



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเตรียมพอลิเมอร์พสมะหว่างยางธรรมชาติ
กับพอลิสไตรีน โดยใช้เบนโทไนท์เป็นตัว
เติมในสภาวะลากเท็กซ์

โดย ดร.จรีรัตน์ รวมเจริญและคณะ

เดือนมิถุนายน พ.ศ.2551

ສະລູງລູາເລຂທີ RDG5050058

รายงานວິຈัยຂັບສນນູຮັນ

ໂຄຮກການ ກາຮເຕຣີຍມພອລືເມອ່ຳສມຮະຫວ່າງຍາງຮຮມໝາຕີ ກັບພອລືສໍາຕິຣີນໂດຍໃຫ້ເບັນກອ່ານີ້ເປັນຕົວ ເຕີມໃນສພາວະລາເທິກ່າ

ຄະະຝູວິຈີຍ

ສັງກັດ

- | | |
|---------------------------|---|
| 1. ດຣ.ຈົກສະໜັກ ວິໄລຍະ | ຄະະວິທຍາສາສຕົມແລະເຫັນໂນ ໂລີຍ
ມາວິທຍາລັບສົງຂລານຄຣິນທີ |
| 2. ດຣ.ເສາວກາ ໂອດີສຸວະຮັນ | ຄະະວິທຍາສາສຕົມແລະເຫັນໂນ ໂລີຍ
ມາວິທຍາລັບສົງຂລານຄຣິນທີ |
| 3. ນາງສາວຍຸດາທິພູ້ ຈາຮູພຣ | ຄະະວິທຍາສາສຕົມແລະເຫັນໂນ ໂລີຍ
ມາວິທຍາລັບສົງຂລານຄຣິນທີ |

ຫຼຸດໂຄຮກການວິຈີຍຂາດເລັກ ເຮື່ອງຍາງພາວາ

ສນັບສະນູນໂດຍສໍານັກງານກອງທຸນສນັບສະນູນການວິຈີຍ (ສກວ.)
(ກວາມເຫັນໃນรายงานນີ້ເປັນຂອງຜູວິຈີຍ ສກວ. ໄນຈໍາເປັນຕົອງເຫັນດ້ວຍເສມອໄປ)

สารบัญ

หน้า

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร	ii
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	v
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	vi
ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย	1
วัตถุประสงค์	1
ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง	1
วิธีการ	10
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	13
สรุปผล	34
ข้อเสนอแนะ	35
เอกสารอ้างอิง	35

บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ การเตรียมพอลิเมอร์สมรรถห่วงยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนโดยใช้เบนโทไนท์เป็นสารตัวเติมในสภาวะลาเท็กซ์

Preparation of Polymer Blend between Natural Rubber and Polystyrene with Bentonite as a Filler in Latex Stage

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล ดร.จรริตัน รวมเจริญ

หน่วยงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่อยู่ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตปัตตานี ต.รูสະนິແລ อ.เมือง จ.ปัตตานี 94000

โทรศัพท์/โทรสาร 073-313930-50 ต่อ 1845 E-mail address : sjareera@bunga.pn.psu.ac.th

ผู้ร่วมวิจัย/นักศึกษา ดร.สาวก้า โชคสุวรรณ

นางสาวยุดาพิพิญ จารุพร

งบประมาณทั้งโครงการ 102,000 บาท

ระยะเวลาดำเนินการ 9 เดือน (ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฏาคม 2550 ถึงวันที่ 30 มีนาคม 2551)

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันยางธรรมชาติ (natural rubber, NR) มีแนวโน้มราคาเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีการลดต้นทุนโดยการเติมสารตัวเติมราคากู๊ด เช่น แคลเซียมคาร์บอนเนต ซิลิกา เป็นต้น นอกจากนี้การเติมสารตัวเติมยังช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลและความเสถียรต่อความร้อนของยางธรรมชาติ และเป็นแนวทางของการขยายขอบเขตการประยุกต์ใช้งานยางธรรมชาติในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ได้มากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อนำซิลิกอตสังเคราะห์ผสมกับยางธรรมชาติทั้งในสภาวะลาเท็กซ์และสภาวะหลอมมีผลทำให้สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพดีขึ้น อีกแนวทางหนึ่งในการขยายขอบเขตการใช้งานคือการเบلنด์ยางธรรมชาติกับเทอร์โนมพลาสติกหรือยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ ในงานวิจัยนี้ได้สนใจปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติโดยเบلنด์กับพอลิสไตรีน (polystyrene, PS) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โนมพลาสติกที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีในด้านความแข็งแรง ทนทาน ไฟฟ้า มีน้ำหนักเบา ราคากู๊ด และเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถสังเคราะห์ได้ง่ายโดยใช้เทคนิคการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (emulsion polymerization) ทำให้สามารถนำมาใช้งานในสภาวะลาเท็กซ์ได้โดยตรง ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่ามีการเตรียมเทอร์โนมพลาสติกอิเล็กโทรเมอร์โดยพอลิสไตรีนเป็นส่วนของบล็อกที่มีความแข็งกรึง และพอลิเมอร์หนึ่งซึ่งมีลักษณะอ่อนนุ่มคล้ายยางเช่น พอลิบูตadiene (polybutadiene) หรือพอลิไอโซพրีน (polyisoprene) จากโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกันทำให้ทั้งสองบล็อกไม่สามารถรวมเข้ากันได้ในระดับโมเลกุล ดังนั้น จะเกิดการแยกภูมิภาค (phase separation) กัน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจนำยางธรรมชาติผสมกับพอลิสไตรีนในสภาวะลาเท็กซ์ในระบบที่มีการเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติด้วยกำมะถันและใช้เบนโทไนท์เป็นสารตัวเติม เพื่อปรับปรุง

สมบัติเชิงกลและทางกายภาพของยางธรรมชาติ และเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ชนิดใหม่จากยางธรรมชาติ เพื่อเพิ่มนุ่มค่ายางพารา

วัตถุประสงค์

เพื่อเตรียมเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติกับพอลิสไทรีนในสภาวะลาเท็กซ์โดยใช้เบนทอไนท์เป็นสารตัวเติม

ผลการดำเนินงาน

ผลจากการเตรียมพอลิเมอร์สมรรถนะว่างยางธรรมชาติ (NR) กับพอลิสไทรีน (PS) โดยใช้ระบบวัสดุค่าไนซ์ด้วยกำลังถังในสภาวะลาเท็กซ์ โดยแบร์ปริมาณอัตราส่วน NR/PS (โดยน้ำหนัก) ดังนี้ 90/10 80/20 และ 70/30 ตามลำดับ และปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่าง NR กับ PS โดยใช้เบนทอไนท์และเบนทอไนท์ดัดแปลงด้วยออกตะเดชิลเอน โนบเนียม ไออ่อน ซึ่งเป็นสารตัวเติมที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานและเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์สมรรถนะว่าง NR กับ PS ผลจากการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์สม NR/PS และพอลิเมอร์สม NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์และเบนทอไนท์ดัดแปลง พบว่าค่ามอคูลัส และค่าความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ NR และพอลิเมอร์สม NR/PS และให้ค่ามอคูลัส และค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดในระบบพอลิเมอร์สม NR/PS ในอัตราส่วน 70/30 ที่เติมเบนทอไนท์ 3 ส่วนเมื่อเทียบกับเนื้อยาง 100 ส่วน (phr) ในขณะที่มอคูลัสของพอลิเมอร์สม NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปลง มีแนวโน้มลดลงแต่ยังมีค่าสูงกว่าของยางธรรมชาติ ผลจากการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงฉีกขาด พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดพอลิเมอร์สม NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์และเบนทอไนท์ดัดแปลงสูงกว่า NR และพอลิเมอร์สม NR/PS และมีค่าสูงสุดในการฉีกขาดของพอลิเมอร์สม NR/PS ในอัตราส่วน 80/20 ที่เติมเบนทอไนท์ 3 phr (120 kN/m) ในส่วนผลสมบัติการทนต่อตัวทำละลายของพอลิเมอร์สม NR/PS และพอลิเมอร์สม NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์และเบนทอไนท์ดัดแปลง พบว่าค่าร้อยละการบรวมพองลดลงเมื่อเทียบกับ NR และพอลิเมอร์สม NR/PS และคงให้เห็นว่าการเติมเบนทอไนท์สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการทนต่อตัวทำละลายได้ชัดเจน เพื่อขอรับสมบัติเชิงกลและพฤติกรรมการทนต่อตัวทำละลายของพอลิเมอร์สม NR/PS ทั้งกรณีที่เติมและไม่เติมสารตัวเติม จึงได้ศึกษาโครงสร้างเคมีและโครงสร้างผลึกของเบนทอไนท์ในพอลิเมอร์สมด้วยเทคนิค Infrared spectroscopy (FT-IR) และ X-ray diffraction (XRD) โดยผลที่ได้ปรากฏหลักฐาน มีการแทรกส่ายโดยไม่เลกุลของยางธรรมชาติและพอลิสไทรีนบางส่วนในชั้นซิลิเกตของเบนทอไนท์ จากภาพถ่ายจากกล้องทรรศน์เล็กตระหง่านแบบส่องกราด สามารถสังเกตลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์สม NR/PS และพอลิเมอร์สม NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์และเบนทอไนท์ดัดแปลง โดยพบว่าในพอลิเมอร์สมที่เติมเบนทอไนท์และเบนทอไนท์ดัดแปลงมีขนาดอนุภาคของ PS ที่กระจายในเนื้อยางเล็กลง เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์สมที่ไม่เติมสารตัวเติม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเบนทอไนท์สามารถทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานให้ PS กระจายตัวในวัสดุภาคของ NR ได้ดีที่สุด

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์สมรรถนะว่างพอลิสไตรีนและยางธรรมชาติโดยใช้ระบบวัลค่าในชุดคำนวณในสภาวะถาวรที่ก๊าซและใช้เบนทอกไซน์และเบนทอกไนท์ดัดแปลงเป็นสารตัวเติม พบว่าค่ามอคูลัสและความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์สม NRP/PS ที่เติมเบนทอกไนท์ปริมาณ 3 ส่วนในเนื้อยาง 100 ส่วน มีค่าสูงมากกว่า NR และพอลิเมอร์สมที่ไม่เติมเบนทอกไนท์ (NR/PS) ผลของการทวนต่อตัวทำละลายจะได้รับพอลิเมอร์เบลนด์ที่เติมเบนทอกไนท์ มีค่าร้อยละการบูรณาการลดลงเมื่อเติมเบนทอกไนท์ลงในพอลิเมอร์สม NRP/PS ในทุกอัตราส่วน และผลจากการศึกษาสัมฐานวิทยาโดยใช้กล้อง SEM พบว่าเบนทอกไนท์สามารถเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์สม และทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานให้ PS กระจายในยางธรรมชาติได้ดีขึ้น

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่ออยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

1. ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์สมรรถนะว่าง NR และ PS โดยใช้ระบบวัลค่าในชุดคำนวณและใช้เบนทอกไนท์เป็นสารตัวเติมในสภาวะถาวรที่ก๊าซในระดับอุตสาหกรรม
2. ศึกษาเตรียมพอลิเมอร์สมรรถนะว่าง NR และ PS โดยใช้เบนทอกไนท์เป็นสารตัวเติมในสภาวะหลอม
3. ศึกษาแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์ฟอยยาง เช่นเบารองนั่ง พร้อมปูพื้น วัสดุกันกระแทก ผลิตภัณฑ์หล่อเบ้า เช่นหุ่นจำลองเป็นต้น

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

1. จากการผลการวิจัยทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัมฐานวิทยากับสมบัติเชิงกลของวัสดุที่เตรียมได้และอันตรายที่เกิดขึ้นในพอลิเมอร์สม เพื่อเป็นพื้นฐานในการเข้าใจถึงพฤติกรรมและสมบัติของวัสดุ
2. งานวิจัยนี้คาดว่าจะนำไปเผยแพร่โดยนำเสนอในงานวิชาการระดับนานาชาติ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ (NR) กับพอลิสไตรีน (PS) ในสภาวะลามเท็กซ์โดยแยกอัตราส่วน (โดยน้ำหนัก) 90/10 80/20 และ 70/30 ตามลำดับ โดยใช้เบนโทไนท์และเบนโทไนท์ดัดแปลงเป็นสารสารตัวเติม ผลจากทดสอบสมบัติการด้านทานต่อแรงดึง พบว่าค่ามอคูลัสของพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนโทไนท์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ NR และพอลิเมอร์ผสม NR/PS และมีค่าสูงที่สุดในระบบพอลิเมอร์ผสม NR/PS ในอัตราส่วน 70/30 ที่เติมเบนโทไนท์ 3 ส่วน เมื่อเทียบกับเนื้อยาง 100 ส่วน (phr) ในทางกลับกันค่ามอคูลัสของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS ที่เติมดินเบนโทไนท์ดัดแปลงลดลง ผลของสมบัติความด้านทานต่อแรงฉีกขาด พบว่าความด้านทานต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน 80/20 ที่เติมดินเบนโทไนท์ 3 phr มีค่าสูงที่สุด ผลจากการศึกษาสมบัติการทนต่อตัวทำละลายของพอลิเมอร์ผสมที่มีเบนโทไนท์และเบนโทไนท์ดัดแปลงเป็นสารตัวเติม พบว่ามีค่าร้อยละการบรวมของลดลงเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ผสม NR/PS แสดงว่าการเติมเบนโทไนท์สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการทนต่อตัวทำละลายได้ ผลจากการศึกษาโครงสร้างเคมีและโครงสร้างผลึกของเบนโทไนท์ในพอลิเมอร์พอลิเมอร์ผสม ปรากฏหลักฐานว่ามีสายโซ่ไม่เลกูลของยางธรรมชาติและพอลิสไตรีนเกิดการแทรกเข้าไปในชั้นซิลิกเกตของเบนโทไนท์ จากภาพถ่าย SEM สามารถสังเกตถักยันต์สันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนโทไนท์ก่อนและหลังดัดแปลงเป็นโครงสร้างสามารถทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานให้ PS กระจายตัวใน NR ได้ดีขึ้น

คำสำคัญ

ยางธรรมชาติ พอลิเมอร์ผสม เบนโทไนท์ สมบัติทางกายภาพ

Abstract

The present research is the preparation of polymer blends between natural rubber (NR) and polystyrene (PS) in latex stage with varied composite ratios (by weight) 90/10, 80/20 and 70/30, respectively, using bentonite and modified bentonite as fillers. Tensile modulus shows that composite having 3 phr bentonite content increases when compared with NR and NR/PS blends. It was found that composite NR70/PS30 containing 3 phr of bentonite gives the highest modulus value. On the other hand, the tensile modulus of composite containing 3 phr of modified bentonite is less than that of composite having unmodified form, but the modulus of these composite is higher than that of NR. Tear strength of NR80/PS20 composite containing 3 phr of bentonite is the greatest. It was also found that the toluene resistance of composites with bentonite before and after modification gives higher swelling than natural rubber. The characteristics of crystal and chemical structures of bentonite in the composites give the evident the intercalation of natural rubber and polystyrene between layer silicates of bentonite. SEM photographs show morphology of the composites. These images reveal that the bentonite compatibilize the dispersion of PS in NR matrix.

Keywords

Natural rubber, polymer blend, bentonite, physical properties

1. ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ในปัจจุบันประเทศไทยผลิตยางพาราได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลกต่อเนื่องมาหลายปี แต่ย่างไรก็ตามการนำไปใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ภายในประเทศมีเพียง 10% ของปริมาณทั้งหมด เช่นล้อยางรถ ถุงมือยาง สายพาน ที่นอน หมอน เบาะนั่ง เป็นต้น แต่กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เหล่านี้ในทางอุตสาหกรรมมีการลดต้นทุนในการผลิต โดยการเติมสารตัวเติมที่มีราคาถูกซึ่งได้จากการชุมชน เช่น แคลเซียมคาร์บอนเนต เบม่าคำ ซิลิก้า เป็นต้น นอกจากนี้การเติมสารตัวเติม (เบม่าคำและซิลิก้า) ยังช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลและความเสถียรต่อความร้อนของยางธรรมชาติ และเป็นแนวทางหนึ่งของการขยายขอบเขตการประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ได้มากขึ้น และมีรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำซิลิกे�ตจากธรรมชาติและซิลิกे�ตสังเคราะห์ผสมกับยางธรรมชาติในสภาวะห้องพบว่ามีผลทำให้สมบัติเชิงกลและทางกายภาพของยางธรรมชาติเพิ่มสูงขึ้น (Arroyo et al., 2003) และมีรายงานผลการใช้เบนทอยในที่และเบนทอยในที่ดัดแปลงเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก พบว่าเบนทอยในที่เป็นสารตัวเติมที่สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้กับยางธรรมชาติและเทอร์โมพลาสติกได้ (Varghese and Karger 2003 และ Lee and Lee 2004) นอกจากนี้ยังมีอีกแนวทางหนึ่งในการประยุกต์ใช้งานยางธรรมชาติคือการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติโดยเบลนด์กับเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ (Ismail and Suryadiansyah 2002 และ Mathew et al., 2000) ทำให้ได้วัสดุพอลิเมอร์ที่มีสมบัติใหม่ในที่เทอร์โมพลาสติกและยาง ซึ่งสามารถปรับรูปและน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ในงานวิจัยนี้เลือกใช้พอลิสไตรีนในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติโดยเฉพาะในด้านความแข็งแรง เนื่องจากพอลิสไตรีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีความแข็งแรงสูง มีน้ำหนักเบา ราคาถูก เป็นคุณวิไฟฟ้า และสามารถเตรียมได้ง่ายในสภาวะอัมลัชัน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจนำยางธรรมชาติมาผสมกับพอลิสไตรีนในสภาวะลากเท็กซ์ ในระบบที่มีการเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติด้วยกำมะถันและใช้เบนทอยในที่เป็นสารตัวเติม ซึ่งเป็นการปรับปรุงสมบัติเชิงกลและทางกายภาพของยางธรรมชาติ เป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติ และที่สำคัญอีกประการหนึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของยางพารา และศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ที่สำคัญยังสามารถลดต้นทุนในการเตรียมพอลิเมอร์ลงโดยใช้เบนทอยในที่เป็นสารตัวเติม

2. วัตถุประสงค์

เพื่อเตรียมเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนในสภาวะลากเท็กซ์โดยใช้เบนทอยในที่เป็นสารตัวเติม

3. ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎี

3.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)

