5 นาที

นำยาง compound EPDM ที่เตรียมได้นี้ไปเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์โดยการเบลนด์ compound EPDM/PP-r โดยการแปรสัดส่วนในการเบลนด์ compound EPDM/PP-r โดยใช้วิธีการผสมในเครื่องบราวนเดอร์พลาสติกคอเดอร์ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วโรเตอร์ 60 รอบต่อนาที (ใช้ fill factor เท่ากับ 0.8 ของปริมาณความจุห้องผสมของเครื่องบราวนเดอร์พลาสติกคอเดอร์) โดยมีวิธีการเตรียมดังนี้

- บด PP-r นาน 2 นาที
- ใส่ compound EPDM นาน 6 นาที

การศึกษาอิทธิพลของการใช้ยาง NR ต่อสมบัติ TPVs

โดยใช้สูตรในการศึกษาดังตารางที่ 2 โดยกรดสเตียริก (Stearic acid) และซิงก์ออกไซด์ (ZnO) เป็นเกรดอดูตากรรม ผลิตโดยบริษัท เพชรไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด 6PPD หรือ N-(1,3-Dimethylbutyl)-N-pnenylenediamine เป็นเกรดอดูตากรรมเช่นเดียวกัน Tetramethyl thiuram disulphide (TMTD) เป็นสารกระตุ้นเกรดอดูตากรรม จัดจำหน่ายโดยบริษัท บอัสวัสดุภัณฑ์ จำกัด

ตารางที่ 2 ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียม TPVs จากการเบลนด์ CRM/NR/PP-r

สารเคมี	ปริมาณสาร
NR	10
PP-r	40
CRM	50
Stearic acid	1
ZnO	5
6 PPD	1
TMTD	1
S	2.5

ทำการเตรียมยาง compound NR ก่อนซึ่งทำบนเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง

นำยาง compound NR ที่เตรียมได้นี้ไปเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนด์ compound NR/PP-r โดยการแปรสัดส่วนในการเบลนด์ compound NR/PP-r โดยใช้วิธีการผสมในเครื่องบราเวนเดอร์พลาสติกอเคอร์ ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วโรเตอร์ 60 รอบต่อนาที (ใช้ fill factor เท่ากับ 0.8 ของปริมาณความจุห้องผสมของเครื่องบราเวนเดอร์พลาสติกอเคอร์) โดยมีวิธีการเตรียมดังนี้

- บด PP-r นาน 2 นาที
- ใส่ compound NR นาน 6 นาที

การทดสอบการทนไฟ

การทดสอบการทนไฟ ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 3582-1978 (E) โดยการนำ TPVs ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติกมาทำการทดสอบการทนไฟ ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ทำเครื่องหมายที่ผิวส่วนบนสุดของชิ้นทดสอบ โดยใช้ส่วนที่ไกลสุดจากรอยเครื่องหมายของชิ้นทดสอบสัมผัสกับด้านที่ยกขอบด้านสูงของตะแกรง ด้านยาวของชิ้นทดสอบวางขนานกับตะแกรง
2. ปรับขนาดของเปลวไฟจนได้เปลวไฟสีน้ำเงิน ปิดประตูห้องทดสอบและตู้ควัน
3. หลังจากผ่านไป 60 วินาที ให้ปิดตะเกียง
4. หยุดจับเวลาเมื่อไฟจากชิ้นทดสอบถึงรอยเครื่องหมาย บันทึกเวลาในหน่วยวินาที (T_b)
5. วัดและบันทึกระยะที่เผาไหม้ ซึ่งมีค่าเท่ากับความยาวของชิ้นทดสอบเริ่มต้น ลบระยะทางที่ไม่เผาไหม้ไปยังรอยไหม้ที่ใกล้ที่สุด คิดจากระยะผิวบนสุดของชิ้นทดสอบ
6. รายงานผลเป็นอัตราการเผาไหม้ (Burning rate) ในหน่วย mm/s

$$\text{Burning rate} = \frac{\text{ระยะที่เผาไหม้}}{T_b} \quad (1)$$

การทดสอบความสามารถในการรีไซเคิล

การทดสอบความสามารถในการรีไซเคิล หรือความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ ทำได้โดยการนำ TPVs ที่เตรียมได้มาทำการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง สำหรับ TPVs สูตรที่ใช้เตรียมวัสดุหลังจากทำการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาย่อยด้วยเครื่องย่อยพลาสติก แล้วจึงนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก และทดสอบสมบัติ Tensile strength และ Elongation at break โดยทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ถือเป็นการ

รีไซเคิลครั้งที่ 1

สำหรับการทดสอบสมบัติด้านการรีไซเคิลในการทดลองนี้จะทำทั้งหมด 3 ครั้ง ดังนั้นซึ่งในแต่ละครั้งที่ทำก็จะใช้วิธีการเดียวกันกับที่ได้กล่าวมาในข้างต้น จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาหาค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลง โดยเปรียบเทียบระหว่างสมบัติก่อนการรีไซเคิล (unaged) และหลังจากผ่านการรีไซเคิลครั้งที่ 3 (recycle #3)

