

5.2.2 พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิไตรีนเดิมเบนทอไนท์

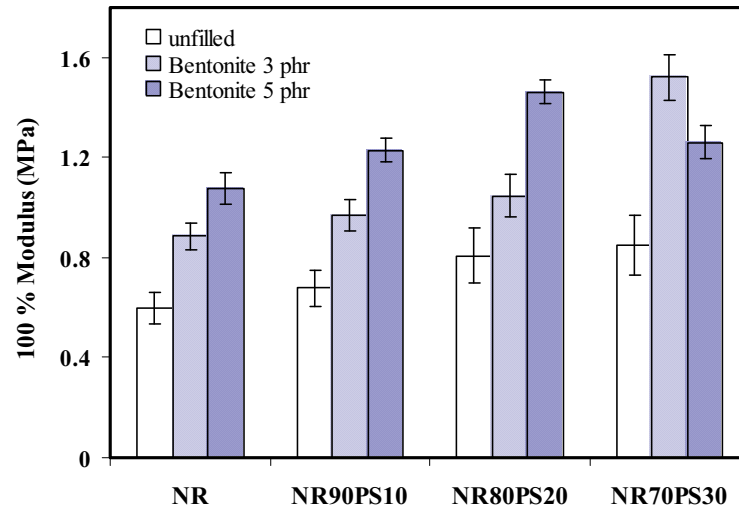
ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้เบนทอไนท์เป็นสารตัวเติมเพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิไตรีนและเพื่อเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ผสมโดยใช้เบนทอไนท์เป็นสารตัวเติม (NR/PS/B) ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของ ยางธรรมชาติที่เติมเบนทอไนท์ (NR/B) พอลิเมอร์ผสม NR/PS ในปริมาณอัตราส่วนต่าง ๆ ที่เติมเบนทอไนท์ 3 และ 5 phr ดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.5

ตารางที่ 5.2 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100, 300 และ 500% และความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติผสม เบนทอไนท์ (NR/B) และพอลิเมอร์ผสม NR/PS เติมเบนทอไนท์ (NR/PS/B)

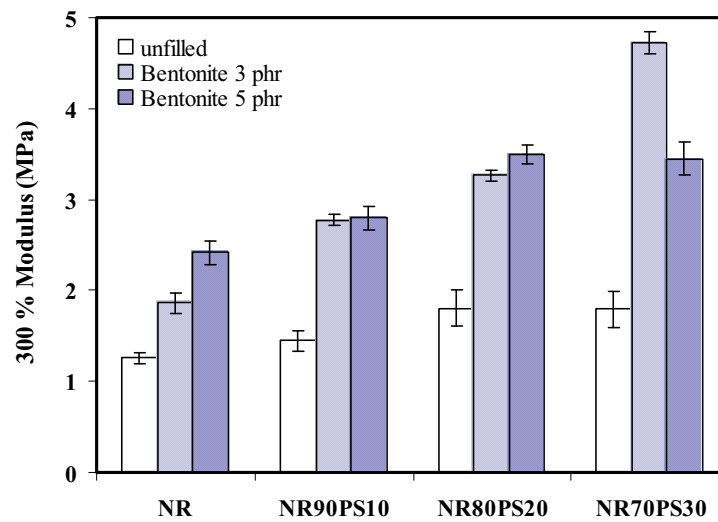
Sample	Modulus (MPa)			Tensile strength (MPa)
	100%	300%	500%	
NR/B3	0.88±0.05	1.86±0.12	3.79±0.09	19.8±2.25
NR90/PS10/B3	0.97±0.06	2.78±0.06	6.24±0.14	31.3±3.04
NR80/PS20/B3	1.05±0.09	3.27±0.07	7.07±0.30	26.8±2.30
NR70/PS30/B3	1.52±0.09	4.72±0.12	9.70±0.14	26.0±2.86
NR/B5	1.07±0.06	2.41±0.14	5.34±0.25	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) พบว่าค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100 300 และ 500% ของพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอไนท์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ NR NR/B และ NR/PS จะเห็นได้ว่า ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100 และ 500% สูงสุดในระบบพอลิเมอร์ผสม NR70/PS30 ที่เติมเบนทอไนท์ 3 phr โดยมีค่าเท่ากับ 1.52 และ 9.70 MPa เมื่อคิดร้อยละที่เพิ่มขึ้นประมาณ 90 และ 180% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เติมเบนทอไนท์ อาจเป็นผลจากเบนทอไนท์กระจายตัวในเนื้อพอลิเมอร์ทำให้โครงสร้างผลึกของเบนทอไนท์ที่มีชั้นซิลิเกตเป็นส่วนรับแรงเมื่อมีแรงมากระทำกับชิ้นงาน และในขณะเดียวกันคาดว่าเบนทอไนท์ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานให้ PS กระจายใน NR ได้ดีขึ้น ส่งผลทำให้ค่ามอดูลัสสูงขึ้น แต่ในขณะที่เติมเบนทอไนท์ 5 phr พบว่าค่ามอดูลัสลดลง อาจเนื่องจากมีปริมาณเบนทอไนท์มากขึ้นส่งผลทำให้การกระจายของเบนทอไนท์ในเนื้อพอลิเมอร์มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนส่งผลต่อการเสริมแรงและบทบาทการเป็นตัวช่วยประสานลดลง ในขณะเดียวกันค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมเบนทอไนท์ 3 และ 5 phr รูปที่ 5.5 (ค) สูงกว่ายาง NR NR/B และพอลิเมอร์ผสม NR/PS และให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุด (31.3 MPa) ในพอลิเมอร์ผสม NR/PS ที่ปริมาณอัตราส่วน 90/10 เมื่อเติมเบนทอไนท์ 3 phr ในขณะที่ปริมาณเบนทอไนท์ 5

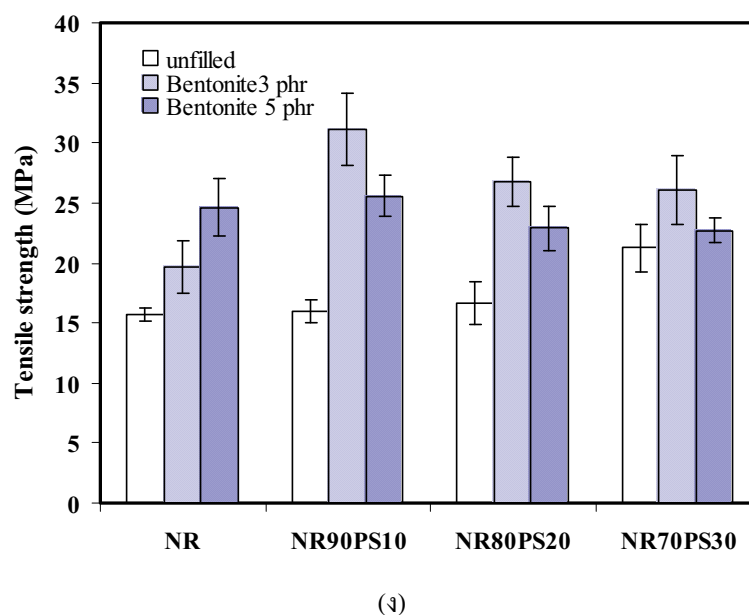
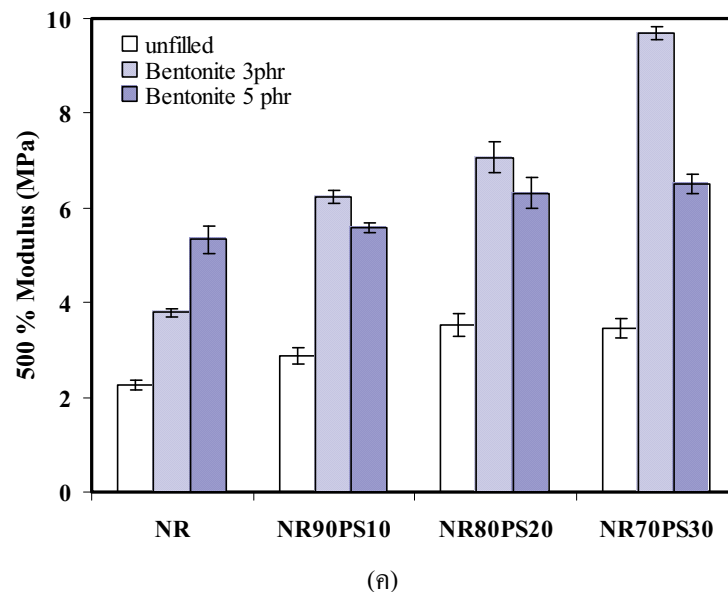
phr พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลง (25.8 MPa) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในกรณีที่เติมเบนโทไนท์ 3 phr ไม่ได้ไปขัดขวางการตกผลึกของสายโซ่โพลิเอทิลีนอย่างเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น และคาดว่าเป็นตัวช่วยให้ NR และ PS กระจายกันได้ดีขึ้น (ดังผลของภาพถ่าย SEM)



