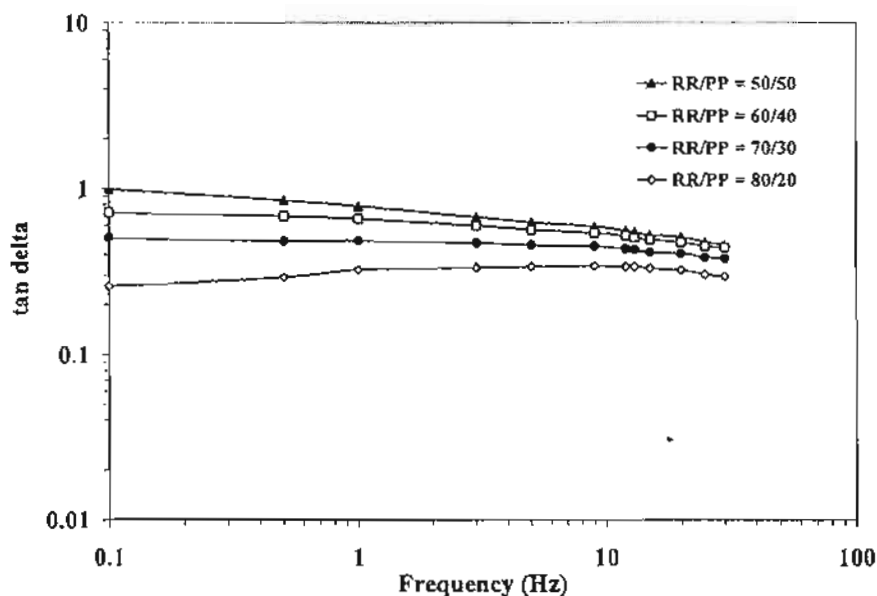


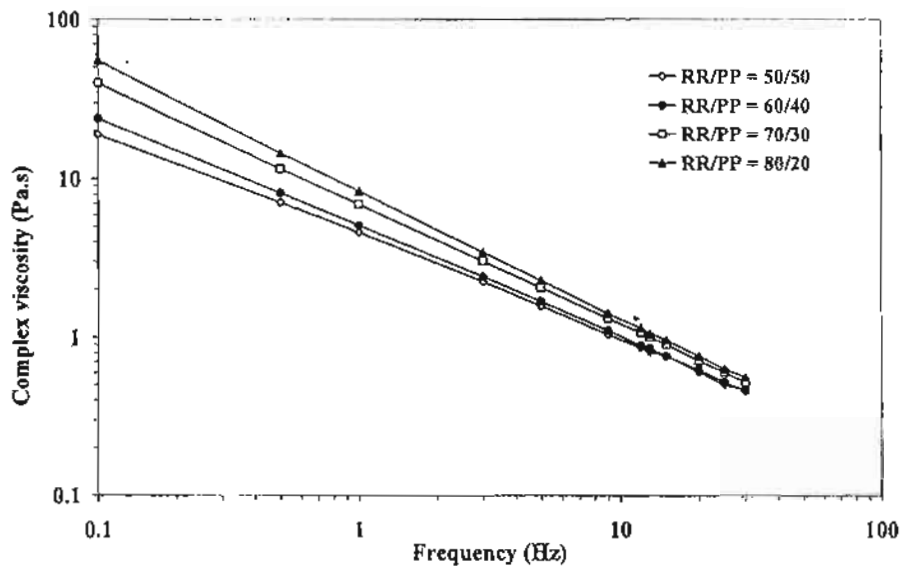


รูปที่ 5.12 ค่าลอสมแทนเจนต์ (Loss tangent, $\tan \delta$) ของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 5.11 พบว่าค่าโมดูลัสสะสม (G') ของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการเบลนด์ของยางรีเคลม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์เบลนด์มีสมบัติการยืดหยุ่น (Elasticity) เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการเบลนด์ของยางรีเคลม เนื่องจาก G' มีความสัมพันธ์กับความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปพลังงานศักย์ (Potential energy) เมื่อพอลิเมอร์ถูกกระทำให้ผิดรูป และปลดปล่อยพลังงานที่เก็บสะสมออกมาเมื่อปล่อยแรงกระทำ ซึ่งเป็นสมบัติของวัสดุที่มีความยืดหยุ่น (Elastic material) โดยจะพบว่าที่อัตราส่วนการเบลนด์ 80/20 (RR/PP) พอลิเมอร์เบลนด์มีค่า G' สูงที่สุด เนื่องจากเป็นอัตราส่วนการเบลนด์ซึ่งมีเฟสของยางอยู่มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าค่า G' ของพอลิเมอร์เบลนด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่าความถี่ที่ใช้ในการทดสอบ เนื่องจากการทดสอบที่ความถี่ต่ำ สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์เบลนด์มีระยะเวลาเพียงพอในการจัดเรียงตัว (Reorganize) เพื่อตอบสนองต่อแรงกระทำ ส่งผลให้พอลิเมอร์เบลนด์มีค่า G' ค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อเพิ่มความถี่ในการทดสอบ พอลิเมอร์เบลนด์มีระยะเวลาในการจัดเรียงตัวเพื่อตอบสนองต่อแรงกระทำลดลง ค่า G' ของพอลิเมอร์เบลนด์จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (Robert *et al.*, 2003)

เมื่อพิจารณาค่าลอสมแทนเจนต์ ($\tan \delta$) ของพอลิเมอร์เบลนด์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนของพลังงานที่เกิดการสูญเสียเมื่อพอลิเมอร์เบลนด์ถูกกระทำให้ผิดรูป (Loss modulus) ต่อค่าพลังงานศักย์ที่เก็บสะสมไว้เมื่อได้รับแรงกระทำ (Rajan, 2005) ดังแสดงในรูปที่ 5.12 พบว่าค่า $\tan \delta$ ของพอลิเมอร์เบลนด์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการเบลนด์ของยางรีเคลม ทั้งนี้เนื่องจากยางรีเคลมเป็นเฟสที่มีสมบัติความยืดหยุ่น ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนการเบลนด์ของยางรีเคลม มีผลทำให้พอลิเมอร์เบลนด์มีสมบัติ

ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น กล่าวคือ เกิดการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนลดลงเมื่อถูกกระทำให้ผิดรูป โดยจะพบว่าที่อัตราส่วนการเบลนด์ 80/20 (RR/PP) พอลิเมอร์เบลนด์มีค่าลอสมแทนเจนต์ต่ำที่สุด



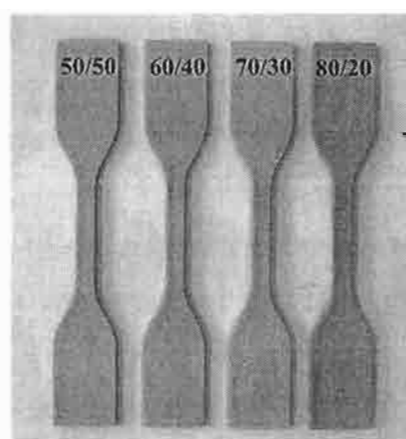
รูปที่ 5.13 ค่าความหนืดเชิงซ้อน (Complex viscosity, η^*) ของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 5.13 จะเห็นว่าค่าความหนืดเชิงซ้อน (η^*) ของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP มีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มความถี่ในการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความถี่ในการทดสอบเปรียบเสมือนการเพิ่มอัตราเฉือน (Shear rate) ที่กระทำต่อชิ้นทดสอบ (Dick, 2003) และด้วยเหตุที่พอลิเมอร์เบลนด์มีค่า η^* ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราเฉือน จึงอาจกล่าวได้ว่าพอลิเมอร์เบลนด์แสดงพฤติกรรมการไหลแบบลดความหนืด (Shear thinning behavior) เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์สามารถจัดเรียงตัว เพื่อให้แต่ละโมเลกุลสามารถเคลื่อนผ่านซึ่งกันและกันได้ง่ายขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราเฉือน ซึ่งเป็นสมบัติการไหลของของไหลประเภทซูโดพลาสติก (Pseudo plastic fluid) ส่งผลทำให้พอลิเมอร์เบลนด์มีค่าความหนืดเชิงซ้อนลดลงเมื่อเพิ่มอัตราเฉือน

เมื่อพิจารณาผลของอัตราส่วนการเบลนด์ต่อค่า η^* พบว่าค่า η^* ของพอลิเมอร์เบลนด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของยางรีเคลม เนื่องจากภายในโครงสร้างโมเลกุลของยางรีเคลมมีพันธะการเชื่อมบางส่วนที่ไม่สามารถเกิดการละลาย ส่งผลให้ยางรีเคลมมีความหนืดขณะหลอมสูงกว่าพอลิโพรไพลีน ดังนั้นค่า η^* ของพอลิเมอร์เบลนด์จึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของยางรีเคลม

5.2.2 สมบัติทางกายภาพ

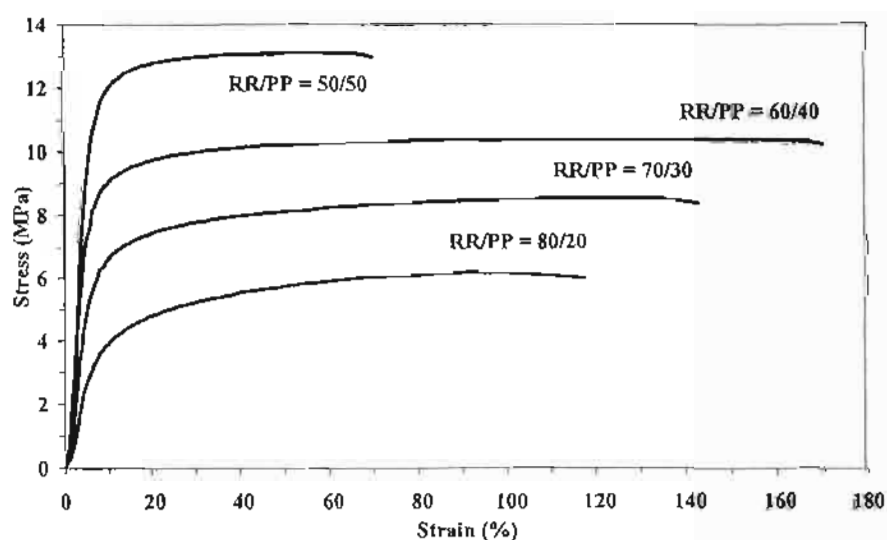
นำพอลิเมอร์เบลนด์ที่เตรียมได้จากการเบลนด์ระหว่าง RR/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ ในหัวข้อที่ 4.3.2 มาทำการขึ้นรูปขึ้นทดสอบโดยวิธีการฉีดเข้าปั๊ม จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด ค่าการผิดรูปอย่างถาวรเนื่องจากการยืด ดังวิธีการทดสอบในหัวข้อ 4.4.4 ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.14 – 5.21



Reclaimed rubber / Polypropylene

(RR/PP)

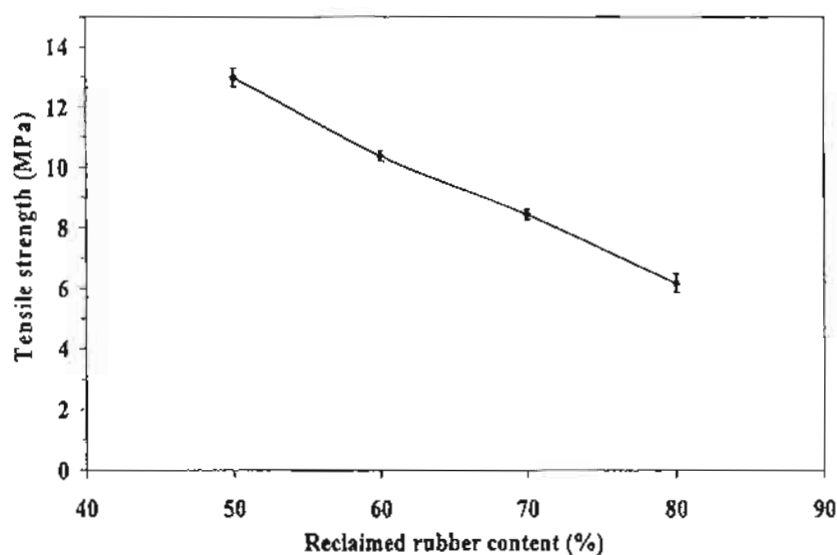
รูปที่ 5.14 ลักษณะขึ้นทดสอบของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ



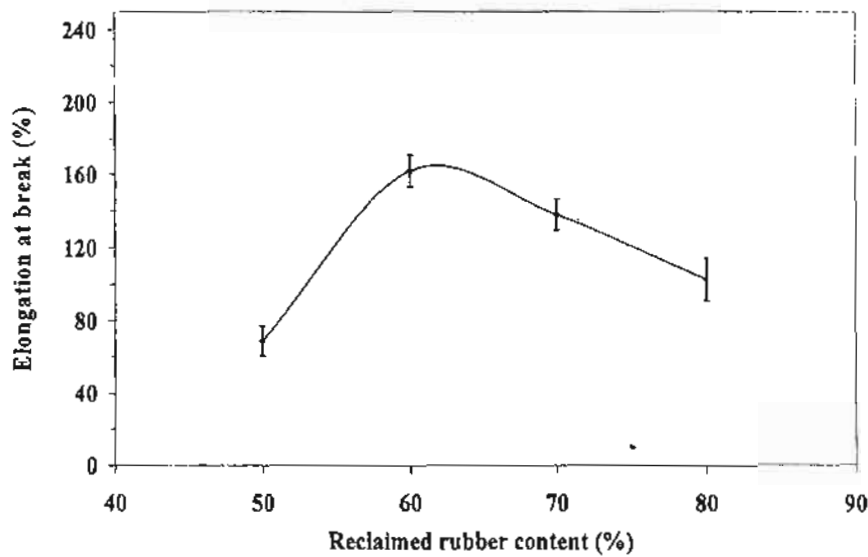
รูปที่ 5.15 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-strain curve) ของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด สามารถบ่งบอกถึงสมบัติความแข็งตึง (Stiffness) ของพอลิเมอร์เบลนด์ โดยพิจารณาจากความชันของเส้นโค้งความเค้น- ความเครียด ในช่วงที่กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดมีสัดส่วนคงที่ ดังนั้นพอลิเมอร์เบลนด์จึงแสดงพฤติกรรมเป็นไปตามกฎของฮุก (Hook's law) กล่าวคือ วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic behavior) เมื่อความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด โดยที่ความชันของเส้นโค้งความเค้น- ความเครียด ในช่วงที่พอลิเมอร์แสดงพฤติกรรมแบบยืดหยุ่น สามารถบ่งบอกถึงความแข็งตึง (Stiffness) ของพอลิเมอร์ (Pocius, 2002)