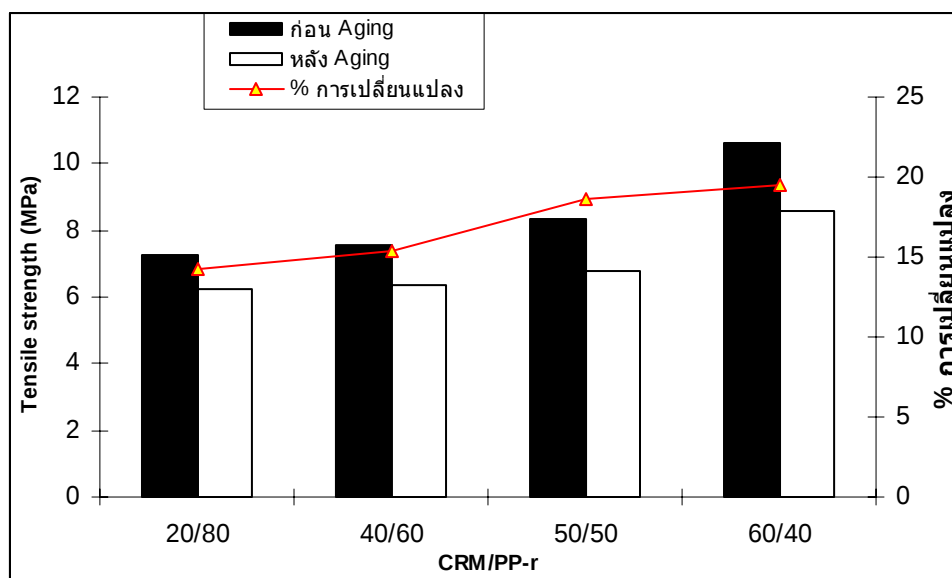
ผลการวิจัย และวิจารณ์ผล

สมบัติทางกายภาพของ CRM/PP-r ก่อนและ หลังการอบ (Aging) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

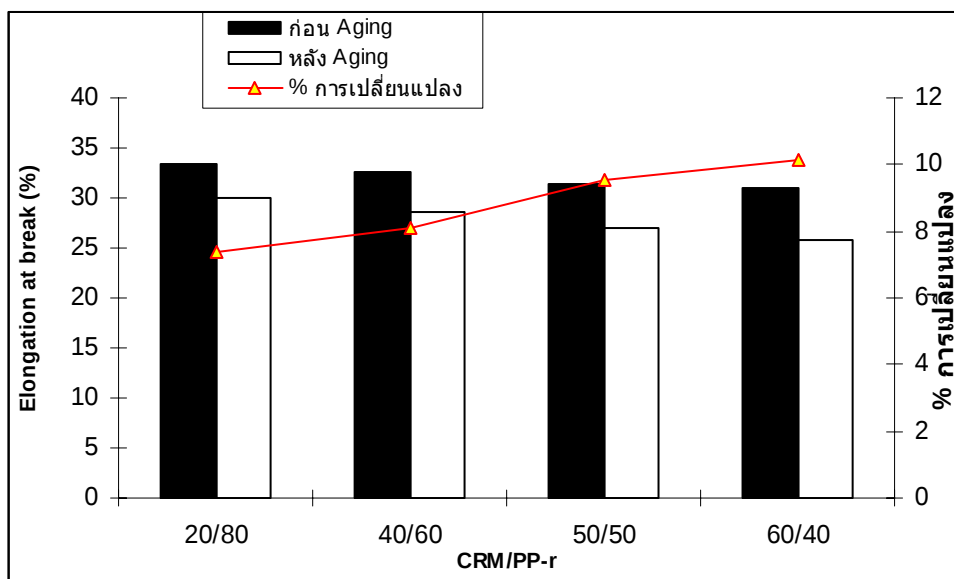
ทำการทดสอบความแข็ง ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด และความต้านทานต่อแรงกระแทก ของ TPE ที่ได้จากการเบลนด์ CRM/PP-r ซึ่งเตรียมโดยการแปรอัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ ได้แก่ 20/80 40/60 50/50 และ 60/40 ก่อนและหลังการบ่มแรง สำหรับอัตราส่วนการเบลนด์ที่ 80/20 ไม่สามารถเตรียมขึ้นตัวอย่างได้ เนื่องจากมีเฟสของยาง CRM มากเกินไปไม่สามารถบังคับให้ยางกระจายตัวในเฟสของพลาสติกได้ จึงไม่สามารถแสดงผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพได้

จากรูปที่ 1 และ 3 จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานต่อการดึงและค่าความแข็งมีค่ามากขึ้นเมื่อปริมาณของ CRM ที่ใช้ในการเบลนด์เพิ่ม เนื่องจาก CRM จะเข้าไปแทรกในเฟสของพลาสติกทำให้ TPE ที่ได้จากการเบลนด์มีความแข็งแรงและแข็งมากขึ้นจึงทำให้ค่าความต้านทานต่อการดึงและค่าความแข็งมีค่ามากขึ้นเมื่อปริมาณของ CRM แต่ในทางกลับกันจะทำให้ความสามารถในการยืดจนขาดมีค่าน้อยลง ดังที่แสดงในรูปที่ 2 จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณของ CRM เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานต่อการกระแทกมากขึ้น เนื่องมาจากการที่พลาสติกมีสมบัติที่เปราะกว่ายางทำให้เมื่อมีปริมาณ CRM มากขึ้นทำให้ TPE มีความยืดหยุ่นมากขึ้นทำให้ค่าความต้านทานต่อการกระแทกมากขึ้น

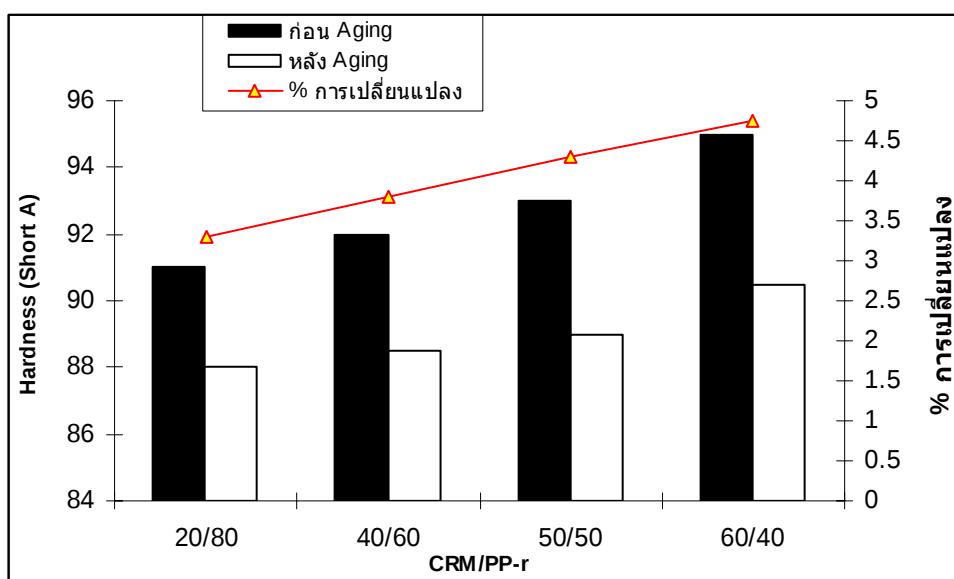
จากสมบัติข้างต้นจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนการเบลนด์ CRM/PP-r ที่ 60/40 มีสมบัติ Tensile strength, Hardness, Impact strength ที่ดีที่สุด และมีค่า Elongation at break น้อยที่สุดแต่ก็ยังใกล้เคียงกับที่อัตราส่วนอื่นๆ



