



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ เทอร์โมพลาสติกวัลคาไรไนซ์จากการเบลนด์เอทิลีนไวนิลอะซิเตทกับ
ยางธรรมชาติอีพอกไซด์และยางธรรมชาติที่มีหมู่ไดบิวทิลฟอสเฟต

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์และคณะ

เมษายน 2547

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ เทอร์โมพลาสติกวัลคาร์ไนซ์จากการเบลนด์เอทิลีนไวนิลอะซิเตทกับ
ยางธรรมชาติอีพอกไซด์และยางธรรมชาติที่มีหมู่ไดบิวทิลฟอสเฟต

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 2. นางสาวปุณณานิช อินทรพัฒน์ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อาชีชัน แกสมาน | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |

ชุดโครงการ วิจัยแห่งชาติยางพารา (SPR)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

เทอร์โมพลาสติกวัลคาไรซ์จากการเบลนด์เอทิลีนไวนิลอะซิเตทกับ ยางธรรมชาติอีพอกไซด์และยางธรรมชาติที่มีหมู่ไดบิวทิลฟอสเฟต

บทคัดย่อ

เตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ด้วยวิธีเปอร์ฟอร์มิก ศึกษาอิทธิพลของเวลาของปฏิกิริยาต่อปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลยางธรรมชาติ พบว่าการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีปริมาณหมู่อีพอกไซด์ 20% โมลเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์ (ENR-20) ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 1.10 ชั่วโมง ที่ 50°C หลังจากนั้นนำยาง ENR-20 เตรียมยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต (DSNR) โดยใช้อัตราส่วนความเข้มข้น $[\text{ENR-20}]/[\text{ไดบิวทิลฟอสเฟต}] = 1$ อุณหภูมิ 30°C หลังจากนั้นเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์แบบธรรมดาของยาง ENR-20 กับโคพอลิเมอร์ของเอทิลีนกับไวนิลอะซิเตท (EVA) [ENR-20/EVA] และ DSNR/EVA โดยผสมในเครื่องผสมบราเวนเดอร์ พลาสติกคอร์เดอร์ ทำการศึกษาสมบัติรีโอโลยี (เส้นโค้งการไหลและเส้นโค้งความหนืด) สมบัติพลวัตเชิงกล และฐานฐานวิทยา พบว่าพอลิเมอร์เบลนด์ทั้งสองชนิดเป็นการเบลนด์แบบเข้ากันได้บางส่วน เนื่องจากเกิดการเลื่อนเข้าหากันของค่า T_g ของเฟสทั้งสองชนิดที่นำมาเบลนด์กัน นอกจากนี้สมบัติการไหลและฐานฐานวิทยายังบ่งชี้ถึงความสามารถในการผสมเข้ากันบางส่วนของพอลิเมอร์เบลนด์ทั้งสองชนิด หลังจากนั้นเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไรซ์ (TPV) จากการเบลนด์ ENR-20/EVA และ DSNR/EVA โดยใช้ระบบกัมมะถันในการทำกระบวนการวัลคาไรซ์แบบไดนามิกส์ ศึกษาสมบัติการไหลของ TPV พบว่าทั้งเส้นโค้งการไหลและเส้นโค้งความหนืดมีค่าสูงกว่าของพอลิเมอร์เบลนด์ธรรมดาเนื่องจากการเชื่อมโยงของโมเลกุลยางแล้วเกิดเป็นอนุภาคเล็กๆกระจายตัวใน เฟสของ EVA นอกจากนี้ทำการทดสอบสมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึง พบค่าอยู่ช่วง 3.0-5.7 MPa และมีค่าความสามารถในการยืดอยู่ในช่วง 150-500% และค่าความสามารถในการคืนตัว (tension set) 10-30% จึงสรุปว่า TPV ทั้งสองชนิดมีสมบัติอยู่ในเกณฑ์ของการจัดกลุ่มวัสดุเป็นเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ นอกจากนี้ทำการศึกษาฐานฐานวิทยาพบว่ายางวัลคาไรซ์มีการกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆในเมทริกซ์ของ EVA โดยที่อัตราส่วน ยาง/พลาสติก 40/60 และ 50/50 มีการกระจายตัวดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการมีสมบัติเชิงกลที่ดี นอกจากนี้พบว่า TPV ทั้งสองชนิดมีความต้านทานต่อตัวทำละลายที่เป็นน้ำมันเครื่องยนต์ 4 จังหวะดีที่สุด รองลงมาได้แก่น้ำมันดีเซล และมีความต้านทานต่อสารละลายผสมของไอโซออกเทนกับโทลูอีน ต่ำที่สุด DSNR มีความสามารถในการต่อต้านการติดไฟดีที่สุด นอกจากนี้พบว่า TPV มีความสามารถในการต่อต้านการติดไฟเพิ่มขึ้นตามปริมาณ DSNR ที่เป็นองค์ประกอบในการเบลนด์

Thermoplastic Vulcanizate based on EVA/ENR and EVA/dibutylphosphate Supported Natural Rubber

Abstract

Epoxidized natural rubber was prepared using performic epoxidation method. Influence of reaction time on level of epoxide groups was studied. We found that ENR with 20 mole % epoxide (ENR-20) was prepared at 50°C for 1.10 hr. ENR-20 was later used to prepare dibutyl phosphate (DBP) modified natural rubber (DSNR) using molar ratio of [ENR-20]/[DBP] = 1 at 30°C. Simple blends of ENR-20/EVA and DSNR/EVA were prepared using Brabender Plasticorder. Rheological properties (i.e. flow and viscosity curves), dynamic mechanical properties, morphological properties were investigated. It was found that both types of the polymer blends were partially compatible blends due to the shift of T_g of two different phases toward each other. Furthermore, the partially compatible blends were confirmed by morphological studies. Thermoplastic vulcanizates (TPVs) of ENR-20/EVA and DSNR/EVA blends were later prepared by dynamic vulcanization using sulphur curing system. It was found that flow and viscosity curves of TPV were higher than those of simple blends. This is caused by cross-linked structure of the rubber phase, which disperses as small domains in the EVA matrix. Tensile strength, elongation at break and tension set of the TPVs were in the range of 3.0-5.7 MPa, 150-500% and 10-30 %, respectively. Therefore, the TPVs can be classified as thermoplastic elastomer (TPE) material. From morphological studies, we found the small rubber domains dispersed in the EVA phase. At the rubber/EVA of 40/60 and 50/50, the finest rubber domains were observed. This corresponds to superior mechanical properties of the TPVs at these blend ratios. Solvent resistance of the TPVs was also characterized. It was found that both types of TPVs exhibited solvent resistance as ranked: engine oil > diesel oil > mixture of is-octane/toluene. Flame resistance of DSNR/EVA blends in terms of burning rate was also studied. The neat DSNR was found to have the highest burning resistance. Furthermore, the burning resistance of TPV (i.e., from DSNR/EVA blends) increased with increasing level of DSNR in the blends.

สารบัญ

บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
หน้าสรุปโครงการ	1
เนื้อหางานวิจัย	6
1. การทดลอง	7
1.1 ยางและสารเคมี	7
1.2 อุปกรณ์	10
1.3 วิธีการทดลอง	15
2. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	22
2.1 การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์	22
2.2 การเตรียมยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต	24
2.3. การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์	28
2.3.1 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของยาง ENR-20/EVA	28
2.3.2 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA	34
2.4. การเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์	42
2.4.1 การเตรียม TPV จากการเบลนด์ ENR-20/EVA	42
2.4.2 การเตรียม TPV จากการเบลนด์ DSNR/EVA	53
3. สรุปผลการทดลอง	65
4. เอกสารอ้างอิง	68
5. ภาคผนวก 1. ตารางเปรียบเทียบวัสดุประสงค์	69
6. ภาคผนวก 2. บทความสำหรับการเผยแพร่	71

เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์เอทิลีนไวนิลอะซิเตทกับ ยางธรรมชาติอิพอกไซด์และยางธรรมชาติที่มีหมู่ไดบิวทิลฟอสเฟต

บทคัดย่อ

เตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์ด้วยวิธีเปอร์ฟอร์มิก ศึกษาอิทธิพลของเวลาของปฏิกิริยาต่อปริมาณหมู่อิพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลยางธรรมชาติ พบว่าการเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่มีปริมาณหมู่อิพอกไซด์ 20% โมลเปอร์เซ็นต์อิพอกไซด์ (ENR-20) ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 1.10 ชั่วโมง ที่ 50°C หลังจากนั้นนำยาง ENR-20 เตรียมยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต (DSNR) โดยใช้อัตราส่วนความเข้มข้น $[ENR-20]/[ไดบิวทิลฟอสเฟต] = 1$ อุณหภูมิ 30°C หลังจากนั้นเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์แบบธรรมดาของยาง ENR-20 กับโคพอลิเมอร์ของเอทิลีนกับไวนิลอะซิเตท (EVA) $[ENR-20/EVA]$ และ $DSNR/EVA$ โดยผสมในเครื่องผสมบราเบนเดอร์ พลาสติกอร์เดอร์ ทำการศึกษาสมบัติรีโอโลยี (เส้นโค้งการไหลและเส้นโค้งความหนืด) สมบัติพลวัตเชิงกล และสัณฐานวิทยา พบว่าพอลิเมอร์เบลนด์ทั้งสองชนิดเป็นการเบลนด์แบบเข้ากันได้บางส่วน เนื่องจากเกิดการเลื่อนเข้าหากันของค่า T_g ของเฟสทั้งสองชนิดที่นำมาเบลนด์กัน นอกจากนี้สมบัติการไหลและสัณฐานวิทยายังบ่งชี้ถึงความสามารถในการผสมเข้ากันบางส่วนของพอลิเมอร์เบลนด์ทั้งสองชนิด หลังจากนั้นเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (TPV) จากการเบลนด์ ENR-20/EVA และ DSNR/EVA โดยใช้ระบบกัมมะถันในการทำกระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ ศึกษาสมบัติการไหลของ TPV พบว่าทั้งเส้นโค้งการไหลและเส้นโค้งความหนืดมีค่าสูงกว่าของพอลิเมอร์เบลนด์ธรรมดาเนื่องจากการเชื่อมโยงของโมเลกุลยางแล้วเกิดเป็นอนุภาคเล็กๆ กระจายตัวในเฟสของ EVA นอกจากนี้ทำการทดสอบสมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึง พบค่าอยู่ช่วง 3.0–5.7 MPa และมีค่าความสามารถในการยืดอยู่ในช่วง 150–500% และค่าความสามารถในการคืนตัว (tension set) 10–30% จึงสรุปว่า TPV ทั้งสองชนิดมีสมบัติอยู่ในเกณฑ์ของการจัดกลุ่มวัสดุเป็นเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ นอกจากนี้ทำการศึกษาสัณฐานวิทยาพบว่ายางวัลคาไนซ์มีการกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ ในเมทริกซ์ของ EVA โดยที่อัตราส่วน ยาง/พลาสติก 40/60 และ 50/50 มีการกระจายตัวดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการมีสมบัติเชิงกลที่ดี นอกจากนี้พบว่า TPV ทั้งสองชนิดมีความต้านทานต่อตัวทำละลายที่เป็นน้ำมันเครื่องยนต์ 4 จังหวะดีที่สุด รองลงมาได้แก่น้ำมันดีเซล และมีความต้านทานต่อสารละลายผสมของไอโซออกเทนกับโทลูอีน ต่ำที่สุด DSNR มีความสามารถในการต่อต้านการติดไฟที่ดีที่สุด นอกจากนี้พบว่า TPV มีความสามารถในการต่อต้านการติดไฟเพิ่มขึ้นตามปริมาณ DSNR ที่เป็นองค์ประกอบในการเบลนด์

Thermoplastic Vulcanizate based on EVA/ENR and EVA/dibutylphosphate Supported Natural Rubber

Abstract

Epoxidized natural rubber was prepared using performic epoxidation method. Influence of reaction time on level of epoxide groups was studied. We found that ENR with 20 mole % epoxide (ENR-20) was prepared at 50°C for 1.10 hr. ENR-20 was later used to prepare dibutyl phosphate (DBP) modified natural rubber (DSNR) using molar ratio of [ENR-20]/[DBP] = 1 at 30°C. Simple blends of ENR-20/EVA and DSNR/EVA were prepared using Brabender Plasticorder. Rheological properties (i.e. flow and viscosity curves), dynamic mechanical properties, morphological properties were investigated. It was found that both types of the polymer blends were partially compatible blends due to the shift of T_g of two different phases toward each other. Furthermore, the partially compatible blends were confirmed by morphological studies. Thermoplastic vulcanizates (TPVs) of ENR-20/EVA and DSNR/EVA blends were later prepared by dynamic vulcanization using sulphur curing system. It was found that flow and viscosity curves of TPV were higher than those of simple blends. This is caused by cross-linked structure of the rubber phase, which disperses as small domains in the EVA matrix. Tensile strength, elongation at break and tensile set of the TPVs were in the range of 3.0–5.7 MPa, 150–500% and 10–30 %, respectively. Therefore, the TPVs can be classified as thermoplastic elastomer (TPE) material. From morphological studies, we found the small rubber domains dispersed in the EVA phase. At the rubber/EVA of 40/60 and 50/50, the finest rubber domains were observed. This corresponds to superior mechanical properties of the TPVs at these blend ratios. Solvent resistance of the TPVs was also characterized. It was found that both types of TPVs exhibited solvent resistance as ranked: engine oil > diesel oil > mixture of is-octane/toluene. Flame resistance of DSNR/EVA blends in terms of burning rate was also studied. The neat DSNR was found to have the highest burning resistance. Furthermore, the burning resistance of TPV (i.e., from DSNR/EVA blends) increased with increasing level of DSNR in the blends.

สารบัญ

บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
หน้าสรุปโครงการ	1
เนื้อหางานวิจัย	6
1. การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์	6
2. การเตรียมยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต	8
3. การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์	12
3.1 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของยาง ENR-20/EVA	12
3.2 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA	18
4. การเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (Thermoplastic Vulcanizates, TPV)	25
4.1 การเตรียม TPV จากการเบลนด์ ENR-20/EVA	25
4.2 การเตรียม TPV จากการเบลนด์ DSNR/EVA	36
5. เอกสารอ้างอิง	47
6. ภาคผนวก 1. ตารางเปรียบเทียบวัตถุดิบ	48
7. ภาคผนวก 2. บทความสำหรับการเผยแพร่	50

หน้าสรุปโครงการ (Executive Summary)

❶ ชื่อโครงการ เทอร์โมพลาสติกวัลคาไรซ์จากการเบลนด์เอทิลีนไวนิลอะซิเตทกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์และยางธรรมชาติที่มีหมู่ไดบิวทิลฟอสเฟต

คำสำคัญ เทอร์โมพลาสติกวัลคาไรซ์ เอทิลีนไวนิลอะซิเตท ไดบิวทิลฟอสเฟต
ยางธรรมชาติอีพอกไซด์

Thermoplastic Vulcanizate based on EVA/ENR and
EVA/dibutylphosphate Supported Natural Rubber

Keywords Thermoplastic vulcanizate (TPV); ethylene vinyl acetate (EVA);
dibutylphosphate (DBP); epoxidized natural rubber (ENR).

❷ ชื่อหัวหน้าโครงการรองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นาคะสรรค์

หน่วยงาน	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000
โทรศัพท์	073 313930-50 ต่อ 1866
โทรสาร	073 331099
E-mail	ncharoen@bunga.pn.psu.ac.th

❸ ชื่อนักศึกษา น.ส. ปุณณานิซ อินทรพัฒน์

หน่วยงาน	ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000
โทรศัพท์	073 313930-50 ต่อ 1861
โทรสาร	073 331099
E-mail	s4345020@pn.psu.ac.th

❹ ชื่อและสถานที่ติดต่อของผู้บังคับบัญชาของหน่วยงานของหัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมปอง ทองฝ่อง (คนบด)
หน่วยงาน	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.เมือง

จ.ปัตตานี 94000

โทรศัพท์ 073 313930-50 ต่อ 1800

โทรสาร 0 7333 5130

⑤ สาขาที่ทำการวิจัย เทคโนโลยียาง

⑥ ได้เสนอโครงการนี้ หรือโครงการที่มีส่วนเหมือนกับเรื่องนี้บางส่วนขอทุนจากแหล่งอื่นใดบ้าง

☒ ไม่ได้เสนอต่อแหล่งทุนอื่น

⑦ งบประมาณตลอดโครงการ 106,000 บาท

⑧ ระยะเวลาดำเนินการ 6 เดือน

⑨ ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติรายใหญ่ที่สุดในโลก ซึ่งสามารถส่งออกขายยางชนิดต่างๆมูลค่าปีละหลายหมื่นล้านบาท แต่การส่งออกของไทยยังเน้นการส่งออกยางดิบในรูปของยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางแท่ง น้ำยางข้นและยางดิบในรูปแบบอื่นๆ มีการส่งออกยางที่แปรรูปแล้ว (rubber products) หรือยางที่ผสมสารเคมี (ในรูป masterbatch หรือ rubber compound) ค่อนข้างน้อย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างเร่งด่วนที่หน่วยงาน สถาบัน องค์กรหรือหน่วยงานเอกชนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการผลิตยางธรรมชาติ ในการทำการเพิ่มมูลค่าของยางพาราโดยวิธีการต่างๆ การพัฒนายางชนิดใหม่จากยางธรรมชาติให้มีสมบัติบางประการเด่นเป็นแนวทางหนึ่งในการส่งเสริมการใช้ยางธรรมชาติ และการเพิ่มมูลค่า เทคโนโลยีที่มีการพัฒนากันมากในขณะนี้คือการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic elastomer, TPE) จากการเบลนด์ยางกับเทอร์โมพลาสติกโดยผ่านกระบวนการวัลคไนเซชันแบบไดนามิกซ์ (Dynamically vulcanization) ซึ่งเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่าเทอร์โมพลาสติกวัลคไนซ์ (Thermoplastic vulcanizate, TPV) ซึ่งมีสมบัติเป็นยางที่สภาวะการประยุกต์ใช้งาน นอกจากนี้การเตรียม TPV มีลักษณะเด่นเหนือกระบวนการแปรรูปยางเดิมหลายประการ เช่น ไม่จำเป็นต้องทำการคอมพาวด์ก่อนการขึ้นรูป สามารถแปรรูปด้วยกระบวนการแปรรูปเทอร์โมพลาสติกซึ่งใช้ระยะเวลาสั้นกว่าและต้นทุนถูกกว่า เศษจากการแปรรูปสามารถนำมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้สามารถใช้คุณสมบัติเด่นของเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆมาเป็นสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางได้

การเตรียม TPE และ TPV จากการเบลนด์ยางกับเทอร์โมพลาสติก เพื่อเตรียมวัสดุชนิดใหม่ ปรับปรุงกระบวนการแปรรูปและสมบัติของยางวัลคาร์ในซีทีได้ ส่วนใหญ่มักจะทำกันในยุโรป อเมริกา และญี่ปุ่น ผู้ผลิตยางสังเคราะห์รายใหญ่ ดังนั้นจะใช้ยางสังเคราะห์เบลนด์กับเทอร์โมพลาสติก เช่น จากการเบลนด์ PP/NBR, HDPE/NBR, Nylon-6/NBR, PET/NBR, POM/NBR, PVDF/NBR, PP/EPDM, PET/EPDM และ PET/EPR, Nylon-6/EPR, PBT/Acrylate Rubber และ Nylon-6/ACM เป็นต้น การเตรียม TPE โดยการใช้ยางธรรมชาติมักจะเรียกว่า **เทอร์โมพลาสติก ยางธรรมชาติ (Thermoplastic Natural Rubber, TPNR)** ไม่เป็นที่แพร่หลายดังการเตรียมจากยางสังเคราะห์ แต่มีการวิจัยโดยการใช้ยางธรรมชาติเบลนด์กับเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ เช่น พอลิโพรไพลีน พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง อะคริโลไนไตรน์-บิวตาไดอีน-สไตรีน เทอร์พอลิเมอร์ (ABS), สไตรีน-อะคริโลไนไตรน์ (SAN), พอลิเอไมด์ (PA) และ พอลิคาร์บอนเนต (PC) เป็นต้น

มีความพยายามในการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์จากยางธรรมชาติกับเทอร์โมพลาสติก EVA (Bandyopadhyay, et. al. 1999, Jansen and Soares, 1996 และ Koshy et al, 1993) เนื่องจากสมบัติเด่นของ EVA คือความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน (thermal aging resistance) แต่การเบลนด์ประสบปัญหาเนื่องจากความไม่เข้ากันของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด เนื่องจาก EVA เป็นพอลิเมอร์ที่มีสภาพขั้ว ส่วนยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีสภาพขั้ว จึงแก้ปัญหาโดยการพัฒนาสารเพิ่มความเข้ากันได้ (compatibilizer) ซึ่งทำให้ได้ TPV ที่มีสมบัติดีขึ้น แต่ยังคงมีความยุ่งยากหลายประการ เช่น สารเพิ่มความเข้ากันได้ไปรบกวนระบบการวัลคาไนเซชันของยาง จึงทำให้มีความยุ่งยากในการคอมปาวด์

ในงานวิจัยนี้ทำการดัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติเป็นยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ให้มีปริมาณวงแหวนออกซิเรนหลายระดับแล้วทำการเบลนด์กับเทอร์โมพลาสติก EVA โดยไม่ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมีสภาพขั้ว หลังจากนั้นทำไดนามิกสวัลคาไนเซชันโดยวิจัยหาสูตรการคอมปาวด์ที่เหมาะสม นอกจากนี้ทำการดัดแปลงโมเลกุลยางอิพอกไซด์ด้วยไดบิวทิลฟอสเฟส (DBP) ในสภาวะน้ำยางแล้วนำมาเบลนด์และทำไดนามิกสวัลคาไนเซชันโดยวิจัยหาสูตรการคอมปาวด์ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ TPV ใหม่ที่มีสมบัติทนทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน ทนน้ำมัน นอกจากนี้ TPV จากยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟสเบลนด์กับ EVA จะมีสมบัติทนไฟ (flame resistance) เนื่องจากมีหมู่ไดบิวทิลฟอสเฟสในโครงสร้าง

10 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเตรียมและศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ และยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยหมู่ไดบิวทิลฟอสเฟต

2. เพื่อเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (TPV) จากการเบลนด์ EVA/ENR และ EVA/dibutylphosphate Supported Natural Rubber โดยใช้กระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ (Dynamically vulcanization)
3. เพื่อศึกษาสมบัติ TPV ในข้อ 2 โดยเน้นการศึกษาสมบัติเชิงกล สันฐานวิทยา สมบัติเชิงความร้อน และความต้านทานต่อตัวทำละลาย เป็นต้น
4. ศึกษาความสามารถในการแปรรูป TPV ด้วยเครื่องฉีดพลาสติก
5. เพื่อเตรียมยางวัลคาไนซ์ชนิดทนน้ำมันจากยางธรรมชาติ ด้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน และ/หรือ ทนทานต่อการติดไฟ

11. ทางเลือกและแนวการแก้ปัญหา

ในการผลิตเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติ โดยการเสริมความสามารถในการต้านทานการเสื่อมเนื่องจากความร้อน เนื่องจากสมบัติของ EVA เสริมความต้านทานต่อน้ำมันเนื่องจากสภาวะความเป็นขั้วของยาง ENR และยางที่ดัดแปลงด้วย DBP และ EVA และเสริมความสามารถในการต้านทานต่อการติดไฟเนื่องจากการมี DBP ในโครงสร้าง ทำให้สามารถเบลนด์ให้ยางธรรมชาติเข้ากับ EVA ได้โดยไม่ต้องใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้

หลังจากนั้นเตรียม TPV จาก EVA/ENR และ EVA/DBP supported NR โดยใช้ระบบไดนามิกส์วัลคาไนเซชัน โดยทำการทดลองในเครื่องผสมแบบปิดขนาดเล็ก แล้วทดสอบสมบัติต่างๆ เพื่อการประเมินคุณลักษณะสำหรับการประยุกต์ใช้งานในรูปแบบที่เหมาะสมกับสมบัติต่อไป

12 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์และดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟตได้
2. สามารถเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนการเบลนด์ ยาง/พลาสติก = 60/40 50/50 และ 40/60 ได้
3. ทราบสมบัติสมบัติเชิงกล สันฐานวิทยา สมบัติเชิงความร้อน ความต้านทานต่อการเสื่อม และความต้านทานต่อตัวทำละลาย ของ TPV ในข้อ 2 ได้
4. สามารถขึ้นรูป TPV ในข้อ 2 ด้วยเทคนิคการฉีดพลาสติกได้
5. เป็นแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติพิเศษ คือ ทนน้ำมัน ด้านทานต่อการเสื่อมเนื่องจากความร้อน และ/หรือ ทนไฟ

13 แนวในการดำเนินงาน

1. เตรียมยางอีพอกไซด์ด้วยเทคนิคเปอร์ฟอร์มิกอีพอกซิเดชัน (Nakason, et al, 2003)
2. เตรียมยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟตในสภาวะน้ำยาง (Derouet, et al, 2001)

3. เตรียม TPV โดยการทำวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ ในเครื่องผสมบราเวนเดอร์ พลาสติกอร์เดอร์ โดยผสมที่อุณหภูมิ 160 °C ความเร็วโรเตอร์ 50-60 rpm ใช้ระบบวัลคาไนเซชันแบบใช้กำมะถัน ใช้สารตัวเร่ง คือ TBBS สารกระตุ้นคือ stearic acid และ ZnO และ ใช้สารแอนติออกซิแด้นซ์ คือ Wing Stay L ใช้ processing aid คือ Deoflow S เป็นต้น
4. วิเคราะห์สมบัติต่างๆดังนี้
 - 4.1 สมบัติด้านความต้านทานต่อการยืด โดยการขึ้นรูปขึ้นทดสอบด้วยเครื่องฉีดพลาสติกแล้วทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D412 (2000) โดยใช้เครื่อง Hounsfield รุ่น H 10KS
 - 4.2 วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM Model Leo-1450
 - 4.3 วิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนด้วยเครื่อง DMA7
 - 4.4 ความต้านทานต่อการเสื่อมเนื่องจากความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM D454 (2000)
 - 4.5 ความต้านทานต่อตัวทำละลาย (solvent resistance) ตามมาตรฐาน ASTM D471 (2000)

14 ผลการดำเนินงานโดยย่อ

ได้เตรียมเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR-20) ที่อุณหภูมิ 50°C และเวลาของการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 10 นาที วิเคราะห์ด้วย FT-IR พบพีคของสเปกตรัมอินฟราเรดของวงแหวนอีพอกไซด์ที่เลขคลื่น 870 และ 1140 cm^{-1} หลังจากนั้นใช้ยาง ENR-20 เตรียมยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต (DSNR) วิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล DSNR ด้วย $^1\text{H-NMR}$ ปรากฏตำแหน่ง chemical shift ที่เกิดเรโซแนนซ์ของหมู่ dioxaphospholane ที่ 1.40 และ 4.18 ppm แสดงว่ามีหมู่ของฟอสเฟตเกาะบนโมเลกุลยางธรรมชาติ หลังจากนั้นเตรียมพอลิเมอร์ เบลนด์ 2 ชนิด คือ ENR-20/EVA และ DSNR/EVA กรณีการเบลนด์ ENR-20/EVA พบว่าค่าทอร์กของการผสม เส้นโค้งการไหล เส้นโค้งความหนืดของพอลิเมอร์เบลนด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ ENR-20 ในพอลิเมอร์เบลนด์ จากการทดสอบสมบัติพลวัตเชิงกล ทำให้ทราบว่าพอลิเมอร์เบลนด์ชนิดนี้ชนิดเป็นการเบลนด์ที่เข้ากันได้บางส่วน (partially compatible blends) เนื่องจากค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของเฟสยาง ENR-20 และ เฟส EVA มีการเลื่อนเข้าหากัน (phase shift) และจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่าการกระจายตัวของเฟสทั้งสองเข้ากันได้ดีเมื่ออัตราส่วนของ EVA เพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการกระจายตัวของเฟสทั้งสองดียิ่งขึ้น ในกรณีของพอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA พบว่าค่าทอร์กในการผสม เส้นโค้งการไหล และเส้นโค้งความหนืด ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วน 40/60 และ 50/50 มีค่าสูงที่สุด ใช้ log-additive rule ทำให้ทราบว่าพอลิเมอร์ชนิดนี้เบ

ลนด์เข้ากันได้ดีเนื่องจากเกิด positive deviation blend (PDB) และค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของเฟสยาง DSNR และเฟสพลาสติก EVA มีแนวโน้มเคลื่อนเข้าหากัน (shift) อย่างชัดเจน