(ก)



(ข)



รูปที่ 5.5 สมบัติการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอไนท์ (ก) 100% มอดูลัส (ข) 300% มอดูลัส (ค) 500% มอดูลัส และ (ง) ความต้านทานต่อแรงดึง

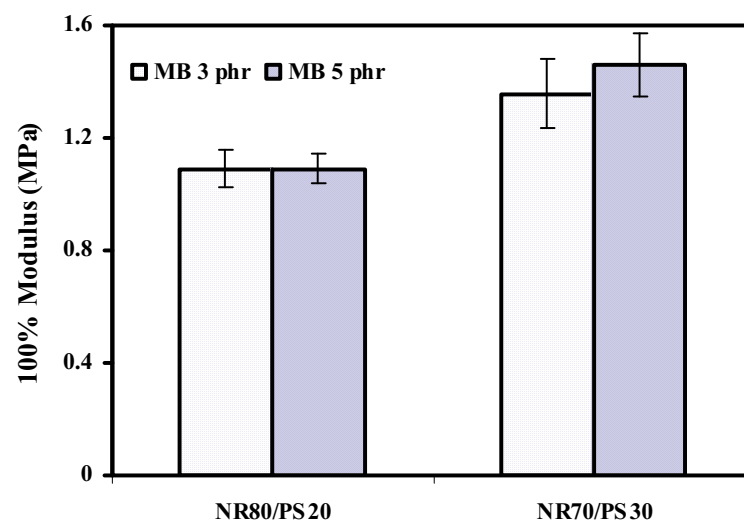
5.2.3 พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปร

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการใช้เบนทอไนท์ดัดแปรเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสม NR/PS โดยดัดแปรเบนทอไนท์ด้วยออกตะเดซิลแอมโมเนียมไอออน ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม NR/PS ที่อัตราส่วน 80/20 และ 70/30 โดยเติมเบนทอไนท์ดัดแปร 3 และ 5 phr ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.6

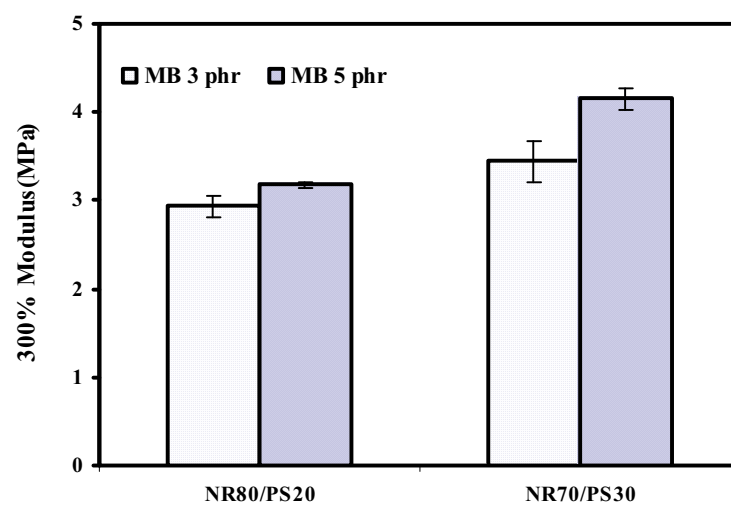
จากรูปที่ 5.6 (ก และ ข) พบว่าค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100 300 และ 500 % ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปรลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์ก่อนดัดแปร (ดังรูปที่ 5.5) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าค่ามอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปร (NR/PS/MB) ยังมีค่าสูงกว่าของยาง NR และพอลิเมอร์ผสม NR/PS เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.3 พบว่าค่ามอดูลัสที่ 100 และ 500 % สูงสุดเมื่อเติมเบนทอไนท์ปริมาณ 5 phr ในพอลิเมอร์ผสม NR/PS ในอัตราส่วน 70/30 โดยมีเท่ากับ 1.46 และ 7.02 MPa ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม NR/PS ในอัตราส่วน 80/20 และ 70/30 ที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปร 3 และ 5 phr (ดังรูปที่ 5.6 (ค)) จะเห็นได้ว่าเมื่อมีปริมาณเบนทอไนท์ดัดแปรในปริมาณ 5 phr ค่าความต้านทานต่อแรงดึง (16 MPa) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่เติม 3 phr (25.6 MPa) จากตารางที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าทั้งในระบบพอลิเมอร์ผสม NR80/PS20 และ NR70/PS30 ให้ผลในลักษณะเดียวกัน นั่นคือค่าความต้านทานต่อแรงดึงของมีแนวโน้มลดลงเมื่อมี MB มากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากวัสดุพอลิเมอร์ผสมมีความแข็งมากขึ้น ทำให้ความต้านทานต่อแรงดึงที่จุดขาดลดลง เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมในกรณีที่เติมเบนทอไนท์ (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% และความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปร (NR/PS/MB)

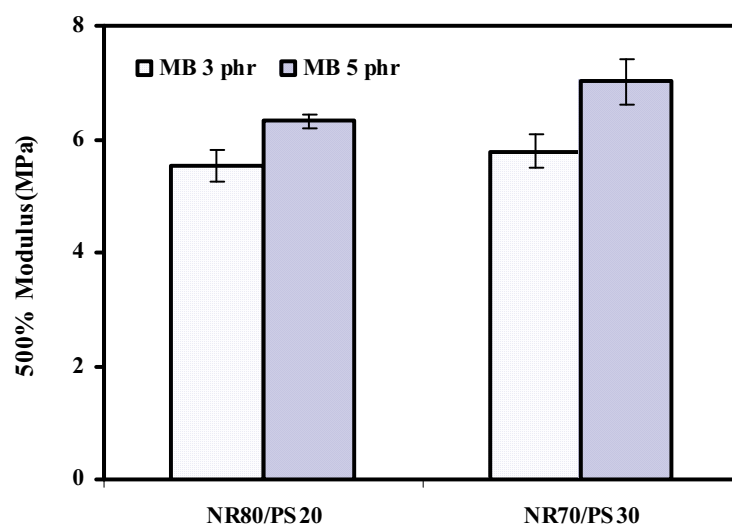
Sample	Modulus (MPa)			Tensile strength (MPa)
	100%	300%	500%	
NR80/PS20/MB3	1.09±0.07	2.93±0.13	5.54±0.28	25.97±0.75
NR80/PS20/MB5	1.09±0.05	3.18±0.04	6.33±0.12	21.86±3.67
NR70/PS30/MB3	1.36±0.12	3.44±0.24	5.79±0.29	26.22±1.16
NR70/PS30/MB5	1.46±0.11	4.15±0.13	7.02±0.40	16.28±0.70