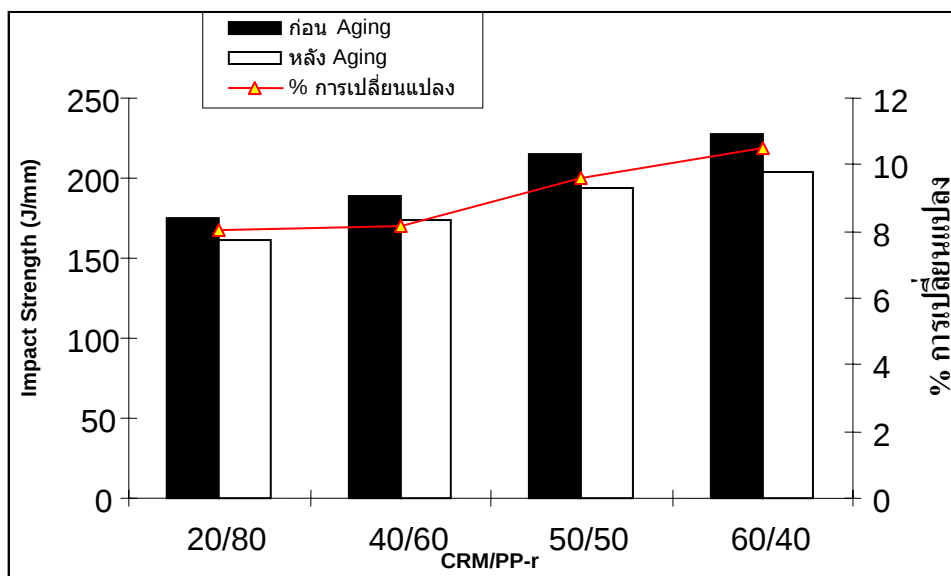
รูปที่ 1 ค่าเปรียบเทียบความต้านทานต่อการดึงของ TPE จากการเบลนด์ CRM/PP-r โดยแปรอัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ ทั้งก่อนการอบและหลังการอบ (Aging) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง



รูปที่ 2 ค่าเปรียบเทียบความสามารถในการยืดจนขาดของ TPE จากการเบลนด์ CRM/PP-r โดยแปรอัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ ทั้งก่อนการอบและหลังการอบ (Aging) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง



รูปที่ 3 ค่าเปรียบเทียบความแข็งของ TPE จากการเบลนด์ CRM/PP-r โดยแปรอัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ ทั้งก่อนการอบและหลังการอบ (Aging) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง



รูปที่ 4 ค่าเปรียบเทียบความต้านทานต่อแรงกระแทกของ TPE จากการเบลนด์ CRM/PP-r โดยแปรอัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ ทั้งก่อนการอบและหลังการอบ (Aging) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

จากรูปที่ 1-4 จะเห็นได้ว่าสมบัติต่างของ TPE มีค่าลดลงเมื่อทำการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เนื่องจาก TPE ถูกออกซิเดชันจึงทำให้สมบัติลดลง และจะสังเกตได้ว่าเมื่อปริมาณของพลาสติกลดลงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก่อนการ Aging กับหลัง Aging มีค่ามากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากพลาสติกที่ใช้สามารถทนต่อการถูกออกซิเดชันได้ จึงทำให้เมื่อปริมาณของพลาสติกที่ใช้ในการน้อยลง TPE ที่เตรียมได้ถูกออกซิเดชันได้มากขึ้น

มาตรฐานที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการทดลองในการทำวัสดุหลังจากการเบลนด์ CRM/PP-r

จากการทำการทดลองนี้ ได้มีการนำสมบัติของวัสดุหลังจากที่เตรียมจากวัสดุประเภทเดียวกันที่มีจำหน่ายในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยบริษัท Ecostar Inc. มาใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งใช้การทดสอบสมบัติการทนต่อการดึง และความสามารถในการยืดจนขาด ทั้งก่อนและหลังการอบ (Aging) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ตามวิธี ASTM D 638 ซึ่งมีค่าดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อการดึงและค่าความสามารถในการยืดจนขาดตามมาตรฐาน Ecostar Inc. กับ TPE ที่ได้จากการเบลนด์ CRM/PP-r ทั้งก่อนและหลังการอบ (Aging) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