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.15 จึงอาจกล่าวได้ว่าพอลิเมอร์เบลนด์มีสมบัติความแข็งตึงลดลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการเบลนด์ของยางรีไซเคิล เนื่องจากความชันของเส้นโค้งความเค้น- ความเครียดในช่วงที่พอลิเมอร์เบลนด์แสดงพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้การเพิ่มอัตราส่วนการเบลนด์ของยางรีไซเคิลยังส่งผลทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนด์มีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.16 เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนการเบลนด์ของยางรีไซเคิล มีผลทำให้สัดส่วนโดยปริมาตรของพอลิโพรพิลีนซึ่งเป็นเฟสที่แสดงสมบัติความแข็งแรงในพอลิเมอร์เบลนด์ลดลง

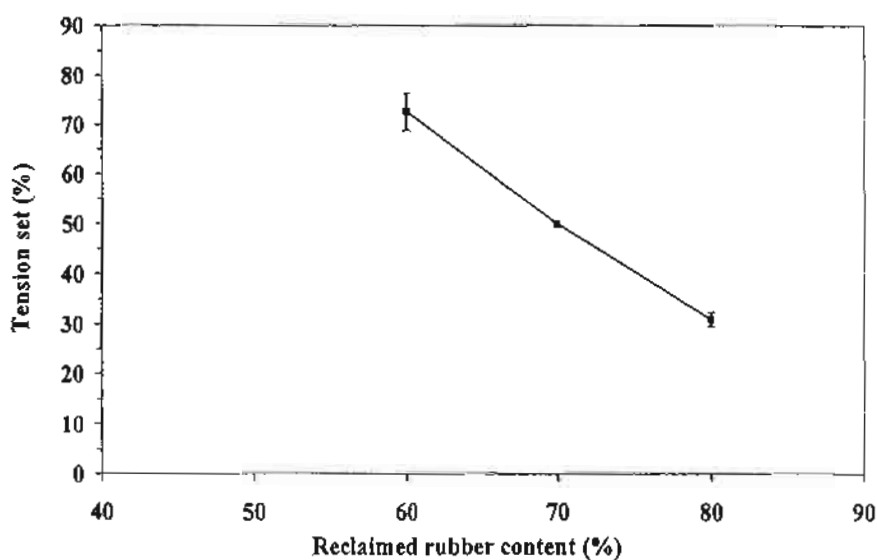


รูปที่ 5.16 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 5.17 ความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ

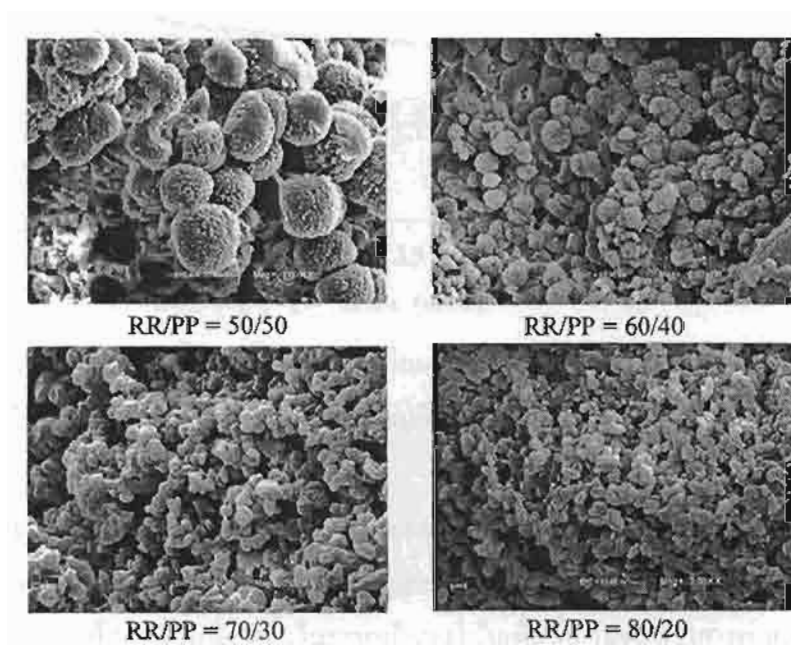
จากรูปที่ 5.17 พบว่าที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 (RR/PP) พอลิเมอร์เบลนด์มีความสามารถในการยืดจนขาดสูงที่สุด โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับพื้นที่ใต้กราฟของเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับพลังงานของวัสดุโดยไม่เกิดการแตกหัก หรือ สมบัติความแข็งแรงเหนียว (Toughness) ของวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.18 ค่าการผิดรูปอย่างถาวรเนื่องจากการยืดของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 5.18 พบว่าความสามารถในการคืนรูปของพอลิเมอร์เบลนด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนการเบลนด์ของยางรีเคลม โดยพบว่าการเบลนด์ที่อัตราส่วน 80/20 (RR/PP) พอลิเมอร์เบลนด์มีความสามารถในการคืนรูปดีที่สุด เนื่องจากมีค่าการผิดรูปอย่างถาวรเนื่องจากการยืดตัวที่สุด ในขณะที่การเบลนด์ที่อัตราส่วน 50/50 ไม่สามารถทำการทดสอบได้ เนื่องจากพอลิเมอร์เบลนด์มีความสามารถในการยืดจนขาดต่ำกว่า 100%

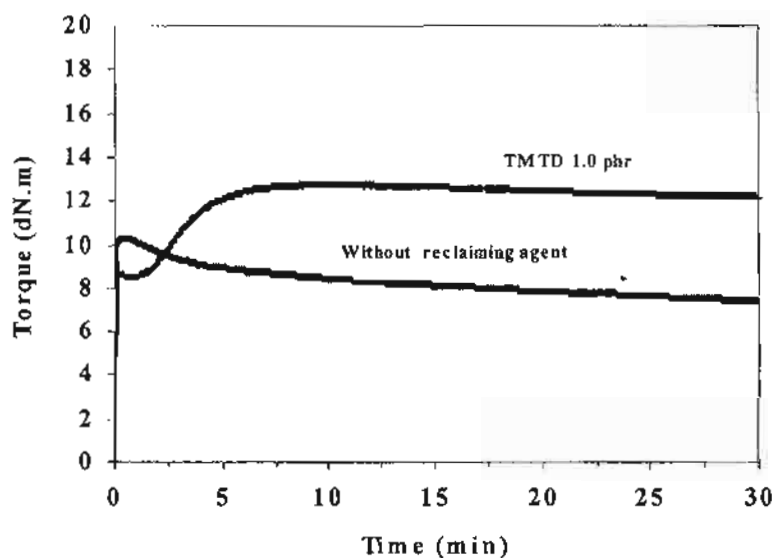
จากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยการสักรัฟของพอลิโพรไพลีนออก จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 SEM ไมโครกราฟของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

เมื่อพิจารณาลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP ดังแสดงในรูปที่ 5.19 พบว่ามีลักษณะสัณฐานวิทยาเหมือนเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (Thermoplastic vulcanizate, TPV) กล่าวคือมีเฟสอนุภาคยางกระจายตัวอยู่ในเฟสของพอลิโพรไพลีนซึ่งเป็นเฟสที่ต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจาก TMTD ซึ่งใช้เป็นสารรีเคลมมิ่งเอเจนต์ สามารถทำปฏิกิริยากับสารกระตุ้นและกำมะถันที่ตกค้างอยู่ในเศษยางมือ ส่งผลให้เฟสอนุภาคยางสามารถเกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ในระหว่างเบลนด์ ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่าแรงบิด จากเส้นโค้งการวัลคาไนซ์ของรีเคลมที่เตรียมโดยใช้ TMTD เป็นสารรีเคลมมิ่งเอเจนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5.20 ด้วยเหตุนี้เฟสอนุภาคยางจึงมีความหนืดเพิ่มขึ้นและสามารถแตกตัวออกเป็นอนุภาคเล็กๆ ภายใต้อิทธิพลแรงเฉือนในระหว่างการเบลนด์ อีกทั้งค่าพลังงานผิว (Surface energy)

ของเฟสอนุภาคยางจะมีค่าลดลง เมื่อเกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ (Goharpey *et al.*, 2001) ส่งผลทำให้เฟสอนุภาคยางมีความเสถียรทางสัณฐานวิทยาเพิ่มขึ้นและสามารถกระจายตัวในเฟสของพลาสติกได้อย่างสม่ำเสมอ



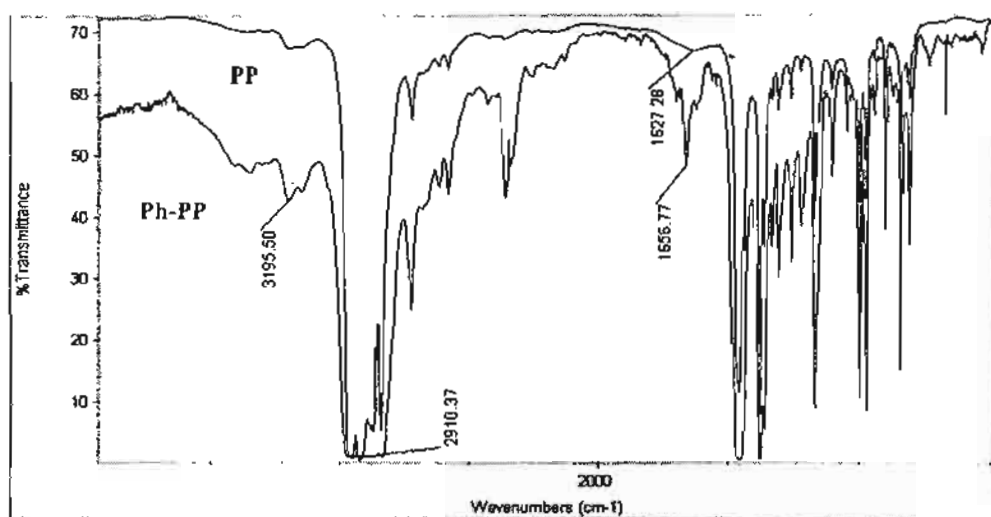
รูปที่ 5.20 เส้นโค้งการวัลคาไนซ์ของยางรีเคลมที่เตรียมโดยใช้ TMTD เป็นสารรีเคลมมิงเอเจนต์ และไม่ใช่สารรีเคลมมิงเอเจนต์ เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้ยังพบว่าเฟสอนุภาคยางมีขนาดลดลง ตามอัตราส่วนการเบลนด์ของยางรีเคลม ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดในขณะหลอมของพอลิเมอร์เบลนด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนการเบลนด์ของยางรีเคลม ส่งผลให้แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยพบว่าการเบลนด์ที่อัตราส่วน 70/30 และ 80/20 (RR/PP) พอลิเมอร์เบลนด์มีเฟสอนุภาคยางขนาดเล็กและสม่ำเสมอ แต่เนื่องด้วยการมีสัดส่วนโดยปริมาตรของพอลิโพรไพลีนต่ำ ส่งผลให้พอลิเมอร์เบลนด์ที่เตรียมได้มีความแข็งแรงค่อนข้างต่ำ

5.3 การเตรียมพอลิเมอร์เบนด์ของยางรีเคลมกับพอลิโพรไพลีน (RR/PP) โดยใช้ไคเมทิลอลฟีนอลิกเรซิน (Phenolic modified polypropylene, Ph-PP) เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้

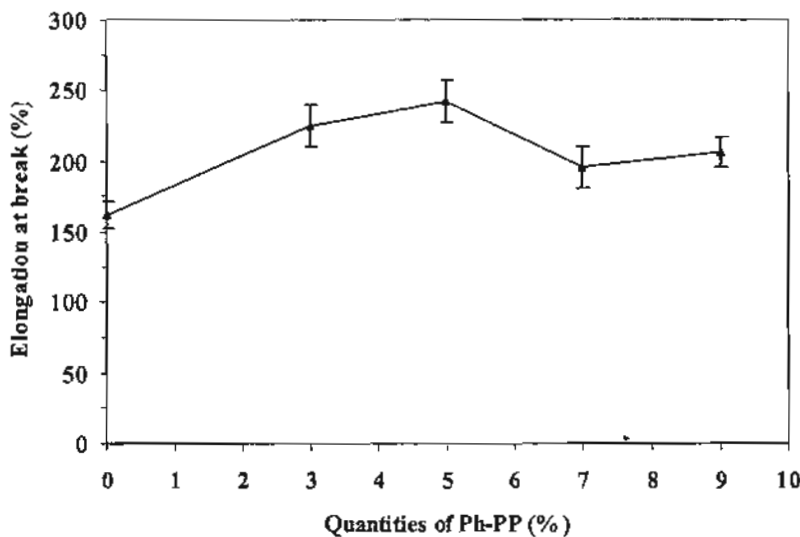
5.3.1 การดัดแปลงโมเลกุลของพอลิโพรไพลีนด้วยไคเมทิลอลฟีนอลิกเรซิน (Ph-PP)

ทำการดัดแปลงโมเลกุลของพอลิโพรไพลีนด้วยไคเมทิลอลฟีนอลิกเรซิน ตามวิธีการทดลองในหัวข้อที่ 4.3.3.1 จากนั้นนำสารที่เตรียมได้ไปทดสอบการเกาะติดของไคเมทิลอลฟีนอลิกเรซินบนโมเลกุลของพอลิโพรไพลีนด้วยเครื่อง FT-IR ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.21



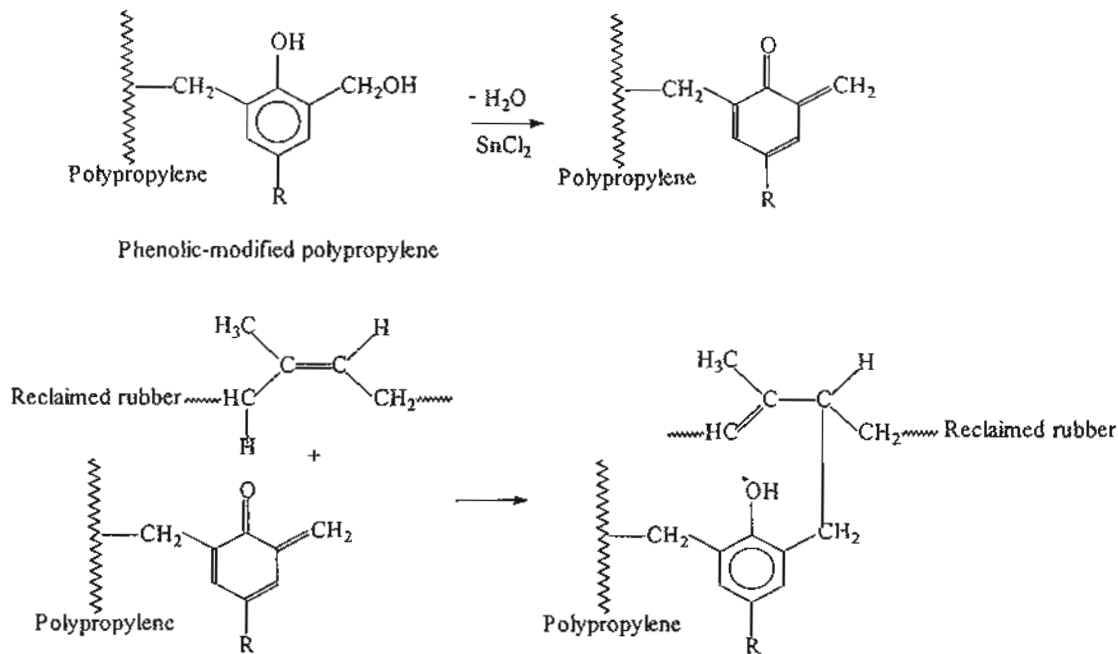
รูปที่ 5.21 สเปกตรัมอินฟราเรดของไคเมทิลอลฟีนอลิกเรซิน (Ph-PP)

