



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การเตรียมพอลิเมอร์พสมะหว่างยางธรรมชาติ
กับพอลิสไตรีน โดยใช้เบนโทไนท์เป็นตัว
เติมในสภาวะลากเท็กซ์

โดย ดร.จรีรัตน์ รวมเจริญและคณะ

เดือนมิถุนายน พ.ศ.2551

ສະລູງລູາເລຂທີ RDG5050058

รายงานວິຈัยຂັບສນນູຮັນ

ໂຄຮກການ ກາຮເຕຣີຍມພອລິເມອ່ຳສມຮະຫວ່າງຍາງຮຮມໝາຕີ ກັບພອລິສ໌ໄຕຣີນໂດຍໃຫ້ເບັນກອ່ໄນທີ່ເປັນຕົວ ເຕີມໃນສພາວະລາເທິກ້າ

ຄະະຝູວິຈີຍ

ສັງກັດ

1. ດຣ.ຈົກສະໜັກ ວິໄລຍະ	ຄະະວິທຍາສາສຕົມແລະເຫັນໂນໂລຢີ ມາວິທຍາລັບສົງຂລານຄຣິນທີ່
2. ດຣ.ເສາວກາ ໂອດີສຸວະຮັນ	ຄະະວິທຍາສາສຕົມແລະເຫັນໂນໂລຢີ ມາວິທຍາລັບສົງຂລານຄຣິນທີ່
3. ນາງສາວຍຸດາທິພີ່ ຈາຮູພຣ	ຄະະວິທຍາສາສຕົມແລະເຫັນໂນໂລຢີ ມາວິທຍາລັບສົງຂລານຄຣິນທີ່

ຫຼຸດໂຄຮກການວິຈີຍຂາດເລັກ ເຮື່ອງຍາງພາວາ

ສນັບສະນູນໂດຍສໍານັກງານກອງທຸນສນັບສະນູນການວິຈີຍ (ສກວ.)

(ກວາມເຫັນໃນรายงานນີ້ເປັນຂອງຜູວິຈີຍ ສກວ. ໄນຈໍາເປັນຕົ້ນເຫັນດ້ວຍເສມອໄປ)

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 โดยเฉพาะเมื่อนำซิลิกेटสังเคราะห์ผสมกับยางธรรมชาติทั้งในสภาวะลาเท็กซ์และสภาวะหลอมมีผลทำให้สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพดีขึ้น อีกแนวทางหนึ่งในการขยายขอบเขตการใช้งานคือการเบلنด์ยางธรรมชาติกับเทอร์โนพลาสติกหรือยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ ในงานวิจัยนี้ได้สนใจปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติโดยเบلنด์กับพอลิสไตรีน (polystyrene, PS) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โนพลาสติกที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีในด้านความแข็งแรง ทนทาน ไฟฟ้า มีน้ำหนักเบา ราคากู๊ด และเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถสังเคราะห์ได้ง่ายโดยใช้เทคนิคการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (emulsion polymerization) ทำให้สามารถนำมาใช้งานในสภาวะลาเท็กซ์ได้โดยตรง ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่ามีการเตรียมเทอร์โนพลาสติกอิเล็กโตร์โดยพอลิสไตรีนเป็นส่วนของบล็อกที่มีความแข็งเกร็ง 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 (โดยนำหนัก) 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 มีการแทรกส่ายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติและพอลิสไทรีนบางส่วนในชั้นซิลิเกตของเบนทอไนท์ จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์เล็กต่อนแบบส่องกล้อง สามารถสังเกตลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์สม NR/PS และพอลิเมอร์สม NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์และเบนทอไนท์ดัดแปลง โดยพบว่าในพอลิเมอร์สมที่เติมเบนทอไนท์และเบนทอไนท์ดัดแปลงมีขนาดอนุภาคของ PS ที่กระจายในเนื้อยางเล็กลง เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์สมที่ไม่เติมสารตัวเติม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเบนทอไนท์สามารถทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานให้ PS กระจายตัวในวัสดุภาคของ NR ได้ดีที่สุด