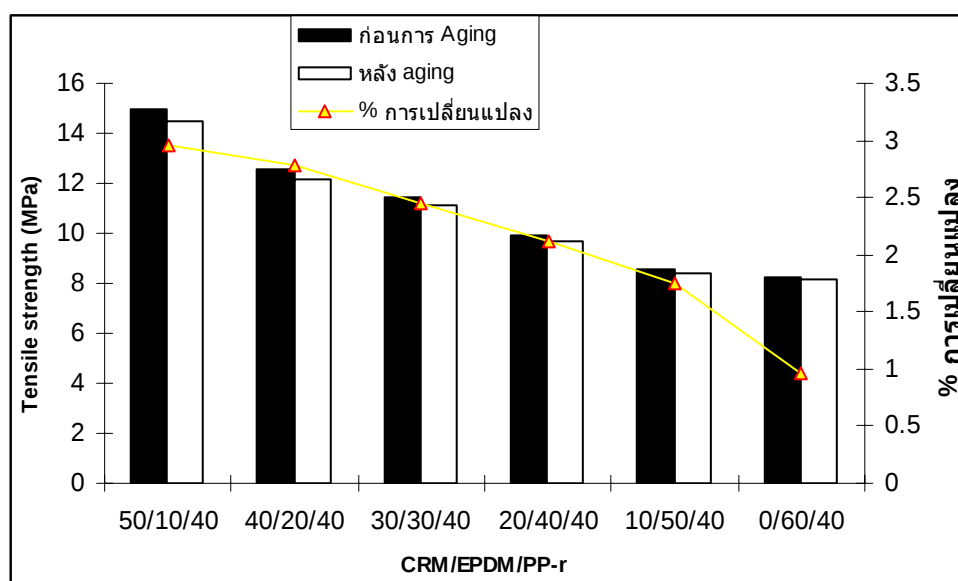
สภาวะการทดสอบ	Tensile strength (MPa)		Elongation at break (%)	
	มาตรฐาน	ทำการทดลอง	มาตรฐาน	ทำการทดลอง
ก่อนการ Aging	11.23	10.62	34.00	31.00
หลังการ Aging	11.15	8.55	27.11	20.84

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่ามาตรฐานมีค่ามากกว่าจากการทำการทดลองทั้งก่อนและหลังการ Aging ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

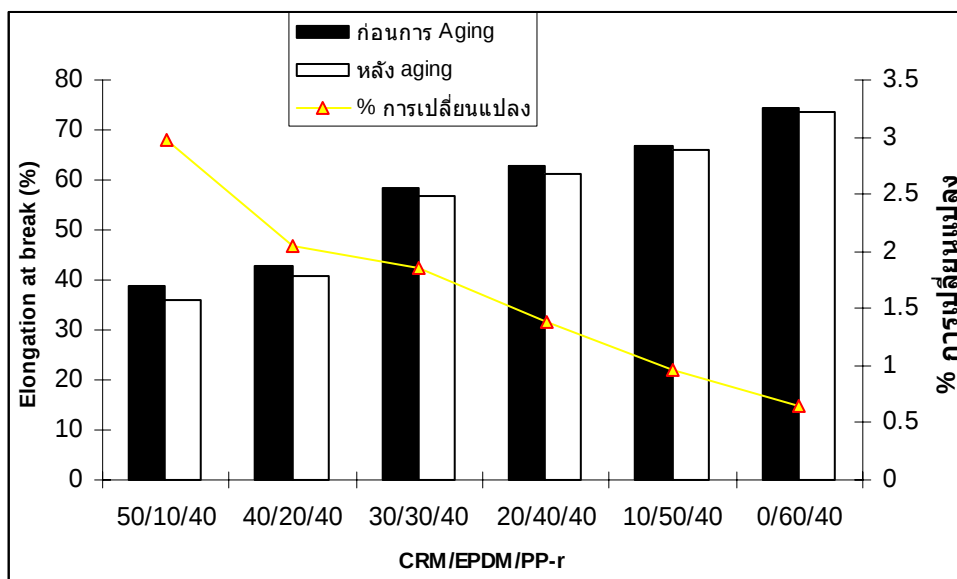
อิทธิพลของการใช้ยาง EPDM ต่อสมบัติ TPVs และ หลังการอบ (Aging) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

นำ TPVs ที่เตรียมได้จากการเบลนด์ยาง compound EPDM/PP-r มาทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด ความแข็ง และค่าความต้านทานต่อการกระแทก ได้ผลดังนี้ จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานต่อการดึงน้อยลงเมื่อปริมาณยาง EPDM มีปริมาณมากขึ้นในยาง compound EPDM เนื่องมาจากเมื่อมีปริมาณยางมากขึ้นทำให้ TPVs ที่เตรียมได้มีความเป็นอลาสติกมากขึ้น ทำให้ค่า Tensile strength มีค่าน้อยลง และยังทำให้ค่าความแข็งมีค่าน้อยลงด้วยดังที่แสดงในรูปที่ 7 แต่ความสามารถในการยืดมีค่ามากขึ้น เนื่องจากผลของการเป็นอลาสติกที่เพิ่มขึ้นของ TPVs นั้นเอง จะเห็นได้ในรูปที่ 6

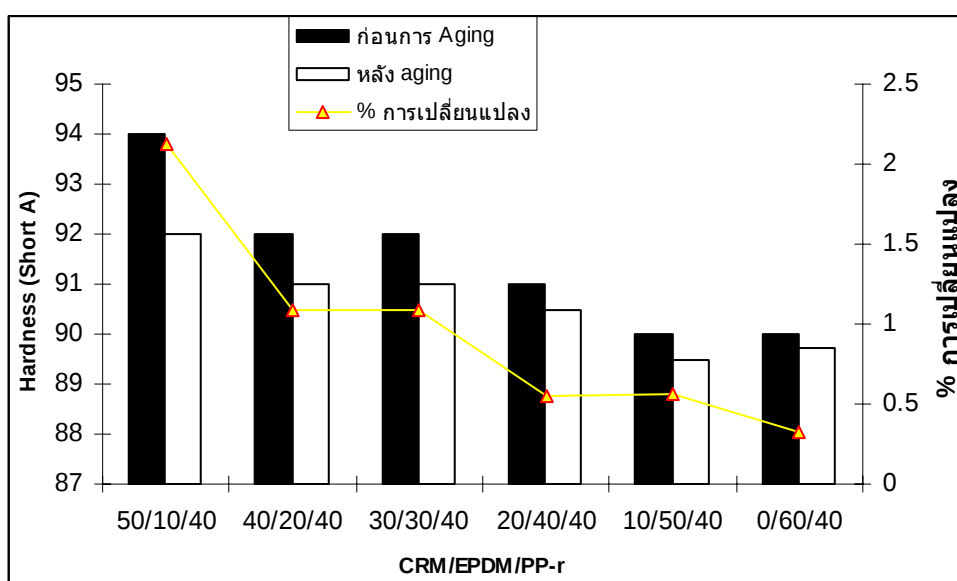
จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณยาง EPDM มีปริมาณมากขึ้นในยาง compound EPDM จะทำให้ค่าความต้านทานต่อการกระแทกมากขึ้น เนื่องจากยางมีความยืดหยุ่นทำให้ TPVs ที่เตรียมขึ้นมีสมบัติด้านนี้ดีขึ้น เมื่อมีปริมาณยางที่ใช้ในการเบลนด์เพิ่มขึ้น



