

กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน

The Grafting of Polystyrene onto Natural Rubber

สิทธิพงษ์ อำนวยพานิชย์ (Sittipong Amnuaypanich)*

บทคัดย่อ

กราฟต์โคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีนและยางธรรมชาติสังเคราะห์ที่ได้โดยใช้เทคนิคอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชันแบบกะ ใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนและแบบรีดอกซ์ในการสังเคราะห์ การหาเอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์โดย FT-IR พบพีกที่แสดงเอกลักษณ์ของพอลิสไตรีนปรากฏอยู่ นอกจากนี้การทดสอบเชิงความร้อนโดย TG-DTA แสดงอุณหภูมิการสลายตัวของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ ซึ่งทั้งหมดนี้แสดงถึงความสำเร็จของการกราฟต์พอลิสไตรีนลงบนยางธรรมชาติ การศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์ต่อปริมาณของสไตรีนมอนอเมอร์ พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของสไตรีน ประสิทธิภาพการกราฟต์ของพอลิสไตรีนบนยางธรรมชาติจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงค่าสูงสุดที่ประมาณ 70% สำหรับตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน และประมาณ 85% สำหรับตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ หลังจากนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์จะลดลง ถ้ายังคงเพิ่มปริมาณของสไตรีนมอนอเมอร์ขึ้นอีก การศึกษาผลของปริมาณตัวเริ่มปฏิกิริยาปรากฏว่า การเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์เมื่อเพิ่มปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยามีแนวโน้มเช่นเดียวกับการเพิ่มปริมาณของสไตรีนมอนอเมอร์ นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยาที่ศึกษา ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ให้ค่าประสิทธิภาพการกราฟต์ที่ดีกว่าตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 70% สำหรับตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ และประมาณ 60% สำหรับตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน

Abstract

Graft-copolymers of natural rubber and polystyrene (NR-g-PS) were synthesized via batch-swelling emulsion polymerization. Two types of initiators were used namely, thermal initiator and redox initiator. NR-g-PS samples were characterized by FT-IR and the polystyrene peaks were observed indicating the successful grafting of PS on NR. Moreover, thermal analysis of NR-g-PS by TG-DTA showed that graft-copolymer degraded at higher temperature than that of pure NR. This is the result of the grafted-PS on NR. In order to determine the amount of PS grafted on NR, grafting efficiency (% GE) was calculated. It was found that when the ratio between styrene monomer and NR increased, % GE increased up to about 70% for thermal initiator and about 85% for redox initiator after that it was declined at higher ratio of styrene and NR. The effect of the amount of initiator was also studied. The similar trend was observed in which, % GE enhanced with increasing the amount of initiator and if the initiator was further added, % GE started to decrease. In addition, redox initiator gave higher % GE than that of thermal initiator for the range of the amount of the initiators in this study. The maximum % GE was 70% for redox initiator and 60% for thermal initiator.

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ พอลิสไตรีน กราฟต์โคพอลิเมอร์

Keywords: Natural Rubber, Polystyrene, Graft-Copolymer

*อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber - NR) เป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่ ณ อุณหภูมิห้องจะแสดงสถานะอสัณฐาน (Amorphous) เนื่องจากมีค่าอุณหภูมิแก้ว (Glass Transition Temperature) หรือ T_g อยู่ที่ประมาณ -73 องศาเซลเซียส ความเป็นอสัณฐานทำให้ยางธรรมชาติมีลักษณะหยุ่น เหมาะแก่การนำไปทำเป็นวัสดุรับแรงกระแทก อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติจะมีความคงตัวต่ำ เสียรูปได้ง่าย เนื่องจากโครงสร้างของสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่น (Flexible) และไม่เป็นระเบียบของยางทำให้ค่ามอดูลัส (Modulus) ต่ำกว่าพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างของสายโซ่โมเลกุลแข็งเกร็ง (Rigid) หรือมีความเป็นระเบียบอยู่มาก เพื่อที่จะปรับปรุงคุณภาพของยางธรรมชาติให้มีคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้น จึงเกิดแนวคิดในการนำพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดอื่นมาทำการเพิ่มคุณสมบัติให้กับยางธรรมชาติ พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีความเหมาะสมในการเพิ่มความแข็งแรง (มอดูลัสที่ความเครียดต่ำ) ให้แก่ยางธรรมชาติ ได้แก่ พอลิสไตรีน (Polystyrene - PS) เนื่องจากมีความแข็งแรงและความคงตัวสูงที่อุณหภูมิห้อง เพราะมีค่า T_g อยู่ที่ประมาณ 105 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามพอลิสไตรีนจะมีความเปราะมาก (Brittle) การนำยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนมาทำวัสดุเชิงประกอบเป็นการนำข้อดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน

ในการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติโดยการทำให้เป็นวัสดุเชิงประกอบกับพอลิสไตรีนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การผสมทางกายภาพ (Blends) หรือการทำโคพอลิเมอร์โรเซชัน (Copolymerization) งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการทำงานการสังเคราะห์อนุภาคเชิงประกอบของยางธรรมชาติ โดยการนำสไตรีนมอนอเมอร์มาทำปฏิกิริยากากราฟต์โคพอลิเมอร์โรเซชันบนพื้นผิวอนุภาคยางโดยอาศัยเทคนิคอิมัลชันพอลิเมอร์โรเซชัน อนุภาคเชิงประกอบของยางที่สังเคราะห์ได้จะประกอบด้วยส่วนของยางที่ยืดหยุ่นได้ตั้งอยู่ภายในและห่อหุ้มด้วยพอลิสไตรีนที่แข็งกว่าอยู่ภายนอก (Core-Shell Structure) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาตัวแปรที่สำคัญ

สองตัวคือ ปริมาณสัดส่วนของสไตรีนต่อยางธรรมชาติและปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยา ทั้งแบบแตกตัวด้วยความร้อนและแบบรีดอกซ์

อุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลอง

(1) สารเคมี

ยางธรรมชาติเป็นน้ำยางข้น (Natural Rubber Latex - NRL) จาก บมจ. ไทยฮิวายพารา (สาขาอุดรธานี) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ยางแห้ง (% DRC) ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ สไตรีนมอนอเมอร์ได้จากบริษัท Acros Organics ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Initiator) ใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (Potassium Persulfate - $K_2S_2O_8$) จากบริษัท Unilab : Ajax Chemical ส่วนตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ (Redox Initiator) ประกอบด้วยสารเคมีสองตัว คือ เทอร์เชียรี-บิวทิล ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Tert-Butyl Hydroperoxide - t-BHP) ($C_4H_{10}O_2$) จากบริษัท Aldrich และเตตระเอทิลีนเพนทามีน (Tetra ethylene Pentamine - TEPA) ($C_8H_{23}N_5$) จากบริษัท Fluka Chemical อิมัลซิไฟเออร์คือโซเดียม ลอริลซัลเฟต (Sodium Laurylsulfate - SLS) ($CH_3(CH_2)_{11}OSO_3Na$) จากบริษัท Carlo Erba Reagenti และบัฟเฟอร์โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium Hydrogen Carbonate - $NaHCO_3$) ของบริษัท Fisher Chemicals นำกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ไปสกัดยางที่ไม่เกิดการกราฟต์ออกโดยการสกัดแบบซอกซ์เลท (Soxhlet Extraction) โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether) จากบริษัท Lam-Scan Analytical Science เป็นตัวทำละลาย และสกัดโพลิเมอร์ของพอลิสไตรีนโดยใช้อะซิโตน (Acetone) ต่อเมทิลเอทิลคีโตน (Methyl Ethyl Ketone - MEK) ในอัตราส่วน 3:1 เป็นตัวทำละลาย ซึ่งซื้อจากบริษัท Carlo Erba Reagenti และจากบริษัท Unilab ตามลำดับ ใช้ลูมินัมออกไซด์ (Aluminum Oxide - Al_2O_3) ความละเอียดประมาณ 150 mesh จากบริษัท Aldrich เป็นตัวดูดซับสารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) จากสไตรีนมอนอเมอร์