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์สมรรถนะว่างพอลิสไตรีนและยางธรรมชาติโดยใช้ระบบวัลค่าในชุดคำนวณในสภาวะถาวรที่ก๊าซและใช้เบนทอกไซน์และเบนทอกไนท์ดัดแปลงเป็นสารตัวเติม พบว่าค่ามอคูลัสและความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์สม NRP/PS ที่เติมเบนทอกไซน์ปริมาณ 3 ส่วนในเนื้อยาง 100 ส่วน มีค่าสูงมากกว่า NR และพอลิเมอร์สมที่ไม่เติมเบนทอกไซน์ (NR/PS) ผลของการทวนต่อตัวทำละลายจะได้รับพอลิเมอร์เบลนด์ที่เติมเบนทอกไซน์ มีค่าร้อยละการบูรณาการลดลงเมื่อเติมเบนทอกไซน์ในพอลิเมอร์สม NRP/PS ในทุกอัตราส่วน และผลจากการศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้อง SEM พบว่าเบนทอกไซน์สามารถเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์สม และทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานให้ PS กระจายในยางธรรมชาติได้ดีขึ้น

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่ออยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

1. ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์สมรรถนะว่าง NR และ PS โดยใช้ระบบวัลค่าในชุดคำนวณและใช้เบนทอกไซน์เป็นสารตัวเติมในสภาวะถาวรที่ก๊าซในระดับอุตสาหกรรม
2. ศึกษาเตรียมพอลิเมอร์สมรรถนะว่าง NR และ PS โดยใช้เบนทอกไซน์เป็นสารตัวเติมในสภาวะหลอม
3. ศึกษาแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์ฟอยล์ เช่น เบารองนั่ง พรอมปูพื้น วัสดุกันกระแทก ผลิตภัณฑ์หล่อเบ้า เช่น หุ่นจำลองเป็นต้น

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

1. จากการผลการวิจัยทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัณฐานวิทยากับสมบัติเชิงกลของวัสดุที่เตรียมได้และอันตรายที่เกิดขึ้นในพอลิเมอร์สม 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 ผลจากการศึกษาสมบัติการทนต่อตัวทำลายของพอลิเมอร์ผสมที่มีเบนโทไนท์และเบนโทไนท์ดัดแปลงเป็นสารตัวเติม พบว่ามีค่าร้อยละการบรวมของลดลงเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ผสม NR/PS แสดงว่าการเติมเบนโทไนท์สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการทนต่อตัวทำลายได้ 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 และศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

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 โครงสร้างของหน่วยไฮโซพรีนทำให้ว่องไวต่อปฎิกริยา กับแก๊สออกซิเจนและโอโซนภายในได้สภาวะแสงแดด และความร้อน จากข้อจำกัดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นการนำ Yang-Chramcharat มาใช้ประโยชน์นั้นจำเป็นต้องมีการ 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 จะอ่อนเยี้ยมและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็ง เปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จาก Yang-Chramcharat จึงจำเป็นต้องมีการผสม 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 ตัวเร่งประเทชิคซ์ไดไฮด์โรคาร์บามิเต (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

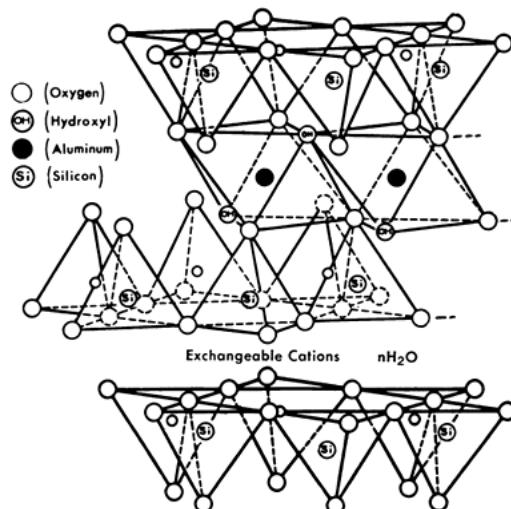
1. สารตัวเติมที่ใช้ในการเสริมแรง มีลักษณะทั้งเป็นเส้นใย และเป็นอนุภาคมีลักษณะเป็นแผ่น ทรงกระบอก ส่วนใหญ่อนุภาคจะมีขนาดเล็กประมาณ $180-600 \text{ \AA}$ เช่น เคลย์ เนม่าค่า เป็นต้น สารตัวเติมเหล่านี้ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกล

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 มีชิปไซต์ออกไซด์ไฮดรอโลย์ตระกูล ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ประกอบด้วยชั้นซิลิกาเททระไฮดรอโลย์ตระกูล 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)

การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันของพอลิสไตรีน

พอลิสไตรีนสังเคราะห์จากสไตรีนมอนومอร์เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยา โดยทำปฏิกิริยาเชื่อมต่อ กันด้วยพันธะเคมีการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันมีข้อดี คือ พอลิเมอร์ที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลแคบ และอัตราการเปลี่ยนจากมอนومอร์เป็นพอลิเมอร์สูงที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ ในขณะเดียวกันสามารถควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเทคนิคการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันที่มีน้ำเป็นตัวกลางประกอบไปด้วยอนุภาคพอลิเมอร์ที่มีขนาดเล็ก คือ ระหว่าง 0.5-5 ไมครอน นิยมใช้น้ำเป็นตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยา ตัวเริ่มที่ใช้ก็จะเป็นสารที่จะละลายในน้ำแทนที่จะละลายในมอนومอร์ และผลิตภัณฑ์สุดท้ายอยู่ในรูปลักษณะที่เกี่ยวข้อง (อิมัลชันของพอลิเมอร์ในน้ำ)

การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันเริ่มต้นจากสารลดแรงตึงผิว ทำหน้าที่ลดความตึงผิวของน้ำเพื่อให้เกิดสภาวะอิมัลชัน โดยสารลดแรงตึงผิวรวมตัวเป็นไไมเซลล์ (micelle) โครงสร้างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นไฮดรอกซิรบอน ไม่มีสภาพขี้ (หาง) และส่วนที่เป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีสภาพขี้ (หัว) ดังนั้นเมื่ออยู่ในน้ำโมเลกุลจะหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าข้างในไไมเซลล์ และหันส่วนที่ชอบน้ำออกข้างนอก และมอนومอร์บางส่วนในระบบจะเข้าไปอยู่ภายในไไมเซลล์ และบางส่วนจะกระจายอยู่ในน้ำ ตัวเริ่มที่อยู่ในน้ำเมื่อได้รับความร้อนจะแตกตัวเกิดเป็นอนุมูลอิสระ เมื่ออนุมูลอิสระเคลื่อนที่เข้าสู่ไไมเซลล์ก็จะเกิดพอลิเมอร์ไเรชันขึ้นในไไมเซลล์ ปฏิกิริยาจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าอนุมูลอิสระตัวอื่นจะเคลื่อนเข้าไปในไไมเซลล์และทำให้พอลิเมอร์ไเรชันหยุดลง ข้อดีของการเตรียมพอลิเมอร์ไเรชันแบบอิมัลชัน 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 และพบว่าเมื่อยู่ในสถานะที่เป็นของแข็งพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งจะกระจายตัวอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งหรือเป็นส่วนของเมทริกซ์ที่ต่อเนื่องของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้การกระจายตัวดังกล่าวต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้นจะเกิดเป็นข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ และส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมต่างกว่าของพอลิเมอร์เริ่มต้นได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงสภาพเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน ซึ่งบางชนิดสามารถเข้ากันได้ บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้ เนื่องจากโครงสร้างสายโซ่โมเลกุลแตกต่างกันจึงไม่สามารถกระจายตัวได้อย่างอิสระเกิดการแยกวัตถุภาค

กลไกสภาพเข้ากันได้

พอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่พบว่ามีสมบัติเชิงกลค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ที่ส่วนใหญ่ต้องน้ำอยู่ด้วยกันเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ในการผสม 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 ทั้งนี้พอลิโอลีฟินส์กราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรค์จัดเป็นสารช่วยผสมที่ได้รับความนิยมในการการค้าและมีราคาไม่แพงนัก

3. การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โโคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไซเซชันในระหว่างการผสม

การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โโคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไซเซชันในระหว่างการผสม (reactive blending) เป็นแนวทางใหม่ที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากันได้ โดยต่างจากวิธีอื่นๆ คือ องค์ประกอบที่ทำการผสมจะถูกนำมาดัดแปลงเพื่อให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยผสม

โดยในงานวิจัยนี้ศึกษาการผสมยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนในสภาวะลากเท็กซ์และคาดว่าสารตัวเดิมที่ใช้คือเบนโทไนท์ทำหน้าที่เป็นช่วยผสมโดยเพิ่มความเข้ากันให้ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน

3.2 แนวคิดในงานวิจัย

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

3.3 ผลงานที่เกี่ยวข้อง

ตรินทร์และคณะ (2002) ศึกษาดั้ดแปร โซเดียมเบนทอไนท์โดยใช้แอลกิลแอม โนเนียม ไออ่อนในการแยกเปลี่ยนกับ ไออ่อนบวกของโลหะ พบว่าเกิดการแทรกของโนเมเลกุลของแอลกิลแอม โนเนียมในช่องว่างระหว่างชั้น โครงสร้างพลิกของเบนทอไนท์ โดยทำให้ระยะห่างระหว่างระนาบของชั้นซิลิเกตและชั้นอะลูมิเนตเพิ่มขึ้นตามความยาวของสายโซ่โซเดียมเบนทอไนท์ 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 พบว่าความเสถียรต่อความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่เติมโซเดียมเบนทอไนท์และโซเดียมฟลูออโรเจกโทไทร์ตมีชั้นซิลิเกตสูงกว่าเคลย์ (ทางการค้า) ผลจากการศึกษาการกระจายตัวของเคลย์สังเคราะห์ในยางธรรมชาติได้ดีกว่าเคลย์ (ทางการค้า) และจากเทคนิคการ

เลี้ยงเป็นของรังสีอีกเช่นเดิม ให้เห็นว่าสุดเชิงประณีตที่มีการเติมเคลย์ที่มีชั้นซิลิเกตมีการแทรกของสายโซ่ไม่เลกูลของยางธรรมชาติในระหว่างชั้นซิลิเกตของเคลย์ธรรมชาติ

Varghese et al., (2003) ศึกษาสมบัติเชิงกลและสัมฐานวิทยาของพอลิเมอร์สมรระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิยูรีเทนที่มีโซเดียมฟลูออโรเจกโทไรต์ดักแปรปริมาณ 10 phr เป็นสารเสริมแรง โดยการคุณภาพค์ในรูปลาเทกซ์ จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์และกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่าพอลิยูรีเทนกับยางธรรมชาติไม่รวมกันเป็นเนื้อเดียวแต่มีการกระจายตัวกันอย่างต่อเนื่องคล้ายโครงกระดูกและสังเกตเห็นได้ว่าโซเดียมฟลูออโรเจกโทไรต์กระจายตัวอยู่ในพอลิยูรีเทนได้ดีกว่าในยางธรรมชาติ โดยมีการแทรกของสายโซ่โนมเลกุลของพอลิยูรีเทนเข้าไปในชั้นของซิลิกเกต สังเคราะห์ทำให้พอลิเมอร์สมบที่ได้มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

Araújo et al., (2004) ศึกษาผลของการดัดแปลงบนท่อในที่ต่อส่วนบัติเชิงกลของพอลิเมอร์สมรรถภาพว่างในล่อน 6 กับบนท่อในที่ดัดแปลงและพอลิเมอร์สมรรถภาพว่างพอลิสไตรีนกับบนท่อในที่ดัดแปลงว่าเมื่อดัดแปลงบนท่อในที่ด้วย quaternary ammonium salt จะเกิดการแทรกของสายโซ่โนเลกุล quaternary ammonium salt เข้าไปในชั้นชิลิเกต เมื่อนำบนท่อในที่ดัดแปลงมาเสริมแรงในในล่อน 6 พบว่าทำให้ส่วนบัติเชิงกลดีขึ้น เช่น ความแข็ง % ระยะยืดและความหนืด แต่ค่านองคูลัสไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับในล่อน 6 แต่เมื่อเติมบนท่อในที่ดัดแปลงในพอลิสไตรีน พบว่าส่วนบัติเชิงกลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับพอลิสไตรีนที่ไม่เติมสารเสริมแรง