ยางธรรมชาติมีโครงสร้างเคมีเป็น ซิส-1,4 พอลิไอโซพրีน (*cis*-1,4-polyisoprene) สูงถึงประมาณ 99% และมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยตามความหนืด ($\overline{M_V}$) ประมาณ 10^6 ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

มาก จึงส่งผลทำให้ Yang-Chramcharat มีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น สมบัติการต้านทานต่อแรงดึง มีความยืดหยุ่น เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำ ยังสามารถกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม ได้อย่างรวดเร็ว ความต้านทานต่อการฉีกขาด ทนทานต่อการขัดสีได้ดี และทนต่อสารละลายกรดและด่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนกรด ในตระกูลและกรด กำมะถันเข้มข้น ยังชรร์มชาติ มีความกระเด้งตัวสูง มีความร้อนสะสมต่ำ ทำให้ Yang-Chramcharat ถูกนำมาใช้ทำยาง ร้อนรุ่งทุก ซึ่งต้องรับน้ำหนักสูง และสมบัติการเหนียวติดกับวัสดุอื่นของ Yang-Chramcharat ทำให้สามารถแปรรูป เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีหลายชิ้นส่วนประกอบกันได้ เช่น ยางรดยนต์ เป็นต้น แต่ Yang-Chramcharat ก็มีข้อจำกัด บางประการ เช่น มีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอิเล็กทรอนิกส์ นั่นคือเมื่อใช้น้ำหนักคงอยู่ไปทางจะเปลี่ยนรูปและ ไฟล์ได้ และถ้ามีแรงกระทำ เช่น ยืดหรือกดอัด เมื่อเวลาแรงออกทำให้วัสดุกลับคืนรูปเดิมแต่ไม่เท่าเดิม จาก สมบัติดังกล่าวทำให้ไม่สามารถนำ Yang ไปใช้งานได้โดยตรง จึงต้องทำให้ Yang คงรูปโดยกระบวนการวัลภาในชั้น Yang-Chramcharat เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีข้อ ดังนั้น Yang จึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีข้อ และเสื่อมสภาพ ได้เร็วภายในได้ออกซิเจน โอโซน แสงแดด และ ความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของ Yang-Chramcharat มีพันธะคู่ใน โครงสร้างของหน่วยไฮโซฟิล์มทำให้ว่องไวต่อปฎิกริยา กับแก๊สออกซิเจนและโอโซนภายในได้สภาวะแสงแดด และความร้อน จากข้อจำกัดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นการนำ Yang-Chramcharat มาใช้ประโยชน์นี้จำเป็นต้องมีการ ผสม Yang กับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน สารตัวเร่งหรือสารตัวเติม เพื่อเป็นการปรับปรุงสมบัติของ Yang-Chramcharat ให้เหมาะสมกับการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีรายงานวิจัยในการศึกษาการดัดแปลงโครงสร้างของ Yang-Chramcharat โดยกระบวนการทางเคมี (Brosse et al., 2000) เพื่อปรับเปลี่ยนโครงสร้างเคมีทำให้ได้วัสดุชนิดใหม่ที่มีสมบัติเชิงพานิชมากขึ้น

ระบบวัลภาในชั้น

จากที่ทราบแล้วว่า Yang-Chramcharat มีสมบัติที่ดีเหมาะสมสำหรับการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ Yang-Chramcharat มีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำและลักษณะทางกายภาพไม่เสถียร ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กล่าวคือ Yang จะอ่อนเย็นและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็ง เปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จาก Yang-Chramcharat จำเป็นต้องมีการผสม Yang กับสารเคมีที่ทำให้ Yang คงรูป และสารตัวเติมต่างๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติของ Yang-Chramcharat ให้ดีขึ้น และยังเป็นการลดต้นทุนอีกด้วย สารที่ทำให้ Yang คงรูป คือ สารเคมีสำหรับผสมใน Yang เพื่อทำให้ Yang เกิดการเข้มข้นระหว่างโมเลกุลเป็นโครงสร้างร่างแท้ ทำให้ Yang-Chramcharat มีความยืดหยุ่นสูง แบ่งเป็น 3 ระบบ คือระบบที่ใช้กำมะถัน ไม่ใช้ กำมะถัน และระบบที่ใช้ความร้อน

ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงระบบการวัลภาในชั้นที่ใช้กำมะถัน เป็นระบบคงรูปที่ใช้กับทั้ง Yang-Chramcharat และ Yang สังเคราะห์ที่มีพันธะคู่ในโมเลกุล โดยมีกำมะถันเป็นสารวัลภาในชั้น มีสารตัวเร่งที่นิยมใช้ร่วมกับ การวัลภาในชั้นด้วยกำมะถัน เช่น ไดไฮด์โรคาร์บามิเต (dithiocarbamate) เป็นตัวเร่งที่ทำให้ Yang เกิดปฏิกริยาวัลภาในชั้นได้เร็วมาก ตัวเร่งประเทชิค์ไดไฮด์โรคาร์บามิเต (Zinc salt of dithiocarbamic acid) เป็นตัวเร่งที่ สำคัญที่สุด และมีจานวนมากที่สุดในทางการค้า เช่น Zinc-N-diethyl dithiocarbamate (ZDC หรือ ZDEC) สารกระตุ้นคือสารที่ช่วยเสริมให้สารตัวเร่งทำงานย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สารกระตุ้นอาจเป็น สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ สารกระตุ้นที่สำคัญและนิยมใช้ คือ ซิงค์ออกไซด์ เมื่อใส่เข้าไปใน Yang ปริมาณ เล็กน้อยจะทำให้ Yang มีมอคูลัสสูงขึ้น และบางครั้งถ้าไม่มีสารกระตุ้นปฏิกริยาวัลภาในชั้นอาจไม่เกิดขึ้น

3.1.2 สารตัวเติม

สารตัวเติมมีบทบาทสำคัญมากในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ สารตัวเติมที่ใช้สมกับพอลิเมอร์ โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

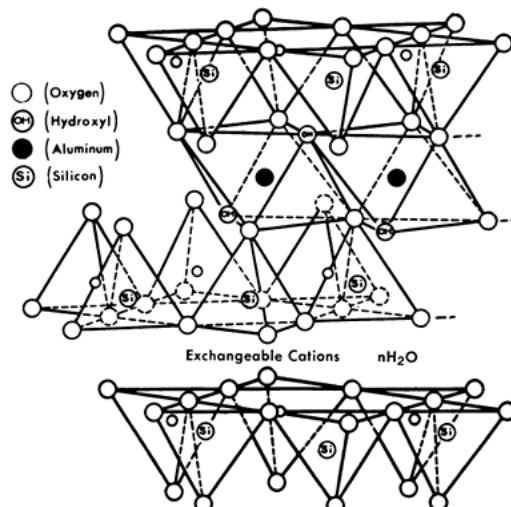
1. สารตัวเติมที่ใช้ในการเสริมแรง มีลักษณะทั้งเป็นเส้นใย และเป็นอนุภาคมีลักษณะเป็นแผ่น ทรงกระบอก ส่วนใหญ่อนุภาคจะมีขนาดเล็กประมาณ $180-600 \text{ \AA}$ เช่น เคลย์ เนม่าค่า เป็นต้น สารตัวเติมเหล่านี้ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกล

2. สารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง สารตัวเติมประเภทนี้มีราคาถูก มีขนาดอนุภาคมากกว่า $10,000 \text{ \AA}$ ขึ้นไป เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แป้งทัลคัม เป็นต้น แต่ในกรณีที่สารตัวเติมบางชนิดมีขนาดอนุภาคปานกลาง เช่น อลูมิเนียมซิลิเกต และ แคลเซียมซิลิเกต ทำให้จัดอยู่ในกลุ่มกึ่งเสริมแรง

โดยทั่วไปสารตัวเติมในยางมีผลทำให้ความแข็งแรงของยางเพิ่มขึ้นและมอคูลัสสูงขึ้นด้วย ส่วนสมบัติอื่นๆ เช่น ความต้านทานต่อการสึกหรอ อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลง ขึ้นกับชนิดของยางและสารตัวเติม ได้แก่ peng เนม่าค่า และ ซิลิก้า เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เบนโทไนท์เป็นสารตัวเติมช่วยเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ และทำหน้าที่เป็นสารช่วยประสานในพอลิเมอร์ผสม

เบนโทไนท์

เบนโทไนท์ เป็นเคลย์ที่ได้จากการหักดิบ ประกอบด้วย แร่สเมกไทต์ (smectic) เป็นส่วนใหญ่ แร่สเมกไทต์เป็นแร่ธรรมชาติในกลุ่มฟิลโลซิลิเกต (phyllosilicate) ในโครงสร้างมีอะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate) เป็นองค์ประกอบสำคัญ ร่างกลุ่มสเมกไทต์เกิดจากการรวมตัวกันของโครงสร้างย่อย ซึ่งมีลักษณะเป็นหน่วย แบบ 3 ชั้น คือ มีชิปไซต์ออกไซด์กรดอลูต์รังกลาก (Al(OH)₃) ประกอบด้วยชั้นซิลิกาเททระอีดรอยด์ 2 ชั้น ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างผลึกของเบนโทไนท์ (ที่มา www.kc-eng.co.kr/gi-1.htm)

การที่โครงสร้างของสมเกกไทด์ มีชั้นเทหะระดีครอล 2 ชั้นประกอบ ชั้นนอกตะเขิดครอล 1 ชั้นที่อยู่ตรงกลาง ชั้นด้านนอกจึงเป็นชั้นของซิลิก้า และไม่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ผิว แต่จะหน่วงของสมเกกไทด์ ดึงดูดกันด้วยแรงวนเดอร์วัลล์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากประจุรวมของโครงสร้างเป็นประจุลบ เพื่อทำให้ประจุรวมเป็นกลาง จึงมีไออกอนบวกภายนอกมาทางที่นี่บริเวณรอบนอกและภายในระหว่างหน่วงอย่างเดียว ไออกอนบวกเหล่านี้สามารถแลกเปลี่ยนหรือแทนที่ได้ เรียกว่า exchangeable cation ไออกอนบวกที่พบมากคือ Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} และ H^+ แต่สมเกกไทด์เมื่อสัมผัสน้ำจะทำให้เกิดการพองตัว เนื่องจากภายในโครงสร้างสามารถขยายตัวได้มาก จึงนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในกระบวนการทางเคมีและอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังอาจนำไปใช้ในงานด้านเกษตรกรรม เช่น การเคลือบเม็ดปุ๋ย ใช้ในอุตสาหกรรมยา และอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง หรือใช้เป็นสารดูดกลิ่นในกระบวนการกำบังน้ำ

3.1.3 พอลิสไตรีน (Polystyrene)

พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก มีลักษณะใสคล้ายแก้ว แข็งแต่ประดิษฐ์ ได้รับความนิยมสูง ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ราคาถูก ทนต่อความร้อนได้พอกสมควร ทนสารเคมีบางประเภทได้ดี แต่ไม่ทนตัวทำละลายอินทรีย์ จากสมบัติดังกล่าวข้างต้นทำให้สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่นกล่องบรรจุอาหารและของใช้ชนิดใส แปรรูปสีฟัน ของเด็กเล่น แผงและตู้โทรศัพท์ โฟมกันแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์ แผงฉนวนความร้อนและเสียง เป็นต้น จากข้อจำกัดของพอลิสไตรีนที่ประดิษฐ์ จึงได้มีการปรับปรุงสมบัติโดยทำให้หนีหายชื้น โดยการผสมกับยางสังเคราะห์ เช่นบิวท์ไคอิน ทำให้ได้พอลิเมอร์ชนิดทนแรงกระแทกสูง (high impact polymer)

การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมลัชันของพอลิสไตรีน

พอลิสไตรีนสังเคราะห์จากสไตรีนมอนومอร์เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยา โดยทำปฏิกิริยาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมีการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมลัชันมีข้อดี คือ พอลิเมอร์ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลแคบ และอัตราการเปลี่ยนจากมอนومอร์เป็นพอลิเมอร์สูงที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ ในการรีไซเคิลสามารถควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเทคนิคการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมลัชันที่มีน้ำเป็นตัวกลางประกอบไปด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ที่มีขนาดเล็ก คือ ระหว่าง 0.5-5 ไมครอน นิยมใช้น้ำเป็นตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยา ตัวเริ่มที่ใช้ก็จะถูกทำให้ละลายในน้ำแทนที่จะละลายในมอนومอร์ และผลิตภัณฑ์สุดท้ายอยู่ในรูปลักษณะที่เกี่ยวข้อง (อิมลัชันของพอลิเมอร์ในน้ำ)

การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมลัชันเริ่มต้นจากสารลดแรงตึงผิว ทำหน้าที่ลดความตึงผิวของน้ำเพื่อให้เกิดสภาวะอิมลัชัน โดยสารลดแรงตึงผิวรวมตัวเป็นไไมเซลล์ (micelle) โครงสร้างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นไฮดรอกซิร์บอน ไม่มีสภาพขี้ (หาง) และส่วนที่เป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีสภาพขี้ (หัว) ดังนั้นเมื่ออยู่ในน้ำโมเลกุลจะหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหากันในไไมเซลล์ และหันส่วนที่ชอบน้ำออกหากัน และมอนومอร์บางส่วนในระบบจะเข้าไปอยู่ภายในไไมเซลล์ และบางส่วนจะกระจายอยู่ในน้ำ ตัวเริ่มที่อยู่ในน้ำเมื่อได้รับความร้อนจะแตกตัวเกิดเป็นอนุมูลอิสระ เมื่ออนุมูลอิสระเคลื่อนที่เข้าสู่ไไมเซลล์ก็จะเกิดพอลิเมอร์ไเรชันขึ้นในไไมเซลล์ ปฏิกิริยาจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าอนุมูลอิสระตัวอื่นจะเคลื่อนเข้าไปในไไมเซลล์และทำให้พอลิเมอร์ไเรชันหยุดลง ข้อดีของการเตรียมพอลิเมอร์ไเรชันแบบอิมลัชัน คือความหนืดต่ำ

ตลอดปัจจิตริยาการควบคุมอุณหภูมิของปัจจิตริยาการทำได้โดยง่าย พอลิเมอร์ที่ได้ออยู่ในรูปของอิมัลชันลามาเกช (latex) อาจนำไปใช้ประโยชน์หรือใช้งานได้โดยตรง ได้ร้อยละของการเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ (% conversion) สูงโดยทั่วไปสูงถึง 100% อัตราของปัจจิตริยาเริ่มจากได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง แต่มีเส้นโค้งการแยกของน้ำหนักโมเลกุลแคบและพอลิเมอร์ที่ได้มีขนาดเล็ก ซึ่งอาจหมายความกับการใช้งานหรือนำไปประยุ

3.1.4 พอลิเมอร์ผสม

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันมาก โดยการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิดหรือมากกว่าสองชนิดซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของเหลวได้แก่ สารละลาย และสภาวะหลอม มาผสมรวมกัน ได้เป็นพอลิเมอร์ผสมซึ่งมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดรวมกัน แต่การผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ต่างชนิดกันนั้น โดยธรรมชาติแล้วเป็นไปได้ยาก ดังนั้น พอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และพบว่าเมื่อยู่ในสถานะที่เป็นของเหลวพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะกระจายตัวอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งหรือเป็นส่วนของเมทริกซ์ที่ต่อเนื่องของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้การกระจายตัวดังกล่าวต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้นจะเกิดเป็นข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ และส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมต่างกว่าของพอลิเมอร์เริ่มต้นได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงสภาพเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน ซึ่งบางชนิดสามารถเข้ากันได้ บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้ เนื่องจากโครงสร้างสายโซ่โมเลกุลแตกต่างกันจึงไม่สามารถกระจายตัวได้อย่างอิสระเกิดการแยกวัตถุภาค

กลไกสภาพเข้ากันได้

พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่พบว่ามีสมบัติเชิงกลค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ที่ส่วนใหญ่ต้องน้ำเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ในการผสม จึงนิยมใช้สารช่วยผสมหรือทำให้เกิดปัจจิตริยาเคมีในระหว่างการผสม (in-situ chemical reaction) เพื่อปรับปรุงอันตรกิริยาระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ผสม เพื่อให้ได้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมและโครงสร้างสัมฐานวิทยาที่เหมาะสม

วิธีการผสมเพื่อความเข้ากันได้

เทคนิคในการผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติตามที่ต้องการนั้นมีอยู่หลายวิธี แต่ละวิธีในการผสมต้องพิจารณาถึงระดับความเข้ากันได้ โดยในการพิจารณาสภาพผสมเข้ากันได้ ต้องคำนึงถึงหลักทางเทอร์โมไดนาไมกิลส์ (Thermodynamic Miscibility) และความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\Delta G_{\text{mix}} = \Delta H_{\text{mix}} - T\Delta S_{\text{mix}}$$

เมื่อ ΔG_{mix} เป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระกิบบส์ ΔH_{mix} เป็นอุณหภูมิของการผสม ΔS_{mix} เป็นอุณหภูมิของการผสม และ T เป็นอุณหภูมิผสม

ความเข้ากันได้ในทางเทอร์โมไดนาไมกิลส์ต้องคำนึงถึงค่า ΔG_{mix} นั้นคือ $\Delta G_{\text{mix}} < 0$ และโดยทั่วไปความเข้ากันระหว่างพอลิเมอร์สองชนิดหรือมากกว่าในพอลิเมอร์ผสมเกิดขึ้นได้ไม่ดี ดังนั้น ได้มีแนวทางในการปรับปรุงความเข้ากันได้หลายวิธี ดังนี้

1. การเติมบล็อกหรือกราฟต์โโคพอลิเมอร์

การเติมบล็อกหรือกราฟต์โโคพอลิเมอร์ เป็นแนวทางหนึ่งที่ได้ใช้ในการผสมเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ในพอลิเมอร์ผสม โดยมีการใช้บล็อกโโคพอลิเมอร์จะใช้เป็นสารช่วยผสมมากกว่ากราฟต์โโคพอลิเมอร์ โดยเฉพาะบล็อกโโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกของพอลิเมอร์ที่เหมือนกันกับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน โดยโโคพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องมีโครงสร้างเคมีและน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมที่จะกระจายอยู่ระหว่างวัสดุภาคของพอลิเมอร์แต่ละชนิด โครงสร้างเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของโโคพอลิเมอร์จะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการเป็นสารช่วยผสม

2. การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา

การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม อาจนำพอลิเมอร์ชนิดใดชนิดหนึ่งมาดัดแปลงโครงสร้างให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสามารถเกิดปฏิกิริยาหรือมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล กับพอลิเมอร์ชนิดอื่นได้ กระบวนการดัดแปลงพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันสามารถทำได้ในเครื่องปฏิกรณ์หรือโดยผ่านกระบวนการอัดรีด ตัวอย่างเช่น มาเลอิกแอนไฮไดรค์ที่กราฟต์บนสายโซ่ของพอลิโอลีฟินส์ โดยหมู่คาร์บอโนกซิลิกของมาเลอิกแอนไฮไดรค์มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับหมู่อะมิโนของพอลิเอไมด์ได้ ทั้งนี้พอลิโอลีฟินส์กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรค์จัดเป็นสารช่วยผสมที่ได้รับความนิยมในทำการค้าและมีราคาไม่แพงนัก

3. การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โโคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไซเซชันในระหว่างการผสม

การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โโคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไซเซชันในระหว่างการผสม (reactive blending) เป็นแนวทางใหม่ที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากันได้ โดยต่างจากวิธีอื่นๆ คือ องค์ประกอบที่ทำการผสมจะถูกนำมาดัดแปลงเพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยผสม

โดยในงานวิจัยนี้ศึกษาการผสมยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนในสภาวะลากเท็กซ์และคาดว่าสารตัวเดิมที่ใช้คือเบนทอนที่ทำหน้าที่เป็นช่วยผสมโดยเพิ่มความเข้ากันให้ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน

3.2 แนวคิดในงานวิจัย

เนื่องจากสมบัติของยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีดขาด ความต้านทานต่อการขัดสี ความยืดหยุ่นสูง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติมีข้อจำกัดในการใช้งานในด้านความแข็งแรง น้ำค้อมีค่ามอคูลัสต่ำ ไม่สอดคล้องต่อความร้อนและออกซิเจนในอากาศ ในขณะที่พอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โนพลาสติกที่มีสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและมีค่ามอคูลัสสูงเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ ดังนี้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงได้สนใจเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติและพอลิสไตรีนในสภาวะน้ำยาเพื่อปรับปรุงข้อจำกัดของยางธรรมชาติ และเป็นแนวทางในการเตรียมเทอร์โนพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติในรูปน้ำยา นอกจากนี้ได้มีการเติมสารตัวเติมจากธรรมชาติ คือเบนทอนที่ เป็นสารเสริมแรงให้กับวัสดุพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด และคาดว่าสามารถทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานทำให้พอลิสไตรีนผสมเข้ากับยางธรรมชาติได้ดีขึ้น ซึ่งคาดว่าจะปรับปรุงสมบัติเชิงกลและทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมได้อีกทางหนึ่งด้วย

3.3 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

ตรินทร์และคณะ (2002) ศึกษาดั้ดแปร โซเดียมเบนทอไนท์โดยใช้แอลกิลแอม โนเนียม ไออ่อนในการแยกเปลี่ยนกับ ไออ่อนบวกของโลหะ พบว่าเกิดการแทรกของโนเมเลกุลของแอลกิลแอม โนเนียมในช่องว่างระหว่างชั้น โครงสร้างพลิกของเบนทอไนท์ โดยทำให้ระยะห่างระหว่างระนาบของชั้นซิลิกेटและชั้นอะลูมิเนตเพิ่มขึ้นตามความยาวของสายโซ่โซเดียมเบนทอไนท์ แยกออกโดยใช้ Thermo gravimetric analyzer (TGA) พบว่านำหนักที่หายไปเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเบนทอไนท์ที่ไม่ดัดแปร

Asaletha et al., (1999) ศึกษาสมบัติเชิงกลและสัมฐานวิทยาของการผสมกับผลของอัตราการผสมสภาวะของกระบวนการและระบบการวัดค่าในช่องท่อร์โมพลาสติกอิเล็กทรอนิกส์จากการผสมระหว่างพอลิสไตรีนและยางธรรมชาติ (NR/PS) ผลจากการศึกษาสมบัติเชิงกลและสัมฐานวิทยาของ NR/PS ในระบบการเชื่อมโดยพลวัต เมื่อใช้กำมะถัน เปอร์ออกไซด์ และระบบผสมระหว่าง กำมะถันกับเปอร์ออกไซด์ พบว่าพอลิเมอร์ผสม NR/PS ในอัตราส่วน 30/70 ในระบบเปอร์ออกไซด์ให้ค่าความด้านทานต่อแรงดึงสูงสุด

Mathew et al., (2000) รายงานผลการตีบิมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติ (NR) กับพอลิสไตรีน (PS) ในระบบที่ใช้และไม่ใช้สารเชื่อมโดย จำกผลการทดสอบ พบว่าปริมาณสัดส่วนระหว่าง NR:PS เท่ากับ 30:70 ในระบบที่ไม่ใช้สารเชื่อมโดยให้ค่าการทานต่อแรงดึงสูงสุด แต่ระบบพอลิเมอร์ผสมที่มีสารเชื่อมโดย 6% โดยนำหนัก พบว่าในปริมาณสัดส่วนระหว่าง NR:PS เท่ากับ 40:60 ให้ค่าการทานต่อแรงดึงสูงขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิสไตรีน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการผสมยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนในสัดส่วนที่เหมาะสมสามารถปรับปรุงสมบัติการทานต่อแรงดึงสูงขึ้นเป็นข้อจำกัดในการใช้งานของพอลิสไตรีนได้

Arroyo et al., (2003) ศึกษาผลการนำอนท์โนริลโลไนท์ดัดแปรด้วยออกตะเดซิลแอม โนเนียม ไออ่อน ซึ่งนำมาใช้แทนเขม่าดำเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ พบว่าความด้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติที่เติมอนท์โนริลโลไนท์ 10 phr เพิ่มขึ้น 350 % เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ และยังพบว่าสมบัติเชิงกลของยางที่เติมอนท์โนริลโลไนท์ดัดแปรมีค่าไกล์เคียงกับยางที่เติมเขม่าดำ 40 phr ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถนำอนท์โนริลโลไนท์มาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Varghese and Karger-Kocsis (2003) ศึกษาการตีบิมนานาโนพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับเคลย์ในสภาวะลากเท็กซ์ เคลย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ โซเดียมเบนทอไนท์ (จากธรรมชาติ) โซเดียมฟลูออโรเจกโทไทร์ต (จากการสังเคราะห์) และเคลย์ (ทางการค้า) จากการศึกษาสมบัติการทานต่อแรงดึงของนานาโนพอลิเมอร์ผสม พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมโซเดียมฟลูออโรเจกโทไทร์ตมีค่าความด้านทานต่อแรงดึงมากที่สุด ในขณะเดียวกันพบว่าการเติมเคลย์ไม่ได้มีผลต่อการเกิดการแตกพลิกของสายโซ่ยางธรรมชาติที่เกิดขึ้นในขณะยืดที่เปอร์เซ็นต์การยืดสูงๆ จากการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลพลวัต พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมโซเดียมฟลูออโรเจกโทไทร์ต มีค่ามอดูลัสและอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเคลย์ (ทางการค้า) ผลจากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค TGA พบว่าความเสถียรต่อความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่เติมโซเดียมเบนทอไนท์และโซเดียมฟลูออโรเจกโทไทร์ตมีชั้นซิลิกे�ตสูงกว่าเคลย์ (ทางการค้า) ผลจากการศึกษาการกระจายตัวของเคลย์สังเคราะห์ในยางธรรมชาติได้ดีกว่าเคลย์ (ทางการค้า) และจากเทคนิคการ

เลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ แสดงให้เห็นว่าสัดสูตรของประจุบวกที่มีการเติมเคลย์ที่มีชั้นชิลิก็ตามที่มีการแทรกของสายโซ่ไม่เลกุลของยางธรรมชาติในระหว่างชั้นชิลิก็ตาม

Varghese et al., (2003) ศึกษาสมบัติเชิงกลและสัมฐานวิทยาของพอลิเมอร์สมาระห่วงยางธรรมชาติกับพอลิยูรีเทนที่มีโซเดียมฟลูออโรเจกทิฟลูอิดปริมาณ 10 phr เป็นสารเสริมแรงโดยการคุณภาพดีในรูปปลาเท็กซ์ จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่าพอลิยูรีเทนกับยางธรรมชาติไม่รวมกันเป็นเนื้อเดียวแต่มีการกระจายตัวกันอย่างต่อเนื่องคล้ายโครงกระดูกและสังเกตเห็นได้ว่าโซเดียมฟลูออโรเจกทิฟลูอิดปริมาณ 10 phr ได้ดีกว่าในยางธรรมชาติ โดยมีการแทรกของสายโซ่ไม่เลกุลของพอลิยูรีเทนเข้าไปในชั้นของชิลิก็ตามที่ทำให้พอลิเมอร์สมาระห่วงที่ไม่มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

Araújo et al., (2004) ศึกษาผลของการตัดแปรเบนทอนที่ต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์สมาระห่วงในลอน 6 กับเบนทอนที่ตัดแปรและพอลิเมอร์สมาระห่วงพอลิสไตรีนกับเบนทอนที่ตัดแปรพบว่าเมื่อตัดแปรเบนทอนที่ด้วย quaternary ammonium salt จะเกิดการแทรกของสายโซ่ไม่เลกุล quaternary ammonium salt เข้าไปในชั้นชิลิก็ตาม เมื่อนำเบนทอนที่ตัดแปรมาเสริมแรงในในลอน 6 พบว่าทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น เช่น ความแข็ง % ระยะยืดและความหนืด แต่ค่ามอคูลัสไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับในลอน 6 แต่เมื่อเติมเบนทอนที่ตัดแปรในพอลิสไตรีน พบว่าสมบัติเชิงกลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิสไตรีนที่ไม่เติมสารเสริมแรง

Qiu and Qu (2006) ศึกษาการเตรียมนาโนพอลิเมอร์สมาระห่วงพอลิสไตรีนที่ถูกเสริมแรงด้วย Layered double hydroxide (LDH) ในสภาวะลามเท็กซ์ โดยผ่านกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ในสภาวะอิมัลชันโดยไม่ใช้สูญ จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่ามีการขยายของระยะห่างระหว่างชั้นของ LDH เพิ่มมากขึ้น เมื่อเวลาในการเกิดพอลิเมอร์เรชันมากขึ้น และเมื่อใช้เวลาในการพอลิเมอร์เรชันมากกว่า 120 นาที ไม่ปรากฏพิพิธที่แสดงระยะห่างระหว่างชั้นของ LDH เนื่องจากชั้นของ LDH แตกออกและกระจายเป็นแผ่นชิลิก็ตาม ในพอลิสไตรีน เมื่อศึกษาสัมฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่า LDH กระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิสไตรีน

El-Nashar and Essawy (2004) ศึกษาผลของการใช้มอนท์โมริโลนที่เป็นสารเสริมแรงและช่วยพสมในระบบของพอลิเมอร์เบلنค์ระหว่าง acrylonitrile-butadiene rubber และ styrene-butadiene rubber ผลจากการทดสอบพบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เบلنค์ที่เติมเคลย์เพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับเบلنค์ที่ไม่เติมเคลย์ จากภาพถ่าย SEM ปรากฏหลักฐานว่ามีเคลย์ที่บริเวณรอยต่อผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด แสดงให้เห็นว่าเคลย์ทำหน้าที่เป็นสารช่วยพสมในพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด

Teh et al., (2004) ศึกษาผลของการเติมยางอิพอกซีไดซ์ (ENR25 และ ENR50) เป็นสารช่วยพสมาระห่วงยางธรรมชาติกับออร์แกนโนเคลย์ ใช้กระบวนการพสมโดยการหลอมในเครื่องพสมระบบปิด พบว่าเมื่อเติม ENR50 ปริมาณ 2 phr มีการกระจายตัวของออร์แกนโนเคลย์ในเนื้อยางดีที่สุด ซึ่งส่งผลให้สัดสูตรของประจุบวกที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

Wang et al., (2006) ศึกษาการเตรียมคอมโพสิตระห่วงพอลิบิวทิลอะคิเลทกับชิลิก็ตามที่มีลักษณะเป็นชั้นที่ถูกห่อหุ้มด้วยพอลิสไตรีนโดยการฉาวย่างรังสีแกมมาให้เกิดการพอลิเมอร์เรชัน แบบอิมัลชันจาก

การศึกษาพบว่าโซเดียมมอนท์โนมิลโลไนท์ (Na-MMT) ที่ดัดแปลงด้วย Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) มีระยะห่างระหว่างชั้นของซิลิกेटเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับโซเดียม-มอนท์โนมิลโลไนท์ที่ไม่ได้ดัดแปลงสร้าง เนื่องจากสายโซ่โนมเลกุลของ CTAB แทรกเข้าไปในชั้นของซิลิกेट เมื่อนำโซเดียมมอนท์โนมิลโลไนท์ที่ดัดแปลงมาเสริมแรงในพอลิบิวทิลอะคริเลท พบว่ามีการแทรกสายโซ่โนมเลกุลของพอลิบิวทิลอะคริเลทเข้าไปในชั้นของซิลิกे�ตหลังจากถูกฉีดสีแกรมมา การฉีดสีแกรมมาทำให้คอมโพสิทระหว่างพอลิบิวทิลอะคริเลทกับซิลิกे�ตที่มีลักษณะเป็นชั้นผสมเข้ากันกับพอลิสไตรีนได้ดี จึงทำให้วัสดุที่ได้มีสมบัติการทนต่อแรงกระแทกและความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น

4. วิธีการ

4.1 การเตรียมพอลิสไตรีนโดยการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน

นำขวดก้นกลมสามคดต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์ เติมน้ำกลั่นลงในขวดสามคด 150 มิลลิลิตร โพแทสเซียมปอร์ซัลเฟต 0.077 กรัม และโซเดียมโคลเดซิลลัลเฟต 0.752 กรัม ผสมผสานที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เดินสไตรีนบริสุทธิ์ 50.0 มิลลิลิตร ปั่นกวนด้วยความเร็วคงที่เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะบรรยายกาศแก๊สในโตรเจนหลังจากนั้นจะได้พอลิสไตรีนในสภาวะอิมัลชัน

4.2 ดัดแปลงบนท่อในที่

ดัดแปลงบนท่อในที่ใช้ออกตะเดชิลเอมีน (octadecylamine) เป็นตัวแอลกอเลอเจนกับไออ่อนบวกของโลหะ ในโครงสร้างผลึกซิลิกอกของบนท่อในที่ โดยนำบนท่อในที่เติมน้ำกลั่น ปั่นกวนให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นำมาผสมกับออกตะเดชิลเอมีน และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ในน้ำกลั่น ปั่นกวนให้เข้ากัน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้ตกรอกอน นำบนท่อในที่ที่ได้มากรองแล้วล้างกรดออกด้วยน้ำกลั่นร้อน นำตกรอกอนไปอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ตรวจพิสูจน์โครงสร้างเคมีและโครงผลึกของบนท่อในที่ โดยเทคนิคอินฟารेडสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) และเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction, XRD)

4.3 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนในสภาวะน้ำยา

(ก) การเตรียมสารเคมีสำหรับยาง

ขั้นตอนในการเตรียมสารเคมีสำหรับยาง (sulphur, Zinc diethyl dithiocarbamate และ ZnO) นำสารเคมีแต่ละชนิดมากระเจรจ์ตัวในน้ำ โดยนำสารเคมีมาประมาณ 50.0 g ผสมกับน้ำกลั่น 50.0 g และเติมสารลดแรงตึงผิวนิดไม่มีประจุ ประมาณ 0.5 g ผสมโดยใช้ ball-mill ให้เข้ากัน

(ข) การเตรียมน้ำยา

เจือจางน้ำยาของธรรมชาติขั้นปริมาณแอมโมเนียสูงจาก (60%DRC) ด้วยน้ำกลั่นในมีเนื้อยางแห้งร้อยละ 30 ในน้ำยาของธรรมชาติ เติมพอลิสไตรีนล่าเท็กซ์ และสารเคมีดังตารางที่ 4.1 ผสมเข้ากันโดยการปั่นกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อบ่มเร่งน้ำยา กรองด้วยตะแกรง เทใส่เม้ากระจากสีเหลี่ยม วางทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศ หลังจากนั้นนำเข้าตู้อบเพื่อวัลภาชนะซึ่งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หมายเหตุ พอลิเมอร์ผสมในสภาวะล่าเท็กซ์ที่เตรียมได้มีอายุการใช้งานประมาณ 2 วัน

ตารางที่ 4.1 สูตรของการเตรียมพอลิเมอร์ผสมในสภาวะ寥เท็กซ์

Ingredients	Wet (parts by weight)	Dry (parts by weight)
Natural rubber latex (30% TSC)	334	100
30% Polystyrene latex (30% TSC)	37.0, 83.3 และ 143.0	11.1, 25.0 และ 42.9
50% Sulphur dispersion	3.0	1.5
50% Zinc diethyl dithiocarbamate dispersion	2.0	1.0
50% Zinc oxide	3.6	1.8

4.4 เตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนโดยมีเบนโทไนท์เป็นสารตัวเติม

นำน้ำยางธรรมชาติ (30%DRC) เติมพอลิสไตรีน寥เท็กซ์ เบนโทไนท์ก่อนและหลังดัดแปร (โดยแบ่งเป็น 3 และ 5 phr) และสารเคมีตามตารางที่ 4.1 ปั่นกวนตลอดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเทขึ้นรูปในน้ำเย็นสักครู่ แล้วนำเข้าตู้อบเพื่อทำให้แห้งสุกที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

4.5 ศึกษาโครงสร้างเคมีของพอลิเมอร์ผสม

4.5.1 ตรวจพิสูจน์โครงสร้างเคมีโดยใช้เทคนิคอินฟารेडสเปกโกรสโกปี

นำแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ผสมวัดการดูดกลืนแสงอินฟารेडด้วยเครื่อง FTIR เพื่อศึกษาการเกิดอันตรียาระหว่างเบนโทไนท์กับยางธรรมชาติและพอลิสไตรีน

4.5.2 ศึกษาโครงสร้างผลึกโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

นำตัวอย่างไปวางบนที่วางตัวอย่าง หลังจากนั้นนำไปวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ โดยใช้ Cu เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอ็กซ์ ซึ่งมีความยาวคลื่น 15.4 nm และคำนวณหาระยะห่างระหว่างชั้นชิลิกเกตได้โดยใช้สมการของ Bragg