หลังจากนั้นทำการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ ENR-20/EVA และ DSNR/EVA พบว่าความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดของ TPV จากการเบลนด์ ENR-20/EVA มีค่าต่ำกว่าของยาง ENR-20 วัลคาไนซ์ นอกจากนี้ TPV มีความสามารถในการคืนตัวลดลงตามการเพิ่มปริมาณ EVA และมีค่าสูงสุดประมาณ 30% ($\text{ENR-20/EVA} = 40/60$ มีค่า $\text{EB} = 500\%$) และจัดอยู่ในกลุ่มของอีลาสโตเมอร์ การเตรียม TPV จากการเบลนด์ DSNR/EVA พบว่า ความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ มีความสามารถในการยืดเพิ่มขึ้นตามปริมาณยาง DSNR นอกจากนี้พบว่า อัตราการเผาไหม้ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ DSNR/EVA ทุกอัตราส่วน มีค่าต่ำกว่าอัตราการเผาไหม้ของ EVA และยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ การเพิ่มปริมาณยาง DSNR ใน TPV ทำให้อัตราการเผาไหม้ลดลง แสดงว่าการทำปฏิกิริยาโดยการเพิ่มส่วนที่เป็นสารประกอบฟอสฟอรัสลงในโมเลกุลยางธรรมชาติจะมีผลต่อความต้านทานต่อการเผาไหม้ ทำให้เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่มีการเพิ่มสัดส่วนยาง DSNR มีอัตราการเผาไหม้ที่ลดลง

เนื้อหางานวิจัย

1. การทดลอง

1.1 ยางและสารเคมี

1.1.1 น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Concentrated Latex)

ใช้สำหรับเตรียมยางธรรมชาติอพอกไซด์ มีเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC) ประมาณ 60% ขนาดอนุภาคประมาณ 0.61 ไมครอน น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,600,000 กรัม/โมล ผลิตโดยบริษัท ปัตตานีอุตสาหกรรม (1971) จำกัด

1.1.2 ยางธรรมชาติชนิดยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air dry sheet, ADS)

ใช้สำหรับเปรียบเทียบสมบัติ ผลิตโดยบริษัท สหกรณ์บ้านควนป็นแค จังหวัดพัทลุง

1.1.3 เทอริก เอ็น 30 (Teric N 30)

เป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทนอนไอออนิก (non-ionic surfactant) จัดอยู่ในกลุ่ม nonylphenol ethoxylate มี pH ประมาณ 6-8 ค่า Hydrogen Value เท่ากับ 33 mg KOH/g ผลิตโดยบริษัท Huntsman ประเทศออสเตรเลีย

1.1.4 ไดบิวทิลฟอสเฟต (Dibutyl phosphate, DBP)

เป็นสารเคมีใช้สำหรับดัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติ มีสูตรทางเคมี คือ $C_8H_{19}O_4P$ มีน้ำหนักโมเลกุล 210.21 กรัม/โมล ผลิตโดยบริษัท Fluka chemika ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

1.1.5 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)

ใช้สำหรับเตรียมยางธรรมชาติอพอกไซด์ มีสูตรทางเคมี H_2O_2 ผลิตโดยบริษัท Riedel-de Hean ประเทศเยอรมันนี

1.1.6 กรดฟอร์มิก (Formic acid) เข้มข้น 94%

ใช้สำหรับเตรียมยางธรรมชาติอพอกไซด์ มีสูตรทางเคมี $HCOOH$ น้ำหนักโมเลกุล 46.03 กรัมต่อโมล ผลิตโดยบริษัท Riedel-de Hean ประเทศเยอรมันนี

1.1.7 เมทานอล (Methanol)

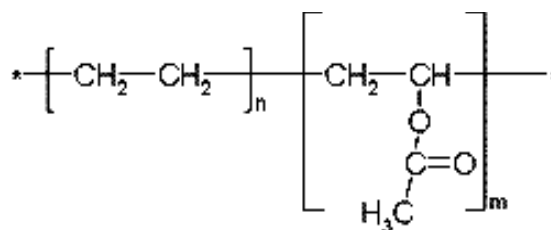
ใช้สำหรับจับตัวน้ำหลังจากทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน มีสูตรทางเคมี CH_3OH น้ำหนักโมเลกุล 32.04 กรัมต่อโมล ช่วงจุดเดือดอยู่ระหว่าง 64-65 องศาเซลเซียส ผลิตโดยบริษัท J.T Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.1.8 คลอโรฟอร์ม (Chloroform)

ใช้เป็นตัวทำละลายยางธรรมชาติอีพอกไซด์เพื่อหาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ มีสูตรทางเคมี CHCl_3 น้ำหนักโมเลกุล 119.38 กรัมต่อโมล เกรดวิเคราะห์ (AR-grade) มีจุดเดือดเท่ากับ 145 องศาเซลเซียส ผลิตโดยบริษัท J.T Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.1.9 โคพอลิเมอร์ของเอทิลีนกับไวนิลอะซิเตท (Ethylene-vinyl acetate copolymer)

สูตรโครงสร้าง



เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ เกรด N8038 มีปริมาณไวนิลอะซิเตท 18% ลักษณะเป็นเม็ดใส นำไปใช้งานสำหรับทำแผ่นโฟมรองเท้า ผลิตโดยบริษัท TPI Polyacrylate Co., Ltd.

1.1.10 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)

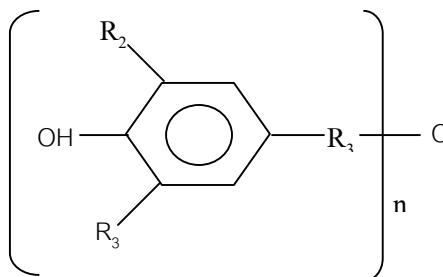
ใช้เป็นสารกระตุ้น ผลิตโดยบริษัท Global Chemical Co., Ltd. ประเทศไทย

1.1.11 กรดสเตียริก (Stearic acid)

ใช้เป็นสารกระตุ้น ผลิตโดยบริษัท Imperial Chemical Co., Ltd. นิคมอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี

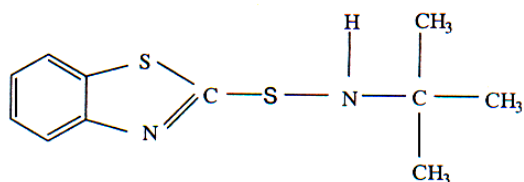
1.1.12 วิงสเตอร์ แอล (Wingstay L)

มีชื่อทางเคมี คือ Polymeric sterically hindered phenol เป็นสารแอนติออกซิแดนท์ ที่เป็นอนุพันธ์ของฟีนอล ผลิตโดยบริษัท Shuguang Chemical Co., Ltd. ประเทศจีน



1.1.13 เบนโซไทอาร์ซิล ซัลฟีนามิด (N-tert-butyl-2-benzothiazylsulphenamide, TBBS)

สูตรโครงสร้าง



ใช้เป็นสารตัวเร่ง จุดหลอมเหลว 105 องศาเซลเซียส ผลิตโดยบริษัท Bayer Co., Ltd. ประเทศเยอรมัน

1.1.14 กำมะถัน (Sulphur)

มีสูตรโครงสร้าง S₈ ใช้เป็นสารวัลคาไนซ์ ผลิตโดยบริษัท Ajex Chemical Co., Ltd. ประเทศเนเธอร์แลนด์

1.1.15 ดีโอโฟล เอส (Deoflow S)

เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยในกระบวนการแปรรูป (processing aid) ประกอบด้วย เกลือแคลเซียมของกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันประเภทเอสเทอร์ ช่วยปรับปรุงการกระจายตัวของสารตัวเติม (filler) และยังช่วยปรับปรุงการไหลและคุณสมบัติด้านการสึกหรุด้านการเอ็กทูดซ์ของยางคอมปาวด์ ผลิตโดยบริษัท D.O.G Deutsche Olefabrik ประเทศเยอรมัน

1.1.16 ไอโซออกเทน (Isooctane)

ใช้ผสมกับโทลูอินสำหรับทดสอบความทนทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ มีสูตรทางเคมี C_8H_{18} น้ำหนักโมเลกุล 114.23 ผลิตโดยบริษัท Ajax Finechem ประเทศออสเตรเลีย

1.1.17 น้ำมันดีเซล

ใช้สำหรับทดสอบความทนทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ผลิตโดยบริษัท ปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย จำกัด (มหาชน)

1.1.19 น้ำมันเครื่อง

เป็นน้ำมันเครื่องสำหรับเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ เกรด API ยี่ห่อ ฮอนด้า ใช้สำหรับทดสอบความทนทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ผลิตโดยบริษัท น้ำมันอพลโล (ประเทศไทย) จำกัด

1.2 อุปกรณ์

1.2.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้เตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์และยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้เตรียมยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต แสดงดังรูปที่ 1 เป็นชุดอุปกรณ์สำหรับสังเคราะห์พอลิเมอร์และดัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติ ที่สร้างขึ้นโดยห้องปฏิบัติการเทคโนโลยียาง ประกอบด้วยภาชนะอลูมิเนียมทรงสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร สำหรับใส่น้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิ ด้านล่างจะเป็นระบบน้ำหมุนเวียน โดยมีระบบให้ความร้อนและระบบเทอร์โมสเตท เพื่อควบคุมอุณหภูมิน้ำในอ่างให้คงที่ตามอุณหภูมิของปฏิกิริยา เครื่องมือชุดนี้ผลิตโดยห้องปฏิบัติการเทคโนโลยียาง อุปกรณ์ที่ใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์มีขนาด 2 ลิตร ต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์และไบพัตสำหรับกวนของผสมโดยใช้ชุด Mechanical stirrer ความเร็วของไบพัตกวนประมาณ 250 รอบต่อนาที อุณหภูมิของปฏิกิริยาควบคุมโดยใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิของชุดสังเคราะห์พอลิเมอร์อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ 30 องศาเซลเซียส โดยที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใช้สังเคราะห์ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ส่วนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต



ชุดอุปกรณ์สังเคราะห์พอลิเมอร์

ระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำ

รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติ

1.2.2 เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)

เป็นเครื่องรุ่น Perkin-Elmer Model 1600 FT-IR Spectrophotometer ใช้ศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของสาร โดยอาศัยแสงเลเซอร์ฮีเลียม-นีออนกำลังต่ำ ยิ่งผ่านสารตัวอย่าง สามารถวัดช่วงเลขคลื่นได้ตั้งแต่ $7800-100\text{ cm}^{-1}$ ผลิตโดยบริษัท Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา

1.2.3 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบคาปิลลารี (Capillary Rheometer)

เป็นเครื่องมือสำหรับวัดสมบัติการไหลของพอลิเมอร์ ยี่ห้อโรซาน (Rosand) ประกอบด้วย กระบอกใส่ยางที่ควบคุมอุณหภูมิได้ ซึ่งหล่อหุ้มด้วยชุดให้ความร้อน 3 ชุดติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งบนกลาง และล่างของกระบอก โดยด้านล่างของกระบอกจะมีร่องเกลียวที่สามารถติดเข้ากับหัวตายขนาดเล็กเป็นท่อคาปิลลารีโดยในการทดลองนี้ใช้ตายที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ยาว 32 มิลลิเมตร

มีมุมไหลเข้า 90 องศา กำหนดค่าอัตราการเฉือนอยู่ในช่วง $10-1780 \text{ s}^{-1}$ อุณหภูมิทดสอบเท่ากับ 190 องศาเซลเซียส

1.2.4 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบแผ่นหมุน (Oscillating Disk Rheometer, ODR)

เป็นเครื่องรุ่น ODR 2000 ผลิตโดยบริษัท Monsanto ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเครื่องมือสำหรับใช้หาสมบัติรีโวลคาไนซ์ของยาง ประกอบด้วยโรเตอร์ (rotor) หมุนทำมุม 1 องศา กลับไปกลับมากตามแนวแกนตั้งด้วยความถี่คงที่ โรเตอร์มีลักษณะเป็นจานโลหะรูปกรวยป้านสองด้านประกบกัน (Biconical disk) ลักษณะการทำงานแสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงบิดต่อเวลาที่เปลี่ยนไป

1.2.5 เครื่องมูนนี่วิสโคมิเตอร์ (Mooney Viscomete)

เป็นเครื่องรุ่น Mooney 2000 ผลิตโดยบริษัท Tech-Pro ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเครื่องมือที่วัดความหนืดมูนนี่ของยาง ประกอบด้วยจานโลหะขนาดใหญ่เส้นผ่าศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตรกับจานขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 28 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร ผิวของจานโลหะจะเซาะเป็นร่องป้องกันการไหลเลื้อยระหว่างจานกับยางหมุนอยู่ในห้องใส่ยางภายใต้อุณหภูมิและความดันที่ได้กำหนดไว้ วัดแรงบิดที่เกิดขึ้นจากการหมุนของจานโลหะในยาง ด้วยความถี่คงที่ 2 รอบต่อนาที

1.2.6 เครื่องบราเบนเดอร์ พลาสติคอร์ดเดอร์ (Brabender Plasticorder)

เป็นเครื่องผสมแบบปิดขนาดเล็กรุ่น PLE 331 ผลิตโดยบริษัท Brabender OHG Duisburg ประเทศเยอรมัน ติดตั้งหัววัดที่เป็นโรเตอร์แบบ camblades N 50 AU 4 ปีก 2 โรเตอร์หมุนเข้าหากันทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างโรเตอร์ที่กำลังหมุนกับสารที่อยู่ในห้องเลื้อ ความเร็วของโรเตอร์สามารถปรับได้ตามต้องการ ปริมาตรห้องผสมของเครื่องประมาณ 80 มิลลิลิตร สามารถวัดและบันทึกกราฟระหว่างทอร์กกับเวลาและอุณหภูมิกับเวลา สามารถควบคุมอุณหภูมิของห้องเลื้อให้คงที่ได้ โดยใช้น้ำมันเป็นตัวรับและถ่ายเทความร้อน

1.2.7 เครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก (Plastic Injection Moulding Machine)

เป็นเครื่องใช้สำหรับฉีดขึ้นทดสอบ เป็นเครื่องฉีดที่มีชุดฉีดวางตัวในแนวนอน (Horizontal Injection Moulding Machine) รุ่น TII-90F ขนาด 90 ตัน ผลิตโดยบริษัท Welltec Machinery ประเทศจีน

1.2.8 เครื่องอัดแป้งไฮโดรลิก (Compression Moulding Machine)

เป็นเครื่องอัดแป้งไฮโดรลิกแบบสองชั้น ผลิตโดย ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชัยเจริญการช่าง จำกัด

1.2.9 เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two Rolls Mill)

ใช้สำหรับบดผสมยางคอมเพาวด์สำหรับเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ลูกกลิ้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาว 15 นิ้ว อัตราความเร็วของลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลัง (Friction ratio) เท่ากับ 1/1.35 ผลิตโดย หจก. ชัยเจริญการช่าง

1.2.10 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensometer)

เป็นเครื่องยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H 10KS ผลิตโดยบริษัท Hounsfield Test Equipment ประเทศอังกฤษ ใช้สำหรับวัดแรงกดหรือแรงดึง ตัวเครื่องประกอบด้วยหัวจับขึ้นทดสอบด้านบนและล่าง มี load cell ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากค่าแรงที่ได้ผ่านวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นค่าแรงดึงหรือแรงกดในหน่วยนิวตัน รับแรงได้สูงสุด 10kN สามารถตั้งความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ตั้งแต่ 0.01 ถึง 1000 มิลลิเมตรต่อวินาที

1.2.11 เครื่องวัดความแข็ง (Hardness Testers)

เป็นเครื่องวัดความแข็งแบบ Durometer ประเภท Shore A ใช้สำหรับวัดลักษณะเข็มเป็นประเภทกรวยหัวตัด (Frustum cone) ผลิตโดยบริษัท Brevelli AFTRI ประเทศอิตาลี

1.2.12 เครื่อง Dynamic Mechanical Analyzer Series 7 (DMA7)

เป็นเครื่องทดสอบสมบัติพลวัตเชิงกลของพอลิเมอร์ ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ 3 ส่วน ได้แก่ คอมพิวเตอร์, DMA7 Analyzer และ TAC7 (Temperature Analyzer Control) ควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ใช้ software UNIX เป็นการวัดสมบัติทางเชิงกลของวัสดุในขณะที่เกิดการผิดรูปภายใต้แรงกระทำที่มีลักษณะเป็นคาบ (periodic forces)

1.2.13 เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA)

เป็นเครื่องรุ่น TGA-50 ชนิดนอนไอโซเทอร์มอล (non-isothermal) โดยเป็นการศึกษาน้ำหนักที่เปลี่ยนไปของวัสดุเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามเวลาในบรรยากาศที่ควบคุมได้ อันเป็นผลมาจากปฏิกิริยาดังเช่น ปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (dehydration) การสลายตัว (decomposition) ออกซิเดชัน (oxidation) การระเหย (evaporation) และการดูดกลืน (absorption) ผลิตโดยบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น

1.2.14 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy , SEM)

เป็นเครื่องยี่ห้อ Leo รุ่น 145 VP ผลิตในประเทศอังกฤษ ใช้ศึกษาสมบัติด้านสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์เบลนด์ มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ห้องใส่ตัวอย่าง ซึ่งเป็นห้องสุญญากาศ และตัวปล่อยลำแสงอิเล็กตรอน

1.2.15 เครื่องทดสอบการบ่มเร่ง (Multicell Ageing Chamber)

เป็นเตาอบบ่มเร่งชนิด Cell type ของบริษัท Wallace ประเทศอังกฤษ ซึ่งมีเซลล์หรือช่องใส่ยาง 7 ช่องด้วยกัน โดยเซลล์ตั้งตรงสูงไม่ต่ำกว่า 30 เซนติเมตร เซลล์จะล้อมรอบด้วยวัสดุที่ถ่ายเทความร้อนได้ดี การวางตัวอย่างในเซลล์ต้องห่างจากผนังเซลล์อย่างน้อยที่สุด 1 เซนติเมตร อุปกรณ์ที่ใช้แขวนตัวอย่างเป็นอะลูมิเนียม

1.2.16 เครื่องวัดความสามารถในการต่อต้านการติดไฟ

เป็นเครื่องมือที่ผลิตขึ้นตามมาตรฐาน ISO 3582-1978 (E) ผลิตโดย เจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคนิค ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยียาง มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประกอบด้วย ห้องทดสอบ (test chamber) ตะเกียง(burner) ตะแกรง (graze) และตัวยึดตะแกรง (support graze holder) แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องวัดความสามารถในการต่อต้านการติดไฟ

1.2.17 เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

เป็นเครื่องวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของพอลิเมอร์ เป็นเครื่องรุ่น Unity Inova 500 MHz ผลิตโดยบริษัท Varian เครื่องมือประกอบด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (NMR 500 MHz) ซึ่งเป็นตัวผลิตสนามแม่เหล็กขนาด 11.74 เทสลา และ CONSOLE ซึ่งเป็นตัวผลิตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่วิทยุ แล้วส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังสารที่บรรจุอยู่ใน probe เพื่อให้สารเกิดการเรโซแนนซ์ ภายในเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ probe จะมีรูที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร สำหรับใส่ตัวอย่าง โดยที่ probe จะมีตัวตรวจวัดสัญญาณติดอยู่ หลังจากนั้นสัญญาณที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปยัง CONSOLE อีกครั้งหนึ่งเพื่อประมวลสัญญาณที่ปล่อยออกมาและส่งสัญญาณไปยังคอมพิวเตอร์

1.3 วิธีการทดลอง

1.3.1 การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized Natural Rubber, ENR)

เตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ โดยวิธีเปอร์ฟอร์มิกอีพอกซิเดชัน (performic epoxidation) โดยนำน้ำยางข้นแอมโมเนียสูง (High ammonia (HA) concentrated latex) มาเจือจางให้มีปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC) 20% เติมสบู่ชนิดนอนอิออนิก (Terric N30) เพื่อให้อนุภาคน้ำยางเสถียร กวนของผสมเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 50°C หลังจากนั้นเติมกรดฟอร์มิกอย่างช้าๆ แล้วเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นลำดับสุดท้าย ปริมาณสารเคมีที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 1 ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยา โดยในชั่วโมงแรกเก็บตัวอย่างทุก 15 นาที หลังจากนั้นเก็บทุก 1 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ โดยนำตัวอย่างที่เก็บมาจับตัวด้วยเมทานอล หลังจากนั้นนำไปรีดให้เป็นแผ่นบางๆ ล้างน้ำให้สะอาดเพื่อขจัดเอาสารเคมีที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาออก นำไปอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

นำตัวอย่างที่แห้งแล้วประมาณ 1 กรัม มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ละลายในคลอโรฟอร์ม จนได้เป็นของเหลวหนืด นำไปทาบนเซลล์โพแทสเซียมโบรไมด์ให้เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ แล้วอบที่อุณหภูมิ 50°C จนกระทั่งตัวทำละลายระเหยหมด แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ โดยใช้เครื่อง FT-IR คำนวณหาปริมาณหมู่อีพอกไซด์โดยใช้กราฟมาตรฐานของ Davey and Loadman (1984)

ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์

สารเคมี	ความเข้มข้น
NR (Mol. Repeating unit of NR)	1.7
Formic acid (M)	0.9
Hydrogen Peroxide (M)	2.6
10% w/w Terric N30 (g/l)	13

1.3.2 การเตรียมยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต (Dibutyl phosphate Supported Natural Rubber, DSNR)

เลือกใช้น้ำยาง ENR ที่มีหมู่อีพอกไซด์ 20 mole % epoxide (ENR-20) การทดลองเริ่มต้นจากการเตรียมน้ำยาง ENR-20 ตามวิธีการทดลองในข้อ 1.3.1 โดยเตรียมที่อุณหภูมิ 50°C ใช้เวลาของการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 10 นาที หลังจากนั้นลดอุณหภูมิเป็น 30°C แล้วหยดไดบิวทิลฟอสเฟต (DBP) อย่างช้า ด้วยอัตราคงที่ โดยใช้อัตราส่วนความเข้มข้นของ $[\text{DBP}]/[\text{epoxidized units}] = 1$ ทำปฏิกิริยาต่อหลังจากหยดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วจับตัวด้วยเมทานอล ล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆครั้ง จากนั้นนำไปอบด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างด้วย FTIR และ $^1\text{H-NMR}$

1.3.3 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของยาง ENR-20/EVA และ DSNR/EVA

น้ำยาง ENR-20 และ ยาง DSNR มาเบลนด์กับ EVA โดยใช้เครื่องผสมบราเวนเดอร์ พลาสติคอร์เดอร์ ทำการผสมที่อุณหภูมิ 160°C ความเร็วโรเตอร์ 60 rpm มีลำดับการผสม ดังนี้

- เติมน้ำยาง EVA ในห้องผสม เดินเครื่อง 2 นาที
- ใส่ยาง (แปรอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ ENR-20/EVA หรือ DSNR/EVA เท่ากับ 75/25, 60/40, 50/50 และ 40/60) เดินเครื่องต่อไปอีก 3 นาที แล้วเอาออก
- บันทึกค่าทอร์กของการผสม
- นำพอลิเมอร์เบลนด์ที่ได้ไปบดให้มีขนาดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก
- ทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติการไหล สมบัติพลวัตเชิงกล และสมบัติด้านความร้อน และ สัณฐานวิทยา เป็นต้น

1.3.4 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาร์ไนซ์ของยาง ENR-20/EVA และ DSNR/EVA

เตรียมยางคอมปาวด์ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR-20) และยาง DSNR ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ปริมาณสารเคมีที่ใช้แสดงดังตารางที่ 2 ทำการผสมยางและสารเคมีโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งขนาด 6 นิ้ว ควบคุมอุณหภูมิขณะผสมประมาณ 50 องศาเซลเซียส ขั้นตอนการผสมมีดังนี้คือ

- บดยาง 5 นาที แล้วเติมน้ำมันบดต่อ 2 นาที
- ใส่ ZnO บด 1 นาที
- ใส่กรดสเตียริก บด 1 นาที
- ใส่ Wingstay L บด 1 นาที
- ใส่ TBBS บด 1 นาที
- ใส่กำมะถันเป็นลำดับสุดท้าย บดนาน 2 นาที หลังจากนั้นนำผ่านลูกกลิ้ง 10 ครั้ง

หลังจากนั้นนำคอมปาวด์มาเบลนดกับ EVA ที่อัตราส่วนของ ENR-20/EVA หรือ DSNR/EVA เท่ากับ 75/25, 60/40, 50/50 และ 40/60 โดยการผสมจะผสมในเครื่องบราเวนเดอร์ พลาสติกคอร์เดอร์ ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ความเร็วโรเตอร์เท่ากับ 60 รอบต่อนาที บด EVA นาน 2 นาที แล้วผสมยางคอมปาวด์ บดจนค่าทอร์คของการผสมคงที่แล้วมีแนวโน้มลดลง นำวัสดุที่ได้ออกจากห้องผสม ทิ้งให้เย็นแล้วบดด้วยเครื่องบดพลาสติก ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติก แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงฟิสิกส์

ตารางที่ 2 สารเคมีที่ใช้ในการคอมปาวด์ยาง ENR-20 และ DSNR

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)
ยาง (ENR-20/DSNR)	100
Oil (Deoflow S)	15
ZnO	5.0
Stearic Acid	2.5
TBBS	0.5
Wingstay L	1.0
Sulphur	2.0

1.3.5 การศึกษาสมบัติทางรีโอโลยี

ทำการทดสอบสมบัติทางรีโอโลยีของยาง ENR-20, DSNR พอลิเมอร์เบลนด์ของ ENR-20/EVA และ DSNR/EVA ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบคาปิลลารี (Single bore Rosand capillary rheometer) ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส โดยตั้งค่าอัตราการเฉือน (shear rate) ในช่วง $10-1780 \text{ s}^{-1}$ ขนาดตายที่ใช้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ความยาว 32 มิลลิเมตร และมีมุมไหลเข้า 90 องศา การทดสอบจะเปรียบเทียบสมบัติทางรีโอโลยีของพอลิเมอร์เบลนด์และเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ ENR-20/EVA และ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ ในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเฉือน (shear rate) กับความเค้นเฉือน (shear stress) และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเฉือน (shear rate) กับความหนืดเฉือน (shear viscosity)

1.3.6 การศึกษาสมบัติทางสัณฐานวิทยา (Morphological properties)

ทำการทดสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์เบลนด์และเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ ENR-20/EVA และ DSNR/EVA โดยการนำชิ้นตัวอย่างแช่ในไนโตรเจนเหลว แล้วทำให้ผิวตัวอย่างแตกหักเพื่อให้เกิดผิวหน้าใหม่ จากนั้นนำไปสกัดเอาเฟสพลาสติกออกด้วยอะซิโตน อบให้แห้งเพื่อไล่ความชื้นแล้วจึงนำไปเคลือบทองภายใต้สุญญากาศ ปล่อก๊าซอาร์กอน (Akron) เข้ามาและปรับกระแสไฟฟ้า ก๊าซอาร์กอนจะเกิดการแตกตัวเป็นอิเล็กตรอนวิ่งไปชนแผ่นทองและลงมาเคลือบที่ชิ้นตัวอย่าง แล้วส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1.3.7 การศึกษาสมบัติด้านความร้อนด้วยเทคนิค TGA

นำชิ้นตัวอย่างของพอลิเมอร์เบลนด์ระหว่าง ENR-20/EVA และ DSNR/EVA ที่แต่ละสัดส่วนการเบลนด์ต่างๆ มาตัดให้มีน้ำหนักไม่เกิน 10 มิลลิกรัม มาทดสอบด้วยเครื่อง TGA โดยการเผาพอลิเมอร์เบลนด์ในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 800 องศาเซลเซียส ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 20 องศาเซลเซียสต่อ นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวและความทนทานต่อความร้อนของพอลิเมอร์

1.3.8 การศึกษาสมบัติพลวัตเชิงกลของพอลิเมอร์เบลนด์ด้วยเครื่อง DMA

ทำการทดสอบสมบัติพลวัตเชิงกลของพอลิเมอร์เบลนด์ระหว่าง ENR-20/EVA และ DSNR/EVA โดยใช้ Temperature/Time scan mode จากอุณหภูมิประมาณ -50 องศาเซลเซียส จนถึง T_g ของพอลิ

เมอร์เบลนด์ ใช้ probe ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ขนาดชิ้นตัวอย่างมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร

1.3.9 การทดสอบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

นำเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ได้หลังจากตัดด้วยเครื่องบดพลาสติกมาขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติกเพื่อเตรียมเป็นชิ้นทดสอบ ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ตั้งชิ้นทดสอบทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบสมบัติต่อไปนี้