Qiu and Qu (2006) ศึกษาการเตรียมนาโนพอลิเมอร์ผสมของพอลิสไตรีนที่ถูกเสริมแรงด้วย Layered double hydroxide (LDH) ในสภาพละเท็กซ์ โดยผ่านกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ในสภาพ อิมัลชันโดยไม่ใช้สบู่ จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลือดบนของรังสีเอกซ์ พบว่ามีการขยายของ ระยะห่างระหว่างชั้นของ LDH เพิ่มมากขึ้น เมื่อเวลาในการเกิดพอลิเมอไรเซชันมากขึ้น และเมื่อใช้เวลาในการพอลิเมอไรเซชันมากกว่า 120 นาที ไม่ปรากฏพีกที่แสดงระยะห่างระหว่างชั้นของ LDH เนื่องจากชั้น ของ LDH แตกออกและกระจายเป็นแผ่นซิลิเกตบางๆ ในพอลิสไตรีน เมื่อศึกษาสัมฐานวิทยาด้วยกล้อง จลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่า LDH กระจายตัวเป็นเนื้อดิยากันกับพอลิสไตรีน

El-Nashar and Essawy (2004) ศึกษาผลของการใช้มอนท์โมริลโล่ในที่เป็นสารเสริมแรงและช่วยผสานในระบบของพอลิเมอร์เบลนด์ระหว่าง acrylonitrile-butadiene rubber และ styrene-butadiene rubber ผลจากการทดสอบพบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์เบลนด์ที่เติมเคลย์เพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับเบลนด์ที่ไม่เติมเคลย์ จากการพัฒนา SEM ปรากฏหลักฐานว่ามีเคลย์ที่บวิเวณรอยต่อผิวสัมผัสระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด แสดงให้เห็นว่าเคลย์ทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสานในพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด

Teh et al., (2004) ศึกษาผลของการเติมยางอิพอกซีไดซ์ (ENR25 และ ENR50) เป็นสารช่วยผสมระหว่างยางธรรมชาติกับออร์แกนโนนเคลย์ ใช้กระบวนการผสมโดยการหลอมในเครื่องผสมระบบปิด พบว่าเมื่อเติม ENR50 ปริมาณ 2 phr มีการกระจายตัวของออร์แกนโนนเคลย์ในเนื้อยางดีที่สุด ซึ่งส่งผลให้สัดสูตรชิงประกอบเท่าไรก็มีความแข็งแรงพิ่มขึ้น

Wang et al., (2006) ศึกษาการเตรียมคอมโพสิทระหว่างพอลิบิวทิลอะคิเลทกับชิลิกเกตที่มีลักษณะเป็นชั้นที่ถูกห่อห่มด้วยพอลิสไตรีน โดยการน้ำยาธารงสีแคนนาให้เกิดการพอลิเมอร์ไซซ์ชัน แนวโน้มลักษณะ

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 ในโครงสร้างผลึกซิลิกอตของบนท่อในที่ โดยนำบนท่อในที่ เติมน้ำกลั่น 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 เติมพอลิสไตรีนลากเทกซ์ และสารเคมีดังตารางที่ 4.1 ผสมเข้ากันโดยการปั่นกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อบ่มเร่งน้ำยา กรองด้วยตะแกรง เทใส่เม้ากระจากสีเหลี่ยม วางทิ้งไว้ให้แห้งในอากาศ หลังจากนั้นนำเข้าตู้อบเพื่อวัลภาชนะซึ่งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หมายเหตุ พอลิเมอร์ผสมในสภาวะลากเทกซ์ที่เตรียมได้มีอายุการใช้งานประมาณ 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 เบนโทไนท์ก่อนและหลังดัดแปลง (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

นำตัวอย่างไปวางบนที่ว่างตัวอย่าง 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