4.6 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ

4.6.1 ทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

เตรียมตัวอย่างโดยตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบลล์ขนาด Die type C ตามมาตรฐาน ASTM D412 ทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง โดยใช้อัตราเร็วในการดึงเท่ากับ 500 mm/min คำนวณค่ามอคูลัสที่ระยะยืด 100-300 และ 500 % ความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดที่จุดขาด (ในการทดสอบแต่ละตัวอย่างใช้จำนวน 7 ชิ้นงาน)

4.6.2 ทดสอบความด้านทานต่อแรงฉีกขาด

เตรียมตัวอย่างโดย ตัดชิ้นทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM D624 นำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความด้านทานต่อแรงดึง อัตราเร็วในการดึงเท่ากับ 500 mm/min (ในการทดสอบแต่ละตัวอย่างใช้จำนวน 7 ชิ้นงาน)

4.6.3 ทดสอบการบวมพอง

เตรียมตัวอย่างโดยตัดชิ้นทดสอบให้มีขนาด 1 x 1 cm ชั้งน้ำหนักที่แน่นอนนำไปแช่ในโถลูอิน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำส่วนที่เป็นเจลซับโถลูอินออก แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

คำนวณหาร้อยละการบวมพอง (% Swelling) ได้จาก

$$\% \text{Swelling} = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100$$

โดยที่ W_0 คือน้ำหนักของตัวอย่างก่อนแช่ (g) และ W_t คือ น้ำหนักของตัวอย่างหลังแช่ (g)

4.6.4 ศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์สม

นำชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการขาดในระหว่างการทดสอบความด้านทานต่อแรงดึงไปวางบนพื้นที่วางตัวอย่างแล้วเคลือบด้วยทองคำ นำไปวิเคราะห์ด้วยกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ภายใต้สภาวะสุญญากาศ

5. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

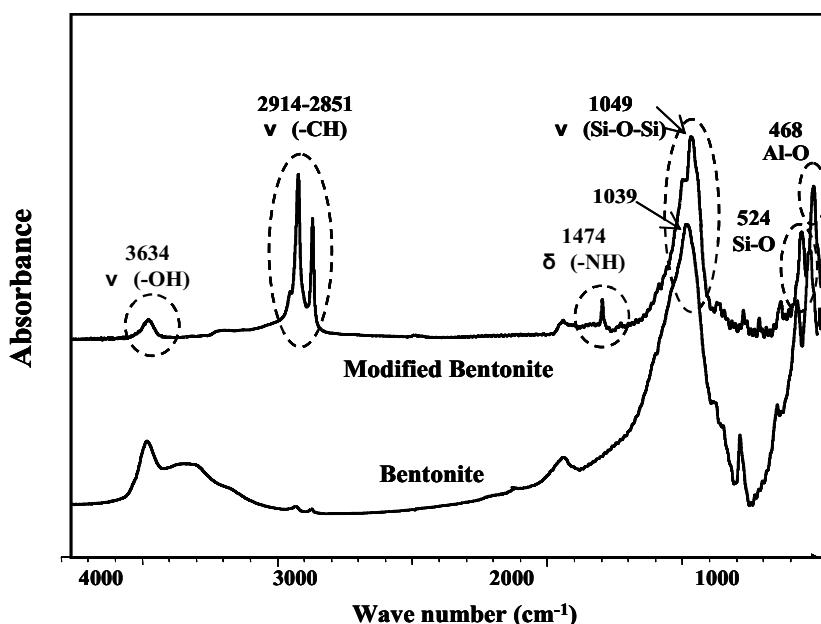
ผลจากการเตรียมโพลิเมอร์สมรรถห่วงยางธรรมชาติกับโพลิสไตรีนในสภาพน้ำยา โดยใช้เบนทอไนท์เป็นสารตัวเติมเพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติกับโพลิสไตรีน รายงานผลตามลำดับดังนี้

5.1 โครงสร้างเคมีและโครงสร้างผลึกของเบนทอไนท์

ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างเคมีด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) และโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD)

5.1.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของเบนทอไนท์

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของเบนทอไนท์และเบนทอไนท์ที่ดัดแปลง โดยใช้เทคนิค FTIR สามารถระบุตำแหน่งแน่นอนการคุณภาพลักษณะของเบนทอไนท์ ได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 อินฟราเรดสเปกตรของเบนทอไนท์ (Bentonite) และเบนทอไนท์ที่ดัดแปลง (Modified bentonite)

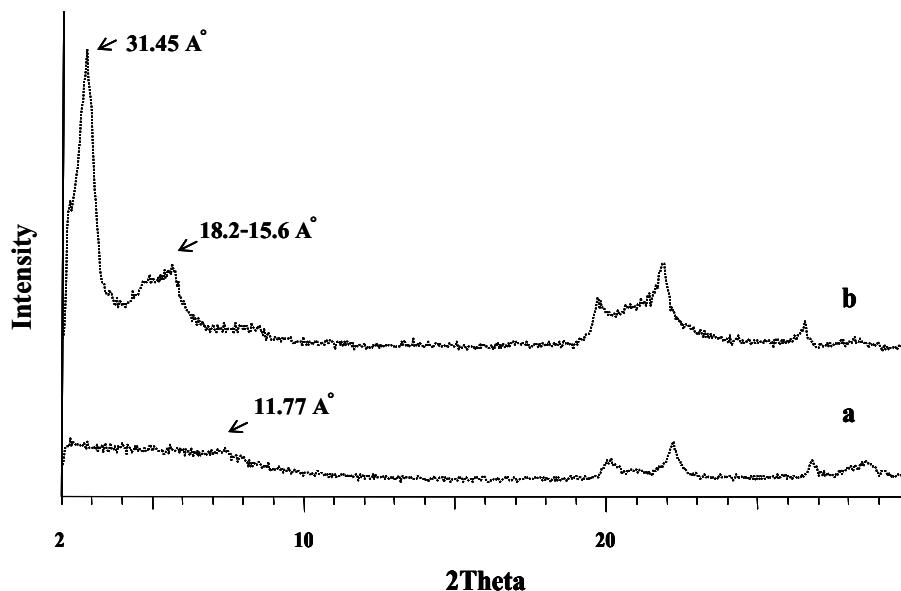
จากรูปที่ 5.1 สเปกตรของเบนทอไนท์และเบนทอไนท์ที่ดัดแปลงด้วยออกตะเดซิลแอมโมเนียม ไออกอน ปรากฏแนบการคุณภาพลักษณะของเบนทอไนท์ที่ดัดแปลงด้วยออกตะเดซิลแอมโมเนียม ไออกอน ที่มีการเปลี่ยนแปลงของพันธะในโครงสร้างของเบนทอไนท์ จึงเห็นได้ว่าแนบการคุณภาพลักษณะของเบนทอไนท์ที่ดัดแปลงมี ตำแหน่งและลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยตำแหน่งการคุณภาพลักษณะที่เปลี่ยนไป 3634 cm^{-1} เกิดจากการสัมมูลของพันธะ -OH ในโครงสร้างของเบนทอไนท์ที่ตำแหน่งเลขค่า 1039 cm^{-1} เกิดจากการสัมมูลของ Si-O-Si ในโครงสร้างของชั้นซิลิเกต ที่ตำแหน่งเลขค่า 524 cm^{-1} เกิดจากการสัมมูลของ Si-O ในชั้นซิลิเกต และที่เลขค่า 468 cm^{-1} เกิดจากการสัมมูลของ Al-O ในชั้นซิลิเกต ในขณะที่อินฟราเรดสเปก

ตารางของเบนทอไนท์ดัดแปร ปรากฏตำแหน่งแหน่งและการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเพิ่มในช่วงเลขคู่ 2851-2914 cm^{-1} เกิดจากการสั่นแบบยีดทั้งสมมาตรและสมมาตรของพันธะ C-H ของ $-\text{CH}_2-$ และ $-\text{CH}_3$ และที่เลขคู่ 1474 cm^{-1} เนื่องจากการสั่นแบบยีดของพันธะ $-\text{N}-\text{H}$ ของออกตะเดซิลแอมโมเนียม ไออ่อน นอกจากนี้ยังปรากฏการเลื่อนตำแหน่งเลขคู่ที่ 1039 cm^{-1} เป็น 1049 cm^{-1} ซึ่งเป็นหลักฐานแสดงให้เห็นว่ามีการแทรกของสายโซ่โมเลกุลออกตะเดซิลแอมโมเนียม ไออ่อนในชั้นซิลิกะของเบนทอไนท์

5.1.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเบนทอไนท์

ผลของการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเบนทอไนท์ดัดแปรด้วยออกตะเดซิลแอมโมเนียม ไออ่อนด้วยเทคนิคการแลกเปลี่ยน ไออ่อนด้วยเทคนิคการเลี้ยงเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) เพื่อศึกษาการขยายของชั้นซิลิกะในโครงสร้างของเบนทอไนท์หลังดัดแปรเปรียบเทียบก่อนดัดแปร แสดงดังรูปที่ 5.2

จาก XRD สเปกตรากลางของเบนทอไนท์และเบนทอไนท์ดัดแปรดังรูปที่ 5.2 ปรากฏตำแหน่งพีกซึ่งแสดงว่ามีอนท์มอริลโลไนท์เป็นองค์ประกอบหลัก และจาก XRD สเปกตรัมของเบนทอไนท์ (รูปที่ 5.2(a)) มีลักษณะพีกกว้าง อาจเนื่องจากมีความเป็นอสัมฐานของเบนทอไนท์ เมื่อพิจารณา XRD สเปกตรัมของเบนทอไนท์ดัดแปร (รูปที่ 5.2(b)) ปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 20 เท่ากับ 3.0 และลักษณะพีกแคบลง ซึ่งเป็นตำแหน่งของอนท์มอริลโลไนท์ เมื่อหารค่าระยะห่างระหว่างระนาบ (d-spacing) ของเบนทอไนท์ดัดแปรเท่ากับ 31.45 และ 18.2-15.6 Å° เมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างของเบนทอไนท์ก่อนดัดแปร (ประมาณ 11.77 Å°) แสดงว่าเกิดกระบวนการแลกเปลี่ยน ไออ่อนของโลหะ (Na^+ K^+ และ Ca^{2+}) กับออกตะเดซิลแอมโมเนียม ไออ่อน จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีการแทรกของสายโซ่ออกตะเดซิลแอมโมเนียม ไออ่อนในชั้นซิลิกะของเบนทอไนท์

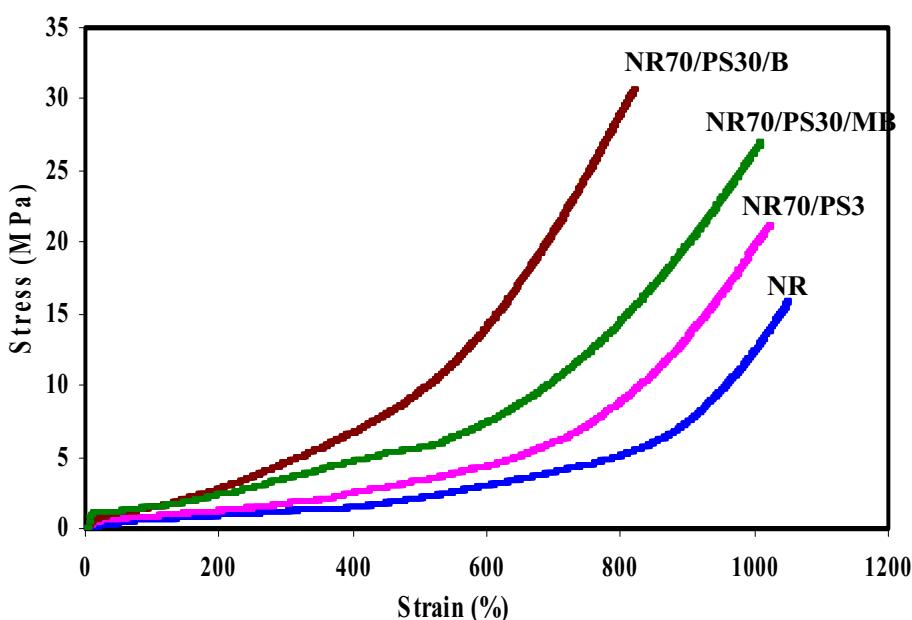


รูปที่ 5.2 XRD สเปกตรากลางของเบนทอไนท์ (a) และเบนทอไนท์ดัดแปร (b)

5.2 ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง

จากผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติ (NR) พอลิเมอร์พสมะห์ว่างยางธรรมชาติและพอลิสไทรีน (NR/PS) และ พอลิเมอร์พสมะห์ว่าง NR/PS เติมเบนทอนไนท์ (NR/PS/B) และ NR/PS เติมเบนทอนไนท์คัดแปร (NR/PS/MB) ได้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแสดงดังรูปที่ 5.3

จากลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของยาง NR พอลิเมอร์พสม NR/PS ที่ปริมาณอัตราส่วน 70/30 และพอลิเมอร์พสมที่เติมเบนทอนไนท์ (B) 3 ส่วนเมื่อเทียบกับเนื้อยาง 100 ส่วน (phr) (NR70/PS30/B3) และเบนทอนไนท์คัดแปร (MB) 3 phr (NR70/PS30/MB3) จะเห็นได้ว่าแตกต่างกัน โดยพอลิเมอร์พสมที่เติมเบนทอนไนท์ (NR70/PS30/B3) มีความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับยาง NR และพอลิเมอร์พสม NR/PS ในขณะที่ความสามารถในการยึดของพอลิเมอร์พสมที่เติมเบนทอนไนท์ลดลง และจากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดยังแสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์พสมที่เติมเบนทอนไนท์ยังคงแสดงพฤติกรรมการรับแรงดึงเหมือนกับยางธรรมชาติ



รูปที่ 5.3 ความเค้นกับความเครียดของยางธรรมชาติ (NR) พอลิเมอร์พสม (NR70/PS30) และพอลิเมอร์พสมเติมเบนทอนไนท์ (NR70/PS30/B3) และเติมเบนทอนไนท์คัดแปร (NR70/PS30/MB3)

5.2.1 พอลิเมอร์พสมะห์ว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไทรีน

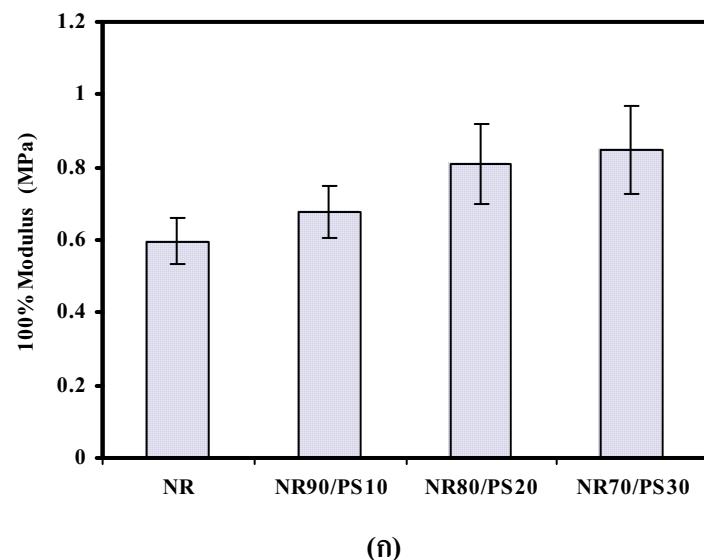
ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง ของยางธรรมชาติและพอลิเมอร์พสม NR/PS โดยแบ่งปริมาณสัดส่วน 90/10, 80/20 และ 70/30 ตามลำดับ สามารถคำนวณหาค่ามอคูลัสที่ระยะสั้น 100, 300 และ 500% และความต้านทานต่อแรงดึง ได้ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.4

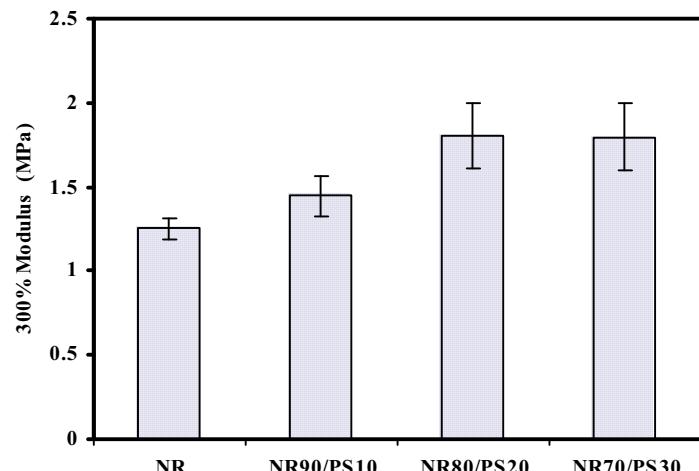
จากรูปที่ 5.4 (ก และ ข) พบว่าค่ามอคูลัสของพอลิเมอร์พสม NR/PS สูงกว่าของยางธรรมชาติ และเมื่อเปรียบเทียบค่ามอคูลัสของพอลิเมอร์พสม NR/PS ที่ปริมาณสัดส่วนต่างๆ จะเห็นได้ว่าค่ามอคูลัสแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ PS จากรูปที่ 5.4(ค) แสดงค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติและพอลิ

เมอร์พสม NR/PS พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ และให้ค่าสูงสุด เท่ากับ 21.2 MPa สำหรับพอลิเมอร์พสม NR/PS ที่อัตราส่วน 70/30 สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อยางธรรมชาติผสมกับพอลิสไตรีนซึ่งเป็นเทอร์โมพลาสติก โดยทั่วไปเทอร์โมพลาสติกเป็นพอลิเมอร์ที่มีค่ามอคูลัสและความต้านทานต่อแรงดึงสูงเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติซึ่งเป็นอิเล็กทรอนิคส์ ดังนั้นเมื่อผสมพอลิสไตรีนกับยางธรรมชาติ จึงมีผลทำให้พอลิเมอร์พสมมีค่ามอคูลัสเพิ่มขึ้น