(2) การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีน

การสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีน อาศัยกระบวนการอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชันแบบกะ (Batch Emulsion Polymerization) โดยมียางธรรมชาติเป็นอนุภาคเริ่ม (Seeded Particles) และทำให้สไตรีนมอนอเมอร์เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันบนพื้นผิวของอนุภาคยางโดยใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยา การสังเคราะห์ทั้งหมดมี 2 แบบตามประเภทของตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา

(2.1) การสังเคราะห์โดยใช้ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Initiator)

ในการสังเคราะห์ชุดนี้จะใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน ซึ่งได้แก่โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) การสังเคราะห์เริ่มต้นโดยเติมน้ำยางธรรมชาติ น้ำปราศจากไอออน สารอิมัลซิไฟเออร์ บัฟเฟอร์ และสไตรีนมอนอเมอร์ลงในรีแอกเตอร์ (Reactor) ซึ่งเป็นขวดก้นกลม 2 คอ ขนาด 250 มิลลิลิตร ให้ของผสมอยู่ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง พร้อมทำการกวนตลอดเวลา หลังจากนั้นละลายตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาในน้ำปราศจากไอออน และค่อยๆ เติมน้ำในรีแอกเตอร์ แล้วจึงให้ความร้อนไปที่ 70 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 12 ชั่วโมงภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ปริมาณของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน เมื่อมีการแปรปริมาณสัดส่วนยางธรรมชาติกับสไตรีนมอนอเมอร์แสดงในตารางที่ 1 และปริมาณของสารตั้งต้น เมื่อมีการแปรปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยาได้แสดงในตารางที่ 2

(2.2) การสังเคราะห์โดยใช้ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ (Redox Initiator)

ในการสังเคราะห์ชุดนี้ใช้ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาเป็นแบบรีดอกซ์ซึ่งได้แก่ เทอร์เชียรี-บิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (t-BHP) และเตตระเอทิลลีนเพนทามีน (TEPA) โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลเปอร์เซ็นต์ของสารทั้ง

สองครั้งที่ที่ t-BHP:TEPA เท่ากับ 3:1 การสังเคราะห์เริ่มต้นโดยเติมน้ำยางธรรมชาติ น้ำปราศจากไอออน สารอิมัลซิไฟเออร์ บัฟเฟอร์และสไตรีนมอนอเมอร์ลงในรีแอกเตอร์ หลังจากนั้นค่อยๆ หยดสารละลาย 70 เปอร์เซ็นต์ในน้ำโดยปริมาตรของ t-BHP ใช้เวลาหยุดประมาณ 30 นาที แล้วกวนของผสมต่อเนื่องเป็นเวลา 12 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน หลังจากนั้นทำการเริ่มต้นปฏิกิริยาโดยการหยดสารละลาย 10 เปอร์เซ็นต์ในน้ำของเตตระเอทิลลีนเพนทามีน แล้วให้ความร้อนไปที่ 50 องศาเซลเซียส และปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ปริมาณของสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับสไตรีน เมื่อมีการแปรปริมาณของอัตราส่วนยางธรรมชาติกับสไตรีนมอนอเมอร์แสดงในตารางที่ 3 ส่วนปริมาณของสารตั้งต้น เมื่อมีการแปรปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยาได้แสดงในตารางที่ 4

(3) การหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนมอนอเมอร์เป็นพอลิเมอร์ (% Conversion) และประสิทธิภาพการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ (% Grafting Efficiency - % GE)

นำลาเท็กซ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มาซึ่งน้ำหนัก แล้วทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วจึงชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่แห้ง จากนั้นนำตัวอย่างที่แห้งประมาณ 10 กรัมใส่ลงในทิมเบิล (Tumble) ซึ่งน้ำหนักที่แน่นอน แล้วนำไปสกัดแบบซอกซ์เลท (Soxhlet) เพื่อทำการสกัดยางที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวทำละลาย ทำการสกัดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำยางที่สกัดได้ไปอบให้แห้งในเตาอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำกราฟต์โคพอลิเมอร์ ที่ทำการสกัดยางที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกไปแล้ว ไปทำการสกัดพอลิสไตรีน (PS) ที่ไม่เกิดกราฟต์ออก โดยตัวทำละลายที่ใช้คือ อะซิโตนต่อเมทิลเอทิลคีโตน ในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 ทำการสกัดเป็นเวลา 48

ชั่วโมง หลังการ สกัสนำสารละลายที่ได้จากการสกัดไประเหยตัวทำละลายออกโดยเครื่องระเหยแบบลดความดัน แล้วนำไปอบในเตาอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในเดลิเคเตอร์ นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง แล้วนำไปคำนวณหา % Conversion และ % GE ดังนี้

$$\% \text{Conversion} = \frac{A - B}{C} \times 100$$

โดย A คือ ปริมาณกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมดก่อนสกัดโฮโมพอลิเมอร์ B คือ ปริมาณยางแห้งเริ่มต้นที่ใช้ และ C คือ ปริมาณมอนอเมอร์ที่ใช้

$$\% \text{GE} = \frac{g\text{-PS}}{h\text{-PS} + g\text{-PS}} \times 100$$

โดย g-PS คือ น้ำหนักกราฟต์พอลิสไตรีน และ h-PS คือ น้ำหนักโฮโมพอลิสไตรีนที่ไม่เกิดการกราฟต์

(4) การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของพอลิสไตรีนในโมเลกุลของยางธรรมชาติ

นำกราฟต์โคพอลิเมอร์หลังจากการสกัดออกที่เลทมาทำการละลายในไดคลอโรมีเทน (CH_2Cl_2) ที่ร้อน เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ตัวทำละลายโทลูอีนซึ่งมีหมู่อะโรมาติก หลังจากละลายนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในเตาอบสูญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อระเหยตัวทำละลายออก นำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของพอลิสไตรีนโดยเครื่อง FT-IR ของ Perkin-Elmer รุ่น Spectrum One ค่าการดูดกลืนรังสีในช่วงอินฟราเรดที่บอกเอกลักษณ์ของสไตรีนได้แก่ ตำแหน่งเลขคลื่นที่ 3026 cm^{-1} แสดงการยืด (Stretching) ของพันธะ C-H ในอะโรมาติก ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1601 cm^{-1} เป็นการยืดของพันธะ C=C ในอะโรมาติก และที่ตำแหน่งเลขคลื่น 695 cm^{-1} เป็นการงอ (Bending) ของพันธะ C-H ในอะโรมาติก สำหรับค่าการดูดกลืนรังสีในช่วงอินฟราเรดที่บอกเอกลักษณ์ของยางธรรมชาติที่มีโครงสร้างเป็น cis-1,4-Polyisoprene ที่

สำคัญได้แก่ ตำแหน่งเลขคลื่นที่ 837 cm^{-1} เป็นการงอของพันธะ C=C บน cis-1,4-Polyisoprene และที่ตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 1449 และ 1376 cm^{-1} จะเป็นการยืดของพันธะ C-H ของอะลิฟาติก (Aliphatic) ในโมเลกุลของยางธรรมชาติ

(5) การศึกษาคุณสมบัติเชิงความร้อน

นำกราฟต์โคพอลิเมอร์หลังจากการสกัดออกที่เลท ไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง TG-DTA รุ่น Pyris Dimond TG/TGA ในช่วงอุณหภูมิ 40-450 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการเพิ่มความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน

ผลการทดลองและอภิปราย

(1) การศึกษาโครงสร้างของกราฟต์โคพอลิเมอร์โดยเทคนิค FT-IR

รูปที่ 1 และ 2 แสดงถึงอินฟราเรดสเปกตรัมของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีนบนยางธรรมชาติโดยใช้ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน และตัวเริ่มต้นแบบรีดอกซ์ตามลำดับ เปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมของยางธรรมชาติ และของพอลิสไตรีน

สเปกตรัมของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน และแบบรีดอกซ์ แสดงพีกที่สำคัญของทั้งพอลิสไตรีน และพอลิไอโซพรีน โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีพีกที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1601 cm^{-1} ตำแหน่ง 3026 cm^{-1} และตำแหน่ง 695 cm^{-1} ซึ่งบ่งบอกการมีอยู่ของหมู่อะโรมาติกของพอลิสไตรีน ในขณะที่เอกลักษณ์ของพอลิไอโซพรีนสามารถเห็นได้ชัดเจนเช่นกันที่ตำแหน่งเลขคลื่น 837 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่าทั้งการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์สามารถทำให้เกิดการกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน นอกจากนี้การใช้กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ผ่านการสกัดเอายางธรรมชาติและพอลิสไตรีนที่ไม่เกิดการกราฟต์ออกทำให้มั่นใจได้ว่า พีกของพอลิสไตรีนที่เกิดขึ้นไม่ได้มาจาก

พอลิสไตรีนที่ผสมทางกายภาพ (ไม่ได้เกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน) กับยางธรรมชาติ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนการสังเคราะห์ เนื่องจากสไตรีนมอนอเมอร์อาจเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันกันเองและผสมไปกับยางธรรมชาติ

(2) คุณสมบัติเชิงความร้อนของกราฟต์โคพอลิเมอร์โดยเทคนิค TG

รูปที่ 3 แสดงเทอร์โมแกรมของยางธรรมชาติจากกราฟ TG ของยางธรรมชาติการสลายตัว (Degradation) ประกอบด้วยสองช่วงโดยช่วงแรกเริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส และช่วงที่สองเริ่มต้นที่ประมาณ 400 องศาเซลเซียส และมีการสลายตัวเกือบ 100 % ที่อุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียส การลดลงของน้ำหนักยางในช่วงแรกมีอัตราการลดลงที่สูงกว่าช่วงที่สอง พบว่ายางธรรมชาติมีการลดลงของน้ำหนักประมาณ 10% ที่อุณหภูมิ 355 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 387 องศาเซลเซียส มีการลดลงของน้ำหนักประมาณ 50% จากกราฟของ DTG พบว่าอัตราการลดลงของน้ำหนักยางธรรมชาติสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 380 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิของการสลายตัวสมบูรณ์ของยางธรรมชาติ (Complete Distillation of NR) (Asaletha, 1998) การสลายตัวของพอลิสไตรีนแตกต่างจากกรณีของยางธรรมชาติดังแสดงในรูปที่ 4 จากกราฟ TG การสลายตัวของพอลิสไตรีนมีเพียงหนึ่งช่วง โดยการสลายตัวเริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 330 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิประมาณ 390 องศาเซลเซียส พอลิสไตรีนสลายตัวไปประมาณ 10% และพอลิสไตรีนสลายตัวไป 50% ที่อุณหภูมิประมาณ 416 องศาเซลเซียส กราฟ DTG ของพอลิสไตรีนแสดงอัตราการลดลงของน้ำหนักมากที่สุดที่อุณหภูมิ 421 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการแตกออกของพอลิสไตรีนเป็นโมเลกุลเล็กๆที่ระเหยได้ (Asaletha, 1998)

กราฟต์โคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีนบนยางธรรมชาติที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนและแบบรีดอกซ์มี

การสลายตัวเป็นสองช่วงเช่นเดียวกันกับการสลายตัวของยางธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 จากกราฟ TG พบว่าเมื่อใช้ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนโดยอัตราส่วนของยางธรรมชาติต่อสไตรีนเท่ากับ 90 ต่อ 10 เปอร์เซนต์โดยโมล (รูปที่ 5) กราฟต์โคพอลิเมอร์สลายตัวไป 10% ที่อุณหภูมิประมาณ 353 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิประมาณ 389 องศาเซลเซียส กราฟต์โคพอลิเมอร์สลายตัวไป 50% ซึ่งอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการสลายตัวของยางธรรมชาติ ในขณะที่เมื่ออัตราส่วนของยางธรรมชาติต่อสไตรีนเท่ากับ 60 ต่อ 40 เปอร์เซนต์โดยโมลโดยใช้ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ (รูปที่ 6) กราฟต์โคพอลิเมอร์สลายตัวไป 10% ที่อุณหภูมิ 358 องศาเซลเซียส และสลายตัวไป 50% ที่อุณหภูมิ 393 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่ามีค่าสูงกว่าอุณหภูมิการสลายตัวของยางธรรมชาติ การสลายตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้นของกราฟต์โคพอลิเมอร์เทียบกับยางธรรมชาติแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของพอลิสไตรีนที่กราฟต์อยู่บนโมเลกุลของยางธรรมชาติซึ่งจะสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า กราฟ DTG ของกราฟต์โคพอลิเมอร์แสดงอัตราการลดลงของน้ำหนักสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 387 องศาเซลเซียส สำหรับทั้งกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนของยางธรรมชาติต่อสไตรีนเท่ากับ 90 ต่อ 10 เปอร์เซนต์โดยโมล และกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่อัตราส่วนของยางธรรมชาติต่อสไตรีนเท่ากับ 60 ต่อ 40 เปอร์เซนต์โดยโมล ซึ่งเป็นผลมาจากการกราฟต์ของพอลิสไตรีนบนยางธรรมชาติ เนื่องจากอัตราการสลายตัวสูงสุดของกราฟต์โคพอลิเมอร์เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อเทียบกับของยางธรรมชาติ (Grassie, 1967)

(3) ผลของอัตราส่วนโดยโมลของยางธรรมชาติต่อสไตรีนมอนอเมอร์

ผลของปริมาณสัดส่วนของสไตรีนมอนอเมอร์ต่อ % Conversion และ % GE แสดงในรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ โดยในรูปมีการเปรียบเทียบระหว่างตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน และแบบรีดอกซ์เมื่อทำการเพิ่มสัดส่วนของสไตรีนพบว่าในช่วงแรกการ

เปลี่ยนไปเป็นพอลิสไตรีนมีการเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงค่าสูงสุด จากนั้น % Conversion จะเริ่มมีค่าลดต่ำลงที่สัดส่วนสไตรีนสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน และแบบรีดอกซ์ในการสังเคราะห์ให้แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของ % Conversion ในลักษณะเดียวกัน การลดลงของ % Conversion ที่สัดส่วนของสไตรีนสูงนี้ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายโอนอนุมูลอิสระไปยังมอนอเมอร์ (Chain Transfer to Monomer) คือ แทนที่อนุมูลอิสระจะก่อให้เกิดการเชื่อมต่อกันของสไตรีนมอนอเมอร์เป็นสายโซ่ยาวของพอลิสไตรีน ปริมาณของสไตรีนที่มีมากเกินไปทำให้อนุมูลอิสระส่วนหนึ่งรวมตัวเข้ากับมอนอเมอร์ (Oligomers) และอาจเกิดรวมตัวกับอนุมูลอิสระตัวอื่นๆ ทำให้สูญเสียความสามารถในการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันไป (Kawahara, 2003; Nakason, 2004)