1.3.9.1 ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง

ทำการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D412 (2000) โดยใช้ชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบลล์ (dump-bell) ขนาดความยาว 115 มิลลิเมตร กว้าง 6 ± 0.4 มิลลิเมตร หนาไม่ต่ำกว่า 1.5 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ระยะที่ใช้วัด (gauge length) มีระยะห่าง 20 มิลลิเมตร วัดความหนา 3 จุด แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่อง Tensometer ที่อัตราการดึง 500 ± 50 มิลลิเมตรต่อนาที รายงานผลเป็น (N/mm^2 หรือ MPa)

$$\text{Tensile strength (MPa)} = F/A \quad (1)$$

โดยที่

F = แรงที่ใช้ในการดึงจนชิ้นทดสอบขาด (N)

A = พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (mm^2)

1.3.9.2 ทดสอบความสามารถในการยืด

การทดสอบจะทำการทดสอบเหมือนการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงตามหัวข้อ 1.3.9.1 ค่าที่ได้จะวัดโดยการอ่านระยะที่ชิ้นทดสอบสามารถยืดตัวได้จนขาด รายงานผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการยืดตัว

$$\text{Elongation at break (\%)} = 100 \times (L-L_0)/L_0 \quad (2)$$

โดยที่

L = ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนขึ้นทดสอบเมื่อยืดจนขาด (cm)

L_0 = ระยะห่างระหว่างเส้นเริ่มต้นก่อนทำการทดสอบ (cm)

1.3.9.3 ทดสอบความสามารถในการกลับคืนตัว

ทำการทดสอบสมบัติความสามารถในการกลับคืนตัว โดยวัดค่า Tension set ตามมาตรฐาน ASTM D 412 (2000) โดยขึ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบลล์ (dump- bell) ขนาดความยาว 115 มิลลิเมตร กว้าง 6 ± 0.4 มิลลิเมตร หนาไม่ต่ำกว่า 1.5 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ระยะที่ใช้วัด (gauge length) มีระยะห่าง 20 มิลลิเมตร นำขึ้นทดสอบมาใส่ในที่จับ โดยวางยางให้ได้แนวกลางของที่จับเพื่อให้แรงกระจายได้สมดุล ยืดออกด้วยความเร็ว 500 ± 50 มิลลิเมตรต่อวินาที จนยืดออกที่ระยะ 100 เปอร์เซ็นต์ ปลอยให้ยางยืดในระยะนี้เป็นเวลานาน 10 นาที เมื่อครบเวลากำหนด 10 นาทีปลอยขึ้นทดสอบกลับเข้าสู่รูปเดิม และตั้งยางทิ้งไว้ 10 นาที แล้ววัดระยะห่างระหว่างรอยที่ขีดไว้

$$\text{Tension set (\%)} = 100 \times (L - L_0) / L_0 \quad (3)$$

โดยที่

L = ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนขึ้นทดสอบเมื่อยืดทิ้งไว้ 10 นาที (cm)

L_0 = ระยะห่างระหว่างเส้นเริ่มต้นก่อนทำการทดสอบ (cm)

1.3.9.4 การศึกษาความแข็ง (Hardness)

ทำการทดสอบสมบัติด้านความแข็งแบบ Durometer Shore A ตามมาตรฐาน ASTM D2240-97 (2000) โดยขึ้นทดสอบ จะต้องหนาไม่ต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร ตำแหน่งที่วัดต้องห่างจากขอบของชิ้นตัวอย่างไม่ต่ำกว่า 12 มิลลิเมตร

1.3.9.5 การทดสอบความต้านทานต่อตัวทำละลาย (Solvent resistance)

ทำการทดสอบความต้านทานต่อตัวทำละลาย (Solvent resistance) ในสารผสมระหว่างไอโซออกเทนกับโทลูอีนในอัตราส่วน 50/50 น้ำมันดีเซล และน้ำมันเครื่อง 4 จังหวะ โดยการทดสอบการบวมพอง (Swelling test) ซึ่งจะทำตามมาตรฐาน ASTM D471 (2000) โดยนำขึ้นทดสอบมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้มีความกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร มีความหนาประมาณ 2

มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักขึ้นทดสอบละเอียด 0.0001 กรัม แช่ในตัวทำละลาย 50 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุอยู่ในขวดรูปชมพูปิดภาชนะให้มิดชิด เป็นเวลา 166 ชั่วโมง จึงนำขึ้นทดสอบมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

$$\text{Swelling (\%)} = \frac{W_s - W_o}{W_o} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่

W_s คือ น้ำหนักของขึ้นทดสอบหลังจากแช่ในตัวทำละลาย (กรัม)

W_o คือ น้ำหนักของขึ้นทดสอบก่อนแช่ในตัวทำละลาย (กรัม)

1.3.10 การทดสอบสมบัติทนไฟ

การทดสอบการทนไฟทำตามมาตรฐาน ISO 3582-1978 (E) นำเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติก มาทำการทดสอบการทนไฟ มีขั้นตอนดังนี้

1. ปรับสภาพขึ้นทดสอบ โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 27 °C ความชื้น 65%
2. ทำเครื่องหมายที่ผิวส่วนบนสุดของขึ้นทดสอบ โดยให้ส่วนที่ไกลสุดจากรอยเครื่องหมายของขึ้นทดสอบ สัมผัสกับด้านยกขอบที่สูงของตะแกรง ด้านยาวของขึ้นทดสอบวางขนานกับตะแกรง
3. ปรับระดับของเปลวไฟ จนได้เปลวไฟสีน้ำเงิน ปิดประตูห้องทดสอบและปิดประตูของตู้ควัน
4. เผาเป็นเวลา 60 วินาที แล้วปิดไฟ
5. จับเวลาที่เปลวไฟบนขึ้นทดสอบเกิดการลุกไหม้จนดับ ทำรอยเครื่องหมายตำแหน่งที่ไฟลามไปถึง แล้วบันทึกเวลาในหน่วยวินาที (tb)
6. วัดและบันทึกระยะที่เผาไหม้ (มีค่าเท่ากับความยาวของขึ้นทดสอบเริ่มต้นลบระยะทางที่ไม่ไหม้ไปยังรอยไหม้ที่ใกล้ที่สุด คัดจากระยะผิวบนสุดของขึ้นทดสอบ)

รายงานผลเป็นอัตราการเผาไหม้ (burning rate) ในหน่วยมิลลิเมตรต่อวินาที

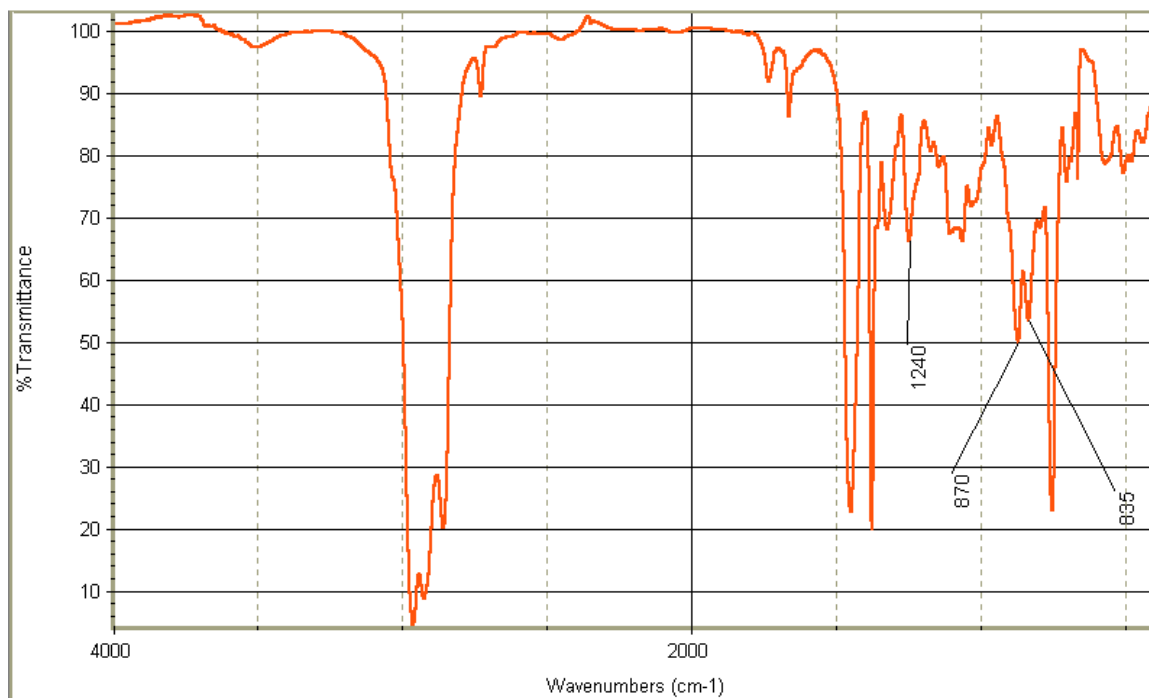
$$\text{burning rate} = \text{ระยะที่เผาไหม้} / t_b \quad (5)$$

2. ผลการทดลองและวิจารณ์

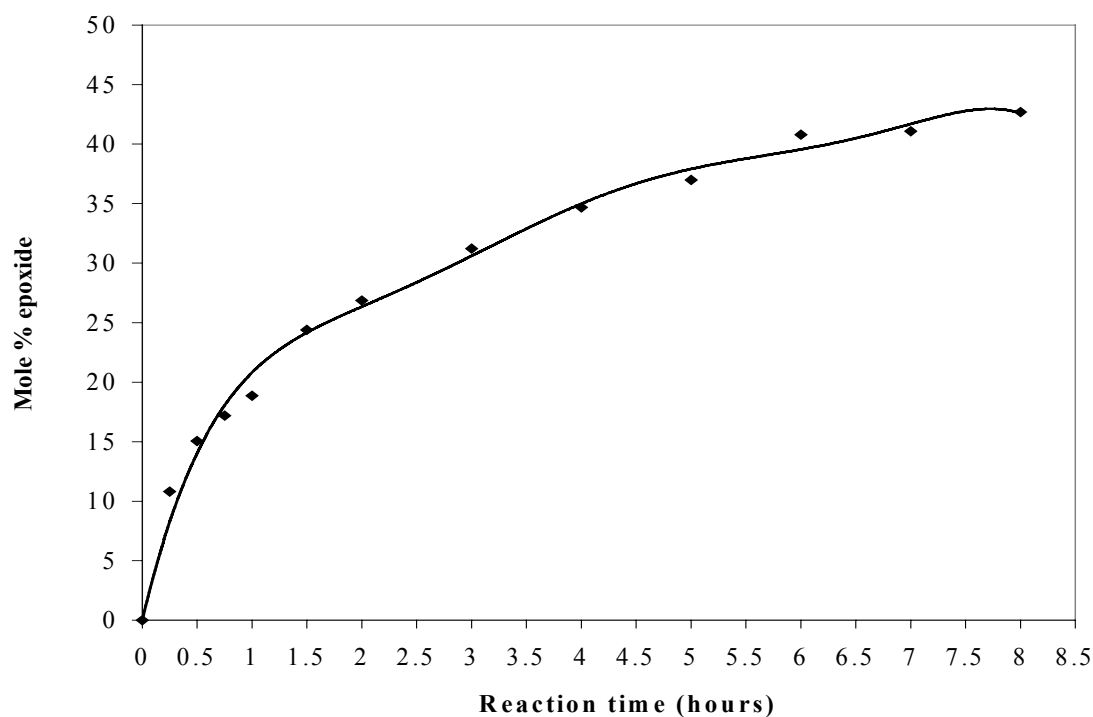
2.1 การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized Natural Rubber, ENR)

เตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ โดยวิธีเปอร์ฟอร์มิกอีพอกซิเดชัน (performic epoxidation) โดยใช้ น้ำยางข้นแอมโมเนียสูง กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามวิธีการในหัวข้อที่ 1.3.1

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ได้สเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ดังรูปที่ 3 พบพีคที่แสดงลักษณะเฉพาะของหมู่อีพอกไซด์ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 และ 1140 cm^{-1} แสดงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของยางธรรมชาติเป็น ENR ทำการคำนวณอัตราส่วนความสูงของพีคอินฟราเรด (Absorbance ratio) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 cm^{-1} กับพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น 835 cm^{-1} [แสดงถึงการมี out-of-plane bending ของพันธะ C-H ที่เกาะกับ C = C ของ (cis-1,4-polyisoprene)] ซึ่งสามารถนำคำนวณหาปริมาณหมู่อีพอกไซด์ โดยเทียบค่า absorbance ratio ที่ได้กับกราฟมาตรฐาน (Davey and Loadman, 1984) ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4



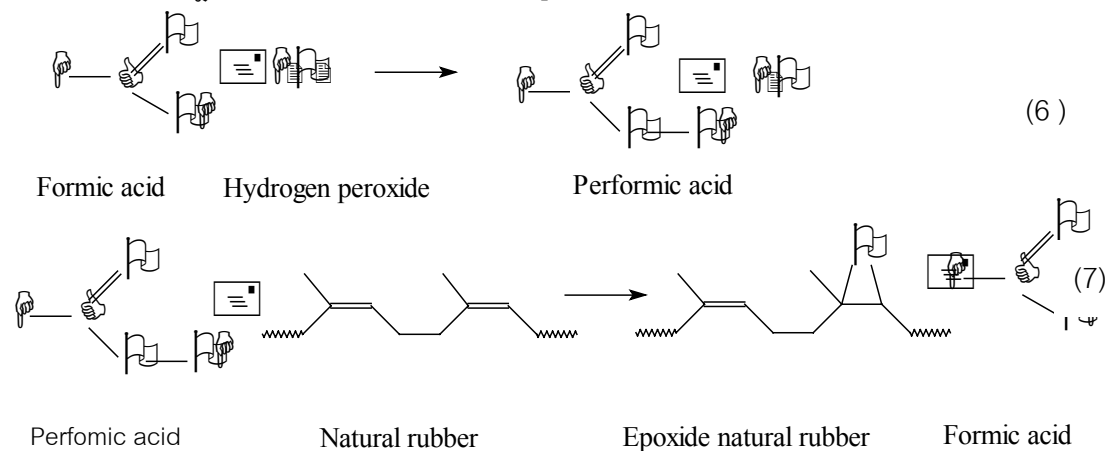
รูปที่ 3 สเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เวลาของการทำปฏิกิริยา 9 ชั่วโมง



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหมู่อีพอกไซด์กับเวลาของการทำปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาอีพอกไซด์ขึ้น ทำให้เกิดปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในโมเลกุลยางธรรมชาติสูงขึ้น ในตอนเริ่มต้นปฏิกิริยาเตรียมกรดเปอร์ฟอร์มิกจากปฏิกิริยาของกรดฟอร์มิคกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และผลพลอยได้ คือ น้ำ ดังแสดงในปฏิกิริยาที่ (1) กรดฟอร์มิกที่เกิดขึ้น

ทำปฏิกิริยากับโมเลกุล NR ที่ตำแหน่งพันธะคู่ของ *cis*-1,4-polyisoprene ทำให้เกิดวงแหวนอีพอกไซด์ตลอดแนวโมเลกุลของ NR และได้กรดฟอร์มิกเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยา (ปฏิกิริยาที่ 2) กรดฟอร์มิกที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เติมมากเกินไป ทำให้เกิดวัฏจักรใหม่ของปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องจนกว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปฏิกิริยาจะหมด ดังนั้นเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นทำให้ปริมาณหมู่อีพอกไซด์เพิ่มขึ้น



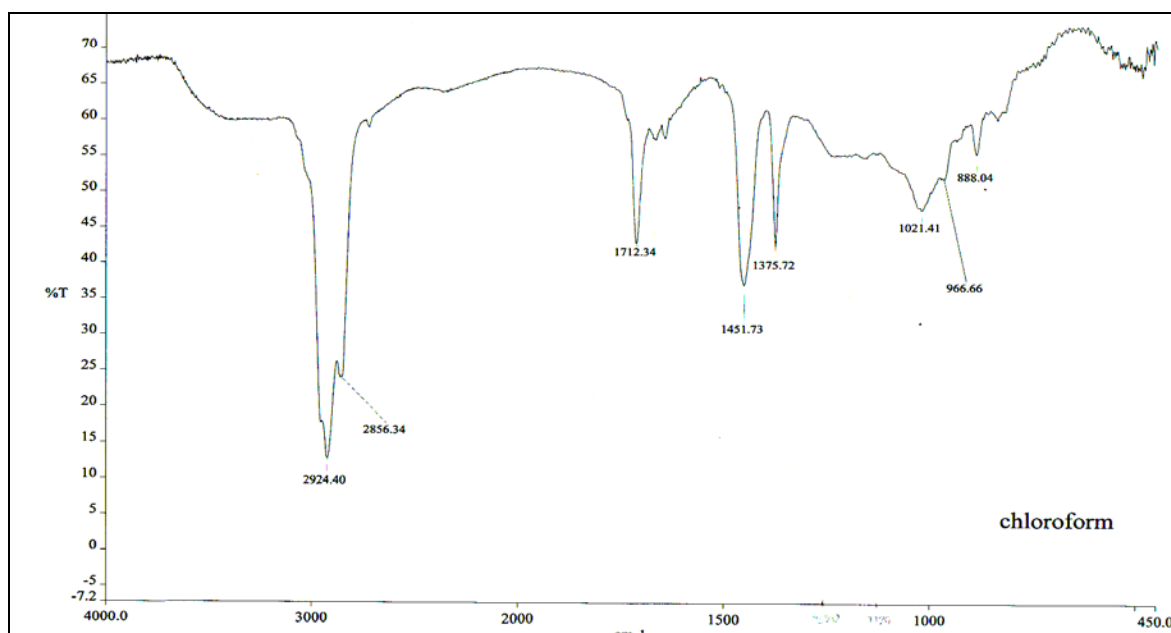
2.2 การเตรียมยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต

(Dibutyl phosphate Supported Natural Rubber, DSNR)

เลือกใช้น้ำยาง ENR ที่มีหมู่อีพอกไซด์ 20 mole % epoxide (ENR-20) การทดลองเริ่มต้นจากการเตรียมน้ำยาง ENR-20 ตามวิธีการทดลองในข้อ 1.3.1 โดยเตรียมที่อุณหภูมิ 50°C ใช้เวลาของการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 10 นาที หลังจากนั้นลดอุณหภูมิเป็น 30°C แล้วหยดไดบิวทิลฟอสเฟต (DBP) อย่างช้า ด้วยอัตราคงที่ โดยใช้วิธีการดังวิธีการทดลอง ในหัวข้อ 1.3.2

2.2.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

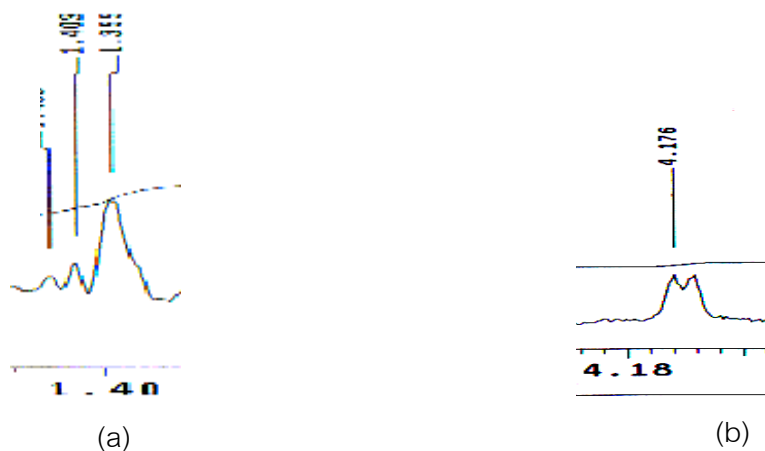
ผลการวิเคราะห์ยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟตด้วยเครื่อง FT-IR ได้สเปกตรัมอินฟราเรด ซึ่งมีลักษณะสเปกตรัมดังรูปที่ 5 พบพีคที่แสดงลักษณะเฉพาะการสั่นแบบยืดของพันธะ -C-O-P- ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1021 cm^{-1} แสดงว่ามีส่วนโมเลกุลของ DBP เกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลยาง ENR นอกจากนี้พบแถบการดูดกลืนของหมู่อื่นๆ เช่น แถบการดูดกลืนของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3600-3200 cm^{-1} และหมู่เอเทอร์ (-O-) ที่ 1800-1650 cm^{-1} เป็นต้น



รูปที่ 5 สเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต

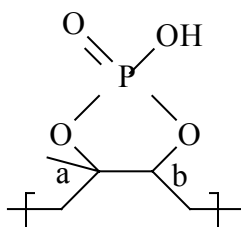
2.2.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโคปี

วิเคราะห์หาลักษณะโครงสร้างของยางที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วย $^1\text{H-NMR}$ โดยละลายตัวอย่างใน CDCl_3 แล้วทดสอบด้วยเครื่อง NMR ที่ใช้ความเข้มสนามแม่เหล็ก 11.74 เทสลา ภายใต้ความถี่คลื่นวิทยุ 500 MHz โดยวัดตำแหน่งสัญญาณที่เกิดขึ้น ใช้ตำแหน่งสัญญาณของโปรตอนใน Tetramethyl silane (TMS) เป็นตัวอ้างอิง ได้สเปกตรัมส่วนที่สำคัญแสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งปรากฏตำแหน่ง chemical shift (δ) ที่ตำแหน่งสำคัญ คือการเกิดเรโซแนนซ์ที่ตำแหน่ง chemical shift ที่ 1.40 ppm เป็นแบบพีกเดี่ยว และที่ 4.18 ppm เป็นพีกคู่



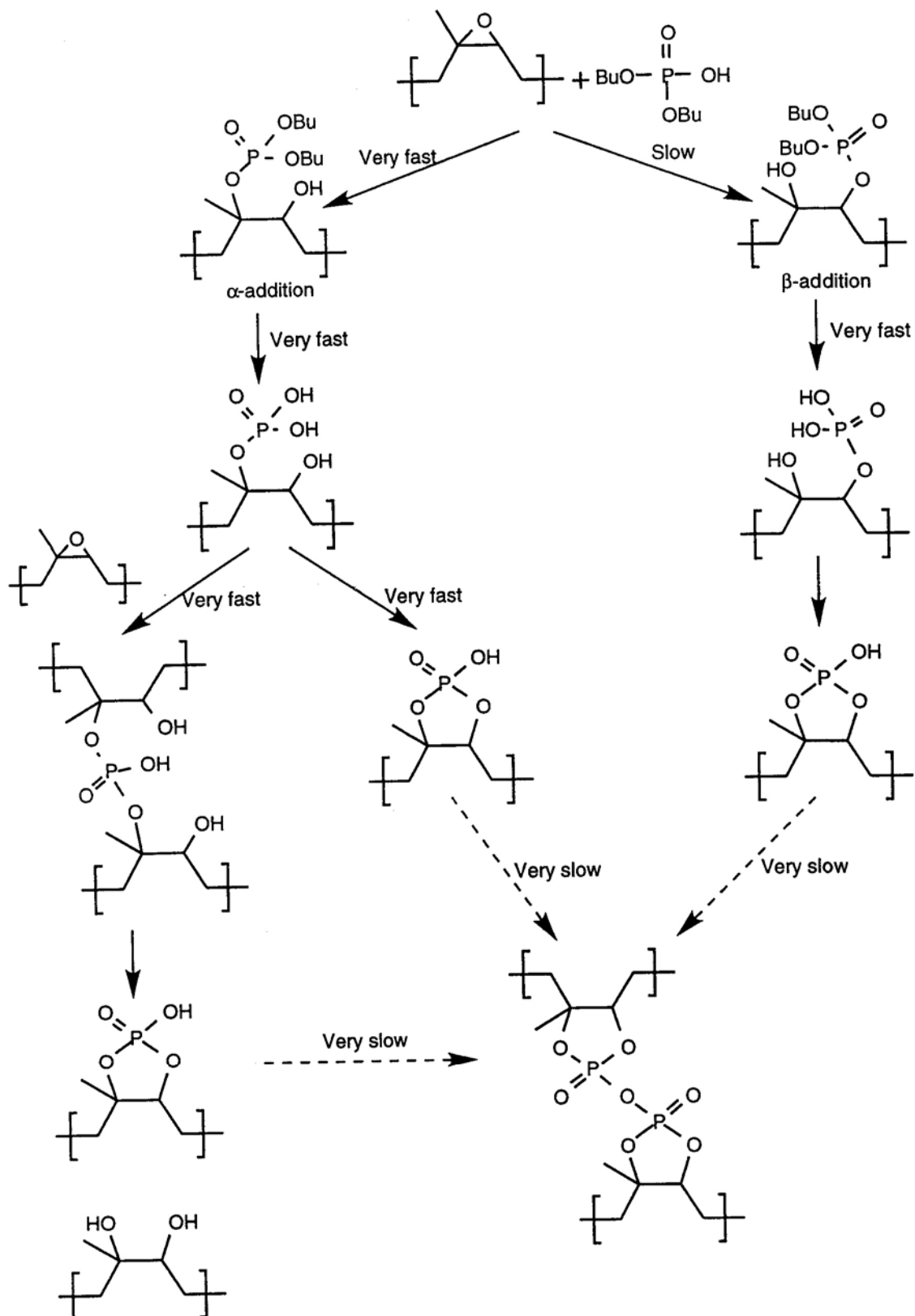
รูปที่ 6 $^1\text{H-NMR}$ spectrum ของยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต 2 ตำแหน่งที่สำคัญ

ดังนั้นจาก สเปกตรัม NMR พบว่าที่ตำแหน่ง 1.40 ppm เป็นการเกิดเรโซแนนซ์ของโปรตอน ที่ตำแหน่งที่ตำแหน่งอัลฟา (a) ของโครงสร้างในรูปที่ 7 ส่วนที่ตำแหน่ง chemical shift ที่ 4.18 ppm เป็นการเกิดเรโซแนนซ์ของโปรตอนตำแหน่งเบต้า (b) เรียกชื่อโครงสร้างนี้ว่า ไดออกซะฟอสโฟเลน (dioxaphospholane) (Derouet *et al.*, 2003)



รูปที่ 7 โครงสร้างของยางที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วย DBP

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR และ NMR จึงสามารถสรุปกลไกที่เป็นไปได้ของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไดบิวทิลฟอสเฟตกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์ แสดงดังกลไกของปฏิกิริยาในรูปที่ 8 โดยที่หมู่ P-OH ของไดบิวทิลฟอสเฟต จะเข้าทำปฏิกิริยาแบบแทนที่ ในตำแหน่งอัลฟาและเบต้าที่วงแหวนออกซิเรนของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกิดเป็น α หรือ β -hydroxyphosphate และจะเปลี่ยนไปเป็นไดออกซะฟอสโฟเลนในตอนสุดท้ายของปฏิกิริยา



รูปที่ 8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไดบิวทิลฟอสเฟตกับน้ำยางธรรมชาติอพกไซด์
(Derouet *et al.*, 2003)

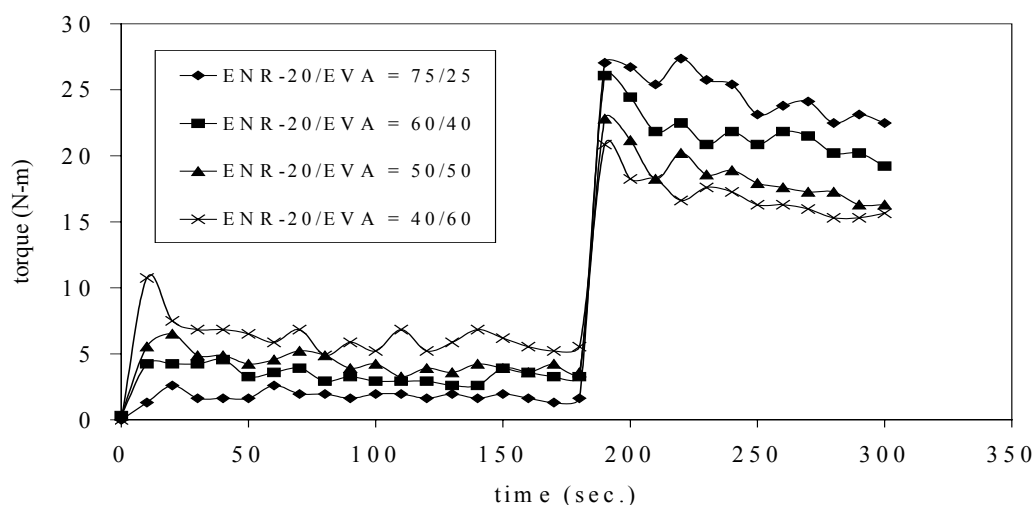
2.3 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์

2.3.1 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของยาง ENR-20/EVA

ทำการเบลนด์ ENR-20/EVA ที่อุณหภูมิ 160°C ความเร็วโรเตอร์ 60 rpm มีกระบวนการดังอธิบายในหัวข้อ 1.3.3