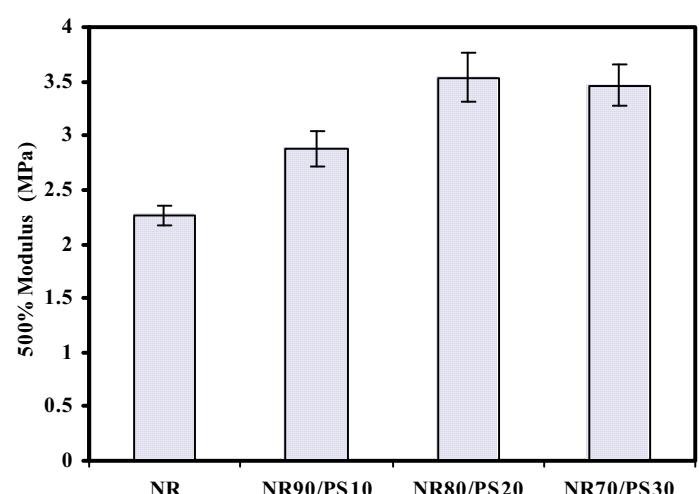
ตารางที่ 5.1 มอคูลัสที่ระยะ 100, 300 และ 500% และความต้านทานต่อแรงดึงของยาง NR และพอลิเมอร์พสม NR/PS

Sample	Modulus (MPa)			Tensile strength (MPa)
	100%	300%	500%	
NR	0.60±0.06	1.26±0.063	2.26±0.09	15.70±0.60
NR90/PS10	0.68±0.07	1.45±0.12	2.88±0.16	15.95±0.92
NR80/PS20	0.81±0.11	1.80±0.20	3.54±0.24	16.59±1.77
NR70/PS30	0.85±0.12	1.80±0.20	3.46±0.19	21.24±2.01

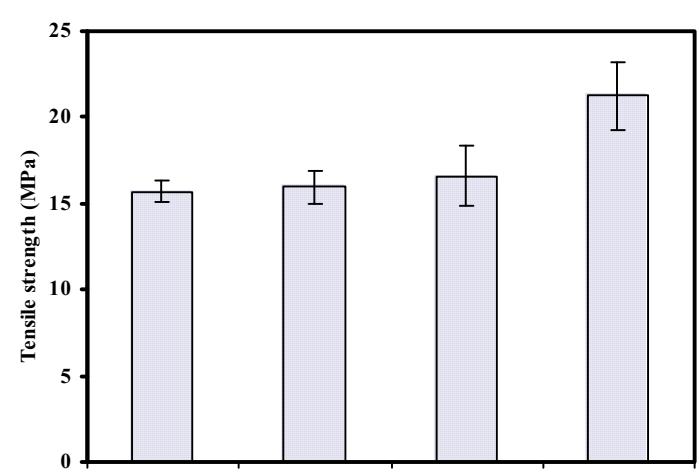




(ก)



(ก)



(ก)

รูปที่ 5.4 สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ (NR) และพอลิเมอร์สม NR/PS (ก) 100% มอคุลัส (ก) 300% มอคุลัส (ก) 500% มอคุลัส และ (ก) ความต้านทานต่อแรงดึง

5.2.2 พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนเติมเบนทอกไซน์ที่

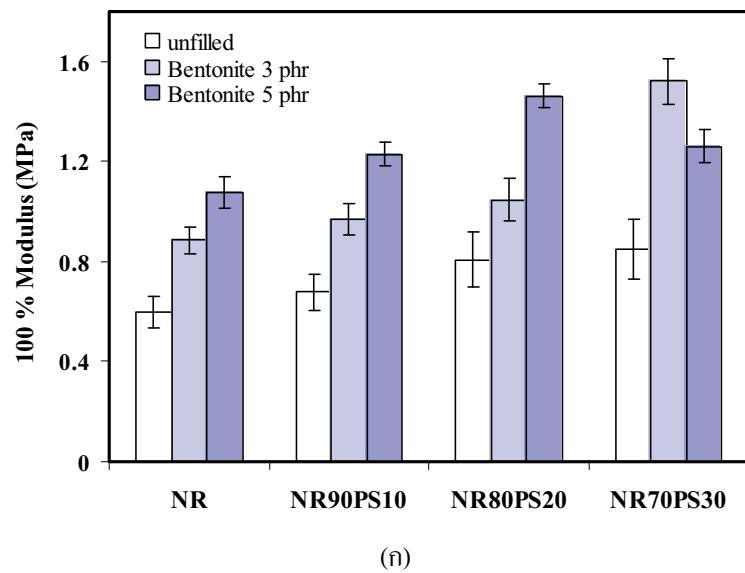
ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้เบนทอกไซน์เป็นสารตัวเติมเพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนและเพื่อเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ผสม โดยการใช้เบนทอกไซน์เป็นสารตัวเติม (NR/PS/B) ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติที่เติมเบนทอกไซน์ (NR/B) พอลิเมอร์ผสม NR/PS ในปริมาณอัตราส่วนต่างๆ ที่เติมเบนทอกไซน์ที่ 3 และ 5 phr ดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.5

ตารางที่ 5.2 ค่ามอดูลัสที่ระยะยีด 100, 300 และ 500% และความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติผสมเบนทอกไซน์ (NR/B) และพอลิเมอร์ผสม NR/PS เติมเบนทอกไซน์ (NR/PS/B)

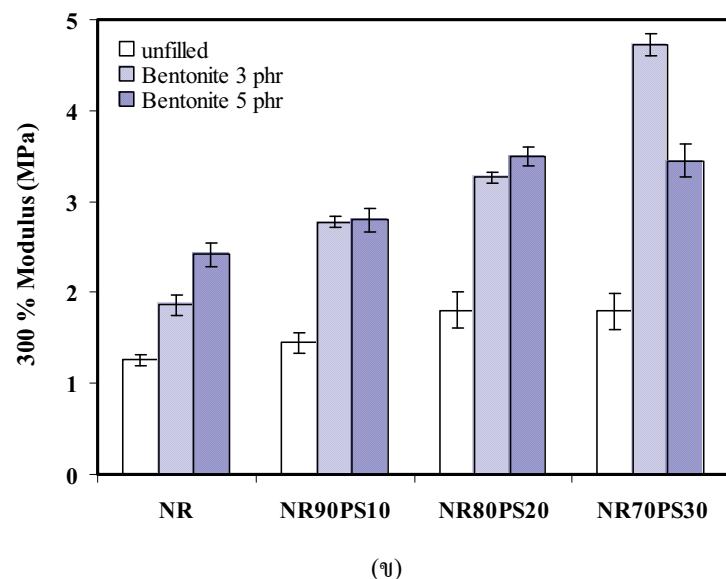
Sample	Modulus (MPa)			Tensile strength (MPa)
	100%	300%	500%	
NR/B3	0.88±0.05	1.86±0.12	3.79±0.09	19.8±2.25
NR90/PS10/B3	0.97±0.06	2.78±0.06	6.24±0.14	31.3±3.04
NR80/PS20/B3	1.05±0.09	3.27±0.07	7.07±0.30	26.8±2.30
NR70/PS30/B3	1.52±0.09	4.72±0.12	9.70±0.14	26.0±2.86
NR/B5	1.07±0.06	2.41±0.14	5.34±0.25	24.6±2.86
NR90/PS10/B5	1.23±0.05	2.80±0.14	5.59±0.11	25.5±1.71
NR80/PS20/B5	1.46±0.05	3.49±0.10	6.32±0.26	22.9±1.81
NR70/PS30/B5	1.26±0.07	3.45±0.18	6.52±0.21	22.7±1.02

จากรูปที่ 5.5 (ก ค และ ข) พบว่าค่ามอดูลัสที่ระยะยีด 100, 300 และ 500% ของพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอกไซน์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ NR, NR/B และ NR/PS จะเห็นได้ว่า ค่ามอดูลัสที่ระยะยีด 100 และ 500% สูงสุดในระบบพอลิเมอร์ผสม NR70/PS30 ที่เติมเบนทอกไซน์ 3 phr โดยมีค่าเท่ากับ 1.52 และ 9.70 MPa เมื่อคิดร้อยละที่เพิ่มขึ้นประมาณ 90 และ 180% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เติมเบนทอกไซน์ อาจเป็นผลจากเบนทอกไซน์ที่กระจายตัวในเนื้อพอลิเมอร์ทำให้โครงสร้างผลึกของเบนทอกไซน์ที่มีชั้นชิลิเกตเป็นส่วนรับแรงเมื่อมีแรงมากระทำกับชิ้นงาน และในขณะเดียวกันคาดว่าเบนทอกไซน์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานให้ PS กระจายใน NR ได้ดีขึ้น ส่งผลทำให้ค่ามอดูลัสสูงขึ้น แต่ในขณะที่เติมเบนทอกไซน์ 5 phr พบว่าค่ามอดูลัสลดลง อาจเนื่องจากมีปริมาณเบนทอกไซน์มากขึ้นส่งผลทำให้การกระจายของเบนทอกไซน์ในเนื้อพอลิเมอร์มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนส่งผลต่อการเสริมแรงและทนทานการเป็นตัวช่วยประสานลดลง ในขณะเดียวกันค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมเบนทอกไซน์ 3 และ 5 phr รูปที่ 5.5 (ก) สูงกว่ายาง NR, NR/B และพอลิเมอร์ผสม NR/PS และให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุด (31.3 MPa) ในพอลิเมอร์ผสม NR/PS ที่ปริมาณอัตราส่วน 90/10 เมื่อเติมเบนทอกไซน์ 3 phr ในขณะที่ปริมาณเบนทอกไซน์ 5

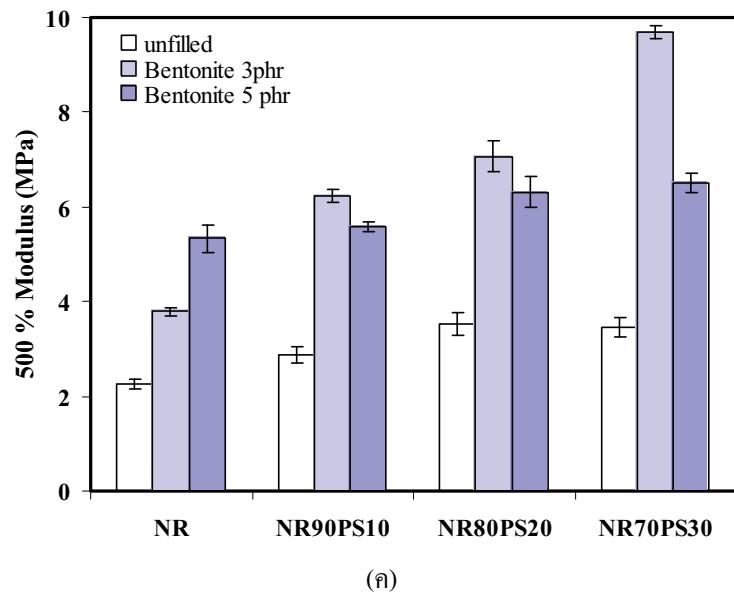
phr พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลง (25.8 MPa) จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าในกรณีที่เติมบentonite ในปริมาณ 3 phr ไม่ได้ไปบดขวางการตกผลึกของสายโซ่ไนโตรเจนและยังคงมีความเครียดเพิ่มขึ้น และคาดว่าเป็นตัวช่วยให้ NR และ PS กระจายกันได้ดีขึ้น (ดังผลของภาพถ่าย SEM)



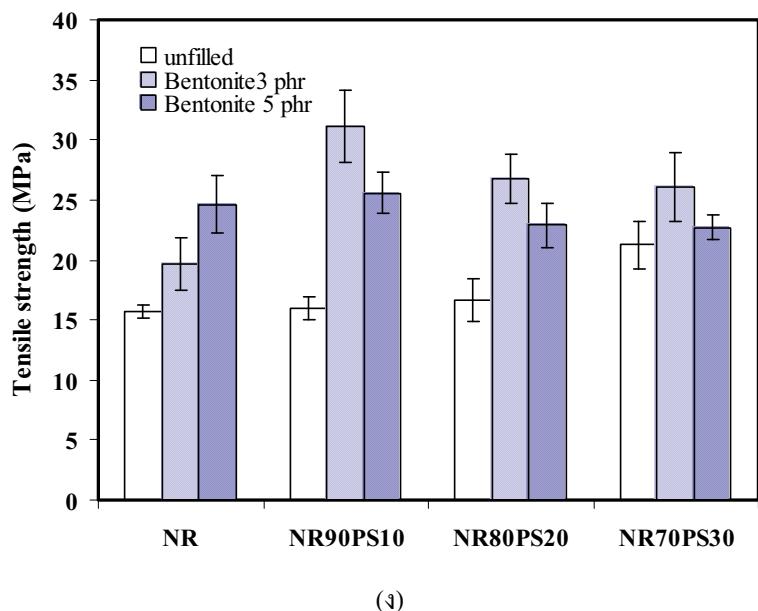
(n)



(u)



(ก)



(ก)

รูปที่ 5.5 สมบัติการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์พสมที่เติมเบนทอไธ (ก) 100% มอดูลัส

(ข) 300% มอดูลัส (ก) 500% มอดูลัส และ (ก) ความต้านทานต่อแรงดึง

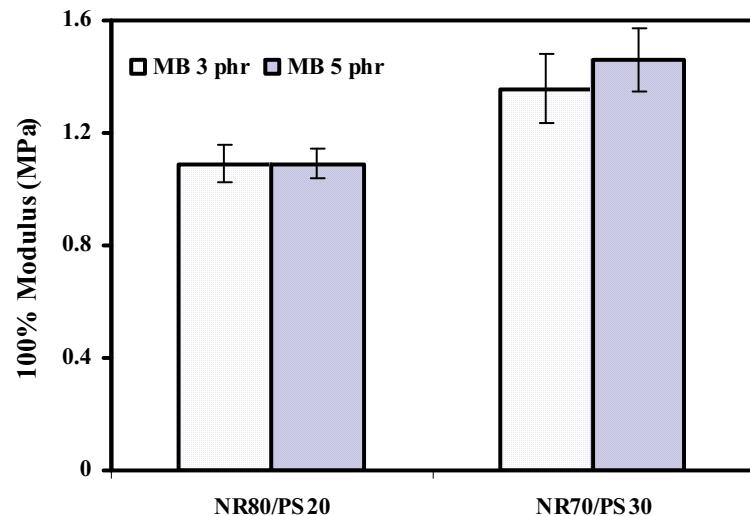
5.2.3 พอลิเมอร์พสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปลง

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการใช้เบนทอไนท์ดัดแปลงเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์พสม NR/PS โดยดัดแปลงเบนทอไนท์ด้วยออกตะเดซิลแอมโมเนียมไออกอน ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์พสม NR/PS ที่อัตราส่วน 80/20 และ 70/30 โดยเติมเบนทอไนท์ดัดแปลง 3 และ 5 phr ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.6

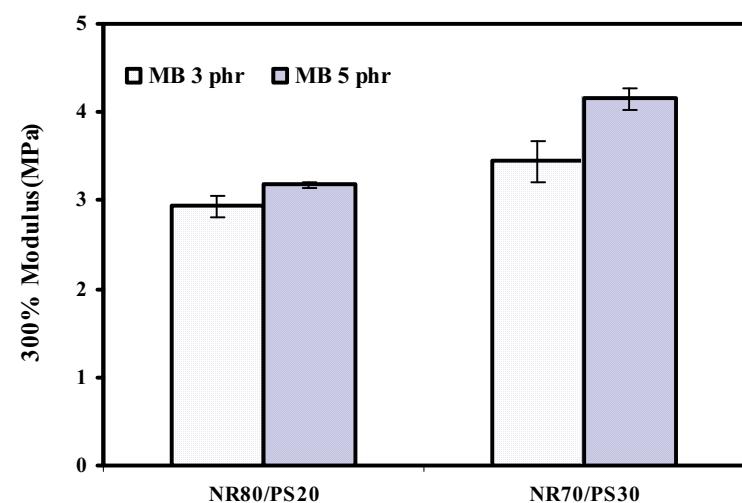
จากรูปที่ 5.6 (ก และ ข) พบว่าค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100, 300 และ 500 % ของพอลิเมอร์พสม ระหว่าง NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปรลดลงเมื่อเปรียบเทียบพอลิเมอร์พสมระหว่าง NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์ก่อนดัดแปร (ดังรูปที่ 5.5) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าค่ามอดูลัสของพอลิเมอร์พสมที่เติมเบนทอไนท์ก่อนดัดแปร (NR/PS/MB) ยังมีค่าสูงกว่าของยาง NR และพอลิเมอร์พสม NR/PS เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.3 พบว่าค่ามอดูลัสที่ 100 และ 500 % สูงสุดเมื่อเติมเบนทอไนท์ปริมาณ 5 phr ในพอลิเมอร์พสม NR/PS ในอัตราส่วน 70/30 โดยมีเท่ากับ 1.46 และ 7.02 MPa ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์พสม NR/PS ในอัตราส่วน 80/20 และ 70/30 ที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปร 3 และ 5 phr (ดังรูปที่ 5.6 (ก)) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีปริมาณเบนทอไนท์ดัดแปรในปริมาณ 5 phr ค่าความต้านทานต่อแรงดึง (16 MPa) ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่เติม 3 phr (25.6 MPa) จากตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าทั้งในระบบพอลิเมอร์พสม NR80/PS20 และ NR70/PS30 ให้ผลในลักษณะเดียวกัน นั่นคือค่าความต้านทานต่อแรงดึงของมีแนวโน้มลดลงเมื่อมี MB มากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากวัสดุพอลิเมอร์พสมมีความแข็งมากขึ้น ทำให้ความต้านทานต่อแรงดึงที่สูดขาดลดลง เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์พสมในกรณีที่เติมเบนทอไนท์ (NR/PS/B) และเบนทอไนท์ดัดแปร (NR/PS/MB) จะเห็นได้ว่าให้ผลในลักษณะเดียวกัน คือเมื่อเติมสารตัวเติมมากขึ้น (5 phr) ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลง เนื่องมาจากการกระจายตัวของเบนทอไนท์มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนจึงทำให้มีการเสริมแรงได้น้อยลง และทำหน้าที่เป็นสารช่วยประสานให้ NR เข้ากับ PS ได้น้อยลง

ตารางที่ 5.3 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100, 300 และ 500% และความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์พสม ระหว่าง NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปร (NR/PS/MB)