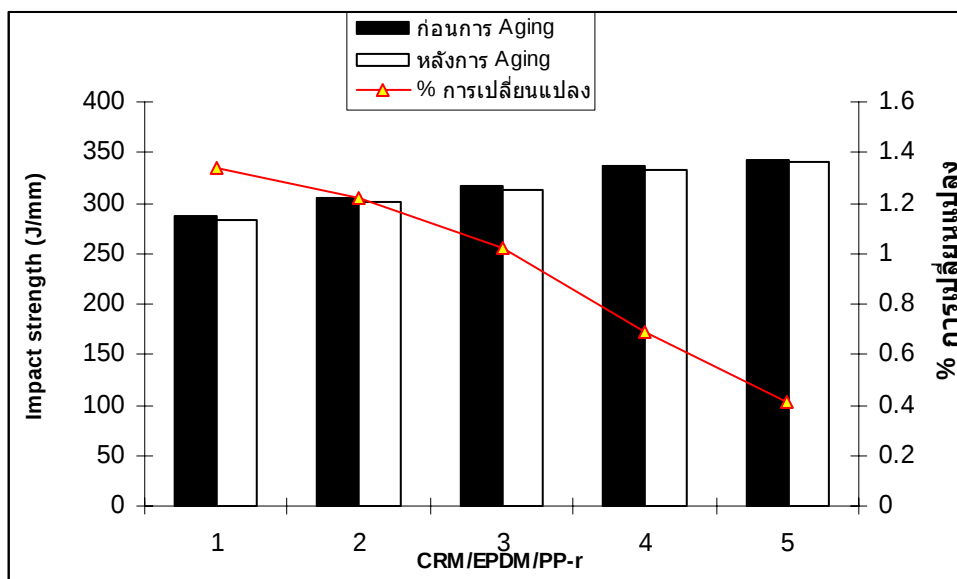
รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อการดึงทั้งก่อนและหลังการ Aging ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมงของ TPVs จากการเบลนด์ยาง compound EPDM/PP-r



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าความสามารถในการยืดจนขาดทั้งก่อนและหลังการ Aging ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมงของ TPVs จากการเบลนด้วย compound EPDM/PP-r



รูปที่ 7 เปรียบเทียบค่าความแข็งทั้งก่อนและหลังการ Aging ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมงของ TPVs จากการเบลนด้วย compound EPDM/PP-r



รูปที่ 8 เปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อการกระแทกทั้งก่อนและหลังการ Aging ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง ของ TPVs จากการเบลนด้วย compound EPDM/PP-r

จากรูปที่ 5-8 จะเห็นได้ว่าสมบัติต่างๆของ TPVs มีค่าน้อยลงหลังจากทำการ Aging แต่ลดลงจากค่าเดิมไม่มาก เนื่องจากยาง EPDM ที่ใช้ในการเบลนมีสมบัติที่ทนต่อการถูกออกซิเดชันได้ดีทำให้สมบัติของ TPVs มีค่าลดลงจากเดิมไม่มาก และถ้ามีปริมาณของยาง EPDM มากขึ้นในยาง compound EPDM จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติที่น้อยกว่า TPVs ที่มีส่วนของยาง EPDM ในยาง compound EPDM ที่น้อยกว่า

เปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อการดึงและค่าความสามารถในการยืดจนขาดตามมาตรฐาน Ecostar Inc. กับ TPVs ทั้งก่อนและหลังการอบ(Aging) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

ทำการเปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อการดึงและค่าความสามารถในการยืดจนขาดตามมาตรฐาน Ecostar Inc. กับ TPVs ทั้งก่อนและหลังการอบ (Aging) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

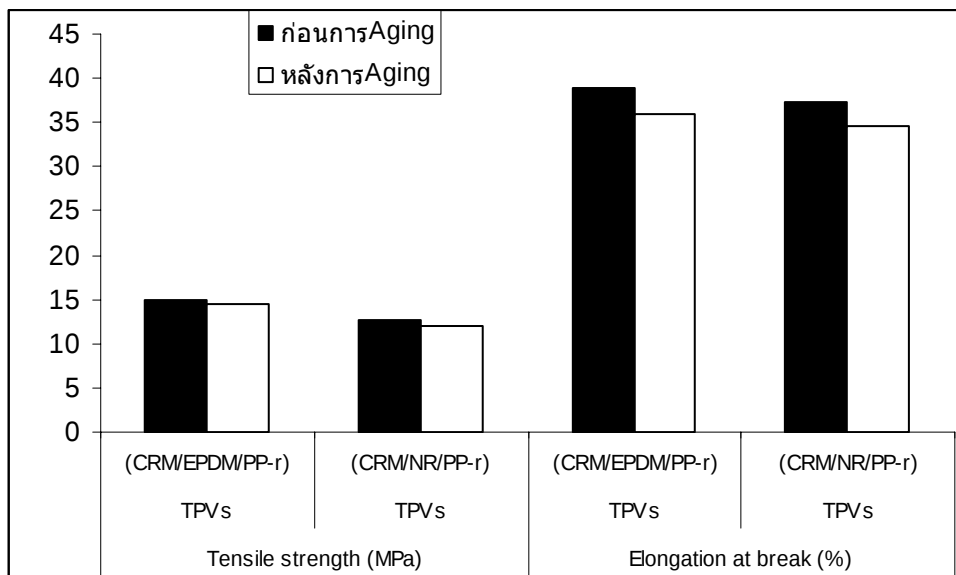
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อการดึงและค่าความสามารถในการยืดจนขาดตามมาตรฐาน Ecostar Inc. กับ TPVs ทั้งก่อนและหลังการอบ (Aging) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