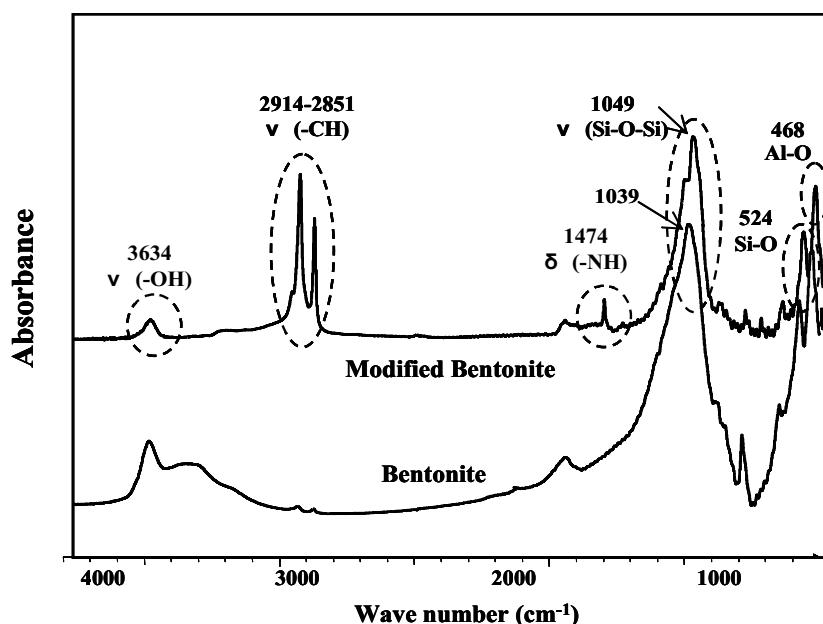
ผลจากการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนในสภาวะน้ำยาง โดยใช้ eben ทอนในที่เป็นสารตัวเติมเพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน รายงานผลตามลำดับ ดังนี้

5.1 โครงสร้างเคมีและโครงสร้างผลึกของเบนโทไนท์

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

5.1.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของเบนโทไนท์

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของเบนโทไนท์และเบนโทไนท์ดัดแปลง โดยใช้เทคนิค FTIR สามารถระบุตำแหน่งแหล่งการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 อินฟารेडสเปกตรัของเบนโทไนท์ (Bentonite) และเบนโทไนท์ดัดแปลง (Modified bentonite)

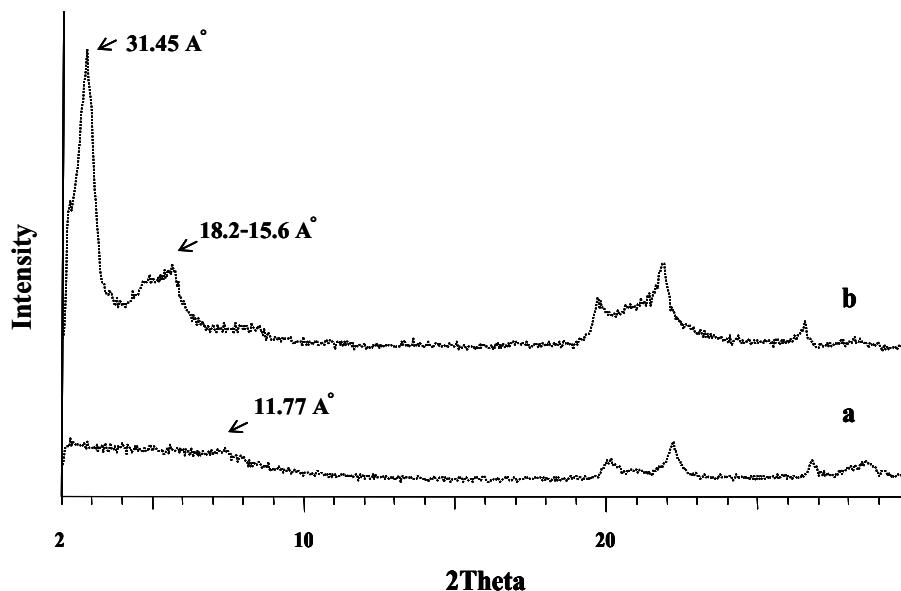
จากรูปที่ 5.1 สเปกตรของเบนโทไนท์และเบนโทไนท์ดัดแปลงอุกตะเภาซิลแอมโมเนียม ไอออน ปรากฏถูกแยกการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด เกิดขึ้นเนื่องจากการสั่นของพันธะ ในโครงสร้างของเบนโทไนท์ จะเห็นได้ว่าแยกการดูดกลืนรังสีหลัก ๆ ที่ปรากฏในสเปกตรของเบนโทไนท์และเบนโทไนท์ดัดแปลงมีตำแหน่งและลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยตำแหน่งการดูดกลืนรังสีที่เลขคู่ 3634 cm^{-1} เกิดจากการสั่นแบบยีดของพันธะ -OH ในโครงสร้างของเบนโทไนท์ ที่ตำแหน่งเลขคู่ 1039 cm^{-1} เกิดจากการสั่นแบบยีดของ Si-O-Si ในโครงสร้างของชั้นซิลิเกต ที่ตำแหน่งเลขคู่ 524 cm^{-1} เกิดจากการสั่นแบบของ Si-O ในชั้นซิลิเกต และที่เลขคู่ 468 cm^{-1} เกิดจากการสั่นแบบของ 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