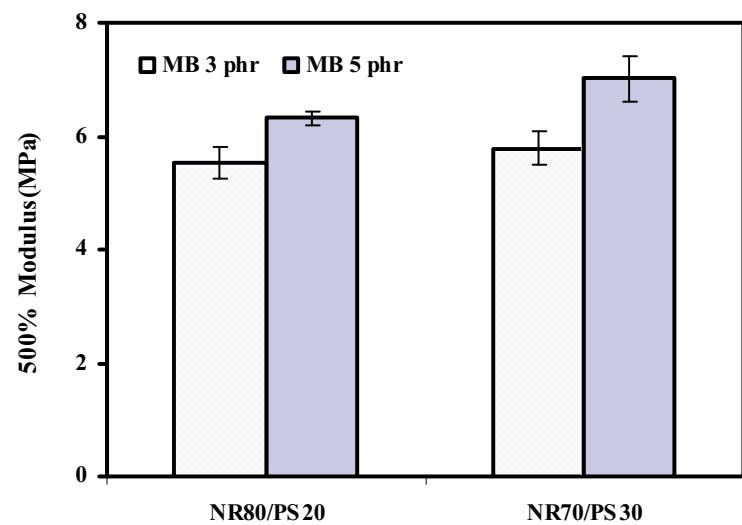
Sample	Modulus (MPa)			Tensile strength (MPa)
	100%	300%	500%	
NR80/PS20/MB3	1.09±0.07	2.93±0.13	5.54±0.28	25.97±0.75
NR80/PS20/MB5	1.09±0.05	3.18±0.04	6.33±0.12	21.86±3.67
NR70/PS30/MB3	1.36±0.12	3.44±0.24	5.79±0.29	26.22±1.16
NR70/PS30/MB5	1.46±0.11	4.15±0.13	7.02±0.40	16.28±0.70



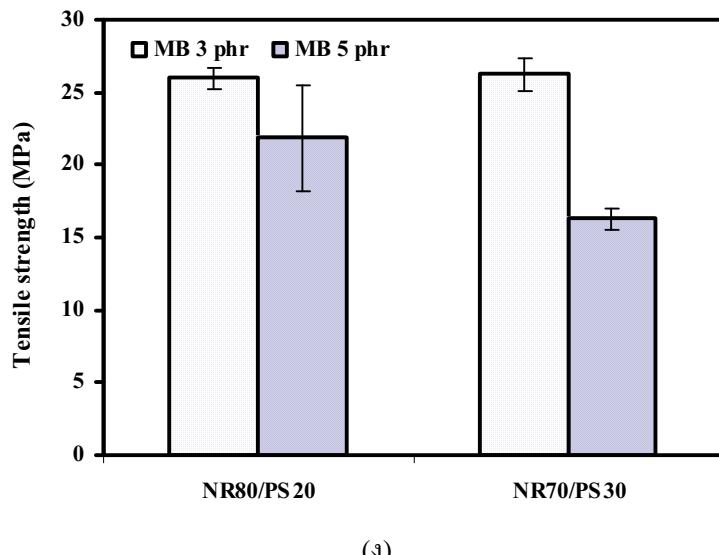
(n)



(q)



(n)



(g)

รูปที่ 5.6 สมบัติการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์พสมที่เติมเบนโทไนท์ด้วย MB 3 phr (ก) 100% มอดูลัส (ข) 300% มอดูลัส (ค) 500% มอดูลัส และ (ง) ความต้านทานต่อแรงดึง

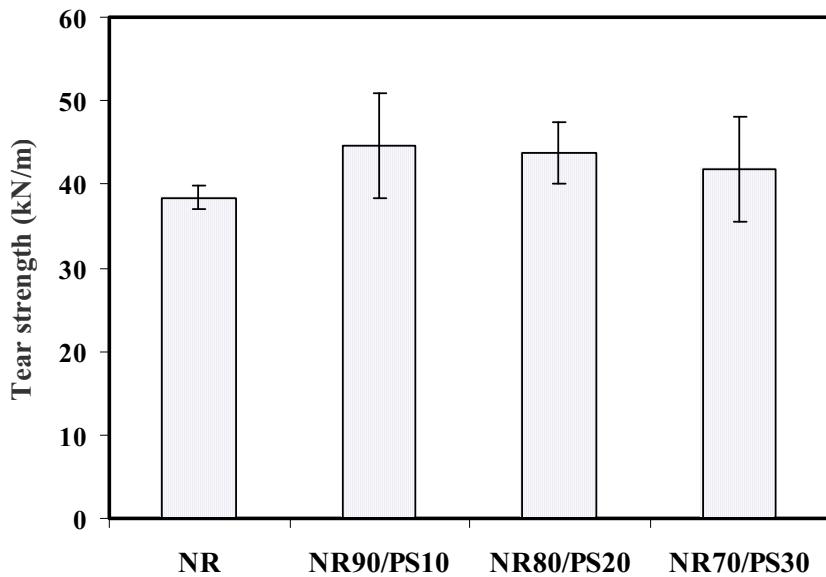
5.3 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงฉีกขาด

5.3.1 ยางธรรมชาติ และพอลิเมอร์พสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน

ผลการทดสอบการทนต่อแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติ และพอลิเมอร์พสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน ดังแสดงตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.7 จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติเท่ากับ 38.42 kN/m ในกรณีของพอลิเมอร์พสมพบว่าเมื่อเติมพอลิสไตรีนลงในยางธรรมชาติ (ที่ปริมาณพอลิสไตรีน 10 และ 20 phr) มีค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดเท่ากับ 44.58 และ 43.76 kN/m ซึ่งจะเห็นได้ว่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ และเมื่อเติมพอลิสไตรีนในปริมาณ 30 phr พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดใกล้เคียงกับยางธรรมชาติ อาจเนื่องจากพอลิสไตรีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสมบัติแข็งeraser ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการผสมพอลิสไตรีนในยางธรรมชาติไม่ได้ช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อแรงฉีกขาด

ตารางที่ 5.4 ค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของยาง NR และพอลิเมอร์พสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน (NR/PS)

Sample	Tear strength (kN/m)
NR	38.4 ± 1.3
NR90/PS10	44.6 ± 5.2
NR80/PS20	43.8 ± 3.7
NR70/PS30	41.8 ± 5.3



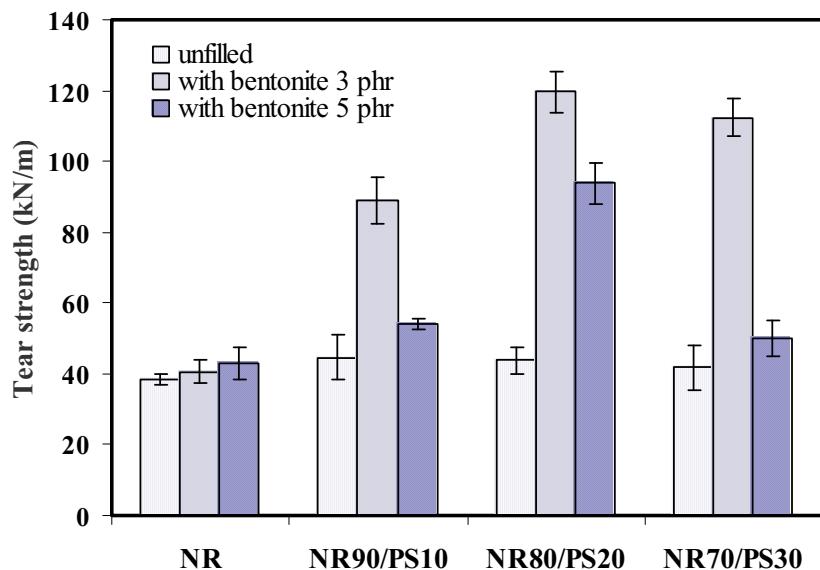
รูปที่ 5.7 ความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติ (NR) กับพอลิเมอร์ผสม NR/PS

5.3.2 พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสైต์เรนที่เติมเบนทอนทอไนท์

ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสైต์เรนที่ปริมาณสัดส่วน 90/10, 80/20 และ 70/30 โดยเติมเบนทอนทอไนท์ (NR/PS/B) ปริมาณ 3 และ 5 phr แสดงดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.8 จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมเติมเบนทอนทอไนท์ 3 phr เพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับยาง NR และมีค่าเพิ่มสูงสุด (120 kN/m) ที่ปริมาณสัดส่วนของพอลิสైต์เรน 20 phr ในพอลิเมอร์ผสม (NR80/PS20/B3) เมื่อคิดเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ (38.4 kN/m) และ NR80/PS20 (43.8 kN/m) ประมาณ 210 และ 190 และพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอนทอไนท์ 3 phr มีค่าความต้านทานต่อฉีกขาดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสม NR/PS ที่ไม่เติมเบนทอนทอไนท์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเติมเบนทอนทอไนท์ในปริมาณ 5 phr พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดลดลงอย่างเห็นได้ชัดในทุกอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม NR/PS จากผลการศึกษาสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเติมเบนทอนทอไนท์ 3 phr ในพอลิเมอร์ผสมทำให้เกิดการกระจายตัวของเบนทอนทอไนท์ในเนื้อพอลิเมอร์ผสมได้ดี และคาดว่าเบนทอนทอไนท์ที่เป็นทั้งสารเสริมแรงและเป็นตัวช่วยประสานให้พอลิสైต์เรนเข้ากับยางธรรมชาติได้มากขึ้น ส่งผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความต้านทานต่อแรงฉีกขาดได้มากขึ้น แต่เมื่อเติมเบนทอนทอไนท์ในปริมาณมากขึ้น (5 phr) ทำให้การกระจายของเบนทอนทอไนท์ในพอลิเมอร์ผสมเกิดขึ้นได้ไม่ดี ซึ่งทำให้บทบาทในการทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานลดลงดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าปริมาณที่เหมาะสมในการเติมเบนทอนทอไนท์เพื่อปรับปรุงความต้านทานต่อแรงฉีกขาดอยู่ที่ 3 phr

ตารางที่ 5.5 ค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติเติมเบนโทไนท์ (NR/B) พอลิเมอร์พสมะห์ว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนที่เติมเบนโทไนท์ (NP/PS/B)

Sample	Tear strength (kN/m)
NR/B3	40.5±2.6
NR90/PS10/B3	89.0±6.21
NR80/PS20/B3	120±5.90
NR70/PS30/B3	112±10.5
NR/B5	42.8±3.5
NR90/PS10/B5	54.0±1.72
NR80/PS20/B5	93.9±5.84
NR70/PS30/B5	50.0±4.09



รูปที่ 5.8 ความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติเติมเบนโทไนท์ (NR/B) พอลิเมอร์พสมะห์ว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนที่เติมเบนโทไนท์ (NP/PS/B) 3 และ 5 phr

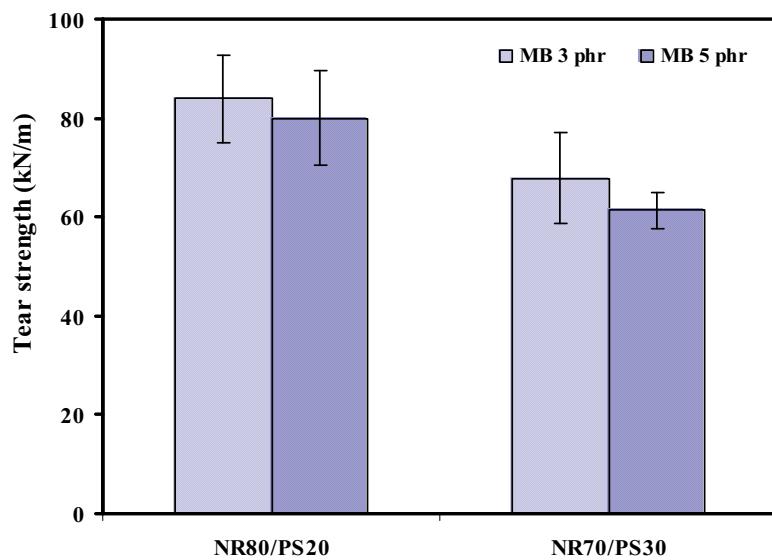
5.3.3 พอลิเมอร์พสมะห์ว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนเติมเบนโทไนท์ดัดแปลง

ผลการทดสอบการทนต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์พสมะห์ว่าง NR/PS ที่ปริมาณสัดส่วน 80/20 และ 70/30 เติมเบนโทไนท์ดัดแปลง (NR/PS/MB) ปริมาณ 3 และ 5 phr เป็นสารตัวเติม ได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.9 จะเห็นได้ว่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์พสมะห์ว่างที่เติมเบนโทไนท์ดัดแปลง 3 phr

เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ (38.4 MPa) และมีแนวโน้มสูงสุดเมื่อปริมาณสักส่วนของพอลิสไตรีนในพอลิเมอร์ผสม 20 phr (NR80/PS20/MB3) โดยมีค่า 83.4 kN/m และจากผลการทดสอบพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปร 3 phr มีค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสม NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์ก่อนดัดแปร ดังเช่น NR70/PS30 เมื่อเติมเบนทอไนท์ 3 phr ให้ค่าความต้านทานต่อฉีกขาดเท่ากับ 112 kN/m ในขณะที่ค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของ NR70/PS30 เติมเบนทอไนท์ดัดแปร 3 phr เท่ากับ 67.8 kN/m แสดงให้เห็นว่าการเติมเบนทอไนท์ดัดแปรไม่ได้ช่วยปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR และ PS

ตารางที่ 5.6 ค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติและพอลิสไตรีนที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปร (NR/PS/MB)

Sample	Tear strength (kN/m)
NR80/PS20/MB3	83.4±10.5
NR80/PS20/MB5	79.7±9.2
NR70/PS30/MB3	67.8±7.2
NR70/PS30/MB5	61.3±3.5



รูปที่ 5.9 ความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติและพอลิสไตรีนที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปร (NR/PS/MB) 3 และ 5 phr

5.4 ผลการทดสอบการทนต่อตัวทำละลาย

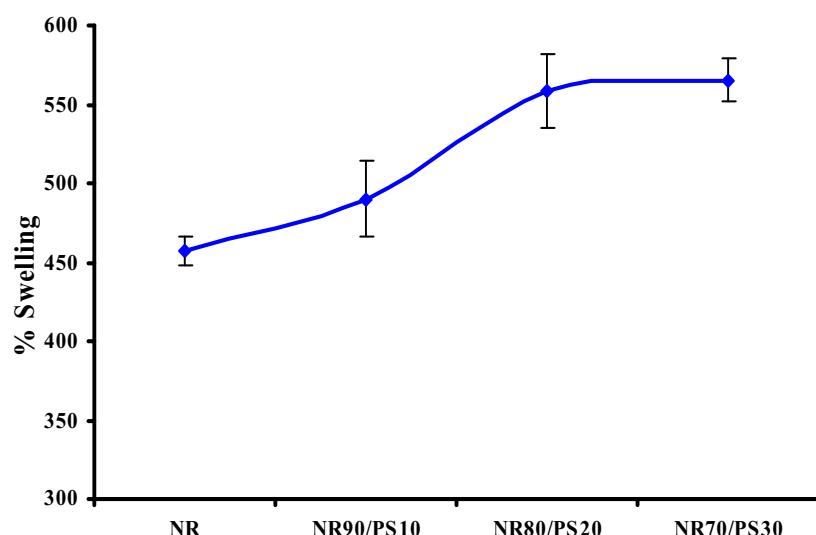
การทดสอบการทนต่อตัวทำละลายสามารถบ่งบอกถึงปริมาณการซึมของสารโดยไม่เลกุล การเข้ากันได้ดีระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน และการเติมเบนทอนที่ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ลงไปจะช่วยทำให้พอลิเมอร์สมบทต่อตัวทำละลายได้ดีขึ้นหรือไม่ หากยางธรรมชาติสามารถเข้ากับพอลิสไตรีนและเบนทอนได้โดยไม่เกิดการขัดขวางการซึมของสารโดยไม่เลกุลของยางธรรมชาติ จะส่งผลให้มีการทนต่อตัวทำละลายได้ดี นั่นคือตัวทำละลายไม่สามารถแทรกเข้าไปในสารโดยไถ่ ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้ในการทดสอบ คือ โกลูอีน

5.4.1 ยางธรรมชาติ และพอลิเมอร์สมรรถนะของยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน

จากการทดสอบการบวมพองของยางธรรมชาติ และพอลิเมอร์สมรรถนะระหว่าง NR/PS โดยเตรียมชิ้นตัวอย่างขนาด $1 \times 1 \text{ cm}$ และนำไปแช่ในโกลูอีนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง คำนวณร้อยละการบวมพองได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.10

ตารางที่ 5.7 ร้อยละการบวมพองทนต่อตัวทำละลายของยางธรรมชาติ (NR) และพอลิเมอร์สมรรถนะระหว่าง NR และ PS

Samples	% Swelling
NR	457.09 ± 9.50
NR90/PS10	490.16 ± 23.98
NR80/PS20	558.68 ± 23.20
NR70/PS30	565.40 ± 13.50



รูปที่ 5.10 ร้อยละการบวมพองของยางธรรมชาติ (NR) และพอลิเมอร์สมรรถนะระหว่าง NR/PS

จากรูปที่ 5.10 แสดงผลการบวมพองของยางธรรมชาติ และพอลิเมอร์พสม ในตัวทำละลายโพลูอีน พนว่าเมื่อเวลาผ่าน 48 ชั่วโมง ยางธรรมชาติมีร้อยละการบวมพองเท่ากับ 457 ในขณะที่พอลิเมอร์พสม ระหว่าง NR/PS ที่ปริมาณอัตราส่วน 90/10 80/20 และ 70/30 มีค่าร้อยละการบวมพองเท่ากับ 490, 559 และ 565 ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์พสม NR/PS มีค่าร้อยละการบวมพองเพิ่มขึ้นตามปริมาณพอลิสไตรีน สามารถอธิบายได้จากสัมฐานวิทยาของยางธรรมชาติและพอลิเมอร์พสม คือ สายโซ่ไม่เลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการวัดค่าไนซ์ ทำให้สายโซ่ไม่เลกุลถูกเชื่อมโยงด้วยกำมะถันทำให้มีช่องว่างระหว่างไม่เลกุลน้อยลง ดังนั้นทำให้เกิดการบวมพองขึ้นในชั้นตัวอย่างน้อย ในส่วนของพอลิเมอร์พสมซึ่งมีปริมาณพอลิสไตรีนเพิ่มขึ้นโดยพอลิสไตรีนมีสัมฐานวิทยาเป็นแบบสัมฐาน ดังนั้นเกิดการแทรกซึมของตัวทำละลายเข้าไปในโครงสร้าง ได้ง่ายและรวดเร็ว ทำให้ร้อยละการบวมพองการบวมพองมีค่าสูงตามปริมาณพอลิสไตรีนที่ผสมลงไป

5.4.3 พอลิเมอร์พสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนที่เติมเบนโทไนท์

ผลการบวมพองในตัวทำละลายโพลูอีนของพอลิเมอร์พสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนที่ปริมาณสัดส่วน 90/10, 80/20 และ 70/30 เติมเบนโทไนท์ (NR/PS/B) ปริมาณ 3 และ 5 phr เป็นสารตัวเติม ได้ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 5.8