จากการทดลองพบว่าการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนให้ค่า % Conversion สูงถึง 100% ในขณะที่เมื่อใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ค่า % Conversion สูงสุดอยู่ที่ประมาณ 97% อย่างไรก็ตามที่สัดส่วนของสไตรีนมอนอเมอร์มากกว่า 30% ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์จะให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ของสไตรีนที่ต่ำกว่า เนื่องจากประสิทธิภาพการเกิดอนุมูลอิสระเดี่ยว (Single Effective Radicals) ที่ต่ำกว่า (Lee, 2002)

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกราฟต์ของสไตรีนบนยางธรรมชาติ (% GE) พบว่าการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน และแบบรีดอกซ์ให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ % GE กับอัตราส่วนยางธรรมชาติต่อสไตรีนที่เหมือนกัน นั่นคือเมื่อเพิ่มสัดส่วนของสไตรีนมากขึ้น % GE มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงค่าสูงสุดที่สัดส่วนของสไตรีนต่อยางธรรมชาติเท่ากับ 60 ต่อ 40 เปอร์เซนต์โดยโมล หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนสไตรีนมากขึ้นไปอีก % GE กลับมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kawahara และคณะ (Kawahara, 2003) ที่พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของ % GE ตามปริมาณสัดส่วนของ

สไตรีนมอนอเมอร์ นอกจากนี้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวยังพบได้ในการกราฟต์มอนอเมอร์ชนิดอื่นบนยางธรรมชาติ เช่น กราฟต์โคพอลิเมอร์ของมาเลอิคแอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride - MA) กับยางธรรมชาติ (Nakason, 2004) การกราฟต์เมทิลเมทาคริเลทกับยางธรรมชาติ (เจริญ, 2543; ปรีชา, 2542)

การเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์นั้นเนื่องมาจากการเพิ่มของปริมาณมอนอเมอร์ในการเข้าทำปฏิกิริยาบนบริเวณที่ว่องไว (Reactive Site) บนพื้นผิวของอนุภาคยาง ซึ่งปริมาณของมอนอเมอร์ที่น้อยทำให้ชั้นของมอนอเมอร์ที่ล้อมรอบอนุภาคยางอยู่มีความหนาไม่มาก ทำให้การเข้าถึงของตัวเริ่มปฏิกิริยาไปยังจุดเริ่มการกราฟต์เป็นไปได้ง่าย ต่อเมื่อปริมาณของมอนอเมอร์เพิ่มมากขึ้น ชั้นความหนาของมอนอเมอร์ที่ล้อมรอบอนุภาคยางก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งทำให้การทำงานของตัวเริ่มปฏิกิริยา (ที่ละลายน้ำได้) ในการเข้าไปยังผิวของอนุภาคยางและก่อให้เกิดปฏิกิริยาเป็นไปได้ยาก ดังนั้นตัวเริ่มปฏิกิริยาจะก่อให้เกิดปฏิกิริยารบกวนแทน (Side Reaction) เช่น การเกิดการถ่ายโอนสายโซ่ไปยังมอนอเมอร์ และการทำให้มอนอเมอร์รวมตัวกันเองเกิดเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งทำให้เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ลดลง (Liu, 2002; ปรีชา, 2542)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนและแบบรีดอกซ์พบว่าที่สัดส่วนสไตรีนต่ำ ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนให้ % GE ที่ดีกว่า ในขณะที่เมื่อเพิ่มสัดส่วนของสไตรีนมากขึ้น กลับพบว่าการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ให้ผลของ % GE ที่ดีกว่า นอกจากนี้ค่า % GE สูงสุดที่เกิดขึ้นซึ่งมีค่าประมาณ 84% ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์

(4) ผลของปริมาณตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา

ผลของปริมาณตัวเริ่มปฏิกิริยาต่อ % Conversion และ % GE แสดงในรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงของปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยาที่ศึกษา โดยเฉลี่ยแล้วตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบ

แตกตัวด้วยความร้อนให้ % Conversion ที่สูงกว่าตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ อย่างไรก็ตามแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างแตกต่างกัน โดยพบว่าตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนจะให้ % Conversion ที่ลดลงเมื่อปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การเพิ่มปริมาณตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ทำให้ % Conversion เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยาต่อไป

สำหรับการเปลี่ยนแปลง % GE พบว่าโดยเฉลี่ยแล้วการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ให้ประสิทธิภาพการกราฟต์ที่ดีกว่าตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน ซึ่งตรงกันข้ามกับแนวโน้มของ % Conversion แสดงให้เห็นว่าสไตรีนที่เปลี่ยนไปเป็นพอลิสไตรีนเมื่อใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนส่วนใหญ่อยู่ในรูปของพอลิสไตรีนที่ไม่เกิดการกราฟต์ ในขณะที่ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ทำให้เกิดกราฟต์พอลิสไตรีนได้ดีกว่าแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนไปเป็นพอลิเมอร์ที่ต่ำกว่าก็ตาม

การเปลี่ยนแปลงของ % GE กับปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยามีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่คล้ายคลึงกันทั้งการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนและการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ คือในช่วงแรกเป็นการเพิ่มขึ้นของ % GE ตามปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น จากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเริ่มปฏิกิริยาต่อไปอีกจะทำให้ % GE มีค่าลดลง การเพิ่มปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยาทำให้ปริมาณของอนุมูลอิสระที่ทำให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันมีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้เกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ไรเซชันเพิ่มขึ้น ทำให้ % GE เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยามากเกินไป อนุมูลอิสระที่เหลือจะไปจับกับตำแหน่งที่ทำให้เกิดการกราฟต์ทำให้ปฏิกิริยาลิ้นสุด (Termination) หรืออาจเกิดการรวมตัวกันของอนุมูลอิสระที่มากเกินไปทำให้อนุมูลอิสระสูญเสียการเป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา ซึ่งกรณีนี้สามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนเมื่อใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน เนื่องจาก % Conversion มีการลดลงด้วย เพราะอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นมีการรวมตัว

กันเองแทนที่จะก่อให้เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันซึ่งจะทำให้ % Conversion สูงขึ้น (แต่ % GE ไม่จำเป็นต้องมีค่ามากขึ้น) นอกจากนี้การมีอนุมูลอิสระที่มากเกินไปจะช่วยทำให้เกิดการถ่ายโอนอนุมูลอิสระไปยังมอนอเมอร์เพิ่มมากขึ้น เมื่อมอนอเมอร์เหล่านี้พบกับอนุมูลอิสระก็จะทำให้เกิดการหยุดปฏิกิริยา ส่งผลให้ทั้ง % Conversion และ % GE มีค่าลดลง (Liu, 2002)

สรุปผลการทดลอง

กราฟต์โคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีนกับยางธรรมชาติสามารถสังเคราะห์ได้โดยใช้กระบวนการอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชันแบบกะ ตัวเริ่มปฏิกิริยาทั้งแบบแตกตัวด้วยความร้อนคือโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตและแบบรีดอกซ์คือเทอร์เชียรี-บิวทิลไฮโดรเปอร์ออกไซด์ และเตตระเอทิลอะมิโนเพนทามีน สามารถใช้ในการสังเคราะห์และทำให้เกิดการกราฟต์ของพอลิสไตรีนบนยางธรรมชาติได้ การทดสอบเอกลักษณ์ของกราฟต์โคพอลิเมอร์โดยใช้ FT-IR แสดงพิกที่สำคัญของพอลิสไตรีน และของยางธรรมชาติ เป็นการแสดงว่าบนโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพอลิสไตรีนกราฟต์อยู่ การทดสอบการสลายตัวของกราฟต์โคพอลิเมอร์โดยเทคนิค TG พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของกราฟต์โคพอลิเมอร์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเปรียบเทียบกับอุณหภูมิการสลายตัวของยางธรรมชาติ ทั้งนี้เนื่องมาจากอิทธิพลของกราฟต์พอลิสไตรีนบนยางธรรมชาติ