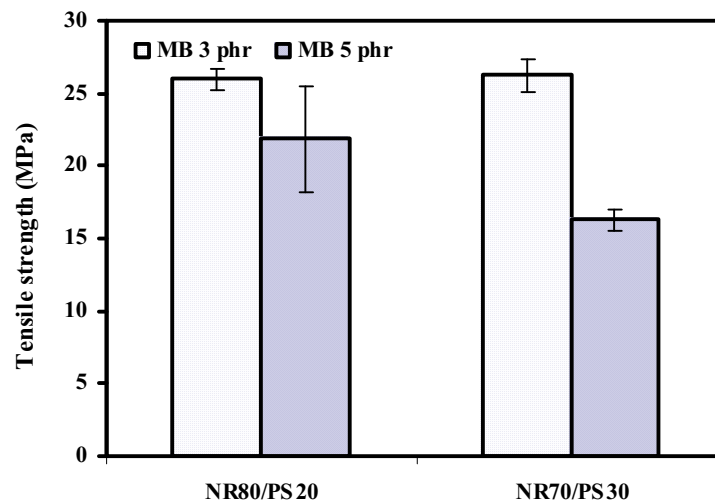
(f)



(g)



(h)



(ง)

รูปที่ 5.6 สมบัติการทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอนไนท์ดัดแปร (ก) 100% มอดูลัส (ข) 300% มอดูลัส (ค) 500% มอดูลัส และ (ง) ความต้านทานต่อแรงดึง

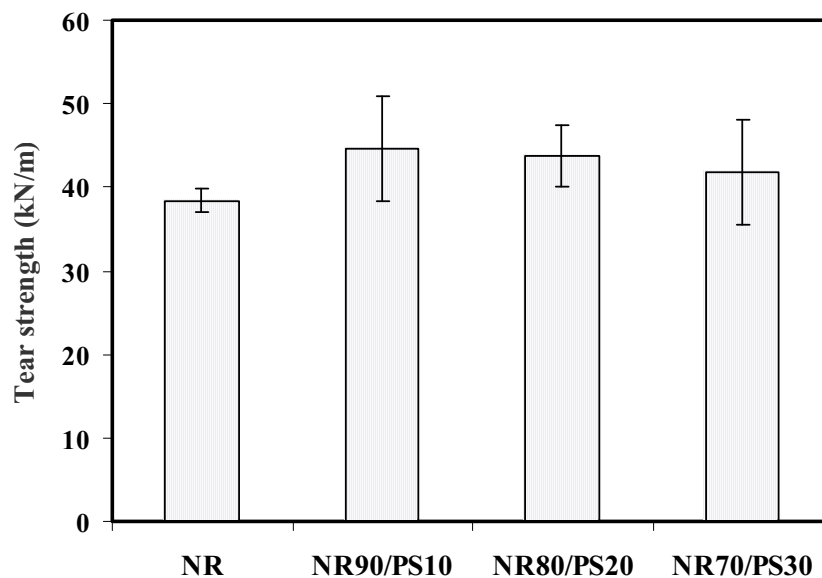
5.3 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงฉีกขาด

5.3.1 ยางธรรมชาติ และพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน

ผลการทดสอบการทนต่อแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติ และพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน ดังแสดงตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.7 จะเห็นว่าค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติ เท่ากับ 38.42 kN/m ในกรณีของพอลิเมอร์ผสมพบว่าเมื่อเติมพอลิสไตรีนลงในยางธรรมชาติ (ที่ปริมาณพอลิสไตรีน 10 และ 20 phr) มีค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดเท่ากับ 44.58 และ 43.76 kN/m ซึ่งจะเห็นได้ว่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ และเมื่อเติมพอลิสไตรีนในปริมาณ 30 phr พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดใกล้เคียงกับยางธรรมชาติ อาจเนื่องจากพอลิสไตรีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสมบัติแข็งเปราะ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการผสมพอลิสไตรีนในยางธรรมชาติไม่ได้ช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อแรงฉีกขาด

ตารางที่ 5.4 ค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของยาง NR และพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน (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



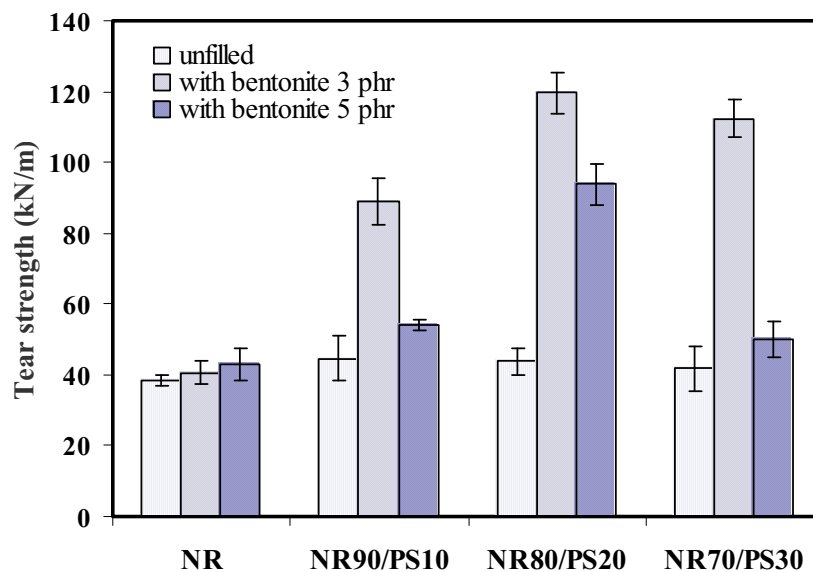
รูปที่ 5.7 ความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติ (NR) กับพอลิเมอร์ผสม NR/PS

5.3.2 พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิไสไตรีนที่เติมเบนทอไนท์

ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิไสไตรีนที่ปริมาณสัดส่วน 90/10, 80/20 และ 70/30 โดยเติมเบนทอไนท์ (NR/PS/B) ปริมาณ 3 และ 5 phr แสดงดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.8 จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมเติมเบนทอไนท์ 3 phr เพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับยาง NR และมีค่าเพิ่มสูงสุด (120 kN/m) ที่ปริมาณสัดส่วนของพอลิไสไตรีน 20 phr ในพอลิเมอร์ผสม (NR80/PS20/B3) เมื่อคิดเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ (38.4 kN/m) และ NR80/PS20 (43.8 kN/m) ประมาณ 210 และ 190 และพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอไนท์ 3 phr มีค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสม NR/PS ที่ไม่เติมเบนทอไนท์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเติมเบนทอไนท์ในปริมาณ 5 phr พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดลดลงอย่างเห็นได้ชัดในทุกอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสม NR/PS จากผลการศึกษานี้สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเติมเบนทอไนท์ 3 phr ในพอลิเมอร์ผสมทำให้เกิดการกระจายตัวของเบนทอไนท์ในเนื้อพอลิเมอร์ผสมได้ดี และคาดว่าเบนทอไนท์เป็นทั้งสารเสริมแรงและเป็นตัวช่วยประสานให้พอลิไสไตรีนเข้ากับยางธรรมชาติได้มากขึ้น ส่งผลทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความต้านทานต่อแรงฉีกขาดได้มากขึ้น แต่เมื่อเติมเบนทอไนท์ในปริมาณมากขึ้น (5 phr) ทำให้การกระจายของเบนทอไนท์ในพอลิเมอร์ผสมเกิดขึ้นได้ไม่ดี ซึ่งทำให้บทบาทในการทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานลดลง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าปริมาณที่เหมาะสมในการเติมเบนทอไนท์เพื่อปรับปรุงความต้านทานต่อแรงฉีกขาดอยู่ที่ 3 phr