TPVs (CRM/EPDM/PP-r)	Tensile strength (MPa)		Elongation at break (%)	
	ก่อนการ Aging	หลังการ Aging	ก่อนการ Aging	หลังการ Aging
50/10/40	14.93	14.49	38.88	35.90
40/20/40	12.55	12.20	42.88	40.83
30/30/40	11.43	11.15	58.57	56.72
20/40/40	9.91	9.70	62.61	61.23
10/50/40	8.55	8.40	66.84	65.88
0/60/40	8.23	8.15	74.40	73.76
มาตรฐาน	11.23	11.15	34.00	27.11

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานต่อการดึงของ TPVs ที่มีส่วนของยาง EPDM 10 20 และ 30 ส่วน มีสมบัติที่ดีกว่าค่ามาตรฐาน ส่วนความสามารถในการยืดของ TPVs ที่ได้จากการทดลองมีค่ามากกว่าของมาตรฐานในทุกอัตราส่วนที่ทดลอง

อิทธิพลของการใช้ยาง NR ต่อสมบัติ TPVs ก่อนและการอบ (Aging) ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง

นำ TPVs ที่เตรียมได้จากการเบลนด้อยาง compound NR/ขวดน้ำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้ว (PP) มาทดสอบค่าความต้านต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด ความแข็ง และค่าความต้านทานต่อการกระแทก



รูปที่ 9 เปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อการดึงและความสามารถในการยืดจนขาดของ TPVs จากยาง compound NR กับ TPVs จากยาง compound ทั้งก่อนและหลังการอบ (Aging) ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง โดยทั้งใช้ปริมาณ CRM/ยาง/PP-r ที่ 50/10/40

ตารางที่ 5 ค่าความต้านทานต่อการดึงและความสามารถในการยืดจนขาดของ TPVs จากการเบลนด้อยาง compound NR/PP-r เปรียบเทียบกับ TPVs จากค่ามาตรฐาน Ecostar Inc. ทั้งก่อนและหลังการอบ (Aging) ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง

สถานะ	Tensile strength (MPa)		Elongation at break (%)	
	มาตรฐาน	TPVs (CRM/NR/PP-r)	มาตรฐาน	TPVs (CRM/NR/PP-r)
ก่อนการ Aging	11.23	12.73	34.00	37.34
หลังการ Aging	11.15	11.94	27.11	33.61

จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าสมบัติ TPVs ที่ได้จากการใช้ยาง NR ในการเบลนดมีสมบัติที่ดีกว่าอาจเนื่องจาก ยาง NR เข้ากับพลาสติกได้ไม่ดีเท่ากับการใช้ยาง EPDMในการเบลนด และจากตารางที่ 5 จะเห็นได้

ว่าสมบัติของ TPVs ที่ได้จากการใช้ยาง NR ในการเบลนด์ก็มีค่าผ่านมาตรฐานแต่การใช้ยาง NR มีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าการใช้ยาง EPDM อย่างไรก็ตามต้นทุนดังกล่าวอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งขณะรายงานผลเปรียบเทียบราคาของธรรมชาติ 80 บาทต่อกิโลกรัม และยาง EPDM ราคา 125 บาทต่อกิโลกรัม

การศึกษาสมบัติทนไฟของ TPVs ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุถุงหลังคา

การศึกษาสมบัติทนไฟของ TPVs ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุถุงหลังคา ทำการศึกษาตามมาตรฐาน ISO 3582-1978 (E) โดยการนำ TPVs ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติกมาทำการทดสอบการทนไฟ ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้คือ

ลักษณะการเผาไหม้

พุ่มงที่ผิวขณะที่มีการเผาไหม้ บิดเบี้ยว เกิดการหยดของเหลว ไฟไม่สามารถดับได้เอง และมีเขม่าสีดำ

ข้อมูลทั่วไปของ TPVs ที่ทำการทดสอบ

ค่าความถ่วงจำเพาะ : 1.04

ค่าความหนาของชิ้นทดสอบ (ม.ม.) : 3.2

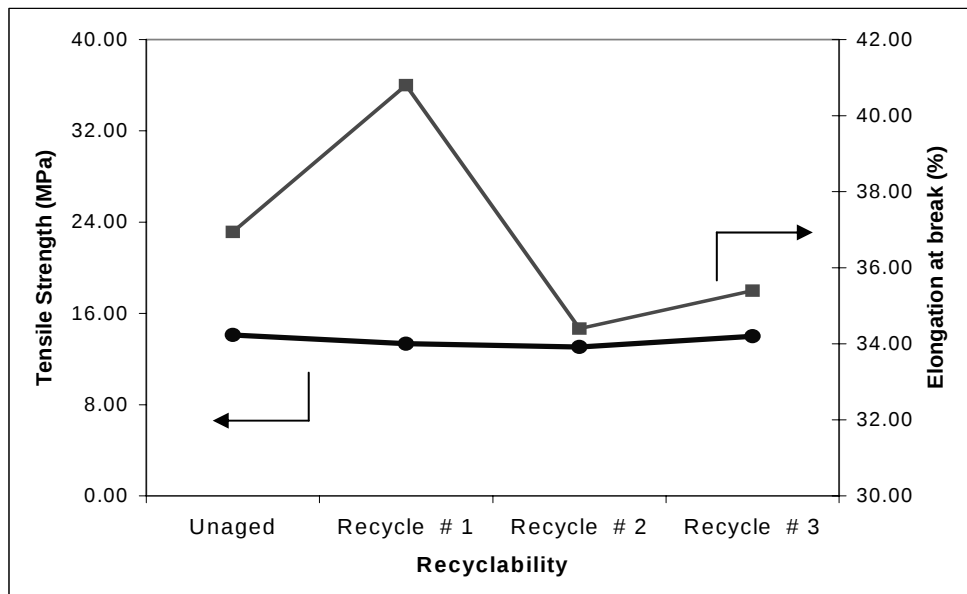
การคงอยู่ของผิว : ติดไฟทั้งชิ้น (ไม่ได้คิดเฉพาะผิวบน)