2.3.1.1 ค่าทอร์กของการเบลนด์

เปรียบเทียบค่าทอร์กในการการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ ได้ผลดังรูปที่ 9 ซึ่งพบว่าค่าทอร์กสูงสุดและค่าทอร์กสุดท้ายของการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของยางในพอลิเมอร์เบลนด์ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากยาง ENR-20 มีความหนืดสูงกว่า EVA (รูปที่ 11) ดังนั้นเมื่อสัดส่วนของยางธรรมชาติอีพอกไซด์เพิ่มขึ้น แรงและทอร์กที่ใช้ในการผสมย่อมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การเพิ่มปริมาณ ENR-20 เป็นการเพิ่มปริมาณของหมู่ที่มีสภาพขั้วซึ่งจะเกิดอันตรกิริยากับหมู่ที่มีสภาพขั้วในโมเลกุล EVA ได้มากขึ้น จึงทำให้การบิดของโรเตอร์ต้องใช้พลังงานมากขึ้น

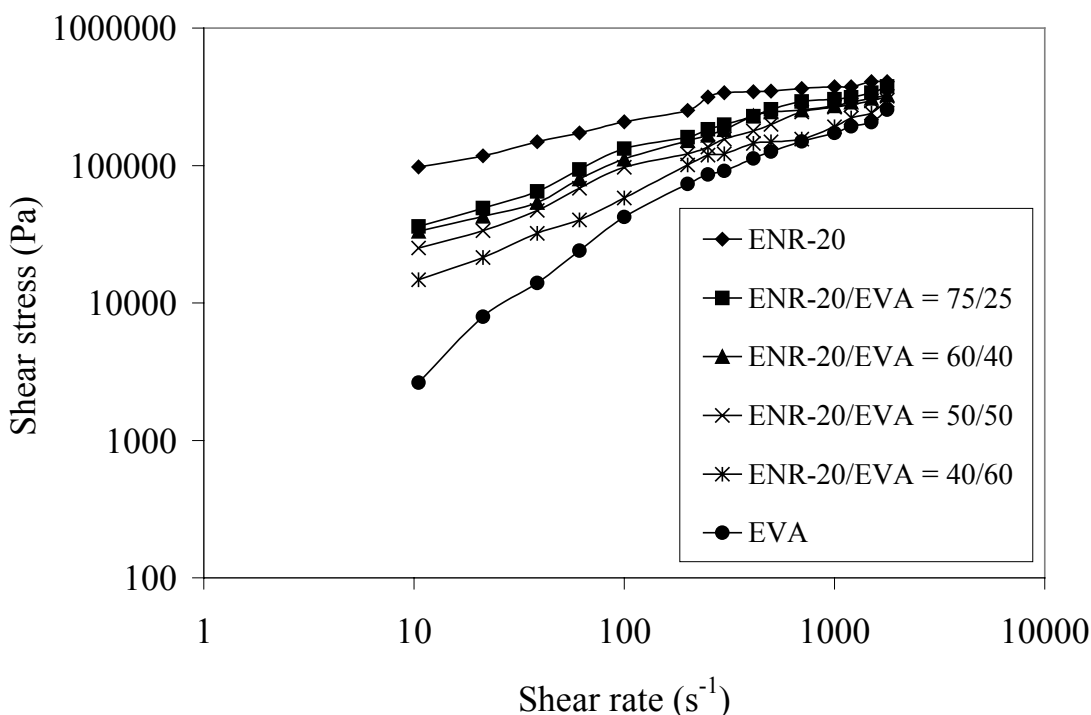


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาของการผสมในการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ

2.3.1.2 สมบัติทางรีโอโลยี

ทำการทดสอบสมบัติทางรีโอโลยีของพอลิเมอร์เบลนด์ ENR-20/EVA เปรียบเทียบกับยาง ENR-20 และ EVA โดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์แบบคาปิลลารี โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 190°C ตั้งค่าอัตราการเฉือนในช่วง $10\text{--}1780\text{ s}^{-1}$ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเฉือน (shear rate) กับความเค้นเฉือน (shear stress) ที่เรียกว่าเส้นโค้งการไหล (flow curve) ดังรูปที่ 10 พบว่าเส้นโค้งการไหล

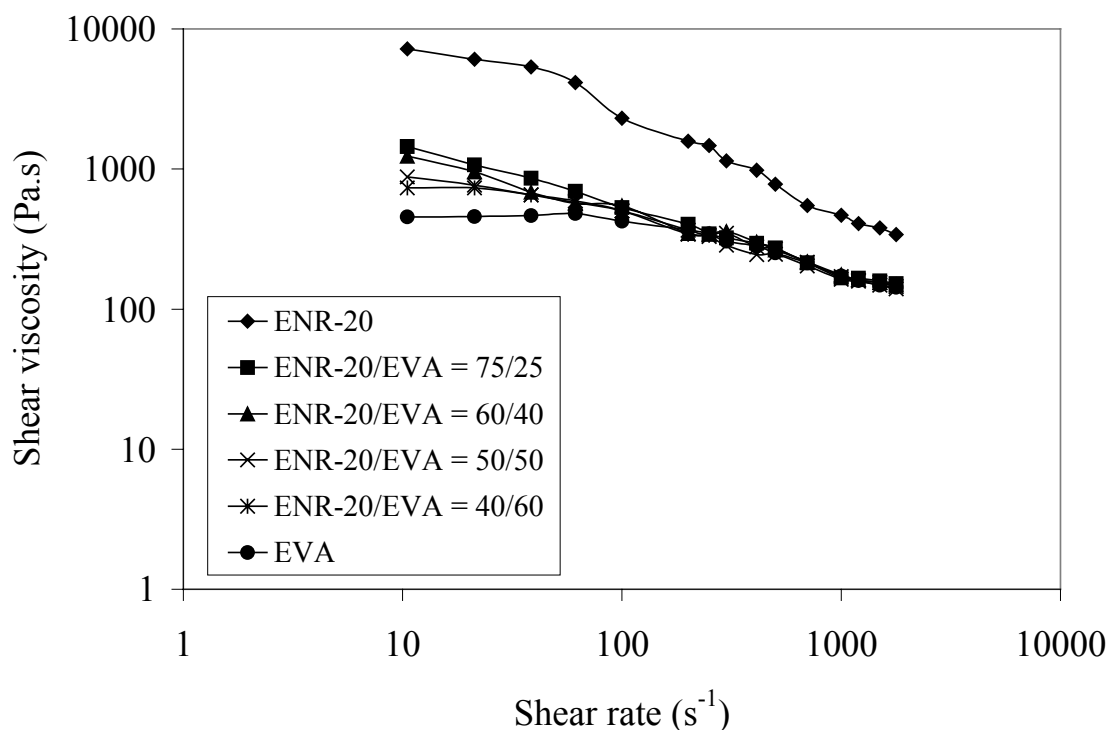
ของยาง ENR-20 มีค่าสูงที่สุด แต่ EVA มีค่าต่ำสุด เส้นโค้งการไหลของพอลิเมอร์เบลนด์อยู่ระหว่างพอลิเมอร์สองชนิดที่นำมาเบลนด์กัน และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติอีพอกไซด์



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของ ENR-20, EVA และ ENR-20/EVA blends

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเฉือนกับความหนืดเฉือน หรือเส้นโค้งความหนืด แสดงดังรูปที่ 11 พบว่าแนวโน้มของเส้นโค้งความหนืดของ ENR-20 มีค่าสูงที่สุด และ EVA มีค่าต่ำสุด ค่าความหนืดเฉือนของพอลิเมอร์เบลนด์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณยางอีพอกไซด์ในทำนองเดียวกับค่าความเค้นเฉือนในรูปที่ 10

โดยทั่วไปสามารถใช้แนวโน้มของเส้นโค้งการไหลหรือเส้นโค้งความหนืดบอกระดับของอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์และพลาสติคที่นำมาเบลนด์กันได้ และตรวจสอบความเข้ากันได้ (blend compatibility) แต่ไม่สามารถประยุกต์ใช้กับกรณีนี้ได้ เนื่องจาก ENR-20 มีความเค้นและความหนืด (ที่อัตราเฉือนเดียวกัน) สูงกว่า EVA มาก จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงเส้นโค้งการไหลและเส้นโค้งความหนืดขึ้นกับปริมาณ ENR-20 ในพอลิเมอร์เบลนด์การเพิ่มปริมาณ ENR-20 จะทำให้ค่าเหล่านี้เพิ่มขึ้นเสมอ ดังนั้นการตรวจสอบความเข้ากันได้จึงจำเป็นต้องทดสอบสมบัติเชิงความร้อน เพื่อวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน (glass transition temperature, T_g) หรือ การศึกษาสัญญาณวิทยาในหัวข้อต่อไป



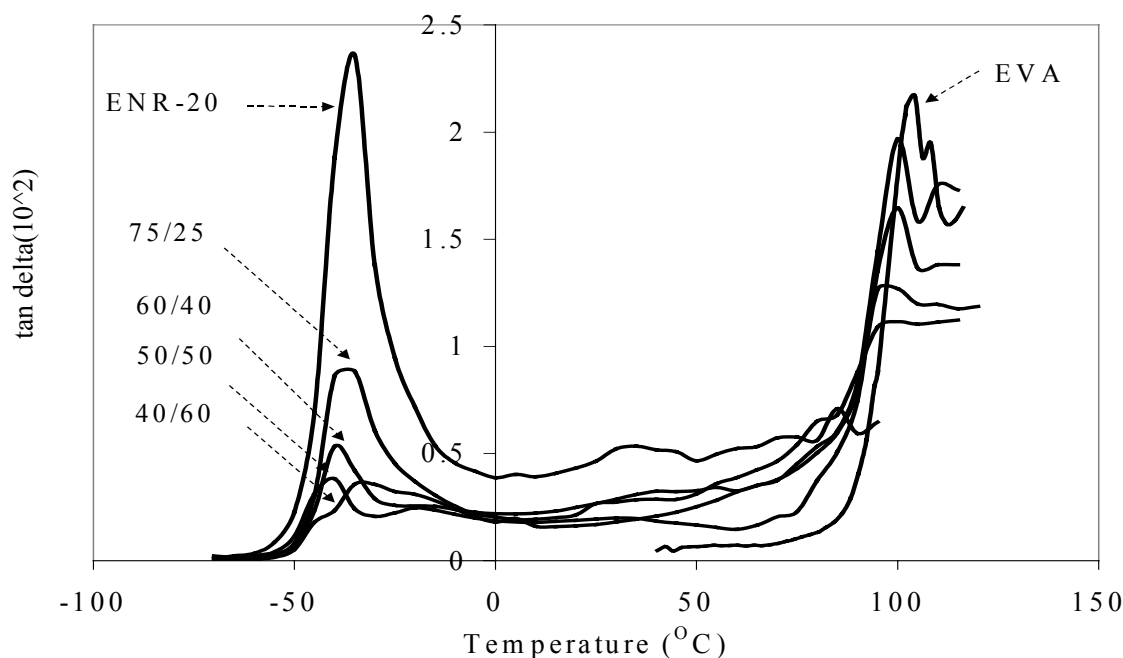
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนของ ENR-20, EVA และพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วนต่างๆ

2.3.1.3 การทดสอบสมบัติพลวัตเชิงกล (Dynamical Properties)

ทำการทดสอบสมบัติพลวัตเชิงกลของ ENR-20, EVA และ พอลิเมอร์เบลนด์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ ด้วยเครื่อง Dynamic Mechanical Analyzer Series 7 (DMA7) ใช้ Temperature scan mode ใช้ไนโตรเจนเหลวในการลดอุณหภูมิจนถึง -70°C แล้วเพิ่มขึ้นในอัตรา 5°C / นาที จนถึง 130°C ได้ผลการทดลองค่าแทนเจนต์สูญเสีย (Loss tangent หรือ $\tan \delta$) ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างโมดูลัสสูญเสีย (loss modulus) ต่อโมดูลัสสะสม (storage modulus) ได้ผลดังรูปที่ 12 ซึ่งพบว่า ENR-20 และ EVA มีพีคของค่า $\tan \delta$ เพียงพีคเดียว ตำแหน่งจุดยอดพีคจะหมายถึงค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว ซึ่งพบว่า ENR-10 และ EVA มีจุดยอดพีคอยู่ที่ -40 และ 104°C ตามลำดับ ส่วนกราฟของพอลิเมอร์เบลนด์มีจุดยอดพีค 2 ตำแหน่ง แสดงว่ามีค่า T_g 2 ค่า คือค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของเฟสยางที่อุณหภูมิต่ำและค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของเฟสพลาสติกที่อุณหภูมิสูง

ตารางที่ 3 สรุปค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว ของพอลิเมอร์เริ่มต้น (ENR-20 และ EVA) และพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งกรณีพอลิเมอร์เบลนด์ค่า T_g สามารถบอกถึงความเข้ากันได้ของการเบลนด์พอลิเมอร์ (blend compatibility) กล่าวคือถ้าหากเฟสทั้งสองสามารถเบลนด์เข้ากันได้ดี (miscible blends) จะปรากฏค่า T_g ค่าเดียว ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างค่า T_g ของพอลิเมอร์ที่นำมาเบลนด์

ทั้งสองชนิด แต่เป็นการเบลนด์ที่เข้ากันได้บางส่วน (partially compatible blends) ค่าอุณหภูมิ คล้ายแก้วของแต่ละเฟสจะมีการเลื่อนเข้าหากัน (phase shift) จากผลการทดลองที่ในรูปที่ 10 พบว่า ค่า T_g ของเฟสพลาสติกมีการเคลื่อนลดลงตามการเพิ่มปริมาณยาง ENR-20 และเฟสยางค่า T_g มีการเคลื่อนไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จึงสรุปว่าพอลิเมอร์เบลนด์ชนิดนี้ (ENR-20/EVA) มีความเข้า กันได้บางส่วน (partially compatible blends)



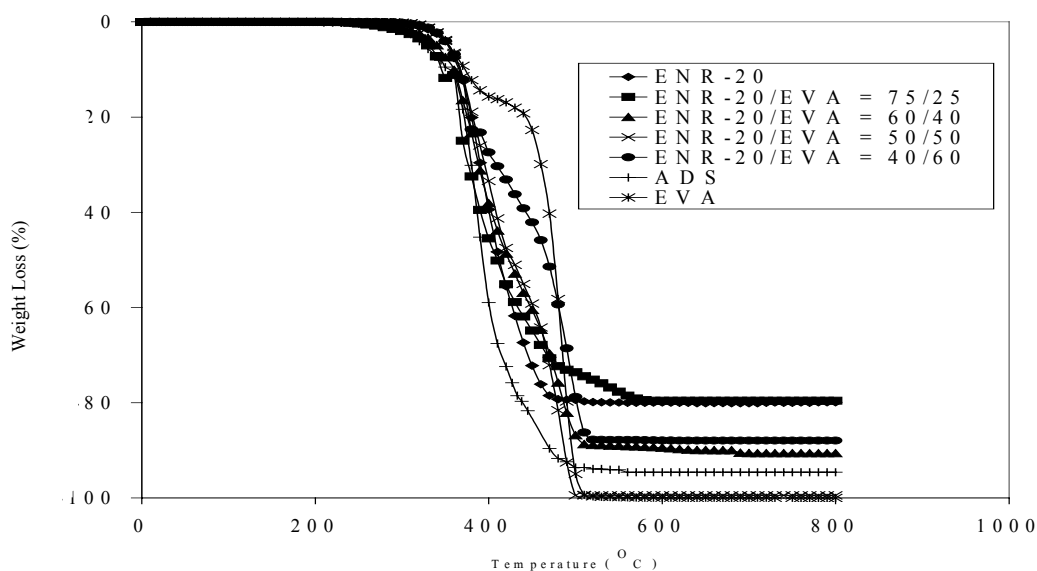
รูปที่ 12 Tan delta ของ ENR-20, EVA และ พอลิเมอร์เบลนด์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตารางที่ 3 ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน

อัตราส่วนการเบลนด์ ENR-20/EVA	อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (°C)	
	ส่วนของยาง	ส่วนของ พลาสติก
100/0 (ENR-20)	-40	-
75/25	-39	95
60/40	-39	95
50/50	-38	99
40/60	-35	100
0/100 (EVA)	-	104

2.3.1.4 การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน

ทำการทดสอบเชิงความร้อนของพอลิเมอร์เบลนด์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับยางแผ่นผึ่งแห้ง (ADS), ENR-20 และ EVA โดยใช้เทคนิค Thermogravimetric analysis (TGA) โดยทดสอบภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ จนถึงอุณหภูมิ 800°C ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 13 สามารถคำนวณหาค่าอุณหภูมิการสลายตัว (decomposition temperature, T_d) จากเทอร์โมแกรม โดยคำนวณอุณหภูมิที่พอลิเมอร์มีอัตราสลายตัว โดยสังเกตจากการลดลงของน้ำหนักสูงที่มีอัตราสูงที่สุด (มักจะได้จากการทำการดิฟเฟอเรนเชียลกราฟของ TGA) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4



รูปที่ 13 เทอร์โมแกรมของยางธรรมชาติ, ENR-20, EVA และพอลิเมอร์เบลนด์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

ตารางที่ 4 ค่าอุณหภูมิการสลายตัว

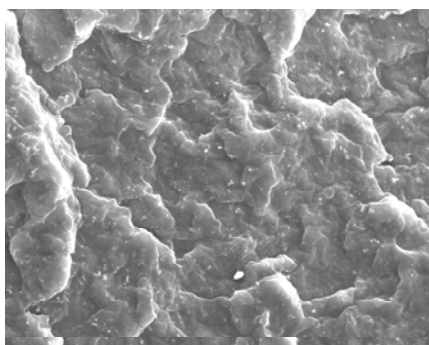
พอลิเมอร์	อุณหภูมิการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$)
ADS	340
ENR-20	350
ENR-20/EVA = 75/25	352
ENR-20/EVA = 60/40	355
ENR-20/EVA = 50/50	358
ENR-20/EVA = 40/60	360
EVA	380

จากรูปที่ 13 และตารางที่ 4 พบว่า EVA มีค่า T_d สูงที่สุด แต่ยาง ADS มีค่า T_d ต่ำที่สุด ส่วนยาง ENR-20 มีค่า T_d สูงกว่า ADS แต่ต่ำกว่า EVA ค่า T_d มักจะเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของโมเลกุล กล่าวคือโมเลกุลที่มีสภาพขั้วมักจะมีอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุล ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสูงทำให้ต้องใช้พลังงานสูงในการทำให้เกิดการสลายตัว ดังนั้นในกรณีนี้ยาง ADS จะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลต่ำจึงทำให้เกิดการสลายตัวได้ง่ายที่สุด

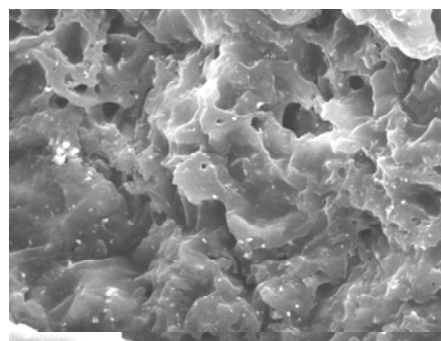
ค่า T_d ของพอลิเมอร์เบลนด์ที่ทุกอัตราส่วนการเบลนด์มีค่าสูงกว่า T_d ของยาง ADS และ ENR-20 เนื่องจากมีส่วนประกอบของ EVA ที่ทนความร้อนสูงกว่า จึงทำให้ค่า T_d ของพอลิเมอร์เบลนด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ EVA

2.3.1.5 สันฐานวิทยาของพอลิเมอร์เบลนด์

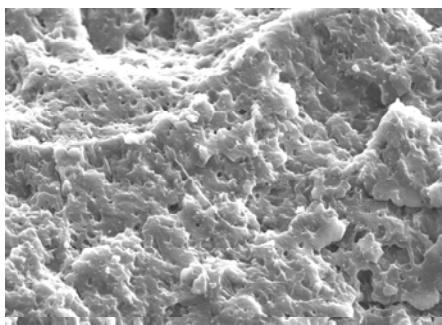
ศึกษาสันฐานวิทยาโดยการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ Leo รุ่น 145 VP ทำการเปรียบเทียบลักษณะทางสันฐานวิทยาที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ เตรียมขึ้นตัวอย่างโดยการนำตัวอย่างแช่ในไนโตรเจนเหลวแล้วทำการหักให้เกิดผิวใหม่ หลังจากนั้นนำไปสกัดเอาพลาสติกออกด้วยอะซิโตน อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40°C เคลือบผิวด้วยทองคำ แล้วนำไปส่องด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 14



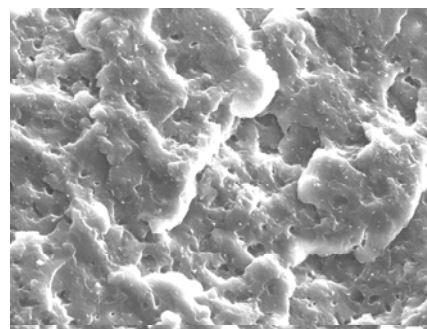
A: ENR-20/EVA = 75/25



B: ENR-20/EVA = 60/40



C: ENR-20/EVA = 50/50



D: ENR-20/EVA = 40/60

รูปที่ 14 สันฐานวิทยาของพอลิเมอร์เบลนด์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

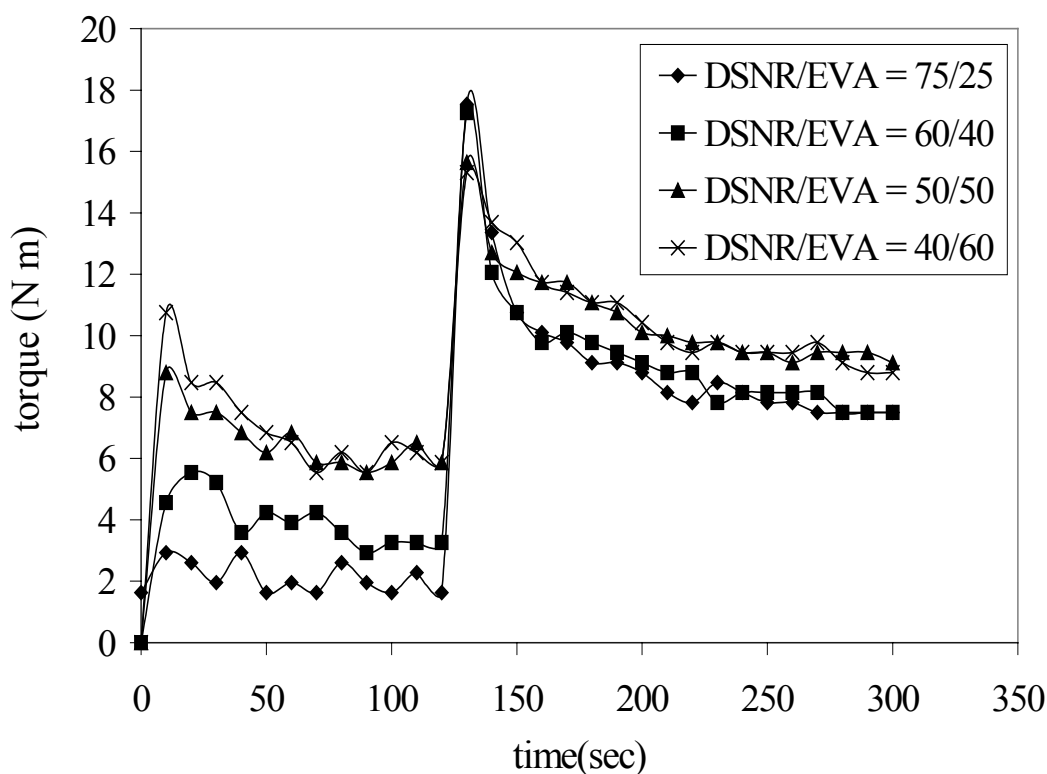
จากรูปที่ 14 สังเกตจากหลุมที่เกิดขึ้นจากการสกัดเอา EVA ออกพบว่ามีการกระจายตัวของเฟสทั้งสองเข้ากันได้ดี เมื่ออัตราส่วนของ EVA เพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการกระจายตัวของเฟสทั้งสองดียิ่งขึ้น เนื่องจากหลุมของ EVA ที่เกิดจากการสกัดด้วยอะซิโตน มีขนาดเล็กลง โดยพบว่าที่อัตราส่วนของ ENR-20/EVA เท่ากับ 50/50 มีการกระจายตัวดีที่สุด เนื่องจากมีขนาดอนุภาคของ EVA ที่สกัดออกมีขนาดเล็กที่สุด

2.3.2 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA

ทำการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA ในทำนองเดียวกับการเตรียม ENR-20/EVA ในหัวข้อ 1.3.3 และ 2.3.1

2.3.2.1 ค่าทอร์กของการผสม

เปรียบเทียบค่าทอร์กในการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA โดยใช้อัตราส่วน เท่ากับ 75/25, 60/40, 50/50 และ 40/60 ได้ผลการทดลองการผสมแสดงดังรูปที่ 15

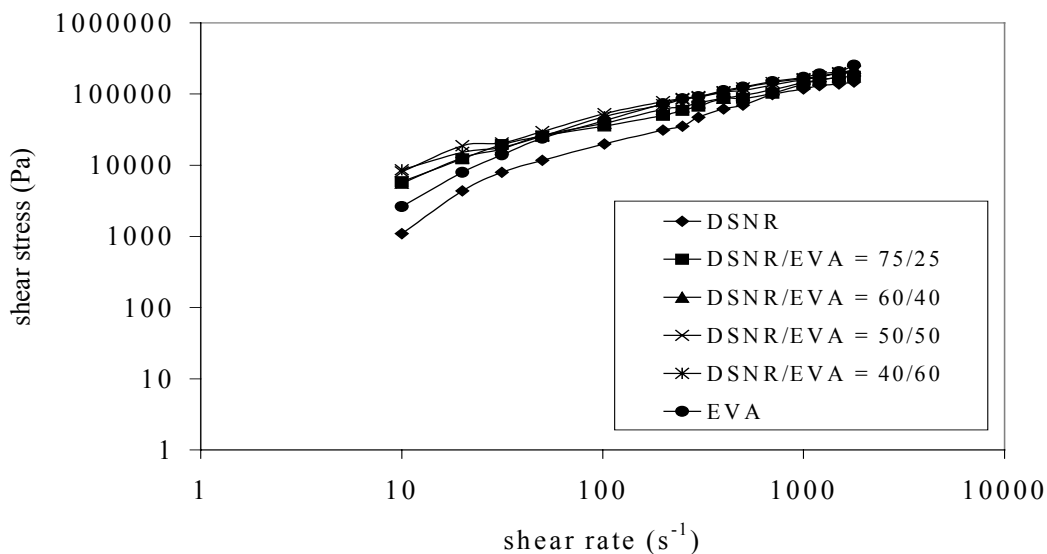


รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาของการผสมในการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ

จากรูปที่ 15 พบว่าค่าทอร์กสูงสุดของการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วน 40/60 และ 50/50 มีค่าสูงที่สุด เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของยางในพอลิเมอร์เบลนด์มากกว่านี้จะทำให้ค่าทอร์กในการผสมลดลง ซึ่งแนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าทอร์กจะสอดคล้องกับแนวโน้มของค่าความเค้นเฉือน (รูปที่ 16 และ 17) และความหนืดเฉือน (รูปที่ 18 และ 19) ตามลำดับ

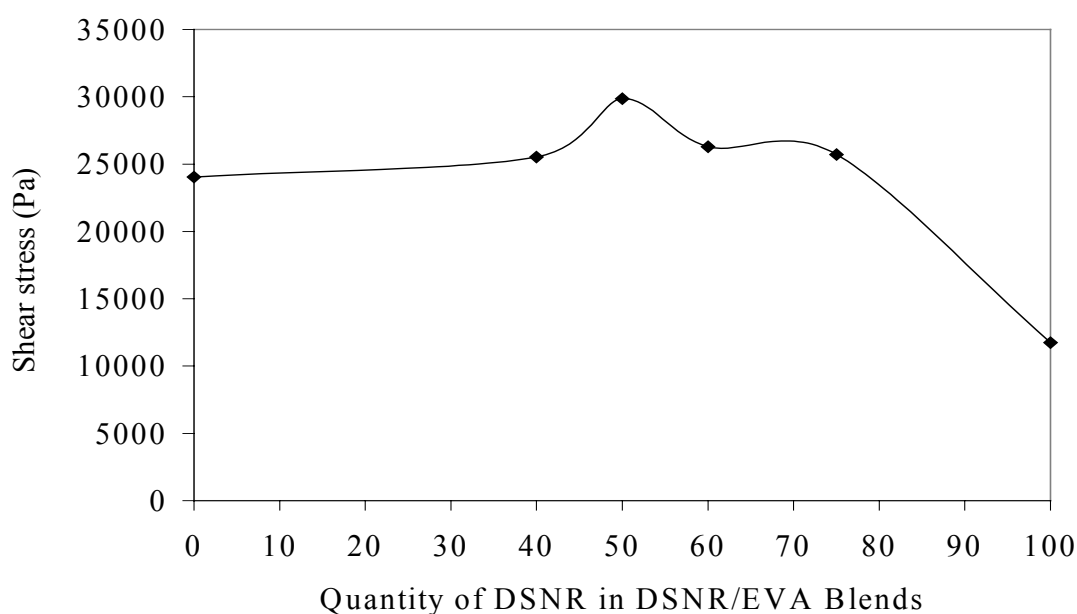
2.3.2.2 สมบัติทางรีโอโลยีของพอลิเมอร์เบลนด์