ตารางที่ 5.5 ค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติเติมเบนทอไนท์ (NR/B) พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนที่เติมเบนทอไนท์ (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 ความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติเติมเบนทอไนท์ (NR/B) พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนที่เติมเบนทอไนท์ (NP/PS/B) 3 และ 5 phr

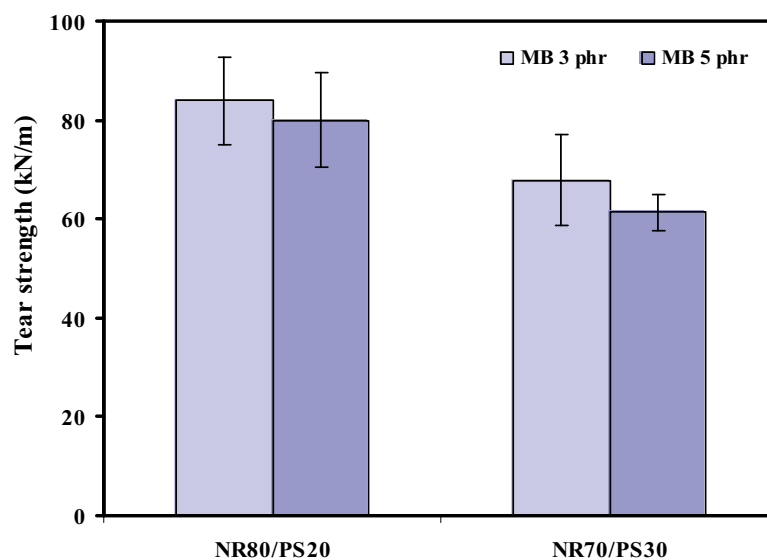
5.3.3 พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนเติมเบนทอไนท์ดัดแปร

ผลการทดสอบการทนต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสม NR/PS ที่ปริมาณสัดส่วน 80/20 และ 70/30 เติมเบนทอไนท์ดัดแปร (NR/PS/MB) ปริมาณ 3 และ 5 phr เป็นสารตัวเติม ได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.9 จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปร 3 phr

เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ (38.4 MPa) และมีแนวโน้มสูงสุดเมื่อปริมาณสัดส่วนของพอลิไทรีนในพอลิเมอร์ผสม 20 phr (NR80/PS20/MB3) โดยมีค่า 83.4 kN/m และจากผลการทดสอบพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปร 3 phr มีค่าความต้านทานต่อฉีกขาดต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสม 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 ค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติและพอลิไทรีนที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปร (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 ความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติและพอลิไทรีนที่เติมเบนทอไนท์ดัดแปร (NR/PS/MB) 3 และ 5 phr

5.4 ผลการทดสอบการทนต่อตัวทำละลาย

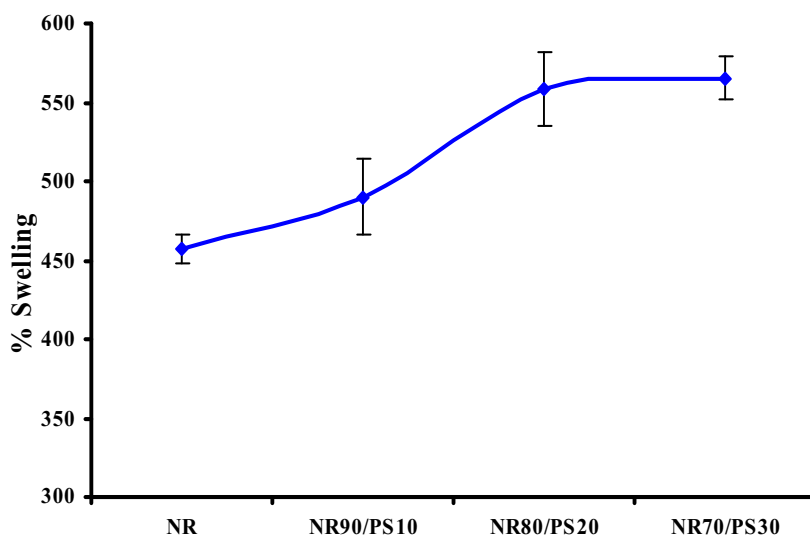
การทดสอบการทนต่อตัวทำละลายสามารถบ่งบอกถึงปริมาณการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุล การเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน และการเติมเบนทอไนท์ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ลงไปจะช่วยทำให้พอลิเมอร์ผสมทนต่อตัวทำละลายได้ดีขึ้นหรือไม่ หากยางธรรมชาติสามารถเข้ากับพอลิสไตรีนและเบนทอไนท์ได้ดีโดยไม่เกิดการขัดขวางการเชื่อมโยงสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ จะส่งผลให้มีการทนต่อตัวทำละลายได้ดี นั่นคือตัวทำละลายไม่สามารถแทรกเข้าไปในสายโซ่ได้ ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้ในการทดสอบ คือ โทลูอิน

5.4.1 ยางธรรมชาติ และพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน

จากการทดสอบการบวมพองของยางธรรมชาติ และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS โดยเตรียมชิ้นตัวอย่างขนาด 1×1 cm และนำไปแช่ในโทลูอินเป็นเวลา 48 ชั่วโมง คำนวณร้อยละการบวมพองได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.10

ตารางที่ 5.7 ร้อยละการบวมพองทนต่อตัวทำละลายของยางธรรมชาติ (NR) และพอลิเมอร์ผสมระหว่าง 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) และพอลิเมอร์ผสม NR/PS

จากรูปที่ 5.10 แสดงผลการบวมพองของยางธรรมชาติ และพอลิเมอร์ผสม ในตัวทำละลายโทลูอิน พบว่าเมื่อเวลาผ่าน 48 ชั่วโมง ยางธรรมชาติมีค่าร้อยละการบวมพองเท่ากับ 457 ในขณะที่พอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS ที่มีปริมาณอัตราส่วน 90/10 80/20 และ 70/30 มีค่าร้อยละการบวมพองเท่ากับ 490, 559 และ 565 ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าว จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสม NR/PS มีค่าร้อยละการบวมพองเพิ่มขึ้นตามปริมาณพอลิสไตรีน สามารถอธิบายได้จากสัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ผสม คือ สายโซ่โมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการวัลคาไนซ์ ทำให้สายโซ่โมเลกุลถูกเชื่อมโยงด้วยกำมะถันทำให้มีช่องว่างระหว่างโมเลกุลน้อยลง ดังนั้นทำให้เกิดการบวมพองขึ้นในชิ้นตัวอย่างน้อย ในส่วนของพอลิเมอร์ผสมซึ่งมีปริมาณพอลิสไตรีนเพิ่มขึ้นโดยพอลิสไตรีนมีสัณฐานวิทยาเป็นแบบอสัณฐาน ดังนั้นเกิดการแทรกซึมของตัวทำละลายเข้าไปในโครงสร้างได้ง่ายและรวดเร็ว ทำให้ร้อยละการบวมพองการบวมพองมีค่าสูงตามปริมาณพอลิสไตรีนที่ผสมลงไป