การศึกษาสมบัติทนไฟของ TPVs พบว่าเวลาเมื่อไฟผ่านรอยเครื่องหมายอยู่ในช่วง 126-127 วินาที และอัตราการเผาไหม้มีค่าประมาณ 0.25 mm/s โดยปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทนไฟได้แก่ ความหนาแน่น ความเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นต้น

ทั้งนี้ในการวิจัยไม่สามารถหาสารเคมีที่เป็นสารทนไฟที่เหมาะสมได้ เนื่องจากอุณหภูมิอ่อนตัวของพลาสติกค่อนข้างสูงทำให้สารทนไฟเสื่อมสภาพ หรือ แดกตัวเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสมบัติทนไฟในระหว่างการผสม ส่งผลให้สารทนไฟไม่สามารถผสมเข้ากับยางได้ หรือ ยางไม่สามารถวัลคาไนซ์ได้ เกิดการเสื่อมสภาพ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องค้นหาสารเคมีที่เหมาะสมอื่น ๆ ต่อไป สำหรับวัตถุประสงค์ในการทดสอบสมบัติดังกล่าวก็เพื่อรายงานค่าเบื้องต้นของสมบัติการทนไฟ เพื่อขยายผลทางด้านการพัฒนาสมบัติดังกล่าวต่อไป

การทดสอบสมบัติด้านการรีไซเคิล

การทดสอบสมบัติด้านการรีไซเคิลของ TPVs ที่เตรียมจากยางธรรมชาติ ที่ใช้สำหรับเตรียมวัสดุถุงหลังคา ดังรูปที่ 10 พบว่า สมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงมีการเปลี่ยนแปลงค่าระหว่างการรีไซเคิลในช่วงแคบๆ ส่วนค่าความสามารถในการยืดจนขาดมีการเปลี่ยนแปลงค่ามากกว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง แต่ค่าทั้งสองก็ยังคงเป็นค่าที่ผ่านตามมาตรฐาน



รูปที่ 10 สมบัติด้านการรีไซเคิลของ TPVs ที่ใช้สำหรับเตรียมวัสดุถุงหลังคา

สรุปผล

1. การเตรียม TPE จาก CRM/PP-r ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 ให้สมบัติ Tensile strength Hardness Impact strength คีที่สุด แต่มีสมบัติ Elongation at break น้อยที่สุด
2. การเตรียม TPE จาก CRM/PP-r) ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 ได้สมบัติที่ไม่ผ่านมาตรฐาน ทั้งก่อนและหลังการอบ (Aging) ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง
3. การเตรียม TPVs โดยใช้ยาง compound EPDM/PP-r ที่อัตราส่วน CRM/EPDM/PP 50/10/40 40/20/40 30/30/40 ได้สมบัติที่ผ่านค่ามาตรฐาน ทั้งก่อนและหลังการอบ (Aging) ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง
4. สามารถใช้วัสดุรีไซเคิลได้มากถึงประมาณ 90 % ในการเตรียม TPVs แล้วได้สมบัติที่ผ่านค่ามาตรฐาน ทั้งก่อนและหลังการอบ (Aging) ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง
5. การเตรียม TPVs โดยใช้ยาง compound EPDM/PP-r ให้สมบัติที่ดีกว่าการเตรียม TPVs โดยใช้ยาง compound NR/PP-r
6. การเตรียม TPVs โดยใช้ยาง compound NR/PP-r ได้สมบัติที่ผ่านค่ามาตรฐาน ทั้งก่อนและหลังการอบ (Aging) ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง
7. สมบัติของ TPVs ที่ใช้สำหรับเตรียมวัสดุถุงหลังคา ยังคงเป็นค่าที่ผ่านตามมาตรฐาน หลังจากผ่านการรีไซเคิล 3 ครั้ง
8. สมบัติทนไฟของ TPVs ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุถุงหลังคา ได้เวลาเมื่อไฟผ่านรอยเครื่องหมายอยู่ในช่วง 126-127 วินาที และอัตราการเผาไหม้มีค่าประมาณ 0.25 mm/s

ข้อเสนอแนะ

- ศึกษาสมบัติของ TPVs จากการใช้พลาสติกกรีซชนิดอื่น
- ค้นหาสารทนไฟที่เหมาะสมเพิ่มเติม
- ศึกษา Cure property ของ Masterbatch และสภาวะการผสมที่เหมาะสมสำหรับการ scale-up ด้วยเครื่องมือที่เหมาะสม เช่น Banbury หรือ Twin-screw Extruder

เอกสารอ้างอิง

- [1] Turner, J.E. 1977: U.S. Patent #4,028,288.
- [2] Butilino: European Patent #0401885.
- [3] Kiser, W. 1996: U.S. Patent #5,580,638; Kiser, W. 1996: U.S. Patent #5,525,399.
- [4] Lee, W. 1997: U.S. Patent #5,635,551.
- [5] Frankland, W.H. 1980: U.S. Patent #4,244,841.
- [6] Doan, R.C. 1989: U.S. Patent #4,970,043.
- [7] Blalock, C. and L. Nelson. 2001: U.S. Patent #6,194,519.
- [8] Ecostar: www.ecostarinc.com
- [9] Euroslate: www.euroslate.ca
- [10] Edson, G., 2004: U.S. Patent #6,703,440.
- [11] Flack, J., B. Baskaran, and K. Liu, *Recycled Rubber Roofing Panel*, C.C.M. Centre, Editor. 2001, National Research Council Canada.