จากสเปกตรัมอินฟราเรดของ Ph-PP ดังแสดงในรูปที่ 5.21 พบว่าปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟีนอล ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3195.50 cm^{-1} และแถบการดูดกลืนของหมู่ $\text{C}=\text{C}$ ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1656.77 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการเกาะติดของไคเมทิลอลฟีนอลิกเรซินบนโครงสร้างโมเลกุลของพอลิโพรไพลีน โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เป็นไปได้แสดงดังรูปที่ 5.22



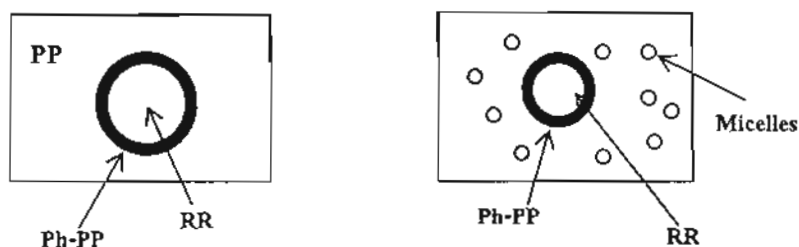
รูปที่ 5.24 ความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบสชนิด RR/PP เมื่อใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ที่ระดับต่างๆ

จากรูปที่ 5.23 พบว่าการใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ไม่มีผลมากนักต่อความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบสชนิด แต่เมื่อพิจารณาความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบสชนิด ดังแสดงในรูปที่ 5.24 พบว่าการใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ มีผลทำให้พอลิเมอร์เบสชนิดมีความสามารถในการยืดจนขาดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เชื่อว่า Ph-PP สามารถทำให้เกิดการเชื่อมประสานบริเวณผิวประจัญ (Interface) ระหว่างเฟสของอนุภาคยางกับเฟสของพอลิโพรไพลีน เนื่องจากภายในโครงสร้างโมเลกุล Ph-PP ประกอบด้วยส่วนของฟีนอลิกเรซิน ซึ่งเชื่อว่าจะสามารถทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ที่หลงเหลืออยู่ในโครงสร้างยางธรรมชาติ ผ่านหมู่เมทิลลอล โดยมีเมทิลีนควิโนน (Methylene quinone) เป็นสารมัธยันตร์ (Intermediate) ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาภายใต้อุณหภูมิสูง (Thelamon, 1963) โดยปฏิกิริยาที่เป็นไปได้แสดงดังรูปที่ 5.25 ดังนั้นการใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้เชื่อว่าจะสามารถทำให้เกิดการส่งผ่านความเค้น (Stress transfer) ระหว่างเฟสของอนุภาคยางกับพอลิโพรไพลีน โดยพบว่าการใช้ Ph-PP ที่ระดับ 5% โดยน้ำหนักของพอลิโพรไพลีน พอลิเมอร์เบสชนิดมีค่าความสามารถในการยืดจนขาดสูงที่สุด

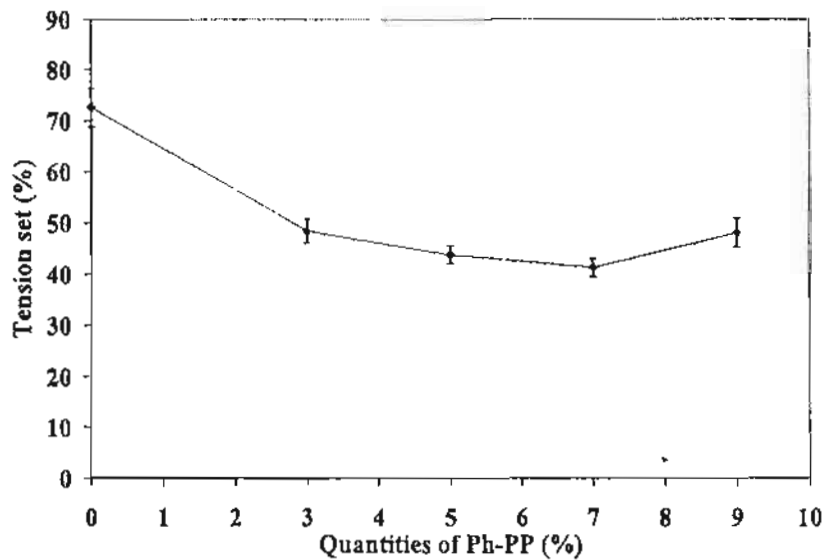


รูปที่ 5.25 ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่เป็นไปได้ระหว่าง Ph-PP กับโมเลกุลของยางธรรมชาติรีไซเคิล
(ดัดแปลงจาก Thelamon, 1963)

สำหรับการใช้ Ph-PP ในปริมาณที่มากกว่า 5% โดยน้ำหนักของพอลิโพรไพลีน พบว่ามีผลให้ความสามารถในการยึดเกาะของพอลิเมอร์เบลนด์มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ปริมาณที่มากเกินไป หรือเกินจุดวิกฤติของการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration, CMC) ส่งผลให้เกิดการอิ่มตัวของสารเพิ่มความเข้ากันได้บริเวณผิวประจัญ (Interface saturation) และเกิดการรวมตัวอยู่ในรูปของไมเซลล์ แยกออกมาเป็นเฟสที่สามในของพอลิเมอร์เบลนด์ (George *et al.*, 1999) ซึ่งอาจมีส่งผลให้พอลิเมอร์เบลนด์มีความสามารถในการยึดเกาะลดลง



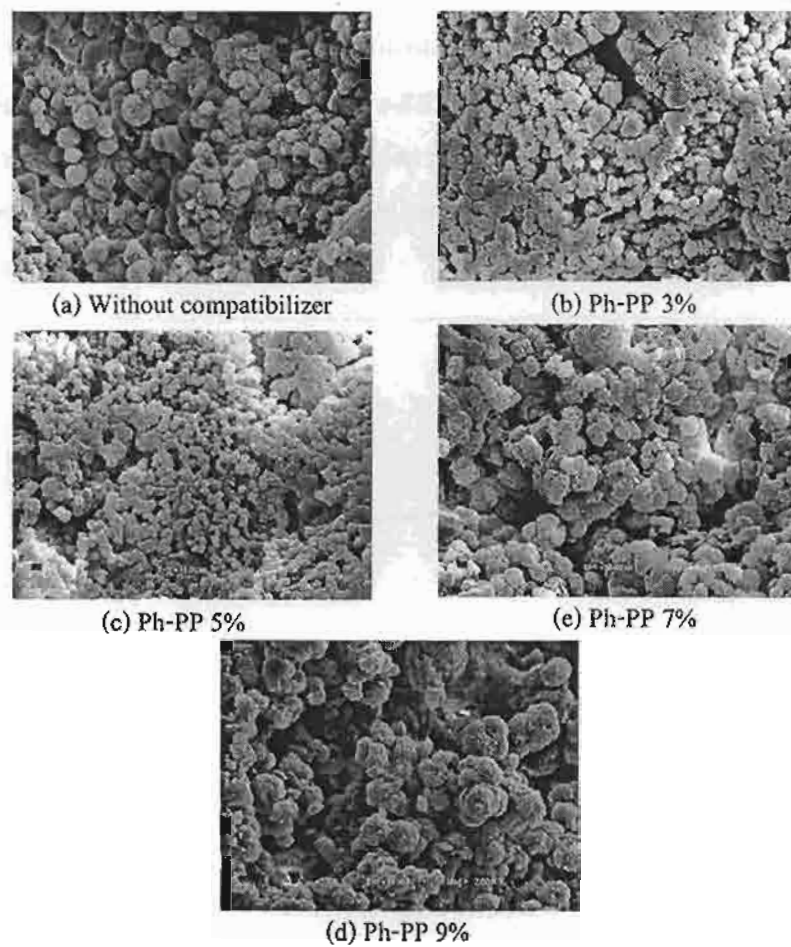
รูปที่ 5.26 ลักษณะการเกิดไมเซลล์ของสารเพิ่มความเข้ากันได้พอลิเมอร์เบลนด์
(ดัดแปลงจาก George *et al.*, 1999)



รูปที่ 5.27 ค่าการผิดรูปอย่างถาวรเนื่องจากการยืดของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP เมื่อใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ที่ระดับต่างๆ

จากรูปที่ 5.27 พบว่าการใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้สามารถช่วยปรับปรุงความสามารถในการคืนรูปของพอลิเมอร์เบลนด์ เนื่องจากพอลิเมอร์เบลนด์มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสของอนุภาคยางกับพอลิโพรไพลีนเพิ่มขึ้น แต่การใช้ Ph-PP ในปริมาณที่มากเกินไป เชื่อว่ามีผลทำให้ Ph-PP ซึ่งเกิดการผิดรูปอย่างถาวร กระจายตัวเป็นเฟสที่สามอยู่ในพอลิเมอร์เบลนด์เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้พอลิเมอร์มีความสามารถในการคืนลดลง

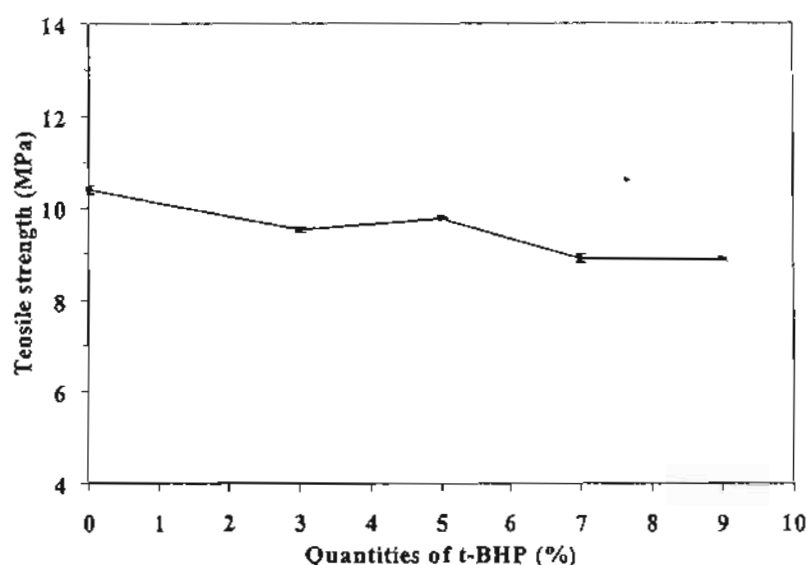
เมื่อพิจารณาลักษณะฐานวิทยาศาสตร์ของพอลิเมอร์เบลนด์ ดังแสดงในรูปที่ 5.28 พบว่าการใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ มีผลให้เฟสของอนุภาคยางซึ่งกระจายตัวอยู่ในเฟสของพอลิโพรไพลีนมีขนาดลดลง และมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก Ph-PP สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทั้งกับเฟสของอนุภาคยางและพอลิโพรไพลีน ดังนั้นการใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้สามารถลดความตึงผิวบริเวณผิวประจัญของพอลิเมอร์เบลนด์ แต่การใช้ Ph-PP ในปริมาณที่มากกว่า 5% เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิโพรไพลีน พบว่ามีผลทำให้เฟสของอนุภาคยางมีขนาดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.28 SEM ไมโครกราฟของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP เมื่อใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่ระดับต่างๆ ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

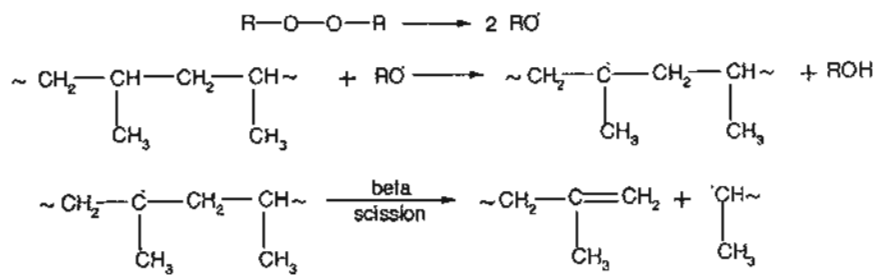
5.4 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของยางรีคลมกับพอลิโพรไพลีน (RR/PP) โดยใช้เทอร์เชียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (*tert*-butylhydroperoxide, *t*-BHP) สารริเริ่มปฏิกิริยา

เตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ระหว่าง RR/PP ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยใช้ *t*-BHP เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาที่ระดับ 0, 3, 5, 7 และ 9% โดยน้ำหนักพอลิโพรไพลีน ตามวิธีการในหัวข้อ 4.3.4 ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.29-5.34

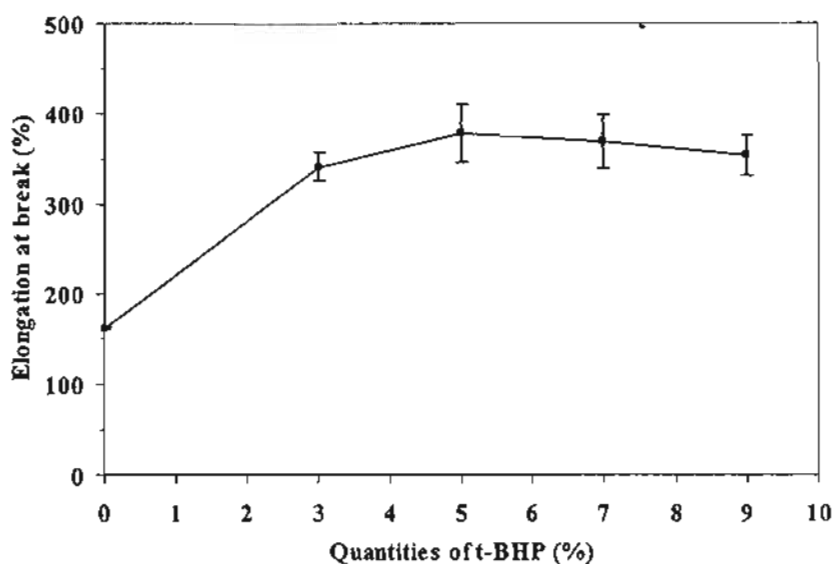


รูปที่ 5.29 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP เมื่อใช้ *t*-BHP สารริเริ่มปฏิกิริยาที่ระดับต่างๆ