5.4.3 พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนที่เติมเบนทอไนท์

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

จากตารางที่ 5.8 พบว่าร้อยละการบวมพองของพอลิเมอร์ผสมเมื่อเติมเบนทอไนท์ 3 phr ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ โดยยางธรรมชาติมีร้อยละการบวมพองเท่ากับ 457 ในขณะที่พอลิเมอร์ผสม NR/PS ที่มีปริมาณพอลิสไตรีน 10, 20 และ 30 phr เมื่อเติมเบนทอไนท์ 3 phr พบว่ามีค่าร้อยละการบวมพองเท่ากับ 421, 428 และ 455 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอไนท์ 3 phr มีร้อยละการบวมพองลดลงเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสม NR/PS (จากตารางที่ 5.7) อาจมาจากเบนทอไนท์เป็นสารอนินทรีย์ที่ทนต่อตัวทำละลายได้ดีมากส่งผลทำให้พอลิเมอร์ผสม NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์ทนต่อตัวทำละลายได้เพิ่มขึ้น และทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานให้พอลิสไตรีนกระจายตัวในยางธรรมชาติได้มากขึ้นโดยไม่ขัดขวางการเชื่อมข้ามระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยาง แต่เมื่อเติมเบนทอไนท์ในปริมาณ 5 phr พบว่าค่าร้อยละการบวมพองของพอลิเมอร์ผสม NR/PS เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีปริมาณเบนทอไนท์เพิ่มขึ้นทำให้การกระจายของเบนทอไนท์ในพอลิเมอร์ผสมเกิดขึ้นได้ไม่ดี มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนทำให้ยางพอลิสไตรีนกระจายตัวในยางธรรมชาติได้ไม่ดี ส่งผลให้การแทรกของตัวทำละลายเกิดได้ง่ายขึ้นทำให้ร้อยละการบวมพองมีค่าสูง

ตารางที่ 5.8 ร้อยละการบวมพองของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง 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 พอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนเติมเบนทอไนท์ดัดแปร

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

จากตารางที่ 5.9 พบว่าร้อยละการบวมพองของพอลิเมอร์ผสม NR80/PS20 เมื่อเติมเบนทอไนท์ดัดแปร 3 phr ลดลง (386%) เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ (457%) เนื่องจากสารอินทรีย์ที่อยู่ในเบนทอไนท์ถูกชะล้างออกจนหมดและเมื่อผ่านกระบวนการดัดแปรเบนทอไนท์คาดว่าจะมีความเป็นขี้ผึ้งมากขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมทนต่อตัวทำละลายได้ดีขึ้น

ตารางที่ 5.9 ร้อยละการบวมพองของพอลิเมอร์ผสม NR/PS เติมเบนทอไนท์ดัดแปร (NR/PS/MB)

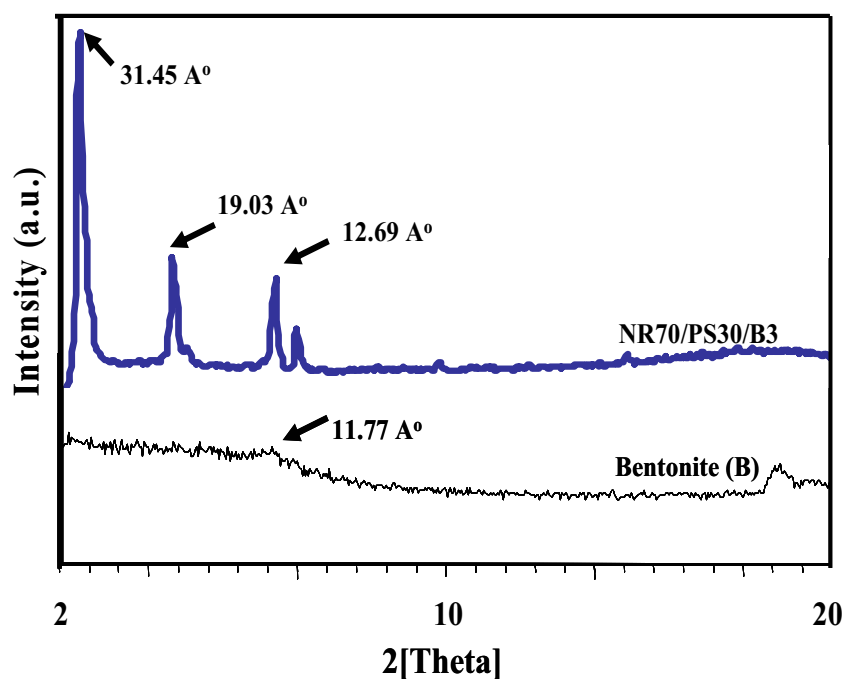
Sample	% Swelling
NR80/PS20/MB3	386.6±3.5
NR70/PS30/MB3	488.4±6.9
NR80/PS20/MB5	451.0±7.2
NR70/PS30/MB5	492.6±10.3

5.5 โครงสร้างผลึก และโครงสร้างเคมีของพอลิเมอร์ผสมและพอลิเมอร์ผสม

5.5.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเบนทอไนท์

ผลของการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเบนทอไนท์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ เพื่อศึกษาการกระจายตัวและการขยายของชั้นซิลิเกตของเบนทอไนท์ในพอลิเมอร์ผสม NR/PS ได้ XRD สเปกตราดังรูปที่ 5.11

จาก XRD สเปกตร้าของเบนทอไนท์ และพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอไนท์ พบว่าสเปกตรัมของเบนทอไนท์ (รูปที่ 5.11) มีลักษณะฟีกกว้าง อาจเนื่องจากมีความเป็นอสัณฐานภายในโครงสร้างของเบนทอไนท์ เมื่อพิจารณา XRD สเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอไนท์ (NR70/PS30/B3) (รูปที่ 5.11) จะเห็นว่าปรากฏฟีกของเบนทอไนท์แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นผลึกมากขึ้นและพบว่าค่าระยะห่างระนาบในพอลิเมอร์พอลิเมอร์ผสม NR/PS เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเบนทอไนท์ นั่นคือ ระยะห่างระนาบเพิ่มขึ้น จาก 11.77 Å เป็น 12.69 19.03 และ 31.45 Å คาดว่าเกิดการแทรกสายโซ่โพลิเมอร์ของยางธรรมชาติและ/หรือพอลิสไตรีนในชั้นซิลิเกตของเบนทอไนท์