คำชี้แจงการแก้ไขรายงานฉบับสมบูรณ์

ผู้ทรงคุณวุฒิ หน้า 2 ให้ตรวจสอบข้อความของบรรทัดที่ 4 ย่อหน้าที่ 3 และควรระบุชื่อมาตรฐานในบรรทัดที่ 4 ของย่อหน้าที่ 4 ด้วย

หัวหน้าโครงการ แก้ไขแล้ว

ผู้ทรงคุณวุฒิ หน้า 2 บรรทัดที่ 12-13 น่าจะสับสนและไม่ชัดเจน บรรทัดที่ 17 “ปริมาณพลาสติกที่ใช้ในการ.....น้อยลง” น่าจะตกอะไรบางอย่าง

หัวหน้าโครงการ แก้ไขแล้ว

ผู้ทรงคุณวุฒิ บทคัดย่อ และ abstract น่าจะขยายความให้ระบุความชัดเจนมากขึ้น เช่น CRM คืออะไร ระบุสูตรและเทคนิคการเตรียม TPEs/TPVs พร้อมสมบัติทางกายภาพที่ได้ทดสอบ และให้ผลดีที่สุด และ/หรือเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D638 นั้น คือมี parameter อะไรบ้าง มีข้อกำหนดอย่างไร

หัวหน้าโครงการ แก้ไขแล้ว

ผู้ทรงคุณวุฒิ หน้า 9 รูปที่ 3.3 คืออะไร มาจากไหน ไม่มีในรายงาน

หัวหน้าโครงการ แก้ไขแล้ว

ผู้ทรงคุณวุฒิ ใน“วิธีการ” ควรระบุวัตถุดิบและอุปกรณ์/เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองโดยเฉพาะ EPDM ควรระบุว่าเป็นเกรดและชื่อการค้าคืออะไร เพราะเกรดต่างกันย่อมมีผลต่อสมบัติต่างๆ

หัวหน้าโครงการ แก้ไขเพิ่มเติมแล้ว

ผู้ทรงคุณวุฒิ ให้ตรวจสอบความถูกต้องของรูปที่ 4 เป็น Impact หรือ Hardness และควรตรวจสอบหน่วยของ Hardness ให้ถูกต้อง

หัวหน้าโครงการ แก้ไขแล้ว

ผู้ทรงคุณวุฒิ ASTM D638 เป็นมาตรฐานวิธีทดสอบหรือมาตรฐาน specification ของวัสดุผงหลังคา ควรระบุชื่อมาตรฐานนี้ให้ชัดเจนและถูกต้องด้วย

หัวหน้าโครงการ การเปรียบเทียบสมบัติเป็นการเปรียบเทียบกับกระเบื้องยางที่ทำจากวัสดุประเภทเดียวกันที่มีจำหน่ายในท้องตลาดอยู่แล้ว กระเบื้องยางที่เลือกใช้เพื่อเปรียบเทียบเป็นกระเบื้องยางจากบริษัท Ecostar Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยสมบัติที่จะเปรียบเทียบคือค่าความต้านทานต่อแรงดึง และค่าความสามารถในการยืดจนขาด ซึ่งวัดโดยวิธีตามมาตรฐาน ASTM D638 ได้มีการแก้ไขเพื่อความชัดเจนในรายงานฉบับสมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว

ผู้ทรงคุณวุฒิ ตรวจสอบบรรทัดที่ 1 ของผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

หัวหน้าโครงการ ตรวจสอบและแก้ไขแล้ว

<u>ผู้ทรงคุณวุฒิ</u>	หน้า 11 เรื่อง “การทดสอบความสามารถในการรีไซเคิล” และหน้าที่ 20 รูปที่ 10 นั้น เป็นเรื่องของ TPVs จากสูตร NR หรือ EPDM based
<u>หัวหน้าโครงการ</u>	เป็น NR based และได้มีการแก้ไขในรายงานแล้ว
<u>ผู้ทรงคุณวุฒิ</u>	การเตรียม TPE (หน้า 9) มีสัดส่วน CRM/PP-r : 80/20 แต่ในรายงานผลการทดลองไม่มี เพราะอะไร ควรอธิบาย
<u>หัวหน้าโครงการ</u>	อัตราส่วนการเบนด์ที่ 80/20 ไม่สามารถเตรียมขึ้นตัวอย่างได้ เนื่องจากมีเฟสของยาง CRM มากเกินไปไม่สามารถบังคับให้ยางกระจายตัวในเฟสของพลาสติกได้จึงไม่สามารถแสดงผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพได้
<u>ผู้ทรงคุณวุฒิ</u>	การใช้ชื่อย่อที่ไม่ค่อยคุ้นหรือใช้กันโดยทั่วไป จะต้องมีการเขียนเต็มในครั้งแรกที่กล่าวถึง เพื่อให้ผู้อ่านจะได้เข้าใจได้ดียิ่งขึ้น มีตัวอย่างหลายตัวที่ไม่ได้ให้ชื่อเต็มไว้ เช่น PP-r, DCP, TAC เป็นต้น
<u>หัวหน้าโครงการ</u>	แก้ไขในรายงานแล้ว
<u>ผู้ทรงคุณวุฒิ</u>	หน้า 18 การวิจารณ์ผลในส่วนที่เกี่ยวข้องเรื่องราคา ควรมีการระบุการประเมินราคาของยาง/compound ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งไว้ด้วย เพื่อให้มองเห็นอย่างเป็นรูปธรรม
<u>หัวหน้าโครงการ</u>	ขณะรายงานผลเปรียบเทียบราคาขงธรรมชาติ 80 บาทต่อกิโลกรัม และยาง EPDM ราคา 125 บาทต่อกิโลกรัม