การศึกษาผลของปริมาณสไตรีนมอนอเมอร์ต่อยางธรรมชาติ ต่อประสิทธิภาพการเปลี่ยนไปเป็นพอลิสไตรีน (% Conversion) และประสิทธิภาพการกราฟต์ (% Grafting Efficiency - % GE) พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ % Conversion และ % GE มีลักษณะของการเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสไตรีนที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งเข้าสู่ค่าสูงสุดก่อนจะมีค่าลดต่ำลงที่สัดส่วนของสไตรีนสูงขึ้น แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวพบทั้งในการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน และแบบรีดอกซ์ อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนให้ค่า

% Conversion และ % GE ที่ดีกว่าในช่วงอัตราส่วนของ สไตรีนมอนอเมอร์ต่ำกว่า 40 โมลเปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ การใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ให้ผลที่ต่ำกว่าที่อัตรา ส่วนของสไตรีนมอนอเมอร์สูงกว่า 40 โมลเปอร์เซ็นต์ การลดลงของ % GE ที่ปริมาณสไตรีนสูง ๆ เกิดจากการ ที่ตัวเริ่มปฏิกิริยาแพร่ผ่านเข้าสู่พื้นผิวของยางธรรมชาติ ได้ยากขึ้น เนื่องมาจากชั้นของสไตรีนที่ล้อมรอบอนุภาค ยางธรรมชาติมีความหนาเพิ่มขึ้น

การศึกษาผลของปริมาณตัวเริ่มปฏิกิริยาต่อ % Conversion และ % GE พบว่าโดยเฉลี่ยแล้วการ สังเคราะห์โดยใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความ ร้อนให้ % Conversion สูงกว่าการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยา แบบรีดอกซ์ แต่ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ให้ค่า % GE ที่สูงกว่า ผลของการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัว ด้วยความร้อน และแบบรีดอกซ์ต่อค่า % GE มีแนวโน้ม ที่คล้ายกัน พบว่าค่า % GE มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของ ตัวเริ่มปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ก่อนจะค่อย ๆ มีค่าลดลงเมื่อเพิ่ม ปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยาขึ้นไปอีก % GE ที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากปริมาณของอนุมูลอิสระที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ เกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ได้มากขึ้น ต่อเมื่อปริมาณ ของอนุมูลอิสระมีมากเกินไป อนุมูลอิสระที่เหลือจะเข้าไปหยุดปฏิกิริยาที่จุดว่องไวของการเกิดกราฟต์ หรือมีการรวมตัวกันเองของอนุมูลอิสระ เหล่านี้ทำให้ % GE มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มตัวเริ่มปฏิกิริยามากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการ สังเคราะห์พอลิเมอร์เชิงประกอบและพอลิเมอร์ผสม ของยางธรรมชาติ มข. (1) ภายใต้การสนับสนุนทุนวิจัย จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่าย อุตสาหกรรม ผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณหน่วยงาน ดังกล่าวมา ณ ที่นี้ด้วย และขอขอบคุณนางสาวศราณี นารีจันทร์ และนางสาวสมพิศ ยอดรัก ในการเป็นกำลัง สำคัญให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

- Asaetha, R., Kumaran, M. G. and Thomas, S. 1998. Thermal behaviour of natural rubber/polystyrene blends: thermogravimetric and differential scanning calorimetric analysis. *J. Polym. Degrad. and Stab.* 61: 431-439.
- Grassie, N. 1967. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology* vol. 4. New York: John Wiley and Sons. Inc.
- Kawahara, S., Kawazura, T., Sawada, T. and Isono, Y. 2003. Preparation and characterization of natural rubber dispersed in nano-matrix. *Polymer.* 44: 4527-4531.
- Lee, D.Y., Subramaniam, N., Fellows, C.M. and Gilbert, R.G. 2002. Structure-property relationships in modified natural rubber latexes grafted with methyl methacrylate and vinyl *neo*-decanoate. *J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem.* 40 (7): 809-822.
- Liu, Y., Zhang, Y., Liu, Z. and Deng, K. 2002. Graft copolymerization of butyl acrylate onto casein initiated by potassium diperio datonickelate(IV) in alkaline medium. *Eur. Polym. J.* 38: 1619-1625.
- Nakason, C., Kaesaman, A. and Supasanthitikul, P. 2004. The grafting of maleic anhydride onto natural rubber. *Polymer Testing.* 23: 35-41.
- เจริญ นาคะสรรค์ อาชีชิน แกสมาน และ นิกร ยัมวัลย์. 2543. การเตรียมกราฟต์โคพอลิเมอร์ของน้ำ ยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางข้นชนิด แอมโมเนียสูงด้วยเมทิลเมทาคริเลต. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 22(4): 467-476.
- ปรีชา สุนทรเรืองยศ. 2542. การกราฟต์สไตรีนและ เมทิลเมทาคริเลตบนยางธรรมชาติในกระบวนการ อิมัลชันแบบกะและกึ่งกะ. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาเคมีเทคนิค บัณฑิต วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ตารางที่ 1 ปริมาณของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน เมื่อใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน โดยมีการแปรสัดส่วนของยางธรรมชาติกับสไตรีน

การทดลอง	mol % NR	mol % Styrene	NRL (g)	NaHCO ₃ (g)	SLS (g)	K ₂ S ₂ O ₈ (g)	Styrene (g)	DI water (g)
A1	90	10	10	0.06	1.0	0.08	1	120
A2	80	20	10	0.06	1.0	0.08	2	120
A3	70	30	10	0.06	1.0	0.08	3	120
A4	60	40	10	0.06	1.0	0.08	4	120
A5	50	50	10	0.06	1.0	0.08	5	120

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน เมื่อใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน โดยมีการแปรปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยา

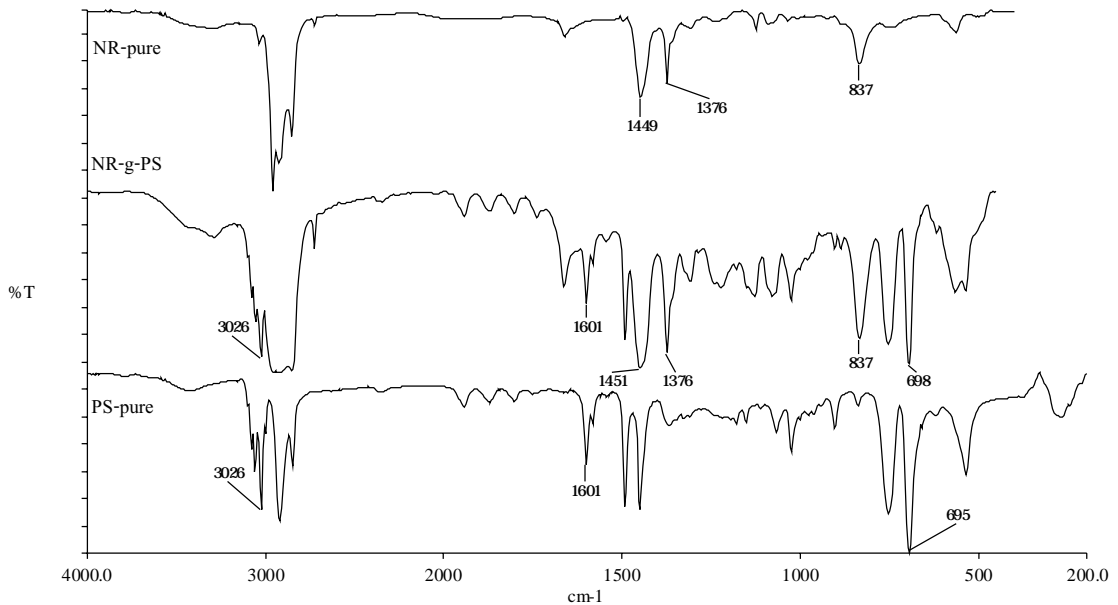
การทดลอง	K ₂ S ₂ O ₈ (g)	mol % K ₂ S ₂ O ₈	NRL (g)	NaHCO ₃ (g)	SLS (g)	Styrene (g)	DI water (g)
IA1	0.03	0.12	10	0.06	1.0	4	120
IA2	0.06	0.24	10	0.06	1.0	4	120
IA3	0.09	0.36	10	0.06	1.0	4	120
IA4	0.15	0.66	10	0.06	1.0	4	120