จากรูปที่ 5.29 พบว่าการใช้ *t*-BHP สารริเริ่มปฏิกิริยาในการเบลนด์แบบรีเอคทีฟ มีผลทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนด์ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากยางธรรมชาติ ($8.1 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$) และพอลิโพรไพลีน ($8.07 \text{ (cal/cm}^3)^{1/2}$) มีค่าตัวแปรการละลาย (Solubility parameter) ใกล้เคียงกัน (Sears and Darby, 1982) ดังนั้น *t*-BHP จึงมีโอกาสดเกิดปฏิกิริยาได้ทั้งกับเฟสของพอลิโพรไพลีนและยางรีคลมในระหว่างการเบลนด์ โดยอนุมูลอิสระของเทอร์เชียรีบิวทอกซี (*tert*-butoxy radical) ที่เกิดขึ้น สามารถเข้าปฏิกิริยากับเฟสของพอลิโพรไพลีน โดยการดึงไฮโดรเจนอะตอมจากคาร์บอนในตำแหน่งที่ทำให้เกิดคาร์บอนองศา 3 (Tertiary carbon) บนโครงสร้างโมเลกุลของพอลิโพรไพลีน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดปฏิกิริยาการตัดสายโซ่โมเลกุล ที่เรียกว่า β -scission ดังปฏิกิริยาแสดงในรูปที่ 5.30

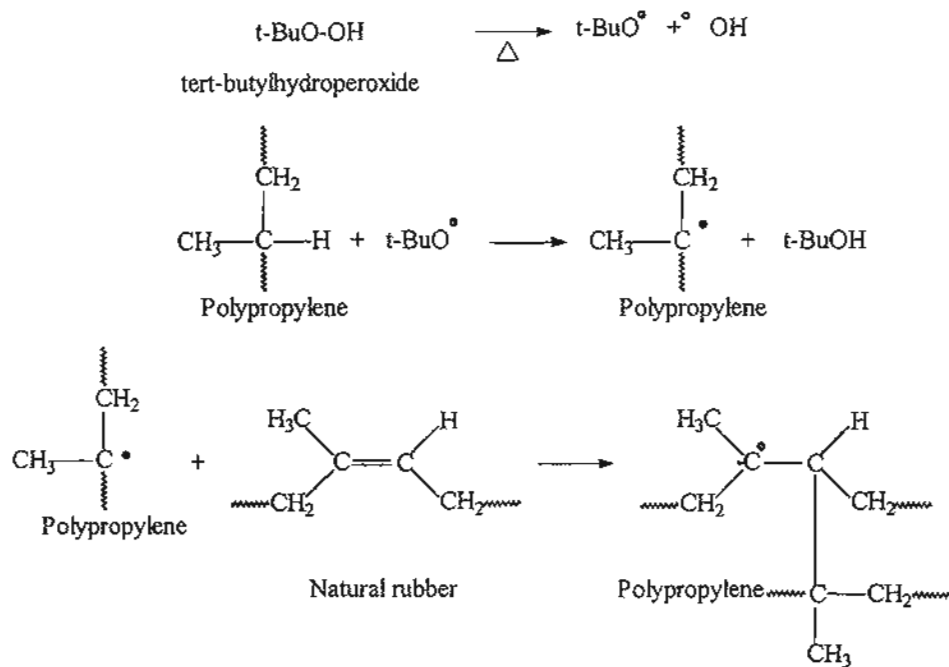


รูปที่ 5.30 กลไกการเกิด β -scission บนสายโซ่โมเลกุลของพอลิโพรไพลีน (George *et al.*, 2000b)

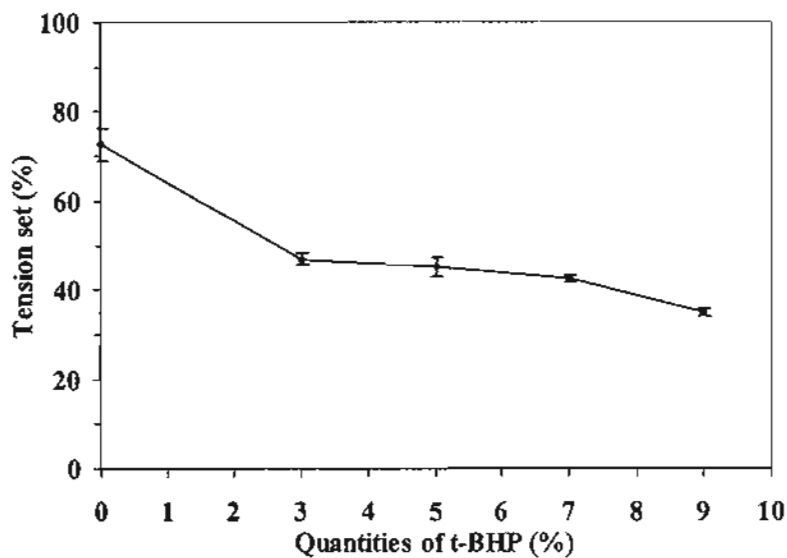


รูปที่ 5.31 ความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP เมื่อใช้ t-BHP เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาที่ระดับต่างๆ

เมื่อพิจารณาความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ ดังแสดงในรูปที่ 5.31 พบว่าการใช้ t-BHP เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา สามารถช่วยปรับปรุงความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ โดยพบว่าการใช้ t-BHP ที่ระดับ 5 % โดยน้ำหนักของพอลิโพรไพลีน พอลิเมอร์เบลนด์มีความสามารถในการยืดจนขาดสูงที่สุดเนื่องจากการใช้ t-BHP เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาในการเบลนด์ นอกจากมีผลทำให้ความสามารถในการตกผลึกของพอลิโพรไพลีนลดลง ซึ่งเป็นการเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างเฟสของยางรีคลมกับพอลิโพรไพลีน อีกทั้งเชื่อว่าจะสามารถทำให้พอลิโพรไพลีนบางส่วนเกิดปฏิกิริยาการเกาะติดบริเวณผิวอนุภาคนยาง ส่งผลทำให้พอลิเมอร์เบลนด์มีความสามารถในการส่งผ่านความเค้นเพิ่มขึ้น (Liu *et al.*, 2002) โดยปฏิกิริยาที่เป็นไปได้แสดงดังรูปที่ 5.32

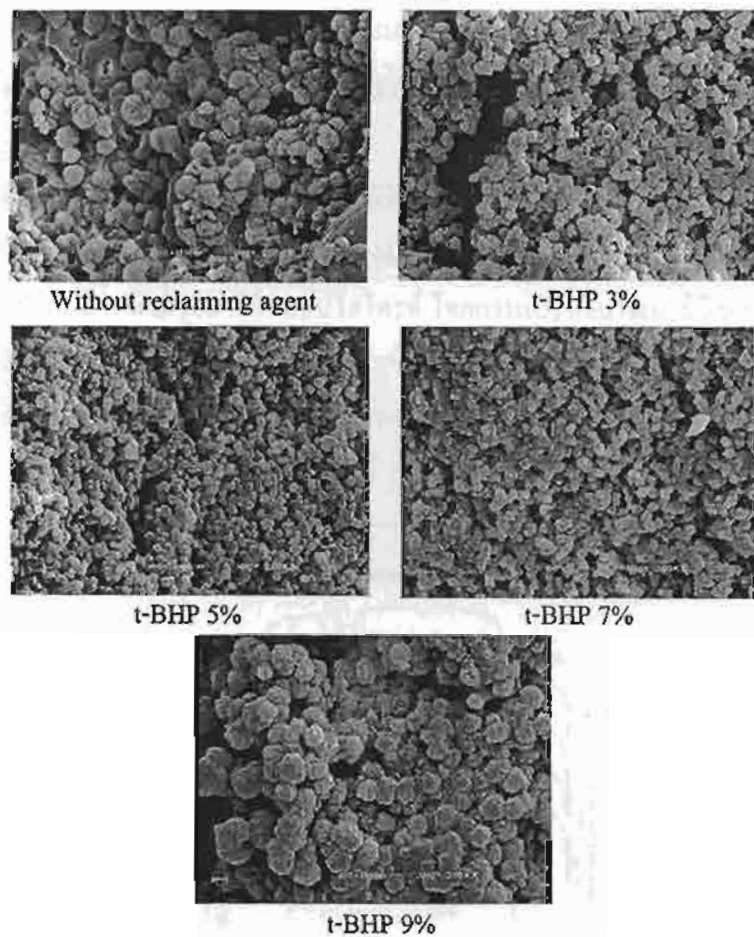


รูปที่ 5.32 ปฏิกิริยาการเกาะติดของพอลิโพรไพลีนบนผิวอนุภาคนาวยางที่กล่าวเกิดขึ้น เมื่อใช้ t-BHP เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา (Liu *et al.*, 2002)



รูปที่ 5.33 ค่าการผิดรูปอย่างถาวรเนื่องจากการยึดของพอลิเมอร์แบบลนด์ RR/PP เมื่อใช้ t-BHP เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาที่ระดับต่างๆ

จากรูปที่ 5.33 พบว่าค่าการผิวดรูปอย่างถาวรเนื่องจากการปิดของพอลิเมอร์เบลนด์มีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้ t-BHP ในปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจาก t-BHP สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมภายในสายโซ่โมเลกุลของยางรีเคลม ส่งผลทำให้พอลิเมอร์เบลนด์มีความสามารถในการคืนรูปดีขึ้น



รูปที่ 5.34 SEM ไมโครกราฟของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP เมื่อใช้ t-BHP เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา ที่ระดับต่างๆ ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

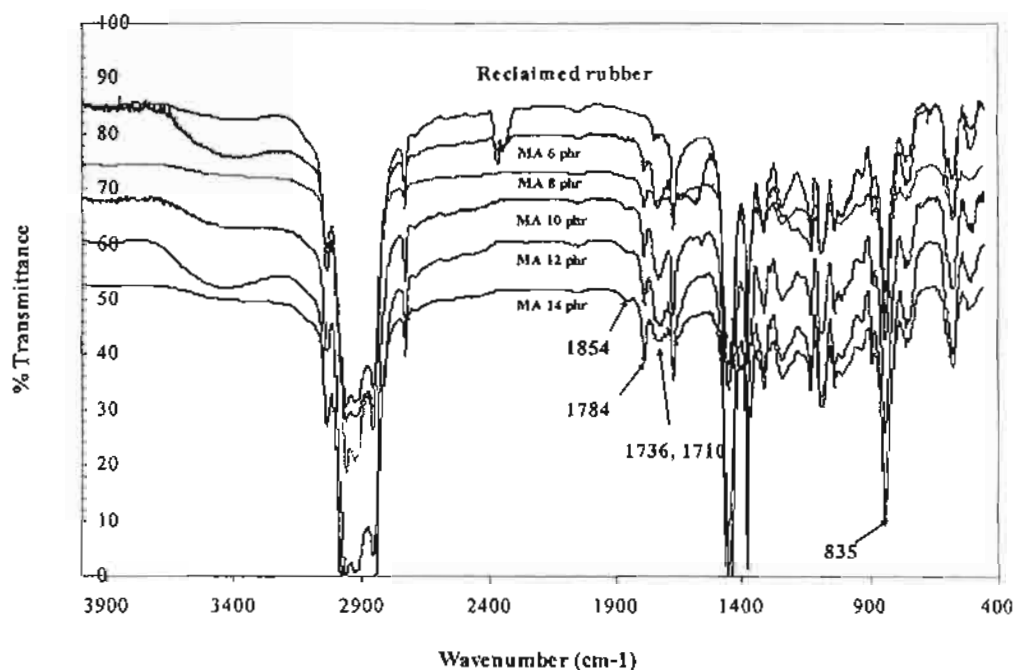
เมื่อพิจารณาลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP เมื่อใช้ t-BHP เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยา โดยการสกัดเฟสของพอลิโพรไพลีนออก ดังแสดงในรูปที่ 5.34 พบว่าการใช้ t-BHP ในช่วง 3-7 % โดยน้ำหนักของพอลิโพรไพลีน มีผลทำให้เฟสอนุภาคยางที่กระจายตัวอยู่ในเฟสของพอลิโพรไพลีนมีขนาดเล็กลง และมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ทั้งนี้เชื่อว่าการใช้ t-BHP เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาในระหว่างการเบลนด์ นอกจากสามารถปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างเฟสของ

ยางรีเคลมกับพอลิโพรไพลีน ยังมีผลทำให้เฟสอนุภาคยางเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมในระหว่างการเบลนด์ ซึ่งมีผลทำให้เฟสอนุภาคยางมีเสถียรทางสัณฐานวิทยาเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีค่าพลังงานผิวลดลง แต่การใช้ในปริมาณที่มากกว่า 7% โดยน้ำหนักของพอลิโพรไพลีน พบว่ามีผลทำให้เฟสอนุภาคยางมีขนาดเพิ่มขึ้น

5.5 การเตรียมพอลิเมอร์เบสของยางรีเคลมดัดแปลงสภาพผิวด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ (*Maleic anhydride modified reclaimed rubber, RR-g-MA*) กับพอลิโพรไพลีน

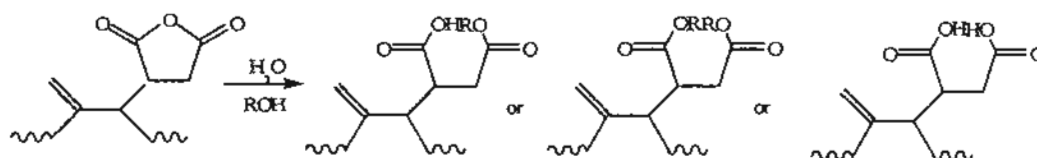
5.5.1 การดัดแปลงสภาพผิวยางรีเคลมด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ (RR-g-MA)

นำยางรีเคลมที่เตรียมได้จากการบดเศษถุงมือยางร่วมกับ TMTD 1 phr เป็นระยะเวลา 40 นาที มาดัดแปลงสภาพผิวด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ โดยการแปรปริมาณมาลิกแอนไฮไดรด์ที่ระดับ 6, 8, 10, 12 และ 14 phr ตามวิธีการในหัวข้อที่ 4.3.5.1 จากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปีได้ผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 5.35