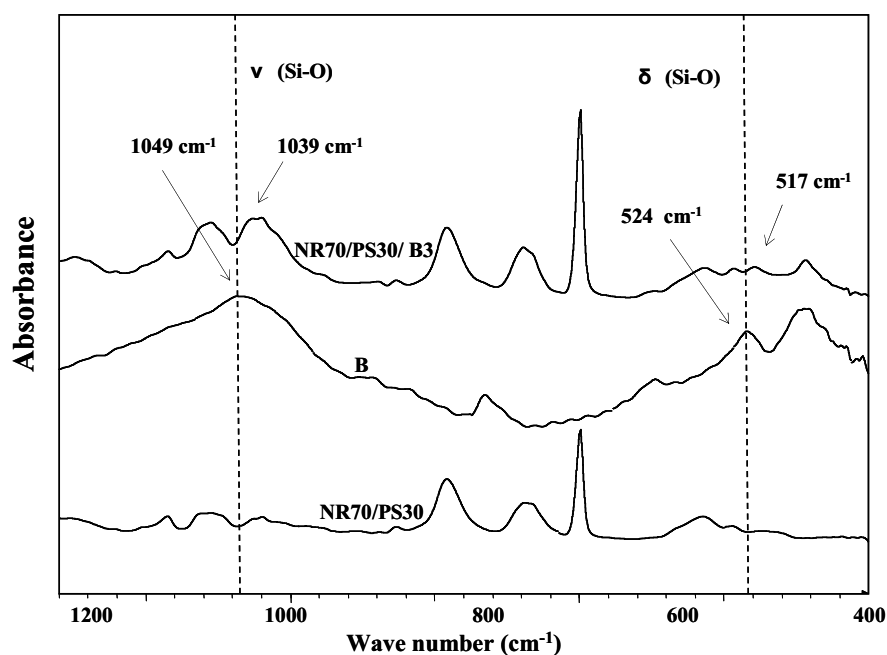


รูปที่ 5.11 XRD สเปกตร้าของเบนทอไนท์ (B) และพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอไนท์ (NR70/PS30/B3)

5.5.2 โครงสร้างเคมีของเบนทอไนท์

ผลจากการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติโดยเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนโดยใช้เบนทอไนท์เป็นสารตัวเติม ดังนั้นการเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางธรรมชาติ พอลิสไตรีน และเบนทอไนท์เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณา ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของเบนทอไนท์ในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS โดยใช้เทคนิค FTIR ได้ข้อมูลอินฟราเรดสเปกตราดังรูปที่ 5.12

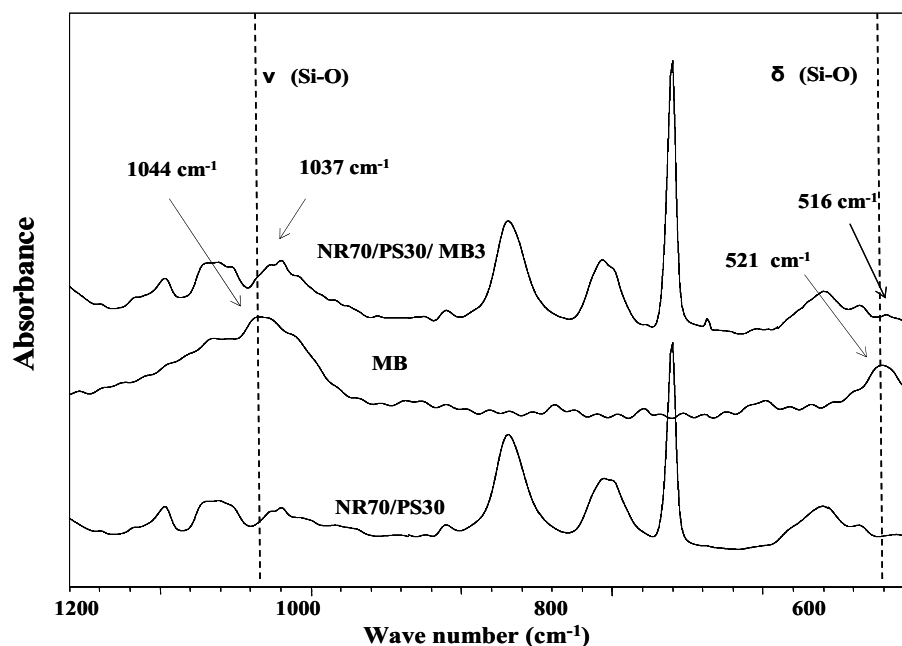
จากรูปที่ 5.12 สามารถสังเกตตำแหน่งของแถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของเบนทอไนท์กับเบนทอไนท์ในพอลิเมอร์ผสม NR/PS พบว่าปรากฏแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่เลขคลื่นแตกต่างกันคือ 1049 cm^{-1} กับ 1039 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของ Si-O และ 524 cm^{-1} กับ 517 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบงอของ Si-O แสดงให้เห็นว่าแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของเบนทอไนท์ต่ำกว่าเดิม เนื่องจากเบนทอไนท์เกิดอันตรกิริยากับยางธรรมชาติและพอลิสไตรีน โดยสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติและพอลิสไตรีนแทรกเข้าไปในชั้นของซิลิเกตดัง ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงขึ้นเพื่อให้พันธะ Si-O เกิดการสั่น



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

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเคมีของเบนทอไนท์ดัดแปรในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS โดยใช้เทคนิค FTIR ได้ข้อมูลอินฟราเรดสเปกตรัมดังรูปที่ 5.13 สามารถสังเกตตำแหน่งของแถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของเบนทอไนท์ กับเบนทอไนท์ในพอลิเมอร์ผสม NR/PS พบแถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่เลขคลื่นแตกต่างกันคือ 1044 cm^{-1} กับ 1037 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของ Si-O และ 521 cm^{-1} กับ 516 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบงอของ Si-O แสดงให้เห็นว่าแถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของเบนทอไนท์ต่ำกว่าเดิม เนื่องจากเบนทอไนท์เกิดอันตรกิริยากับยางธรรมชาติและพอลิสไตรีน โดยสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติและพอลิสไตรีนแทรกเข้าไปในชั้นของซิลิเกต ผลจากการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Varghese et al., (2004) ศึกษาผลการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับพอลิยูรีเทนเสริมแรงด้วยซิลิเกตสังเคราะห์

เมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งของแถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของเบนทอไนท์กับเบนทอไนท์ก่อนและหลังดัดแปรในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS พบว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์ 3 phr มีการเปลี่ยนตำแหน่งของแถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดมากกว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS ที่เติมเบนทอไนท์หลังดัดแปรเท่ากับ 3 และ 2 cm^{-1} ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติและพอลิสไตรีนสามารถแทรกเข้าไปในชั้นซิลิเกตของเบนทอไนท์ได้ดีกว่าเบนทอไนท์ดัดแปร



รูปที่ 5.13 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน (NR70/PS30) เบนทอไนท์ดัดแปร MB) และพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติและพอลิสไตรีนที่เติม เบนทอไนท์ 3 phr (NR70/PS30/MB3)

5.6 สันฐานวิทยาของยางธรรมชาติ พอลิเมอร์ผสม และพอลิเมอร์ผสม

5.6.1 ลักษณะทางกายภาพของยางธรรมชาติ พอลิเมอร์ผสม และพอลิเมอร์ผสมด้วยกล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เมื่อนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการทนต่อแรงดึงมาศึกษาสันฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของพอลิสไตรีนในยางธรรมชาติ และการเติม เบนทอไนท์ลงไปในพอลิเมอร์ผสม NR/PS มีผลต่อการกระจายตัวของพอลิสไตรีนในยางธรรมชาติหรือไม่ แสดงดังรูปที่ 5.14

จากรูปที่ 5.14 (ก) เป็นภาพถ่าย SEM ของยางธรรมชาติ พบว่ามีลักษณะพื้นผิวเรียบหลังจากผ่านการดึง เมื่อพิจารณารูปที่ 5.14 (ข) แสดงสันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR70/PS30 พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคพอลิสไตรีนในยางธรรมชาติไม่สม่ำเสมอมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน เนื่องจากพอลิสไตรีนมีปริมาณมากจึงส่งผลทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการแตก เมื่อพิจารณาภาพถ่าย SEM ของพอลิเมอร์