ตารางที่ 3 ปริมาณของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน เมื่อใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ โดยมีการแปรสัดส่วนของยางธรรมชาติกับสไตรีน

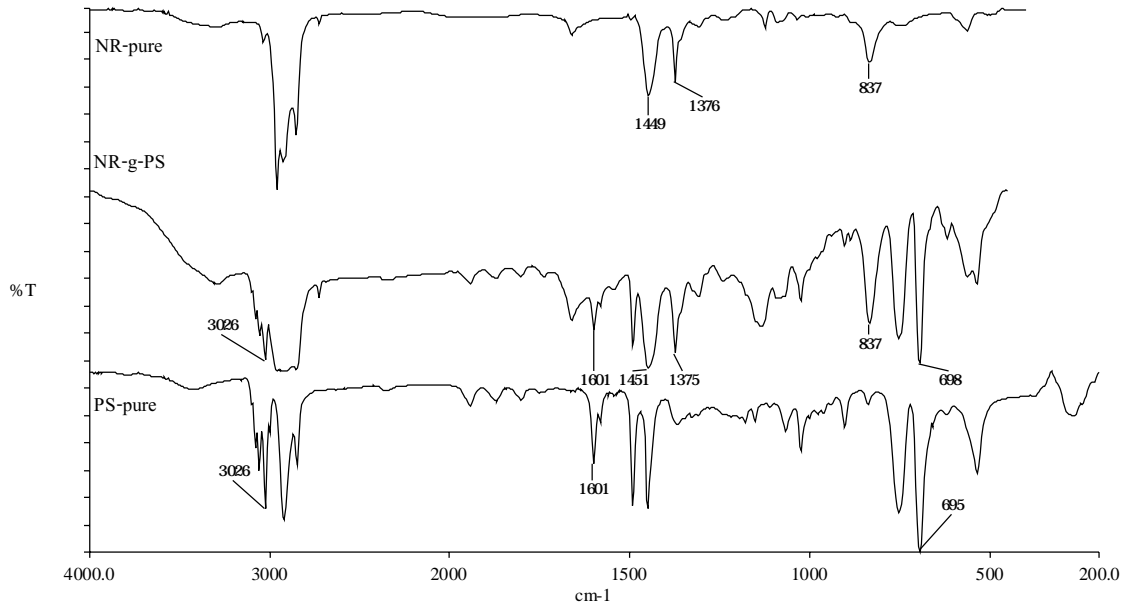
การทดลอง	mol % NR	mol % Styrene	NRL (g)	NaHCO ₃ (g)	SLS (g)	t-BHP (g)	TEPA (g)	Styrene (g)	DI water (g)
B1	90	10	10	0.06	1.0	0.037	0.2345	1	120
B2	80	20	10	0.06	1.0	0.037	0.2345	2	120
B3	70	30	10	0.06	1.0	0.037	0.2345	3	120
B4	60	40	10	0.06	1.0	0.037	0.2345	4	120
B5	50	50	10	0.06	1.0	0.037	0.2345	5	120

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณของสารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีนเมื่อใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ โดยมีการแปรปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยา

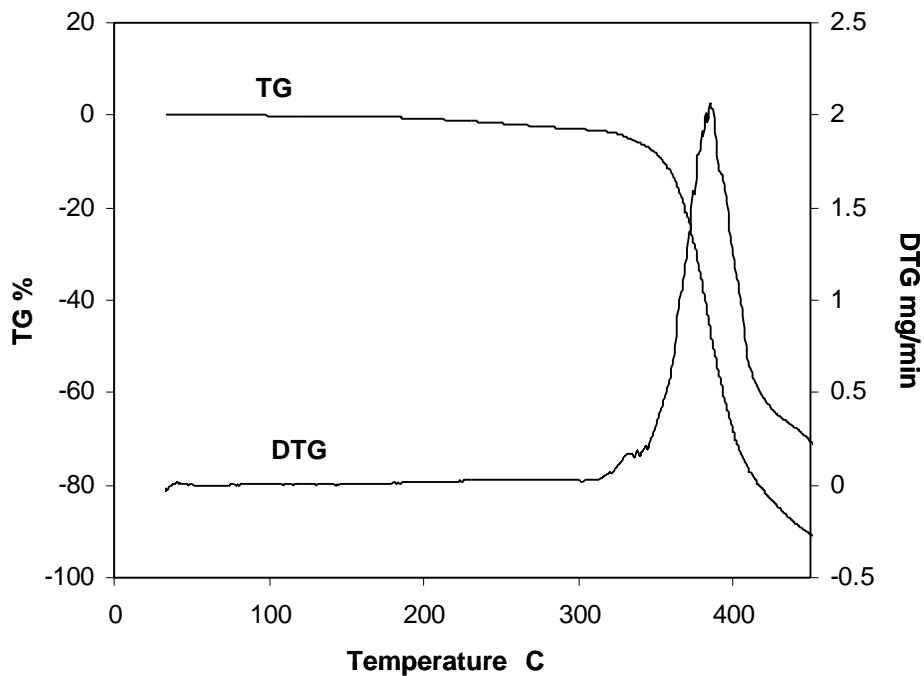
การทดลอง	mol % TEPA	mol % t-BHP	t-BHP (g)	TEP A (g)	NRL (g)	NaHO ₃ (g)	SLS (g)	Styrene (g)	DI water (g)
IB1	0.12	0.36	0.0429	0.208	10	0.06	1.0	4	120
IB2	0.24	0.72	0.0857	0.416	10	0.06	1.0	4	120
IB3	0.36	1.08	0.1286	0.624	10	0.06	1.0	4	120
IB4	0.66	1.98	0.2286	1.117	10	0.06	1.0	4	120



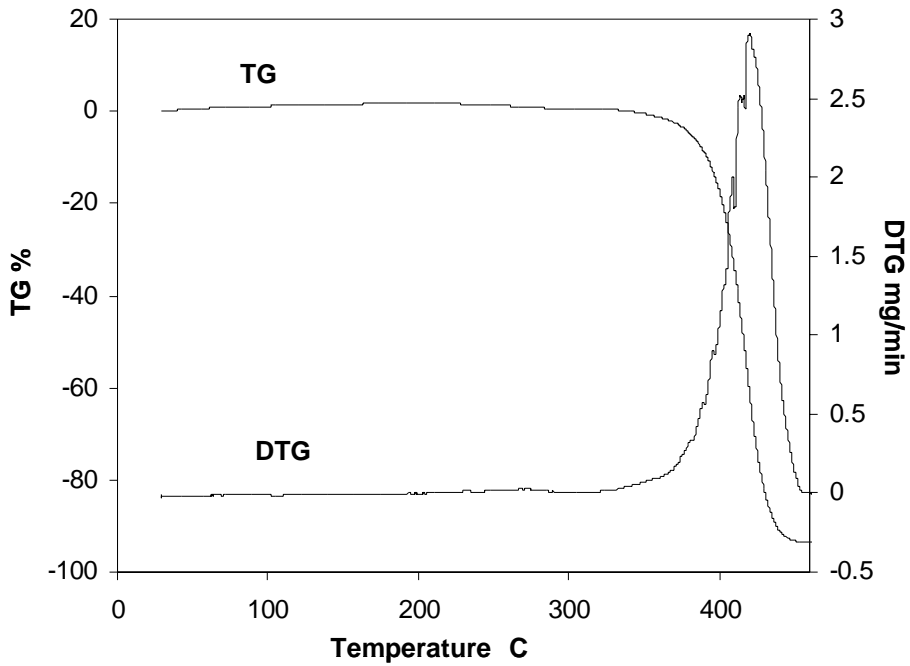
รูปที่ 1 อินฟราเรดสเปคตรัมของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีนบนยางธรรมชาติโดยใช้ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน (K₂S₂O₈) ใช้ปริมาณตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาเท่ากับ 0.36 mol % อัตราส่วนยางธรรมชาติต่อสไตรีนเท่ากับ 50 ต่อ 50 mol % อุณหภูมิของปฏิกิริยา 70°C เปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปคตรัมของยางธรรมชาติ และพอลิสไตรีน