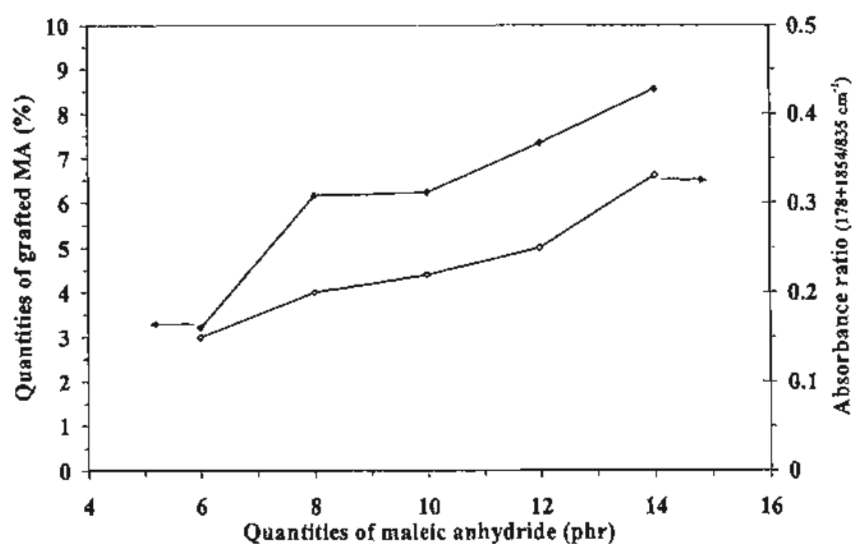
รูปที่ 5.35 สเปกตรัมอินฟราเรดของยาง RR-g-MA ที่เตรียมได้ เมื่อทำการแปรปริมาณมาลิกแอนไฮไดรด์ที่ระดับต่างๆ

จากสเปกตรัมอินฟราเรดของยาง RR-g-MA ดังแสดงในรูปที่ 5.35 พบว่าปรากฏแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรด การยืดแบบสมมาตรของคาร์บอนิล (C=O) (Symmetric stretching vibration) ความเข้มปานกลาง ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1784 cm^{-1} และแบบไม่สมมาตร (Asymmetric stretching vibration) ความเข้มต่ำ ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1854 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการเกาะติดของวงแหวนห้าเหลี่ยมแอโนไฮไดรด์ (Succinic anhydride) บนโครงสร้างโมเลกุลของยางรีเคลม นอกจากนี้ยังพบแถบการดูดกลืนที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1710 cm^{-1} และ 1736 cm^{-1} ของหมู่คาร์บอนิลที่เกิดจากปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนของหมู่แอโนไฮไดรด์ เนื่องจากความชื้นอยู่ในรูปของคาร์บอนิลเอสเทอร์ (Carbonyl ester) และกรดมาลิก (Maleic acid) ดังแสดงในรูปที่ 5.36 (Nakason *et al.*, 2004)



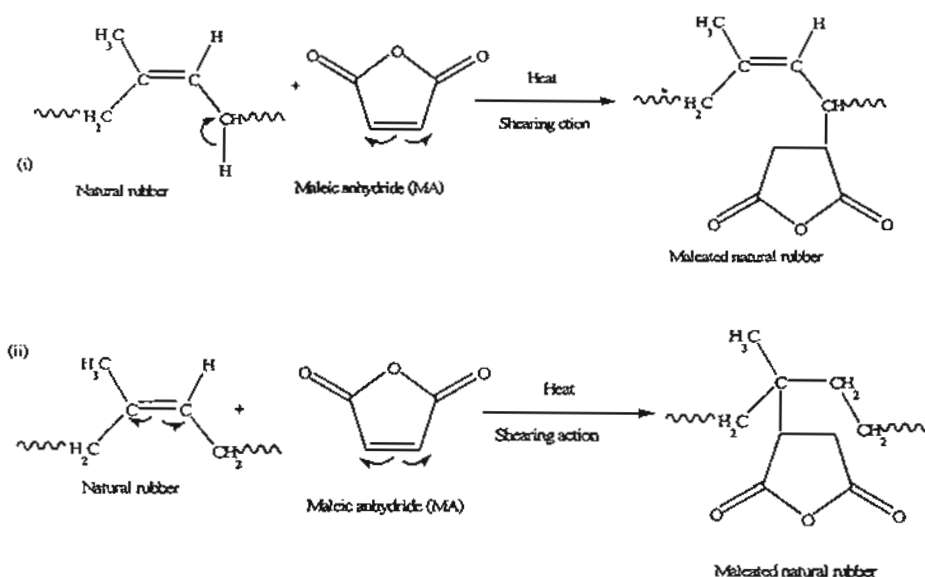
รูปที่ 5.36 ปฏิกิริยาการแตกตัวของวงแหวนมาลิกแอโนไฮไดรด์ (Nakason *et al.*, 2004)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการเกาะติดของมาลิกแอโนไฮไดรด์บนโมเลกุลยางรีเคลมโดยใช้อัตราส่วนการดูดกลืน (Absorbance ratio) ของพีคที่ $(1784+1854\text{ cm}^{-1})/835\text{ cm}^{-1}$ (Bettini and Agnelli, 2001 and Severini, *et al.*, 1999) และโดยวิธีการไทเทรต ตามวิธีการในหัวข้อ 4.4.1.6 และ 4.4.1.7 ตามลำดับ ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.37

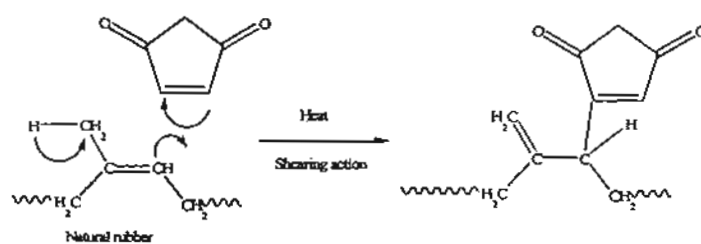


รูปที่ 5.37 ปริมาณเกาะติดของมาลิกแอโนไฮไดรด์บนโมเลกุลของยางรีเคลม เมื่อทำการวิเคราะห์โดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปีและวิธีการไทเทรต

จากรูปที่ 5.37 พบว่าปริมาณการเกาะติดของมาลิกแอนไฮไดรด์บนโมเลกุลยางรีเคลมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามปริมาณมาลิกแอนไฮไดรด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เนื่องจากภายใต้อุณหภูมิและแรงเฉือนที่เหมาะสม มาลิกแอนไฮไดรด์สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ที่ยังเหลืออยู่ในโครงสร้างโมเลกุลของยางรีเคลม ดังนั้นการเพิ่มปริมาณมาลิกแอนไฮไดรด์ จึงเป็นการเพิ่มโอกาสให้มาลิกแอนไฮไดรด์สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของยางรีเคลมเพิ่มขึ้น โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เป็นไปได้แสดงดังรูปที่ 5.38



A: Free radical mechanism



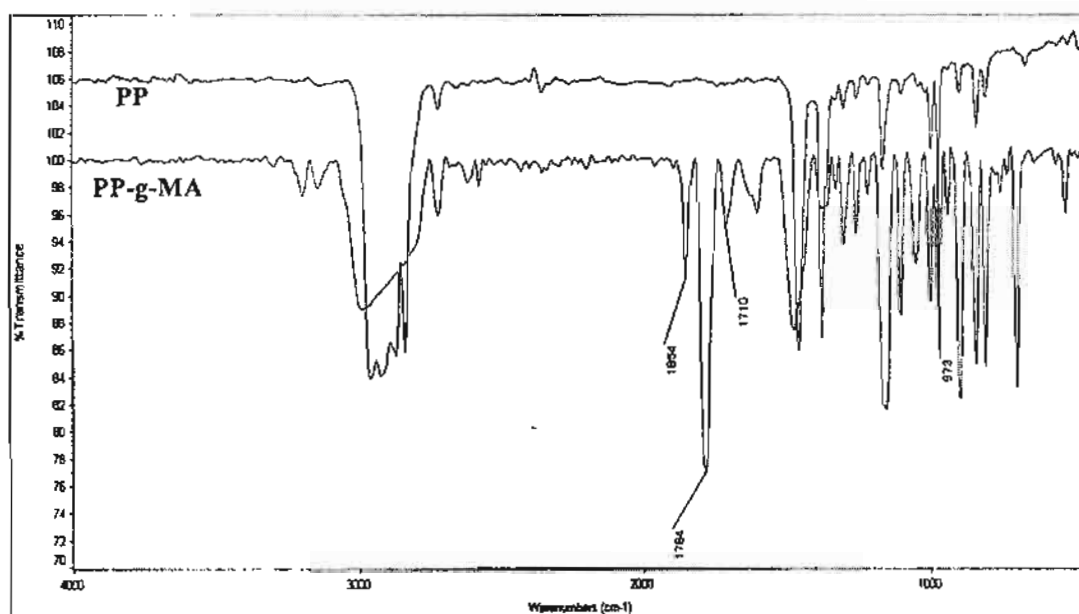
B: Diels – Alder reaction

รูปที่ 5.38 กลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ของการกราฟต์มาลิกแอนไฮไดรด์บนโมเลกุลของยางรีเคลม (Nakason *et al.*, 2006b)

จากรูปที่ 5.38 จะเห็นว่ากลไกปฏิกิริยาการเกาะติดของมาลิกแอนไฮไดรด์บนโมเลกุลของยางรีเคลมที่เป็นไปได้ มี 2 แบบ คือ การเกิดปฏิกิริยาแบบอนุมูลอิสระ (Free radical mechanism) ซึ่งเป็นกลไกที่เกิดขึ้น เนื่องด้วยแรงเฉือนและความร้อนในระหว่างผสม ผ่านพันธะคู่และคาร์บอนในตำแหน่งอัลไลลิก (Allylic carbon atom) ในโครงสร้างโมเลกุลของยางรีเคลม และการเกิดผ่านกลไกปฏิกิริยาแบบดีลส์อัลเดอร์ (Diels-Alder reaction) ซึ่งเป็นกลไกที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้มาก ในขณะบดผสมยางรีเคลมกับมาลิกแอนไฮไดรด์ (Nakason *et al.*, 2006b)

5.5.2 การดัดแปลงสภาพผิวของพอลิโพรพิลีนด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA)

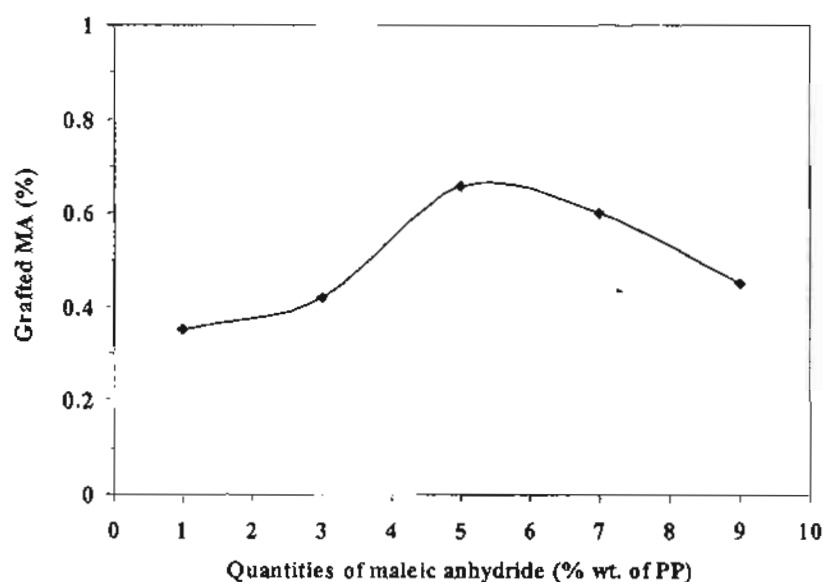
นำ PP-g-MA ที่เตรียมได้ จากหัวข้อที่ 4.3.5.2 มาทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการดกตะกอนใหม่ จากนั้นนำไปอัดแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องอัดใบที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.39



รูปที่ 5.39 สเปกตรัมอินฟราเรดของ PP-g-MA

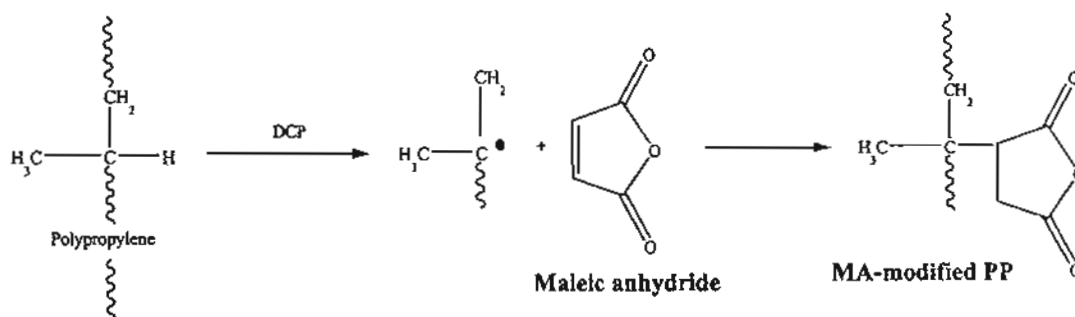
จากรูปที่ 5.39 พบว่าสเปกตรัมอินฟราเรดของ PP-g-MA ที่เตรียมได้แตกต่างจากสเปกตรัมอินฟราเรดของพอลิโพรพิลีน โดยปรากฏแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรด การยืดแบบสมมาตรและไมสมมาตรของคาร์บอนิล (C=O) ของหมู่ซัคซินิกแอนไฮไดรด์ ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1784 cm^{-1} และ 1854 cm^{-1} ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงการเกาะติดของมาลิกแอนไฮไดรด์บนโครงสร้างโมเลกุลของพอลิโพรพิลีน นอกจากนี้ยังพบแถบการดูดกลืนของหมู่คาร์บอนิล ที่เกิดจากการแตกตัวของหมู่ซัคซินิกแอนไฮไดรด์

ไฮโดรด์ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1710 cm^{-1} โดยผลการวิเคราะห์หาปริมาณการกราฟต์ของมาลิกแอนไฮโดรด์บนโพลีโพรพิลีนด้วยเทคนิคการไทเทรต ตามวิธีการในหัวข้อ 4.4.2 แสดงดังรูปที่ 5.40



รูปที่ 5.40 ปริมาณการเกาะติดของมาลิกแอนไฮโดรด์บนโพลีโพรพิลีน เมื่อใช้มาลิกแอนไฮโดรด์ที่ระดับต่างๆ

จากรูปที่ 5.40 พบว่าปริมาณการกราฟต์ของมาลิกแอนไฮโดรด์บนโพลีโพรพิลีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณมาลิกแอนไฮโดรด์ จนถึงที่ระดับ 5% โดยน้ำหนักของโพลีโพรพิลีน และมีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าโพลีโพรพิลีนมีปริมาณการเกาะติดของหมู่ซัคซินิลแอนไฮโดรด์สูงสุดประมาณ 0.66 % ปฏิกิริยาที่เป็นได้ของการกราฟต์มาลิกแอนไฮโดรด์บนโพลีโพรพิลีนแสดงดังรูปที่ 5.41