จากตารางที่ 5.8 พบว่าร้อยละการบวมพองของพอลิเมอร์พสมเมื่อเติมเบนโทไนท์ 3 phr ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ โดยยางธรรมชาติมีร้อยละการบวมพองเท่ากับ 457 ในขณะที่พอลิเมอร์พสม NR/PS ที่มีปริมาณพอลิสไตรีน 10, 20 และ 30 phr เมื่อเติมเบนโทไนท์ 3 phr พนว่ามีค่าร้อยละการบวมพองเท่ากับ 421, 428 และ 455 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าพอลิเมอร์พสมที่เติมเบนโทไนท์ 3 phr มีร้อยละการบวมพองลดลงเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์พสม NR/PS (จากตารางที่ 5.7) อาจมาจากการเบนโทไนท์เป็นสารอนินทรีย์ที่ต่อตัวทำละลายได้มากส่งผลทำให้พอลิเมอร์พสม NR/PS ที่เติมเบนโทไนท์ทันต่อตัวทำละลายได้เพิ่มขึ้น และทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานให้พอลิสไตรีนกระจายตัวในยางธรรมชาติได้มากขึ้น โดยไม่ขัดขวางการเชื่อมข้ามระหว่างสายโซ่ไม่เลกุลของยาง แต่เมื่อเติมเบนโทไนท์ในปริมาณ 5 phr พนว่าค่าร้อยละการบวมพองของพอลิเมอร์พสม NR/PS เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีปริมาณเบนโทไนท์เพิ่มขึ้นทำให้การกระจายของเบนโทไนท์ในพอลิเมอร์พสมเกิดขึ้น ได้ไม่ดี มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนทำให้ยางพอลิสไตรีนกระจายตัวในยางธรรมชาติได้ไม่ดี ส่งผลให้การแทรกของตัวทำละลายเกิดได้ง่ายขึ้น ทำให้ร้อยละการบวมพองมีค่าสูง

ตารางที่ 5.8 ร้อยละการบวมพองของพอลิเมอร์สูงระหว่าง NR และ PS เติมเบนทอไนท์ (NR/PS/B)

Sample	% Swelling
NR/B3	425±10
NR90/PS10/B3	421±9
NR80/PS20/B3	429±5
NR70/PS30/B3	455±11
NR/B5	395±12
NR90/PS10/B5	458±13
NR80/PS20/B5	449±11
NR70/PS30/B5	470±9

5.4.3 พอลิเมอร์สูงระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนเติมเบนทอไนท์ดัดแปลง

ผลการบวมพองในตัวทำละลายโพลีอีนของพอลิเมอร์สูงระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนที่สัดส่วน 80/20 และ 70/30 โดยเติมเบนทอไนท์ดัดแปลง (NR/PS/MB) ปริมาณ 3 และ 5 phr เป็นสารตัวเติมได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.9

จากตารางที่ 5.9 พบว่าร้อยละการบวมพองของพอลิเมอร์สูง NR80/PS20 เมื่อเติมเบนทอไนท์ดัดแปลง 3 phr ลดลง (386%) เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ (457%) เนื่องจากสารอินทรีที่อยู่ในเบนทอไนท์ถูกชีดล้างออกจนหมดและเมื่อผ่านกระบวนการดัดแปลงเบนทอไนท์คาดว่ามีความเป็นขั้วมากขึ้น ทำให้พอลิเมอร์สูงทนตัวทำละลายได้ดีขึ้น

ตารางที่ 5.9 ร้อยละการบวมพองของพอลิเมอร์สูง NR/PS เติมเบนทอไนท์ดัดแปลง (NR/PS/MB)

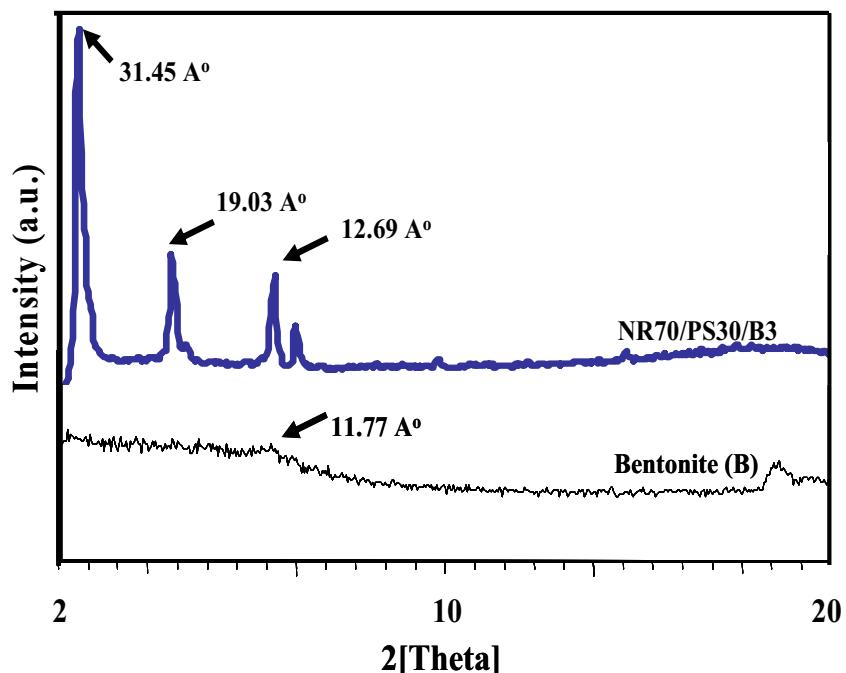
Sample	% Swelling
NR80/PS20/MB3	386.6±3.5
NR70/PS30/MB3	488.4±6.9
NR80/PS20/MB5	451.0±7.2
NR70/PS30/MB5	492.6±10.3

5.5 โครงสร้างพลีก และโครงสร้างเคมีของพอลิเมอร์พสมและพอลิเมอร์พsm

5.5.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างพลีกของเบนทอนทอไนท์

ผลของการวิเคราะห์โครงสร้างพลีกของเบนทอนทอไนท์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เพื่อศึกษาการกระจายตัวและการขยายของชั้นซิลิเกตของเบนทอนทอไนท์ในพอลิเมอร์พsm NR/PS ได้ XRD สเปกตรัดังรูปที่ 5.11

จาก XRD สเปกตรของเบนทอนทอไนท์ และพอลิเมอร์พsm ที่เติมเบนทอนทอไนท์ พบว่าสเปกตรัมของเบนทอนทอไนท์ (รูปที่ 5.11) มีลักษณะพิกกว้าง อาจเนื่องจากมีความเป็นอสัมฐานภายในโครงสร้างของเบนทอนทอไนท์ เมื่อพิจารณา XRD สเปกตรัมของพอลิเมอร์พsm ที่เติมเบนทอนทอไนท์ (NR70/PS30/B3) (รูปที่ 5.11) จะเห็นได้ว่าปรากฏพิกของเบนทอนทอไนท์แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นพลีกมากขึ้นและพบว่าค่าระยะห่างระหว่างหนาในพอลิเมอร์พอลิเมอร์พsm NR/PS เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเบนทอนทอไนท์ นั่นคือ ระยะห่างระหว่างหนาเพิ่มขึ้น จาก 11.77 \AA เป็น 12.69 \AA 19.03 \AA และ 31.45 \AA คาดว่าเกิดการแทรกสายโซ่ไมเลกุลของยางธรรมชาติและ/หรือพอลิสไตรีนในชั้นซิลิเกตของเบนทอนทอไนท์

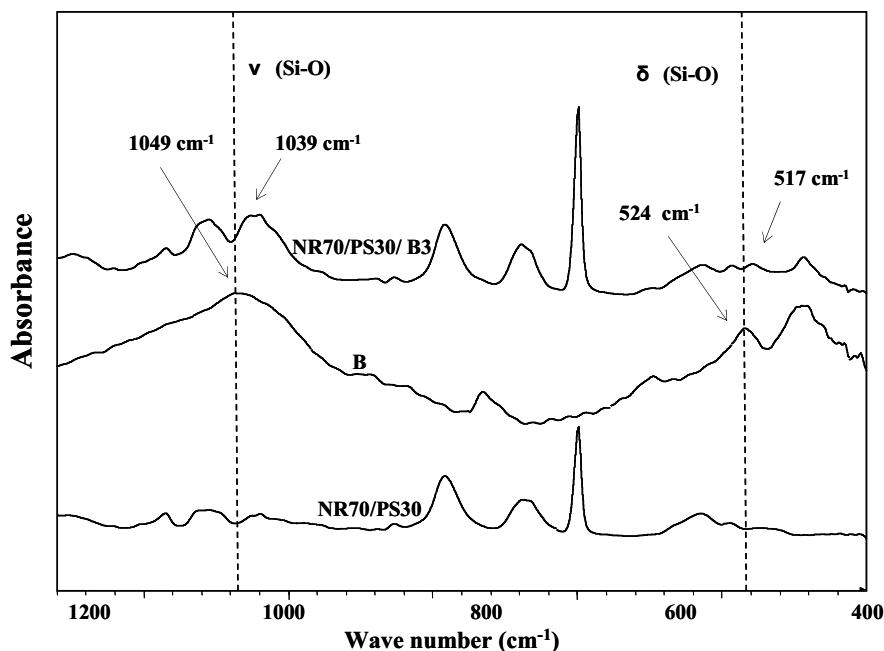


รูปที่ 5.11 XRD สเปกตรของเบนทอนทอไนท์ (B) และพอลิเมอร์พsm ที่เติมเบนทอนทอไนท์ (NR70/PS30/B3)

5.5.2 โครงสร้างเคมีของเบนทอนทอไนท์

ผลจากการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติโดยเตรียมพอลิเมอร์พsm ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนโดยใช้เบนทอนทอไนท์เป็นสารตัวเติม ดังนั้นการเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางธรรมชาติ พอลิสไตรีน และเบนทอนทอไนท์เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณา ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของเบนทอนทอไนท์ในพอลิเมอร์พsm ระหว่าง NR/PS โดยใช้เทคนิค FTIR ได้ข้อมูลอินฟราเรดสเปกตรัดังรูปที่ 5.12

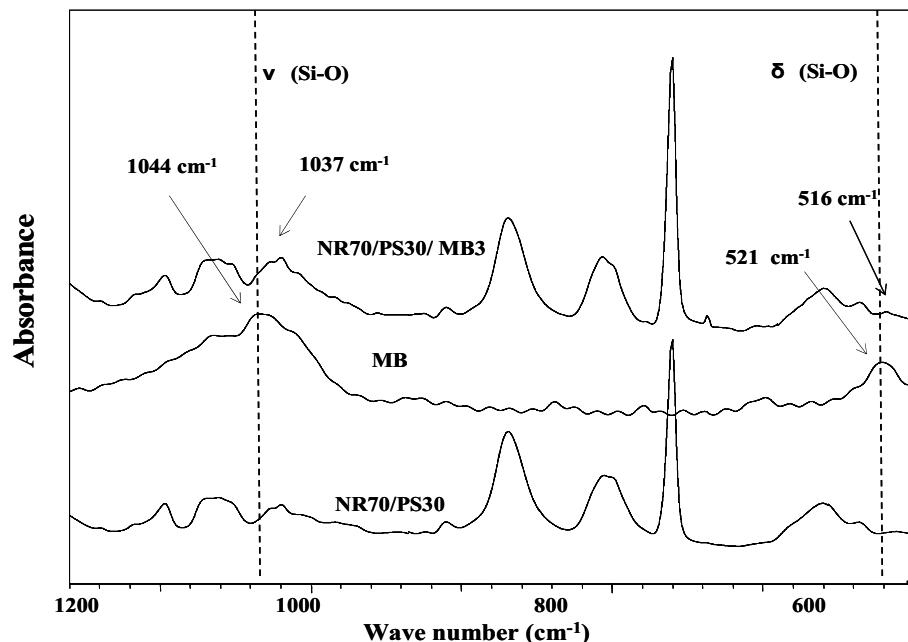
จากรูปที่ 5.12 สามารถสังเกตตำแหน่งของแอบการคุณลักษณะรังสีอินฟารेडของเบนทอไนท์กับเบนทอไนท์ในพอลิเมอร์ผสม NR/PS พบว่าปรากฏแอบการคุณลักษณะอินฟารेडที่เลขค่าต่างกันคือ 1049 cm^{-1} กับ 1039 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของ Si –O และ 524 cm^{-1} กับ 517 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบของ Si-O แสดงให้เห็นว่าแอบการคุณลักษณะอินฟารेडของเบนทอไนท์ต่างกันค่อนข้างมาก โดยสายโซ่ไม่เลกุลของยางธรรมชาติและพอลิสไตรีน โดยสายโซ่ไม่เลกุลของยางธรรมชาติและพอลิสไตรีนแทรกเข้าไปในชั้นของซิลิเกตดัง ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงขึ้นเพื่อทำให้พันธะ Si-O เกิดการสั่น



รูปที่ 5.12 อินฟารेडสเปกตรากองพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน (NR70/PS30) เบนทอไนท์ (B) และพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติและพอลิสไตรีนที่เติมเบนทอไนท์ 3 phr (NR70/PS30/B3)

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของเบนทอไนท์ดัดแปลงในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS โดยใช้เทคนิค FTIR ได้ข้อมูลอินฟารेडสเปกตราระดับรูปที่ 5.13 สามารถสังเกตตำแหน่งของแอบการคุณลักษณะรังสีอินฟารेडของเบนทอไนท์ กับเบนทอไนท์ในพอลิเมอร์ผสม NR/PS พบแอบการคุณลักษณะรังสีอินฟารेडที่เลขค่าต่างกันคือ 1044 cm^{-1} กับ 1037 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของ Si –O และ 521 cm^{-1} กับ 516 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบของ Si-O แสดงให้เห็นว่าแอบการคุณลักษณะรังสีอินฟารेडของเบนทอไนท์ต่างกันค่อนข้างมาก โดยสายโซ่ไม่เลกุลของยางธรรมชาติและพอลิสไตรีนแทรกเข้าไปในชั้นของซิลิเกต ผลจากการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Varghese et al., (2004) ศึกษาผลการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับพอลิยูริเทนเสริมแรงด้วยซิลิเกตสังเคราะห์

เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งของแถบการดูดกลืนรังสีอินฟารेडของเบนทอนทอไนท์กับเบนทอนและหลังดัดแปรในพอลิเมอร์สมรรถห่วง NR/PS พบว่าพอลิเมอร์สมรรถห่วง NR/PS ที่เติมเบนทอนทอไนท์หลังดัดแปรเท่ากับ 3 และ 2 cm^{-1} ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสายโซ่ไม่เลกุลงยางธรรมชาติและพอลิสไตรีนสามารถแทรกเข้าไปในชั้นชิลิกे�ตของเบนทอนทอไนท์ได้ดีกว่าเบนทอนทอไนท์ดัดแปร



รูปที่ 5.13 อินฟารेडสเปกตร้าของพอลิเมอร์สมรรถห่วงยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน (NR70/PS30) เบนทอนทอไนท์ดัดแปร MB) และพอลิเมอร์สมรรถห่วงยางธรรมชาติและพอลิสไตรีนที่เติมเบนทอนทอไนท์ 3 phr (NR70/PS30/MB3)

5.6 สัมฐานวิทยาของยางธรรมชาติ พอลิเมอร์ผสม และพอลิเมอร์ผสม

5.6.1 ลักษณะทางกายภาพของยางธรรมชาติ พอลิเมอร์ผสม และพอลิเมอร์ผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องร้าด

เมื่อนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการทนต่อแรงดึงมาศึกษาสัมฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องร้าด เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของพอลิสไตรีนในยางธรรมชาติ และการเติมเบนทอนทอไนท์ลงไปในพอลิเมอร์ผสม NR/PS มีผลต่อการกระจายตัวของพอลิสไตรีนในยางธรรมชาติหรือไม่ แสดงดังรูปที่ 5.14

จากรูปที่ 5.14 (ก) เป็นภาพถ่าย SEM ของยางธรรมชาติ พบว่ามีลักษณะพื้นผิวเรียบหลังจากผ่านการดึง เมื่อพิจารณารูปที่ 5.14 (ข) แสดงสัมฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR70/PS30 พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคพอลิสไตรีนในยางธรรมชาติไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน เนื่องจากพอลิสไตรีนมีปริมาณมากจึงส่งผลทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการแตก เมื่อพิจารณาภาพถ่าย SEM ของพอลิเมอร์

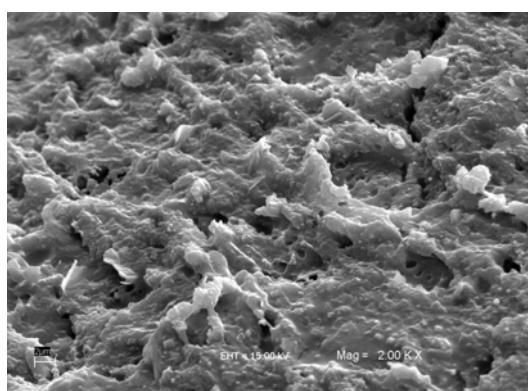
ผสมระหว่าง NR70/PS30 ที่เติมเบนโทไนท์ 3 phr ดังรูปที่ 5.14 (ค) พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคพอลิสไตรีนในยางธรรมชาติมีลักษณะสม่ำเสมอและขนาดใกล้เคียงกัน คือประมาณ 1 ไมครอน รูปร่างของอนุภาคไม่เป็นทรงกลม เนื่องจากเบนโทไนท์ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน ทำให้พอลิสไตรีนเข้ากับยางธรรมชาติได้มากขึ้น และเบนโทไนท์ที่เติมลงไปกระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสมได้ดี ส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น

พอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR70/PS30 ที่เติมเบนโทไนท์ 5 phr แสดงดังรูปที่ 5.14 (ง) พบว่ามีการกระจายตัวของพอลิสไตรีนไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับปริมาณเบนโทไนท์ 3 phr อนุภาคของพอลิสไตรีนแตกต่างกันซึ่งมีขนาดอนุภาคประมาณ 1-2 ไมครอน และในขณะเดียวกันจากภาพถ่ายจะเห็นได้ว่ามีเบนโทไนท์กระจายตัวเป็นกลุ่มก้อนในพอลิเมอร์ผสม