ทำการทดสอบสมบัติทางรีโอโลยีของยางธรรมชาติพอกไซค์ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบคาปิลลารี ที่อุณหภูมิ 190°C ตั้งค่าอัตราการเฉือนในช่วง $10\text{--}1780\text{ s}^{-1}$ การทดสอบจะเปรียบเทียบสมบัติทางรีโอโลยีของพอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ คือ 75/25, 60/40, 50/50 และ 40/60 ได้ผลการทดลองเส้นโค้งการไหลดังรูปที่ 16 พบว่าความเค้นเฉือนที่อัตราเฉือนใดๆ หรือ เส้นโค้งการไหลของ DSNR มีค่าต่ำกว่าของ EVA แต่เส้นโค้งการไหลของพอลิเมอร์เบลนด์ที่ทุกอัตราส่วนมีค่าสูงกว่าของพอลิเมอร์เริ่มต้น (EVA และ DSNR) ดังนั้นจะเห็นว่าในกรณีนี้ EVA และ DSNR มีค่าความเค้นเฉือน ที่ไม่แตกต่างกันมากนัก จึงสามารถนำค่าความเค้นเฉือนมาประเมินความเข้ากันได้ของการเบลนด์ เนื่องจากพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วนต่างๆมีค่าสูงกว่าของพอลิเมอร์เริ่มต้น เป็นหลักฐานของการเกิดอันตรกิริยาของเฟสต่างชนิดกัน ซึ่งเกิดแรงกระทำทางเคมีหรือพันธะเคมีระหว่างกันทำให้ต้องใช้ความเค้นมากขึ้นในการทำให้เกิดการไหลที่อัตราเฉือนเดียวกัน ดังนั้นความเค้นเฉือนของพอลิเมอร์เบลนด์ที่มีอัตราส่วน ของเฟสยางและพลาสติกใกล้เคียงกัน เช่น DSNR/EVA = 50/50 จะมีค่าความเค้นเฉือนสูงกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ ทำการพลอตกราฟของค่าความเค้นเฉือนที่อัตราเฉือนคงที่ (50 s^{-1}) กับปริมาณยาง DSNR ในพอลิเมอร์เบลนด์ เพื่อที่จะมองเห็นแนวโน้มของอันตรกิริยาชัดเจน ได้ความสัมพันธ์แสดงดังในรูปที่ 17



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของ DSNR, EVA และ พอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ

จากรูปที่ 17 พบว่าการเพิ่มปริมาณยาง DSNR ส่งผลให้ค่าความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น กล่าวคือ มีการต่อต้านการไหลมากขึ้น จนมีค่าสูงสุดที่ปริมาณ DSNR = 50 ส่วนโดยน้ำหนัก การเพิ่มปริมาณ DSNR มากกว่านี้ทำให้ค่าความเค้นเฉือนลดลง ดังนั้นแสดงว่ามีระดับอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ 2 ชนิด ตามปริมาณของพอลิเมอร์ที่นำมาเบลนด์โดยที่อัตราส่วนการเบลนด์ 50/50 จะให้ระดับการเกิดอันตรกิริยาสูงที่สุด แสดงว่าพอลิเมอร์เบลนด์ชนิดนี้เข้ากันได้ดี สามารถเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันของเฟสยางกับพลาสติกได้ดี



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับปริมาณยาง DSNR ในพอลิเมอร์เบลนด์ ที่อัตราเฉือน 50 s^{-1}

รูปที่ 18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเหวี่ยงกับความหนืดเฉือนของพอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนของต่างๆเปรียบเทียบกับยาง DSNR และ EVA และพบว่าเส้นโค้งความหนืดมีแนวโน้มในทำนองเดียวกับเส้นโค้งการไหล กล่าวคือพอลิเมอร์เบลนด์ที่มีอัตราส่วน DSNR/EVA = 50/50 จะมีความหนืดเฉือนสูงกว่า EVA, DSNR/EVA = 40/60, DSNR/EVA = 60/40, DSNR/EVA = 75/25 และ DSNR ตามลำดับ ทำการศึกษาค่าความหนืดเฉือนที่อัตราเหวี่ยงคงที่ (ทำนองเดียวกับความเค้นเฉือนในรูปที่ 16) ได้ความสัมพันธ์ของความหนืดเฉือนกับปริมาณ DSNR ที่อัตราเหวี่ยง 50 s^{-1} ดังในรูปที่ 19 ได้กราฟสรุปดังต่อไปนี้ในทำนองเดียวกับค่าความเค้นเฉือนในรูปที่ 17 ซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ขององค์ประกอบที่นำมาเบลนด์กัน ซึ่งอาจจะอธิบายในลักษณะของ log-additive rule ดังนี้

$$\eta = \sum \omega_i \eta_i \quad (8)$$

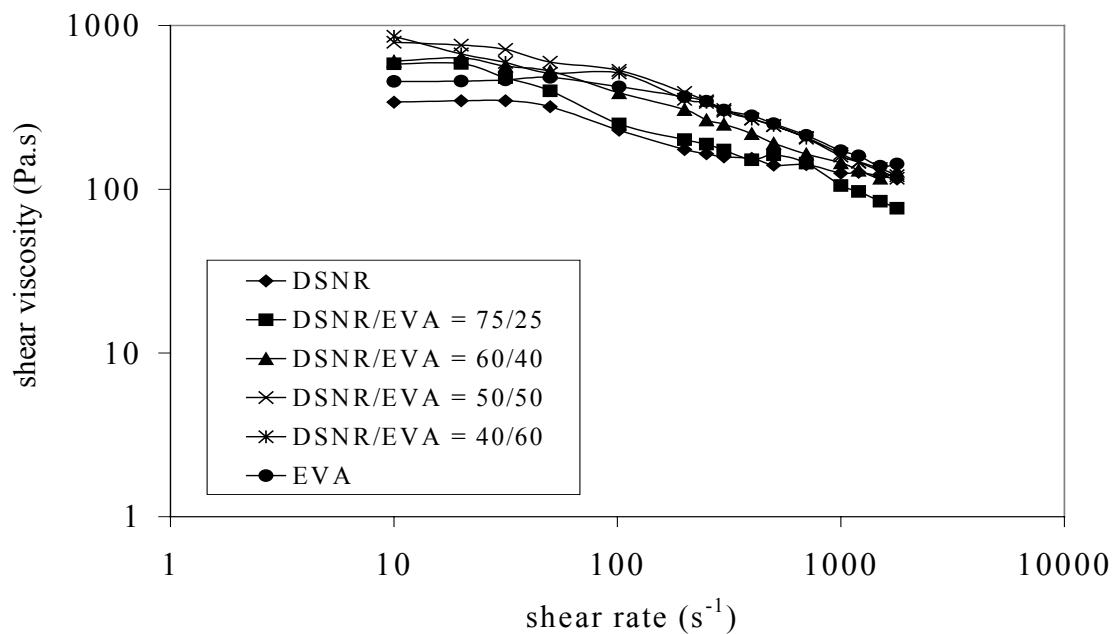
โดยที่

η คือ ความหนืดรวม

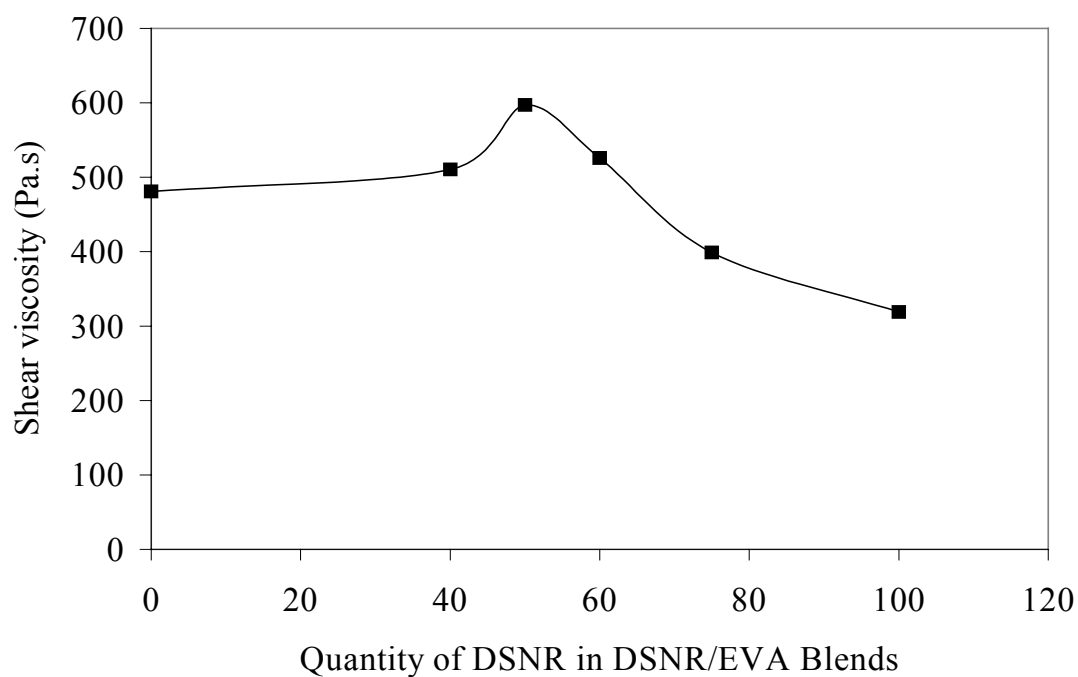
η_i คือ ความหนืดของแต่ละองค์ประกอบ

ω_i คือ weight fraction ของ DSNR/EVA

ดังนั้นความหนืดรวมของพอลิเมอร์เบลนด์ได้มาจากผลรวมของความหนืดของแต่ละองค์ประกอบ คูณด้วย weight fraction ทำให้ทราบว่ากรณีที่พอลิเมอร์เบลนด์มีค่าความหนืดเฉือนเพิ่มขึ้น เกิดเนื่องมาจากการเสริมแรง ทำให้ค่าความหนืดเฉือนสูงกว่าของพอลิเมอร์เริ่มต้น จึงกล่าวได้ว่าการเข้ากันได้ของการเบลนด์ (blend compatibility) หรือเรียกว่า positive deviation blend (PDB)



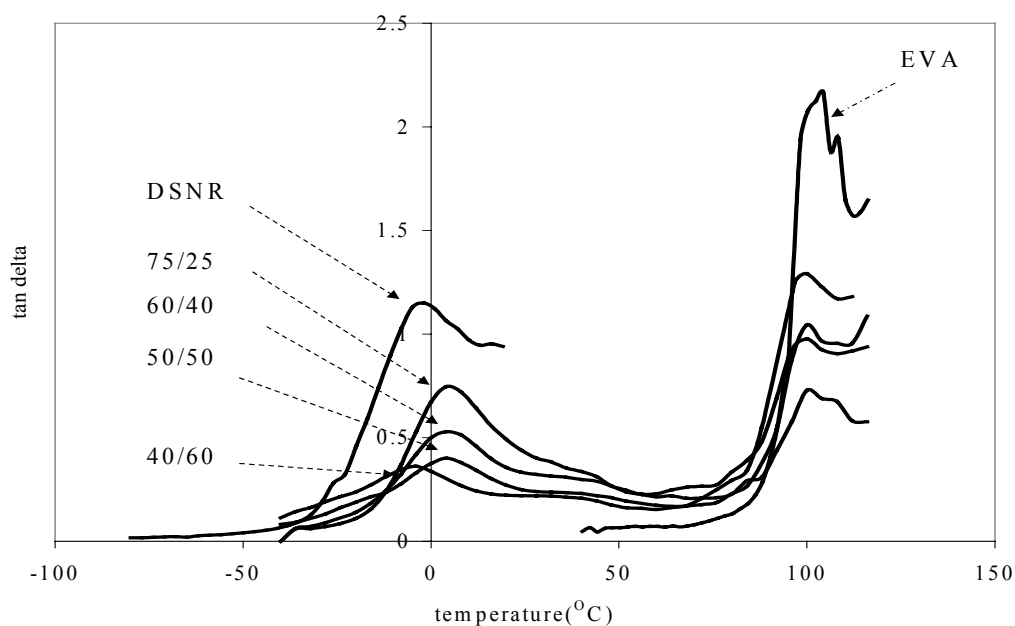
รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนของ DSNR, EVA และ พอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเฉือนกับปริมาณของ DSNR ในพอลิเมอร์เบลนด์ ที่อัตราเฉือน 50 s^{-1}

2.3.2.3 สมบัติพลวัตเชิงกล

ทำการทดสอบสมบัติพลวัตเชิงกลของพอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับ DSNR และ EVA ด้วยเครื่อง Dynamic Mechanical Analyzer Series 7 (DMA7) ดังวิธีการทดลองในข้อ 1.3.8 ได้ค่า Tan δ แสดงดังรูปที่ 20 ซึ่งสามารถคำนวณค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว (T_g) ได้ดังตารางที่ 5



รูปที่ 20 ค่า Tan delta ของ DSNR, EVA และพอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ

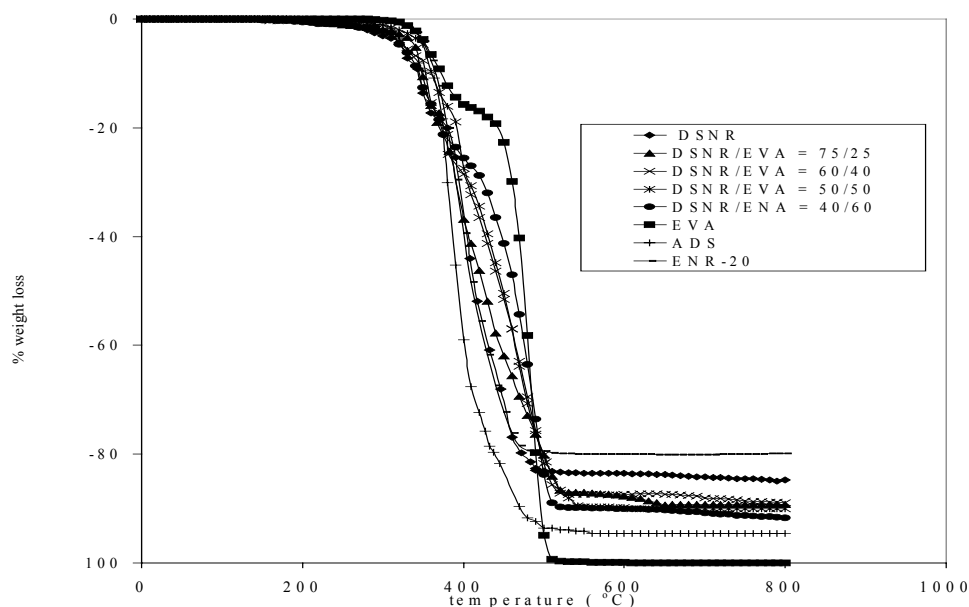
ตารางที่ 5 อุณหภูมิคล้ายแก้ว

อัตราส่วนการเบลนด์ DSNR/EVA	อุณหภูมิคล้ายแก้ว (°C)	
	ส่วนของยาง	ส่วนของพลาสติก
100/0 (DSNR)	-2	-
75/25	4.5	100
60/40	3.4	100.7
50/50	2.8	99.5
40/60	0.5	97.9
0/100 (EVA)	-	104

จากรูปที่ 20 และตารางที่ 5 พบว่า DSNR มีพีคของค่า Tan delta ค่าเดียว และมีจุดยอดพีคหรือ Tg ที่ -2°C นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอุณหภูมิคล้ายแก้วของพอลิเมอร์เบลนด์พบว่ามี 2 ค่า ในทำนองเดียวกับ ENR-20/EVA blends กล่าวคือค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของเฟสยางและเฟสพลาสติก ซึ่งค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของทั้งสองเฟส มีแนวโน้มเคลื่อนเข้าหากัน (shift) อย่างชัดเจน ทำให้สามารถบอกถึงความเข้ากันของพอลิเมอร์ระหว่าง DSNR/EVA ซึ่งสอดคล้องกับการพิสูจน์ความเข้ากันได้โดยใช้สมบัติทางรีโอโลยีในหัวข้อ 2.3.2.2

2.3.2.4 สมบัติเชิงความร้อน

ทำการทดสอบสมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ เปรียบเทียบกับยาง DSNR โดยใช้เทคนิค TGA ทดสอบภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ จนถึงอุณหภูมิ 800°C ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 21 ซึ่งสามารถคำนวณหาอุณหภูมิการสลายตัว (T_d) จากเทอร์โมแกรม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6



รูปที่ 21 เทอร์โมแกรมของยางแผ่นผึ่งแห้ง, DSNR, EVA และ พอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ

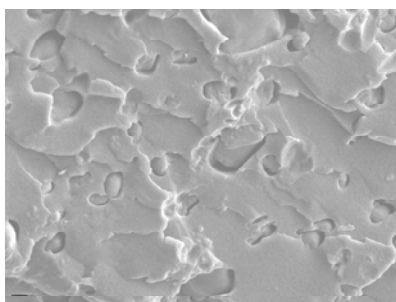
จากรูปที่ 21 และตารางที่ 6 พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของ DSNR มีค่าสูงกว่า T_d ของ ENR-20 และ ADS ตามลำดับ แต่มีค่าต่ำกว่าค่าของ EVA ซึ่งอาจจะอธิบายถึงระดับอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลได้ว่ายาง DSNR น่าจะมีค่าสูงกว่า ENR-20 และ ADS ส่วน T_d ของพอลิเมอร์เบลนด์มีค่าสูงกว่าค่า T_d ของ DSNR แต่มีค่าต่ำกว่าค่า T_d ของ EVA และค่า T_d ของพอลิเมอร์เบลนด์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ EVA ในพอลิเมอร์เบลนด์

ตารางที่ 6 ค่าอุณหภูมิการสลายตัว

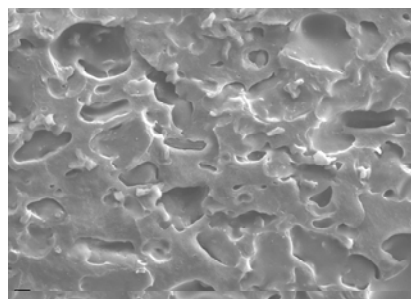
พอลิเมอร์	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)
ADS	340
ENR-20	350
DSNR	353
75/25	355
60/40	360
50/50	364
40/60	367
EVA	380

2.3.2.5 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์เบลนด์

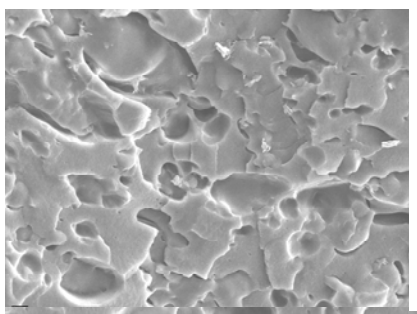
เปรียบเทียบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 22 พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของ EVA ในพอลิเมอร์เบลนด์ จะทำให้การกระจายตัวของอนุภาคดีขึ้น โดยสังเกตได้จากขนาดหลุมที่เกิดจากการสกัดเอา EVA ออกด้วยอะซิโตน จะเห็นว่าหลุมที่เกิดจากการละลาย EVA ออกที่อัตราส่วน 50/50 และ 40/60 จะมีการกระจายตัวอยู่ทั่วไปอย่างต่อเนื่องมากกว่าและมีขนาดเล็กกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ ผลการทดลองนี้มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับกรณี ENR-20/EVA blends (ในรูปที่ 14)



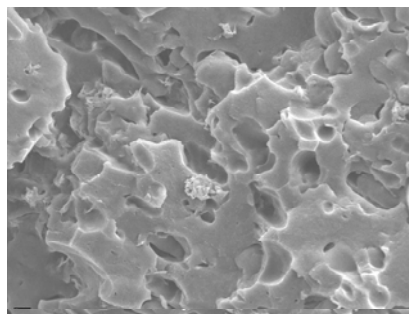
A: DSNR/EVA = 75/25



B: DSNR/EVA = 60/40



C: DSNR/EVA = 50/50



D: DSNR/EVA = 40/60

รูปที่ 22 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ

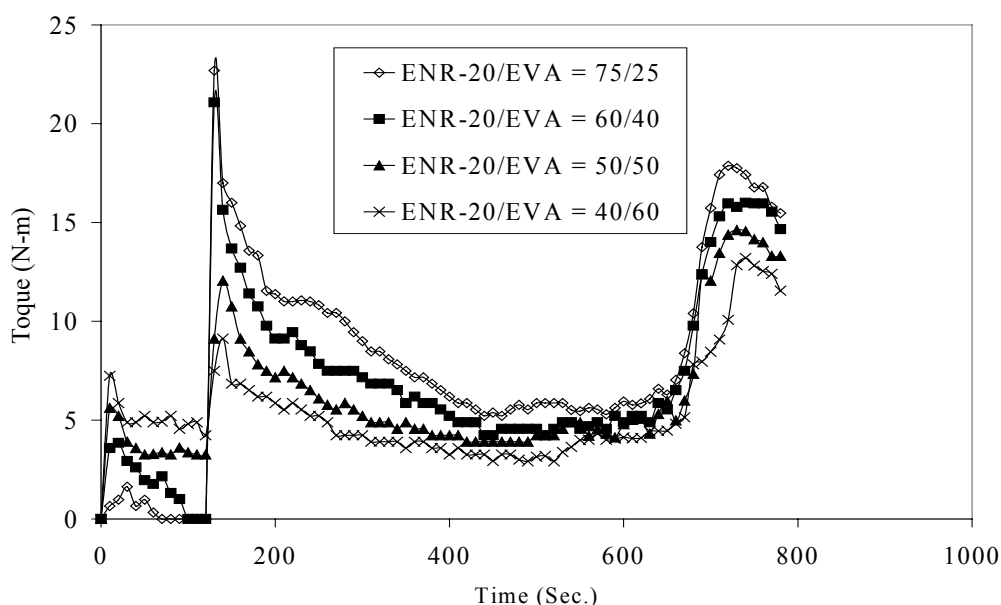
2.4. การเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (Thermoplastic Vulcanizates, TPV)

2.4.1 การเตรียม TPV จากการเบลนด์ ENR-20/EVA

เตรียมยางคอมปาวด์ยาง ENR-20 ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ใช้สารเคมีดังตารางที่ 2 (หัวข้อ 1.3.4) ทำการผสมยางและสารเคมีโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งขนาด 6 นิ้ว ความคมอุณหภูมิขณะผสมประมาณ 50°C มีขั้นตอนการผสม ดังรายละเอียดในหัวข้อ 1.3.4 จากนั้นนำคอมปาวด์ยางธรรมชาติอีพอกไซด์เบลนด์กับ EVA ในเครื่องบราเวนเดอร์พลาสติกคอคเคอร์ ที่อุณหภูมิ 160°C โดยทำการทดลองแปร ENR-20/EVA เป็น 75/25, 60/40, 50/50 และ 40/60 ใช้วิธีการทดลองดังอธิบายในหัวข้อ 1.3.4 นำวัสดุที่ได้จากการผสมตัดให้มีขนาดเล็กด้วยเครื่องบดพลาสติก ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติก แล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงฟิสิกส์

2.4.1.1 ค่าทอร์กของการผสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

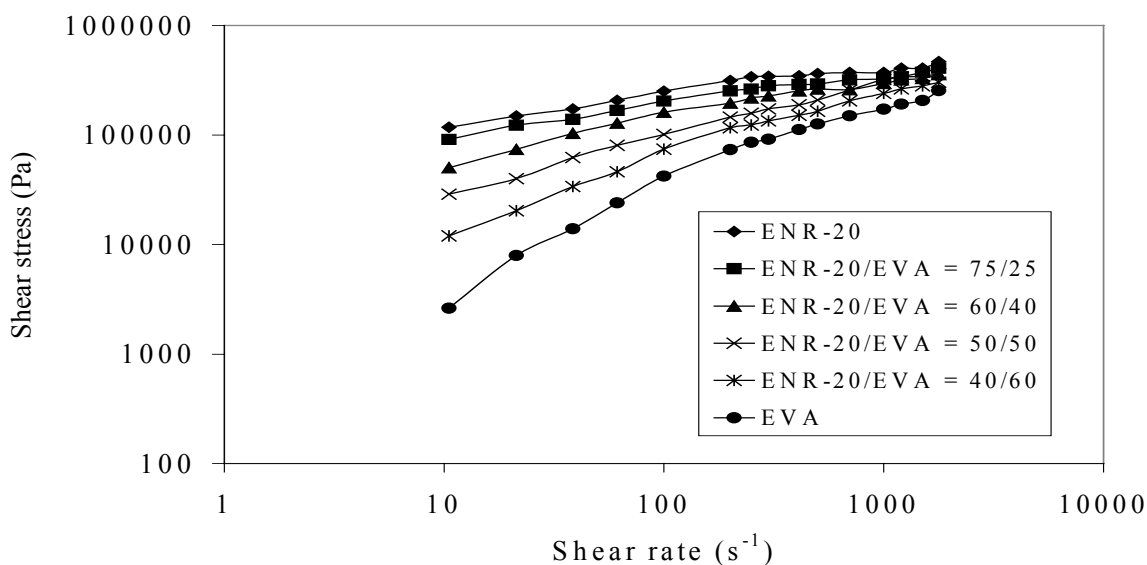
โดยศึกษาเปรียบเทียบค่าทอร์กในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ ENR-20/EVA ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 23 ซึ่งพบว่าค่าทอร์กสูงสุดเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการเชื่อมโยงทางเคมีระหว่างโมเลกุลของยางได้มากขึ้นจึงทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ดังนั้นแรงที่ใช้ในการผสมจึงเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอัตราส่วนของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในพอลิเมอร์เบลนด์



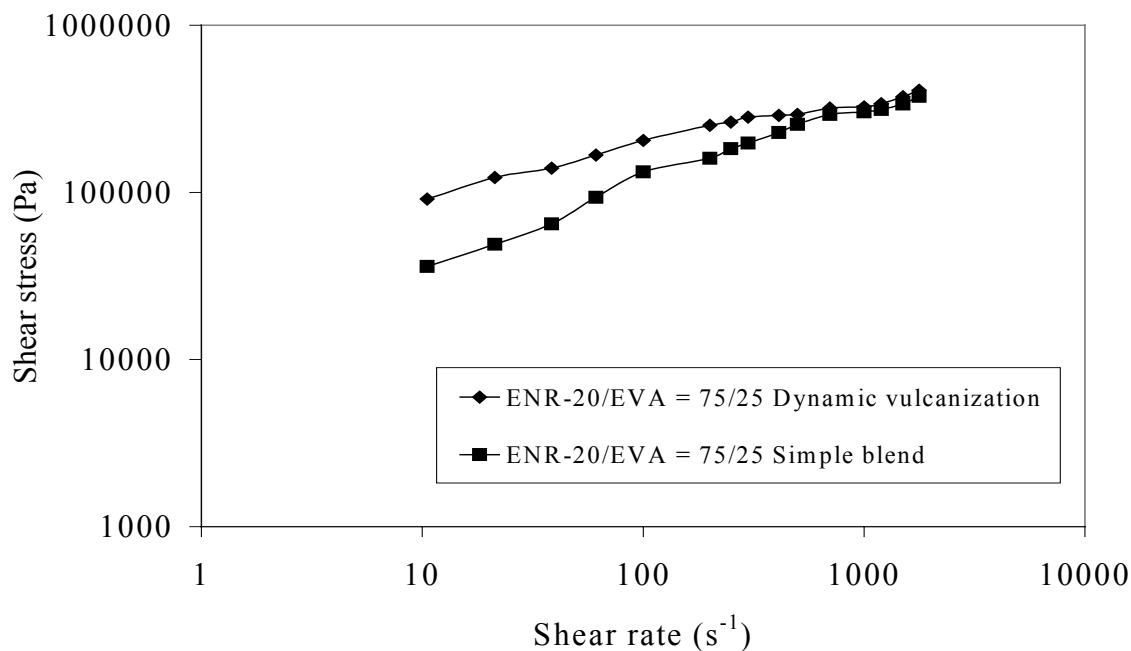
รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาของการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