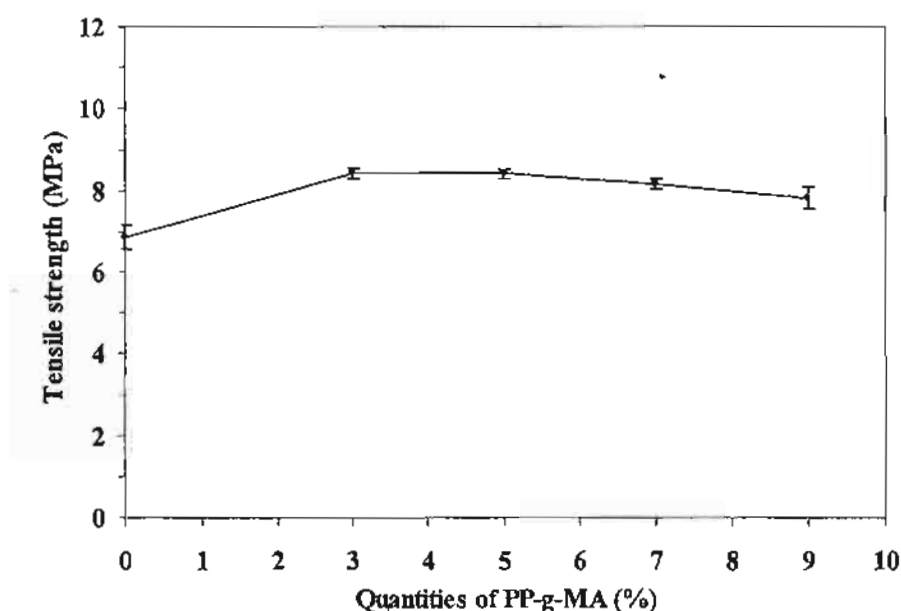


รูปที่ 5.41 ปฏิกิริยาที่เป็นได้ของการกราฟต์มาลิกแอนไฮโดรด์บนโพลีโพรพิลีน

(George *et al.*, 1995)

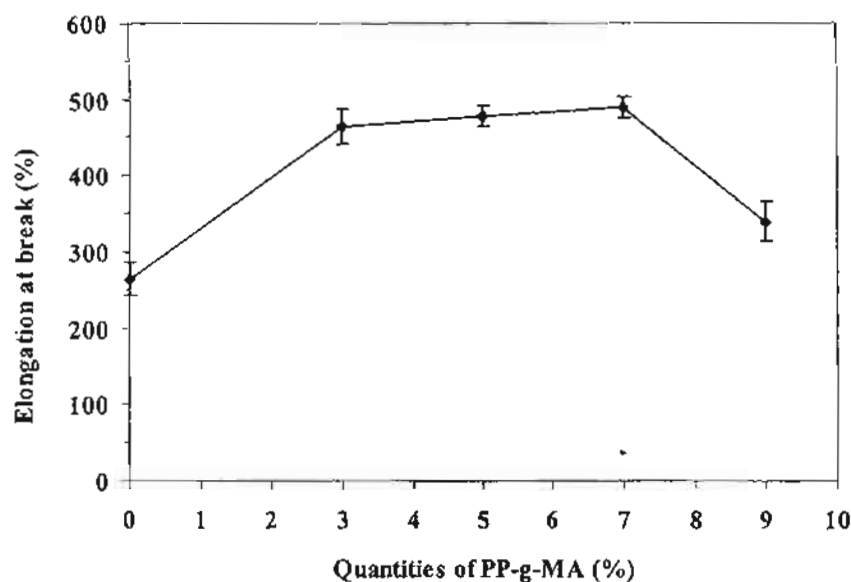
5.5.3 การใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ในการเบลนด์ของ RR-g-MA/PP

นำพอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP ที่เตรียมได้โดยใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่ระดับ 0, 3, 5, 7 และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิโพรพิลีน มาทำการขึ้นรูปขึ้นทดสอบโดยวิธีการฉีดเข้าเบ้า จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ และความต้านทานต่อตัวทำละลาย ตามวิธีการทดสอบในหัวข้อ 4.4.4 และ 4.4.5 ตามลำดับ รวมทั้งทดสอบความสามารถในการแปรรูปซ้ำ ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.42-5.49



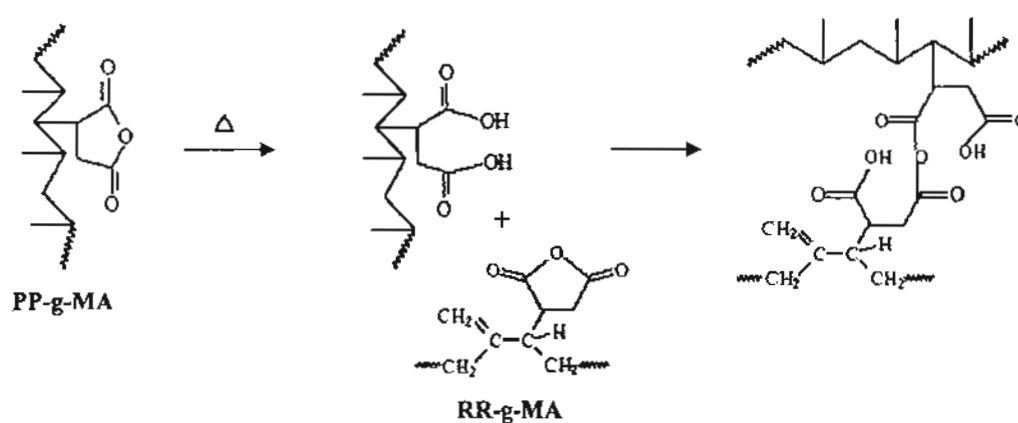
รูปที่ 5.42 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP เมื่อใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่ระดับต่างๆ

จากรูปที่ 5.42 พบว่าการใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ มีผลทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนด์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสของอนุภาคยางกับพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น โดยพบว่าการใช้ที่ระดับ 5 % โดยน้ำหนักของพอลิโพรพิลีน พอลิเมอร์เบลนด์มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุด



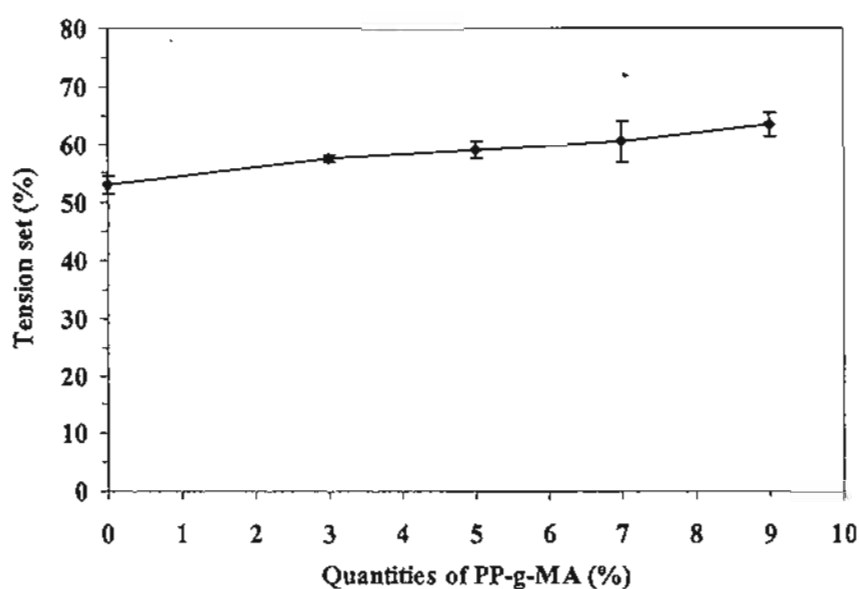
รูปที่ 5.43 ความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP เมื่อใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่ระดับต่างๆ

เมื่อพิจารณาความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ ดังแสดงในรูปที่ 5.43 พบว่า การใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ สามารถช่วยปรับปรุงความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของ PP-g-MA ประกอบด้วยส่วนของมาลิกแอนไฮไดรด์ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่มาลิกแอนไฮไดรด์ในโครงสร้างโมเลกุลของยาง RR-g-MA โดยปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.44



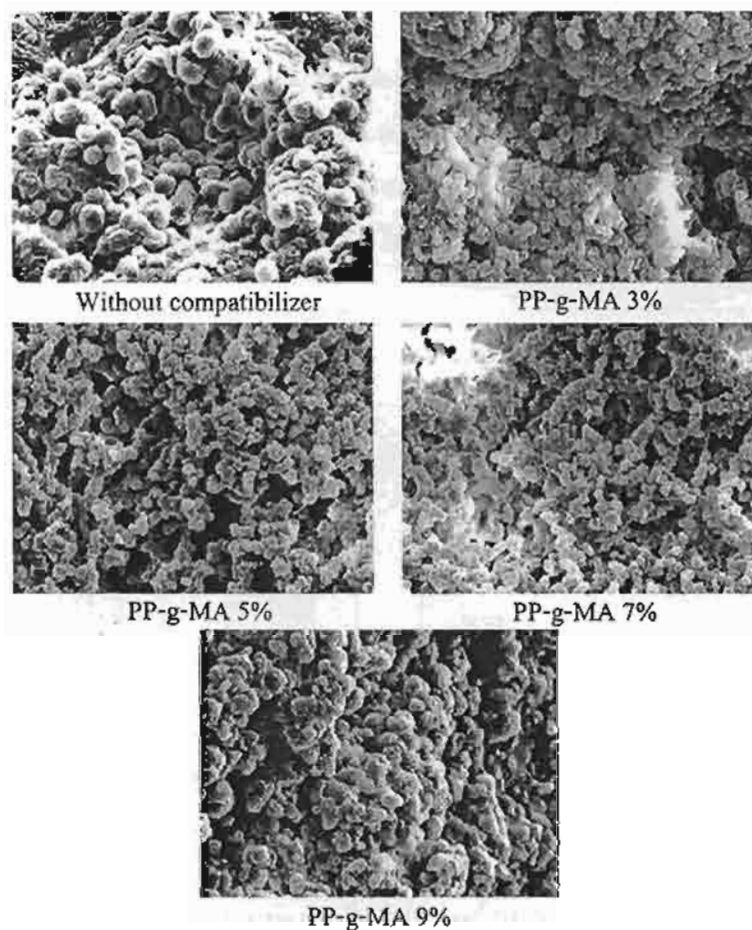
รูปที่ 5.44 ปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง RR-g-MA กับ PP-g-MA (ดัดแปลงจาก Nakason *et al.*, 2006a)

ดังนั้นการใช้ PP-g-MA ในปริมาณที่มีความเหมาะสม เชื่อว่าสามารถช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์เบลนด์ ส่งผลทำให้ความสามารถในการส่งผ่านความเค้นระหว่างเฟสของอนุภาคนาโนกับพอลิโพรไพลีนเพิ่มขึ้น โดยพบว่าการใช้ PP-g-MA ที่ระดับ 7% โดยน้ำหนักของพอลิโพรไพลีน พอลิเมอร์เบลนด์ที่เตรียมได้มีความสามารถในการยืดจนขาดสูงที่สุด แต่การใช้ PP-g-MA ในปริมาณที่มากกว่า 7% พบว่ามีผลทำให้ความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ลดลง ซึ่งเชื่อว่าเป็นผลจากการมีความเข้มข้นของสารเพิ่มความเข้ากันได้เกินจุดวิกฤติของการเกิดไมเซลล์



รูปที่ 5.45 ค่าการยืดตัวอย่างถาวรเนื่องจากการยืดของพอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP เมื่อใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่ระดับต่างๆ

จากในรูปที่ 5.45 พบว่าพอลิเมอร์เบลนด์ที่เตรียมได้มีความสามารถในการคืนรูปของค่อนข้างต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากเฟสอนุภาคนาโน RR-g-MA ซึ่งเป็นส่วนที่แสดงสมบัติความยืดหยุ่นในพอลิเมอร์เบลนด์เกิดการวัลคาไนซ์ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งการใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ มีผลทำให้อัตราส่วนโดยปริมาตรของพอลิโพรไพลีนในพอลิเมอร์เบลนด์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้พอลิเมอร์เบลนด์มีความสามารถในการกลับคืนรูปลดลง เนื่องจากมีเฟสซึ่งเกิดการยืดตัวอย่างถาวรเพิ่มขึ้น

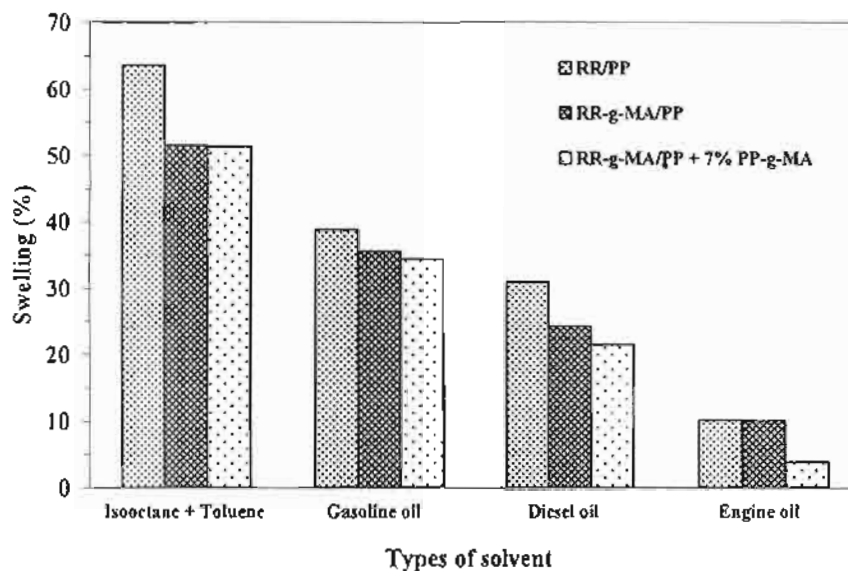


รูปที่ 5.46 SEM ไมโครกราฟของพอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP เมื่อใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ที่ระดับต่างๆ ที่กำลังขยาย 2000 เท่า

จากรูปที่ 5.46 พบว่าการใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ มีผลทำให้เฟสของอนุภาคยางที่กระจายตัวอยู่ในเฟสของพอลิโพรไพลีนมีขนาดเล็กลง ทั้งนี้เชื่อว่า PP-g-MA สามารถลดความตึงผิวบริเวณผิวประจัญของพอลิเมอร์เบลนด์ ส่งผลทำให้พอลิเมอร์เบลนด์มีความเข้ากันได้เพิ่มขึ้น โดยพบว่าการใช้ PP-g-MA ในช่วง 3-7% โดยน้ำหนักของพอลิโพรไพลีน เฟสของอนุภาคยางมีขนาดอนุภาคไม่แตกต่างกันมากนัก แต่สำหรับการใช้ที่ระดับ 9% โดยน้ำหนักของพอลิโพรไพลีน พบว่ามีผลทำให้เฟสของอนุภาคยางมีขนาดเพิ่มขึ้น