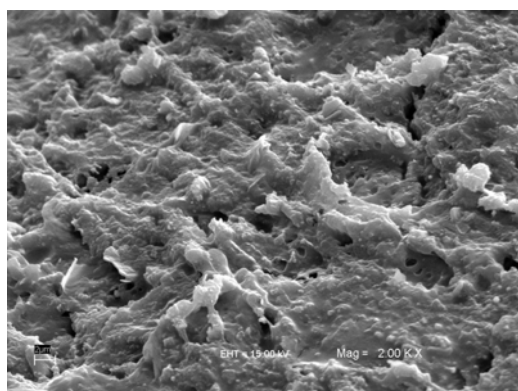
ผสมระหว่าง NR70/PS30 ที่เติมเบนทอไนท์ 3 phr ดังรูปที่ 5.14 (ค) พบว่าการกระจายตัวของอนุภาคพอลิस्टาไทรนในยางธรรมชาติมีลักษณะสม่ำเสมอและขนาดใกล้เคียงกัน คือประมาณ 1 ไมครอน รูปร่างของอนุภาคไม่เป็นทรงกลม เนื่องจากเบนทอไนท์ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิस्टาไทรน ทำให้พอลิस्टาไทรนเข้ากับยางธรรมชาติได้มากขึ้น และเบนทอไนท์ที่เติมลงไปกระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสมได้ดี ส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้น

พอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR70/PS30 ที่เติมเบนทอไนท์ 5 phr แสดงดังรูปที่ 5.14 (ง) พบว่ามีการกระจายตัวของพอลิस्टาไทรนไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับปริมาณเบนทอไนท์ 3 phr อนุภาคของพอลิस्टาไทรนแตกต่างกันซึ่งมีขนาดอนุภาคประมาณ 1-2 ไมครอน และในขณะเดียวกันจากภาพถ่ายจะเห็นได้ว่ามีเบนทอไนท์กระจายตัวเป็นกลุ่มก้อนในพอลิเมอร์ผสม

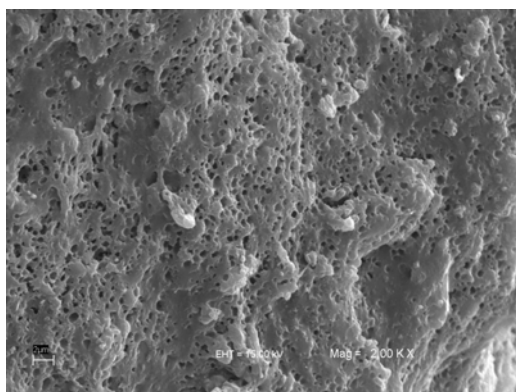
จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม และพอลิเมอร์ผสมที่เติมเบนทอไนท์ สันนิษฐานได้ว่า การเติมเบนทอไนท์ก่อนตัดแปรรูปโครงสร้าง 3 phr ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานให้ PS ผสมกับ NR มากขึ้น ในขณะเดียวกันไม่ได้ไปขัดขวางกระบวนการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติ ดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นสารช่วยผสมในพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS ได้ส่งผลทำให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด และการทนต่อตัวทำละลายเพิ่มขึ้น



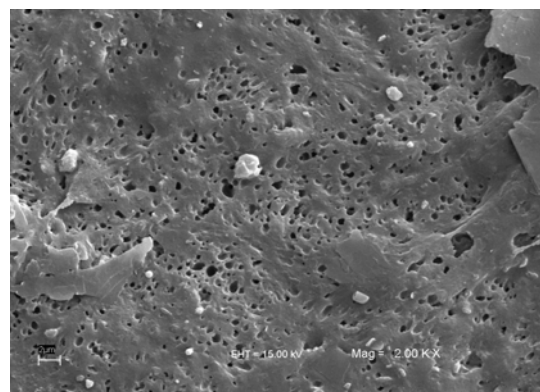
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 5.14 ภาพถ่าย SEM ของยางธรรมชาติ (NR) (ก) พอลิเมอร์ผสม NR/PS (ข) พอลิเมอร์ผสมเติมเบนทอไนท์ 3 phr (ค) และพอลิเมอร์ผสมเติมเบนทอไนท์ 5 phr (ง)

6. สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิไทรีน (NR/PS) และพอลิเมอร์ผสม ที่เติมเบนทอไนท์และเบนทอไนท์ดัดแปรเป็นสารตัวเติม พบว่าค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100, 300 และ 500% เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ NR และ NR/PS และให้ค่าสูงสุดที่พอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS ในอัตราส่วน 70/30 เมื่อเติมเบนทอไนท์ 3 phr ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 100, 300 และ 500% เพิ่มขึ้นประมาณ 90, 160 และ 180% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสม NR/PS ผลการศึกษาความต้านทานต่อแรงฉีกขาด พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดเพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติ และมีแนวโน้มสูงสุดที่พอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR/PS ที่ปริมาณอัตราส่วน 80/20 เติมเบนทอไนท์ 3 phr โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติและ NR80/PS20 ประมาณ 210 และ 190 % ผลการศึกษาการทนต่อตัวทำละลายพบว่าร้อยละการบวมพองของพอลิเมอร์ผสม เมื่อเติมเบนทอไนท์ดัดแปร 3 phr ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ NR, NR/PS และ NR/PS/B แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสม NR/PS/MB สามารถทนต่อตัวทำละลายได้ดีที่สุด ผลจากการศึกษาโครงสร้างเคมีและโครงสร้างผลึกของเบนทอไนท์ในพอลิเมอร์ผสม ปรากฏหลักฐานว่ามีสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติและพอลิไทรีนเกิดการแทรกเข้าไปในชั้นซิลิกาของเบนทอไนท์ จากภาพถ่าย SEM สามารถสังเกตลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม พบว่าพอลิเมอร์ผสม ที่เติมเบนทอไนท์และเบนทอไนท์ดัดแปรสามารถทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสานให้ PS กระจายตัวใน NR ได้ดีขึ้น ส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลและการบวมพองต่อตัวทำละลายดีขึ้น และเมื่อเติมเบนทอไนท์ 3 phr สามารถทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างวัฏภาคของพอลิไทรีนกับยางธรรมชาติได้ดีกว่าเติมเบนทอไนท์ดัดแปร

ด้านเศรษฐศาสตร์เกี่ยวกับต้นทุน

1. การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR และ PS โดยใช้เบนทอไนท์เป็นสารตัวเติมในสถานะลาเทกซ์ ใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการเตรียมในสถานะหลอม เนื่องจากในกระบวนการเตรียมไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องบดผสมที่อุณหภูมิสูง
2. สารตัวเติมที่ใช้ในการทดลองคือเบนทอไนท์ ซึ่งมีราคาถูกเมื่อเทียบกับเคลย์สังเคราะห์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมเพื่อเสริมแรงในพอลิเมอร์ผสม เช่น ฟลูโอโรเฮกโทไรท์ และหาซื้อได้ง่ายในประเทศไทย

ตาราง ก ประเมินค่าใช้จ่ายในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมในสถานะลาเทกซ์ 1 กิโลกรัม

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

7. ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

1. ศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR และ PS โดยใช้ระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันและใช้เบนทอนไนท์เป็นสารตัวเติมในสถานะลาเทกซ์ในระดับอุตสาหกรรม
2. ศึกษาเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR และ PS โดยใช้เบนทอนไนท์เป็นสารตัวเติมในสถานะหลอม
3. ศึกษาแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์โฟมยาง เช่นเบาะรองนั่ง พรมปูพื้น วัสดุกันกระแทก ผลิตภัณฑ์หล่อเบ้า เช่นหุ่นจำลอง เป็นต้น

8. เอกสารอ้างอิง

- สรินทร ลิ้มปนาท เต็มศักดิ์ ศรีศิริรินทร์ และ วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2002. ผลของความเข้มข้นของเกลือแอลคิลแอมโมเนียมที่มีต่อกระบวนการ intercalation ในดินเบนทอนไนท์ (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-Manchado, 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.