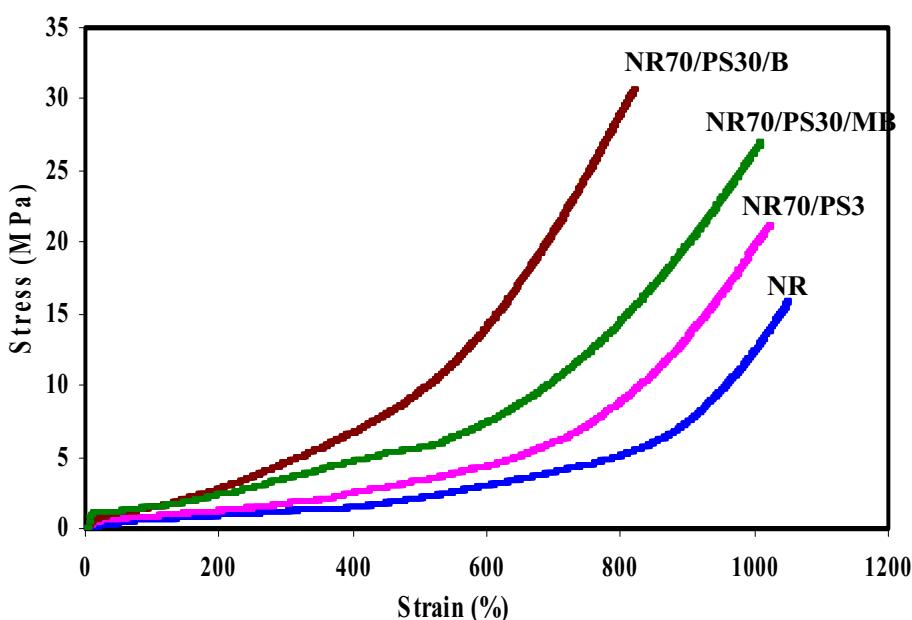


รูปที่ 5.2 XRD สเปกตรากลางของเบนทอไนท์ (a) และเบนทอไนท์ดัดแปร (b)

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

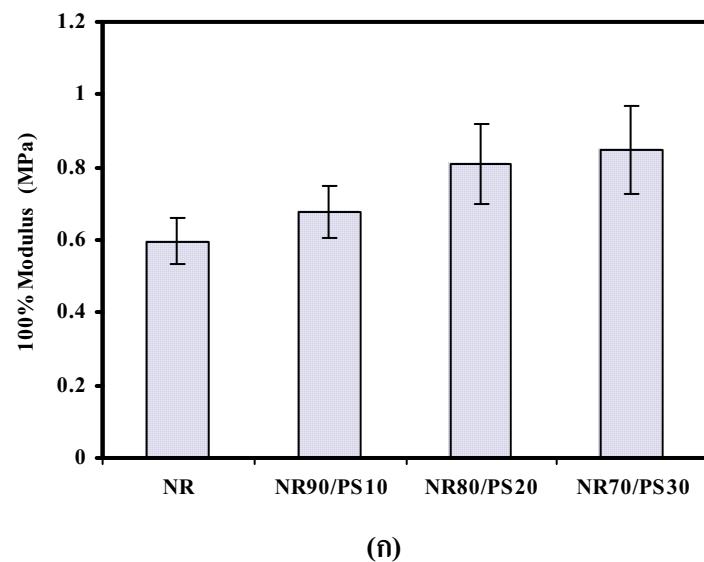
ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง ของยางธรรมชาติและพอลิเมอร์พสม NR/PS โดยแบ่งปริมาณสัดส่วน 90/10, 80/20 และ 70/30 ตามลำดับ สามารถคำนวณหาค่ามอคูลัสที่ระยะสั้น 100, 300 และ 500% และความต้านทานต่อแรงดึง ได้ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.4