5.5.4 สมบัติความต้านทานต่อตัวทำละลาย

เตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของ RR/PP, RR-g-MA/PP และ RR-g-MA/PP ซึ่งใช้ 7% PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ที่อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 จากนั้นนำไปทดสอบความต้านทานต่อตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ ตัวทำละลายผสมระหว่างไอโซออกเทนกับโทลูอีน (50/50) น้ำเบนซีน น้ำมันดีเซล และน้ำมันเครื่อง ตามวิธีการทดสอบในหัวข้อ 4.4.5 ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.47

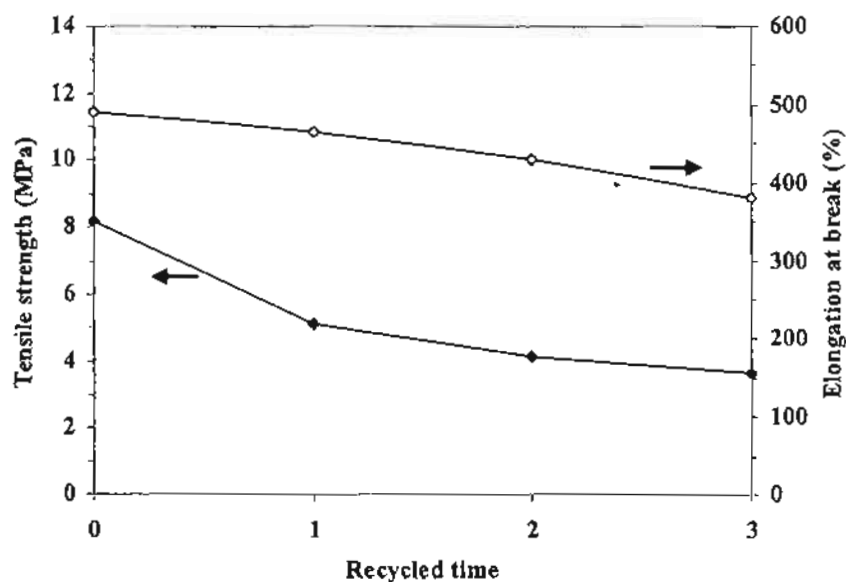


รูปที่ 5.47 ความต้านทานต่อตัวทำละลายของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP, RR-g-MA/PP และ RR-g-MA/PP + 7% PP-g-MA

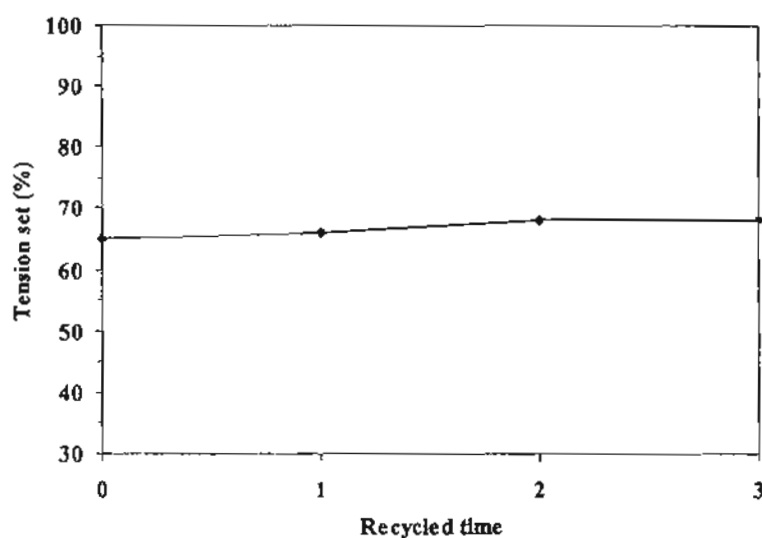
จากรูปที่ 5.47 พบว่าการดัดแปลงสภาพผิวของขงรีเคลมด้วยมาลิอิกแอนไฮไดรด์สามารถปรับปรุงความต้านทานต่อตัวทำละลายของพอลิเมอร์เบลนด์ เนื่องจากการมีหมู่มาลิอิกแอนไฮไดรด์อยู่ในโครงสร้างทำให้ยาง RR-g-MA มีสภาพความเป็นขั้วมากกว่ายางรีเคลม ส่งผลทำให้พอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP มีความต้านทานต่อตัวทำละลายมากกว่าพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP โดยพบว่าพอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP มีความต้านทานต่อการบวมพองดีที่สุดใ้น้ำมันเครื่องและต่ำที่สุดในตัวทำละลายผสมระหว่างไอโซออกเทน+โทลูอีน (50/50) เนื่องด้วยพอลิโพรไพลีนซึ่งเป็นเฟสต่อเนื่องในพอลิเมอร์เบลนด์ มีค่าตัวแปรการละลาย (8.07 cal/cm^3)^{1/2}) ใกล้เคียงกับค่าตัวแปรการละลาย ของโทลูอีน (8.9 (cal/cm^3)^{1/2}) มากที่สุด (Sears and Derby, 1982) นอกจากนี้การใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ พบว่ามีผลทำให้พอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP มีความต้านทานต่อน้ำเบนซีน น้ำมันดีเซล และน้ำมันเครื่องเพิ่มขึ้น แต่สำหรับตัวทำละลายผสมของไอโซออกเทน+โทลูอีน (50/50) พบว่าไม่มีผลมากนัก

5.5.5 ความสามารถในการแปรรูปซ้ำ

นำพอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP (60/40) ที่เตรียมได้โดยใช้ PP-g-MA 7% โดยน้ำหนักของพอลิโพรพิลีนเป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ มาตัดเม็ดและนำไปฉีดขึ้นรูปใหม่ จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ ตามวิธีการทดสอบในหัวข้อ 4.4.4 ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.48 และ 5.49



รูปที่ 5.48 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP เมื่อนำกลับมาแปรรูปซ้ำ



รูปที่ 5.49 ค่าการผิดรูปอย่างถาวรเนื่องจากการยืดของพอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP เมื่อนำกลับมาแปรรูปซ้ำ

จากรูปที่ 5.48 และ 5.49 พบว่าความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดตัวของ พอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP มีแนวโน้มลดลง ตามจำนวนครั้งของการแปรรูปซ้ำ เนื่องจากการได้รับความร้อนซ้ำๆ ในขณะแปรรูป ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์เบลนด์ถูกตัดขาดและมีน้ำหนักโมเลกุลลดลง แต่สำหรับค่าการผิดรูปอย่างถาวรเนื่องจากการยืด พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

6. สรุปผล

6.1 การรีเคลมเศษถุงมือยางธรรมชาติ

6.1.1 อิทธิพลของชนิดและปริมาณสารรีเคลมมิงเอเจนต์

- ยางรีเคลมที่เตรียมได้จากการบดเศษถุงมือร่วมกับสารรีเคลมมิงเอเจนต์ พบว่ามีค่าความหนืดมูนี้ต่ำกว่าการบดเศษถุงมือโดยไม่ใส่สารรีเคลมมิงเอเจนต์
- ปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการใช้ TMTD และ MBT เป็นสารรีเคลมมิงเอเจนต์ คือ ที่ระดับ 1 phr แต่ในกรณีการใช้ DADS พบว่าปริมาณที่เหมาะสม คือ 2 phr

6.1.2 อิทธิพลของระยะเวลาการบด

- ค่าความหนืดมูนี้และปริมาณเจลของยางรีเคลมมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มระยะเวลาการบด ในขณะที่ส่วนของสายโซ่โมเลกุลที่ละลายได้ในโทลูอีนมีปริมาณเพิ่มขึ้น
- ยางรีเคลมที่เตรียมได้จากการใช้ MBT และ DADS เป็นสารรีเคลมมิงเอเจนต์ พบว่ามีปริมาณเจลต่ำกว่าการใช้ TMTD เป็นสารรีเคลมมิงเอเจนต์ อีกทั้งพบว่ามีส่วนของสายโซ่โมเลกุลที่สามารถเกิดการละลายมากกว่า
- น้ำหนักโมเลกุลในส่วน of สายโซ่โมเลกุลที่สามารถละลายได้ของยางรีเคลมมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ DADS เป็นสารรีเคลมมิงเอเจนต์ รองลงมาคือ TMTD และ MBT

6.2 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของยางรีเคลมกับพอลิโพรพิลีน (RR/PP)

6.2.1 สมบัติเชิงพลวัต

- ค่าโมดูลัสสะสมของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการเบลนด์ของยางรีเคลม ในขณะที่ค่าลอสแทนเจนต์มีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าที่อัตราส่วนการเบลนด์ 80/20 พอลิเมอร์เบลนด์มีค่าโมดูลัสสะสมสูงสุดและมีค่าลอสแทนเจนต์ต่ำที่สุด
- ค่าความหนืดเชิงซ้อนของพอลิเมอร์เบลนด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการเบลนด์ของยางรีเคลม

6.2.2 สมบัติทางกายภาพ

- ความแข็งตึงและค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนค์มีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการเบลนค์ของยางรีเคลม
- การเบลนค์ที่อัตราส่วน 60/40 (RR/PP) พอลิเมอร์เบลนค์มีความสามารถในการยืดจนขาด สูงที่สุด
- ความสามารถในการคืนรูปของพอลิเมอร์เบลนค์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนการเบลนค์ของยางรีเคลม

6.3 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนค์ของ RR/PP โดยใช้โคเมทิลลอลฟีนอลิกเรซิน (Ph-PP) เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้

6.3.1 การดัดแปลงโมเลกุลของพอลิโพรไพลีนด้วยโคเมทิลลอลฟีนอลิกเรซิน (Ph-PP)

- จากสเปกตรัมอินฟราเรดของ Ph-PP ปรากฏแถบการดูดกลืนของหมู่ฟีนอลที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3195.50 cm^{-1} และแถบการดูดกลืนของหมู่ $\text{C}=\text{C}$ ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1656.77 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการเกาะติดของโคเมทิลลอลฟีนอลิกเรซินบนโครงสร้างโมเลกุลของพอลิโพรไพลีน

6.3.2 การใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ในการเตรียมพอลิเมอร์เบลนค์ RR/PP

- ความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนค์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามปริมาณ Ph-PP จนถึงที่ระดับ 5 % โดยน้ำหนักของพอลิโพรไพลีนและมีค่าลดลง แต่การใช้ Ph-PP เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้พบว่าไม่มีผลมากนักต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนค์
- ค่าการฉีกอย่างถาวรเนื่องจากการยืดของพอลิเมอร์เบลนค์มีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้ Ph-PP ในปริมาณเพิ่มขึ้น และมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้ที่ระดับ 7% โดยน้ำหนักของพอลิโพรไพลีน

6.4 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนค์ของ RR/PP โดยใช้เทอร์เชียรีบิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (t-BHP) สารริเริ่มปฏิกิริยา

- ความสามารถในการยืดจนขาดของพอลิเมอร์เบลนค์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามปริมาณ t-BHP และมีค่าสูงสุดที่ระดับ 5% โดยน้ำหนักของพอลิโพรไพลีน ในขณะที่ความต้านทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์เบลนค์มีแนวโน้มลดลง
- ค่าการฉีกอย่างถาวรเนื่องจากการยืดของพอลิเมอร์เบลนค์มีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้ t-BHP ในปริมาณเพิ่มขึ้น

6.5 การเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของยางรีเคลมดัดแปลงสภาพผิวด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ กับพอลิโพรไพลีน (RR-g-MA/PP)

6.5.1 การดัดแปลงสภาพผิวยางรีเคลมด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ (RR-g-MA)

- จากการวิเคราะห์โครงสร้างของ RR-g-MA ด้วย FTIR พบพีคการสั่นแบบยืดของหมู่คาร์บอนิล (C=O) ทั้งแบบสมมาตรและไม่สมมาตร ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1784 cm^{-1} และ 1854 cm^{-1} ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงการมีหมู่ซัคซินิกแอนไฮไดรด์อยู่ในโครงสร้างโมเลกุลของยางรีเคลม
- ปริมาณการเกาะติดของมาลิกแอนไฮไดรด์บนโมเลกุลของยางรีเคลมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณมาลิกแอนไฮไดรด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

6.5.2 การดัดแปลงสภาพผิวของพอลิโพรไพลีนด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA)

- สเปกตรัมอินฟราเรดของ PP-g-MA ปรากฏพีคการสั่นแบบยืดของหมู่คาร์บอนิล (C=O) แบบสมมาตรและไม่สมมาตร ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1784 cm^{-1} และ 1854 cm^{-1} ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึงการเกาะติดของมาลิกแอนไฮไดรด์บนโมเลกุลของพอลิโพรไพลีน
- ปริมาณการเกาะติดของมาลิกแอนไฮไดรด์บนโมเลกุลของพอลิโพรไพลีน พบว่ามีค่าสูงสุดเมื่อใช้มาลิกแอนไฮไดรด์ ที่ระดับ 5 % โดยน้ำหนักของพอลิโพรไพลีน

6.5.3 การใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ในการเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP

- การใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ พบว่ามีผลทำให้ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดตัวของพอลิเมอร์เบลนด์มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการคืนรูปมีค่าลดลง
- พอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP มีระดับความต้านทานต่อตัวทำละลายสูงกว่าพอลิเมอร์เบลนด์ของ RR/PP
- ความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดตัวของพอลิเมอร์เบลนด์ RR-g-MA/PP มีแนวโน้มลดลง ตามจำนวนครั้งของการแปรรูปซ้ำ ในขณะที่ค่าการผิดรูปอย่างถาวรเนื่องจากการยืดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

7. ข้อเสนอแนะ

- 7.1 ควรศึกษาการเตรียมยางรีเคลมจากเศษถุงมือยางธรรมชาติโดยวิธีทางกลร่วมกับทางเคมี โดยใช้เครื่องผสมแบบปิด
- 7.2 ควรศึกษาอิทธิพลของระบบการวัลคาไนซ์ เช่น การวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน ระบบเปอร์ออกไซด์ และระบบผสม (กำมะถัน+เปอร์ออกไซด์) ต่อสมบัติของพอลิเมอร์เบลนด์ RR/PP

8. เอกสารอ้างอิง

- Angier, D.J., Chambers, W.T. and Watson, W.F. Mastication of Rubber. VI Viscosity and Molecular Weight Relationships for Natural Rubber after Cold Mastication. *Rubb.Chem Tech.*, 1958, 31, 73-81.
- Balachandra. C.S., Vitaly, A.K., Evelina, N.S., Vladimir, P.M., Liudmila, N.T. and Natalya, A.N. Reclaiming of Elastomeric Materials. *U.S. Pat 5,770,632*, 1998, Jun. 23, 1998.
- Bettini, S.H.P. and Agnelli, J.A.M. Evaluation of Methods Used for Analyzing Maleic Anhydride Grafted onto Polypropylene by Reactive Processing. *Polym. Test.*, 2001, 19, 3-15.
- Coran. A. and Patel. R. Rubber-Thermoplastic Compositions Part VIII. Nitrile Rubber Polyolefin Blends with Technological Compatibilization. *Rubb.Chem Tech.*, 1983, 56, 1045-1060.
- De, D., Maiti, S. and Adhikari, B. Reclaiming of Rubber by a Renewable Resource Material (RRM). II. Comparative Evaluation of Reclaiming Process of NR Vulcanizate by RRM and Diallyl Disulfide. *J.Appl.Polym. Sci.*, 1999, 73, 2951-2958.
- De, D., Das, A. De, D., Dey, B. Debnath, S.C. and Roy, B.C. Reclaiming of Ground Rubber Tire (GRT) by a Novel Reclaiming Agent. *Eur. Polym. J.*, 2006, 42, 917-927.
- De, D., De, D., and Singharoy, G.M. Reclaiming of Ground Rubber Tire by a Novel Reclaiming Agent. I. Virgin Natural Rubber/Reclaimed GRT Vulcanizates. *Polym. Eng. Sci.*, 2007, 47, 1091-1110.
- Dick, J.S. General Test Methods. In Dick, J.S. (ed.) Basic Rubber Testing: Selecting Methods for a Rubber Test Program. ASTM International, West Conshohocken, 2003, 40-47.
- Dogadkin, B., Dobromyslova, L. Sapozhkova. L. and Tutorskii, I. Effect of Mercaptobenzothiazole on Rubber Structure during Oxidation, Heating and Milling. *Rubb. Chem Tech.*, 1959, 32, 184-194.