2.4.1.2 สมบัติทางรีโอโลยีของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

ทำการทดสอบสมบัติทางรีโอโลยีของ TPV ของพอลิเมอร์เบลนด์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับ ENR-20 และ EVA เดี่ยวๆ ทดสอบด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบคาปิลลารี ที่อุณหภูมิ 190°C ตั้งค่าอัตราการเฉือนในช่วง $10\text{--}1780\text{ s}^{-1}$ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเฉือนกับความเค้นเฉือนแสดงดังรูปที่ 24 พบว่ายาง ENR-20 ยังคงมีค่าความเค้นเฉือนที่อัตราเฉือนเดียวกันสูงกว่าค่าของ TPV ที่ได้จากการเบลนด์ ENR-20/EVA และ EVA ยังคงมีค่าความเค้นเฉือนต่ำกว่าของ TPV ในลักษณะเดียวกับ simple blends นอกจากนี้ค่าความเค้นเฉือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ใน TPV สอดคล้องกับค่าทอร์กของการผสมในรูปที่ 23 เมื่อเปรียบเทียบเส้นโค้งการไหลของการเตรียม Simple blend (ในหัวข้อ 2.3.1) กับ TPV ที่อัตราส่วน ENR-20/EVA = 75/25 ได้ผลแสดงดังรูปที่ 25 พบว่า ที่อัตราการเฉือนเดียวกัน ค่าความเค้นเฉือนของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์มีค่าสูงกว่าพอลิเมอร์เบลนด์ธรรมดาที่อัตราส่วนการเบลนด์เดียวกัน เนื่องมาจากการทำไดนามิกวัลคาไนซ์เซชัน ทำให้เกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุลยางและยางจะเกิดการกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ ในตัวกลางของ EVA ซึ่งเป็นเมทริกซ์ (ดูจากรูปที่ 34) โดยอนุภาคเล็กๆ เหล่านี้จะขัดขวางการไหลมากกว่าโมเลกุลยางที่เบลนด์ธรรมดาใน EVA จึงทำให้มีเส้นโค้งการไหลสูงกว่าของ Simple blend ซึ่งให้ระบบมีความหนืดเพิ่มขึ้น จึงต้องใช้แรงในการเฉือนมากกว่าพอลิเมอร์เบลนด์ ซึ่งการเปรียบเทียบที่อัตราส่วนอื่นๆ ก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน

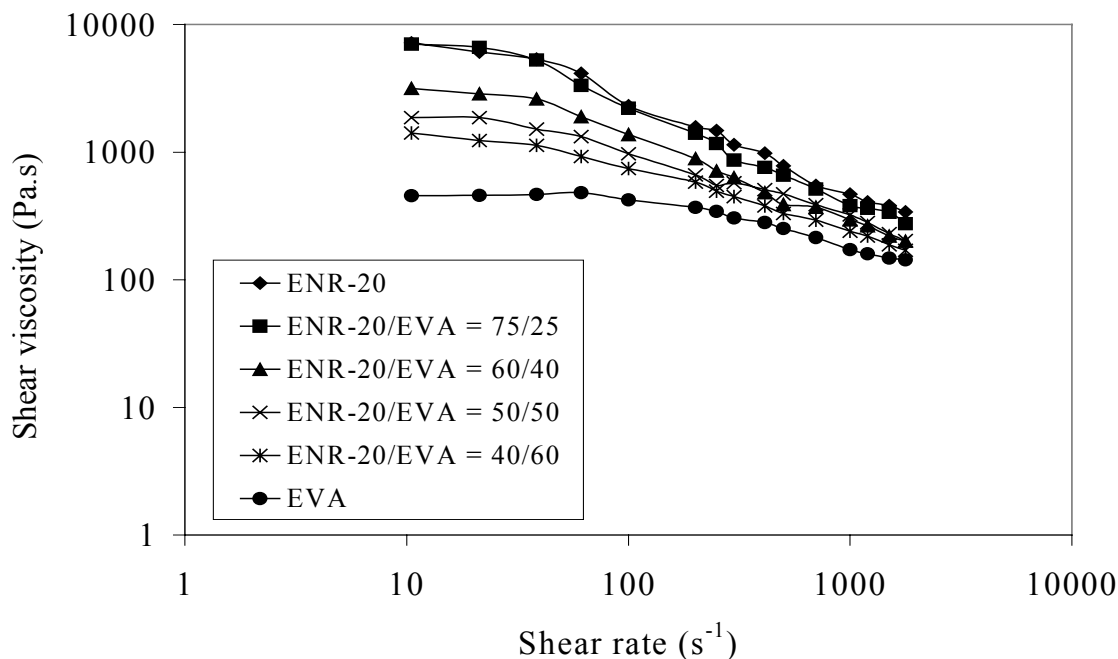


รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของ ENR-20, EVA และ TPV ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 25 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์กับพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วน ENR-20/EVA เท่ากับ 75/25

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเฉือนกับความหนืดเฉือนของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ คือ 75/25, 60/40, 50/50 และ 40/60 เปรียบเทียบกับยาง ENR-20 และ EVA ได้ผลดังแสดงดังรูปที่ 26 เมื่อพิจารณาที่อัตราเฉือนเดียวกัน ค่าความหนืดเฉือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยางอีพอกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าทอร์กของการผสมในรูปที่ 23 และการเพิ่มขึ้นของเส้นโค้งการไหลในรูปที่ 24 ตามลำดับ



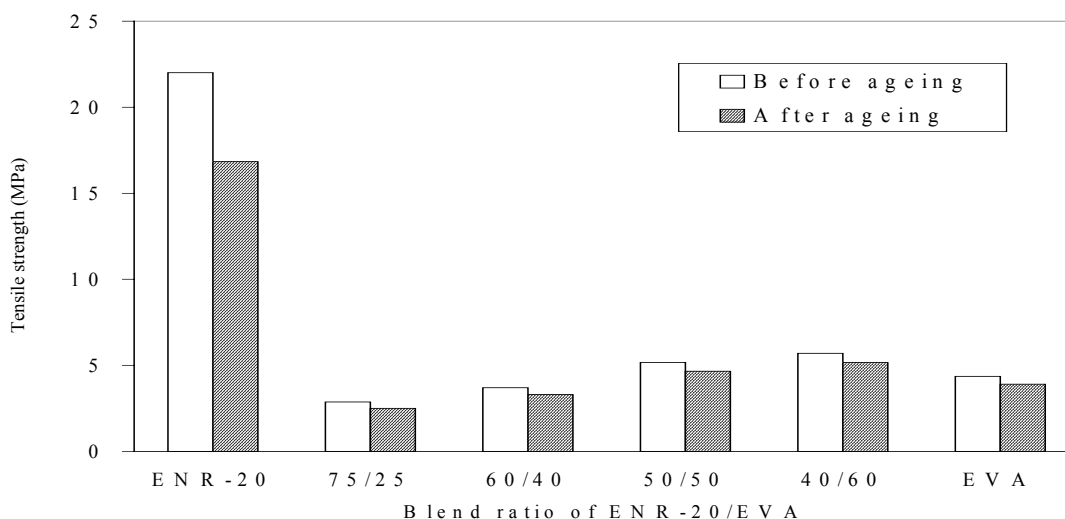
รูปที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนของ ENR-20, EVA และเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ

2.4.1.3 สมบัติเชิงฟิสิกส์ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

1 ความต้านทานต่อแรงดึง

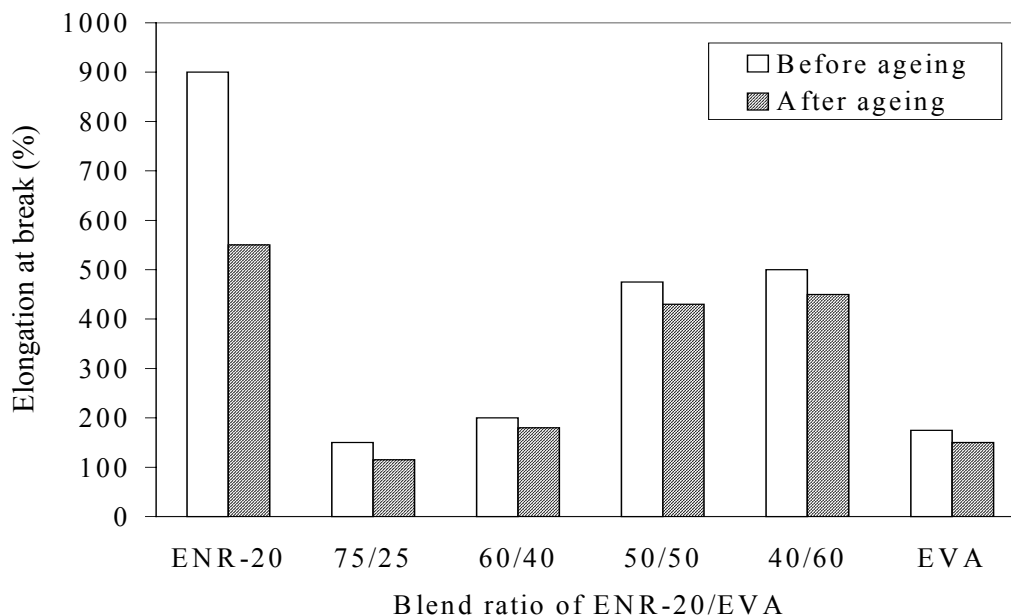
ทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดตามมาตรฐาน ASTM D412 (2000) โดยใช้วิธีการที่อธิบายในหัวข้อ 1.3.9.1 และ 1.3.9.2 ตามลำดับ ได้ผลการทดลองค่าความต้านทานต่อแรงดึงของ TPV เปรียบเทียบกับยาง ENR-20 วัลคาไนซ์ และ EVA แสดงดังรูปที่ 27 พบว่า ความต้านทานต่อแรงดึงของ TPV มีค่าต่ำกว่าของยาง ENR-20 วัลคาไนซ์ นอกจากนี้พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง TPV ที่เบลนด์ที่อัตราส่วน ENR-20/EVA ที่ 75/25 และ 60/40 มีค่าต่ำกว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงของ EVA แต่ถ้าอัตราส่วนที่ 50/50 และ 40/60 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าสูงกว่าของ EVA กล่าวคือ มีค่าความต้านทานต่อแรงดึง เท่ากับ 5.70 และ 5.17 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับระดับการเกิดอันตรกิริยาและความเข้ากันได้ขององค์ประกอบของพอลิเมอร์เบลนด์ กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณ EVA ในพอลิเมอร์เบลนด์ ส่งผลให้การกระจายตัวของอนุภาคยางในเฟสต่อเนื่องของ EVA ได้ดี ซึ่งจะเห็นได้จากลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (รูปที่ 34) ทำให้มีปริมาณพื้นที่ผิวในการเกิดแรงกระทำระหว่าง เฟสบริเวณที่ผิวประจัญมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงก่อนบ่มเร่งมีค่าสูงกว่าหลังบ่มเร่งทุกชุดการทดลอง เนื่องจากความร้อนส่งผลให้โครงสร้างโมเลกุลของยางและพลาสติกเกิดการเชื่อม ซึ่งความร้อนจะเป็น

ตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชันตรงตำแหน่งพันธะคู่ของสายโซ่โมเลกุลยางได้ง่าย เนื่องจากตำแหน่งพันธะคู่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยา และความร้อนยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการสลายของพันธะอื่นๆในสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ลดลง จึงส่งผลให้สมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงลดลงไปด้วย



รูปที่ 27 ความต้านทานต่อแรงดึงก่อนบ่มและหลังบ่มของ ENR-20, EVA และเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

ผลการทดสอบสมบัติความสามารถในการยืดก่อนและหลังบ่มเร่ง แสดงในรูปที่ 28 พบว่าค่าความสามารถในการยืดก่อนบ่มเร่งมีค่าสูงกว่าหลังบ่มเร่งทุกอัตราส่วน เมื่อเปรียบเทียบค่าความสามารถในการยืดของยางธรรมชาติอีพอกไซด์วัลคาไนซ์กับเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ พบว่าค่าความสามารถในการยืด TPV ที่เบลนด์ในอัตราส่วนต่างๆ มีค่าต่ำกว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์วัลคาไนซ์ โดยที่อัตราส่วนยาง ENR-20/EVA เท่ากับ 40/60 และ 50/50 ให้ค่าความสามารถในการยืดสูงที่สุดในทำนองเดียวกันค่าความต้านทานต่อแรงดึง เนื่องจากระดับความเข้ากันได้ของเฟสยางกับพลาสติก ดังนั้น TPV ที่สองอัตราส่วนนี้แสดงสมบัติของอีลาสโตเมอร์ดีที่สุด

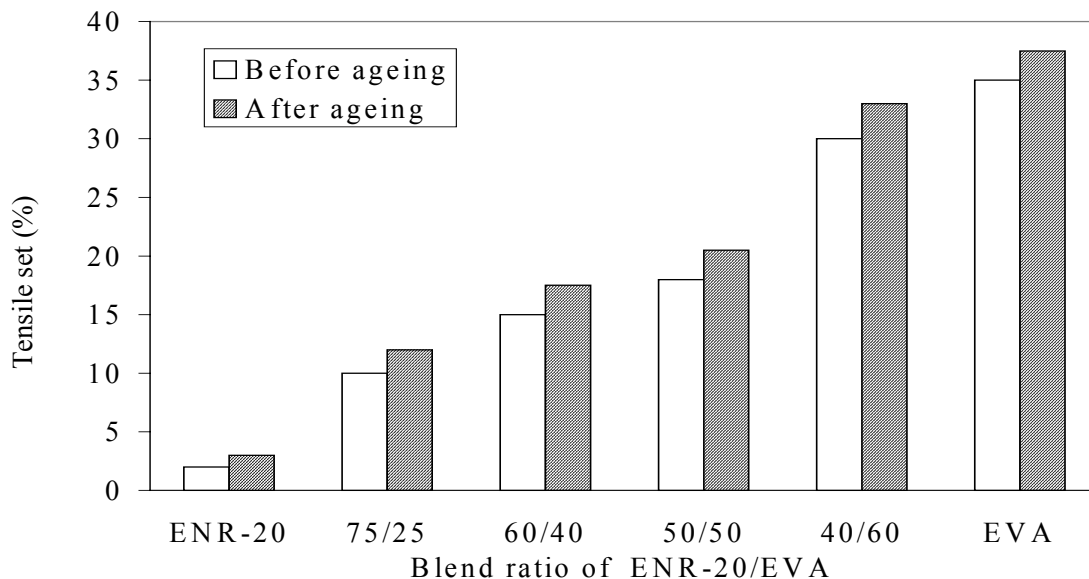


รูปที่ 28 ความสามารถในการยืดก่อนบ่มและหลังบ่มแรงของ ENR-20, EVA และเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

2 ความสามารถในการคืนตัว

เพื่อพิสูจน์ความเป็นอีลาสโตเมอร์ของ TPV ที่เตรียมได้ ทำการทดสอบสมบัติด้านความสามารถในการคืนตัว (recovery) โดยทดสอบ Tension set ตามมาตรฐาน ASTM D412 (2000) โดยวิธีการในหัวข้อ 1.3.9.3 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 29 แสดงค่า tension set ของ TPV ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ พบว่าค่าความสามารถในการคืนตัวของ TPV ในการทดลองนี้มีค่าลดลงตามปริมาณ EVA และมีค่าสูงสุด ประมาณ 30% (ENR-20/EVA = 40/60 มีค่า EB = 500%) ซึ่งพบว่า TPE หรือ TPV ที่มีค่าความสามารถในการยืดระดับนี้ หากมีค่า tension set ไม่เกิน 60% ก็ยังจัดว่าเป็นวัสดุในกลุ่มเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Coran, 1987 และ 2003)

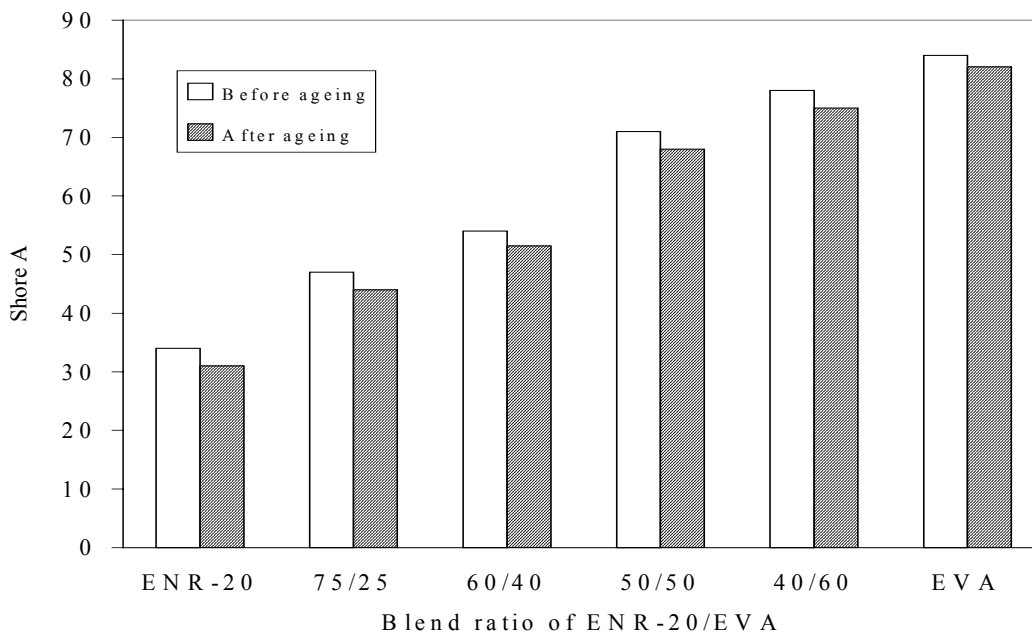
การบ่มแรงทำให้ค่า tension set มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนส่งผลให้โครงสร้างโมเลกุลของยางและพลาสติกเกิดการเสื่อม จึงทำให้ความสามารถในการคืนตัวของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์หลังบ่มแรงมีค่าสูงกว่าก่อนบ่มแรง



รูปที่ 29 ความสามารถในการคืนรูปก่อนบ่มแรงและหลังบ่มแรงของ ENR-20, EVA และเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ

3 ความแข็ง

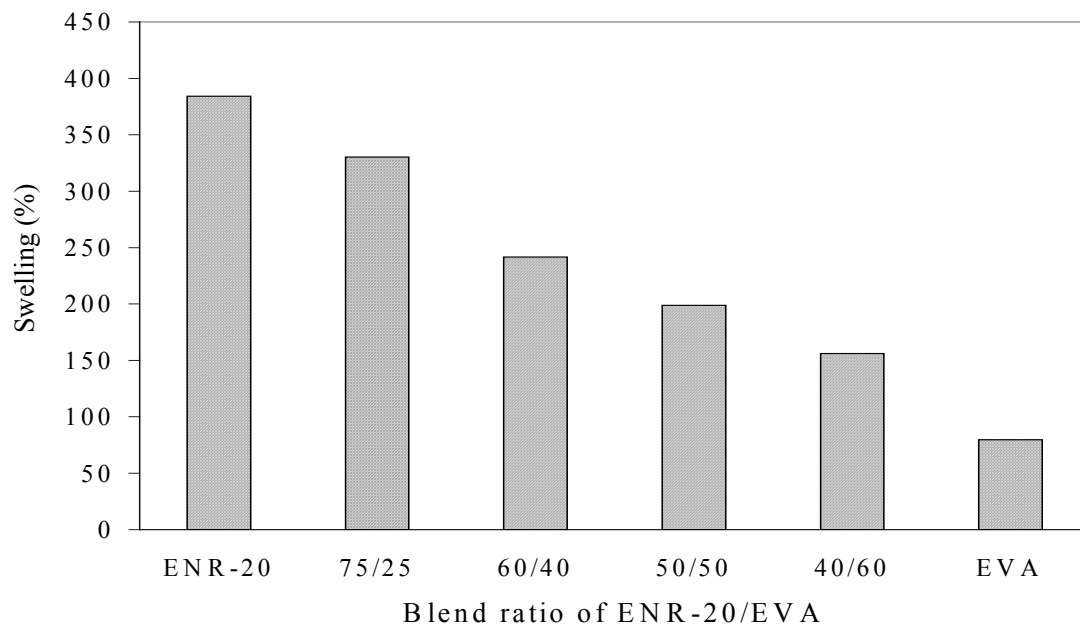
ค่าความแข็งของ TPV จากการเบลนด์ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ ENR-20 วัลคาไนซ์ เปรียบเทียบกับความแข็งของ EVA และ ENR-20 โดยเป็นการวัดค่าความแข็งแบบ Durometer Shore A ได้ผลดังในรูปที่ 30 พบว่าค่าความแข็งก่อนบ่มแรงมีค่าสูงกว่าหลังบ่มแรง เนื่องจากความร้อนส่งผลให้ยางและพลาสติกเกิดการเสื่อม ความแข็งหลังบ่มแรงจึงลดลง เมื่อเปรียบเทียบที่อัตราส่วนต่างๆพบว่าค่าความแข็งของ TPV เพิ่มขึ้นตามปริมาณ EVA ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากในรูปที่ 30 พบว่าส่วนของ EVA มีค่าความแข็งสูงกว่ายางธรรมชาติอิพอกไซด์ ดังนั้นเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่มีอัตราส่วนของ EVA สูง จึงมีความแข็งสูง



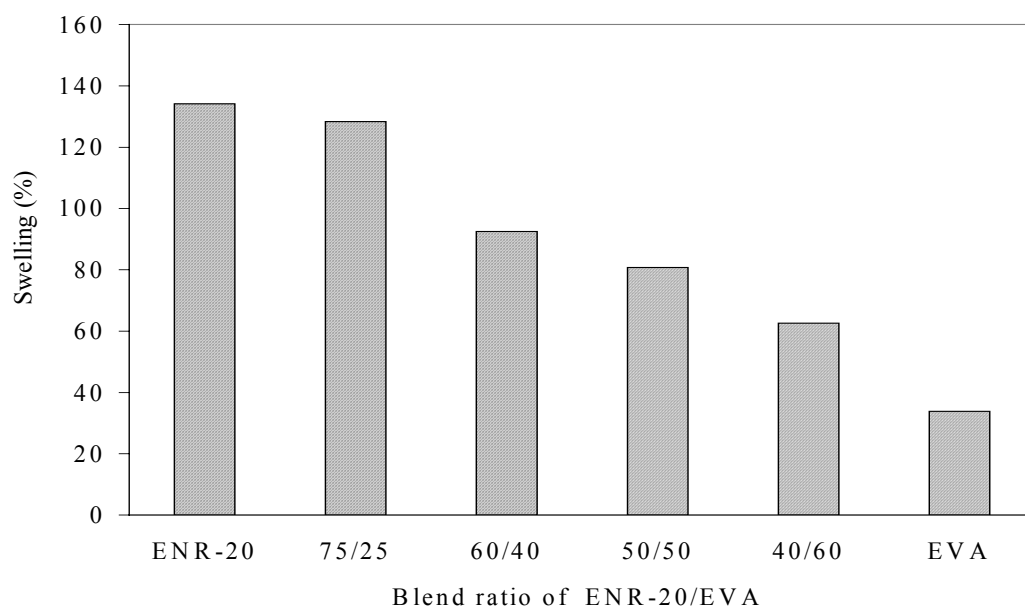
รูปที่ 30 ความแข็งก่อนบ่มและหลังบ่มของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

4. ความต้านทานต่อตัวทำละลาย (Solvent resistance)

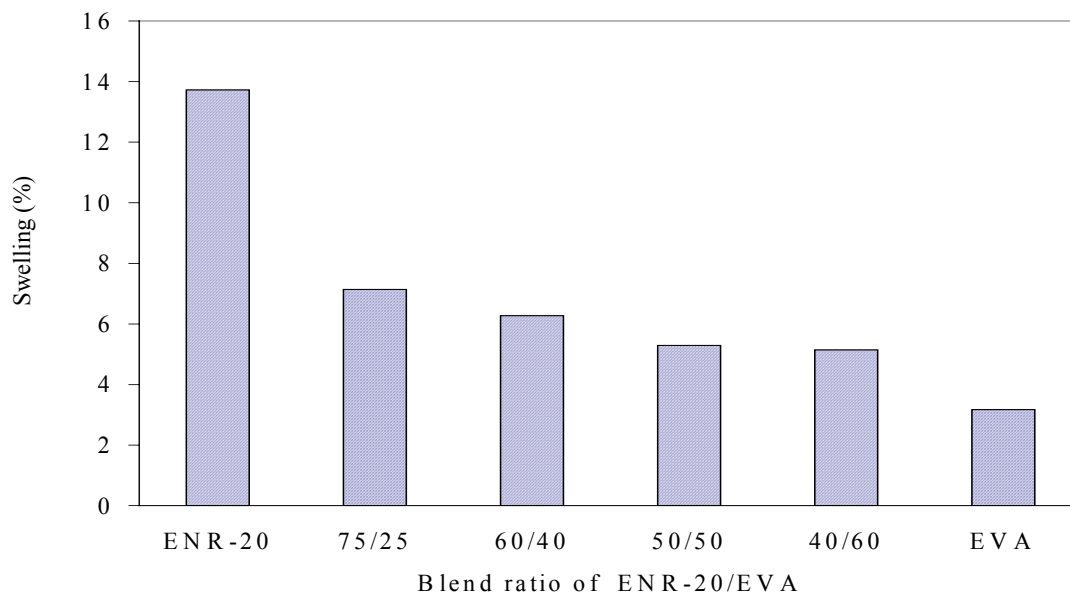
ทดสอบความต้านทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยการทดสอบการบวมพอง (Swelling test) ตามมาตรฐาน ASTM D 471 (2000) ในสารละลายผสมระหว่างไอโซออกเทนกับโทลูอีนในอัตราส่วน 50/50 น้ำมันดีเซล และน้ำมันเครื่องรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ โดยวิธีการในหัวข้อ 1.3.9.5 ผลความต้านทานต่อตัวทำละลายผสมของไอโซออกเทนกับโทลูอีน (50/50 โดยปริมาตร) น้ำมันดีเซล และน้ำมันเครื่องรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ แสดงดังรูปที่ 31-33 ซึ่งพบว่า การบวมพองในตัวทำละลายทุกชนิดของยาง ENR-20 มีค่าสูงที่สุด ซึ่งหมายถึงมีความต้านทานหรือต้านทานต่อสารเคมีเหล่านี้ต่ำที่สุด และ EVA มีค่าการบวมพองต่ำที่สุด นอกจากนี้พบว่าค่าการบวมพองของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ EVA แสดงว่าความต้านทานต่อตัวทำละลายของ TPV ชนิดนี้ มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ EVA หากเปรียบเทียบความต้านทานต่อตัวทำละลายของ TPV ที่อัตราส่วน ENR-20/EVA เดียวกัน พบว่าความต้านทานต่อน้ำมันเครื่องมีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่น้ำมันดีเซล และความสามารถในการต้านทานสารละลายผสมของไอโซออกเทนกับโทลูอีนมีค่าต่ำที่สุด



รูปที่ 31 การบวมพองในตัวทำละลายผสมไฮโซออกเทนกับโทลูอีน (ในอัตราส่วน 50/50 โดยปริมาตร) ของ ENR-20, EVA และเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ



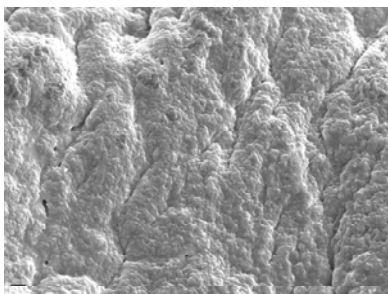
รูปที่ 32 การบวมพองในน้ำมันดีเซลของ ENR-20, EVA และเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ



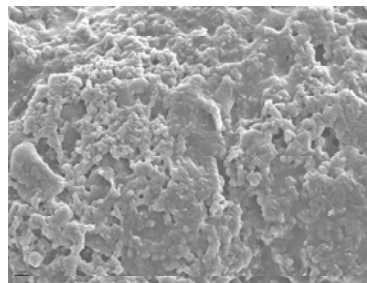
รูปที่ 33 การบวมพองในน้ำมันเครื่อง ของ ENR-20, EVA และเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

5. สันฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

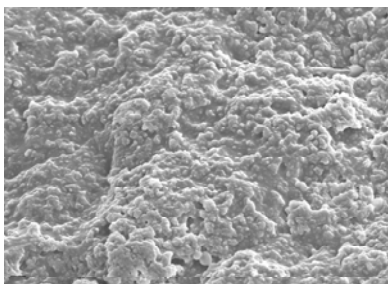
ทำการศึกษาลักษณะทางสันฐานวิทยาของ TPV ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ โดยเตรียมชิ้นตัวอย่างโดยแช่ในไนโตรเจนเหลว หักให้เกิดผิวใหม่ หลังจากนั้นนำไปสกัดเอาพลาสติกออกด้วยอะซิโตน อบให้แห้ง ทำการเคลือบทองคำ แล้วนำไปส่องด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 33 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ EVA ใน TPV ทำให้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์เกิดการกระจายตัวในเฟส EVA ได้ดีขึ้น โดยสังเกตจากขนาดอนุภาคของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ลดลง ทำให้เกิดแรงกระทำระหว่างเฟสบริเวณที่ผิวประจัญได้มากขึ้น จะเห็นว่าที่อัตราส่วน 50/50 และ 40/60 มีการกระจายตัวดีที่สุด จึงทำให้สมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงและการยืดดีที่สุดดังได้อธิบายมาแล้ว



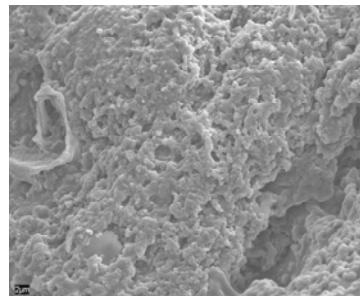
A: ENR-20/EVA = 75/25



B: ENR-20/EVA = 60/40



C: ENR-20/EVA = 50/50



D: ENR-/EVA = 40/60

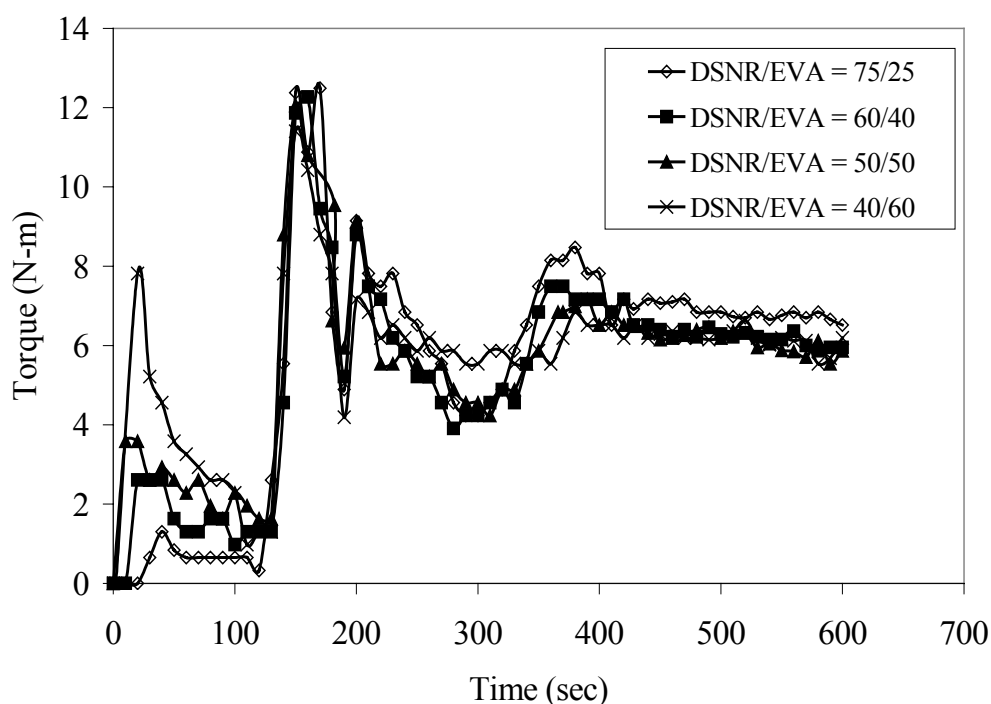
รูปที่ 34 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ ENR-20/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

2.4.2 การเตรียม TPV จากการเบลนด์ DSNR/EVA

เตรียม TPV โดยใช้สูตรคอมปาวด์และวิธีการเช่นเดียวกับการเตรียม TPV จากการเบลนด์ ENR-20/EVA ในหัวข้อที่ 1.3.4 และ 2.4.1

2.4.2.1 ค่าทอร์กของการผสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

ค่าทอร์กในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วน 75/25, 60/40, 50/50 และ 40/60 โดยใช้เครื่องผสมบราเบนด์เลอร์ พลาสติกคอคเตอร์ ทำการผสมที่อุณหภูมิ 160 °C ความเร็วโรเตอร์ 60 rpm ได้ความสัมพันธ์ของค่าทอร์กการผสมกับเวลาแสดงดังรูปที่ 35 พบว่าค่าทอร์กสุดท้ายหลังการวัลคาไนซ์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของ DSNR ในเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนของยางเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลมากขึ้นจึงทำให้ระบบมีความหนืดสูงขึ้น ดังนั้นแรงบิดที่ใช้ในการผสมจึงเพิ่มขึ้นตามปริมาณยางที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้ให้ผลในทำนองเดียวกับการทำวัลคาไนซ์ชั้นแบบไดนามิกส์ของ ENR-20/EVA (รูปที่ 23) ซึ่งพบว่าค่าทอร์กมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณยาง เช่นเดียวกัน

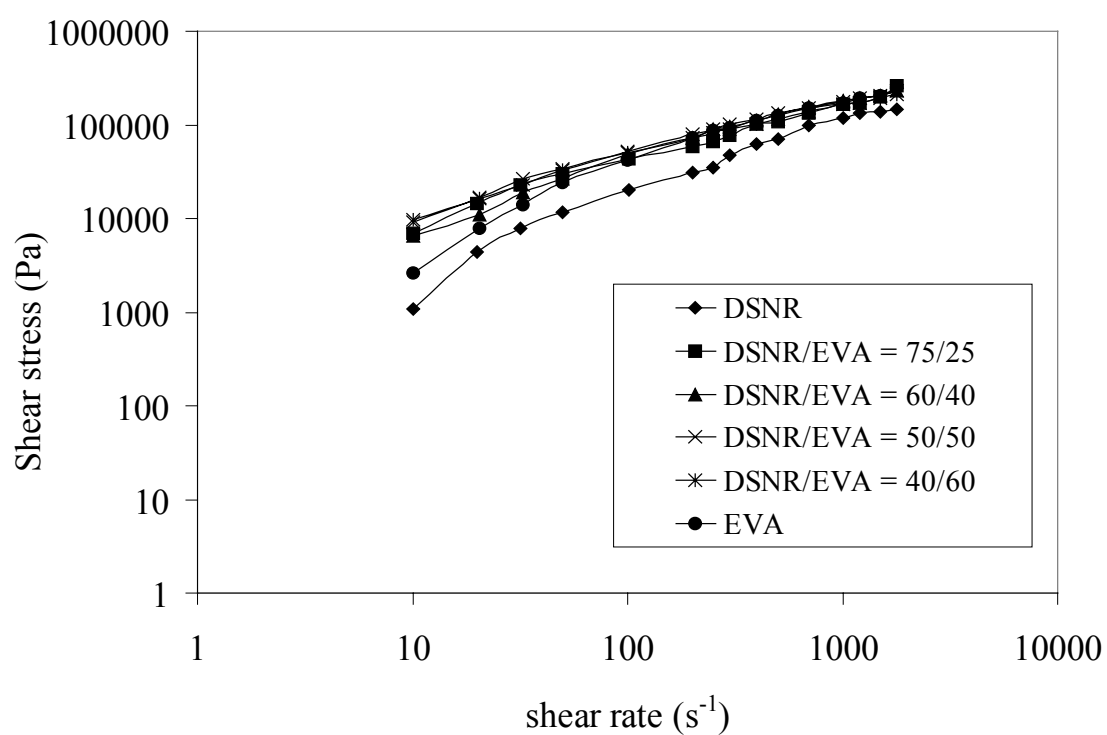


รูปที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาของการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ

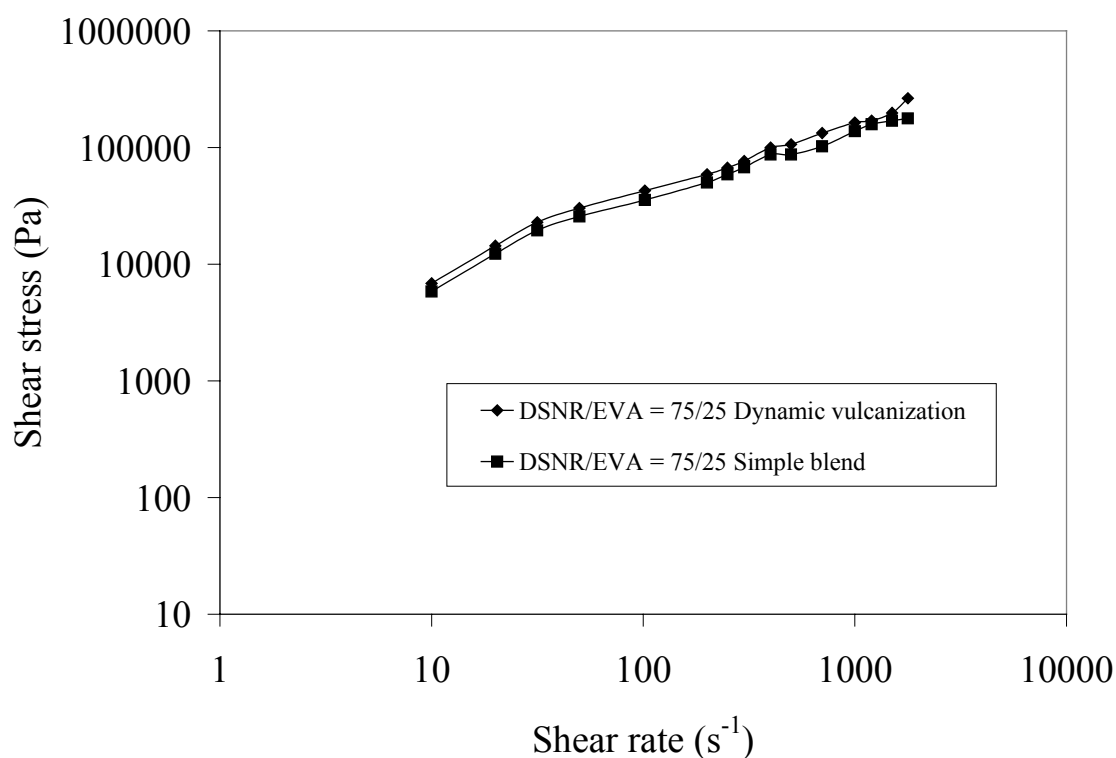
2.4.2.2 สมบัติทางรีโอโลยีของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

ทดสอบสมบัติทางรีโอโลยีของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ โดยวิธีการและสภาวะเดียวกับการทดสอบ TPV ของ ENR-20/EVA ในหัวข้อที่ 2.4.1 ได้ความถี่เส้นโค้งการไหล (ความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือน) แสดงดังในรูปที่ 36 พบว่าที่อัตราเฉือนเดียวกันค่าความเค้นเฉือนของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์มีค่าสูงกว่าของ EVA และ DSNR นอกจากนี้ TPV ที่อัตราส่วน DSNR/EVA = 40/60 และ 50/50 จะมีค่าความเค้นเฉือนสูงกว่า ที่อัตราส่วน 60/40 และ 75/25 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับกรณี simple blends ในหัวข้อที่ 2.3.2.2 (รูปที่ 16 และ 17) เนื่องจากการมีอันตรกิริยาสูงที่อัตราส่วน DSNR/EVA = 40/60 และ 50/50 จึงสามารถเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกันของเฟสยางกับพลาสติกได้ดี ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเข้ากันของเฟสทั้งสอง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองสัญญาณวิทยาในรูปที่ 47

เปรียบเทียบเส้นโค้งการไหลของ TPV กับ Simple blend ที่อัตราส่วนการเบลนด์ DSNR/EVA = 75/25 ได้ผลแสดงในรูปที่ 37 พบว่าที่อัตราการเฉือนเดียวกัน ค่าความเค้นเฉือนของ TPV มีค่าสูงกว่า simple blends ที่อัตราส่วนการเบลนด์เดียวกัน เนื่องมาจากการทำไดนามิกซ์วัลคาไนซ์เซชัน ทำให้เกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุลยาง แล้วเฟสของยางจะเกิดการกระจายตัวเป็นอนุภาคเล็กๆในเฟสของ EVA ซึ่งเป็นเมทริกซ์ ทำให้อนุภาคเหล่านี้จะขัดขวางการไหลมากกว่าโมเลกุลยาง DSNR ที่ไม่มีการเชื่อมโยง จึงทำให้มีเส้นโค้งการไหลของ TPV สูงกว่าของ Simple blend

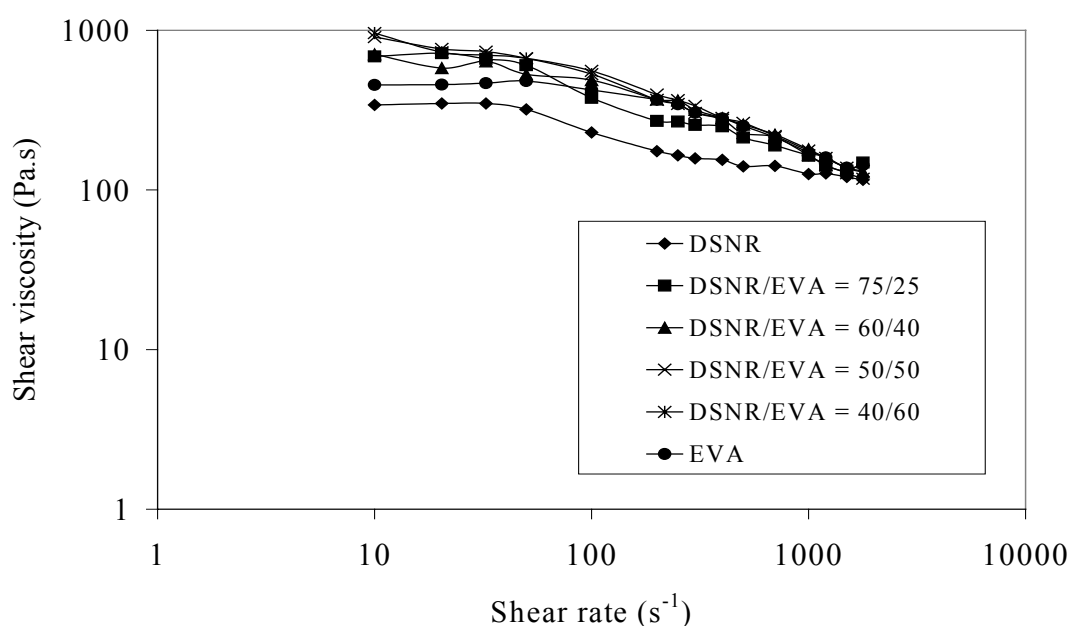


รูปที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของ DSNR, EVA และ เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ



รูปที่ 37 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือนของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์กับพอลิเมอร์เบลนด์ที่อัตราส่วน DSNR/EVA เท่ากับ 75/25

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเฉือนกับความหนืดเฉือน (เส้นโค้งความหนืด) ของ TPV จากการเบลนด์ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆแสดงดังรูปที่ 38 พบว่าค่าความหนืดเฉือนที่อัตราเฉือนเดียวกันของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่มีอัตราส่วน DSNR/EVA = 50/50 และ 40/60 จะมีความหนืดเฉือนสูงกว่าที่อัตราส่วน 60/40 และ 75/25 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับแนวโน้มของเส้นโค้งการไหลในรูปที่ 36 ซึ่งสามารถอธิบายด้วยเหตุผลในการทำงานเดียวกัน



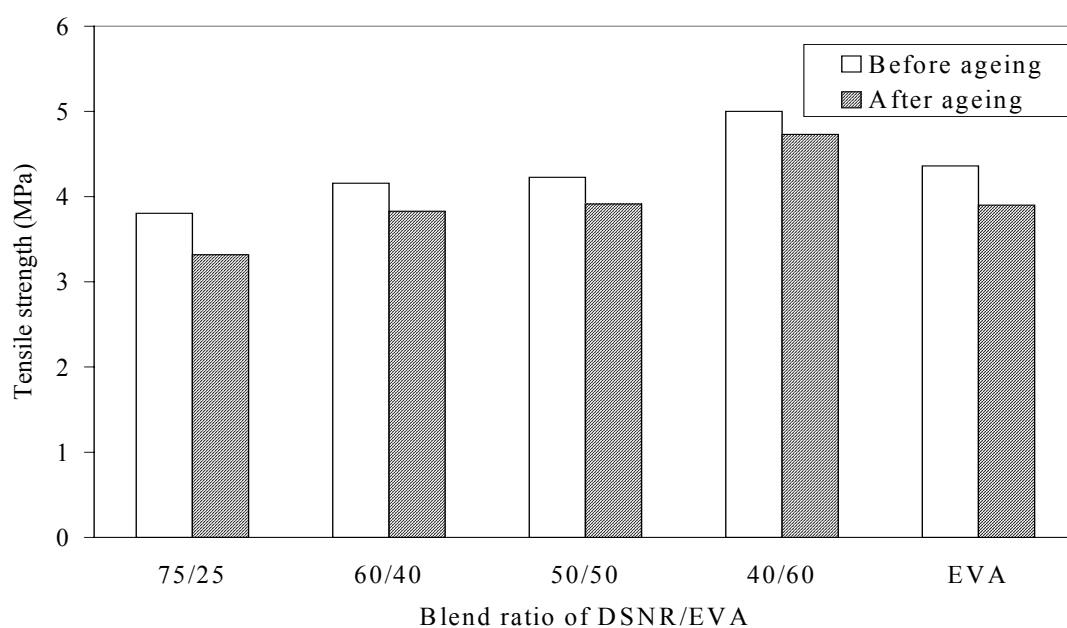
รูปที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืดเฉือนของ DSNR, EVA และ เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

2.4.2.3 สมบัติเชิงฟิสิกส์ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

1 ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืด

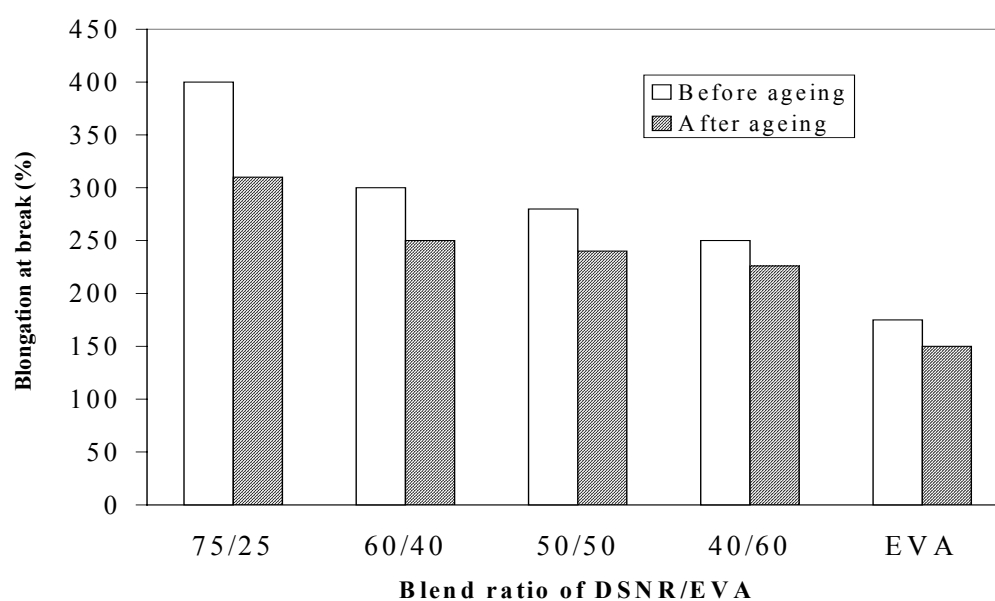
ทำการทดลองเพื่อทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงก่อนบ่มแรงและหลังบ่มแรง ในทำนองเดียวกับการทดสอบ TPV จาก ENR-20/EVA ในหัวข้อ 2.4.1.3 ได้ผลการทดลองค่าความต้านทานต่อแรงดึงของ TPV เปรียบเทียบกับของ EVA แสดงดังในรูปที่ 39 ในการทดลองนี้ไม่สามารถทำการคอมปาวด์ยาง DSNR บน two-roll mill ได้เนื่องจากมียางมีลักษณะเป็นผง ทำการคอมปาวด์ใน internal mixer ได้ แต่ยางคอมปาวด์ที่ได้ไม่สามารถอัดเบ้าที่มีคุณภาพดีพอที่จะดึงทดสอบได้ จึงไม่มีข้อมูลของยาง DSNR วัลคาไนซ์

จากรูปที่ 39 พบว่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วน 40/60 มีค่าสูงที่สุด ส่วนที่อัตราส่วน 50/50 และ 60/40 จะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (ในรูปที่ 44) ซึ่งพบว่าขนาดอนุภาคของยางมีขนาดเล็กที่อัตราส่วนดังกล่าว ทำให้มีปริมาณพื้นที่ผิวในการเกิดแรงกระทำระหว่างเฟสทั้งสองเฟสมากขึ้น นอกจากนี้พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงก่อนบ่มแรงของพอลิเมอร์ทุกชนิดมีค่าสูงกว่าหลังบ่มแรง เนื่องจากความร้อนส่งผลให้โครงสร้างโมเลกุลของยางและพลาสติกเกิดการเสื่อม ทำให้ความแข็งแรงของวัสดุลดลง



รูปที่ 39 ความต้านทานต่อแรงดึงก่อนบ่มและหลังบ่มแรงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

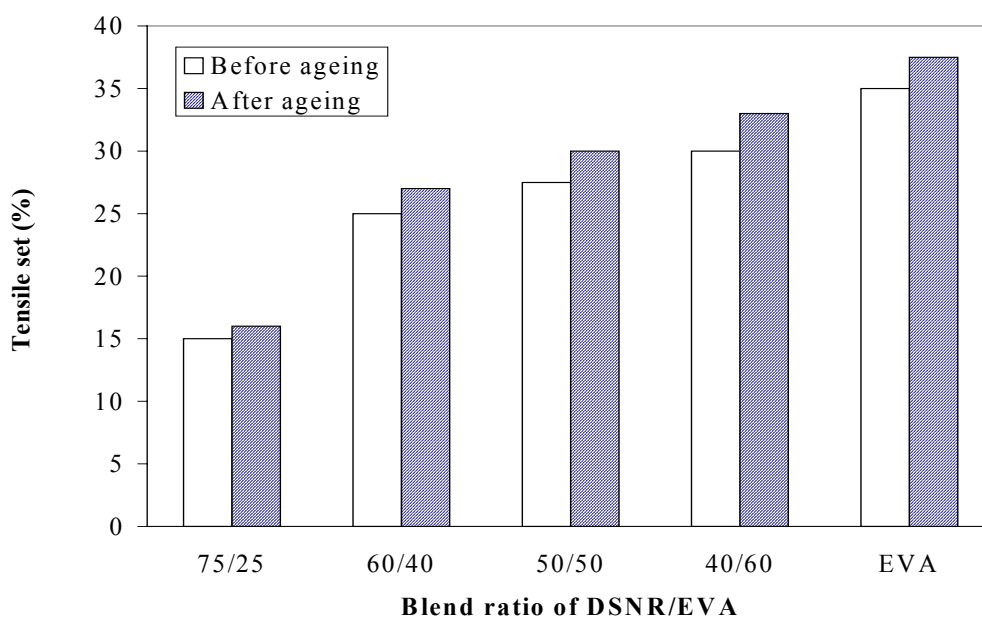
สมบัติด้านความสามารถในการยืดของ TPV แสดงในรูปที่ 40 พบว่าค่าความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ มีความสามารถในการยืดเพิ่มขึ้นตามปริมาณยาง DSNR ในพอลิเมอร์เบลนด์ นอกจากนี้พอลิเมอร์ทุกชนิดมีค่าความสามารถในการยืดก่อนบ่มสูงกว่าหลังบ่ม เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน ดังได้อธิบายไปแล้ว



รูปที่ 40 ความสามารถในการยืดก่อนบ่มและหลังบ่มแรงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

2 ความสามารถในการคืนตัว

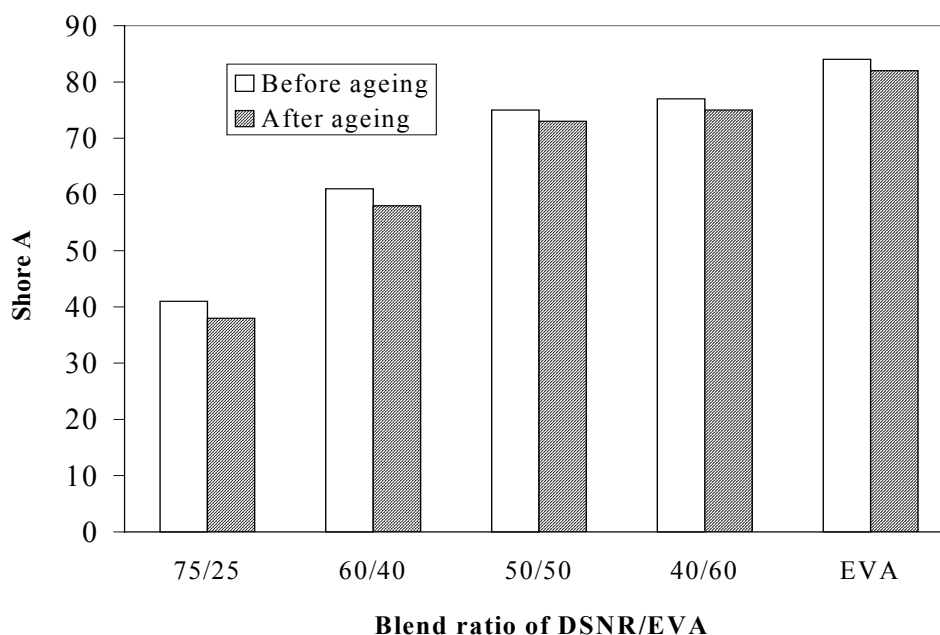
ทดสอบสมบัติด้านความสามารถในการกลับคืนสู่รูปร่างเดิมก่อนบ่มแรงและหลังบ่มแรง ของ TPV จากการเบลนด์ DSNR/EVA โดยวิธีการเดียวกับข้อ 2.4.1 ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 41 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของยางใน TPV ทำให้ค่า tension set ลดลง ซึ่งแสดงว่า TPV สามารถคืนตัวได้มากขึ้น กล่าวคือมีสมบัติความเป็นอีลาสโตเมอร์มากขึ้น และค่า tension set สูงสุดที่ อัตราส่วน DSNR/EVA = 40/60 ก่อนบ่มแรงมีค่าประมาณ 30 % (TPV ชนิดนี้มีค่า Elongation at Break ~ 250%) ซึ่งพบว่าอยู่ในเกณฑ์ของการจัดวัสดุชนิดนี้เป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Coran, 1987 และ 2003) นอกจากนี้ค่าความสามารถในการคืนตัวก่อนบ่มแรงของพอลิเมอร์ทุกชนิดมีค่าน้อยกว่าหลังการบ่มแรง เนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างโมเลกุล ส่งผลให้สูญเสียความเป็นอีลาสติซิตีของโมเลกุล



รูปที่ 41 ความสามารถในการคืนรูปก่อนบ่มแรงและหลังบ่มแรงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

3 ความแข็ง

ทดสอบความแข็งของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนของ DSNR/EVA ต่างๆ โดยเป็นการวัดค่าความแข็งแบบ Durometer Shore A ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 42 พบว่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นถ้าอัตราส่วนของ EVA เพิ่มขึ้น เนื่องจาก EVA มีค่าความแข็งมากกว่ายาง นอกจากนี้พบว่าความแข็งของพอลิเมอร์ทุกชนิดก่อนการบ่มแรงมีค่าสูงกว่าหลังบ่มแรง เนื่องจากผลของความร้อนส่งผลให้ยางและพลาสติกเกิดการเสื่อม