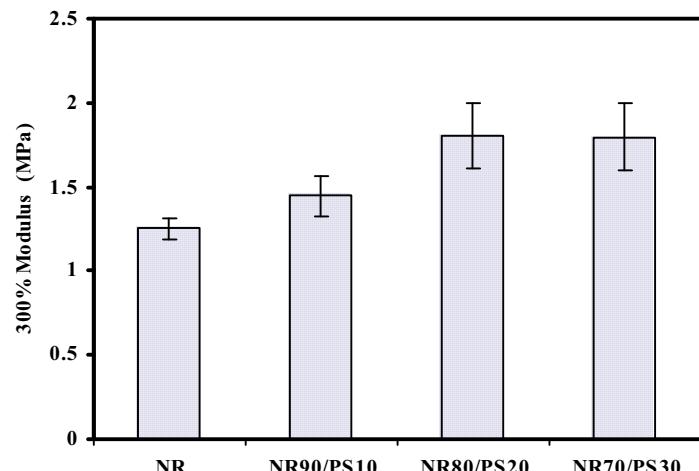
จากรูปที่ 5.4 (ก และ ข) พบว่าค่ามอคูลัสของพอลิเมอร์พสม NR/PS สูงกว่าของยางธรรมชาติ และเมื่อเปรียบเทียบค่ามอคูลัสของพอลิเมอร์พสม NR/PS ที่ปริมาณสัดส่วนต่างๆ จะเห็นได้ว่าค่ามอคูลัสแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ PS จากรูปที่ 5.4(ค) แสดงค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติและพอลิ

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

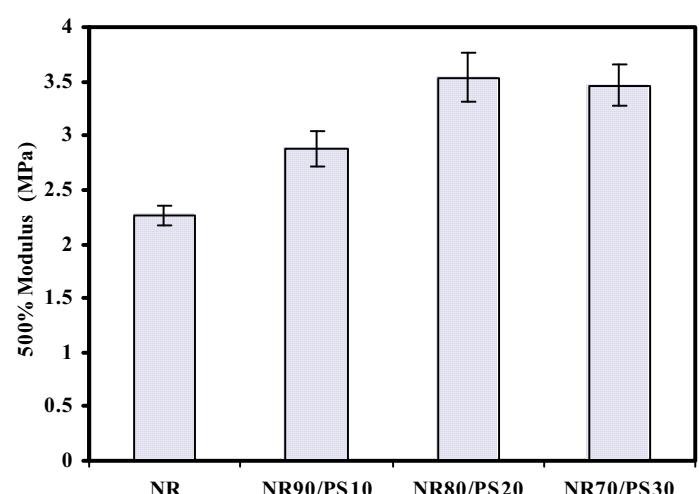
ตารางที่ 5.1 มอคูลัสที่ระยะ 100, 300 และ 500% และความต้านทานต่อแรงดึงของยาง NR และพอลิเมอร์พสม NR/PS

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

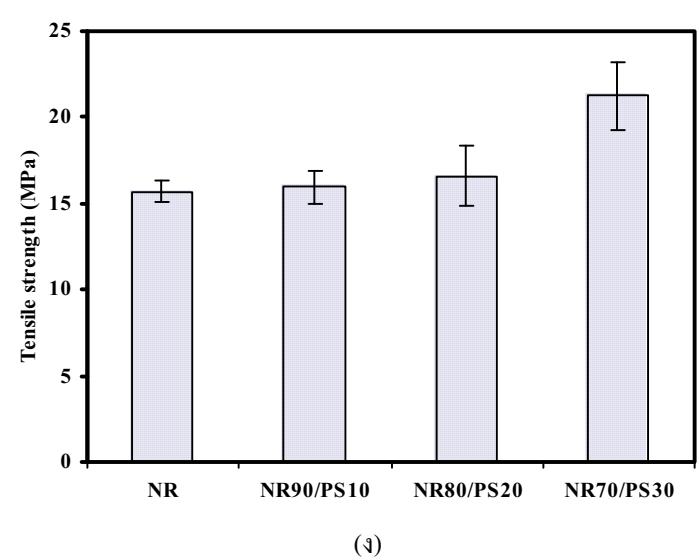




(บ)



(ค)



(ด)

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