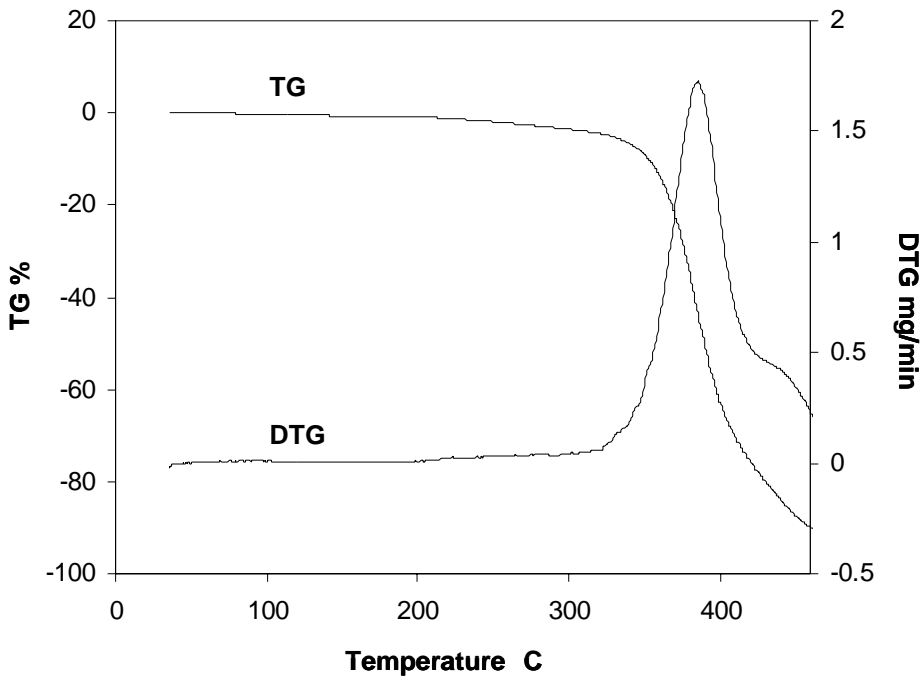
รูปที่ 2 อินฟราเรดสเปกตรัมของกราฟต์โคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีนบนยางธรรมชาติโดยใช้ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ ใช้ปริมาณตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา TEPA ต่อ t-BHP เท่ากับ 0.48 ต่อ 1.44 mol % อัตราส่วนยางธรรมชาติต่อสไตรีนเท่ากับ 90 ต่อ 10 mol % อุณหภูมิของปฏิกิริยา 50°C เปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมของยางธรรมชาติ และพอลิสไตรีน



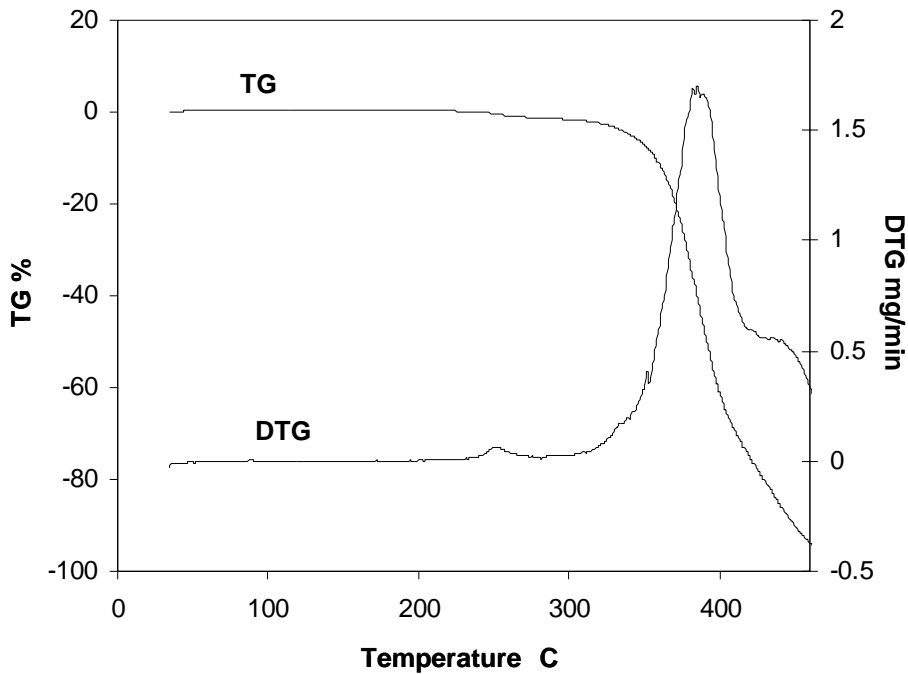
รูปที่ 3 TG/DTG เทอร์โมแกรมของยางธรรมชาติ



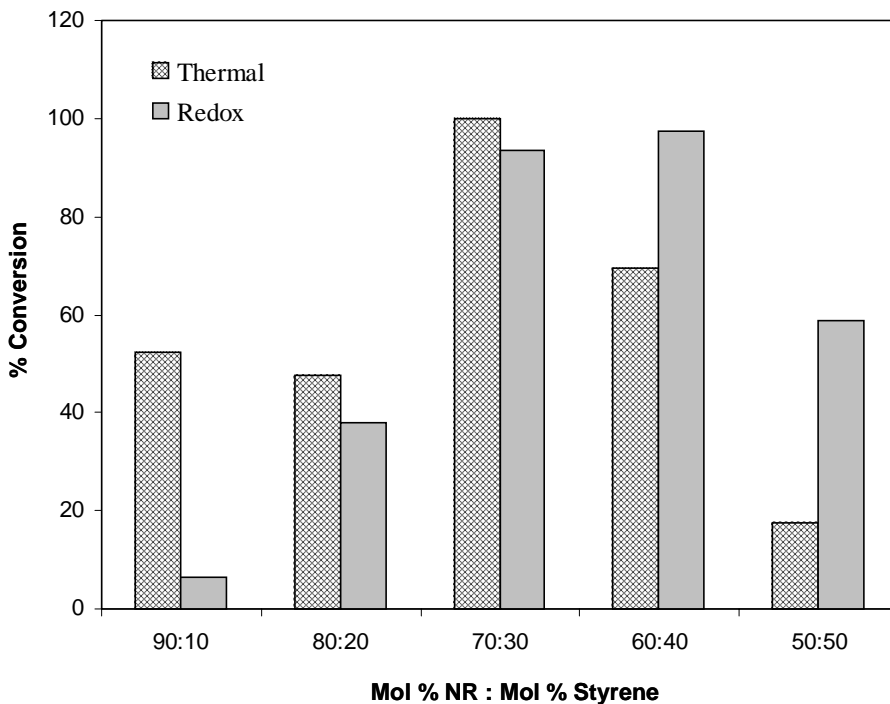
รูปที่ 4 TG/DTG เทอร์โมแกรมของพอลิสไตรีน