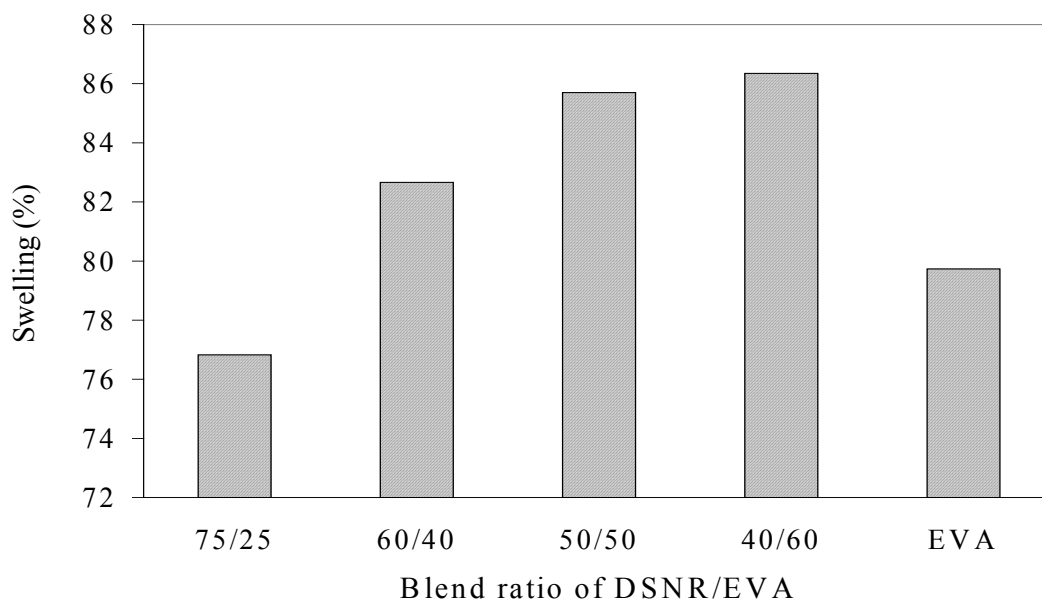
รูปที่ 42 ความแข็งก่อนบ่มและหลังบ่มของ EVA และเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

4 ความต้านทานต่อตัวทำละลาย (Solvent resistance)

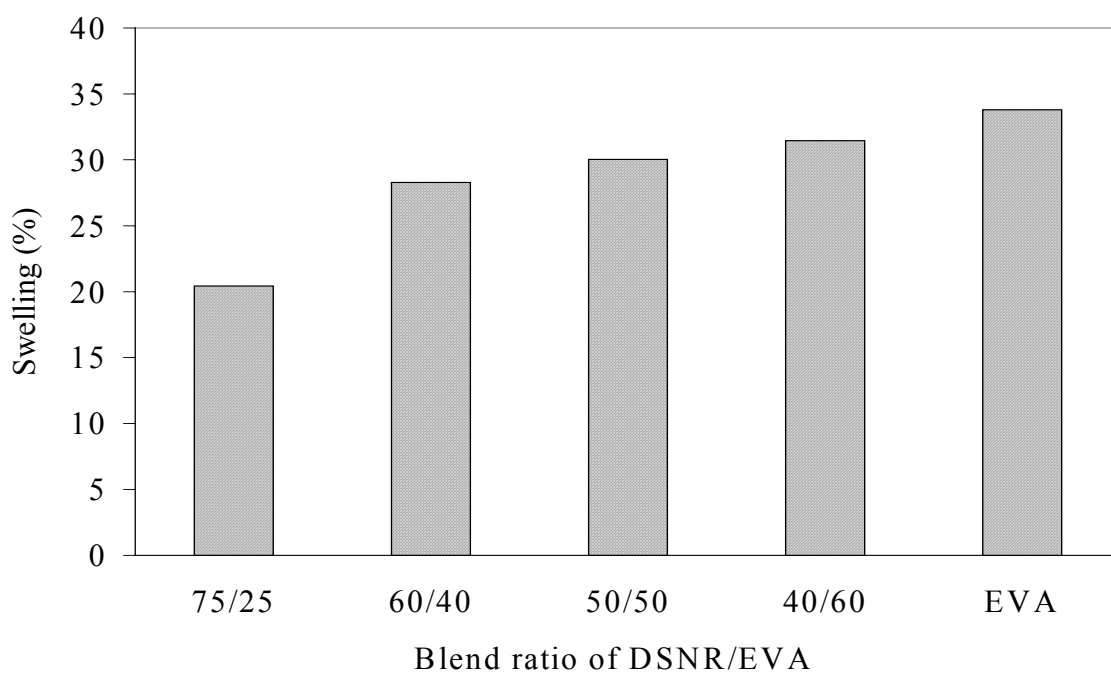
ทดสอบความต้านทานต่อตัวทำละลายของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่าง โดยทำการทดสอบ Swelling test โดยใช้วิธีการเดียวกับหัวข้อ 2.4.1 ได้ผลการทดลองการบวมพองในตัวทำละลายผสมของไอโซออกเทนกับโทลูอีน (50/50 โดยปริมาตร) แสดงดังในรูปที่ 43 พบว่าการบวมพองของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนของยางเพิ่มขึ้น เนื่องจากยาง DSNR มีสภาพขั้วโมเลกุลสูงจึงทำให้มีความต้านทานต่อการบวมพองสูงเมื่อมีปริมาณมาก นอกจากนี้พบว่าที่อัตราส่วน DSNR/EVA = 75/25 จะมีความต้านทานต่อตัวทำละลายดีกว่า EVA

การบวมพองในน้ำมันดีเซล และน้ำมันเครื่องรถยนต์ 4 จังหวะ แสดงดังในรูปที่ 44 และ 45 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการบวมพองของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ในสารเคมีทั้งสองชนิดมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของยางใน TPV อาจจะมีผลเนื่องจากสภาพขั้วโมเลกุลของยาง DSNR ดังได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นการเพิ่มสัดส่วนของยาง ทำให้ลดการบวมพองของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ในน้ำมันดีเซลและน้ำมันเครื่องยนต์ 4 จังหวะลดลง หรือมีความต้านทานต่อสารเคมีทั้งสองชนิดนี้มากขึ้น นอกจากนี้พบว่า TPV ทุกชนิดที่อัตราส่วนการเบลนด์เดียวกันมีความต้านทานต่อ

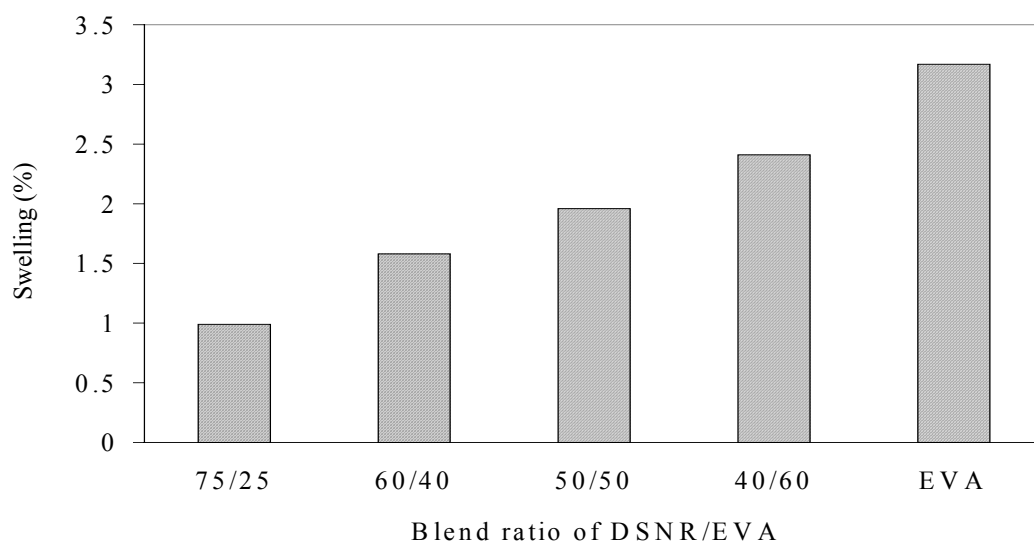
น้ำมันเครื่องยนต์ 4 จังหวะดีที่สุด รองลงมาได้แก่น้ำมันดีเซล และมีความสามารถในการต้านทานสารละลายผสมของไอโซออกเทนกับโทลูอินต่ำที่สุด



รูปที่ 43 การบวมพองในตัวทำละลายผสมไอโซออกเทนกับโทลูอินของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ



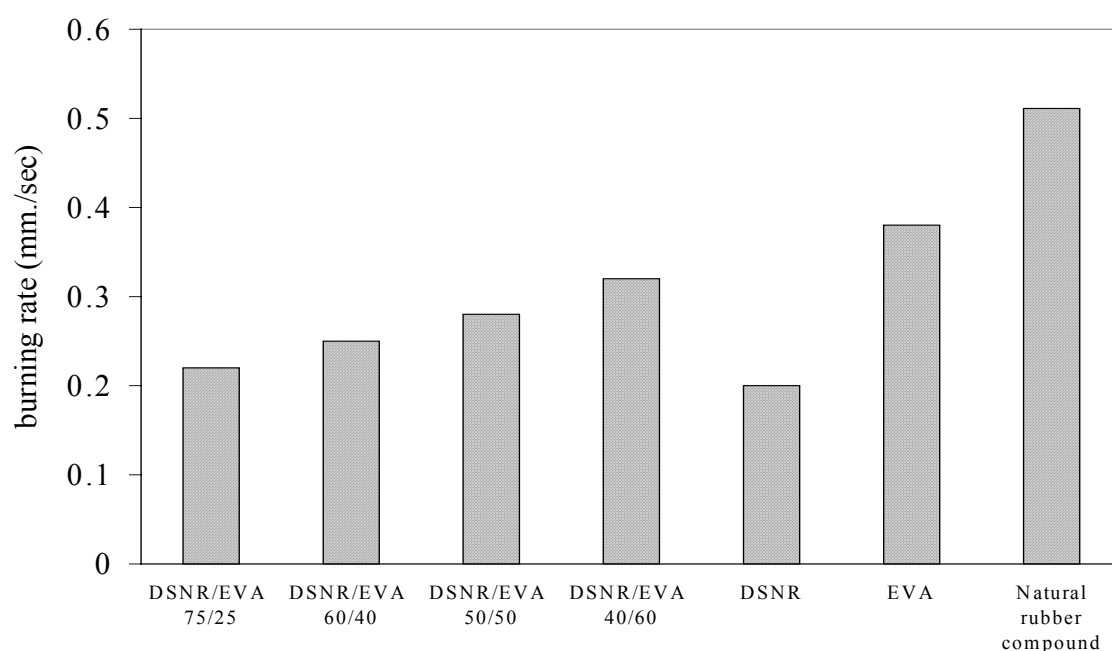
รูปที่ 44 การบวมพองในน้ำมันดีเซลของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 45 การบวมพองของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของDSNR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ ในน้ำมันเครื่องยนต์เบนซิน 4 จังหวะ

5 สมบัติด้านความต้านทานต่อการติดไฟ

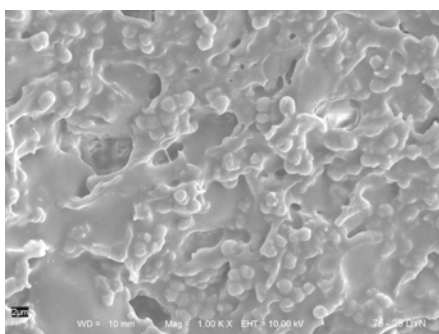
ทำการทดสอบความต้านทานต่อการติดไฟตามมาตรฐาน ISO 3582-1978 (E) โดยนำเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติก มาทำการทดสอบการทนไฟ มีขั้นตอนในหัวข้อที่ 1.3.10 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 46 แสดงผลการทดลองอัตราการเผาไหม้ของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ พบว่าอัตราการเผาไหม้ของยาง DSNR มีค่าต่ำที่สุด นอกจากนี้พบว่าอัตราการเผาไหม้ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ DSNR/EVA ทุกอัตราส่วน มีค่าต่ำกว่าอัตราการเผาไหม้ของ EVA และยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ การเพิ่มปริมาณยาง DSNR ใน TPV ทำให้อัตราการเผาไหม้ลดลง แสดงว่าการทำปฏิกิริยาโดยการเพิ่มส่วนที่เป็นสารประกอบฟอสฟอรัสลงในโมเลกุลยางธรรมชาติจะมีผลต่อความต้านทานต่อการเผาไหม้ ทำให้เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่มีการเพิ่มสัดส่วนยาง DSNR มีอัตราการเผาไหม้ที่ลดลง



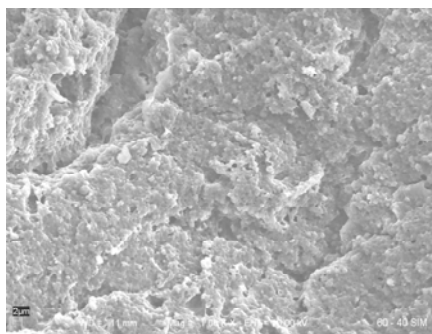
รูปที่ 46 อัตราการเผาไหม้ของยาง NR, DSNR, EVA และ TPV ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วนต่างๆ

6 สันฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

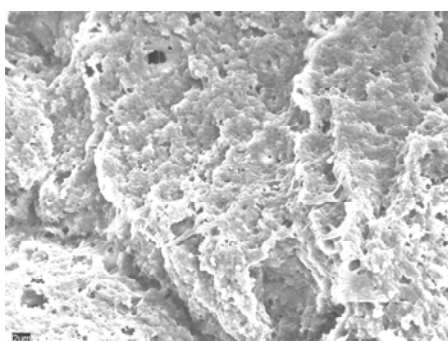
ทำการเปรียบเทียบลักษณะทางสันฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนการเบลนด์ต่างๆ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 47 พบว่าที่อัตราส่วนของ DSNR/EVA = 40/60, 50/50 และ 60/40 การกระจายของ DSNR จะเป็นอนุภาคนาขนาดเล็กๆ ในเฟสต่อเนื่องของ EVA การที่ขนาดอนุภาคของยาง DSNR ลดลง เกิดแรงกระทำระหว่างเฟสบริเวณที่ผิวประจัญมากขึ้น จึงส่งผลต่อสมบัติด้านรีโอโลยี สมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึง และสมบัติอื่นๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว



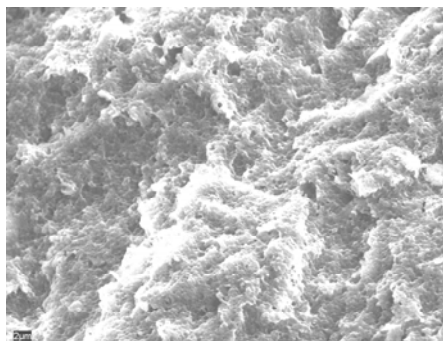
A: DSNR/EVA = 75/25



B: DSNR/EVA = 60/40



C: DSNR/EVA = 50/50



D: DSNR/EVA = 40/60

รูปที่ 47 สัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ DSNR/EVA

3. สรุปผลการทดลอง

3.1 การเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์

- การเตรียมยาง ENR พบพีคสเปคตรัมอินฟราเรดของวงแหวนอีพอกไซด์ที่เลขคลื่น 870 และ 1140 cm^{-1}
- สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมยาง ENR-20 คือ อุณหภูมิ 50°C และเวลาของการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 10 นาที

3.2 การเตรียมยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยไดบิวทิลฟอสเฟต (DSNR)

- วิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุล DSNR ด้วย $^1\text{H-NMR}$ ปรากฏตำแหน่ง chemical shift ที่เกิดเรโซแนนซ์ของ dioxaphospholane ที่ 1.40 และ 4.18 ppm
- สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม DSNR คือ ใช้ $[\text{DBP}]/[\text{epoxide units}] = 1.0$ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30°C

3.3 พอลิเมอร์เบลนด์ของ ENR-20/EVA

- พบว่าค่าทอร์กของการผสม เส้นโค้งการไหล เส้นโค้งความหนืดของพอลิเมอร์เบลนด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ ENR-20 ในพอลิเมอร์เบลนด์
- การทดสอบสมบัติพลวัตเชิงกล ทำให้ทราบว่าพอลิเมอร์เบลนด์ชนิดนี้ชนิดเป็นการเบลนด์ที่เข้ากันได้บางส่วน (partially compatible blends) เนื่องจากค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของเฟสยาง ENR-20 และ เฟส EVA มีการเลื่อนเข้าหากัน (phase shift) กล่าวคือค่า T_g ของเฟสพลาสติกมีการเคลื่อนลดลงตามการเพิ่มปริมาณยาง ENR-20 และเฟสยางค่า T_g มีการเคลื่อนไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย
- การทดสอบสมบัติเชิงความร้อนด้วยเทคนิค TGA พบว่า EVA มีค่า T_d สูงที่สุด แต่ยาง ADS มีค่า T_d ต่ำที่สุด ส่วนยาง ENR-20 มีค่า T_d สูงกว่า ADS แต่ต่ำกว่า EVA
- ค่า T_d ของพอลิเมอร์เบลนด์ที่ทุกอัตราส่วนการเบลนด์มีค่าสูงกว่า T_d ของยาง ADS และ ENR-20 เนื่องจากมีส่วนประกอบของ EVA ที่ทนความร้อนสูงกว่า จึงทำให้ค่า T_d ของพอลิเมอร์เบลนด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ EVA
- จากลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่าการกระจายตัวของเฟสทั้งสองเข้ากันได้ดีเมื่ออัตราส่วนของ EVA เพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการกระจายตัวของเฟสทั้งสองดียิ่งขึ้น

3.4. พอลิเมอร์เบลนด์ของ DSNR/EVA

- ค่าทอร์กในการผสม เส้นโค้งการไหล และเส้นโค้งความหนืด ของ DSNR/EVA ที่อัตราส่วน 40/60 และ 50/50 มีค่าสูงที่สุด การเพิ่มอัตราส่วนของยางมากกว่านี้จะทำให้ค่าเหล่านี้ลดลง
- ใช้ log-additive rule ทำให้ทราบว่าพอลิเมอร์เบลนด์มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดที่ปริมาณยางประมาณ 50% เกิดเนื่องมาจากการเสริมแรง ทำให้ค่าความหนืดเฉือนสูงกว่าของพอลิเมอร์เริ่มต้นจึงกล่าวได้ว่าการเข้ากันได้ของการเบลนด์ (blend compatibility) หรือเรียกว่า positive deviation blend (PDB)
- ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของเฟสยาง DSNR และเฟสพลาสติก EVA มีแนวโน้มเคลื่อนเข้าหากัน (shift) อย่างชัดเจน ทำให้สามารถบอกถึงความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ระหว่าง DSNR/EVA
- อุณหภูมิการสลายตัวของ DSNR มีค่าสูงกว่า T_d ของ ENR-20 และ ADS ตามลำดับ แต่มีค่าต่ำกว่าค่า T_d ของ
- T_d ของพอลิเมอร์เบลนด์มีค่าสูงกว่าค่า T_d ของ DSNR แต่มีค่าต่ำกว่าค่า T_d ของ EVA และค่า T_d ของพอลิเมอร์เบลนด์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ EVA ในพอลิเมอร์เบลนด์

3.5. เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ ENR-20/EVA

- ความต้านทานต่อแรงดึงของ TPV มีค่าต่ำกว่าของยาง ENR-20 วัลคาไนซ์
- ค่าความต้านทานต่อแรงดึง TPV ที่เบลนด์ที่อัตราส่วน ENR-20/EVA ที่ 75/25 และ 60/40 มีค่าต่ำกว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงของ EVA แต่ถ้าอัตราส่วนที่ 50/50 และ 40/60
- ความสามารถในการยืดก่อนและหลังบ่มเร่งมีค่าสูงกว่าหลังบ่มเร่งทุกอัตราส่วน
 - ค่าความสามารถในการยืดของ TPV ที่เบลนด์ในอัตราส่วนต่างๆ มีค่าต่ำกว่ายางธรรมชาติอิพอกไซด์วัลคาไนซ์ โดยที่อัตราส่วนยาง ENR-20/EVA เท่ากับ 40/60 และ 50/50 ให้ค่าความสามารถในการยืดสูงที่สุด
- ความสามารถในการคืนตัวของ TPV มีค่าลดลงตามการเพิ่มปริมาณ EVA และมีค่าสูงสุด ประมาณ 30% (ENR-20/EVA = 40/60 มีค่า EB = 500%)
- การเพิ่มปริมาณ EVA ใน TPV ทำให้ยางธรรมชาติอิพอกไซด์เกิดการกระจายตัวในเฟส EVA ได้ดีขึ้น โดยสังเกตจากขนาดอนุภาคของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ลดลง ทำให้เกิดแรงกระทำระหว่างเฟสบริเวณที่ผิวประจัญได้มากขึ้น จะเห็นว่าที่อัตราส่วน 50/50

และ 40/60 มีการกระจายตัวดีที่สุด จึงทำให้สมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงและการยืดดีที่สุด

3.6. เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ DSNR/EVA

- ความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วน 40/60 มีค่าสูงที่สุด ส่วนที่อัตราส่วน 50/50 และ 60/40 จะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาซึ่งพบว่าขนาดอนุภาคของยางมีขนาดเล็กที่อัตราส่วนดังกล่าว ทำให้มีปริมาณพื้นที่ผิวในการเกิดแรงกระทำระหว่างเฟสทั้งสองเฟสมากขึ้น
- ค่าความต้านทานต่อแรงดึงก่อนบ่มแรงของพอลิเมอร์ทุกชนิดมีค่าสูงกว่าหลังบ่มแรง
- ความสามารถในการยืดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่อัตราส่วนต่างๆ มีความสามารถในการยืดเพิ่มขึ้นตามปริมาณยาง DSNR
- TPV ทุกชนิดมีค่าความสามารถในการยืดก่อนบ่มแรงสูงกว่าหลังบ่มแรง
- อัตราการเผาไหม้ของยาง DSNR มีค่าต่ำที่สุด
- นอกจากนี้พบว่าอัตราการเผาไหม้ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ของ DSNR/EVA ทุกอัตราส่วน มีค่าต่ำกว่าอัตราการเผาไหม้ของ EVA และยางธรรมชาติวัลคาไนซ์
- การเพิ่มปริมาณยาง DSNR ใน TPV ทำให้อัตราการเผาไหม้ลดลงแสดงว่าการทำปฏิกิริยาโดยการเพิ่มส่วนที่เป็นสารประกอบฟอสฟอรัสลงในโมเลกุลยางธรรมชาติจะมีผลต่อความต้านทานต่อการเผาไหม้ ทำให้เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่มีการเพิ่มสัดส่วนยาง DSNR มีอัตราการเผาไหม้ที่ลดลง

ภาคผนวก 1

ภาคผนวก 1: ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากโครงการ
1. เพื่อเตรียมและศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) และยางธรรมชาติที่ดัดแปลงโมเลกุลด้วยหมู่ไดบิวทิลฟอสเฟต (DSNR)	เตรียมยาง ENR และ DSNR	-เตรียมยาง ENR ที่เวลาการทำ ปฏิกริยาในช่วง 0-8 ชม ที่ 50 °C -เตรียมยาง ENR-20 ใช้เวลา 1.10 ชม -เตรียมยาง DSNR โดยใช้ $[ENR-20]/[DBP] = 1$ ที่ 30 °C	-ทราบความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับ ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ -ได้ยาง ENR-20 ที่ใช้เตรียมพอลิเมอร์เบ ลนด์และ TPV - ได้ยาง DSNR ที่ใช้เตรียมพอลิเมอร์เบ ลนด์และ TPV
2. เพื่อเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (TPV) จากการเบลนด์ EVA/ENR และ EVA/DSNR โดยใช้ กระบวนการวัลคาไนเซชันแบบไดนามิกส์ (Dynamically vulcanization)	เตรียม TPVs จากการเบลนด์ ENR/EVA และ DSNR/EVA	- เตรียม simple blends ก่อนการเตรียม TPVs โดยกระบวนการ dynamically vulcanization เพื่อวิเคราะห์สมบัติการไหล สมบัติพลวัตเชิงกล สันฐานวิทยาและการสลายตัวเนื่องจากความร้อน เพื่อเป็นเกณฑ์เบื้องต้นในการประเมิน สมบัติ TPV และ ความเข้ากันได้ของการเบลนด์ - เตรียม TPVs จากการเบลนด์ ENR/EVA และ DSNR/EVA โดยเลือกใช้ ENR-20 และ DSNR ที่เตรียมจาก $[ENR-20]/[DBP] = 1$	-ทราบสมบัติต่างๆของ simple blends -ทราบว่าพอลิเมอร์เบลนด์ของ ENR-20/EVA และ DSNR/EVA เป็นการเบลนด์ ชนิดที่เข้ากันได้บางส่วน (partially compatible blends)

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากโครงการ
3. เพื่อศึกษาสมบัติ TPV ในข้อ 2 โดยเน้นการศึกษาสมบัติเชิงกล สันฐานวิทยา สมบัติเชิงความร้อน และความต้านทานต่อตัวทำละลาย เป็นต้น	-ศึกษาสมบัติเชิงกล สันฐานวิทยา สมบัติเชิงความร้อน และความต้านทานต่อตัวทำละลาย	- วิเคราะห์สมบัติต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล (ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืด และความสามารถในการคืนตัว) ทั้งก่อนและหลังบ่มแรง สมบัติพลวัตเชิงกล ความต้านทานต่อตัวทำละลาย ความต้านทานต่อความร้อน สันฐานวิทยา และการต่อต้านต่อการถูกไหม้ของเปลวไฟ (เฉพาะ TPVs ของ DSNR/EVA)	-ทราบสมบัติต่างๆ และสรุปว่า TPVs ที่ได้มีสมบัติด้านอิลาสติกซิตีดี และสามารถจัดกลุ่มเป็นวัสดุเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ได้
4. ศึกษาความสามารถในการแปรรูป TPV ด้วยเครื่องฉีดพลาสติก	ศึกษาความสามารถในการแปรรูป TPV ด้วยเครื่องฉีดพลาสติก	ขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติก โดยเฉพาะการเตรียมตัวอย่างทดสอบสมบัติเชิงกล	TPVs ที่เตรียมขึ้นสามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติกได้เป็นอย่างดี
5. เพื่อเตรียมยางวัลคาไรในชั้นดินทนน้ำมันจากยางธรรมชาติ ด้านทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน และ/หรือ ทนทานต่อการติดไฟ	ศึกษาความต้านทานต่อน้ำมัน ด้านทนต่อการเสื่อมสภาพ ความต้านทานต่อความร้อน และความต้านทานต่อการติดไฟ	- ศึกษาความต้านทานต่อน้ำมันดีเซล น้ำมันเครื่องยนต์ 4 จังหวะ และ ในสารละลายผสมของไอโซออกเทนกับโทลูอิน - ศึกษาความต้านทานต่อการเสื่อมโดยกาบอบอากาศร้อน เป็นเวลา 166 ชั่วโมง - ศึกษาความต้านทานต่อความร้อนด้วยเทคนิค TGA - ศึกษาความต้านทานต่อการติดไฟและการลุกไหม้ด้วย burning test	- TPVs ทุกชนิดทนทานต่อน้ำมันเครื่องและน้ำมันดีเซล ต่อไม่ทนทานต่อสารละลายผสมของไอโซออกเทนกับโทลูอิน - TPVs ทุกชนิดเกิดการเสื่อมหลังบ่มแรง แต่อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สูงมาก - คุณสมบัติการสลายตัวของ TPVs เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณ EVA - ความต้านทานต่อการติดไฟ ของ TPV เพิ่มขึ้นตามปริมาณ DSNR

ภาคผนวก 2

ภาคผนวก 2: บทความสำหรับการเผยแพร่

เสนอในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ Polymer Processing Society (PPS-2004),
Asia/Australia Meeting, Gyeongju Hotel, Gyeongju, South Korea ระหว่างวันที่ 29 สิงหาคม
ถึง 3 กันยายน พ.ศ. 2547

Thermoplastic Vulcanizates Based on Dibutyl Phosphate Supported Natural Rubber and EVA Blends

Charoen Nakason⁽¹⁾, Azizon Kaesaman⁽²⁾, Punyanit Intarapat⁽³⁾

⁽¹⁻³⁾Department of Rubber Technology and Polymer Science, Faculty of
Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani, Thailand

Abstract

Dibutyl phosphate supported natural rubber (DSNR) was prepared in latex state using epoxidized natural rubber with 20 mole % epoxide (ENR-20). The DSNR was later used to prepare TPVs based on DSNR/EVA blends via dynamically vulcanization by sulphur curing method. We found that the TPVs exhibited tensile strength, elongation at break and tension set in a range of 3.8-5.0 MPa, 250-400 % and 15-30%, respectively. The tensile strength increased but elongation at break decreased with increasing level of the EVA in blends. Furthermore, the tension set increased with the increase of EVA content in the blends. This reveals decreasing trend of rubber elasticity of the TPVs. Hardness of the TPVs was found in a range of 40-80 (Shore A). The hardness increased with increasing level of the EVA. The swelling test in a mixture of iso-octane and toluene (50/50 %v), diesel oil and engine oil was performed. It was found that the TPVs showed the highest swelling behaviour in the mixture of iso-octane and toluene. However, very low level of swelling parts was found in the diesel and engine oils. Therefore, it is concluded that the TPVs exhibited oil resistance characteristics. Flame resistance in terms of burning resistance was also characterized. We found that the TPVs exhibited flame retardancy characteristic. This was in particular for the TPVs with the high contents of DSNR.