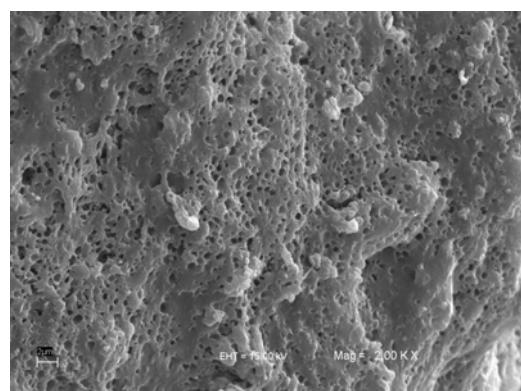
จากการวิเคราะห์สัมฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม และพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนโทไนท์ สัมฐานได้ว่า การเติมเบนโทไนท์ก่อนดัดแปลงโครงสร้าง 3 phr ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานให้ PS ผสมกับ NR มากขึ้น ในขณะเดียวกันไม่ได้ไปขัดขวางกระบวนการการวัดค่าในช่องยางธรรมชาติ ดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS ได้ส่งผลทำให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด และการทนต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น



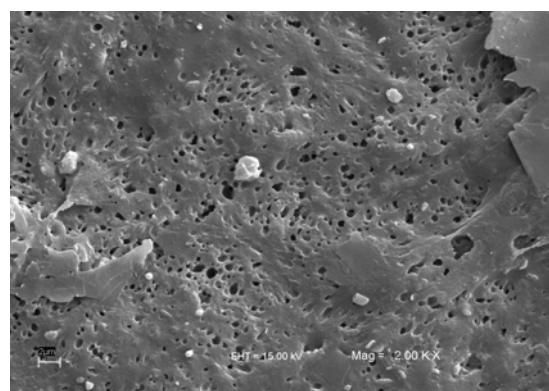
(ค)



(ง)



(จ)



(ก)

รูปที่ 5.14 ภาพถ่าย SEM ของยางธรรมชาติ (NR) (ก) พอลิเมอร์ผสม NR/PS (ง) พอลิเมอร์ผสมเติมเบนโทไนท์ 3 phr (ค) และพอลิเมอร์ผสมเติมเบนโทไนท์ 5 phr (จ)

6. สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาความด้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน (NR/PS) และพอลิเมอร์ผสม ที่เติมเบนทอไนท์และเบนทอไนท์ดัดแปลงเป็นสารตัวเติม พบว่าค่ามอคูลัสที่ระยะยืด 100, 300 และ 500% เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ NR และ NR/PS และให้ค่าสูงสุดที่พอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS ในอัตราส่วน 70/30 เมื่อเติมเบนทอไนท์ 3 phr ค่ามอคูลัสที่ระยะยืด 100, 300 และ 500% เพิ่มขึ้นประมาณ 90, 160 และ 180% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสม NR/PS ผลการศึกษาความด้านทานต่อแรงดึงพิเศษ พบว่าค่าความด้านทานต่อแรงดึงพิเศษเพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ และมีแนวโน้มสูงสุดที่พอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS ที่ปริมาณอัตราส่วน 80/20 เติมเบนทอไนท์ 3 phr โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติและ NR80/PS20 ประมาณ 210 และ 190 % ผลการศึกษาการทนต่อตัวทำลายพบว่าร้อยละการบวนพองของพอลิเมอร์ผสม เมื่อเติมเบนทอไนท์ดัดแปลง 3 phr ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ NR, NR/PS และ NR/PS/B แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสม NR/PS/MB สามารถทนต่อตัวทำลายได้ดีที่สุด ผลจากการศึกษาโครงสร้างเคมีและโครงสร้างผลึกของเบนทอไนท์ในพอลิเมอร์ผสม ปรากฏหลักฐานว่ามีสายโซ่ไมเลกูลของยางธรรมชาติและพอลิสไตรีนเกิดการแทรกเข้าไปในชั้นซิลิเกตของเบนทอไนท์ จากภาพถ่าย SEM สามารถสังเกตลักษณะสัมฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม พบว่าพอลิเมอร์ผสม ที่เติมเบนทอไนท์และเบนทอไนท์ดัดแปลงสามารถทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานให้ PS กระจายตัวใน NR ได้ดีขึ้น ส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลและการบวนพองต่อตัวทำลายดีขึ้น และเมื่อเติมเบนทอไนท์ 3 phr สามารถทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างวัสดุภาคของพอลิสไตรีนกับยางธรรมชาติได้ดีกว่าเติมเบนทอไนท์ดัดแปลง

ด้านเศรษฐศาสตร์เกี่ยวกับต้นทุน

- การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR และ PS โดยใช้เบนทอไนท์ที่เป็นสารตัวเติมในสภาวะล้ำทึบซึ่งใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการเตรียมในสภาวะหลอม เนื่องจากในกระบวนการเตรียมไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องบดผสมที่อุณหภูมิสูง
- สารตัวเติมที่ใช้ในการทดลองคือเบนทอไนท์ซึ่งมีราคาถูกเมื่อเทียบกับเคลือบสังเคราะห์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมเพื่อเสริมแรงในพอลิเมอร์ผสม เช่น ฟลูโอโรเจกโตไรท์ และหาซื้อได้ง่ายในประเทศไทย

ตาราง ก ประเมินค่าใช้จ่ายในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมในสภาวะล้ำทึบซึ่ง 1 กิโลกรัม

สารเคมี	ค่าใช้จ่าย
ขั้นตอนการเตรียมพอลิสไตรีนล้ำทึบซึ่งโดยประมาณ	200 บาท
น้ำยาจางขั้นชนิดเอมโมเนียสูง 1 ลิตร	120 บาท
สารเคมียาง (กำมะถัน สารกระตุ้น สารตัวเร่ง)โดยประมาณ	
รวม	320 บาท

7. ข้อเสนอแนะที่คาดว่าควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่ออยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

1. ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์สมรรถว่าง NR และ PS โดยใช้ระบบวัสดุภายในชั้นกำมะถันและใช้เบนทอยที่เป็นสารตัวเติมในสภาพลาเท็กซ์ในระดับอุตสาหกรรม
2. ศึกษาเตรียมพอลิเมอร์สมรรถว่าง NR และ PS โดยใช้เบนทอยที่เป็นสารตัวเติมในสภาพหลอม
3. ศึกษาแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์โพนยาง เช่นเบารองนั่ง พร้อมปุฟฟ์ วัสดุกันกระแทก ผลิตภัณฑ์หล่อเบ้า เช่นหุ่นจำลองเป็นต้น

8. เอกสารอ้างอิง

สรินทร ลิ่มปนาท เติมศักดิ์ ศรีคิรินทร์ และ วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2002. ผลของความเข้มข้นของเกลือแอลกิลแอมโมเนียมที่มีต่อกระบวนการ intercalation ในดินเบนทอยท์ (ออนไลน์).

สืบค้นจาก : http://www.scisoc.or.th/stt/28/web/content/P_16/P43.htm [28 สิงหาคม 2549]

Araújo, E.M., Mélo, T.J.A., Santana, L.N.L., Neves, G.A., Ferreira, H.C. and Lira, H.L. 2004. The influence of organo-bentonite clay on the processing and mechanical properties of nylon 6 and polystyrene composite. Materials Science and Engineering, 11 : 175 - 178.

Arroyo, M., Lopez-Manchdo, M.A. and Herrero, B. 2003. Organo-montmorillonite as substitute of carbon black in natural rubber compounds. Polymer, 44 : 2447-2453.

Asaletha, R., Kumaran, M.G. and Thomas, S. 1999. Thermoplastic elastomers from blends of polystyrene and natural rubber: morphology and mechanical properties. European Polymer Journal, 35 : 253 - 271.

Bower, D.I. 2002 An Introduction to polymer physics. Cambridge University press. Cambridge UK. Chapter 8 220 - 246.

Brosse, J.C., Campistron, I., El Hamdaoui, A., Houdayer, S., Reyx, D. and Ritoit-Gillier, S. 2000. Chemical modification of polydiene elastomers : A survey and some recent results. Journal of Applied Polymer Science, 78 : 1461 - 1477.

Essawy, H. and El-Nashar D. 2004. The use of montmorillonite as a reinforcing and compatibilizing filler for NBR/SBR rubber blend. Polymer Testing, 23 : 803 - 807.

Ismail, H. and Suryadiansyah. 2002. Thermoplastic elastomers based on polypropylene/natural rubber and polypropylene/recycle rubber blends. Polymer Testing, 21 : 389-395.

Lee, J.Y. and Lee, H.K. 2004. Characterization of organobentonite used for polymer nanocomposites. Materials Chemistry and Physics, 85 : 410-415.

Mathew, A.P. and Thomas, S. 2000. Izod impact behavior of natural rubber/polystyrene interpenetrating polymer networks. Polymer Testing, 25 : 49 - 55.

Qiu, L. and Qu, B. 2006. Preparation and characterization of surfactant-free polystyrene/layered double hydroxide exfoliated nanocomposite via soap-free emulsion polymerization. Journal of Colloid and Interface Science, 301 : 347 - 351.

- Varghese, S. and Karger, K.J. 2003. Natural rubber-based nanocomposites by latex compounding with layered silicates. *Polymer*, 44 : 4921 - 4927.
- Varghese, S., Gatos, K.G., Apostolov, A.A. and Karger, K.J. 2004. Morphology and mechanical properties of layered silicate reinforced natural and polyurethane rubber blends produce by latex compounding. *Journal of Applied Polymer Science*, 92 : 543 - 551.
- Teh, P.L., Mohd Ishak, Z.A., Hashim, A.S., Karger-kocsis, J. and Ishiaku, U.S. 2004. Effects of epoxidized natural rubber as a compatibilizer in melt compounded natural rubber-organoclay nanocomposites. *European Polymer Journal*, 40 : 2513 - 2521.
- Wang, T., Wang, M., Zhang, Z., Ge, X. and Fang, Y. 2006. Preparation of core (PBA/layered silicate)-shell (PS) structured complex via γ -ray radiation seeded emulsion polymerization. *Materials Letters*, 60 : 2544 – 2548.

ການຄ່າມັນວິກ

ข้อติดต่อของผู้รับคุณวุฒิ	คำอธิบาย
1. พัฒนาค่าสัมภัญญาณบทด้วย	1. โครงสร้างของผู้รับคุณวุฒิ ไม่พัฒนา
2. ตรวจสอบค่าและความถูกต้องทางวิชาการในการใช้ภาษาไทย	2. โครงสร้างของผู้รับคุณวุฒิ ไม่พัฒนา
3. หลักสูตรภาษาไทยและเนื้อหาในค่านิยมการพัฒนาร่างกายและสุขภาพ	3. หลักสูตรเนื้อหาของภาษาไทยไม่ถูกพัฒนา 3.1.1 – 3.1.4 ให้การระบุผลลัพธ์ แหล่งเรียนรู้และวิธีการสอน แต่ไม่ส่วนของภาษาไทย
สมบูรณ์ในโควต้า SPR ซึ่งรายงานนี้นำจะสรุปส่วนที่เกี่ยวข้องจริงให้กรอบข้อมูลได้มากกว่านี้ เช่นทบทวน (หัวข้อ 3.1) ส่วนของรายงานผลทดสอบทางภาษาไทย : Tensile กับ Tear ก่อนเข้าสู่ห้องน้ำจะสรุปได้ทางภาพและตาราง	ผลทดสอบทางภาษาไทย : Tensile กับ Tear กับ
4. หน้า 2 และ 12 ใช้คำว่า “หลอดลมหลอด” น่าจะพิจารณา	4. ได้แปลคำว่า “หลอดลม” ในหน้า 2 และ 12 เป็นคำว่า “หลอด”
5. หน้า 3.2 และ 3.3 นำเสนอวิธีการที่วิทยาครรภ์นี้มีความตื้อต่อหัวรีโน่แม่คิดต่อ ทางนิยมที่อิงอิงกับร่างกายของในร่างกายที่ติด	5. ได้รับแปลยังไงที่อ้างอิงว่ากีฬาของเด็กได้ดำเนินการทำงานวิจัยที่มีข้อบกพร่อง
6. หน้า 16 ใช้คำว่า “ถูกต้อง ถูกต้อง” (ball-mill) เพื่อระบุถูกต้องถูกต้อง หมายถึง two roll mill และบรรทัดที่ 4 บางท้องถิ่นใช้เรียกสองตัวน้ำหนา ภาษาไทย “กรองตัวผ้าขาวน้ำ” ทำได้จริงหรือ	6. ได้แก่ “โดยตั้ดคำว่าถูกต้องถูกต้องออกและไว้ในหน้า 16 และจากการตรวจสอบการทำางานว่าทำ น้ำยาไป “กรองตัวผ้าขาวน้ำ”
7. หน้า 17 ให้ตรวจสอบความถูกต้อง ใช้คำว่า พอดิมอร์ฟอฟแม่คอบอนโพลิสิทิน ไม่ถูกยัง	7. ได้ปรับแปลยังให้คำว่า “พอดิมอร์ฟอฟแม่คอบอนโพลิสิทิน”
2 ความหมายนี้ถูกต้องหรือไม่ ว่าไปใช้กันหรือไม่	
8. หน้า 18 ชื่อ 4.6.2 ใช้ ASTM มาอธิบาย	8. หน้า 18 ได้เพิ่มเติมชื่อ 4.6.2 ใช้ ASTM มาอธิบาย
9. หน้า 21 รูปที่ 5.3 ควรตรวจสอบความสมบูรณ์ของรูป ผลการวิจัยส่วนไหนที่ซึ่งน้ำ	9. ได้แก่ “มาและตรวจสอบคำอธิบายใหม่แล้ว
ได้ว่า “คุณ โพลิเมอร์สูงพิเศษติดกับรูปแม่คอบอนเจ้าความเครียด”	
10. หน้า 22 และ 24 ที่ใช้คำพูด “ไม่มีผลลัพธ์ทางต่อการทดสอบ” ไม่น่าถูกต้อง	10. ได้แก่ “ปรับเปลี่ยนคำอธิบายใหม่แล้ว

11. ผลการทดสอบยืดหยักค่า Tensile, Modulus และ Tear ในทุกๆ การทดสอบนี้ จำความคำว่า “พิเศษพอยพอลีไครอฟท์” ให้กับตัวอย่างค่า NR ที่ได้จากการทดสอบโดยใช้เครื่องแบบ เจ้าของตราที่ราชบัณฑิตย์ เพียงพอ 7 วินาที ว่าอย่างไร ค่า NR ที่ได้จากการทดสอบโดยใช้เครื่องแบบ เจ้าของตราที่ราชบัณฑิตย์ ให้ผู้อ่านท่าน ให้ว่าน่ายอมรับได้ เช่นตรางี้ที่ 5.1 ค่า Tensile ของ NR, NR90/PS10 และ NR80/PS20 ค่าอนุญาต ไม่ต่างกันนักเลย และค่า NR ค่าอนุญาต ค่าว่าที่ควรซึ่งน้ำก า	12. % การบรวม 458, 449 นิ่มค่าไม่แตกต่างกันมาก แม้จะปริมาณ NR/PS แตกต่างกัน 10 phr	13. ได้เสนอผลการทดสอบในรูปตารางเพียงอย่างเดียว	14. ในการใช้งานรูปน้ำยาที่น้ำแข็งไม่ต้องผ่านกระบวนการเตรียมเป็นน้ำยาแห้ง คาดว่าจากการรีบัตตันน้ำจะใช้พลังงานน้อยกว่าการเปลี่ยนตัวของพาราฟิล์มที่ต้องการห้อง	15. ได้แก้ไขในส่วนของข้อมูลเบนซาน 3 และหน้า 42 น่าจะเป็นแนวเดียวกัน และต้องมีความต้องกัน ว่า ความพัฒนาของ โพลิเมอร์ที่ใช้ในรูปแบบใด ก็จะมีผลต่อค่าของพื้นที่ผิว ไม่น่าใช่ เพราะ “ไม่มีผลค่าสูงพอดีที่ใช้ร่วมด้วย และถ้า “ไม่ใช้ร่วมด้วย” ของ dipping, ห่อใบ serene ผลตั้งแต่ผลลัพธ์ ไม่จะจะเป็นไปได้หรือที่จะพัฒนาในระดับอุตสาหกรรมไม่มีอ หน้าคำแนะนำข้อ 3 หน้า 42 จุดเดียวกันระหว่างการวิเคราะห์ที่นั่นทุกหน้า 41	11. ผลการทดสอบยืดหยักค่า Tensile, Modulus และ Tear ในทุกๆ การทดสอบนี้ จำความคำว่า “พิเศษพอยพอลีไครอฟท์” ให้กับตัวอย่างค่า NR ที่ได้จากการทดสอบโดยใช้เครื่องแบบ เจ้าของตราที่ราชบัณฑิตย์ เพียงพอ 7 วินาที ว่าอย่างไร ค่า NR ที่ได้จากการทดสอบโดยใช้เครื่องแบบ เจ้าของตราที่ราชบัณฑิตย์ ให้ผู้อ่านท่าน ให้ว่าน่ายอมรับได้ เช่นตรางี้ที่ 5.1 ค่า Tensile ของ NR, NR90/PS10 และ NR80/PS20 ค่าอนุญาต ไม่ต่างกันนักเลย และค่า NR ค่าอนุญาต ค่าว่าที่ควรซึ่งน้ำก า	12. % การบรวม 458, 449 นิ่มค่าไม่แตกต่างกันมาก แม้จะปริมาณ NR/PS แตกต่างกัน 10 phr	13. ได้เสนอผลการทดสอบในรูปตารางเพียงอย่างเดียว	14. ในการใช้งานรูปน้ำยาที่น้ำแข็งไม่ต้องผ่านกระบวนการเตรียมเป็นน้ำยาแห้ง คาดว่าจากการรีบัตตันน้ำจะใช้พลังงานน้อยกว่าการเปลี่ยนตัวของพาราฟิล์มที่ต้องการห้อง	15. ได้แก้ไขในส่วนของข้อมูลเบนซาน 3 และหน้า 42 น่าจะเป็นแนวเดียวกัน และต้องมีความต้องกัน ว่า ความพัฒนาของ โพลิเมอร์ที่ใช้ในรูปแบบใด ก็จะมีผลต่อค่าของพื้นที่ผิว ไม่น่าใช่ เพราะ “ไม่มีผลค่าสูงพอดีที่ใช้ร่วมด้วย และถ้า “ไม่ใช้ร่วมด้วย” ของ dipping, ห่อใบ serene ผลตั้งแต่ผลลัพธ์ ไม่จะจะเป็นไปได้หรือที่จะพัฒนาในระดับอุตสาหกรรมไม่มีอ หน้าคำแนะนำข้อ 3 หน้า 42 จุดเดียวกันระหว่างการวิเคราะห์ที่นั่นทุกหน้า 41
---	--	--	---	--	---	--	--	---	--