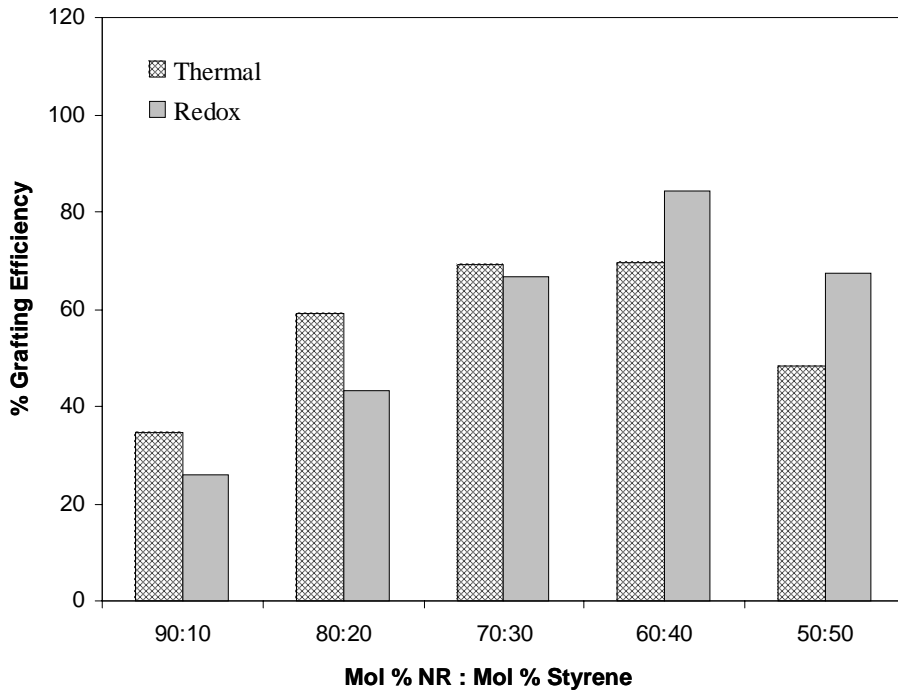
รูปที่ 5 TG/DTG เทอร์โมแกรมของกราฟต์พอลิสไตรีนบนยางธรรมชาติโดยใช้ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อน ($K_2S_2O_8$) 0.36 mol % อัตราส่วนยางธรรมชาติต่อสไตรีนเท่ากับ 90 ต่อ 10 mol % อุณหภูมิปฏิกิริยา 70°C



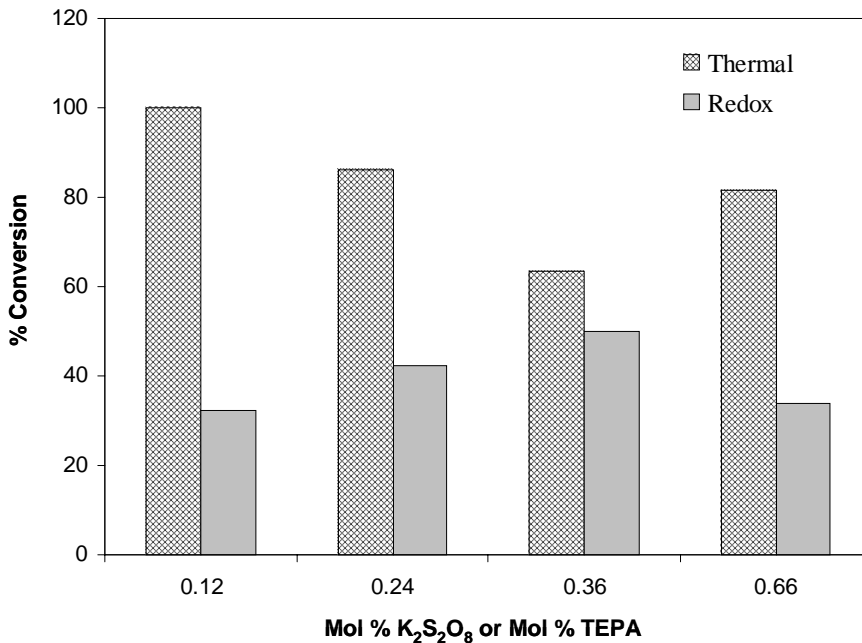
รูปที่ 6 TG/DTG เทอร์โมแกรมของกราฟดีโคพอลิเมอร์ของพอลิสไตรีนบนยางธรรมชาติโดยใช้ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบรีดอกซ์ ใช้ปริมาณตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา TEPA ต่อ t-BHP เท่ากับ 0.66 ต่อ 1.98 mol % อัตราส่วนยางธรรมชาติต่อสไตรีนเท่ากับ 60 ต่อ 40 mol % อุณหภูมิของปฏิกิริยา 50°C



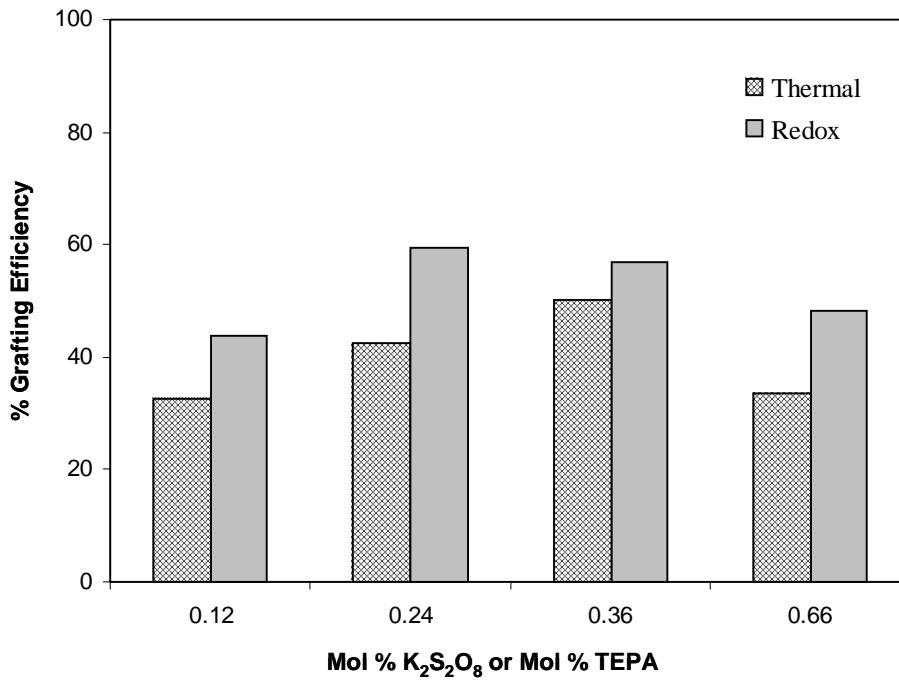
รูปที่ 7 เปรียบเทียบการเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ ที่อัตราส่วนของยางธรรมชาติต่อสไตรีนมอนอเมอร์ต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนและแบบรีดอกซ์



รูปที่ 8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกราฟต์อัตราส่วนของยางธรรมชาติต่อสไตรีนมอนอเมอร์ต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนและแบบรีดอกซ์



รูปที่ 9 เปรียบเทียบการเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์ที่ปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยาต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนและแบบรีดอกซ์



รูปที่ 10 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกราฟต์ ที่ปริมาณของตัวเริ่มปฏิกิริยาต่างๆ เปรียบเทียบระหว่างการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบแตกตัวด้วยความร้อนและแบบรีดอกซ์