ภาคผนวก

คำชี้แจงของนักวิจัยต่อข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

ข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ	คำชี้แจงของผู้วิจัย
1. เพิ่มเติมคำสำคัญในบทคัดย่อ	1. ได้เพิ่มเติมคำสำคัญในบทคัดย่อ
2. ตรวจสอบคำและความถูกต้องทางวิชาการในการใช้ภาษารายงาน	2. ได้ตรวจสอบคำและปรับแก้ไขความถูกต้องทางวิชาการในการใช้ภาษารายงานแล้ว
3. นักวิจัยควรทบทวนรูปแบบและเนื้อหาในคำแนะนำของการเตรียมรายงานฉบับสมบูรณ์ในโครงการ SPR ซึ่งรายงานนี้จะสรุปส่วนที่เกี่ยวข้องจริงให้กระชับได้มากกว่านี้ เช่นทฤษฎี (หัวข้อ 3.1) ส่วนของรายงานผลทดสอบทางกายภาพ : Tensile กับ Tear ก่อนข้างขึ้นก่อน น่าจะสรุปได้ทั้งภาพและตาราง	3. ได้สรุปเนื้อหาของทฤษฎีในหัวข้อ 3.1.1 – 3.1.4 ให้กระชับแล้ว และในส่วนของการรายงานผลทดสอบทางกายภาพ : Tensile กับ Tear ได้ปรับปรุงการนำเสนอแล้ว
4. หน้า 2 และ 12 ใช้คำว่า “หลอมเหลว” น่าจะผิดความหมาย	4. ได้เปลี่ยนคำว่า “หลอมเหลว” ในหน้า 2 และ 12 เป็น คำว่า “หลอม”
5. ในหัวข้อ 3.2 และ 3.3 นั้น สรุปแล้ววิธีการที่วิจัยครั้งนี้มีความสับสนหรือมีแนวคิดต่อจากงานวิจัยที่อ้างถึงว่าเกี่ยวข้องกับเรื่องใดมากที่สุด	5. ได้ปรับเปลี่ยนงานวิจัยที่อ้างถึงว่าเกี่ยวข้องกับแล้วโดยได้นำเนื้อหาบางงานวิจัยที่เกี่ยวข้องน้อยออก
6. หน้า 16 ใช้คำไม่ถูกต้อง ลูกกลิ้งบด (ball-mill) เพราะว่าลูกกลิ้งบด หมายถึง two roll mill และบรรทัดที่ 4 จากข้างล่างให้ตรวจสอบการทำงานว่านำน้ำเข้าไป “กรองด้วยผ้าขาวบาง” ทำได้จริงหรือไม่	6. ได้แก้ไขโดยตัดคำว่าลูกกลิ้งบดออกแล้วในหน้า 16 และจากการตรวจสอบการทำงานว่านำน้ำเข้าไป “กรองด้วยผ้าตะแกรง”
7. หน้า 17 ให้ตรวจสอบความถูกต้อง ใช้คำว่า พอลิเมอร์ผสมและคอมโพสิตในลักษณะ 2 ความหมายนี้ใช้ถูกต้องหรือไม่ ทั้งไปใช้กันหรือไม่	7. ได้ปรับเปลี่ยนใช้คำว่า “พอลิเมอร์ผสม” แทนคอมโพสิตแล้ว
8. หน้า 18 ข้อ 4.6.2 ใช้ ASTM เบอร์อะไร	8. หน้า 18 ได้เพิ่มเติมข้อ 4.6.2 ใช้ ASTM เบอร์ 412
9. หน้า 21 รูปที่ 5.3 การตรวจสอบความสมบูรณ์ของรูป ผลการวิจัยส่วนไหนที่อธิบายได้ว่า “คอมโพสิตแสดงพฤติกรรมการแตกหักเนื่องจากความเครียด”	9. ได้แก้ไขและตรวจสอบคำอธิบายใหม่แล้ว
10. หน้า 22 และ 24 ที่ใช้คำพูด “ไม่มีผลกระทบต่อการแตกหัก” ไม่น่าถูกต้อง	10. ได้แก้ไขปรับเปลี่ยนคำอธิบายในเนื้อความใหม่แล้ว

11. ผลการทดลองเกี่ยวกับค่า Tensile, Modulus และ Tear ในทุกๆ การทดสอบมีจำนวนชิ้นจำนวนซ้ำเพียงพอและวิเคราะห์ทางสถิติหรือไม่ การวิจารณ์ผลการวิจารณ์จำนวนซ้ำให้ผู้อ่านมั่นใจว่าน่ายอมรับได้ เช่นตารางที่ 5.1 ค่า Tensile ของ NR, NR90/PS10 และ NR80/PS20 ก่อนข้างไม่ต่างกันเลย และค่า NR ก็ค่อนข้างต่ำกว่าที่ควรเป็นมาก	11. ผลการทดลองเกี่ยวกับค่า Tensile, Modulus และ Tear ในทุกๆ การทดสอบมีจำนวนซ้ำเพียงพอ 7 ชิ้นตัวอย่าง ค่า NR ที่ได้จากการทดลองใกล้เคียงกับบางวารสารที่รายงานไว้
12. หน้า 34 ผลการทดลองของ NR/PS/B เป็น %การบวม 458, 449, 470 ไม่เรียงตามลำดับในการลดลง น่าจะมีค่าตอบหรือทดลองซ้ำ	12. %การบวม 458, 449 มีค่าไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากปริมาณ NR/PS แตกต่างกัน 10 phr
13. หน้า 36 รูปที่ 5.12 : ไม่น่าจะแสดงเป็นกราฟได้ เพราะมีการทดสอบเพียง 2 จุดเท่านั้น	13. ได้เสนอผลการทดลองในรูปแบบตารางเพียงอย่างเดียว
14. หน้า 41 ไม่มีข้อมูลมาเปรียบเทียบว่าใช้พลังงานในการอบแห้งนั้น จะเป็นการใช้พลังงานมากกว่าหรือทำเคมีในการแปรรูปจากน้ำยางเป็นยางแห้ง	14. ในการใช้งานรูปนำยางขึ้นซึ่งไม่ต้องผ่านกระบวนการเตรียมเป็นยางแห้ง คาดว่าจากกระบวนการเริ่มต้นน่าจะใช้พลังงานน้อยกว่าการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากยางแห้ง
15. -หัวข้อเสนอแนะหน้า 3 และหน้า 42 น่าจะเป็นแนวเดียวกัน และต้องมีความชัดเจนว่า ควรพัฒนาคอมโพสิทนี้เพื่อการนำไปเป็นรูปอะไร กรณียกตัวอย่างปูพื้น ไม่น่าใช่ เพราะไม่มีมูลค่าสูงพอที่จะใช้วัสดุนี้ และถ้านำไปเป็นรูปยางฟอง, dipping, หล่อเป็นผลิตภัณฑ์อะไร และจะเป็นไปได้หรือที่จะพัฒนาในระดับอุตสาหกรรมในเมื่อหน้าคำแนะนำข้อ 3 หน้า 42 ขัดแย้งกับหัวข้อการวิเคราะห์ต้นทุนหน้า 41	15. ได้แก้ไขในส่วนของข้อเสนอแนะ