- George, S., Joseph, R., Thomas, S. and Varughese K.T. Blends of Isotactic Polypropylene and Nitrile Rubber: Morphology, Mechanical Properties and Compatibilization. *Polymer.*, 1995, 36, 4405-4416.
- George, S., Ramamurthy, K., Anand, J.S., Groeninckx, G., Varughese, K.T. and Thomas, S. Rheological Behavior of Thermoplastic Elastomer from polypropylene /Acrylonitrile-Butadiene Rubber Blends : Effect of Blend Ratio, Reactive Compatibilization and Dynamic Vulcanization. *Polymer.*, 1999, 40, 4325-4334.
- George, J., Ramamurthy, K., Varughese, K.T. and Thomas, S. Melt Rheology and Morphology of Thermoplastic Elastomers from Polyethylene/Nitrile-Rubber Blends : The Effect of Blend Ratio, Reactive Compatibilization, and Dynamic Vulcanization. *J. Polym. Sci. Part B. Polym. Phys.*, 2000a, 38, 1104-1112.
- George, S., Varughese, K.T., and Thomas, S. Thermal and Crystallisation Behaviour of Isotactic Polypropylene/Nitrile Rubber Blends. *Polymer.*, 2000b, 41, 5485-5503.
- Goharpey, F., Katbab, A.A. and Nazockdast, H. Mechanism of Morphology Development in Dynamically Cured EPDM/PP TPEs. I. Effect of State of Cure. *J.Appl.Polym. Sci.*, 2001, 81, 2531-2544.
- Hashim, S.A. and Ong, S.K. Study on Polypropylene/Natural Rubber Blend with Polystyrene-Modified Natural Rubber as Compatibilizer. *Polym. Int.*, 2002, 51, 611-161.
- Ibrahim, A. and Dahlan, M. Thermoplastic Natural Rubber Blends. *Prog. Polym. Sci.*, 1998, 23, 665-706.
- Koda, T. and Hara, M. Rubber Compounds Containing Vulcanized Scrap Rubber, Methods of Manufacturing such Rubber Compounds. *U.S. Pat 5,556,888*, 1996, Sep. 17, 1996.
- Kojama, M., Tosaka, M., Ikeda, Y. and Kohjiya, S. Devulcanization of Carbon Black Filled Natural Rubber Using Supercritical Carbon Dioxide. *J.Appl.Polym. Sci.*, 2005, 95, 137-143.
- Liu, H.S., Mead, J.L. and Stacer, R.G. Thermoplastic Elastomer and Rubber-Toughened Plastic from Recycled Rubber and Plastics. *Rubb.Chem Tech.*, 2002, 75, 49-63.
- Myhre, M. Devulcanization by Chemical and Thermomechanical Means. In De, *et al.* (ed.) Rubber Recycling. Taylor&Francis Group, New York, 2005, 401-427.

- Nakason, C., Kaesaman, A. and Supasanthitikul, P. The Grafting of Maleic Anhydride onto Natural Rubber. *Polym. Test.*, 2004, 23, 35-41.
- Nakason, C., Saiwaree, S. and Kaesaman, A. Rheological, Thermal and Morphological Properties of Maleated Natural Rubber and Blending with Poly(methyl methacrylate). *Polym. Test.*, 2006a, 5, 656-667.
- Nakason, C., Saiwari, S. and Kaesaman, A. Rheological Properties of Maleated Natural Rubber/Polypropylene Blends with Phenolic Modified Polypropylene and Polypropylene-g-Maleic Anhydride Compatibilizers. *Polym. Test.*, 2006b, 1-11.
- Pocius, A.V. Adhesion and Adhesives Technology. Carl Hanser Verlag, Munich, 2002, 15-26.
- Rajan, V.V. Devulcanisation of NR based Latex Products for Tyre Application. Ph.D. Thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands. 2005.
- Robert, C., Crespy, S., Lopez-Cuesta, J.M., Kerboeuf, S., Artigue, C. and Grard, E. Rheological Properties of Silicon Polymer Networks : The Influence of The Crosslink Density. *J.Appl.Polym. Sci.* 2003, 87, 1152-1160.
- Sears, J. K. and Darby, J.R. 1982." The Technology of Plasticizer : Newyork : John Wiley.
- Severini, F., Pegoraro, M., Yuan, L., Ricca, G. and Fanti, N. Free Radical Grafting of Maleic Anhydride in Vapour Phase on Polypropylene Film. *Polymer.*, 1999, 40, 7059-7064.
- Shi, D., Yang, J., Yao, Z., Wang, Y., Huang, H., Jing, W., Yin, J., and Costa, G. Funtionalization of Isotactic Polystyrene with Maleic Anhydride by Reaction Extrusion : Mechanism of Melt grafting. *Polymer.*, 2001, 42, 5549-5557.
- Thelamon, C. Vulcanization of Rubber by Means of Resins. *Rubb. Chem Tech.*, 1963, 36, 268-281.

ภาคผนวก

- ภาคผนวก ก. ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์
ภาคผนวก ข. คำชี้แจงต่อข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

ภาคผนวก ก. ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับจากโครงการ
1. เพื่อศึกษากระบวนการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้แบบทดสอบความสามารถทางคณิตศาสตร์	- เตรียมของรื้อกล่องด้วยวิธีทางกลร่วมกับทางเคมี โดยใช้เทคนิคการตัดกระดาษ (TMTD), 2-เมอร์แคปโตไดซัลไฟด์ (TMTD), 2-เมอร์แคปโตเบนโซไทโธไซด์ (MBT) และไดเออร์คัล (DADS) เป็นสารรีเอเจนต์	- เตรียมของรื้อกล่องด้วยวิธีทางกลร่วมกับทางเคมี โดยใช้สารรีเอเจนต์ TMTD, MBT และ DADS - ทดสอบสมบัติของสารรีเอเจนต์ที่เตรียมได้ดังนี้ - ค่าความหนืดของสาร - ปริมาณของสาร - ปริมาณและน้ำหนักโมเลกุลในส่วนประกอบของสาร - ความหนาแน่นของสาร	- สามารถเตรียมของรื้อกล่องด้วยวิธีทางกลร่วมกับทางเคมี - ทราบสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมของรื้อกล่องด้วยวิธีทางกลร่วมกับทางเคมี เมื่อใช้ TMTD, MBT และ DADS เป็นสารรีเอเจนต์ - ทราบสมบัติพื้นฐานของสารรีเอเจนต์ที่เตรียมได้
2. เพื่อเตรียมของรื้อกล่องจากกระบวนการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้แบบทดสอบความสามารถทางคณิตศาสตร์	- เตรียมของรื้อกล่องด้วยวิธีทางกลร่วมกับทางเคมี โดยใช้เทคนิคการตัดกระดาษ (TMTD), 2-เมอร์แคปโตไดซัลไฟด์ (TMTD), 2-เมอร์แคปโตเบนโซไทโธไซด์ (MBT) และไดเออร์คัล (DADS) เป็นสารรีเอเจนต์	- เตรียมของรื้อกล่องด้วยวิธีทางกลร่วมกับทางเคมี โดยใช้สารรีเอเจนต์ TMTD, MBT และ DADS - ทดสอบสมบัติของสารรีเอเจนต์ที่เตรียมได้ดังนี้ - ค่าความหนืดของสาร - ปริมาณของสาร - ปริมาณและน้ำหนักโมเลกุลในส่วนประกอบของสาร - ความหนาแน่นของสาร	- สามารถเตรียมของรื้อกล่องด้วยวิธีทางกลร่วมกับทางเคมี - ทราบสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมของรื้อกล่องด้วยวิธีทางกลร่วมกับทางเคมี เมื่อใช้ TMTD, MBT และ DADS เป็นสารรีเอเจนต์ - ทราบสมบัติพื้นฐานของสารรีเอเจนต์ที่เตรียมได้

	หาคำตอบของพอลิเมอร์เบลนด์ โดยการดัดแปลงสภาพผิวของยาง รีเคลมด้วยมาลิคแอนไฮไดรด์ ก่อน นำไปเบลนด์กับพอลิโพรไพลีน ทดสอบสมบัติเชิงพลวัต สมบัติทาง กายภาพ และความต้านทานต่อตัวทำ ละลาย รวมทั้งลักษณะทางสัณฐาน วิทยาของพอลิเมอร์เบลนด์	อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยใช้ ไดเมทิลลอลิฟีนอลิกเรซิน (Ph-PP) เป็นการเพิ่มความเข้ากันได้ เตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของ RR/PP ที่ อัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 โดยใช้เทอร์ เชียรีบิวทิลไฮโดรเจนออกไซด์ (t-BHP) เป็นสารเริ่มปฏิกิริยาใน การเบลนด์ เตรียมยางรีเคลมดัดแปลงสภาพผิวด้วย มาลิคแอนไฮไดรด์ (RR-g-MA) ใน สภาวะหลอม จากนั้นนำ RR-g-MA ที่ เตรียมได้มาเบลนด์กับพอลิโพรไพลีน ในอัตราส่วนการเบลนด์ 60/40 (RR-g- MA/PP) โดยใช้พอลิโพรไพลีนดัดแปลง สภาพผิวด้วยมาลิคแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA) เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ทดสอบสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ เบลนด์ที่เตรียมได้	เป็นสารริเริ่มปฏิกิริยาในการเบลนด์แบบเรดิคัล ของ RR/PP - สามารถเตรียมพอลิเมอร์เบลนด์ของ RR-g-MA/PP โดยใช้ PP-g-MA เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ซึ่ง พบว่ามีความต้านทานต่อตัวทำละลายสูงกว่าพอลิ เมอร์เบลนด์ของ RR/PP - ทราบสมบัติเชิงพลวัต สมบัติทางกายภาพ และ สมบัติความต้านทานต่อตัวทำละลายของพอลิ เมอร์เบลนด์ ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการ นำไปประยุกต์ใช้งาน
	-	-	-

ภาคผนวก ข. คำชี้แจงและการปรับปรุงข้อเสนอโครงการวิจัย
โครงการวิจัยเรื่อง การนำเศษถุงมือยางธรรมชาติมาใช้ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการเบลนคัมกับพอลิไพร์ไฟลีน

ข้อเสนอแนะ / ปรับปรุง	การปรับปรุง	คำชี้แจง
1. การเพิ่มรายละเอียดอุปกรณ์/เครื่องมือ/วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	- แก้ไขปรับปรุง โดยเพิ่มรายละเอียดอุปกรณ์/เครื่องมือ/วัสดุที่ใช้ในการทดลองในหัวข้อดังต่อไปนี้ 4.1 ขางและสารเคมี, 4.2 อุปกรณ์, 4.3 วิธีการทดลอง, และ 4.4 วิธีการทดสอบ	-
2. หน้า 3 ข้อ 4.1.1 ตรวจสอบคำว่าใช้ extruder บดลดขนาดได้ อย่างไร ปกติการใช้ extruder เพื่อขึ้นรูปท่อ หรือ profile บางรูป	- แก้ไขปรับปรุง โดยเพิ่มรายละเอียดของเครื่องเอกซ์ทรูด ชนิด Cold feed extruder ที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับตัดเศษถุงมือยางธรรมชาติเป็นชิ้นเล็ก ๆ ก่อนนำไปรีเคลมโดยการบดร่วมสารรีเคลมมิงเอเจนต์ ลักษณะเครื่องและรายละเอียดแสดงในหัวข้อ 4.2.3	-
3. ในหัวข้อวิธีการควรเพิ่มเติมรายละเอียดการหา Crosslink density, Gel fraction, Sol content, และ Molecular weight of sol content เพื่อความชัดเจน ในการทำความเข้าใจกับกราฟรูปที่ 5.8 และ 5.10	- แก้ไขปรับปรุง โดยเพิ่มรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์หา Gel content และ Sol content ดังแสดงในหัวข้อ 4.4.1.2, Molecular weight of sol content ในหัวข้อ 4.4.1.3 และ การวิเคราะห์หา Crosslink density ดังรายละเอียดในหัวข้อ 4.4.1.4	-
4. หน้า 19 complex viscosity อย่างไร โดยเครื่อง MDPT ควรมีข้อมูลเพิ่มเติม	- แก้ไขปรับปรุง โดยเพิ่มรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์หา Complex viscosity โดยเครื่อง Moving die processibility tester (Model rheo TECH MDPT) ตามมาตรฐาน ASTM D 6601 รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างค่า Complex viscosity กับ ค่า Storage modulus และ Loss modulus ดังแสดงในหัวข้อ 4.4.3	-

ร.ให้ตรวจสอบการอ้าง reference ต่างๆ ให้สอดคล้องกับ list หน้า 49-50 ด้วย มีหลายจุด เช่น หน้า 32 อ้างใน Liu et al, 2001 แต่ใน list มีแต่ Liu et al, 2002	- แก้ไขปรับปรุง โดยตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องของ references ต่างๆ -
6. ในบทสรุปสำหรับผู้บริหาร: ควรจะสรุปประเด็นผลการทดลองให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ 2 ข้อ และให้สอดคล้องกับผลที่คาดว่าจะได้รับทั้ง 4 ข้อที่ได้กำหนดไว้ในข้อเสนอโครงการ	- แก้ไขปรับปรุง โดยเขียนบทสรุปสำหรับผู้บริหารให้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และผลที่คาดว่าจะได้รับ ดังที่กำหนดไว้ในข้อเสนอโครงการ -